

电线电缆载流量

马国栋 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电线电缆载流量

马国栋 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



内 容 简 介

电缆载流量是电缆运行中受环境条件和负荷影响的重要动态运行参数,其重要性涉及输电线路的安全可靠、经济合理的运行以及电缆寿命等问题。本书分两部分介绍有关电缆载流量内容。

第I部分介绍高压输电线路用的钢芯铝绞线和铝绞线等载流量计算和试验。对电力电缆额定载流量计算参照 IEC-60287 标准进行了详细论述。为了加深对计算公式的理解列举了电缆计算示例、编程计算和载流量试验。

对于电缆暂态运行(包括短时和断续运行、周期性负荷、应急负荷和短路电流等)也进行了详细论述。

如何从经济价值概念选择电缆(载流量)是近代国际上十分重视的问题。从技术经济角度选择最佳电缆截面(载流量)是国际电工委员会倡导方法之一。为此对电缆截面的优化选择——经济截面(经济电流)计算法也作了详细介绍。

第II部分针对现有的电线电缆标准产品,按 IEC-601597 (1955) 和 IEC-60287 (1994-2002) 标准进行额定载流量计算。

图书在版编目(CIP)数据

电线电缆载流量/马国栋编著. —北京:中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1272-4

I. 电… II. 马… III. 电缆—研究 IV. TM246

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 086706 号

中国电力出版社出版, 发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cespp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

2003 年 10 月第一版 2003 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 485 千字

印数 0001—3000 册 定价 35.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

电线电缆载流量是电线电缆产品的主要基本参数，世界各国长期以来均在不断地进行试验研究。上海电缆研究所建所后不久也建立试验研究基地，从事相应的试验研究工作，并于上世纪 60 年代中期，根据试验研究工作成果，首先提出有关油浸纸绝缘电力电缆和布电线载流量的计算方法以及相应的载流量数据。此后，由于种种原因，此项工作未能进一步全面、系统地继续深入进行。编著者凭籍执着的精神，历经挫折，坚持不懈地从事有关载流量试验研究工作，广泛收集大量国内外有关文献，终于编就本书。敬佩之感油然而生，欣然从命，代写序言。深信该书之出版，必将取得显著的社会效益。

编著者详尽地介绍了电线电缆载流量的基本计算方法、相应的计算软件和有关试验验证方法，并在此基础上结合电线电缆国家标准，在给定的基准条件下提出目前通用类型电线电缆产品的载流量数据，对电线电缆生产企业和使用部门均有较大的指导和现实意义。

正确的选择电线电缆产品的截面积，除了参照基准条件的载流量外，还应考虑结合实际敷设条件和运行方式。为此，编著者详细论述了不同环境和敷设条件下的修正方式并提出短时负荷、周期负荷以及短路电流和短路温度的计算方法。此外，有关直接埋地电缆的土壤周围发生水分迁移而形成土壤干燥区域以及引用“经济截面”新概念选择电缆等方面也均有论述，可谓是有有关电线电缆载流量的大全。可供电线电缆制造企业、电线电缆使用部门、设计研究院所和大专院校等有关人员参考使用。

杨文才

于上海 2003.6

国际电工委员会 (IEC) 于 1982 年根据国际大电网会议 (ICGRE) 1964 年 233 号报告提出了电缆额定载流量 (100% 负荷因数) 计算标准 IEC 60287, 以后逐年进行了修正补充。对于电缆通常敷设方式下载流量计算已趋于完善。特殊结构电缆或特殊敷设条件下仍提倡试验解决。一些未解决的问题正在进一步考虑之中。

发达国家都有统一的基准载流量数据。现在, 各国电缆产品及其额定载流量计算逐渐向 IEC 靠拢。国际上发达国家以及国际贸易都以 IEC 60287 标准作为制订电缆产品额定载流量依据。

我国电缆载流量方面的研究始于 20 世纪 60 年代中期, 随着国家电工产品向 IEC 靠拢, 电线电缆产品国家标准已基本等同 IEC 相应的标准。电缆载流量计算标准亦等同 IEC 的相应计算标准。到目前为止, 我国尚无一本完整的结合我国地理和气象条件而制订的基准载流量数据资料。为了促使我国电线电缆载流量早日走上规范化, 对电线电缆载流量等运行参数的研究提供一些具体资料是本书的编写目的。

本书由两部分构成, 简介如下:

第 1 部分主要以 IEC 标准出版物为主介绍电线电缆载流量计算方法并结合长年来积累的经验, 论述确定电线电缆载流量的试验方法。具体内容如下。

(1) 关于架空裸导线载流量的计算和试验问题。介绍 IEC 标准出版物和国际上学者关于钢芯铝绞线载流量的计算方法和有关参数。同时结合以往的研究成果提出对钢芯铝绞线等载流量采用测算方法来确定实际环境条件下的载流量。按照 IEC 标准载流量计算公式和 Morgan 公式编成计算软件, 可对各种结构的导线载流量进行计算。

(2) 电力电缆与架空裸导线相比除结构不同外, 其传输容量受电缆本体 (材料和结构) 制约、敷设方式 (诸如在空气中、土壤中、管道中等) 和环境条件有直接关系, 也不能忽视个别品种进行载流量试验。根据这个原则依据 IEC—60287 系列标准详细介绍电缆载流量计算基本公式。

(3) 在载流量计算中为了加深各参数值所起作用的理解, 列举了计算示例和软件的编程。对特殊结构电缆和特定敷设方式进行了载流量计算与试验的比较。

(4) 主要介绍电缆运行条件方面的问题。选择电缆规格通常所用的方法是以趋向于可采纳的最小截面, 也就是电缆初始投资最小。它并不考虑电缆使用寿命期间将发生的能量损耗费用。实际上对于架空导线早有经济电流密度选择导线截面概念。对于电缆而言, 这是近代国际上发达国家提出的, IEC 已将其制订成载流量标准中的一部分。电缆经济截面 (经济电流) 的优化选择是考虑为了使电缆经济合理地运行, 选择电缆的截面 (载流

量), 电缆整个使用期投资费用最小为宗旨。

(5) 对于诸如电气机车车辆用电缆、铁道电气化接触网用导线以及电焊机电缆等在稳态运行中时常出现暂态负荷(短时负荷、断续负荷)特殊运行情况 本部分给出相应负荷下载流量计算方法。

(6) 主要介绍 35kV 及以下电缆周期性负荷载流量计算问题。一条干线电缆在一天内并非都是处于恒定负荷状态下运行, 它是以一天为周期的时间段内电流以阶跃函数而变化。在这种情况下, 一天的负荷曲线作为计算周期性载流量因数的依据。该因数乘以电缆额定电流就可获得日周期性载流量最大值。这是为了充分发挥电缆传输能力而考虑的问题。

(7) 介绍 35kV 以上电缆周期性负荷及应急负荷载流量计算。周期性负荷系指以一天为周期的负荷, 一天内周期波形基本相同。电缆热容不能忽略。通过电缆的表达式和电缆外部介质表达式求得完整的暂态温度响应后根据负荷持续时间长短确定周期性负荷因数计算公式。要获得以一天为周期内的电流峰值, 则用该因数乘以电缆额定载流量。电缆的应急负荷也是很有实际意义的, 本部分给出计算公式。对周期性负荷和应急负荷进行示例计算。

(8) 关于电缆短路方面的问题。提供了在给定的时间内电缆能承受的短路电流或在给定短路电流和短路时间内电缆温升的计算方法。电缆短路温度是在规定的短路时间内根据邻接载流体材料耐热性能确定的。不同材料有不同的短路温度允许值。根据需要可选择绝热法或非绝热法计算短路电流。依据短路电流可以计算载流体温度。

第 II 部分主要是对于我国电线电缆产品标准和 IEC 标准的载流量计算方法, 结合我国一般情况下的地理和气象状况作为基准环境条件, 然后对各种类型电线电缆系列规格进行载流量计算, 并根据以往部分试验验证, 最后制订成载流量表。

实际敷设条件不同于基准条件下时载流量表中的数据应进行修正。本部分提供了各种修正系数。载流量表包括以下各种类型电线电缆。

(1) 铝绞线和钢芯铝绞线: 根据 GB 1179—1083 标准确定。

(2) 架空绝缘电缆: 根据 GB 12527—1990, GB 14049—1993 标准确定。

(3) 低压电线电缆: 根据 GB 5013.1—1997 ~ 5015.7—1997, GB 5023.1—1997 ~ GB 5023.7—1997 标准确定。

(4) 聚氯乙烯绝缘电力电缆: 根据 GB 12706.1—1991 ~ 12706.2—1991, GB/T 12706.1—2002 ~ GB/T 12706.2 标准确定

(5) 交联聚乙烯绝缘电力电缆: 根据 GB 12706.1—1991, GB 12706.3—1991, GB/T 12706.1 ~ GB/T 12706.4—2002 标准确定。

(6) 阻燃电缆—阻燃电缆载流量与相应一般电缆的载流量相同, 但在电缆绝缘与外护套之间填充氢氧化铝构成阻燃电缆。其载流能力要比一般电缆载流能力大。这是因为填充无机材料的热阻系数小于原来纤维材料的热阻系数, 并且电缆外径略大于一般性电缆, 散热较好。

(7) 64/110kV 交联聚乙烯绝缘电缆: 根据 GB 11017—1989, GB/T 11017.1 ~ 11017.3 标

准确定。

(8) 自容式充油电缆：根据 GB 9326.1—1988 ~ GB 9326.2—1988 标准确定。

此外，对于各种电力电缆在特殊敷设下的载流量计算提供了计算软件。如多根电缆直埋地并列敷设、混凝土排管敷设、江河湖海水底敷设等都有相应的计算软件。电缆载流量计算标准化、数据规范化之后，进而将是电缆负荷和环境条件变化的主要参数值（如载流量、温度等）的视窗化以便于随时监控和调整。

愿该出版物对于我国电线电缆载流量计算标准化、数据规范化、计算软件实用化起到促进作用。

本书问世受到有关部门的领导 and 人士的关注、支持和激励，特别是在编写过程中，得到上海电缆研究所相关领导和技术人员的指教，特此表示感谢。

作者水平有限，错误难免，敬请读者多多指教。

编著者

于上海电缆研究所

2003.6

序言
前言

第 I 部分

电线电缆载流量计算

1 架空裸导线等载流量测算	3
1.1 一般情况	3
1.2 载流量计算方法	4
1.2.1 基本公式	4
1.2.2 交流电阻 R_T 计算	4
1.2.3 β 、 R_g 和 I 之间关系测量	7
1.3 接触网用导线载流量的测算	12
1.3.1 概述	12
1.3.2 暂态运行时载流量计算方法	13
1.4 母线排载流量计算	16
1.4.1 概述	16
1.4.2 一相单条母线的载流量计算	16
1.4.3 一相多条并列的母线载流量计算	18
1.4.4 计算示例	19
1.5 架空裸导线载流量计算应用软件	20
附录 1 架空裸导线电性参数值	23
2 电缆额定载流量计算 (100% 负荷因数)	31
2.1 一般情况	31
2.2 电缆额定载流量计算公式	31
2.2.1 空气中不受日光照射的交流电缆	31
2.2.2 空气中不受日光照射的 5kV 及以下的直流电缆	32
2.2.3 空气中直接受日光照射的交流电缆	32
2.2.4 空气中直接受日光照射时的 5kV 及以下直流电缆	33
2.2.5 土壤发生局部干燥场合下的直接埋地交流电缆	33
2.2.6 土壤发生局部干燥场合下 5kV 及以下直流电缆	34
2.2.7 土壤避免发生局部干燥场合下的交流电缆	34
2.2.8 土壤避免干燥场合下的 5kV 及以下直流电缆	34
2.3 导体交流电阻计算	34

2.3.1	导体直流电阻	34
2.3.2	集肤效应因数 Y_s	35
2.3.3	对于二芯或二根单芯电缆的邻近效应因数 Y_p	36
2.3.4	对于三芯或三根单芯电缆的邻近效应因数 Y_p	36
2.3.5	钢管电缆中集肤和邻近效应	36
2.4	绝缘损耗 (仅适用于交流电缆)	37
2.5	金属套和屏蔽的损耗 (仅适用于交流电缆)	38
2.5.1	两根单芯电缆和三根单芯电缆 (三角形排列) 带电段金属套两端互连	38
2.5.2	正常换位带电段金属套两端互连且平面排列的三根单芯电缆	39
2.5.3	平面排列不换位且带电段金属套两端互连的三根单芯电缆	39
2.5.4	金属套各互连点之间单芯电缆的间距不等	40
2.5.5	大截面分割导体效应	40
2.5.6	金属套单点互连或交叉互连的单芯电缆	41
2.5.7	二芯统包金属套非铠装电缆	42
2.5.8	三芯统包金属套非铠装电缆	43
2.5.9	二芯和三芯钢带铠装电缆	43
2.5.10	分相铅包 (SL 型) 铠装电缆	44
2.5.11	钢管电缆屏蔽和金属套中损耗	44
2.6	对于铠装、加强带和钢管的损耗因数 (仅适用于工频交流电缆)	44
2.6.1	非磁性铠装或加强层	44
2.6.2	磁性铠装和加强层	45
2.6.3	钢管损耗	48
2.7	双回路平面排列金属套涡流损耗因数计算	48
2.7.1	双回路平面排列金属套涡流损耗计算方法	48
2.7.2	单回路高电阻金属套损耗因数 λ_0 的公式	55
2.7.3	系数 H 、 N 和 J 的计算	55
2.7.4	关于电缆换位时注意事项	59
2.7.5	涡流损耗的计算示例	60
2.8	单芯电缆并列之间电流分配和环流损耗的计算	64
2.8.1	计算方法概述	64
2.8.2	矩阵解	67
2.8.3	计算示例	67
2.9	电缆本体热阻计算	73
2.9.1	电缆绝缘的热阻 T_1	73
2.9.2	金属套和铠装之间热阻 T_2	78
2.9.3	外护层热阻 T_3	79
2.9.4	钢管电缆	80
2.10	自由空气中电缆外部热阻 T_4	80
2.10.1	不受日光直接照射的电缆	80
2.10.2	直接受日光照射下的电缆	83
2.11	埋地电缆的外部热阻 T_4	84
2.11.1	单根孤立埋地电缆	84
2.11.2	埋地电缆群 (相互不接触)	84

2.11.3	等负荷埋地电缆群（相互接触）	87
2.11.4	埋地钢管电缆	87
2.11.5	埋于电缆沟中的电缆	88
2.11.6	管道（或钢管）中的电缆	88
2.12	架空敷设的电缆群载流量降低因数的计算	90
2.12.1	适用范围	90
2.12.2	载流量降低因数计算	90
2.12.3	避免载流量降低的间隙值	93
2.12.4	电缆群降低因数措施	93
附 2.1	国家标准规定电缆所用导体的标准电阻值	93
附 2.2	国家标准电缆用圆导体直径	94
3	载流量计算示例及软件和试验	96
3.1	交联聚乙烯绝缘电缆—单芯电缆	96
3.1.1	电缆和运行资料	96
3.1.2	交流电阻的计算	97
3.1.3	金属屏蔽损耗的计算	97
3.1.4	介质损耗 W_d	100
3.1.5	热阻的计算	101
3.1.6	载流量计算	102
3.2	电缆载流量计算应用软件	103
3.2.1	概述	103
3.2.2	XLPE 电缆载流量计算软件（VB 编程）	104
3.3	电缆载流量试验设施及程序	108
3.3.1	试验设施	108
3.3.2	载流量试验程序	110
3.4	电缆载流量试验	110
4	电缆运行及其经济截面的优化选择	113
4.1	电缆运行条件	113
4.1.1	选择电缆应具备的资料	113
4.1.2	电缆运行条件的各参数值的选择	114
4.1.3	电缆截面选择导则	115
4.2	按经济电流密度选择架空导线截面	116
4.2.1	计算方法	116
4.2.2	我国现行的经济电流密度	117
4.3	电力电缆最佳经济截面的选择	117
4.3.1	一般情况	117
4.3.2	总费用的计算	118
4.3.3	导体经济截面的计算	120
4.3.4	导体经济截面计算示例	121
4.3.5	导体平均温度和电阻	128
附录 4	各国家相应运行条件的各参数值	131

5 电线电缆短时负载流量计算	132
5.1 一般情况	132
5.2 电线电缆暂态温度响应	133
5.2.1 绝缘的表示式	133
5.2.2 电线电缆表达式	133
5.2.3 电线电缆的暂态计算	134
5.3 载流量计算方法	135
5.3.1 短时负载流量计算	135
5.3.2 周期性断续负载流量计算	136
5.3.3 短时过负荷电缆载流量的计算	136
6 35kV 及以下电缆周期性负载流量	138
6.1 一般情况	138
6.2 周期性负载流量因数计算	138
6.2.1 单根孤立的电缆线路	138
6.2.2 等负荷非邻接的电缆或管道组成的电缆组	141
6.2.3 三根相同的、等负荷、相互邻接和等损耗的电缆或管道组成的线路群	143
6.3 周期性负载流量计算示例	143
6.3.1 三芯电缆构成孤立线路	143
6.3.2 三根单芯电缆构成一组线路	144
附录 6 周期负荷曲线及指数积分比例计算等	146
附 6.1 日周期负荷曲线	146
附 6.2 指数积分数字计算	146
7 18/30 (36) kV 以上电缆周期性负载流量	148
7.1 概述	148
7.1.1 适用范围	148
7.1.2 关于电缆热容	148
7.1.3 电缆暂态温度响应	149
7.2 持续时间长且为周期负荷下的暂态计算	149
7.2.1 绝缘层的表达式	149
7.2.2 电缆的表达式	150
7.2.3 电缆本体部分的暂态温升计算	153
7.2.4 电缆表面至周围介质的暂态温升计算	153
7.2.5 完整的暂态温升计算	154
7.3 持续时间短的暂态温升计算	155
7.3.1 绝缘层的表达式	155
7.3.2 电缆的表达式	155
7.3.3 土壤中电缆暂态温升计算	157
7.3.4 空气中电缆暂态温升计算	158
7.4 某些参数变化对暂态温升的校正	159
7.4.1 导体损耗随温度变化时的暂态温升的校正	159

7.4.2 突然施加电压引起的暂态温升	160
7.5 周期性负荷因数 M 的计算	160
7.5.1 概述	160
7.5.2 周期性负荷因数的计算 (包括电缆热容)	161
7.6 损耗 - 负荷因数 μ 的计算	162
7.7 $\theta_R(i) / \theta_R(\infty)$ 的计算	163
7.7.1 孤立敷设的单根三芯电缆	163
7.7.2 孤立线路	164
7.7.3 等损耗“N”的电缆群、非邻接的电缆或管道	164
7.7.4 “N”线路群	165
7.8 周期性负荷载流量计算示例	166
7.8.1 基本条件和资料	166
7.8.2 求解电缆热路	167
7.8.3 电缆暂态温升计算	167
7.8.4 周期性负荷因数计算	169
7.9 对于埋地电缆邻接土壤干燥下的周期负荷因数计算	171
7.9.1 概述	171
7.9.2 土壤变干时周期负荷因数计算	172
7.10 土壤变干时周期负荷因数计算示例	173
7.10.1 技术资料	173
7.10.2 计算周期负荷因数相关的基本数据	174
7.11 所有电压级电缆应急情况下载流量计算	175
7.11.1 孤立线路和线路群	175
7.11.2 应急负荷计算示例	176
附录 7 计算电缆周期性负荷因数时所用参数	177

8 电缆短路电流和短路温度的计算

8.1 一般情况	178
8.1.1 影响短路温度的因素	178
8.1.2 允许短路电流	178
8.2 1.8/3 (3.6) ~ 18/30 (36) kV 电缆允许最高短路温度	179
8.3 允许短路电流的计算	180
8.3.1 绝热法计算短路电流	180
8.3.2 非绝热法计算短路电流	180
8.4 短路温度的计算	184
8.5 载流导体热稳定性计算简化式	184

第 II 部分

— 电线电缆参考载流量

1 铝绞线和钢芯铝绞线	189
1.1 适用范围	189
1.2 计算依据	189

1.3	使用说明	189
1.4	铝绞线和钢芯铝绞线载流量	189
2	架空绝缘电缆	201
2.1	适用范围	201
2.2	环境条件	201
2.3	使用载流量表时应注意事项	201
2.4	架空绝缘电缆载流量	202
3	低压电线电缆	207
3.1	适用范围	207
3.2	环境条件	207
3.3	载流量索引表	209
4	聚氯乙烯绝缘电力电缆	214
4.1	适用范围	214
4.2	基准环境参数	214
4.3	使用说明	215
4.4	载流量索引表	217
5	交联聚乙烯绝缘电力电缆	242
5.1	适用范围	242
5.2	基准环境条件	242
5.3	使用说明	243
5.4	载流量索引表	245
6	阻燃电缆—隔氧层电缆	294
6.1	一般情况	294
6.2	使用说明	294
6.3	隔氧层阻燃电缆载流量	297
7	110kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆	300
7.1	一般情况	300
7.2	基准环境条件	300
7.3	使用说明	301
7.4	载流量索引表	302
8	自容式充油电缆	320
8.1	一般情况	320
8.2	基准环境条件	320
8.3	使用说明	320
8.4	载流量索引表	320
	参考文献	332

第 I 部分

电线电缆载流量计算



架空裸导线等载流量测算

1.1 一般情况

高压架空导线大多数采用铝绞线特别是大量应用钢芯铝（或铝合金）绞线等复合材料的导体，其钢芯主要承受机械拉力，而由一层或多层铝线绞合的部分则承受导电作用。由于铝单丝表面的氧化膜相对铝来说导电率较低，故铝单丝之间有明显的接触电阻，致使部分电流将与导线轴向呈螺旋形流动，引起轴向磁场。虽然各层绞合节距方向相反、节距大小不等，但残存的磁场强度通常由于钢芯磁滞和涡流足以引起显著的功率损耗，这些损耗将导致交流电阻的增加。这些损耗相对于邻近效应和趋肤效应有明显的不同。钢芯截面占整个导线比例越大，传输负荷电流越大，则交流电阻越大，它们之间呈非线性关系。交流电阻或者交直流电阻比（同一导线在相同条件下交流电阻和直流电阻之比）除取决于导线材质、结构外，还与输电系统有关。因此，交流电阻是受多种因素制约的综合性参数，很难用一个公式将其准确的表示出来。许多学者进行了大量的研究，至今还没有一个广为公认的计算公式。国际电工委员会（IEC）仍在考虑之中，力争提供一个较为准确而满意的计算方法。目前 IEC—1597 出版物仅给出了载流量基本计算公式和 IEC 产品标准的交直流电阻等参考数据。

本部分提出载流量测算（试验与计算相结合）方法经过多年实践证明确实很好的满足了实际工程的需要。采用该方法确定的实际敷设条件下架空裸导线的载流量是安全可靠的，同时又能充分发挥导线的传输能力，国内许多重大工程均已采用该方法选择导线截面。

另外，对高压架空线路导线截面的选择在满足其他条件的前提下总是以经济电流来考虑的。经济电流密度是与市场价格（材料、设备、施工和能源等）相对应的参数，在一定的时间内有一个相对的稳定值。我国目前采用的经济电流密度是 20 世纪 50 年代前苏联计划经济时期的数值，该数值是否符合目前市场经济情况很有研究的必要。本章也进行了初步探讨。

参考 IEC—1597 出版物中相关部分给出载流量计算基本公式。关于钢芯铝绞线交直流电阻值可适当地参考本章附录中相应数据。另外，对国际上常用的钢芯铝绞线交、直流电阻计算方法作了介绍，可供参考。

关于架空导线或电气化铁道用接触网导线载流量测算是确定载流量最好的方法,本章作了详细地介绍,尤其是大截面复合导体架空导线载流量确定应该以测算为基础。

1.2 载流量计算方法

1.2.1 基本公式

对已知环境温度和给定的导体工作温度下的最大稳态电流即是导体的载流量。载流量取决于导体类型、电阻、允许最高工作温度和环境参数(如环境温度等)。导体稳态运行达到允许温升时可得到稳态电流(载流量)计算公式^[1]:

$$I = \sqrt{\frac{p_r + p_c - p_s}{R_T}} \quad (\text{A}) \quad (1-2-1)$$

式中 p_r ——辐射热损耗, W/m;

p_c ——对流散热损耗, W/m;

p_s ——太阳辐射热, W/m;

R_T ——工作温度下的导体单位长度交流电阻, Ω/m , 见 1.2.2 节。

导体表面向周围空间辐射热损耗由下式计算:

$$p_r = s \times \pi \times D \times k_e (T_c^4 - T_0^4) \quad (\text{W/m}) \quad (1-2-2)$$

s ——斯蒂芬-波尔茨曼常数 (5.67×10^{-8}), $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$;

D ——导体直径, m;

T_0 ——环境温度, K;

T_c ——导体稳态温度, K;

k_e ——黑体辐射系数。

由于自然风的存在,强迫对流散发出的热损耗由下式计算:

$$p_c = \lambda \times N_u \times \pi (T_c - T_0) \quad (\text{W/m}) \quad (1-2-3)$$

λ ——与导体相接触的空气膜导热系数假定不变并等于 $0.02585 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

N_u ——欧拉数,由下式给出:

$$N_u = 0.65 R_e^{0.2} + 0.23 R_e^{0.61} \quad (1-2-4)$$

R_e ——雷诺数,由下式给出:

$$R_e = 1.644 \times 10^9 \cdot v \cdot D \cdot [T_0 + 0.5 \cdot (T_c - T_0)]^{1.78} \quad (1-2-5)$$

v ——风速, m/s。

导体吸收的太阳辐射热由下式计算:

$$p_s = \gamma \cdot D \cdot S_j \quad (\text{W/m}) \quad (1-2-6)$$

γ ——导体吸收系数;

S_j ——日照强度, W/m^2 。

1.2.2 交流电阻 R_T 计算

通常交流电阻 R_T 总是以直流电阻 R_d 乘以交直流电阻比 β 表示, 即:

$$R_T = \beta \cdot R_d \quad (1-2-7)$$

(1) 直流电阻: 计算直流电阻时忽略钢芯的导电性, 则铝导体 20℃ 的直流电阻计算式如下^[12]:

$$R_{20} = \frac{4\rho_{20} \cdot \lambda_{\text{铝}}}{\pi \cdot d^2 \cdot N} \quad (\Omega/\text{m}) \quad (1-2-8)$$

工作温度下导体的直流电阻:

$$R_d = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_c - 20)] \quad (1-2-9)$$

式中 d ——铝单线直径, mm;

ρ_{20} ——铝单线的电阻率, 取 2.8264×10^{-8} (20℃), $\Omega \cdot \text{m}$;

N ——铝线总根数;

α ——温度系数, 铝取 0.00403, 1/℃;

$\lambda_{\text{铝}}$ ——铝线平均绞入率按各层铝线平均节距比计算, 见表 1-2-1。

表 1-2-1

 $\lambda_{\text{铝}}$ 值

导线类型		钢芯铝绞线		铝绞线	
铝	钢 (根)	钢铝截面比	$\lambda_{\text{铝}}$	铝 (根)	$\lambda_{\text{铝}}$
7	7	5.06	1.0164	19	1.0179
12	7	1.71	1.0217	37	1.0201
18	1	18.00	1.0188	61	1.0224
20	7	7.71	1.0208	—	—
26	7	6.13	1.0213	—	—
30	7	4.29	1.0224	—	—
42	7	19.44	1.0215	—	—
45	7	14.46	1.0220	—	—

(2) 交直流电阻比: 采用 Morgan 公式^[2] 计算钢芯铝绞线交直流电阻比。

1) 涡流和磁滞引起电阻增量 ΔR_1 由下式计算:

$$\Delta R_1 = \frac{8\pi^2 a \cdot f \left(\sum_{m=1}^m N_m \right)^2 \times 10^{-7}}{N^2} \times \mu \cdot \lg \delta \quad (\Omega/\text{m}) \quad (1-2-10)$$

式中 a ——钢芯截面, mm^2 ;

m ——铝线层数;

N_m ——第 m 层铝线总匝数, $N_m = \frac{n_m}{l_m}$;

n_m ——第 m 层铝线根数;

l_m ——第 m 层铝线节距长, mm;

N ——导线中铝线总根数;

μ ——钢芯复合导磁率;

$\lg \delta$ ——磁损耗角正切。

$\mu \cdot \lg \delta$ 由相应的磁场强度测量数据决定, H 的计算式如下:

忽略导体轴向电流并假设铝线中电流分配均匀, 由 m 层铝线引起的总磁场强度为

$$H = \frac{4\pi \cdot I \cdot \sum_{m=1}^N N_m}{10N} \quad (\text{Oe}) \quad (1-2-11)$$

对上述公式, 首先设定电流 I 为一个近似数值再计算 H , 然后根据表 1-2-2 中钢丝直径和 H 值求取 $\mu \cdot \lg \delta$ 数值。当 H 计算值不同于表中数值时用二次曲线插值法求出。注意表中参数值仅反映该钢丝直径范围内的物理特性, 并非代表所有钢丝的物理性能。

表 1-2-2 $\mu \cdot \lg \delta$ 数 值

钢丝直径 D_s (mm)	H ——磁场强度 (Oe)						
	0	5	10	15	20	25	30
0.150~0.285	1.00	7.13	35.84	183.6	345.6	325.8	267.2
0.290~0.309	1.15	10.80	46.20	173.3	326.7	306.7	247.2
0.310~0.380	1.30	14.40	56.55	162.9	307.8	287.5	227.2

注 1) d_s ——钢丝直径。

2) H ——磁场强度。

3) Oe——奥斯特, 磁场强度单位, $1 (\text{Oe}) \approx \frac{10^3}{4\pi} (\text{A/m})$ 。

2) 集肤和邻近效应引起电阻增量 ΔR_2 。如果钢芯导电性忽略不计, 导体可视为一个圆管。其集肤和邻近效应引起的相对电阻增量为:

$$\frac{\Delta R_2}{R_0} = Y_s \cdot (1 - \phi)^{-1/2} - 1 \quad (1-2-12)$$

式中 Y_s ——由集肤效应引起的相对电阻增量

$$Y_s = 1 + a(z) \cdot \left[1 - \frac{\beta}{2} - \beta^2 b(z) \right]$$

ϕ ——由邻近效应引起的相对电阻增量

$$\phi = \lambda \cdot y^2 \left[\frac{z^2 (2 - \beta)^2}{z^2 (2 - \beta)^2 + 16\beta^2} \right]$$

$$\lambda = 1 - \beta \left(1 + \frac{z^2}{4} \right)^{1/4} + \frac{10\beta^2}{20 + z^2}$$

$$a(z) = \frac{7z^2}{(315 + 3z^2)} \quad (0 < z < 5)$$

$$b(z) = \frac{56}{(211 + z^2)} \quad (0 < z < 5)$$

$$z = 8\pi^2 \left[\frac{d - d_s}{2} \right]^2 f \cdot r$$

$$\beta = \frac{(D - d_s)}{D}$$

$$y = \frac{D}{s}$$

$$r = \frac{1}{(A \cdot R \times 10^9)}$$

$$A = \pi \frac{D - d_s}{4}$$

d ——导线直径, mm;

d_s ——钢芯直径, mm;

s ——导线之间距离, mm。

直流电阻与其总增量 (由涡流和磁滞损耗引起的电阻增量和由集肤效应引起的电阻增量之和) 之和相对于直流电阻之比率即交直流电阻比:

$$\beta = 1 + \frac{\Delta R_1}{R_d} + \frac{\Delta R_2}{R_d} \quad (1-2-13)$$

交流电阻要考虑集肤效应等引起的电阻增量以及感抗、容抗、磁滞 (钢芯引起) 和涡流损耗等因素的影响。IEC—1597 出版物中提供了各类型导线规格号的直流电阻和交流电阻参考值。(见附录 1)

另外, 在标准计算方法制订之前推荐两个选用方法: ① 用 Morgan 公式计算交流电阻再用式 (1-2-1) 计算载流量; ② 通过试验测算出各参数之间关系后再用式 (1-2-1) 计算载流量。这两种方法对计算钢芯铝绞线载流量均为适合。铝绞线比钢芯铝绞线计算简单。

以上是通过 Morgan 公式计算导线交流电阻 R_T , 然后根据实际环境参数计算载流量。下面讲述的是通过试验获得交直流电阻等参数后, 根据实际环境参数再计算载流量。

1.2.3 β 、 R_d 和 I 之间关系测量

(1) 各参数之间的关系式: 本方法是在试验基础上取得计算载流量相关参数值或它们之间的关系式后再根据实际环境参数计算载流量。这些基本参数及其相互关系包括以下三个基本情况:

1) 直流电阻与导体温度的关系:

$$R_d = a(1 + bT_c) \quad (1-2-14)$$

2) 交直流电阻比与电流的关系:

$$\beta = wI^r \quad (1-2-15)$$

3) 负荷电流与温升的关系:

$$I = g(T_c - T_0)^k \quad (1-2-16)$$

式中 R_d ——导体直流电阻, Ω/m ;

β ——交直流电阻比;

T_c ——导体工作温度, $^{\circ}\text{C}$;

T_0 ——环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

a, b, g, k, w, v ——由试验数据决定的系数。

(2) 试验简述: 测算架空导线载流量具备的基本条件和要求是:

- 1) 试验样品表面清洁无损伤。
- 2) 试验设备和仪器应达到所要求的相应精度。
- 3) 环境温度易控制, 电源稳定(稳流源)。

各主要参数测量的基本设备和仪器列于表 1-2-3。

表 1-2-3 架空裸导线载流量试验用设备

设备名称	型号与要求	备 注
场地 试验室	空调 20~50 $^{\circ}\text{C}$	10×15m
室外试验场	空况场地 30×40m	
调节拉力支撑架	承受 2t 的支架两个	能显示拉力大小
大电流变压器	DN-50/0.5	
调压器	TDJA-50/0.5	
互感器	HL-23/1	精度 0.2
数字显示记录仪	DR-30	
热电偶	$\phi 0.25\text{mm}$	铜+康铜丝
直流电桥	QJ-36	精度 0.02
直流复射检流计	AC-5/4	
交流电位差计	US-2	精度 0.001

试验线路及测试: 试样长度 20m, 对折平行排列, 间距 500mm, 架空敷设并施加一定拉力, 两端接于加热电源的出线端。试样从中间向两端每间隔 1m 敷设热电偶(插入导线第一层内), 共 5 对热电偶作为测量导体温度(数据处理时取其平均值)。与试样呈水平面并距离 1.5m 的空间处置设 3 对热电偶测量空气环境温度(数据处理时取其平均值)。数字记录仪(DR-30)显示并记录热电偶的温度。距试样两端 500mm 处各做一引接线与双臂电桥(QJ36)测量端连接, 用作为直流电阻测量。采用直流低压大电流源或交流低压大电流变压器对试样加热, 使其温度升高至 50~110 $^{\circ}\text{C}$ 范围内。采用直流作为加热源比较简单, 只要施加某一恒定电流值并且处于稳态后测量导体温度和该温度下的直流电阻, 共测 8 组不同温度下的直流电阻。采用交流电源加热时应首先通以大电流, 导体温度上升到 130 $^{\circ}\text{C}$ 左右, 然后切断电源, 测量导线在温度动态变化某一瞬间的直流电阻。在温度低于 100 $^{\circ}\text{C}$

以下时,导体温度变化缓慢,测量某一温度点仅需要 2~3s 时间,电阻变化反映到温度响应只是百分之几度($^{\circ}\text{C}$),只要操作熟练就能确保测量数据的准确性。一般从高温到低温测量 8 组数据。然后根据测量数据利用线性拟合求取导线直流电阻与温度的关系式(1-2-14)。

交流电阻测量线路与测直流电阻线路相同,引线接至交流电位差计(US2)接线端子上测量交流电位差。试验时在预先估计的允许温度范围内施加不同的电流值共测 8 组数值。每组数据都要在恒定电流且导体温度处于稳态下测量,测量参数为:交流电位差、电流、导体温度和环境温度。

根据前面测得的直流电阻与导体温度的关系式计算在上述测量温度下的直流电阻和交直流电阻比 β 。不同电流下 β 比值不同,通过试验测量取得 8 组数据,然后进行线性拟合即可求得交直流电阻比与电流的关系式(1-2-15)。

电流与导体温升属于指数关系。试验时对导体施加 8 个不同电流值,在稳态下分别测量导体温度、环境温度和电流值,共获取 8 组数据。对其取对数后再用线性拟合即可求得电流与导体温升的关系式(1-2-16)。

试验表明,对于钢芯铝绞线而言交直流电阻比与电流属于非线性关系。由于钢芯的存在,其磁效应与磁场有关,因而与电流有关,随着电流的增大,磁损增加,当电流到达一定值时,该导线钢芯可能到达磁饱和,磁损不再随电流增大而增加,这时导体交直流电阻比可能有一个峰值,以后电流再增大,交直流电阻比加速下降。交直流电阻比用图表示就能明显看出两者之间的变化趋势。为了便于计算,采用关系式分段表示。在导线允许的最高工作温度下多测几档数据,先绘图,再根据图分两段(电流范围分段),各段分别取 8 组对应数据经线性拟合即可取得式(1-2-15)。

(3) 计算示例:以钢芯铝绞线(GLGJ 210/360)和钢芯铝合金绞线(HLGJ 380/230)为例说明对上述计算方法的应用。各试样导线结构如表 1-2-4 所示。

直流电阻与导体温度关系:采用交流电源加热导体,共测量 8 组数据列于表 1-2-5。经数据处理后求得直流电阻与导体温度的关系式列于表 1-2-7。

导线交流电阻、电流、导体温度和环境温度测量值:数据列于表 1-2-6。电流与导体温升的关系,交直流电阻比与电流的关系列于表 1-2-7。

实际环境条件载流量计算,本例采用环境参数值如下:

风速(相对导线 90° 角) $v = 0.5$ (m/s)

日照强度 $s_1 = 1000$ (W/m^2)

吸热系数 $r = 0.45$

黑体辐射系数 $K_c = 0.45$

导体温度 $\theta_c = 85 \sim 110$ ($^{\circ}\text{C}$)

环境温度 $\theta_0 = 20 \sim 45$ ($^{\circ}\text{C}$)

根据测量结果(见表 1-2-7 和表 1-2-8)即可计算实际条件下的载流量和有关电性参数,计算结果列于表 1-2-9 和表 1-2-10。

表 1-2-4

导 线 结 构 (mm)

型 号	钢 芯			导 体					
	根/直径	直径	节距	第一层			第二层		
	n/d_s	D_s	h	n_1/d	D_1	h_1	n_2/d_2	D_2	h_2
钢芯铝包钢绞线 GLGJ-210/360	37/2.2	15.4	220	15/3.9	23.2	270	21/3.9	31	320
钢芯铝合金绞线 HLGJ-380/230	37/2.8	19.6	315	22/3.1	25.8	298	28/3.1	32	361
试样长度 (m)	20								

表 1-2-5

直 流 电 阻 测 量 数 据

No	GLGJ-210/360		HLGJ-380/230	
	θ_c	R_x	θ_c	R_x (Ω/km)
	($^{\circ}\text{C}$)	(Ω/km)	($^{\circ}\text{C}$)	
1	51	0.1254	26	0.0774
2	73	0.1344	35	0.0800
3	79	0.1367	42	0.0822
4	94	0.1428	46	0.0835
5	106	0.1488	58	0.0877
6	131	0.1582	65	0.0906
7	144	0.1630	79	0.0940
8	150	0.1660	85	0.0964

表 1-2-6

电 流、导 体 温 升 和 交 流 电 阻 测 试 值

型 号	表面状况	热偶 No	I (A)	θ_c ($^{\circ}\text{C}$)	θ_0 ($^{\circ}\text{C}$)	$\Delta\theta$ ($^{\circ}\text{C}$)	R_s (Ω/km)	R_d (Ω/km)	β
GLGJ-210/360	光亮	1	400	51.7	20	31.7	0.174	0.125	1.385
		2	500	75	23.4	51.6	0.192	0.135	1.420
		3	570	90	24	66	0.210	0.141	1.490
		4	600	101	27	74	0.222	0.145	1.522
		5	650	115	28	87	0.235	0.151	1.550
		6	700	135	31	104	0.251	0.159	1.570
		7	800	168	32	136	0.276	0.173	1.592
		8	900	199	33	166	0.286	0.185	1.540
GLGJ-210/360	涂黑	1	400	39.1	15.5	23.6	0.164	0.121	1.360
		2	500	53	18.4	34.6	0.179	0.126	1.420
		3	570	64	19	45	0.193	0.130	1.480
		4	600	71.6	20.5	51.1	0.202	0.133	1.511
		5	650	81	21	60	0.211	0.137	1.535
		6	700	94.6	24.6	70	0.223	0.143	1.557
		7	800	120	30	90	0.248	0.149	1.660
		8	900	146	33	116	0.272	0.163	1.667

续表

型 号	表面状况	热偶 No	I (A)	θ_c (°C)	θ_0 (°C)	$\Delta\theta$ (°C)	R_s (Ω/km)	R_d (Ω/km)	β
HLGJ-380/230	灰色	1	500	37.5	16.8	20.7	0.0868	0.0809	1.073
		2	600	49.6	19.0	30.6	0.0940	0.0882	1.065
		3	700	62.8	22.3	40.5	0.0942	0.0892	1.056
		4	800	76.6	23.7	52.9	0.0980	0.0937	1.046
		5	900	87	23	64	0.1008	0.0970	1.039
		6	980	95	24	71	0.1031	0.0996	1.035
		7	1000	106	27.7	78.3	0.1069	0.1034	1.034
		8	1060	110	28	82	0.1081	0.1045	1.034

表 1-2-7 GLGJ-210/360 导线 R_d 与 θ_c 、 I 与 $\Delta\theta$ 及 I 与 β 的关系

参 数 关 系	表 面 状 况	关 系 式	适 用 范 围
直流电阻与温度的关系	干 净	$R_d = 0.1044 (1 + 0.00393\theta_c)$	$20 \leq \theta_c \leq 120$ (°C)
电流与温升的指数关系	光亮表面 黑色表面	$I = 74.962\Delta\theta^{0.4632}$ $I = 84.918\Delta\theta^{0.4971}$	$30 \leq \Delta\theta \leq 130$ (°C)
交直流电阻比与电流的非线性关系	光亮表面 黑色表面	$\beta = 0.2875I^{0.2592}$ $\beta = 0.3088I^{0.2470}$	$400 \leq I \leq 1300$ (A)

表 1-2-8 HLGJ-380/230 导线 R_d 与 θ_c 、 I 与 $\Delta\theta$ 及 I 与 β 的关系

参 数 关 系	表 面 状 况	关 系 式	适 用 范 围
直流电阻与温度的关系	干 净	$R_d = 0.0687 (1 + 0.00474\theta_c)$	$20 \leq \theta_c \leq 90$ (°C)
电流与温升的指数关系	灰色表面	$I = 88.828\Delta\theta^{0.5394}$	$30 \leq \Delta\theta \leq 130$ (°C)
交直流电阻比与电流的非线性关系	灰色表面	$\beta = 1.6039I^{-0.0666}$	$500 \leq I \leq 1250$ (A)

表 1-2-9 GLGJ230/360 载流量 (A) 及电性参数

导体温度 θ_c (°C)	环 境 温 度 θ_0 (°C)					直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 β
	20	25	30	40	45		
85	660	635	610	550	515	0.1392	1.451
90	680	660	635	580	550	0.1413	1.474
95	705	680	660	610	580	0.1433	1.495
100	725	700	680	635	605	0.1454	1.513
105	740	720	700	660	630	0.1474	1.529
110	760	740	720	680	655	0.1495	1.544

表 1-2-10

HLGJ380/230 载流量 (A) 及电性参数

导体温度 θ_c ($^{\circ}\text{C}$)	环境温度 θ_a ($^{\circ}\text{C}$)					直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 β
	20	25	30	40	45		
85	940	890	840	740	675	0.0947	1.057
90	1010	970	930	840	790	0.0980	1.047
95	1050	1010	970	880	840	0.0990	1.043
100	1080	1050	1010	930	880	0.1012	1.039
105	1120	1080	1050	970	930	0.1028	1.036
110	1150	1120	1080	1000	970	0.1045	1.033

1.3 接触网用导线载流量的测算

1.3.1 概述

接触网用导线是电气化铁道系统中使用的架空导线,其运行特点是在某一个电流值(非 100% 负荷因数)稳态运行基础上,再叠加一个短时间(如 5~20min)的变化负荷(如机车爬山等遇到的情况)。在选择导线截面时就不能只考虑连续载流量,还要计算短时负荷能力,再根据两者数据进行最佳选择。接触网用导线多数以铜导体为主,现在也用钢铝结构导线,其载流量的计算仍采用式(1-2-1)。对于铜导体的交流电阻计算可以参考第 2 章相关部分。对于钢芯铝导体则可以用 1.2 节方法确定。此处重点介绍接触网导线暂态运行时载流量的确定方法。

一个稳定的物理过程转换到另一个稳定过程常常需要一个过渡时期,在这个过渡时期以内的过程称为过渡过程或暂态过程。导体传输电流也是这样,从传输一个电流值使导体温度处于稳态温度到传输另一个电流值从而使导体温度到另一个稳态时需要一个过渡过程,即是暂态过程。稳态运行系指导线在施加连续恒定负荷条件下其发热处于稳态状态(温升不随时间而变化),而暂态运行则是指从一个热稳态过渡到另一个热稳态过程。根据暂态运行时的温度响应导出短时负荷和断续变负荷时的载流量公式,对该导线实际运行有其重要现实意义和经济价值。凡是在短时负荷的场合下均可认为属于暂态运行问题。暂态运行载流量除了和导线本体如材料及结构尺寸等之外还与敷设和环境状况、施加负荷方式和负荷持续时间有关。为了正确地解决这些问题需要阐明有关暂态运行时的一些基本概念。

短时负荷时间:规定施加于电缆的短时电流持续时间等于或小于电缆热时间常数的三倍,而相邻电流时间间隔(未加电流时间)较长,至少由前一个短时负荷电流引起导线的温升下降到等于零,这种运行状态下负荷时间称为短时负荷时间。导线施加短时负荷所允许最高工作温度等于稳态运行时连续负荷的最高允许工作温度。

断续变化负荷:断续负荷以周期性变化为典型实例,电流变化周期为 P ,其中 αP 是施加电流时间,($1 - \alpha P$) 则是切断电流时间。断续负荷可以叠加到导线原有的某一电流(该数值小于导线额定电流值)之上。



热时间常数：导线发热与冷却快慢主要取决于该导线的热时间常数。所谓时间常数系指按指数衰变的场量的幅值降到初始幅值的 $1/e$ ($=0.3679$) 倍所需的时间，或者按指数增变的场量的幅值上升到稳态幅值的 $(1 - 1/e = 0.6321)$ 倍所需的时间。对于接触网导线的热时间常数而言，则是施加于该导线额定电流在没有散热条件下（设想）导体温升到达 $\Delta\theta_m$ 所需的时间，其中 $\Delta\theta_m$ 是该导线连续负荷（稳态）额定电流运行时在常规敷设自然散热条件下所能达到的稳态温升。热时间常数是暂态温度响应计算中的重要参数。

1.3.2 暂态运行时载流量计算方法

(1) 短时负荷：短时过负荷电流由下式给出：

$$I_1 = I_n \times \left(\frac{1 - x^2 \cdot e^{-t/\tau}}{1 - e^{-t/\tau}} \right)^{1/2} \quad (1-3-1)$$

式中 x ——预负荷系数， $x = I_0/I_n$ ；

I_n ——额定电流，A；

I_0 ——在施加短时负荷前原有电流，A，施加短时负荷前没有电流时， $I_0 = 0$ ；

t ——短时负荷运行时间，min；

τ ——导线热时间常数，min。

τ 计算式为：

$$\tau = Q_c \cdot T_4$$

Q_c ——导线热容，J/m， $Q_c = C_v \times V$ ；

C_v ——体积热容系数，J/K · m³；

V ——导线单位长度的体积，m³；

T_4 ——导线外部热阻，K · m/W。

1) 在无风无日照条件下：

$$T_4 = \frac{\Delta\theta}{p_c + p_r}$$

$$\Delta\theta = \theta_c - \theta_0$$

$\Delta\theta$ ——高于环境温度之上的导体温升，℃；

p_c ——自然对流下导体散热量，W/m；

$$p_c = 4.585 \times \Delta\theta [D^3 \cdot \Delta\theta]^{0.27}$$

p_r ——辐射散热量，W/m；

$$p_r = s \cdot \pi \cdot D \cdot k_e [(\theta_c + 273)^4 - (\theta_0 + 273)^4]$$

k_e ——黑体辐射系数；

D ——导体直径，m。

2) 有风有日照条件下：

$$T_4 = \frac{\Delta\theta}{p_c + p_r - p_s}$$

由于自然风的存在，强迫对流散发热损耗由下式计算：

$$p_c = \lambda \times N_u \times \pi(\theta_c - \theta_0) \quad (\text{W/m})$$

λ ——与导体相接触的空气膜导热系数, 假定不变并等于 $0.02585 \text{ W/m} \cdot \text{K}$;

N_u ——欧拉数, 由下式给出:

$$N_u = 0.65 R_e^{0.2} + 0.23 R_e^{0.61}$$

R_e ——雷诺数, 由下式给出

$$R_e = 1.644 \times 10^9 \cdot v \cdot D \cdot [(\theta_1 + 273) + 0.5 \cdot (\theta_c - \theta_1)]^{-1.78}$$

v ——风速, m/s ;

p_s ——导体吸收的太阳辐射热, W/m 由下式计算

$$p_s = \gamma \cdot D \cdot S_i \quad (\text{W/m})$$

γ ——导体吸收系数;

S_i ——日照强度, W/m^2 。

(2) 周期性断续负荷: 如果导线的负荷是周期性断续变化的, 在导体不超过最高允许工作温度的条件下, 求导线允许通过的电流也可以利用上述关系。

导线周期性负荷运行时, 设负荷周期为 p , 而施加负荷电流 I_p 的时间为 αp , $1 - \alpha p$ 为切断电流 ($I_p = 0$) 的时间。在周期负荷之前电缆通以电流 I_0 ($I_0 < I_n$)。在最大允许温升 $\Delta\theta_m$ 情况下导线断续的周期性载流量由下式给出:

$$I_p = I_n \times \left[\frac{(1 - x^2)(1 - e^{-p/\tau})}{(1 - e^{-\alpha \cdot p/\tau})} \right]^{1/2} \quad (1-3-2)$$

式中 $\alpha = \frac{t}{p}$ ——接通率 (工作时间与周期时间之比);

p ——断续负荷时间周期, min ;

t ——通电时间, min ;

x, τ, I_n 同前。

(3) 暂态载流量测算: 对于钢芯铝绞线稳态运行条件下交直流电阻测量和导体温升与载流量的关系等测算均按第 1.2 节方法进行。对于铜导线不必进行直流电阻与导体温度的关系测试, 因为铜导线电阻率和温度系数在相应标准中均有规定, 铜导线的交流电阻计算也有成熟的公式 (见 2.2 节)。载流量试验值与计算值进行比较, 室内试验比较准确, 而对室外试验, 由于试验现场的风速不易控制, 这是试验时应注意的问题。

暂态试验: 导线载流量暂态试验所用设备与仪器同 1.2 节。暂态运行主要涉及到时间问题, 重点说明暂态试验时应注意的问题。

温升试验: 导体温升试验是在恒定负荷条件下进行的。它是计算热时间常数重要的测量数据。方法有两个, 其一是升温法, 其二是降温法。前者是起始温升等于零 (施加试验电流前导体电流等于零), 试验开始时, 对导体加一个恒定电流 (根据导体截面估计), 导体温度随着时间延续而上升, 每隔一个时间段测量一次导体温度和环境温度 (最初起始时间段测量间隔短一些) 直至温升到达稳态, 这样就可以得到一组温升与时间关系的曲线。在整个试验过程中电流应保持恒定。后一种方法是首先对导体加一大电流, 导体温度迅速



上升,当到达较高温度(约大于导体允许最高工作温度的1.3倍左右)后,切断电流,然后测量不同时间段下的导体温度和环境温度(起初测量间隔要短一些,随着时间的延续,温度变化逐渐缓慢下来,测量间隔可以延长),最后得到一组导体温升和时间的关系曲线。两种方法比较,降温法比较容易操作,它不需要注意加热电流问题,室内试验时环境温度应保持恒温,空气处于自然对流状态下。而在室外试验场进行试验时,应记录整个试验周期的风速,可以隔一定时间测量一次风速,最后取平均值作为该试验条件下的风速参数值。

热时间常数的计算:当测量温升与时间的关系绘成坐标曲线后,时间常数相当于导体稳态温升0.632倍时所需的时间。

暂态载流量试验:分别介绍短时负荷和周期断续负荷两种情况的试验。

短时负荷:第一种情况导体起始温升等于零,在试验室内进行测试,环境温度恒定,被测试样架空并承受一定拉力。按前面公式计算某一电流作为首先施加于试样的试验电流,在规定的时间内测量导体温升是否等于给定温升,第一次试验如果未必达到给定的温升时,切断电源,待试样冷却到温升等于零时,调整前一次试验电流值再做试验,直到导体温升等于规定的温升时为止,该电流为该时间下的载流量。本试验只要估算得当,试验二三次就能得到满意的答案。第二种情况是导体起始温升为某一值,在试验开始前试样已经施加了一个恒定电流(如该电流值为额定电流值的60%),并已处于稳态运行,然后再加一个预先估算的短时电流,试验方法同第一种情况,所不同的是在切断短时电流时试样中仍保持原有的电流值不变。

周期断续负荷:首先确定导线工作周期,例如工作周期为10min,施加负荷时间4min,断流时间为6min。根据前面温升试验计算出时间常数,再计算试验电流,然后进行试验。如果试样处于冷态(起始温升等于零),根据时间和估算电流进行试验;如果试样处于热稳态情况下(起始温升不等于零),注意加载和断载时原有电流应保持不变。反复进行多个周期试验后,在每个加载时间段最后时刻的导体温度不得超过允许最高工作温度,此时的试验电流即是该周期下的最大允许电流值。

室外试验场做试验还要注意现场当时风速问题,试验方法与室内相同。

测算示例:试验所用的电气化铁道用牵引网悬挂导线试样的型号与规格如表1-3-1所示。按1.2节所述方法在试验室内进行稳态载流量试验。首先测量导线在不同温度下的直流电阻与导体温度值以便求得两者之间关系,然后进行导线稳态载流量试验,求取电流与导体温度的关系及交直流电阻比。稳态试验结束后进行暂态试验,采用降温法进行温升试验。测量导体温度与时间的关系曲线,根据试验数据求得导线时间常数,再进行短时负荷试验。在试验室内稳态试验结果见表1-3-2。暂态试验数据列于表1-3-3。

表 1-3-1

型 号 与 规 格

型 号	导线外径或相当于圆外径 (mm)	长 度 L (m)
TCG-110	12.4	19
TJ-95	12.0	19
LJ-185	17.5	20

表 1-3-2

室内稳态载流量试验

型 号	施加电流 I (A)	导体温度 θ_c (℃)	环境温度 θ_0 (℃)	交流电阻 R_T ($\mu\Omega/m$)	直流电阻 R_d ($\mu\Omega/m$)
TCC-110	425	100	27	212	$145 \times (1 + 0.00438\theta_c)$
TJ-95	386	100	27	259	$186 \times (1 + 0.00396\theta_c)$
TJ-185	420	80	27	207	$140 \times (1 + 0.00459\theta_c)$

表 1-3-3

室内暂态载流量试验

型 号	原有电流 $I_n \times 60\%$ (A)	导体初始温度 θ_c (℃)	环境温度 θ_0 (℃)	5min 过负荷 电流 (A)	20min 过负荷 电流 (A)
TCC-110	255	51.6	23.3	650	460
TJ-95	231	53.0	26.4	573	412
TJ-185	255	45.0	26.8	640	456

1.4 母线排载流量计算

1.4.1 概述

关于母线的载流量计算公式由导体发热产生温度场中的温升方程求得,但所选用的参数不尽相同。这些参数有的是通过理论计算获得,有的是通过试验求得,有的则是经验系数。IEC 出版物尚未提出有关资料,我国也没有统一的计算公式和相应的基准载流量值。各种不同文献资料所提供的数据相差约在 7% 以下。本部分提供的计算公式和参数值是根据有关文献资料提供的数据综合分析处理而求得。

1.4.2 一相单条母线的载流量计算

母线的自然对流散热表面由两个水平面和两个竖直面组成。这四个面附近的空气流动相互作用有一定的影响,但认为近似于单独存在。电流通过导体,使其温度上升,达到热稳定时,表面的散热量应与发热量相等。在取定了环境温度后即可计算出母线载流量。母线长期工作的允许最大电流由下式给出:

$$I = \left[\frac{p_r + p_c}{R_T} \right]^{1/2} \quad (\text{A}) \quad (1-4-1)$$

式中 p_r ——表面辐射散热量, W/m;

$$p_r = F \times 10^{-3} \times s \times k_e [(273 + \theta_c)^4 - (273 + \theta_0)^4] \quad (\text{W/m})$$

k_e ——材料黑度(与材料种类及其温度和表面状况有关),对于喷漆母线取 0.9;

F ——表面积, mm^2 ;

s ——斯蒂芬-波尔茨曼常数,其值为 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$;

θ_c ——导体表面温度,℃;

θ_0 ——环境温度,℃;

p_c ——母线自然对流散热量, W/m;

$$p_c = p_{dl} + p_{da} + p_{db} \quad (\text{W/m})$$

p_{dl} ——两个竖直面散热量, W/m;

$$p_{dl} = 2F_s \times 10^{-3} \times 4.71 \times \left(\frac{\theta_c - \theta_0}{0.1 \times h} \right)^{1/4} \times (\theta_c - \theta_0) \quad (\text{W/m})$$

p_{da} ——水平面向上散热量, W/m;

$$p_{da} = F_{da} \times 4.3 \times 10^{-3} \left(\frac{\theta_c - \theta_0}{b} \right)^{1/4} \times (\theta_c - \theta_0) \quad (\text{W/m})$$

p_{db} ——水平面向下散热量, W/m;

$$p_{db} = F_{db} \times 2.13 \times 10^{-3} \left(\frac{\theta_c - \theta_0}{b} \right)^{1/4} \times (\theta_c - \theta_0) \quad (\text{W/m})$$

θ_c ——导体温度, $^{\circ}\text{C}$;

θ_0 ——环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

h ——母线宽度, mm;

b ——母线厚度, mm;

F_{dl}, F_{da}, F_{db} ——分别为母线宽度上的表面积和厚度的上下表面积, mm^2 ;

R_T ——导体工作温度下的交流电阻, Ω/m 。

计算如下:

$$R_T = K_s \times R_0 \quad (\Omega/\text{m})$$

$$R_0 = \frac{\rho_c}{A \times 10^{-6}} [1 + \alpha \cdot (\theta_c - 20)]$$

R_0 ——导体工作温度下的直流电阻, Ω/m ;

A ——导体截面积, mm^2 ;

θ_c ——导体温度, $^{\circ}\text{C}$;

ρ_c —— 20°C 时导体电阻率, 铜为 $1.7246 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, 铝为 $2.8264 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$;

α ——温度系数, $1/^{\circ}\text{C}$, 铜为 3.93×10^{-3} , 铝为 4.03×10^{-3} ;

K_s ——附加损耗系数 (集肤效应和邻近效应)。

附加损耗系数主要是集肤效应起主要作用, 对于两条以上母线并列敷设时, 相邻导体之间磁场部分相互抵消而削弱了邻近效应。对于导电薄板集肤效应计算公式推导比较复杂, 导电薄板内部的电磁波是平面电磁波, 正弦电流沿着与薄板表面平行的方向流动通过薄板。通过电磁场的计算得出薄板内部的电磁场及电流密度总是小于表面的电磁场及电流密度, 这种现象称为集肤效应。工程上计算考虑主要因素而忽略次要因素。对母线来说有的考虑宽度 h 与厚度 b 确定的截面与 K_s 的关系, 有的仅考虑截面与 K_s 的关系 (实际上截面形状已定)。

综上所述, K_s 与截面的关系呈非线性关系, 结合实际工程的需要, 根据表 1-4-1 中相应的集肤效应数据线性拟合而获得数字计算式在导体截面 $1250 \sim 6500 \text{mm}^2$ 范围内, 其集肤效应不会超出计算式规律, 因而认为该式是适合于上述截面的集肤效应数值。

表 1-4-1

计算集肤效应的原始资料

铜 导 体		计 算 式	铝 导 体		计 算 式
导体截面 (mm ²)	集肤效应 K_s	$K_s = w \cdot A^x$	导体截面 (mm ²)	集肤效应 K_s	$K_s = w \cdot A^x$
600	1.04	$0.156 \times A^{0.295}$	600	1.01	$0.337 \times A^{0.171}$
800	1.14		800	1.06	
1200	1.18		1200	1.10	
1600	1.30		1600	1.14	
2000	1.44		2000	1.22	
2400	1.60		2400	1.28	
3000	1.70		3000	1.40	
3750	1.80	$0.033 \times A^{0.474}$	3600	1.40	$0.093 \times A^{0.341}$
4000	2.00		3750	1.54	
4800	2.10		4000	1.62	
5000	2.20		4800	1.70	

注 参考资料中^[21,22,24,25]比较大的导体截面的集肤效应数据作为原始数据,截面 A 适用范围 600~6500mm²。

对于铜: $K_s = 0.156 \times A^{0.295}$ ($600 \leq A \leq 2400$)

$K_s = 0.033 \times A^{0.494}$ ($3000 \leq A \leq 6500$)

对于铝: $K_s = 0.337 \times A^{0.171}$ ($600 \leq A \leq 2400$)

$K_s = 0.093 \times A^{0.341}$ ($3000 \leq A \leq 6500$)

1.4.3 一相多条并列的母线载流量计算

单条矩形导线具有集肤效应系数小、散热条件好、安装方便等特点,一般适于电流小于 2000A 的回路中。多条矩形导线并列敷设时集肤效应系数比单条导体大,附加损耗增大,因此载流量不是随导体条数增加而成倍增加。每相超过三条以上时,导体集肤效应系数显著增大。在工程上多片矩形导体适用于工作电流小于 4000A 的回路,否则导体采用有利于交流电流分布的槽形或管形的成型导体。实际情况也有例外,本节即为特定的大截面矩形母线载流量的计算而探讨的方法。

一相中多条并列敷设时除集肤效应增加(邻近效应也增加)外,由于导体之间热效应使载流量下降。综合效应使载流量计算复杂化,根据以往试验和有关资料推荐以下系数作为 2~4 条并列敷设时载流量增加。以单条为基准值,随着导体总截面的增大,载流量并非直线增加而其增量趋势是缓慢下降的。例如表 1-4-1 所示。

一相中多条母线并列敷设时载流量递增计算式由下式给出:

$$I_n = C_n \times I \quad (\text{A}) \quad (1-4-2)$$

式中 I_n ——一相中 n 条并列敷设时的载流量, A;

C_n ——载流量并列系数,见表 1-4-2;

I ——单条敷设时载流量, A。

表 1-4-2 一相中多条并列敷设时载流量递增并列系数 C_n

$H \times b$ (mm × mm)	截 面 (mm ²)	单片	两条	三条	四条
80 × 8	640	1.00	1.65	2.12	2.87
80 × 10	800	1.00	1.59	2.09	2.83
100 × 8	800	1.00	1.62	2.05	2.78
100 × 10	1000	1.00	1.55	1.98	2.67
125 × 8	1000	1.00	1.53	1.98	2.62
125 × 10	1250	1.00	1.52	1.92	2.58
125 × 12.5*	1562	1.00	1.50	1.90	2.56
130 × 10	1300	1.00	1.51	1.91	2.56
130 × 12.5	1652	1.00	1.50	1.90	2.55
150 × 12.5	1875	1.00	1.49	—	—
160 × 15	2400	1.00	1.46	—	—

注 * 以下为非标准截面。

(1) 表中为四条时，二、三条之间距为 50mm。

(2) 母线竖放时而得此数据，平放时较竖放系数有所下降。

一相中多条母线并列敷设载流量计算较复杂，上述以单条计算为准，多条敷设乘以并列系数。并列系数实际上是由集肤效应，邻近效应和热效应的综合考虑而得。当多条母线并排，相邻间距小于母线厚度时，导体有效辐射面积大体上等于多条母线周边的面积，电工上亦有以此计算。实际上导体有效辐射面积是母线组外表而有效散热面积。相邻导线之间距小于或等于母线厚度，母线竖立敷设上下散热面增加，相当于厚度 b 增大到：

母线有效厚度为： $B = b \times [N + k \times (N - 1)]$ (按条数增加 k 分为 0, 0.7, 0.72, 0.85)

母线宽度不变：一相中多条并列敷设时母线载流量按式 (1-4-1) 计算。

集肤效应按母线组实际截面计算。

1.4.4 计算示例

有一表面涂漆的铝母线排，截面为 $100 \times 10\text{mm}$ 室内敷设，水平面走向，竖立放置。允许最高工作温度 70°C ，环境温度 40°C ，试计算载流量。

(1) 计算交流电阻 R_T ，工作温度下的直流电阻 R_0 为：

$$\begin{aligned}
 R_0 &= \frac{2.8264 \times 10^{-8}}{(100 \times 10 - 0.5) \times 10^{-6}} [1 + 0.00403 \times (70 - 20)] \\
 &= 3.397 \times 10^{-5} \quad (\Omega/\text{m})
 \end{aligned}$$

集肤效应系数：

$$\begin{aligned}
 K_s &= 0.337 \times (100 \times 10 - 0.5)^{0.171} \\
 &= 1.09
 \end{aligned}$$

工作温度下导体的交流电阻为

$$\begin{aligned}
 R_T &= K_s \times R_0 \\
 &= 1.09 \times 3.397 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

$$= 3.70 \times 10^{-5} \quad (\Omega/\text{m})$$

(2) 热损耗计算, 母线表面辐射散热量由下式给出:

$$\begin{aligned} p_r &= F \cdot s \cdot k_e [(273 + \theta_c)^4 - (273 + \theta_0)^4] \quad (\text{W/m}) \\ &= 2 \times (100 + 10) \times 10^{-3} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 0.9 \\ &\quad \times [(273 + 70)^4 - (273 + 40)^4] \\ &= 47.63 \quad (\text{W/m}) \end{aligned}$$

母线自然对流散热量由下式给出:

$$p_c = p_{dl} + p_{da} + p_{db} \quad (\text{W/m})$$

两个竖直面散热量:

$$\begin{aligned} p_{dl} &= 2F_{dl} \times 4.71 \times 10^{-3} \times \left(\frac{\theta_c - \theta_0}{h} \right)^{1/4} \times (\theta_c - \theta_0) \\ &= 2 \times 100 \times 1 \times 10^{-3} \times 4.71 \times \left(\frac{70 - 40}{100 \times 0.1} \right)^{1/4} \times (70 - 40) \\ &= 37.19 \quad (\text{W/m}) \end{aligned}$$

水平面向上散热:

$$\begin{aligned} p_{da} &= F_{da} \times 4.3 \times 10^{-3} \left(\frac{\theta_c - \theta_0}{b} \right)^{1/4} \times (\theta_c - \theta_0) \\ &= 1 \times 10 \times 10^{-3} \times 4.3 \times \left(\frac{70 - 40}{10 \times 0.1} \right)^{1/4} \times (70 - 40) \\ &= 5.36 \quad (\text{W/m}) \end{aligned}$$

水平面向下散热:

$$\begin{aligned} p_{db} &= F_{db} \times 2.13 \times 10^{-3} \left(\frac{\theta_c - \theta_0}{b} \right)^{1/4} \times (\theta_c - \theta_0) \\ &= 10 \times 10^{-3} \times 2.13 \times \left(\frac{70 - 40}{10 \times 0.1} \right)^{1/4} \times (70 - 40) \\ &= 2.66 \quad (\text{W/m}) \\ p_o &= 37.19 + 5.36 + 2.66 \\ &= 45.21 \quad (\text{W/m}) \end{aligned}$$

(3) 载流量的计算, 载流量按式 (1-4-1) 计算:

$$I = \left[\frac{47.63 + 45.21}{3.7 \times 10^{-5}} \right]^{1/2} = 1584 \quad (\text{A})$$

1.5 架空裸导线载流量计算应用软件

适用范围: 本软件适用于国家标准 GB 1179—1983 (铝绞线及钢芯铝绞线) 系列产品稳态运行时的架空裸导线载流量计算。

计算依据: 依据 IEC—1059 标准和有关公式。

环境条件: 以我国的实际工程中通常采用的环境条件作为架空导线载流量计算的基准条件, 同时参考了 IEC—1597 标准中提供的国际上通用参数值, 具体数值如下:



风速 (相对导线 90°): 0.5m/s	[1.0] (括号内为 IEC—1597 的数值, 以下同)
日照强度: 1000W/m ²	[900]
吸收系数: 0.5 (黑色表面 0.7~0.9)	[0.5]
黑体辐射系数: 0.6 (黑色 0.7~0.8)	[0.6]
导体温度: 65~110℃, 由导体允许最高温度决定	[80, 100]
环境温度: 15~45℃	[20]
电源频率: 50Hz	[50]

根据现场环境条件可以提出特定的数据。

运行环境: DOS6.0 下的 UC DOS 各版本。

安装 QBASIC.EXE (如果系统中没有此文件)。

QBASIC.HLP

QBASIC.EXE 是 QBasic 的解释程序, QBASIC.HLP 是与解释程序联合使用的在线帮助文件, 这两个文件必须同时存在。如果在 QBasic 环境中储存了环境配置, 还将自动生成一个配置文件 QBASIC.INI。

操作步骤: 在上述环境下, 将带有载流量软件 A 盘插入 A 驱动器。

▶ 在 C: > \ 提示符下, 键入: QBASIC。

回车后则进入 QBasic 解释环境中。

▶ 按 Esc 键、Alt 键, 激活 Filt, 打开 open, 进入 A 盘。

▶ 打开文件, 屏幕显示:

欢迎使用架空裸导线 载流量计算软件

型号 N	名 称	代 号
LGJ	钢芯铝绞线	1
LJ	铝绞线	2
LH	铝合金绞线	3

根据屏幕的提示操作, 得到计算结果。下面举例示范。

请选择您所需要的型号并键入代码 N =

如果选择型号为: LGJ (钢芯铝绞线), 则在键盘上

键入数字 1, 然后按回车。屏上显示如下信息:

自行设计截面, 键入: 1
选择标准截面, 键入: 2

现在按标准系列截面选择载流量, 则在键盘上按数字 2, 然后按回车。这时屏上显示如下信息:

★ 使用标准系列截面说明 ★			
标称截面	代 号	标称截面	代 号
10/2	1	50/8	5
95/15	9	120/7	12
150/8	16	185/10	20
210/10	24	240/30	28
300/15	34	300/40	34
400/20	37	400/50	40
500/35	43	630/45	46
800/35	49	—	—

如需要查找 150/8 ~ 150/35 截面的载流量, 在键盘上按数码“16”, 然后回车。屏上显示信息:

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环 境 温 度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 ¹⁾ $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
150/8	20	—	—	—	—	—	—	0.1989	— $K = 0.9940 I^{0.0016}$
	60	415	380	345	305	260	205	0.2310	
	70	460	435	405	370	335	300	0.2390	
	80	505	480	455	425	395	365	0.2470	
	90	540	515	495	470	445	420	0.2550	
	100	570	550	530	510	485	465	0.2630	
150/20	20	—	—	—	—	—	—	0.1980	— $K = 1.0065 I^{0.0006}$
	60	420	385	350	310	260	205	0.2301	
	70	470	440	410	375	340	300	0.2381	
	80	510	485	460	430	400	370	0.2461	
	90	550	525	500	475	450	425	0.2540	
	100	580	560	540	515	495	470	0.2620	
150/25	20	—	—	—	—	—	—	0.1939	— $K = 0.9501 I^{0.0008}$
	60	425	390	355	315	265	210	0.2252	
	70	475	450	415	385	345	305	0.2330	
	80	520	495	470	440	410	375	0.2408	
	90	555	535	510	485	460	430	0.2486	
	100	590	570	550	525	500	480	0.2564	
150/35	20	—	—	—	—	—	—	0.1962	— $K = 1.0074 I^{0.0007}$
	60	425	390	355	315	265	210	0.2278	
	70	475	450	415	385	345	305	0.2357	
	80	520	495	470	440	410	375	0.2436	
	90	560	535	510	485	460	430	0.2515	
	100	590	570	550	525	505	480	0.2595	

注 依据 Morgan 公式计算的导体工作温度下交流电阻与直流电阻之比值与本表所给的导体截面下载流量范围内的值进行线性拟合而确定的计算式, 计算误差与前者之比不超过 3%。

附录 1 架空裸导线电性参数值

这里提供 IEC—1597 出版物关于架空导线电性参数计算值供参考, 其中导线编号相当于铝导体截面积, 对于标准系列截面可依照相近的导体编号参考相应的数值。

附表 1-1 铝绞线 (A1) 导体电阻、电抗和电容

导 体		导 体 电 阻 (Ω/km)					平均几何 半径 (mm)	电感阻抗 (Ω/km)	电容阻抗 (Ω/km)
编 号	根 数	直 流	交 流						
		20℃	20℃	50℃	80℃	100℃			
10	7	2.8633	2.8662	3.2127	3.5592	3.7902	1.47	0.3352	0.2872
16	7	1.7896	1.7914	2.0080	2.2245	2.3689	1.86	0.3205	0.2737
25	7	1.1453	1.1464	1.2851	1.4237	1.5161	2.32	0.3066	0.2610
40	7	0.7158	0.7165	0.8031	0.8898	0.9475	2.94	0.2917	0.2475
63	7	0.4545	0.4550	0.5100	0.5650	0.6016	3.70	0.2772	0.2343
100	19	0.2877	0.2883	0.3231	0.3576	0.3808	4.89	0.2597	0.2208
125	19	0.2302	0.2308	0.2587	0.2865	0.3050	5.49	0.2524	0.2141
160	19	0.1798	0.1804	0.2021	0.2239	0.2384	6.21	0.2447	0.2071
200	19	0.1439	0.1446	0.1620	0.1793	0.1909	6.93	0.2378	0.2008
250	19	0.1151	0.1159	0.1298	0.1436	0.1529	7.77	0.2306	0.1943
315	37	0.0916	0.0926	0.1036	0.1146	0.1219	8.83	0.2226	0.1877
400	37	0.0721	0.0733	0.0819	0.0905	0.0963	9.98	0.2149	0.1807
450	37	0.0641	0.0654	0.0730	0.0807	0.0858	10.56	0.2113	0.1775
500	37	0.0577	0.0591	0.0660	0.0728	0.0774	11.13	0.2080	0.1744
560	37	0.0515	0.0531	0.0592	0.0653	0.0694	11.79	0.2044	0.1712
630	61	0.0458	0.0476	0.0529	0.0584	0.0620	12.59	0.2003	0.1677
710	61	0.0407	0.0426	0.0474	0.0522	0.0554	13.36	0.1965	0.1643
800	61	0.0361	0.0383	0.0424	0.0466	0.0494	14.21	0.1927	0.1608
900	61	0.0321	0.0345	0.0382	0.0419	0.0444	15.06	0.1890	0.1575
1000	61	0.0289	0.0315	0.0348	0.0381	0.0403	15.89	0.1856	0.1545
1120	91	0.0258	0.0287	0.0316	0.0345	0.0365	16.84	0.1820	0.1512
1125	91	0.0231	0.0263	0.0288	0.0313	0.0331	17.81	0.1785	0.1480
1400	91	0.0207	0.0242	0.0264	0.0286	0.0301	18.85	0.1749	0.1447
1500	91	0.0193	0.0229	0.0250	0.0271	0.0284	19.51	0.1727	0.1428

注 摘自 IEC—1597 (1995) 附录 B 表 B.1. A1 型导体。

频率为 50Hz; 半径为 0.3048m。

导体编号相当于铝导体截面 mm^2 。

硬铝的电阻率 (A1) $\rho = 2.8264 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 。温度系数 $\alpha = 0.00403 \text{K}^{-1}$ 。

附表 1-2

铝合金绞线 (A2) 导体电阻、电抗和电容

导 体		导 体 电 阻 (Ω/km)					平均几何 半径 (mm)	电感阻抗 (Ω/km)	电容阻抗 (Ω/km)
编 号	根 数	直 流	交 流						
		20℃	20℃	50℃	80℃	100℃			
16	7	1.7896	1.7914	1.9849	2.1783	2.3073	1.99	0.3162	0.2697
25	7	1.1453	1.1464	1.2703	1.3941	1.4766	2.49	0.3021	0.2570
40	7	0.7158	0.7165	0.7939	0.8713	0.9229	3.15	0.2873	0.2435
63	7	0.4545	0.4550	0.5041	0.5532	0.5860	3.95	0.2731	0.2305
100	19	0.2877	0.2883	0.3194	0.3502	0.3709	5.27	0.2550	0.2165
125	19	0.2302	0.2308	0.2557	0.2805	0.2971	5.87	0.2482	0.2103
160	19	0.1798	0.1804	0.1998	0.2192	0.2322	6.67	0.2402	0.2030
200	19	0.1439	0.1446	0.1601	0.1756	0.1860	7.43	0.2334	0.1969
250	19	0.1151	0.1159	0.1283	0.1406	0.1489	8.33	0.2262	0.1902
315	37	0.0916	0.0926	0.1024	0.1122	0.1188	9.48	0.2181	0.1836
400	37	0.0721	0.0733	0.0810	0.0887	0.0938	10.71	0.2104	0.1766
450	37	0.0641	0.0654	0.0722	0.0790	0.0836	11.36	0.2067	0.1732
500	37	0.0577	0.0591	0.0652	0.0714	0.0755	11.98	0.2034	0.1702
560	61	0.0515	0.0531	0.0585	0.0640	0.0675	12.74	0.1995	0.1670
630	61	0.0458	0.0476	0.0524	0.0572	0.0604	13.51	0.1958	0.1637
710	61	0.0407	0.0426	0.0469	0.0512	0.0540	14.36	0.1920	0.1602
800	61	0.0361	0.0383	0.0420	0.0457	0.0483	15.25	0.1882	0.1567
900	91	0.0321	0.0345	0.0378	0.0411	0.0433	16.22	0.1844	0.1533
1000	91	0.0289	0.0315	0.0345	0.0374	0.0394	17.07	0.1811	0.1504
1120	91	0.0258	0.0287	0.0313	0.0339	0.0356	18.08	0.1775	0.1471
1250	91	0.0231	0.0263	0.0285	0.0308	0.0323	19.13	0.1740	0.1439

注 摘自 IEC-1597 (1995) 附录 B 表 B.2. A2 型导体。

频率为 50Hz; 半径为 0.3048mm。

导体编号相当于铝导体截面 mm^2 。

铝合金 (A2) 的电阻率 $\rho = 3.253 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 。温度系数 $\alpha = 0.00360 \text{K}^{-1}$ 。

附表 1-3

铝合金绞线 (A3) 导体电阻、电抗和电容

导 体		导 体 电 阻 (Ω/km)					平均几何 半径 (mm)	电感阻抗 (Ω/km)	电容阻抗 (Ω/km)
编 号	根 数	直 流	交 流						
		20℃	20℃	50℃	80℃	100℃			
16	7	1.7896	1.7914	1.9849	2.1783	2.3073	2.00	0.3159	0.2694
25	7	1.1453	1.1464	1.2703	1.3941	1.4766	2.50	0.3019	0.2567
40	7	0.7158	0.7165	0.7939	0.8713	0.9229	3.16	0.2871	0.2432
63	7	0.4545	0.4550	0.5041	0.5532	0.5860	3.95	0.2731	0.2305
100	19	0.2877	0.2883	0.3194	0.3502	0.3705	5.30	0.2546	0.2161
125	19	0.2302	0.2308	0.2557	0.2805	0.2971	5.91	0.2478	0.2099
160	19	0.1798	0.1804	0.1998	0.2192	0.2322	6.67	0.2402	0.2030
200	19	0.1439	0.1446	0.1601	0.1756	0.1860	7.46	0.2332	0.1966
250	19	0.1151	0.1159	0.1283	0.1406	0.1489	8.37	0.2259	0.1900
315	37	0.0916	0.0926	0.1024	0.1122	0.1188	9.52	0.2178	0.1834
400	37	0.0721	0.0733	0.0810	0.0887	0.0938	10.75	0.2102	0.1764
450	37	0.0641	0.0654	0.0722	0.0790	0.0836	11.40	0.2065	0.1731
500	37	0.0577	0.0591	0.0652	0.0714	0.0755	12.02	0.2032	0.1701
560	61	0.0515	0.0531	0.0585	0.0640	0.0675	12.82	0.1991	0.1677
630	61	0.0458	0.0476	0.0524	0.0572	0.0604	13.59	0.1955	0.1633
710	61	0.0407	0.0426	0.0469	0.0512	0.0540	14.40	0.1918	0.1600
800	61	0.0361	0.0383	0.0420	0.0457	0.0483	15.29	0.1881	0.1566
900	91	0.0321	0.0345	0.0378	0.0411	0.0433	16.30	0.1840	0.1531
1000	91	0.0289	0.0315	0.0345	0.0374	0.0394	17.19	0.1807	0.1500
1120	91	0.0258	0.0287	0.0313	0.0339	0.0356	18.16	0.1773	0.1469

注 摘自 IEC—1597 (1995) 附录 B 表 B.3—A3 型导体。

频率为 50Hz; 半径为 0.3048m。

导体编号相当于铝导体截面 mm^2 。

铝合金 (A3) 的电阻率 $\rho = 3.284 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 。温度系数 $\alpha = 0.00360 \text{ K}^{-1}$ 。

附表 1-4

铝-铝合金绞线 (A1/A2) 导体电阻、电抗和电容

导 体		导 体 电 阻 (Ω/km)					平均几何 半径 (mm)	电感阻抗 (Ω/km)	电容阻抗 (Ω/km)
编 号	根 数	直 流	交 流						
		20℃	20℃	50℃	80℃	100℃			
16	4/3	1.7896	1.7914	1.9898	2.1962	2.3337	1.92	0.3185	0.2720
25	4/3	1.1453	1.1464	1.2739	1.4060	1.4941	2.40	0.3044	0.2592
40	4/3	0.7158	0.7165	0.7955	0.8780	0.9330	3.03	0.2898	0.2457
63	4/3	0.4545	0.4550	0.5057	0.5582	0.5932	3.82	0.2752	0.2326
100	4/3	0.2863	0.2875	0.3192	0.3515	0.3735	4.80	0.2609	0.2195
125	12/7	0.2302	0.2306	0.2563	0.2829	0.3007	5.65	0.2506	0.2126
160	12/7	0.1798	0.1804	0.2000	0.2208	0.2346	6.38	0.2430	0.2050
200	12/7	0.1439	0.1452	0.1611	0.1775	0.1886	7.13	0.2360	0.1992
250	12/7	0.1151	0.1162	0.1289	0.1423	0.1511	7.97	0.2290	0.1929
250	18/19	0.1154	0.1167	0.1294	0.1426	0.1513	8.18	0.2274	0.1921
315	30/7	0.0916	0.0929	0.1033	0.1142	0.1242	8.98	0.2215	0.1867
315	18/19	0.0916	0.0928	0.1029	0.1029	0.1134	9.18	0.2201	0.1855
400	30/7	0.0721	0.0734	0.0816	0.0902	0.0958	10.09	0.2142	0.1800
400	18/19	0.0721	0.0733	0.0812	0.0894	0.0949	10.37	0.2125	0.1785
450	30/7	0.0641	0.0654	0.0728	0.0804	0.0855	10.71	0.2104	0.1766
450	18/19	0.0641	0.0654	0.0723	0.0796	0.0845	10.99	0.2088	0.1752
500	30/7	0.0577	0.0591	0.0656	0.0724	0.0770	11.28	0.2072	0.1736
500	18/19	0.0577	0.0591	0.0656	0.0724	0.0770	11.57	0.2056	0.1723
560	30/7	0.0515	0.0531	0.0589	0.0648	0.0688	11.97	0.2034	0.1702
560	54/7	0.0516	0.0532	0.0591	0.0651	0.0691	11.97	0.2034	0.1706
630	42/19	0.0458	0.0481	0.0534	0.0588	0.0624	12.88	0.1988	0.1662
630	24/37	0.0458	0.0481	0.0528	0.0582	0.0618	13.14	0.1976	0.1651
710	42/19	0.0407	0.0429	0.0475	0.0523	0.0555	13.69	0.1950	0.1628
710	24/37	0.0407	0.0427	0.0473	0.0517	0.0548	13.95	0.1938	0.1617
800	42/19	0.0361	0.0383	0.0424	0.0467	0.0495	14.50	0.1914	0.1595
800	24/37	0.0361	0.0383	0.0420	0.0463	0.0486	14.79	0.1902	0.1583
900	42/19	0.0321	0.0345	0.0379	0.0417	0.0442	15.39	0.1877	0.1561
900	54/37	0.0321	0.0351	0.0388	0.0426	0.0451	15.55	0.1870	0.1557
1000	72/19	0.0289	0.0319	0.0353	0.0388	0.0412	16.17	0.1845	0.1535
1000	54/37	0.0289	0.0318	0.0351	0.0386	0.0408	16.40	0.1837	0.1527
1120	72/19	0.0258	0.0287	0.0318	0.0349	0.0370	17.10	0.1810	0.1503
1120	54/37	0.0258	0.0286	0.0316	0.0347	0.0367	17.37	0.1800	0.1494
1250	72/19	0.0231	0.0263	0.0287	0.0316	0.0334	18.06	0.1776	0.1471
1250	54/37	0.0231	0.0263	0.0286	0.0313	0.0331	18.33	0.1767	0.1463
1400	72/19	0.0207	0.0242	0.0262	0.0283	0.0300	19.11	0.1740	0.1439

注 摘自 IEC-1597 (1995) 附录 B 表 B.4-A1/A2 型导体。

频率为 50Hz; 半径为 0.3048m。

导体编号相当于铝导体截面 mm^2 。

附表 1-5

铝-铝合金绞线 (A1/A2) 导体电阻、电抗和电容

导 体		导 体 电 阻 (Ω/km)					平均几何 半径 (mm)	电感阻抗 (Ω/km)	电容阻抗 (Ω/km)
编 号	根 数	直 流	交 流						
		20℃	20℃	50℃	80℃	100℃			
16	4/3	1.7896	1.7914	1.9879	2.1941	2.3315	1.92	0.3185	0.2719
25	4/3	1.1453	1.1464	1.2692	1.4009	1.4886	2.41	0.3042	0.2590
40	4/3	0.7158	0.7165	0.7966	0.8792	0.9343	3.04	0.2896	0.2456
63	4/3	0.4545	0.4550	0.5047	0.5570	0.5919	3.82	0.2752	0.2326
100	4/3	0.2863	0.2875	0.3189	0.3512	0.3732	4.80	0.2609	0.2195
125	12/7	0.2302	0.2306	0.2559	0.2825	0.3003	5.65	0.2506	0.2126
160	12/7	0.1798	0.1804	0.2004	0.2211	0.2350	6.41	0.2427	0.2053
200	12/7	0.1439	0.1452	0.1606	0.1770	0.1880	7.13	0.2360	0.1992
250	12/7	0.1151	0.1162	0.1292	0.1426	0.1514	8.01	0.2287	0.1926
250	18/19	0.1154	0.1167	0.1290	0.1421	0.1509	8.22	0.2271	0.1918
315	30/7	0.0916	0.0929	0.1035	0.1143	0.1215	8.98	0.2215	0.1867
315	18/19	0.0916	0.0928	0.1028	0.1132	0.1202	9.22	0.2199	0.1853
400	30/7	0.0721	0.0734	0.0817	0.0903	0.0960	10.13	0.2139	0.1798
400	18/19	0.0721	0.0733	0.0812	0.0894	0.0949	10.37	0.2125	0.1785
450	30/7	0.0641	0.0654	0.0727	0.0803	0.0854	10.76	0.2102	0.1764
450	18/19	0.0641	0.0654	0.0723	0.0796	0.0845	11.03	0.2086	0.1750
500	30/7	0.0577	0.0591	0.0656	0.0724	0.0769	11.32	0.2070	0.1734
500	18/19	0.0577	0.0591	0.0653	0.0718	0.0762	11.60	0.2054	0.1721
560	30/7	0.0515	0.0531	0.0589	0.0648	0.0688	11.97	0.2034	0.1702
560	54/7	0.0516	0.0532	0.0590	0.0650	0.0691	12.01	0.2032	0.1704
630	42/19	0.0458	0.0481	0.0533	0.0587	0.0623	12.88	0.1988	0.1663
630	24/37	0.0458	0.0481	0.0528	0.0582	0.0618	13.18	0.1974	0.1650
710	42/19	0.0407	0.0429	0.0475	0.0523	0.0555	13.69	0.1950	0.1628
710	24/37	0.0407	0.0427	0.0473	0.0516	0.0548	13.98	0.1937	0.1616
800	42/19	0.0361	0.0383	0.0424	0.0466	0.0495	14.54	0.1912	0.1594
800	24/37	0.0361	0.0383	0.0420	0.0462	0.0486	14.83	0.1900	0.1562
900	42/19	0.0321	0.0345	0.0379	0.0417	0.0442	15.43	0.1875	0.1560
900	54/37	0.0321	0.0351	0.0388	0.0426	0.0451	15.59	0.1868	0.1556
1000	72/19	0.0289	0.0319	0.0353	0.0388	0.0411	16.17	0.1845	0.1535
1000	54/37	0.0289	0.0318	0.0352	0.0386	0.0409	16.44	0.1835	0.1525
1120	72/19	0.0258	0.0287	0.0318	0.0349	0.0370	17.14	0.1809	0.1502
1120	54/37	0.0258	0.0286	0.0316	0.0347	0.0367	17.41	0.1799	0.1493
1250	72/19	0.0231	0.0263	0.0287	0.0315	0.0334	18.10	0.1775	0.1470
1250	54/37	0.0231	0.0263	0.0285	0.0313	0.0331	18.37	0.1765	0.1462
1400	72/19	0.0207	0.0242	0.0262	0.0283	0.0300	19.15	0.1739	0.1438

注 摘自 IEC—1597 (1995) 附录 B 表 B.5—A1/A3 型导体。

频率为 50Hz; 半径为 0.3048mm。

导体编号相当于铝导体截面 mm^2 。

附表 1-6

钢芯-铝绞线 (A1/SXY) 导体电阻、电抗和电容

导 体		导 体 电 阻 (Ω/km)					平均几何 半径 (mm)	电感阻抗 (Ω/km)	电容阻抗 (Ω/km)
编 号	根 数	直 流	交 流						
		20℃	20℃	50℃	80℃	100℃			
16	6/1	1.7934	1.7952	2.0122	2.2293	2.3740	1.303	0.3218	0.2693
25	6/1	1.1478	1.1489	1.2879	1.4268	1.5194	1.719	0.3074	0.2566
40	6/1	0.7174	0.7181	0.8049	0.8918	0.9496	2.228	0.2938	0.2431
63	6/1	0.4555	0.4560	0.5111	0.5662	0.6030	2.920	0.2796	0.2299
100	6/1	0.2869	0.2874	0.3221	0.3566	0.3798	3.833	0.2654	0.2170
125	18/1	0.2304	0.2310	0.2589	0.2867	0.3053	5.78	0.2492	0.2126
125	26/7	0.2310	0.2314	0.2594	0.2873	0.3059	6.37	0.2431	0.2098
160	18/1	0.1800	0.1806	0.2024	0.2241	0.2387	6.52	0.2416	0.2057
160	26/7	0.1805	0.1809	0.2028	0.2246	0.2391	7.18	0.2356	0.2027
200	18/7	0.1440	0.1446	0.1620	0.1794	0.1910	7.30	0.2345	0.1992
200	26/7	0.1444	0.1447	0.1622	0.1797	0.1914	8.03	0.2285	0.1963
250	22/7	0.1154	0.1160	0.1298	0.1437	0.1531	8.58	0.2244	0.1913
250	26/7	0.1155	0.1159	0.1298	0.1438	0.1531	9.00	0.2214	0.1897
315	45/7	0.0917	0.0924	0.1034	0.1145	0.1218	9.49	0.2180	0.1855
315	26/7	0.0917	0.0922	0.1032	0.1143	0.1217	10.10	0.2141	0.1832
400	45/7	0.0722	0.0731	0.0817	0.0904	0.0962	10.68	0.2106	0.1787
400	54/7	0.0723	0.0730	0.0817	0.0904	0.0962	11.18	0.2077	0.1773
450	45/7	0.0642	0.0652	0.0728	0.0805	0.0857	11.31	0.2070	0.1754
450	54/7	0.0643	0.0651	0.0728	0.0805	0.0857	11.87	0.2040	0.1738
500	45/7	0.0578	0.0588	0.0657	0.0727	0.0773	11.95	0.2036	0.1723
500	54/7	0.0578	0.0586	0.0655	0.0725	0.0771	12.51	0.2007	0.1708
560	45/7	0.0516	0.0527	0.0589	0.0650	0.0692	12.62	0.2001	0.1691
560	54/19	0.0516	0.0525	0.0587	0.0648	0.0690	13.24	0.1971	0.1675
630	45/7	0.0459	0.0472	0.0526	0.0580	0.0617	13.42	0.1963	0.1657
630	54/19	0.0459	0.0470	0.0524	0.0578	0.0615	14.05	0.1934	0.1641
710	45/7	0.0407	0.0421	0.0469	0.0517	0.0549	14.25	0.1925	0.1622
710	54/19	0.0407	0.0419	0.0467	0.0515	0.0547	14.90	0.1897	0.1601
800	72/7	0.0361	0.0379	0.0421	0.0463	0.0491	14.83	0.1900	0.1595
800	84/7	0.0362	0.0378	0.0420	0.0462	0.0491	15.33	0.1879	0.1585
800	54/19	0.0362	0.0376	0.0418	0.0460	0.0489	15.83	0.1859	0.1573
900	72/7	0.0321	0.0341	0.0378	0.0415	0.0440	15.74	0.1862	0.1561
900	84/7	0.0322	0.0339	0.0377	0.0414	0.0439	16.25	0.1842	0.1552
1000	72/7	0.0289	0.0311	0.0344	0.0377	0.0400	16.61	0.1829	0.1531
1120	72/19	0.0258	0.0282	0.0311	0.0341	0.0360	17.55	0.1794	0.1499
1120	84/19	0.0258	0.0279	0.0308	0.0338	0.0358	18.13	0.1774	0.1489
1250	72/19	0.0231	0.0257	0.0283	0.0309	0.0326	18.54	0.1759	0.1468
1250	84/19	0.0232	0.0255	0.0281	0.0307	0.0325	19.17	0.1738	0.1457

注 摘自 IEC—1597 (1995) 附录 B 表 B.6—A1/SXY 型导体。

频率为 50Hz; 半径为 0.3048m。

导体编号相当于铝导体截面 mm^2 。

附表 1-7

钢芯-铝合金绞线 (A2/SXY) 导体电阻、电抗和电容

导 体		导 体 电 阻 (Ω/km)					平均几何 半径 (mm)	电感阻抗 (Ω/km)	电容阻抗 (Ω/km)
编 号	根 数	直 流	交 流						
		20℃	20℃	50℃	80℃	100℃			
16	6/1	1.7934	1.7952	1.9891	2.1830	2.3122	1.422	0.3173	0.2653
25	6/1	1.1478	1.1489	1.2730	1.3971	1.4798	1.820	0.3044	0.2526
40	6/1	0.7174	0.7181	0.7957	0.8732	0.9249	2.408	0.2897	0.2391
63	6/1	0.4555	0.4560	0.5052	0.5544	0.5873	3.187	0.2751	0.2259
100	18/1	0.2880	0.2886	0.3197	0.3506	0.3713	5.55	0.2517	0.2149
125	18/1	0.2304	0.2310	0.2559	0.2808	0.2974	6.21	0.2447	0.2085
125	26/7	0.2310	0.2314	0.2564	0.2813	0.2979	6.82	0.2388	0.2057
160	18/1	0.1800	0.1806	0.2000	0.2195	0.2324	6.99	0.2373	0.2017
160	26/7	0.1805	0.1809	0.2005	0.2199	0.2329	7.71	0.2311	0.1986
200	18/7	0.1440	0.1446	0.1601	0.1757	0.1861	7.84	0.2300	0.1951
200	26/7	0.1444	0.1447	0.1604	0.1760	0.1864	8.64	0.2239	0.1921
250	22/7	0.1154	0.1160	0.1283	0.1408	0.1491	9.18	0.2201	0.1874
250	26/7	0.1155	0.1159	0.1283	0.1408	0.1491	9.66	0.2169	0.1857
315	45/7	0.0917	0.0924	0.1023	0.1121	0.1187	10.16	0.2137	0.1816
315	26/7	0.0917	0.0922	0.1021	0.1119	0.1185	10.83	0.2097	0.1792
400	45/7	0.0722	0.0731	0.0808	0.0886	0.0937	11.47	0.2061	0.1746
400	54/7	0.0723	0.0730	0.0807	0.0885	0.0937	12.03	0.2031	0.1731
450	45/7	0.0642	0.0652	0.0720	0.0789	0.0835	12.15	0.2025	0.1713
450	54/7	0.0643	0.0651	0.0720	0.0788	0.0835	12.76	0.1994	0.1697
500	45/7	0.0578	0.0588	0.0650	0.0712	0.0753	12.82	0.1991	0.1682
500	54/7	0.0578	0.0586	0.0648	0.0710	0.0751	13.44	0.1962	0.1667
560	45/7	0.0516	0.0527	0.0582	0.0637	0.0674	13.58	0.1955	0.1650
560	54/19	0.0516	0.0525	0.0580	0.0635	0.0672	14.21	0.1927	0.1635
630	72/7	0.0459	0.0473	0.0521	0.0570	0.0603	14.12	0.1931	0.1624
630	54/19	0.0459	0.0470	0.0518	0.0567	0.0599	15.06	0.1890	0.1602
710	72/7	0.0407	0.0423	0.0466	0.0508	0.0537	14.99	0.1893	0.1589
710	54/19	0.0407	0.0419	0.0462	0.0505	0.0533	16.00	0.1852	0.1567
800	72/7	0.0361	0.0379	0.0417	0.0454	0.0479	15.94	0.1854	0.1554
800	84/7	0.0362	0.0378	0.0415	0.0453	0.0478	16.45	0.1835	0.1545
900	72/7	0.0321	0.0341	0.0374	0.0407	0.0429	16.88	0.1818	0.1521
900	84/7	0.0322	0.0339	0.0373	0.0406	0.0428	17.45	0.1798	0.1511
1000	84/19	0.0289	0.0308	0.0338	0.0367	0.0388	18.37	0.1765	0.1481
1120	84/19	0.0258	0.0279	0.0305	0.0332	0.0349	19.45	0.1729	0.1499

注 摘自 IEC—1597 (1995) 附录 B 表 B.7 - A2/SXY 型导体。

频率为 50Hz; 半径为 0.3048m。

导体编号相当于铝导体截面 mm^2 。

附表 1-8

钢芯-铝合金绞线 (A3/SXY) 导体电阻、电抗和电容

导 体		导 体 电 阻 (Ω/km)					平均几何 半径 (mm)	电感阻抗 (Ω/km)	电容阻抗 (Ω/km)
编 号	根 数	直 流	交 流						
		20℃	20℃	50℃	80℃	100℃			
16	6/1	1.7934	1.7952	1.9891	2.1830	2.3122	1.431	0.3170	0.2650
25	6/1	1.1478	1.1489	1.2730	1.3971	1.4798	1.832	0.3041	0.2523
40	6/1	0.7174	0.7181	0.7957	0.8732	0.9249	2.424	0.2894	0.2388
63	6/1	0.4555	0.4560	0.5052	0.5544	0.5873	3.187	0.2751	0.2259
100	18/1	0.2880	0.2886	0.3197	0.3506	0.3713	5.55	0.2517	0.2149
125	18/1	0.2304	0.2310	0.2559	0.2808	0.2974	6.21	0.2447	0.2085
125	26/7	0.2310	0.2314	0.2564	0.2813	0.2979	6.86	0.2384	0.2053
160	18/1	0.1800	0.1806	0.2000	0.2195	0.2324	7.03	0.2369	0.2014
160	26/7	0.1805	0.1809	0.2005	0.2199	0.2329	7.75	0.2308	0.1983
200	18/7	0.1440	0.1446	0.1601	0.1757	0.1861	7.88	0.2297	0.1948
200	26/7	0.1444	0.1447	0.1604	0.1760	0.1864	8.68	0.2236	0.1918
250	22/7	0.1154	0.1160	0.1283	0.1408	0.1491	9.22	0.2199	0.1872
250	26/7	0.1155	0.1159	0.1283	0.1408	0.1491	9.70	0.2167	0.1855
315	45/7	0.0917	0.0924	0.1023	0.1121	0.1187	10.20	0.2135	0.1813
315	26/7	0.0917	0.0922	0.1021	0.1119	0.1185	10.88	0.2094	0.1789
400	45/7	0.0722	0.0731	0.0808	0.0886	0.0937	11.51	0.2059	0.1744
400	54/7	0.0723	0.0730	0.0807	0.0885	0.0937	12.07	0.2029	0.1729
450	45/7	0.0642	0.0652	0.0720	0.0789	0.0835	12.23	0.2021	0.1710
450	54/7	0.0643	0.0651	0.0720	0.0788	0.0835	12.80	0.1992	0.1695
500	45/7	0.0578	0.0588	0.0650	0.0712	0.0753	12.86	0.1989	0.1681
500	54/7	0.0578	0.0586	0.0648	0.0710	0.0751	13.40	0.1964	0.1665
560	45/7	0.0516	0.0527	0.0582	0.0637	0.0674	13.62	0.1953	0.1648
560	54/19	0.0516	0.0525	0.0580	0.0635	0.0672	14.29	0.1923	0.1632
630	72/7	0.0459	0.0473	0.0521	0.0570	0.0603	14.20	0.1927	0.1620
630	54/19	0.0459	0.0470	0.0518	0.0567	0.0599	15.15	0.1886	0.1599
710	72/7	0.0407	0.0423	0.0466	0.0508	0.0537	15.07	0.1890	0.1586
710	54/19	0.0407	0.0419	0.0462	0.0505	0.0533	16.08	0.1849	0.1564
800	72/7	0.0361	0.0379	0.0417	0.0454	0.0479	15.98	0.1853	0.1553
800	84/7	0.0362	0.0378	0.0415	0.0453	0.0478	16.53	0.1832	0.1542
900	72/7	0.0321	0.0341	0.0374	0.0407	0.0429	16.96	0.1815	0.1519
900	84/7	0.0322	0.0339	0.0373	0.0406	0.0428	17.53	0.1795	0.1508
1000	84/19	0.0289	0.0308	0.0338	0.0367	0.0388	18.49	0.1761	0.1478
1120	84/19	0.0258	0.0279	0.0305	0.0332	0.0349	19.57	0.1726	0.1445

注 摘自 IEC—1597 (1995) 附录 B 表 B.8 ~ A3/SXY 型导体。

频率为 50Hz; 半径为 0.3048mm。

导体编号相当于铝导体截面 mm^2 。



电缆额定载流量 计算(100%负荷因数)

2.1 一般情况

电缆额定载流量的计算公式是国际电工委员会(IEC)根据国际大电网会议(ICGRE)1964年的报告于1982年所制定的电缆额定载流量(100%负荷因数)计算标准。随后对该标准经过20多年来修改和增补,形成了现在的IEC 60287标准。根据实际情况对某些参数取值未作规定,诸如:

- ▶与电缆结构材料有关的参数(例如绝缘材料热阻系数),只给出代表性数值;
- ▶与环境条件有关的参数,其值可能变化范围较大,取决于电缆敷设现场的条件和状况;
- ▶来自于制造厂和用户之间协商的参数,包括安全裕度和运行状况(例如最高导体温度)。

这些参数有的与电缆所用材料有关,尤其是新材料的热阻系数需要通过测试求得。此外,对于直接埋地、管道、沟道或钢管中敷设的电缆,鉴于土壤的水分迁移而引起土壤干燥,其热阻系数发生巨大变化,必须现场实测,采取相应措施。为了准确的计算电缆在特定环境条件下的载流量,选取相应参数值时应特别加以考虑。

2.2 电缆额定载流量计算公式

电缆载流量计算公式是根据电缆稳态运行时所形成的热物理温度场微分方程的求解而得。根据电缆用于交流系统还是直流系统以及敷设方式的不同,载流量的计算公式也有所不同。此外,在空气中敷设时又有直接受阳光照射和不受阳光照射之分。土壤中敷设时当电缆表面温度超过50℃时,周围土壤发生水分迁移而引起土壤局部干燥,其载流量计算公式也不同。

2.2.1 空气中不受日光照射的交流电缆

对于电缆空气中敷设确切地说是无强迫对流散热的自由空气中的敷设,包括室内、室外、隧道和沟道中非连续的托架上、梯形支撑物或夹板间的敷设。从高于环境温度的温升

表达式中可导出交流电缆安全运行的载流量计算公式:

$$\Delta\theta = (I^2 R + 0.5 W_d) \cdot T_1 + [I^2 R(1 + \lambda_1) + W_d] \cdot n T_2 \\ + [I^2 R(1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d] \cdot n(T_3 + T_4)$$

式中 I ——一根导体中流过的电流, A;

$\Delta\theta$ ——高于环境温度的导体温升, K;

注: 环境温度是指敷设电缆的场合下周围介质的温度, 当电缆周围有任何局部热源的影响时, 其热量也不直接使电缆周围的温度上升。

R ——最高工作温度下导体单位长度的交流电阻, Ω/m ;

W_d ——导体绝缘单位长度的介质损耗, W/m ;

T_1 ——一根导体和金属套之间单位长度热阻, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$;

T_2 ——金属套和铠装之间内衬层单位长度热阻, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$;

T_3 ——电缆外护层单位长度热阻, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$;

T_4 ——电缆表面和周围介质之间单位长度热阻, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$;

n ——电缆(等截面并载有相同负荷的导体)中载有负荷的导体数;

λ_1 ——电缆金属套损耗相对于所有导体总损耗的比率;

λ_2 ——电缆铠装损耗相对于所有导体总损耗的比率。

从上述等式中可得出载流量计算公式如下:

$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta - W_d[0.5 T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{R T_1 + n R(1 + \lambda_1) T_2 + n R(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right\}^{0.5} \quad (2-2-1)$$

低压四芯电缆的载流量可等同于相同电压级和相同结构导体截面的三芯电缆载流量。

2.2.2 空气中不受日光照射的 5kV 及以下的直流电缆

直流电缆额定载流量是直接从式(2-2-1)简化得出:

$$I = \left[\frac{\Delta\theta}{R' T_1 + n R'(1 + \lambda_1) T_2 + n R'(T_3 + T_4)} \right]^{0.5} \quad (2-2-2)$$

式中 R' ——最高工作温度下导体单位长度的直流电阻, Ω/m 。

2.2.3 空气中直接受日光照射的交流电缆

当太阳光直射到电缆表面的场合下, 允许载流量由下式给出:

$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta - W_d[0.5 T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4^*)] - \sigma \cdot D_c^* \cdot H \cdot T_4^*}{R T_1 + n R(1 + \lambda_1) T_2 + n R(1 + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot (T_3 + T_4^*)} \right\}^{0.5} \quad (2-2-3)$$

式中 σ ——日光照射于电缆表面时的吸收系数;

H ——太阳辐射强度, 对于大多数纬度线的地区可取 $1000 \text{W}/\text{m}^2$, 也可取当地推荐的数值, W/m^2 ;

T_4^* ——考虑到日光照射时的电缆外部热阻, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$;

D_c^* ——电缆外径, m, 对于皱纹金属套 $D_c^* = (d_{oc} + 2t_3) \times 10^{-3}$;

t_3 ——外护层厚度, mm;

d_{α} ——正好与皱纹金属套波峰相切的假想同心圆柱体的直径, mm。

2.2.4 空气中直接受日光照射时的 5kV 及以下直流电缆

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - \sigma \cdot D_s^* HT_s^*}{R'T_1 + nR' + nR'(T_3 + T_4^*)} \right]^{0.5} \quad (2-2-4)$$

2.2.5 土壤发生局部干燥场合下的直接埋地交流电缆

下面方法仅适用于常规深度下孤立敷设的单根电缆(多芯或三根单芯电缆)单一回路。该方法从简单的两个区域相近的土壤物理模型导出,而邻接电缆周围土壤域变得干燥,另一区域则维持原有的土壤热阻系数,区域之间形成等温线的边界域,仅适合于将土壤热性能作为简单的条件而考虑的场合。

多于一个回路的敷设以及回路之间的间距 IEC 在考虑之中。

对孤立敷设单根电缆(多芯)或三根单芯电缆单一回路,当周围土壤域变干燥而引起外部热阻发生变化时的载流量计算由下式给出:

$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta - W_d[0.5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)] + (v-1)\Delta\theta_x}{R[T_1 + n(1+\lambda_1)T_2 + n(1+\lambda_1+\lambda_2)(T_3 + vT_4)]} \right\}^{0.5} \quad (2-2-5)$$

式中 v ——干燥和潮湿土壤域热阻系数之比率, $v = \rho_d/\rho_w$;

ρ_d ——干燥土壤的热阻系数, $K \cdot m/W$;

ρ_w ——自然土壤的热阻系数, $K \cdot m/W$;

θ_x ——土壤临界温度,即干燥与潮湿土壤之边界的温度, $^{\circ}C$;

θ_0 ——环境温度, $^{\circ}C$;

$\Delta\theta_x$ ——土壤临界温升,即高于环境温度的干燥与潮湿土壤之边界的温升 $\theta_x - \theta_0$, K 。

其它符号目前需要说明的是对于负荷相等、结构相同的多根电缆互不接触的敷设情况下 [2.10.2 (2) 节中的情况], T_4 值应利用潮湿的土壤热阻系数 ρ_w 计算。相互间热响应不能采用修正温升的方法计算 [如 2.10.2 (1) 条中情况]。 $\Delta\theta_x$ 和 ρ_d 由土壤状况方面的资料确定。适合的土壤参数 IEC 标准在考虑之中。在此期间,这些数值制造厂和用户之间可协商解决。根据有关土壤方面的资料和一般经验以下列出土壤热阻系数取值范围参考值:

(1) 自然土壤:指没有发生水分迁移的普通型(如有沙土、粘土等各组份构成)土壤。

1) 潮湿性土壤热阻系数取 $0.6 \leq \rho_w \leq 0.9 K \cdot m/W$ 。

2) 一般性土壤热阻系数取 $0.9 < \rho_w \leq 1.2 K \cdot m/W$ 。

3) 比较干燥的土壤热阻系数 $1.2 < \rho_w \leq 1.5 K \cdot m/W$ 。

(2) 干燥土壤:指发生水分迁移后土壤变干枯,含水率几乎处于零的土壤。根据土壤组份给出土壤热阻系数参考值:

1) 一般性土壤: $2.0 K \cdot m/W$ 。

2) 沙(或含砂砾)质土壤: $2.5 K \cdot m/W$ 。

3) 粘性(或含由其他杂质)土壤: $3.0 K \cdot m/W$ 。

2.2.6 土壤发生局部干燥场合下 5kV 及以下直流电缆

直流电缆的载流量从交流电缆的载流量公式简化得出：

$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta + (v-1)\Delta\theta_x}{R' \cdot [T_1 + nT_2 + n(T_3 + vT_4)]} \right\}^{0.5} \quad (2-2-6)$$

式中 R' ——最高工作温度下导体单位长度的直流电阻， Ω/m 。

2.2.7 土壤避免发生局部干燥场合下的交流电缆

在限定电缆表面温升不大于 $\Delta\theta_x$ 以避免水分迁移的理想场合下，相应载流量为：

$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta_x - W_d T_4}{nR \cdot T_4 (1 + \lambda_1 + \lambda_2)} \right\}^{0.5} \quad (2-2-7)$$

按 $\Delta\theta_x$ 而确定电流值可能导致导体温度超过其最大允许值，因而允许载流量应从上述公式或者从式 (2-2-1) 中取两者中较小的数值。

用适当的小于导体最大允许温度值来计算导体 R 值，可以估算运行温度，必要时可随后修改。

2.2.8 土壤避免干燥场合下的 5kV 及以下直流电缆

直流电缆的载流量可从交流电缆载流量的公式中简化得出：

$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta_x}{nR' \cdot T_4} \right\}^{0.5} \quad (2-2-8)$$

导体电阻与式 (2-2-6) 中 R' 相同。

2.3 导体交流电阻计算

导体最高工作温度下单位长度的交流电阻由下式给出，钢管电缆除外（见 2.3.5 节）：

$$R = R' (1 + Y_s + Y_p) \quad (2-3-1)$$

式中 R ——最高工作温度下导体的交流电阻， Ω/m ；

R' ——最高工作温度下导体的直流电阻， Ω/m ；

Y_s ——集肤效应因数；

Y_p ——邻近效应因数。

2.3.1 导体直流电阻

导体在其最高工作温度下单位长度直流电阻由下式计算：

$$R' = R_0 \times [1 + \alpha_{20}(\theta - 20)] \quad (2-3-2)$$

式中 R_0 ——20℃时导体的直流电阻， Ω/m 。

R_0 值直接引用标准 GB/T 3956—1997。对于固定敷设用的电缆导体用第 2 种绞合导体，20℃时的直流电阻见附表 2-1。电线电缆用软导体直流电阻采用第 5 种导体，20℃时的直流电阻见附表 2-2。对于在标准之外导体截面， R_0 值由制造厂和用户之间通过协商选取。计算导体电阻值用相应的电阻率列于表 2-3-1。

α_{20} ——每一绝对温度下 20℃时材料温度系数，见表 2-3-1 中标准值。

θ ——导体最高工作温度℃ (该值取决于所使用的绝缘材料类型), 见相应的电线电缆国家标准。

表 2-3-1 金属电阻率和温度系数

材 料	电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}$ (20℃)	电阻温度系数 α_{20}/K (20℃)
导体铜	1.7241×10^{-8}	3.93×10^{-3}
铝	2.8264×10^{-8}	4.03×10^{-3}
金属套、铠装	—	—
铅和合成铅	21.4×10^{-8}	4.0×10^{-3}
钢	13.8×10^{-8}	4.5×10^{-3}
青铜	3.50×10^{-8}	3.0×10^{-3}
不锈钢	70.0×10^{-8}	忽略
铝	2.84×10^{-8}	4.03×10^{-3}

注 摘自 IEC 60287-1-1 标准中表 1。

2.3.2 集肤效应因数 Y_s

集肤效应因数 Y_s 由下式计算:

$$Y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0.8x_s^4}$$

$$x_s^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} k_s \quad (2-3-3)$$

式中 f ——电源频率, Hz;

k_s 值见表 2-3-2 中。

表 2-3-2 集肤和邻近效应对 k_s 和 k_p 系数的经验值

导体类型	干燥与浸渍	k_s	k_p	导体类型	干燥与浸渍	k_s	k_p
铜导体	—	—	—	铝导体	—	—	—
圆绞线	是	1	0.8	圆导体	—	1	—
圆绞线	否	1	1	4 分割圆导体	—	0.28	—
紧压圆绞线	是	1	0.8	5 分割圆导体	—	0.19	—
紧压圆绞线	否	1	1	6 分割圆导体	—	0.12	—
分割圆线 ¹⁾	—	0.435	0.37				—
空心, 螺旋形绞线	是	2)	0.8				—
扇形型线	是	1	0.8				—
扇形型线	否	1	1				—

注 1) 所给的数值适用于 1500mm^2 及以下四分割导体 (无论是否有中心油道)。这些数据适用于各层有同一绞向的导体。

2) k_s 值由下式表示

$$k_s = \frac{d'_c - d_i}{d'_c + d_i} \left(\frac{d'_c + 2d_i}{d'_c + d_i} \right)^2$$

式中 d_i ——具有相同中心油道的导体内径, mm;

d'_c ——具有相同中心油道的等效实心导体外径, mm。

只要 x_p 不超过 2.8, 上述公式是准确的, 因而适合于大多数实际情况。

对于扇形和椭圆形导体, 在无其他替换公式时推荐上述公式。

2.3.3 对于二芯或二根单芯电缆的邻近效应因数 Y_p

邻近效应因数 Y_p 由下式给出:

$$Y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0.8x_p^4} \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 \times 2.9$$

$$x_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} k_p \quad (2-3-4)$$

式中 d_c ——导体直径, mm;

s ——各导体轴心之间距离, mm。

k_p 值表 2-3-2 给出。

只要 x_p 不超过 2.8, 上述公式是准确的, 因而适用于大多数实际情况。

2.3.4 对于三芯或三根单芯电缆的邻近效应因数 Y_p

(1) 圆形导体电缆: 邻近效应因数由下式给出:

$$Y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0.8x_p^4} \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 \times \left[0.312 \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{x_p^4}{192 + 0.8x_p^4} + 0.27} \right]$$

$$x_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} k_p \quad (2-3-5)$$

式中 d_c ——导体直径, mm;

s ——各导体轴心之间距离, mm。

对于平面排列的电缆, s 为相邻相间距, 在相邻相之间距不等的场合 $s = \sqrt{s_1 \cdot s_2}$ 。

k_p 值表 2-3-2 给出。

只要 x_p 不超过 2.8, 上述公式是准确的, 因而适用于大多数实际情况。

(2) 成型导体电缆: 对成型导体 (如扇形等) 的多芯电缆情况下, Y_p 值为式 (2-3-5) 计算值的 2/3, 其中:

$$d_c = d_s$$

d_s ——表示其截面和紧压程度均等同于圆导体的直径, mm;

$$s = d_s + t$$

t ——导体之间绝缘厚度, mm。

k_p 值表 2-3-2 给出。

只要 x_p 不超过 2.8, 上述公式是准确的, 因而适用于大多数实际情况。

2.3.5 钢管电缆中集肤和邻近效应

对于钢管电缆的集肤和邻近效应按式 (2-3-3)、式 (2-3-4) 和式 (2-3-5) 计算值再乘以 1.5 的因数, 即:

$$R = R' [1 + 1.5 \cdot (y_s + y_p)] \quad (\Omega/m) \quad (2-3-6)$$

2.4 绝缘损耗 (仅适用于交流电缆)

绝缘损耗与电压有关,表 2-4-1 给出三芯屏蔽电缆和单芯电缆常用的绝缘材料在 U_0 值下绝缘损耗因数。对于非屏蔽多芯电缆或直流电缆不需要计算绝缘损耗。

每相中单位长度的绝缘损耗由下式给出:

$$W_d = \omega \cdot c \cdot U_0^2 \cdot \lg \delta \quad (\text{W/m})$$

$$\omega = 2\pi f \quad (2-4-1)$$

式中 U_0 ——对地电压(相电压), V;

$\lg \delta$ ——在电源系统和工作温度下绝缘损耗因数,列于表 2-4-1;

c ——单位长度电缆电容, F/m。

圆形导体电容由下式给出:

$$c = \frac{\epsilon}{18 \ln \left(\frac{D_i}{d_c} \right)} \times 10^{-9} \quad (\text{F/m})$$

ϵ ——绝缘材料的介电系数, ϵ 值在表 2-4-1 中给出;

D_i ——绝缘层直径(屏蔽层除外), mm;

d_c ——导体直径,(如果有屏蔽层则包括屏蔽层), mm。

椭圆形导体,如果用长轴和短轴直径的几何平均值取代 D_i 和 d_c ,则可使用相同的公式。

表 2-4-1 工频下中压和高压电缆绝缘材料的相对介电系数和损耗因数

电 缆 类 型	ϵ	$\lg \delta^{(1)}$	电 缆 类 型	ϵ	$\lg \delta^{(1)}$
浸渍纸绝缘电缆(固态型,充分浸渍,预浸渍或整体浸渍)	—	—	其他类型绝缘电缆 ²⁾	—	—
不滴流	4	0.01	丁基橡胶	4	0.050
充油、自容 ²⁾ $U_0 \leq 36\text{kV}$	3.6	0.0035	乙丙橡胶(EPR)18/30(36)kV 及以下电缆	3	0.020
$U_0 \leq 87\text{kV}$	3.6	0.0033	大于 18/30(36)kV 的电缆	3	0.005
$U_0 \leq 160\text{kV}$	3.5	0.0030	聚氯乙烯(PVC)	8	0.10
$U_0 \leq 220\text{kV}$	3.5	0.0028	聚乙烯(PE)(高密度和低密度)	2.3	0.001
油压、钢管型 ²⁾	3.7	0.0045	交联聚乙烯(XLPE)	—	—
外气压 ²⁾	3.6	0.0040	18/30(36)kV 及以下电缆(无填充)	2.5	0.004
内气压 ²⁾	3.4	0.0045	大于 18/30(36)kV 电缆(无填充)	2.5	0.001
			大于 18/30(36)kV 电缆(填充)	3.0	0.005

注 1) 最高允许温度下的安全值,对于各种类型电缆适用于通常所规定的最高电压。

2) 见 IEC 60287-1-1 表 3。对于 U_0 等于或大于表 2-4-2 中所列数值时要考虑绝缘损耗。

表 2-4-2

各类电缆的 U_0 (kV) 值

电 缆 类 型	U_0 (kV)	电 缆 类 型	U_0 (kV)
浸渍纸绝缘电缆	—	聚氯乙烯 (PVC)	6
固态型	38	聚乙烯 (高密度、低密度)	127
充油和充气	63.5	交联聚乙烯 (无填充)	127
丁基橡胶	18	交联聚乙烯 (填充)	63.5
乙丙橡胶 (EPR)	63.5		

2.5 金属套和屏蔽的损耗 (仅适用于交流电缆)

金属套或屏蔽中的功率损耗 λ_1 包括环流损耗 (λ'_1) 和涡流损耗 (λ''_1), 因此总损耗为

$$\lambda_1 = \lambda'_1 + \lambda''_1$$

这一部分对于金属套或屏蔽损耗的计算公式是以金属套或屏蔽损耗与导体的总功率损耗之比率表示, 对每个特定情况应指出必须考虑的损耗类型。

(1) 单芯电缆公式仅适用于单回路并忽略了接地回路的影响。

(2) 对于光滑金属套和皱纹金属套分别给出计算方法。

(3) 对于构成三相线路的单芯电缆, 其带电段的金属套两端互连接地的情况, 只需要考虑由金属套中环流引起的损耗 (见 2.5.1, 2.5.2 和 2.5.3)。带电段定义为电缆线路的一部分, 其两端的所有电缆金属套或屏蔽均牢固互连后接地。

(4) 通常也允许线路中某些点之间增加间距 (见 2.5.4)。

(5) 对大截面分割导体的电缆, 由于计及金属套中涡流损耗, 则损耗因数应予增加 (见 2.5.4)。

(6) 对交叉互连, 认为各小段电性完全相同且金属套中由环流引起的损耗可忽略是不符合实际的。考虑此电性不平衡而引起金属套中损耗增加见 2.5.6 中推荐的计算方法。

(7) 计算金属套电阻 R_s 所用铅和铝的电阻率和温度系数见表 2-3-1。

2.5.1 两根单芯电缆和三根单芯电缆 (三角形排列) 带电段金属套两端互连

对两根单芯电缆或三根单芯电缆 (呈三角形排列) 金属套两端互连接地, 损耗因数由下式给出:

$$\lambda'_1 = \frac{R_s}{R} \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2} \quad (2-5-1)$$

式中 R_s ——在最高工作温度下电缆单位长度金属套或屏蔽的电阻, Ω/m ;

$$R_s = \frac{\rho_s}{A_s} [1 + \alpha_s (\theta \cdot \eta - 20)] \quad (\Omega/\text{m})$$

ρ_s ——金属套所用材质的导电率, $\Omega \cdot \text{m}$;

A_s ——金属套的截面积, mm^2 ;

α_s ——电阻温度系数, $1/\text{K}$;

θ ——导体工作温度, $^{\circ}\text{C}$;

η ——金属套的温度相对于导体温度的比率, 与绝缘热阻大小有关, 一般可取 (0.7~0.8);

X ——电缆单位长度金属套或屏蔽的电抗, Ω/m 。

$$X = 2\omega 10^{-7} \ln\left(\frac{2s}{d}\right)$$

$$\omega = 2\pi \times f \quad (1/\text{s})$$

f ——频率, Hz ;

s ——所考虑的带电段内各导体轴线之间的距离, mm ;

d ——金属套平均直径, mm 。

对椭圆形线芯

$$d = \sqrt{d_M \cdot d_m}$$

d_M 和 d_m 分别为金属套的长轴和短轴直径。

对皱纹金属套

$$d = 0.5 \times (D_{\infty} + D_n)$$

D_{∞} ——正好与皱纹金属套波峰相切的假定的同心圆柱体的直径, mm ;

D_n ——正好与皱纹金属套波谷内表面相切的假定的同心圆柱体的直径, mm 。

$\lambda'_1 = 0$ 即涡流损耗忽略不计。对分割结构的大截面导体的电缆按 2.5.5 计算除外。

2.5.2 正常换位带电段金属套两端互连且平面排列的三根单芯电缆

对于平面排列的三根单芯电缆, 中间一根电缆与两侧的电抗间距相等, 电缆正常换位且在第三个换位点金属套互连时, 损耗因数由下式给出:

$$\lambda' = \frac{R_s}{R} \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X_1}\right)^2} \quad (2-5-2)$$

式中 X_1 ——金属套单位长度电抗, Ω/m 。

$$X_1 = 2\omega 10^{-7} \ln\left[2 \times \sqrt{2} \cdot \left(\frac{S}{d}\right)\right]$$

$\lambda''_1 = 0$ 即涡流损耗忽略不计。对分割结构的大截面导体的电缆按 2.5.5 计算除外。

2.5.3 平面排列不换位且带电段金属套两端互连的三根单芯电缆

三根单芯电缆平面排列, 中间一根与两侧的电抗间距相等, 不换位, 金属套两端互连时最大损耗的那根电缆 (即滞后相的外侧电缆) 的损耗因数由下式给出:

$$\lambda'_{II} = \frac{R_s}{R} \left[\frac{0.75P^2}{R_s^2 + P^2} + \frac{0.25Q^2}{R_s^2 + Q^2} + \frac{2R_s PQX_m}{\sqrt{3}(R_s^2 + P^2)(R_s^2 + Q^2)} \right] \quad (2-5-3)$$

另一外侧电缆的损耗因数为:

$$\lambda'_{II} = \frac{R_s}{R} \left[\frac{0.75P^2}{R_s^2 + P^2} + \frac{0.25Q^2}{R_s^2 + Q^2} - \frac{2R_s PQX_m}{\sqrt{3}(R_s^2 + P^2)(R_s^2 + Q^2)} \right] \quad (2-5-4)$$

中间一根电缆的损耗因数为:

$$\lambda'_{1m} = \frac{R_s}{R} \times \frac{Q^2}{R_s^2 + Q^2} \quad (2-5-5)$$

$$P = X + X_m$$

$$Q = X - X_m/3$$

式中 X ——对于两根相邻单芯电缆单位长度金属套或屏蔽的电抗, Ω/m ;

$$X = 2\omega 10^{-7} \ln\left(\frac{2S}{d}\right)$$

X_m ——当电缆平面形排列时, 某一外侧电缆金属套与另外两根电缆导体之间单位长度电缆的互抗, Ω/m 。

$$X_m = 2\omega 10^{-7} \ln(2) \quad (\Omega/\text{m})$$

$\lambda''_1 = 0$ 即涡流损耗忽略。大截面分割导体的电缆按 2.5.5 计算 λ''_1 值除外。

空气中敷设的电缆载流量计算公式中应以式 (2-5-3) 为依据, 即载有滞后相的外侧电缆的损耗。

2.5.4 金属套各互连点之间单芯电缆的间距不等

由于单芯电缆回路在金属套的两端牢固互连也可能在其间某些接点间引起环流以及由此产生的损耗随着电缆间距增大而增加, 因而互连点间的电缆间距应尽量靠近。但考虑到电缆损耗和电缆相互间热影响时, 应尽力求得最佳间距值。

一般情况下沿整条线路敷设电缆按同一间距往往是不可能的。当整条线路带电线段不可能按一个固定的间距敷设时, 下面推荐一个有关金属套环流损耗的计算方法。线路的带电线段定义为所有电缆金属套互连的两点之间的线路部分。下面推荐方法适合于计算该段的损耗因数, 但应注意相应的导体电阻值和外部热阻值的计算必须以该段上电缆间距最近处为计算基础。

(1) 间距值是变量: 沿线路的带电线路段的间距不是常量而是一个已知的变量, 则 2.5.1, 2.5.2 和 2.5.3 中 X 值由下式求得:

$$X = \frac{l_a X_a + l_b X_b + \cdots + l_n X_n}{l_a + l_b + \cdots + l_n}$$

式中 $l_a, l_b, \cdots, l_n$ ——沿着线路带电段各个不同间距的线段长度;

$X_a, X_b, \cdots, X_n$ ——电缆单位长度电抗, 其相应公式见 2.5.1, 2.5.2 和 2.5.3, 公式中采用相应的间距值为 $S_a, S_b, \cdots, S_n$ 。

(2) 间距值未知数: 电缆之间的任何线段的间距变化值未知且不能预料时, 按设计间距计算该段的损耗, 然后增加 25%, 实践证明该值对铅套高压电缆是适合的。如果认为增加 25% 不适合于特定的电缆线路, 可通过协商采取不同的值。

(3) 线段端部散开: 在线路带电段端部扩散的情况下, 按 (2) 估算的裕度不够时, 建议先估算一个可能的间距按 (1) 方法计算损耗。

注意: 该增值不适合于单点互连或交叉互连的电缆线路 (见 2.5.6)。

2.5.5 大截面分割导体效应

在电缆的导体邻近效应减小的场合下, 如采用绝缘分割结构的大截面导体, 2.5.1、

2.5.2 和 2.5.3 中金属套损耗因数 λ''_1 不能忽略。对于相同的电缆结构按 2.5.6 中求得的 λ''_1 值应再乘以因数 F ：

$$F = \frac{4M^2N^2 + (M + N)^2}{4(M^2 + 1)(N^2 + 1)}$$

式中 三角形排列的电缆： $M = N = \frac{R_s}{X}$

等间距平面排列的电缆： $M = \frac{R_s}{X + X_m}$

等间距平面排列的电缆： $N = \frac{R_s}{X - \frac{X_m}{3}}$

沿线路段的电缆间距不等时按 2.5.4 (1) 计算 X 值。

2.5.6 金属套单点互连或交叉互连的单芯电缆

(1) 涡流损耗：金属套单点互连或交叉互连的单芯电缆涡流损耗 λ''_1 由下式给出：

$$\lambda''_1 = \frac{R_s}{R} \left[g_s \lambda_0 (1 + \Delta_1 + \Delta_2) + \frac{(\beta_1 t_s)^4}{12 \times 10^{12}} \right] \quad (2-5-6)$$

式中 相邻电缆引起该电缆金属套涡流损耗

$$g_s = 1 + \left(\frac{t_s}{D_s} \right)^{1.74} (\beta_1 D_s 10^{-3} - 1.6)$$

$$\beta_1 = \left[\frac{4\pi\omega}{10^7 \rho_s} \right]^{1/2}$$

ρ_s ——工作温度下金属套材料的电阻率，见表 2-3-1， $\Omega \cdot m$ ；

D_s ——电缆金属套外径，mm，对于皱纹金属套电缆，使用平均外径： $\frac{1}{2} (D_{oc} + D_{in}) + t_s$ ；

t_s ——金属套厚度，mm；

$$\omega = 2\pi f$$

对于铅套电缆 g_s 可取 1，而 $\frac{(\beta_1 t_s)^4}{12 \times 10^{12}}$ 可忽略。

对于铝套电缆，当 $D_s > 70\text{mm}$ 或金属套厚度 t_s 大于常用厚度时，这两项都需要计算。

λ_0 、 Δ_1 和 Δ_2 计算式如下：

其中： $m = \frac{\omega}{R_s} \times 10^{-7}$ 当 $m \leq 0.1$ 时， Δ_1 和 Δ_2 可忽略不计

三根单芯电缆呈三角形排列：

$$\lambda_0 = 3 \left(\frac{m^2}{1 + m^2} \right) \left(\frac{d}{2S} \right)^2$$

$$\Delta_1 = (1.14 m^{2.45} + 0.33) \left(\frac{d}{2S} \right)^{(0.92m + 1.66)}$$

$$\Delta_2 = 0$$

三根单芯电缆平面排列:

中间电缆:

$$\lambda_0 = 6 \left(\frac{m^2}{1 + m^2} \right) \left(\frac{d}{2S} \right)^2$$

$$\Delta_1 = 0.86 m^{3.06} \left(\frac{d}{2S} \right)^{(1.4m+0.7)}$$

$$\Delta_2 = 0$$

越前相的外侧电缆:

$$\lambda_0 = 1.5 \left(\frac{m^2}{1 + m^2} \right) \left(\frac{d}{2S} \right)^2$$

$$\Delta_1 = 4.7 m^{0.7} \left(\frac{d}{2S} \right)^{(0.16m+2)}$$

$$\Delta_2 = 21 m^{3.3} \left(\frac{d}{2S} \right)^{(1.47m+5.06)}$$

滞后相的外侧电缆:

$$\lambda_0 = 1.5 \left(\frac{m^2}{1 + m^2} \right) \left(\frac{d}{2S} \right)^2$$

$$\Delta_1 = \frac{0.74(m+2)m^{0.5}}{2 + (m-0.3)^2} \left(\frac{d}{2S} \right)^{(m+1)}$$

$$\Delta_2 = 0.92 m^{3.7} \left(\frac{d}{2S} \right)^{(m+2)}$$

(2) 环流损耗: 在金属套单点互连或交叉互连接地且每个大段都分成电性相同的三个小段场合下, 单芯电缆环流损耗 $\lambda'_1 = 0$ 。

在交叉互连线路所含各段的不平衡且不能忽略的情况下, 必须计及产生剩余电压而导致线路段环流损耗。

对于已知各小段实际长度的线路, 损耗因数 λ'_1 计算按每大段两端互连接地而不交叉互连的情况下计算电缆在此排列条件下的环流损耗因数后再乘以下述计算值:

$$\left[\frac{p+q-2}{p+q+1} \right]^2$$

q 、 p 、 a ——任何大段中两个较长的小段分别为最小段 a 长度的 q 、 p 倍数 (即这个段长度分别为 a 、 pa 和 qa , 其中 a 为最短线段)。

此公式仅涉及到各小段的长度不等的情况。

任何间距的变化也必须考虑。

在各小段长度未知的情况下, 以敷设线路的累积经验为依据, 推荐 λ'_1 值为:

对于直接敷设的电缆 $\lambda'_1 = 0.03$

对于敷设在管道中的电缆 $\lambda'_1 = 0.05$

2.5.7 二芯统包金属套非铠装电缆

二芯统包金属套非铠装电缆, 环流损耗 λ'_1 忽略不计, 损耗因数由下述相应的公式计

算:

圆形或椭圆形导体:

$$\lambda''_1 = \frac{16\omega^2 \times 10^{-14}}{R \cdot R_s} \left(\frac{c}{d} \right)^2 \left[1 + \left(\frac{c}{d} \right)^2 \right] \quad (2-5-7)$$

扇形导体:

$$\lambda''_1 = \frac{10.8\omega^2 \times 10^{-16}}{R \cdot R_s} \left(\frac{1.48r_1 + t}{d} \right)^2 \left[12.2 + \left(\frac{1.48r_1 + t}{d} \right)^2 \right] \quad (2-5-8)$$

$$\omega = 2\pi f$$

式中 f ——频率, Hz;

c ——一根导体轴心和电缆轴心之间距离, mm;

r_1 ——两个扇形导体的外接圆半径, mm;

d ——金属套平均直径, mm。

对椭圆形导体 $d = \sqrt{d_M \cdot d_m}$ 式中 d_M 、 d_m 分别为椭圆的长轴和短轴平均直径。

对于皱纹金属套 $d = \frac{1}{2} (D_\infty + D_n)$

2.5.8 三芯统包金属套非铠装电缆

三芯统包金属套非铠装电缆, 环流损耗 λ'_1 忽略不计, 损耗因数由下式给出:

圆形或椭圆形导体, 其中金属套电阻 $R_s \leq 100\mu\Omega/m$ 时:

$$\lambda''_1 = \frac{3R_s}{R} \left[\left(\frac{2c}{d} \right)^2 \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{\omega} \times 10^7 \right)^2} + \left(\frac{2c}{d} \right)^4 \frac{1}{1 + 4 \left(\frac{R_s}{\omega} \times 10^7 \right)^2} \right] \quad (2-5-9)$$

圆形或椭圆形导体, 其中金属套电阻 $R_s > 100\mu\Omega/m$ 时:

$$\lambda''_1 = \frac{3.2\omega^2}{R \cdot R_s} \left(\frac{2c}{d} \right)^2 \times 10^{-14} \quad (2-5-10)$$

扇形导体 R_s 为任意值:

$$\lambda''_1 = \frac{0.94R_s}{R} \left[\left(\frac{2r_1 + t}{d} \right)^2 \frac{1}{1 + (R_s \times 10^7 / \omega)^2} \right] \quad (2-5-11)$$

式中 r_1 ——三根扇形导体的外接圆半径, mm;

t ——导体之间绝缘厚度, mm;

d ——金属套平均直径, mm。

椭圆形线芯 $d = \sqrt{d_M \cdot d_m}$ 式中 d_M 和 d_m 分别为金属套的长轴和短轴直径。

皱纹金属套: $d = \frac{1}{2} (D_\infty + D_n)$

2.5.9 二芯和三芯钢带铠装电缆

钢带铠装使金属套涡流损耗增加, 因此, 如果电缆有钢带铠装则按 2.5.7 和 2.5.8 所计算的 λ''_1 值乘以下述因数:

$$\left[1 + \left(\frac{d}{d_A} \right)^2 \frac{1}{1 + \frac{d_A}{\mu\delta}} \right]^2 \quad (2-5-12)$$

式中 d_A ——铠装平均直径, mm;
 μ ——钢带相对导磁率, 通常取 300;
 δ ——铠装等效厚度, mm;

$$\delta = \frac{A}{\pi \cdot d_A}$$

A ——铠装横截面积, mm^2 。

该修正系数仅适用于钢带厚度为 0.3~1.0mm。

2.5.10 分相铅包 (SL 型) 铠装电缆

对每个线芯有单独铅套的三芯电缆 $\lambda'_1 = 0$, 而金属套损耗因数由下式给出:

$$\lambda'_1 = \frac{R_s}{R} \frac{1.5}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2} \quad (2-5-13)$$

$$X = 2\omega 10^{-7} \ln\left(\frac{2s}{d}\right) \quad (\Omega/\text{m})$$

式中 s ——导体轴心之间距离, mm。

对非铠装分相铅包电缆的损耗因数按式 (2-5-1) 计算。

2.5.11 钢管电缆屏蔽和金属套中损耗

如果钢管电缆每根导体仅在绝缘外有屏蔽, 例如铅金属套或铜带, 屏蔽损耗对导体损耗之比率计算可用 2.5.1 中单芯电缆金属套的公式计算, 但必须对钢管的存在而引起的附加损耗而进行修正。修正公式为:

$$\lambda'_1 = \frac{R_s}{R} \frac{1.5}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2} \quad (2-5-14)$$

如果每个线芯有隔膜套和非磁性加强层, 则可使用同一公式, 但应以金属套和加强层的电阻取代 R_s , 直径 d 由 d' 值取代:

$$d' = \sqrt{\frac{d^2 + d_2^2}{2}} \quad (2-5-15)$$

式中 d' ——金属套和加强带平均直径, mm;

d ——金属套或屏蔽的平均直径, mm;

d_2 ——加强带的平均直径, mm。

注: 对椭圆形线芯, d 和 d_2 采用 $\sqrt{d_m \cdot d_n}$ 代之, 式中 d_m 和 d_n 分别为长轴和短轴的平均直径。

2.6 对于铠装、加强带和钢管的损耗因数 (仅适用于工频交流电缆)

在本节计算公式中对电缆的金属铠装、加强带或钢管中产生的功率损耗用所有导体功率损耗增量 λ_2 表示。铠装和加强带所用材料相应的电阻率和电阻温度系数见表 2-3-1。

2.6.1 非磁性铠装或加强层

一般的计算方法是把加强层的损耗和金属套损耗合并在一起计算。在 2.5 节中给出公式, 用金属套和加强层的并联电阻代替单一金属套电阻 R_s 。用金属套和加强层直径的方

均根值代替金属套的平均直径 d (见 2.5.11)。此方法适合于单芯、双芯和多芯电缆。

加强层的电阻取决于加强层的节距, 即:

(1) 如果加强带节距很长 (纵向加强带), 则其电阻值按与电缆单位长度加强带用量相等以及加强与带内径相同的等效圆柱体来计算。

(2) 如果加强带沿电缆轴线约成 54° 角绕包, 则其电阻值按 (1) 项计算值的 2 倍计算。

(3) 如果加强带绕包节距很短 (径向加强带), 则认为其电阻值无限大, 损耗可忽略。

(4) 如果有两层及以上加强带相互接触且节距很短, 则其电阻值是 (1) 项计算值的 2 倍。

这些考虑也适用 2.5.11 节中计及到的多芯钢管型电缆。

2.6.2 磁性铠装和加强层

(1) 单芯铅套电缆——钢丝铠装、金属套两端互连: 适用于电缆间距很大 (10m 及以上) 的敷设场所。金属套和铠装损耗的合并值通常比实际值大得多, 载流量偏于安全。IEC 正在考虑更精确和更适用的计算方法。下述方法没有计及周围介质的可能影响, 特别适合于水底敷设情况下的电缆。

对于空气中敷设且电缆相互之间接触或有距离时, 根据试验和工程现场测量证明。对于钢丝铠装电缆无论有无铜丝阻磁结构, 其铠装损耗大于线芯损耗。这已有多次试验利用下述公式计算出的损耗值代入载流量计算式, 求得载流量值是不安全的。详见 3.4 节。

金属套和铠装两端均连接在一起的钢丝铠装单芯电缆的铅套和铠装的损耗计算如下:

等效电阻: 金属套和铠装并联的等效电阻由下式给出:

$$R_r = \frac{R_s \cdot R_A}{R_s + R_A} \quad (2-6-1)$$

式中 R_s ——最高工作温度下电缆单位长度金属套电阻, Ω/m ;

R_A ——最高工作温度下电缆单位长度铠装交流电阻, Ω/m 。

钢丝铠装交流电阻变化范围从钢丝 ($\phi 2\text{mm}$) 直流电阻的 1.2 倍到钢丝 ($\phi 5\text{mm}$) 直流电阻的 1.4 倍, 该电阻值对最后结果影响不大。

电感: 每相回路电感计算如下:

$$H_s = 2 \times 10^{-7} \ln \left(\frac{2S_1}{d} \right) \quad (2-6-2)$$

$$H_1 = \pi \mu_r \left(\frac{n_1 d_1^2}{\rho d_A} \right) \times 10^{-7} \sin \beta \cdot \cos \gamma \quad (2-6-3)$$

$$H_2 = \pi \mu_r \left(\frac{n_1 d_1^2}{\rho d_A} \right) \times 10^{-7} \sin \beta \cdot \sin \gamma \quad (2-6-4)$$

$$H_3 = 0.4 (\mu t - 1) \left(\frac{d_1}{d_A} \right) \times 10^{-6} \cdot \cos^2 \beta \quad (2-6-5)$$

式中 H_s ——金属套引起的电感, H/m ;

H_1 、 H_2 和 H_3 ——由于钢丝引起的电感分量, H/m ;

S_1 ——三角形排列的相邻电缆轴心间距，平面列的三个间距的几何平均值，mm；

d_A ——铠装平均直径，mm；

d_i ——钢丝直径，mm；

p ——沿着电缆的钢丝节距长度，mm；

n_1 ——钢丝根数；

β ——铠装钢丝轴心与电缆轴心之间夹角度数；

γ ——钢丝纵向磁通滞后于磁场强度的角度；

μ_e ——钢丝纵向相对导磁率；

μ_i ——钢丝横向相对导磁率。

对于 γ 、 μ_e 和 μ_i 见下面说明。

$$B_1 = \omega(H_s + H_1 + H_3) \quad (\Omega/m)$$

$$B_2 = \omega H_2 \quad (\Omega/m)$$

损耗：金属套和铠装总损耗 $W_{(S+A)}$ 由下式给出：

$$W_{(S+A)} = I^2 R_e \left[\frac{B_2^2 + B_1^2 + R_e B_2}{(R_e + B_2)^2 + B_1^2} \right] \quad (2-6-6)$$

可假设金属套与铠装的损耗近似相等，因此：

$$\lambda'_1 = \lambda_2 = \frac{W_{(S+A)}}{2W_C} = \frac{R_e}{2R} \left[\frac{B_2^2 + B_1^2 + R_e B_2}{(R_e + B_2)^2 + B_1^2} \right] \quad (2-6-7)$$

导体损耗：

$$W_C = I^2 R \quad (W/m)$$

γ 、 μ_e 和 μ_i 的选择说明：关于磁性 γ 、 μ_e 和 μ_i 的参数值随钢丝的特性而变化，除非对所使用钢丝进行测量，否则必须假设某些平均值。钢丝直径为 4~6mm 抗拉强度约 400N/mm² 的钢丝，设定下面的数据，不会有明显的误差：

$$\mu_e = 400$$

$$\mu_i = 10 \text{ 钢丝相互接触}$$

$$\mu_i = 1 \text{ 钢丝相互有间距}$$

$$\gamma = 45^\circ$$

如果需要更精确的计算且知钢丝特性时，首先设定磁场强度的近似值，再求取相应的磁特性。

$$H = \frac{1000 \times |I + I_s|}{\pi d_A} \quad (\text{安匝/m}) \quad (2-6-8)$$

I 和 I_s 为导体电流和金属套电流的矢量值，通常设 $|I + I_s| = 0.6I$ 作为初选值是适合的。如果证明该计算值有很大差异应重新计算。

(2) 二芯电缆——钢丝铠装

$$\lambda_2 = \frac{0.62\omega^2 \times 10^{-14}}{RR_A} + \frac{3.82A\omega \times 10^{-5}}{R} \left[\frac{1.48r_1 + t}{d_A^2 + 95.7A} \right]^2 \quad (2-6-9)$$

式中 R_A ——最高工作温度下铠装的交流电阻, Ω/m ;

d_A ——铠装平均直径, mm;

A ——铠装的横截面积, mm^2 ;

r_1 ——外切于各导体的外接圆半径, mm;

t ——导体之间的绝缘厚度, mm。

由于确认导体 $400mm^2$ 及以下各导体电流分布不均匀性可予以忽略,故不必对其修正。

(3) 三芯电缆——钢丝铠装

1) 圆形导体电缆: 铠装损耗计算由下式给出:

$$\lambda_2 = 1.23 \frac{R_A \left(\frac{2c}{d_A} \right)^2}{\left(\frac{2.77 R_A 10^6}{\omega} \right)^2 + 1} \quad (2-6-10)$$

式中 R_A ——最高工作温度下铠装的交流电阻, Ω/m ;

d_A ——铠装平均直径, mm;

c ——导体轴心与电缆中心之间距, mm。

由于确认导体 $400mm^2$ 及以下导体电流分布不均匀性可予以忽略,故不必对其修正。

2) SL 型电缆: SL 型电缆金属套电流的屏蔽作用使铠装损耗降低, 计算铠装损耗时式 (2-6-10) 应乘以因数 $(1 - \lambda'_1)$ 。 λ'_1 值按 2.3.1 节求得。

3) 扇形导体电缆: 铠装损耗计算由下式给出:

$$\lambda_2 = 0.358 \times \frac{R_A \left(\frac{2r_1}{d_A} \right)^2}{\left(\frac{2.77 R_A 10^6}{\omega} \right)^2 + 1} \quad (2-6-11)$$

式中 r_1 ——三根成型导体的外接圆半径, mm;

$$\omega = 2\pi f$$

f ——电源频率, Hz。

(4) 三芯电缆——钢带铠装或加强层

下述公式适合于钢带厚度 $0.3 \sim 1.0mm$ 。对于 50Hz 时的磁滞损耗由下式给出:

$$\lambda'_2 = \frac{S^2 K^2 \times 10^{-7}}{R d_A \delta} \quad (2-6-12)$$

式中 S ——各导体轴心之间距离, mm;

δ ——铠装等效厚度, mm;

$$\delta \approx \frac{A}{\pi d_A}$$

A ——铠装横截面积, mm^2 ;

d_A ——铠装平均直径, mm;

K ——系数按下式求得:

$$K = \frac{1}{1 + \frac{d_A}{\mu \delta}}$$

μ ——钢带相对导磁率, 通常取 300。

对于非 50Hz 频率, 上式求得的 K 值应乘以系数 $f/50$ 。

对于 50Hz 频率时的涡流损耗由下式给出:

$$\lambda''_2 = \frac{2.25 S^2 K^2 \delta \times 10^{-8}}{R \cdot d_A} \quad (2-6-13)$$

对于非 50Hz 频率, 上式求得的 K 值应乘以系数 $(f/50)^2$ 。

总铠装损耗为磁滞损耗和涡流损耗之和:

$$\lambda_2 = \lambda'_2 + \lambda''_2$$

若有磁性钢带或加强带, 护套中涡流损耗就增加, 应参照 2.5.9 处理。

2.6.3 钢管损耗

由两个经验公式计算钢管损耗, 其一适合于电缆线芯紧扎成三角形, 其二适合于电缆线芯松散的 (呈吊篮状) 置于钢管内底部情况。实际线芯放置可能近于两者之间。因此应对每种结构形状进行损耗计算, 然后取其平均值。

这些公式是由美国的经验公式而得, 目前仅适用于该国的钢管类型和规格。

$$\lambda_2 = \frac{0.0115S - 0.001485d_d}{R} \times 10^{-5} \quad (\text{适用于紧扎成三角形结构})$$

$$\lambda_2 = \frac{0.00438S - 0.00226d_d}{R} \times 10^{-5} \quad (\text{适用于松散或呈吊篮形结构})$$

式中 S ——相邻导体轴心间距, mm;

d_d ——钢管内径, mm;

R ——最高工作温度下导体单位长度的交流电阻, Ω/m 。

这些公式适用于频率 60Hz, 对于 50Hz 上述各公式应乘以 0.76。

钢管电缆, 在所有三个线芯成缆后再绕包扁钢丝铠装情况下, 其损耗与钢管的存在无关。对于这些电缆铠装损耗按 SL 型电缆计算 [见 2.6.2. (3)], 而钢管损耗忽略不计。

2.7 双回路平面排列金属套涡流损耗因数计算

当金属套单点或交叉互连接地时金属套中没有明显的环流, 主要是涡流损耗。本节介绍双回路平面排列金属套涡流损耗因数计算。如果金属套两端互连接地时, 显然金属套环流将导致载流量降低。2.8 节将讨论这方面的问题。

2.7.1 双回路平面排列金属套涡流损耗计算方法

本节给出的三相双回路平面排列的单芯电缆金属套涡流损耗的计算方法适合于修正分离敷设的三相电路的电缆金属套损耗因数。对于电缆中的参数 m ($m = \omega \times 10^{-7} / R_s$) 小于 0.1, 相当于金属套纵向电阻在系统频率 50Hz 时大于 $314\mu\Omega/\text{m}$, 修正系数可予以忽略。因此, 本方法适用于大部分铝金属套电缆 (电阻小), 而对铅金属套 (电阻大) 电缆除非其截面很大之外则不必及计。

这些系数是以列表的形式出现, 并按金属套损耗的基本公式计算。对于其中某些表格内的系数的简化公式 IEC 正在考虑之中。

计算方法参照前面关于单回路的方法进行计算。给出适合于金属套纵向电阻的 m

<0.1 (在 50Hz 下 $R_s = 314\mu\Omega/\text{m}$) 的金属套损耗因数计算, 同时也给出低电阻金属套计算修正系数的经验公式。对于双回路, 覆盖整个系数范围的准确经验公式可能需要包括许多项, 因而与采用精确的列表插值法相比并未显示出其优越性, 为此, 用列表系数插值法求值, 其优点在于损耗因数的准确度接近于原始计算值且误差小于 1%。

当金属套单点或交叉互连接地时, 为求解六根电缆损耗因数, 适合于手工计算方法通常要相当大的工作量, 在这种情况下, 采用列表数据插值法是完全适合的。且在许多情况下相关的参数值并不需要用插值法亦可满足要求。

在双回路平面排列时 (见图 2-7-1) 当金属套单点或交叉互连接地时, 电缆金属套损耗因数计算由下式给出:

$$\lambda''_{\text{ld}} = \frac{R_s}{R} [\lambda_0 \cdot H(1 \sim 3) \cdot N(1 \sim 6) \cdot J(1 \sim 6) \cdot g_s + G_s] \quad (2-7-1)$$

式中 λ''_{ld} ——在双回路下低电阻金属套的损耗因数;

λ_0 ——在单回路下高电阻金属套的损耗因数;

$H(1 \sim 3)$ ——金属套电阻修正系数, 在单回路下相对于电缆 1、2 或 3 所求得的数值;

$N(1 \sim 6)$ ——回路之间互为影响的相关系数, 因此取决于电缆 1~3 和 4~6 相应的相序;

$J(1 \sim 6)$ ——取决于每一回路电缆 (1~3) 和 (4~6) 的位置的相关系数;

g_s ——由于相邻电缆的电流引起该电缆金属套中涡流而造成的损耗系数;

G_s ——由于电缆导体电流引起该金属套中涡流而造成损耗系数。

使用的系数 N 和 J 并非直接与任何物理函数有关, 而是用于简化列表任意选用的。

H 、 N 和 J 的数值从表 2-7-1 ~ 表 2-7-11 中取得, 而且可同时按下面各参数以及电缆位置和导体中电流相序来选择。

$$m = \frac{\omega}{R_s} \times 10^{-7}$$

$$\omega = 2\pi f$$

式中 f ——系统频率, Hz;

R_s ——工作温度下的金属套电阻, Ω/m ;

$$z = \frac{d}{2s} \quad \text{表格中参数}$$

s ——同一回路电缆中心之距离, mm;

d ——金属套平均直径, mm;

$$y = \frac{s}{c} \quad \text{表格中参数}$$

c ——相邻回路中电缆中心的间距, 见图 2-7-1, mm。

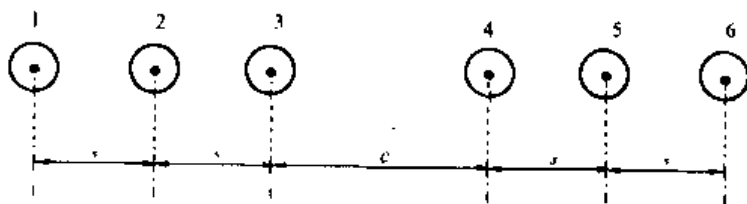


图 2-7-1 电缆排列

表 2-7-1

系 数 H

电缆编号 No	$z = \frac{d}{2s}$									
	m	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
1	0.1	1.007	1.015	1.028	1.044	1.064	1.089	1.118	1.154	1.197
	0.5	1.023	1.051	1.093	1.148	1.220	1.309	1.420	1.554	1.714
	1.0	1.033	1.076	1.140	1.228	1.347	1.503	1.706	1.970	2.299
	1.5	1.037	1.085	1.158	1.261	1.405	1.606	1.887	2.284	2.826
	2.0	1.037	1.087	1.163	1.274	1.432	1.662	2.003	2.527	3.321
	2.5	1.037	1.087	1.164	1.278	1.444	1.693	2.081	2.720	3.792
	3.0	1.037	1.087	1.164	1.279	1.449	1.711	2.135	2.876	4.244
2	0.1	1.001	1.002	1.004	1.006	1.009	1.013	1.017	1.022	1.028
	0.5	1.003	1.007	1.012	1.018	1.025	1.033	1.040	1.047	1.050
	1.0	1.006	1.015	1.027	1.043	1.064	1.090	1.121	1.157	1.193
	1.5	1.009	1.021	1.039	1.065	1.101	1.150	1.218	2.306	2.413
	2.0	1.010	1.025	1.047	1.080	1.128	1.198	2.301	2.450	3.654
	2.5	1.011	1.027	1.052	1.091	1.148	1.234	2.366	2.575	3.892
	3.0	1.012	1.029	1.056	1.098	1.161	1.260	2.417	2.681	4.123
3	0.1	0.999	0.998	0.996	0.994	0.991	0.988	0.984	0.979	0.973
	0.5	0.991	0.980	0.964	0.944	0.919	0.889	0.853	0.812	0.766
	1.0	0.994	0.986	0.975	0.962	0.947	0.931	0.915	0.900	0.891
	1.5	1.000	1.001	1.002	1.007	1.017	1.036	1.068	1.124	1.214
	2.0	1.006	1.013	1.027	1.048	1.082	1.137	1.226	1.374	1.608
	2.5	1.010	1.023	1.045	1.080	1.134	1.220	1.364	1.608	2.017
	3.0	1.013	1.031	1.060	1.104	1.174	1.287	1.477	1.816	2.422

注 H —金属套电阻修正系数, 在单回路下相对于 1, 2, 3 电缆所求得数值。

表 2-7-2

系 数 N

$y = \frac{s}{c}$	顺 序 电 缆						$y = \frac{s}{c}$	逆 序 电 缆					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
0.1	0.9871	0.9861	0.9854	0.9849	0.9861	0.9875	0.1	1.0110	1.0141	1.0185	1.0185	1.0141	1.0110
0.2	0.9651	0.9588	0.9562	0.9554	0.9588	0.9656	0.2	1.0286	1.0421	1.0696	1.0696	1.0421	1.0286
0.3	0.9432	0.9286	0.9271	0.9259	0.9286	0.9438	0.3	1.0456	1.0742	1.1504	1.1504	1.0742	1.0456
0.4	0.9238	0.8990	0.9065	0.9049	0.8990	0.9243	0.4	1.0605	1.1066	1.2593	1.2593	1.1066	1.0605
0.5	0.9069	0.8714	0.8993	0.8974	0.8713	0.9075	0.5	1.0736	1.1378	1.3953	1.3953	1.1378	1.0736
0.6	0.8924	0.8461	0.9089	0.9067	0.8461	0.8929	0.6	1.0849	1.1673	1.5580	1.5580	1.1673	1.0849
0.7	0.8800	0.8232	0.9372	0.9351	0.8231	0.8804	0.7	1.0948	1.1948	1.7471	1.7471	1.1948	1.0948
0.8	0.8692	0.8024	0.9859	0.9842	0.8023	0.8696	0.8	1.1035	1.2204	1.9623	1.9623	1.2204	1.1035
0.9	0.8598	0.7836	1.0562	1.0552	0.7835	0.8601	0.9	1.1111	1.2441	2.2037	2.2037	1.2441	1.1111
1.0	0.8516	0.7665	1.1487	1.1490	0.7665	0.8517	1.0	1.1180	1.2662	2.4711	2.4711	1.2662	1.1180

注 N —回路之间互为影响的相关系数, 取决于电缆 1~3 和 4~6 相应的相序。

表 2-7-3

系数 J

$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 1/顺序 $z = d/2s$					$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 1/顺序 $z = d/2s$				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	0.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.6	2.0	0.997	0.989	0.972	0.945	0.907
	0.5	1.000	0.998	0.995	0.991	0.982		2.5	0.997	0.988	0.973	0.951	0.925
	1.0	0.999	0.997	0.992	0.984	0.970		3.0	0.998	0.989	0.974	0.956	0.941
	1.5	1.000	0.997	0.992	0.984	0.974		0.8	0.1	1.000	1.001	1.002	1.003
	2.0	0.999	0.997	0.992	0.987	0.980		0.5	0.999	0.996	0.990	0.978	0.955
	2.5	0.999	0.997	0.994	0.989	0.987		1.0	0.998	0.990	0.974	0.941	0.881
	3.0	1.000	0.997	0.994	0.992	0.993		1.5	1.007	0.989	0.966	0.927	0.860
0.4	0.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		2.0	0.996	0.985	0.963	0.927	0.869
	0.5	0.999	0.997	0.991	0.982	0.965		2.5	0.996	0.985	0.963	0.931	0.886
	1.0	0.999	0.994	0.983	0.964	0.931		3.0	0.996	0.985	0.964	0.937	0.904
	1.5	0.999	0.992	0.981	0.962	0.933	1.0	0.1	1.000	1.001	1.003	1.005	1.007
	2.0	0.998	0.992	0.982	0.966	0.946		0.5	0.999	0.997	0.992	0.983	0.962
	2.5	0.998	0.992	0.983	0.971	0.959		1.0	0.998	0.990	0.973	0.939	0.877
	3.0	0.999	0.993	0.984	0.975	0.971		1.5	0.997	0.985	0.962	0.918	0.842
0.6	0.1	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002		2.0	0.995	0.983	0.957	0.913	0.840
	0.5	0.999	0.996	0.990	0.978	0.955		2.5	0.995	0.982	0.956	0.915	0.852
	1.0	0.998	0.991	0.977	0.949	0.900		3.0	0.996	0.981	0.956	0.919	0.866
	1.5	0.998	0.989	0.972	0.942	0.894							

注 J 为取决于每个回路电缆 (1、2、3) 和 (4、5、6) 的位置的相关系数。

表 2-7-4

系数 J

$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 2/顺序 $z = d/2s$					$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 2/顺序 $z = d/2s$				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	0.1	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	0.6	2.0	0.999	0.998	1.001	1.012	1.034
	0.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		2.5	0.999	0.998	1.002	1.018	1.049
	1.0	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002		3.0	0.999	0.998	1.003	1.022	1.062
	1.5	1.000	1.000	1.001	1.003	1.006		0.8	0.1	1.000	1.001	1.002	1.004
	2.0	1.000	1.001	1.002	1.005	1.011		0.5	0.999	0.999	0.998	0.996	0.995
	2.5	1.000	1.001	1.002	1.007	1.014		1.0	0.999	0.996	0.993	0.992	0.991
	3.0	1.000	1.001	1.003	1.008	1.018		1.5	1.008	0.995	0.993	0.998	1.007
0.4	0.1	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003		2.0	0.998	0.995	0.994	1.006	1.029
	0.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		2.5	0.998	0.995	0.996	1.031	1.049
	1.0	1.000	1.000	1.000	1.002	1.003		3.0	0.998	0.994	0.997	1.017	1.065
	1.5	1.000	1.000	1.002	1.007	1.014	1.0	0.1	1.000	1.001	1.003	1.006	1.010
	2.0	1.000	1.000	1.003	1.011	1.026		0.5	0.999	0.997	0.995	0.993	0.993
	2.5	1.000	1.000	1.004	1.015	1.036		1.0	0.998	0.992	0.987	0.982	0.978
	3.0	1.000	1.000	1.005	1.017	1.043		1.5	0.997	0.990	0.984	0.984	0.988
0.6	0.1	1.000	1.001	1.002	1.003	1.006		2.0	0.996	0.989	0.984	0.991	1.006
	0.5	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998		2.5	0.996	0.989	0.985	0.997	1.027
	1.0	0.999	0.998	0.998	0.999	1.000		3.0	0.996	0.988	0.986	1.002	1.044
	1.5	0.999	0.998	0.999	1.005	1.016							

注 J 为取决于每个回路电缆 (1、2、3) 和 (4、5、6) 的位置的相关系数。

表 2-7-5

系 数 J

$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 3/顺序 $z = d/2s$					$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 3/顺序 $z = d/2s$				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	0.1	1.000	1.001	1.003	1.005	1.008	0.6	2.0	0.989	0.971	0.962	0.980	1.031
	0.5	1.000	1.003	1.007	1.012	1.017		2.5	0.988	0.966	0.954	0.974	1.037
	1.0	1.000	1.002	1.007	1.014	1.022		3.0	0.987	0.963	0.948	0.969	1.042
	1.5	1.000	1.001	1.006	1.014	1.025	0.8	0.1	1.000	1.003	1.007	1.012	1.018
	2.0	0.999	1.001	1.005	1.014	1.028		0.5	0.996	0.990	0.982	0.977	0.972
	2.5	1.000	1.000	1.003	1.014	1.030		1.0	0.988	0.962	0.937	0.927	0.933
	3.0	0.999	0.999	1.003	1.013	1.032		1.5	0.983	0.943	0.908	0.901	0.925
0.4	0.1	1.000	1.003	1.007	1.013	1.021	1.0	2.0	0.979	0.932	0.891	0.886	0.929
	0.5	1.001	1.006	1.015	1.028	1.041		2.5	0.977	0.925	0.879	0.876	0.934
	1.0	0.999	1.002	1.011	1.026	1.047		3.0	0.975	0.921	0.872	0.869	0.939
	1.5	0.998	0.997	1.005	1.023	1.053		0.1	1.000	1.001	1.002	1.003	1.002
	2.0	0.997	0.994	1.000	1.021	1.058		0.5	0.990	0.968	0.936	0.900	0.863
	2.5	0.996	0.992	0.995	1.018	1.063		1.0	0.978	0.925	0.864	0.816	0.790
	3.0	0.995	0.990	0.993	1.016	1.067		1.5	0.971	0.901	0.826	0.781	0.778
0.6	0.1	1.000	1.003	1.009	1.017	1.026		2.0	0.967	0.888	0.806	0.765	0.783
	0.5	0.999	1.003	1.010	1.021	1.033		2.5	0.965	0.882	0.796	0.756	0.790
	1.0	0.995	0.990	0.990	1.002	1.024		3.0	0.963	0.877	0.790	0.751	0.797
	1.5	0.992	0.978	0.973	0.989	1.026							

注 J 为取决于每个回路电缆 (1、2、3) 和 (4、5、6) 的位置的相关系数。

表 2-7-6

系 数 J

$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 4/顺序 $z = d/2s$					$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 4/顺序 $z = d/2s$				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	0.1	1.000	1.000	0.999	0.998	0.997	0.6	2.0	0.983	0.935	0.864	0.790	0.732
	0.5	0.999	0.995	0.989	0.979	0.963		2.5	0.983	0.935	0.870	0.811	0.775
	1.0	0.998	0.993	0.982	0.967	0.946		3.0	0.984	0.936	0.875	0.828	0.809
	1.5	0.999	0.992	0.983	0.970	0.956	0.8	0.1	1.000	0.999	0.998	0.999	1.003
	2.0	0.998	0.993	0.984	0.976	0.968		0.5	0.992	0.966	0.924	0.869	0.809
	2.5	0.998	0.993	0.986	0.981	0.979		1.0	0.982	0.926	0.836	0.716	0.596
	3.0	0.999	0.994	0.988	0.985	0.988		1.5	0.977	0.907	0.801	0.675	0.566
0.4	0.1	1.000	0.999	0.997	0.994	0.990		2.0	0.974	0.900	0.793	0.681	0.595
	0.5	0.997	0.984	0.962	0.929	0.881		2.5	0.973	0.897	0.795	0.697	0.630
	1.0	0.994	0.973	0.936	0.884	0.819		3.0	0.973	0.897	0.799	0.713	0.662
	1.5	0.993	0.969	0.933	0.888	0.841	1.0	0.1	1.000	1.003	1.011	1.026	1.053
	2.0	0.992	0.970	0.937	0.903	0.876		0.5	0.993	0.974	0.949	0.929	0.947
	2.5	0.992	0.971	0.942	0.919	0.906		1.0	0.980	0.924	0.839	0.743	0.698
	3.0	0.993	0.972	0.947	0.930	0.929		1.5	0.972	0.896	0.784	0.664	0.602
0.6	0.1	1.000	0.998	0.995	0.991	0.987		2.0	0.968	0.882	0.764	0.647	0.585
	0.5	0.994	0.972	0.934	0.879	0.807		2.5	0.965	0.875	0.758	0.650	0.591
	1.0	0.987	0.946	0.878	0.782	0.671		3.0	0.964	0.873	0.757	0.657	0.602
	1.5	0.985	0.937	0.863	0.772	0.685							

注 J 为取决于每个回路电缆 (1、2、3) 和 (4、5、6) 的位置的相关系数。

表 2-7-7

系数 J

$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 5/顺序 $z = d/2s$					$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 5/顺序 $z = d/2s$				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	0.1	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	0.6	2.0	0.999	0.997	0.996	0.998	0.995
	0.5	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999		2.5	0.999	0.997	0.997	1.004	1.011
	1.0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998		3.0	0.999	0.997	0.999	1.009	1.025
	1.5	1.000	1.000	1.001	1.002	1.002		0.8	0.1	1.000	1.001	1.002	1.003
	2.0	1.000	1.000	1.001	1.004	1.006		0.5	0.999	0.998	0.994	0.987	0.976
	2.5	1.000	1.001	1.002	1.005	1.010		1.0	0.998	0.994	0.986	0.973	0.948
0.4	3.0	1.000	1.001	1.002	1.006	1.013	0.8	1.5	0.998	0.993	0.985	0.976	0.952
	0.1	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002		2.0	0.998	0.993	0.987	0.983	0.970
	0.5	0.999	0.999	0.999	0.997	0.994		2.5	0.998	0.993	0.989	0.991	0.990
	1.0	1.000	0.999	0.998	0.996	0.989		3.0	0.997	0.993	0.991	0.997	1.008
	1.5	1.000	0.999	0.999	1.000	0.997		1.0	0.1	1.000	1.001	1.002	1.004
	2.0	1.000	0.999	1.000	1.004	1.007		0.5	0.998	0.996	0.991	0.982	0.968
0.6	2.5	1.000	1.000	1.002	1.008	1.017	1.0	1.0	0.997	0.990	0.978	0.957	0.923
	3.0	1.000	1.000	1.003	1.011	1.025		1.5	0.996	0.987	0.974	0.955	0.919
	0.1	1.000	1.001	1.001	1.002	1.004		2.0	0.996	0.987	0.974	0.961	0.933
	0.5	0.999	0.999	0.997	0.993	0.986		2.5	0.996	0.987	0.976	0.969	0.952
	1.0	0.999	0.997	0.993	0.986	0.972		3.0	0.996	0.986	0.977	0.976	0.970
	1.5	0.999	0.997	0.994	0.991	0.980							

注 J 为取决于每个回路电缆 (1、2、3) 和 (4、5、6) 的位置的相关系数。

表 2-7-8

系数 J

$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 6/顺序 $z = d/2s$					$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 6/顺序 $z = d/2s$				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	0.1	1.000	1.000	1.001	1.002	1.004	0.6	2.0	0.998	0.994	0.992	1.001	1.026
	0.5	1.000	1.001	1.002	1.005	1.007		2.5	0.998	0.993	0.991	1.002	1.036
	1.0	1.000	1.001	1.002	1.005	1.010		3.0	0.997	0.993	0.991	1.003	1.045
	1.5	1.000	1.000	1.002	1.006	1.013		0.8	0.1	1.000	1.000	1.002	1.004
	2.0	0.999	1.000	1.002	1.007	1.016		0.5	0.999	0.998	0.996	0.994	0.993
	2.5	1.000	1.000	1.001	1.007	1.019		1.0	0.998	0.993	0.988	0.985	0.984
0.4	3.0	0.999	1.000	1.001	1.007	1.020	0.8	1.5	0.997	0.990	0.984	0.985	0.995
	0.1	1.000	1.001	1.002	1.004	1.007		2.0	0.996	0.989	0.982	0.986	1.010
	0.5	1.000	1.001	1.003	1.006	1.009		2.5	0.996	0.988	0.981	0.988	1.024
	1.0	0.999	1.000	1.002	1.006	1.012		3.0	0.996	0.987	0.980	0.989	1.036
	1.5	1.000	0.999	1.001	1.007	1.020		1.0	0.1	1.000	1.000	1.001	1.003
	2.0	0.999	0.998	1.000	1.008	1.028		0.5	0.998	0.995	0.990	0.984	0.978
0.6	2.5	0.999	0.997	0.998	1.009	1.034	1.0	1.0	0.997	0.988	0.977	0.967	0.958
	3.0	0.999	0.997	0.998	1.009	1.039		1.5	0.996	0.985	0.972	0.964	0.964
	0.1	1.000	1.001	1.002	1.005	1.008		2.0	0.995	0.983	0.969	0.965	0.978
	0.5	0.999	1.000	1.000	1.002	1.004		2.5	0.995	0.982	0.968	0.967	0.993
	1.0	0.999	0.997	0.996	0.998	1.003		3.0	0.995	0.981	0.967	0.968	1.006
	1.5	0.998	0.995	0.994	0.999	1.013							

注 J 为取决于每个回路电缆 (1、2、3) 和 (4、5、6) 的位置的相关系数。

表 2-7-9

系 数 J

$\gamma = \frac{s}{c}$	m	电缆 1/逆序 $z = d/2s$					$\gamma = \frac{s}{c}$	m	电缆 1/逆序 $z = d/2s$				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	0.1	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	0.6	2.0	1.003	1.012	1.029	1.056	1.089
	0.5	1.000	1.002	1.005	1.011	1.018		2.5	1.003	1.012	1.028	1.049	1.072
	1.0	1.001	1.004	1.009	1.017	1.033		3.0	1.004	1.012	1.026	1.042	1.056
	1.5	1.001	1.004	1.009	1.018	1.031		0.1	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003
	2.0	1.000	1.004	1.009	1.016	1.024		0.5	1.002	1.007	1.017	1.036	1.072
	2.5	1.001	1.004	1.008	1.013	1.018		1.0	1.004	1.013	1.034	1.073	1.144
0.4	3.0	1.001	1.003	1.007	1.011	1.014	0.8	1.5	1.005	1.015	1.038	1.079	1.141
	0.1	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002		2.0	1.004	1.015	1.037	1.072	1.113
	0.5	1.001	1.004	1.010	1.022	1.041		2.5	1.004	1.015	1.035	1.063	1.088
	1.0	1.002	1.008	1.019	1.040	1.076		3.0	1.005	1.015	1.033	1.054	1.071
	1.5	1.002	1.008	1.021	1.042	1.074		0.1	1.000	1.000	1.001	1.001	1.003
	2.0	1.002	1.008	1.020	1.038	1.058		0.5	1.002	1.007	1.019	1.041	1.083
0.6	2.5	1.002	1.008	1.019	1.032	1.047	1.0	1.0	1.004	1.014	1.038	1.084	1.168
	3.0	1.002	1.008	1.017	1.027	1.037		1.5	1.004	1.017	1.043	1.091	1.163
	0.1	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002		2.0	1.004	1.017	1.042	1.082	1.130
	0.5	1.002	1.006	1.014	1.029	1.057		2.5	1.004	1.017	1.040	1.072	1.100
	1.0	1.003	1.010	1.027	1.058	1.113		3.0	1.004	1.017	1.038	1.063	1.080
	1.5	1.004	1.012	1.030	1.063	1.112							

注 J 为取决于每个回路电缆 (1、2、3) 和 (4、5、6) 的位置的相关系数。

表 2-7-10

系 数 J

$\gamma = \frac{s}{c}$	m	电缆 1/逆序 $z = d/2s$					$\gamma = \frac{s}{c}$	m	电缆 1/逆序 $z = d/2s$				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	0.1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.6	2.0	1.001	1.000	0.996	0.985	0.965
	0.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001		2.5	1.000	1.000	0.994	0.978	0.951
	1.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		3.0	1.000	0.999	0.992	0.973	0.941
	1.5	1.000	1.000	0.999	0.997	0.995		0.1	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999
	2.0	1.000	1.000	0.998	0.995	0.991		0.5	1.000	1.001	1.003	1.007	1.012
	2.5	1.000	1.000	0.998	0.994	0.987		1.0	1.001	1.002	1.002	1.004	1.004
0.4	3.0	1.000	1.000	0.997	0.992	0.985	0.8	1.5	1.001	1.001	0.999	0.992	0.976
	0.1	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998		2.0	1.001	1.000	0.995	0.979	0.951
	0.5	0.999	1.000	1.000	1.001	1.004		2.5	1.001	1.000	0.993	0.971	0.933
	1.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001		3.0	1.001	0.999	0.990	0.965	0.920
	1.5	1.000	0.999	0.998	0.995	0.989		0.1	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999
	2.0	1.000	0.999	0.996	0.989	0.977		0.5	1.000	1.002	1.004	1.009	1.017
0.6	2.5	1.000	0.999	0.995	0.985	0.968	1.0	1.0	1.001	1.002	1.004	1.005	1.002
	3.0	0.999	0.998	0.994	0.982	0.962		1.5	1.001	1.002	0.999	0.989	0.967
	0.1	1.000	1.000	1.000	0.999	0.998		2.0	1.001	1.001	0.995	0.974	0.937
	0.5	1.000	1.001	1.002	1.004	1.009		2.5	1.001	1.000	0.991	0.964	0.916
	1.0	1.001	1.001	1.002	1.003	1.003		3.0	1.001	0.999	0.988	0.956	0.902
	1.5	1.000	1.001	0.999	0.993	0.984							

注 J 为取决于每个回路电缆 (1、2、3) 和 (4、5、6) 的位置的相关系数。

表 2-7-11

J 值

$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 3/逆序 $z = d/2s$ 电缆 4/逆序					$y = \frac{s}{c}$	m	电缆 3/逆序 $z = d/2s$ 电缆 4/逆序				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.2	0.1	1.000	0.998	0.996	0.992	0.989	0.6	2.0	0.989	0.949	0.883	0.799	0.720
	0.5	0.999	0.995	0.990	0.982	0.975		2.5	0.989	0.948	0.879	0.792	0.707
	1.0	0.998	0.994	0.987	0.977	0.966		3.0	0.989	0.948	0.879	0.788	0.698
	1.5	0.999	0.994	0.987	0.974	0.961		0.8	0.1	1.000	0.989	0.970	0.945
	2.0	0.998	0.994	0.986	0.973	0.956		0.5	0.991	0.957	0.902	0.835	0.765
	2.5	0.999	0.994	0.986	0.972	0.953		1.0	0.985	0.932	0.850	0.755	0.669
	3.0	0.999	0.995	0.987	0.972	0.951		1.5	0.983	0.921	0.827	0.717	0.622
0.4	0.1	1.000	0.995	0.987	0.977	0.964	1.0	2.0	0.982	0.917	0.816	0.698	0.596
	0.5	0.997	0.985	0.965	0.940	0.913		2.5	0.982	0.915	0.811	0.688	0.581
	1.0	0.996	0.979	0.951	0.916	0.881		3.0	0.981	0.914	0.808	0.681	0.570
	1.5	0.996	0.977	0.946	0.905	0.862		0.1	1.000	0.987	0.966	0.937	0.902
	2.0	0.995	0.977	0.944	0.898	0.850		0.5	0.988	0.944	0.873	0.788	0.698
	2.5	0.996	0.977	0.943	0.894	0.841		1.0	0.979	0.907	0.800	0.678	0.571
	3.0	0.996	0.977	0.943	0.893	0.836		1.5	0.975	0.891	0.766	0.628	0.517
0.6	0.1	1.000	0.992	0.978	0.959	0.936		2.0	0.973	0.884	0.750	0.604	0.490
	0.5	0.994	0.970	0.933	0.886	0.838		2.5	0.973	0.881	0.742	0.591	0.474
	1.0	0.991	0.956	0.902	0.836	0.775		3.0	0.972	0.879	0.738	0.583	0.463
	1.5	0.990	0.951	0.889	0.812	0.740							

注 J 为取决于每个回路电缆 (1、2、3) 和 (4、5、6) 的位置的相关系数。

对于时低电阻护套的单回路系数, 只要引用系数 H (1、2 和 3) 就可求得, 如下所示:

$$\lambda''_1 = \frac{R_s}{R} [\lambda_0 \cdot H(1 \sim 3) \cdot g_s + G_s]$$

对于 $m < 0.1$ 的金属套 (即金属套电阻大于系统 $\omega \times 10^{-6}$ 值, 包括大多数铅套电缆) 可假定系数 H 、 N 、 J 和 g_s 为 1 而 G_s 为零, 在这种情况下可采用双回路的 λ_0 而不必修正。

当 $m \geq 0.1$ 的金属套 (即金属套电阻小于或等于系统 $\omega \times 10^{-6}$ 值), 除小截面的铝护套电缆外大都属于这种情况, 应计算 H 、 N 、 J 和 g_s 的数值。仅当 $m \geq 1$ 时, 系数 G_s 才是主要的。

2.7.2 单回路高电阻金属套损耗因数 λ_0 的公式

金属套损耗因数 λ_0 由下式给出:

$$\lambda_0 = C \frac{m^2}{1 + m^2} \left[\frac{d}{2S} \right]^2 \quad (2-7-2)$$

对于三根单芯电缆平面排列, 系数 C 值如下:

中间电缆 $C = 6$

外侧电缆 $C = 1.5$

2.7.3 系数 H 、 N 和 J 的计算

(1) 对每根电缆系数的分配、时序和相位的标志: 应特别注意的是系数 H 、 N 和 J 取决于电流的时序和导体的实际位置。按图 2-7-1 对电缆编号。

表 2-7-1 中的系数 H (1、2 和 3) 是根据时序结合电缆的位置而分配的, 因而下述单回路排列就有相同的时序:

电缆编号	1	2	3
相序	R	S	T
或	S	T	R
或	T	R	S
所用系数	H_1	H_2	H_3

在上述示例中, 电缆 1 总是处于超前相位的外侧导体, 取系数 H_1 。电缆 3 则处于滞后相位的外侧导体, 取系数 H_3 。

由此可知, 符号 R、S 和 T 用来指示相序标志并不重要而仅对时序才有意义。

如果对双回路中每一回路有相反时序, H 值必须以相反的次序分配给电缆。分配系数 H 值取决于每个回路内的时序。

在双回路排列下, 用符号表示相位对以下情况有意义: 一个回路内电缆位置有关的相位标志必须与另一个回路的顺序相位标志相同, 或与另一回路逆序镜像相位标志相同。

表 2-7-2 给出相当于顺序和逆序的两组系数 N (1、2、3、4、5 和 6)。如果把电缆位置依序注明标记并符合相序标志规定, 就可根据系数 H 的相同方法来分配系数。注意在逆序下电缆 4、5 和 6 的数值为电缆 1、2 和 3 的镜像值。

许多含有系数 J (1、2、3、4、5 和 6) 的输入参数需要采用许多表格。表 2-7-3 ~ 表 2-7-8 适合于顺序下的每根电缆, 而表 2-7-9 ~ 表 2-7-11 则适用于逆序下的每根电缆, 电缆 1 ~ 3 的系数也可用于电缆 6 至 4, 其次序按系数 N 相同的线路分配。

下面给出四种一般情况的示例:

顺序

电缆编号	1	2	3	4	5	6	
时序	R	S	T	R	S	T	
分配 H	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	表 2-7-1
分配 N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	表 2-7-2 顺序
分配 J	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	表 2-7-3 ~ 表 2-7-8 顺序

顺序

电缆编号	1	2	3	4	5	6	
时序	T	S	R	T	S	R	
分配 H	H_3	H_2	H_1	H_3	H_2	H_1	表 2-7-1
分配 N	N_6	N_5	N_4	N_3	N_2	N_1	表 2-7-2 顺序
分配 J	J_6	J_5	J_4	J_3	J_2	J_1	表 2-7-3 ~ 表 2-7-8 顺序

逆序

电缆编号	1	2	3	4	5	6
时序	R	S	T	T	S	R

分配 H	H_1	H_2	H_3	H_3	H_2	H_1	表 2-7-1
分配 N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	表 2-7-2 逆序
分配 J	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	表 2-7-9 ~ 表 2-7-11 逆序

逆序

电缆编号	1	2	3	4	5	6	
时序	T	S	R	R	S	T	
分配 H	H_1	H_2	H_3	H_3	H_2	H_1	表 2-7-1
分配 N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	表 2-7-2 逆序
分配 J	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	表 2-7-9 ~ 表 2-7-11 逆序

(2) 表 2-7-1 中系数 H (1、2 和 3) 的计算: 利用参数 m 和 z 以及每根电缆的位置 [见 (1) 条] 就可从表 2-7-1 求得每个系数 H 。

当 m 和 z 值在表 2-7-1 各数据之间进行插值时可以使用下面程序求取插值。

从表 2-7-1 相关部分求得 H (a 、 b 、 c 、 d) 值, 如下所示:

	z_0	z	z_1
m_0	H_a		H_c
m		H	
m_1	H_b		H_d

其中 m_0 、 m_1 、 z_0 和 z_1 为表中数值, 小于和大于相应的 m 值和 z 值。

列表:

$$\begin{aligned}
 &m_0 \cdots \cdots \cdots \\
 &m_1 \cdots \cdots \cdots \quad M = (m_1 - m_0) \cdots \cdots \cdots \\
 &z_0 \cdots \cdots \cdots \\
 &z_1 \cdots \cdots \cdots \quad Z = (z_1 - z_0) \cdots \cdots \cdots \\
 &H_a \cdots \cdots \cdots \\
 &H_b \cdots \cdots \cdots \\
 &H_c \cdots \cdots \cdots \\
 &H_d \cdots \cdots \cdots
 \end{aligned}$$

则:

$$\begin{aligned}
 A &= H_a &&= \cdots \cdots \cdots \\
 B &= (H_b - H_a) / M &&= \cdots \cdots \cdots \\
 C &= (H_c - H_a) / Z &&= \cdots \cdots \cdots \\
 D &= (H_d + H_a - H_c - H_b) / (M \cdot Z) &&= \cdots \cdots \cdots
 \end{aligned}$$

相加:

$$\begin{aligned}
 A &&&= \cdots \cdots \cdots \\
 + B (m - m_0) &&&= \cdots \cdots \cdots
 \end{aligned}$$

$$+ C (z - z_0) = \dots\dots\dots$$

$$+ D (m - m_0) \times (z - z_0) = \dots\dots\dots$$

$$\text{系数 } H = \text{总和} = \dots\dots\dots$$

对回路内三根电缆重复使用此程序就可求得 H_1 , H_2 和 H_3 。

(3) 表 2-7-2 系数 N (1、2、3、4、5 和 6) 的计算: 利用每根电缆的参数 y 值就可从表 2-7-2 求得系数 N 值。该表有顺序和逆序值。注意后一情况下, 电缆 4、5 和 6 的系数值是电缆 1、2 和 3 系数值的镜像。

需要求插值时用线性插值就能满足要求。

(4) 表 2-7-3 至表 2-7-11 中系数 J (1、2、3、4、5 和 6) 的计算: 根据电流时序和参数 m 、 z 和 y 就可从表 2-7-3 至表 2-7-11 中求得每根电缆系数 J 值。

表 2-7-3 至表 2-7-8 适用于导体有顺序电流的 6 根电缆。表 2-7-9 至表 2-7-11 适合于导体有逆相序时 1~3 和 6~4 的电缆。

当需要三个参数之间插值时, 可利用下述三维插值的图表。

每根电缆列表排列成组, 每个 y 值为一组, 可选用两组, 一组的 y 值小于输入值, 另一组 y 值则大于输入值。每组都需要 J (a 至 d) 值和 J (e 至 f) 值 (与求 H 插值方法相似), 如下所示:

	z_0	z	z_1
m_0	J_a		J_c
m		*	
m_1	J_b		J_d

y_0 组

	z_0	z	z_1
m_0	J_e		J_f
m		*	
m_1	J_g		J_h

y_1 组

标有 * 号数值之间插值得出每根电缆所需要的 J 值。

列表计算如下:

$$y_0 \dots\dots\dots z_0 \dots\dots\dots m_0 \dots\dots\dots J_a \dots\dots\dots$$

$$m_1 \dots\dots\dots J_b \dots\dots\dots$$

$$z_1 \dots\dots\dots m_0 \dots\dots\dots J_c \dots\dots\dots$$

$$m_1 \dots\dots\dots J_d \dots\dots\dots$$

$$y_1 \dots\dots\dots z_0 \dots\dots\dots m_0 \dots\dots\dots J_e \dots\dots\dots$$

$$m_1 \dots\dots\dots J_f \dots\dots\dots$$

$$z_1 \dots\dots\dots m_0 \dots\dots\dots J_g \dots\dots\dots$$

$$m_1 \dots\dots\dots J_h \dots\dots\dots$$

$$M = m_1 - m_0 \dots\dots\dots Z = z_1 - z_0 \dots\dots\dots Y = y_1 - y_0 \dots\dots\dots$$

$$m' = m - m_0 \dots\dots\dots z' = z - z_0 \dots\dots\dots y' = y - y_0 \dots\dots\dots$$

计算:



$$A = J_a = \dots\dots\dots$$

$$B = (J_b - J_a)/M = \dots\dots\dots$$

$$C = (J_c - J_a)/Z = \dots\dots\dots$$

$$D = (J_c - J_a)/Y = \dots\dots\dots$$

$$S = [(J_a + J_d) - (J_b + J_c)]/M \cdot Z = \dots\dots\dots$$

$$T = [(J_a + J_d) - (J_c + J_e)]/Z \cdot Y = \dots\dots\dots$$

$$U = [(J_a + J_f) - (J_b + J_e)]/M \cdot Y = \dots\dots\dots$$

$$V = [(J_b + J_c + J_e + J_h) - (J_a + J_d + J_f + J_g)]/M \cdot Z \cdot Y = \dots\dots\dots$$

然后相加:

$$A = \dots\dots\dots$$

$$B \cdot m' = \dots\dots\dots$$

$$C \cdot z' = \dots\dots\dots$$

$$D \cdot y' = \dots\dots\dots$$

$$S \cdot m' \cdot z' = \dots\dots\dots$$

$$T \cdot z' \cdot y' = \dots\dots\dots$$

$$U \cdot m' \cdot y' = \dots\dots\dots$$

$$V \cdot m' \cdot z' \cdot y' = \dots\dots\dots$$

$$J = \text{总和} = \dots\dots\dots$$

以同样方法求其他 5 根电缆中的 J 值。

(5) 系数 G_s 和 g_s 值计算

$$G_s = \frac{(\beta_1 \times t_s)^4}{12 \times 10^{12}} \quad (2-7-3)$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4\pi\omega}{10^7 \times \rho_s}} \quad (2-7-4)$$

$$g_s = 1 + \left(\frac{t_s}{D_s}\right)^{1.74} \times (\beta_1 \times D_s \times 10^{-3} - 1.6) \quad (2-7-5)$$

式中 ρ_s ——工作温度下金属套材料的电阻率, $\Omega \cdot m$;

D_s ——金属套外径, mm。

皱纹金属套, 用平均外径 $(D_\alpha + D_\beta)/2 + t_s$ 取代 D_s 。其中:

D_α ——正好与皱纹护套峰值外表面相切的虚构圆柱体的直径, mm;

D_β ——正好与皱纹护套谷值内表面相切的虚构圆柱体的直径, mm;

t_s ——金属套厚度, mm。

2.7.4 关于电缆换位时注意事项

一般换位是对所有导体或金属套或导体和金属套都调换位置, 从线路一个小段逐渐换位到线路的另一小段。若此变换不影响导体电流的相序, 只要每一段线路换位相对相序而言都以同样的方式起作用 (即是 2.7.3 中所给每个分段的时序和金属套位置的要求都保持

相同的方式), 换位就不会影响使用。换位可与相位的方向相同或者相反, 换位方向不影响涡流损耗。由此可见, 如果两个回路的导体电流相序已反向, 一个回路换位的实际方向就与另外回路换位的方向相反。

金属套中涡流损耗值仅取决于电缆排列方位, 而且一经确定就适合于该位置上任意金属套, 且与该分段无关。

2.7.5 涡流损耗的计算示例

首先说明示例中电缆尺寸是任选的, 并非代表任何特定的电缆, 在许多情况下不需要插值, 表中数据就足以满足需要。

例 1 该例中假设参数与表中数据相符合, 不需要插值。

设定:

金属(铝)套平均直径	$d = 90\text{mm}$
铝套厚度	$t_s = 3.18\text{mm}$
金属套电阻	$R_s = 62.9 \times 10^{-6} \Omega/\text{m}$
导体电阻	$R = 11.3 \times 10^{-6} \Omega/\text{m}$
金属套电阻率	$\rho_s = 2.8264 \times 10^{-8} \Omega/\text{m}$
各回路内电缆轴心间距	$s = 150\text{mm}$
回路之间距离	$c = 375\text{mm}$

则:

$$m = \frac{\omega}{R_s} \times 10^{-7} = \frac{314 \times 10^{-7}}{62.9 \times 10^{-6}} = 0.5$$

$$z = \frac{d}{2s} = \frac{90}{2 \times 150} = 0.3$$

$$y = \frac{s}{c} = \frac{150}{375} = 0.4$$

$$\lambda_0 = C \frac{m^2}{1 + m^2} \times \left(\frac{d}{2s} \right)^2 = C \frac{0.5^2}{1 + 0.5^2} \left(\frac{90}{300} \right)^2 = C \times 0.018$$

$$\frac{R_s}{R} = \frac{62.9 \times 10^{-6}}{11.3 \times 10^{-6}} = 5.57$$

金属套厚度的修正:

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4\pi\omega}{\rho_s \times 10^7}} = \sqrt{\frac{4\pi \times 314}{2.8264 \times 10^{-8} \times 10^7}} = 118.2$$

$$g_s = 1 + \left(\frac{t_s}{D_s} \right)^{1.74} (\beta_1 D_s 10^{-3} - 1.6)$$

$$= 1 + \left(\frac{3.18}{93.18} \right)^{1.74} \times (118.2 \times 93.18 \times 10^{-3} - 1.6) = 1.026$$

$$G_s = \frac{(\beta_1 \times t_s)^4}{12 \times 10^{12}} = \frac{(118.2 \times 3.18)^4}{12 \times 10^{12}} = 0.0017$$



设导体以逆序连接

电缆	1	2	3	4	5	6
时序	R	S	T	T	S	R
C	1.5	6.0	1.5	1.5	6.0	1.5
λ_0	0.0270	0.1080	0.0270	0.0270	0.1080	0.0270
H	1.2200	1.0250	0.9190	0.9190	1.0250	1.2200
$(m=0.5 \quad z=0.3)$ (表 2-7-1)						
N	1.0605	1.1066	1.2593	1.2593	1.1066	1.0605
$(y=0.4)$ (表 2-7-2)						
J	1.0100	1.0000	0.9650	0.9650	1.0000	1.0100
$(m=0.5 \quad z=0.3 \quad y=0.4)$ (表 2-7-4, 表 2-7-9)						
g_s	1.026	1.026	1.026	1.026	1.026	1.026
G_s	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017
R_s/R	5.57	5.57	5.57	5.57	5.57	5.57

对 1 号电缆计算, 将这些参数代入式 (2-7-1):

$$\lambda''_{1d} = 5.57 \times (0.0270 \times 1.2200 \times 1.0605 \times 1.0100 \times 1.026) + 0.0017 \\ = 0.211$$

各条损耗汇总如下:

电缆	1	2	3	4	5	6
时序	R	S	T	T	S	R
λ''_{1d}	0.211	0.710	0.182	0.182	0.710	0.211

例 2 在这个示例中参数值是任选的, 这样就需要对表中数据之间进行插值。

设定:

金属套平均直径	$d = 100\text{mm}$
铝套厚度	$t_s = 2.6\text{mm}$
铝套电阻	$R_s = 35 \times 10^{-6} \Omega/\text{m}$
导体电阻	$R = 9 \times 10^{-6} \Omega/\text{m}$
铝套电阻率	$\rho_s = 2.8264 \times 10^{-8} \Omega/\text{m}$
各回路内电缆轴心间距	$s = 150\text{mm}$
回路之间距离	$c = 400\text{mm}$

则:

$$m = \frac{314 \times 10^{-7}}{35 \times 10^{-6}} = 0.897$$

$$z = \frac{100}{2 \times 150} = 0.333$$

$$y = \frac{150}{400} = 0.375$$

$$\lambda_0 = C \frac{0.897^2}{1 + 0.897^2} \times \left(\frac{1000}{2 \times 150} \right)^2 = C \times 0.0495$$

$$\frac{R_s}{R} = \frac{35 \times 10^{-6}}{9 \times 10^{-6}} = 3.89$$

取电缆 1 ($N_0 = 1$) 且顺序电流:

$$C = 1.5 \quad \lambda_0 = 1.5 \times 0.0495 = 0.0743$$

$$\beta = \sqrt{\frac{4\pi \times 314}{2.8264 \times 10^{-8} \times 10^{-7}}} = 118.2$$

$$g_s = 1 + \left(\frac{2.08}{102.6} \right)^{1.74} \times (118.2 \times 102.6 \times 10^{-3} - 1.6) = 1.018$$

$$G_s = \frac{(118.2 \times 2.6)^4}{12 \times 10^{12}} = 0.0007$$

对 H 插值:

$$m = 0.897 \quad z = 0.333 \text{ (计算值)}$$

$$m_0 = 0.500 \quad (\text{查表 2-7-1 } m_0 < m, m_1 > m)$$

$$m_1 = 1.000 \quad M = m_1 - m_0 = 0.500$$

$$z_0 = 0.300 \quad (\text{查表 2-7-1 } z_0 < z, z_1 > z)$$

$$z_1 = 0.35 \quad Z = (z_1 - z_0) = 0.05$$

$$m - m_0 = 0.897 - 0.500 = 0.397$$

$$z - z_0 = 0.333 - 0.300 = 0.033$$

$$H_a = 1.220 \quad H_a = f(m_0, z_0) \text{ (表 2-7-1)}$$

$$H_b = 1.347 \quad H_b = f(m_1, z_0) \text{ (表 2-7-1)}$$

$$H_c = 1.309 \quad H_c = f(m_0, z_1) \text{ (表 2-7-1)}$$

$$H_d = 1.503 \quad H_d = f(m_1, z_1) \text{ (表 2-7-1)}$$

$$A = 1.220$$

$$B = (1.347 - 1.220) / 0.5 = 0.254$$

$$C = (1.309 - 1.220) / 0.05 = 1.780$$

$$D = (1.503 + 1.220 - 1.309 - 1.347) / (0.5 \times 0.05) = 2.680$$

相加:

$$A = 1.2200$$

$$B \cdot (m - m_0) = 0.254 \times 0.397 = 0.1008$$

$$C \cdot (z - z_0) = 1.780 \times 0.033 = 0.0587$$

$$D \cdot (m - m_0) \cdot (z - z_0) = 2.68 \times 0.397 \times 0.033 = 0.0351$$

$$H = 1.4146$$

对 N 插值: $y = 0.375$, 顺序电流

$$y_0 = 0.3 \quad y_1 = 0.4 \quad [\text{查表 2-7-2, } y_0 (y_0 < y), y_1 (y_1 > y)]$$

$$\gamma - \gamma_0 = 0.375 - 0.3 = 0.075$$

$$N_a = 0.9432 \quad N_b = 0.9238 \quad (N_a = f(\gamma_0), N_b = f(\gamma_1), \text{查表 2-7-2})$$

$$N = 0.9432 + \frac{0.9238 - 0.9432}{0.4 - 0.3} \times 0.375 = 0.929$$

对 J 插值

$m = 0.897$	$z = 0.333$	$y = 0.375$	
$\gamma_0 = 0.200$	$z_0 = 0.300$	$m_0 = 0.500$	$j_a = 0.995$
		$m_1 = 1.000$	$j_b = 0.992$
	$z_1 = 0.400$	$m_0 = 0.500$	$j_c = 0.991$
		$m_1 = 1.000$	$j_d = 0.984$
$\gamma_1 = 0.400$	$z_0 = 0.300$	$m_0 = 0.500$	$j_e = 0.991$
		$m_1 = 1.000$	$j_f = 0.983$
	$z_1 = 0.400$	$m_0 = 0.500$	$j_g = 0.982$
		$m_1 = 1.000$	$j_h = 0.964$

$$M = 0.5 \quad Z = 0.1 \quad Y = 0.2$$

$$m' = 0.397 \quad z' = 0.033 \quad y' = 0.175$$

$$A = 0.995$$

$$B = (0.992 - 0.995) / 0.5 = -0.006$$

$$C = (0.991 - 0.995) / 0.1 = -0.040$$

$$D = (0.991 - 0.995) / 0.2 = -0.020$$

$$Q = [(0.995 + 0.984) - (0.992 + 0.991)] / (0.5 \times 0.1) = -0.080$$

$$R = [(0.995 + 0.982) - (0.991 + 0.991)] / (0.1 \times 0.2) = -0.250$$

$$S = [(0.995 + 0.983) - (0.992 + 0.991)] / (0.5 \times 0.2) = -0.050$$

$$T = [(0.992 + 0.991 + 0.991 + 0.964) - (0.995 + 0.984 + 0.983 + 0.982)] / (0.5 \times 0.1 \times 0.2) = -0.600$$

相加:

$$A = 0.9950$$

$$B \cdot m' = -0.006 \times 0.397 = -0.0024$$

$$C \cdot z' = -0.04 \times 0.033 = -0.0013$$

$$D \cdot y' = -0.02 \times 0.175 = -0.0035$$

$$Q \cdot m' \cdot z' = -0.08 \times 0.397 \times 0.033 = -0.0011$$

$$R \cdot z' \cdot y' = -0.25 \times 0.033 \times 0.175 = -0.0014$$

$$S \cdot m' \cdot y' = -0.05 \times 0.397 \times 0.175 = -0.0035$$

$$T \cdot m' \cdot z' \cdot y' = -0.6 \times 0.397 \times 0.033 \times 0.175 = -0.0014$$

$$J = 0.9804$$

这些参数代入式 (2-7-1):

$$\lambda''_{\text{td}} = 3.89 \times (0.0743 \times 1.4146 \times 0.929 \times 0.9804 \times 1.018 + 0.0007) \\ = 0.382$$

所有 6 根电缆的金属套损耗因数以及各回路之间距离较小的 c 值和单一回路敷设（相当于回路之间距离很大）时相应的金属套损耗因数汇总如表 2-7-12。

表 2-7-12 金属套损耗数

电缆编号	距 离 c (mm)			单 回 路
	150	300	400	
1	0.346	0.373	0.382	0.419
2	0.955	1.100	1.151	1.262
3	0.274	0.250	0.256	0.276
4	0.402	0.336	0.356	0.419
5	0.943	1.094	1.142	1.262
6	0.230	0.251	0.258	0.276

2.8 单芯电缆并列之间电流分配和环流损耗的计算

IEC 60287 1-3 (2002) 提出关于多根单芯电缆并联时每一导体传输的部分相电流和金属套的环流计算方法。⁹ 金属套损耗因数 (λ) 是以环流在金属套所引起损耗与电缆导体损耗之比来表示的。

下述计算方法仅考虑沿电缆导体的电压降, 忽略引起相电流的失衡的任何负载的不平衡。

求解并联导体及其金属套的未知电流方程式是根据两长导体相互并联所组成的回路阻抗以及回路与相邻导体之间的互抗基本方程式而确立的。由此而导出三相并联电缆系统各导体和金属套的阻抗电压联立方程式。同相的并联导体阻抗电压和金属套的阻抗电压均是相等的。因而可消去方程式中的阻抗电压。对于金属套而言, 并联导体的总电流等于已知的相电流或者等于零。这样就可以求解联立方程所需的其他数据。值得注意的是所有的电流都是复数。

导体之间的互抗是导体相对位置的函数。因而如果沿着整条线路的电缆相对位置是变化的或者金属套是交叉连接的, 为了求得每一回路的总阻抗就应分别计算每一线段的阻抗再求其向量总和。如果整条线路很短, 由于电缆相对位置的变化大致相等, 计算结果就会产生较明显的误差。

计算方法也可以用来计算无金属套或金属铠装及金属套单点互连接地的电缆间的电流分配 (此时, 每一金属套的环流为零) 和开路端的持续电压。

2.8.1 计算方法概述

并联线路电缆金属套损耗因数可由下式求得:

$$\lambda'_p = \left(\frac{I_{\Sigma}}{I_p} \right)^2 \frac{R_s}{R_c} \quad (2-8-1)$$

式中 λ'_p ——环流在电缆 p 所引起的金属套损耗因数;

I_{Σ} ——电缆 p 的金属套中的环流, A;

I_p ——电缆 p 的导体电流, A;

R_s ——工作温度下的金属套电阻, Ω/m ;

R_c ——工作温度下导体电阻, Ω/m 。

电流 I_ϕ 和 I_p 可由下述的导体总数为 n 的并联导体为 p 的方程式求解而得。为简化起见, 相导体与金属套均以导体表示。相导体电流为 I_1 、 I_2 等, 金属套电流为 I_{3p+1} 、 I_{3p+2} 、 I_{3p+3} 等。

为计算简便, 采用下标标记:

参考电缆

线路	1	$\cdots i$	$\cdots p$
R 相	1	$\cdots i$	$\cdots p$
S 相	$p+1$	$\cdots p+i$	$\cdots 2p$
T 相	$2p+1$	$\cdots 2p+i$	$\cdots 3p$

导体则视为:

参照相导体 = 参照电缆

参照金属套导体 = 参照电缆 + $3p$

每相电流可由下式求得:

$$\begin{aligned} I_R[1 + j0] &= \sum_{k=1}^p I_k \\ I_S[-0.5 - j0.866] &= \sum_{k=p+1}^{2p} I_k \\ I_T[-0.5 + j0.866] &= \sum_{k=2p+1}^{3p} I_k \end{aligned} \quad (2-8-2)$$

上述方程式均假定为正相序旋转。如果相序旋转是未知的, 则应按正相序和反相序旋转计算。

对于代表金属套的导体回路电流由下式求得:

$$0 + j0 = \sum_{k=3p+1}^{6p} I_k \quad (2-8-3)$$

每一导体的电压降为:

——R 相导体:

$$\Delta V_R = \sum_{k=1}^{6p} Z_{i,k} \times I_k \quad (2-8-4)$$

i 从 $i=1$ 到 p 。

——S 相导体:

$$\Delta V_S = \sum_{k=1}^{6p} Z_{i,k} \times I_k \quad (2-8-5)$$

i 从 $i=p+1$ 到 $2p$ 。

——T 相导体:

$$\Delta V_1 = \sum_{k=1}^{6p} Z_{1,k} \times I_k \quad (2-8-6)$$

i 从 $i = 2p + 1$ 到 $3p$ 。

—金属套导体：

$$\Delta V_A = \sum_{k=1}^{6p} Z_{A,k} \times I_k \quad (2-8-7)$$

从上述方程式消去电压降而导出下述形式的 $(6p - 4)$ 方程式：

$$0 + j0 = \sum_{k=3p+1}^{6p} ZZ_{i,k} \times I_k \quad (2-8-8)$$

$$ZZ_{i,k} = Z_{i,k} - Z_{i+1,k} = R_{i,k} + jX_{i,k}$$

R 则为：

$$R = 0 \quad (\text{如果 } i \neq k) \quad R = 0 \quad (\text{如果 } i \neq k - 1)$$

对于相导体：

$$R = R_c \quad (\text{如果 } i = k \text{ 并且 } i \leq 3p) \quad R = -R_c \quad (\text{如果 } i = k - 1 \text{ 并且 } i \leq 3p)$$

对于金属套导体：

$$R = R_s \quad (\text{如果 } i = k \text{ 并且 } i > 3p) \quad R = -R_s \quad (\text{如果 } i = k - 1 \text{ 并且 } i > 3p)$$

$X_{i,k}$ 可视为阻抗并由下式表示：

$$X_{i,k} = 2\omega 10^{-7} \ln \left(\frac{d_{i+1,k}}{d_{i,k}} \right) \quad (2-8-9)$$

如果 $i \neq k$ 则 $d_{i,k} = D_{m,n}$ = 电缆 m 与 n 之间的轴向距离

如果 $i \leq 3p$ $m = i$ 如果 $i > 3p$ $m = i - 3p$ 并且

如果 $k \leq 3p$ $n = k$ 如果 $k > 3p$ $n = k - 3p$

如果 $i = k$ 并且 $i \leq 3p$ 则 $d_{i,k} = \alpha \frac{d_c}{2}$

如果 $i = k$ 并且 $i > 3p$ 则 $d_{i,k} = \frac{d_s}{2}$

$$\omega = 2\pi f$$

式中 f ——频率，Hz；

d_c ——导体直径，mm；

d_s ——金属套平均直径，mm；

α ——取决于导体结构的系数，见表 2-8-1。

表 2-8-1 导体的 α 系数

导体根数	α 值	导体根数	α 值	导体根数	α 值
1	0.779	19	0.758	91	0.774
3	0.678	37	0.768	127	0.776
7	0.726	61	0.772		

表中的数据适用于非紧压导体。对于紧压导体则应采用 $\alpha = 0.779$ 。

2.8.2 矩阵解

一般情况下所导出的方程式为以下形式：

$$Q_n = f(Z_n \times I_n)$$

式中 Q 值可由式 (2-8-2)、式 (2-8-3) 和式 (2-8-8) 的左侧求得。 Z_n 值为此式的 I_n 系数，而 I 值则为导体和金属套的未知电流。

矩阵形式的方程式变为：

$$[Q] = [Z] \times [I]$$

$[Z]$ 为式 (2-8-2)、式 (2-8-3) 和式 (2-8-8) 内 I_1 至 I_n 系数的矩阵平均值。

为了求解未知电流 $[I]$ ，把上式改写为：

$$[I] = [Z]^{-1}[Q]$$

$[Z]^{-1}$ 为 $[Z]$ 矩阵的倒数。

引用矩阵解的计算示例如下。

2.8.3 计算示例

电缆尺寸是任选的。设整条线路电缆相对位置并不改变而且连接导体的阻抗相对于导体阻抗是可以忽略的。同时忽略集肤和邻近效应对导体交流电阻的影响。示例中所计算的阻抗均是相对于 1000m 长的电缆。参数列于表 2-8-2 中。

表 2-8-2 电 源 与 电 缆 参 数

参 数	数 值	参 数	数 值
电源频率	50Hz	127 绞合导体系数	0.776
铜导体直径	32.8mm	20℃ 铝金属套电阻	$0.18 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$
20℃时的电阻	$28.3 \times 10^{-6} \Omega/\text{m}$	铝金属套平均直径	48mm
最高工作温度	70℃	铝金属套温度	60℃
70℃时导体电阻	$33.86 \times 10^{-6} \Omega/\text{m}$	60℃ 铝金属套电阻	$0.209 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$
导体的导丝根数	127		

例 1 电缆平面排列，每相两根电缆并联。电缆中心间距为 200mm。

三相系统无中性线。电缆排列如下



图 2-8-1 电缆排列示意图

为了计算方便，每一电缆的导体和金属套均加以编号，导体编为 1~6，金属套为 7~12。第一根电缆将有导体 1 和金属套 7。第二根电缆为 2 及 8 等，即这个示例中共有 12 根导体。

计算：任一点均可固定为零坐标 (0, 0)，但为方便起见，取左侧电缆的轴线为 (0, 0)，把电缆坐标引入阵列 S 如下：

	x	y	
	0	0	电缆 1R 相
	1000	0	电缆 2R 相
$S =$	200	0	电缆 3S 相
	800	0	电缆 4S 相
	400	0	电缆 5T 相
	600	0	电缆 6T 相

可利用下式计算电缆轴间距离: ($m = 1 \sim 6, n = 1 \sim 6$)

$$D_{m,n} = \sqrt{(S_{m,1} - S_{n,1})^2 + (S_{m,2} - S_{n,2})^2}$$

列阵内 D 内电缆轴间距离如下

$D =$	0	1000	200	800	400	600
	1000	0	800	200	600	400
	200	800	0	600	200	400
	800	200	600	0	400	200
	400	600	200	400	0	200
	600	400	400	200	200	0

显然, 阵列内对角线的数据是对称的, 因而不必计算电缆 m 和 n 以及电缆 n 和 m 之间的间距。在把该阵列修改成含有所需要的 $d_{j,k}$ 值就可以计算 $X_{j,k}$, 修改后的阵列见表 2-8-4, 利用式 (2-8-9) 就可以计算有效感抗 $X_{j,k}$ 。

$$X_{j,k} = 2\omega 10^{-7} \ln \left(\frac{d_{j+1,k}}{d_{j,k}} \right)$$

式 (2-8-8) 右侧的系数 ZZ 可按下式计算, 并引入阵列如表 2-8-4 所示。

表 2-8-3 $d_{j,k}$ 计 算 值

12.73	1000	200	800	400	600	24	1000	200	800	400	600
1000	12.73	800	200	600	400	1000	24	800	200	600	400
200	200	12.73	600	200	400	200	200	24	600	200	400
800	800	600	12.73	400	200	800	800	600	24	400	200
400	600	200	400	12.73	200	400	600	200	400	24	200
600	400	400	200	200	12.73	600	400	400	200	200	24
24	1000	200	800	400	600	24	1000	200	800	400	600
1000	24	800	200	600	400	1000	24	800	200	600	400
200	200	24	600	200	400	200	200	24	600	200	400
800	800	600	24	400	200	800	800	600	24	400	200
400	600	200	400	24	200	400	600	200	400	24	200
600	400	400	200	200	24	600	400	400	200	200	24

表 2-8-4

ZZ 的计算值

$0.0339 + 0.2742j$	$-0.0339 - 0.2742j$	$0.0871j$	$-0.0871j$	$0.0255j$	$-0.0255j$
$0.0871j$	$-0.0871j$	$0.0339 + 0.2421j$	$-0.0339 - 0.2421j$	$0.0436j$	$-0.0436j$
$0.0255j$	$-0.0255j$	$0.0436j$	$-0.0436j$	$0.0339 + 0.1731j$	$-0.0339j - 0.1731j$
$0.02343j$	$-0.2343j$	$0.0871j$	$-0.0871j$	$0.0255j$	$-0.0225j$
$-0.1011j$	$0.2203j$	$-0.2203j$	$0.069j$	$-0.069j$	0
$0.0871j$	$-0.0871j$	$0.2022j$	$-0.2022j$	$0.0436j$	$-0.0436j$
$-0.0436j$	$0.069j$	$-0.069j$	$0.1768j$	$-0.1768j$	0
$0.0255j$	$-0.0255j$	$0.0436j$	$-0.0436j$	$0.13332j$	$-0.1332j$
$0.2343j$	$-0.2343j$	$0.0871j$	$-0.0871j$	$0.0255j$	$0.0255j$
$0.0871j$	$-0.0871j$	$0.2022j$	$-0.2022j$	$0.0436j$	$-0.0436j$
$0.0255j$	$-0.0255j$	$0.0436j$	$-0.0436j$	$0.1332j$	$-0.1332j$
$0.209 + 0.2343j$	$-0.209 - 0.2343j$	$0.0871j$	$-0.0871j$	$0.0255j$	$-0.0225j$
$-0.1011j$	$0.209 + 0.2203j$	$-0.209 - 0.2203j$	$0.069j$	$-0.069j$	0
$0.0871j$	$0.0871j$	$0.209 + 0.2022j$	$-0.209 - 0.2022j$	$-0.0436j$	$-0.0436j$
$-0.0436j$	$-0.069j$	$-0.069j$	$0.209 + 0.1768j$	$-0.209 - 0.1768j$	0
$0.0255j$	$-0.0255j$	$0.0436j$	$-0.0436j$	$0.209 + 0.1332j$	$-0.209 - 0.1332j$

$$ZZ_{i,k} = R_{i,k} + jX_{i,k}$$

式中

$$R = 0 \text{ (如果 } i \neq k) \quad R = 0 \text{ (如果 } i \neq k - 1)$$

$$R = R_c \text{ (如果 } i = k \text{ 并且 } j \leq 3p) \quad R = -R_c \text{ (如果 } i = k - 1 \text{ 并且 } i \leq 3p)$$

$$R = R_s \text{ (如果 } i = k \text{ 并且 } j > 3p) \quad R = -R_s \text{ (如果 } i = k - 1 \text{ 并且 } i > 3p)$$

把式(2-8-2)和式(2-8-3)右侧的电流系数 I 引入阵列 H 内,如下所示。

$$H = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \begin{matrix} \text{R 相} \\ \text{S 相} \\ \text{T 相} \\ \text{金属套} \end{matrix}$$

把这些系数均列入按所考虑的导体回路所获得的同一矩阵内,新的阵列 $[Z]$ 列于表2-8-5。

表 2-8-5

包括电流系数的阵列 $[Z]$

1	2	3	4	5	6
$0.0339 + 0.2742j$	$-0.0339 - 0.2742j$	$0.0871j$	$-0.0871j$	$0.0255j$	$-0.0255j$
1	1	0	0	0	0
$0.0871j$	$-0.0871j$	$0.0339 + 0.2421j$	$-0.0339 - 0.2421j$	$0.0436j$	$-0.0436j$
0	0	1	1	0	0
$0.0255j$	$-0.255j$	$0.0436j$	$-0.0436j$	$0.0339 + 0.1731j$	$-0.0339 - 0.1731j$
0	0	0	0	1	1

续表

7	8	9	10	11	12
0.2343j	-0.2343j	0.0871j	-0.0871j	0.0255j	-0.0225j
-0.1011j	0.2203j	-0.2203j	0.069j	-0.069j	0
0.0871j	-0.0871j	0.2022j	-0.2022j	0.0436j	-0.0436j
-0.0436j	0.069j	-0.069j	0.1768j	-0.1768j	0
0.0255j	-0.0255j	0.0436j	-0.0436j	0.1332j	-0.1332j
0	0	0	0	0	0
1	2	3	4	5	6
0.2343j	-0.2343j	0.0871j	-0.0871j	0.0255j	0.0255j
0	0	0	0	0	0
0.0871j	-0.0871j	0.2022j	-0.2022j	0.0436j	-0.0436j
0	0	0	0	0	0
0.0255j	-0.0255j	0.0436j	-0.0436j	0.1332j	-0.1332j
0	0	0	0	0	0
7	8	9	10	11	12
0.209 + 0.2343j	-0.209 - 0.2343j	0.0871j	-0.0871j	0.0255j	-0.0225j
-0.1011j	0.209 + 0.2203j	-0.209 - 0.2203j	0.069j	-0.069j	0
0.0871j	-0.0871j	0.209 + 0.2022j	-0.209 - 0.2022j	-0.0436j	-0.0436j
-0.0436j	0.069j	-0.069j	0.209 + 0.1768j	-0.209 - 0.1768j	0
0.0255j	-0.0255j	0.0436j	-0.0436j	0.209 + 0.1332j	-0.209 - 0.1332j
1	1	1	1	1	1

将式 (2-8-2) 和式 (2-8-3) 左侧的数值和系数引入阵列 $[Q]$ 内, 如下:

$$[Q] = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -0.5 - 0.866j \\ 0 \\ -0.5 + 0.866j \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

求解表 2-8-5 的阵列 $[Z]$ 和上述 $[Q]$ 的联立方程就可计算每一导体的相电流和金属套电流。这些电流均以阻性和感性分量表示。矩阵 $[Z]$ 的倒数乘以 $[Q]$ 就可求解这个方程式。

$$[I] = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ -0.25 - 0.433j \\ -0.25 - 0.433j \\ -0.25 + 0.433j \\ -0.25 + 0.433j \\ -0.25 + 0.433j \\ -0.216 - 0.1892j \\ -0.216 - 0.1892j \\ -0.1309 + 0.2164j \\ -0.1309 + 0.2164j \\ -0.3469 - 0.0272j \\ -0.3469 - 0.0272j \end{pmatrix}$$

假设总的相电流为 100A, 求得相导体电流和金属套电流值以及金属套损耗因数如下:

$$\text{相导体电流} = |I_m| \times 100 \quad \text{金属套电流} = |I_{3p+m}| \times 100$$

$$\text{损耗因数} = \frac{(|I_{3p+m}| \times 100)^2 \times R_s}{(|I_m| \times 100)^2 \times R_c}$$

表 2-8-6

相导体电流等参数

电 缆	相 电 流	金属套电流	金属套损耗	电 缆	相 电 流	金属套电流	金属套损耗
电缆 1, R 相	50	28.7	2.036	电缆 4, S 相	50	25.3	1.58
电缆 2, R 相	50	28.7	2.036	电缆 5, T 相	50	34.8	2.99
电缆 3, S 相	50	25.3	1.58	电缆 6, T 相	50	34.8	2.99

例 2 本例中电缆数据和间距均与例 1 所用的数据相同, 但为逆相序。假设总相电流为 100A, 求得相导体电流和金属套电流值以及金属套损耗因数如下:

表 2-8-7

相电流等参数

电 缆	相 电 流	金属套电流	金属套损耗	电 缆	相 电 流	金属套电流	金属套损耗
电缆 1, R 相	50	34.4	2.916	电缆 4, S 相	50	24.5	1.477
电缆 2, R 相	50	34.4	2.916	电缆 5, T 相	50	29.9	2.213
电缆 3, S 相	50	24.5	1.477	电缆 6, T 相	50	29.9	2.213

例 3 本例采用示例 1 相同的电缆数据, 但 6 根电缆排列成二个三角形组合。两组之间距离 200mm。排列如下:

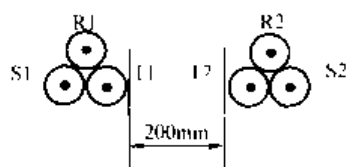


图 2-8-2 三角形排列两回路

电缆坐标如下:

x	y	
30	52	电缆 1 R 相
230	52	电缆 2 R 相
0	0	电缆 3 S 相
260	0	电缆 4 S 相
60	0	电缆 5 T 相
240	0	电缆 6 T 相

假设总的相电缆为 100A, 求得相导体电流和金属套电流值以及金属套损耗因数如下:

表 2-8-8

相 电 流 等 参 数

电 缆	相 电 流	金属套电流	金属套损耗	电 缆	相 电 流	金属套电流	金属套损耗
电缆 1, R 相	50	13.9	0.474	电缆 4, S 相	50	13.8	0.468
电缆 2, R 相	50	13.9	0.474	电缆 5, T 相	50	14.1	0.492
电缆 3, S 相	50	13.8	0.468	电缆 6, T 相	50	14.1	0.492

例 4 本例采用示例 1 相同的电缆数据, 但电缆相导体之间的电流分配并不相等。电缆排列如下

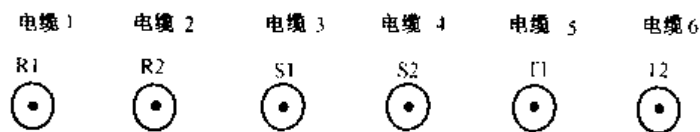


图 2-8-3 电缆排列示意图

电缆坐标如下:

x	y	
0	0	电缆 1 R 相
400	0	电缆 2 R 相
800	0	电缆 3 S 相
1200	0	电缆 4 S 相
1600	0	电缆 5 T 相
2000	0	电缆 6 T 相

假设总的相电缆为 100A, 求得相导体电流和金属套电流值以及金属套损耗因数如下:

表 2-8-9

相 电 流 等 参 数

电 缆	相 电 流	金属套电流	金属套损耗	电 缆	相 电 流	金属套电流	金属套损耗
电缆 1, R 相	46.31	38.4	4.236	电缆 4, S 相	55.66	34.8	2.428
电缆 2, R 相	53.71	36.5	2.845	电缆 5, T 相	50.76	43.7	4.576
电缆 3, S 相	44.59	37.4	4.346	电缆 6, T 相	49.62	44.4	4.947

在这种电缆排列情况下,金属套损耗因数远高于示例1所求得的数据。因此,同一相的所有导体应避免放在一起。

2.9 电缆本体热阻计算

2.9.1 电缆绝缘的热阻 T_i

(1) 单芯电缆:一根导体和金属套之间绝缘热阻 T_i 由下式给出:

$$T_i = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2t_i}{d_c} \right) \quad (2-9-1)$$

式中 ρ_T ——绝缘材料热阻系数, $K \cdot m/W$, 见表 2-9-1;

d_c ——导体直径, mm;

t_i ——导体和金属套之间的绝缘厚度, mm。

注:对于皱纹金属护套 t_i 按金属套内直径的平均值计算:

$$\frac{D_n + D_w}{2} - t_s$$

式中 D_n ——与皱纹金属套波谷内表面相切的假想同心圆柱体的直径, mm;

D_w ——与皱纹金属套波峰相切的假想同心圆柱体的直径, mm;

t_s ——金属套厚度, mm。

表 2-9-1 材料热阻系数

ρ_T ($K \cdot m/W$)	热阻系数	ρ_T ($K \cdot m/W$)	热阻系数
绝缘材料 ^①	—	护层材料	—
固态型电缆纸	6.0	浸渍麻和纤维	6.0
充油电缆纸	5.0	夹层橡胶	6.0
外气压电缆纸	5.5	氯丁橡胶	5.5
内气压电缆纸	—	PVC 35kV 及以下	5.0
预浸渍	5.5	大于 35kV	6.0
全浸渍	6.0	皱纹铝套上 PVC/沥青	6.0
聚乙烯 (PE)	3.5	聚乙烯 (PE)	3.5
交联聚乙烯 (XLPE)	3.5	管道敷设用材料	—
聚氯乙烯 3kV 及以下	5.0	水泥混凝土	1.0
3kV 以上	6.0	纤维	4.8
乙丙橡胶 $\leq 3kV$	3.5	石棉	2.0
$> 3kV$	5.0	陶土	1.2
丁基橡胶	5.0	PVC	6.0
橡皮	5.0	PE	3.5

注 ①为计算载流量,半导电屏蔽材料假设与邻近的介质材料具有相同的热特性。外护层材料所用的塑料或合成橡胶热阻系数按表中相同材料的取值。

(2) 带绝缘电缆:一根导体和金属套之间热阻 T_i 由下式给出:

$$T_i = \frac{\rho_T}{2\pi} G \quad (2-9-2)$$

式中 G ——几何因数。

注：对于皱纹金属护套， t_1 按金属套内直径的平均值计算同式 (2-9-1)。

1) 二芯圆导体带绝缘电缆几何因数：当用计算器手工计算时可采用图解法，如图 2-9-1 所示。当用计算机编程计算时可采用下面提供的数字法计算。

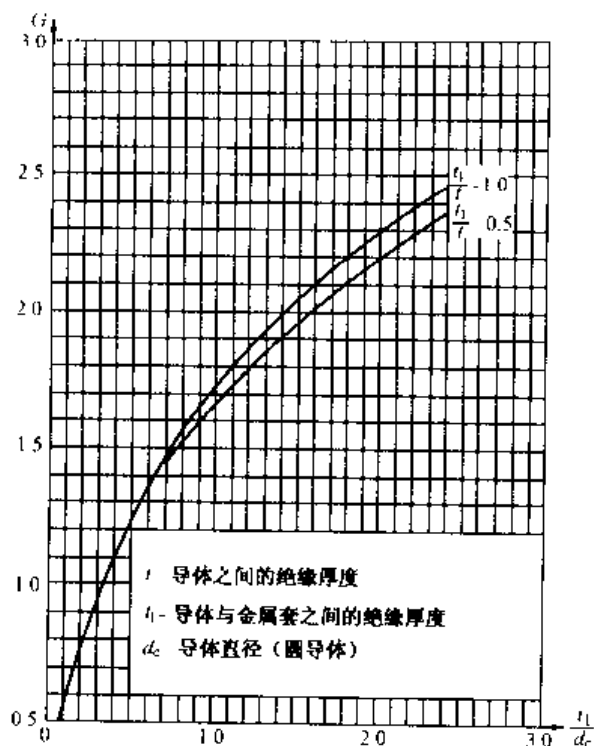


图 2-9-1 二芯圆导体带绝缘电缆 G

圆导体二芯带绝缘电缆几何因数 G 求值如下：

$$\text{设：} X = t_1/d_c$$

$$Y = (2t_1/t) - 1$$

$$\text{则：} \quad G = M \cdot G_s \quad (2-9-3)$$

式中：

$$M = \ln \left[\frac{1 - \alpha\beta + [(1 - \alpha^2)(1 - \beta^2)]^{0.5}}{\alpha - \beta} \right]$$

$$\alpha = \frac{1}{\left[1 + \frac{X}{1 + X/(1 + Y)} \right]^2}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{X}{1 + Y} - \frac{1}{3}$$

$G_s = G_s(X, Y)$ ，即 X 和 Y 二者的函数。

$G_s(X, 0)$ ， $G_s(X, 0.5)$ 和 $G_s(X, 1)$ 数值计算

$$G_s(X, 0) = 1.06019 - 0.0671778X + 0.0179521X^2$$

$$G_s(X, 0.5) = 1.06798 - 0.0651648X + 0.0158125X^2$$

$$G_s(X, 1) = 1.06700 - 0.0557156X + 0.0123212X^2$$

用下面公式二次插值可求得 $G_s(X, Y)$ ：

$$G_s(X, Y) = G_s(X, 0) + Y[-3G_s(X, 0) + 4G_s(X, 0.5) - G_s(X, 1)] \\ + Y^2[2G_s(X, 0) - 4G_s(X, 0.5) + 2G_s(X, 1)]$$

2) 二芯扇形导体带绝缘电缆几何因数：由下式给出：

$$G = 2F_1 \ln \left(\frac{d_s}{2r_1} \right) \quad (2-9-4)$$

$$F_1 = 1 + \frac{2.2t}{2\pi(d_s + t) - t}$$

式中 d_s ——带绝缘外径，mm；

r_1 ——各导体的外接圆半径，mm；

d_s ——具有与扇形导体的截面和紧压度均相同的圆导体的直径，mm；

t ——导体之间的绝缘厚度，mm。

3) 三芯圆形导体带绝缘电缆几何因数：当用计算器手工计算时可采用图解法，如图

2-9-2 所示。

当用计算机编程计算时可采用下面提供的数字法计算。

圆导体三芯带绝缘电缆几何因数 G 求值如下：

设： $X = t_1/d$ ，

$$Y = (2t_1/t) - 1$$

则： $G = M \times G_s$ (2-9-5)

式中：

$$M = \ln \left[\frac{1 - \alpha\beta + [(1 - \alpha^2)(1 - \beta^2)]^{0.5}}{\alpha - \beta} \right]$$

$$\alpha = \frac{1}{\left[1 + \frac{2X}{1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{2X}{1 + Y} \right)} \right]^3}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{2X}{1 + Y} - 3 \right)}{\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{2X}{1 + Y} + 3 \right)}$$

$G_s = G_s(X, Y)$ ，即 X 和 Y 二者的函数。

$G_s(X, 0)$ 、 $G_s(X, 0.5)$ 和 $G_s(X, 1)$ 数值

计算

$$G_s(X, 0) = 1.09414 - 0.0944045X + 0.0234464X^2$$

$$G_s(X, 0.5) = 1.09605 - 0.0801857X + 0.0176917X^2$$

$$G_s(X, 1) = 1.09831 - 0.0720631X + 0.0145909X^2$$

使用三个计算值的二次插值可求得 $G_s(X, Y)$ 值。

用下面的公式可以替代 $G_s(X, 0)$ 、 $G_s(X, 0.5)$ 和 $G_s(X, 1)$ ：

$$G_s(X, Y) = G_s(X, 0) + Y[-3G_s(X, 0) + 4G_s(X, 0.5) - G_s(X, 1)] \\ + Y^2[2G_s(X, 0) - 4G_s(X, 0.5) + 2G_s(X, 1)]$$

4) 三芯椭圆形导体带绝缘电缆：该将以下式相应直径作为等效圆导体电缆来处理。

$$d_c = \sqrt{d_{cm} \cdot d_{cm}} \quad (2-9-6)$$

式中 d_{cm} ——椭圆导体的长轴直径，mm；

d_{cm} ——椭圆导体的短轴直径，mm。

5) 三芯扇形导体带绝缘电缆：该几何因数 G 取决于扇形的形状，各制造厂不同。适合的公式为：

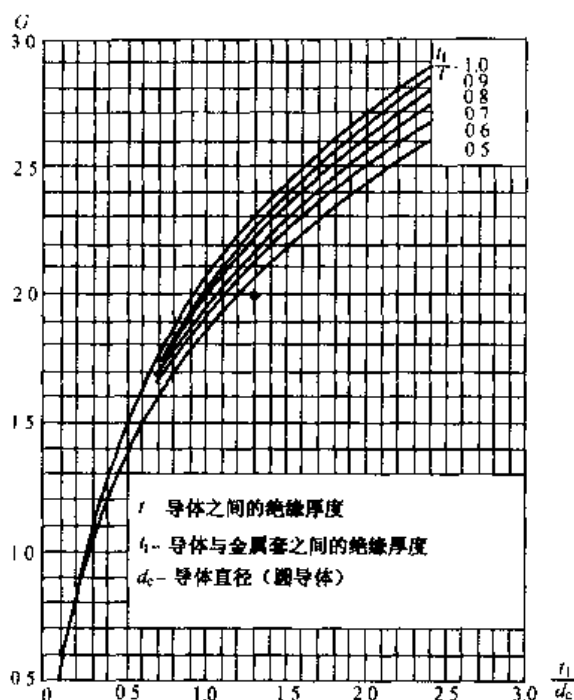


图 2-9-2 三芯圆导体带绝缘电缆 G

$$G = 3F_2 \ln\left(\frac{d_a}{2r_1}\right) \quad (2-9-7)$$

$$F_2 = 1 + \frac{3t}{2\pi(d_1 + t) - t}$$

式中 d_a ——带绝缘外径, mm;

r_1 ——各导体的外接圆半径, mm;

d_1 ——具有与扇形导体的截面和紧压度均相同的圆导体的直径, mm;

t ——导体之间的绝缘厚度, mm。

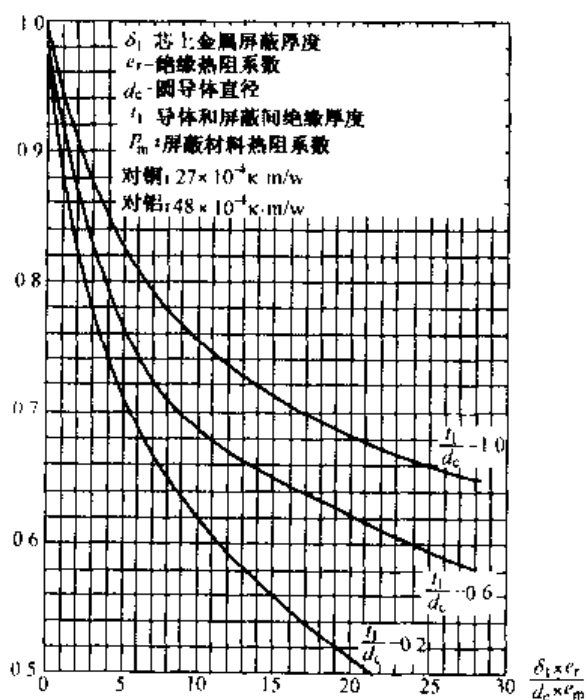


图 2-9-3 圆形三芯屏蔽电缆与相应无屏蔽电缆热阻之比

(3) 金属带屏蔽型三芯电缆:

1) 圆形导体屏蔽型电缆: 这种类型电缆可首先作为以 $t_1/t = 0.5$ 的带绝缘电缆考虑, 然后再计及金属屏蔽的导热效应, 其结果再乘以屏蔽因数 K 。

$$T_1 = K \frac{\rho_T}{2\pi} G \quad (2-9-8)$$

对于圆导体三芯屏蔽相对于非屏蔽电缆热阻比值: 当用计算器手工计算时可采用图解法, 如图 2-9-3 所示。当用计算机编程计算时可采用下面提供的数字法计算。

$$\text{设: } X = (\delta_1 \rho_T) / (d_c \rho_m)$$

$$Y = t_1 / d_c$$

屏蔽因数 K 是 X 和 Y 的函数。根据 $0 < X \leq 6$ 或 $6 < X \leq 25$ 条件计算 $K(X, 0.2)$ 、 $K(X, 0.6)$ 和 $K(X, 1)$ 三个数值。

$$0 < X \leq 6$$

$$K(X, 0.2) = 0.998095 - 0.1233690X + 0.0202620X^2 - 0.00141667X^3$$

$$K(X, 0.6) = 0.999452 - 0.0896589X + 0.0120239X^2 - 0.000722228X^3$$

$$K(X, 1) = 0.997976 - 0.0528571X + 0.00345238X^2$$

$$6 < X \leq 25$$

$$K(X, 0.2) = 0.824160 - 0.0288721X + 0.000928511X^2 - 0.0000137121X^3$$

$$K(X, 0.6) = 0.853348 - 0.0246874X + 0.000966967X^2 - 0.0000159967X^3$$

$$K(X, 1) = 0.883287 - 0.0153782X + 0.000260292X^2$$

则 $K(X, Y)$ 从这三个计算值的二次插值求得, 可用下面公式取代:

$$K(X, Y) = K(X, 0.2) + Z[-3K(X, 0.2) + 4K(X, 0.6) - K(X, 1)] + Z^2[2K(X, 0.2) - 4K(X, 0.6) + 2K(X, 1)]$$

$$Z = 1.25Y - 0.25$$

2) 椭圆形导体屏蔽电缆: 以相应的直径 $d_e = \sqrt{d_{cm} \cdot d_{cm}}$ 作为等效圆导体电缆来处理。

3) 扇形导体屏蔽电缆: 按扇形导体带绝缘电缆相同的方法计算 T_1 , 但 d_s 按所有线芯的外接圆直径选取其结果再乘以下面所给的屏蔽因数。

对于扇形导体屏蔽相对于非屏蔽电缆热阻比值: 当用计算器手工计算时可采用图解法, 如图 2-9-4 所示。当用计算机编程计算时可采用下面提供的数字法计算。

扇形导体三芯屏蔽与非屏蔽电缆热阻比值

$$\text{设: } X = (\delta_1 \rho_T) / (d_s \rho_m)$$

$$Y = t_1 / d_s$$

屏蔽因数 K 是 X 和 Y 的函数。根据下面的公式按照 $0 < X \leq 3$ 、 $3 < X \leq 6$ 或 $6 < X$

≤ 25 的条件来计算 $K(X, 0.2)$ 、 $K(X, 0.6)$ 和 $K(X, 1)$ 三个数值。

$$0 < X \leq 3$$

$$K(X, 0.2) = 1.00169 - 0.0945X + 0.00752381X^2$$

$$K(X, 0.6) = 1.00171 - 0.0769286X + 0.00535714X^2$$

$$K(X, 1) = K(X, 0.6)$$

$$3 < X \leq 6$$

$$K(X, 0.2) = 1.00169 - 0.0945X + 0.00752381X^2$$

$$K(X, 0.6) = 1.00171 - 0.0769286X + 0.00535714X^2$$

$$K(X, 1) = 1.00117 - 0.0752143X + 0.00533334X^2$$

$$6 < X \leq 25$$

$$K(X, 0.2) = 0.811646 - 0.0238413X + 0.000994933X^2 - 0.0000155152X^3$$

$$K(X, 0.6) = 0.833598 - 0.0223155X + 0.000978956X^2 - 0.0000158311X^3$$

$$K(X, 1) = 0.842875 - 0.0227255X + 0.00105825X^2 - 0.0000177427X^3$$

对于 $0 < X \leq 3$ 和 $0.2 < Y \leq 0.6$ 通过 $K(X, 0.2)$ 和 $K(X, 0.6)$ 之间线性插值求得 $K(X, Y)$, 如下:

$$K(X, Y) = K(X, 0.2) + 2.5(Y - 0.2)[K(X, 0.6) - K(X, 0.2)]$$

对于 $3 < X \leq 25$, 通过三个数值之间二次插值求得 $K(X, Y)$, 相应公式如下:

$$K(X, Y) = K(X, 0.2) + Z[-3K(X, 0.2) + 4K(X, 0.6) - K(X, 1)] \\ + Z^2[2K(X, 0.2) - 4K(X, 0.6) + 2K(X, 1)]$$

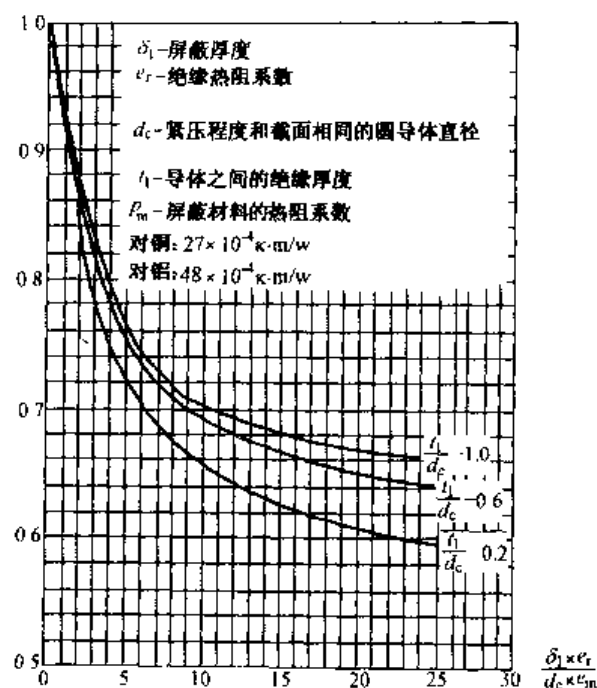


图 2-9-4 圆形三芯屏蔽电缆与相应无屏蔽电缆热阻之比

式中: $Z = 1.25 Y - 0.25$

(4) 充油电缆:

1) 圆导体、金属化纸屏蔽和线芯之间有圆形油道的三芯电缆: 单根导体和金属套之间的热阻由下式给出:

$$T_1 = 0.358 \rho_T \left(\frac{2t_i}{d_c + 2t_i} \right) \quad (2-9-9)$$

式中 d_c ——导体直径, mm;

t_i ——绝缘厚度, 包括碳黑和金属化纸带再加上绕包在三个线芯的非金属带厚度的一半, mm;

ρ_T ——绝缘热阻系数, $K \cdot m/W$ 。

这个公式假设被金属管道和内部油占有的部分与绝缘相比有良好的导热性, 因此, 不计及所用金属管道及其厚度。

2) 圆形导体、金属带线芯屏蔽和线芯之间有圆形油道的三芯电缆: 导体和金属套之间的热阻 T_1 由下式给出:

$$T_1 = 0.35 \rho_T \left(0.923 - \frac{d_c}{d_c + 2t_i} \right) \quad (2-9-10)$$

式中 t_i ——绝缘厚度, 包括碳黑和金属化纸带再加上绕包在三个线芯的非金属带厚度的一半, mm。

注: 该公式与屏蔽和油道所用的金属无关

3) 圆形线芯金属带屏蔽、无油道, 铜编织带使线芯与皱纹铝金属套合在一起的三芯电缆: 线芯与金属套之间热阻 T_1 由下式给出:

$$T_1 = \frac{475}{D_c^{1.74}} \left(\frac{t_g}{D_c} \right)^{0.62} + \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left(\frac{D_c - 2\delta_1}{d_c} \right) \quad (2-9-11)$$

$$t_g = 0.5 \times \left(\frac{D_{it}}{2} + \frac{D_{ic}}{2} - 2.16 D_c \right)$$

式中 D_c ——包在线芯外金属屏蔽带的直径, mm;

t_g ——线芯金属屏蔽带和金属套平均内直径之间的平均标称间隙, mm;

δ_1 ——线芯屏蔽的金属带厚度, mm;

D_{it} ——与皱纹金属套波谷内表面相切的假想同心圆柱体的直径 $= D_{it} - 2t$, mm;

D_{ic} ——与皱纹金属套波峰内表面相切的假想同心圆柱体的直径, mm。

注: 该公式不考虑屏蔽带所用的金属。

(5) SL 和 SA 型电缆: 热阻 T_1 的计算与单芯电缆计算方法相同。

2.9.2 金属套和铠装之间热阻 T_2

(1) 具有共同金属套的单芯、二芯和三芯电缆金属套和铠装之间热阻 T_2 由下式给出:

$$T_2 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2t_2}{D_s} \right) \quad (2-9-12)$$

式中 t_2 ——内衬层厚度, mm;

D_s ——金属套外径, mm。

(2) SA 和 SL 型电缆: 铠装下衬层和填充的热阻由下式给出:

$$T_2 = \frac{\rho_T \bar{G}}{2\pi} \quad (2-9-13)$$

式中 $\bar{G}$ ——几何因数。

当用计算器手工计算时可采用图解法, 如图 2-9-5 所示。当用计算机编程计算时可采用下面提供的数字法计算。

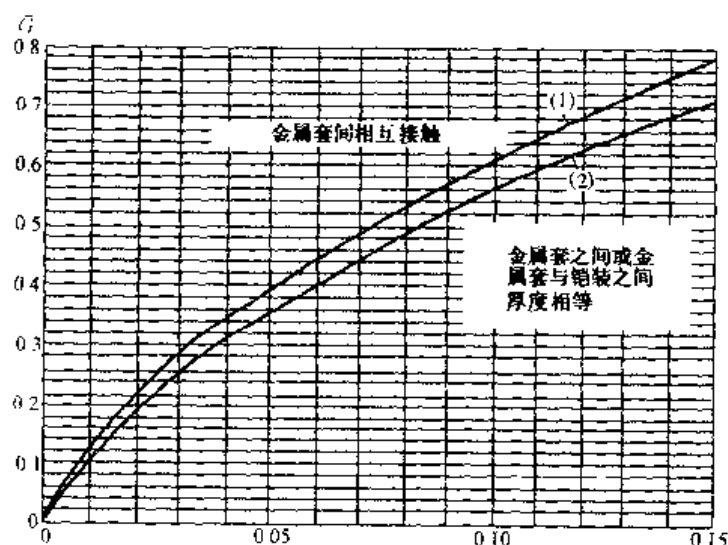


图 2-9-5 SL 和 SA 电缆金属套和铠装之间
填充材料热阻计算时的 $\bar{G}$

设: X 为金属套和铠装之间材料厚度表示为与金属套外径的相对值。

对于金属套之间和金属套与铠装材料厚度相等(下面的曲线(2))而言由下式计算:

$$0 < X \leq 0.03 \quad \bar{G} = 2\pi(0.000202380 + 2.03214X - 21.6667X^2)$$

$$0.03 < X \leq 0.15 \quad \bar{G} = 2\pi(0.0126529 + 1.101X - 4.56104X^2 + 11.5093X^3)$$

对于彼此相互接触的金属套(上面的曲线(1))而言由下式计算:

$$0 < X \leq 0.03 \quad \bar{G} = 2\pi(0.00022619 + 2.11429X - 20.4762X^2)$$

$$0.03 < X \leq 0.15 \quad \bar{G} = 2\pi(0.0142108 + 1.17533X - 4.49737X^2 + 10.6352X^3)$$

计算 $\bar{G}$ 的最大百分比误差小于 1%。

2.9.3 外护层热阻 T_3

外护层一般是同心圆结构, 外护层热阻 T_3 由下式给出:

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{2t_3}{D'_s}\right) \quad (2-9-14)$$

式中 t_3 ——外护层厚度, mm;

D'_a ——铠装外径, mm。

皱纹金属套非铠装电缆外护层热阻 T_3 由下式给出:

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left[\frac{D_{\alpha} + 2t_3}{(D_{\alpha} + D_n)/2 + t_3} \right]$$

2.9.4 钢管电缆

对于三芯电缆提出如下方法:

导体和屏蔽之间每一线芯的绝缘热阻 T_1 按 2.9.1 节单芯电缆方法计算。

热阻 T_2 由两部分组成:

(1) 每个线芯的值按 2.9.2 节给出的单芯电缆内衬层的方法计算。对椭圆形线芯, 应以长轴直径和短轴直径的几何平均值 $[d_M \cdot d_m]^{1/2}$ 作为圆形线芯直径。

(2) 线芯表面和钢管之间气体或油的热阻计算方法与 2.11.6 节相关部分所给的电缆与管道内表面之间的热阻 T_4 计算方法相同。

计算值为每根电缆的数值, 代入 2.2 节载流量公式之前应将此值再加上上述的计算数值。

钢管外护层热阻 T_3 按 2.9.3 节处理, 金属管本身热阻忽略不计。

2.10 自由空气中电缆外部热阻 T_4

2.10.1 不受日光直接照射的电缆

空气中不受日光直接照射情况下的电缆周围热阻由下式给出:

$$T_4 = \frac{1}{\pi \cdot D_c \cdot h \cdot (\Delta\theta_s)^{1/4}} \quad (2-10-1)$$

式中 h ——散热系数

$$h = \frac{Z}{D_c^g} + E \quad (2-10-2)$$

D_c ——电缆外径, m;

对于皱纹金属套 $D_c = (D_{\alpha} + 2t_3) \times 10^{-3}$ (m)

D_{α} ——与皱纹金属套波峰相切的假想同心圆柱体的直径, mm。

2.10 节中 D_c 全部以 m 为单位。

h ——利用表 2-10-1 中所给的 Z 、 E 和 G 常数值再由上式计算所得的散热系数, 也可查阅图 2-10-1 的曲线。

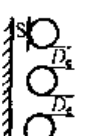
有外护层的电缆和有非金属表面的电缆应视为黑色表面, 而无外护层的电缆。(如裸铅包或裸钢带电缆), h 值应为黑色表面 h 值的 88%。

$\Delta\theta_s$ ——超过环境温度以上的电缆表面温升, K。

对于没有填充物的电缆沟道中敷设的电缆见 2.11 节。

表 2-10-1

自由空气中电缆黑色表面时的 Z 、 E 和 g 的常数值

No	敷 设 方 式	$S^{\text{②}}$	Z	E	G	
a) 电缆置于非连续的托架上, 梯形支撑物或夹板间, $D_e^{\text{①}} \leq 0.15\text{m}$						
1 ^①	单根电缆		$S \geq 0.3D_e$	0.21	3.94	0.60
2	两根电缆		$S \geq 0.5D_e$	0.29	2.35	0.50
3	三根电缆		$S \geq 0.5D_e$	0.96	1.25	0.20
4	三根电缆		$S \geq 0.5D_e$	0.62	1.95	0.25
5	二根电缆		$S \geq 0.5D_e$	1.42	0.86	0.25
6	二根电缆		$S \geq 0.5D_e$	0.75	2.80	0.30
7	三根电缆		$S \geq 1.0D_e$	1.61	0.42	0.20
8	三根电缆		$S \geq 0.5D_e$	1.31	2.00	0.20
b) 用夹具将电缆直接固定在垂直的墙壁上 ($D_e^{\text{①}}$ 不大于 0.08m)						
9	单根电缆		$S = 0$	1.69	0.63	0.25
10	三根电缆		$S = 0$	0.94	0.79	0.20

注 ① “单根电缆”数据也适用于一组, 平面排列的电缆, 间距不小于 $0.75D_e$ 。

② 电缆表面与墙表面之间的最近距离。

 $(\Delta\theta_s)^{1/4}$ 的计算:

数字计算:

$$K_A = \frac{\pi D_e \cdot h}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} \left[\frac{T_1}{n} + T_2(1 + \lambda_1) + T_3(1 + \lambda_1 + \lambda_2) \right] \quad (2-10-3)$$

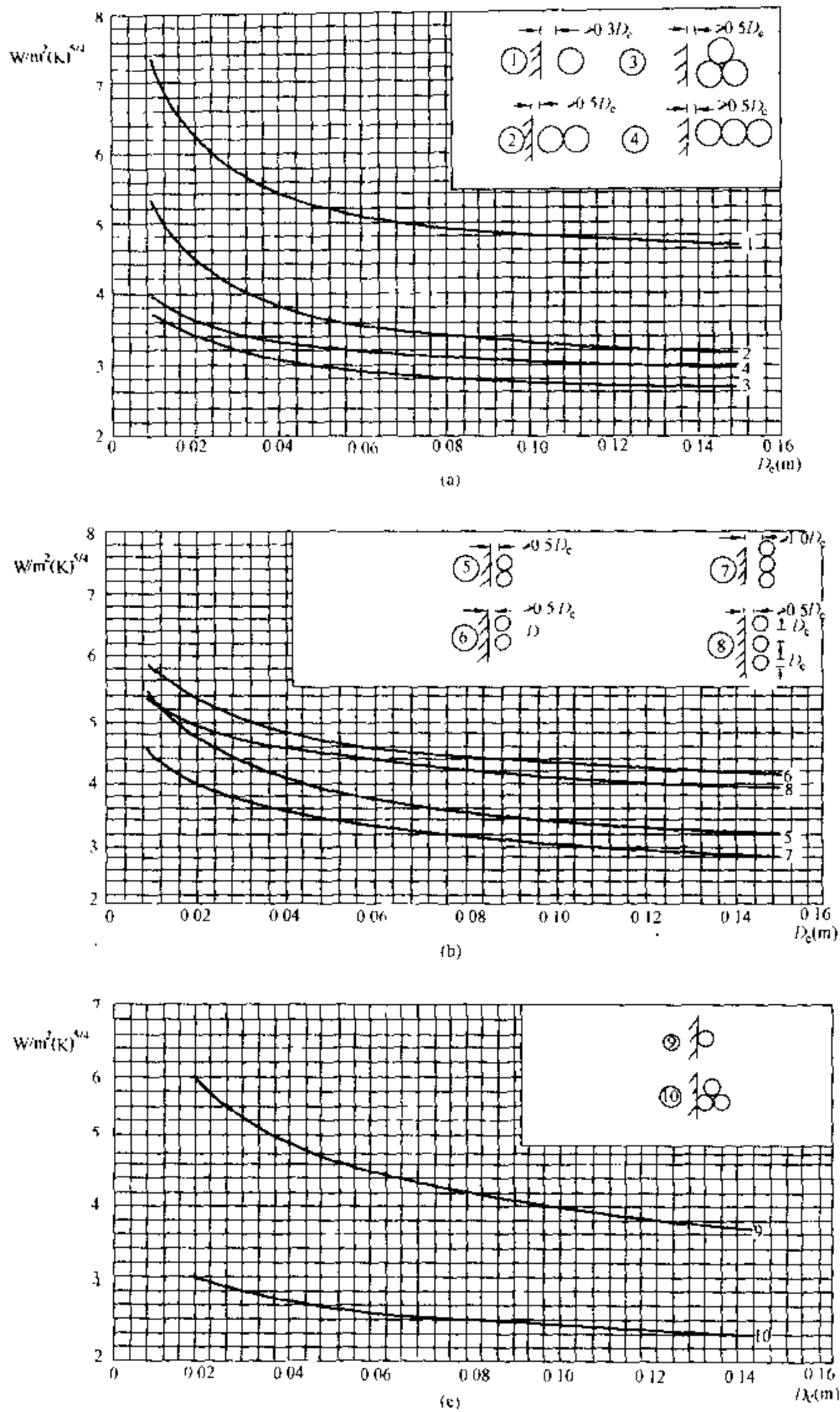
则:

$$(\Delta\theta_s)_{n+1}^{1/4} = \left[\frac{\Delta\theta + \Delta\theta_d}{1 + K_A(\Delta\theta_s)_n^{1/4}} \right]^{1/4} \quad (2-10-4)$$

令 $(\Delta\theta_s)^{1/4}$ 的初值 = 2 代入上式, 并反复迭代直至相邻两数值之差为

$$(\Delta\theta_s)_{n+1}^{1/4} - (\Delta\theta_s)_n^{1/4} \leq 0.001$$

式中:

图 2-10-1 自由空气中电缆黑色表面散热系数 H

$$\Delta\theta_d = W_d \left[\left(\frac{1}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} - \frac{1}{2} \right) T_1 - \frac{n\lambda_2 T_2}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} \right] \quad (2-10-5)$$

这是计及介质损耗的因数, 具有温度的量纲, 当介质损耗忽略时 $\Delta\theta_d = 0$ 。

$\Delta\theta$ 为高于周围环境的导体允许温升。

图解计算: 可以借助于曲线图 (如图 2-10-2) 计算 $\Delta\theta_s$, 程序如下:

K_A 值用下式计算:

$$K_A = \frac{\pi D_c \cdot h}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} \left[\frac{T_1}{n} + T_2(1 + \lambda_1) + T_3(1 + \lambda_1 + \lambda_2) \right]$$

在图 2-10-2 中以 K_A 值为纵坐标, 然后将该点定位于以下相应数值的曲线上。

$$\Delta\theta + \Delta\theta_d + \Delta\theta_{ds} = \text{常数}$$

读取横坐标求得: $(\Delta\theta_s)^{1/4}$

$$\Delta\theta_d = W_d \left[\left(\frac{1}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} - \frac{1}{2} \right) T_1 - \frac{n\lambda_2 T_2}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} \right]$$

如果绝缘损耗忽略不计

$$\Delta\theta_d = 0$$

$$\Delta\theta_{ds} = 0$$

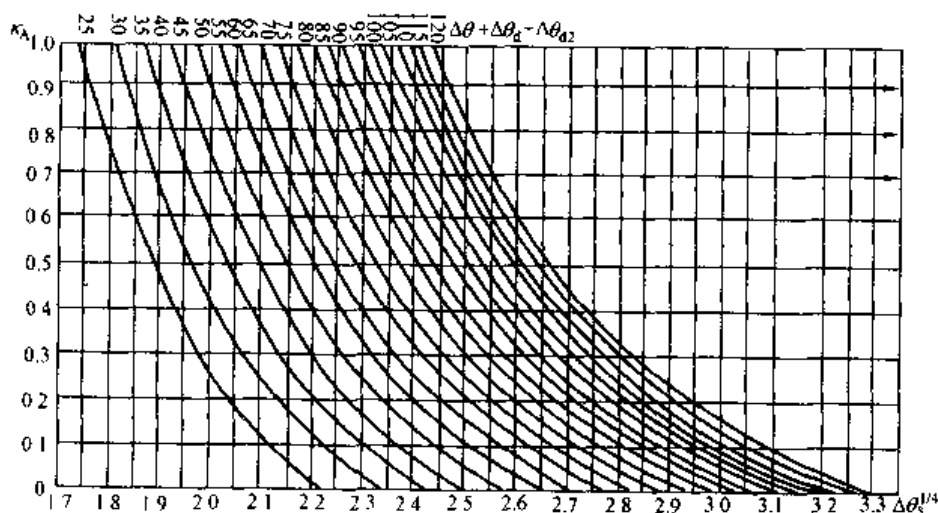


图 2-10-2 空气中外部热组计算图

2.10.2 直接受日光照射下的电缆

数字算法: 直接受日光照射的场合下, T_4 采用与 2.10.1 相同的方法计算, 但 $(\Delta\theta_s)^{1/4}$ 迭代方法可由下式计算:

$$(\Delta\theta_s)_{n+1}^{1/4} = \left[\frac{\Delta\theta + \Delta\theta_d + \Delta\theta_{ds}}{1 + K_A (\Delta\theta_s)_n^{1/4}} \right]^{1/4} \quad (2-10-6)$$

$$\Delta\theta_{ds} = \frac{\sigma \cdot D_c \cdot h}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} \left[\frac{T_1}{n} + T_2(1 + \lambda_1) + T_3(1 + \lambda_1 + \lambda_2) \right]$$

这是计及太阳直接照射下, 具有温度量纲的因数。

式中 σ ——日光直接照射于电缆表面的吸收系数 (见表 2-10-2);

h ——日光辐射强度, 对于大部分地区取 10^3 (W/m^2), 如果可能则建议采用当地推荐值;

D_e ——电缆外径, m 。

表 2-10-2

太阳照射在电缆表面的吸收系数

材 料	沥青/黄麻护层	氯丁橡胶	聚氯乙烯 (PVC)	聚乙烯 (PE)	铅
σ	0.8	0.8	0.6	0.4	0.6

对于皱纹金属套 $D_e = (D_w + 2t_1) \times 10^{-3}$ (m)

图解算法: 借助于曲线图 (如图 2-10-2) 计算 $\Delta\theta_s$, 程序如下。

K_A 值用下式计算:

$$K_A = \frac{\pi D_e \cdot h}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} \left[\frac{T_1}{n} + T_2(1 + \lambda_1) + T_3(1 + \lambda_1 + \lambda_2) \right]$$

在图 2-10-2 中以 K_A 值为纵坐标, 然后将该点定位于以下相应数值的曲线上。

$$\Delta\theta + \Delta\theta_d + \Delta\theta_{da} = \text{常数}$$

读取横坐标求得: $(\Delta\theta_s)^{1/4}$

$$\Delta\theta_d = W_d \left[\left(\frac{1}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} - \frac{1}{2} \right) T_1 - \frac{n\lambda_2 T_2}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} \right]$$

如果绝缘损耗忽略不计, $\Delta\theta_d = 0$

$$\Delta\theta_{da} = \sigma D_e h \frac{T_1 + \frac{n(1 + \lambda_1) T_2 + n(1 + \lambda_1 + \lambda_2) T_3}{n(1 + \lambda_1 + \lambda_2)}}{n(1 + \lambda_1 + \lambda_2)}$$

2.11 埋地电缆的外部热阻 T_4

2.11.1 单根孤立埋地电缆

外部热阻计算如下:

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln(u + \sqrt{u^2 - 1}) \quad (2-11-1)$$

式中 ρ_T ——土壤热阻系数, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$;

$$u = \frac{2L}{D_e}$$

L ——电缆轴线至地表面的距离, mm ;

D_e ——电缆外径, mm 。

对于皱纹金属套 $D_e = D_w + 2t_1$ (mm)

当 $u > 10$ 时, 最佳近似值 (接近 $1/1000$) 为:

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln(2u) \quad (2-11-2)$$

2.11.2 埋地电缆群 (相互不接触)

成群埋地敷设电缆的外部热阻可以采用叠加法计算, 假设每根电缆作为线性热源而且

不受其他电缆引起的热场畸变的影响。多根电缆敷设有两种主要类型：一种通常结构类型是电缆结构不同且负荷不等的电缆群，对此给出一般方法；另一种特殊结构类型是结构相同、负荷相等的电缆群，给出一个求解公式。

(1) 通常类型——负荷不等的多根电缆：对于结构不同，负荷不等的电缆群先算该组其他电缆对所考虑的那根电缆引起的表面温升，再由 2.2 节中的载流量公式中的 $\Delta\theta$ 值减去该温升，必须预先估算每根电缆的散热功率。如需要还应逐步对计算结果进行修正。

要确定第 p 根电缆的载流量，由该组其他 $(q-1)$ 根电缆的散热引起对第 p 根电缆的表面高于环境温升 $\Delta\theta_p$ 由下式给出：

$$\Delta\theta_p = \Delta\theta_{1p} + \Delta\theta_{2p} + \cdots + \Delta\theta_{kp} + \Delta\theta_{qp} \quad (2-11-3)$$

(求和公式中对 $\Delta\theta_{pp}$ 不予考虑)

式中： $\Delta\theta_{kp}$ ——第 k 根电缆单位长度的散热量 W_k (W) 对第 p 根电缆所引起的表面温升。

$$\Delta\theta_{kp} = \frac{\rho_T}{2\pi} W_k \ln \left(\frac{d'_{pk}}{d_{pk}} \right) \quad (2-11-4)$$

d_{pk} 和 d'_{pk} 分别为第 p 根电缆的中心至第 k 根电缆的中心距离和第 p 根电缆的中心至第 k 根电缆在大地——空气的镜像中心距离 (见图 2-11-1)。

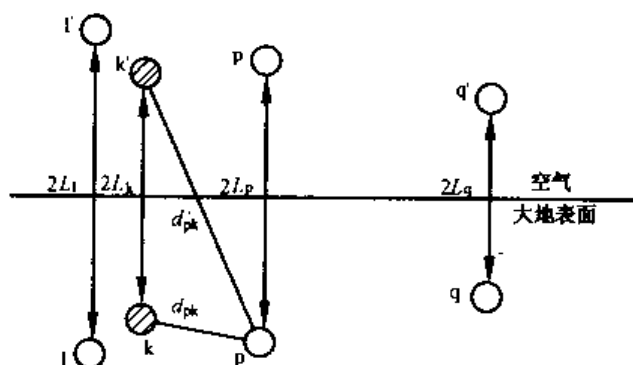


图 2-11-1 q 根电缆群及相对于地面为对称的镜像图

从 2.2 节载流量公式中的 $\Delta\theta$ 值减去 $\Delta\theta_p$ 增量并引用单独分离敷设的电缆在位置 q 相应的 T_4 值计算第 p 根电缆的载流量。如果要避免任何一根电缆可能过热，应逐一对每根电缆进行计算。

(2) 特殊类型——结构相同、负荷相等的多根电缆：对于结构相同、负荷相等的电缆群的载流量是以最热电缆的那根电缆为依据。通常从排列结构就能判断哪根电缆最热并对该电缆进行载流量计算。在难以确定的情况下，可以进一步对其他电缆计算。该方法是计算已计及一组电缆内各电缆之间相互热效应对外部热阻 T_4 的修正值，而 2.2 节载流量公式中 $\Delta\theta$ 值不变。

第 p 根电缆外部热阻 T_4 的修正值由下式给出：

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left\{ (u + \sqrt{u^2 - 1}) \left[\left(\frac{d'_{p1}}{d_{p1}} \right) \left(\frac{d'_{p2}}{d_{p2}} \right) \cdots \left(\frac{d'_{pk}}{d_{pk}} \right) \cdots \left(\frac{d'_{pq}}{d_{pq}} \right) \right] \right\} \quad (2-11-5)$$

共有 $(q-1)$ 项, $\frac{d'_{pe}}{d_{av}}$ 项除外。

距离 d_{pk} 等与第一种方法所用图 2-11-1 相同。

如果适合的话 (见 2.11.1 节), 可用 $2u$ 代替 $u + \sqrt{u^2 - 1}$ 。

简单的电缆排列, 上述公式可适当的简化。下面的公式是叠加简化例子。

1) 有间距: 水平排列且等损耗的二根电缆

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \left\{ \ln(u + \sqrt{u^2 - 1}) + \frac{1}{2} \ln \left[1 + \left(\frac{2L}{s_1} \right)^2 \right] \right\} \quad (2-11-6)$$

$$u = \frac{2L}{D_c}$$

式中 L ——地表面到电缆轴心的距离, mm;

D_c ——电缆外径, mm;

s_1 ——相邻电缆之间的轴心距离, mm。

当 u 值超过 10 时, 则可用 $(2u)$ 代替 $u + \sqrt{u^2 - 1}$ 。

2) 等间距: 水平排列且损耗大致相等的三根电缆

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \left\{ \ln(u + \sqrt{u^2 - 1}) + \ln \left[1 + \left(\frac{2L}{s_1} \right)^2 \right] \right\} \quad (2-11-7)$$

式中 T_4 值是该组中间电缆的热阻。

3) 等间距平面排列金属套损耗不等的三根电缆: 多根单芯电缆水平面排列时, 且金属套不换位且金属套各接点均接地时, 金属套损耗不等将影响最热电缆的外部热阻。在这种情况下, 2.2 节中载流量公式的分子项所用的 T_4 值按式 (2-11-7) 计算值, 但分母项必须用 T_4 的修正值, 如下所示:

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \left\{ \ln(u + \sqrt{u^2 - 1}) + \frac{1 + 0.5(\lambda'_{11} + \lambda'_{12})}{1 + \lambda'_{1m}} \right. \\ \left. \times \ln \left[1 + \left(\frac{2L}{s_1} \right)^2 \right] \right\} \quad (2-11-8)$$

这是假设中间一根电缆最热, 2.2 节载流量公式中 λ_1 值为中间那根电缆金属套损耗。

$$u = \frac{2L}{D_c}$$

式中 L ——地表面到电缆轴心之间的距离, mm;

D_c ——电缆外径, mm;

s_1 ——相邻电缆之间的轴心间距, mm;

λ'_{11} ——该组外侧电缆金属套损耗因数;

λ'_{12} ——该组另一外侧电缆金属套损耗因数;

λ'_{1m} ——该组中间电缆金属套损耗因数。

当 u 值超过 10 时, 则可用 $(2u)$ 代替 $u + \sqrt{u^2 - 1}$ 。



2.11.3 等负荷埋地电缆群 (相互接触)

(1) 平面排列的二根单芯电缆:

1) 金属套电缆: 设金属套有良好的导热性, 电缆表面形成等温线, 计算式如下:

$$T_4 = \frac{\rho_T}{\pi} [\ln(2u) - 0.451] \quad (u \geq 5) \quad (2-11-9)$$

2) 非金属套电缆: 设电缆表面形成非等温线, 计算式如下:

$$T_4 = \frac{\rho_T}{\pi} [\ln(2u) - 0.295] \quad (u \geq 5) \quad (2-11-10)$$

该公式适用于具有铜丝屏蔽的非金属套电缆。

(2) 平面排列三根单芯电缆:

1) 金属套电缆: 设金属套有良好的导热性, 电缆表面形成等温线, 计算式如下:

$$T_4 = \rho_T [0.475 \ln(2u) - 0.346] \quad (u \geq 5) \quad (2-11-11)$$

2) 非金属套电缆: 设电缆表面形成非等温线, 计算式如下:

$$T_4 = \rho_T [0.475 \ln(2u) - 0.142] \quad (u \geq 5) \quad (2-11-12)$$

该公式仅适用于铜丝屏蔽的非金属套电缆。

(3) 三角形排列的三根电缆: 这种排列情况下的 L 值为地面至三角形中心的距离, D_c 为电缆外径, T_4 是任一根电缆的外部热阻。这种排列的顶点可在该组的上端, 也可在底部。

对于皱纹金属套, $D_c = D_{sc} + 2t_3$

1) 金属套电缆

$$T_4 = \frac{1.5}{\pi} \rho_T [\ln(2u) - 0.630] \quad (2-11-13)$$

在这种情况下, 按式 (2-9-14) 计算的 T_3 应乘以 1.6 的因数。

2) 分开的金属套 (铠装或屏蔽线以 20% ~ 50% 螺旋形绕包于电缆), 公式适用于长节距 (节距比为 15) 铜丝直径 0.7mm, 总截面在 15 ~ 35mm²。

$$T_4 = \frac{1.5}{\pi} \rho_T [\ln(2u) - 0.630] \quad (2-11-14)$$

在这种情况下, 按式 (2-9-1) 计算的 T_1 , 和按式 (2-9-14) 计算的 T_3 应乘以下面的因数:

T_1 : 35kV 以下的电缆: 1.07;

35 ~ 150kV: 1.16;

T_3 : 各电压级下: 1.6。

3) 非金属套电缆

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} [\ln(2u) + 2\ln(u)] \quad (2-11-15)$$

2.11.4 埋地钢管电缆

对埋地钢管电缆的外部热阻按 2.11.1 节的公式计算。此时, L 为钢管中心至地表面

的距离, 而 D_c 则为包括防腐层在内的钢管外径。

2.11.5 埋于电缆沟中的电缆

(1) 充沙的电缆沟: 电缆直接埋于填充沙土的电缆沟内, 无论沟道完全填满沙土还是用盖板与地面持平, 时间一长这些沙土变干, 并且长期维持干燥状态是危险的。那时电缆外部热阻可能很高, 并且电缆可能达到不允许的高温。计算载流量时填充沙热阻系数取 $2.5\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$ 是适合的, 除非使用特殊的填充土 (干燥后的热阻系数是已知的)。

(2) 没有充沙的电缆沟: 没有充沙的任何类型的电缆沟, 顶部盖板与地表面持平且暴露于空气中, 电缆沟道中空气高于周围空气的温升用经验公式表示:

$$\Delta\theta_v = \frac{W_{\text{TOT}}}{3p} \quad (2-11-16)$$

式中 W_{TOT} ——沟道中每米长总散热量, W/m ;

p ——沟道的有效散热周长, m 。

暴露在太阳下的周长部分不包括在 p 值内, 沟道内特定电缆载流量按电缆在自由空气中计算 (见 2.10 节), 但周围环境温度应增加 $\Delta\theta_{v0}$ 。

注: 此公式的有效性在考虑之中。

2.11.6 管道 (或钢管) 中的电缆

管道中外部热阻由三部分组成:

- 1) 电缆表面和管道内表面之间的空气热阻 T'_4 。
- 2) 管道本身热阻 T''_4 (金属管道热阻忽略不计)。
- 3) 管道外部热阻 T'''_4 。

代入 2.2.1 节中允许额定载流量公式的 T_4 值是各部分的总和, 即:

$$T_4 = T'_4 + T''_4 + T'''_4 \quad (2-11-17)$$

(1) 管道 (或钢管) 和电缆之间的热阻 T'_4 。管道中敷设的电缆, 其直径在 25 ~ 100mm 范围内采用下面公式。对于钢管电缆 (见 2.9.4 节), 当管内三根线芯等效直径在 75 ~ 125mm 范围内, 其内表面和管道内表面之间的空气热阻也可使用下面公式

$$T'_4 = \frac{U}{1 + 0.1(V + Y\theta_m)D_c} \quad (2-11-18)$$

式中 U 、 V 和 Y 与敷设条件有关的常数, 其值列于表 2-11-2;

表 2-11-2

U 、 V 和 Y 常数值

敷 设 条 件	U	V	Y
在金属管道中	5.2	1.40	0.011
空气中敷设的纤维管中	5.2	0.83	0.006
混凝土中敷设的纤维管中	5.2	0.91	0.010
空气中敷设的石棉水泥管中	5.2	1.20	0.006
混凝土中敷设的石棉水泥管	5.2	1.10	0.011
钢管中充气电缆	0.95	0.46	0.0021
钢管中充油电缆	0.28	0.00	0.0026
陶土管道	1.87	0.28	0.0036
塑料管道 ¹⁾	—	—	—

注: 1) 考虑之中。

D_e ——电缆外径, mm, 当该式用于钢管电缆(见 2.9.4 节)时, D_e 为如下一组线芯的等效直径:

二芯: $D_e = 1.65 \times \text{线芯外径 (mm)}$

三芯: $D_e = 2.15 \times \text{线芯外径 (mm)}$

四芯: $D_e = 2.50 \times \text{线芯外径 (mm)}$

θ_m ——电缆与管道之间的介质平均温度, 先假定初值, 必要时, 则用修正值反复计算, $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 管道(或钢管)本身热阻 T''_4 : 管道壁热阻由下式给出:

$$T''_4 = \frac{1}{2\pi} \rho_T \ln \left(\frac{D_o}{D_d} \right) \quad (2-11-19)$$

式中 D_o ——管道外径, mm;

D_d ——管道内径, mm;

ρ_T ——管道材料热阻系数, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$ 。

对于金属管道 ρ_T 取零, 其他材料见表 2-9-1。

(3) 管道(或钢管)外部热阻 T_4 : 对不嵌在水泥槽中的单根电缆管道, 按照 2.11.1、2.11.2、2.11.3 或 2.11.4 节中相应的公式与电缆相同的方法计算, 并以管道或钢管(包括在管道上面的任何外护层)的外半径取代电缆的外半径。当管道嵌入水泥槽中时, 计算管道外部热阻, 首先假定管道外部有与水泥槽相等的热阻系数的均匀介质, 对于管道外部热路若水泥槽和土壤之间热阻系数有差异, 则加一个数学上的校正系数, 其值由下式给出:

$$\frac{N}{2\pi} (\rho_r - \rho_c) \ln(u + \sqrt{u^2 - 1}) \quad (2-11-20)$$

式中 N ——混凝土排管内有负荷的电缆数;

ρ_r ——混凝土排管预制件周围土壤热阻系数, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$;

ρ_c ——混凝土排管预制件热阻系数, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$;

$$u = \frac{L_c}{r_b}$$

L_c ——埋设到管道中心的深度, mm;

r_b ——混凝土排管预制件等效半径, mm。

由下式给出:

$$\ln(r_b) = \frac{1}{2} \frac{x}{y} \left(\frac{4}{\pi} - \frac{x}{y} \right) \ln \left(1 + \frac{y^2}{x^2} \right) + \ln \left(\frac{x}{2} \right) \quad (2-11-21)$$

(仅 $\frac{y}{x} < 3$ 对有效)

式中 x ——混凝土排管预制件等效长边, mm;

y ——混凝土排管预制件等效短边, mm。

2.12 架空敷设的电缆群载流量降低因数的计算

2.12.1 适用范围

本部分适用于自由空气中不受日光直接照射的架空水平敷设的任何型式的电缆或电缆群，所有的电缆具有相同直径并散发相同的热损耗。电缆相邻敷设时允许载流量降低的计算方法仅限于以下情况：

(1) 多芯电缆正方形敷设时最多为 9 根电缆，见图 2-12-1。

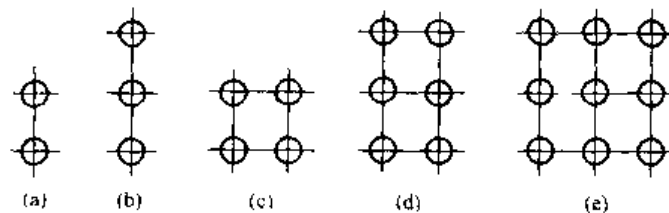


图 2-12-1 (a)、(b)、(c)、(d)、(e) 多芯典型电缆群；

[(e) 是资料涉及到的最大规格]

(2) 单芯电缆三角形排列构成的回路数最多为 6 个，包括并列放置至三回路或双层排列的二回路，见图 2-12-2。

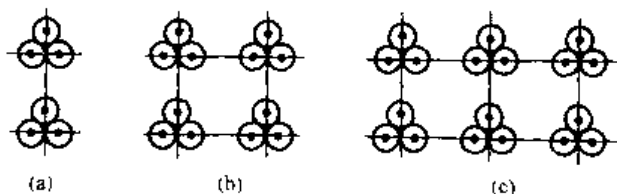


图 2-12-2 (a)、(b)、(c) 单芯典型的三角形

电缆群；[(c) 是资料涉及到的最大规格]

当电缆周围的空气流受相邻物体限制时应谨慎考虑。

2.12.2 载流量降低因数计算

(1) 对于已知额定流量的情况：当已知一根分离敷设的电缆或回路的载流量而要计算一个电缆群降低因数时，电缆群中最热电缆载流量降低因数为：

$$F_g = \left[\frac{1}{1 - k_1 + k_1 (T_{4g}/T_{4l})} \right]^{1/2} \quad (2-12-1)$$

式中 T_{4l} ——分离敷设时一根电缆的外部热阻， $K \cdot m/W$ ；

T_{4g} ——一个电缆群中最热电缆的外部热阻， $K \cdot m/W$ ；

k_1 ——分离敷设的单根多芯电缆或呈三角形排列的一根单芯电缆在自由空气中电缆表面温升因数。即 $k_1 = \text{电缆表面温升} / \text{导体温升}$

则最热电缆载流量由下式给出：

$$I_k = F_g \times I_l \quad (2-12-2)$$

式中 I_l ——分离敷设时单根电缆或一个回路的载流量，A；

表面温升因数 k_1 由下式计算:

$$k_1 = \frac{W \cdot T_{a1}}{Q_c - Q_s} \quad (2-12-3)$$

计算 I_1 时可求得 W 和 T_{a1} 两个参量, 故在计算 I_1 的同时可方便地求得 k_1 。

通过迭代可从 (h_1/h_g) 的比值中求得 (T_{a_g}/T_{a1}) 的值:

$$(T_{a_g}/T_{a1})_{n+1} = (h_1/h_g) \left[\frac{1 - k_1}{(T_{a_g}/T_{a1})_n} + k_1 \right]^{1/4} \quad (2-12-4)$$

从 $(T_{a_g}/T_{a1})_1 = (h_1/h_g)$ 开始迭代。

式中 h_1 ——孤立敷设的半根多芯电缆或呈三角形排列的单芯电缆在自由空气中的表面散热系数, $W/m^2 \cdot K^{5/4}$;

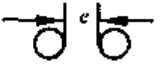
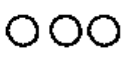
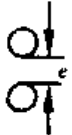
h_g ——电缆群中最热电缆的散热系数, $W/m^2 \cdot K^{5/4}$ 。

上述方程收敛很快, 通常用 $(T_{a_g}/T_{a1})_1 = (h_1/h_g)$ 来估算。

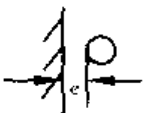
当 $(h_1/h_g) < 1.4$ 时, 式 (2-12-1) 中用 (h_1/h_g) 替代 (T_{a_g}/T_{a1}) 。对于多芯电缆群和呈三角形敷设的单芯电缆群, 表 2-12-1 和图 (2-12-3) ~ 图 (2-12-5) 给出 (h_1/h_g) 比值。

对于其他敷设方式的电缆群, (h_1/h_g) 的值应由试验确定。

表 2-12-1 计算电缆群载流量降低因数时的数据

电 缆 设 置			忽略热效应	不可忽略热效应	
			若 $(e/D_c) \geq$	若 $(e/D_c) <$	(h_1/h_g) 的平均值*
1			2	3	4
并 列	二根多芯		0.5	0.5	1.41
	三根多芯		0.75	0.75	1.65
	二根单芯		1.0	1.0	1.20
	三根单芯		1.5	1.5	1.25
一 根 在 另 一 根 上 面	二根多芯		2	2 或 0.5	$1.085 (e/D_c)^{-0.128}$ 或 1.35
	三根多芯		4	4 或 0.5	$1.19 (e/D_c)^{-0.135}$ 或 1.57
	二个三角形		4	4 或 0.5	$1.016 (e/D_c)^{-0.078}$ 或 1.39

续表

电 缆 设 置		忽略热效应	不可忽略热效应	
		若 $(e/D_c) \geq$	若 $(e/D_c) <$	(h_1/h_g) 的平均值
	1	2	3	4
靠近垂直面或电缆 下面的水平面		0.5	0.5	1.23

注 * $e/D_c < 0.5$ 或大于第二栏的相应值时, 不能用 h_1/h_g 公式。 h_1/h_g 的平均值。

适用于直径 13~76mm 电缆, 对于特定的电缆直径亦均可参考该表估算。

(2) 对于未知载流量的情况: 电缆群中最热电缆的载流量应按 2.10 节所给的自由空气中电缆的公式计算, 但以 h_g 替代 2.10 节给的散热系数 h 。

对于表 2-12-1 中的电缆群和图 2-12-3 ~ 图 2-12-5 中的电缆, 散热系数 h_g 值可由下式给出:

$$h_g = \frac{h}{h_1/h_g} \quad (2-12-5)$$

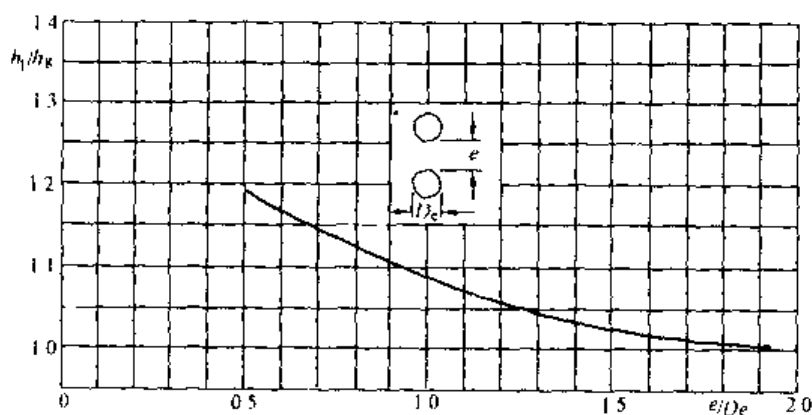


图 2-12-3 垂直平面上的二根电缆 (h_1/h_g) 的值

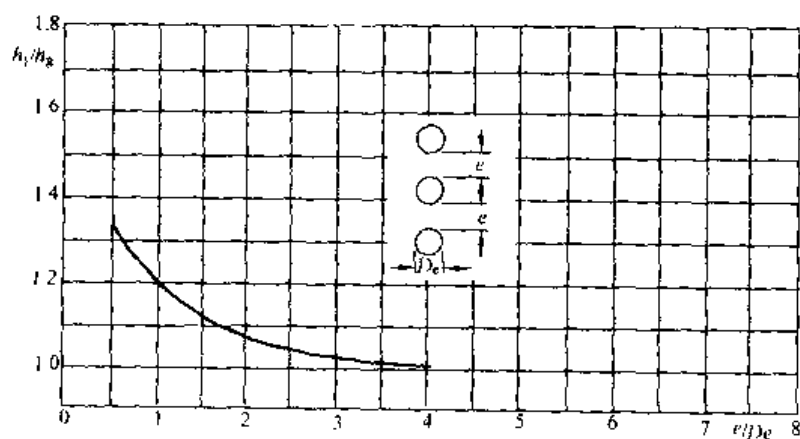
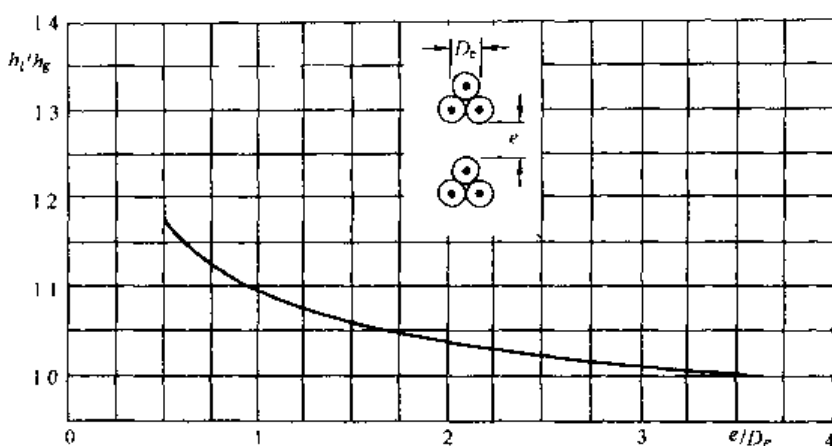


图 2-12-4 垂直平面上的三根电缆 (h_1/h_g) 的值

图 2-12-5 垂直平面上的二个三角形排列电缆群 (h_1/h_g) 的值

式中对于分离敷设的一根多芯电缆或呈三角形排列单芯电缆的参数 h 值可按 2.10.1 求得, 而 (h_1/h_g) 的比值则从表 2-12-1 中或图 (2-12-3) ~ 图 (2-12-5) 查得。

(3) 多层的电缆群: 在水平和垂直方向都敷设电缆的场合下, 为了忽略彼此间的热效应, 其中最热电缆的载流量降低因数和载流量的计算时, 要用垂直间隙相应值并确保水平间隙 e 不小于表 2-12-1 给的相应值。

2.12.3 避免载流量降低的间隙值

对于电缆群, 为了避免降低孤立敷设的单根电缆或回路的载流量, 表 2-12-1 第二栏中给出相邻电缆外表面之间的最小间距。工程上应提供适合的支架以确保最小间距。

对于整根电缆若不能保持大于或等于表 2-12-1 第二栏中规定的最小间距时, 应采用 2.12.4 节中的某个方法处理。

2.12.4 电缆群降低因数措施

如果整条电缆不能保持不小于表 2-12-1 第二栏中规定的相应最小间距时, 降低因数应由以下提供的方法来确定:

(1) 水平间隙: 设定电缆相互接触或与垂直面接触, 为了计算降低因数, 表 2-12-1 第四栏中给出相应的 (h_1/h_g) 值。

(2) 垂直间隙: 由于电缆聚集而引起的载流量降低因数应依据所希望的间隙来确定:

当间隙小于表 2-12-1 第二栏所给的相应值但能保持不小于表 2-12-1 第三栏的最小值时, 用 2.12.2 中的一种方法求得降低因数, 面所用的 (h_1/h_g) 值应从表 2-12-1 第四栏相应的公式求得。

当电缆间隙不能保持不小于表 2-12-1 第三栏所给的最小值时, 可以设定电缆相互接触。表 2-12-1 第四栏给出 (h_1/h_g) 相应值, 以便按 2.12.2 计算降低因数。

注: 表 2-12-1 中公式仅对该表注中所指的间隙范围有效且不许外推。

附 2.1 国家标准规定电缆所用导体的标准电阻值

(1) 固定敷设用导体: 单芯和多芯电缆用的第 2 种绞合导体在 20℃ 时的导体最大电阻

列于附表 2-1 中。

(2) 移动用导体：电线电缆用的软导体（采用第 5 种导体）在 20℃ 时的直流电阻列于附表 2-2。

附表 2-1 电力电缆用铜、铝导电线芯绞合导体的直流电阻

标称截面 (mm ²)	20℃ 时导体最大直流电阻 (Ω/km) 不大于			备 注	标称截面 (mm ²)	20℃ 时导体最大直流电阻 (Ω/km) 不大于			备 注
	铜		铝			铜		铝	
	不镀锡	镀 锡				不镀锡	镀 锡		
16	1.1500	1.1600	1.9100	取自国家 标准 GB/T 3957 —1997 * 表示非优 选尺寸	400	0.0470	0.0475	0.0778	取自国家 标准 GB/T 3957 —1997 * 表示非优 选尺寸
25	0.7270	0.7340	1.2000		500	0.0366	0.0369	0.0605	
35	0.5240	0.5290	0.8680		630	0.0283	0.0286	0.0469	
50	0.3870	0.3910	0.6410		800	0.0221	0.0224	0.0367	
70	0.2680	0.2700	0.4430		1000	0.0176	0.0177	0.0291	
95	0.1930	0.1950	0.3200		1200	0.0151	0.0151	0.0247	
120	0.1530	0.1540	0.2530		1400 *	0.0129	0.0129	0.0212	
150	0.1240	0.1260	0.2060		1600	0.0113	0.0113	0.0186	
185	0.0991	0.1000	0.1640		1800 *	0.0101	0.0101	0.0165	
240	0.0754	0.0762	0.1250		2000	0.0090	0.0090	0.0149	
300	0.0601	0.0607	0.1000						

附表 2-2 单芯和多芯电缆用第 5 种软导体的直流电阻

标称截面 (mm ²)	20℃ 时导体最大直流电阻 (Ω/km) 不大于		标称截面 (mm ²)	20℃ 时导体最大直流电阻 (Ω/km) 不大于	
	不镀锡铜导体	镀锡铜导体		不镀锡铜导体	镀锡铜导体
0.50	39.0	40.1	50	0.386	0.393
0.75	26.0	26.7	70	0.272	0.277
1.0	19.5	20.0	95	0.206	0.210
1.5	13.3	13.7	120	0.161	0.164
2.5	7.98	8.21	150	0.129	0.132
4	4.95	5.09	185	0.106	0.108
6	3.30	3.39	240	0.0801	0.0817
10	1.91	1.95	300	0.0641	0.0654
16	1.21	1.24	400	0.0495	0.0495
25	0.780	0.795	500	0.0391	0.0391
35	0.554	0.565	630	0.0287	0.0292

注 摘自 GB/T 3956—1997 表 3。

附 2.2 国家标准电缆用圆导体直径

铜圆导体的最大直径列于附表 2-3。

铝圆导体的直径列于附表 2-4。

以上引自 GB/T 3956—1997。

附表 2-3

铜圆导体的最大直径

(mm)

标称截面 (mm ²)	固定敷设用导体		软导体	标称截面 (mm ²)	固定敷设用导体		软导体
	实心第 1 种	绞合第 2 种	第 5 和 6 种		实心第 2 种	绞合第 2 种	第 5 和 6 种
0.5	0.9	1.1	1.1	70	9.4	11.0	13.1
0.75	1.0	1.2	1.3	95	11.0	12.9	15.1
1	1.2	1.4	1.5	120	12.4	14.5	17.1
1.5	1.5	1.7	1.8	150	13.8	16.2	19.0
2.5	1.9	2.2	2.6	185	—	18.0	21.0
4	2.4	2.7	3.2	240	—	20.9	24.0
6	2.9	3.3	3.9	300	—	23.1	27.0
10	3.7	4.2	5.1	400	—	26.1	31.0
16	4.6	5.3	6.3	500	—	29.2	35.0
25	5.7	6.6	7.8	630	—	33.2	39.0
35	6.7	7.9	9.2	800	—	37.6	—
50	7.8	9.1	11.0	1000	—	42.2	—

附表 2-4

铝圆导体的直径

(mm)

标称截面 (mm ²)	实心导体(第 1 种)		紧压绞合导体(第 2 种)		标称截面 (mm ²)	实心导体(第 1 种)		紧压绞合导体(第 2 种)	
	最小直径	最大直径	最小直径	最大直径		最小直径	最大直径	最小直径	最大直径
16	4.1	4.6	4.6	5.2	150	12.9	13.8	13.9	15.0
25	5.2	5.7	5.6	6.5	185	14.5	15.4	15.5	16.8
35	6.1	6.7	6.6	7.5	240	16.7	17.6	17.8	19.2
50	7.2	7.8	7.7	8.6	300	18.8	19.8	20.0	21.6
70	8.7	9.4	9.3	10.2	400	—	—	22.9	24.6
95	10.3	11.0	11.0	12.0	500	—	—	25.7	27.6
120	11.6	12.4	12.5	13.5	630	—	—	29.3	32.5



载流量计算示例及软件和试验

3.1 交联聚乙烯绝缘电缆—单芯电缆

3.1.1 电缆和运行资料

8.7/15 kV YJV 1×400mm² 交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆。

电缆结构尺寸列于表 3-1-1 中。

运行系统：三根单芯电缆在三相系统中稳态运行。

敷设环境：空气中和土壤中。

排列方式：三角形（相互接触）——电缆轴心间距（ s ）为电缆外径， $s = D_0$ 。

平面——电缆轴心间距（ s ）为两根电缆外径， $s = 2 \times D_0$ 。

金属屏蔽互连接地：一端互连接地和两端互连接地。

工作温度：最高工作温度 $\theta_0 = 90^\circ\text{C}$

导体在 20°C 时的直流电阻： $R_0 = 0.47 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$

环境温度：空气中 $\theta_0 = 40^\circ\text{C}$ ，土壤中 $\theta_0 = 25^\circ\text{C}$

埋地深度： $L = 700 \text{ mm}$

土壤热阻系数： $\rho_0 = 1.0 \text{ K} \cdot \text{m}/\text{W}$

考虑到土壤水分迁移，根据粗略地分为一般土壤、沙（+砂）土和粘土等三大类型，各类土壤在干燥状态下热阻系数分别为 $\rho_0 = 2.0, 2.5, 3.0 \text{ K} \cdot \text{m}/\text{W}$ 时计算电缆载流量。

表 3-1-1

8.7/15kV 1×400mm² XLPE 电缆结构

单位：mm

结 构 名 称				结 构 名 称			
结 构 名 称	符 号	数 值	备 注	结 构 名 称	符 号	数 值	备 注
导体	紧压圆直径	D_c	23.8	屏 蔽	铜带厚度	T_2	0.1 相互搭接故按 2×0.1 考虑
绝 缘	导体屏蔽厚度	T_3	0.8		屏蔽直径	D_2	36.0
	导体屏蔽直径	D_{c2}	25.4		平均直径	D_{2a}	35.8
	绝缘厚度	T_1	0.6		包带厚度	T_{2p}	0.2
	绝缘直径	D_1	26.6		包带直径	D_{20}	36.4
	绝缘屏蔽厚度	T_4	4.5	外 护 层	护层厚度	T_5	$0.035 D_2 + 1$
	绝缘屏蔽直径	D_3	35.6		电缆外径	D_0	41.0

注 计算值取至小数点后一位，小数点后第二位四舍五入。

3.1.2 交流电阻的计算

以平面排列, 间距 $S = 2 \times D_c$ 作为计算实例。

(1) 直流电阻: 工作温度下的直流电阻: 由式 (2-3-2) 得:

$$\begin{aligned} R' &= 0.47 \times 10^{-4} \times [1 + 0.00393 \times (90 - 20)] \\ &= 0.599 \times 10^{-4} \quad (\Omega/\text{m}) \end{aligned}$$

(2) 集肤效应因数: 集肤效应因数 Y_s , 由式 (2-3-3) 计算:

$$X_s^2 = \frac{8\pi \times 50}{0.599 \times 10^{-4}} \times 10^{-7} \times 1 = 2.1$$

$$Y_s = \frac{2.1^2}{192 + 0.8 \times 2.1^2} = 0.023$$

(3) 邻近效应因数: 邻近效应因数 Y_p 由式 (2-3-5) 计算:

$$X_p^2 = \frac{8\pi \times 50}{0.599 \times 10^{-4}} \times 10^{-7} \times 1 = 2.1$$

电缆轴心之间距 $s = 2 \times 41.0 = 82 \text{ (mm)}$

$$\begin{aligned} Y_p &= \frac{2.1^2}{192 + 0.8 \times 2.1^2} \left(\frac{23.8}{82} \right)^2 \left[0.312 \times \left(\frac{23.8}{82} \right)^2 + \frac{1.18}{\left(\frac{2.1^2}{192 + 0.8 \times 2.1^2} + 0.27 \right)} \right] \\ &= 2.0 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

(4) 交流电阻: 交流电阻由式 (2-3-1) 计算:

$$R = 0.599 \times (1 + 0.023 + 0.0002) \times 10^{-4} = 0.613 \times 10^{-4} \quad (\Omega/\text{m})$$

3.1.3 金属屏蔽损耗的计算

屏蔽电阻: 在导体工作温度为 90°C 下设定金属屏蔽的温度为导体温度的 0.9 倍, 此时屏蔽电阻 R_s 为:

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{1.7241 \times 10^{-8}}{\pi \times 35.8 \times 0.20 \times 10^{-6}} \times [1 + 0.00393 \times (90 \times 0.9 - 20)] \\ &= 9.5 \times 10^{-4} \quad (\Omega/\text{m}) \end{aligned}$$

金属屏蔽损耗: 计算屏蔽损耗时应根据金属屏蔽是两端互连接地还是单点互连接地。这里两种情况都考虑, 分别计算。

(1) 金属屏蔽两端互连接地损耗计算

1) 环流损耗 λ_1' :

a) 三角形排列: 三根单芯电缆呈三角形排列 (不换位) 且相互接触时环流损耗 λ_1' 由式 (2-5-2) 计算, 其中各参数计算如下:

电抗 X 值:

$$X = 2\omega \cdot 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{2s}{d}\right) = 2 \times 2\pi \times 50 \times 10^{-7} \times \ln\left(\frac{2 \times 41}{35.8}\right) = 0.52 \times 10^{-4}$$

环流损耗:

$$\lambda_1' = \frac{9.5 \times 10^{-4}}{0.615 \times 10^{-4}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{9.5 \times 10^{-4}}{0.52 \times 10^{-4}}\right)^2} = 0.046$$

b) 平面排列: 三根电缆等间距, 设线芯间距为 $2D_c$ (D_c 为电缆外径), 不换位, 屏蔽两端互连接地, 按式 (2-5-3) ~ (2-5-5) 计算。

$$X = 2 \times 2\pi \times 50 \times 10^{-7} \ln(2 \times 82/35.8) = 0.956 \times 10^{-4}$$

$$X_m = 2 \times 2\pi \times 50 \times 10^{-7} \ln(2) = 0.436 \times 10^{-4}$$

$$P = X + X_m = (0.956 + 0.436) \times 10^{-4} = 1.391 \times 10^{-4}$$

$$Q = X - X_m/3 = (0.956 - 0.436/3) \times 10^{-4} = 0.811 \times 10^{-4}$$

外侧滞后相电缆:

$$\begin{aligned} \lambda_{11}' = & \frac{9.5 \times 10^{-4}}{0.613 \times 10^{-4}} \left[\frac{0.75 \times (1.391 \times 10^{-4})^2}{(9.5 \times 10^{-4})^2 + (1.391 \times 10^{-4})^2} \right. \\ & + \frac{0.25 \times (0.811 \times 10^{-4})^2}{(9.5 \times 10^{-4})^2 + (0.811 \times 10^{-4})^2} \\ & \left. + \frac{2 \times 9.5 \times 10^{-4} \times 1.391 \times 10^{-4} \times 0.811 \times 10^{-4} \times 0.436 \times 10^{-4}}{\sqrt{3} \times [(9.5 \times 10^{-4})^2 + (1.391 \times 10^{-4})^2][(9.5 \times 10^{-4})^2 + (0.811 \times 10^{-4})^2]} \right] \\ = & 0.282 \end{aligned}$$

外侧超前相电缆:

$$\begin{aligned} \lambda_{11}' = & \frac{9.5 \times 10^{-4}}{0.613 \times 10^{-4}} \left[\frac{0.75 \times (1.391 \times 10^{-4})^2}{(9.5 \times 10^{-4})^2 + (1.391 \times 10^{-4})^2} \right. \\ & + \frac{0.25 \times (0.811 \times 10^{-4})^2}{(9.5 \times 10^{-4})^2 + (0.811 \times 10^{-4})^2} \\ & \left. - \frac{2 \times 9.5 \times 10^{-4} \times 1.391 \times 10^{-4} \times 0.811 \times 10^{-4} \times 0.436 \times 10^{-4}}{\sqrt{3} \times [(9.5 \times 10^{-4})^2 + (1.391 \times 10^{-4})^2][(9.5 \times 10^{-4})^2 + (0.811 \times 10^{-4})^2]} \right] \\ = & 0.262 \end{aligned}$$

中间的中相电缆:

$$\lambda_{1m}' = \frac{9.5 \times 10^{-4}}{0.613 \times 10^{-4}} \times \frac{0.811 \times 10^{-4}}{(9.5 \times 10^{-4} + 0.811 \times 10^{-4})} = 0.112$$

不同敷设方式下金属屏蔽两端互连接地环流损耗汇总于表 3-1-2 中。

表 3-1-2 金属屏蔽两端互连接地时环流损耗 λ_1' 数值

敷设方式	换位与否	电缆轴心间距	
		相互接触	$s = 2 \times D_c^*$
三角形	不换位	0.046	—
平面	不换位	—	0.282
		—	0.262
		—	0.112

注 * s —电缆轴心间距, mm; D_c —电缆外径。

环流损耗值的确定: 空气中敷设以损耗最大一相 (外侧滞后相) 为计算依据。

考虑到电缆安全运行, 载流量应有一定的安全裕度, 实际的电缆线路中电缆之间的任一段内的间距并非均匀一致, 按设计间距计算该线路的损耗时, 可适当的增加 25%



(经验值)。本例不增加。

2) 涡流损耗 λ_1'' : 金属屏蔽二端互连接地时涡流损耗可忽略不计, 即: $\lambda_1'' = 0$ 。

3) 金属屏蔽总损耗: 金属屏蔽二端互连接地时屏蔽总损耗 $\lambda_1 = \lambda_1'$, 列于表3-1-3。

表 3-1-3 金属屏蔽两端互连接地时屏蔽损耗 λ_1 数值

敷 设 方 式	换 位 与 否		电 缆 轴 心 间 距	
			相 互 接 触	$s = 2 \times D_e^{**}$
三 角 形	不 换 位		0.046	—
平 面	不 换 位	滞 后 相 (外 侧)	—	0.282
		越 前 相 (外 侧)	—	0.262
		中 相 (中 间)	—	0.112

注 * s —电缆轴心间距, mm; D_e —电缆外径。

(2) 金属屏蔽单点或交叉互连接地时的单芯电缆涡流损耗:

1) 相关参数计算: 涡流损耗由式 (2-5-6) 求得, 式中各参数如下:

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4\pi \times 2\pi \times 50}{10^7 \times 1.7241 \times 10^{-8}}} = 151.3$$

$$g_s = 1 + \left(\frac{0.20}{36}\right)^{1.74} \times [151.3 \times 36 \times 10^{-3} - 1.6] = 1.0004 \approx 1$$

$$m = \frac{2\pi \times 50 \times 10^{-7}}{9.5 \times 10^{-4}} = 0.033 \quad (\leq 0.1 \Delta_1, \Delta_2 \text{可忽略})$$

$$\frac{(\beta_1 \cdot t_s)^4}{12 \times 10^{12}} = \frac{(151.3 \times 0.2)^4}{12 \times 10^{12}} = 6.98 \times 10^{-8} \quad (\text{可忽略})$$

式 (2-5-6) 可简化为:

$$\lambda_1'' = \frac{R_s}{R} \lambda_0$$

λ_0 的计算式如下:

三角形排列 (相互接触):

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 3 \times \frac{m^2}{1 + m^2} \times \left(\frac{d}{2s}\right)^2 \\ &= 3 \times \frac{0.033^2}{1 + 0.033^2} \times \left(\frac{35.8}{2 \times 41}\right)^2 = 6.22 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

平面排列 (相互等间距):

中间电缆 (中相):

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 6 \times \frac{m^2}{1 + m^2} \times \left(\frac{d}{2s}\right)^2 \\ &= 6 \times \frac{0.033^2}{1 + 0.033^2} \times \left(\frac{35.8}{2 \times 82}\right)^2 = 3.11 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

两侧的电缆, 超前相与滞后相同:

$$\lambda_0 = 1.5 \times \frac{0.033^2}{1 + 0.033^2} \times \left(\frac{35.8}{2 \times 82} \right)^2 = 0.78 \times 10^{-4}$$

2) 涡流损耗计算: 单点或交叉互连接地时的单芯电缆金属屏蔽涡流损耗 λ_1'' 值按上述简化公式计算如下:

a) 三角形排列 (相互接触):

$$\lambda_1'' = \frac{9.5 \times 10^{-4}}{0.615 \times 10^{-4}} \times 6.22 \times 10^{-4} = 0.01$$

b) 平面排列 (相互等间距 $s = 2 \times D_c$):

中间电缆 (中相):

$$\lambda_1'' = \frac{9.5 \times 10^{-4}}{0.613 \times 10^{-4}} \times 3.11 \times 10^{-4} = 0.005$$

越前相的外侧电缆:

$$\lambda_1'' = \frac{9.5 \times 10^{-4}}{0.613 \times 10^{-4}} \times 0.78 \times 10^{-4} = 0.001$$

滞后相的外侧电缆:

$$\lambda_1'' = \frac{9.5 \times 10^{-4}}{0.613 \times 10^{-4}} \times 0.78 \times 10^{-4} = 0.001$$

其他不同间距 λ_1'' 值列于表 3-1-4。

环流损耗 λ_2' : 金属屏蔽单点互连接地和交叉互连接地场合下, 每一大段分成三个小段并且电性相同, 这时环流损耗等于零。当各线路段其不平衡电流不能忽略的情况下, 必须计及剩余电压而导致该线路段的环流损耗。在各段长度未知的情况下, 可推荐 λ_1' 的经验值为:

$$\lambda_1' = 0.03 \text{ (直接敷设)} \quad \lambda_1' = 0.05 \text{ (管道中敷设)}$$

金属屏蔽总损耗数值为 $\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1''$ 。本例设 $\lambda_1' = 0$, 总损耗 $\lambda_1 = \lambda_1''$ 。列于表 3-1-4 中。

表 3-1-4 单芯电缆单点或交叉互连接地时金属屏蔽损耗 λ_1

敷设方式	换位与否	电缆轴心间距 s ※	
三角形	不换位		相互接触
			$s = 2 \times D_c$
			0.01
平面	不换位	滞后相 (外侧)	—
		越前相 (外侧)	—
		中相 (中间)	—
			0.001
			0.001
			0.005

注 ※ s —电缆轴心间距, mm; D_c —电缆外径

3.1.4 介质损耗 W_d

本例交联聚乙烯绝缘电缆对地电压 8.7kV, 通过计算可知其介质损耗因数较小。

单位长度的介质损耗由式 (2-4-1) 计算, 电缆的电容:

$$c = \frac{2.5}{18 \times \ln\left(\frac{33.8}{24.8}\right)} \times 10^{-9} = 0.448 \times 10^{-9}$$

介质损耗因数 $\tan\delta = 0.004$, 介质损耗 W_d :

$$W_d = 2\pi \times 50 \times 0.448 \times 10^{-9} \times 8700^2 \times 0.004 = 0.04 \quad (\text{W/m})$$

3.1.5 热阻的计算

绝缘热阻 T_1 : 单芯电缆绝缘热阻按式 (2-8-1) 计算:

$$T_1 = \frac{3.5}{2\pi} \times \ln\left(\frac{35.6}{23.8}\right) = 0.22 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

屏蔽包带热阻 T_2 : 按式 (2-8-12) 计算:

$$T_2 = \frac{P_2}{2\pi} \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right) = \frac{7}{2\pi} \ln\left(\frac{36.4}{36}\right) = 0.01 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

外护层热阻 T_3 : 按式 (2-8-14) 计算

$$T_3 = \frac{7}{2\pi} \times \ln\left(\frac{41}{36}\right) = 0.14 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

外部热阻 T_4 : 空气中敷设时, 按三根单芯电缆平面排列, 电缆中心间距 $s = 2 \times D_c$, 金属屏蔽两端互连接地, 不换位 ($\lambda_1 = 0.282$), 计算外部热阻。其他排列见表 3-1-5。

空气中不受阳光照射时的电缆周围热阻 T_4 按式 (2-9-1) 计算:

散热系数 h 计算:

$$h = \frac{0.21}{0.041^{0.6}} + 3.94 = 5.36$$

$(\Delta\theta_s)^{0.25}$ 的简易迭代法计算, 由式 (2-9-3) ~ (2-9-5) 计算:

$$K_A = \frac{\pi \times 0.041 \times 5.36}{1 + 0.28} [0.22 + (1 + 0.28) \times (0.01 + 0.14)] = 0.222$$

设 $(\Delta\theta_s)^{0.25} = 2$, 代入下式:

$$(\Delta\theta_s)_{n+1}^{0.25} = \left[\frac{90 - 40}{1 + 0.215 \times 2.23} \right]^{0.25} = 2.42$$

2.48 取代 2 再代入上式, 经 2~3 次迭代最后 $(\Delta\theta_s)^{0.25} = 2.39$

$$T_4 = \frac{1}{\pi \times 0.041 \times 5.36 \times 2.39} = 0.61 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

土壤中 T_4 以三根单芯电缆平面排列, 电缆之间距离相等而损耗不等的埋地电缆为例
外部热阻由式 (2-11-8) 计算:

$$u = \frac{2L}{D_c} = \frac{2 \times 700}{41} = 34$$

$$T_4 = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln(2 \times 34) + \ln \left[1 + \left(\frac{2 \times 700}{82} \right)^2 \right] \right\} = 1.58 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

$$\begin{aligned} T_{\text{总}} &= \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln(2 \times 34) + \ln \left[1 + \left(\frac{2 \times 700}{82} \right)^2 \right] \right\} \times \frac{1 + 0.5 \times (0.26 + 0.28)}{1 + 0.11} \\ &= 1.71 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W}) \end{aligned}$$

3.1.6 载流量计算

以电缆间距为 $2 \times D_c$ 平面排列为例计算载流量。

(1) 空气中：将上述各参数值代入式 (2-2-1)

$$I = \sqrt{\frac{90 - 40 - 0.04 \times (0.5 \times 0.22 + 0.01 + 0.14 + 0.61)}{0.613 \times 10^{-4} \times [0.22 + (1 + 0.28) \times (0.01 + 0.14 + 0.61)]}}$$

$$= 826 \quad (\text{A}) \quad (\text{二端互连接地})$$

(2) 土壤中：不考虑土壤中水分迁移 ($v=1$)，按式 (2-2-5) 计算，以金属屏蔽二端互连接地为例：

$$I = \sqrt{\frac{90 - 25 - 0.04 \times (0.5 \times 0.22 + 0.01 + 0.14 + 1.58)}{0.613 \times 10^{-4} \times [0.22 + (1 + 0.11) \times (0.01 + 0.14 + 1.71)]}}$$

$$= 680 \quad (\text{A})$$

考虑土壤水分迁移问题时，首先要计算电缆各部分的温度，当电缆表面温度大于 50°C 时再计算土壤发生水分迁移时电缆载流量。

以电缆间距为 $2 \times D_c$ ，屏蔽两端互连接地，土壤热阻系数 $\rho_T = 1 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ 计算的载流量 $I = 680 \text{ A}$ 为例，计算各部分温度如下：

线芯允许最高工作温度 $\theta_c = 90^\circ\text{C}$ 时通过电流 $I = 680 \text{ A}$ ，则热流量（热损耗）为：

$$W_c = I^2 \times R = 680^2 \times 0.613 \times 10^{-4} = 28.3 \quad (\text{W/m})$$

介质损耗引起的热流量 $W_d = 0.04 \quad (\text{W/m})$

介质损耗引起的温升 $\Delta\theta_d = W_d (0.5T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$

$$= 0.04 \times (0.5 \times 0.22 + 0.01 + 0.14 + 1.58)$$

$$= 0.1 \quad (^\circ\text{C})$$

绝缘层温度降 $\Delta\theta_i = (I^2 R + 0.5 W_d) T_1$

$$= (28.3 + 0.5 \times 0.04) \times 0.22$$

$$= 6.2 \quad (^\circ\text{C})$$

屏蔽包带和外护层温度降： $\Delta\theta_3 = [W_c \times (1 + \lambda_1) + W_d] (T_2 + T_3)$

$$= [28.3 \times (1 + 0.28) + 0.04] \times (0.01 + 0.14)$$

$$= 5.4 \quad (^\circ\text{C})$$

电缆表面温度 $\theta_s = \theta_c - \Delta\theta_i - \Delta\theta_3$

$$= 90 - 6.2 - 5.4$$

$$= 78.2^\circ\text{C}$$

通过计算电缆表面温度已于 50°C 所以应考虑电缆周围土壤水分迁移现象。对于一般性土壤干燥时土壤热阻系数取 $2.0 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ ，则载流量为：

$$v = \rho_T / \rho_w = 2.0 / 1.0 = 2$$

$$I = \sqrt{\frac{90 - 25 - 0.04 \times (0.5 \times 0.22 + 0.01 + 0.14 + 2.0 \times 1.58) + (2 - 1) \times 25}{0.613 \times 10^{-4} \times [0.22 + (1 + 0.11) \times (0.01 + 0.14 + 2 \times 1.71)]}}$$

$$= 592 \quad (\text{A})$$

其他情况下载流量计算后列于表 3-1-5。

表 3-1-5 8.7/15 kV 1×400mm² XLPE 电缆载流量

敷 设	空 气 中				土 壤 中			
排 列	三角形 ^①		平 面 ^②		三角形 ^①		平 面 ^②	
屏蔽互连接地	一端	两端	一端	两端	一端	两端	一端	两端
截面 (mm ²)	载流量 (A)				载流量 (A)			
1×400	759	744	910	826	735	680	735	680
工作温度	90 (°C)				90 (°C)			
环境温度	40 (°C)				25 (°C)			

注 ①—三角形排列,彼此相互接触。

②—平面排列时电缆轴心间距为电缆间距的 2 倍。

表 3-1-6 8.7/15 kV YJV 400mm² 三根单芯 XLPE 电缆载流量 (A) (土壤中)

土壤状况	自然土壤		发 生 水 分 迁 移					
ρ_T (K·m/W)	1.0		2.0		2.5		3.0	
屏蔽互连接地	一端	两端	一端	两端	一端	两端	一端	两端
平面 (接触)	694	675	600	585	580	565	565	545
平面 ^① $2 \times D_c$	735	680	640	590	620	570	605	555
工作温度	90 (°C)							
环境温度	25 (°C)							

注 ①—平面排列时电缆轴心间距为电缆间距的 2 倍。

3.2 电缆载流量计算应用软件

3.2.1 概述

电缆载流量计算是个非常繁琐的工作,凡是了解计算电缆载流量的人都知道过去用计算器手工计算,一般情况下要 2~3 天时间,且要反复演算,以防出现错误。如果用计算机编程计算,虽然编程要花费相当的时间和精力,一旦程序编完,就可迅速地进行各种电压级下不同规格的电缆在各种敷设条件下的载流量计算。下面的电缆载流量计算应用软件是用最通用的 VB 语言编写。以交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量计算为例说明电缆载流量计算软件的编写和使用。

(1) 适用范围:电压级为 0.6/1 ~ 26/35kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆 (GB 12706.3—1991) 系列规格。在稳态运行条件下的额定载流量计算。

(2) 计算依据 电缆结构尺寸符合 GB 12706.3—1991 标准,计算方法和参数值符合 JB/T10181—2000 和 IEC 60287 系列标准。

(3) 敷设和运行环境:敷设方式包括空气中、空气管道中、直埋土壤中和土壤管道中等。单芯电缆用于三相交流系统中包括平面 (线芯间距有 1~2 倍电缆外径) 和三角形排列 (相互接触)。金属屏蔽有一端互连和两端互连接地。因为 XLPE 电缆工作温度高达 90℃,如果运行时电缆表面温度超过 50℃情况下,电缆周围邻接土壤因水分迁移将变得干枯且形成以电缆外径为中心的土壤干燥环 (土壤热阻系数变大),其热阻系数将不再是计

算载流量时所选用的基准条件下的土壤热阻系数,而干燥环的土壤热阻系数远大于水分迁移前的自然状态下的土壤热阻系数。(土壤热阻系数与水分有直接关系),如果继续按原来载流量运行,则电缆线芯温度将超过允许最高工作温度,长期处于超高温下运行是不允许的。本程序在计算载流量时注意到这个问题,因此,根据电缆周围土壤类型综合分为一般性土壤、沙(砂)土和粘土三种类型。在干燥状态下相应的土壤热阻系数为 2.0, 2.5, 3.0 ($K \cdot m/W$)。根据土壤类型和发生水分迁移而电缆邻近土壤变成干燥环状况下,计算出相应的载流量。告诫用户对于交联聚乙烯绝缘电缆因为工作温度高,一定要考虑水分迁移问题,尤其是对于雨水少的地区更应注意这个问题。

另外,根据城市地下空间利用的限制,电缆敷设占用空间越来越小,因此,采用电缆沟道成群敷设越来越多。应用软件给出了电缆敷设于地下混凝土排管中和多芯电缆并列埋地情况下的载流量计算。

3.2.2 XLPE 电缆载流量计算软件 (VB 编程)

Visual Basic 简称 VB 是当今世界上应用最广泛的编程语言之一。它以被公认为编程效率最高的一种编程方法。无论是开发功能的强大,性能可靠的商务软件,还是编写能处理实际问题的实用程序,都是最快、最简便的方法。VB 被更多人接受,日益强大的数据访问功能与 Internet 功能正被许多企业所认识并利用,从而使其效率与以前相比不可同日而语。

载流量计算三部曲 根据 JB/T10181—2000 和 IEC-60287 标准,电缆载流量的计算通常应分为三步进行:

损耗计算:电缆的损耗主要包括:导体的交流电阻(其中包括集肤效应及邻近效应的计算),绝缘的介质损耗,金属套及屏蔽的环流及涡流损耗,铠装或加强层(如果有)的损耗。各损耗的计算方法与电缆本体结构及敷设方式有关并且用与导体损耗的比值表示。

热阻的计算:分为电缆本体各部分的热阻(T_1 、 T_2 、 T_3)和外部热阻(T_4)计算。而计算方法由电缆本体结构及敷设方式决定。

载流量的计算:根据前两步计算结果,将参数值代入基本计算公式,即可得出在给定基准条件下的额定载流量。

除了载流量计算外,还有其他应用参数,如短路电流、电感、电容等同时提供。

程序主要结构大致分几个界面,由软件声明界面进入程序内容简介窗口,如图 3-2-1、图 3-2-2 所示。

单击【下一步】进入参数输入窗口。这里包括电缆参数输入选项卡和敷设方式、环境条件等参数选项卡。

电缆参数的输入—在电缆参数选项卡中,选择所需要的电缆型号、电压、芯数、截面等提供给程序,如表 3-2-1,图 3-2-3 所示。

敷设方式的输入—根据现场环境条件提出敷设方式的参数提供给程序,如表 3-2-1 所示。

下一步按命令按钮,等待计算结果。

电缆载流量计算所需要的参数根据输入项目的不同各异,如表 3-2-1 所示。

输出结果:根据不同的版本将得到下述的计算结果输出。

结构方面的信息:结构尺寸、电性参数(电阻、电容、电感)等。

表 3-2-1

程序所需要的输入参数

输入参数	敷设方式	输入参数内容
电缆参数	—	型号 (N)、电压 (V)、芯数 (J)、截面 (I)
环境条件	空气中	排列方式 (J)、电缆间距 (S)、屏蔽接地方式 (M)、环境温度 (T0)
	空气管道中	排列方式 (J)、电缆间距 (S)、屏蔽接地方式 (M)、环境温度 (T0)、管道尺寸
	土壤中	排列方式 (J)、电缆间距 (S)、屏蔽接地方式 (M)、自然土壤热阻系数 (Pw)、水分迁移后土壤热阻系数 (Pd)、埋地深度 (Lp)、环境温度 (T0)
	土壤管道中	排列方式 (J)、电缆间距 (S)、屏蔽接地方式 (M)、自然土壤热阻系数 (Pw)、水分迁移后土壤热阻系数 (Pd)、埋地深度 (Lp)、环境温度 (T0)、管道尺寸 (Dg)
	土壤多根并列	排列方式 (J)、电缆间距 (S)、屏蔽接地方式 (M)、自然土壤热阻系数 (Pw)、水分迁移后土壤热阻系数 (Pd)、埋地深度 (Lp)、环境温度 (T0)
	混凝土排管	排列方式 (J)、电缆间距 (S)、屏蔽接地方式 (M)、自然土壤热阻系数 (Pw)、埋地深度 (Lp)、环境温度 (T0)、混凝土尺寸 (x, y)
	海底水下	排列方式 (J)、电缆间距 (S)、屏蔽接地方式 (M)、自然土壤热阻系数 (Pw)、埋地深度 (Lp)、环境温度 (T0)

注 当鼠标移到输入按钮时, 会给出每个参数取值范围的提示, 根据用户需要自行选择。

损耗方面的信息: 导体交流电阻、屏蔽损耗、绝缘损耗、铠装损耗、各部位温度。

热性方面的信息: 绝缘热阻等电缆本体热阻、电缆外部热阻、电感、电容等。

负荷方面的信息: 额定载流量、周期负荷和应急负荷因数、短路电流、短路温度。

附件方面的信息: 附件计算、标准附件结构尺寸配置及参考价格等。

操作系统: 该软件操作非常简便, 有三个窗体起着人机对话的桥梁作用。按照提示输入合理的参数值, 就可以获得输出信息。

(1) 进入载流量计算平台。见图 3-2-1。此时只有【下一步】和【帮助】激活。按【下一步】命令。进入内容简介窗口如图 3-2-2。显示软件制作依据、功能等。点击【下一步】, 进入参数输入界面。如图 3-2-3 所示。



图 3-2-1 XLP 电缆载流量计算

(2) 输入电缆参数: 如表 3-2-1 所示。见图 3-2-3。按以下顺序输入参数:

电缆型号→标准电压→导体芯数→导体截面 (单一截面或系列截面)。

参数输入后, 计算机自动检测输入数据有效后可以按【下一步】命令。进入敷设参数

窗口。

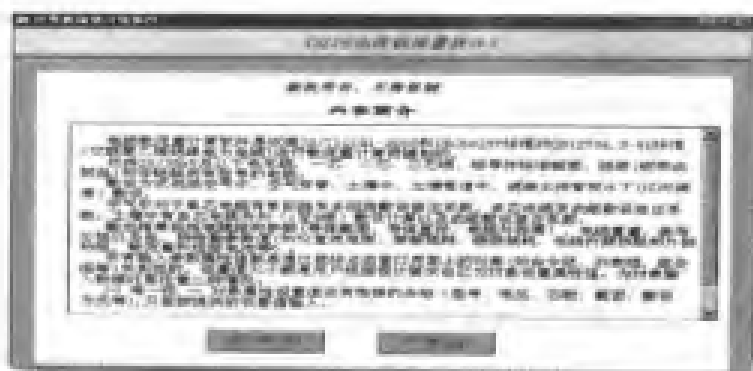


图 3-2-2 软件功能简介窗口

单一截面：一次只计算一个截面。如导体截面 185mm^2 ，只将鼠标在列表框中 185 数字上按一下即可。

系列截面：一次可以按标准截面由小到大计算多个截面。如要计算 $120 \sim 800\text{mm}^2$ 截面的载流量，首先按单选钮 $[S_{\min}]$ ，再将鼠标移到 120 点击一下。然后再单击 $[S_{\max}]$ ，再将鼠标移到 800 点击一下。

(3) 输入敷设参数：如表 3-2-1 所列。见图 3-2-3。



图 3-2-3 电缆结构参数输入窗口

敷设条件和参数受电缆型号、电压、导体芯数和截面的制约。数据受环境条件和电缆安装经验的限制。根据我国气象地理特点提供了参考数据。每个参数都有提示数据供选择。也可以自定数值。输入参数完毕计算机检索数据有效。按 $[\text{确定}]$ 命令。计算机开始计算，并输出计算结果。

(4) 计算结果：计算结果将分几个界面显示电缆各个参数。见图 3-2-4 ~ 图 3-2-7。

现在分别介绍各个界面输出内容。

1) 电缆参数输出界面：电缆参数主要是结构尺寸，包括导体直径、绝缘直径、屏蔽直径、内衬层直径、铠装直径、电缆外径。

2) 交流电阻等输出界面：这些参数基本上都是与计算载流量有关的参数值。如导体的直流电阻、交流电阻、屏蔽损耗（单点接地和两点接地）、介质损耗、绝缘热阻、内衬



图 3-2-4 敷设环境参数输入窗口

图 3-2-5 电缆载流量等参数输出界面

图 3-2-6 电缆短路电流输出界面

热阻、外护层热阻、外部热阻、载流量、电感、电容等。

3) 短路电流等输出界面：给出导体、铜带（铜丝）屏蔽的在不同起始温度和短路时间下短路电流。

4) 载流量修正系数输出界面：空气中托架、托盘或支撑物成群敷设的电缆，不同排列下载流量修正系数。

5) 附件等参数输出界面：电缆附件设计和预制件规格等介绍。

计算机把人们从电缆载流量繁琐的计算工作中解放出来，快捷是其最大的优点。但是其数据正确性要靠人来把握的。首先是计算对象与计算公式是否符合相对应的标准，所用

修正系数			
修正系数	修正系数	修正系数	修正系数
环境温度修正系数	1.05	1.05	1.05
导体温度修正系数	1.05	1.05	1.05
导体截面修正系数	1.05	1.05	1.05
导体材料修正系数	1.05	1.05	1.05
导体长度修正系数	1.05	1.05	1.05

图 3-2-7 载流量修正系数输出界面

的参数是否符合标准推荐值,还是通过实验确认值。这一基本条件确认之后。就是编程工作。程序是计算对象与计算公式进行逻辑思维的结果。一个好程序只接受有效数字而拒绝一切垃圾数据进入对话框,否则后果不堪设想。这一关口一定要把严。再者就是输出界面要清晰,符合逻辑,给用户以方便检索所需要的计算结果。这里最重要的一点就是计算结果的正确性。在调试程序时一定要逐步进行,每一个中间数据都要仔细考虑是否合理。这样才能确保计算结果的正确性。

3.3 电缆载流量试验设施及程序

在一般情况下,电缆载流量计算是准确的。对于特定的结构和给定的条件下电线电缆载流量计算值准确与否要通过试验才能确定。因此,试验是检测电缆载流量的必要手段,是确保计算载流量正确的必要且充分条件。下面将要介绍一个较规范化的载流量试验室(包括必要的设备和仪器以及测试方法)。

3.3.1 试验设施

载流量试验主要设备列于表 3-3-1 中,其中关键设备和仪器简要介绍如下。

表 3-3-1 电缆载流量试验室用主要设施和仪器

名 称	型号和容量	备 注	名 称	型号和容量	备 注
恒 温 室	尺寸: 11×2.6×2.5 温度: 10~50℃	自动控制	直流毫伏表	AC-5/4	0.5 级
大电流变压器	DN-100/0.5		热电偶线	40.25mm	铜和康铜
调 压 器	TDJA-100/0.5		交流电位差计	18-2	0.001 级
电流互感器	HG-23/1	0.2 级	直流电位差计	11-26	0.001 级
电 流 表	D9-A	0.5 级	直流稳压器	JWZ-30	工作电流
温度数字显示仪	DR-30		交流稳流装置		有三相平衡装置

注 有条件时最好采用三相电源。

(1) 恒温试验室: 这里指空气中敷设的电缆载流量试验用的试验室, 试验室应具有调温保温控制功能。试验室尺寸为: 长×宽×高=11×3×2.5 m。环境温度控制在 10~50℃



范围内, 并有恒温功能。室内空气自然对流, 有条件时则附有通风系统, 风速和方向均可调节, 风速在 $0.5 \sim 1.5 \text{ m/s}$ 范围内可控。室内附有电缆托放架(车), 托架高度尺寸为 $10 \times 0.7 \times 1.0 \text{ m}$, 能承受大截面电缆压力。另外, 试验室在长度方向应有能显示拉力的支撑架, 承受力在 2 t 左右(做架空导线载流量试验)。试验室温度可用电热丝加热, 但注意只是均匀地加热空气温度而不能使电缆样品受到直接辐射热。

(2) 电流源: 电缆载流量试验是在低压大电流下进行的。为了适应不同电缆截面试验, 要求有一个调节范围大且能恒定的电流源, $50 \sim 100 \text{ kVA}$ 的单相电源足以满足实际试验需要, 有条件的情况下也可备有三相电源。为了确保电流恒定, 应有交流稳压装置, 电流源的引接线采用铜母线引入试验室。电缆试样可以直接与母线连接或通过软线连接。电流互感器应采用 0.2 级, 电流表采用 0.5 级。

(3) 测温仪器: 非电量的电测技术包括三部分: 传感器、测量电路和显示器。

1) 传感器: 热电式传感器是利用测温元件的电或磁的参数随温度变化而改变的特性将温度变化转换为电量的变化以达到测量温度的目的, 热电偶是主要的测温元件之一。

2) 测量电路: 实际应用时, 在回路中要接入测量仪表和连接导线, 这些材料不同相当于在回路中引入了第三导体。但只要引入第三导体两端温度相同, 则不影响热电偶的热电势。

采用热电偶测温方便、准确, 但是由于多种因素的影响, 总是存在测量误差。如分度表的分度误差、显示记录仪表和接线误差、受电场和磁场造成的外界干扰误差、热惯性造成的动态误差等。这里重点说明影响较大的传热误差。当两个温度不同的导体连接在一起时, 热量从高温物体传到低温物体, 直到两个物体的温度处于相同动态平衡为止。热电偶还要与周围环境进行热交换, 热量的散失使热电偶的测温端的温度低于被测物体的温度, 这就是热电偶的传热误差。分析研究表明, 当热电偶测量端插入物体的深度 L 增加, 减小热电偶直径 d , 不仅可以增大放热系数, 也可增加导热热阻, 减小导热误差, 通常 $L/d \geq 10$ 。选用导热系数小的热电偶, 增加热电偶的热阻, 也减少导热误差。另外, 由于热电偶的分度表是零时使冷端温度为零作为参考点, 在使用热电偶时尽量以此为条件。一般试验室作精密测量时都采用冷端保持 0°C 的办法。实际工程当中, 由于冷端距离热端较近, 且暴露于空间易受被测对象温度和环境温度影响, 冷端温度难以恒定而产生测量误差。为了消除这种误差, 可采用温度补偿等修正措施。对于一般测温仪器都进行补偿, 以确保测量温度数值的准确性。

根据热电偶工作原理, 电缆载流量试验用热电偶丝直径在 $\phi 0.25 \sim \phi 0.30 \text{ (mm)}$ 范围内, 用 T、E 或 J 型均可以。热电偶丝应先涂一层漆再挤一层薄塑料作为护层。热电偶测量端头两种金属一定要熔化, 使其呈现出光亮的圆球状。最好不要用焊锡将两种金属焊在一起。为此这里介绍一个简单实用的方法。

取用一个 2 kVA 的调压器, 初级端接 220 V 电源。次级端用两根引接线, 其一端焊接在金属鱼夹的一头(注意应带有绝缘棒, 便于手拿), 另一端紧密地接触在一个碳棒上(取出 1 号干电池中的碳棒即可)并用绝缘带包扎好。将热电偶丝要焊接的一端去掉漆层, 两根线拧在一起约 5 mm , 用鱼夹夹住, 露出 2 mm 一个端头。然后将调压器接上电源, 调

压到 20V 左右, 用带有碳棒的一端去接触热电偶端头, 注意一接触就离开。同时崩发出电火花 (最好带个墨镜)、将调压器调到零。热电偶头呈现出一个圆球状就做好了。

3) 显示器 DR-30 巡回数字记录仪 (procos-VII) 是较好的测温显示仪器。具有多种热电偶信号和直流电压信号输入和多种测定量程。同时可以测量 30 个点, 进行分点打印记录。该仪器基本结构是以 8085A 为中心的 CPU 回路 (中央处理回路) 及其外围 5 部分组成线路。

①输入信号切换回路: CPU 回路指令输入信号切换器工作, 各通道的输入信号及其他数据通过切换器送入模拟处理回路进行处理。

②模拟处理回路: 得到 CPU 的指令, 输入信号放大, 并通过 A/D 转换器转换成数字信号。

③CPU 回路: 由 8085A 为中心的 ROM 和 RAM 构成, 控制主机全部功能。

④打印机及其控制回路: CPU 指令打印机对由文字、数字及符号构成的数据打印。

⑤显示及开关回路: 依据 CPU 的指令将数据显示在屏上以及由数字键设定的数据送入 CPU 回路。

本仪器有内装 RS-232 接口, 与电脑联机, 自动显示记录。

4) 电位差计: 交流电位差计和直流电位差计, 用于测量导体的交流电阻和直流电阻。做架空裸导线载流量时测量交直流电阻。交流电位差计可采用 US2 型, 直流电位差计用 UJ2 型。

3.3.2 载流量试验程序

(1) 试验样品: 电缆试样长约 10m。两端剥去绝缘和护层大约 200mm, 以便与电流源连接。试样平放在试验架上。

(2) 热电偶敷设: 电缆线芯上敷设热电偶 3~5 对, 多芯电缆应在不同导体上敷设。用 $\phi 1 \sim 1.5\text{mm}$ 钻头由电缆中间向两端间隔 1.5m 左右钻洞至电缆线芯, 热电偶插入洞孔到与导体接触为止, 然后将热电偶固定后用细线扎在电缆上, 另一端接在测温显示器上。同样, 在绝缘、金属套、电缆外表面 (如果需要) 敷设热电偶数对, 电缆周围环境敷设 3 对热电偶。

(3) 测试步骤: 电缆试样安放在试验托架上, 敷设好热偶并与仪器连接完毕, 接通电源。施加电流大小与电缆截面有关。一般情况下, 开始一段时间, 电流加大一些, 待导体温度接近于电缆允许最高工作温度时, 适当调整电流大小。直到线芯温度稳定在允许最高工作温度点上约 1h 左右再测量各部位的温度和记录施加的电流值, 试验结束。

(4) 数据处理: 由于敷设在线芯中热电偶与导线接触的紧密程度不同可能导致温度不同, 因此, 去除最低温度, 取其测量数据的平均值 (取小数点一位) 作为本次试验的结果值。

3.4 电缆载流量试验

试验是检验计算数字值的最好手段, 国际电工委员会在 IEC60287 中也指出计算数值的最好验证是根据测量结果, 电缆载流量也是如此。现在的电缆载流量计算标准中大多数



公式是准确的,但也有一些计算参数式是在考虑之中。此外,实际上需要的一些公式在标准中还没有列入,只有通过试验解决这些问题。根据上述原则,为了探讨多芯挤出绝缘电缆的填充材料热阻系数对载流量的影响以及钢丝铠装损耗对单芯电缆载流量的影响,对三芯交联聚乙烯绝缘电缆和单芯交联聚乙烯绝缘钢丝铠装电缆进行了载流量试验。根据试验结果,在还没有计算标准公式的条件下至少可以解决这两个问题。对于挤出绝缘(如PVC和XLPE)多芯(n 代表芯数)电缆绝缘热阻按带绝缘电缆计算,此外,填充热阻(其几何因数是多芯导体外接圆与成缆直径之比的自然对数)按其热阻的 $1/n$ 加在内衬层热阻上,这是经验式。对多芯电缆载流量来说,在绝缘热阻没有标准公式之前用该经验式,不会引起较大误差的。表3-4-1列出试验值和计算值。

表 3-4-1 三芯交联电缆载流量试验数据

型 号	电 压 (kV)	芯数×截面 (mm ²)	导体温度 (℃)	表面温度 (℃)	环境温度 (℃)	施加电流 (A)	载流量 (A)	
							环境温度 40℃	
							试验值	计算值 ¹⁾
YJV	8.7/15	3×400	89.3	60.69	28.9	700	636	628
YJV	26/35	3×400	91.0	45.8	28.9	672	602	603
GZRYJV	8.7/15	3×150	90.3	59	16	474	388	390
GWLYJE	8.7/10	3×70	90.7	62.3	24.5	315	273	276
YJV	8.7/10	3×70	90.3	55.8	23.0	264	227	228
YJLV	6/6	3×185	90.1	67.2	24.5	360	314	313

注 便于与试验比较本表给出环境温度40℃时的载流量,不同的环境温度可以采用下面公式近似计算:

$$I_0 = \sqrt{\frac{T_c - T_0}{T_{ca} - T_0}} \times I_a \quad (\text{A})$$

式中 I_a —试验电流, A;

T_c —导体温度(交联电缆工作温度90),℃;

T_{ca} —试验时导体温度,℃;

T_0 —环境温度,℃,表中的40℃的环境温度;

T_a —试验时的环境温度,℃;

I_0 —表中40℃时的载流量, A。

IEC60287标准中仅给出海底电缆(水下泥土中敷设)单芯钢丝铠装载流量计算方法,并提出电缆间距 $s=10\text{m}$,按钢丝铠装损耗与导体损耗相等计算载流量。没有提供空气中敷设电缆载流量计算方法。但在IEC55-2(1989)标准中,对铠装一项指出:用于交流线路上的单芯电缆的铠装由非磁性材料组成,除非具有特殊结构。我国电力电缆标准如GB12706.2—1991标准中在规格一项注释中说明:单芯电缆铠装应采用非磁性材料或采用减少磁损耗结构。实际产品中,对于单芯钢丝铠装电缆大部分采用与钢丝直径相同的4根铜丝均匀隔开,意念之中起到“隔磁”作用。有人说是国人在20世纪60年代提出的结构,也有人说是原苏联的产品标准中提出的。不管怎样,该结构是否能起到“隔磁”作用是电缆用户最关注的问题。以前单芯钢丝铠装电缆往往都用于海底敷设,在水下泥土中由于环境温度不高,人们往往也不去注意电缆表面温度问题。自从20世纪90年代以来,发

电厂也在空气中使用单芯钢丝铠装电缆，有的采用不锈钢丝，有的采用镀锌钢丝。在同样条件下运行，电缆规格相同，传输相同电流，结果发现电缆表面温度不一样，采用不锈钢丝的电缆表面温度低得多，而采用镀锌钢丝的电缆表面温度则高很多。也就是在导体允许工作温度下采用镀锌钢丝的电缆要比采用不锈钢丝的电缆传输电流小得多。试验表明，采用镀锌钢丝的电缆要比采用不锈钢丝的电缆载流量小 30% ~ 40%。到目前为止，国内至少发现 7 处因采用单芯钢丝（采用 4 根铜丝隔磁结构）铠装电缆因过热而修改了原来的设计方案。通过试验也验证了镀锌钢丝（铜丝隔开）结构的电缆要比不锈钢丝的电缆或非铠装电缆传输电流小得多。表 3-4-2 列出了试验数据和现场测试数据，可以说明这个问题。

表 3-4-2 单芯钢丝铠装电缆载流量

型 号	电 压 (kV)	截 面 (mm ²)	三角形（接触）			平 面 ($S=2 \times D_c$)			备 注
			导体温度 (℃)	环境温度 (℃)	载流量 (A)	导体温度 (℃)	环境温度 (℃)	载流量 (A)	
YJV32	8.7/15	1×400	90	40	445	90	40	596	试 验 值
			90	40	443		—	—	现场测试
YJV	8.7/15	1×400	90	40	750	90	40	910	非 铠 装

注 1) 表中数据是根据试验数据和现场测试数据整理而得（为了便于比较）。

2) 金属屏蔽单点互连接地。

单芯电缆钢丝铠装损耗的原因主要是磁滞和涡流损耗（尤其是前者）起决定性作用。这些损耗都与磁场强度有关，而磁场强度又与线芯电流有关。当钢丝单点互连时，铠装不存在环流损耗。任何运动的电荷或电流，除了产生电场外，还要在它的周围空间产生磁场。试验表明，在任何磁场中每一条磁力线都是环绕电流的闭合线，没有起点也没有终点。钢丝是磁性材料，而铜丝是非磁性材料，导磁率与空气相同。铜丝相当于一个直径空气间隙，磁阻略大于全钢丝铠装。通过试验和现场资料表明，其增加的磁阻不足以对磁损耗产生影响。定量计算比较复杂，IEC 60287 标准中仅对电缆间隔 10m 的海底敷设单芯钢丝铠装电缆提出铠装损耗与线芯损耗相等的计算方法。在没有计算方法之前应通过试验解决单芯钢丝铠装电缆载流能力。

综上所述，对单芯钢丝铠装电缆而言由于铠装磁损耗因数增大造成了载流量减小。损耗增加是单芯钢丝铠装电缆的缺点。但是单芯钢丝铠装电缆又有其能承受拉力和强大的外来机械力的作用，实际上也是不可缺少的产品。如江河湖海敷设的海底电缆。因此，IEC55-2 (1981) 标准关于铠装 (9.1) 建议：用于交流线路上的单芯电缆的铠装由非磁性材料组成，除非具有特殊结构。采用钢丝夹铜丝的结构是一种方法，但用四根铜丝均匀隔开，试验证明没有效果。采用多根铜丝或不锈钢丝是否起到阻磁作用需要通过试验来检验，还可以采用其他措施。国内引进成套设备中已经大都采用单芯非磁性铠装电缆，除江河湖海水底及承受巨大拉力特殊情况外，通常情况下均不选用单芯钢丝铠装电缆，如隧道、托架等不承受拉力和可以预料的外来机械力不是很大时。



电缆运行及其 经济截面的优化选择

4.1 电缆运行条件

4.1.1 选择电缆应具备的资料

为选择合适的电缆类型,电缆用户应向电缆制造厂提供尽可能多的必要资料。

(1) 运行条件包括以下各项:

- 1) 系统额定电压:任何两根导体之间的工频电压均方根值。
- 2) 三相系统最高电压 U_m :在正常运行条件下相间电压的最高均方根值。不包括暂达电压(如系统开关引起的)和由于系统异常状况(如由于故障条件或突然大负荷断开)引起的暂时电压变化。
- 3) 雷电过电压。
- 4) 系统频率。
- 5) 接地方式以及当中性点非有效接地情况下,任何一次接地故障状态的最大允许持续时间和每年总的持续时间。
- 6) 最大额定电流:连续运行、周期运行(负荷曲线)、紧急运行或过载(如果发生)。
- 7) 相间以及相对地短路时预期流过的对称和非对称短路电流。
- 8) 短路电流的最大持续时间。

(2) 安装资料包括以下各项:

- 1) 敷设方面:线路长度和断面图;设置(如平面或三角形排列)以及金属护套互联和接地方式;特定的敷设条件,如电缆敷设于水中;对于埋地电缆,敷设条件(如直埋、管道中等)的详细资料,以确定金属护套结构、铠装(若需要)型式和外护层类型,如防腐、阻燃或防白蚁和埋地深度;沿线路土壤热阻系数和类型(如沙土、粘土和人工土),以及该资料来源是测量、调查或仅是根据假设;埋地土壤处的土壤温度最低值、最高值和平均值;邻近其他有负荷电缆和其他热源的详细资料;电缆沟、管道或管子的长度,若有工井则包括其间距;管道和管子的数量,管道和管子的内径,数量超过一根时,各管道和管子的间距;管道和管子的材料;对于空气中电缆周围空气温度的最大值、最小值和平均

值、安装类型（如直接置于墙壁上托架上等；电缆群敷设情况及沟道和沟道的尺寸等）。

2) 环境条件：通风装置的详细资料（对于户内、隧道或管道内电缆）。是否受日光直射。特殊条件，例如火灾危险。

选择电缆时应具备的详细资料汇总于表 4-1-1 中。

表 4-1-1 选择电缆应具备的资料

项 目		主 要 内 容
运行条件		系统标称电压 U ，系统最高电压 U_m ，系统频率，接地方式，中性点非有效接地故障最大持续时间，连续运行最大额定电流，周期负荷要求，终端海拔高度
安装条件	一 般	线路长度，排列（平面或三角形）及相互间距，金属套接地方式，环境温度（最高、最低、平均），排管和管道资料情况
	土 壤	土壤类型（沙土、黏土、回填土）及有关资料（土壤湿度、散热系数、土壤热阻系数），埋地深度，周围热源情况等
	空 气	通风情况（室内、沟道），是否受日光直射
绝缘水平		根据系统类型，系统接地方式选择分第一类、第二类
连续负荷		按 JB/T 10181-2000 (IEC-60287) 标准计算所确定的国家标准产品额定载流量
循环负荷		按 IEC-853-1, 2 标准计算（应知道线路负荷曲线）
短路要求		按 IEC-949
终端要求		工频及冲击耐压，大气污染等

注 U —系统的标称电压，用线电压有效值表示

U_m —系统最高电压，在正常运行条件下，任何时候和系统任何点上承受的线电压有效值。不包括故障条件下和大负荷突然切断而造成的电压暂时的变化。

第一类：用于单相接地，故障时间每一次一般不大于 1 min 的系统，亦可用于最长不超过 8h（小时），每年累计不超过 125 h 的系统。

第二类：用于接地故障时间更长的系统，对于电缆绝缘性能要求较高的场合，也应采用第二类。

根据网络性质不同，导体截面的选择方法大致分为两类，对于电压 35kV 及以上的网路按经济电流密度来选择，并进行必要的机械强度和发热校验。对于 6~10kV 配电网按允许电压损失选择，也必须进行机械强度和发热校验。

4.1.2 电缆运行条件的各参数值的选择

我国国域辽阔，地理位置北起温带、南至亚热带，气候变化范围大，不可能规定某一个温度作为统一的环境温度。但为了对制订电缆载流量表有一个基准的环境温度，根据实际调查情况，采用接近大多数实际情况的温度作为我国电工产品使用的环境温度也是适宜的，尤其是电线电缆载流量与环境温度有着直接影响，必须规定一个参考的基准环境温度。实际使用电缆的场合应根据当地的气象情况进行修正。另外，我国东西部气候也不同，东部沿海地域属于海洋性气候、西部疆域属于大陆性气候，土壤含水量不同、土质不同、土壤热特性不同、土壤热阻系数相差也较大，对于埋地电缆载流量有直接影响。制订电缆载流量表时对土壤热阻系数也应规定一个基准值。我国有关技术部门还没有对环境温度和土壤热阻系数提出标准值，为了便于计算载流量，建议采用如下基准值。

(1) 土壤敷设：

· 土壤热阻系数 (基准值)		1.0	$\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
· 水分迁移后干燥土壤	一般性	2.0	$\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
	沙土 (+ 砂砾)	2.5	$\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
	粘土为	3.0	$\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
· 环境温度 (基准值)		25	$^{\circ}\text{C}$
· 直埋地深度	35kV 及以下	700	mm
	110kV 及以上	1000	mm

(2) 空气中敷设:

· 环境温度 (基准值)	40	$^{\circ}\text{C}$
· 建筑物室内	30	$^{\circ}\text{C}$
· 南方和北方	夏季和冬季适当增减。	

4.1.3 电缆截面选择导则

为了供电系统安全可靠、经济合理地运行,应以安全、经济、质量和动态作为选择导体截面一般的指导原则,并应满足以下条件:

(1) 发热条件:导线和电缆长期通过最大恒定电流(计算电流)时导体工作温度不应超过产品标准中规定的允许最高工作温度。

(2) 电压损失:导线和电缆长期通过最大恒定电流时线路中的电压损失不应超过有关规定的正常运行时的电压损失。

(3) 经济运行:对于高压线路和特大电流的低压线路应按规定的经济电流密度选择导体截面,以使电能损耗最小。对于长距离电缆线路按最佳经济截面(或经济电流)选择载流量(或经济截面),在电缆使用寿命期内总投资最小。

(4) 机械强度:导线和电缆的截面不应小于某一敷设条件下规定的最小截面,以满足机械强度的要求。

(5) 热稳定性:电缆发生故障时按热稳定性校验选择的截面应大于热稳定性最小截面。

此外,还需要按电压、环境、用途来选择导线和电缆型号等。实际工程中根据具体线路的条件和特征,以某些条件作为选择电缆截面的主要条件,而同时对其他条件进行校验。

举例说明上述各点在不同线路选择中侧重点不同,例如:

(1) 高压线路:先按经济电流密度选择截面,然后校验其发热条件(使计算电流小于额定电流)和允许电压损失。对高压电缆线路还应进行热稳定性校验。

(2) 低压线路:先按发热条件选择导体截面,然后再校验允许电压损失和经济电流。

(3) 厂内电网:一般先按发热条件选择截面,用电压损失加以校验。对于低压动力和照明干线还应按机械强度的最小截面进行校验。

(4) 电缆线路:应按短路时的热稳定性进行校验。校验时短路点选择应作如下考虑:短电缆应选在电缆的末端,电缆长度在 50m 以上者应选在电缆中点,有中间接头盒时应选在靠近变压器的第一个中间接线盒处。在下列情况下可不作热稳定性校验:①用熔断

器作为短路保护的电缆线路；②电压 10kV 及以下，容量 1250kVA 及以下，如果停电不造成严重后果的非重要负荷的电源线路。

(5) 电缆路径：选择电缆路径应尽量走最短的路径。避开已建或拟建的一切地面的设施。尽量减少与各种管线、铁路以及主要道路交叉。注意避开对电缆外护层有腐蚀作用和可能遭到机械损伤作用的地段。此外，电缆穿管或管道敷设应考虑到散热条件的恶化引起载流量降低。

(6) 敷设方式：电缆敷设方式主要有空气中和土壤中敷设。空气中包括沿墙、梁柱、托盘、线槽、线框敷设、垂直、悬挂、隧道、穿管敷设等。土壤中敷设包括直埋、管道和沟道等敷设。应根据电缆型号（外护层）、环境条件、运行情况等来选择相适应的敷设方式。

4.2 按经济电流密度选择架空导线截面

4.2.1 计算方法

从经济观点考虑选择导体截面主要涉及到建设线路的初始投资和运行后电能损耗费用为主的年运行费用。初始投资包括与截面有关或无关的单位长度的费用。年运行费用包括与投资有关的年折旧费、维护费、管理费等费用 Y_c 以及与线路单位长度年电能损耗费用 Y_w 。年运行费用可用下式表示：

$$\begin{aligned} C &= Y_c + Y_w \\ Y_c &= a + bA \\ Y_w &= n \cdot \rho \cdot G \cdot \frac{I^2}{A} = K \frac{I^2}{A} \end{aligned} \quad (4-2-1)$$

式中 a 、 b ——分别与单位长度线路固定费用和导体截面相关的费用；

A 、 n ——分别为导线截面和根数；

G 、 ρ ——分别为损失系数和导线电阻率。

上式对 A 求导并令其等于零，以求对应总费用最小截面积，从而得出对应的电流密度，即经济电流密度：

$$J_n = \frac{I}{A} = \sqrt{\frac{b}{K}} \quad (4-2-2)$$

从上面可概括为导线（单位长度）年电能的损耗与导线年投资费用相等时是最经济的，这就是凯尔文（Kelven）定律。

由于导线标准截面是分等级的，不一定能满足上述条件，考虑各截面积的经济分界点时可根据与 A_1 、 A_2 ($A_1 < A_2$) 相应的年运行费用相等的原则求出对应的电流密度值，即：

$$\frac{1}{\sqrt{A_1 \cdot A_2}} = \sqrt{\frac{b}{K}} = J_n$$

因此，可利用经济电流密度计算导体的经济截面 A ，当它处于标准截面 A_1 、 A_2 之间时，若：

$$A < \sqrt{A_1 \cdot A_2} \quad \text{则选 } A_1$$

$$A > \sqrt{A_1 \cdot A_2} \quad \text{则选 } A_2$$

4.2.2 我国现行的经济电流密度

各国根据本国的情况（如导体材料价格、发电成本、电价结构等）对不同的导体材料及线路的利用系数等制定相应的经济电流密度。我国现行的经济电流密度（见表 4-2-1）源于 20 世纪 50 年代原苏联的标准，已经不适应我国蓬勃发展市场经济的今天。尽早制定出符合我国市场经济的架空导线的经济电流密度是当务之急。安全可靠、经济合理地输电是远距离输电的宗旨。有了合理的电流密度就可直接从下式求得最佳经济截面：

$$S_{ec} = \frac{I_{max}}{J_{ec}}$$

式中 S_{ec} ——经济截面， mm^2 ；

I_{max} ——线路传输的最大电流，A；

J_{ec} ——经济电流密度， A/mm^2 。

表 4-2-1 经济电流密度

导体材料	最大负荷年利用小时数 T_{max} (h)		
	3000 及以下	3000 ~ 5000	5000 以上
铝芯、钢芯铝绞线	1.65	1.15	0.90
铜 线	3.00	2.25	1.75
铝芯电缆	1.90	1.75	1.54
铜芯电缆	2.50	2.25	2.00

注 这是源于 20 世纪 50 年代原苏联采用的数据。

4.3 电力电缆最佳经济截面的选择

4.3.1 一般情况

选择电缆最佳经济截面的目的是在电缆使用寿命周期内总的投资费用（包括电缆购置、安装以及电缆使用期间的能量损耗）最少，即以最小的投资成本来选择电缆截面。

选择电缆规格通常所用的方法是趋向最小可采纳的截面，即是电缆的初始投资最小费用。它并不考虑电缆使用寿命期间将发生的能量损耗费用。

能源费用的增加和高能量损耗有关，与新绝缘材料允许工作温度（如 XLPE 和 EPR 为 90°C ）有关，现在需要从经济方面考虑选择电缆尺寸，应尽量减小初始费用，也应尽量减小初始费用和电缆经济寿命期损耗费用的总和。对后一种情况而言，当考虑电缆经济寿命期内传输相同的电流时，较大尺寸的导体比基于最小初始费用所选择的导体导致较小的功率损耗，所支出的费用最少。

在电缆经济寿命期内，通过适当的负荷估计和能量费用的增长可以计算未来的能量损耗费用。当能量损耗的未来费用和初始购置及敷设费用总和为最小时就可获得导体的最经济截面。总费用节省中，当导体尺寸大于按热性考虑所选择的截面时，由于考虑降低焦耳

损耗的费用因而增加了购置费用。

为了把购置和安装费用与电缆经济寿命期间发生的能量损耗费用相结合而进行预算, 需要用一个可比的经済参数值表示, 这是一个与时间有关的数值。可将使用设施购置日期作为参照点, 把未来的能源损耗费用折算成等值的“当前值”。这样做是借助贴现方法, 贴现率与贷款费用有关。

上述方法忽略通货膨胀, 它影响贷款费用和能源费用。如果在相同期限内得以考虑, 则通货膨胀的影响对这两者大体上是相同的。

对于负荷未来的增长, 需要选择一个计算能量损耗费用的现值和电缆经济寿命期间 (25 年或更长) 贴现率。

对于其他准则, 例如短路电流及其持续时间、电压降和电缆截面的关系等也必须考虑。然而, 所选择的电缆导体可能只有经济截面更能满足上述各点, 因此, 当选择电缆时按下面的次序:

a) 计算经济截面;

b) 按照 JB/T10181—2000 (本书 2.2 节或 IEC 60287) 和 IEC 853 标准 (本书 6~7 节) 校核依据 a) 项所计算的截面能否满足电缆经济寿命期末传输所预计的最大负荷而导体温度不超过最高允许值;

c) 校核所选择的截面能否安全地耐受相应持续时间的短路电流和对地故障电流;

d) 校核电缆末端保持在可接受范围限度内的电压降;

e) 校核针对于该设施的其他准则。

对于完整的经济方面应该适当地考虑给出馈电中断时承担的负载。使用比正常负荷更大的导体截面或者经济截面都是必要的, 或者使之相适用于电网。因此, 估算电缆经济截面仅是考虑系统总经济费用的一部分, 并且可以提出其他有明显经济因素的方法。

本节仅从焦耳 (能量) 损耗选择导体经济截面, 而与电压相关的损耗不予考虑。推荐的方法不适用于系统电压等于或大于表 4-3-1 中所列数值下的电缆。同样也不包括如维修、强迫冷却系统在内的能量损耗和日能量费用。

表 4-3-1 电缆类型和电压

电 缆 类 型	系统电压 U_0 (kV)	电 缆 类 型	系统电压 U_0 (kV)
浸渍纸绝缘电缆:		乙丙橡胶 (EPR)	63.5
实心型	38	聚氯乙烯 (PVC)	6
充油和充气	63.5	聚乙烯 (PE) (HD 和 LD)	127
其他类型绝缘电缆:		交联聚乙烯 (XLPE) (非填充型)	127
丁基橡胶	18	交联聚乙烯 (XLPE) (填充型)	63.5

4.3.2 总费用的计算

电缆经济寿命期以当前值表示的电缆总费用 CT , 包括安装总费用 CI 和运行总费用, 按下式计算, 注意所用的金融量以任意货币单位表示, 记作 (cu)。

$$CT = CI + CJ \quad (4-3-1)$$

式中 CT——经济寿命期电缆的总费用, (cu);

CI——电缆敷设安装总费用, (cu);

CJ——安装签约日起计算能量损耗等值费用 (N 年经济寿命期内焦耳损耗的当前值), (cu)。

CJ 值的估算: 损耗的总费用由二部分组成: a) 能源 (电) 费用; b) 供电容量的附加费用。

(1) 能源费用 第一年内能量损耗为:

$$(I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot N_p \cdot N_c) T \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (4-3-2)$$

式中 $I_{\max}$ ——第一年内导线的最大负荷, A;

L ——电缆长度, m;

R ——导体单位长度的交流电阻, Ω/m 。

考虑到集肤效应和邻近效应 (γ_s, γ_p) 以及金属屏蔽和铠装中损耗 (λ_1, λ_2)。通常导体的经济截面大于按热性条件确定的导体的截面, 因此, 导体温度低于其最高允许值。在缺少更确切资料下可作为常数处理, 即 R 为常数, 相应的导体温度为:

$$(\theta - \theta_s)/3 + \theta_s$$

θ ——导体允许最高工作温度;

θ_s ——平均环境温度, 因数 3 为经验值。

如果要求较高的准确度 (如当计算结果不能确定要选择的导体标称截面, 或者最后几年负荷增加明显地高于第一年), 则可用上述近似温度所获得的导体截面作为起算点, 对导体温度再作更准确的估算。4.3.5 节给出用于估算导体温度和电阻值的方法。然后用导体电阻的修正值再确定经济截面。导体电阻对经济截面的影响很小, 故很少进行重复计算。

N_p ——每条回路的相导体数;

N_c ——类型和负荷值相同的回路数;

T ——最大焦耳损耗下的运行时间, h/年; 即与实际变化负荷电流产生的年能量损耗总和相同, 而所施加的最大电流 $I_{\max}$ 的年小时数为:

$$T = \int_0^{8760} \frac{I(t)^2}{I_{\max}^2} dt$$

如果已知负荷损失因数 μ , 并可假设使用寿命期内为一个常数, 则:

$$T = 8760 \times \mu \quad (\text{见 IEC 60853 或本书 6~7 节损耗因数的求导。})$$

t ——时间, h;

$I(t)$ ——以时间为函数的负荷电流, A。

第一年内能量损耗费用为:

$$= (I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot N_p \cdot N_c) T \times P \quad (\text{cu}) \quad (4-3-3)$$

式中 P ——相应电压下的能量损耗费用, cu/W·h。

(2) 附加的电源容量费用, 提供能量损耗所需附加供电容量的费用为:

$$= (I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot N_p \cdot N_c) \times D \quad (\text{cu/年}) \quad (4-3-4)$$

式中 D ——每年所需电费, $\text{cu}/\text{W} \cdot \text{年}$ 。

因此, 第一年能量损耗总费用为:

$$= (I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot N_p \cdot N_c) \times (T \cdot P + D) \quad (\text{cu}) \quad (4-3-5)$$

如果第一年费用在年底支付, 则安装敷设签约日期所发生费用的当前值为:

$$= \frac{(I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot N_p \cdot N_c) \times (T \times P + D)}{1 + i/100} \quad (4-3-6)$$

i ——折算率, 不包括通货膨胀的影响, %。

同样, 在 N 年运行期内折算到签约日期所发生费用的当前值为:

$$CJ = \frac{(I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot N_p \cdot N_c) \times (T \cdot P + D) \cdot Q}{1 + i/100} \quad (4-3-7)$$

Q ——计及 N 年内负荷增加, 能量费用的增加和折算率的系数为:

$$Q = \sum_{n=1}^N r^{n-1} = \frac{1 - r^N}{1 - r} \quad (4-3-8)$$

$$r = \frac{(1 + a/100)^2 \times (1 + b/100)}{1 + i/100} \quad (4-3-9)$$

a ——每年的负荷增加, %;

b ——每年能量费用的增加, 不包括通货膨胀, %。

需要计及不同导体截面的系列计算时, 可把导体电流和电阻之外的所有参数都用一个系数 F 表示:

$$F = N_p N_c (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{1 + i/100} \quad (\text{cu}/\text{W}) \quad (4-3-10)$$

总费用为:

$$CT = CI + I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot F \quad (\text{cu}) \quad (4-3-11)$$

4.3.3 导体经济截面的计算

(1) 第一方法——系列截面中每个导体经济电流范围。对给定的敷设条件下所有导体截面都有一个经济电流范围, 给定导体截面的经济电流上下限可由下式求得:

最大电流的下限:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{CI - CI_1}{F \cdot L \cdot (R_1 - R)}} \quad (\text{A}) \quad (4-3-12)$$

最大电流的上限:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{CI_2 - CI}{F \cdot L \cdot (R - R_2)}} \quad (\text{A}) \quad (4-3-13)$$

式中: CI ——导体截面购置费用, cu ;

R ——导体截面单位长度的交流电阻, Ω/m ;

CI_1 ——相邻较小一档导体标准截面导线敷设费用, cu ;

CI_2 ——相邻较大一档导体标准截面导线敷设费用, cu ;

R_1 ——相邻较小一档导体标准截面单位长度的交流电阻, Ω/m ;

R_2 ——相邻较大一档导体标准截面单位长度的交流电阻, Ω/m 。

注：① 每个导体截面的经济电流上限及下限可列成表，用于选择特定负荷下导体最佳经济截面；

② 一个导体截面的经济电流上限是相邻较大一档截面经济电流的下限。

(2) 第二方法——给定负荷的导体经济截面：

1) 一般公式：经济截面一般公式是使总费用为最小值的截面函数，即：

$$CT(s) = CI(s) + I_{\max}^2 \cdot R(s) \cdot L \cdot F \quad (\text{cu}) \quad (4-3-14)$$

式中 $CI(s)$ 、 $R(s)$ ——表示为导体截面 S 的函数。

$CI(s)$ 和导体截面之间的关系式可从标准截面的参考价格中求得。通常如果在限定的导体截面范围内可合理地拟合出价格线性关系式。考虑到经济寿命期间金融参数有不确定因素，计算的结果有误差。

$R(s)$ 表达为截面的函数。对于铝绞线可按 2.3 节求得：

$$R(s) = \frac{B \cdot \rho_{20} [1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]}{S} \times 10^6 \quad (\Omega/\text{m}) \quad (4-3-15)$$

$$B = (1 + \gamma_p + \gamma_s)(1 + \lambda_1 + \lambda_2) \quad (4-3-16)$$

式中 ρ_{20} ——导体直流电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ 。

经济导体截面不等同于导体标准截面，故需要提供导体截面与电阻之间的连续关系式，通过所设定的各种材料电阻率可求得。电阻率 ρ_{20} 推荐值：铜导体： 18.35×10^{-9} ，铝导体： 30.3×10^{-9} ，该值并非材料的实际值，而是折衷值，以便能直接从标准截面而不是从实际截面来计算导体电阻。

γ_s 、 γ_p ——集肤效应和邻近效应系数，见 2.3 节；

λ_1 、 λ_2 ——金属套和铠装损耗因数，见 2.5~2.6 节；

α_{20} ——实际导体材料 20℃ 时电阻温度系数；

θ_m ——导体温度，℃；

B ——附加值，当导体截面为某一可能值时，可按 2.3 节和 2.5 节相关部分计算；

S ——导体截面， mm^2 。

2) 线性费用函数：对所考虑的电缆类型和安装费用初始值以线性关系式表示：

$$CI(s) = L \cdot (A \cdot S + C) \quad (\text{cu}) \quad (4-3-17)$$

式中 A ——与导体截面有关的费用变量， cu/mm^2 ；

C ——与导体截面无关的费用变量， cu/m ；

L ——导线长度， m 。

最佳经济截面可从式 (4-3-1) 中求导，并使其等于 0 而求得：

$$S_e = 1000 \times \left[\frac{I_{\max}^2 \cdot F \cdot B \cdot \rho_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta_m - 20)]}{A} \right]^{1/2} \quad (\text{mm}^2) \quad (4-3-18)$$

当经济截面未知时，需要假定某一可能的电缆截面，以便能够计算 γ_s 、 γ_p 和 λ_1 、 λ_2 的合理数值，如果经济截面相差太大，需要反复计算。

S_e 未必等于标准截面，需要计算上下相邻标准截面的费用，再选择最佳经济截面。

4.3.4 导体经济截面计算示例

(1) 一般情况：以一条沿线路馈送 10 个负荷相同、间距相等的配电站的供电系统为

例, 计算电缆导体的经济截面。其情况如下:

- 采用第一个方法: 经济电流范围法, 以确定相邻负荷间的电缆截面;
- 应用第二个方法: 导体经济截面法, 以确定相邻负荷间的电缆截面;
- 应用上述两种方法: 整条线路使用一种规格, 从而确定电缆最佳经济截面。

(2) 电缆和供电系统详细资料:

1) 负荷和线路数据: 从 150kV/10kV 变电所送到沿线路等间距的 10 个 10kV 配电站, 配电站之间的电缆长度为 500m。要确定 10kV 线路的电缆截面规格, 如图 4-3-1 所示。仅是一条三相回路, 故 $N_c = 1$, $N_p = 3$ 。这条线路上每个配电站第一年小时平均最大电流 $I_{\max}$ 如表 4-3-1 所示。

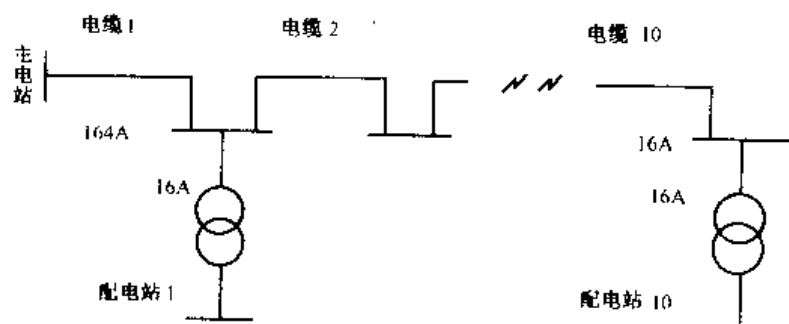


图 4-3-1 系统线路图

表 4-3-1

变电所及电流分配

配电站	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电流 (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16

对所有负荷因数 $M = 1.11$ 。即假定电缆在整个经济寿命期间内该因数为常数。

对线路的每一段均按下列准则选择电缆规格: 最初费用加上电缆经济寿命期间焦耳损耗的当前值总和为最小。电缆经济寿命期最后一年负荷所要求的载流量。该例所要求的载流量是最大负荷的 0.9 倍, 即最大负荷除以周期负荷因数 1.11。其他系数, 如经受的短路和压降, 本例没有考虑, 但可按 4.3.1 中所述考虑。

2) 财经资料: 关于财经方面的资料如表 4-3-2 所示。

3) 电缆数据: 对本示例首先以 6/10kV 铝导体三芯油浸纸绝缘电缆计算。40℃ 和 80℃ 时导体交流电阻和金融数据列于表 4-3-3。土壤环境温度 20℃ 时, 在导体最高允许工作温度 80℃ 下稳态运行的载流量列于表 4-3-6。

从有关系的计算

$$r = \frac{(1 + 0.5/100)^2 \times (1 + 2/100)}{1 + 5/100} = 0.98117 \quad \text{见式(4-3-9)}$$

$$Q = \frac{1 - 0.9812^{30}}{1 - 0.9812} = 23.081 \quad \text{见式(4-3-8)}$$

$$F = \frac{3 \times 1 \times (2250 \times 60.9 \times 10^6 + 0.003) \times 23.08}{1 + 5/100} = 9.2341 \quad \text{见式(4-3-10)}$$

表 4-3-2

财 经 数 据

参数名称	符 号	数 据	单 位
经济寿命	N	30	年
最大负荷运行时间 ¹⁾	T	2250	h/年
第一年未焦耳损耗价格	P	60.9×10^{-6}	cu/W · h
需要的经费	D	0.003	cu/W · 年
电缆和安装费, 见表 4-3-3	—	—	cu/m
导体截面有关费用 ²⁾	A	0.1133	cu/m · mm ²
年负荷增长率	a	0.5	%
能源费用 (kWh 价格)	b	2.0	%
年兑现率	i	5.0	%

注 1) 数值 2250 包括有效的或日周期负荷时间。

2) 本例中取决于导体截面的那部分安装费用系数。

表 4-3-3

电 缆 资 料

导体截面 mm ²	相 电 阻 (Ω/km)		初 期 费 用 (cu/m)		
	40 °C	80 °C	电缆	安装	总合
25	1.298	1.491	10.62	17.23	27.85
35	0.939	1.079	11.65	17.33	28.98
50	0.694	0.798	13.19	17.49	30.68
70	0.481	0.553	15.24	17.71	32.95
95	0.348	0.400	17.81	17.97	35.78
120	0.277	0.318	20.37	18.24	38.61
150	0.226	0.259	23.45	18.55	42.00
185	0.181	0.208	27.04	18.92	45.96
240	0.140	0.161	32.69	19.51	52.20
300	0.114	0.131	38.85	20.14	58.99
400	0.091	0.104	49.11	21.20	70.31

(3) 经济电流范围法计算 (4.3.3 节中第一方法):

1) 单一截面的经济电流范围的计算: 采用 4.3.3 节求 240mm² 导体的经济电流范围。

最大电流的下限:

$$I_{\min} = \left[\frac{500 \times (52.20 - 45.96) \times 10^3}{9.2341 \times 500 \cdot (0.181 - 0.140)} \right]^{1/2} = 128 \quad \text{见式(4-3-12)}$$

最大电流的上限:

$$I_{\max} = \left[\frac{500 \times (58.99 - 52.20) \times 10^3}{9.2341 \times 500 \cdot (0.140 - 0.114)} \right]^{1/2} = 168 \quad \text{见式(4-3-13)}$$

当按本例情况同样能算出一定范围的标准截面的电流上限。由于给定导体电流的下限也就是相邻小一档导体截面的上限, 该计算值就可表示为电流的范围如表 4-3-4 所示。

2) 每个线路段导体经济截面的选择: 根据上述经济电流范围表对电缆线路每段基于第一年各自的 $I_{\max}$ 值可选择合适的导体截面。表 4-3-5 中给出每段所选择的导体截面和按式 (4-3-11) 计算的费用。计算费用的一个典型示例如下:

表 4-3-4

电缆经济电流范围

标准截面 (mm ²)	电流范围 (A)		标准截面 (mm ²)	电流范围 (A)	
25	—	19	150	85	98
35	19	27	185	98	128
50	27	34	240	128	168
70	34	48	300	168	231
95	48	66	400	231	—
120	66	85			

表 4-3-5

经济负荷

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总和
负荷 $I_{\max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
导体截面 (mm ²)	240	240	185	185	150	120	95	70	50	25	—
载流量 (A)	382	382	328	328	281	255	221	181	147	103	—
各线路段费用及总费用											
电缆 (cu)	16345	16345	13520	13520	11725	10185	8905	7620	6595	5310	110070
敷设 (cu)	9755	9755	9460	9460	9275	9120	8985	8855	8745	8615	92025
电缆线路安装总费用 CI (cu)	26100	26100	22980	22980	21000	19305	17890	16475	15340	13925	202095
N 年能量损耗的现值 CJ (cu)	16548	13403	13692	10483	9616	8185	6581	5117	3281	1534	88440
经济寿命期电缆的总费用 CT (cu)	42648	39503	36672	33463	30616	21490	24471	21592	18621	15459	290535

第一线段, $I_{\max}$ 为 160A。

从上述选择导体经济截面为 240mm², 其经济电流在 128~168A。按式 (4-3-11) 计算:

$$\begin{aligned}
 CT &= [52.2 \times 500] + [160^2 \times (0.140/1000) \times 500 \times 9.2341] \\
 &= 26100 + 16548 \\
 &= 42648 \quad (\text{cu})
 \end{aligned}$$

线路各段的费用汇总于表 4-3-5。

从表 4-3-5 可看到, 基于经济考虑, 对于 30 年运行期限, 安装电缆的总费用为 290535cu。

3) 基于最大负荷确定的导体截面——按热性选择: 选择各线路段的电缆截面其目的是能在经济寿命的最后一年可通过预定的最大负荷, 且不超过导体的最大允许温度。

对第一线路段:

$$\text{第一年 } I_{\max} = 160 \quad (\text{A})$$

$$\begin{aligned}
 \text{在后一年最大电流} &= 160 \times [1 + (0.5/100)]^{30-1} \\
 &= 160 \times 1.1556 \\
 &= 185 \quad (\text{A})
 \end{aligned}$$

最后一年要求的载流量 (100% 负荷因数) I 不小于:

$$185/1.11 = 167 \quad (\text{A})$$

式中的 1.11 是设定的周期负荷因数。按热性计算埋地电缆载流量所要求的导体截面为 70mm^2 。

为了对选择导体经济截面所计算的损耗和金融数字进行合理的比较,有必要设一个合适的用以计算损耗的导体温度。对选择经济截面而言,导体温度约为 40°C (见 4.3.2 节),这里建议按热性选择截面的导体温度应是最大允许值 80°C 。

80°C 时导体电阻见表 4-3-3。

表 4-3-6 按热性计算载流量 (A)

标准截面 (mm^2)	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
载流量 (A)	103	125	147	181	221	255	281	328	382	429	482

30 年内第一线路段 (70mm^2) 的总费用由式 (4-3-11) 得到:

$$\begin{aligned}
 CT &= [32.95 \times 500] + [160^2 \times (0.553/1000) \times 500 \times 9.2341] \\
 &= 16475 + 65363 \\
 &= 81838 \quad (\text{cu})
 \end{aligned}$$

对每个线路段导体按经济截面所选择的导体截面与按热性选择相应的线路段导体截面所需的总费用相比时,节省的费用为: $(81838 - 42648) \times 100/81838 = 48\%$ 。

按热性计算载流量对整条线路作类似计算见表 4-3-7。对于 10 个线路段费用总节省为: $(547864 - 290535) \times 100/547864 = 47\%$ 。

表 4-3-7 按热性计算载流量总费用

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总 和
负荷 $I_{\max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
电缆 I_{ad} (A)	185	166	148	129	111	92	74	55	37	18	—
$I_{\text{ad}}/1.11$ (A)	167	150	133	117	100	83	67	50	33	17	—
导体截面 (mm^2)	70	70	50	35	25	25	25	25	25	25	—
载流量 (A)	181	181	147	125	103	103	103	103	103	103	—
各段费用及总费用											
电缆 (cu)	7620	7620	6595	5825	5310	5310	5310	5310	5310	5310	59520
敷设 (cu)	8855	8855	8745	8665	8615	8615	8615	8615	8615	8615	86810
CI (cu)	16475	16475	15340	14490	13925	13925	13925	13925	13925	13925	146330
CJ (cu)	65363	52944	60365	62492	63443	44058	28197	15861	7049	1762	401534
CT (cu)	81838	69419	75705	76982	77368	57983	42122	29786	20974	15687	547864

(4) 导体经济截面方法计算 (见 4.3.3 节): 以线路段 1 为例:

$$I_{\max} = 160 \text{ A}$$

$$\rho_{20} = 30.3 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{m} \quad (\text{见 4.3.3 第二方法})$$

$$\alpha_{20} = 0.00403 \quad 1/\text{K}$$

$B = 1.023$ (假定 185mm^2 为导体最佳经济截面的初值)

$A = 0.1133 \text{ cu/m} \cdot \text{mm}^2$ (敷设费用中可变部分的系数, 见 4.3.3 第二方法)

$F = 9.2341 \text{ cu/W}$

$\theta_m = (80 - 20) / 3 + 20 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

$$S_{ec} = 1000 \times \left[\frac{160^2 \times 9.2341 \times 30.3 \times 10^{-9} \times 1.023 \times [1 + 0.00403 \times (40 - 20)]}{0.1133} \right]^{1/2}$$

$$= 264 \text{ mm}^2$$

因此, 可选择导体截面为 240mm^2 或 300mm^2 。

初选导体截面 185mm^2 时估算的 B 值现在可进行修正。

对 300mm^2 导体, 用 $B = 1.057$ 重新计算得 $S_{ec} = 269\text{mm}^2$, 此值也在 $240 \sim 300 \text{ mm}^2$ 范围内。

对于可采用的每个导体截面的总费用按式 (4-3-11) 计算:

$$CT_{240} = (52.2 \times 500) + [160^2 \times (0.140/1000) \times 500 \times 9.2341]$$

$$= 26000 + 16548$$

$$= 42648 (\text{cu})$$

$$CT_{300} = (58.99 \times 500) + [160^2 \times (0.114/1000) \times 500 \times 9.2341]$$

$$= 29495 + 13474$$

$$= 42969 (\text{cu})$$

因此, 导体为 240mm^2 更为经济。

对于其他线路段的截面和费用也可按相同方法计算。

(5) 对整个线路所有线段采用一种标准导体截面计算:

1) 经济电流范围法: 首先要设定可能的导体截面, 用该尺寸对各线路段依据式 (4-3-11) 计算出总费用。为了确认假定截面是最经济的, 然后对该假定截面上下相邻截面所需总费用进行计算。本例假定导体截面 185mm^2 为最佳选择。对所有线路段用导体截面 185mm^2 计算, 然后再用导体截面为 150mm^2 和 240mm^2 计算其费用, 列于表 4-3-8a ~ 表 4-3-8c。

表 4-3-8a 各线路段用标准导体截面的经济负荷 - 标称截面 (150mm^2)

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总 和
负荷 $I_{\max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
导体截面 (mm^2)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	—
载流量 (A)	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	—
各段费用及总费用											
电缆 (cu)	11725	11725	11725	11725	11725	11725	11725	11725	11725	11725	117250
敷设 (cu)	9275	9275	9275	9275	9275	9275	9275	9275	9275	9275	92750
CI (cu)	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	22980	210000
CJ (cu)	26712	21637	17096	13089	9616	6678	4274	2404	1068	267	102841
CT (cu)	47712	42637	38096	34089	30616	27678	25274	23404	22068	21267	312841

表 4-3-8b 各线路段用标准导体截面的经济负荷 - 标称截面 (185mm²)

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总 和
负荷 $I_{\max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
导体截面 (mm ²)	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	—
载流量 (A)	328	328	328	328	328	328	328	328	328	328	—
各段费用及总费用											—
电缆 (cu)	13520	13520	13520	13520	13520	13520	13520	13520	13520	13520	135200
敷设 (cu)	9460	9460	9460	9460	9460	9460	9460	9460	9460	9460	94600
CJ (cu)	22980	22980	22980	22980	22980	22980	22980	22980	22980	22980	229800
CJ (cu)	21393	17329	13692	10483	7702	5348	3423	1925	856	214	82365
CT (cu)	44373	40309	36672	33463	30682	28328	26403	24905	23836	23194	312165

表 4-3-8c 各线路段用标准导体截面的经济负荷 - 标称截面 (240mm²)

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总 和
负荷 $I_{\max}$ (A)	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
导体截面 (mm ²)	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	—
载流量 (A)	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	—
各段费用及总费用											—
电缆 (cu)	16345	16345	16345	16345	16345	16345	16345	16345	16345	16345	163450
敷设 (cu)	9755	9755	9755	9755	9755	9755	9755	9755	9755	9755	97550
CI (cu)	26100	26100	26100	26100	26100	26100	26100	26100	26100	26100	261000
CJ (cu)	16548	13403	10590	8108	5957	4137	2648	1489	662	165	63707
CT (cu)	42648	39503	36690	34208	32057	30237	28748	27589	26762	26265	324707

总费用为: 总费用 比较

导体截面

150mm² 312841cu 中间

185mm² 312166cu 最小

240mm² 324707cu 最大

上述费用表明,如果考虑标准化,只有一种导体截面可用,185mm² 是最佳经济的选择。

2) 导体经济截面法:虽然只选用一种导体截面,但每个线路段的电流是不同的,因此必须计算平均损耗(各段假定在相同温度下运行,因而导体电阻相同)。

平均损耗/最大损耗:

$$\frac{500 \times 160^2 + 500 \times 144^2 + \cdots + 500 \times 16^2}{10 \times 500 \times 160^2} = 0.385$$

根据式 (4-3-18) 对 185mm² 导体采用 B 值

$$S_{\infty} = 1000 \times \left[\frac{160 \times 1.023 \times 30.3 \times 10^{-9} \times [1 + 0.00403 \times (40 - 20)] \times 9.2341 \times 0.385}{0.1133} \right]^{1/2}$$

$$= 164 \text{ (mm}^2\text{)}$$

因此可证明 150mm² 或 185mm² 导体截面是最经济的。

上述每种导体规格的总费用为:

$$\begin{aligned}
 CT_{150} &= 42.00 \times 500 \times 10 + 160^2 \times (0.226/1000) \times 500 \times 10 \times 9.2341 \times 0.385 \\
 &= 210000 + 102843 \\
 &= 312843 \quad (\text{cu})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CT_{185} &= 45.96 \times 500 \times 10 + 160^2 \times (0.181/1000) \times 500 \times 10 \times 9.2341 \times 0.385 \\
 &= 229800 + 82365 \\
 &= 312165 \quad (\text{cu})
 \end{aligned}$$

如果全线只选用一种导体截面,则可确认 185mm^2 是最经济的导体截面。

显然,与表 4-3-7 所选用的截面相比,在热性方面, 185mm^2 导体足以适应在 30 年经济寿命终了时的最大负荷。

(6) 结果总括:对于 4.3.4 (2) 节所计及的电缆和条件进行计算的结果汇总如下:

费用计算基础	CI (cu)	CJ (cu)	总和 (cu)	
各段以热性考虑的载流量 (70mm^2)	146330	401534	547864	100%
各段采用经济截面 ($70 \sim 25\text{mm}^2$)	202095	88440	290535	53%
采用一种截面 185mm^2 的经济截面	229800	82365	312165	57%

4.3.5 导体平均温度和电阻

(1) 导体平均温度和电阻估算方法:在电缆寿命期间可以假定导体电阻值不变,并且通常有足够的精确度。4.3.4 节给出了导体工作温度及导体电阻简易计算公式。这是出自于典型的计算结果,即在经济寿命期间导体经济截面的平均温升只是其载流量产生的温升的 $1/3$ 左右。

本节所给的示例中,使用这种方法计算导体截面和总费用的误差不大于 2%,然而,当综合考虑安装费用、损耗费用和在经济寿命期最后一年负荷增加导致导体温度接近于最高允许值,此时就可能产生较大误差。

通常较准确的电阻值仅在临界的情况下影响经济截面的选择,在能量损耗费用要求更准确的情况下可以作些附加的计算工作。

如果对特定情况要求更高的准确度,通常用 4.3.4 推荐的简易温度计算法求得导体截面或经济电流范围作为初算点,可计算出更准确的导体温度和电阻。

(2) 确定导体平均温度和电阻的公式:经济寿命期间第一年和最后一年的导体温度平均值由下式求得:

$$\theta_m = \frac{\theta_s + \theta_f}{2} = \frac{\beta + \theta_s}{2} \left(\frac{1}{1 - \gamma} + \frac{1}{1 - g\gamma} \right) - \beta \quad (^\circ\text{C}) \quad (4-3-19)$$

式中 θ_s ——第一年内的导体温度, $^\circ\text{C}$;

θ_f ——最后一年的导体温度, $^\circ\text{C}$;

θ_a ——环境温度, $^\circ\text{C}$;

β ——导体材料电阻温度系数的倒数, K, 对于铝 $\beta = 228$, 铜 $\beta = 234.4$ 。

$$\gamma = \left(\frac{I_{\max}}{I_z} \right)^2 \times \left(\frac{\theta - \theta_s}{\beta + \theta} \right) \quad (4-3-20)$$



$$g = (1 + a/100)^{2(N-1)}$$

$I_{\max}$ ——第一年的负荷电流值, A;

I_z ——允许最大温升 $(\theta - \theta_a)$ 下载流量, A;

θ ——最大允许导体温度, $^{\circ}\text{C}$;

a —— $I_{\max}$ 的年增加率, %;

N ——经济寿命的持续时间, 年;

g ——由于负荷的增加而引起年损耗的增加值。

经济寿命期间第一年和最后一年的导体电阻平均值由下式求得:

$$R_m = \frac{R_{20}}{2} \times \frac{\beta + \theta_a}{\beta + 20} \left[\frac{1}{1 - \gamma} + \frac{1}{1 - g\gamma} \right] \quad (\Omega/\text{m}) \quad (4-3-21)$$

R_m ——其值可直接代入式 (4-3-11), 式 (4-3-12) 和式 (4-3-13)。

同样, 用 ρ_m 可代替式 (4-3-15) 和式 (4-3-18) 中的 $\rho_{20}[1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]$ 下式求 ρ_m 值。

$$\rho_m = \frac{\rho_{20}}{2} \times \frac{\beta + \theta_a}{\beta + 20} \left[\frac{1}{1 - \gamma} + \frac{1}{1 - g\gamma} \right] \quad (\Omega \cdot \text{m}) \quad (4-3-22)$$

(3) 应用于确定经济电流范围 (见 4.3.3 节); 该应用法是以 4.3.4 节的示例为例。

按导体温度简易算法, 以 $I(1)$ 和 $I(2)$ 作为电流范围的上下限, 对 240mm^2 导体计算电流, 该例中, $I(1) = 128\text{ A}$, $I(2) = 168\text{ A}$ 。

三种导体截面所涉及的数据见表 4-3-9 中。

表 4-3-9

数 据 资 料

导体截面 (mm^2)	R_{20} (Ω/km) ¹⁾	CI (cu/m) ²⁾	I_z (A) ³⁾	$I_{\max} = I_z \cdot M$ (A) ⁴⁾
185	0.1675	45.96	328	364
240	0.1296	52.20	382	424
300	0.1053	58.99	429	476

注 1) 20 $^{\circ}\text{C}$ 时导体直流电阻值;

2) 电缆方面费用, 见表 (4-3-3);

3) 按热性计算载流量, 见表 (4-3-6);

4) 最大峰值电流, 周期负荷因数 $M = 1.11$ 。

由 4.3.4 节得:

$$F = 9.2341$$

对于 240mm^2 导体电流范围的上限重新计算工作温度和导体电阻的程序如下:

由式 (4-3-20) 计算从属分量 γ :

$$\gamma(240) = \left[\frac{168}{424} \right]^2 \times \left[\frac{80 - 20}{228 + 80} \right] = 0.03058$$

式中 168A 是用简易法求 θ_m 时, 由 4.3.4 节中初始计算导出。

由于负荷增长而引起功率损耗的增加是:

$$g = [1 + (a/100)]^{2(N-1)} = 1.3355$$

因此, $g\gamma(240) = 1.3355 \times 0.03058 = 0.04084$

然后对 240mm^2 导体电阻更准确的估算值由下式给出:

$$R_m(240) = \frac{0.1296}{2} \times \frac{228 + 20}{228 + 20} \left[\frac{1}{1 - 0.03058} + \frac{1}{1 - 0.04084} \right] = 0.1344 \quad (\Omega/\text{km})$$

同样, 对于 300mm^2 导体:

$$\gamma(300) = \left[\frac{168}{476} \right]^2 \times \left[\frac{80 - 20}{228 + 80} \right] = 0.02427$$

$$g\gamma(300) = 1.3355 \times 0.02427 = 0.03241$$

$$R_m(300) = \frac{0.1053}{2} \times \frac{228 + 20}{228 + 20} \left[\frac{1}{1 - 0.02427} + \frac{1}{1 - 0.03241} \right] = 0.1084 \quad (\Omega/\text{km})$$

因此修正后的电流上限值是:

$$I(2) = \left[\frac{500 \times (58.99 - 52.20) \times 1000}{9.2341 \times 500 \times (0.1344 - 0.1084)} \right]^{1/2} = 168 \quad (\text{A})$$

与初始计算值 168A 的差异在数字修约的误差范围之内, 且因两导体温度按同一量进行了修正, 对线路第一段最大负荷 160A 选择 240mm^2 没有受到影响。

对下限可按上述同样方法计算。

初始计算总费用 CT 为 42648 cu (4.3.4 节); 可根据 240mm^2 导体更准确的电阻计算费用。

在最大负荷电流值为 $I_{\max} = 160\text{A}$ 时, 其从属量是:

$$\gamma(240) = \left[\frac{160}{424} \right]^2 \times \left[\frac{80 - 20}{228 + 80} \right] = 0.02774$$

$$g\gamma(240) = 1.3355 \times 0.02774 = 0.03705$$

$$R_m(240) = \frac{0.1296}{2} \times \frac{228 + 20}{228 + 20} \left[\frac{1}{1 - 0.02774} + \frac{1}{1 - 0.03705} \right] = 0.1339 \quad (\Omega/\text{km})$$

$$\begin{aligned} C_7 &= 52.2 \times 500 + 160^2 \times \frac{0.1339}{1000} \times 9.2341 \times 500 \\ &= 26100 + 15828 = 41927(\text{cu}) \end{aligned}$$

当与本例中按简易法求得费用 42648cu 相比时, 减少 2%。

(4) 确定导体经济截面 (见 4.3.4 节): 本说明中使用数值取自 4.3.4 节中的示例。

在 4.3.4 节示例中, 对于交流电阻因数 B 修正后, 表明最佳经济截面为 269mm^2 值更接近于标准截面 240mm^2 而不是 300mm^2 。

导体电阻修正后对该截面重新计算, 240mm^2 导体数据在 4.3.4 节给出, 负荷是 160A。

$$\gamma(240) = \left[\frac{160}{424} \right]^2 \times \left[\frac{80 - 20}{228 + 80} \right] = 0.02774$$

$$g\gamma(240) = 1.3355 \times 0.02774 = 0.03705$$

$$\begin{aligned} \rho_m(240) &= \frac{30.3 \times 10^{-9}}{2} \times \frac{228 + 20}{228 + 20} \left[\frac{1}{1 - 0.02774} + \frac{1}{1 - 0.03705} \right] \\ &= 31.32 \times 10^{-9} \quad (\Omega \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_m &= 1000 \times \left[\frac{160^2 \times 9.2341 \times 30.3 \times 10^{-9} \times 1.057}{0.1133} \right]^{1/2} \\ &= 263(\text{mm}^2) \end{aligned}$$

这种微小的变化使 S_{sc} 稍接近于标准截面 240mm^2 。

240mm^2 导体电缆总费用与 4.3.4 节中计算值相同。

经济寿命期内, 240mm^2 导体平均温度是:

$$\theta_m = \left(\frac{228 + 20}{2} \right) \times \left(\frac{1}{1 - 0.02774} + \frac{1}{1 - 0.03705} \right) - 228 = 28.3 \quad (^\circ\text{C})$$

附录 4 各国家相应运行条件的各参数值

IEC 提供的部分国家相应运行条件下土壤热特性和环境温度, 列于表 4-1。

表 4-1 各国家相应运行条件的各参数值

国 别	土 壤 热 特 性			空气温度 ($^\circ\text{C}$)
	土壤热阻系数 ($\text{K} \cdot \text{m/W}$)	埋地深度 (mm)	土壤温度 ($^\circ\text{C}$)	
美 国	0.9 (平均值)	900	20	40 ~ 50
英 国	1.2 (标准条件)	1kV 500 3.3 ~ 33kV 800 33kV 压力电缆 900	15	户外 25 建筑物内 30
日 本	平均值 1.0 制造厂 1.2 ~ 0.8	33kV 1200	最大值 25 最小值 10	夏季 40 冬季 30
意大利	1.0 (必要时采用回填土)	12 kV 及以下: 800 17.5 kV 及以下 1000 24 kV 及以下 1200 36 kV 及以下 1500	最大值 20 最小值 5	最大值 30 最小值 0
德 国	通常 1.0 电缆周围出现干燥 2.5 城	电缆 ≥ 60 kV 1200 电缆 < 60 kV 700	最大值 20 最小值 0 平均值 10	最大值 30 最小值 -20 平均值 10
法 国	夏季 1.0 冬季 0.85	20 kV 配电网 1400 一般地区 800 ~ 1400 电缆沟或管道 1300 变电站 700	夏季 20 冬季 10	夏季 30 冬季 20
加拿大	最大值 1.2 最小值 0.6 平均值 0.9	69kV 及以下 1100 46kV 及以下 900	最大值 20 最小值 0	最大值 40 最小值 -40
澳大利亚	1.2	L.V 电缆 500 ~ 750 11kV 800 33kV 1000	夏季 25 冬季 18	夏季 40 冬季 30

电线电缆短时负载流量计算

5.1 一般情况

电缆稳态运行时发热温升是不随时间而变化,而电缆暂态运行时则是时间的函数。

为了充分利用电缆的传输能力,在短时负荷的场合下必须考虑电缆暂态运行问题。这里所说的短时是指电线电缆施加负荷的时间小于或等于电线电缆本体热时间常数的三倍。本节主要涉及到 0.6/1kV 及以下电线电缆空气中敷设的场合。例如:电焊机电缆、电梯电缆及其他短时或断续负荷用电设备的电缆等。

电缆暂态运行载流量除了和电缆本体(材料及结构尺寸)、敷设和环境状况等因素有关外,还与施加负荷方式和负荷持续时间有关。为了正确地解决这些问题需要阐明有关电缆暂态运行时的一些基本概念,有助于对电缆暂态发热物理性能的理解,正确地运用本部分所给出的公式,首先阐明一些相关的基本概念如下:

短时负荷:规定施加于电缆的电流持续时间等于或小于电缆热时间常数的三倍,而间隙时间(未加电流时间)较长,由短时负荷电流所引起电缆的温升几乎等于零。这种运行状态下的负荷时间称为短时负荷时间。

超载负荷:即过载运行。电缆已经处于额定负荷(100%负荷因数)稳态运行之中,紧急需要短时间内在电缆线路原有电流的基础上叠加一个电流值,此时电缆线芯温度将超过连续负荷时的最高允许工作温度,但不超过该电缆所规定的允许超载最高温度。有些电缆不允许超载运行,有些则规定超载运行次数和允许最高温度。例如有些资料表明:交联聚乙烯电缆超载允许最高工作温度 130℃,时限 100h,不得超过 5 次。空气中载流量增加不得大于 1.2 倍,土壤中不得大于 1.7 倍。

断续负荷:断续负荷以周期性变化为典型实例,电流变化周期为 P ,其中 αP 是施加电流时间, $(1 - \alpha P)$ 则是切断电流时间。断续负荷可以叠加到电缆原有的某一电流(该数值小于电缆的允许载流量)之上。以上均属于空气中敷设的电缆。

时间常数:电缆发热与冷却快慢主要取决于电缆的热时间常数。所谓时间常数系指按指数衰变的场量的幅值降到初始幅值的 $1/e$ ($= 0.3679$) 倍所需的时间,或者按指数增变的场量的幅值上升到稳态幅值的 $(1 - 1/e = 0.6321)$ 倍所需的时间。

5.2 电线电缆暂态温度响应

5.2.1 绝缘的表示式

(1) 单芯电缆：用集中热常数表示，如图 5-2-1 所示。绝缘层总热容 Q_i 是在导体与护套之间分开，使绝缘层中所存储的总热量不变。

图 5-2-1 所示的导体用虚线表示，绝缘层用实线部分表示，其中 p 的表达式为：

$$p = \frac{1}{2 \ln \left(\frac{D_i}{d_c} \right)} - \frac{1}{\left(\frac{D_i}{d_c} \right)^2 - 1} \quad (5-2-1)$$

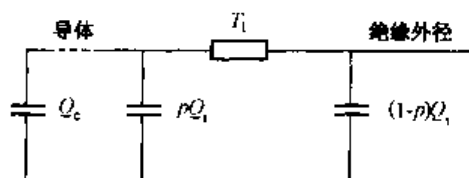


图 5-2-1 绝缘层示意图

式中 T_i ——绝缘层热阻， $K \cdot m/W$ ；

Q_i ——绝缘层热容， $J/K \cdot m$ ；

Q_c ——导体热容， $J/K \cdot m$ ；

D_i ——绝缘层直径， mm ；

d_c ——导体直径， mm 。

当有屏蔽层时，将金属带视为导体或护套部分，而半导体层（包括金属化纸）则视为绝缘层部分，相对应部分的尺寸应修正。

(2) 三芯电缆：三芯电缆用散热和导体总损耗相同的总导体损耗的等值单芯电缆结构来代替，等值单芯电缆导体的直径为：

$$d_c = D_i \cdot e^{(-2\pi \cdot T_i / \rho_i)} \quad (5-2-2)$$

式中 D_i ——与三芯电缆相同的绝缘层直径， mm ；

T_i ——等值单芯电缆的热阻（三芯电缆中一个线芯热阻值的 $1/3$ ）， $K \cdot m/W$ ；

ρ_i ——绝缘材料热阻系数， $K \cdot m/W$ 。

按下列假设计算热容：

1) 实际导体可视为完全在等值单芯导体直径之内，而等值导体的其余部分则由绝缘层所占有。

2) 等值单芯导体与护套之间的空间可视为完全被绝缘层所占有。利用等效单芯电缆的尺寸计算 p 也适用于所假设的绝缘层的热容。

5.2.2 电线电缆表达式

为了计算简化而又不至于影响计算结果，以集中常数的单一热路（图 5-2-1）表示电线电缆热路表达式。用来计算暂态响应的热路取决于该暂态响应的持续时间，本节规定短时负荷的持续时间小于或等于三倍的热时间常数，即： $\tau \leq 3TQ$ （ T 和 Q 是一个线芯的热阻和热容）。

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (5-2-3)$$

$$Q = Q_c + 0.5(Q_i + Q_s + Q_j) \quad (5-2-4)$$

式中 T ——等效热阻， $K \cdot m/W$ ；

T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 ——分别为绝缘层、内衬层、外护层、和外部热阻, $K \cdot m/W$;

Q ——等效热容, $J/m \cdot K$;

Q_c 、 Q_i 、 Q_s 、 Q_j ——分别为线芯、绝缘层、金属护套、外护层热容。

5.2.3 电线电缆的暂态计算

首先以架空裸导线为例说明电线暂态的发热规律。当架空裸导线加一负荷, 单位长度导线热损耗为 W_c ($= I^2 \cdot R$) 时, 根据热平衡原理得下列等式:

$$W_c \cdot dt = Q_c \cdot d\theta + A \cdot h(\theta_a - \theta_0) \quad (5-2-5)$$

式中 θ_a ——加电 t 时间的导线温度, $^{\circ}C$;

θ_0 ——环境温度, $^{\circ}C$;

Q_c ——导线热容, $W/m \cdot K$;

A ——导线表面散热面积, m^2 ;

h ——导线表面散热系数, $W/m^2 \cdot K$ 。

对式 (5-2-5) 移项变换后再积分得:

$$t = \frac{Q_c}{A \cdot h} \ln[W_c - A \cdot h \cdot (\theta_a - \theta_0)] + C$$

式中 C ——积分常数。

当加负荷时导线温度 θ_a 和环境温度 θ_0 相等时, 即:

$t = 0$ 时, $\theta_a = \theta_0$, 则:

$$C = \frac{Q_c}{A \cdot h} \ln(W_c)$$

$$t = \frac{Q_c}{A \cdot h} \ln \left[\frac{\frac{W_c}{A \cdot h}}{\frac{W_c}{A \cdot h} - (\theta_a - \theta_0)} \right]$$

导线表面至周围空气的外部热阻为:

$$T_4 = \frac{1}{A \cdot h}$$

导线单位时间产生的热量为 W_c 时, 最终达到稳态时的温度为:

$$\theta_{cm} = \frac{W_c}{T_4}$$

热容与热阻的乘积是有时间的量纲, 称为热时间常数, 以 τ 表示:

$$t = \tau \cdot \ln \left(\frac{\theta_{cm}}{\theta_{cm} - (\theta_a - \theta_0)} \right) \quad \text{则:}$$

$$\theta_a - \theta_0 = \theta_{cm} (1 - e^{-t/\tau}) \quad (5-2-6)$$

如果加负荷时导线温度不等于环境温度而为 θ_d 时, 则式 (5-2-6) 可写成:

$$\theta_a - \theta_0 = \theta_{cm} (1 - e^{-t/\tau}) + (\theta_d - \theta_0) e^{-t/\tau} \quad (5-2-7)$$

式中 τ ——热时间常数, min。

(1) 单支热路时间常数：等效参数法对于低压电缆用等效热容代替电缆各部分热容之和，用等效热阻代替电缆内部和外部热阻计算热时间常数，以单支热路（见图 5-2-1）计算热时间常数较为简单。

$$\tau = \frac{T \cdot Q}{60} \quad (5-2-8)$$

(2) 二支热路时间常数：二支热路（见图 5-2-2）以单支热路近似取代的方法计算热时间常数，计算式同式 (5-2-8)，其中 T 、 Q 由下式给出：

$$T = T_A + T_B$$

$$T_A = T_1$$

$$T_B = T_2 + T_3 + T_4$$

$$Q = Q_A + \frac{T_B}{T_A + T_B} Q_B$$

$$Q_A = Q_c + P \times Q_i$$

$$Q_B = (1 - P) Q_i + Q_s + Q_e$$

$$P = \frac{1}{2 \ln \left(\frac{D_i}{D_c} \right)} - \left(\frac{D_i}{D_c} \right)^2 - 1$$

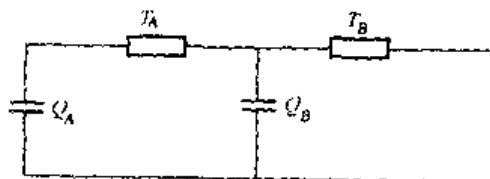


图 5-2-2 二分支热路

电缆常用材料的热容系数列于表 5-2-1。

表 5-2-1

材料热容系数 σ

绝缘材料	热容系数 (J/K · m ³ × 10 ⁶)	护层材料	热容系数 (J/K · m ³ × 10 ⁶)	导体材料	热容系数 (J/K · m ³ × 10 ⁶)
硬型电缆浸渍纸	2.0	合成纤维	2.0	铜	3.45
充油电缆浸渍纸	2.0	橡皮	2.0	铝	2.50
油	1.7	聚氯乙烯 (PVC)	1.7	铅	1.45
聚乙烯 (PE)	2.4	聚乙烯 (PE)	2.4	钢	3.80
交联聚乙烯 (XLPE)	2.4	半导体 XLPE 和 PE	2.4		
聚氯乙烯 (PVC)	1.7				
丙橡胶 (EPR)	2.0				
丁基胶, 天然胶	2.0				

注 摘自 IEC-949 标准。

5.3 载流量计算方法

5.3.1 短时负荷载流量计算

架空裸导线的暂态发热温升方程也可用来近似计算低压电缆的暂态温度响应，尤其是计算电线的暂态响应比计算电缆的暂态响应更为适合。在短时间负荷内导电线芯的工作温度达到但不超过电缆产品标准中规定的最高允许工作温度。电线短时负荷电流的计算是从电线的暂态温升方程推演求得。考虑到在暂态过程中，电线绝缘中的温度不仅是坐标的函数，而且也是时间的函数。应该用分布参数等值热路来描述，但作为第一近似，仍可用集中参数等值热路来描述。用等值热容取代各部分热容之和，用等值热阻取代电缆内部和外

部热阻之和。低压电缆不考虑介质损耗, 并且不考虑电阻随温度的变化, 温升与电流的平方成正比。则式 (5-2-6) 变换为:

$$I_N^2 = I_1^2 \times (1 - e^{-t/\tau})$$

允许在 t 时间内通过的电流 I_p 为:

$$I_p = I_N \times \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-t/\tau}}} \quad (5-3-1)$$

式中 I_N ——电缆长期允许工作电流。

如果电缆在施加 I_p 之前线芯已通有稳态电流 I_0 , 线芯温度高于环境温度, 则式 (5-2-7) 变换为:

$$I_N^2 = I_1^2 (1 - e^{-t/\tau}) + I_0^2 e^{-t/\tau}$$

电缆允许在 t 时间通过的电流为:

$$I_p = I_N \times \sqrt{\frac{1 - \beta \cdot e^{-t/\tau}}{1 - e^{-t/\tau}}} \quad (5-3-2)$$

式中 $\beta = \frac{I_0}{I_N}$ ——称电缆预加负荷系数。

5.3.2 周期性断续负载流量计算

如果电缆的负荷是周期性断续变化的, 在不超过允许最高工作温度的条件下, 求电缆允许通过的电流也可以利用上述关系式。

电线电缆周期性负荷运行时设负荷周期为 P , αP 为施加负荷电流 I_p 的时间, $1 - \alpha P$ 为切断电流 $I_p = 0$ 的时间。在周期负荷之前电缆通以电流 I_0 ($I_0 < I_N$)。在最大允许温升 $\Delta\theta_m$ 情况下电缆断续的周期性载流量由下式给出:

$$I_p = I_N \times \sqrt{\frac{(1 - \beta^2) \cdot (1 - e^{-\alpha P/\tau})}{1 - e^{-P/\tau}}} \quad (5-3-3)$$

式中 I_0 ——线路中原有恒定电流, $I_0 = 0$ 时即原线路施加断续负荷之前没有电流, A;

I_N ——电缆的允许持续载流量, A;

$\alpha = \frac{t}{P}$ ——接通率 (工作时间与断续负荷时间周期之比);

P ——断续负荷时间周期, min;

t ——短时通负荷时间, min;

τ ——电缆热时间常数, min。

5.3.3 短时过负荷电缆载流量的计算

短时过负荷电流由下式给出:

$$I_t = I_N \times \sqrt{\frac{R_c}{R_s}} \times \left(1 + \frac{\theta_s - \theta_0}{\theta_c - \theta_0} \times \frac{1}{1 - e^{-t/\tau}} \right) \quad (5-3-4)$$

式中 R_c ——线芯在 θ_c 时电阻, Ω/m ;

R_s ——线芯在 θ_s 时电阻, Ω/m ;



θ_c ——连续负荷时线芯最高允许工作温度, $^{\circ}\text{C}$;

θ_s ——过负荷运行时线芯最高允许工作温度, $^{\circ}\text{C}$;

θ_0 ——环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

t ——过负荷运行时间, min;

τ ——电缆时间常数, min;

I_N ——电缆额定流量, A。



35kV 及以下 电缆周期性负荷载流量

6.1 一般概况

本章提出的计算方法是在可忽略电缆内部热容的情况下对周期性负荷进行载流量计算。本部分是以 IEC - 853 - 1 (1985) 标准为基础, 适用于电压 18/30 (36) kV 及以下所有电缆在直埋地或管道埋地敷设且不考虑水分迁移 (影响土壤热阻系数变化) 的情况。只要知道导体最高温度出现时间之前 6h 的负荷变化的完整波形和负荷平均值, 对任一周期负荷波形均适用, 其极限误差不会超过 5%, 偏于安全。传输负荷以 24h 为一变化周期, 每天的周期波形基本相同。由于介质损耗引起导体温升达到稳态, 因此设定施加电压时间足够长, 使导体高于环境的温升等于介质损耗引起的稳态温升和电流变化引起的暂态温升的总和。假定土壤特性不随时间和场合而变化。

6.2 周期性负荷载流量因数计算

周期性载流量计算随着已知负荷周期的具体数值和波形而有所不同。基本计算方法是用字母 M 表示周期性负荷载流量因数。要获取以一天为周期的电流峰值, 则用该系数 M 乘以额定载流量 (100% 负荷因数)。周期内导体温度达到但不超过电缆标准规定的最高允许工作温度。下面对于已知的负荷周期波形计算周期负荷因数。

6.2.1 单根孤立的电缆线路

单根孤立的电缆线路包括: 一根多芯电缆直埋地 (或管道埋地); 三根单芯电缆呈三角形或平面排列相互邻接直接埋地; 三根电缆在管道内, 管道呈三角形或平面排列相互邻接埋地。

(1) 已知波形的任意负荷周期

计算步骤如下:

- 1) 一天的负荷周期划分为 24 个时间段的数值, 如附图 6-1 (a) 所示。
- 2) 以负荷最大值为基数 1, 其他数值为最大值的比率值, 如附图 6-1 (b) 所示。
- 3) 每小时负荷数值的平方求得电流热损耗的周期波形, 如附图 6-1 (c) 所示。
- 4) 表示为连续阶跃函数变化曲线获得近似于原始值的平均值, 并用 Y_0 、 Y_1 、 $Y_2 \cdots Y_5$

表示出现最高温度之前 6h 阶跃曲线纵坐标。如附图 6-1 (d) 所示。

附图 6-1 负荷和负荷损耗曲线是假定所给的测量值适用于每次观测前后各延伸为 1.5h 的时间段, 用目测确定出现最高温度的时间坐标。虽然出现最高温度的时间坐标经常发生在最大电流期间的末端, 但并非如此。温度乃取决于该周期之前的一般负荷水平。附图 6-1 所给示例, 最高温度出现在 17.5h, 而最大电流却在 8h。

5) 周期负荷 - 损失因数由下式求得:

$$\mu = \frac{1}{24} \sum_{i=0}^{23} Y_i \quad (6-2-1)$$

式中 i ——达到预期最高温度之前的时间, h;

Y_i ——到达导体最高温度的瞬间之前电缆在 i 和 $(i+1)$ 小时之间的电流损耗之比例系数。

6) 周期负荷载流量系数 M 由下式给出:

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1-K) \cdot Y_0 + K[B + \mu \times [1 - \beta(6)]]}} \quad (6-2-2)$$

$$B = Y_0 \Phi_0 + Y_1 \Phi_1 + Y_2 \Phi_2 + Y_3 \Phi_3 + Y_4 \Phi_4 + Y_5 \Phi_5 \quad (6-2-3)$$

$Y_0, Y_1, \dots, Y_5$ ——同前 Y_i , 如表 6-2-1 所示;

$\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_5$ ——表 6-2-2 中规定的函数。

$\beta(i)$ ——在时间为 i 小时, 电缆 (或管道) 外表面温度到达因数, $\beta(\infty) = 1$

7) 关于式中参数 $\Phi_0 \sim \Phi_5$ 和 $[1 - \beta(6)]$: 表 6-2-2 给出单根电缆在埋地深度为 1m、土壤散热系数为 $0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 情况下的 Φ_0 至 Φ_5 和 $[1 - \beta(6)]$ 的数值。这些数值适用于电缆或管道埋地深度为 0.75 ~ 1.5m 范围内。一般情况下系数 M 的误差小于 1.5%。

对于埋地深度和土壤热阻系数为其他任意值时, 从下面求得 $\Phi_0 \sim \Phi_5$ 和 $[1 - \beta(6)]$ 的数值:

$$\Phi_0 = \beta(1)$$

$$\Phi_i = [\beta(i+1) - \beta(i)] \quad i = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$\beta(i) = \frac{-E_i \left(-\frac{D_c^2}{16t\delta} \right)}{2 \ln \left(\frac{4L}{D_c} \right)} \quad (6-2-4)$$

$$t = 3600i$$

$$k = \frac{W \cdot T_4}{\theta(\infty)} \quad (6-2-5)$$

式中 k ——稳态下电缆表面温升与导体温升之比值。 k 值取决于埋地深度和土壤热阻系数, 如果 k 值由已知敷设条件 “a” 改变为 “b”, 则 k 新值为:

$$k(b) = \frac{1}{1 + \frac{T_4}{T_4'} \left(\frac{1 - k(a)}{k(a)} \right)} \quad (6-2-6)$$

T_4 和 T_4' ——分别为 “a” 和 “b” 时的单根电缆或管道的外部热阻, 如果深度不变,

则 $T_4/T_4' = \rho(a)/\rho(b)$;

W ——稳态下每根电缆在额定载流量下总的焦耳损耗热, W/m;

$\theta(\infty)$ ——导体稳态温升, $^{\circ}\text{C}$ 。

表 6-2-1 某一天某电缆线路负载及损耗记录示例

时间 (h) i	电流 (A) I_i	负荷/最高负荷 $I_i/I_{\max}$	Y_i 值 $(I_i/I_{\max})^2$	Y_i	时间 (h) i	电流 (A) I_i	负荷/最高负荷 $I_i/I_{\max}$	Y_i 值 $(I_i/I_{\max})^2$	Y_i
0	151	0.302	0.091	Y_{17}	12	446	0.892	0.796	Y_5
1	124	0.247	0.061	Y_{16}	13	385	0.770	0.593	Y_4
2	114	0.227	0.052	Y_{15}	14	386	0.772	0.596	Y_3
3	116	0.232	0.054	Y_{14}	15	400	0.800	0.640	Y_2
4	118	0.235	0.056	Y_{13}	16	427	0.853	0.728	Y_1
5	123	0.246	0.061	Y_{12}	17 ²⁾	498	0.996	0.992 ²⁾	Y_0
6	145	0.290	0.084	Y_{11}	18	427	0.853	0.728	Y_{23}
7	300	0.600	0.360	Y_{10}	19	395	0.790	0.624	Y_{22}
8 ¹⁾	500 ¹⁾	1.000	1.000	Y^9	20	370	0.740	0.548	Y_{21}
9	475	0.950	0.902	Y_8	21	370	0.740	0.548	Y_{20}
10	470	0.940	0.884	Y_7	22	361	0.722	0.521	Y_{19}
11	455	0.910	0.828	Y_6	23	300	0.600	0.360	Y_{18}

注 1) —出现最大负荷时间及最大负荷 ($I_{\max}$); 2) —出现最高温升时间。

表 6-2-2 对土壤散热系数 $\delta = 0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 时的 Φ_i 和 $[1 - \beta(6)]$ 的值

D_e	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.055	0.060	0.065	0.070	0.075	0.080	0.085	0.090	0.095	0.100
Φ_0	0.298	0.277	0.257	0.239	0.223	0.207	0.193	0.180	0.168	0.156	0.145	0.135	0.126	0.117	0.100
Φ_1	0.069	0.071	0.072	0.073	0.074	0.075	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.075	0.074	0.074	0.073
Φ_2	0.041	0.042	0.043	0.044	0.045	0.045	0.046	0.046	0.047	0.047	0.047	0.048	0.048	0.048	0.048
Φ_3	0.029	0.030	0.031	0.031	0.032	0.033	0.033	0.034	0.034	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
Φ_4	0.023	0.023	0.024	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.028
Φ_5	0.019	0.019	0.020	0.020	0.020	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.023
$1 - \beta(6)$	0.521	0.538	0.553	0.568	0.581	0.594	0.605	0.617	0.627	0.638	0.648	0.657	0.667	0.676	0.684
D_e	0.105	0.110	0.110	0.120	0.125	0.130	0.135	0.140	0.145	0.150	0.155	0.160	0.165	0.170	0.175
Φ_0	0.101	0.093	0.086	0.080	0.074	0.068	0.063	0.058	0.053	0.049	0.045	0.041	0.038	0.034	0.031
Φ_1	0.072	0.071	0.070	0.069	0.068	0.067	0.065	0.063	0.062	0.060	0.059	0.057	0.056	0.054	0.052
Φ_2	0.048	0.048	0.047	0.047	0.047	0.046	0.046	0.046	0.045	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.042
Φ_3	0.035	0.035	0.036	0.036	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.034	0.034	0.034
Φ_4	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
Φ_5	0.023	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
$1 - \beta(6)$	0.693	0.701	0.709	0.716	0.724	0.731	0.738	0.745	0.752	0.758	0.765	0.771	0.777	0.783	0.789
D_e	0.180	0.185	0.190	0.195	0.200	0.205	0.210	0.215	0.220	0.225	0.230	0.235	0.240	0.245	0.250
Φ_0	0.029	0.026	0.024	0.022	0.020	0.018	0.016	0.015	0.013	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007
Φ_1	0.050	0.048	0.047	0.045	0.043	0.042	0.040	0.038	0.037	0.035	0.033	0.032	0.030	0.029	0.027
Φ_2	0.041	0.041	0.040	0.039	0.038	0.037	0.037	0.036	0.035	0.034	0.033	0.033	0.032	0.031	0.030
Φ_3	0.034	0.033	0.033	0.032	0.032	0.032	0.031	0.031	0.031	0.030	0.030	0.029	0.029	0.028	0.028
Φ_4	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025
Φ_5	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.022
$1 - \beta(6)$	0.794	0.800	0.805	0.811	0.816	0.821	0.826	0.830	0.835	0.840	0.844	0.848	0.853	0.857	0.861

注 D_e —电缆直径或管道外径, m。

如果计及介质损耗, 则 $\theta(\infty)$ 规定为仅由导体的焦耳损耗热引起的温升, 即电缆单位长度的损耗 W 按第 2 章计算。

8) 外部热阻的计算

分别以单根 (多芯) 电缆分离敷设和单芯电缆三根呈三角形 (或平面) 排列的分离电路敷设计算外部热阻:

a) 单根分离: 即相邻电缆彼此没有热影响敷设的电缆或管道:

$$T_d = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left(\frac{4L}{D_c} \right) \quad (6-2-7)$$

式中 ρ_T ——土壤热阻系数, $K \cdot m/W$;

L ——埋地深度, mm ;

D_c ——电缆或管道的外径, mm 。

b) 分离电缆线路: 相邻接的三根单芯电缆或管道呈三角形或平面排列构成孤立线路按 2.2.10 节相关部分计算。

(2) 恒定分量组成的平顶负荷周期: 持续最大电流时间至少 6h, 其余时间为电流的恒定分量组成的平顶负荷周期, 其载流量因数计算如下:

如果最大负荷持续时间为 x 小时 ($x \geq 6h$), 其余时间 $(24-x)$ 小时的最大负荷持续时间为 p , 则周期性负荷因数为:

$$M = \frac{1}{\sqrt{1 - k(1 - p^2) \left(\frac{24-x}{24} \right) [1 - \beta(6)]}} \quad (6-2-8)$$

(3) 非限定的平顶负荷周期: 持续最大电流至少 6h, 其余时间波形为非限定的平顶负荷周期, 除了最高温升出现在持续最大电流的末端之外, 则周期性负荷载流量因数为:

$$M = \frac{1}{\sqrt{1 - k(1 - \mu) [1 - \beta(6)]}} \quad (6-2-9)$$

(4) 已知负荷损失因数 μ 而波形未知的负荷周期: 仅知道负荷损失因数 μ 而波形未知的周期负荷视为平顶波形, 可利用式 (6-2-9) 计算。

6.2.2 等负荷非邻接的电缆或管道组成的电缆组

(1) 任意波形的负荷周期: 任意波形的负荷周期的负荷因数由下式计算:

$$M = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=0}^5 Y_i \left[\frac{\theta_R(i+1)}{\theta_R(\infty)} - \frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)} \right] + \mu \left[1 - \frac{\theta_R(6)}{\theta_R(\infty)} \right]}} \quad (6-2-10)$$

式中 $\theta_R(i)$ ——施加于持续额定电流负荷阶跃函数 i 小时内导体的导体温升。

$\theta_R(\infty)$ ——持续额定电流下导体稳态温升。

$$\theta_R(0) = 0(K)$$

$$\frac{\theta_R(0)}{\theta_R(\infty)} = [1 - k_1 + k_1 \cdot \gamma(i)] \quad (6-2-11)$$

$\gamma(i)$ ——计算电缆组周期负荷电流因数的函数:

$$\gamma(i) = \frac{-E_i\left(-\frac{D_e^2}{16t\delta}\right) + 1(N-1) \cdot \left[-E_i\left(-\frac{d_i^2}{16t\delta}\right)\right]}{2\ln\left(\frac{4LF}{D_e}\right)} \quad (6-2-12)$$

$$t = 3600i$$

$-E_i(-x)$ ——指数积分函数，见附 6.2；

δ ——土壤散热系数， m^2/s ；

注：因时间周期仅涉及到 6h，该公式不需要计算镜像项。

$$F = \frac{d'_{p1} \cdot d'_{p2} \cdot d'_{p3} \cdots d'_{pk} \cdots d'_{p(N-1)}}{d_{p1} \cdot d_{p2} \cdot d_{p3} \cdots d_{pk} \cdots d_{p(N-1)}} \quad (6-2-13)$$

($N-1$) 项中不包括 $\frac{d'_{pp}}{d_{pp}}$

$$d_r = \frac{4L}{F^{1/(N-1)}} \quad (6-2-14)$$

图 6-3-1 确定了 d_{pk} 和 d'_{pk} 的距离。

$$k_1 = \frac{W(T_4 + \Delta T_4)}{\theta(\infty)} \quad (6-2-15)$$

$$\Delta T_4 = \frac{\rho_T \cdot \ln F}{2\pi} \quad (6-2-16)$$

k_1 ——稳态下电缆或管道外表面温升与稳态时导体温升之比；

W ——一组中所有的电缆均为等负荷且单位长度的总热损耗均为 W ， W/m ；

T_4 ——一组中最热电缆的外部热阻， $K \cdot m/W$ ；

D_e ——最热电缆组的电缆外径或管道外径， mm ；

L ——最热电缆组或管道组埋地深度， mm ；

d_{pk} ——为线路 k 的中心至含有最热电缆或管道线路的中心距离(见图 6-3-1)， mm ；

d'_{pk} ——为线路 k 的镜像中心至含有最热电缆或管道线路的中心距离， mm ；

δ ——土壤散热系数， m^2/s ；

ρ_T ——土壤热阻系数， $K \cdot m/W$ ；

N ——一组的电缆数。

计算周期性负荷载流量系数并不需要准确地知道土壤散热系数，使用表 6-2-3 中的数据足以满足要求。表中函数是根据散热系数大约为 $0.5 \times 10^{-6} m^2/s$ ，即相当于土壤热阻系数为 $\rho_T = 1 K \cdot m/W$ ，而含水量为干土域的 7% 左右的条件而制定的。对于特殊情况，含水量很低的场合下建议采用下面方法计算：

1) 如果已测得下列参数：密度、含水量、土壤热阻系数，则散热系数 δ 为：

$$\delta = \frac{10^{-3}}{\rho_T d (0.82 + 0.042 \eta)} \quad (m^2/s) \quad (6-2-17)$$

式中 ρ_T ——土壤热阻系数， $K \cdot m/W$ ；

d ——干燥时土壤密度， kg/m^3 ；

η ——土壤含水量,%, (干土壤域)。

此外, 散热系数还可用实验室方法获得。

2) 如果知道土壤热阻系数, 则散热系数可从表 6-2-3 求得。

表 6-2-3 土壤散热系数值

热阻系数 ρ_T ($K \cdot m/W$)	散热系数 δ (m^2/s)	热阻系数 ρ_T ($K \cdot m/W$)	散热系数 δ (m^2/s)
0.5	0.8×10^{-6}	1.2 ~ 1.5	0.4×10^{-6}
0.6	0.7×10^{-6}	2.0	0.3×10^{-6}
0.7 ~ 0.8	0.6×10^{-6}	2.5 ~ 3.0	0.2×10^{-6}
0.9 ~ 1.0	0.5×10^{-6}		

注 这些数值是根据同一类湿土壤的实验关系式而获得的。

3) 如果没有现成的土壤数据, 建议采用 $0.5 \times 10^{-6} m^2/s$ 数据。

(2) 持续最大电流至少 6h, 其余时间为非限定的平顶周期: 对于持续最大电流至少 6h, 其余时间为非限定的平顶周期, 除了最高温升出现在持续最大电流的末端之外, 周期负荷系数为:

$$M = \frac{1}{\left(\frac{\theta_R(6)}{\theta_R(\infty)} + \mu \left[1 - \frac{\theta_R(6)}{\theta_R(\infty)} \right] \right)^{1/2}} \quad (6-2-18)$$

6.2.3 三根相同的、等负荷、相互邻接和等损耗的电缆或管道组成的线路群

除下述情况外该计算方法与上述 6.2.2 节相同。

(1) k_1 值 (与外部热阻有关) 与三根邻接电缆或管道的孤立线路有关 (见 6.2.1 (1) 项)。

(2) 按式 (6-2-12)、式 (6-2-13) 和式 (6-2-14) 计算 $\gamma(i)$ 时, F 和 d_i 所用的 N 值为线路回路数 (每一线路有三根单芯电缆), 而 d_{pk}' 和 d_{pk} 值则按上述确定。

(3) 按式 (6-2-13) 求得的 F 值和式 (6-2-16) 求得的 T_4 值再乘以 3。

(4) W 为每一根单根电缆或管道单位长度的总损耗。

(5) 计算 $\gamma(i)$ 所假设的电缆或管道直径为孤立电缆或管道的直径值。

6.3 周期性负荷载流量计算示例

6.3.1 三芯电缆构成孤立线路

电缆孤立敷设于土壤中, 电缆外径 $D_c = 0.06m$ 。

埋地深度 1m, 土壤热阻系数为 $\rho = 1.2K \cdot m/W$, 土壤散热系数 $\delta = 0.5 \times 10^{-6} m^2/s$ 。

导体工作温度 $\theta_c = 70^\circ C$ 。

电缆功率损耗 $W = 48.13W/m$ 。

土壤温度 $\theta_0 = 15^\circ C$ 。

电缆一天负荷周期 (24h) 波形如表 6-2-1 和附图 6-1 (a) 所示。

求电缆周期负荷系数 M 。

解: 从附图 6-1 和表 6-2-1 按式 (6-2-1) 计算负荷损失因数 μ

$$\mu = \frac{0.091 + 0.061 + 0.052 + \cdots + 0.36}{24} = 0.504$$

阶跃周期的波形如附图 6-1 (d) 所示, 纵坐标由表 6-2-1 Y_i 栏求得并绘成完整的阶跃曲线其目的仅是为了说明问题。计算周期性负荷因数所需的纵坐标为表 6-2-1 的数据并在附图 6-1 (d) 中用粗线表示。预计出现最高温度的时间为 17.5h。

Y_i 取自表 6-2-1 而 Φ_i 取自表 6-2-2。

	Y_i	Φ_i	$(Y_i \cdot \Phi_i)$
Y_0	0.992	0.193	0.1915
Y_1	0.728	0.076	0.0553
Y_2	0.640	0.046	0.0294
Y_3	0.596	0.033	0.0197
Y_4	0.593	0.026	0.0154
Y_5	0.796	0.021	0.0167

$$B = \sum Y_i \cdot \Phi_i = 0.3280$$

$$B = 0.328 \quad (\text{式 6-2-3})$$

$$T_4 = 0.8 \text{ (k} \cdot \text{m/W)} \quad (\text{式 6-2-7})$$

$$W = 48.13 \text{ (W/m)}$$

$$\Phi_R(\infty) = 55 \text{ (K)}$$

$$k = 0.7 \quad (\text{式 6-2-5})$$

$$[1 - \beta(6)] = 0.605 \quad (\text{表 6-2-2})$$

从式 (6-2-2):

$$M = \frac{1}{\{(1 - 0.7) \times 0.992 + 0.7 \times [0.328 + 0.504 \times 0.605]\}^{1/2}} = 1.16$$

如果电缆允许稳态电流 (100% 负荷) $I_R = 450\text{A}$, 则在上述周期波形条件下, 导体不会超过最高允许工作温度, 在峰值条件下载流量:

$$I_{\max} = 1.16 \times 450 = 552 \text{ (A)}$$

6.3.2 三根单芯电缆构成一组线路

电缆的外径 = 0.015m, 三根电缆敷设于土壤中, 电缆之间距离为 0.2m, 埋地深度 1m, 土壤散热系数 $\delta = 0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, 最高导体温度 70°C , 环境温度 15°C , 设一组电缆每根损耗为 27.5 W/m, 所有电缆具有相同周期负荷, 在最高导体温度之前 6h 是常数值, 整个周期 $\mu = 0.6$, 求中间电缆周期性载流量因数。

由图 6-3-1 得:

$$d_{p1}' = d_{p3}' = [(2^2 + 0.2^2)]^{1/2} = 2.01 \text{ (m)}$$

$$d_{p1} = d_{p3} = 0.2 \text{ (m)}$$

$$F = \frac{2.01 \times 2.01}{0.2 \times 0.2} = 101 \quad N = 3 \quad \text{式(6-2-13)}$$

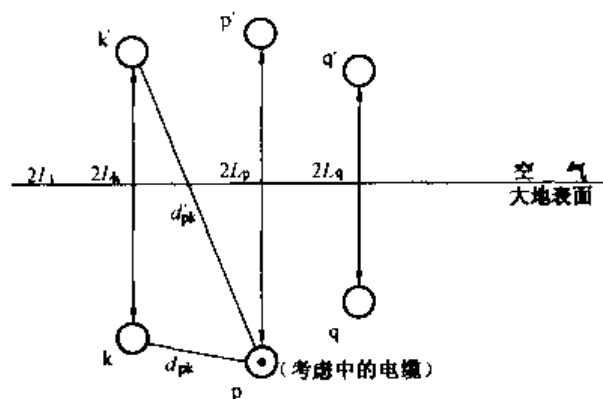


图 6-3-1 q 根电缆群及一地面为对称的镜

$$d_f = \frac{4 \times 1}{101^{0.5}} = 0.398 \text{ 式(6-2-14) (m)}$$

$$t\delta = 21600 \times 0.5 \times 10^{-6} = 0.0108 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$i = 6h \quad (t = 3600i = 3600 \times 6 = 21600 \text{ s})$$

$$16t\delta = 0.1728 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\frac{D_e^2}{16t\delta} = \frac{0.05^2}{0.1728} = 0.01447; -E_i(-x) = 3.6 \text{ (由附 6-2 计算)}$$

$$\frac{d_f^2}{16t\delta} = \frac{0.398^2}{0.1728} = 0.9167; -E_i(-x) = 0.25 \text{ (由附 6-2 计算)}$$

$$\gamma(6) = \frac{3.67 + 2 \times 0.25}{17.994} = 0.232 \text{ 式(6-2-12)}$$

$$\gamma(6) = \frac{3.67 + 2 \times 0.25}{17.994} = 0.232$$

$$\rho_T = 1.2 \text{ (K} \cdot \text{m/W)}$$

$$T_4 = \frac{\rho_T \ln\left(\frac{4L}{D_e}\right)}{2\pi} = 0.837 \text{ (K} \cdot \text{m/W) 单根孤立电缆}$$

$$W = 27.5 \text{ (W/m)}$$

$$\theta_R(\infty) = 55 \text{ (K)}$$

一组三根电缆:

$$\Delta T_4 = \frac{\rho_T \ln F}{2\pi} = \frac{1.2 \times \ln(101)}{2\pi} = 0.881 \text{ (K} \cdot \text{m/W) 式(6-2-16)}$$

$$k_1 = \frac{W(T_4 + \Delta T_4)}{\theta_R(\infty)} = \frac{27.5 \times (0.837 + 0.881)}{55} = 0.86 \text{ 式(6-2-15)}$$

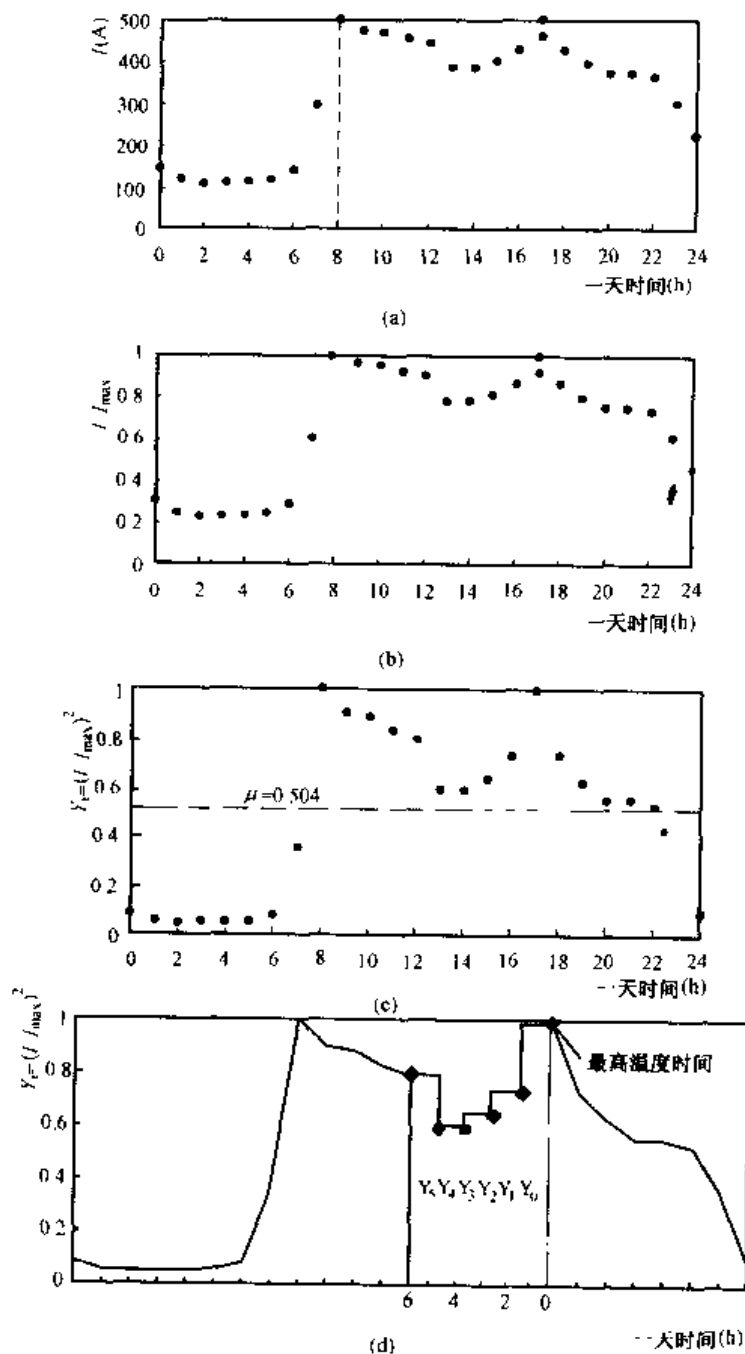
$$\frac{\theta_R(6)}{\theta_R(\infty)} = 1 - k_1 + k_1 \cdot \gamma(i) = 1 - 0.86 + 0.86 \times 0.232 = 0.3395$$

$$M = \frac{1}{\sqrt{0.3395 + 0.6 \times (1 - 0.3395)}} = 1.17 \text{ 式(6-2-18)}$$

电缆组中最热的中间电缆周期性负荷载流量系数 $M = 1.17$ 。

附录 6 周期负荷曲线及指数积分比例计算等

附 6.1 日周期负荷曲线



附图 6-1 日周期负荷曲线

(a) 负荷周期; (b) 负荷周期/最高负荷; (c) 负荷损耗图;

(d) 等效于阶跃函数的负荷周期损耗

附 6.2 指数积分数字计算

采用文献: Handbook of Mathematical Functions' by M. Abramowitz and I. Stegun. pp. 228

-231 中所规定的指数积分, 根据下面导出的近似值给出的结果准确到小数点 4 位。

对于 $0 \leq x \leq 1$:

$$-E_1(-x) = -\ln(x) + \sum_{i=0}^5 a_i x^i$$

式中

$$\begin{array}{lll} a_0 = -0.5772 & a_1 = 1.000 & a_2 = -0.2499 \\ a_3 = 0.0552 & a_4 = -0.0098 & a_5 = 0.0011 \end{array}$$

对于 $1 \leq x \leq \infty$

$$-E_1(-x) = \frac{1}{xe^x} \left[\frac{x^2 + a_1 x + a_2}{x^2 + b_1 x + b_2} \right]$$

式中

$$\begin{array}{ll} a_1 = 2.3347 & a_2 = 0.2506 \\ b_1 = 3.3307 & b_2 = 1.6815 \end{array}$$

上述表达式便于手工或计算机计算。

下述单一表达式也便于计算机计算, 但它操作时间可能较长。

对于 $X > 0$ 的所有数值:

$$-E_1(-x) = -0.5772 - \ln(x) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n x^n}{n \times n!}$$

(如果 $X \geq 8$ 的数值均使 $-E_1(-x)$ 等于 0, 而且 $x < 0.01$ 时均等于 $-\ln(x) - 0.5772 + x$ 作为计算使用)。



18/30 (36) kV以上 电缆周期性负荷载流量

7.1 概述

7.1.1 适用范围

本部分参照 IEC853-2 (1989) 标准给出了电缆内部热容不可忽略时周期性载流量因数的计算方法。一般情况下该方法适合于 26/35kV 以上的电缆。要确定内部热容不可忽略的情况下周期载流量因数时, 必须计算电缆及其周围媒质的暂态温度响应 (温升)。公式中含有随着电缆设计和所用材料而变化的各种参数值都是公认的, 或者是实际使用时一般均可接受的, 例如材料热阻系数和体积比热。

本方法未计及土壤中水分迁移影响土壤的热阻系数。7.9 节讲述了这个问题和土壤干燥后的计算方法。

7.1.2 关于电缆热容

(1) 计及电缆热容 当电缆的热容不可忽略时, 必须计算电缆内部的暂态温升, 本节推荐的计算方法, 在这里提出如下一些规定:

1) 利用集中热常数模拟热路表示电缆, 仅适用于持续时间大于 1h (对于日负荷周期的载流量计算, 这种限制不是主要的), 该方法可计算所有类型的电缆。

2) 计算周期性载流量方法适合于土壤中直埋或管道内敷设的电缆, 该电缆传输的负荷以 24h 为变化周期, 每天的周期波形基本相同。并且认为施加电压的时间足够长, 因而介质损耗引起的导体的温升可达到稳态。在环境温度之上的导体总温升则为介质损耗引起的稳态温升 (如 2.4 节) 和电流变化引起的暂态温升变量的总和。为了确定周期负荷因数只要单独计算电流变化引起的暂态温度变量就已足够。

3) 空气中敷设的电缆导体温度随负荷电流的变化十分快, 通常每天的周期并不会使峰值负荷超过稳态值。

4) 以深度为 1m 和土壤散热系数为 $0.5 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ 的数值作为埋地电缆计算其周期负荷因数的数据, 但该方法也涉及到的其他条件 (例如土壤特性不随时间和空间而变化)。

(2) 忽略电缆热容 如果所考虑的时间相对于电缆热时间常数足够长, 则电缆热容可

忽略。实际上这种方法适用于 18/30 (36) kV 及以下所有电缆, 而且还可以使用第 6 章给出简化计算方法。

对以下情况, 电缆热容可忽略不计:

- 1) 额定电压 18/30 (36) kV 及以下各种类型电缆和任意负荷周期的波形;
- 2) 同时符合下述条件的所有电缆:
 - a) 负荷损耗 μ 不小于 0.65;
 - b) 纵坐标 Y_0 、 Y_1 和 Y_2 的平均值不小于 0.9 (见 7.6 节);
 - c) Y_3 、 Y_4 和 Y_5 的平均值不小于 0.7 (见 7.6 节)。
- 3) 同时符合下述条件的自容式电缆:
 - a) 负荷损失因数不小于 0.4;
 - b) 纵坐标 Y_0 、 Y_1 和 Y_2 的平均值不小于 0.9 (见 7.6 节);
 - c) Y_3 、 Y_4 和 Y_5 的平均值不小于 0.7 (见 7.6 节)。

7.1.3 电缆暂态温度响应

计算 18/30 (36) kV 以上的电缆周期性载流量时电缆内部热容不可忽略。因此, 计算电缆及其周围媒质的暂态温度响应是必要的。

电缆对其导体内阶跃函数电流引起的暂态温度响应取决于电缆本体各组成部分及周围环境所形成的热阻和热容的组合作用。当电缆导体突然施加一个恒定电流时计算电缆温升的方法是将整个热路分成两个单独部分, 其一是电缆外表面之内各组成部分, 其二是电缆周围媒介质。引用到达因数把这两部分的暂态响应加以组合即为整个系统总暂态响应(温升)。

当完成第一部分的暂态之后需要计算出现的导体温度时, 则温升到达因数可认为等于 1。实际上, 这也适合于暂态从初始至更长的时间。

为了计算方便, 对不同敷设类型的电缆热路第一部分作出规定: ①土壤中直埋电缆: 包括外护层的完整的电缆。②空气中电缆: 包括外护层的完整电缆。

电缆用集中常数的热路表示, 为了使计算简便, 热路尽可能简化成最少的单元。考虑到偏差问题, 要遵循所给的规则, 电缆内所有热阻、热容和损耗都是以一根导体或三芯电缆以一根等值导体的为计算对象的。

7.2 持续时间长且为周期负荷下的暂态计算

在持续时间长 ($> \frac{1}{3} TQ$) 且施加阶跃函数电流的情况下电缆完整的暂态温度响应包括电缆本体和周围媒质 (空气和土壤) 两部分应分别计算。以下适合用施加阶跃函数电流的持续时间大于 1h (小时) 左右, 电缆本体各部分参数表达式如下。

7.2.1 绝缘层的表达式

(1) 单芯电缆。用集中热常数表示, 如图 7-2-1 所示, 绝缘层总热容 Q_i 是在导体与金属套之间分开, 使绝缘层中所存储的总热量不变。分配比例因数 p 由下式给出。

图 7-2-1 中 p 的表达式为:

$$p = \frac{1}{2 \ln \left(\frac{D_i}{d_c} \right)} - \frac{1}{\left(\frac{D_i}{d_c} \right)^2 - 1} \quad (7-2-1)$$

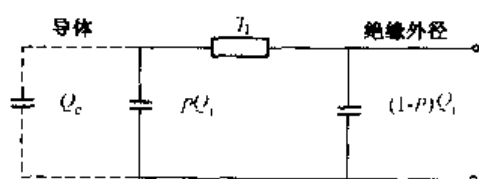


图 7-2-1 时间大于 $1/3 \cdot T \cdot Q$
绝缘表示法

图中 T_i ——每根导体或三芯电缆的等值单芯导体(式 7-2-2)的绝缘层热阻, $K \cdot m/W$;
 Q_i ——每根导体或三芯电缆的等值单芯导体(式 7-2-2)的绝缘层热容, $J/K \cdot m$;
 Q_c ——导体热容, $J/K \cdot m$;
 D_i ——绝缘层直径, mm ;

d_c ——导体直径, mm 。

当有屏蔽层时, 将金属带作为导体或金属部分, 而半导体层(包括金属化纸)则视为绝缘层部分, 相对应部分的尺寸应修正。

(2) 三芯电缆。三芯电缆用散热和导体总损耗相同的等值单芯电缆结构来代替, 等值单芯电缆导体的直径为:

$$d_c = D_i e^{(-2\pi T_i / \rho_i)} \quad (7-2-2)$$

式中 D_i ——与三芯电缆相同的绝缘层直径, mm ;

T_i ——等值单芯电缆的热阻(三芯电缆中一个线芯热阻值的 $1/3$), $K \cdot m/W$;

ρ_i ——绝缘材料热阻系数, $K \cdot m/W$ 。

按下列假设计算热容:

- 1) 实际导体在等值单芯导体直径之内, 而等值导体的其余部分则由绝缘层所占有。
- 2) 等值单芯导体与金属套之间的空间完全被绝缘层所占有(对充油电缆, 该空间部分由管道内总油量所占有, 而其余部分则为油浸纸)。利用等效单芯电缆的尺寸计算 p 也适用于所假设的绝缘层的热容。

7.2.2 电缆的表达式

模拟电缆第一部分热路总是以二支网络表示, 见图 7-2-2。第一支路包括导体和绝缘层内侧的热容以及绝缘层热阻, 第二支路包括电缆其余部分的热容和热阻, 电缆典型示例如图 7-2-3 所示。

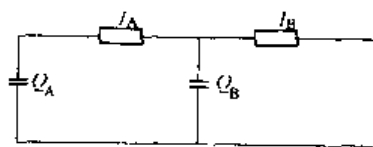


图 7-2-2 计算暂态等效电缆热路

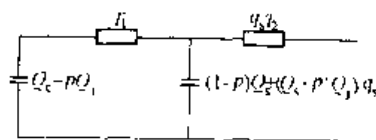


图 7-2-3 常用型电缆热路表示法

(1) 常用型电缆表达式包括以下几个类型:

- 1) 普通型电缆: 可包括实芯和自容式充油纸绝缘电缆、挤出型电缆以及热条件类似结构的电缆。其热阻和热容的表达式如下:



$$T_A = T_1 \quad (7-2-3)$$

$$T_B = q_s T_3 \quad (7-2-4)$$

$$Q_A = Q_c + pQ_i \quad (7-2-5)$$

$$Q_B = (1 - p)Q_i + (Q_s + p'Q_j)/q_s \quad (7-2-6)$$

式中 T_3 ——外护层热阻;

Q_c ——导体或等值单芯导体热容;

Q_s ——金属套或加强带热容;

Q_j ——外护层热容;

q_s ——比率, 用来计及金属套的附加损耗, $q_s = (\text{导体} + \text{金属套})$ 的损耗/导体损耗。

三芯电缆中, 导体用等值的单芯导体表示。

p' 为分配外护层的热容量所用的比例因数, 与分配绝缘层比率所用的方法相同。

$$p' = \frac{1}{2 \ln \left(\frac{D_c}{D_s} \right)} - \frac{1}{\left(\frac{D_c}{D_s} \right)^2 - 1} \quad (7-2-7)$$

式中 D_c, D_s ——分别为电缆外护层的外直径和内直径, mm。

注: 外护层的外部热容可省略, 已证实在确定导体暂态温升时该部分不起主要作用。

2) 钢管型电缆 (高压充油): 热阻和热容表达式如下:

$$T_A = T_1 + \frac{1}{2} \times q_s T_o \quad (7-2-8)$$

$$T_B = \frac{1}{2} \times q_s T_o + q_s T_3 \quad (7-2-9)$$

$$Q_A = Q_c + pQ_i \quad (7-2-10)$$

$$Q_B = (1 - p)Q_i + Q_o/q_s \quad (7-2-11)$$

式中 T_o ——钢管内油的热阻;

T_3 ——钢管外护层热阻;

Q_o ——钢管内油的热容;

q_s ——比率, $q_s = (\text{导体} + \text{屏蔽} + \text{钢管})$ 损耗/导体损耗。

3) 管道内电缆: 热阻和热容表达式如下:

$$T_A = T_1 \quad (7-2-12)$$

$$T_B = q_s (T_3 + T_4' + T_4'') \quad (7-2-13)$$

$$Q_A = Q_c + pQ_i \quad (7-2-14)$$

$$Q_B = (1 - p)Q_i + \frac{Q_s + Q_j + 0.5Q_d}{q_s} \quad (7-2-15)$$

式中 T_4' ——管道内空气的热阻;

T_4'' ——管道的热阻;

Q_a ——管道的热容。

4) 分相铅包铠装电缆 (SL): 热阻和热容表达式如下:

$$T_A = T_i \quad (7-2-16)$$

$$T_B = q_s T_i + q_a T_3 \quad (7-2-17)$$

$$Q_A = Q_c + pQ_i \quad (7-2-18)$$

$$Q_B = (1 - p)Q_i + \frac{Q_s + 0.5Q_f}{q_s} + \left(\frac{q_a T_3}{q_s T_2 + q_a T_3} \right)^2 \left(\frac{0.5Q_f}{q_s} + \frac{Q_a + Q_i}{q_a} \right) \quad (7-2-19)$$

式中 Q_f ——SL 型电缆内填充物的热容;

Q_s ——铠装层热容;

Q_c ——护层和加强带的热容;

q_s ——比率, (导体 + 金属套 + 铠装) 的损耗/导体损耗;

q_a ——比率, (导体 + 金属套) 的损耗/导体损耗。

(2) 前面未及计到的电缆和敷设类型的表达式。前面提出的热路适合于大多数电缆类型, 为了弥补偶然性, 对其他的电缆类型推荐下述方法。

1) 电缆热阻热容梯形网络的建立: 对埋地电缆, 设定电缆护层至土壤内表面; 而空气中电缆, 则为电缆护层至自由空气中。

用稳态载流量的方法计算热阻。

金属部分的热容为相应于电缆内实际位置的集中参数, 用上述 7.2.2 (1) 项的护层置配于热阻系数大的材料的热容 (即绝缘层和护层), 这种方法主要是便于按 7.2.2 (1) 项规定准确地处理绝缘层。

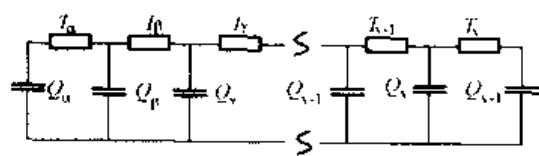


图 7-2-4 代表电缆热网络的示意图

2) 电缆不同组成部分 (单元) 可用热阻和热容表示, 或者用完整的热阻—热容合起来表示, 再把这些单元串联在一起组成一个热路, 如图 7-2-4 所示。当这个网络大于两个支路时, 可减少成两个支路的网络, 如图 7-2-2 所示。

微分热路第一部分 $T_A Q_A$ 由 $T_A = T_o = T_i$ 和 $Q_A = Q_o = (Q_c - pQ_i)$ 组成, 不作修正, 以便在持续时间较短的情况下保持响应的正确性。

微分热路第二部分 $T_B Q_B$ 由剩余部分 $T_\beta Q_\beta$ 至 $T_\gamma Q_\gamma$ 组成。微分热路的集中常数概括如下:

$$T_A = T_o = T_i \quad (7-2-20)$$

$$Q_A = Q_o = Q_c + pQ_i \quad (7-2-21)$$

$$T_B = T_\beta + T_\gamma + T_\delta + \cdots + T_{v-1} + T_v \quad (7-2-22)$$

$$Q_R = Q_\beta + \left(\frac{T_\gamma + T_\delta + \cdots + T_\nu}{T_\beta + T_\gamma + \cdots + T_\nu} \right)^2 Q_\gamma + \left(\frac{T_\delta + T_\epsilon + \cdots + T_\nu}{T_\beta + T_\gamma + \cdots + T_\nu} \right)^2 Q_\delta + \cdots + \left(\frac{T_\nu}{T_\beta + T_\gamma + \cdots + T_\nu} \right)^2 Q_\nu \quad (7-2-23)$$

7.2.3 电缆本体部分的暂态温升计算

(1) 暂态温升计算公式：将图 7-2-2 右边两端短接单独考虑时，就可以按下式求得电缆线路对阶跃函数负荷电流的暂态温升，即导体对电缆表面的暂态温升 $\theta_c(t)$ 为：

$$\theta_c(t) = W_c [T_A(1 - e^{-at}) + T_B(1 - e^{-bt})] \quad (7-2-24)$$

式中 W_c ——一根导体或根据最高导体温度而确定的等效导体单位长度的功率损耗，并假设暂态期间功率损耗为常数。

$$T_A = \frac{1}{a-b} \left[\frac{1}{Q_A} - b(T_A + T_B) \right] \quad (7-2-25)$$

$$T_B = T_A + T_B - T_A \quad (7-2-26)$$

$$a = \frac{M_o + \sqrt{M_o^2 - N_o}}{N_o} \quad (7-2-27)$$

$$b = \frac{M_o - \sqrt{M_o^2 - N_o}}{N_o} \quad (7-2-28)$$

$$N_o = Q_A \cdot T_A \cdot Q_B \cdot T_B \quad (7-2-29)$$

$$M_o = \frac{1}{2} [Q_A \cdot (T_A + T_B) + Q_B T_B] \quad (7-2-30)$$

(2) 温升到达因数 $\alpha(t)$ 计算公式：导体对电缆表面温升到达因数 $\alpha(t)$ 计算公式如下：

$$\alpha(t) = \frac{\theta_c(t)}{W_c(T_A + T_B)} \quad (7-2-31)$$

7.2.4 电缆表面至周围介质的暂态温升计算

(1) 土壤中的电缆：土壤中电缆包括直埋或管道内敷设的电缆，电缆周围介质暂态温升可用指数积分公式来计算。

1) 成组电缆：相同负荷的电缆组内最热电缆外表面的暂态温升为：

$$\theta_s(t) = \frac{\rho_T W_l}{4\pi} \left\{ \left[-E_i \left(\frac{-D_c^2}{16t\delta} \right) - \left[-E_i \left(\frac{-L^2}{t\delta} \right) \right] \right] + \sum_{k=1}^{n-1} \left[-E_i \left(\frac{-d_k^2}{4t\delta} \right) - \left[-E_i \left(\frac{d_k'^2}{4t\delta} \right) \right] \right] \right\} \quad (7-2-32)$$

2) 单根电缆：对于单根孤立敷设的电缆，上述公式中取消求和项，即：

$$\theta_s(t) = \frac{\rho_T W_l}{4\pi} \left\{ -E_i \left(\frac{-D_c^2}{16t\delta} \right) - \left[-E_i \left(\frac{-L^2}{t\delta} \right) \right] \right\} \quad (7-2-33)$$

式中 W_k ——电缆组内一根电缆单位长度总功率损耗，W/m；

D_c ——电缆外径，mm；

L ——最热电埋地深度, mm;

N ——电缆根数;

δ ——土壤散热系数, m^2/s ;

ρ_T ——土壤热阻系数, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$;

t ——发热时间 ($t = 3600i$), s;

d_{pk} ——电缆 k 与最热电埋地 p 的中心间距, mm;

d'_{pk} ——电缆 k 的镜像到最热电埋地 p 的中心间距, mm;

$-E_1(-X)$ ——指数积分函数 (见附录 7 中数字算法)。

(2) 空气中电缆: 对于空气中敷设的电缆, 不需要计算电缆周围介质的单独响应, 将式 (7-2-24) 中用 $(T_b + T_c)$ 取代 T_b 项就可得完整的暂态温升 $\theta(t)$ 。

$$\theta(t) = \theta_c(t)$$

$$\theta_c(t) = W_c [T_a(1 - e^{-a}) + T_b(1 - e^{-b})] \quad (7-2-34)$$

式中 W_c ——一根导体或根据最高导体温度而确定的等效导体单位长度的功率损耗, 并假设暂态期间功率损耗为常数。

1) 实心的单芯电缆、充油电缆, $T_c = q_s \times T_a$ 。

2) 三芯电缆, $T_c = q_s \times T_a$, 当持续时间小于一芯的 $T \times Q$ 之积时, 则 $T_c = 0$ 。

3) 钢管型充油和压气电缆, $T_c = q_r T_a$ 。

4) 钢管型充气电缆, $T_c = q_j T_a$ 。

q_s 、 q_r 、 q_j 、 q_a 按前面的规定计算。

5) 对于其他类型电缆, T_c 值按第 2 章有关中稳态下外部热阻计算, 表达为每根电缆或等效导体的数值。

7.2.5 完整的暂态温升计算

分别计算电缆本体暂态温升和电缆周围介质的暂态温升两部分以及导体至电缆表面的到达因数, 电缆的暂态温升按下述求得:

(1) 土壤中的电缆: 采用简单的相加并修正周围介质部分暂态, 即可得:

$$\theta(t) = \theta_c(t) + \alpha(t)\theta_s(t) \quad (7-2-35)$$

式中 $\theta(t)$ ——导体温升, $^{\circ}\text{C}$;

$\theta_c(t)$ ——导体对电缆表面温升, $^{\circ}\text{C}$, 按式 (7-2-24) 计算;

$\theta_s(t)$ ——电缆表面至周围介质之间的温升, $^{\circ}\text{C}$, 总损耗 W_t 来自电缆表面 ($t = 0$ 开始);

$\alpha(t)$ ——导体与电缆外表面之间的暂态温升到达因数, 按式 (7-2-31) 计算。

(2) 空气中的电缆: 对于空气中的电缆, 不需要计算周围介质的单独响应, 这种情况下, 电缆本体的暂态温升即是电缆完整的暂态温升。即:

$$\theta(t) = \theta_c(t) \quad (7-2-36)$$

式中 $\theta_c(t)$ 按式 (7-2-24) 计算。

7.3 持续时间短的暂态温升计算

以下公式通常适合于持续时间为 10min 至 1h 左右, 亦即负荷电流持续时间在 600s (10min) $\leq \frac{1}{3} TQ$ (T 和 Q 分别为电缆热阻和热容, $T \times Q$ 之积为电缆时间常数)。

7.3.1 绝缘层的表达式

包括单芯和三芯电缆。电缆绝缘层在 $dx = \sqrt{D_i \cdot d_c}$ 直径处分开, 如图 7-3-1 所示, 具有相等热阻的两部分除外。

图中 p'' ——分割绝缘部分的系数, 为:

$$p'' = \frac{1}{\ln\left(\frac{D_i}{d_c}\right)} - \frac{1}{\left(\frac{D_i}{d_c}\right) - 1} \quad (7-3-1)$$

D_i ——绝缘外径, mm;

d_c ——导体直径, mm;

Q_c ——导体或等值单芯导体的热容, J/m · K;

Q_{11} ——第一部分绝缘的热容, $Q_{11} = \sigma \frac{\pi}{4} d_c (D_i - d_c)$, J/m · K;

Q_{12} ——第二部分绝缘的热容, $Q_{12} = \sigma \frac{\pi}{4} D_i (D_i - d_c)$, J/m · K;

σ ——绝缘体积热容, J/m³ · K。

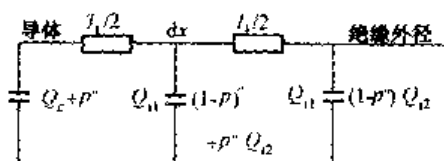


图 7-3-1 持行时间 $\leq (1/3) TQ$ 的绝缘层表示法

7.3.2 电缆的表达式

模拟电缆第一部分热路总是以两分支网络表示, 如图 7-3-2 所示。第一部分包括导体的热容和绝缘层内侧部分的热容和绝缘热阻的一半, 第二部分包括剩余的 π 部分及电缆其余部分。一般情况下, 给出含有两个分支以上的网络表示电缆, 如图 7-3-3 给出的是电缆典型例子。以下给出常用的电缆和敷设类型的常数表达式。

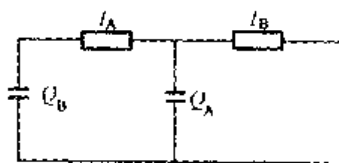


图 7-3-2 暂态响应等效电缆网络

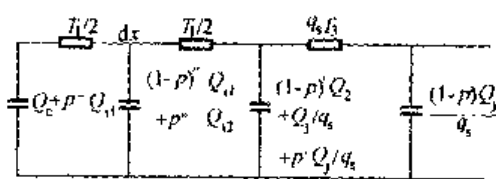


图 7-3-3 持行时间 $\leq (1/3) \cdot T \cdot Q$ 的电缆表示法

(1) 常用电缆类型的表达式包括以下几类:

1) 普通电缆: 包括实心 and 自容式充油纸绝缘电缆、挤包电缆和热条件相似的结构电缆, 其热阻, 热容表达式如下:

$$T_A = \frac{1}{2} T_1 \quad (7-3-2)$$

$$T_B = \frac{1}{2} T_1 + q_1 T_3 \quad (7-3-3)$$

$$Q_A = Q_c + p'' Q_{ii} \quad (7-3-4)$$

$$Q_B = p'' Q_{iz} + (1 - p'') Q_{ii} + \left[(1 - p'') Q_{iz} + \frac{Q_s + p' Q_j}{q_s} \right] \cdot \left(\frac{q_s T_3}{\frac{1}{2} T_1 + q_s T_3} \right)^2 \quad (7-3-5)$$

式中 T_1 ——绝缘层热阻, $K \cdot m/W$;

T_3 ——外护层热阻, $K \cdot m/W$;

Q_c ——导体或等值单芯导体的热容, $J/K \cdot m$;

Q_{ii} ——第一部分绝缘的热容, $J/K \cdot m$;

Q_{iz} ——第二部分绝缘的热容, $J/K \cdot m$;

Q_j ——外护层的热容, $J/K \cdot m$;

Q_s ——护套或加强带的热容, $J/K \cdot m$;

q_s ——比率, [导体 + 金属套 (或屏蔽)] 损耗/导体损耗;

p'' ——绝缘层的热容比例分配因数, 式 (7-3-1);

p' ——外护层的热容比例分配因数, 式 (7-2-7)。

由于假设输出端短路, 因而最后一项 $(1 - p') Q_j / q_s$ (见图 7-3-3) 可省略。

2) 钢管型电缆 (高油压充油) 其热阻、热容表达式如下:

$$T_A = \frac{1}{2} T_1 \quad (7-3-6)$$

$$T_B = \frac{1}{2} T_1 + q_s T_o + q_s T_3 \quad (7-3-7)$$

$$Q_A = Q_c + p'' Q_{ii} \quad (7-3-8)$$

$$Q_B = (1 - p'') Q_{ii} + Q_{iz} \quad (7-3-9)$$

式中 T_o ——钢管内油的热阻, $K \cdot m/W$;

T_3 ——钢管外护层热阻, $K \cdot m/W$;

Q_o ——钢管内油的热容, $J/K \cdot m$;

q_s ——比率, (导体 + 屏蔽 + 钢管) 损耗/导体损耗。

对于其他钢管型 (压气、电缆竖直敷设、充气和铠装) 电缆参阅 IEC60853.2 (1989)。

3) 管道内电缆其热阻、热容表达式如下:

$$T_A = \frac{1}{2} T_1 \quad (7-3-10)$$

$$T_B = \frac{1}{2} T_1 + q_s (T_3 + T_4' + T_4'') \quad (7-3-11)$$

$$Q_A = Q_c + p'' \frac{1}{2} Q_{ii} \quad (7-3-12)$$

$$Q_B = (1 - p'') Q_{ii} + 0.3 Q_{iz} \quad (7-3-13)$$

式中 T_A' ——管道内空气的热阻, $K \cdot m/W$;

T_A'' ——管道的热阻, $K \cdot m/W$ 。

(2) 所有类型的三芯电缆直接埋地或管道内埋地的表达式

1) 对于暂态初始部分即持续时间到 $T \cdot Q$ 之积 (T —线芯热阻, Q —线芯热容), 计算参数为:

$$T_A = \frac{1}{2} T_1 \quad (7-3-14)$$

$$T_B = \frac{1}{2} T_1 \quad (7-3-15)$$

$$Q_A = Q_c + p'' Q_{11} \quad (7-3-16)$$

$$Q_B = (1 - p'') Q_{11} + Q_{12} \quad (7-3-17)$$

式中参数 T_1 、 Q_c 、 Q_{11} 和 Q_{12} 均指一芯, 各芯之间的热效应可忽略。

2) 对于持续时间约 $0.5T \times Q$ (参数 T 和 Q 均指整根电缆) 或更长时, 如果计入电缆周围土壤的影响, 则按 7.2 节计算暂态。

3) 对于持续时间在 $T \times Q$, $0.5T \times Q$ 之间, 暂态计算中的 T 在线性的温升/对数时间轴上用线性插值法求得。

(3) 前面未计及的电缆和敷设类型的表达方式: 前面提出大多数电缆的类型热路, 为了弥补偶然性, 对上述未涉及到的电缆类型推荐 7.2.2 节 (2) 项方法。

7.3.3 土壤中电缆暂态温升计算

(1) 电缆本体部分暂态温升:

1) 暂态温升的计算。如果将图 7-3-2 右侧的两端短路而单独考虑时, 可按下式求得 7.3.2 节条的热路对阶跃函数负荷电流的暂态温升响应。即导体对电缆表面的暂态温升 $\theta_c(t)$ 为:

$$\theta_c(t) = W_c [T_a(1 - e^{-a}) + T_b(1 - e^{-b})] \quad (7-3-18)$$

式中 W_c ——一根导体或根据最高导体温度而确定的等效导体单位长度的功率损耗, 并假设暂态期间功率损耗为常数。

$$T_a = \frac{1}{a-b} \left[\frac{1}{Q_A} - b(T_A + T_B) \right] \quad (7-3-19)$$

$$T_b = T_A + T_B - T_a \quad (7-3-20)$$

$$a = \frac{M_o + \sqrt{M_o^2 - N_o}}{N_o} \quad (7-3-21)$$

$$b = \frac{M_o - \sqrt{M_o^2 - N_o}}{N_o} \quad (7-3-22)$$

$$N_o = Q_A \cdot T_A + Q_B \cdot T_B \quad (7-3-23)$$

$$M_o = \frac{1}{2} [Q_A(T_A + T_B) + Q_B \cdot T_B] \quad (7-3-24)$$

2) 暂态温升到达因数 $\alpha(t)$ 。导体对电缆表面之间的暂态温升到达因数 $\alpha(t)$:

$$\alpha(t) = \frac{\theta_c(t)}{W_c(T_A + T_B)} \quad (7-3-25)$$

(2) 电缆表面至周围土壤的暂态温升:

1) 直埋地电缆表面至周围土壤的暂态温度响应:

a) 单芯电缆。对于单芯直埋电缆, 电缆周围土壤的影响是随时间而增加的, 而且即使在 $1/3 \cdot T \cdot Q$ 时间范围内仍然有很大影响。如果利用现有的计算方法, 有关土壤的影响就与 7.2.4 所给的较长的持续时间的情况相符合, 但由于镜像项可忽略, 还可以简化。

电缆周围介质暂态响应可用指数积分公式来计算, 电缆组的外部热阻采用第 2 章有关方法计算, 成组电缆中相同负荷的电缆组最热电缆外表面的暂态温升为:

$$\theta_c(t) = \frac{\rho_r W_1}{4\pi} \left\{ \left[-E_i \left(\frac{-D_c^2}{16t\delta} \right) \right] + \sum_{k=1}^{N-1} \left[-E_i \left(\frac{-d_{pk}^2}{4t\delta} \right) \right] \right\} \quad (7-3-26)$$

在持续时间短的情况下, 除非电缆相互邻接或间距很近, 求和项大致都可忽略。

式中 W_1 ——电缆组内一根电缆单位长度总功率损耗, W/m;

D_c ——电缆外径, mm;

L ——最热电缆埋地深度, mm;

N ——电缆根数;

δ ——土壤散热系数, m^2/s ;

ρ_r ——土壤热阻系数, $K \cdot m/W$;

t ——发热时间 ($t = 3600i$), s;

d_{pk} ——电缆 k 与最热电缆 p 的中心间距, mm;

$-E_i(-x)$ ——指数积分函数 (见附录 6.2)。

b) 三芯电缆: 当持续时间达 $1/3 \cdot T \cdot Q$ 的情况, 土壤对三芯直埋电缆的影响可忽略, 而对于单根孤立敷设的电缆上述公式中取消求和项。

2) 管道内的电缆: 当持续时间达 $1/3 \cdot T \cdot Q$ 的情况, 土壤对敷设在管道内的所有类型电缆的影响可忽略。

(3) 电缆完整的暂态温升: 分别计算电缆本体暂态温升和电缆周围介质的暂态温升两部分以及导体至电缆表面的到达因数后, 电缆(直埋或管道中)的暂态温升可由下式求得:

$$\theta(t) = \theta_c(t) + \alpha(t) \cdot \theta_s(t) \quad (7-3-27)$$

式中 $\theta(t)$ ——环境温度之上的导体温升, $^{\circ}C$;

$\theta_c(t)$ ——导体对电缆表面的温升, $^{\circ}C$;

$\theta_s(t)$ ——电缆表面至周围介质之间的温升, $^{\circ}C$, 总损耗来自电缆表面 ($t=0$ 开始);

$\alpha(t)$ ——导体与电缆外表面之间的暂态温升到达因数。

7.3.4 空气中电缆暂态温升计算

对于空气中敷设的电缆, 不需要计算电缆周围介质的单独温升, 将 7.3.3 节中公式用

($T_B + T_C$) 取代 T_B 项就可得完整的暂态响应 $\theta(t)$ 。

(1) 电缆本体暂态温升

$$\theta_c(t) = W_c [T_a(1 - e^{-at}) + T_b(1 - e^{-bt})] \quad (7-3-28)$$

式中 W_c ——一根导体或根据最高导体温度而确定的等效导体单位长度的功率损耗，并假设暂态期间功率损耗为常数。

$$T_a = \frac{1}{a-b} \left[\frac{1}{Q_A} - b(T_A + T_B + T_C) \right] \quad (7-3-29)$$

$$T_B = (T_A + T_B + T_C) - T_a \quad (7-3-30)$$

$$a = \frac{M_0 + \sqrt{M_0^2 - N_0}}{N_0} \quad (7-3-31)$$

$$b = \frac{M_0 - \sqrt{M_0^2 - N_0}}{N_0} \quad (7-3-32)$$

$$N_0 = Q_A \cdot T_A \times Q_B \cdot (T_B + T_C) \quad (7-3-33)$$

$$M_0 = \frac{1}{2} [Q_A(T_A + T_B + T_C) + Q_B \cdot (T_B + T_C)] \quad (7-3-34)$$

关于 T_C 的取值：

- 1) 实心的单芯电缆、充油电缆， $T_C = q_s T_A$ ；
- 2) 三芯电缆， $T_C = q_s T_A$ ，当持续时间小于一芯的 TQ 之积时，则 $T_C = 0$ ；
- 3) 钢管型充油和压气电缆： $T_C = q_s T_A$ ；
- 4) 钢管型充气电缆： $T_C = q_j T_A$ 。

关于 q_s 、 q_c 、 q_j 、 q_a 前面已经规定， T_A 按第2章中空气热阻公式计算。

(2) 电缆完整的暂态温度响应。对于空气中的电缆，不需要计算周围介质的单独响应，这种情况下，电缆本体的暂态温升即是电缆完整的暂态温升。即：

$$\theta(t) = W_c [T_a(1 - e^{-at}) + T_b(1 - e^{-bt})] \quad (7-3-35)$$

7.4 某些参数变化对暂态温升的校正

7.4.1 导体损耗随温度变化时的暂态温升的校正

在暂态过程期间，导体电阻随温度的变化而使导体损耗也随温度和时间而变化，按导体损耗随温度变化的允许值求得校正的温升为：

$$\theta_s(t) = \frac{\theta(t)}{1 + \alpha[\theta(\infty) - \theta(t)]} \quad (7-4-1)$$

式中 $\theta(t)$ ——在环境温度之上的导体温升，变化的导体损耗未校正，是根据暂态终结时的导体电阻确定的；

$\theta(\infty)$ ——环境温度之上的导体稳态温升；

α ——暂态起始时导体材料电阻率的温度系数， $\alpha = 1/(\beta + \theta_j)$ ；

β ——0℃时温度系数的倒数；

θ_j ——暂态起始时导体温度。

7.4.2 突然施加电压引起的暂态温升

前面均设定介质损耗引起导体的温升已达到其稳态, 并且在暂态期间任一时刻的总温度都简单地把介质损耗引起的温升与负荷电流引起的暂态温升相加求得。如果在系统电压下同时施加负荷电流, 则必须计算介质损耗引起的附加暂态温升。以下是 275kV 电压等级的电缆由于计及介质损耗引起的附加暂态温升计算。

(1) 275kV 及以下电缆: 对于长的持续时间 ($> 1/3 TQ$) 情况下, 足以假设介质损耗的一半在导体产生, 而另一半则在线芯屏蔽或金属套上产生。用 7.2 节所给的方法求解电缆热路, 即按导体比例分配的绝缘热容系数的比率 p 与计算焦耳损耗引起的暂态所用的比率相同, 唯一差别是介质损耗的 $W_d/2$ 来自导体而比率 q_s 、 q_c 、 q_d 、 q_i 始终等于 2。

对于短的持续时间 [$\leq (1/3) TQ$] 与上述方法相同, 但按比例分配的绝缘层热容不同的分配因数 p 按 7.3 节求得。

(2) 275kV 以上电缆: 这种情况下, 介质损耗占总损耗的主要部分 (纸绝缘电缆), 绝缘层热容分配到导体和护套的分配因数 p 由下式给出:

$$p_d = \frac{\left[\left(\frac{D_i}{d_c} \right)^2 \cdot \ln \left(\frac{D_i}{d_c} \right) \right] - \left[\ln \left(\frac{D_i}{d_c} \right) \right]^2 - \frac{1}{2} \left[\left(\frac{D_i}{d_c} \right)^2 - 1 \right]}{\left[\left(\frac{D_i}{d_i} \right)^2 - 1 \right] \left[\ln \left(\frac{D_i}{d_c} \right) \right]^2} \quad (7-4-2)$$

式中 D_i ——绝缘外径, mm;

d_c ——导体直径, mm。

热路的其余部分 (金属套外部) 与导体损耗的情况相同, 起始于导体的介质损耗系数仍可视为 $W_d/2$, 而比率 q_s 、 q_c 、 q_s 、 q_i 则等于 2。

7.5 周期性负荷因数 M 的计算

7.5.1 概述

用 M 表示周期负荷因数, 该因数乘以稳态下允许载流量 (100% 负荷因数) 就可得到日 (24h) 周期内允许电流峰值。这样, 在周期内导体达到但不超过标准允许的最高工作温度, 以该方法确定的因数就是以稳态下最高允许温度作为参考的, 周期负荷因数仅取决于日周期波形, 与实际电流值无关。

确定日周期电流的损失因数 μ (见 7.6 节) 是先将周期分解成 1h 的矩形脉冲波, 只要考虑到每个脉冲与最高温度时刻之间的时间段, 把每小时的矩形波响应相加就可求得电缆和土壤对整个损耗周期的温升响应。只需要最高导体温度时刻之前 6h 范围内的负荷周期数据, 用平均值足以准确的代表初始值。损耗因数 μ 取平均值, 可日测确定最高导体温度的时间。注意虽然最高温度的时间经常发生在最大电流时期的末端, 但并非总是如此。

设施加相当于电流 I_R 的阶跃函数损耗之后 i h 内的导体温升为 $\theta_R(i)$, 那么对日周期电流 (其峰值为额定电流) 而言, 最高导体温升为:

$$\theta_{\max} = Y_0 \theta_R(1) + Y_1 [\theta_R(2) - \theta_R(1)] + Y_2 [\theta_R(3) - \theta_R(2)] + \dots$$

$$+ Y_5 [\theta_R(6) - \theta_R(5)] + \mu [\theta_R(\infty) - \theta_R(6)] \quad (7-5-1)$$

$$M = \sqrt{\frac{\theta_R(\infty)}{\theta_{\max}}} \quad (7-5-2)$$

式中 $Y_0, Y_1, \dots, Y_5$ 为最高温度到达时刻之前 6h(小时)负荷损耗周期的纵坐标(7.6 节)。

7.5.2 周期性负荷因数的计算 (包括电缆热容)

(1) 已知波形的任意负荷周期。周期负荷因数由下式给出:

$$M = \frac{1}{\sum_{i=0}^5 Y_i \left[\frac{\theta_R(i+1)}{\theta_R(\infty)} - \frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)} \right] + \mu \left[1 - \frac{\theta_R(6)}{\theta_R(\infty)} \right]^{1/2}} \quad (7-5-3)$$

$$\frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)} = [1 - k + k \cdot \beta(i)] \cdot \alpha(i)$$

式中 $\theta_R(0) = 0$;

$\beta(i)$ 为电缆或管道外表面的到达因数, 即 i 时刻的温升与稳态温升的比值;

$\alpha(i)$ 为导体高于电缆表面的温升到达因数;

$\frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)}$ 的计算式在 7.7 节中给出。

(2) 平顶负荷周期。平顶负荷周期最大电流至少持续 6h, 除了最高温度出现在持续最大电流的末端外, 其余波形无限制。

1) 对于孤立的三芯电缆可由下式求得周期性负荷载流量因数:

$$M = \frac{1}{\sqrt{1 - (1 - \mu) \left[1 - \alpha(6) + k \cdot \alpha(6) [1 - \beta(6)] \right]}} \quad (7-5-4)$$

式中 $\alpha(6)$ 由式 (7-7-1) 求得;

i 以 h 表示。

$1 - \beta(6)$ 可从表 7-5-1 中查出, 如果必要可按下面方法计算: 因数 $[1 - \beta(6)]$ 取决于土壤的特性和埋地深度以及电缆或管道直径。表 7-5-1 所列数值是指埋地深度为 1m, 土壤散热系数为 $0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。这些数值可适用于电缆或管道埋地深度为 0.75 ~ 1.5m 范围内。对于其他埋地深度和土壤散热系数该值可由下式求得:

表 7-5-1 对土壤散热系数 $\delta = 0.5 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$ 时的 Φ_1 和 $[1 - \beta(6)]$ 的值

D_c	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.055	0.060	0.065	0.070	0.075	0.080
$1 - \beta(6)$	0.521	0.538	0.553	0.568	0.581	0.594	0.605	0.617	0.627	0.638	0.648
D_c	0.085	0.090	0.095	0.100	0.105	0.110	0.115	0.120	0.125	0.130	0.135
$1 - \beta(6)$	0.657	0.667	0.676	0.684	0.693	0.701	0.709	0.716	0.724	0.731	0.738
D_c	0.140	0.145	0.150	0.155	0.160	0.165	0.170	0.175	0.180	0.185	0.190
$1 - \beta(6)$	0.745	0.752	0.758	0.765	0.771	0.777	0.783	0.789	0.794	0.800	0.805
D_c	0.195	0.200	0.205	0.210	0.215	0.220	0.225	0.230	0.235	0.240	0.245
$1 - \beta(6)$	0.811	0.816	0.821	0.826	0.830	0.835	0.840	0.844	0.848	0.853	0.857

注 D_c ——电缆直径或管道外径, m。

$$[1 - \beta(6)] = 1 - \frac{E_1 \left(\frac{-D_c^2}{16t\delta} \right)}{2 \ln \left(\frac{4L}{D_c} \right)} \quad (7-5-5)$$

$$t = 6 \times 3600(\text{s})。$$

因数 k 和 k_1 [见式 (7-7-3)、式 (7-7-10) 和式 (7-7-12)] 取决于埋地深度和土壤热阻系数, 如果已知条件 “a” 值, 改为条件 “b”, 则 k 的新值由下式给出:

$$k(b) = \frac{1}{1 + \frac{T_4}{T'_4} \left(\frac{1 - k(a)}{k(a)} \right)} \quad (7-5-6)$$

式中 T_4 、 T'_4 ——分别为条件 “a” 和 “b” 的外部热阻。

如果深度不变, 则 $T_4/T'_4 = \rho(a)/\rho(b)$, 同样方法求得 k_1 的新值。7.7 节给出 k 值的计算式。

2) 对于等负荷的电缆或管道非邻接的电缆组, 周期性负荷载流量因数为:

$$M = \frac{1}{\sqrt{\frac{\theta_R(6)}{\theta_R(\infty)} + \mu \left[1 - \frac{\theta_R(6)}{\theta_R(\infty)} \right]}} \quad (7-5-7)$$

$\frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)}$ 由式 (7-7-6) 求得。

(3) 波形未知而损耗 - 负荷因数已知的负荷周期: 该周期可认为是平顶周期, 利用上述 (2) (平顶负荷周期) 公式计算。

7.6 损耗 - 负荷因数 μ 的计算

(1) 日负荷周期按周期比例表示 24h 数值, 令其最大值为单位值, 见图 7-6-1 (a)。

(2) 每小时的数值平方求得代表电缆焦耳损耗周期内 24 个数值, 见图 7-6-1 (b)。

(3) 阶跃函数绘成阶跃曲线, 求得与原始值大致的相同平均值的阶跃曲线, 见图 7-6-1 (c)。

(4) 用 Y_0 、 Y_1 、 Y_2 、 $\dots$ 、 Y_{23} [见图 7-6-1 (c)] 表示出现最高温度时刻之前 6h 时间段的阶跃曲线坐标, 用目视确定最高温度时刻, 注意最高温度时刻经常出现在最大电流时刻的末端, 但并非总是如此。温度也取决于那个时刻之前。因此, 表 7-6-4 和图 7-6-1 所给的示例, 最高温度发生在 17.5h, 而电流最大值却在 8h。还应注意, 绘制图 7-6-1 负荷与损耗 - 负荷曲线所用的特定方法是假设表 7-8-4 数值适用于每次观察前后各延伸 1.5h 的时间段。

(5) 在该周期中其余的坐标依次指定为 Y_6 、 Y_7 、 $\dots$ 、 Y_{23} , 这样 Y_{23} 就靠近 Y_0 。

(6) 损耗 - 负荷因数 μ 按下式计算:

$$\mu = \frac{1}{24} \sum_{i=0}^{23} Y_i \quad (7-6-1)$$

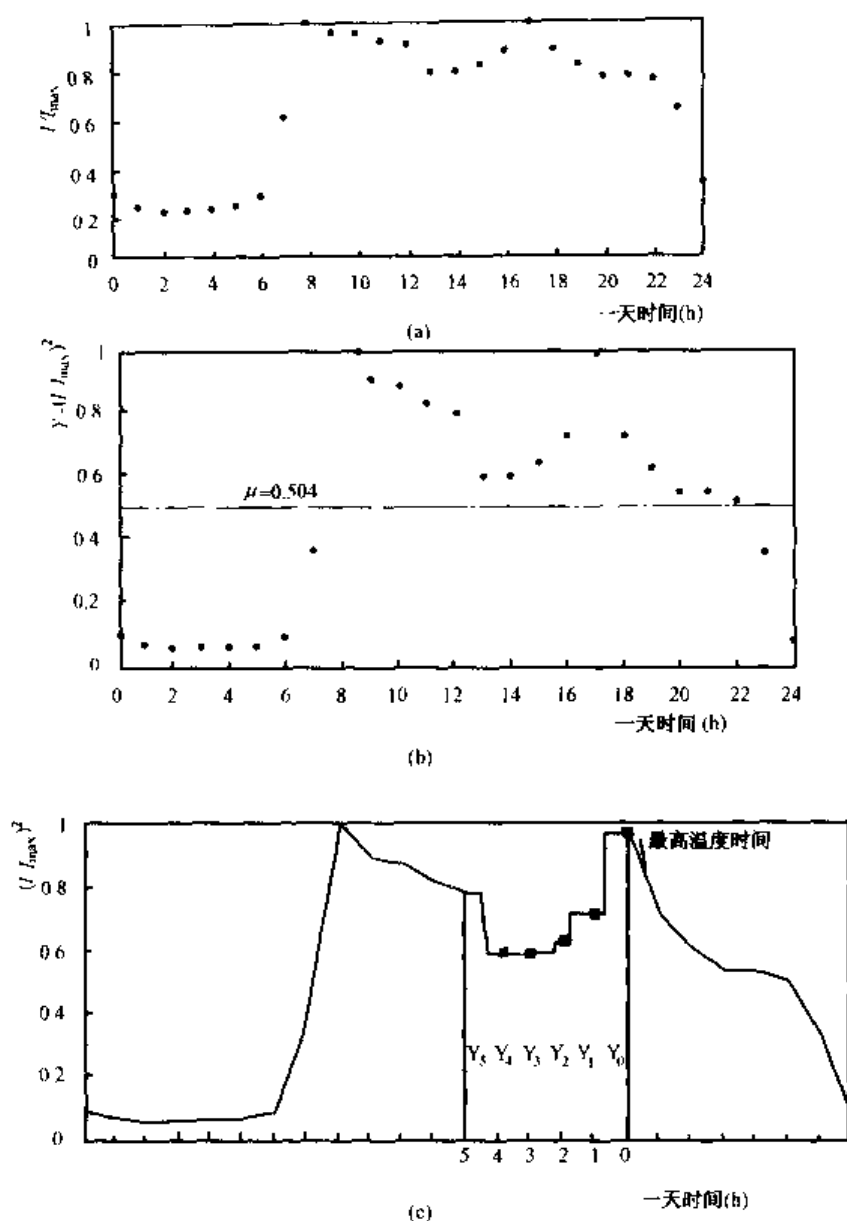


图 7-6-1 负荷曲线

(a) 负荷周期/最高负荷; (b) 负荷损耗图; (c) 等效于阶跃函数的
负荷周期损耗

7.7 $\frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)}$ 的计算

7.7.1 孤立敷设的单根三芯电缆

一根直埋或管道中单根三芯电缆:

$$\alpha(t) = \frac{T_a(1 - e^{-at}) + T_b(1 - e^{-bt})}{T_A + T_B} \quad (7-7-1)$$

$$\beta(i) = \frac{-E_1\left(\frac{-D_c^2}{16t\delta}\right) - \left[-E_1\left(\frac{-L^2}{t\delta}\right)\right]}{2\ln\left(\frac{4L}{D_c}\right)} \quad (7-7-2)$$

$$k = \frac{W_1 \cdot T_4}{W_c(T_A + T_B) + W_1 \cdot T_4} \quad (7-7-3a)$$

式中

D_c ——电缆直径或管道外径, mm;

$t = 3600i$;

T_a 、 T_b 、 T_A 、 T_B 、 a 、 b ——按式 (7-2-2) 确定等值于单芯电缆参数, 依据 7.3.2 节和 7.3.3 节计算;

W_1 ——额定温度下电缆单位长度总的焦耳损耗功率;

W_c ——额定温度下一根导体单位长度焦耳损耗功率;

T_4 ——单根孤立敷设电缆或管道外部热阻。

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \frac{4L}{D_c} \quad (7-7-3b)$$

$-E_1(-x)$ 指数积分函数, 见附录 6。

注: 对于时间达 6h 时“镜像”项 [式 (7-7-2) 分子中第二项] 可忽略。

则:

$$\frac{\theta(t)}{\theta_R(\infty)} = [1 - k + k\beta(t)] \cdot \alpha(t) \quad (7-7-4)$$

用 i 表示 t 小时, 则:

$$\frac{\theta(t)}{\theta_R(\infty)} = [1 - k + k\beta(i)] \cdot \alpha(t) \quad (7-7-5)$$

该表达式可对 $i = 1, 2, 3, 6$ 求解。

式中 t ——单位是 s;

i ——单位是 h。

7.7.2 孤立线路

- (1) 三角形或平面排列相互接触的三根单芯电缆;
- (2) 三角形或平面排列相互接触的管道中的三根单芯电缆;
- (3) 钢管型电缆, 除下述情况外, 均与 7.7.1 节的方法相同。
 - 1) 外部热阻 T_4 按第 2 章管道内电缆以三角形或平面相互接触相应的公式计算。
 - 2) W_1 是单根电缆或管道单位长度的总功率损耗。
 - 3) 所用的电缆或管道的外径值为单独电缆或管道的外径值。

7.7.3 等损耗“N”的电缆群、非邻接的电缆或管道

在这种情况下, $\theta_R(i)$ 为组内最热电缆的导体温升。

$$\frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)} = [1 - k_1 + k_1\gamma(i)] \cdot \alpha(i) \quad (7-7-6)$$

式中 k_1 ——组内所有电缆均有相等的损耗且在稳态下电缆 (或管道) 表面温升与导体温

升之比;

$\alpha(i)$ ——按式 (7-7-1) 求得, 以 h 计 ($t = 3600i$);

$\gamma(i)$ ——按下式求得, i 以 h 计。

对于时间在 6h 及以下的情况, 镜像项 [式 (7-7-7) 的分子第二和第四项] 可忽略。

$$\gamma(i) = \frac{-E_i\left(\frac{-D_c^2}{16t\delta}\right) - \left[-E_i\left(\frac{-L^2}{t\delta}\right)\right] + (N-1)\left\{-E_i\left(\frac{-d_i^2}{16t\delta}\right) - \left[-E_i\left(\frac{-L^2}{t\delta}\right)\right]\right\}}{2\ln\left(\frac{4LF}{D_c}\right)} \quad (7-7-7)$$

式中 $t = 3600i$

$$F = \frac{d_{p1}' \cdot d_{p2}' \cdots d_{pk}' \cdots d_{pN}'}{d_{p1} \cdot d_{p2} \cdots d_{pk} \cdots d_{pN}} \quad (7-7-8)$$

d_{pp}'/d_{pp} 项除外, 仅给出 $(N-1)$ 项。

$$d_i = \frac{4L}{F^{1/(N-1)}} \quad (7-7-9)$$

d_{pk} 、 d_{pk}' ——按图 7-7-1 所规定的距离。对于 $\alpha(i)$ 和 $\gamma(i)$ 所用的 D_c 和 L 值是指一电缆群内最热电 缆或含有最热电 缆的管道相应数值。

$$k_1 = \frac{W_1(T_4 + \Delta T_4)}{W_c(T_A + T_B) + W_1(T_4 + \Delta T_4)} \quad (7-7-10)$$

式中 T_4 ——为孤立敷设时群内最热电 缆的外部热阻。

$T_4 + \Delta T_4$ ——为计及损耗并假设电缆群所有电 缆的损耗均相等的情况下最热电 缆的外部热阻; 相当于所有电 缆工作在 100% 持续电流下, 群内最热电 缆单位长度导体焦耳损耗为 W_c , 电 缆焦耳损耗为 W_1 。

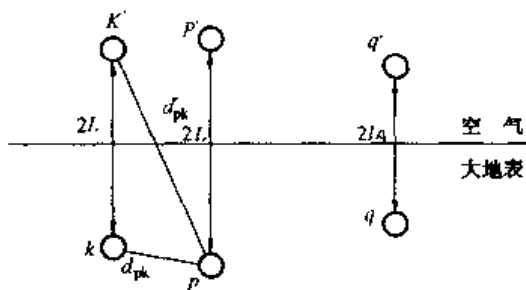


图 7-7-1 q 根电 缆群及一地面为对称

$$\Delta T_4 = \frac{\rho_T \cdot \ln F}{2\pi} \quad (7-7-11)$$

k_1 值也可以按下式计算:

$$K_1 = \frac{W_1(T_4 + \Delta T_4)}{\theta(\infty)} \quad (7-7-12)$$

7.7.4 “N” 线路群

线路群系指均等且相互接触的三根单芯电 缆或管道为一组, 所有电 缆具有相等损耗。

该方法相同于 7.7.3 节中所给的方法, 下述情况除外:

(1) 取决于 k_1 值的外部热阻 T_4 与三个相互接触的电 缆或管道孤立线路有关 (见 7.7.2 节)。

(2) 为计算 $\gamma(i)$ 、 F 和 d_i 在式 (7-7-7)、式 (7-7-8) 和式 (7-7-9) 中所用的 N 值是

线路条数（每条线路三根单芯电缆）； d_{pk} 和 d'_{pk} 见图7-7-1；

d_{pk} ——从线路 k 的中心到含有最热电缆线路 p 中心的距离；

d'_{pk} ——从线路 k 的镜像中心到含有最热电缆线路 p 中心的距离。

(3) F 值如按上述(2)项求得，则式(7-7-11)的右侧项应乘以3。

(4) W_1 为每根电缆或管道单位长度的总焦耳损耗。

(5) 计算 $\gamma(i)$ 所设定的电缆或管道的直径值为单独电缆或管道的直径值。

7.8 周期性负荷载流量计算示例

7.8.1 基本条件和资料

(1) 基本条件：三根单芯电缆相邻非接触平面排列组成的孤立线路系统，给出下述情况的计算示例：

1) 电缆中心的暂态温度响应在第一个24h周期内施加阶跃函数电流之后，假定该电缆通以电流的时间足够长而由于介质损耗引起的温升已达到稳态。

2) 在通常日负荷基础上施加图(7-6-1)a日负荷周期情况下的周期性载流量。

3) 部分电缆负荷达到稳态后任意6h时间段内应急负荷下温度极限为正常工作温度。

这些适用于时间大于1h的简单方法计算，但仍可提供一个在任何条件下的计算导则。

(2) 电缆和敷设资料：单回路电压400kV自容充油电缆系统，铜导体截面 2000mm^2 ，直埋地深度1000mm，电缆中心间距300mm交叉敷设，连续载流量为1580A（100%负荷因数），运行时导体温度 85°C ，土壤环境温度为 10°C 。

线路通电时间足够长，在未加负荷的情况下，由于介质损耗引起导体稳定温升为 19.3°C 。

电缆结构等参数资料列于表7-8-1。

表 7-8-1

电 缆 数 据

项 目	外径 (mm)	热阻 ($\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$)	热容 ($\text{J}/\text{K} \cdot \text{m}$)	损耗 (W/m)
导体	57.5	—	7038	30.30
油	—	—	946	—
导体屏蔽	59.0	0.021	275	—
绝缘 (纸/油)	105.0	0.459	11850	13.35
线芯屏蔽	106	0.008	331	—
护套 (铅)	114.0	—	2004	2.1
外护层	122.0	0.038	3559	—
合 计		0.526	26003	45.75
时间常数	$T \times Q = 0.526 \times 26003 = 13677\text{s} \approx 3.8\text{h}$			

土壤特性：土壤热阻系数 $\rho_w = 1.0 (\text{K} \cdot \text{m}/\text{W})$ 土壤散热系数 $\delta = 0.5 \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$

环境温度 $\theta_0 = 10 (^\circ\text{C})$

材料特性：护层热阻系数 $= 3.5 (\text{K} \cdot \text{m}/\text{W})$ (油/纸)热阻系数 $= 5.0 (\text{K} \cdot \text{m}/\text{W})$

导体特性：交流电阻 $(85^\circ\text{C}) = 12.612 \times 10^{-6} (\Omega/\text{m})$

7.8.2 求解电缆热路

从表 7-8-1 中可求得表示绝缘 (见图 7-2-1, 即 7.2.1 节) 的数据如下:

$$Q_c = 7038 + 946 = 7984 \quad (\text{J/K} \cdot \text{m})$$

$$Q_i = 275 + 11885 + 331 = 12456 \quad (\text{J/K} \cdot \text{m})$$

$$T_i = 0.021 + 0.459 + 0.008 = 0.488 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

$$p = \frac{1}{2 \ln \frac{106}{57.5}} - \frac{1}{\left(\frac{106}{57.5}\right)^2 - 1} = 0.4$$

引用 7.2.1 中的公式确定电缆的数据, 见图 7-2-2:

$$T_A = T_i = 0.488 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

$$q_s = (30.3 + 2.1)/30.3 = 1.069$$

$$T_B = 1.069 \times \frac{3.5}{2\pi} \times \ln \frac{122}{114} = 0.04 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

$$Q_A = 7984 + 0.4 \times 12456 = 12966 \quad (\text{J/K} \cdot \text{m})$$

$$p' = \frac{1}{2 \ln \left(\frac{122}{114}\right)} - \frac{1}{\left(\frac{122}{114}\right)^2 - 1} = 0.489$$

$$Q_B = (1 - 0.40) \times 12456 + \frac{2004 + 0.489 \times 3559}{1.069} = 10976 \quad (\text{J/K} \cdot \text{m})$$

7.8.3 电缆暂态温升计算

加载额定值阶跃函数电流后, 对第一个 24h 周期内按 7.8.2 节计算电缆系统的暂态响应时, 首先假定电缆带电时间足够长且未加负荷情况下介质损耗引起的温升已达到稳态。

(1) 电缆本体温升 [依据式 (7-2-25) ~ 式 (7-2-30) 计算]

$$M_0 = \frac{1}{2} [12966 \times (0.488 + 0.04) + 10976 \times 0.04] = 3643 \quad (\text{s})$$

$$N_0 = 12966 \times 0.488 \times 10976 \times 0.04 = 2.778 \times 10^6 \quad (\text{s}^2)$$

$$a = \frac{3643 + \sqrt{3643^2 - 2.778 \times 10^6}}{2.778 \times 10^6} = 2.48 \times 10^{-3} \quad (1/\text{s})$$

$$b = \frac{3643 - \sqrt{3643^2 - 2.778 \times 10^6}}{2.778 \times 10^6} = 1.45 \times 10^{-4} \quad (1/\text{s})$$

$$T_s = \frac{1}{2.48 \times 10^{-3} - 1.45 \times 10^{-4}} \left[\frac{1}{12966} - 1.45 \times 10^{-4} (0.488 \times 0.04) \right]$$

$$= 2.42 \times 10^{-4} \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

$$T_b = 0.488 + 0.04 - 2.42 \times 10^{-4} = 0.528 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W})$$

由式 (7-2-24) 确定每一阶跃时间段的暂态温升。下面给出 1h (3600s) 的示例, 该时间和其他时间的数据列于表 7-8-3。

$$\theta_c(1) = 30.3 \times [2.42 \times 10^{-4} \times (1 - e^{-0.00248 \times 3600})$$

$$+ 0.528 \times (1 - e^{-0.000145 \times 3600})] = 6.5 \quad (\text{K})$$

由式 (7-2-31) 可确定每一个阶跃时间导体至电缆截面的到达因数。下面给出 1h (3600s) 的示例。该时间和其他时间的数值列于表 7-8-5。

$$\alpha = \frac{6.5}{30.3 \times (0.488 + 0.04)} = 0.407$$

(2) 电缆周围媒质的暂态温升。电缆周围媒质的暂态温升响应按式 (7-2-32) 计算, 本例列出最长时间 (24h) 的计算数据, 该时间和其他时间的 $-E_1(-x)$ 项的数值列于表 7-8-2。

$$D_c = 0.122 \text{ m}$$

$$L = 1.0 \text{ m}$$

$$d_{pk} = 0.3 \text{ m}$$

$$d_{pk}' = [0.3^2 + (2.0)^2]^{1/2} = 2.022 \text{ m} \quad (\text{见图 7-7-1})$$

$$\rho_T = 1.0 \text{ (K} \cdot \text{m/W)}$$

$$W_1 = 30.2 + 2.1 = 32.4 \text{ (W/m)} \quad (\text{介质损耗不计})$$

$$\delta = 0.5 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

$$N = 3$$

对于 24h (86400s) 的期间逐项计算:

$$\text{a) } x = \frac{D_c^2}{16t\delta} = \frac{0.122^2}{16 \times 86400 \times 0.5 \times 10^{-6}} = 0.0215 \quad -E_1(-x) = 3.28$$

$$\text{b) } x = \frac{L^2}{t\delta} = \frac{1.0^2}{86400 \times 0.5 \times 10^{-6}} = 23.2 \quad -E_1(-x) = 0$$

$$\text{c) } x = \frac{(d_{pk})^2}{4t\delta} = \frac{0.3^2}{4 \times 86400 \times 0.5 \times 10^{-6}} = 0.521 \quad -E_1(-x) = 0.535$$

$$\text{d) } x = \frac{(d_{pk}')^2}{4t\delta} = \frac{2.02^2}{4 \times 86400 \times 0.5 \times 10^{-6}} = 23.7 \quad -E_1(-x) = 0$$

$$\theta_e(24) = \frac{1.0 \times 32.4}{4\pi} [(3.28 - 0) + 2 \times (0.535 - 0)] = 11.22 \text{ (K)}$$

式 (7-2-32) (上述 b) 和 d) 项) 第二和第四项表示的镜像源的影响, 在正常敷设深度和持续时间小于 24h 的情况下可忽略不计。

表 7-8-2

电缆周围媒质部分的暂态分量

(x)	项 目	不同持续时间下的数值							
		1h	2h	3h	4h	5h	6h	12h	24h
a) $\frac{D_c^2}{16t\delta}$	x	0.517	0.258	0.172	0.129	0.103	0.086	0.043	0.0215
	$-E_1(-x)$	0.54	1.02	1.35	1.59	1.79	1.96	2.61	3.28
c) $\frac{(d_{pk})^2}{4t\delta}$	x	12.5	6.256	4.167	3.125	2.50	2.083	1.042	0.521
	$-E_1(-x)$	0.0	0.0	0.003	0.011	0.025	0.044	0.205	0.535

电缆周围媒质的响应汇总于表 7-8-3 的第 4 栏。

表 7-8-3

暂态温度分量一览表

时间 (h)	$\theta_c(t)$ (K)	$\alpha(t)$	$\theta_e(t)$ (K)	$\theta(t)$ (K)	$\theta_s(t)$ (K)	导体实际温度 (°C)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	6.5	0.407	1.4	7.1	5.6	34.9
2	10.4	0.648	2.6	12.1	9.8	39.1
3	12.7	0.792	3.5	15.5	12.7	42.0
4	14.0	0.877	4.2	17.7	14.6	43.9
5	14.8	0.927	4.7	19.3	15.9	45.2
6	15.3	0.957	5.3	20.4	16.9	46.2
12	16.0	0.999	7.8	23.8	19.9	49.2
24	16.0	1.000	11.2	27.2	23.0	52.3

(3) 完整的暂态响应按 7.2.5 节计算完整的电缆暂态响应, 对于 1h 的计算示例表示如下, 该时间和其余时间的数值汇总于表 7-8-3 的第 5 栏中。

$$\theta(1) = 6.5 + 0.407 \times 1.4 = 7.1 \quad (\text{K}) \quad \text{见式(7-2-35)}$$

引用式 (7-4-1) 校正导体损耗的偏差:

$$\theta_s(1) = \frac{7.1}{1 + \frac{1}{234.5 + 29.9} \times (75 - 7.1)} = 5.6 \quad (\text{K}) \quad \text{见式(7-4-1)}$$

注: 由 19.3 (K) 介质损耗引起起始温度 = 29.3 (°C), 实际导体温度 = 29.3 + 5.6 = 34.9 (°C)。

导体温升的校正值汇总于表 7-8-3 的第 6 栏中, 导体的实际温度在第 7 栏中。

7.8.4 周期性负荷因数计算

(1) 日周期负荷。日周期负荷以最大电流之比率列于表 7-8-4 中。图 7-6-1 表示负荷周期、损耗 - 负荷曲线和周期负荷 - 损耗等值阶跃函数之间的关系。

表 7-8-4

日 周 期 负 荷

时间 (h)	$I_i/I_{\max}$	Y_i 值	Y_i	时间 (h)	$I_i/I_{\max}$	Y_i 值	Y_i
0	0.302	0.091	Y_{17}	12	0.892	0.796	Y_5^*
1	0.247	0.061	Y_{16}	13	0.770	0.593	Y_4^*
2	0.227	0.052	Y_{15}	14	0.772	0.596	Y_3^*
3	0.232	0.054	Y_{14}	15	0.800	0.640	Y_2^*
4	0.235	0.056	Y_{13}	16	0.853	0.728	Y_1^*
5	0.246	0.061	Y_{12}	17	0.996	0.992	Y_0^*
6	0.290	0.084	Y_{11}	18	0.853	0.728	Y_{23}
7	0.600	0.360	Y_{10}	19	0.790	0.624	Y_{22}
8	1.000	1.000	Y_9	20	0.740	0.548	Y_{21}
9	0.950	0.902	Y_8	21	0.740	0.548	Y_{20}
10	0.940	0.884	Y_7	22	0.722	0.521	Y_{19}
11	0.910	0.828	Y_6	23	0.600	0.360	Y_{18}

注 * 最高导体温度出现之前 6 个数值。

从式 (7-6-1) 确定负荷损耗因数:

$$\mu = \frac{0.091 + 0.061 + 0.052 + \cdots + 0.36}{24} = 0.504$$

(2) 导体至电缆表面的到达因数。线芯导体至电缆表面到达因数可从暂态计算 (见 7.8.4) 求得。实际上, 根据式 (7-7-1), 引用 7.8.3 热路参数也可列出 6h 期间内每小时时间段的数值如下:

$$\alpha(1) = \frac{2.42 \times 10^{-4} (1 - e^{-0.00248 \times 3600}) + 0.528 (1 - e^{-0.000145 \times 3600})}{0.488 + 0.04} = 0.407$$

该值和其他 5 个 $\alpha(t)$ 数值列于表 7-8-5 第 2 栏中。

(3) 电缆表面至周围媒质的到达因数。用式 (7-7-7) 计算电缆表面到达因数 $\gamma(t)$, 其中:

$$D_c = 0.122 \quad (\text{m})$$

$$L = 1.0 \quad (\text{m})$$

$$d_{pk} = 0.3 \quad (\text{m})$$

$$d_{pk}' = [0.3^2 + (2.0)^2]^{1/2} = 2.022 \quad (\text{m}) \quad (\text{见图 7-7-1})$$

$$\delta = 0.5 \times 10^{-6} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

$$N = 3$$

$$F = \frac{2.022 \times 2.022}{0.3 \times 0.3} = 45.4$$

$$d_r = \frac{4 \times 1.0}{(45.4)^{1/2}} = 0.593$$

本例给出第 6h (21600s) 的数值且该值和其他剩余时间的数值列于表 7-8-5。式 (7-7-7) 的分子中第二和第四项表示镜像源 (见图 7-7-1) 的影响, 在正常敷设温度下当 $i \leq 6\text{h}$ 时可忽略。

$$x = \frac{D_c^2}{16t\delta} = \frac{(0.122)^2}{16 \times 21600 \times 0.5 \times 10^{-6}} = 0.086 \quad -E_i(-x) = 1.96$$

$$x = \frac{d_r^2}{16t\delta} = \frac{(0.593)^2}{16 \times 21600 \times 0.5 \times 10^{-6}} = 2.03 \quad -E_i(-x) = 0.047$$

$$\gamma(6) = \frac{1.96 + 2 \times 0.047}{2 \ln \left(\frac{4 \times 1.0 \times 45.4}{0.122} \right)} = 0.14 \quad [\text{式}(7-7-7)]$$

(4) 因数 k_1 的计算。 k_1 由式 (7-7-18) 计算:

$$T_4 = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{4 \times 1.0}{0.122} \right) = 0.555 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W}) \quad [\text{式}(7-7-3a)]$$

$$\Delta T_4 = \frac{1}{2\pi} \ln(45.4) = 0.607 \quad (\text{K} \cdot \text{m/W}) \quad [\text{式}(7-7-11)]$$

T_A 和 T_B 取 7.3 节。

$$k_1 = \frac{32.4 \times (0.555 + 0.607)}{30.3 \times (0.488 + 0.04) + 32.4 \times (0.555 + 0.607)} = 0.702 \quad [\text{式}(7-7-10)]$$

(5) $\frac{\theta_h(i)}{\theta_R(\infty)}$ 的计算。由式 (7-7-6) 计算。以 $t = 1\text{h}$ 为例, 输入数据和计算结果汇总

在表 7-8-5 中。

$$\frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)} = [1 - 0.702 + 0.702 \times 0.037] \times 0.407 = 0.132 \quad [\text{式}(7-7-6)]$$

表 7-8-5

计算结果汇总

时间 (h)	$\alpha(i)$	$\gamma(i)$	$\theta_R(i) / \theta_R(\infty)$	Y_i
0	—	—	0	0.992
1	0.407	0.037	0.132	0.728
2	0.648	0.070	0.225	0.640
3	0.792	0.093	0.288	0.596
4	0.877	0.110	0.329	0.593
5	0.927	0.126	0.358	0.796
6	0.957	0.140	0.379	—

(6) 周期额定负荷因数 M 。周期额定负荷因数引用表 7-8-5 中相应的数据, 由式 (7-5-3) 计算:

$$\begin{aligned} M = & [0.922 \times 0.132 + 0.728 \times (0.225 - 0.132) + 0.64 \times (0.288 - 0.225) \\ & + 0.596 \times (0.329 - 0.288) + 0.593 \times (0.358 - 0.329) \\ & + 0.796 \times (0.379 - 0.358) + 0.504 \times (1 - 0.379)]^{-1/2} = 1.28 \end{aligned}$$

因此, 周期负荷电流允许峰值为:

$$I_{\max} = 1.28 \times 1580 = 2022 \quad (\text{A})$$

7.9 对于埋地电缆邻接土壤干燥下的周期负荷因数计算

7.9.1 概述

电缆工作温度很高时, 在电缆周围邻接的土壤的由于水分迁移导致土壤丧失水分而使土壤热阻系数大于正常值的情况下, 为了避免电缆过热, 需要降低载流量是极为重要的。

本部分以 CIGRE (国际大电网会议) 出版物 (ElectraNo145, 1992.12P32) 为基础, 依据 IEC60853-3 标准提供了所有电压级电缆周围土壤局部变干状况下周期负荷因数的计算公式。

该方法适合于任何类型电缆, 但建议它仅用于一根多芯电缆和三根单芯电缆或线路组, 而且在线路内间隙之间和相关线路土壤干燥区域之间的土壤水分允许垂直自由运动。假设除了电缆周围邻近土壤发生干燥使土壤热特性不均外, 其余热特性都是相同而且均匀的。因此, 本方法不适合于有不同热特性的填充土或特殊土壤敷设电缆的场合。

本方法是前面所述均匀土壤中电缆周期负荷因数计算方法的延伸, 该方法取决于土壤临界温度 (即土壤变干时所发生的温度) 方面的资料。在缺少资料的情况下建议临界温度定为 50°C 。

电缆周围的土壤干燥区域大小实质上与临界温度有关, 在稳态负荷时导体温度对土壤干燥区域的大小起着重要作用, 而周期性负荷因数乘以稳态载流量则基本上不受影响。这里已假定初始土壤临界温度等于周期负荷峰值时的电缆表面温度, 即干燥区域发生时的温度。通常情况下, 周期性负荷下的临界温升所形成的干燥区域范围小于稳态负荷下同样临

界温升所形成的土壤干燥区域, 电缆表面温升正好等于土壤临界温升, 仅由稳态负荷形成的干燥域是特殊情况。

根据临界温度等于电缆表面温度的假设而求得周期负荷因数有待进一步研究。

在稳态和周期负荷情况下, 干燥区域和电缆外部热阻均随着负荷类型而变化, 负荷因数必须加以调整。

7.9.2 土壤变干时周期负荷因数计算

电缆周围邻近土壤因水分迁移而形成干燥区域时, 周期负荷因数计算的一般通式为:

$$M = \frac{1}{(A + B)^{1/2}} \quad (7-9-1)$$

$$A = \sum_{i=0}^5 Y_i \left[\frac{\theta_c'(i+1)}{\theta_c'(\infty)} - \frac{\theta_c'(i)}{\theta_c'(\infty)} \right] \text{ 和 } \frac{\theta_c'(0)}{\theta_c'(\infty)} = 0 \quad (7-9-2)$$

$$B = \mu \left[1 - \frac{\theta_c'(i)}{\theta_c'(\infty)} \right] \quad (7-9-3)$$

$$\frac{\theta_c'(t)}{\theta_c'(\infty)} = [1 - k + k\beta(t)]\alpha(t) \quad (7-9-4)$$

注: 这里涉及到的温升大都是由于焦耳损耗引起的, 后面有单括号者表示时间变量, 字母右上角 (') 表示仅与焦耳损耗有关。

$$\beta(t) = \frac{-E_1 \left(\frac{-D_c^2}{16t\delta} \right)}{2 \cdot \ln \left(\frac{4L}{D_c} \right)} \quad (7-9-5)$$

注: 表示电缆镜像项从式 (7-7-2) 中忽略掉, 这是因为时间仅考虑 6h。

$$\alpha(t) = \frac{T_a(1 - e^{-at}) + T_b(1 - e^{-bt})}{T_a + T_b} \quad (7-9-6)$$

$$k = \frac{(1 + \lambda) \cdot T_4}{T_a + T_b + (1 + \lambda) T_4} \quad (7-9-7)$$

式中 λ ——金属套或铠装损耗因数;

μ ——负荷损失因数。

计算土壤干燥时可能发生的情况如下:

(1) 稳态下已经形成土壤干燥区域: 对于稳态负荷运行电缆周围已存在土壤干燥区域的情况下, 用周期负荷导体温升对电缆表面温升之比来计算 M 因数:

$$\frac{\theta_{\text{pk}}'}{\theta_c'} = 1 - M^2(1 - k) \cdot [A' + \mu(1 - \alpha(6)))] \quad (7-9-8)$$

式中: θ_c' ——由导体焦耳损耗引起的允许稳态温升, K;

θ_{pk}' ——电缆表面周期峰值温升, K;

M ——从式 (7-9-1) 得出的周期负荷因数。

$$A' = \sum_{i=0}^5 Y_i \cdot [\alpha(1+i) - \alpha(i)] \quad (7-9-9)$$

$$\theta_c' = \theta_c - W_d \left(\frac{T_A}{2} + T_3 + T_4 \right) \quad (7-9-10)$$

对于三芯电缆用等效单芯电缆表示。

θ_c ——导体允许最高温升, K;

W_d ——电缆(或等效电缆)介质损耗, W/m;

T_A ——电缆(或等效电缆)绝缘热阻, K·m/W;

T_3 ——电缆外护层热阻, K·m/W;

T_4 ——潮湿土壤外部热阻, K·m/W。

(2) 对照土壤临界温升 θ_x , 对电缆表面峰值温升校验, 以便于估算土壤变干的可能性:

1) 如果 $(\theta_{pk} + W_d T_4)$ 不大于土壤的临界温升则不存在变干问题, M 不作修正。

2) 如果电缆表面峰值温升 $(\theta_{pk} + W_d T_4)$ 大于土壤临界温升值则修正成 M_1 。

(3) 修正值的计算如下:

$$M_1 = M \times \sqrt{\frac{1 + k(v-1)}{1 + \left(\frac{\theta_{pk}}{\theta_c'}\right)(v-1)}} \quad (7-9-11)$$

式中 $v = \rho_2 / \rho_1$

ρ_1 ——潮湿土壤的热阻系数, K·m/W;

ρ_2 ——干燥土壤的热阻系数, K·m/W。

热容的存在对电缆并不重要, 电压级 18/30 (36) kV 及以下的电缆, 修正 M 值的计算式 (7-9-11) 保持不变, 但式 (7-9-8) 右边简化为: $1 - M^2 (1 - k) Y_0$ 。电缆的介质损耗通常可以忽略不计, 因此式 (7-9-10) 中 $\theta_c' = \theta_c$ 。

7.10 土壤变干时周期负荷因数计算示例

这个例子是三芯 400mm² 铜导体, 油浸纸绝缘, 132kV 充油铅套 PVC 外护层电缆。

7.10.1 技术资料

电缆结构:

导体直径	22.85	mm
线芯直径	42.85	mm
成缆外径	91.20	mm
包带外径	92.40	mm
铅套外径	97.60	mm
加强带外径	99.20	mm
PVC 外护层外径	109.00	mm

体积尺寸:

导体	1224×10^{-6}	m ³ /m
绝缘和屏蔽	3102×10^{-6}	m ³ /m

充油	2379×10^{-6}	m^3/m
铅套	776×10^{-6}	m^3/m
加强带	247×10^{-6}	m^3/m
PVC 护层	1602×10^{-6}	m^3/m

这些体积是参考 1m 长电缆各材料的体积, 计算电缆热容时要用到这些数据。

电性能、热性能、敷设条件及周期负荷情况见下表 (7-10-1)。

表 7-10-1 电性、热性、敷设及周期负荷各参数值

电性能和热性能		热 容	
工作温度下导体电阻	$61.2 \times 10^{-6} \Omega/\text{m}$	导体	4223 J/K · m
护套损耗因数	0.0557	绝缘和屏蔽	6205 J/K · m
介质损耗	1.69 W/m 每芯	充油和油道	4759 J/K · m
热特性:		护套	1125 J/K · m
导体最高温度	85 °C	加强带	866 J/K · m
环境温度	20 °C	PVC 护层	2724 J/K · m
导体温升	65 °C		
绝缘热阻 (每个线芯)	0.487 K · m/W	总热容	19902 J/K · m
外护层热阻	0.09 K · m/W		

续表

敷设和土壤资料		周期负荷 ¹⁾	
埋地深度	1.0 mm	h 时间 μ 纵标	h 时间 μ 纵标
土壤热阻系数	1.0 K · m/W	0 ~ 1 0.992	3 ~ 4 0.596
干燥时土壤热阻系数	2.5 K · m/W	1 ~ 2 0.728	4 ~ 5 0.593
潮湿土壤散热系数	$0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	2 ~ 3 0.640	5 ~ 6 0.796
干燥土壤散热系数	$0.2717 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	24h 的周期负荷 - 损耗因数 $\mu = 0.504$	

注 1) μ 周期损耗 - 负荷纵坐标的最高损耗前 6h 的数据, 7.9 节的负荷曲线。

7.10.2 计算周期负荷因数相关的基本数据

$$\theta_c = 65\text{K (导体温升)} \quad D_c = 0.109 \text{ m}$$

$$T_1 = 0.487 \text{ K} \cdot \text{m/W} \quad T_3 = 0.09 \text{ K} \cdot \text{m/W} \quad W_d = 1.69 \text{ W/m (每个芯)}$$

$$\lambda_1 = 0.0557 \quad R_c = 0.0000612 \Omega/\text{m}$$

等效于单芯电缆, 采用下面参数:

$$T_A = 0.162 \text{ K} \cdot \text{m/W} \quad T_B = 0.095 \text{ K} \cdot \text{m/W} \quad W_d = 5.07 \text{ W/m (每根)}$$

电缆)

$$Q_A = 12787 \text{ J/K} \cdot \text{m}$$

$$a = 0.00164$$

土壤资料:

$$\rho_1 = 1 \text{ K} \cdot \text{m/W} \quad \rho_2 = 2.5 \text{ K} \cdot \text{m/W} \quad \theta_s = 30 \text{ K}$$

$$\delta = 0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad L = 1\text{m (敷设深度)}$$

周期负荷 - 损耗因数 $\mu = 0.504$ 下的负荷特性:

电缆热响应由式 (7-9-6) 给出:

$$\alpha(t) = \frac{0.00164(1 - e^{-0.00321t}) + 0.2557(1 - e^{-0.000285t})}{0.162 + 0.095}$$

土壤热响应由式 (7-9-5) ~ 式 (7-9-7) 计算:

$$T_4 = \frac{1 \times \ln\left(\frac{4 \times 1}{0.109}\right)}{2\pi} = 0.5734$$

$$k = \frac{(1 + 0.0557) \times 0.5734}{0.162 + 0.095 + (1 + 0.0557) \times 0.5734} = 0.702$$

$$\beta(t) = \frac{-\frac{Ei(-0.109^2)}{16 \times t \times 0.5 \times 10^{-6}}}{2\ln\left(\frac{4 \times 1}{0.109}\right)}$$

式 (7-9-1)、式 (7-9-2) 和式 (7-9-3) 计算的周期负荷因数, 表 7-10-2 列出与时间相关的各项: M 值是 1.2244, 来自式 (7-5-3)。

1) 土壤干燥时因数计算, 电缆表面峰值温升对导体温升之比由式 (7-9-8) 给出:

$$\frac{\theta_{sk}'}{\theta_c'} = 1 - 1.22442(1 - 0.702) \cdot [A' + 0.504(1 - 0.9979)] = 0.604$$

$$A' = 0.884 \quad [\text{式}(7-9-9)]$$

表 7-10-2

与时间相关的各项

时 间	$\alpha(t)$	$\beta(t)$	$\frac{\theta(t)'}{\theta(\infty)'}$	时 间	$\alpha(t)$	$\beta(t)$	$\frac{\theta(t)'}{\theta(\infty)'}$
1	0.6442	0.0946	0.2350	4	0.9837	0.2491	0.4654
2	0.8726	0.1662	0.3621	5	0.9942	0.2774	0.4901
3	0.9644	0.2137	0.4278	6	0.9979	0.3008	0.5083

2) 由焦耳损耗引起的导体温升, 根据式 (7-9-10) 求得:

$$\theta_c' = 65 - 5.07(0.162/2 + 0.090 + 0.5734) = 61.23 \quad (\text{K})$$

3) 由焦耳损耗和介质损耗引起的电缆表面峰值温升是:

$$61.23 \times 0.604 + 5.07 \times 0.5734 = 39.9(\text{K})$$

4) 这个值大于临界值 30(K), 干燥可能发生, 当干燥出现时用式(7-9-11)修正负荷因数:

$$M_1 = 1.2244 \cdot \sqrt{\frac{1 + 0.702(2.5 - 1)}{1 + 0.604(2.5 - 1)}} = 1.27$$

5) 当临界温升为 30K, 发生干燥时稳态载流量是 560A, 峰值电流是:

$$1.27 \times 560 = 711 \quad (\text{A})$$

7.11 所有电压级电缆应急情况下载流量计算

7.11.1 孤立线路和线路群

(1) 孤立线路。下述关于单一回路短时载流量计算方法是以 7.2 节中提出的求得导体暂态温度的方法和准则为基础而确定的。

考虑一个孤立的埋地线路传输恒定电流 I_1 , 为了达到实际的稳定状态施加足够长的

时间, 随后, 从 $t=0$ 规定的时间, 施加一个紧急负荷电流 I_2 (大于 I_1)。紧急负荷电流 I_2 由下式给出:

$$I_2 = I_R \cdot \sqrt{\frac{h_1^2 R_1}{R_{\max}} + \frac{R_R/R_{\max}(r - h_1^2 \times R_1/R_R)}{\theta_R(t)/\theta_R(\infty)}} \quad (7-11-1)$$

考虑介质损耗引起的热效应时忽略介质损耗随温度变化, 由介质损耗引起的导体稳态温升 $\Delta\theta_d$ 由下式计算:

$$\Delta\theta_d = W_d [1/2 T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)] \quad (7-11-2)$$

式中 W_d ——绝缘介质损耗, W/m;

T_1 、 T_2 、 T_3 ——分别为绝缘层, 内衬层和外护层热阻, K·m/W;

T_4 ——外部热阻, K·m/W。

并从 $\theta_{\max}$, $\theta_R(t)$ 和 $R(\infty)$ 数值中减去该值, 然后用已修正的 $\theta_{\max}$, $\theta_R(t)$ 和 $R(\infty)$ 数值按上述方法计算 I_2 , R_R , $R_{\max}$, R_1 和 R_2 数值保持不变。

(2) 线路群。对于不受热影响的以相同方式各自传输负荷的线路群的场合, 可采用本节所给的计算暂态和载流量的方法。

当负荷状况不同时, 如第一线路负荷增加而第二线路负荷切断, 这种情况需要仔细考虑。对于大多数埋地电缆的情况, 由于线路之间热影响滞后时间很长, 因此, 第二线路切断负荷在第一线路引起温度降低需要数小时后才能出现。

双回路 1935mm²、400kV 装置中, 当第二回路电流降低到零时, 第一回路温度降低 1K 所需的时间。由此可知, 在此期间, 第一回路负荷的增加将完全取决于负荷变化之前在第一回路的数值以上可允许增加的导体温度。

7.11.2 应急负荷计算示例

(1) 应急负荷资料 假定 1195A 电流连续运行的电缆稳态时导体温度为 60℃, 要求确定应急负荷电流且在该电流下载荷 6h 而不超过最高允许工作温度 (85℃)。

(2) 应急负荷额定电流 由 7.11.1 节中需要下面的参数值 (注意由于介质损耗引起的温升对温度参数已修正):

$$r = 1 \quad t = 6h \text{ (21600s)}$$

$$I_R = 1580A \quad I_1 = 1195A$$

$$h_1 = 1195/1550 = 0.771$$

$$R_1 = 11.625 \times 10^{-6} \Omega/m \text{ (60℃时的 a.c 电阻)}$$

$$R_{\max} = 12.612 \times 10^{-6} \Omega/m \text{ (85℃时的 a.c 电阻)}$$

$$R_R = 12.612 \times 10^{-6} \Omega/m \text{ (85℃时的 a.c 电阻)}$$

由于介质损耗引起的温升 = 19.3℃。

由于焦耳损耗引起的稳态温升 = 85 - 10 - 19.3 = 55.7 (K)

$\theta_R(6) = \theta_A(6) = 16.9K$ (对施加阶跃函数的额定电流见 7.8.3 节表 7-8-3 第 6 栏)。

紧急电流为:

$$I_2 = 1580 \times \sqrt{\frac{(0.771)^2 \times 11.625}{12.612} + \frac{1 \times (1 - 0.771^2 \times 11.625/12.612)}{16.9/55.7}} = 2247(\text{A})$$

附录 7 计算电缆周期性负荷因数时所用参数

(1) 电缆常用导体等材料电性能和热性能。电缆常用导体、金属套(屏蔽)和铠装材料电性能和热性能列于附表 7-1-1 中。

附表 7-1-1

导体材料的热特性

材 料	0℃时电阻温度系数的倒数 (K)	体积比热容 ($\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$)	20℃时的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)
导体			
铜	234.5	3.45×10^6	1.7241×10^{-8}
铝	228	2.50×10^6	2.8264×10^{-8}
金属套、屏蔽、铠装			
铅和铅合金	230	1.45×10^6	21.4×10^{-8}
钢	202	3.80×10^6	13.8×10^{-8}
青铜	313	3.4×10^6	3.5×10^{-8}
不锈钢	—	3.8×10^6	70×10^{-8}
铝	228	2.5×10^6	2.84×10^{-8}

(2) 电缆用绝缘等材料热特性。电缆用绝缘材料、内衬材料和护层材料的热特性列于附表 7-1-2 中。

表 7-1-2

绝 缘 材 料 热 特 性

绝缘材料 ¹⁾	热阻系数 $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$	体积比热容 ³⁾ $\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$	护层材料	热阻系数 $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$	体积热容 ³⁾ $\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$
固定型电缆绝缘纸	6.0	2.0×10^6	浸渍麻或纤维材料	6.0	2.0×10^6
充油型电缆绝缘纸	5.0	2.0×10^6	夹层橡皮	6.0	2.0×10^6
外气压电缆绝缘纸	5.5	2.0×10^6	氯丁橡胶	5.5	2.0×10^6
内气压电缆绝缘纸	—	—	聚氯乙烯	—	—
① 予浸渍	5.5	2.0×10^6	35kV 及以下电缆	5.0	1.7×10^6
② 全浸渍	6.0	2.0×10^6	35kV 以上电缆	6.0	1.7×10^6
油	$7.0^{2)}$	1.7×10^6	皱纹铝护套上面	—	—
15 个大气压下氮	—	0.017×10^6	PVC/沥青	6.0	1.7×10^6
聚乙烯 (PE)	3.5	2.4×10^6	聚乙烯 (PE)	3.5	2.4×10^6
交联聚乙烯 (XLPE)	3.5	2.4×10^6			
聚氯乙烯	—	—	管道敷设材料	热阻系数 $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$	体积热容 ³⁾ $\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$
3kV 及以下电缆	5.0	1.7×10^6			
3kV 以上的电缆	6.0	1.7×10^6	水泥混凝土	1.0	1.9×10^6
乙丙胶 (EPR):	—	—	纤维	4.8	2.0×10^6
3kV 及以下电缆	3.5	2.0×10^6	石棉	2.0	2.0×10^6
3kV 以上的电缆	5.0	2.0×10^6	陶土	1.2	1.7×10^6
丁基橡胶	5.0	2.0×10^6	PVC	6.0	1.7×10^6
橡皮	5.0	2.0×10^6	PE	3.5	2.4×10^6

注 1) 为要计算载流量, 设半导体屏蔽材料与相邻介质材料有相同的热特性。

外护层所用的 PVC 或合成胶材料热阻系数应取表中绝缘等级相同的材料。

2) 钢管型电缆的油或充气的热阻按第 2 章相关内容计算。

3) 不同的合成材料有不同的数值, 但为了安全而引用这些值。



电缆短路电流和短路温度的计算

8.1 一般情况

8.1.1 影响短路温度的因素

电缆短路温度是指载流体（如导体、金属套、金属屏蔽等）在短路持续时间小于 5s 情况下的实际温度。它受载流体邻接材料的限制。

下面推荐的允许短路温度是 IEC 949 出版物^[1]根据各权威机构采用的限定值范围而定的，大多数是从安全角度考虑的。一般情况下，1.8/3（3.6）~ 18/30（36）kV 电缆的短路温度限定值主要取决于不损伤其绝缘性能。绝缘性能的损伤主要取决于电缆类型，如聚合物绝缘电缆半导体屏蔽的粘合程度可能是决定限定值的关键；对于纸绝缘电缆，则绝缘本体性能更重要。

对于纸绝缘电缆（充油和浸渍电缆），油/松香或不滴流混合物浸渍纸绝缘电缆允许短路温度是由混合物迁移和形成空隙趋势决定的。所有纸绝缘电缆可能受限制的是因绝缘线芯的移动造成纸带撕裂。

对于聚合物绝缘电缆，在短路条件下产生的高温和作用力具有极大的破坏作用，可能导致放电活动的增加。因此，半导体屏蔽和绝缘之间界面的完整性以及绝缘内的空隙是聚合物绝缘电缆短路温度两个重要的限定因素。此外，高温可能改变绝缘材料、半导体材料和护层材料的性能。当电缆直埋或空气中固定敷设时，采用短路温度时更应小心。在短路状态下，因夹紧敷设或采用小于电缆规定的敷设半径会引起局部高压应力，尤其是刚性约束的电缆，可产生更高的变形应力。如果上述情况均不能避免，建议允许短路温度降低 10℃。

对于以耐温等级较低的热固性材料作护层的电缆，特别对于电缆截面 1000mm² 范围的电缆，使用该绝缘规定的导体温度时必须小心。另外，强大的机械应力也能导致绝缘变形并足以引起电缆损坏。

8.1.2 允许短路电流

电缆中任何载流元件，其额定短路电流的计算方法都采用绝热方法，即在短路时间内，热量保留在载流体内。实际上在短路时，一些热量会传入相邻接的材料中去，并非是绝热的，但按最极端条件计算，其计算结果是偏于安全的。

8.2 1.8/3 (3.6) ~ 18/30 (36) kV 电缆允许最高短路温度

表 8-2-1 给出 1.8/3 (3.6) ~ 18/30 (36) kV 各种类型电缆的最高允许短路温度值。温度限值适合于短路时间 5s 及以下。

表 8-2-1 短路温度 (短路持续时间 < 5s)

电缆用绝缘材料	短路温度 (°C)	电缆用绝缘材料	短路温度 (°C)
0.6/1kV 及以下电缆	-	油/松香 ≤ 20kV	170
绝缘纸	250	> 20kV	150
聚氯乙烯 ≤ 300mm ²	160	聚氯乙烯 ≤ 300mm ²	160
> 300mm ²	140	> 300mm ²	140
丁基橡胶	220	交联聚乙烯	250
交联聚乙烯	250	乙内橡胶	250
硅橡胶	350	聚乙烯 (低密度) ≤ 300mm ²	150
1.8/3 (3.6) ~ 18/30 (36) kV 电缆	-	> 300mm ²	130
整体浸渍不滴流 ≤ 20kV	170		
> 20kV	150		

选择一种特定电缆结构的允许短路温度时, 应同时考虑以下三点:

(1) 绝缘材料允许短路温度: 与绝缘材料相接触的各种导体的允许短路温度。

(2) 当没有电性和其他要求时外护层和内衬层材料允许短路温度: 与外护层材料接触而与绝缘层以隔热层隔开的屏蔽/金属套/铠装的允许温度。如果没有隔热层, 并且绝缘允许短路温度小于外护层的允许短路温度时, 应采用绝缘允许短路温度。对于连续屏蔽/金属套或非嵌入间隔屏蔽线或一层密绕的铠装线会影响短路温度, 见表 8-2-2, 而嵌入间隔屏蔽线正在考虑之中。

(3) 导体/金属套/屏蔽/铠装材料及连接方法: 关于这些材料以及其应用状态下短路温度列于表 8-2-3, 与这些金属接触的非金属材料的允许短路温度也应考虑。

表 8-2-2 连续屏蔽/金属套等
允许短路温度¹⁾

电缆用绝缘材料	短路温度 (°C)
聚氯乙烯 ¹⁾	200
聚乙烯 ¹⁾ : SI3	150
SI7	180
氯磺化聚乙烯: SEI	220
氯丁橡胶: SEI	200
聚乙烯与铝箔粘结护层	150
聚氯乙烯与铝箔粘结护层	160

注 1) 连续屏蔽/金属套/非嵌入间隔屏蔽线或一层密绕的铠装线允许短路温度三芯电缆或三角形敷设电缆, 使用该温度时要小心, 因中心处的高温可能会引起护层粘住。

表 8-2-3 导体等及连接方法下
允许短路温度

材料及其状态	短路温度 (°C)
铜或铝: (只有载流元件, 包括同心中性导体)	1)
焊接接头	1)
放热焊接接头	250 ²⁾
锡焊接头	160
压接接头 (机械变形)	250 ²⁾
铅	170
铅合金	200
钢	1)

注 1) 与接触材料有关。

2) 相邻导体温度和实际接头温度的较低值。

8.3 允许短路电流的计算

8.3.1 绝热法计算短路电流

对于电压 1.8/3 (3.6) ~ 18/30 (36) kV 的电缆, IEC-986 (1989) 标准推荐的短路电流计算公式中忽略热损失。采用绝热方法导出的公式对大多数情况是准确的。任何误差都是偏于安全的。对任何初始温度从绝热温升方程中导出短路电流计算公式如下:

$$I_{AD} = KS \sqrt{\frac{1}{t} \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)} \quad (8-3-1)$$

式中: S ——载流体截面积, mm^2 , 对于导体和金属套而言, 使用标称截面足够了(如果是屏蔽, 此值须仔细考虑);

I_{AD} ——短路电流(短路期间内电流有效值), A;

t ——短路时间, s, 自动合闸情况下, t 是短路电流持续时间的集合, 最大到 5s, 二次短路之间任何冷却作用均忽略;

K ——与载流体材料有关的常数, $\text{As}^{1/2}/\text{mm}^2$, 见表 8-4-1。

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c (\beta + 20) \times 10^{-12}}{\rho_{20}}}$$

θ_f ——最终温度, $^{\circ}\text{C}$;

θ_i ——起始温度, $^{\circ}\text{C}$;

β —— 0°C 时载流体电阻温度系数的倒数, K, 见表 8-4-1;

σ_c —— 20°C 时载流体比热, $\text{J/K} \cdot \text{m}^3$, 见表 8-4-1;

ρ_{20} ——导体 20°C 时电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$, 见表 8-4-1。

计算短路电流用的常数和电缆的短路温度列于表 8-2-1 ~ 表 8-2-3。

8.3.2 非绝热法计算短路电流

(1) 一般情况。IEC 949-1988 提出按非绝热效应计算允许短路电流的方法。热损耗进入绝缘介质的容许量可用一个因数来实现, 既可对短路能量的输入修正, 也可对允许最高温度修正, 这里选择前者, 与其改变进入绝缘介质的热损耗总量, 倒不如对材料的允许温度保持恒定, 因数 ε 被定义为绝热和非绝热能量输入的比值。

1) 导体: 通过对 PVC 铜芯电缆大量试验提出这个方法, 并推广到其他类型电缆, 从少量纸绝缘电缆试验得以证实。用推理、计算和试验数据发现了相互之间的一致性, 理论公式如下:

$$\varepsilon = \sqrt{1 + A \sqrt{\frac{t}{S}} + B \left(\frac{t}{S} \right)}$$

对于 PVC 电缆用这种经验公式计算的曲线与计算机上计算的结果是一致的, 对于经验常数 A 和 B 是综合导体和绝缘的比热及绝缘热阻而定的。

试验结果分散性是由于导体和绝缘间接触不完善性引起的, 考虑到这点引入一个因数

F 、 A 值的 F 为 0.7, 实际上包括所有的 PVC 电缆有效试验数据, 并可用于所有导体/其他组合材料 (充油电缆除外, 由于其热接触性好, F 可取为 1), 因此任何误差均在安全范围内。 ϵ 与温度略有关系, 但在整个常用温度范围内该影响可忽略。

考虑对于短路电流增加 5% 只是极小量。为此当 $t/S < 0.1$ (S/mm^2) 时, 可忽略导体电流增加。在这种情况下不推荐非绝热方法计算。

2) 屏蔽和金属套: 在非绝热条件下屏蔽和金属套已被认为具有增加允许短路电流的潜力最大。选择了可直接考虑到损耗与温度变化且理论上最准确的一种简化方法。

因数 ϵ 同样和温度有关, 但表达式代表最恶劣的条件, 实际上这点可忽略不计。

对各种不同热接触程度引用热接触因数, 如铅套纸绝缘电缆外护层的沥青层与纸绝缘有很好的接触, 而不滴流电缆皱纹铝套和绝缘的接触就很差, 各种建议均从偏于安全方面考虑。从安全考虑, 规定电流沿屏蔽带螺旋方向流动, 不考虑包带间阻抗, 并采用屏蔽带的几何截面作为计算截面。

同样, 铜丝编织屏蔽带假设为管状, 但铜丝相互间没有接触。计算截面为单根铜丝截面乘以铜丝根数, 而厚度为两倍的单根铜丝的直径。

(2) 非绝热法计算短路电流。非绝热方法计算允许短路电流的公式为:

$$I_S = \epsilon \times I_{AD} \quad (8-3-2)$$

式中 I_S ——允许短路电流, A;

I_{AD} ——基于绝热而计算的短路电流, A;

ϵ ——热损耗进入邻接部位的因数, 绝热计算时 $\epsilon = 1$ 。

ϵ 的计算如下。

1) 导体和分隔屏蔽线非绝热因数 ϵ 的一般经验公式为:

$$\epsilon = \sqrt{1 + F \cdot A \cdot \left(\frac{t}{S}\right)^{1/2} + F^2 \cdot B \left(\frac{t}{S}\right)} \quad (8-3-3)$$

式中 F ——导体 (或单线) 和邻接非金属材料之间考虑到热接触的不完善性, 推荐取值 0.7 (充油取 1.0);

A 、 B ——以邻接非金属材料为基础的经验常数。

$$A = \frac{C_1}{\sigma_c} \sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}} \quad (\text{mm}^2/\text{s})^{1/2} \quad C_1 = 2464 (\text{mm}/\text{m})$$

$$B = \frac{C_2}{\sigma_c} \sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}} \quad (\text{mm}^2/\text{s}) \quad C_2 = 1.22 (\text{K} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^2/\text{J})$$

式中: σ_c ——载流体比热, $\text{J}/\text{K} \cdot \text{m}^3$;

σ_i ——邻接非金属材料的比热, $\text{J}/\text{K} \cdot \text{m}^3$;

ρ_i ——邻接非金属材料的电阻系数, $\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$ 。

这些材料常数推荐值列于表 8-3-1。

2) 导体 (实芯和绞合) 非绝热因数 ϵ 的一般简化公式如下:

$$\epsilon = \sqrt{1 + X \left(\frac{t}{S}\right)^{1/2} + Y \left(\frac{t}{S}\right)} \quad (8-3-4)$$

式中 S ——载流部分的几何截面积, mm^2 , 对 IEC 228 所规定的导体, 采用其标称截面就已满足;

X, Y ——结合热接触因数为 0.7 (充油电缆为 1.0) 时列于表 8-3-2。

表 8-3-1

材料热性常数

材 料	热阻 $\rho^{(1)}$ ($\text{K} \cdot \text{m/W}$)	比热 $\sigma^{(2)}$ ($10^6 \text{ J/K} \cdot \text{m}^3$)	材 料	热阻 $\rho^{(1)}$ ($\text{K} \cdot \text{m/W}$)	比热 $\sigma^{(2)}$ ($10^6 \text{ J/K} \cdot \text{m}^3$)
绝缘材料	—	—	防护层	—	—
粘性电缆浸渍纸	6.0	2.0	麻混合物和纤维材料	6.0	2.0
充油电缆浸渍纸	5.0	2.0	夹个橡皮	6.0	2.0
油	7.0	1.7	氯丁橡胶	5.5	2.0
聚乙烯	3.5	2.4	聚氯乙烯	—	—
交联聚乙烯	3.5	2.4	3kV 及以下电缆	5.0	1.7
聚氯乙烯	—	—	3kV 以上电缆	6.0	1.7
3kV 及以下电缆	5.0	1.7	聚氯乙烯/涂丁皱纹	—	—
3kV 以上电缆	6.0	1.7	铝套的沥青聚乙烯	3.5	2.4
乙丙橡胶	—	—	半导电交联聚乙烯	—	—
3kV 及以下电缆	3.5	2.0	和聚乙烯	2.5	2.4
3kV 以上电缆	5.0	2.0	半导电乙丙橡胶	3.5	2.1
氯丁橡胶	5.0	2.0	—	—	—
天然橡胶	5.0	2.0	—	—	—

注 1) 数值摘自 IEC-287 2) 数值摘自 Electra-No. EL-3014

表 8-3-2

对于导体和屏蔽分隔线在简化公式中所使用的系数

绝 缘	铜导体常数		铝导体常数	
	$X [(\text{mm}^2/\text{s})^{1/2}]$	$Y [\text{mm}^2/\text{s}]$	$X [(\text{mm}^2/\text{s})^{1/2}]$	$Y [\text{mm}^2/\text{s}]$
PVC: $\leq 3\text{kV}$	0.29	0.06	0.40	0.08
$> 3\text{kV}$	0.27	0.05	0.37	0.07
XLPE:	0.41	0.12	0.57	0.16
EPR: $\leq 3\text{kV}$	0.38	0.10	0.52	0.14
$> 3\text{kV}$	0.32	0.07	0.44	0.10
纸: 充油	0.45	0.14	0.62	0.20
其他	0.29	0.06	0.40	0.08

3) 分隔屏蔽线:

a) 全嵌入式: 分隔屏蔽线采用的公式中考虑单线分开至少相隔一根单线直径, 并全部嵌入非金属材料中, 且忽略薄的螺旋绕包等宽铜带的影响。对通常的产品结构可采用式 (8-3-2), 其他结构形式必需采用式 (8-3-1), 并取 $F=0.7$ 。电流按每根单线计算, 乘以单线根数 n 可得到总的短路电流。因此在所有的公式中均使用单线截面。

b) 非全嵌入式: 此方法用于分隔屏蔽单线, 它们置于管状挤出物之下, 且单线间存在着空隙, 可采用式 (8-3-1), 且 $F=0.5$ 。由于单线处于两种不同材料之间, 应采用两种材料的热阻和比热的算术平均值计算。电流按每根单线计算, 乘以单线根数即可得到总的短路电流值。因此在所有的公式中均使用单线截面。

(3) 金属套、屏蔽层和多根单线非绝热因数的计算:

1) 概述: 金属套、屏蔽和铠装的 ϵ 因数由下式计算:

$$\epsilon = 1 + 0.61 M \sqrt{t} - 0.69 (M \sqrt{t})^2 + 0.0043 (M \sqrt{t})^3 \quad (8-3-5)$$

$$M = \frac{\sqrt{\sigma_2/\rho_2} + \sqrt{\sigma_3/\rho_3}}{2\sigma_1 \cdot \delta \cdot 10^{-3}} \times F \quad (\text{s}^{-1/2})$$

式中 σ_2, σ_3 ——邻接于金属套、屏蔽和铠装周围的介质比热, $\text{J/K} \cdot \text{m}^3$;

σ_1 ——屏蔽、金属套或铠装的体积比热, $\text{J/K} \cdot \text{m}^3$;

ρ_2, ρ_3 ——邻接于金属套、屏蔽和铠装周围的介质热阻系数, $\text{K} \cdot \text{m/W}$;

δ ——金属套、屏蔽和铠装层的厚度, mm 。

附表 8-2-1 中给出各种常用材料的推荐值。

除非金属层和其邻接层有一层完全粘着时可取用 $F=0.9$ 之外, 一般推荐 $F=0.7$ 。也可以选用另一种方法, 当 $M\sqrt{t}$ 值确定后, ϵ 值可近似从图 8-3-1 中求得:

2) 管形金属套: 在绝热公式中使用的截面为:

$$S = \pi \cdot d \cdot \delta \quad (8-5-1)$$

式中 d ——金属套平均直径, mm , 皱纹护套的直径 $d = (D_u + D_{oc})/2$;

δ ——护套厚度, mm 。

此处热性接触是紧密的, 热接触因数 F 可视为均一的。

3) 包带: 包括以下几种绕包类型:

a) 纵向绕包: 如果纵向搭盖不大于带宽的 10%, 在绝热公式中所使用的截面为包带横截面。

$$S = w\delta \quad (8-5-2)$$

式中 w ——包带宽度, mm ;

δ ——包带厚度, mm 。

b) 螺旋绕包: 卷绕包带和包带间的

接触不能认为是完善的, 特别在运行一段时间后更是如此。假设电流是沿螺旋方向流动, 则包带总面积 ($n \times \text{宽} \times \text{厚}$) 可用下式计算:

$$S = n \cdot w \cdot \delta \quad (8-5-3)$$

式中 n ——包带层数;

w ——包带宽度, mm ;

δ ——包带厚度, mm 。

4) 相互接触的单线 这些单线的总面积应是在绝热公式中使用的面积, δ 是单线的直径。

5) 铜编织带 铜丝编织带截面考虑为编织带中铜丝的总根数乘以单丝的截面, δ 是编织铜丝直径的 2 倍。

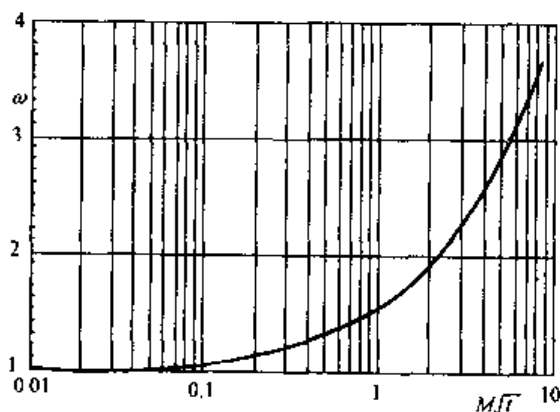


图 8-3-1 金属套、屏蔽和铠装的非绝热因素 ϵ 值

8.4 短路温度的计算

IEC949 标准提供了在已知最大故障电流的情况下导体最终温度的计算公式:

$$\theta_f = (\theta_i + \beta) \cdot \exp\left(\frac{I_{AD}^2}{K^2 \cdot S^2}\right) - \beta \quad (8-4-1)$$

式中: $I_{AD} = I_{sc}/\epsilon$, A;

I_{sc} ——已知短路电流 (有效值), A;

ϵ ——热损耗进入相邻部位时非绝热因数, 绝热计算时 $\epsilon = 1$ (见 8.3.2 节);

K 、 S 、 β ——常数, 见表 8-4-1。

表 8-4-1 计算短路电流的常数

材 料	K ($AS^{0.5}/mm^2$)	β (K)	σ_c (J/K · m ³)	ρ_{20} (Ωm)
a) 导体	—	—	—	—
铜	226	234.5	3.45×10^6	1.7241×10^{-8}
铝	148	228	2.50×10^6	2.8264×10^{-8}
b) 金属套、屏蔽和铠装	—	—	—	—
铝和合金铝	41	230	1.45×10^6	21.40×10^{-8}
铜	78	202	3.8×10^6	13.80×10^{-8}
青铜	180	313	3.4×10^6	3.50×10^{-8}
锡	148	228	2.5×10^6	2.84×10^{-8}

8.5 载流导体热稳定性计算简化式

短路电流的实际过渡过程是比较复杂的。短路电流 I_k 从产生瞬时电流到衰变为暂态电流, 最后达到稳态电流 I_∞ 。短路过程中载流导体的热效应正比于 I_k^2 (引起载流导体热效应) 并截止于切断故障的实际动作时间 t 。根据等效原理, 利用 I_∞^2 乘以假想时间 t_p ——由稳态短路电流在假想时间内所产生的热量 ($I_{AD}^2 R_\theta t_p$) 等于短路电流在切断时间内所产生的热量 ($\int_0^t I_{AD}^2 R_\theta dt$), 即有:

$$\int_0^t I_{AD}^2 R_\theta dt = I_\infty^2 R_\theta t_p$$

一般情况下, 短路电流作用时间很短, 可以认为导体短路是个绝热过程。短路电流 I_{AD} 所产生的热量没有向周围介质中逸散, 全部为导体所吸收而提高了导体温度。设导体从短路前的最高允许工作温度 θ_i 上升到导体最高允许温度 θ_f , 即导体在短时的温升达到了最高允许值 $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$, 由此可建立短路过程中保证导体热稳定的热平衡关系式:

导体的发热 = 导体体积 × 密度 × 比热 × (短路终结时的导体温度 - 短路起始时的导体温度)

方程式右侧: 导体体积正比于导体截面 S^2 , 体积与密度乘积等于导体的重量 G ; 导体的密度 γ 、比热 C_0 、最高允许温度 θ_f 、 θ_i 对于某一种材料来说, 均为定值, 可以用参

数 $(A_f - A_i)$ 表示, 则:

$$\int_0^t I_{sk}^2 \cdot dt = I_{sk}^2 \cdot t_{pr} = S^2 (A_f - A_i)$$

由上式便可以求得发生短路时保证导体热稳定的最小截面:

$$S = \frac{I_{sk}}{\sqrt{A_f - A_i}} \sqrt{t_{pr}} = \frac{I_{sk}}{C} \sqrt{t_{pr}}$$

式中 C ——热稳定系数。

从式 (8-3-1) 也可以导出热稳定系数 C 的计算式:

设: $\ln x = \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)$ 由式 (8-3-1) 得:

$$S_{min} = \frac{I_{sk} \cdot \sqrt{t}}{K \cdot \ln x} = \frac{I_{sk} \cdot \sqrt{t}}{C} \quad (8-5-1)$$

$$C = K \sqrt{\ln(x)} = K \times \left[\ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right) \right]^{1/2}$$

$$C = \sqrt{\frac{\sigma_c (\beta + 20) \times 10^{-12}}{\rho_{20}}} \times \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right) \quad (8-5-2)$$

式中 S ——载流体截面积, mm^2 , 对于导体和金属套而言, 使用标称截面足够了 (如果是屏蔽, 此值须仔细考虑)。

其他符号物理意义见式 (8-3-1) 的说明。

对于不同类型的电缆热稳定系数列于表 8-5-1 中。

表 8-5-1 热 稳 定 系 数

电 缆 用 绝 缘 材 料	短路温度 θ_f ($^{\circ}\text{C}$)	起始温度 θ_i ($^{\circ}\text{C}$)	热稳定系数 C	
			铜	铝
0.6/1kV 及以下电缆	—	—	—	—
绝缘纸	250	80	148	98
聚氯乙烯 $\leq 300\text{mm}^2$	160	70	114	76
$> 300\text{mm}^2$	140	70	102	68
丁基橡胶	220	70	143	94
交联聚乙烯	250	90	143	94
1.8/3 (3.6) ~ 18/30 (36) kV 电缆	—	—	—	—
整体浸渍不滴流 $\leq 20\text{kV}$	170	65	123	82
$> 20\text{kV}$	150	65	112	74
油/松香 $\leq 20\text{kV}$	170	65	123	82
$> 20\text{kV}$	150	60	116	77
聚氯乙烯 $\leq 300\text{mm}^2$	160	70	115	76
$> 300\text{mm}^2$	140	70	102	68
交联聚乙烯	250	90	143	94

示例: 试求下述电缆在保证短路时热稳定的条件下, 允许通过的最大稳定短路电流值:

1) 10kV 油浸纸绝缘铝芯电缆 150、300 mm^2 , 假想时间 $t = 1.6\text{s}$ 。

2) 交联聚乙烯绝缘铜芯电缆 150、400mm², 假想时间 $t = 1.3\text{s}$ 。

3) 聚氯乙烯绝缘铜芯电缆 185、240mm², 假想时间 $t = 0.6\text{s}$ 。

解: 由计算公式 (8-5-1) 可以得出:

$$I_{Ad} = \frac{C \cdot S}{\sqrt{t}} \times 10^{-3} \quad (\text{kA})$$

从表 8-5-1 查得 C 值并将各个参数代入上式即可以得表 8-5-2 的数据。

表 8-5-2 短 路 电 流 计 算

电 缆 类 型	导体材质	短路时间 t (s)	热稳定系数 C	导体截面 S (mm ²)	短路电流 I_{Ad} (kA)
10kV 油浸纸绝缘电缆	铝	1.6	82	150	9.72
				300	19.44
交联聚乙烯绝缘电缆	铜	1.2	143	150	19.58
				400	52.21
聚氯乙烯绝缘电缆	铜	0.6	115	185	27.46
			102	400	52.67

第II部分

电线电缆参考载流量



铝绞线和钢芯铝绞线

1.1 适用范围

架空输电线路用铝绞线和钢芯铝绞线。

1.2 计算依据

(1) IEC 1597—1995 标准和 GB 1179—1983 标准 (铝绞线及钢芯铝绞线)。

(2) 物理参数: 日照强度 $K_1 = 1000$ (W/m^2); 导线表面吸收系数 $k_1 = 0.5$; 导体表面黑体辐射系数 $k_2 = 0.6$; 风速 $v = 0.5$ (m/s)。

(3) 交直流电阻比是依据 Morgan 公式计算的导体温度下交流电阻与直流电阻之比值与表中导体截面积下载流量进行线性拟合而确定的计算式, 即 $K = aI^b$ 。

1.3 使用说明

使用本章载流量数据时应注意以下几点:

- (1) 导线材质和结构应符合 GB 1179—1983 标准。
- (2) 钢芯铝绞线最高工作温度 $110(^{\circ}\text{C})$, 铝绞线为 $90(^{\circ}\text{C})$, GB 1179—1983 中未规定此值。
- (3) LGJF 型 (防腐) 载流量按 LGJ 型相应截面选取载流量。
- (4) 载流量中直流电阻为相应导体工作温度下的直流电阻。
- (5) 交直流电阻比已考虑到集肤、邻近效应和磁损耗 (钢芯铝绞线)。

(6) 相应于本部分的载流量计算软件为既可计算系列截面载流量, 又可计算特定截面的载流量和有关参数。使用简捷而方便。

1.4 铝绞线和钢芯铝绞线载流量

钢芯铝绞线和铝绞线载流量列于表 1-1-1 ~ 表 1-1-13。

铝绞线载流量列于表 1-2-1 ~ 表 1-2-3。

表 1-1-1

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
10/2	20	—	—	—	—	—	—	0.2706	— $K = 0.9517 I^{0.0151}$
	60	80	75	65	60	50	45	0.2812	
	70	85	80	75	70	65	60	0.2910	
	80	95	90	85	80	75	70	0.2959	
	90	100	95	90	90	85	80	0.3105	
	100	105	100	100	95	90	85	0.3203	
16/3	20	—	—	—	—	—	—	1.7790	— $K = 0.9279 I^{0.0216}$
	60	100	95	85	75	65	55	2.0658	
	70	115	105	100	90	85	75	2.1375	
	80	120	115	110	105	95	90	2.2092	
	90	130	125	120	115	110	100	2.2809	
	100	140	135	130	125	115	110	2.3525	
25/4	20	—	—	—	—	—	—	1.1310	— $K = 0.7757 I^{0.0608}$
	60	135	125	115	100	90	75	1.3133	
	70	150	140	130	120	110	100	1.3589	
	80	160	155	145	140	130	120	1.4045	
	90	175	165	160	150	145	135	1.4501	
	100	185	175	170	165	155	150	1.4956	
35/6	20	—	—	—	—	—	—	0.8230	— $K = 0.2163 I^{-0.3197}$
	60	165	150	140	125	110	90	0.9557	
	70	180	170	160	150	135	120	0.9888	
	80	195	185	175	165	155	145	1.0220	
	90	210	200	195	185	175	165	1.0552	
	100	225	215	205	200	190	180	1.0883	

表 1-1-2

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
50/8	20	—	—	—	—	—	—	0.5946	$K = 0.8953 I^{-0.0343}$
	60	200	185	170	150	130	105	0.6903	
	70	220	210	195	180	165	150	0.7143	
	80	240	230	215	205	190	175	0.7383	
	90	260	250	235	225	215	200	0.7622	
	100	275	265	255	245	230	220	0.7862	
50/30	20	—	—	—	—	—	—	0.5692	$K = 0.3058 I^{0.2544}$
	60	205	190	175	160	140	110	0.6610	
	70	225	210	200	185	170	155	0.6639	
	80	240	230	220	210	195	185	0.7068	
	90	260	250	240	230	215	205	0.7298	
	100	275	265	255	245	235	225	0.7525	

续表

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
70/10	20	—	—	—	—	—	—	0.4217	$K = 1.010I^{0.0153}$
	60	245	225	205	185	160	130	0.4897	
	70	270	255	240	220	205	180	0.5067	
	80	300	280	265	250	235	215	0.5237	
	90	320	305	290	275	260	245	0.5407	
	100	345	330	315	300	285	270	0.5577	
70/40	20	—	—	—	—	—	—	0.4141	$K = 0.5220I^{0.1555}$
	60	240	225	210	190	165	135	0.4809	
	70	265	250	240	225	205	185	0.4975	
	80	285	275	260	250	235	220	0.5143	
	90	305	295	280	270	260	245	0.5310	
	100	325	315	300	290	280	265	0.5477	

表 1-1-3

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
95/15	20	—	—	—	—	—	—	0.3058	$K = 1.0037 I^{0.0001}$
	60	320	295	265	235	200	160	0.3555	
	70	355	335	310	285	260	230	0.3678	
	80	385	370	350	330	305	280	0.3802	
	90	415	400	380	360	340	320	0.3925	
	100	440	425	405	390	375	355	0.4048	
95/20	20	—	—	—	—	—	—	0.2992	$K = 0.3343 I^{0.2403}$
	60	290	270	245	225	195	160	0.3475	
	70	325	305	285	265	245	220	0.3595	
	80	360	340	320	300	280	260	0.3716	
	90	390	370	350	330	315	295	0.3836	
	100	415	440	385	365	345	325	0.3957	
95/55	20	—	—	—	—	—	—	0.2992	$K = 0.3343 I^{0.2403}$
	60	290	270	250	225	200	160	0.3475	
	70	315	300	285	265	245	225	0.3595	
	80	340	325	310	295	280	265	0.3716	
	90	365	350	335	325	310	295	0.3836	
	100	390	375	360	345	335	320	0.3957	

表 1-1-4

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
120/7	20	—	—	—	—	—	—	0.2422	— $K = 1.0016 I^{0.0001}$
	60	365	335	305	270	230	180	0.2812	
	70	405	380	355	330	300	265	0.2910	
	80	445	420	400	375	350	320	0.3008	
	90	475	455	435	415	390	370	0.3105	
	100	505	485	465	450	430	405	0.3203	
120/20	20	—	—	—	—	—	—	0.2496	— $K = 1.0044 I^{0.0002}$
	60	360	335	300	270	230	180	0.2901	
	70	405	380	355	325	295	260	0.3002	
	80	440	420	395	375	350	320	0.3102	
	90	475	455	435	410	390	365	0.3203	
	100	500	485	465	445	425	405	0.3304	
120/25	20	—	—	—	—	—	—	0.2345	— $K = 0.9491 I^{0.0008}$
	60	335	310	285	255	225	180	0.2724	
	70	375	350	330	305	280	255	0.2818	
	80	415	390	360	345	325	300	0.2913	
	90	450	430	405	385	360	340	0.3007	
	100	480	465	445	420	400	375	0.3102	
120/70	20	—	—	—	—	—	—	0.2364	— $K = 0.1429 I^{0.3928}$
	60	325	305	285	260	225	180	0.2745	
	70	355	340	320	300	280	255	0.2841	
	80	385	370	350	335	320	300	0.2936	
	90	410	395	380	365	350	335	0.3031	
	100	440	425	405	390	375	360	0.3126	

表 1-1-5

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
150/8	20	—	—	—	—	—	—	0.1989	— $K = 0.9940 I^{0.0016}$
	60	415	380	345	305	260	205	0.2310	
	70	460	435	405	370	335	300	0.2390	
	80	505	480	455	425	395	365	0.2470	
	90	540	515	495	470	445	420	0.2550	
	100	570	550	530	510	485	465	0.2630	
150/20	20	—	—	—	—	—	—	0.1980	— $K = 1.0065 I^{0.0006}$
	60	420	385	350	310	260	205	0.2301	
	70	470	440	410	375	340	300	0.2381	
	80	510	485	460	430	400	370	0.2461	
	90	550	525	500	475	450	425	0.2540	
	100	580	560	540	515	495	470	0.2620	

续表

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^\beta$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
150/25	20	—	—	—	—	—	—	0.1939	$K = 0.9501 I^{0.0088}$
	60	425	390	355	315	265	210	0.2252	
	70	475	450	415	385	345	305	0.2330	
	80	520	495	470	440	410	375	0.2408	
	90	555	535	510	485	460	430	0.2486	
	100	590	570	550	525	500	480	0.2564	
150/35	20	—	—	—	—	—	—	0.1962	$K = 1.0074 I^{0.0007}$
	60	425	390	355	315	265	210	0.2278	
	70	475	450	415	385	345	305	0.2357	
	80	520	495	470	440	410	375	0.2436	
	90	560	535	510	485	460	430	0.2515	
	100	590	570	550	525	505	480	0.2595	

表 1-1-6

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^\beta$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
185/10	20	—	—	—	—	—	—	0.1572	— $K = 1.1184 I^{0.0180}$
	60	480	440	400	350	300	235	0.1825	
	70	535	505	470	430	390	345	0.1889	
	80	585	555	525	495	460	425	0.1952	
	90	630	605	575	550	520	485	0.2015	
	100	665	645	620	595	565	540	0.2079	
185/25	20	—	—	—	—	—	—	0.1542	— $K = 0.9889 I^{0.0024}$
	60	530	485	440	385	325	245	0.1791	
	70	595	560	520	475	430	380	0.1853	
	80	650	620	585	550	510	470	0.1915	
	90	695	670	640	610	575	540	0.1977	
	100	740	715	685	660	630	600	0.2039	
185/30	20	—	—	—	—	—	—	0.1592	— $K = 0.9749 I^{0.0048}$
	60	485	445	400	355	300	235	0.1849	
	70	540	510	475	435	395	345	0.1913	
	80	590	560	530	500	465	425	0.1977	
	90	635	610	580	550	520	490	0.2041	
	100	670	650	625	600	570	545	0.2105	
185/45	20	—	—	—	—	—	—	0.1564	— $K = 0.9887 I^{0.0024}$
	60	490	450	410	360	305	235	0.1816	
	70	550	520	480	445	400	355	0.1879	
	80	605	575	540	510	475	435	0.1942	
	90	645	620	590	565	535	500	0.2005	
	100	686	660	635	610	585	555	0.2068	

表 1-1-7

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
210/10	20	—	—	—	—	—	—	0.1411	$K = 1.0267 I^{-0.0038}$
	60	515	470	425	375	320	250	0.1638	
	70	575	540	505	465	420	370	0.1695	
	80	630	600	565	530	495	455	0.1752	
	90	675	645	620	585	555	520	0.1809	
	100	715	690	665	635	610	580	0.1866	
210/25	20	—	—	—	—	—	—	0.1380	$K = 1.0077 I^{-0.007}$
	60	525	485	440	385	325	255	0.1602	
	70	590	555	515	475	430	380	0.1658	
	80	645	615	580	545	505	465	0.1714	
	90	695	665	635	605	570	535	0.1769	
	100	735	710	680	655	625	595	0.1825	
210/35	20	—	—	—	—	—	—	0.1363	$K = 1.0084 I^{-0.0008}$
	60	530	490	440	390	330	255	0.1583	
	70	600	560	520	480	435	385	0.1638	
	80	655	620	585	550	515	470	0.1693	
	90	700	670	640	610	575	540	0.1748	
	100	745	715	690	660	630	600	0.1802	
210/50	20	—	—	—	—	—	—	0.1381	$K = 0.9978 I^{0.0009}$
	60	535	490	440	390	330	255	0.1604	
	70	600	560	520	480	435	380	0.1659	
	80	655	620	585	550	515	470	0.1715	
	90	700	670	640	610	580	540	0.1771	
	100	745	715	690	660	635	600	0.1826	

表 1-1-8

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = a \times I^b$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
240/30	20	—	—	—	—	—	—	0.1181	— $K = 0.8957 I^{0.01912}$
	60	580	535	485	425	360	275	0.1371	
	70	655	615	570	525	475	415	0.1419	
	80	715	680	640	600	560	515	0.1467	
	90	765	735	700	665	630	595	0.1514	
	100	815	785	755	725	690	660	0.1562	
240/40	20	—	—	—	—	—	—	0.1209	— $K = 0.9146 I^{0.01564}$
	60	575	530	475	420	355	275	0.1404	
	70	645	605	565	520	470	410	0.1453	
	80	705	670	635	595	555	510	0.1501	
	90	760	725	695	660	625	585	0.1550	
	100	805	775	745	715	685	650	0.1599	

续表

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^\beta$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
240/55	20	—	—	—	—	—	—	0.1198	$K = 0.9999 I^{0.0005}$
	60	585	535	485	425	360	275	0.1391	
	70	655	615	570	525	475	420	0.1439	
	80	715	680	645	605	560	515	0.1488	
	90	770	740	705	670	635	595	0.1536	
	100	815	785	760	725	695	660	0.1584	

表 1-1-9

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^\beta$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
300/15	20	-	-	-	-	-	-	0.0972	$K = 0.9341 I^{0.0123}$
	60	650	595	540	475	400	305	0.1129	
	70	730	685	635	585	530	465	0.1168	
	80	795	755	715	670	625	575	0.1208	
	90	850	825	780	745	705	660	0.1247	
	100	900	870	840	805	770	735	0.1286	
300/20	20	-	-	-	-	-	-	0.0952	$K = 0.9082 I^{0.0170}$
	60	660	605	545	480	405	310	0.1105	
	70	740	695	645	595	540	475	0.1144	
	80	805	765	725	685	635	585	0.1182	
	90	865	830	795	755	715	675	0.1221	
	100	910	885	850	820	785	745	0.1259	
300/25	20	-	-	-	-	-	-	0.0943	$K = 0.8850 I^{0.0212}$
	60	665	610	550	485	410	315	0.1095	
	70	745	700	650	600	540	475	0.1133	
	80	810	775	730	690	640	590	0.1171	
	90	870	835	800	760	720	680	0.1209	
	100	920	890	855	825	790	750	0.1247	
300/40 300/50	20	-	-	-	-	-	-	0.0961	$K = 1.0108 I^{-0.0011}$
	60	665	610	550	485	405	310	0.1116	
	70	745	700	650	595	540	475	0.1155	
	80	815	775	730	685	640	585	0.1194	
	90	975	840	800	765	720	675	0.1233	
	100	930	895	865	830	790	750	0.1271	
300/70	20	-	-	-	-	-	-	0.0946	$K = 0.9973 I^{0.0009}$
	60	680	620	560	495	415	315	0.1099	
	70	765	715	665	610	550	485	0.1137	
	80	835	795	750	705	655	600	0.1175	
	90	895	860	820	780	740	695	0.1213	
	100	950	920	885	850	810	770	0.1251	

表 1-1-10

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
400/20	20	—	—	—	—	—	—	0.0710	$K = 0.8625 I^{0.0253}$
	60	790	725	655	575	480	365	0.0825	
	70	885	835	775	715	645	565	0.0854	
	80	970	920	875	820	765	705	0.0882	
	90	1040	1000	950	910	860	810	0.0911	
	100	1100	1060	1020	980	940	895	0.0939	
400/25 400/35	20	—	—	—	—	—	—	0.0737	$K = 0.8042 I^{0.0363}$
	60	775	710	640	565	470	360	0.0856	
	70	865	815	760	700	630	555	0.0886	
	80	950	900	855	805	750	690	0.0915	
	90	1010	970	930	890	840	790	0.0945	
	100	1070	1040	1000	960	920	880	0.0975	
400/50	20	—	—	—	—	—	—	0.0723	$K = 0.7718 I^{0.0434}$
	60	785	720	650	570	480	365	0.0840	
	70	880	830	770	710	640	565	0.0869	
	80	960	910	865	815	760	700	0.0898	
	90	1030	990	940	900	855	805	0.0927	
	100	1090	1050	1010	970	930	890	0.0956	
400/65	20	—	—	—	—	—	—	0.0724	$K = 1.0081 I^{-0.0003}$
	60	850	780	705	615	510	375	0.0840	
	70	960	900	840	770	690	605	0.0869	
	80	1050	1000	950	890	825	760	0.0899	
	90	1130	1090	1040	990	930	880	0.0928	
	100	1200	1160	1120	1070	1030	980	0.0957	
400/95	20	—	—	—	—	—	—	0.0709	$K = 1.0229 I^{-0.0023}$
	60	775	715	645	565	475	365	0.0823	
	70	870	815	760	695	630	555	0.0852	
	80	950	900	855	800	745	685	0.0880	
	90	1020	980	930	890	840	790	0.0909	
	100	1080	1040	1010	960	920	875	0.0938	

表 1-1-11

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
500/35	20	—	—	—	—	—	—	0.0581	— $K = 0.6995 I^{0.0577}$
	60	895	825	745	650	545	410	0.0675	
	70	1000	940	880	815	730	640	0.0698	
	80	1090	1040	990	930	865	800	0.0722	
	90	1170	1130	1080	1030	980	920	0.0745	
	100	1250	1200	1160	1120	1070	1020	0.0769	

续表

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
500/45	20	—	—	—	—	—	—	0.0591	— $K = 0.6596 I^{0.0668}$
	60	885	815	735	645	540	405	0.0687	
	70	990	930	870	800	725	635	0.0710	
	80	1080	1030	980	920	860	790	0.0734	
	90	1160	1120	1070	1020	970	910	0.0758	
	100	1230	1190	1150	1100	1060	1010	0.0782	
500/65	20	—	—	—	—	—	—	0.0576	— $K = 0.6728 I^{0.0649}$
	60	900	830	750	655	550	410	0.0669	
	70	1010	950	885	815	735	645	0.0692	
	80	1100	1050	1000	940	875	805	0.0704	
	90	1180	1140	1090	1040	980	930	0.0738	
	100	1250	1210	1170	1120	1080	1030	0.0762	

表 1-1-12

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
630/45	20	—	—	—	—	—	—	0.0463	$K = 0.4502 I^{0.1235}$
	60	1020	940	850	745	620	465	0.0538	
	70	1150	1080	1010	930	840	735	0.0557	
	80	1260	1200	1130	1070	1000	920	0.0575	
	90	1350	1300	1240	1180	1120	1060	0.0594	
	100	1430	1380	1330	1280	1230	1170	0.0613	
630/55	20	—	—	—	—	—	—	0.0451	$K = 0.4093 I^{0.1379}$
	60	1040	960	865	755	630	470	0.0524	
	70	1170	1100	1020	940	850	745	0.0542	
	80	1280	1220	1150	1090	1010	930	0.0561	
	90	1370	1320	1260	1200	1140	1070	0.0579	
	100	1450	1400	1350	1300	1250	1190	0.0597	
630/80	20	—	—	—	—	—	—	0.0455	$K = 0.1467 I^{0.2989}$
	60	960	895	815	725	610	460	0.0528	
	70	1070	1010	950	885	805	715	0.0547	
	80	1160	1110	1060	1000	940	875	0.0565	
	90	1240	1190	1150	1100	1050	990	0.0583	
	100	1310	1270	1230	1180	1140	1090	0.0602	

表 1-1-13

LGJ LGJF 型钢芯铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比 $K = \alpha \times I^{\beta}$
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
800/55	20	—	—	—	—	—	—	0.0355	$K = 0.0823 I^{0.3691}$
	60	1200	1100	990	870	720	530	0.0412	
	70	1350	1270	1190	1090	980	860	0.0426	
	80	1480	1410	1340	1260	1170	1080	0.0440	
	90	1590	1530	1460	1400	1320	1240	0.0455	
	100	1690	1630	1570	1510	1450	1380	0.0469	
800/70	20	—	—	—	—	—	—	0.0357	$K = 0.0450 I^{0.4573}$
	60	1190	1100	990	865	720	530	0.0415	
	70	1340	1260	1180	1080	970	855	0.0429	
	80	1470	1400	1330	1250	1160	1070	0.0444	
	90	1570	1510	1450	1380	1310	1240	0.0458	
	100	1670	1610	1560	1500	1440	1370	0.0473	
800/100	20	—	—	—	—	—	—	0.0364	$K = 0.0107 I^{0.6805}$
	60	1090	1010	920	820	690	520	0.0422	
	70	1210	1140	1080	1000	910	810	0.0437	
	80	1300	1250	1190	1130	1060	990	0.0451	
	90	1390	1340	1290	1240	1180	1120	0.0466	
	100	1470	1420	1380	1330	1280	1230	0.0481	

表 1-2-1

LJ 型铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
16	20	-	-	-	-	-	-	1.8020	1.003
	60	100	95	85	75	65	55	2.0925	
	70	110	105	100	90	85	75	2.1651	
	80	120	115	110	105	95	90	2.2377	
	90	130	125	120	110	105	100	2.3104	
25	20	-	-	-	-	-	-	1.1266	1.003
	60	135	125	115	100	90	70	1.3082	
	70	150	140	130	120	110	100	1.3536	
	80	165	155	145	140	130	120	1.3990	
	90	175	165	160	150	145	135	1.4444	
35	20	-	-	-	-	-	-	0.8333	1.003
	60	165	150	140	125	105	85	0.9676	
	70	185	170	160	150	135	120	1.0011	
	80	200	190	180	170	155	145	1.0347	
	90	210	205	195	185	175	165	1.0683	

续表

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
50	20	—	—	—	—	—	—	0.5787	—
	60	205	190	175	155	135	105	0.6719	1.003
	70	230	215	200	185	170	150	0.6952	
	80	250	240	225	210	200	185	0.7186	
	90	265	255	245	235	200	210	0.7419	
70	20	—	—	—	—	—	—	0.4018	—
	60	260	240	220	195	165	135	0.4666	1.003
	70	290	275	255	235	215	190	0.4828	
	80	315	300	285	270	250	230	0.4990	
	90	340	325	310	295	280	265	0.5152	

表 1-2-2

LJ 型铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
95	20	—	—	—	—	—	—	0.3009	— 1.003
	60	315	290	260	235	200	160	0.3494	
	70	350	330	305	285	255	230	0.3616	
	80	380	360	345	320	300	275	0.3737	
	90	410	390	375	355	335	315	0.3858	
120	20	—	—	—	—	—	—	0.2374	— 1.003
	60	365	335	305	270	230	185	0.2756	
	70	410	385	360	330	300	265	0.2852	
	80	445	425	400	375	350	325	0.2948	
	90	475	460	435	415	395	370	0.3043	
150	20	—	—	—	—	—	—	0.1943	— 1.003
	60	415	385	345	305	260	205	0.2256	
	70	465	435	405	375	340	300	0.2335	
	80	505	480	455	430	400	370	0.2413	
	90	545	520	500	475	450	420	0.2491	
185	20	—	—	—	—	—	—	0.1574	— 1.003
	60	475	440	395	350	295	230	0.1827	
	70	535	500	465	430	390	345	0.1891	
	80	580	555	525	490	455	425	0.1954	
	90	625	600	570	545	515	485	0.2018	
210	20	—	—	—	—	—	—	0.1371	— 1.003
	60	520	480	430	380	325	250	0.1592	
	70	580	545	510	470	425	375	0.1647	
	80	635	605	570	535	500	460	0.1703	
	90	680	655	625	595	560	530	0.1758	

表 1-2-3

LJ 型铝绞线载流量

标准截面 (mm ²)	工作温度 (℃)	环境温度 (℃)						直流电阻 (Ω/km)	交直流电阻比
		20	25	30	35	40	45		
		载 流 量 (A)							
240	20	—	—	—	—	—	—	0.1205	— $K = 1.01302 I^{-1.4794}$
	60	565	520	470	415	350	270	0.1399	
	70	630	595	550	510	460	405	0.1448	
	80	690	655	620	585	545	500	0.1496	
	90	740	710	680	645	610	575	0.1545	
300	20	—	—	—	—	—	—	0.0969	— $K = 1.02024 I^{0.00246}$
	60	650	595	535	475	400	305	0.1125	
	70	730	685	635	585	525	465	0.1164	
	80	795	755	715	670	625	575	0.1203	
	90	855	820	785	745	705	660	0.1242	
400	20	—	—	—	—	—	—	0.0725	— $K = 1.03629 I^{-0.00985}$
	60	780	715	645	565	475	360	0.0842	
	70	875	820	765	700	630	555	0.0871	
	80	960	910	860	810	750	690	0.0900	
	90	1030	990	940	895	850	795	0.0929	
500	20	—	—	—	—	—	—	0.0573	— $K = 1.0580 I^{-0.006}$
	60	900	825	745	650	545	410	0.0666	
	70	1010	950	885	810	730	640	0.0689	
	80	1110	1060	1000	940	870	800	0.0712	
	90	1200	1150	1100	1040	980	920	0.0735	
630	20	—	—	—	—	—	—	0.0458	— $K = 1.0906 I^{-0.009024}$
	60	1030	950	855	745	620	465	0.0531	
	70	1170	1100	1020	930	840	735	0.0550	
	80	1280	1220	1150	1080	1000	920	0.0568	
	90	1380	1330	1270	1200	1140	1070	0.0587	
800	20	—	—	—	—	—	—	0.0359	— $K = 1.1462 I^{-0.01382}$
	60	1200	1100	990	860	715	525	0.0417	
	70	1360	1270	1180	1080	970	850	0.0431	
	80	1490	1420	1340	1260	1170	1070	0.0446	
	90	1610	1550	1470	1400	1320	1240	0.0460	



架空绝缘电缆

2.1 适用范围

额定电压 1kV 及以下架空绝缘电缆 (GB 12527—90) 和额定电压 10、35kV 架空绝缘电缆 (GB 14049—93)。

2.2 环境条件

- (1) 空气中自然对流, 未考虑风速的影响。
- (2) 考虑到日光照射和免于日光照射两种敷设环境。
- (3) 日照强度取 $1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$ 。
- (4) 单芯电缆间距取 200 (mm) 。
- (5) 电缆表面吸收系数: 聚氯乙烯取 0.6, 聚乙烯, 交联聚乙烯取 0.4。
- (6) 环境温度不同于基准温度下载流量修正系数列于表 2-2-1。

表 2-2-1 环境温度不同于基准温度 40℃时载流量修正系数表

导体温度 (℃)	环 境 温 度 (℃)									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
70	1.52	1.44	1.36	1.28	1.19	1.09	1.00	0.89	0.78	0.65
75	1.44	1.37	1.30	1.23	1.16	1.08	1.00	0.91	0.82	0.72
90	1.32	1.26	1.21	1.16	1.11	1.05	1.00	0.93	0.89	0.80

2.3 使用载流量表时应注意事项

- (1) 架空绝缘电缆敷设间距应符合安装要求, 不允许两根及以上的电 缆相互接触。
- (2) 当电缆在直接日照环境下运行时应按《直接受太阳照射》条件选择载流量。
- (3) 环境温度不同于载流量表中的基准环境温度 40℃时应根据实际环境温度对载

流量进行修正。载流量修正系数列于表 2-2-1。

2.4 架空絕緣電纜載流量

架空绝缘电缆载流量列于表 2-4-1~表 2-4-7。

架空絕緣電纜載流量

型 号	JKV-0.6/1 JKL V-0.6/1 JKLHV-0.6/1								
电 压	0.6/1 (kV)								
芯 数	单 芯			二 芯			三 芯		
导 体	铜 芯	铝 芯	铝合金	铜 芯	铝 芯	铝合金	铜 芯	铝 芯	铝合金
截面 (mm ²)	载流量 (A) (不受太阳照射)								
10	65	51	47	57	44	41	46	36	30
16	85	69	64	77	60	55	64	49	46
25	115	92	86	100	80	75	86	67	63
35	145	115	105	125	99	92	105	84	78
50	175	140	130	150	120	110	130	100	97
70	220	175	165	195	150	140	170	130	120
95	275	220	205	245	190	175	210	165	155
120	320	255	235	280	220	205	245	190	180
150	370	290	275	320	250	235	280	220	210
185	430	340	320	370	295	275	325	265	240
240	515	405	380	440	350	325	390	310	290
截面 (mm ²)	载流量 (A) (直接受太阳照射)								
10	53	42	39	43	33	31	26	20	19
16	77	56	52	56	43	41	34	27	25
25	100	80	75	84	65	61	62	48	45
35	125	99	92	100	80	75	77	59	56
50	150	120	110	125	97	91	94	73	68
70	190	150	140	155	120	115	115	92	86
95	235	185	175	190	145	140	145	115	105
120	270	215	200	220	170	160	170	130	125
150	310	245	230	245	195	180	190	150	140
185	360	285	265	285	225	210	220	175	165
240	425	335	315	335	265	250	260	210	195
工作温度	70 (°C)								
环境温度	40 (°C)								

表 2-4-2

架空绝缘电缆载流量

型 号	JKY-0.6/1 JKLY-0.6/1 JKLHY-0.6/1								
电 压	0.6/1 (kV)								
芯 数	单 芯			二 芯			三 芯		
导 体	铜 芯	铝 芯	铝合金	铜 芯	铝 芯	铝合金	铜 芯	铝 芯	铝合金
截面 (mm ²)	载流量 (A) (不受太阳照射)								
10	66	52	48	58	44	42	47	36	34
16	89	70	66	78	61	57	65	50	47
25	120	94	88	105	81	76	87	68	63
35	145	115	110	130	100	94	110	85	79
50	180	140	130	155	120	115	135	105	98
70	230	180	170	200	155	145	170	130	125
95	280	220	210	245	190	180	215	165	155
120	330	260	245	285	225	210	250	195	180
150	380	300	280	325	255	240	285	225	210
185	440	350	325	380	300	280	335	260	245
240	525	415	390	450	355	335	400	315	295
截面 (mm ²)	载流量 (A) (直接受太阳照射)								
10	58	46	43	49	37	35	34	26	25
16	78	62	58	65	50	47	47	36	34
25	105	82	77	85	66	62	63	49	46
35	125	100	94	105	81	76	78	60	56
50	155	120	115	125	98	92	95	74	69
70	195	155	145	160	120	115	120	93	87
95	240	190	175	195	150	140	145	115	105
120	280	220	205	225	175	165	170	135	125
150	320	255	235	250	200	185	195	155	145
185	370	290	270	290	230	215	225	175	165
240	440	345	325	340	270	255	265	210	200
工作温度	70 (°C)								
环境温度	40 (°C)								

表 2-4-3

架空绝缘电缆载流量

型 号	JKY JKLY JKLHY					
电 压	10 (kV)					
芯 数	单 芯			三 芯		
导 体	铜 芯	铝 芯	铝合金	铜 芯	铝 芯	铝合金
截面 (mm ²)	载流量 (A) (不受太阳照射)					
10	80	64	60	-	-	-
16	105	85	79	-	-	-
25	140	110	105	115	88	83
35	170	135	125	135	105	100
50	205	165	150	165	130	120
70	260	205	190	210	160	150
95	320	250	235	255	200	185
120	365	290	270	295	230	215
150	420	330	310	335	260	245
185	485	385	360	385	305	285
240	575	455	425	455	360	340
300	665	525	505	525	415	400

续表

截面 (mm ²)	载流量 (A) (直接受太阳照射)					
10	71	56	53	-	-	-
16	94	74	69	-	-	-
25	125	97	91	86	67	62
35	150	115	110	105	80	75
50	180	140	135	125	97	91
70	225	180	165	155	120	110
95	275	215	205	190	145	135
120	315	250	235	220	170	160
150	365	285	270	245	190	180
185	420	330	310	280	225	210
240	490	390	365	330	265	245
300	565	450	430	380	300	290
工作温度	75 (°C)					
环境温度	40 (°C)					

表 2-4-4

架空绝缘电缆载流量

型 号	JKLY/Q JKLHY/Q			
电 压	10 (kV)			
芯 数	单 芯		三 芯	
导 体	铝 芯	铝合金	铝 芯	铝合金
截面 (mm ²)	载流量 (A) (不受太阳照射)			
10	63	50	49	46
16	83	78	65	61
25	110	100	86	80
35	135	125	105	98
50	160	150	125	120
70	205	190	160	150
95	250	235	195	180
120	290	270	225	210
150	330	310	260	245
185	380	360	300	280
240	455	425	355	335
300	525	505	410	395
截面 (mm ²)	载流量 (A) (直接受太阳照射)			
10	56	52	37	35
16	73	69	49	46
25	97	91	65	61
35	115	110	79	74
50	140	130	95	89
70	175	165	120	110
95	215	200	145	135
120	250	235	165	155
150	285	270	190	180
185	330	310	220	205
240	390	365	260	245
300	450	435	300	290
工作温度	75 (°C)			
环境温度	40 (°C)			

表 2-4-5

架空绝缘电缆载流量

型 号	JKYJ-0.6/1 JKLYJ-0.6/1 JKLHYJ-0.6/1								
电 压	0.6/1 (kV)								
芯 数	单 芯			二 芯			三 芯		
导 体	铜 芯	铝 芯	铝合金	铜 芯	铝 芯	铝合金	铜 芯	铝 芯	铝合金
截面 (mm ²)	载流量 (A) (不受太阳照射)								
10	87	68	64	77	59	55	62	48	45
16	115	93	87	105	80	75	86	66	62
25	155	125	115	135	105	100	115	90	84
35	195	150	145	170	130	125	145	110	105
50	240	185	175	210	160	150	180	140	130
70	300	235	225	265	205	190	225	175	165
95	375	295	275	325	255	240	285	220	205
120	435	345	320	380	295	275	330	255	240
150	505	395	370	435	340	320	380	300	280
185	585	460	430	500	395	370	440	350	330
240	695	550	515	595	470	445	530	420	395
截面 (mm ²)	载流量 (A) (直接受太阳照射)								
10	82	64	61	70	54	51	54	42	39
16	110	87	82	95	73	69	74	57	54
25	145	115	110	125	98	92	100	77	73
35	180	140	135	155	120	110	125	97	91
50	220	175	165	190	145	135	150	120	110
70	280	220	215	235	185	170	195	150	140
95	345	270	255	290	225	215	240	185	175
120	405	315	300	340	265	245	280	220	205
150	465	365	345	385	305	285	320	255	240
185	535	425	400	445	350	330	375	295	280
240	640	505	475	525	415	390	445	355	335
工作温度	90 (°C)								
环境温度	40 (°C)								

表 2-4-6

架空绝缘电缆载流量

型 号	JKYJ JKLYJ JKLHYJ						
电 压	10 (kV)						
芯 数	单 芯			三 芯			单 芯
导 体	铜 芯	铝 芯	铝合金	铜 芯	铝 芯	铝合金	铜 芯
截面 (mm ²)	载流量 (A) (不受太阳照射)						
10	98	77	72	-	-	-	100
16	125	100	95	-	-	-	130
25	170	135	125	135	105	100	170
35	205	160	150	165	130	120	210
50	250	195	185	200	155	145	250
70	315	245	230	250	195	185	315
95	380	300	280	305	240	225	380
120	445	350	330	355	280	260	440
150	510	400	375	405	315	300	505
185	585	460	435	465	370	345	575
240	695	550	515	550	435	410	685
300	805	635	615	635	505	485	785

续表

截面 (mm ²)	载流量 (A) (直接受太阳照射)						
10	90	71	66	—	—	—	92
16	120	94	88	—	—	—	120
25	155	120	115	115	91	85	155
35	190	150	140	140	110	100	190
50	230	180	170	170	130	125	230
70	285	225	210	210	165	155	285
95	350	275	260	255	200	190	345
120	405	320	300	295	235	220	400
150	465	365	345	340	265	250	455
185	535	420	395	390	310	290	520
240	635	500	470	460	365	345	615
300	735	580	560	530	420	405	710
工作温度	90 (°C)						
环境温度	40 (°C)						

表 2-4-7

架空绝缘电缆载流量

型 号	JKLYJ/Q JKLHYJ/Q			
电 压	10 (kV)			
芯 数	单 芯		三 芯	
导 体	铝 芯	铝合金	铝 芯	铝合金
截面 (mm ²)	载流量 (A) (不受太阳照射)			
10	76	71	—	—
16	100	94	—	—
25	130	125	105	97
35	160	150	125	120
50	195	185	155	145
70	245	230	190	180
95	300	280	235	220
120	345	325	275	255
150	400	375	315	295
185	460	435	365	340
240	550	515	430	405
300	640	615	500	485
截面 (mm ²)	载流量 (A) (直接受太阳照射)			
10	70	66	—	—
16	93	87	—	—
25	120	115	89	83
35	150	140	105	100
50	180	170	130	120
70	225	210	160	155
95	275	260	200	185
120	320	300	230	215
150	365	345	265	250
185	420	395	305	285
240	500	470	365	340
300	585	565	420	405
工作温度	90 (°C)			
环境温度	40 (°C)			



3 低压电线电缆

3.1 适用范围

配电线路用线或引接线。计算载流量所用的主要参数值列于表 3-1-1。

表 3-1-1 计算载流量用的主要参数

参数名称	参数取值和来源	备 注
结构参数	▶ 导体直径 (取标准中最小直径) ▶ 绝缘厚度 (标准中标准数值)	▶ 按 GB 3956—1997 标准 ▶ 按 GB 5013.1—1997 - GB 5013.7—1997 标准 GB 5023.1—1997 - GB 5023.7—1997 标准
物理参数	▶ 导体直流电阻 (20℃) ▶ 铜、铝的电阻率和温度系数 ▶ 聚氯乙烯绝缘材料热阻系数	▶ 按 GB 3956—1997 标准 ▶ 按 JB/T 1081—2000 和 IEC 60287 标准
环境参数	▶ 自然对流的空气, (包括隧道、沟道、室内、室外无太阳直射的地方) ▶ 环境温度: 空气中基准值 40℃	▶ 按 JB/T 1081—2000 标准 ▶ 按普通惯用敷设方式 ▶ 按普通惯用排列方式

3.2 环境条件

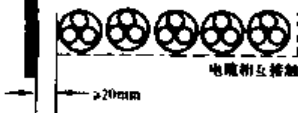
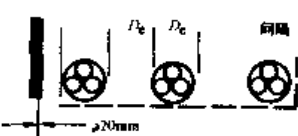
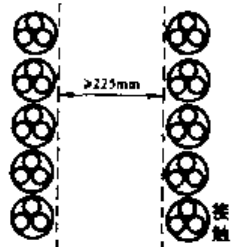
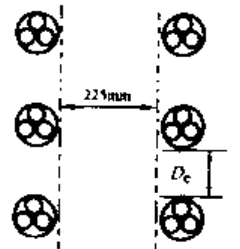
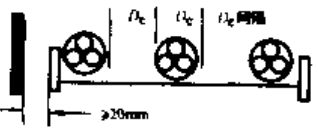
空气中敷设。当环境温度不同于载流量表中基准环境温度时的载流量修正系数列于表 3-2-1。不同于基准敷设条件时的载流量修正系数见表 3-2-2 ~ 表 3-2-3。

表 3-2-1 环境温度不同时的载流量修正系数表

导体工作温度 (℃)	环 境 温 度 (℃)							
	20	25	30	35	40	45	50	55
60	1.52	1.40	1.28	1.15	1.00	0.84	0.66	0.43
70	1.36	1.28	1.19	1.10	1.00	0.90	0.78	0.66
75	1.30	1.23	1.16	1.08	1.00	0.91	0.82	0.73
90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.81
100	1.19	1.14	1.10	1.05	1.00	0.95	0.90	0.84
110	1.16	1.12	1.08	1.04	1.00	0.96	0.91	0.88
125	1.14	1.13	1.10	1.06	1.00	0.96	0.92	0.88
180	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98	0.96	0.93

表 3-2-2

多芯电缆组空气中敷设时载流量降低因数

敷 设 方 式		层数	电 缆 数					
			1	2	3	4	6	9
穿孔托盘或托架		(*)						
		1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.76	0.73
		2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68
		3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66
		(*)						
		1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	—
		2	1.00	0.99	0.96	0.92	0.87	—
		3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85	—
垂直托盘托架		(**)						
		1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73	72
		2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.71	70
		(**)						
		1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	—
		2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	—
梯架、夹具 支撑物		(*)						
		1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
		2	1.00	0.86	0.80	0.78	0.76	0.73
		3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70
		(*)						
		1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—
		2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	—
		3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93	—

注 1. 本表摘自 IEC 55-2 C IEC: 20XX。

2. 表中数据是平均值, 其范围一般小于 5%。

3. 表中因数适用于单层电缆组群。当相互接触电缆大于一层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数或用适当方法求得。

4. 水平排列的托盘之间垂直间隙为 300mm, 托盘与墙之间至少 20mm。小于该值时因数要降低。

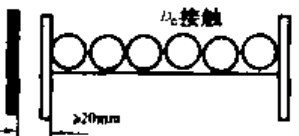
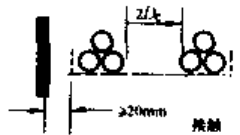
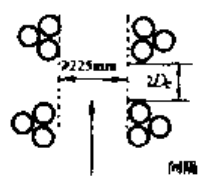
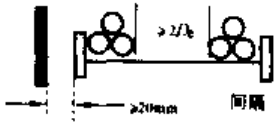
5. 托盘之间水平间距 225mm, 背对背安装。小于该值时因数要降低。

* ——上下排列。

** ——左右排列。

表 3-2-3

由单芯电缆的构成的多回路空气中敷设
时载流量降低因数

敷设方式	托盘层数	三相电路数			用于下列回路
		1	2	3	
穿孔托盘或托架 ³⁾		1 0.98 2 0.96 3 0.95	0.91 0.87 0.85	0.87 0.81 0.78	平面排列 三根电缆
梯形物、支架、夹具 ³⁾		1 1.00 2 1.98 3 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	
穿孔托盘 ³⁾		1 1.00 2 0.97 3 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86	三角形排列的 三根电缆
垂直有空托架 ⁴⁾		1 1.00 2 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86	
梯架物、支架夹具 ³⁾		1 1.00 2 0.97 3 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90	

注 1) 本表摘自 IEC 55-2 C IEC: 20XX。表中数据是平均值, 其范围一般小于 5%。

2) 表中因数应用于单层 (三角形) 电缆组的。当相互接触电缆大于一层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数或用适当方法求得。

3) 垂直排列之间间隙 300mm, 小于该值时因数要降低。

4) 托盘背靠背安装平面之间为 225mm, 小于该值时因数应降低。

3.3 载流量索引表

各型号电缆载流量索引表列于表 3-3-1。

表 3-3-1

低压和电线电缆载流量索引表

类 型	型 号	名 称	表 号
额定电压 450/750V 及以下 橡皮绝缘电缆 (GB 5013—1997)	245 IEC 03 (YG)	耐热硅橡胶绝缘电缆	3-3-2
	245 IEC 51 (RX)	橡皮绝缘编织软线	3-3-3
	245 IEC 53 (YZ)	橡皮绝缘普通强度橡套电缆	
	245 IEC 57 (YZW)	普通氯丁绝缘橡套电缆	
	245 IEC 66 (YCW)	重型氯丁胶绝缘橡套软电缆	
	245 IEC 58 (YSF)	装饰回路用氯丁橡套圆电缆	
	245 IEC 58F (YSFB)	装饰回路用氯丁橡套扁电缆	
	245 IEC 04 (YYY)	硬导体耐热乙烯-乙酸乙烯酯橡皮绝缘 无护套 750V 电缆	3-3-4
	245 IEC 05 (YRYY)	软导体 (同上)	
	245 IEC 07 (YRYY)	硬导体 500V (其他同上)	
	245 IEC	软导体 500V (其他同上)	
额定电压 450/750V 及以下 聚氯乙烯绝缘电缆 (GB 5023—1997)	227 IEC 01 (BV)	固定敷设用单芯无护套电缆	3-3-5
	227 IEC 02 (RV)	一般用途单芯软导体无护套线	
	227 IEC 05 (BV)	内部敷设用实心无护套电缆	
	227 IEC 06 (RV)	内部敷设用单芯软导体无护套	
	227 IEC 07 (BV-90)	内部敷设用 90℃ 实心无护套	3-3-6
	227 IEC 08 (RV-90)	同上软导体	
	227 IEC 10 (BVV)	固定敷设用护套电缆	3-3-7
	227 IEC 42 (RVB)	扁形无护套软线	
	227 IEC 52 (RVV)	轻型聚氯乙烯护套软线	
	227 IEC 53 (RVV)	轻型普通聚氯乙烯护套软线	

表 3-3-2

耐热硅橡胶绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	245 IEC 03 (YG)			
电 压	300/500 (V)			
芯 数	单 芯			
排 列				
截面 (mm ²)	A	A	A	A
0.5	16	20	16	23
0.75	20	26	20	30
1.0	23	30	24	35
1.5	30	39	31	45
2.5	44	54	45	63
4	59	72	60	83
6	76	93	78	105
10	110	130	110	150
16	145	175	150	200
工作温度	180 (°C)			
环境温度	40 (°C)			

注 1) 电缆相互接触。

2) 相邻电缆中心距离为 2 倍的电缆外径。

表 3-3-3

额定电压 450/750V 及以下橡皮绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	245 IEC 51 (RX)		245 IEC 53 (YZ)		245 IEC 57 (YZW)		245 IEC 66 (YCW)		245 IEC 58 (YSF)		245 IEC 58F (YSFB)	
电 压	450/750 (V)											
芯 数	单 芯								二 芯		三 芯	
排 列	 ¹⁾	 ¹⁾	 ¹⁾	 ²⁾					 ³⁾	 ³⁾		
截面 (mm ²)	A	A	A	A					A	A		
0.75	7	9	7	11					10	8		
1.0	9	11	9	13					14	12		
1.5	11	14	12	17					18	15		
2.5	16	20	16	23					24	20		
4	21	26	21	30								
6	27	33	28	39								
10	38	47	39	54								
16	52	62	53	72								
25	71	84	73	97								
35	88	100	91	120								
50	105	125	110	145								
70	135	160	140	185								
95	175	200	180	230								
120	200	230	210	270								
150	235	265	245	310								
185	275	310	285	360								
240	335	370	345	430								
300	385	430	400	500								
400	455	505	475	585								
工作温度	60 (℃)											
环境温度	40 (℃)											

注 1) 电缆相互接触。

2) 相邻电缆中心距离为 2 倍的电缆外径。

3) 电缆分离敷设。四芯电缆载流量按三芯电缆载流量选择。

表 3-3-4

耐热硅橡胶绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	245 IEC 04 (YYY) 245 IEC 05 (YRYY) 245 IEC 06 (YYY) 245 IEC 07 (YRYY)			
电 压	300/500 450/750 (V)			
芯 数	单 芯			
排 列	 ¹⁾	 ¹⁾	 ¹⁾	 ²⁾
截面 (mm ²)	A	A	A	A
0.5	12	16	13	18
0.75	15	19	15	22
1.0	18	23	18	26
1.5	23	29	24	34
2.5	31	39	32	45

续表

截面 (mm ²)	A	A	A	A
4	42	52	43	60
6	54	67	55	77
10	76	93	79	105
16	100	120	105	140
25	140	165	145	190
35	175	205	180	235
50	215	250	220	285
70	275	320	285	365
95	345	395	360	455
工作温度	110 (°C)			
环境温度	40 (°C)			

注 1) 电缆相互接触。

2) 相邻电缆中心距离为 2 倍的电缆外径。

表 3-3-5

固定敷设用聚氯乙烯绝缘无护套电缆载流量

型 号	227 IEC 01 (BV)	227 IEC 02 (RV)	227 IEC 05 (RV)	227 IEC 06 (RV)
电 压	450/750 (V)			
芯 数	单 芯			
排 列				
截面 (mm ²)	A	A	A	A
0.5	7	9	7	11
0.75	9	12	9	14
1.0	11	14	11	16
1.5	14	18	14	21
2.5	19	25	20	29
4	26	33	27	38
6	33	42	34	49
10	48	58	49	68
16	65	78	67	91
25	89	105	91	120
35	110	130	110	150
50	135	155	140	180
70	175	200	180	230
95	220	250	225	290
120	255	290	265	335
150	295	335	305	390
185	345	390	360	450
240	420	470	435	545
300	490	540	505	630
400	575	635	595	735
工作温度	70 (°C)			
环境温度	40 (°C)			

注 1) 电缆相互接触。

2) 相邻电缆中心距离为 2 倍的电缆外径。

表 3-3-6

固定敷设用聚氯乙烯绝缘无护套电缆载流量

型 号	227 IEC 07 (BV-90) 227 IEC 08 (RV-90)			
电 压	300/500 (V)			
芯 数	单 芯			
排 列	 ¹⁾	 ¹⁾	 ¹⁾	 ²⁾
截面 (mm ²)	A	A	A	A
0.5	9	13	10	15
0.75	12	15	12	18
1.0	14	18	14	22
1.5	18	24	19	28
2.5	26	33	26	38
工作温度	90 (°C)			
环境温度	40 (°C)			

注 1) 电缆相互接触。

2) 相邻电缆中心距离为 2 倍的电缆外径。

表 3-3-7

固定敷设用聚氯乙烯绝缘护套电缆载流量 (空气中)

型 号	227 IEC 10 (BVV) 227 IEC 42 (RVV) 227 IEC 52 (RVV) 227 IEC 53 (RVV)					
电 压	300/500 (V)					
芯 数	单 芯				二 芯	三 芯
排 列	 ¹⁾	 ¹⁾	 ¹⁾	 ²⁾	 ³⁾	 ³⁾
截面 (mm ²)	A	A	A	A	A	A
0.5	7	9	7	11	10	8
0.75	9	12	9	14	12	10
1.0	11	14	11	16	14	12
1.5	14	18	14	21	18	15
2.5	19	25	20	29	25	21
4	26	33	27	38	33	28
6	33	42	34	49	42	36
10	48	58	49	68	65	56
16	65	78	67	91	87	74
25	89	105	91	120	110	98
35	110	130	110	150	140	120
工作温度	70 (°C)					
环境温度	40 (°C)					

注 1) 电缆相互接触。

2) 相邻电缆中心距离为 2 倍的电缆外径。

3) 电缆分离敷设。四芯电缆载流量按三芯电缆载流量选择。



聚氯乙烯绝缘电力电缆

4.1 适用范围

6/10kV 及以下配电网或工业装置中用聚氯乙烯绝缘电力电缆 (GB 12706—91 标准和 GB/T 12706.1—2002, GB/T 12706.2—2002 标准中常用型电缆)。

空气中、土壤中、空气管道中、土壤管道中敷设。

4.2 基准环境参数

对于本部分电缆载流量表中载流量计算时所采用的基准环境参数如表 4-A 所示。

表 4-A 载流量表所采用的基准环境参数值

序号	参 数		空气中	空气管道中	土壤中	土壤管道中
1	多芯电缆敷设		分 离 ¹⁾	分 离	分 离	分 离
2	单芯排列	三角形	相互接触	相互接触	相互接触	相互接触
		平 面	$S = 2 \times D_c$ ²⁾	$S_c = 1 \times D_c$ ³⁾	$S = 2 \times D_c$	$S_c = 1 \times D_c$
3	埋地深度 (mm)		-	-	700	700
4	土壤热阻系数 ($K \cdot m/W$)		-	-	1.0	1.0
5	水分迁移 ($K \cdot m/W$) ⁴⁾		-	-	2.0, 2.5, 3.0	2.0, 2.5, 3.0
6	环境温度 T_a ($^{\circ}C$)		40	40	25	25
7	管 道 ⁵⁾	材 质	-	PVC	-	PVC
		内径 (mm)	-	$1.5 D_c$	-	$1.5 D_c$
		外径 (mm)	-	$1.68 D_c$	-	$1.68 D_c$
		热阻系数 ($K \cdot m/W$)	-	7	-	7
备注	1) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)。 2) 三根电缆呈平面排列, 电缆中心之间距 (s) 为电缆外径 (D_c) 的 2 倍。 3) 三根电缆管道呈平面排列, 电缆管道之间间隙 (S_c) 为电缆外径 (D_c) 的 1 倍。 4) 电缆导体长期处于额定工作温度 (70 $^{\circ}C$) 状态下, 电缆 (管道) 表面温度超过 50 $^{\circ}C$ 时, 电缆 (管道) 邻近周围土壤将发生水分迁移。当电缆 (管道) 周围土壤呈现干燥区域时, 载流量应根据土壤类型 (热阻系数) 计算, 则土壤热阻系数大致分为: 一般性土壤取 2.0, 沙 (砂) 质土壤取 2.5, 粘土取 3.0。 5) 管道厚度为 $0.06 \times D_m$ (管道内径 $D_m = 1.5 D_c$)。管道材料热阻系数取 6.0 ($K \cdot m/W$)					

导体工作温度 $T_c = 70^\circ\text{C}$ 。

4.3 使用说明

当环境温度不同于载流量表中基准环境温度时的载流量修正系数列于表 4-B。

表 4-B 环境温度不同时的载流量修正系数表

导体工作温度 ($^\circ\text{C}$)	环境温度 ($^\circ\text{C}$)									敷设方式
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
70	1.30	1.30	1.29	1.22	1.15	1.08	1.00	0.91	0.81	空气中
	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.88	-	-	-	土壤中

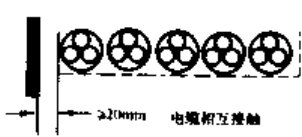
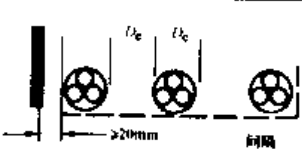
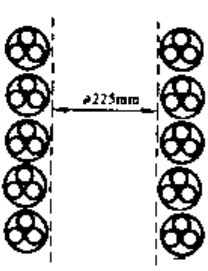
对于埋地电缆而言,当现场的土壤热阻系数不同于载流量表中《自然土壤》(未发生水分迁移的土壤)的热阻系数($\rho_w = 1.0 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$)时,应对载流量表中的数据进行修正,见表 4-C。

表 4-C 不同土壤热阻系数的载流量修正系数

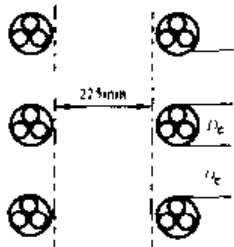
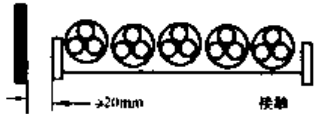
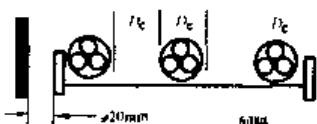
电 压 (kV)	土壤热阻系数 $\rho_w = (\text{K}\cdot\text{m}/\text{W})$				电 压 (kV)	土壤热阻系数 $\rho_w = (\text{K}\cdot\text{m}/\text{W})$			
	0.8	1.0	1.2	1.5		0.8	1.0	1.2	1.5
0.6/1 ~ 6/6	1.08	1.0	0.95	0.77	12/20 ~ 26/35	1.06	1.0	0.94	0.80
6/10 ~ 12/15	1.06	1.0	0.94	0.78					

空气中支撑架、托架、槽架等并列、成组敷设的电缆不同于载流量表的基准敷设条件时,应对载流量进行修正,修正系数见表 4-D ~ 表 4-E。

表 4-D 空气中多芯电缆群载流量降低因数

敷 设 方 式		托盘数	电 缆 数					
			1	2	3	4	5	6
穿孔托盘或托架		1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.76	0.73
		2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68
		3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66
		1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	-
		2	1.00	0.99	0.96	0.92	0.87	-
		3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85	-
垂直托盘托架		1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73	72
		2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.71	70

续表

敷 设 方 式		托盘数	电 缆 数					
			1	2	3	4	5	6
垂直托盘托架		1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	—
		2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	—
		3	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	—
梯架、夹具 支撑物		1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
		2	1.00	0.86	0.80	0.78	0.76	0.73
		3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70
		1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—
		2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	—
		3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93	—

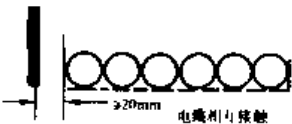
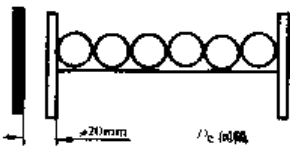
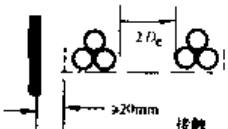
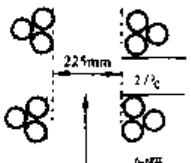
注 本表摘自 IEC 55-2 C IEC: 20XX, 表中数据是平均值, 其范围一般小于 5%。

表中因数适用于单层电缆组群。当相互接触电缆大于一层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数或用适当方法求得。

托盘之间的垂直间隙 300mm, 托盘与墙之间至少 20mm。小于该值时因数要降低。

托盘之间水平间距 225mm, 背对背安装。小于该值时因数要降低。

表 4-E 由单芯电缆构成的多回路空气中敷设情况下载流量降低因数²⁾

敷 设 方 式		托盘层数	三相电路数			用于下列回路
			1	2	3	
穿孔托盘或托架 ³⁾		1	0.98	0.91	0.87	平面排列 三根电缆
		2	0.96	0.87	0.81	
		3	0.95	0.85	0.78	
梯形物, 支架, 夹具 ³⁾		1	1.00	0.97	0.96	
		2	0.98	0.93	0.89	
		3	0.97	0.90	0.86	
穿孔托盘 ³⁾		1	1.00	0.98	0.96	三角形排列的 三根电缆
		2	0.97	0.93	0.89	
		3	0.96	0.90	0.86	
垂直有空托架 ⁴⁾		1	1.00	0.91	0.89	
		2	1.00	0.90	0.86	



续表

敷 设 方 式		托盘层数	三相电路数			用于下列回路
			1	2	3	
梯架物支架架具 ¹⁾		1	1.00	1.00	1.00	三角形排列的 三根电缆
		2	0.97	0.95	0.93	
		3	0.96	0.94	0.90	

注 1) 本表摘自 IEC 55-2 C IEC: 20XX 表中数据是平均值, 其范围一般小于 5%。

2) 表中因数应用于单层 (三角形) 电缆组的, 当相互接触电缆大于一层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数或用适当方法求得。

3) 托盘垂直之间间隙 300mm, 小于该值时因数要降低。

4) 托盘背靠背安装, 平面之间为 225mm, 小于该值时因数应降低。

4.4 载流量索引表

空气和土壤中敷设的非铠装电缆载流量索引表 4-F。

空气管道和土壤管道中的非铠装电缆载流量索引表 4-G。

空气和土壤中多芯铠装电缆载流量索引表 4-H。

表 4-F 非铠装电缆空气中和土壤中敷设时载流量索引表

电压级	型 号	导 体	空气中敷设	土 壤 中 敷 设		
				单芯电缆平面排列		多芯电缆
0.6/1	VV VY VLV VLY	铜 铝	4-1-1	4-2-1	4-2-2	4-2-6, 4-2-4
1.8/3, 3.6/6	VV VY	铜	4-1-2	4-2-5	4-2-7	4-2-9
	VLV VLY	铝		4-2-6	4-2-8	
6/6, 6/10	VV VY	铜	4-1-3	4-2-10	4-2-12	4-2-14
	VLV VLY	铝		4-2-11	4-2-13	

表 4-G 非铠装电缆管道中敷设时载流量索引表

电压级	型 号	导 体	空气中敷设	土 壤 中 敷 设		
				单芯电缆平面排列		多芯电缆
0.6/1	VV VY VLV VLY	铜 铝	4-3-1	4-4-1	4-4-2	4-4-3
1.8/3, 3.6/6	VV VY	铜	4-3-2	4-4-4	4-4-5	4-4-7
	VLV VLY	铝			4-4-6	
6/6, 6/10	VV VY	铜	4-3-3	4-4-8	4-4-9	4-4-11
	VLV VLY	铝			4-4-10	

表 4-H

三芯铠装电缆空气和土壤中敷设时载流量索引表

电 压 级	型 号	导 体	空气中	土壤中
0.6/1	VV22 VY22	铜	4-5-1	4-6-1
	VLV22 VLY22	铝		
1.8/3, 3.6/6	VV22 VY22	铜		4-6-2
	VLV22 VLY22	铝		
6/6, 6/10	VV22 VY22	铜		4-6-3
	VLV22 VLY22	铝		

CuAl

0.6/1

表 4-1-1

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	VV VY VLV VLY ⁴⁾							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	单 芯 ¹⁾				二 芯		三 ~ 五 芯	
排 列	 ¹⁾		 ²⁾		 ³⁾		 ³⁾	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)								
2.5	24	19	31	24	25	19	21	17
4	32	25	41	32	33	26	28	22
6	40	33	52	43	42	34	36	29
10	55	42	70	55	58	44	49	38
16	74	58	97	75	76	59	66	51
25	95	74	120	96	98	76	84	65
35	115	90	150	115	120	93	100	80
50	140	110	180	140	145	115	125	98
70	180	140	230	180	185	145	160	120
95	220	170	280	215	230	170	195	150
120	255	200	325	255	265	205	235	180
150	295	230	375	290	305	235	260	200
185	340	265	430	335	350	275	305	235
240	405	320	515	400	-	-	360	280
300	470	370	595	465	-	-	410	320
400	550	435	700	550	-	-	485	380
500	635	510	810	640	-	-	-	-
630	735	600	950	760	-	-	-	-
800	830	695	1090	880	-	-	-	-
1000	-	785	-	1010	-	-	-	-
工作温度	70℃							
环境温度	40℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触。

2) 平面排列时电缆中心间距为 2 倍的电缆外径。

3) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)。

4) 试验表明: VV32, VV33, VLV32, VLV33 型号单芯电缆载流量按本表中相应截面载流量 70% ~ 60% 选用。
(随着导体截面的增加, 载流量下降率呈增加趋势)。

CuAl

3.6/6

表 4-1-2

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	VV VY VLV VLY ⁴⁾									
电 压	1.8/3 ~ 3.6/6 (kV)									
芯 数	单 芯 ⁴⁾								三 芯	
排 列	 ¹⁾				 ²⁾				 ³⁾	
金属屏蔽 互连接地	端		二 端		一 端		二 端			
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)										
25	100	79	100	79	125	96	125	96	88	69
35	120	96	120	95	150	115	150	115	105	83
50	145	115	145	115	180	140	180	140	125	99
70	185	145	185	145	230	180	230	175	160	125
95	225	175	225	175	280	215	275	215	195	150
120	260	205	260	200	325	250	315	250	225	175
150	295	230	295	230	370	285	360	280	255	200
185	345	265	340	265	425	330	410	325	295	230
240	405	315	400	315	505	395	480	380	345	270
300	470	365	465	365	595	455	545	435	395	310
400	545	430	530	430	685	535	625	505	455	365
500	625	500	615	495	790	625	700	575	-	-
630	725	590	705	580	930	745	785	665	-	-
800	815	680	790	665	1070	865	860	740	-	-
1000	-	770	-	750	-	990	-	820	-	-
工作温度	70℃									
环境温度	40℃									

注 1)、2)、3)、4) 同表 4-1-1 中的 1)、2)、3)、4)。

CuAl

6/10

表 4-1-3

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	VV VY VLV VLY ⁴⁾									
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)									
芯 数	单 芯 ⁴⁾								三 芯	
排 列	 ¹⁾				 ²⁾				 ³⁾	
金属屏蔽 互连接地	一 端		二 端		一 端		二 端			
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)										
25	100	79	100	79	120	95	120	95	87	68
35	125	96	120	96	150	115	145	115	105	82
50	145	115	145	115	180	140	175	135	125	97
70	185	145	185	145	225	175	220	175	155	120
95	225	175	225	175	270	210	265	210	190	145

续表

截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)									
120	260	200	260	200	315	245	310	240	215	170
150	295	230	295	230	360	280	350	275	245	190
185	340	265	335	260	410	320	395	310	280	220
240	400	315	395	310	490	380	465	370	330	260
300	460	360	455	360	565	440	525	420	375	295
400	535	420	525	420	660	515	600	490	430	345
500	615	490	600	485	765	605	675	560	-	-
630	705	570	690	565	890	710	755	635	-	-
800	800	660	775	645	1030	835	835	720	-	-
1000	-	750	-	725	-	950	-	790	-	-
工作温度	70℃									
环境温度	40℃									

注 1)、2)、3)、4) 同表 4-1-1 中的 1)、2)、3)、4)。

CuAl

0.6/1

表 4-2-1

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY VLV VLY ⁴⁾							
电 压	0.6/1 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形				间距 $s = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
10	81	62	75	58	74	57	73	56
16	105	82	98	76	96	74	95	73
25	130	100	120	96	120	94	120	93
35	160	120	145	115	145	110	140	110
50	185	145	170	135	170	130	165	130
70	230	180	210	165	205	160	205	160
95	275	215	250	195	245	190	240	190
120	315	245	285	220	280	215	275	215
150	350	275	320	250	315	245	310	240
185	395	310	360	280	355	275	345	270
240	460	360	420	325	410	320	400	315
300	515	405	470	370	460	360	450	355
400	585	465	530	420	520	410	510	405
500	655	530	600	480	585	470	575	460
630	740	605	670	550	655	535	645	525

续表

截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
800	810	675	735	610	715	600	705	590
1000	-	750	-	680	-	660	-	650
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

- 注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触。 s —电缆中心间距, D_c —电缆外径。
- 2) 指电缆周围环境的土壤, 或者说发生水分迁移前的土壤。
- 3) 发生水分迁移时, 当电缆周围土壤呈现干燥域时, 应选择该栏下载流量。根据土壤类型不同, 则土壤热阻系数大致分为: 一般性土壤取 2.0、沙(砂)质土壤取 2.5、粘土取 3.0 ($K \cdot m/W$)。
- 4) 试验表明: VV32, VV33, VLV32, VLV33 型号电缆载流量按本表相应导体截面的载流量 70% ~ 60% 选用。随着导体截面的增加, 其载流量下降率呈增加趋势。

CuAl

0.6/1

表 4-2-2

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY VLV VLY ⁴⁾							
电 压	0.6/1 (kV)							
排 列	三根单芯呈平面排列				间距 $s = 2 \times D_c$ ¹⁾		○ ○ ○	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
10	84	65	79	60	77	60	76	59
16	110	85	100	79	100	78	99	77
25	135	105	130	100	125	98	125	97
35	165	125	155	120	150	115	150	115
50	195	150	180	140	175	135	175	135
70	240	185	220	170	215	170	215	165
95	290	225	265	205	260	200	255	200
120	325	255	300	235	295	230	290	225
150	370	285	340	260	330	255	325	255
185	420	325	385	300	375	290	370	285
240	485	380	445	345	435	340	430	335
300	550	430	505	390	490	385	485	380
400	630	490	575	450	560	440	555	435
500	715	565	655	515	640	505	630	495
630	820	655	745	595	725	580	715	570
800	920	740	835	675	815	660	805	650
1000	-	835	-	760	-	740	-	730
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单芯电缆平面排列时, 相邻电缆中心间距为电缆外径的 2 倍。

2)、3)、4) 同表 4-2-1 中的 2)、3)、4)。

CuAl

0.6/1

表 4-2-3

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	二 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
10	84	65	—	—	—	—	—	—
16	110	85	—	—	—	—	—	—
25	140	110	140	105	135	105	135	105
35	175	135	165	130	165	130	165	125
50	205	160	195	150	195	150	195	150
70	255	195	240	190	240	185	240	185
95	305	235	290	225	285	220	285	220
120	350	270	330	255	325	255	325	250
150	390	305	370	290	365	285	365	280
185	440	345	420	325	415	325	410	320
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)。

2), 3) 同表 4-2-1 的 2), 3)。

CuAl

0.6/1

表 4-2-4

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	三 ~ 五 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
10	72	55	71	54	70	54	70	54
16	94	73	91	71	91	70	90	70
25	120	94	115	90	115	90	115	89
35	145	110	140	105	135	105	135	105
50	175	135	165	130	165	125	160	125
70	210	165	200	155	200	155	195	150

续表

截 面 mm^2	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
95	255	200	240	190	240	185	235	185
120	295	230	280	215	275	215	270	210
150	330	255	310	240	305	235	300	235
185	370	290	350	270	345	270	340	265
240	425	335	405	315	400	310	395	305
300	480	375	455	355	450	350	445	350
400	555	435	515	410	510	405	505	400
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)。

2), 3) 同表 4-2-1 的 2), 3)。

Cu

3.6/6

表 4-2-5

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY ⁴⁾							
电 压	1.8/3 ~ 3.6/6 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形				间距 $s = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	160	160	-	-	-	-	-	-
35	190	190	-	-	-	-	-	-
50	230	230	225	225	225	225	225	225
70	285	285	280	280	280	280	280	280
95	340	340	335	335	335	335	330	330
120	390	390	380	380	380	380	380	375
150	440	440	430	430	425	425	425	420
185	505	500	485	485	485	480	480	475
240	585	580	565	560	560	555	555	550
300	660	655	635	630	630	620	625	615
400	755	745	720	710	710	700	705	695
500	850	835	810	795	800	780	790	775
630	960	930	910	885	895	870	885	860
800	1050	1020	1000	960	980	950	970	940
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触。

2), 3) 和 4) 同表 4-2-1 的 2), 3) 和 4)。

Al

3.6/6

表 4-2-6

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VLV VLY ⁴⁾							
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形				间距 $s = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	一端 二端		一端 二端		一端 二端		一端 二端	
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	120	120	-	-	-	-	-	-
35	150	150	-	-	-	-	-	-
50	175	175	-	-	-	-	-	-
70	220	220	-	-	-	-	-	-
95	265	265	260	260	260	260	260	260
120	305	305	295	295	295	295	295	295
150	345	340	335	335	330	330	330	330
185	390	390	380	380	375	375	375	375
240	455	455	440	440	435	435	435	430
300	520	515	500	500	495	490	490	485
400	600	590	570	565	565	560	560	555
500	680	675	650	640	640	635	635	630
630	780	770	740	730	730	720	725	710
800	880	860	830	810	820	800	810	790
1000	970	950	920	890	900	880	895	870
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触。

2)、3) 和 4) 同表 4-2-1 的 2)、3) 和 4)。

Cu

3.6/6

表 4-2-7

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY ⁴⁾							
电 压	1.8/3 ~ 3.6/6 (kV)							
排 列	三根单芯电缆平面				间距 $s = 2 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	—端 二端		—端 二端		—端 二端		—端 二端	
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	135	135	130	125	125	125	125	125
35	160	160	155	150	150	150	150	150
50	190	190	180	180	175	175	175	175
70	235	235	220	220	215	215	215	215
95	280	280	265	260	260	255	255	250

续表

截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
120	320	315	300	295	295	290	290	285
150	360	355	335	325	330	320	325	315
185	410	400	380	365	370	360	365	355
240	475	455	440	420	430	410	425	405
300	540	510	495	465	485	455	480	450
400	615	570	565	520	555	510	545	500
500	700	630	640	575	625	560	615	550
630	800	695	730	630	710	615	700	605
800	900	750	815	675	800	660	780	650
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单芯电缆平面排列时, 相邻电缆中心间距为电缆外径的 2 倍。

2), 3) 和 4) 同表 4-2-1 的 2), 3) 和 4)。

AI

3.6/6

表 4-2-8

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VLV VLY ¹⁾							
电 压	1.8/3 ~ 3.6/6 (kV)							
排 列	三根单芯电缆平面				间距 $s = 2 \times D_c^{1)}$		○ ○ ○	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	105	105	100	100	99	99	98	98
35	125	125	120	120	115	115	115	115
50	150	145	140	140	135	135	135	135
70	185	180	170	170	170	170	165	165
95	220	215	205	200	200	200	200	195
120	250	245	230	230	230	225	225	220
150	280	275	260	255	255	250	250	245
185	320	315	295	290	290	285	285	280
240	370	360	340	330	335	325	330	320
300	420	405	385	370	380	365	370	360
400	485	460	445	420	435	410	430	405
500	555	520	505	470	495	460	485	455
630	640	580	580	530	570	515	560	505
800	725	640	660	580	645	565	630	555
1000	815	695	740	625	720	610	710	600
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单芯电缆平面排列时, 相邻电缆中心间距为电缆外径的 2 倍。

2), 3) 和 4) 同表 4-2-1 的 2), 3) 和 4)。

CuAl

3.6/6

表 4-2-9

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	1.8/3~3.6/6 (kV)							
芯 数	三 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
25	115	89	-	-	-	-	-	-
35	135	105	135	105	135	105	135	105
50	160	125	160	125	160	125	160	125
70	200	155	195	155	195	150	195	150
95	240	185	235	180	235	180	230	180
120	270	210	265	210	265	205	265	205
150	305	235	300	230	295	230	295	230
185	345	270	335	265	335	260	335	260
240	400	315	390	305	385	300	385	300
300	450	355	435	345	430	340	430	340
400	505	405	490	390	485	390	480	385
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应的间距)。

2), 3) 同表 4-2-1 的 2), 3)。

Cu

6/10

表 4-2-10

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY ⁴⁾							
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形				间距 $s = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	一端 二端		一端 二端		一端 二端		一端 二端	
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	150	150	-	-	-	-	-	-
35	185	185	-	-	-	-	-	-
50	220	220	-	-	-	-	-	-
70	275	275	-	-	-	-	-	-
95	330	325	-	-	-	-	-	-
120	375	375	-	-	-	-	-	-

续表

截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
150	425	425	-	-	-	-	-	-
185	480	480	-	-	-	-	-	-
240	560	560	550	545	545	540	545	540
300	635	630	620	615	615	610	615	605
400	730	715	705	695	700	690	695	685
500	820	805	795	775	785	770	780	765
630	920	900	890	865	880	855	870	850
800	1030	1000	980	950	970	940	960	930
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触。

2), 3) 和 4) 同表 4-2-1 的 2), 3) 和 4)。

Al

6/10

表 4-2-11

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VLV VLY ¹⁾							
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形				间距 $s = 1 \times D_e^{1)}$			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	120	120	-	-	-	-	-	-
35	140	140	-	-	-	-	-	-
50	170	170	-	-	-	-	-	-
70	215	215	-	-	-	-	-	-
95	255	255	-	-	-	-	-	-
120	295	295	-	-	-	-	-	-
150	330	330	-	-	-	-	-	-
185	375	375	-	-	-	-	-	-
240	440	435	430	425	425	425	425	425
300	500	495	485	485	485	480	480	475
400	575	570	565	550	555	545	550	545
500	660	650	635	625	630	620	625	615
630	750	740	725	710	715	700	710	695
800	855	835	815	795	805	785	800	780
1000	940	920	900	870	890	860	880	850
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触。

2), 3) 和 4) 同表 4-2-1 的 2), 3) 和 4)。

Cu

6/10

表 4-2-12

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY ⁽¹⁾							
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)							
排 列	三根单芯电缆平面				间距 $s = 2 \times D_c^{(1)}$		○ ○ ○	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ⁽²⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁽³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	130	130	125	125	125	125	125	125
35	155	155	150	150	150	150	150	145
50	185	185	180	175	175	175	175	170
70	230	230	220	215	215	210	210	210
95	275	270	260	255	255	250	250	250
120	315	305	295	290	290	285	285	280
150	350	345	330	320	325	315	320	310
185	395	385	370	360	365	350	360	345
240	460	440	430	410	420	400	415	395
300	525	490	485	455	475	445	470	435
400	595	550	550	505	540	495	530	485
500	680	610	625	555	610	545	600	535
630	775	670	710	605	690	590	680	580
800	870	720	790	650	775	630	760	620
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单芯电缆平面排列时, 相邻电缆中心间距为电缆外径的 2 倍。

2)、3) 和 4) 同表 4-2-1 的 2)、3) 和 4)。

Al

6/10

表 4-2-13

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VLV VLV ⁽¹⁾							
电 压	6/6 - 6/10 (kV)							
排 列	三根单芯电缆平面				间距 $s = 2 \times D_c^{(1)}$		○ ○ ○	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ⁽²⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁽³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	一端 二端		一端 二端		一端 二端		一端 二端	
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	100	100	99	99	98	98	97	97
35	120	120	115	115	115	115	115	115
50	145	145	140	135	135	135	135	135
70	180	175	170	170	165	165	165	165
95	210	210	200	200	195	195	195	195

续表

截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
120	245	240	230	225	225	220	220	220
150	270	270	255	250	250	245	245	245
185	310	300	290	280	285	275	280	275
240	360	350	335	325	330	320	325	315
300	405	390	375	360	370	355	365	350
400	470	445	430	410	425	400	415	395
500	535	500	495	455	485	445	475	440
630	615	560	560	505	550	495	540	485
800	700	615	640	555	625	540	615	535
1000	785	665	710	600	695	585	685	575
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单芯电缆平面排列时, 相邻电缆中心间距为电缆外径的 2 倍。

2)、3) 和 4) 同表 4-2-1 的 2)、3) 和 4)

CuAl

6/10

表 4-2-14

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)							
芯 数	三 芯				○'			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载流量 (A)								
25	110	86	-	-	-	-	-	-
35	130	100	-	-	-	-	-	-
50	155	120	-	-	-	-	-	-
70	190	150	-	-	-	-	-	-
95	230	175	225	175	225	175	225	175
120	260	200	260	200	255	200	255	200
150	290	225	290	225	290	225	290	225
185	325	255	325	255	325	250	320	250
240	380	300	375	295	375	295	370	295
300	425	335	420	330	420	330	415	330
400	480	385	470	375	465	375	465	370
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)。

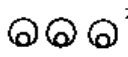
2)、3) 同表 4-2-1 的 2)、3)。

CuAl

0.6/1

表 4-3-1

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (空气管道中)

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	单		三		三		三	
排 列								
截 面	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
mm ²	载 流 量 (A)							
10	49	37	54	42	44	34	37	29
16	66	51	73	56	58	45	49	38
25	83	65	93	72	73	56	61	48
35	100	79	110	87	89	69	75	58
50	125	95	135	105	105	84	92	71
70	155	120	170	130	135	105	115	89
95	190	145	205	160	165	130	140	110
120	215	170	240	185	195	150	170	130
150	250	195	275	210	220	170	190	145
185	290	225	315	245	255	200	220	170
240	345	265	375	290	-	-	260	205
300	395	310	435	335	-	-	300	225
400	465	365	510	395	-	-	355	280
500	540	430	590	465	-	-	-	-
630	630	505	695	550	-	-	-	-
800	720	585	800	640	-	-	-	-
1000	815	670	900	740	-	-	-	-
工 作 温 度	70℃							
环 境 温 度	40℃							

注 1) 三角形排列时电缆管道彼此相互接触。

2) 平面排列时电缆管道之间间隙为1倍的电缆外径。

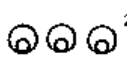
3) 电缆管道分离敷设 (单根电缆管道孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)

CuAl

3.6/6

表 4-3-2

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (空气管道中)

型 号	VV VY VLV VLY									
电 压	1 8/3 ~ 3.6/6 (kV)									
芯 数	单 芯 电 缆								三 芯 电 缆	
排 列										
金属屏蔽与连接地	端		端		端		端			
截 面	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
mm ²	载 流 量 (A)									
25	88	68	88	68	96	75	96	74	68	53
35	105	82	105	83	115	90	115	90	82	64
50	125	99	125	99	140	105	135	105	98	76
70	160	125	160	125	175	135	170	135	120	96
95	190	150	190	150	210	160	205	160	145	115

续表

截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)										
120	220	170	220	170	240	185	230	185	170	130
150	250	190	250	190	275	215	260	205	190	150
185	290	225	285	220	315	245	295	235	220	170
240	340	265	335	260	375	290	340	275	260	205
300	395	305	380	300	430	335	385	310	295	230
400	460	360	435	350	500	395	425	355	340	270
500	530	420	495	400	580	455	470	400	-	-
630	620	495	565	465	685	540	520	445	-	-
800	705	570	630	530	780	625	555	490	-	-
1000	790	650	685	590	885	720	585	530	-	-
工作温度	70℃									
环境温度	40℃									

注 1)、2)、3) 同表 4-3-1 中的 1)、2)、3)

CuAl

6/10

表 4-3-3

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (空气管道中)

型 号	VV VY VLV VLY									
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)									
芯 数	单 芯 电 缆								芯电缆	
排 列										
金属屏蔽 互连接地	一 端		二 端		一 端		二 端			
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)										
25	89	69	89	69	96	75	96	75	68	53
35	105	83	105	83	115	90	115	90	81	63
50	125	99	125	100	135	105	135	105	96	75
70	160	125	155	120	170	135	170	130	120	93
95	190	145	190	145	205	160	200	155	145	110
120	220	170	215	170	240	185	230	180	165	125
150	250	195	245	190	270	210	260	205	185	145
185	285	220	280	220	310	240	290	230	210	165
240	335	260	325	255	365	285	335	270	245	190
300	385	300	370	295	420	325	370	300	280	220
400	445	350	425	340	490	380	415	345	315	255
500	515	405	480	390	565	445	455	385	-	-
630	595	475	545	450	655	520	495	430	-	-
800	680	550	605	510	755	605	535	470	-	-
1000	760	630	660	565	850	695	560	510	-	-
工作温度	70℃									
环境温度	40℃									

注 1)、2)、3) 同表 4-3-1 中的 1)、2)、3)

CuAl

0.6/1

表 4-4-1

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)⁴⁾

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	0.6/1 (kV)							
排 列	三根电缆管道呈三角形				 ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)								
10	62	47	-	-	-	-	-	-
16	81	63	-	-	-	-	-	-
25	100	80	-	-	-	-	-	-
35	120	96	-	-	-	-	-	-
50	145	115	-	-	-	-	-	-
70	180	140	-	-	-	-	-	-
95	220	170	-	-	-	-	-	-
120	250	195	-	-	-	-	-	-
150	285	220	-	-	-	-	-	-
185	325	250	-	-	-	-	-	-
240	380	295	-	-	-	-	-	-
300	430	335	-	-	-	-	-	-
400	500	390	-	-	-	-	-	-
500	570	450	515	410	500	400	500	395
630	655	525	590	470	575	460	580	455
800	740	600	665	540	650	525	655	525
1000	-	680	-	610	-	595	-	600
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆管道彼此相互接触。

2) 指电缆管道周围环境的土壤,或者说发生水分迁移前的土壤。

3) 当管道周围土壤呈现干燥域时,应选择该栏下载流量。根据土壤类型不同,则土壤热阻系数大致分为:
一般性土壤取 2.0、沙(砂)质土壤取 2.5、粘土取 3.0。

CuAl

0.6/1

表 4-4-2

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	0.6/1 (kV)							
排 列	三根管道呈平面排列				间隙 $s = 1 \times D_c^{1)}$			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
mm ²	载 流 量 (A)							
10	63	48	-	-	-	-	-	-
16	83	64	-	-	-	-	-	-
25	105	82	-	-	-	-	-	-

续表

截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
35	125	98	-	-	-	-	-	-
50	150	115	-	-	-	-	-	-
70	185	145	-	-	-	-	-	-
95	225	175	-	-	-	-	-	-
120	255	200	-	-	-	-	-	-
150	290	225	-	-	-	-	-	-
185	335	260	-	-	-	-	-	-
240	390	305	-	-	-	-	-	-
300	450	350	-	-	-	-	-	-
400	520	410	-	-	-	-	-	-
500	600	475	-	-	-	-	-	-
630	695	550	-	-	-	-	-	-
800	790	635	-	-	-	-	-	-
1000	-	720	-	-	-	-	-	-
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根电缆管道呈平面排列, 电缆管道之间间隙为电缆外径的 1 倍。

2), 3) 同表 (4-4-1) 注。

CuAl

0.6/1

表 4-4-3

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)³⁾

型 号	VV VY VLV VLY			
电 压	0.6/1 (kV)		② ¹⁾	
芯 数	二 芯		三芯 ~ 五芯	
土壤热阻系数	自然土壤 ²⁾		1.0 (K·m/W)	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)			
10	25	20	47	36
16	33	26	62	48
25	42	34	78	61
35	56	43	95	73
50	73	57	115	89
70	93	72	140	110
95	110	87	170	135
120	135	105	200	155
150	165	130	225	175
185	205	160	260	200
240	235	185	305	240
300	270	210	350	275
400	310	240	405	320
工作温度	70℃			
环境温度	25℃			

注 1) 电缆管道分离敷设 (单根电缆管道孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)。

2) 指电缆管道周围环境的土壤, 或者说发生水分迁移前的土壤。

CuAl

3.6/6

表 4-4-4

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	VV VY VLV VLY			
电 压	1.8/3 ~ 3.6/6 (kV)			
排 列	三根电缆管道呈三角形			
土壤热阻系数	自然土壤 ²⁾		1.0 (K·m/W)	
金属屏蔽互连接地	一 端	二 端	一 端	二 端
截 面 mm ²	铜 芯	铜 芯	铝 芯	铝 芯
载 流 量 (A)				
25	115	115	91	91
35	140	140	110	110
50	165	165	130	130
70	210	205	160	160
95	250	245	195	190
120	285	285	220	220
150	325	320	250	250
185	370	365	290	285
240	435	420	340	330
300	495	480	385	380
400	570	545	450	435
500	655	610	520	495
630	755	690	605	570
800	855	760	690	640
1000	-	-	785	705
工作温度	70℃			
环境温度	25℃			

注 1) 三角形排列时电缆管道彼此相互接触。

2) 指电缆周围环境的土壤,或者说发生水分迁移前的土壤

Cu

3.6/6

表 4-4-5

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	VV VY			
电 压	1.8/3 ~ 3.6/6 (kV)			
排 列	三根电缆管道平面排列		间隙 $s = 1 \times D_s^{1)}$ 	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾	
	1.0	2.0	2.5	3.0
金属屏蔽互连接地	一端 二端	一端 二端	一端 二端	一端 二端
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯	铜 芯
	载 流 量 (A)			
25	105	105	-	-
35	130	130	-	-
50	150	150	-	-
70	190	185	-	-

续表

截 面	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
95	225	220	-	-	-	-	-	-
120	260	250	-	-	-	-	-	-
150	295	285	-	-	-	-	-	-
185	335	320	-	-	-	-	-	-
240	390	365	-	-	-	-	-	-
300	445	410	-	-	-	-	-	-
400	515	460	-	-	-	-	-	-
500	590	505	530	455	515	440	510	435
630	680	555	610	500	595	485	585	475
800	775	600	695	535	675	520	665	510
1000	860	635	775	565	755	550	740	540
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根电缆管道呈平面排列, 电缆管道之间间隙为电缆外径的 1 倍。

2), 3) 同表 (4-4-1) 的注。

AI

3.6/6

表 4-4-6

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	VLV VLY							
电 压	1.8/3 ~ 3.6/6 (kV)							
排 列	三根电缆管道平面排列				间隙 $s = 1 \times D_c^{1)}$			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
屏蔽互连接地	一端 二端		一端 二端		一端 二端		一端 二端	
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	84	84	-	-	-	-	-	-
35	100	100	-	-	-	-	-	-
50	120	120	-	-	-	-	-	-
70	145	145	-	-	-	-	-	-
95	175	175	-	-	-	-	-	-
120	200	200	-	-	-	-	-	-
150	225	220	-	-	-	-	-	-
185	260	255	-	-	-	-	-	-
240	305	290	-	-	-	-	-	-
300	345	330	-	-	-	-	-	-
400	400	375	-	-	-	-	-	-
500	465	420	-	-	-	-	-	-
630	540	470	485	420	475	410	465	405
800	620	520	555	465	540	450	535	445
1000	700	560	630	500	615	485	600	480
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根电缆管道呈平面排列, 电缆管道之间间隙为电缆外径的 1 倍。

2), 3) 同表 (4-4-2) 的相对应的注。

CuAl

3.6/6

表 4-4-7

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	1.8/3 ~ 3.6/6 (kV)							
芯 数	三 芯				敷 设			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾				电缆周围呈现干燥域 ¹⁾			
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
25	84	65	-	-	-	-	-	-
35	100	78	-	-	-	-	-	-
50	120	93	-	-	-	-	-	-
70	145	115	-	-	-	-	-	-
95	175	135	-	-	-	-	-	-
120	205	160	-	-	-	-	-	-
150	230	180	-	-	-	-	-	-
185	260	205	-	-	-	-	-	-
240	305	240	-	-	-	-	-	-
300	345	270	-	-	-	-	-	-
400	390	310	-	-	-	-	-	-
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 电缆管道分离敷设 (单根电缆管道孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应的间距)。

2), 3) 同表 (4-4-6) 中相应的注

CuAl

6/10

表 4-4-8

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	1.8/3 ~ 3.6/6 (kV)							
排 列	三根电缆管道呈三角形							
土壤热阻系数	自然土壤 ²⁾				1.0 (K·m/W)			
金属屏蔽与连接地	一 端		二 端		一 端		二 端	
截 面 mm ²	铜 芯	铝 芯	铜 芯	铝 芯	铜 芯	铝 芯	铜 芯	铝 芯
	载 流 量 (A)							
25	115	115	115	115	91	91	91	91
35	140	140	140	140	110	110	110	110
50	165	165	165	165	130	130	130	130
70	205	205	205	205	160	160	160	160
95	245	245	245	245	190	190	190	190
120	285	280	280	280	220	220	220	220
150	325	315	315	315	250	245	245	245

续表

截 面 mm ²	载 流 量 (A)			
	铜 芯	铜 芯	铝 芯	铝 芯
185	365	355	285	280
240	425	415	335	325
300	485	470	380	370
400	560	530	440	425
500	640	600	505	485
630	735	670	585	550
800	835	740	675	620
1000	920	795	760	685
工作温度	70℃			
环境温度	25℃			

注 1) 三角形排列时电缆管道彼此相互接触

2) 指电缆周围环境的土壤, 或者说发生水分迁移前的土壤

Cu

6/10

表 4-4-9

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	VV VY							
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)							
排 列	一根电缆管道平面排列				间隙 $s = 1 \times D_p^{1)}$			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
25	105	105	-	-	-	-	-	-
35	130	125	-	-	-	-	-	-
50	150	150	-	-	-	-	-	-
70	190	185	-	-	-	-	-	-
95	225	220	-	-	-	-	-	-
120	255	250	-	-	-	-	-	-
150	290	280	-	-	-	-	-	-
185	325	310	-	-	-	-	-	-
240	385	360	-	-	-	-	-	-
300	435	400	-	-	-	-	-	-
400	500	445	-	-	-	-	-	-
500	570	490	-	-	-	-	-	-
630	660	535	590	475	575	460	565	455
800	745	575	670	510	650	495	640	485
1000	830	605	745	535	725	520	710	505
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 一根电缆管道呈平面排列, 电缆管道之间间隙为电缆外径的 1 倍

2), 3) 同表 (4-4-6) 的注

Al

6/10

表 4-4-10

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	VLV VLY							
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)							
排 列	一根电缆管道呈平面排列				间隙 $s = 1 \times D_c^{1)}$			
土壤热阻系数 ($K \cdot m/W$)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
截 面 mm^2	载 流 量 (A)							
25	84	83	-	-	-	-	-	-
35	100	99	-	-	-	-	-	-
50	115	115	-	-	-	-	-	-
70	145	145	-	-	-	-	-	-
95	175	170	-	-	-	-	-	-
120	200	195	-	-	-	-	-	-
150	225	220	-	-	-	-	-	-
185	255	245	-	-	-	-	-	-
240	300	285	-	-	-	-	-	-
300	340	320	-	-	-	-	-	-
400	396	365	-	-	-	-	-	-
500	450	405	-	-	-	-	-	-
630	520	455	-	-	-	-	-	-
800	595	500	535	440	520	430	510	420
1000	680	535	605	475	590	460	575	450
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根电缆管道呈平面排列, 电缆管道之间间隙为电缆外径的 1 倍

2), 3) 同表 (4-4-6) 中相应的注

CuAl

6/10

表 4-4-11

聚氯乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	VV VY VLV VLY							
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)							
芯 数	芯				敷 设		⊙ ¹⁾	
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
截 面 mm ²	载 流 量 (A)							
25	84	65	-	-	-	-	-	-
35	100	77	-	-	-	-	-	-
50	115	91	-	-	-	-	-	-

续表

截 面 mm ²	铜		铝		铜		铝		铜		铝	
	载 流 量 (A)											
70	145	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
95	170	135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
120	200	155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
150	220	175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
185	250	195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
240	290	230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
300	330	260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
400	370	295	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
工作温度	70℃											
环境温度	25℃											

注 1)、2)、3) 同表 (4-4-7) 中相应的注

CuAl

0.6/1

表 4-5-1

聚氯乙烯绝缘钢带铠装电缆载流量 (空气中)

型 号	VV22 VV23 VLV22 VLV23					
电 压 (kV)	0.6/1		1.8/3 ~ 3.6/6		6/6 ~ 6/10	
敷 设	分 离		○ ¹⁾			
芯 数	三 ~ 九 芯		三 芯		三 芯	
截 面	铜	铝	铜	铝	铜	铝
10	50	38	-	-	-	-
16	66	51	-	-	-	-
25	85	66	-	-	-	-
35	105	81	105	82	105	82
50	125	98	125	98	125	98
70	160	120	155	120	155	120
95	195	150	185	145	185	145
120	235	180	215	170	215	170
150	265	205	235	185	235	185
185	300	235	265	210	265	210
240	355	280	310	245	310	245
300	410	320	355	280	355	280
400	480	380	400	320	400	320
工 作 温 度	70℃					
环 境 温 度	40℃					

注 1) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应的间距)。

CuAl

0.6/1

表 4-6-1

聚氯乙烯绝缘钢带铠装电缆载流量 (土壤中)

型 号	VV22 VV23 VLV22 VLV23							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	三~五芯				敷 设		○ ¹⁾	
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
mm ²	载 流 量 (A)							
10	70	54	—	—	—	—	—	—
16	92	71	—	—	—	—	—	—
25	115	92	—	—	—	—	—	—
35	140	110	135	105	135	105	135	105
50	175	130	165	125	160	125	160	125
70	205	160	200	155	195	150	195	150
95	250	195	240	185	240	185	235	180
120	290	225	275	215	275	210	270	210
150	325	250	310	240	305	235	305	235
185	365	285	345	270	345	265	340	265
240	420	330	400	315	395	310	395	305
300	475	370	455	355	450	350	445	350
400	540	430	515	410	510	405	505	400
工 作 温 度	70℃							
环 境 温 度	25℃							

注 1) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)。

2) 指电缆周围环境的土壤或者说发生水分迁移前的土壤。

3) 当电缆周围土壤呈现干燥域时, 应选择该栏下载流量。根据土壤类型不同, 则土壤热阻系数大致分为: 一般性土壤取 2.0、沙 (砂) 质土壤取 2.5、粘土取 3.0 (K·m/W)。

CuAl

6/6

表 4-6-2

聚氯乙烯绝缘钢带铠装电缆载流量 (土壤中)⁴⁾

型 号	VV22 VV23 VLV22 VLV23							
电 压	3.6/6~6/6 (kV)							
芯 数	三 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
mm ²	载 流 量 (A)							
35	135	105	-	-	-	-	-	-
50	160	125	-	-	-	-	-	-
70	195	150	-	-	-	-	-	-
95	235	180	-	-	-	-	-	-

续表

截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
120	265	205	-	-	-	-	-	-
150	295	230	-	-	-	-	-	-
185	335	265	-	-	-	-	-	-
240	385	305	380	300	380	300	375	300
300	435	345	425	335	420	335	420	335
400	480	390	465	380	465	375	460	375
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1)、2)、3) 同表 (4-6-1) 注

CuAl

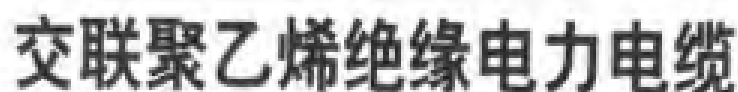
6/10

表 4-6-3

聚氯乙烯绝缘钢带铠装电缆载流量 (土壤中)¹⁾

型 号	VV22 VV23 VLV22 VLV23							
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)							
芯 数	三 芯				三 芯			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥 ³⁾		2.5		3.0	
	1.0		2.0					
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
35	130	100	-	-	-	-	-	-
50	150	120	-	-	-	-	-	-
70	190	145	-	-	-	-	-	-
95	225	175	-	-	-	-	-	-
120	255	195	-	-	-	-	-	-
150	285	220	-	-	-	-	-	-
185	320	250	-	-	-	-	-	-
240	365	290	-	-	-	-	-	-
300	405	325	400	320	400	320	400	320
400	455	370	445	365	445	360	445	360
工作温度	70℃							
环境温度	25℃							

注 1)、2)、3) 同表 (4-6-2) 注



适用于空气中、土壤中、空气管道中和土壤管道中敷设。

对于本部分电缆载流量表中载流量计算时所采用的基准环境参数如表 5-A 所示

表 5.A 载流量表所采用的基准环境参数值

序号	参 数		空气中	空气管道中	土壤中	土壤管道中
1	多芯电缆敷设		分离 ¹⁾	分离	分离	分离
2	单芯排列	三角形	相互接触	相互接触	相互接触	相互接触
		平 面	$S = 2 \times D_c^{2)}$	$S_d = 1 \times D_c^{2)}$	$S = 2 \times D_c$	$S_d = 1 \times D_c$
3	埋地深度 (mm)		-	-	700	700
4	土壤热阻系数 ($K \cdot m/W$)		-	-	1.0	1.0
5	水分迁移 ($K \cdot m/W$) ⁴⁾		-	-	2.0, 2.5, 3.0	2.0, 2.5, 3.0
6	环境温度 T_0 ($^{\circ}C$)		40	40	25	25
7	管道 ⁵⁾	材 质	-	PVC	-	PVC
		内径 (mm)	-	$1.5D_c$	-	$1.5D_c$
		外径 (mm)	-	$1.68D_c$	-	$1.68D_c$
		热阻系数 ($K \cdot m/W$)	-	7	-	7
备注	1) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)。 2) 三根电缆呈平面排列, 电缆中心之间距 (s) 为电缆外径 (D_c) 的 2 倍。 3) 三根电缆管道呈平面排列, 电缆管道之间间隙 (S_d) 为电缆外径 (D_c) 的 1 倍。 4) 电缆导体长期处于额定工作温度 ($90^{\circ}C$) 状态下, 电缆 (管道) 表面温度超过 $50^{\circ}C$ 时, 电缆 (管道) 邻近周围土壤将发生水分迁移。当电缆 (管道) 周围土壤呈现干燥区域时, 载流量应依据土壤类型 (热阻系数) 计算。则土壤热阻系数大致分为: 一般性土壤取 2.0, 沙 (砂) 质土壤取 2.5, 粘土取 3.0。 5) 管道厚度为 $0.06 \times D_m$ (管道内径 $D_m = 1.5D_c$)。管道材料热阻系数取 $6.0 (K \cdot m/W)$ 。					

5.3 使用说明

选择载流量时应注意载流量表中所给的基准条件。当实际敷设环境不同时, 应该对载流量表中数据进行修正。

环境温度的修正系数: 当环境温度不同于载流量表中基准环境温度时的载流量修正系数列于表 5-B ~ 表 5-C。

表 5-B 环境温度不同时的载流量修正系数表

导体工作温度 (℃)	环境温度 (℃) (空气中)							
	20	25	30	35	40	45	50	55
90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.81

表 5-C 环境温度不同时的载流量修正系数表

导体工作温度 (℃)	环境温度 (℃) (土壤中)					
	10	15	20	25	30	35
90	1.11	1.07	1.04	1.00	0.96	0.92

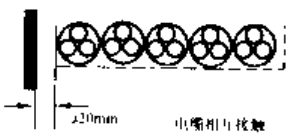
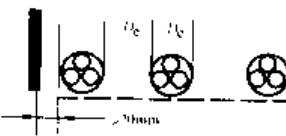
土壤热阻系数的修正系数: 埋地电缆当现场的土壤热阻系数不同于载流量表中“自然土壤”(未发生水分迁移的土壤)的热阻系数($\rho_w = 1.0 \text{ K} \cdot \text{m/W}$)时, 应对电缆载流量进行修正, 修正系数见表 5-D。

表 5-D 不同土壤热阻系数的载流量修正系数

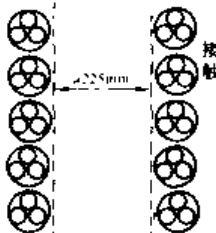
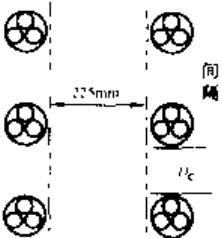
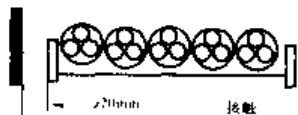
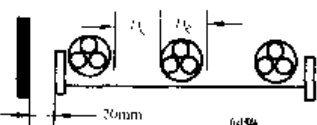
电压 (kV)	土壤热阻系数 $\rho_w = (\text{K} \cdot \text{m/W})$			
	0.8	1.0	1.2	1.5
0.6/1 ~ 6/6	1.08	1.0	0.95	0.77
6/10 ~ 12/15	1.06	1.0	0.94	0.78
12/20 ~ 26/35	1.06	1.0	0.94	0.80

空气中支撑架、托架、槽架等并列、成组等敷设的电缆不同于载流量表的基准敷设条件时, 应对载流量进行修正, 修正系数见表 5-E ~ 表 5-F。

表 5-E 空气中多芯电缆群载流量降低因数

敷 设 方 式		托盘数	电 缆 数					
			1	2	3	4	5	6
穿孔托盘 或托架		1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.76	0.73
		2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68
		3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66
		1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	—
		2	1.00	0.99	0.96	0.92	0.87	—
		3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85	—

续表

敷 设 方 式	托盘数	电 缆 数						
		1	2	3	4	5	6	
垂直托盘 托架		1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73	72
	2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.71	70	
		1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	-
	2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	-	
梯架、夹具 支撑物		1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
	2	1.00	0.86	0.80	0.78	0.76	0.73	
	3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70	
		1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-
	2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	-	
	3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93	-	

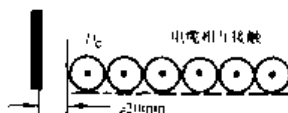
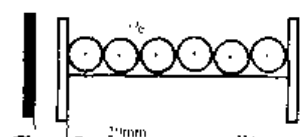
注 本表摘自 IEC 55-2 C IEC: 20XX 表中数据是平均值, 其范围一般小于 5%。

表中因数适用于单层电缆组群。当相互接触电缆大于三层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数或用适当方法求得。

托盘之间的垂直间隙 300mm, 托盘与端之间至少 20mm。小于该值时因数要降低。

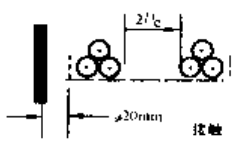
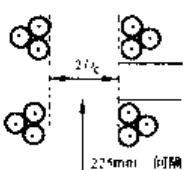
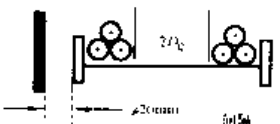
托盘之间水平间距 225mm, 背对背安装。小于该值时因数要降低。

表 5-F 由单芯电缆构成的多回路空气中敷设情况下载流量降低因数²⁾

敷 设 方 式	托盘层数	相电路数			用于下列回路
		1	2	3	
穿孔托盘或托架 ¹⁾		1	0.98	0.91	0.87
	2	0.96	0.87	0.81	
	3	0.95	0.85	0.78	
梯形物, 支架, 夹具 ²⁾		1	1.00	0.97	0.96
	2	0.98	0.93	0.89	
	3	0.97	0.90	0.86	

平面排列
三根电缆

续表

敷 设 方 式	托盘层数	三相电路数			用于下列回路
		1	2	3	
穿孔托盘 ³⁾		1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86
垂直有空托架 ⁴⁾		1 2	1.00 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86
梯架物支架夹具		1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90

注 1) 本表摘自 IEC55-2CIEC: 20XX 表中数据是平均值, 其范围一般小于 5%

2) 表中因数应用于单层 (三角形) 电缆组的。当相互接触电缆大于一层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数, 或用适当方法求得。

3) 托盘垂直之间间隙 300mm, 小于该值时因数要降低。

4) 托盘背靠背安装, 平面之间为 225mm, 小于该值时因数应降低。

5.4 载流量索引表

非铠装各型号电缆空气和土壤中敷设的载流量索引表列于表 5-G。

非铠装各型号电缆空气管道中和埋地管道中敷设的载流量索引表列于表 5-H。

铠装各型号电缆不同敷设方式的载流量索引表列于表 5-I。

表 5-G 非铠装电缆空气中和土壤中敷设时载流量索引表

电 压 级	型 号	导 体	空气中敷设	土壤中敷设		
				单芯电缆平面排列		多芯电缆
						
0.6/1	YJV	YJY	5-1-1	5-2-1	5-2-2	5-2-3
	YJLV	YJLY				5-2-4
1.8/3 3.6/6	YJV	YJY	5-1-2	5-2-5	5-2-7	5-2-9
	YJLV	YJLY		5-2-6	5-2-8	
6/10 8.7/15	YJV	YJY	5-1-3	5-2-10	5-2-12	5-2-14
	YJLV	YJLY		5-2-11	5-2-13	

续表

电 压 级	型 号	导 体	空气中敷设	土壤中敷设		
				单芯电缆平面排列		多芯电缆
						
12/20 18/20	YJV YJY	铜	5-1-4	5-2-15	5-2-17	5-2-19
	YJLV YJLY	铝		5-2-16	5-2-18	
18/30 ~ 26/35	YJV YJY	铜	5-1-5	5-2-20	5-2-22	5-2-24
	YJLV YJLY	铝		5-2-21	5-2-23	

表 5-H

非铠装电缆管道中敷设时载流量索引表

电 压 级	型 号	导 体	空气管道中	土壤中敷设		
				单芯电缆平面排列		多芯电缆
						
0.6/1	YJV YJY	铜	5-3-1	5-4-1	5-4-2	5-4-3
	YJLV YJLY	铝				
1.8/3 3.6/6	YJV YJY	铜	5-3-2	5-4-4	5-4-6	5-4-8
	YJLV YJLY	铝		5-4-5	5-4-7	
6/10 8.7/15	YJV YJY	铜	5-3-3	5-4-9	5-4-11	5-4-13
	YJLV YJLY	铝		5-4-10	5-4-12	
18/20	YJV YJY	铜	5-3-4	5-4-14	5-4-16	5-4-18
	YJLV YJLY	铝		5-4-15	5-4-17	
18/30 22/35 26/35	YJV YJY	铜	5-3-5	5-4-19	5-4-21	5-4-23
	YJLV YJLY	铝		5-4-20	5-4-22	

表 5-I

多芯铠装电缆空气和土壤中敷设时载流量索引表

电 压 级	型 号	导 体	空 气 中	土 壤 中
0.6/1	YJV22	铜	5-5-1	5-6-1
	YJLV22	铝		5-6-2
1.8/3 3.6/6	YJV22	铜		5-6-3
	YJLV22	铝		
6/6, 6/10 8.7/15	YJV22	铜		5-6-4
	YJLV22	铝		
18/20	YJV22	铜		5-6-5
	YJLV22	铝		
22/35 26/35	YJV22	铜		5-6-6
	YJLV22	铝		

CuAl

0.6/1

表 5-1-1

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY ⁴⁾							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	单 芯 ¹⁾				二 芯		三 ~ 五 芯	
排 列								
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)								
2.5	31	24	41	32	33	25	28	22
4	41	32	54	42	43	34	37	29
6	52	42	68	56	55	45	47	39
10	71	55	93	72	76	58	65	50
16	92	71	120	93	97	75	84	65
25	120	94	155	120	130	100	110	87
35	150	115	195	150	160	120	135	105
50	180	140	235	180	195	150	170	130
70	230	180	295	230	245	190	215	165
95	285	220	370	285	305	235	265	205
120	335	260	430	330	355	275	310	240
150	385	300	495	380	405	315	350	270
185	450	350	570	445	465	365	405	315
240	535	414	680	530	—	—	480	375
300	620	485	790	615	—	—	555	435
400	720	570	920	720	—	—	640	510
500	835	670	1080	850	—	—	—	—
630	960	790	1260	1000	—	—	—	—
800	1110	920	1470	1180	—	—	—	—
1000	1230	1040	1630	1330	—	—	—	—
工作温度	90℃							
环境温度	40℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触。

2) 平面排列时电缆中心间距为 2 倍的电缆外径。

3) 单根电缆分离敷设 (即邻近电缆对该电缆没有热效应)。

4) 试验表明: YJV32, YJV33, YJV42, YJV43, YJLV32, YJLV33, YJLV42, YJLV43 型单芯钢丝铠装电缆载流量按本表相应规格下的载流量 70% ~ 60% 选取。(载流量的下降率随着导体截面的增加呈递减趋势)。

CuAl

6/6

表 5-1-2

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	YJV YJY YJLV YJLY ⁴⁾									
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)									
芯 数	单 芯 ⁴⁾								三 芯	
排 列	 ¹⁾				 ²⁾				 ³⁾	
金属屏蔽互连接地	一 端		二 端		一 端		二 端			
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)										
25	135	105	135	105	165	130	165	130	120	93
35	165	130	165	130	205	155	205	155	145	110
50	200	155	200	155	245	190	245	190	175	135
70	250	195	250	195	305	240	305	235	215	170
95	305	235	305	235	375	290	370	290	265	205
120	355	275	355	275	435	340	435	335	305	235
150	405	315	405	315	495	385	485	380	345	270
185	465	360	465	360	575	445	555	435	400	310
240	550	430	550	430	675	525	645	510	470	365
300	635	495	630	495	785	610	735	585	535	420
400	745	585	735	580	910	715	840	680	620	495
500	855	685	840	675	1080	840	950	780	-	-
630	980	800	960	785	1240	990	1060	885	-	-
800	1130	930	1100	910	1440	1160	1170	1000	-	-
1000	1240	1050	1200	1020	1620	1320	1270	1100	-	-
1200	1330	1140	1280	1110	1740	1450	1310	1170	-	-
工作温度	90℃									
环境温度	40℃									

注 1), 2), 3), 4) 与表 5-1-1 中相同

CuAl

8.7/15

表 5-1-3

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	YJV YJY YJLV YJLY ⁴⁾									
电 压	6/10~8.7/15 (kV)									
芯 数	单 芯 ⁴⁾								三 芯	
排 列	 ¹⁾				 ²⁾				 ³⁾	
金属屏蔽互连接地	端		端		端		端			
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)									
25	140	110	140	110	170	130	170	130	120	95
35	175	135	170	135	205	160	205	160	145	115
50	205	160	205	160	245	190	245	190	175	135

续表

截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)									
70	260	200	255	200	310	240	305	240	220	170
95	315	245	315	245	380	295	370	290	265	205
120	365	285	365	280	435	340	430	335	305	235
150	415	320	410	320	495	385	485	385	350	270
185	475	370	470	370	570	440	550	430	395	310
240	565	440	560	435	680	530	645	510	470	370
300	645	505	640	500	780	605	730	580	535	420
400	750	590	740	585	910	715	840	675	610	485
500	865	690	850	680	1060	835	940	770	-	-
630	990	800	960	785	1230	930	1050	875	-	-
800	1140	940	1110	920	1440	1160	1170	1000	-	-
1000	1250	1050	1210	1020	1600	1310	1260	1090	-	-
1200	1340	1140	1280	1110	1740	1440	1310	1170	-	-
工作温度	90℃									
环境温度	40℃									

注 1), 2), 3), 4) 与表 5-1-1 中相同。

CuAl

18/20

表 5-1-4

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	YJV YJY YJLV YJLY ⁴⁾									
电 压	18/20 (kV)									
芯 数	单 芯 ⁴⁾								三 芯	
排 列	 ¹⁾				 ²⁾				 ³⁾	
金属屏蔽互连接地	端		二 端		一 端		二 端			
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)									
25	145	110	145	110	170	130	170	130	120	96
35	175	135	175	135	205	160	205	160	150	115
50	210	160	210	160	245	190	245	190	175	135
70	260	200	260	200	310	240	305	240	220	170
95	320	245	320	245	380	295	370	290	265	205
120	370	285	365	285	440	340	430	335	305	235
150	420	325	415	325	500	385	485	380	350	270
185	480	375	475	370	570	445	555	435	395	310
240	565	440	560	440	675	525	645	510	465	365
300	650	510	645	505	780	610	735	580	530	415
400	755	595	745	590	910	710	835	675	615	485
500	865	690	850	685	1050	825	930	765	-	-
630	1000	810	980	795	1230	970	1050	880	-	-
800	1140	940	1110	920	1420	1140	1160	990	-	-
1000	1250	1050	1210	1020	1580	1290	1230	1080	-	-
1200	1340	1140	1290	1110	1730	1430	1300	1160	-	-
工作温度	90℃									
环境温度	40℃									

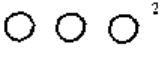
注 1), 2), 3), 4) 与表 5-1-1 中相同。

CuAl

26/35

表 5-1-5

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气中)

型 号	YJV YJY YJLV YJLY ⁴⁾									
电 压	18/30~26/35 (kV)									
芯 数	单 芯 ⁴⁾								三 芯	
排 列	 ¹⁾				 ²⁾				 ³⁾	
金属屏蔽 互连接地	一 端		二 端		一 端		二 端			
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)										
25	150	115	150	115	170	130	170	130	125	98
35	180	140	180	140	205	160	205	160	150	115
50	215	170	215	170	250	190	245	190	180	140
70	270	210	270	210	305	240	305	235	220	170
95	330	255	325	255	375	290	370	290	265	205
120	380	295	375	295	435	335	425	330	305	235
150	430	330	425	330	490	380	475	375	345	270
185	490	380	485	380	565	435	540	425	390	305
240	575	450	570	445	665	520	630	500	455	355
300	660	515	650	510	760	590	710	570	525	410
400	765	600	755	595	890	695	810	655	600	470
500	875	695	860	685	1030	810	910	750	-	-
630	1010	810	980	800	1200	950	1020	855	-	-
800	1150	940	1120	920	1380	1110	1130	960	-	-
1000	1260	1050	1220	1020	1540	1250	1210	1050	-	-
1200	1370	1150	1310	1120	1680	1380	1270	1120	-	-
工作温度	90℃									
环境温度	40℃									

注 1)、2)、3)、4) 与表 5-1-1 中相同。

CuAl

0.6/1

表 5-2-1

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY ⁴⁾							
电 压	0.6/1 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形 ⁴⁾				间距 $s=1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
2.5	42	33	39	30	38	29	37	29
4	55	43	50	39	49	38	48	37
6	69	56	62	50	60	49	59	48

续表

截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
10	92	71	82	63	80	61	78	60
16	115	91	105	81	100	78	99	76
25	150	115	135	105	130	100	125	98
35	180	140	160	125	155	120	150	115
50	215	165	190	145	180	140	175	135
70	265	205	230	180	225	175	215	170
95	320	245	275	215	265	205	260	200
120	360	280	315	245	305	235	295	230
150	410	315	355	275	340	265	330	255
185	460	360	400	310	385	300	375	290
240	535	420	460	360	445	345	430	335
300	605	475	520	410	500	395	485	380
400	685	545	590	470	570	450	550	435
500	775	620	665	535	640	515	620	500
630	865	705	745	605	715	585	695	565
800	960	800	830	690	795	660	775	640
1000	1040	880	900	760	865	730	840	710
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触。

2) 指电缆周围环境的土壤,或者说指电缆周围土壤发生水分迁移前的土壤。

3) 发生水分迁移,当电缆周围土壤呈现干燥域时应按该栏目下选择载流量,根据土壤类型不同则土壤热阻系数大致分为:一般性土壤取 2.0、沙(砂)质土壤取 2.5、粘土取 3.0 (K·m/W)。

4) 试验表明:YJV32, YJV33, YJV42, YJV43, YJLV32, YJLV33, YJLV42, YJLV43 单芯钢丝铠装电缆应按本表相应规格下的载流量 70%~60% (载流量下降率随着导体截面增加呈递减趋势选取)。

CuAl

0.6/1

表 5-2-2

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY ¹⁾							
电 压	0.6/1 (kV)							
排 列	三根单芯呈平面排列 ⁴⁾				间距 $s = 2 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
2.5	46	36	41	32	40	31	39	30
4	59	47	53	41	51	40	50	39
6	74	60	65	53	63	52	62	50
10	98	75	86	66	83	64	81	62
16	125	97	110	85	105	82	100	80
25	160	125	140	110	135	105	130	100
35	190	150	165	130	160	125	155	120
50	230	175	195	155	190	145	185	145
70	280	215	240	185	235	180	225	175
95	335	260	290	225	280	215	270	210

续表

截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
120	385	295	330	255	315	245	310	240
150	430	335	370	285	355	275	345	270
185	490	380	420	325	405	315	395	305
240	570	445	490	380	470	365	455	355
300	645	505	555	430	530	415	515	400
400	735	575	630	495	605	475	585	460
500	840	665	720	565	690	545	670	530
630	950	760	820	650	785	625	760	605
800	1080	875	930	745	890	715	865	695
1000	1190	970	1020	835	980	800	950	775
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 平面排列时电缆中心间距为 2 倍的电缆外径。

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同。

CuAl

0.6/1

表 5-2-3

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJY YJLV YJLY							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	三 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
2.5	46	36	43	34	43	33	42	33
4	59	47	56	44	55	43	54	43
6	75	61	70	57	69	56	68	55
10	100	78	94	72	92	71	90	66
16	130	100	120	92	115	90	115	88
25	165	130	150	120	150	115	145	115
35	200	155	185	140	180	140	175	135
50	240	185	215	170	210	165	210	160
70	290	225	265	205	260	200	255	195
95	355	275	320	250	310	240	305	235
120	405	315	365	285	355	275	350	270
150	450	350	410	315	395	305	390	300
185	510	395	460	360	450	350	440	340
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单根电缆分离敷设 (即邻近电缆对该电缆没有热效应)。

2), 3) 与表 5-2-1 中的 2), 3) 注相同。

CuAl

0.6/1

表 5-2-4

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	三~五芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)								
2.5	39	31	37	29	36	28	35	28
4	51	40	47	37	46	36	46	36
6	64	52	59	48	58	47	57	46
10	86	66	79	60	77	59	75	58
16	110	85	100	78	98	76	96	74
25	140	110	130	100	125	97	120	95
35	170	130	155	120	150	115	145	115
50	205	160	185	140	175	135	175	135
70	250	195	225	175	215	170	210	165
95	300	235	270	210	260	200	255	195
120	345	265	305	240	295	230	290	225
150	385	300	350	265	335	260	325	250
185	435	340	385	300	375	290	365	285
240	500	395	445	350	435	340	425	330
300	565	445	505	390	490	385	475	375
400	640	510	570	455	550	440	540	430
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单根电缆分离敷设 (即邻近电缆对该电缆没有热效应)。

2), 3) 与表 5-2-1 中的 2), 3) 注相同

Cu

6/6

表 5-2-5

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJY ¹⁾							
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形 ⁴⁾				间距 $s = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端 二端		一端 二端		一端 二端		一端 二端	
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	190 190		180 180		175 175		175 175	
35	230 230		215 215		210 210		210 210	

续表

截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
			载 流 量 (A)					
50	275	275	255	255	250	250	245	245
70	335	335	315	310	305	305	300	300
95	400	405	375	375	365	365	360	360
120	465	465	430	425	415	415	410	410
150	525	525	480	480	470	465	460	460
185	600	595	545	540	530	525	520	515
240	695	690	630	625	615	610	600	595
300	785	780	710	705	690	685	675	670
400	895	885	810	795	785	775	770	755
500	1010	1000	910	895	885	870	865	850
630	1140	1110	1020	1000	990	970	970	950
800	1270	1230	1130	1100	1100	1070	1080	1040
1000	1390	1330	1240	1190	1200	1150	1170	1120
1200	1460	1400	1300	1240	1260	1200	1230	1170
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触
2)、3)、4) 与表 5-2-1 中的 2)、3)、4) 注相同

Al

6/6

表 5-2-6

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJLV YJLY ⁴⁾							
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形 ²⁾				间距 $s = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
载 流 量 (A)								
25	145	145	140	140	135	135	135	135
35	175	175	165	165	165	165	160	160
50	210	210	200	195	195	195	190	190
70	260	260	245	240	235	235	235	235
95	315	315	290	290	285	285	280	280
120	360	360	330	330	325	325	320	315
150	410	410	375	370	365	365	355	355
185	465	465	425	420	410	410	405	405
240	540	540	490	490	480	475	470	465
300	615	610	555	555	540	540	530	525

续表

截 面 mm ²	铝	芯	铝	芯	铝	芯	铝	芯
	载 流 量 (A)							
400	705	700	640	630	620	615	605	600
500	810	800	730	720	710	700	695	685
630	920	910	830	820	805	795	790	775
800	1050	1020	940	920	910	890	890	870
1000	1170	1130	1040	1010	1010	980	980	960
1200	1250	1210	1190	1080	1080	1040	1050	1020
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同。

Cu

6/6

表 5-2-7

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJY ⁴⁾							
电 压	1 8/3 ~ 6/6 (kV)						○○○	
排 列	三根单芯电缆呈平面 ¹⁾				间距 $s = 2 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜	芯	铜	芯	铜	芯	铜	芯
	载 流 量 (A)							
25	160	160	145	145	140	140	135	135
35	195	195	170	170	165	165	160	160
50	230	230	200	200	195	195	190	190
70	280	280	245	245	240	235	235	230
95	335	330	295	290	285	280	275	275
120	385	375	335	330	325	320	315	310
150	430	420	375	370	365	355	355	345
185	485	475	425	410	410	395	400	385
240	565	545	495	470	475	455	460	440
300	640	610	555	525	535	510	520	495
400	735	685	635	590	615	570	595	550
500	840	760	725	655	695	630	680	610
630	950	840	825	720	795	690	770	670
800	1080	910	930	780	895	750	870	725
1000	1190	970	1020	825	980	795	960	770
1200	1270	1000	1090	855	1050	820	1020	795
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 平面排列时电缆中心间距为 2 倍的电缆外径。

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同。

Al

6/6

表 5-2-8

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJLV YJLY ⁴⁾							
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈平面 ⁴⁾				间距 $s = 2 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	125	125	110	110	110	110	105	105
35	150	150	135	130	130	130	125	125
50	175	175	155	155	150	150	145	145
70	215	215	190	190	185	185	180	180
95	260	260	230	225	220	220	215	215
120	295	295	260	255	250	250	245	140
150	335	330	290	285	280	275	275	270
185	380	370	330	325	315	310	310	305
240	440	430	385	375	370	360	360	350
300	500	485	435	420	415	405	405	390
400	575	550	500	475	480	455	465	445
500	660	620	570	535	550	515	535	500
630	760	695	655	600	630	575	615	560
800	870	775	750	665	720	635	700	620
1000	970	840	835	720	805	690	780	670
1200	1060	890	910	760	875	725	850	705
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 平面排列时电缆中心间距为 2 倍的电缆外径

2)、3)、4) 与表 5-2-1 中的 2)、3)、4) 注相同

CuAl

6/6

表 5-2-9

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJY YJLV YJLY							
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
芯 数	三 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
25	135	105	130	100	125	99	125	97
35	165	125	155	120	150	115	150	115

续表

截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
50	195	150	180	140	180	140	175	135
70	240	185	220	170	215	170	215	165
95	290	225	265	205	260	200	255	200
120	325	255	300	235	295	230	290	225
150	370	285	340	265	330	255	325	250
185	415	325	380	300	370	290	365	285
240	485	380	440	345	430	335	420	330
300	540	425	495	390	480	380	475	370
400	620	490	560	450	545	435	535	425
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单根电缆分离敷设(即邻近电缆对该电缆没有热效应)。

2)、3) 与表 5-2-1 中的 2)、3) 注相同。

Cu

8.7/15

表 5-2-10

交联聚乙烯绝缘电缆载流量(土壤中)

型 号	YJV YJV ⁴⁾							
电 压	6/10~8.7/15 (kV)						 ¹⁾	
排 列	三根单芯电缆呈三角形 ⁴⁾				间距 $\Delta = 1 \times D_e$			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	190	190	180	180	175	175	175	175
35	225	225	215	215	210	210	210	210
50	270	270	255	255	250	250	250	245
70	335	335	315	310	305	305	305	305
95	405	405	375	375	370	365	365	360
120	460	460	430	425	420	415	410	410
150	520	520	480	480	470	470	460	460
185	585	585	540	540	530	525	520	520
240	690	685	630	625	615	610	605	600
300	775	770	710	700	695	685	680	670
400	890	880	810	800	790	775	775	760
500	1010	990	910	895	890	870	870	855

续表

截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
630	1130	1110	1020	1000	1000	970	980	950
800	1270	1230	1140	1110	1110	1070	1090	1050
1000	1380	1330	1240	1190	1200	1150	1180	1130
1200	1460	1400	1310	1250	1270	1210	1240	1180
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同

Al

8.7/15

表 5-2-11

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJLV YJLY ⁴⁾							
电 压	6/10~8.7/15 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形 ⁴⁾				间距 $s = 1 \times D_0$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	145	145	140	140	135	135	135	135
35	175	175	165	165	165	165	160	160
50	210	210	200	195	195	195	190	190
70	260	260	245	240	240	240	235	235
95	315	310	290	290	285	285	280	280
120	360	360	330	330	325	325	320	320
150	405	400	370	370	365	365	360	355
185	455	455	420	420	410	410	405	405
240	535	530	490	490	480	475	470	470
300	605	605	555	550	545	535	530	525
400	705	690	640	635	620	615	610	605
500	805	795	730	720	710	700	695	685
630	920	900	830	815	805	795	790	775
800	1050	1030	940	920	910	895	895	875
1000	1160	1130	1040	1010	1010	980	990	960
1200	1240	1200	1110	1080	1080	1040	1060	1020
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同

Cu

8.7/15

表 5-2-12

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJV ⁴⁾							
电 压	6/10~8.7/15 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈平面排列 ⁴⁾				间距 $s = 2 \times D_0$ ¹⁾		○ ○ ○	
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	160	160	145	145	140	140	140	135
35	195	190	175	175	170	170	165	165
50	230	225	205	205	200	195	195	195
70	280	275	250	245	240	240	235	235
95	335	330	300	295	290	285	280	275
120	385	375	340	330	325	320	320	310
150	430	420	380	370	365	355	355	350
185	485	470	430	415	415	400	405	390
240	565	540	495	475	480	455	465	445
300	640	605	560	530	540	510	525	495
400	735	680	640	590	615	570	600	550
500	840	755	730	655	705	630	685	610
630	950	835	830	720	800	690	775	670
800	1080	910	940	780	900	745	880	725
1000	1190	960	1030	825	990	795	960	770
1200	1270	1000	1100	850	1060	820	1030	795
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 平面排列时电缆中心间距为2倍的电缆外径。

2), 3), 4) 与表 (5-2-1) 中的 2), 3), 4) 注相同。

Al

8.7/15

表 5-2-13

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJLV YJLV ⁴⁾							
电 压	6/10~8.7/15 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈平面排列 ⁴⁾				间距 $s = 2 \times D_0$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端 二端		一端 二端		一端 二端		一端 二端	
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	125	125	110	110	110	110	105	105
35	150	150	135	135	130	130	125	125

续表

截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
50	175	175	160	155	155	150	150	150
70	215	215	195	190	185	185	180	180
95	260	260	230	230	225	220	220	215
120	295	295	260	260	255	250	245	245
150	335	330	295	290	285	280	275	275
185	380	370	330	325	320	315	315	305
240	440	430	385	375	370	360	365	350
300	500	480	435	420	420	405	410	395
400	575	550	500	475	485	460	470	445
500	660	620	575	535	555	515	540	500
630	755	695	660	600	635	575	615	560
800	870	770	755	665	725	635	705	620
1000	970	840	840	720	805	690	785	670
1200	1050	880	910	755	875	725	850	705
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 平面排列时电缆中心间距为2倍的电缆外径。

2), 3), 4) 与表5-2-1中的2), 3), 4) 注相同。

CuAl

8.7/15

表 5-2-14

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY							
电 压	6/10 ~ 8.7/15 (kV)							
芯 数	三 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈规干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
25	135	105	130	100	125	100	125	100
35	165	125	155	120	150	115	150	115
50	190	150	180	140	180	140	175	135
70	240	185	225	175	220	170	215	170
95	285	220	265	205	260	205	255	200
120	320	250	300	235	295	230	290	225
150	365	280	340	265	330	260	325	255
185	410	320	380	295	370	290	365	285
240	480	375	440	345	430	340	425	335
300	540	425	495	390	485	380	475	375
400	610	485	560	445	545	435	535	425
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单根电缆分离敷设 (即邻近电缆对该电缆没有热效应)。

2), 3) 与表5-2-1中的2), 3) 注相同。

Cu

18/20

表 5-2-15

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJY ⁴⁾							
电 压	18/20 (kV)							
排 列	一根单芯电缆呈三角形 ⁴⁾				间距 $s = 1 \times D_0$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	185	180	180	180	180	180	175	175
35	225	225	215	215	210	210	210	210
50	270	270	255	255	250	250	250	250
70	330	330	315	310	310	305	305	305
95	400	400	375	375	370	370	365	360
120	460	460	430	425	420	420	415	410
150	520	520	480	480	470	470	465	460
185	585	585	545	540	530	530	525	520
240	680	675	630	625	615	610	605	600
300	775	770	710	705	695	685	685	675
400	885	875	810	795	790	775	775	760
500	1000	980	910	895	890	870	875	855
630	1140	1110	1030	1000	1000	980	980	960
800	1270	1230	1140	1110	1110	1070	1090	1050
1000	1370	1320	1240	1190	1200	1160	1180	1130
1200	1450	1390	1310	1250	1270	1210	1240	1190
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同

Al

18/20

表 5-2-16

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJLV YJLY ⁴⁾							
电 压	18/20 (kV)							
排 列	一根单芯电缆呈三角形 ⁴⁾				间距 $s = 1 \times D_0$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
25	145	145	140	140	140	140	135	135
35	175	175	165	165	165	165	165	165

续表

截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
50	210	210	200	195	195	195	190	190
70	255	255	245	240	240	240	235	235
95	310	310	290	290	285	285	280	280
120	345	355	335	330	325	325	320	320
150	400	400	375	370	365	365	360	360
185	455	455	425	420	415	410	405	405
240	530	530	490	490	480	475	470	470
300	605	605	555	555	545	540	535	530
400	700	690	640	630	620	615	610	605
500	795	790	725	720	710	700	695	685
630	920	900	835	820	810	795	795	780
800	1040	1020	940	920	910	895	895	875
1000	1150	1120	1040	1010	1010	980	990	960
1200	1240	1200	1120	1080	1080	1050	1060	1020
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同。

Cu

18/20

表 5-2-17

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJY ⁴⁾							
电 压	18/20 (kV)						○ ○ ○	
排 列	三根单芯电缆平面排列 ⁴⁾				间距 $s = 2 \times D_c^{1)}$			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜	芯	铜	芯	铜	芯	铜	芯
载 流 量 (A)								
25	160	160	145	145	140	140	140	140
35	190	190	175	175	170	170	165	165
50	230	225	205	205	200	195	195	195
70	280	275	250	245	240	240	235	235
95	335	330	300	295	290	285	285	280
120	385	375	340	330	330	320	325	315
150	430	420	380	370	370	360	360	350
185	490	470	430	415	415	400	405	390
240	565	540	500	475	480	460	470	445
300	640	605	565	530	545	510	530	495

续表

截 面	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
400	735	680	645	590	620	570	605	555
500	835	755	730	655	705	630	685	610
630	960	835	830	720	800	690	780	670
800	1080	900	940	775	900	745	880	725
1000	1180	960	1030	825	990	790	960	770
1200	1270	1000	1100	850	1060	820	1030	795
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 平面排列时电缆中心间距为2倍的电缆外径

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同

AI

18/20

表 5-2-18

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJLV YJLY ⁴⁾							
电 压	18/20 (kV)							
排 列	三根单芯电缆平面排列 ⁴⁾				间距 $s = 2 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝	芯	铝	芯	铝	芯	铝	芯
	载 流 量 (A)							
25	125	125	115	110	110	110	105	105
35	150	150	135	135	130	130	130	125
50	175	175	160	160	155	155	150	150
70	215	215	195	190	185	185	185	180
95	260	260	230	230	225	220	220	215
120	295	295	265	260	255	250	250	245
150	335	330	295	290	285	280	280	275
185	380	370	335	325	325	315	315	305
240	440	430	385	375	375	365	365	355
300	500	480	440	420	425	405	410	395
400	575	545	505	475	485	460	475	445
500	660	615	575	535	555	515	540	500
630	760	695	660	600	635	575	620	560
800	865	765	755	660	725	635	705	620
1000	970	835	840	715	810	690	785	670
1200	1050	880	910	755	875	725	850	705
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 平面排列时电缆中心间距为2倍的电缆外径

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同。

CuAl

18/20

表 5-2-19

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY							
电 压	18/20 (kV)							
芯 数	芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
25	135	105	130	100	125	99	125	98
35	160	125	155	120	150	120	150	115
50	190	150	180	140	180	140	175	135
70	235	185	220	175	220	170	215	165
95	285	220	265	205	260	200	255	200
120	320	250	300	235	295	230	290	225
150	365	285	340	265	335	260	330	255
185	410	320	380	300	375	290	370	290
240	475	370	440	345	430	340	425	335
300	535	420	495	390	485	380	475	375
400	605	480	560	445	545	435	535	425
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单根电缆分离敷设 (即邻近电缆对该电缆没有热效应)

2), 3) 与表 5-2-1 中的 2), 3) 注相同

Cu

26/35

表 5-2-20

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJY ⁴⁾							
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈 三角形 ⁴⁾				间距 $s = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端 二端		一端 二端		一端 二端		一端 二端	
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	185	180	180	180	180	180	180	175
35	220	220	215	215	215	215	210	210
50	260	260	255	255	250	250	250	250
70	320	320	310	310	310	305	305	305
95	390	390	375	375	370	370	365	365

续表

截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
120	445	445	425	425	420	420	415	415
150	500	500	475	475	470	465	465	460
185	570	565	540	535	530	525	525	520
240	665	660	625	620	615	610	610	600
300	750	740	705	700	695	680	685	675
400	865	850	810	795	790	780	780	765
500	980	960	910	895	895	875	880	860
630	1110	1080	1030	1000	1010	980	990	960
800	1250	1210	1150	1110	1130	1080	1110	1060
1000	1360	1310	1250	1200	1220	1170	1200	1150
1200	1450	1380	1330	1260	1300	1230	1280	1210
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触。

2)、3)、4) 与表 5-2-1 中的 2)、3)、4) 注相同。

AI

26/35

表 5-2-21

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJLV YJLY ⁴⁾							
电 压	18/30 - 26/35 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形 ⁴⁾				间距 $s = 1 \times D_e$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	140	140	140	140	140	140	140	140
35	170	170	165	165	165	165	165	165
50	200	200	195	195	195	195	195	195
70	250	250	240	240	240	240	235	235
95	300	300	290	290	285	285	285	285
120	345	345	330	330	325	325	325	325
150	395	385	370	370	365	365	360	360
185	440	440	420	420	415	410	410	405
240	515	515	490	485	480	475	475	470
300	585	580	550	545	540	535	535	530

续表

截 面 mm ²	铝	芯	铝	芯	铝	芯	铝	芯
载 流 量 (A)								
400	680	670	635	630	625	615	615	605
500	775	770	725	715	710	700	700	690
630	895	880	830	815	810	795	800	785
800	1020	990	940	920	920	895	900	880
1000	1130	1100	1040	1010	1020	980	1000	970
1200	1230	1180	1120	1080	1100	1060	1080	1040
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时电缆彼此相互接触

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同

Cu

26/35

表 5-2-22

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJV ⁴⁾							
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)							
排 列	三根单芯电缆平面排列 ¹⁾				间距 ¹⁾ $s = 2 \times D_0$			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜	芯	铜	芯	铜	芯	铜	芯
载 流 量 (A)								
25	160	160	150	145	145	145	140	140
35	190	190	175	175	170	170	170	170
50	225	225	210	205	205	200	200	195
70	275	275	255	250	245	245	240	240
95	335	330	305	295	295	290	290	285
120	380	375	345	335	335	325	325	320
150	425	415	385	375	375	360	365	355
185	485	465	435	415	425	405	415	395
240	565	535	505	475	490	460	480	450
300	635	595	570	530	550	510	540	500
400	730	670	650	590	630	570	615	555
500	830	740	740	650	715	630	695	610
630	950	820	840	715	810	690	790	670
800	1080	890	950	770	920	740	895	720
1000	1190	940	1040	815	1010	780	980	760
1200	1270	980	1110	840	1070	810	1050	785
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 平面排列时电缆中心间距为 2 倍的电缆外径

2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同

Al

26/35

表 5-2-23

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJLV YJLY ⁴⁾							
电 压	18/30 - 26/35 (kV)							
排 列	根单芯电缆平面排列 ¹⁾				间距 $s = 2 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (k · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
金属屏蔽 互连接地	1.0		2.0		2.5		3.0	
	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
载 流 量 (A)								
25	125	125	115	115	110	110	110	110
35	150	150	135	135	135	135	130	130
50	175	175	160	160	155	155	155	155
70	215	215	195	195	190	190	190	185
95	260	255	235	230	230	225	225	220
120	295	290	265	265	260	255	255	250
150	330	325	300	290	290	285	285	275
185	375	370	340	330	330	320	320	315
240	435	425	390	380	380	365	370	360
300	495	475	445	425	430	410	420	400
400	570	540	510	475	495	460	480	450
500	655	610	580	535	560	515	550	505
630	755	680	665	600	645	575	630	560
800	865	755	760	660	735	635	720	620
1000	960	820	850	710	820	685	800	665
1200	1050	865	920	750	890	720	865	700
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 平面排列时电缆中心间距为 2 倍的电缆外径
 2), 3), 4) 与表 5-2-1 中的 2), 3), 4) 注相同

CuAl

26/35

表 5-2-24

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY							
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)							
芯 数	3 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
mm ²	载 流 量 (A)							
25	135	105	130	100	130	100	130	100
35	160	125	155	120	155	120	155	120

续表

截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
50	190	145	185	140	180	140	180	140
70	230	180	225	175	220	170	220	170
95	275	215	265	205	265	205	260	200
120	315	245	300	235	300	230	295	230
150	355	275	335	260	330	260	330	255
185	400	310	380	295	375	290	370	290
240	460	360	440	345	430	340	425	335
300	520	410	495	390	850	385	480	375
400	590	465	560	440	550	435	540	430
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 单根电缆分离敷设 (即邻近电缆对该电缆没有热效应)

2)、3) 与表 5-2-1 中的 2)、3) 注相同

CuAl

0.6/1

表 5-3-1

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气管道中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	单 芯		三 芯		三 芯		三~五芯	
排 列								
截 面	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
mm ²	载 流 量 (A)							
2.5	28	22	31	24	24	19	21	16
4	36	29	41	32	32	25	27	21
6	46	38	51	42	41	33	34	28
10	62	48	69	53	55	43	47	36
16	79	61	88	60	71	55	60	47
25	105	81	115	89	94	73	80	62
35	125	100	140	110	115	90	98	76
50	155	120	170	130	140	110	120	92
70	190	150	210	165	175	135	150	115
95	235	185	260	200	220	170	185	145
120	275	215	300	235	255	195	215	170
150	315	245	345	265	295	225	250	190
185	365	285	400	310	335	260	290	225
240	435	340	475	365	-	-	340	265
300	505	390	550	425	-	-	390	310
400	590	460	640	500	-	-	455	360
500	690	545	750	590	-	-	-	-
630	800	640	875	695	-	-	-	-
800	930	755	1030	820	-	-	-	-
1000	1040	855	1150	930	-	-	-	-
工作温度	90℃							
环境温度	40℃							

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

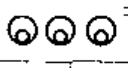
2) 平面排列时管道之间的间隙为 1 倍的电缆外径。

CuAl

6/6

表 5-3-2

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气管道中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)									
芯 数	单 芯								三 芯	
排 列										
金属屏蔽互连接地	端		二 端		一 端		二 端			
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)										
25	115	92	115	91	125	98	125	98	91	70
35	140	110	140	110	150	115	150	115	110	85
50	170	130	170	130	180	140	180	140	130	100
70	210	165	210	160	225	175	220	175	160	125
95	260	200	255	195	275	215	270	210	195	155
120	295	230	290	225	315	245	305	240	225	175
150	335	260	330	255	360	280	345	270	260	200
185	385	295	375	295	415	320	390	310	295	230
240	455	355	440	345	490	380	450	360	345	270
300	525	410	505	400	565	440	505	410	395	310
400	610	480	585	465	660	515	570	470	460	365
500	710	560	665	540	765	600	630	530	-	-
630	820	655	760	620	895	710	695	595	-	-
800	950	770	855	715	1040	835	750	655	-	-
1000	1060	870	930	795	1160	940	790	710	-	-
1200	1140	950	980	855	1260	1040	815	745	-	-
工作温度	90℃									
环境温度	40℃									

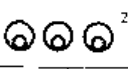
注 1)、2) 与表 5-3-1 的注相同。

CuAl

8.7/15

表 5-3-3

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气管道中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电 压	6/10 ~ 8.7/15 (kV)									
芯 数	单 芯								三 芯	
排 列										
金属屏蔽互连接地	端		二 端		一 端		二 端			
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)										
25	120	95	120	95	130	100	130	100	95	74
35	145	115	145	115	155	120	155	120	115	89

续表

截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)									
50	175	135	175	135	185	145	185	145	135	105
70	215	170	215	165	235	180	230	180	170	130
95	265	205	260	205	285	220	275	215	205	160
120	305	235	300	235	325	255	315	245	235	180
150	345	265	340	265	370	285	350	280	265	205
185	395	305	385	300	420	330	395	315	300	235
240	465	360	455	355	500	390	455	365	355	280
300	530	415	515	405	570	445	510	415	400	315
400	620	485	590	470	670	525	570	470	460	365
500	715	565	670	545	775	605	630	530	-	-
630	835	660	760	625	900	710	690	595	-	-
800	960	775	860	720	1050	840	750	655	-	-
1000	1070	875	930	795	1170	950	790	710	-	-
1200	1150	960	990	855	1270	1040	815	745	-	-
工作温度	90℃									
环境温度	40℃									

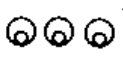
注 1)、2) 与表 5-3-1 的注相同

CuAl

18/20

表 5-3-4

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气管道中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电 压	18/20 (kV)									
芯 数	单 芯								三 芯	
排 列										
金属屏蔽 互连接地	端		端		端		端		端	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
载 流 量 (A)										
25	125	97	125	96	130	100	130	100	97	75
35	150	115	150	115	160	125	160	125	115	90
50	175	135	175	135	190	145	190	145	135	105
70	220	170	220	170	235	185	235	180	170	130
95	265	205	265	205	285	220	280	220	205	160
120	310	240	305	235	330	255	315	250	235	185
150	350	270	345	270	375	290	355	280	270	210
185	400	310	390	305	430	335	400	320	305	235
240	470	365	455	360	505	390	460	370	355	280
300	540	420	520	410	580	450	515	415	405	320

续表

截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)									
400	625	490	595	475	675	525	575	475	465	370
500	720	570	680	545	780	610	630	535	-	-
630	840	665	770	630	900	715	695	595	-	-
800	970	780	865	725	1050	840	750	660	-	-
1000	1070	875	930	795	1170	950	785	705	-	-
1200	1160	960	990	860	1270	1040	815	740	-	-
工作温度	90℃									
环境温度	40℃									

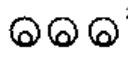
注 1)、2) 与表 5-3-1 的注相同

CuAl

26/35

表 5-3-5

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (空气管道中)

型 号	YJV YLY YJLV YJLY									
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)									
芯 数	单 芯								芯	
排 列										
金属屏蔽 互连接地	端		端		端		端			
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)									
25	130	100	130	100	140	110	140	105	100	80
35	160	120	155	120	165	130	165	130	125	96
50	190	145	185	145	200	155	195	150	145	115
70	230	180	230	180	245	190	240	185	180	140
95	280	220	280	215	300	230	290	225	215	165
120	325	250	320	250	340	265	325	260	245	190
150	365	280	355	280	385	300	365	290	275	215
185	415	320	405	320	440	340	410	325	315	245
240	490	380	475	370	520	400	465	375	365	285
300	555	430	535	420	590	460	515	420	415	325
400	645	505	610	490	685	535	580	480	470	375
500	745	585	690	560	795	625	635	535	-	-
630	855	680	780	640	920	725	690	595	-	-
800	990	795	875	730	1060	850	745	660	-	-
1000	1090	890	940	805	1180	950	780	705	-	-
1200	1180	980	1000	865	1280	1050	805	735	-	-
工作温度	90℃									
环境温度	40℃									

注 1)、2) 与表 5-3-1 的注相同

CuAl

0.6/1

表 5-4-1

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)⁴⁾

型 号	YJV YJV YJLV YJLY							
电 压	0.6/1 (kV)							
排 列	一根单芯电缆呈三角形排列							
土壤热阻系数 ($K \cdot m/W$)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
2.5	33	26	29	23	28	22	28	21
4	43	34	37	29	36	28	35	27
6	54	44	46	38	44	36	45	35
10	72	55	61	47	59	45	57	44
16	91	71	78	60	75	58	73	56
25	115	92	100	78	97	75	94	73
35	140	110	120	94	115	90	110	87
50	170	130	145	110	135	105	135	105
70	210	160	175	135	170	130	165	125
95	250	195	215	165	205	160	200	155
120	290	225	245	190	235	180	225	175
150	330	255	280	215	265	205	260	200
185	375	290	315	245	305	235	295	230
240	440	340	370	290	355	275	345	270
300	500	390	425	330	405	315	395	305
400	575	450	485	380	465	365	450	355
500	665	525	560	445	540	425	520	410
630	760	605	645	515	615	490	600	475
800	870	705	735	595	705	570	685	555
1000	960	785	810	665	775	640	755	620
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

2) 指电缆管道周围环境的土壤,或者说指电缆管道周围土壤发生水分迁移前的土壤

3) 发生水分迁移时,当电缆管道周围土壤呈现干燥域时应按该栏目下选择载流量 根据土壤类型不同则土壤热阻系数大致分为:一般性土壤取 2.0、沙(砂)质土壤取 2.5、粘土取 3.0

CuAl

0.6/1

表 5-4-2

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电 压	0.6/1 (kV)									
排 列	二根单芯电缆平面排列				间距 $s = 1 \times D_c$ ¹⁾					
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾				管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0			
截 面	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝			
mm ²	载 流 量 (A)									
2.5	34	27	-	-	-	-	-	-	-	-
4	44	35	-	-	-	-	-	-	-	-

续表

截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
6	55	45	—	—	—	—	—	—
10	73	56	63	48	60	46	58	45
16	93	72	80	62	77	59	74	58
25	120	94	100	80	99	77	96	75
35	145	110	125	96	120	92	115	89
50	170	135	145	115	140	110	135	105
70	215	165	180	140	175	135	170	130
95	260	200	220	170	210	165	205	160
120	295	230	250	195	240	185	235	180
150	340	260	295	220	275	215	265	205
185	385	300	330	255	315	245	305	235
240	455	355	385	300	370	285	355	280
300	520	405	440	340	420	330	410	315
400	600	470	510	400	490	380	475	370
500	695	550	590	465	565	445	550	430
630	805	635	680	540	655	515	635	500
800	930	740	785	630	755	605	730	585
1000	1030	835	875	710	840	680	815	660
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根管道平面排列, 电缆管道之间间隙为电缆外径 (D_c) 的 1 倍

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

CuAl

0.6/1

表 5-4-3

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号		YJV YJLV YJY YJLY			
电 压	0.6/1 (kV)		 ¹⁾		
芯 数	二 芯		三 ~ 五 芯		
土壤热阻系数 (K·m/W)	自 然 土 壤 ²⁾				
	1.0		1.0		
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		
	载 流 量 (A)				
2.5	30	23	25	19	
4	38	30	32	25	
6	48	39	41	33	
10	65	50	55	42	
16	84	65	71	55	
25	110	85	92	72	
35	130	100	110	87	
50	160	125	135	105	
70	200	155	170	130	
95	245	190	205	160	

续表

截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)			
120	280	220	235	185
150	320	250	270	210
185	365	285	310	240
240	-	-	365	285
300	-	-	415	325
400	-	-	480	380
工作温度	90℃			
环境温度	25℃			

注 1) 多芯电缆管道为分离敷设 (即相邻电缆对该电缆没有热响应)

2) 指电缆管道周围环境的土壤。

Cu

6/6

表 5-4-4

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号		YJV YJY							
电 压		1 8/3 - 6/6 (kV)						 ¹⁾	
排 列		三根单芯电缆呈三角形排列							
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾						
	1.0		2.0		2.5		3.0		
金属屏蔽 与接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端	
截 面	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯		
mm ²	载 流 量 (A)								
25	140	140	-	-	-	-	-	-	
35	170	165	-	-	-	-	-	-	
50	200	200	-	-	-	-	-	-	
70	245	245	-	-	-	-	-	-	
95	300	295	-	-	-	-	-	-	
120	340	340	-	-	-	-	-	-	
150	390	380	-	-	-	-	-	-	
185	440	435	-	-	-	-	-	-	
240	520	505	-	-	-	-	-	-	
300	595	575	-	-	-	-	-	-	
400	685	655	-	-	-	-	-	-	
500	790	740	-	-	-	-	-	-	
630	900	830	-	-	-	-	-	-	
800	1030	920	900	800	865	770	840	750	
1000	1140	1000	990	865	950	830	930	810	
1200	1230	1050	1060	910	1020	870	1000	850	
工作温度	90℃								
环境温度	25℃								

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

2)、3) 与表 5-4-1 的注相同

Al

6/6

表 5-4-5

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号		YJLV YJLY							
电 压		1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
排 列		一根单芯电缆呈三角形排列							
土壤热阻系数 (K·m/W)		自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地		一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面		铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
mm ²		载 流 量 (A)							
25		110	110	-	-	-	-	-	-
35		130	130	-	-	-	-	-	-
50		155	155	-	-	-	-	-	-
70		190	190	-	-	-	-	-	-
95		230	230	-	-	-	-	-	-
120		265	265	-	-	-	-	-	-
150		300	300	-	-	-	-	-	-
185		345	340	-	-	-	-	-	-
240		405	395	-	-	-	-	-	-
300		460	450	-	-	-	-	-	-
400		535	520	-	-	-	-	-	-
500		620	600	-	-	-	-	-	-
630		720	680	-	-	-	-	-	-
800		835	775	-	-	-	-	-	-
1000		940	855	815	740	785	710	765	690
1200		1020	910	890	790	855	760	830	740
工 作 温 度		90℃							
环 境 温 度		25℃							

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

Cu

6/6

表 5-4-6

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJY							
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
排 列	一根单芯电缆平面排列				间距 $s = 1 \times D_1^{1)}$			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
25	130	130	110	110	105	105	105	105
35	155	155	135	130	130	130	125	125

续表

截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
			载 流 量 (A)					
50	185	180	160	155	150	150	150	145
70	225	220	195	190	185	180	180	180
95	270	265	235	230	225	220	220	215
120	310	305	265	260	255	250	250	245
150	350	340	300	290	290	280	280	270
185	400	380	340	325	325	315	320	305
240	465	440	400	375	385	360	375	350
300	535	495	455	420	440	405	425	395
400	615	555	530	475	505	455	490	440
500	710	620	610	525	585	505	565	490
630	815	680	700	575	670	555	650	535
800	940	735	805	625	770	600	750	580
1000	1040	785	890	665	855	635	830	615
1200	1120	810	960	685	920	655	895	635
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根管道平面排列, 管道之间间隙为电缆外径的 1 倍

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同

AI

6/6

表 5-4-7

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJLV YJLY							
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
排 列	一根单芯电缆平面排列				间隙 $s = 1 \times D_p^{1)}$			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
载 流 量 (A)								
25	100	100	87	87	84	84	82	81
35	120	120	105	105	100	100	97	97
50	140	140	120	120	115	115	115	115
70	175	175	150	150	145	145	140	140
95	210	205	180	180	175	170	170	165
120	240	235	205	205	200	195	195	190
150	270	265	235	230	225	220	215	215
185	310	300	265	260	255	250	245	240
240	365	350	310	300	300	285	290	280
300	415	395	355	340	340	325	330	315

续表

截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
400	480	450	410	385	395	370	385	360
500	560	510	475	435	460	415	445	405
630	645	570	550	485	530	465	515	455
800	750	635	640	540	615	515	600	500
1000	850	690	725	585	695	560	675	545
1200	930	725	790	615	760	590	735	570
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根管道平面排列, 管道之间间隙为电缆外径的 1 倍

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同

CuAl

6/6

表 5-4-8

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY							
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
芯 数	三 芯				敷 设		⊙ ¹⁾	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
25	100	79	-	-	-	-	-	-
35	120	94	-	-	-	-	-	-
50	145	110	-	-	-	-	-	-
70	180	140	-	-	-	-	-	-
95	215	165	-	-	-	-	-	-
120	245	190	-	-	-	-	-	-
150	280	215	-	-	-	-	-	-
185	315	245	-	-	-	-	-	-
240	370	290	-	-	-	-	-	-
300	420	330	-	-	-	-	-	-
400	480	385	-	-	-	-	-	-
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 多芯电缆用的管道敷设为分离敷设 (即相邻电缆对该电缆没有热响应)。

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同

Cu

8.7/15

表 5-4-9

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJY							
电 压	6/10~8.7/15 (kV)							
排 列	三根管道呈三角形							
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 与连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
25	145	140	-	-	-	-	-	-
35	170	170	-	-	-	-	-	-
50	205	205	-	-	-	-	-	-
70	250	250	-	-	-	-	-	-
95	305	300	-	-	-	-	-	-
120	350	345	-	-	-	-	-	-
150	395	390	-	-	-	-	-	-
185	450	440	-	-	-	-	-	-
240	525	510	-	-	-	-	-	-
300	600	575	-	-	-	-	-	-
400	690	660	-	-	-	-	-	-
500	795	745	-	-	-	-	-	-
630	910	835	-	-	-	-	-	-
800	1040	930	910	805	875	775	855	755
1000	1150	1000	1000	870	970	835	940	815
1200	1230	1050	1080	910	1040	880	1010	855
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

Al

8.7/15

表 5-4-10

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJLV YJLY							
电 压	6/10 ~ 8 7/15 (kV)							
排 列	三根管道呈三角形						 ¹⁾	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 与连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
25	110	110	-	-	-	-	-	-
35	135	135	-	-	-	-	-	-

续表

截 面 mm ²	铝	芯	铝	芯	铝	芯	铝	芯
	载 流 量 (A)							
50	160	160	-	-	-	-	-	-
70	195	195	-	-	-	-	-	-
95	235	235	-	-	-	-	-	-
120	270	270	-	-	-	-	-	-
150	305	300	-	-	-	-	-	-
185	350	345	-	-	-	-	-	-
240	410	405	-	-	-	-	-	-
300	465	455	-	-	-	-	-	-
400	540	525	-	-	-	-	-	-
500	625	600	-	-	-	-	-	-
630	725	685	-	-	-	-	-	-
800	840	780	-	-	-	-	-	-
1000	940	855	820	745	790	715	770	695
1200	1030	910	895	795	865	765	840	745
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

Cu

8.7/15

表 5-4-11

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJV							
电 压	6/10~8.7/15 (kV)							
排 列	三根管道呈平面排列				间隙 $s = 1 \times D_c$			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜	芯	铜	芯	铜	芯	铜	芯
载 流 量 (A)								
25	130	130	115	115	110	110	110	110
35	160	155	140	135	135	130	130	130
50	185	185	165	160	155	155	155	150
70	230	225	200	195	195	190	190	185
95	275	270	240	235	230	225	225	220
120	315	310	275	265	265	255	255	250
150	355	345	310	300	295	285	290	280
185	405	390	350	335	335	320	325	310
240	475	445	410	385	395	370	385	355
300	540	495	465	425	445	410	435	400

续表

截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
400	625	560	535	475	515	460	500	445
500	715	620	615	530	590	505	575	490
630	825	680	710	580	680	555	660	540
800	950	740	810	625	780	600	755	585
1000	1050	780	900	665	865	635	840	615
1200	1130	805	970	685	930	655	900	635
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根管道平面排列, 管道之间间隙为电缆外径的 1 倍。

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

Al

8.7/15

表 5-4-12

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJLV YJLY							
电 压	6/10~8.7/15 (kV)							
排 列	三根管道呈平面排列				间隙 $s=1 \times D_p^{1)}$			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	100	100	90	90	87	87	85	85
35	120	120	105	105	105	100	100	100
50	145	145	125	125	120	120	120	120
70	180	175	155	155	150	145	145	145
95	215	210	185	185	180	175	175	170
120	245	240	215	210	205	200	200	195
150	275	270	240	235	230	225	225	220
185	315	305	270	265	260	255	255	245
240	370	355	320	305	305	295	295	285
300	420	400	360	340	345	330	335	320
400	485	455	420	390	400	375	390	360
500	565	510	485	440	465	420	450	410
630	650	575	560	490	540	470	520	455
800	755	635	650	540	620	520	605	505
1000	850	690	730	585	700	560	680	545
1200	930	725	795	615	765	590	740	570
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根管道平面排列, 管道之间间隙为电缆外径的 1 倍。

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

CuAl

8.7/15

表 5-4-13

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY			
电 压	6/10~8.7/15 (kV)			
芯 数	三 芯		敷 设	 ¹⁾
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾	
	1.0		2.0	2.5 3.0
截 面 mm ²	铜	铝	铜 铝	铜 铝
	载 流 量 (A)			
25	105	81	-	-
35	125	97	-	-
50	150	115	-	-
70	185	140	-	-
95	220	170	-	-
120	250	195	-	-
150	285	220	-	-
185	320	250	-	-
240	375	295	-	-
300	425	335	-	-
400	485	385	-	-
工作温度	90℃			
环境温度	25℃			

注 1) 多芯电缆用管道敷设为分离敷设 (即相邻电缆对该电缆没有热响应)。

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

Cu

18/20

表 5-4-14

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJY			
电 压	18/20 (kV)			
排 列	三根管道呈平面排列			 ¹⁾
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾	
	1.0		2.0	2.5 3.0
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端 二端	一端 二端
截 面 mm ²	铜	芯	铜 芯	铜 芯
载 流 量 (A)				
25	145	145	-	-
35	175	175	-	-

续表

截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
			载 流 量		(A)			
50	205	205	-	-	-	-	-	-
70	255	255	-	-	-	-	-	-
95	305	305	-	-	-	-	-	-
120	350	350	-	-	-	-	-	-
150	400	390	-	-	-	-	-	-
185	455	445	-	-	-	-	-	-
240	530	515	-	-	-	-	-	-
300	605	585	-	-	-	-	-	-
400	695	660	-	-	-	-	-	-
500	795	745	-	-	-	-	-	-
630	910	840	-	-	-	-	-	-
800	1050	930	910	810	885	780	860	760
1000	1150	1000	1010	870	970	840	950	815
1200	1240	1050	1080	910	1040	880	1010	855
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同

AI

18/20

表 5-4-15

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJLV YJLY							
电 压	18/20 (kV)							
排 列	三根管道呈三角形排列						 1)	
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝	芯	铝	芯	铝	芯	铝	芯
载 流 量 (A)								
25	110	110	-	-	-	-	-	-
35	135	135	-	-	-	-	-	-
50	160	160	-	-	-	-	-	-
70	195	195	-	-	-	-	-	-
95	240	235	-	-	-	-	-	-
120	275	270	-	-	-	-	-	-
150	310	305	-	-	-	-	-	-
185	350	345	-	-	-	-	-	-
240	410	405	-	-	-	-	-	-
300	470	460	-	-	-	-	-	-

续表

截 面	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
400	545	525	-	-	-	-	-	-
500	630	600	-	-	-	-	-	-
630	730	690	-	-	-	-	-	-
800	845	780	-	-	-	-	-	-
1000	940	855	825	745	795	720	775	700
1200	1030	910	900	795	865	765	840	745
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

Cu

18/20

表 5-4-16

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJY							
电 压	18/20 (kV)							
排 列	三根管道呈平面排列				间隙 $s = 1 \times D_1^{(1)}$			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
25	135	130	115	115	115	115	110	110
35	160	160	140	140	135	135	130	130
50	190	185	165	165	160	160	155	150
70	230	230	205	200	195	190	190	185
95	280	275	245	240	235	230	230	225
120	320	315	280	270	270	260	260	250
150	360	350	315	300	300	290	295	280
185	410	390	355	335	340	325	335	315
240	480	450	415	385	400	370	385	360
300	545	500	470	430	455	415	440	400
400	625	560	540	480	520	460	505	445
500	720	620	620	530	595	510	580	495
630	830	680	710	580	685	555	665	540
800	950	735	815	625	785	600	765	585
1000	1050	780	900	660	870	635	845	615
1200	1130	805	970	680	930	655	910	635
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根管道平面排列, 管道之间间隙为电缆外径的 1 倍。

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

AI

18/20

表 5-4-17

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJLV YJLY							
电 压	18/20 (kV)							
排 列	三根管道呈平面排列				间隙 $s = 1 \times D_c^{1)}$			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	105	105	92	91	89	88	86	86
35	125	125	110	110	105	105	100	100
50	145	145	130	125	125	125	120	120
70	180	180	155	155	150	150	145	145
95	215	215	190	185	180	180	175	175
120	250	245	215	210	210	205	200	200
150	280	275	240	235	235	225	225	220
185	320	310	275	265	265	255	260	250
240	370	355	320	310	310	295	300	290
300	425	400	365	345	350	330	340	320
400	490	455	420	390	405	375	395	365
500	565	510	485	440	470	420	455	410
630	655	575	565	490	540	470	525	455
800	760	635	655	545	625	520	610	505
1000	855	685	730	585	705	560	685	545
1200	930	725	800	615	770	590	745	570
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根管道平面排列, 管道之间间隙为电缆外径的 1 倍

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同

CuAl

18/20

表 5-4-18

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY							
电 压	18/20 (kV)							
芯 数	三 芯				敷 设			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
mm ²	载 流 量 (A)							
25	105	82	-	-	-	-	-	-
35	125	99	-	-	-	-	-	-



续表

截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
50	150	115	-	-	-	-	-	-
70	185	145	-	-	-	-	-	-
95	220	170	-	-	-	-	-	-
120	255	195	-	-	-	-	-	-
150	285	225	-	-	-	-	-	-
185	325	250	-	-	-	-	-	-
240	375	295	-	-	-	-	-	-
300	425	335	-	-	-	-	-	-
400	485	385	-	-	-	-	-	-
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 多芯电缆管道为分离敷设 (即相邻电缆对该电缆没有热响应)

2)、3) 与表 5-4-1 的注相同。

Cu

26/35

表 5-4-19

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJY							
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)							
排 列	三根管道呈三角形排列						 1)	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铜	芯	铜	芯	铜	芯	铜	芯
	载 流 量 (A)							
25	150	150	-	-	-	-	-	-
35	180	180	-	-	-	-	-	-
50	215	210	-	-	-	-	-	-
70	260	260	-	-	-	-	-	-
95	315	315	-	-	-	-	-	-
120	360	355	-	-	-	-	-	-
150	405	400	-	-	-	-	-	-
185	460	450	-	-	-	-	-	-
240	540	520	-	-	-	-	-	-
300	615	590	-	-	-	-	-	-
400	705	670	-	-	-	-	-	-
500	810	750	-	-	-	-	-	-

续表

截 面 mm ²	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
	载 流 量 (A)							
630	930	840	-	-	-	-	-	-
800	1060	930	-	-	-	-	-	-
1000	1170	1000	-	-	-	-	-	-
1200	1260	1050	1120	920	1080	890	1050	870
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同

AI

26/35

表 5-4-20

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJLV YJLY							
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)							
排 列	三根管道呈三角形排列						 1)	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	115	115	-	-	-	-	-	-
35	140	140	-	-	-	-	-	-
50	165	165	-	-	-	-	-	-
70	205	200	-	-	-	-	-	-
95	245	245	-	-	-	-	-	-
120	280	280	-	-	-	-	-	-
150	315	310	-	-	-	-	-	-
185	360	355	-	-	-	-	-	-
240	420	410	-	-	-	-	-	-
300	475	465	-	-	-	-	-	-
400	555	535	-	-	-	-	-	-
500	640	610	-	-	-	-	-	-
630	735	690	-	-	-	-	-	-
800	845	780	-	-	-	-	-	-
1000	950	855	-	-	-	-	-	-
1200	1040	920	-	-	-	-	-	-
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三角形排列时管道彼此相互接触

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同

Cu

26/35

表 5-4-21

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJY							
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)							
排 列	三根管道呈平面排列				间隙 $s = 1 \times D_0^{1)}$			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面	铜 芯		铜 芯		铜 芯		铜 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
25	140	140	125	125	120	120	120	115
35	165	165	150	145	145	145	140	140
50	195	195	175	175	170	170	165	165
70	240	235	215	210	205	205	200	200
95	290	280	255	250	250	240	245	235
120	330	320	290	280	285	270	275	265
150	370	355	330	310	315	300	310	295
185	420	400	370	350	360	335	350	330
240	490	455	430	395	415	380	405	370
300	560	505	490	440	475	425	460	410
400	640	565	560	490	540	470	535	455
500	735	620	645	535	620	515	605	500
630	845	680	735	585	710	560	690	545
800	960	735	840	625	810	600	785	585
1000	1070	770	930	660	895	630	870	615
1200	1150	800	1000	680	960	655	940	635
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根管道平面排列, 管道之间间隙为电缆外径的 1 倍

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同。

Al

26/35

表 5-4-22

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJLV YJLY							
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)							
排 列	三根管道呈平面排列				间隙 $s = 1 \times D_0^{1)}$			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属屏蔽 互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 mm ²	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
	载 流 量 (A)							
25	105	105	97	97	95	94	93	92
35	130	130	115	115	110	110	110	110

续表

截 面	铝 芯		铝 芯		铝 芯		铝 芯	
mm ²	载 流 量 (A)							
50	150	150	135	135	130	130	130	125
70	185	185	165	165	160	160	155	155
95	225	220	200	195	190	190	190	185
120	255	250	225	220	220	215	215	210
150	285	280	255	245	245	240	240	230
185	325	315	295	275	280	270	270	260
240	380	365	335	320	325	305	315	300
300	435	405	380	355	365	345	360	335
400	500	460	440	400	425	385	410	375
500	580	520	505	450	485	430	475	420
630	665	590	580	495	560	480	545	465
800	770	660	670	545	645	525	630	510
1000	865	685	755	585	725	565	705	545
1200	950	720	825	615	795	590	770	575
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 三根管道平面排列, 管道之间间隙为电缆外径的 1 倍。

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同

CuAl

26/35

表 5-4-23

交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤管道中)

型 号	YJV YJLV YJY YJLY							
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)							
芯 数	芯				敷 设		⊙ ¹⁾	
土壤热阻系数 (k·m/W)	自然土壤 ²⁾		管道周围土壤呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
mm ²	载 流 量 (A)							
25	110	87	-	-	-	-	-	-
35	135	105	-	-	-	-	-	-
50	155	120	-	-	-	-	-	-
70	190	150	-	-	-	-	-	-
95	230	180	-	-	-	-	-	-
120	260	205	-	-	-	-	-	-
150	295	230	-	-	-	-	-	-
185	330	255	-	-	-	-	-	-
240	380	300	-	-	-	-	-	-
300	435	340	-	-	-	-	-	-
400	490	390	-	-	-	-	-	-
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 多芯电缆管道为分离敷设 (即相邻电缆对该电缆没有热响应)

2), 3) 与表 5-4-1 的注相同

表 5-5-1 交联聚乙烯绝缘钢带铠装电缆载流量 (空气中)

型 号	YJV22 YJLV22 YJV22 YJLV22							
电压 (kV)	0.6/1				1.8/3 ~ 8.7/10		8.7/15 ~ 26/35	
芯 数	芯		三~五芯		芯		芯	
排列 ¹⁾	○		○		○		○	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	A	A	A	A	A	A	A	A
10	75	58	64	50	-	-	-	-
16	97	75	83	64	-	-	-	-
25	125	100	110	86	-	-	-	-
35	155	120	135	105	145	110	150	115
50	190	145	165	125	170	130	180	140
70	245	190	210	165	210	165	220	170
95	300	235	260	200	265	200	265	205
120	350	270	305	235	300	235	310	240
150	400	310	345	270	340	265	350	270
185	460	355	395	310	390	305	400	310
240	-	-	465	365	455	355	465	360
300	-	-	535	420	520	410	535	420
400	-	-	620	495	600	475	615	485
工作温度	90℃							
环境温度	40℃							

注 1) 电缆分离敷设 (即相邻电缆的热效应不影响该电缆的温度)。

CuAl

0.6/1

表 5-6-1 交联聚乙烯绝缘电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV22 YJLV22 YJV22 YJLV22							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	二 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
2.5	45	35	33	26	29	23	26	21
4	59	47	43	34	38	30	34	27
6	74	61	53	43	47	38	42	34
10	100	77	70	54	62	47	55	43
16	135	105	92	71	80	62	72	55
25	165	130	115	90	100	78	91	70
35	200	155	135	105	120	94	105	84
50	240	185	165	125	140	110	125	99

续表

截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
70	295	230	200	155	175	135	155	120
95	355	275	240	185	205	160	185	145
120	405	315	270	210	235	185	210	165
150	455	355	305	235	265	205	235	185
185	515	400	345	270	300	235	265	210
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 多芯电缆为分离敷设(即相邻电缆对该电缆没有热响应)。

2) 指电缆周围环境的土壤,或者说指电缆周围土壤发生水分迁移前的土壤。

3) 发生水分迁移时,当电缆周围土壤呈现干燥域时应按该栏目下选择载流量。根据土壤类型不同则土壤热阻系数大致分为:一般性土壤取2.0、沙(砂)质土壤取2.5、粘土取3.0($K \cdot m/W$)。

CuAl

0.6/1

表 5-6-2

交联聚乙烯绝缘电缆载流量(土壤中)

型 号	YJV22 YJLV22 YJY22 YJLY22							
电 压	0.6/1 (kV)							
芯 数	三~五芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
mm ²	载 流 量 (A)							
2.5	35	30	25	20	25	20	20	15
4	50	40	35	25	30	25	25	20
6	60	50	45	35	35	30	35	25
10	85	65	55	45	50	40	45	35
16	110	85	75	60	65	50	60	45
25	140	110	95	75	85	65	75	55
35	170	130	115	90	100	75	90	70
50	200	155	135	105	115	90	105	80
70	245	190	165	125	145	110	125	100
95	300	230	195	155	170	130	150	120
120	335	260	225	175	195	150	175	135
150	380	295	250	195	220	170	195	150
185	430	335	285	220	250	190	220	170
240	500	390	335	260	290	225	255	200
300	565	440	375	290	325	255	290	225
400	650	505	430	335	375	290	335	260
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 多芯电缆为分离敷设(即相邻电缆对该电缆没有热响应)

2)、3) 与表 5-6-1 的注相同

CuAl

6/6

表 5-6-3

交联聚乙烯绝缘钢带铠装电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV22 YJLV22 YJY22 YJLY22							
电 压	1.8/3 ~ 6/6 (kV)							
芯 数	三				四			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
25	140	105	100	75	85	65	75	60
35	165	125	115	90	100	75	90	70
50	195	150	135	105	120	90	110	85
70	240	185	165	130	145	115	130	100
95	285	220	200	155	175	135	155	120
120	325	255	225	175	200	155	175	140
150	370	285	255	195	220	170	200	155
185	415	325	285	220	250	195	225	175
240	480	375	330	255	285	225	255	200
300	545	425	370	290	325	255	290	225
400	615	485	420	335	365	290	335	260
1 作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 多芯电缆为分离敷设 (即相邻电缆对该电缆没有热响应)

2), 3) 与表 5-6-1 的注相同。

CuAl

8.7/15

表 5-6-4

交联聚乙烯绝缘钢带铠装电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV22 YJLV22 YJY22 YJLY22							
电 压	6/10~8.7/15 (kV)							
芯 数	三 芯				四 芯			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
25	135	105	130	100	125	100	125	100
35	165	125	155	120	150	115	150	115
50	190	150	180	140	180	140	175	135
70	240	185	225	175	220	170	215	170
95	285	220	265	205	260	205	255	200

续表

截 面 mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
	载 流 量 (A)							
120	320	250	300	235	295	230	290	225
150	365	280	340	265	330	260	325	255
185	410	320	380	295	370	290	365	285
240	480	375	440	345	430	340	425	335
300	540	425	495	390	485	380	475	375
400	610	485	560	445	545	435	535	425
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 多芯电缆为分离敷设 (即相邻电缆对该电缆没有热响应)。

2), 3) 与表 5-6-1 的注相同。

CuAl

18/20

表 5-6-5

交联聚乙烯绝缘钢带铠装电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV22 YJLV22 YJY22 YJLY22							
电 压	18/20 (kV)							
芯 数	三 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面 mm ²	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
	载 流 量 (A)							
25	135	105	130	100	125	99	125	98
35	160	125	155	120	150	120	150	115
50	190	150	180	140	180	140	175	135
70	235	185	220	175	220	170	215	165
95	285	220	265	205	260	200	255	200
120	320	250	300	235	295	230	290	225
150	365	285	340	265	335	260	330	255
185	410	320	380	300	375	290	370	290
240	475	370	440	345	430	340	425	335
300	535	420	495	390	485	380	475	375
400	605	480	560	445	545	435	535	425
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 多芯电缆为分离敷设 (即相邻电缆对该电缆没有热响应)

2), 3) 与表 5-6-1 的注相同。

CuAl

26/35

表 5-6-6

交联聚乙烯绝缘钢带铠装电缆载流量 (土壤中)

型 号	YJV22 YJLV22 YJY22 YJLY22							
电 压	18/30 ~ 26/35 (kV)							
芯 数	三 芯				○ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ³⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
截 面	铜 铝		铜 铝		铜 铝		铜 铝	
mm ²	载 流 量 (A)							
25	135	105	130	100	130	100	130	100
35	160	125	155	120	155	120	155	120
50	190	145	185	140	180	140	180	140
70	230	180	225	175	220	170	220	170
95	275	215	265	205	265	205	260	200
120	315	245	300	235	300	230	295	230
150	355	275	335	260	330	260	330	255
185	400	310	380	295	375	290	370	290
240	460	360	440	345	430	340	425	335
300	520	410	495	390	850	385	480	375
400	590	465	560	440	550	435	540	430
工作温度	90℃							
环境温度	25℃							

注 1) 多芯电缆为分离敷设 (即相邻电缆对该电缆没有热响应)。

2), 3) 与表 5-6-1 的注相同。



阻燃电缆—隔氧层电缆

6.1 一般情况

传统的 ZRVV 型或 ZRYJV 型阻燃电缆是在聚氯乙烯护套料或绝缘料添加含卤量高的十溴联苯醚或氯化石蜡作为阻燃剂，依靠含卤材料热分解后形成的卤化氢来达到阻燃的目的。因此，要提高电缆的阻燃等级必须相应增加电缆绝缘、护套中卤素的剂量。这样不但增加了电缆成本，价格昂贵，而且电缆燃烧时放出的烟气量及毒性也会急剧增加。

针对上述阻燃机理在电缆中使用引起的缺点，上海电缆厂十分厂科技人员开发研制出新型阻燃电缆、低烟无卤隔氧层阻燃电缆，并于 1991 年获得国家专利。1993 年通过国家相关部门组织的专家鉴定。认为其优异的阻燃性是我国电缆阻燃技术的重大突破。

隔氧层阻燃电缆是最早阻燃电缆的一种。在电缆绝缘与外护套之间填充一层无机金属水合物。它是一种无毒、无溴、不含卤素的白色胶状物。当电缆遇火焰袭击时，原来呈软性的金属水合物逐渐转化为不熔不燃的金属氧化物及水（ H_2O ）。并紧密地包覆在绝缘层外，隔开了酷热的氧气使绝缘物无法燃烧。另外，结晶水的析出，吸收了大量的蒸发潜热又降低了外护层温度。当外护层温度低于其起燃点（ $400 \sim 500^\circ\text{C}$ ）时，着火的电缆自行熄灭。隔氧层阻燃电缆经受了国家标准燃烧试验达到 A 类标准。

隔氧层阻燃电缆是在不改变普通电缆基本结构的基础上增加一层隔氧层或在多芯电缆上用来取代纤维填充。隔氧层材料的热阻系数大大小于普通多芯电缆填充材料的热阻系数，而且电缆外径比普通电缆大一些，因而载流能力大于普通电缆。在与普通电缆相比较，传输相同的电流时，电能损耗降低。因此，该类型电缆可适用于低、中压电力电缆并使其阻燃 A 类化。

该类型电缆适用于建筑物、地铁车站等公共设施输配电线路，空气中敷设。

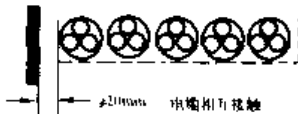
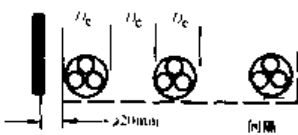
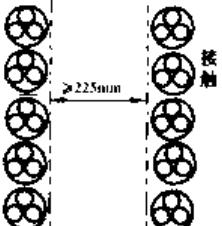
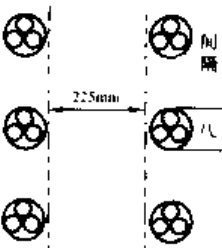
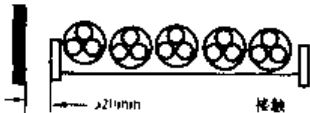
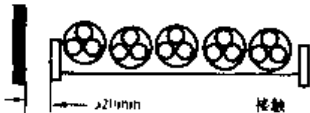
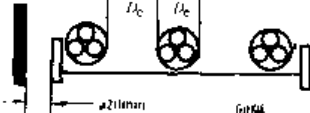
6.2 使用说明

选择载流量时应注意载流量中所给的基准条件。当实际敷设环境不同时应该对载流量进行修正。环境温度的修正系数列于表（6-A）。空气中支撑架、托架、槽架等并列、成组等敷设的电缆不同于载流量表的基准敷设条件时，应对载流量进行修正，修正系数见表 6-B～表 6-C。

表 6-A 环境温度不同时的载流量修正系数表

导体工作温度 (℃)	环境温度 (℃)							
	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1.22	1.18	1.14	1.09	1.04	1.00	0.94	0.89
70	1.35	1.29	1.22	1.15	1.08	1.00	0.91	0.81

表 6-B 空气中多芯电缆群载流量降低因数

敷 设 方 式		托盘数	电 缆 数					
			1	2	3	4	5	6
穿孔托盘或托架		1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.76	0.73
		2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68
		3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66
		1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	—
		2	1.00	0.99	0.96	0.92	0.87	—
		3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85	—
垂直托盘托架		1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73	0.72
		2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.71	0.70
		1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	—
		2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	—
		1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
		2	1.00	0.86	0.80	0.78	0.76	0.73
梯架、夹具支撑物		3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70
		1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	—
		2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	—
		3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93	—

注 本表摘自 IEC 55-2 C IEC: 20XX。表中数据是平均值，其范围一般小于 5%。

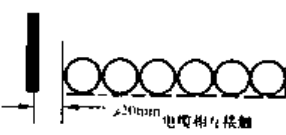
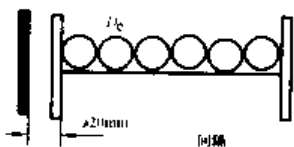
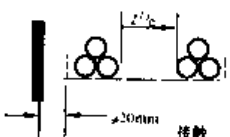
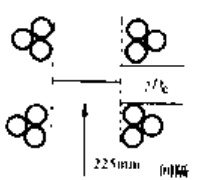
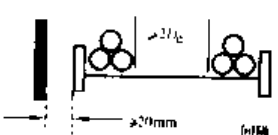
表中因数适用于单层电缆组的。当相互接触电缆大于一层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数或用适当方法求得。

托盘之间的垂直间隙 300mm，托盘与墙之间至少 20mm。小于该值时因数要降低。

托盘之间水平间距 225mm，背对背安装。小于该值时因数要降低。

表 6-C

由单芯电缆的单回路构成的多回路空气中
敷设情况下载流量降低因数²⁾

敷 设 方 式	托 盘 层 数	三相电路数			用于下列回路
		1	2	3	
穿孔托盘或 托架 ¹⁾		1 0.98 2 0.96 3 0.95	0.91 0.87 0.85	0.87 0.81 0.78	平面排列 三根电缆
梯形物、 支架、夹具 ³⁾		1 1.00 2 0.98 3 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	
穿孔托盘 ³⁾		1 1.00 2 0.97 3 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86	三角形排列的 三根电缆
垂直有空 托架 ⁴⁾		1 1.00 2 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86	
梯架物 支架夹具 ⁴⁾		1 1.00 2 0.97 3 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90	

注 1) 本表摘自 IEC 55-2 C IEC: 20XX 表中数据是平均值, 其范围一般小于 5%。

2) 表中因数应用于单层 (三角形) 电缆组的。当相互接触电缆大于一层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数, 或用适当方法求得。

3) 托盘垂直之间间隙 300mm, 小于该值时因数要降低。

4) 托盘背靠背安装, 平面之间为 225mm, 小于该值时因数应降低。

6.3 隔氧层阻燃电缆载流量

隔氧层阻燃电缆载流量表列于表 6-1-1 和表 6-2-1 ~ 表 6-2-3。

表 6-1-1 隔氧层阻燃聚氯乙烯绝缘电缆载流量

型 号	GZRvv GDLVV ¹⁾			GZRvv22 ¹⁾ GDLVV22
电 压	0.6/1 (kV)			0.6/1 (kV)
芯 数	单 芯		三~五芯	三~五芯
排 列	 ²⁾	 ³⁾	 ⁴⁾	 ⁴⁾
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)			
2.5	25	33	22	23
4	33	43	30	31
6	42	54	38	39
10	57	75	52	53
16	76	98	69	71
25	100	130	92	93
35	120	155	110	115
50	150	190	135	135
70	190	240	175	175
95	230	295	215	215
120	265	335	250	250
150	305	385	290	285
185	355	445	330	330
240	425	525	395	390
300	495	615	455	445
工作温度	70℃			
环境温度	40℃			

注 1) 此表仅适用于上海电缆厂十厂隔氧层阻燃电缆, 为企业标准。

2) 三角形排列, 彼此相互接触。

3) 平面排列时电缆中心间距为 2 倍的电缆外径 (D_0)。

4) 分离敷设 (相邻电缆发热不影响该电缆的温升)。

表 6-2-1

隔氧层阻燃交联聚乙烯绝缘电缆载流量

型 号	GWLYJE GZRYJV ¹⁾				GWLYJE23 ¹⁾ GZRYJV22
电 压	0.6/1 (kV)				
芯 数	单 芯		三~五芯	三~五芯	
排 列	 ²⁾	 ³⁾	 ⁴⁾	 ⁴⁾	
截 面 mm ²	载 流 量 (A)				
2.5	34	44	29	30	
4	44	58	38	40	
6	55	73	48	50	
10	76	100	67	69	
16	100	130	89	91	
25	130	170	120	120	
35	160	210	145	145	
50	195	255	175	180	
70	250	325	225	230	
95	305	395	275	275	
120	355	455	325	325	
150	410	520	375	370	
185	470	595	435	425	
240	565	715	515	510	
300	670	840	595	585	
工作温度	90℃				
环境温度	40℃				

注 1) 此表仅适用于上海电缆厂十厂隔氧层阻燃电缆, 为企业标准。

2) 三角形排列, 彼此相互接触。

3) 平面排列时电缆中心间距为 2 倍的电缆外径 (D_c)。

4) 分离敷设 (相邻电缆发热不影响该电缆的温升)。

表 6-2-2

隔氧层阻燃交联聚乙烯绝缘电缆载流量

型 号	GWLYJE GZRYJV ¹⁾				GWLYJE23 ¹⁾ GZRYJV22
电 压	6/6~6/10 (kV)				
芯 数	单 芯		三 芯	三 芯	
排 列	 ²⁾	 ³⁾	 ⁴⁾	 ⁴⁾	
屏蔽互连接地	— 端 二 端	— 端 二 端			
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)				
35	180	180	215	215	165
50	215	215	255	255	195
70	270	270	325	320	245
95	330	330	395	390	295

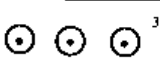
续表

型 号	GWLYJE GZRYJV ¹⁾				GWLYJE23 ¹⁾ GZRYJV22	
电 压	6/6 ~ 6/10 (kV)					
芯 数	单 芯				二 芯	三 芯
排 列	 ²⁾		 ³⁾		 ⁴⁾	 ⁴⁾
屏蔽与接地	端 二 端		一 端 二 端			
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)					
120	380	275	450	445	340	330
150	430	430	515	505	385	370
185	495	490	590	580	430	415
240	585	575	695	680	495	480
300	685	675	820	795	545	530
工作温度	90℃					
环境温度	40℃					

注 1)、2)、3)、4) 与表 6-2-1 的注相同

表 6-2-3

隔氧层阻燃交联聚乙烯绝缘电缆载流量

型 号	GWLYJE GZRYJV ¹⁾				GWLYJE23 ¹⁾ GZRYJV22	
电 压	8.7/10~8.7/15 (kV)				8.7/10 (kV)	
芯 数	单 芯		三 芯		三 芯	
排 列	 ²⁾		 ³⁾		 ⁴⁾	
金属屏蔽与接地	端 二 端		端 二 端		 ⁴⁾	
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)					
35	180	180	215	215	165	165
50	215	215	255	255	200	195
70	275	270	320	320	250	245
95	330	330	395	390	295	295
120	380	375	450	445	340	335
150	435	430	510	505	385	375
185	495	490	585	575	430	420
240	585	575	695	675	505	485
300	685	670	810	785	570	540
1. 作温度	90℃					
环境温度	40℃					

注 1)、2)、3)、4) 与表 6-2-1 相同



110kV交联聚乙烯绝缘电力电缆

7.1 一般情况

额定电压 110kV ($U_n = 126\text{kV}$) 铜、铝芯交联聚乙烯绝缘电力电缆 (GB/T 11017.2—2002 标准) 适用通常安装和运行条件下使用的单芯电力电缆。另外, 还有 YTV、YTLV、YTY、YJLY (GB 9326.2—1988) 在使用, 故本载流量表中有该型号的载流量数据。

空气中、空气管道中、土壤中和土壤管道中敷设。

7.2 基准环境条件

对于本部分电缆载流量表中计算载流量所采用的基准环境参数如表 7-A 所示。

表 7-A 载流量表所采用的基准环境参数值

序号	参 数		空气中	空气管道中	土壤中	土壤管道中
1	三角形排列		相互接触	相互接触	相互接触	相互接触
2	平面排列		$S = 2 \times D_c^{(1)}$	$S_s = 1 \times D_c^{(1)}$	$S = 2 \times D_c$	$S_c = 1 \times D_c$
3	埋地深度 (mm)		—	—	1000	1000
4	土壤热阻系数 ($\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$)		—	—	1.0	1.0
5	水分迁移 ($\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$) ⁽⁴⁾		—	—	2.0, 2.5, 3.0	2.0, 2.5, 3.0
6	环境温度 T_0 ($^{\circ}\text{C}$)		40	40	25	25
7	管 道 ⁽⁵⁾	材质	—	PVC	—	PVC
		内径 (mm)	—	$1.5 D_c$	—	$1.5 D_c$
		外径 (mm)	—	$1.68 D_c$	—	$1.68 D_c$
		热阻系数 ($\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$)	—	7	—	7
备注	1) 电缆分离敷设 (单根电缆孤立敷设或相邻电缆产生的热对该电缆没有热响应)。 2) 三根电缆呈平面排列, 电缆中心之间距 s 为电缆外径 D_c 的 2 倍。 3) 三根电缆管道呈平面排列, 电缆管道之间间隙 S_s 为电缆外径 D_c 的 1 倍。 4) 电缆导体长期处于额定工作温度 90°C 状态下, 电缆 (管道) 表面温度超过 50°C 时, 电缆 (管道) 邻接周围土壤将发生水分迁移。当电缆 (管道) 周围土壤呈现干燥域时, 载流量应根据土壤类型 (热阻系数) 计算, 则土壤热阻系数大致分为: 一般性土壤取 2.0, 沙 (砂) 质土壤取 2.5, 粘土取 3.0 ($\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$)。 5) 管道厚度为 $0.06 \times D_m$ (管道内径 $D_m = 1.5 D_c$)。					

7.3 使用说明

选择载流量时应注意载流量表中所给的基准条件。当实际敷设环境不同时, 应该对载流量进行修正。

► 环境温度的修正系数 当环境温度不同于载流量表中基准环境温度时的载流量修正系数列于表 7-A ~ 表 7-B。

► 土壤热阻系数的修正系数 对于埋地电缆当现场的土壤热阻系数不同于载流量表中“自然土壤”(未发生水分迁移的土壤)的热阻系数($\rho_w = 1.0 \text{ K} \cdot \text{m/W}$)时, 应对电缆载流量进行修正, 见表 7-C。

► 空气中支撑架、托架、桥架等并列、成组等敷设的电缆不同于载流量表的基准敷设条件时, 应对载流量进行修正, 修正系数见表 7-D。

表 7-A 环境温度不同时的载流量修正系数表

导体工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	环境温度 ($^{\circ}\text{C}$) (空气中)							
	20	25	30	35	40	45	50	55
90	1.23	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.81

表 7-B 环境温度不同时的载流量修正系数表

导体工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	环境温度 ($^{\circ}\text{C}$) (土壤中)					
	10	15	20	25	30	35
90	1.11	1.07	1.04	1.00	0.96	0.92

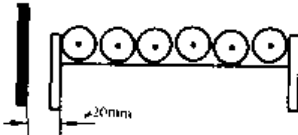
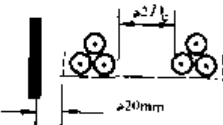
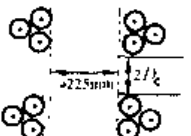
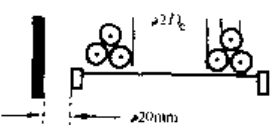
表 7-C 不同土壤热阻系数的载流量修正系数

电 压 (kV)	土壤热阻系数 $\rho_w = (\text{K} \cdot \text{m/W})$			
	0.8	1.0	1.2	1.5
64/110	1.06	1.0	0.94	0.80

表 7-D 由单芯电缆的单回路构成的多回路空气中
敷设情况下载流量降低因数²⁾

敷 设 方 式		托盘层数	三相电路数			用于下列回路
			1	2	3	
穿孔托盘 或托架 ¹⁾		1	0.98	0.91	0.87	平面排列 三根电缆
		2	0.96	0.87	0.81	
		3	0.95	0.85	0.78	

续表

敷 设 方 式	托 盘 层 数	三 相 电 路 数			用于下列回路
		1	2	3	
梯形物, 支架, 夹具 ³⁾ 	1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	平面排列 三根电缆
穿孔托盘 ³⁾ 	1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86	
垂直有空托架 ⁴⁾ 	1 2	1.00 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86	三角形排列 的三根电缆
梯架物支架夹具 ³⁾ 	1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90	

注 1) 本表摘自 IEC55-2 C IEC: 20XX. 表中数据是平均值, 其范围一般小于 5%。

2) 表中因数应用于单层 (三角形) 电缆组的。当相互接触电缆大于一层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数或用适当方法求得。

3) 托盘垂直之间间隙 300mm, 小于该值时因数要降低。

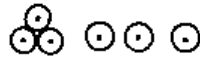
4) 托盘背对背安装。平面之间为 225mm, 小于该值时因数应降低。

7.4 载流量索引表

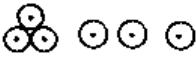
各型号电缆及其载流量索引表列于表 7-E。

表 7-E

XLPE 电缆载流量索引表

型 号	导 体	空气中 空气管道中	土壤中敷设	土壤管道中
				
YJV YJY	铜	7-1-1	7-2-1	7-3-1
YJLV YJLY	铝	7-1-2	7-2-2	7-3-2
YJLW02	铜	7-1-3	7-2-3	7-3-3

续表

型 号	导 体	空气中 空气管道中	土壤中敷设	土壤管道中
				
YJLW02	铝	7-1-4	7-2-4	7-3-4
YJQ02	铜	7-1-5	7-2-5	7-3-5
YJLQ02	铝	7-1-6	7-2-6	7-3-6

Cu

110

表 7-1-1

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

型 号		YJV YJY					
敷 设 方 式	排 列						
	间 距	$s = D_p$		$s = D_c$		$s = 2 \times D_p$	
	金属屏蔽互连接地	— 端 — 端		— 端 — 端		— 端 — 端	
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)					
空 气 中	240	560	540	570	535	635	580
	300	635	610	640	600	725	655
	400	740	690	735	675	840	735
	500	845	770	830	740	970	820
	630	970	865	930	825	1120	920
	800	1100	950	1030	900	1270	1010
	1000	1220	1030	1120	980	1420	1110
	1200	1310	1100	1190	1040	1530	1180
空 气 管 道 中 ³⁾							
	240	500	460	505	450	530	470
	300	570	510	575	500	605	520
	400	655	570	660	550	700	575
	500	750	630	750	610	800	635
	630	865	695	850	670	920	700
	800	980	755	950	730	1050	765
	1000	1090	815	1050	785	1170	825
	1200	1180	865	1130	835	1260	880
工作温度		90℃					
环境温度		40℃					

注 1) 电缆(或管道)相互接触 $s = 1 \times D_c$ 表示电缆中心间距等于一个电缆(或管道)外径。2) 电缆(或管道)平面排列, $s = 2 \times D_c$ 表示电缆中心间距等于2倍电缆外径。3) 管道中敷设时 D_c 为管道外径。管道为纤维树脂管, 内径为电缆外径的1.5倍。

Al

110

表 7-1-2

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

敷设方式	型 号	YJV YJY					
	排 列						
	间 距	$s = D_c$		$s = D_c$		$s = 2 \times D_c$	
	金属屏蔽互连接地	— 端	— 端	— 端	— 端	— 端	— 端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
空 气 中	240	435	435	450	430	495	470
	300	495	490	510	485	565	530
	400	575	560	585	550	660	605
	500	665	640	675	625	765	685
	630	775	725	770	705	895	780
	800	885	815	870	790	1030	880
	1000	1000	900	960	865	1170	970
	1200	1090	970	1040	930	1280	1060
空 气 管 道 中 ³⁾	240	390	370	395	370	415	380
	300	445	415	450	410	470	425
	400	515	470	520	465	545	485
	500	590	525	595	520	630	540
	630	680	590	680	580	730	605
	800	785	660	780	640	840	670
	1000	890	725	875	705	950	740
	1200	970	780	950	755	1050	795
工作温度		90℃					
环境温度		40℃					

注 1)、2)、3) 与表 7-1-1 中的注相同

Cu

110

表 7-1-3

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

敷设方式	型 号	YJVLW02					
	排 列						
	间 距	$s = D_c$		$s = D_c$		$s = 2 \times D_c$	
	金属屏蔽互连接地	— 端	— 端	— 端	— 端	— 端	— 端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
空 气 中	240	580	555	580	535	645	570
	300	660	620	660	600	735	635
	400	765	705	755	665	855	715
	500	880	795	855	740	990	785
	630	1010	885	970	815	1140	865
	800	1150	980	1090	890	1310	960
	1000	1280	1060	1190	950	1470	1020
	1200	1370	1110	1250	990	1570	1070

续表

敷设方式	型 号	YJV1.W02					
	排 列						
	间 距	$s = D_c$		$s = D_c$		$s = 2 \times D_c$	
	金属屏蔽与连接地	— 端	— 端	— 端	— 端	— 端	— 端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
空 气 管 道 中 ¹⁾	240	510	455	515	435	535	445
	300	580	500	580	480	610	490
	400	670	560	665	525	705	535
	500	765	610	760	570	805	580
	630	880	670	865	620	930	635
	800	1000	730	980	670	1070	685
	1000	1120	780	1080	715	1190	730
	1200	1210	815	1150	735	1280	765
工作温度		90℃					
环境温度		40℃					

注 1)、2)、3) 与表 7-1-1 中的注相同

Al

110

表 7-1-4 64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

敷设方式	型 号	XJLLW02					
	排 列						
	间 距	$s = D_c$		$s = D_c$		$s = 2 \times D_c$	
	金属屏蔽与连接地	— 端	— 端	— 端	— 端	— 端	— 端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
空 气 管 道 中 ¹⁾	240	450	440	455	435	500	465
	300	510	500	520	490	575	520
	400	595	575	600	555	670	590
	500	690	650	690	625	780	670
	630	800	740	795	700	910	755
	800	930	835	910	780	1060	840
	1000	1050	930	1010	855	1200	920
	1200	1140	980	1080	900	1310	980
空 气 管 道 中 ²⁾	240	395	370	400	360	415	370
	300	450	410	455	400	475	410
	400	520	465	525	445	550	455
	500	600	520	605	495	635	505
	630	695	580	695	545	735	560
	800	805	640	795	600	855	615
	1000	910	700	900	650	970	665
	1200	990	740	970	685	1050	705
工作温度		90℃					
环境温度		40℃					

注 1)、2)、3) 与表 7-1-1 中的注相同。

Cu

110

表 7-1-5

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

敷 设 方 式	型 号	YJQ02					
	排 列						
	间 距	$s = D_p$		$s = D_p$		$s = 2 \times D_p$	
	金属屏蔽互连接地	端 二 端		一 端 二 端		一 端 二 端	
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)					
空 气 中	240	585	575	590	575	645	600
	300	670	655	675	645	740	675
	400	775	755	780	740	860	765
	500	895	860	890	835	990	855
	630	1030	980	1020	930	1150	950
	800	1180	1110	1160	1040	1320	1040
	1000	1320	1220	1290	1120	1490	1120
1200	1410	1290	1380	1180	1600	1160	
空 气 管 道 中 ³⁾							
	240	510	455	515	435	535	445
	300	580	500	580	480	610	490
	400	670	560	665	525	705	535
	500	765	610	760	570	805	580
	630	880	670	865	620	930	635
	800	1000	730	980	670	1070	685
	1000	1120	780	1080	715	1190	730
1200	1210	815	1150	745	1250	765	
工 作 温 度		90℃					
环 境 温 度		40℃					

注 1)、2)、3) 与表 7-1-1 中的注相同

Al

110

表 7-1-6

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

敷 设 方 式	型 号	YJLQ02					
	排 列						
	间 距	$s = D_c$		$s = D_p$		$s = 2 \times D_p$	
	金属屏蔽互连接地	端 二 端		端 二 端		端 二 端	
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
空 气 中	240	455	450	460	450	500	480
	300	520	515	525	515	575	545
	400	605	600	615	595	675	625
	500	705	690	710	680	785	710
	630	820	795	825	775	910	800
	800	950	910	950	880	1060	900
	1000	1080	1020	1070	970	1210	980
	1200	1170	1100	1160	1040	1330	1040

续表

敷设方式	型 号	YJLQ02					
	排 列						
	间 距	$s = D_c$		$s = D_c$		$s = 2 \times D_c$	
	金属屏蔽互连接地	— 端	二 端	— 端	二 端	— 端	二 端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
空 气 管 道 中 ¹⁾	240	395	370	400	360	415	370
	300	450	410	455	400	475	410
	400	520	465	525	445	550	455
	500	600	520	605	495	635	505
	630	695	580	695	545	735	560
	800	805	640	795	600	855	615
	1000	910	700	900	650	970	650
	1200	990	740	970	685	1280	765
工作温度		90℃					
环境温度		40℃					

注 1)、2)、3) 与表 7-1-1 相同。

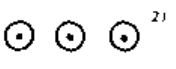
Cu

110

表 7-2-1 64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量 (土壤中)

排 列	型 号	YJV YJY							
	土壤热阻系数 ($\text{K} \cdot \text{m/W}$)	自然土壤 ²⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	— 端	二 端	— 端	二 端	— 端	二 端	— 端	二 端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)							
	240	590	570	570	545	565	540	560	535
	300	670	635	645	605	635	595	630	590
	400	770	715	730	670	720	660	715	650
	500	875	790	830	740	815	725	805	710
	630	990	875	940	805	920	790	910	775
	800	1120	850	1040	870	1020	850	1010	835
	1000	1220	1020	1140	930	1120	900	1100	890
	1200	1300	1070	1210	970	1180	940	1160	920

续表

排 列	型 号	YJV YJY							
	土壤热阻系数 ($K \cdot m/W$)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽与连接地	端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)							
$s = 2 \times D_c$  ²⁾	240	530	475	485	425	470	415	460	405
	300	595	520	540	465	530	450	520	440
	400	675	575	610	510	595	490	580	480
	500	765	630	690	555	670	535	655	520
	630	865	685	775	600	750	580	735	565
	800	970	740	860	645	830	620	810	605
	1000	1060	790	940	685	910	660	890	640
	1200	1130	830	990	720	960	690	940	670
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

- 注 1) 电缆相互接触 $s = 1 \times D_c$ 表示电缆中心间距等于一个电缆外径
 2) 电缆平面排列, $s = 2 \times D_c$ 表示电缆中心间距等于2倍电缆外径
 3) 指电缆周围环境的土壤或者说发生水分迁移前的土壤
 4) 当电缆周围土壤呈现干燥域时, 应选择该栏下载流量。根据土壤类型不同, 则土壤热阻系数大致分为:
 一般性土壤取 2.0, 沙(砂)质土壤取 2.5, 粘土取 3.0 ($K \cdot m/W$)。

AI

110

表 7-2-2

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

排 列	型 号	YJV YJY							
	土壤热阻系数 ($K \cdot m/W$)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽与连接地	端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)							
 ¹⁾	240	460	455	445	440	440	435	435	430
	300	520	515	500	490	495	485	490	480
	400	600	585	575	550	565	545	560	535
	500	690	655	655	615	640	605	635	600
	630	790	735	745	685	730	675	720	665
	800	900	820	840	755	825	740	810	725
	1000	1000	895	930	820	910	800	900	785
	1200	1080	950	1000	870	980	850	970	835

续表

排 列	型 号	YJV YJY							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
$s = 2 \times D_c^{2)}$ 	240	410	385	380	350	370	340	360	330
	300	465	425	425	385	415	375	405	365
	400	535	480	480	425	470	415	460	405
	500	610	530	545	470	530	455	520	445
	630	695	590	620	520	600	505	590	490
	800	785	650	700	570	675	550	660	535
	1000	880	705	780	615	755	590	735	575
	1200	950	750	840	650	810	625	790	610
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1)、2)、3)、4) 与表 7-2-1 的注相同。

Cu

110

表 7-2-3

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

排 列	型 号	YJLW02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
 ¹⁾	240	615	585	590	560	585	550	580	545
	300	695	655	665	620	660	610	655	600
	400	800	735	760	685	750	675	740	665
	500	910	815	865	755	850	740	840	730
	630	1040	895	980	825	960	805	950	790
	800	1180	980	1100	895	1070	870	1060	850
	1000	1290	1040	1200	950	1180	920	1160	900
	1200	1370	1080	1270	980	1240	950	1220	930

续表

排 列	型 号	YJLW02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ¹⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
$s = 2 \times D_c^{2)}$ 	240	535	460	485	415	475	400	465	390
	300	600	505	545	450	530	435	520	425
	400	685	555	620	485	600	470	585	460
	500	775	600	695	525	675	505	660	490
	630	880	650	785	565	760	540	740	525
	800	990	695	875	595	845	575	825	555
	1000	1080	735	950	630	920	605	900	585
	1200	1150	760	1010	650	970	625	950	605
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1), 2), 3), 4) 与表 7-2-1 的注相同。

AI

110

表 7-2-4

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

排 列	型 号	YJLLW02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ¹⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
 ¹⁾	240	475	465	460	445	455	440	450	435
	300	540	525	520	500	510	490	505	485
	400	625	595	595	565	585	555	580	545
	500	720	675	680	630	670	615	660	610
	630	825	755	780	700	765	685	755	675
	800	950	840	885	770	865	755	855	740
	1000	1060	920	980	835	960	815	950	800
	1200	1140	960	1060	875	1030	855	1020	835

续表

排 列	型 号	YJLLW02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽与连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
$s = 2 \times D_s$  ²⁾	240	415	380	380	340	370	330	360	325
	300	470	420	425	375	415	365	405	355
	400	540	465	485	415	475	400	460	390
	500	615	515	555	455	535	440	525	425
	630	705	565	630	495	610	480	595	465
	800	800	620	710	535	685	515	670	500
	1000	895	665	790	575	760	550	745	535
	1200	960	695	845	600	820	575	795	560
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1)、2)、3)、4) 与表 7-2-1 的注相同

Cu

110

表 7-2-5 64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

排 列	型 号	YJQ02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽与连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
 ¹⁾	240	625	615	605	590	600	585	595	580
	300	710	690	685	665	675	655	670	650
	400	815	790	780	750	770	740	760	730
	500	930	895	885	845	875	830	865	820
	630	1060	1010	1010	940	990	920	980	910
	800	1210	1120	1130	1040	1110	1020	1090	1000
	1000	1330	1220	1240	1130	1220	1100	1200	1080
	1200	1420	1280	1320	1180	1290	1150	1270	1130

续表

排 列	型 号	YJQ02							
	土壤热阻系数 ($\text{K} \cdot \text{m/W}$)	自然土壤 ¹⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)							
$s = 2 \times D_c^{2)}$ 	240	535	495	490	445	475	435	465	425
	300	605	550	550	490	535	475	525	465
	400	690	610	620	540	605	520	590	510
	500	785	670	700	590	680	570	665	555
	630	890	730	795	635	770	610	750	595
	800	1000	785	890	680	860	650	840	635
	1000	1100	825	980	710	940	685	920	665
	1200	1170	850	1040	730	1000	700	970	680
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1)、2)、3)、4) 与表 7-2-1 的注相同。

AI

110

表 7-2-6

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量

排 列	型 号	YJLQ02							
	土壤热阻系数 ($\text{K} \cdot \text{m/W}$)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)							
	240	485	480	470	465	465	460	460	455
	300	550	545	530	520	525	515	520	510
	400	640	625	610	595	600	5980	595	580
	500	735	715	700	675	690	665	680	660
	630	840	815	800	765	785	755	775	740
	800	970	930	910	865	895	845	880	830
	1000	1090	1030	1020	950	1000	930	980	910
	1200	1180	1100	1100	1010	1080	990	1060	870

续表

排 列	型 号	YJLQ02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
$s = 2 \times D_c^{21}$ 	240	415	395	380	360	370	350	365	345
	300	470	440	420	400	415	385	410	380
	400	540	500	490	445	475	430	465	420
	500	620	560	555	495	540	480	525	465
	630	710	620	635	545	615	525	600	510
	800	805	680	715	590	695	570	675	555
	1000	900	730	800	635	775	610	755	595
	1200	980	765	865	660	835	635	810	615
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1), 2), 3), 4) 与表 7-2-1 的注相同。

Cu

110

表 7-3-1 64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量 (土壤中)

排 列	型 号	YJV YJY							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
 ¹⁾	240	635	585	—	—	—	—	—	—
	300	720	650	—	—	—	—	—	—
	400	830	725	—	—	—	—	—	—
	500	950	805	—	—	—	—	—	—
	630	1090	885	—	—	—	—	—	—
	800	1240	960	—	—	—	—	—	—
	1000	1370	1040	—	—	—	—	—	—
	1200	1480	1100	—	—	—	—	—	—

续表

排 列	型 号	YJV YJY							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
$s = 1 \times D_c$ 	240	490	430	440	380	430	370	420	360
	300	555	470	495	415	485	400	470	390
	400	635	520	565	455	545	435	535	425
	500	720	565	640	490	620	475	605	460
	630	820	620	725	535	700	515	685	500
	800	920	670	815	575	785	550	765	535
	1000	1020	715	900	615	865	590	845	575
	1200	1100	755	960	645	920	620	900	600
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1) 电缆管道相互接触。

2) 电缆管道平面排列, $s = 1 \times D_c$ 表示电缆管道之间的间隙等于 1 倍电缆外径。

3) 指电缆管道周围环境的土壤或者说发生水分迁移前的土壤。

4) 当电缆管道周围土壤呈现干燥区域时, 应选择该栏下载流量。根据土壤类型不同, 则土壤热阻系数大致分为: 一般性土壤取 2.0、沙(砂)质土壤取 2.5、粘土取 3.0 (K·m/W)。

Al

110

表 7-3-2

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量 (土壤中)

排 列	型 号	YJLV YJLY							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
 ¹⁾	240	490	470	—	—	—	—	—	—
	300	560	525	—	—	—	—	—	—
	400	650	595	—	—	—	—	—	—
	500	745	670	—	—	—	—	—	—
	630	860	755	—	—	—	—	—	—
	800	990	835	—	—	—	—	—	—
	1000	1110	910	—	—	—	—	—	—
	1200	1220	980	—	—	—	—	—	—

续表

排 列	型 号	YJLV YJLY							
	土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
$s = 1 \times D_e^{2)}$ 	240	380	350	345	315	335	305	325	295
	300	430	390	385	345	375	335	365	325
	400	495	435	445	380	430	370	420	360
	500	570	485	505	420	490	405	475	395
	630	650	535	575	465	555	450	545	435
	800	740	590	655	510	630	490	615	475
	1000	835	640	730	555	705	530	690	515
	1200	910	685	795	585	765	565	745	545
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1), 2), 3), 4) 与表 7-3-1 的注相同。

Cu

110

表 7-3-3

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量 (土壤中)

排 列	型 号	YJLW02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
 1)	240	645	585	—	—	—	—	—	—
	300	735	645	—	—	—	—	—	—
	400	850	720	—	—	—	—	—	—
	500	970	795	—	—	—	—	—	—
	630	1120	870	—	—	—	—	—	—
	800	1280	940	—	—	—	—	—	—
	1000	1420	1000	—	—	—	—	—	—
	1200	1520	1040	—	—	—	—	—	—

续表

排 列	型 号	YJLW02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ¹⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
$s = 1 \times D_c^{2)}$ 	240	495	410	445	360	430	350	420	340
	300	560	450	500	390	485	380	475	370
	400	635	485	565	420	545	405	535	395
	500	725	525	640	455	620	435	605	425
	630	825	565	730	485	705	465	685	455
	800	930	605	820	520	790	495	770	480
	1000	1040	640	910	545	875	525	850	505
	1200	1100	665	960	565	930	545	900	525
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1)、2)、3)、4) 与表 7-3-1 的注相同。

AI

110

表 7-3-4

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量 (土壤中)

排 列	型 号	YJLLW02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ¹⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
	240	500	470	—	—	—	—	—	—
	300	570	530	—	—	—	—	—	—
	400	665	600	—	—	—	—	—	—
	500	765	670	—	—	—	—	—	—
	630	885	745	—	—	—	—	—	—
	800	1020	825	—	—	—	—	—	—
	1000	1150	895	—	—	—	—	—	—
	1200	1250	940	—	—	—	—	—	—

续表

排 列	型 号	YJ11.W02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ¹⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
	金属屏蔽互连接地	1.0		2.0		2.5		3.0	
	截 面 (mm ²)	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
$s = 1 \times D_c^{2)}$ 	240	385	340	345	305	335	295	330	285
	300	435	375	390	330	375	320	370	310
	400	500	415	445	365	430	350	420	340
	500	570	455	505	395	490	380	475	370
	630	655	500	580	435	560	415	540	405
	800	750	545	655	470	635	450	615	435
	1000	845	585	740	500	710	480	690	465
	1200	910	615	800	525	770	505	750	490
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1)、2)、3)、4) 与表 7-3-1 的注相同

Cu

110

表 7-3-5 64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量 (土壤中)

排 列	型 号	YJQ02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
	金属屏蔽互连接地	1.0		2.0		2.5		3.0	
	截 面 (mm ²)	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	240	650	620	—	—	—	—	—	—
	300	740	700	—	—	—	—	—	—
	400	855	795	—	—	—	—	—	—
	500	980	890	—	—	—	—	—	—
	630	1130	990	—	—	—	—	—	—
	800	1290	1100	—	—	—	—	—	—
	1000	1440	1180	—	—	—	—	—	—
	1200	1540	1220	—	—	—	—	—	—

续表

排 列	型 号	YJQ02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.0		2.5		3.0	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
$s = 1 \times D_c^{(2)}$ 	240	495	440	445	390	430	375	420	365
	300	555	480	500	425	485	410	470	400
	400	635	530	565	460	545	445	530	430
	500	720	575	635	495	615	480	600	465
	630	825	615	725	530	700	510	680	495
	800	930	660	815	565	785	540	765	525
	1000	1030	690	900	585	870	560	845	545
	1200	1100	705	960	600	920	575	900	555
工 作 温 度		90℃							
环 境 温 度		25℃							

注 1), 2), 3), 4) 与表 7-3-1 的注相同。

Al

110

表 7-3-6

64/110 (kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆载流量 (土壤中)

排 列	型 号	YJLQ02							
	土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.5		3.0		3.5	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
	240	505	490	—	—	—	—	—	—
	300	575	555	—	—	—	—	—	—
	400	670	635	—	—	—	—	—	—
	500	770	725	—	—	—	—	—	—
	630	890	820	—	—	—	—	—	—
	800	1030	920	—	—	—	—	—	—
	1000	1160	1010	—	—	—	—	—	—
	1200	1270	1070	—	—	—	—	—	—



续表

排 列	型 号 YJLQ02								
	土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ²⁾		电缆管道周围呈现干燥域 ⁴⁾					
		1.0		2.5		3.0		3.5	
	金属屏蔽互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
	截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
$s = 1 \times D_c^{2)}$ 	240	380	355	345	315	335	305	325	300
	300	435	395	390	350	375	340	370	330
	400	495	440	440	385	425	375	415	365
	500	570	485	505	425	485	410	475	400
	630	655	535	575	465	555	445	540	435
	800	745	580	655	500	630	480	615	465
	1000	840	620	735	535	710	510	690	495
	1200	910	645	795	550	765	530	745	515
工作温度		90℃							
环境温度		25℃							

注 1)、2)、3)、4) 与表 7-3-1 的注相同。



自容式充油电缆

8.1 一般情况

适用于 110kV ~ 330kV 输电线路用电力电缆 (GB9326.2—1988)。主要电缆的结构参数、材料的物理参数和环境参数列于表 8-A 中。空气中和土壤中敷设。

8.2 基准环境条件

对于本部分电缆载流量表中计算载流量所采用的基准环境参数如表 8-A 所示。

8.3 使用说明

选择载流量时应注意载流量表中所给的基准条件。当实际敷设环境不同时,应对载流量表中数据进行修正。

► 环境温度的修正系数: 当环境温度不同于载流量表中基准环境温度时的载流量修正系数列于表 8-B ~ 表 8-C。

► 土壤热阻系数的修正系数: 对于埋地电缆当现场的土壤热阻系数不同于载流量表中“自然土壤”(未发生水分迁移的土壤)的热阻系数 ($\rho_s = 1.0K \cdot m/W$) 时,应对载流量进行修正,见表 8-D。

► 空气中支撑架、托架、桥架等并列、成组等敷设的电缆不同于载流量表的基准敷设条件时,应对载流量进行修正,修正系数见表 8-E。

8.4 载流量索引表

各型号电缆载流量索引表列于表 8-F。

表 8-A 载流量表所采用的基准环境参数值

序号	参 数	空 气 中	土 壤 中
1	三角形排列	相互接触	相互接触
2	平面排列	$S = 2 \times D_c^{1/2}$	$S = 2 \times D_c$
3	埋地深度 (mm)	—	1000

续表

序号	参 数	空 气 中	土 壤 中
4	土壤热阻系数 ($K \cdot m/W$)		1.0
5	水分迁移 ($K \cdot m/W$) ²⁾	—	2.0, 2.5, 3.0
6	环境温度 T_0 ($^{\circ}C$)	40	25
备注	1) 三根电缆呈平面排列, 电缆中心之间距 (s) 为电缆外径 (D_c) 的 2 倍。 2) 电缆导体长期处于额定工作温度 ($80^{\circ}C$) 状态下, 电缆表面温度超过 $50^{\circ}C$ 时, 电缆邻接周围土壤将发生水分迁移。当电缆周围土壤呈现干燥域时, 载流量应根据土壤类型 (热阻系数) 计算, 则土壤热阻系数大致分为: 一般性土壤取 2.0、沙 (砂) 质土壤取 2.5、粘土取 3.0。		

表 8-B 环境温度不同时的载流量修正系数表

导体工作温度 ($^{\circ}C$)	环 境 温 度 ($^{\circ}C$) (空气中)						
	20	25	30	35	40	45	50
80	1.22	1.17	1.11	1.06	1.00	0.93	0.86

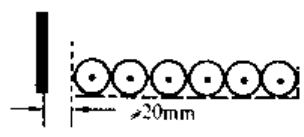
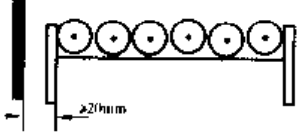
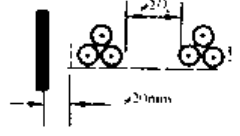
表 8-C 环境温度不同时的载流量修正系数表

导体工作温度 ($^{\circ}C$)	环 境 温 度 ($^{\circ}C$) (土壤中)					
	10	15	20	25	30	35
80	1.13	1.09	1.04	1.00	0.95	0.90

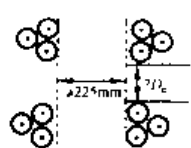
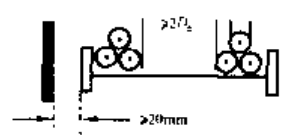
表 8-D 不同土壤热阻系数的载流量修正系数

电 压 (kV)	土 壤 热 阻 系 数 $\rho_w = (K \cdot m/W)$			
	0.8	1.0	1.2	1.5
110 ~ 330	1.06	1.0	0.94	0.80

表 8-E 由单芯电缆的单回路构成的多回路空气中敷设情况下载流量降低因数²⁾

敷 设 方 式	托 盘 层 数	二 相 电 路 数			用于下列回路
		1	2	3	
穿孔托盘或托架 ³⁾		1	0.98	0.91	0.87
		2	0.96	0.87	0.81
		3	0.95	0.85	0.78
梯形物, 支架, 夹具 ³⁾		1	1.00	0.97	0.96
		2	0.98	0.93	0.89
		3	0.97	0.90	0.86
穿孔托盘 ³⁾		1	1.00	0.97	0.96
		2	0.98	0.93	0.89
		3	0.97	0.90	0.86

续表

敷 设 方 式		托盘层数	三 相 电 路 数			用于下列回路
			1	2	3	
垂直有空托架 ⁴⁾		1	1.00	0.91	0.89	三角形排列 的三根电缆
		2	1.00	0.90	0.86	
梯架物支架夹具 ³⁾		1	1.00	1.00	1.00	
		2	0.97	0.95	0.93	
		3	0.96	0.94	0.90	

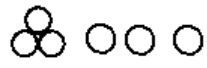
注 1) 本表摘自 IEC 55-2 C IEC: 20XX。表中数据是平均值, 其范围一般小于 5%。

2) 表中因数适用于单层 (三角形) 电缆组的。当相互接触电缆大于一层敷设时不能用。对于这种敷设要降低因数或用适当方法求得。

3) 托盘垂直之间间隙 300mm, 小于该值时因数要降低。

4) 托盘背靠背安装。平面之间为 225mm, 小于该值时因数应降低。

表 8-F 非铠装电缆空气中和土壤中敷设时载流量索引表

型 号	电 压 级 kV	空气中敷设	土壤中敷设
			
CYZQ102	110	8-1-1	8-2-1
	220	8-1-2	8-2-2
	330	8-1-3	8-2-3
CYZQ302	110	8-1-4	8-2-4
	220	8-1-5	8-2-5
	330	8-1-6	8-2-6
CYZQ141	110	8-3-1 (水下泥土中)	
	220		
	330		

8.3.1 纸绝缘铅包铜带径向加强聚氯乙烯护套自容式充油电缆

表 8-1-1 自容式充油电缆载流量 (空气中)

型 号	CYZQ102		
电 压	110 (kV)		
排 列			
间 距	$S = 1 \times D_c^{1)}$	$S = 1 \times D_c^{1)}$	$S = 2 \times D_c^{2)}$

续表

金属套互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
240	525	515	530	515	590	550
300	600	585	600	580	675	610
400	695	675	695	655	785	680
500	790	760	785	725	890	750
630	910	860	895	810	1030	825
800	1020	950	1000	880	1160	890
1000	1130	1030	1090	940	1300	930
1200	1230	1110	1180	1000	1430	990
1600	1380	1200	1270	1040	1570	1010
2000	1510	1280	1380	1080	1730	1040
工作温度	80℃					
环境温度	40℃					

注 1) 表示电缆中心间距等于1倍电缆外径(相互接触)。

2) 表示电缆中心间距等于2倍电缆外径。

表 8-1-2

自容式充油电缆载流量(空气中)

型 号	CYZQ102					
电 压	220 (kV)					
排 列						
间 距	$S = 1 \times D_c^{1)}$		$S = 1 \times D_c^{1)}$		$S = 2 \times D_c^{2)}$	
金属套互连接地	一端	二端	端	二端	一端	二端
截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
240	495	485	500	480	545	505
300	565	550	565	540	620	560
400	655	635	655	620	725	635
500	745	710	740	680	820	690
630	855	800	835	750	940	750
800	970	895	940	825	1080	820
1000	1080	980	1030	885	1200	870
1200	1150	1040	1100	920	1290	900
1600	1300	1140	1220	990	1450	960
2000	1430	1230	1320	1050	1610	1020
工作温度	80℃					
环境温度	40℃					

注 1) 表示电缆中心间距等于1倍电缆外径(相互接触)。

2) 表示电缆中心间距等于2倍电缆外径。

表 8-1-3

自容式充油电缆载流量 (空气中)

型 号	CYZQ102					
电 压	330 (kV)					
排 列						
间 距	$S = 1 \times D_c^{(1)}$		$S = 1 \times D_c^{(1)}$		$S = 2 \times D_c^{(2)}$	
金属套互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
400	615	590	610	575	675	590
500	700	670	695	635	770	650
630	800	760	790	710	885	715
800	910	845	885	780	1000	785
1000	1010	920	970	835	1120	830
1200	1090	980	1040	880	1210	875
1600	1230	1080	1160	950	1370	940
工作温度	80℃					
环境温度	40℃					

注 1) 表示电缆中心间距等于 1 倍电缆外径 (相互接触)。

2) 表示电缆中心间距等于 2 倍电缆外径。

8.3.2 纸绝缘铅包铜带径向及纵向加强聚氯乙烯护套自容式充油电缆

表 8-1-4

自容式充油电缆载流量 (空气中)

型 号	CYZQ302					
电 压	110 (kV)					
排 列						
间 距	$S = 1 \times D_c^{(1)}$		$S = 1 \times D_c^{(1)}$		$S = 2 \times D_c^{(2)}$	
金属套互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)					
240	535	500	535	480	605	505
300	605	565	605	530	685	555
400	705	640	695	595	800	615
500	805	715	785	655	910	670
630	920	800	885	715	1050	735
800	1040	870	980	765	1190	780
1000	1150	930	1070	805	1320	820
1200	1240	990	1140	855	1440	865
1600	1390	1060	1220	895	1600	930
2000	1510	1120	1310	940	1750	980
工作温度	80℃					
环境温度	40℃					

注 1) 表示电缆中心间距等于 1 倍电缆外径 (相互接触)。

2) 表示电缆中心间距等于 2 倍电缆外径。

表 8-1-5

自容式充油电缆载流量 (空气中)

型 号	CYZQ302					
电 压	220 (kV)					
排 列						
间 距	$S = 1 \times D_c^{(1)}$		$S = 1 \times D_c^{(1)}$		$S = 2 \times D_c^{(2)}$	
金属套与连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)					
240	500	475	500	460	555	480
300	570	535	570	510	635	535
400	660	610	650	570	735	600
500	750	680	730	630	830	660
630	860	760	825	690	960	720
800	970	835	920	745	1080	780
1000	1080	900	1000	795	1210	830
1200	1170	940	1060	835	1300	875
1600	1300	1030	1160	900	1470	940
2000	1430	1100	1250	960	1620	1010
工作温度	80℃					
环境温度	40℃					

注 1) 表示电缆中心间距等于 1 倍电缆外径 (相互接触)。

2) 表示电缆中心间距等于 2 倍电缆外径。

表 8-1-6

自容式充油电缆载流量 (空气中)

型 号	CYZQ302					
电 压	330 (kV)					
排 列						
间 距	$S = 1 \times D_c^{(1)}$		$S = 1 \times D_c^{(1)}$		$S = 2 \times D_c^{(2)}$	
金属套与连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)					
400	615	570	610	545	680	570
500	700	635	685	600	775	630
630	805	715	775	660	890	700
800	910	795	865	725	1020	770
1000	1010	860	940	775	1130	820
1200	1090	900	1000	810	1220	865
1600	1220	980	1090	875	1370	930
工作温度	80℃					
环境温度	40℃					

注 1) 表示电缆中心间距等于 1 倍电缆外径 (相互接触)。

2) 表示电缆中心间距等于 2 倍电缆外径。

表 8-2-1

自容式充油电缆载流量 (土壤中)⁵⁾

型 号	CYZQ102							
电 压	110 (kV)							
排 列	一根单芯电缆呈三角形				间距 $S = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥城 ⁴⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属套互连接地	一端 二端		一端 二端		一端 二端		一端 二端	
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
240	600	590	585	570	580	565	575	565
300	675	660	660	640	655	635	650	630
400	780	750	755	720	745	710	740	705
500	880	835	845	800	835	790	835	780
630	1000	940	960	890	940	880	940	870
800	1110	1020	1060	970	1050	950	1040	940
1000	1220	1100	1160	1040	1150	1020	1140	1010
1200	1310	1170	1240	1090	1220	1070	1210	1060
1600	1450	1240	1370	1150	1350	1130	1330	1110
2000	1560	1290	1470	1200	1450	1170	1430	1150
排 列	三根单芯电缆平面				$S = 220mm$ ²⁾			
240	520	465	485	425	475	415	470	405
300	590	510	545	465	535	450	525	445
400	670	550	615	495	600	480	590	470
500	750	595	685	530	670	515	655	505
630	850	640	775	570	755	550	740	540
800	950	680	860	600	840	580	825	565
1000	1040	710	940	625	920	605	900	590
1200	1110	735	1000	645	970	620	950	605
1600	1190	750	1070	650	1040	630	1020	610
2000	1270	770	1130	670	1100	645	1070	630
工作温度	80℃							
环境温度	25℃							

注 1) 电缆彼此相互接触。

2) S - 指电缆中心间距为 220mm。

3) 指电缆周围环境的土壤或者说发生水分迁移前的土壤。

4) 电缆导体长期处于额定工作温度 (80℃) 状态下, 表面温度超过 50℃ 时, 电缆邻接周围土壤将发生水分迁移。当电缆周围土壤呈现干燥城时, 应选择该栏目下载流量。根据土壤类型不同, 则土壤热阻系数大致分为: 一般性土壤取 2.0、沙 (砂) 质土壤取 2.5、粘土取 3.0 ($K \cdot m/W$)。5) 地表面至电缆导体中心距离取 $L_p = 1000$ (mm)。

表 8-2-2

自容式充油电缆载流量 (土壤中)⁵⁾

型 号	CYZQ102							
电 压	220 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形				间距 $S = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K·m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属套互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
240	560	545	560	540	560	540	560	540
300	630	615	630	610	630	605	630	605
400	730	700	725	690	720	685	720	680
500	825	780	815	760	810	755	805	750
630	930	865	920	840	910	830	910	825
800	1050	960	1030	920	1020	910	1020	900
1000	1160	1030	1130	990	1120	970	1110	960
1200	1230	1080	1200	1030	1190	1010	1180	1000
1600	1370	1170	1330	1100	1310	1080	1300	1070
2000	1490	1230	1430	1150	1410	1130	1400	1110
排 列	三根单芯电缆平面				$S = 220mm$ ²⁾			
240	485	430	455	400	450	390	445	385
300	545	470	510	430	500	420	495	415
400	620	520	580	470	570	460	560	450
500	690	555	640	495	625	485	615	475
630	780	595	715	530	700	515	690	505
800	870	635	795	560	780	545	765	530
1000	950	670	865	585	845	565	830	550
1200	1010	685	910	600	890	580	870	575
1600	1100	720	990	625	960	600	940	585
2000	1170	745	1040	640	1010	615	980	600
工作温度	80℃							
环境温度	25℃							

注 1), 2), 3), 4), 5) 与表 8-2-1 的注相同。

表 8-2-3

自容式充油电缆载流量 (土壤中)⁵⁾

型 号	CYZQ102				
电 压	330 (kV)				
排 列	三根单芯电缆呈三角形			间距 $S = 1 \times D_c^{1)}$	
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾		
	1.0	2.0	2.5	3.0	

续表

金属套互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 (mm^2)	载 流 量 (A)							
400	680	650	680	645	685	645	685	645
500	770	730	770	715	770	715	770	710
630	885	820	875	800	875	795	875	790
800	990	900	980	870	970	865	970	855
1000	1090	970	1080	940	1070	920	1070	920
1200	1170	1030	1150	980	1140	970	1130	960
1600	1310	1110	1270	1050	1260	1030	1250	1020
排 列	三根单芯电缆平面				$S = 220\text{mm}^2$		○ ○ ○	
400	570	480	530	435	520	420	515	415
500	635	520	590	465	575	450	565	440
630	720	560	660	495	645	480	635	470
800	800	600	725	525	705	505	695	490
1000	875	630	790	545	770	525	750	510
1200	920	650	825	560	800	535	780	520
1600	1000	680	890	575	860	550	840	535
工作温度	80℃							
环境温度	25℃							

注 1)、2)、3)、4)、5) 与表 8-2-1 的注相同

表 8-2-4

自容式充油电缆载流量 (土壤中)⁵⁾

型 号	CYZQ302							
电 压	110 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形				间距 $S = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥城 ⁴⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属套互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
240	600	565	585	545	580	540	575	540
300	680	630	660	605	650	600	645	595
400	785	710	755	680	745	670	740	655
500	885	785	850	745	835	730	830	725
630	1010	865	960	815	950	805	940	795
800	1120	930	1060	870	1050	855	1040	845
1000	1230	980	1170	920	1150	900	1140	890
1200	1310	1030	1240	960	1220	940	1200	920
1600	1450	1080	1360	1000	1340	980	1320	960
2000	1560	1120	1460	1030	1430	1010	1410	990

续表

排 列	二根单芯电缆平面				$S = 220\text{mm}^2$		○ ○ ○	
240	530	425	490	385	480	375	470	370
300	595	460	550	415	535	405	525	395
400	675	500	620	445	605	435	595	425
500	760	535	695	475	675	460	665	450
630	860	570	785	505	765	490	750	480
800	960	605	870	530	845	515	830	505
1000	1050	630	950	555	920	535	900	520
1200	1110	655	1000	570	970	550	950	540
1600	1200	685	1070	600	1040	580	1010	565
2000	1260	715	1120	625	1100	600	1060	585
工作温度	80℃							
环境温度	25℃							

注 1), 2), 3), 4), 5) 与表 8-2-1 的注相同

表 8-2-5

自容式充油电缆载流量 (土壤中)⁵⁾

型 号	CYZQ302							
电 压	220 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形				间距 $S = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属套互连接地	一端 二端		一端 二端		一端 二端		一端 二端	
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
240	560	545	560	540	560	540	560	540
300	630	615	630	610	630	605	630	605
400	730	700	725	690	720	685	720	680
500	825	780	815	760	810	755	805	750
630	930	865	920	840	910	830	910	825
800	1050	960	1030	920	1020	910	1020	900
1000	1160	1030	1130	990	1120	970	1110	960
1200	1230	1080	1200	1030	1190	1010	1180	1000
1600	1370	1170	1330	1100	1310	1080	1300	1070
2000	1490	1230	1430	1150	1410	1130	1400	1110
排 列	二根单芯电缆平面				$S = 220\text{mm}^2$			
240	485	430	455	400	450	390	445	385
300	545	470	510	430	500	420	495	415
400	620	520	580	470	570	460	560	450
500	690	555	640	495	625	485	615	475

续表

排 列	三根单芯电缆平面				$S = 220\text{mm}^2$		○ ○ ○	
630	780	595	715	530	700	515	690	505
800	870	635	795	560	780	545	765	530
1000	950	670	865	585	845	565	830	550
1200	1010	685	910	600	890	580	870	575
1600	1100	720	990	625	960	600	940	585
2000	1170	745	1040	640	1010	615	980	600
工作温度	80℃							
环境温度	25℃							

注 1), 2), 3), 4), 5) 与表 8-2-1 的注相同。

表 8-2-6 自容式充油电缆载流量 (土壤中)⁵⁾

型 号	CYZQ302							
电 压	330 (kV)							
排 列	三根单芯电缆呈三角形				间距 $S = 1 \times D_c$ ¹⁾			
土壤热阻系数 (K · m/W)	自然土壤 ³⁾		电缆周围呈现干燥域 ⁴⁾					
	1.0		2.0		2.5		3.0	
金属套互连接地	一端	二端	一端	二端	一端	二端	一端	二端
截 面 (mm ²)	载 流 量 (A)							
400	680	650	685	645	685	645	685	645
500	770	730	770	715	770	715	770	710
630	885	820	875	800	875	795	875	790
800	990	900	980	870	970	865	970	855
1000	1090	970	1080	940	1070	920	1070	920
1200	1170	1030	1150	980	1140	970	1130	960
1600	1310	1110	1270	1050	1260	1030	1250	1020
排 列	三根单芯电缆平面				$S = 220\text{mm}^2$			
400	570	480	530	435	520	420	515	415
500	635	520	590	465	575	450	565	440
630	720	560	660	495	645	480	635	470
800	800	600	725	525	705	505	695	490
1000	875	630	790	545	770	525	750	510
1200	920	650	825	560	800	535	780	520
1600	1000	680	890	575	860	550	840	535
工作温度	80℃							
环境温度	25℃							

注 1), 2), 3), 4), 5) 与表 8-2-1 的注相同。



表 8-3-1

自容式充油电缆载流量 (水下泥土中)²⁾

型 号	CYZQ141		
电压 (kV)	110	220	330
排列	○ ○ ○		$S = 10\text{m}^{(1)}$
土壤热阻系数	$0.5\text{K} \cdot \text{m/W}$		
金属套互连接地	二端	二端	二端
截 面 (mm^2)	载流量 (A)		
240	640	625	—
300	695	695	—
400	775	770	760
500	845	850	840
630	920	950	930
800	980	1030	1030
1000	1040	1090	1100
1200	1090	1150	1150
1600	1190	1250	1240
2000	1280	1330	—
工作温度	80°C		
环境温度	20°C		

注 1) 电缆中心间距为 10 (m)。

2) 水底下埋地至电缆导体中心距离取 $L_p = 500$ (mm)。



参 考 文 献

- 1 IEC 1597 (1995): Overhead electrical conductors - Calculation methods for stranded bare conductors
- 2 V.T. Morgan: Electrical characteristics of steel- cored aluminium conductors *PROC. IEE*, Vol. 112, No. 2, FEBRUARY 1965
- 3 IEC 364-5-523 (1994): **ELECTRICAL INSTALLATIONS OF BUILDINGS** Part 5:
Selection and erection of electrical equipment Chapter 52:
Wiring systems Section 523 - Current-carrying capacities
- 4 IEC 60287-1-1 (1994): Calculation of the current rating of electric cables Part 1: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses - Section 1: General
IEC 60287-1-2 (1994): Calculation of the current rating of electric cables Part 1: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses - Section 2: Sheath eddy current loss factors for two circuits in flat formation
- 5 IEC 60287-2-1 (1994): Electric cables - Calculation of the current rating - Part 2: Thermal resistance - Section 1: Calculation of thermal resistance
- 6 IEC 60287-2-2 (1995): Electric cables - Calculation of the current rating - Part 2: Thermal resistance - Section 2: A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air protected from solar radiation
- 7 IEC 60287-3-1 (1995): Electric cables - Calculation of the current rating - Part 3: Sections on operating conditions- Section 1: Reference operating conditions and selection of cable type
- 8 IEC 60287-3-1 (1995): Electric cables- Calculation of the current rating-Part 3: Sections on operating conditions- Section 2: Economic optimization of power cable size
- 9 IEC 60287 -1-3 (2002) Current sharing between parallel single-core cables and calculation of circulating current losses
- 10 GB 12706.1—1991 12706.2—1991 12706.3—1991 额定电压 35kV 及以下铜芯、铝芯塑料绝缘电力电缆
- 11 GB 11017—1989 额定电压 110kV 铜芯、铝芯交联聚乙烯绝缘电力电缆
- 12 GB/T 12706.1 ~ 12706.4—2002 额定电压 1kV ($U_m = 1.2kV$) 到 35kV ($U_m = 40.5kV$) 挤包绝缘电力电缆及附件
- 13 GB/T 11017.1 ~ 11017.2—2002 额定电压 110kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件
- 14 GB/Z 18890.1 ~ 18890.2—2002 额定电压 220kV ($U_m = 252kV$) 交联聚乙烯绝缘电缆及其附件