

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50217 - 2007

---

# 电力工程电缆设计规范

Code for design of cables of electric engineering

2007 - 10 - 23 发布

2008 - 04 - 01 实施

---

中华人民共和国建设部  
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

电力工程电缆设计规范

Code for design of cables of electric engineering

**GB 50217 - 2007**

主编部门:中国电力企业联合会

批准部门:中华人民共和国建设部

施行日期:2008年4月1日

中国计划出版社

2008 北 京

中华人民共和国国家标准  
电力工程电缆设计规范  
GB 50217-2007

☆

中国计划出版社出版

网址: [www.jhpress.com](http://www.jhpress.com)

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

北京世知印务有限公司印刷

---

850mm × 1168mm 1/32 4.375 印张 112 千字

2008 年 3 月第 1 版 2013 年 9 月第 6 次印刷

☆

统一书号: 1580177 · 028

定价: 27.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

# 中华人民共和国建设部公告

第 732 号

## 建设部关于发布国家标准 《电力工程电缆设计规范》的公告

现批准《电力工程电缆设计规范》为国家标准,编号为 GB 50217—2007,自 2008 年 4 月 1 日起实施。其中,第 5.1.9、5.3.5 条为强制性条文,必须严格执行。原《电力工程电缆设计规范》GB 50217—94 同时废止。

本规范由建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国建设部  
二〇〇七年十月二十三日

## 前 言

本规范是根据建设部《关于印发“二〇〇一～二〇〇二年度工程建设国家标准制定、修订计划”的通知》(建标〔2002〕85号)的要求,由中国电力工程顾问集团西南电力设计院会同有关单位对《电力工程电缆设计规范》GB 50217—1994 修订而成的。

本规范修订的主要技术内容包括:

1. 增加了中、高压电缆芯数选择要求;
2. 增加了电缆绝缘类型选择要求,取消了粘性浸渍纸绝缘电缆的相关内容;
3. 增加了主芯截面  $400\text{mm}^2 < S \leq 800\text{mm}^2$  和  $S > 800\text{mm}^2$  的保护地线允许最小截面选择要求;
4. 增加了大电流负荷的供电回路由多根电缆并联时对电缆截面、材质等要求;
5. 增加了电缆终端一般性选择要求;
6. 增加了直接对电缆实施金属层开断并作绝缘处理内容;
7. 增加了交流系统三芯电缆的金属层接地要求;
8. 增加了城市电缆系统的电缆与管道相互间允许距离相关规定;
9. 增加了架空桥架检修通道设置要求;
10. 增加了电缆隧道安全孔设置间距要求;
11. 增加了附录 B 和附录 F。

本规范以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国电力企业联合会标准化中心负责具体管理,由中国电力工程顾问集团西南电力设计院负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程

中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,注意积累资料,随时将意见和建议反馈给中国电力工程顾问集团西南电力设计院(地址:四川省成都市东风路18号,邮编:610021),以便今后修改时参考。

本规范主编单位、参编单位和主要起草人:

**主 编 单 位:** 中国电力工程顾问集团西南电力设计院

**参 编 单 位:** 中国电力工程顾问集团东北电力设计院  
喜利得(中国)有限公司

**主要起草人:** 李国荣 熊 涛 张天泽 齐 春 陶 勤  
万里宁 王 鑫 王聪慧

# 目 次

1	总 则 .....	( 1 )
2	术 语 .....	( 2 )
3	电缆型式与截面选择 .....	( 4 )
3.1	电缆导体材质 .....	( 4 )
3.2	电力电缆芯数 .....	( 4 )
3.3	电缆绝缘水平 .....	( 5 )
3.4	电缆绝缘类型 .....	( 6 )
3.5	电缆护层类型 .....	( 8 )
3.6	控制电缆及其金属屏蔽 .....	(10)
3.7	电力电缆导体截面 .....	(11)
4	电缆附件的选择与配置 .....	(16)
4.1	一般规定 .....	(16)
4.2	自容式充油电缆的供油系统 .....	(21)
5	电缆敷设 .....	(24)
5.1	一般规定 .....	(24)
5.2	敷设方式选择 .....	(28)
5.3	地下直埋敷设 .....	(30)
5.4	保护管敷设 .....	(32)
5.5	电缆构筑物敷设 .....	(33)
5.6	其他公用设施中敷设 .....	(37)
5.7	水下敷设 .....	(38)
6	电缆的支持与固定 .....	(39)
6.1	一般规定 .....	(39)
6.2	电缆支架和桥架 .....	(41)

7 电缆防火与阻止延燃 .....	(44)
附录 A 常用电力电缆导体的最高允许温度 .....	(49)
附录 B 10kV 及以下电力电缆经济电流截面选用方法 .....	(50)
附录 C 10kV 及以下常用电力电缆允许 100% 持续载流量 .....	(53)
附录 D 敷设条件不同时电缆允许持续载流量的 校正系数 .....	(60)
附录 E 按短路热稳定条件计算电缆导体允许 最小截面的方法 .....	(63)
附录 F 交流系统单芯电缆金属层正常感应电势算式 .....	(66)
附录 G 35kV 及以下电缆敷设度量时的附加长度 .....	(68)
附录 H 电缆穿管敷设时容许最大管长的计算方法 .....	(69)
本规范用词说明 .....	(72)
附:条文说明 .....	(73)

# 1 总 则

**1.0.1** 为使电力工程电缆设计做到技术先进、经济合理、安全适用、便于施工和维护,制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于新建、扩建的电力工程中 500kV 及以下电力电缆和控制电缆的选择与敷设计。

**1.0.3** 电力工程的电缆设计,除应符合本规范的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 耐火性 fire resistance

在规定试验条件下,试样在火焰中被燃烧而在一定时间内仍能保持正常运行的性能。

### 2.0.2 耐火电缆 fire resistant cable

具有耐火性的电缆。

### 2.0.3 阻燃性 flame retardancy

在规定试验条件下,试样被燃烧,在撤去试验火源后,火焰的蔓延仅在限定范围内,且残焰或残灼在限定时间内能自行熄灭的特性。

### 2.0.4 阻燃电缆 flame retardant cable

具有阻燃性的电缆。

### 2.0.5 干式交联 dry-type cross-linked

使交联聚乙烯绝缘材料的制造能显著减少水分含量的交联工艺。

### 2.0.6 水树 water tree

交联聚乙烯电缆运行中绝缘层发生树枝状微细裂纹现象的略称。

### 2.0.7 金属塑料复合阻水层 metallic-plastic composite water barrier

由铝或铝箔等薄金属层夹于塑料层中特制的复合带沿电缆纵向包围构成的阻水层。

### 2.0.8 热阻 thermal resistance

计算电缆载流量采取热网分析法,以一维散热过程的热欧姆法则所定义的物理量。

### 2.0.9 回流线 auxiliary ground wire

配置平行于高压单芯电缆线路、以两端接地使感应电流形成回路的导线。

### 2.0.10 直埋敷设 direct burying

电缆敷设入地下壕沟中沿沟底铺有垫层和电缆上铺有覆盖层,且加设保护板再埋齐地坪的敷设方式。

### 2.0.11 浅槽 channel

容纳电缆数量较少未含支架的有盖槽式构筑物。

### 2.0.12 工作井 manhole

专用于安置电缆接头等附件或供牵拉电缆作业所需的有盖坑式电缆构筑物。

### 2.0.13 电缆构筑物 cable buildings

专供敷设电缆或安置附件的电缆沟、浅槽、排管、隧道、夹层、竖(斜)井和工作井等构筑物。

### 2.0.14 挠性固定 slip fixing

使电缆随热胀冷缩可沿固定处轴向角度变化或稍有横移的固定方式。

### 2.0.15 刚性固定 rigid fixing

使电缆不随热胀冷缩发生位移的夹紧固定方式。

### 2.0.16 电缆的蛇形敷设 snaking of cable

按定量参数要求减小电缆轴向热应力或有助自由伸缩量增大而使电缆呈蛇形状的敷设方式。

## 3 电缆型式与截面选择

### 3.1 电缆导体材质

3.1.1 控制电缆应选用铜导体。

3.1.2 用于下列情况的电力电缆,应选用铜导体:

1 电机励磁、重要电源、移动式电气设备等需保持连接具有高可靠性的回路。

2 振动剧烈、有爆炸危险或对铝有腐蚀等严酷的工作环境。

3 耐火电缆。

4 紧靠高温设备布置。

5 安全性要求高的公共设施。

6 工作电流较大,需增多电缆根数时。

3.1.3 除限于产品仅有铜导体和第 3.1.1、3.1.2 条确定应选用铜导体的情况外,电缆导体材质可选用铜或铝导体。

### 3.2 电力电缆芯数

3.2.1 1kV 及以下电源中性点直接接地时,三相回路的电缆芯数的选择,应符合下列规定:

1 保护线与受电设备的外露可导电部位连接接地时,应符合下列规定:

1) 保护线与中性线合用同一导体时,应选用四芯电缆。

2) 保护线与中性线各自独立时,宜选用五芯电缆;当满足本规范第 5.1.16 条的规定时,也可采用四芯电缆与另外的保护线导体组成。

2 受电设备外露可导电部位的接地与电源系统接地各自独立时,应选用四芯电缆。

**3.2.2** 1kV 及以下电源中性点直接接地时,单相回路的电缆芯数的选择,应符合下列规定:

1 保护线与受电设备的外露可导电部位连接接地时,应符合下列规定:

1) 保护线与中性线合用同一导体时,应选用两芯电缆。

2) 保护线与中性线各自独立时,宜选用三芯电缆;当满足本规范第 5.1.16 条的规定时,也可采用两芯电缆与另外的保护线导体组成。

2 受电设备外露可导电部位的接地与电源系统接地各自独立时,应选用两芯电缆。

**3.2.3** 3~35kV 三相供电回路的电缆芯数的选择,应符合下列规定:

1 工作电流较大的回路或电缆敷设于水下时,每回可选用 3 根单芯电缆。

2 除上述情况外,应选用三芯电缆;三芯电缆可选用普通统包型,也可选用 3 根单芯电缆绞合构造型。

**3.2.4** 110kV 三相供电回路,除敷设于湖、海水下等场所且电缆截面不大时可选用三芯型外,每回可选用 3 根单芯电缆。

110kV 以上三相供电回路,每回应选用 3 根单芯电缆。

**3.2.5** 电气化铁路等高压交流单相供电回路,应选用两芯电缆或每回选用 2 根单芯电缆。

**3.2.6** 直流供电回路的电缆芯数的选择,应符合下列规定:

1 低压直流供电回路,宜选用两芯电缆;也可选用单芯电缆。

2 高压直流输电系统,宜选用单芯电缆;在湖、海等水下敷设时,也可选用同轴型两芯电缆。

### 3.3 电缆绝缘水平

**3.3.1** 交流系统中电力电缆导体的相间额定电压,不得低于使用回路的工作线电压。

**3.3.2** 交流系统中电力电缆导体与绝缘屏蔽或金属层之间额定电压的选择,应符合下列规定:

1 中性点直接接地或经低电阻接地的系统,接地保护动作不超过 1min 切除故障时,不应低于 100% 的使用回路工作相电压。

2 除上述供电系统外,其他系统不宜低于 133% 的使用回路工作相电压;在单相接地故障可能持续 8h 以上,或发电机回路等安全性要求较高时,宜采用 173% 的使用回路工作相电压。

**3.3.3** 交流系统中电缆的耐压水平,应满足系统绝缘配合的要求。

**3.3.4** 直流输电电缆绝缘水平,应具有能承受极性反向、直流与冲击叠加等的耐压考核;使用的交联聚乙烯电缆应具有抑制空间电荷积聚及其形成局部高场强等适应直流电场运行的特性。

**3.3.5** 控制电缆的额定电压的选择,不应低于该回路工作电压,并应符合下列规定:

1 沿高压电缆并行敷设的控制电缆(导引电缆),应选用相适合的额定电压。

2 220kV 及以上高压配电装置敷设的控制电缆,应选用 450/750V。

3 除上述情况外,控制电缆宜选用 450/750V;外部电气干扰影响很小时,可选用较低的额定电压。

### **3.4 电缆绝缘类型**

**3.4.1** 电缆绝缘类型的选择,应符合下列规定:

1 在使用电压、工作电流及其特征和环境条件下,电缆绝缘特性不应小于常规预期使用寿命。

2 应根据运行可靠性、施工和维护的简便性以及允许最高工作温度与造价的综合经济性等因素选择。

3 应符合防火场所的要求,并应利于安全。

4 明确需要与环境保护协调时,应选用符合环保的电缆绝缘

类型。

**3.4.2 常用电缆的绝缘类型的选择,应符合下列规定:**

1 中、低压电缆绝缘类型选择除应符合本规范第 3.4.3~3.4.7条的规定外,低压电缆宜选用聚氯乙烯或交联聚乙烯型挤塑绝缘类型,中压电缆宜选用交联聚乙烯绝缘类型。

明确需要与环境保护协调时,不得选用聚氯乙烯绝缘电缆。

2 高压交流系统中电缆线路,宜选用交联聚乙烯绝缘类型。在有较多的运行经验地区,可选用自容式充油电缆。

3 高压直流输电电缆,可选用不滴流浸渍纸绝缘、自容式充油类型。在需要提高输电能力时,宜选用以半合成纸材料构造的型式。

直流输电系统不宜选用普通交联聚乙烯型电缆。

**3.4.3 移动式电气设备等经常弯移或有较高柔软性要求的回路,应选用橡皮绝缘等电缆。**

**3.4.4 放射线作用场所,应按绝缘类型的要求,选用交联聚乙烯或乙丙橡皮绝缘等耐射线辐照强度的电缆。**

**3.4.5 60℃以上高温场所,应按经受高温及其持续时间和绝缘类型要求,选用耐热聚氯乙烯、交联聚乙烯或乙丙橡皮绝缘等耐热型电缆;100℃以上高温环境,宜选用矿物绝缘电缆。**

高温场所不宜选用普通聚氯乙烯绝缘电缆。

**3.4.6 -15℃以下低温环境,应按低温条件和绝缘类型要求,选用交联聚乙烯、聚乙烯绝缘、耐寒橡皮绝缘电缆。**

低温环境不宜选用聚氯乙烯绝缘电缆。

**3.4.7 在人员密集的公共设施,以及有低毒阻燃性防火要求的场所,可选用交联聚乙烯或乙丙橡皮等不含卤素的绝缘电缆。**

防火有低毒性要求时,不宜选用聚氯乙烯电缆。

**3.4.8 除本规范第 3.4.5~3.4.7 条明确要求的情况外,6kV 以下回路,可选用聚氯乙烯绝缘电缆。**

**3.4.9 对 6kV 重要回路或 6kV 以上的交联聚乙烯电缆,应选用内、外半导体与绝缘层三层共挤工艺特征型式。**

### 3.5 电缆护层类型

**3.5.1 电缆护层的选择,应符合下列要求:**

1 交流系统单芯电力电缆,当需要增强电缆抗外力时,应选用非磁性金属铠装层,不得选用未经非磁性有效处理的钢制铠装。

2 在潮湿、含化学腐蚀环境或易受水浸泡的电缆,其金属层、加强层、铠装上应有聚乙烯外护层,水中电缆的粗钢丝铠装应有挤塑外护层。

3 在人员密集的公共设施,以及有低毒阻燃性防火要求的场所,可选用聚乙烯或乙丙橡皮等不含卤素的外护层。

防火有低毒性要求时,不宜选用聚氯乙烯外护层。

4 除 $-15^{\circ}\text{C}$ 以下低温环境或药用化学液体浸泡场所,以及有低毒难燃性要求的电缆挤塑外护层宜选用聚乙烯外,其他可选用聚氯乙烯外护层。

5 用在有水或化学液体浸泡场所的 $6\sim 35\text{kV}$ 重要回路或 $35\text{kV}$ 以上的交联聚乙烯电缆,应具有符合使用要求的金属塑料复合阻水层、金属套等径向防水构造。

敷设于水下的中、高压交联聚乙烯电缆应具有纵向阻水构造。

**3.5.2 自容式充油电缆的加强层类型,当线路未设置塞止式接头时最高与最低点之间高差,应符合下列规定:**

1 仅有铜带等径向加强层时,容许高差应为 $40\text{m}$ ;但用于重要回路时宜为 $30\text{m}$ 。

2 径向和纵向均有铜带等加强层时,容许高差应为 $80\text{m}$ ;但用于重要回路时宜为 $60\text{m}$ 。

**3.5.3 直埋敷设时电缆护层的选择,应符合下列规定:**

1 电缆承受较大压力或有机械损伤危险时,应具有加强层或钢带铠装。

2 在流砂层、回填土地带等可能出现位移的土壤中,电缆应具有钢丝铠装。

3 白蚁严重危害地区用的挤塑电缆,应选用较高硬度的外护层,也可在普通外护层上挤包较高硬度的薄外护层,其材质可采用尼龙或特种聚烯烃共聚物等,也可采用金属套或钢带铠装。

4 地下水位较高的地区,应选用聚乙烯外护层。

5 除上述情况外,可选用不含铠装的外护层。

**3.5.4** 空气中固定敷设时电缆护层的选择,应符合下列规定:

1 小截面挤塑绝缘电缆直接在臂式支架上敷设时,宜具有钢带铠装。

2 在地下客运、商业设施等安全性要求高且鼠害严重的场所,塑料绝缘电缆应具有金属包带或钢带铠装。

3 电缆位于高落差的受力条件时,多芯电缆应具有钢丝铠装,交流单芯电缆应符合本规范第 3.5.1 条第 1 款的规定。

4 敷设在桥架等支承较密集的电,可不含铠装。

5 明确需要与环境保护相协调时,不得采用聚氯乙烯外护层。

6 除应按本规范第 3.5.1 条第 3、4 款和本条第 5 款的规定,以及 60℃ 以上高温场所应选用聚乙烯等耐热外护层的电缆外,其他宜选用聚氯乙烯外护层。

**3.5.5** 移动式电气设备等经常弯移或有较高柔软性要求回路的电缆,应选用橡皮外护层。

**3.5.6** 放射线作用场所的电缆,应具有适合耐受放射线辐照强度的聚氯乙烯、氯丁橡皮、氯磺化聚乙烯等外护层。

**3.5.7** 保护管中敷设的电缆,应具有挤塑外护层。

**3.5.8** 水下敷设时电缆护层的选择,应符合下列规定:

1 在沟渠、不通航小河等不需铠装层承受拉力的电缆,可选用钢带铠装。

2 江河、湖海中电缆,选用的钢丝铠装型式应满足受力条件。当敷设条件有机械损伤等防范要求时,可选用符合防护、耐腐蚀性增强要求的外护层。

**3.5.9** 路径通过不同敷设条件时电缆护层的选择,应符合下列规定:

1 线路总长未超过电缆制造长度时,宜选用满足全线条件的同一种或差别尽量小的一种以上型式。

2 线路总长超过电缆制造长度时,可按相应区段分别选用适合的不同型式。

### **3.6 控制电缆及其金属屏蔽**

**3.6.1** 双重化保护的电流、电压,以及直流电源和跳闸控制回路等需增强可靠性的两套系统,应采用各自独立的控制电缆。

**3.6.2** 下列情况的回路,相互间不应合用同一根控制电缆:

1 弱电信号、控制回路与强电信号、控制回路。

2 低电平信号与高电平信号回路。

3 交流断路器分相操作的各相弱电控制回路。

**3.6.3** 弱电回路的每一对往返导线,应属于同一根控制电缆。

**3.6.4** 电流互感器、电压互感器每组二次绕组的相线和中性线应配置于同一根电缆内。

**3.6.5** 强电回路控制电缆,除位于高压配电装置或与高压电缆紧邻并行较长,需抑制干扰的情况外,其他可不含金属屏蔽。

**3.6.6** 弱电信号、控制回路的控制电缆,当位于存在干扰影响的环境又不具备有效抗干扰措施时,应具有金属屏蔽。

**3.6.7** 控制电缆金属屏蔽类型的选择,应按可能的电气干扰影响,计入综合抑制干扰措施,并应满足降低干扰或过电压的要求,同时应符合下列规定:

1 位于110kV以上配电装置的弱电控制电缆,宜选用总屏蔽或双层式总屏蔽。

2 用于集成电路、微机保护的电流、电压和信号接点的控制电缆,应选用屏蔽型。

3 计算机监控系统信号回路控制电缆的屏蔽选择,应符合下

列规定：

- 1) 开关量信号，可选用总屏蔽。
- 2) 高电平模拟信号，宜选用对绞线芯总屏蔽，必要时也可选用对绞线芯分屏蔽。
- 3) 低电平模拟信号或脉冲量信号，宜选用对绞线芯分屏蔽，必要时也可选用对绞线芯分屏蔽复合总屏蔽。

4 其他情况，应按电磁感应、静电感应和地电位升高等影响因素，选用适宜的屏蔽型式。

5 电缆具有钢铠、金属套时，应充分利用其屏蔽功能。

**3.6.8** 需降低电气干扰的控制电缆，可增加一个接地的备用芯，并应在控制室侧一点接地。

**3.6.9** 控制电缆金属屏蔽的接地方式，应符合下列规定：

1 计算机监控系统的模拟信号回路控制电缆屏蔽层，不得构成两点或多点接地，应集中式一点接地。

2 集成电路、微机保护的电流、电压和信号的控制电缆屏蔽层，应在开关安置场所与控制室同时接地。

3 除上述情况外的控制电缆屏蔽层，当电磁感应的干扰较大时，宜采用两点接地；静电感应的干扰较大时，可采用一点接地。

双重屏蔽或复合式总屏蔽，宜对内、外屏蔽分别采用一点、两点接地。

4 两点接地的选择，还宜在暂态电流作用下屏蔽层不被烧熔。

**3.6.10** 强电控制回路导体截面不应小于  $1.5\text{mm}^2$ ，弱电控制回路不应小于  $0.5\text{mm}^2$ 。

### 3.7 电力电缆导体截面

**3.7.1** 电力电缆导体截面的选择，应符合下列规定：

1 最大工作电流作用下的电缆导体温度，不得超过电缆使用寿命的允许值。持续工作回路的电缆导体工作温度，应符合本规

范附录 A 的规定。

2 最大短路电流和短路时间作用下的电缆导体温度,应符合本规范附录 A 的规定。

3 最大工作电流作用下连接回路的电压降,不得超过该回路允许值。

4 10kV 及以下电力电缆截面除应符合上述 1~3 款的要求外,尚宜按电缆的初始投资与使用寿命期间的运行费用综合经济的原则选择。10kV 及以下电力电缆经济电流截面选用方法应符合本规范附录 B 的规定。

5 多芯电力电缆导体最小截面,铜导体不宜小于  $2.5\text{mm}^2$ ,铝导体不宜小于  $4\text{mm}^2$ 。

6 敷设于水下的电缆,当需导体承受拉力且较合理时,可按抗拉要求选择截面。

3.7.2 10kV 及以下常用电缆按 100%持续工作电流确定电缆导体允许最小截面,应符合本规范附录 C 和附录 D 的规定,其载流量按照下列使用条件差异影响计入校正系数后的实际允许值应大于回路的工作电流。

- 1 环境温度差异。
- 2 直埋敷设时土壤热阻系数差异。
- 3 电缆多根并列的影响。
- 4 户外架空敷设无遮阳时的日照影响。

3.7.3 除本规范第 3.7.2 条规定的情况外,电缆按 100%持续工作电流确定电缆导体允许最小截面时,应经计算或测试验证,计算内容和参数选择应符合下列规定:

- 1 含有高次谐波负荷的供电回路电缆或中频负荷回路使用的非同轴电缆,应计入集肤效应和邻近效应增大等附加发热的影响。
- 2 交叉互联接地的单芯高压电缆,单元系统中三个区段不等长时,应计入金属层的附加损耗发热的影响。
- 3 敷设于保护管中的电缆,应计入热阻影响;排管中不同孔

位的电缆还应分别计入互热因素的影响。

4 敷设于封闭、半封闭或透气式耐火槽盒中的电缆,应计入包含该型材质及其箱体厚度、尺寸等因素对热阻增大的影响。

5 施加在电缆上的防火涂料、包带等覆盖层厚度大于1.5mm时,应计入其热阻影响。

6 沟内电缆埋砂且无经常性水分补充时,应按砂质情况选取大于 $2.0\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$ 的热阻系数计入电缆热阻增大的影响。

3.7.4 电缆导体工作温度大于 $70^{\circ}\text{C}$ 的电缆,计算持续允许载流量时,应符合下列规定:

1 数量较多的该类电缆敷设于未装机械通风的隧道、竖井时,应计入对环境温升的影响。

2 电缆直埋敷设在干燥或潮湿土壤中,除实施换土处理能避免水分迁移的情况外,土壤热阻系数取值不宜小于 $2.0\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$ 。

3.7.5 电缆持续允许载流量的环境温度,应按使用地区的气象温度多年平均值确定,并应符合表3.7.5的规定。

表 3.7.5 电缆持续允许载流量的环境温度( $^{\circ}\text{C}$ )

电缆敷设场所	有无机械通风	选取的环境温度
土中直埋	—	埋深处的最热月平均地温
水下	—	最热月的日最高水温平均值
户外空气中、电缆沟	—	最热月的日最高温度平均值
有热源设备的厂房	有	通风设计温度
	无	最热月的日最高温度平均值另加 $5^{\circ}\text{C}$
一般性厂房、室内	有	通风设计温度
	无	最热月的日最高温度平均值
户内电缆沟	无	最热月的日最高温度平均值另加 $5^{\circ}\text{C}$
隧道		
隧道	有	通风设计温度

注:当\*属于本规范第3.7.4条1款的情况时,不能直接采取仅加 $5^{\circ}\text{C}$ 。

**3.7.6** 通过不同散热区段的电缆导体截面的选择,应符合下列规定:

1 回路总长未超过电缆制造长度时,应符合下列规定:

- 1)重要回路,全长宜按其中散热较差区段条件选择同一截面。
- 2)非重要回路,可对大于 10m 区段散热条件按段选择截面,但每回路不宜多于 3 种规格。
- 3)水下电缆敷设有机械强度要求需增大截面时,回路全长可选同一截面。

2 回路总长超过电缆制造长度时,宜按区段选择电缆导体截面。

**3.7.7** 对非熔断器保护回路,应按满足短路热稳定条件确定电缆导体允许最小截面,并应按照本规范附录 E 的规定计算。

**3.7.8** 选择短路计算条件,应符合下列规定:

1 计算用系统接线,应采用正常运行方式,且宜按工程建成后 5~10 年发展规划。

2 短路点应选取在通过电缆回路最大短路电流可能发生处。

3 宜按三相短路计算。

4 短路电流的作用时间,应取保护动作时间与断路器开断时间之和。对电动机等直馈线,保护动作时间应取主保护时间;其他情况,宜取后备保护时间。

**3.7.9** 1kV 以下电源中性点直接接地时,三相四线制系统的电缆中性线截面,不得小于按线路最大不平衡电流持续工作所需最小截面;有谐波电流影响的回路,尚宜符合下列规定:

1 气体放电灯为主要负荷的回路,中性线截面不宜小于相芯线截面。

2 除上述情况外,中性线截面不宜小于 50% 的相芯线截面。

**3.7.10** 1kV 以下电源中性点直接接地时,配置保护接地线、中性线或保护接地中性线系统的电缆导体截面的选择,应符合下列

规定：

1 中性线、保护接地中性线的截面，应符合本规范第 3.7.9 条的规定；配电干线采用单芯电缆作保护接地中性线时，截面应符合下列规定：

- 1) 铜导体，不小于  $10\text{mm}^2$ ；
- 2) 铝导体，不小于  $16\text{mm}^2$ 。

2 保护地线的截面，应满足回路保护电器可靠动作的要求，并应符合表 3.7.10 的规定。

表 3.7.10 按热稳定要求的保护地线允许最小截面 ( $\text{mm}^2$ )

电缆相芯线截面	保护地线允许最小截面
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S \leq 400$	S/2
$400 < S \leq 800$	200
$S > 800$	S/4

注：S 为电缆相芯线截面。

3 采用多芯电缆的干线，其中性线和保护地线合一的导体，截面不应小于  $4\text{mm}^2$ 。

3.7.11 交流供电回路由多根电缆并联组成时，各电缆宜等长，并应采用相同材质、相同截面的导体；具有金属套的电缆，金属材质和构造截面也应相同。

3.7.12 电力电缆金属屏蔽层的有效截面，应满足在可能的短路电流作用下温升值不超过绝缘与外护层的短路允许最高温度平均值。

## 4 电缆附件的选择与配置

### 4.1 一般规定

4.1.1 电缆终端的装置类型的选择,应符合下列规定:

1 电缆与六氟化硫全封闭电器直接相连时,应采用封闭式GIS终端。

2 电缆与高压变压器直接相连时,应采用象鼻式终端。

3 电缆与电器相连且具有整体式插接功能时,应采用可分离式(插接式)终端。

4 除上述情况外,电缆与其他电器或导体相连时,应采用敞开式终端。

4.1.2 电缆终端构造类型的选择,应按满足工程所需可靠性、安装与维护简便和经济合理等因素综合确定,并应符合下列规定:

1 与充油电缆相连的终端,应耐受可能的最高工作油压。

2 与六氟化硫全封闭电器相连的GIS终端,其接口应相互配合;GIS终端应具有与SF<sub>6</sub>气体完全隔离的密封结构。

3 在易燃、易爆等不允许有火种场所的电缆终端,应选用无明火作业的构造类型。

4 220kV及以上XLPE电缆选用的终端型式,应通过该型终端与电缆连成整体的标准性资格试验考核。

5 在多雨且污秽或盐雾较重地区的电缆终端,宜具有硅橡胶或复合式套管。

6 66~110kV XLPE电缆户外终端宜选用全干式预制型。

4.1.3 电缆终端绝缘特性的选择,应符合下列规定:

1 终端的额定电压及其绝缘水平,不得低于所连接电缆额定电压及其要求的绝缘水平。

2 终端的外绝缘,必须符合安置处海拔高程、污秽环境条件所需爬电比距的要求。

4.1.4 电缆终端的机械强度,应满足安置处引线拉力、风力和地震力作用的要求。

4.1.5 电缆接头的装置类型的选择,应符合下列规定:

1 自容式充油电缆线路高差超过本规范第 3.5.2 条的规定,且需分隔油路时,应采用塞止接头。

2 电缆线路距离超过电缆制造长度,且除本条第 3 款情况外,应采用直通接头。

3 单芯电缆线路较长以交叉互联接地的隔断金属层连接部位,除可在金属层上实施有效隔断及其绝缘处理的方式外,其他应采用绝缘接头。

4 电缆线路分支接出的部位,除带分支主干电缆或在电缆网络中应设置有分支箱、环网柜等情况外,其他应采用 T 型接头。

5 三芯与单芯电缆直接相连的部位,应采用转换接头。

6 挤塑绝缘电缆与自容式充油电缆相连的部位,应采用过渡接头。

4.1.6 电缆接头构造类型的选择,应按满足工程所需可靠性、安装与维护简便和经济合理等因素综合确定,并应符合下列规定:

1 海底等水下电缆的接头,应维持钢铠层纵向连续且有足够的机械强度,宜选用软性连接。

2 在可能有水浸泡的设置场所,6kV 及以上 XLPE 电缆接头应具有外包防水层。

3 在不允许有火种场所的电缆接头,不得选用热缩型。

4 220kV 及以上 XLPE 电缆选用的接头,应由该型接头与电缆连成整体的标准性试验确认。

5 66~110kV XLPE 电缆线路可靠性要求较高时,不宜选用包带型接头。

4.1.7 电缆接头的绝缘特性应符合下列规定:

1 接头的额定电压及其绝缘水平,不得低于所连接电缆额定电压及其要求的绝缘水平。

2 绝缘接头的绝缘环两侧耐受电压,不得低于所连接电缆护层绝缘水平的2倍。

4.1.8 电缆终端、接头的布置,应满足安装维修所需的间距,并应符合电缆允许弯曲半径的伸缩节配置的要求,同时应符合下列规定:

1 终端支架构成方式,应利于电缆及其组件的安装;大于1500A的工作电流时,支架构造宜具有防止横向磁路闭合等附加发热措施。

2 邻近电气化交通线路等对电缆金属层有侵蚀影响的地段,接头设置方式宜便于监察维护。

4.1.9 电力电缆金属层必须直接接地。交流系统中三芯电缆的金属层,应在电缆线路两终端和接头等部位实施接地。

4.1.10 交流单芯电力电缆线路的金属层上任一点非直接接地处的正常感应电势计算,宜符合本规范附录F的规定。电缆线路的正常感应电势最大值应满足下列规定:

1 未采取能有效防止人员任意接触金属层的安全措施时,不得大于50V。

2 除上述情况外,不得大于300V。

4.1.11 交流系统单芯电力电缆金属层接地方式的选择,应符合下列规定:

1 线路不长,且能满足本规范第4.1.10条要求时,应采取在线路一端或中央部位单点直接接地(图4.1.11-1)。

2 线路较长,单点直接接地方式无法满足本规范第4.1.10条的要求时,水下电缆、35kV及以下电缆或输送容量较小的35kV以上电缆,可采取在线路两端直接接地(图4.1.11-2)。

3 除上述情况外的长线路,宜划分适当的单元,且在每个单元内按3个长度尽可能均等区段,应设置绝缘接头或实施电缆金

属层的绝缘分隔,以交叉互接地(图 4.1.11-3)。

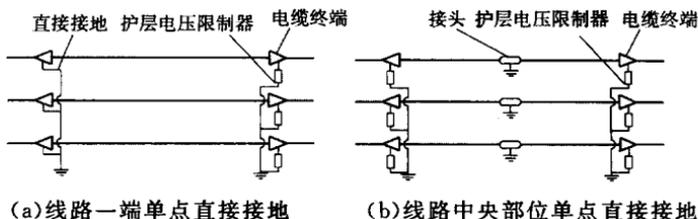


图 4.1.11-1 线路一端或中央部位单点直接接地

注:设置护层电压限制器适合 35kV 以上电缆,  
35kV 电缆需要时可设置,35kV 以下电缆不需设置。



图 4.1.11-2 线路两端直接接地

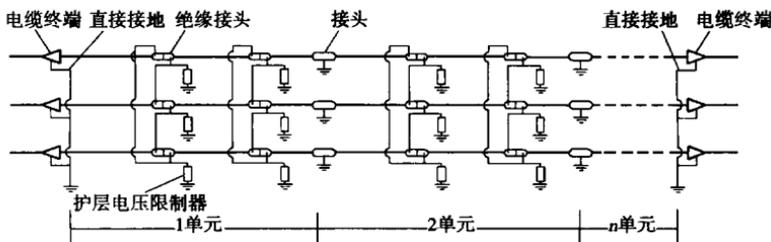


图 4.1.11-3 交叉互接地

注:图中护层电压限制器配置示例按 Y<sub>0</sub> 接线。

**4.1.12 交流系统单芯电力电缆及其附件的外护层绝缘等部位,应设置过电压保护,并应符合下列规定:**

1 35kV 以上单芯电力电缆的外护层、电缆直连式 GIS 终端的绝缘筒,以及绝缘接头的金属层绝缘分隔部位,当其耐压水平低

于可能的暂态过电压时,应添加保护措施,且宜符合下列规定:

- 1)单点直接接地的电缆线路,在其金属层电气通路的末端,应设置护层电压限制器。
- 2)交叉互联接地的电缆线路,每个绝缘接头应设置护层电压限制器。线路终端非直接接地时,该终端部位应设置护层电压限制器。
- 3)GIS 终端的绝缘筒上,宜跨接护层电压限制器或电容器。

2 35kV 单芯电力电缆金属层单点直接接地,且有增强护器绝缘保护需要时,可在线路未接地的终端设置护层电压限制器。

**4.1.13 护层电压限制器参数的选择,应符合下列规定:**

1 可能最大冲击电流作用下护层电压限制器的残压,不得大于电缆护层的冲击耐压被 1.4 所除数值。

2 系统短路时产生的最大工频感应过电压作用下,在可能长的切除故障时间内,护层电压限制器应能耐受。切除故障时间应按 5s 以内计算。

3 可能最大冲击电流累积作用 20 次后,护层电压限制器不得损坏。

**4.1.14 护层电压限制器的配置连接,应符合下列规定:**

1 护层电压限制器配置方式,应按暂态过电压抑制效果、满足工频感应过电压下参数匹配、便于监察维护等因素综合确定,并应符合下列规定:

- 1)交叉互联线路中绝缘接头处护层电压限制器的配置及其连接,可采取桥形非接地 $\Delta$ 、 $Y_0$ 或桥形接地等三相接线方式。
- 2)交叉互联线路未接地的电缆终端、单点直接接地的电缆线路,宜采取  $Y_0$  接线方式配置护层电压限制器。

2 护层电压限制器连接回路,应符合下列规定:

- 1)连接线应尽量短,其截面应满足系统最大暂态电流通过时的热稳定要求。

2) 连接回路的绝缘导线、隔离刀闸等装置的绝缘性能,不得低于电缆外护层绝缘水平。

3) 护层电压限制器接地箱的材质及其防护等级应满足其使用环境的要求。

**4.1.15** 交流系统 110kV 及以上单芯电缆金属层单点直接接地时,下列任一情况下,应沿电缆邻近设置平行回流线。

1 系统短路时电缆金属层产生的工频感应电压,超过电缆护层绝缘耐受强度或护层电压限制器的工频耐压。

2 需抑制电缆邻近弱电线路的电气干扰强度。

**4.1.16** 回流线的选择与设置,应符合下列规定:

1 回流线的阻抗及其两端接地电阻,应达到抑制电缆金属层工频感应过电压,并应使其截面满足最大暂态电流作用下的热稳定要求。

2 回流线的排列配置方式,应保证电缆运行时在回流线上产生的损耗最小。

3 电缆线路任一终端设置在发电厂、变电所时,回流线应与电源中性线接地的接地网连通。

**4.1.17** 重要回路且可能有过热部位的高压电缆线路,宜设置温度检测装置。

**4.1.18** 重要交流单芯高压电缆金属层单点直接接地或交叉互联接地时,该电缆线路宜设置护层绝缘监察装置。

## **4.2 自容式充油电缆的供油系统**

**4.2.1** 自容式充油电缆必须接有供油装置。供油装置的选择,应保证电缆工作的油压变化符合下列规定:

1 冬季最低温度空载时,电缆线路最高部位油压不得小于容许最低工作油压。

2 夏季最高温度满载时,电缆线路最低部位油压不得大于容许最高工作油压。

3 夏季最高温度突增至额定满载时,电缆线路最低部位或供油装置区间长度一半部位的油压不宜大于容许最高暂态油压。

4 冬季最低温度从满载突然切除时,电缆线路最高部位或供油装置区间长度一半部位的油压不得小于容许最低工作油压。

4.2.2 自容式充油电缆的容许最低工作油压,必须满足维持电缆电气性能的要求;容许最高工作油压、暂态油压,应符合电缆耐受机械强度的能力,并应符合下列规定:

1 容许最低工作油压不得小于 0.02MPa。

2 铅包、铜带径向加强层构成的电缆,容许最高工作油压不得大于 0.4MPa;用于重要回路时不宜大于 0.3MPa。

3 铅包、铜带径向与纵向加强层构成的电缆,容许最高工作油压不得大于 0.8MPa;用于重要回路时不宜大于 0.6MPa。

4 容许最高暂态油压,可按 1.5 倍容许最高工作油压计算。

4.2.3 供油装置的选择,应保证可能供油量大于电缆需要供油量,并应符合下列规定:

1 供油装置可采用压力油箱。压力油箱的可能供油量,宜按夏季高温满载、冬季低温空载等电缆可能有的工况下油压最大变化范围条件确定。

2 电缆需要的供油量,应计入负荷电流和环境温度变化所引起电缆线路本体及其附件的油量变化总和。

3 供油装置的供油量,宜有 40% 的裕度。

4 电缆线路一端供油且每相仅一台工作供油箱时,对重要回路应另设一台备用供油箱;当每相配有两台及以上工作供油箱时,可不设置备用供油箱。

4.2.4 供油箱的配置,应符合下列规定:

1 宜按相分别配置。

2 一端供油方式且电缆线路两端有较大高差时,宜配置在较高地位的一端。

3 线路较长且一端供油无法满足容许暂态油压要求时,可配

置在电缆线路两端或油路分段的两端。

**4.2.5** 供油系统及其布置,应保证管路较短、部件数量紧凑,并应符合下列规定:

1 按相设置多台供油箱时,应并联连接。

2 供油管的管径不得小于电缆油道管径,宜选用含有塑料或橡皮绝缘护套的铜管。

3 供油管应经一段不低于电缆护层绝缘强度的耐油性绝缘管再与终端或塞止接头相连。

4 在可能发生不均匀沉降或位移的土质地方,供油箱与终端的基础应整体相连。

5 户外供油箱宜设置遮阳措施。环境温度低于供油箱工作容许最低温度时,应采取加热等改善措施。

**4.2.6** 供油系统应按相设置油压过低、过高越限报警功能的监察装置,并应保证油压事故信号可靠地传到运行值班处。

## 5 电缆敷设

### 5.1 一般规定

5.1.1 电缆的路径选择,应符合下列规定:

- 1 应避免电缆遭受机械性外力、过热、腐蚀等危害。
- 2 满足安全要求条件下,应保证电缆路径最短。
- 3 应便于敷设、维护。
- 4 宜避开将要挖掘施工的地方。
- 5 充油电缆线路通过起伏地形时,应保证供油装置合理配置。

5.1.2 电缆在任何敷设方式及其全部路径条件的上下左右改变部位,均应满足电缆允许弯曲半径要求。

电缆的允许弯曲半径,应符合电缆绝缘及其构造特性的要求。对自容式铅包充油电缆,其允许弯曲半径可按电缆外径的 20 倍计算。

5.1.3 同一通道内电缆数量较多时,若在同一侧的多层支架上敷设,应符合下列规定:

- 1 应按电压等级由高至低的电力电缆、强电至弱电的控制和信号电缆、通讯电缆“由上而下”的顺序排列。

当水平通道中含有 35kV 以上高压电缆,或为满足引入柜盘的电缆符合允许弯曲半径要求时,宜按“由下而上”的顺序排列。

在同一工程中或电缆通道延伸于不同工程的情况,均应按相同的上下排列顺序配置。

- 2 支架层数受通道空间限制时,35kV 及以下的相邻电压级电力电缆,可排列于同一层支架上;1kV 及以下电力电缆也可与强电控制和信号电缆配置在同一层支架上。

- 3 同一重要回路的工作与备用电缆实行耐火分隔时,应配置

在不同层的支架上。

**5.1.4** 同一层支架上电缆排列的配置,宜符合下列规定:

1 控制和信号电缆可紧靠或多层叠置。

2 除交流系统用单芯电力电缆的同一回路可采取品字形(三叶形)配置外,对重要的同一回路多根电力电缆,不宜叠置。

3 除交流系统用单芯电缆情况外,电力电缆的相互间宜有1倍电缆外径的空隙。

**5.1.5** 交流系统用单芯电力电缆的相序配置及其相间距离,应同时满足电缆金属护层的正常感应电压不超过允许值,并宜保证按持续工作电流选择电缆截面小的原则确定。

未呈品字形配置的单芯电力电缆,有两回线及以上配置在同一通路时,应计入相互影响。

**5.1.6** 交流系统用单芯电力电缆与公用通讯线路相距较近时,宜维持技术经济上有利的电缆路径,必要时可采取下列抑制感应电势的措施:

1 使电缆支架形成电气通路,且计入其他并行电缆抑制因素的影响。

2 对电缆隧道的钢筋混凝土结构实行钢筋网焊接连通。

3 沿电缆线路适当附加并行的金属屏蔽线或罩盒等。

**5.1.7** 明敷的电缆不宜平行敷设在热力管道的上部。电缆与管道之间无隔板防护时的允许距离,除城市公共场所应按现行国家标准《城市工程管线综合规划规范》GB 50289 执行外,尚应符合表 5.1.7 的规定。

**表 5.1.7 电缆与管道之间无隔板防护时的允许距离(mm)**

电缆与管道之间走向		电力电缆	控制和信号电缆
热力管道	平行	1000	500
	交叉	500	250
其他管道	平行	150	100

**5.1.8** 抑制电气干扰强度的弱电回路控制和信号电缆,除应符合本规范第 3.6.6~3.6.9 条的规定外,当需要时可采取下列措施:

1 与电力电缆并行敷设时相互间距,在可能范围内宜远离;对电压高、电流大的电力电缆间距宜更远。

2 敷设于配电装置内的控制和信号电缆,与耦合电容器或电容式电压互感、避雷器或避雷针接地处的距离,宜在可能范围内远离。

3 沿控制和信号电缆可平行敷设屏蔽线,也可将电缆敷设于钢制管或盒中。

**5.1.9** 在隧道、沟、浅槽、竖井、夹层等封闭式电缆通道中,不得布置热力管道,严禁有易燃气体或易燃液体的管道穿越。

**5.1.10** 爆炸性气体危险场所敷设电缆,应符合下列规定:

1 在可能范围应保证电缆距爆炸释放源较远,敷设在爆炸危险较小的场所,并应符合下列规定:

1) 易燃气体比空气重时,电缆应埋地或在较高处架空敷设,且对非铠装电缆采取穿管或置于托盘、槽盒中等机械性保护。

2) 易燃气体比空气轻时,电缆应敷设在较低处的管、沟内,沟内非铠装电缆应埋砂。

2 电缆在空气中沿输送易燃气体的管道敷设时,应配置在危险程度较低的管道一侧,并应符合下列规定:

1) 易燃气体比空气重时,电缆宜配置在管道上方。

2) 易燃气体比空气轻时,电缆宜配置在管道下方。

3 电缆及其管、沟穿过不同区域之间的墙、板孔洞处,应采用非燃性材料严密堵塞。

4 电缆线路中不应有接头;如采用接头时,必须具有防爆性。

**5.1.11** 用于下列场所、部位的非铠装电缆,应采用具有机械强度的管或罩加以保护:

1 非电气人员经常活动场所的地坪以上 2m 内、地中引出的

地坪以下 0.3m 深电缆区段。

2 可能有载重设备移经电缆上面的区段。

5.1.12 除架空绝缘型电缆外的非户外型电缆,户外使用时,宜采取罩、盖等遮阳措施。

5.1.13 电缆敷设在有周期性振动的场所,应采取下列措施:

1 在支持电缆部位设置由橡胶等弹性材料制成的衬垫。

2 使电缆敷设成波浪状且留有伸缩节。

5.1.14 在有行人通过的地坪、堤坝、桥面、地下商业设施的路面,以及通行的隧洞中,电缆不得敞露敷设于地坪或楼梯走道上。

5.1.15 在工厂的风道、建筑物的风道、煤矿里机械提升的除运输机通行的斜井通风巷道或木支架的竖井井筒中,严禁敷设敞露式电缆。

5.1.16 1kV 以下电源直接接地且配置独立分开的中性线和保护地线构成的系统,采用独立于相芯线和中性线以外的电缆作保护地线时,同一回路的该两部分电缆敷设方式,应符合下列规定:

1 在爆炸性气体环境中,应敷设在同一路径的同一结构管、沟或盒中。

2 除上述情况外,宜敷设在同一路径的同一构筑物中。

5.1.17 电缆的计算长度,应包括实际路径长度与附加长度。附加长度,宜计入下列因素:

1 电缆敷设路径地形等高差变化、伸缩节或迂回备用裕量。

2 35kV 及以上电缆蛇形敷设时的弯曲状影响增加量。

3 终端或接头制作所需剥截电缆的预留段、电缆引至设备或装置所需的长度。35kV 及以下电缆敷设度量时的附加长度,应符合本规范附录 G 的规定。

5.1.18 电缆的订货长度,应符合下列规定:

1 长距离的电缆线路,宜采用计算长度作为订货长度。

对 35kV 以上单芯电缆,应按相计算;线路采取交叉互联等分段连接方式时,应按段开列。

2 对 35kV 及以下电缆用于非长距离时,宜计及整盘电缆中截取后不能利用其剩余段的因素,按计算长度计入 5%~10% 的裕量,作为同型号规格电缆的订货长度。

3 水下敷设电缆的每盘长度,不宜小于水下段的敷设长度。有困难时,可含有工厂制的软接头。

## 5.2 敷设方式选择

5.2.1 电缆敷设方式的选择,应视工程条件、环境特点和电缆类型、数量等因素,以及满足运行可靠、便于维护和技术经济合理的要求选择。

5.2.2 电缆直埋敷设方式的选择,应符合下列规定:

1 同一通路少于 6 根的 35kV 及以下电力电缆,在厂区通往远距离辅助设施或城郊等不易经常性开挖的地段,宜采用直埋;在城镇人行道下较易翻修情况或道路边缘,也可采用直埋。

2 厂区内地下管网较多的地段,可能有熔化金属、高温液体溢出的场所,待开发有较频繁开挖的地方,不宜采用直埋。

3 在化学腐蚀或杂散电流腐蚀的土壤范围内,不得采用直埋。

5.2.3 电缆穿管敷设方式的选择,应符合下列规定:

1 在有爆炸危险场所明敷的电缆,露出地坪上需加以保护的电缆,以及地下电缆与公路、铁道交叉时,应采用穿管。

2 地下电缆通过房屋、广场的区段,以及电缆敷设在规划中将成为道路的地段时,宜采用穿管。

3 在地下管网较密的工厂区、城市道路狭窄且交通繁忙或道路挖掘困难的通道等电缆数量较多时,可采用穿管。

5.2.4 下列场所宜采用浅槽敷设方式:

1 地下水位较高的地方。

2 通道中电力电缆数量较少,且在不定期有载重车通过的户外配电装置等场所。

**5.2.5** 电缆沟敷设方式的选择,应符合下列规定:

1 在化学腐蚀液体或高温熔化金属溢流的场所,或在载重车辆频繁经过的地段,不得采用电缆沟。

2 经常有工业水溢流、可燃粉尘弥漫的厂房内,不宜采用电缆沟。

3 在厂区、建筑物内地下电缆数量较多但不需要采用隧道,城镇人行道开挖不便且电缆需分期敷设,同时不属于上述情况时,宜采用电缆沟。

4 有防爆、防火要求的明敷电缆,应采用埋砂敷设的电缆沟。

**5.2.6** 电缆隧道敷设方式的选择,应符合下列规定:

1 同一通道的地下电缆数量多,电缆沟不足以容纳时应采用隧道。

2 同一通道的地下电缆数量较多,且位于有腐蚀性液体或经常有地面水溢流的场所,或含有 35kV 以上高压电缆以及穿越公路、铁道等地段,宜采用隧道。

3 受城镇地下通道条件限制或交通流量较大的道路下,与较多电缆沿同一路径有非高温的水、气和通讯电缆管线共同配置时,可在公用性隧道中敷设电缆。

**5.2.7** 垂直走向的电缆,宜沿墙、柱敷设;当数量较多,或含有 35kV 以上高压电缆时,应采用竖井。

**5.2.8** 电缆数量较多的控制室、继电保护室等处,宜在其下部设置电缆夹层。电缆数量较少时,也可采用有活动盖板的电缆层。

**5.2.9** 在地下水位较高的地方,化学腐蚀液体溢流的场所,厂房内应采用支持式架空敷设。建筑物或厂区不宜地下敷设时,可采用架空敷设。

**5.2.10** 明敷且不宜采用支持式架空敷设的地方,可采用悬挂式架空敷设。

**5.2.11** 通过河流、水库的电缆,无条件利用桥梁、堤坝敷设时,可采用水下敷设。

**5.2.12** 厂房内架空桥架敷设方式不宜设置检修通道,城市电缆线路架空桥架敷设方式可设置检修通道。

### **5.3 地下直埋敷设**

**5.3.1** 直埋敷设电缆的路径选择,宜符合下列规定:

1 应避免含有酸、碱强腐蚀或杂散电流电化学腐蚀严重影响的地段。

2 无防护措施时,宜避开白蚁危害地带、热源影响和易遭外力损伤的区段。

**5.3.2** 直埋敷设电缆方式,应符合下列规定:

1 电缆应敷设于壕沟里,并应沿电缆全长的上、下紧邻侧铺以厚度不小于100mm的软土或砂层。

2 沿电缆全长应覆盖宽度不小于电缆两侧各50mm的保护板,保护板宜采用混凝土。

3 城镇电缆直埋敷设时,宜在保护板上层铺设醒目标志带。

4 位于城郊或空旷地带,沿电缆路径的直线间隔100m、转弯处和接头部位,应竖立明显的方位标志或标桩。

5 当采用电缆穿波纹管敷设于壕沟时,应沿波纹管顶全长浇注厚度不小于100mm的素混凝土,宽度不应小于管外侧50mm,电缆可不含铠装。

**5.3.3** 直埋敷设于非冻土地区时,电缆埋置深度应符合下列规定:

1 电缆外皮至地下构筑物基础,不得小于0.3m。

2 电缆外皮至地面深度,不得小于0.7m;当位于行车道或耕地地下时,应适当加深,且不宜小于1.0m。

**5.3.4** 直埋敷设于冻土地区时,宜埋入冻土层以下;当无法深埋时可埋设在土壤排水性好的干燥冻土层或回填土中,也可采取其他防止电缆受到损伤的措施。

**5.3.5** 直埋敷设的电缆,严禁位于地下管道的正上方或正下方。

电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间的容许最小距离,应符合表 5.3.5 的规定。

表 5.3.5 电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间的容许最小距离(m)

电缆直埋敷设时的配置情况		平行	交叉
控制电缆之间		—	0.5 <sup>①</sup>
电力电缆之间或与 控制电缆之间	10kV 及以下电力电缆	0.1	0.5 <sup>①</sup>
	10kV 以上电力电缆	0.25 <sup>②</sup>	0.5 <sup>①</sup>
不同部门使用的电缆		0.5 <sup>②</sup>	0.5 <sup>①</sup>
电缆与地下管沟	热力管沟	2 <sup>③</sup>	0.5 <sup>①</sup>
	油管或易(可)燃气管道	1	0.5 <sup>①</sup>
	其他管道	0.5	0.5 <sup>①</sup>
电缆与铁路	非直流电气化铁路路轨	3	1.0
	直流电气化铁路路轨	10	1.0
电缆与建筑物基础		0.6 <sup>③</sup>	—
电缆与公路边		1.0 <sup>③</sup>	—
电缆与排水沟		1.0 <sup>②</sup>	—
电缆与树木的主干		0.7	—
电缆与 1kV 以下架空线电杆		1.0 <sup>③</sup>	—
电缆与 1kV 以上架空线杆塔基础		4.0 <sup>③</sup>	—

注:①用隔板分隔或电缆穿管时不得小于 0.25m;

②用隔板分隔或电缆穿管时不得小于 0.1m;

③特殊情况时,减小值不得大于 50%。

5.3.6 直埋敷设的电缆与铁路、公路或街道交叉时,应穿保护管,保护范围应超出路基、街道路面两边以及排水沟边 0.5m 以上。

5.3.7 直埋敷设的电缆引入构筑物,在贯穿墙孔处应设置保护管,管口应实施阻水堵塞。

5.3.8 直埋敷设电缆的接头配置,应符合下列规定:

- 1 接头与邻近电缆的净距,不得小于 0.25m。
- 2 并列电缆的接头位置宜相互错开,且净距不宜小于 0.5m。

3 斜坡地形处的接头安置,应呈水平状。

4 重要回路的电缆接头,宜在其两侧约 1.0m 开始的局部段,按留有备用量方式敷设电缆。

**5.3.9** 直埋敷设电缆采取特殊换土回填时,回填土的土质应对电缆外护层无腐蚀性。

## 5.4 保护管敷设

**5.4.1** 电缆保护管内壁应光滑无毛刺。其选择,应满足使用条件所需的机械强度和耐久性,且应符合下列规定:

1 需采用穿管抑制对控制电缆的电气干扰时,应采用钢管。

2 交流单芯电缆以单根穿管时,不得采用未分隔磁路的钢管。

**5.4.2** 部分和全部露出在空气中的电缆保护管的选择,应符合下列规定:

1 防火或机械性要求高的场所,宜采用钢质管,并应采取涂漆或镀锌包塑等适合环境耐久要求的防腐处理。

2 满足工程条件自熄性要求时,可采用阻燃型塑料管。部分埋入混凝土中等有耐冲击的使用场所,塑料管应具备相应承压能力,且宜采用可挠性的塑料管。

**5.4.3** 地中埋设的保护管,应满足埋深下的抗压和耐环境腐蚀性的要求。管枕配置跨距,宜按管路底部未均匀夯实时满足抗弯矩条件确定;在通过不均匀沉降的回填土地段或地震活动频发地区,管路纵向连接应采用可挠式管接头。

同一通道的电缆数量较多时,宜采用排管。

**5.4.4** 保护管管径与穿过电缆数量的选择,应符合下列规定:

1 每管宜只穿 1 根电缆。除发电厂、变电所等重要性场所外,对一台电动机所有回路或同一设备的低压电动机所有回路,可在每管合穿不多于 3 根电力电缆或多根控制电缆。

2 管的内径,不宜小于电缆外径或多根电缆包络外径的 1.5

倍。排管的管孔内径,不宜小于 75mm。

#### 5.4.5 单根保护管使用时,宜符合下列规定:

1 每根电缆保护管的弯头不宜超过 3 个,直角弯不宜超过 2 个。

2 地下埋管距地面深度不宜小于 0.5m;与铁路交叉处距路基不宜小于 1.0m;距排水沟底不宜小于 0.3m。

3 并列管相互间宜留有不小于 20mm 的空隙。

#### 5.4.6 使用排管时,应符合下列规定:

1 管孔数宜按发展预留适当备用。

2 导体工作温度相差大的电缆,宜分别配置于适当间距的不同排管组。

3 管路顶部土壤覆盖厚度不宜小于 0.5m。

4 管路应置于经整平夯实土层且有足以保持连续平直的垫块上;纵向排水坡度不宜小于 0.2%。

5 管路纵向连接处的弯曲度,应符合牵引电缆时不致损伤的要求。

6 管孔端口应采取防止损伤电缆的处理措施。

#### 5.4.7 较长电缆管路中的下列部位,应设置工作井:

1 电缆牵引张力限制的间距处。电缆穿管敷设时容许最大管长的计算方法,宜符合本规范附录 H 的规定。

2 电缆分支、接头处。

3 管路方向较大改变或电缆从排管转入直埋处。

4 管路坡度较大且需防止电缆滑落的必要加强固定处。

## 5.5 电缆构筑物敷设

5.5.1 电缆构筑物的尺寸应按容纳的全部电缆确定,电缆的配置应无碍安全运行,满足敷设施工作业与维护巡视活动所需空间,并应符合下列规定:

1 隧道内通道净高不宜小于 1900mm;在较短的隧道中与其

他管沟交叉的局部段,净高可降低,但不应小于1400mm。

2 封闭式工作井的净高不宜小于1900mm。

3 电缆夹层室的净高不得小于2000mm,但不宜大于3000mm。民用建筑的电缆夹层净高可稍降低,但在电缆配置上供人员活动的短距离空间不得小于1400mm。

4 电缆沟、隧道或工作井内通道的净宽,不宜小于表5.5.1所列值。

表 5.5.1 电缆沟、隧道或工作井内通道的净宽(mm)

电缆支架 配置方式	具有下列沟深的电缆沟			开挖式隧道或 封闭式工作井	非开挖式隧道
	<600	600~1000	>1000		
两侧	300*	500	700	1000	800
单侧	300*	450	600	900	800

注: \* 浅沟内可不设置支架,勿需有通道。

5.5.2 电缆支架、梯架或托盘的层间距离,应满足能方便地敷设电缆及其固定、安置接头的要求,且在多根电缆同置于一层情况下,可更换或增设任一根电缆及其接头。

在采用电缆截面或接头外径尚非很大的情况下,符合上述要求的电缆支架、梯架或托盘的层间距离的最小值,可取表5.5.2所列值。

表 5.5.2 电缆支架、梯架或托盘的层间距离的最小值(mm)

电缆电压级和类型、敷设特征		普通支架、吊架	桥 架
控制电缆明敷		120	200
电力 电缆 明敷	6kV 以下	150	250
	6~10kV 交联聚乙烯	200	300
	35kV 单芯	250	300
	35kV 三芯	300	350
	110~220kV、每层1根以上		
330kV、500kV		350	400
电缆敷设于槽盒中		$h+80$	$h+100$

注:  $h$  为槽盒外壳高度。

**5.5.3** 水平敷设时电缆支架的最上层、最下层布置尺寸,应符合下列规定:

1 最上层支架距构筑物顶板或梁底的净距允许最小值,应满足电缆引接至上侧柜盘时的允许弯曲半径要求,且不宜小于表 5.5.2 所列数再加 80~150mm 的和值。

2 最上层支架距其他设备的净距,不应小于 300mm;当无法满足时应设置防护板。

3 最下层支架距地坪、沟道底部的最小净距,不宜小于表 5.5.3 所列值。

**表 5.5.3 最下层支架距地坪、沟道底部的最小净距(mm)**

电缆敷设场所及其特征		垂直净距
电缆沟		50
隧道		100
电缆夹层	非通道处	200
	至少在一侧不小于 800mm 宽通道处	1400
公共廊道中电缆支架无围栏防护		1500
厂房内		2000
厂房外	无车辆通过	2500
	有车辆通过	4500

**5.5.4** 电缆构筑物应满足防止外部进水、渗水的要求,且应符合下列规定:

1 对电缆沟或隧道底部低于地下水位、电缆沟与工业水管沟并行邻近、隧道与工业水管沟交叉时,宜加强电缆构筑物防水处理。

2 电缆沟与工业水管沟交叉时,电缆沟宜位于工业水管沟的上方。

3 在不影响厂区排水的情况下,厂区户外电缆沟的沟壁宜高出地坪。

**5.5.5** 电缆构筑物应实现排水畅通,且应符合下列规定:

1 电缆沟、隧道的纵向排水坡度,不得小于 0.5%。

2 沿排水方向适当距离宜设置集水井及其泄水系统,必要时应实施机械排水。

3 隧道底部沿纵向宜设置泄水边沟。

**5.5.6** 电缆沟沟壁、盖板及其材质构成,应满足承受荷载和适合环境耐久的要求。

可开启的沟盖板的单块重量,不宜超过 50kg。

**5.5.7** 电缆隧道、封闭式工作井应设置安全孔,安全孔的设置应符合下列规定:

1 沿隧道纵长不应少于 2 个。在工业性厂区或变电所内隧道的安全孔间距不宜大于 75m。在城镇公共区域开挖式隧道的安全孔间距不宜大于 200m,非开挖式隧道的安全孔间距可适当增大,且应根据隧道埋深和结合电缆敷设、通风、消防等综合确定。

隧道首末端无安全门时,宜在不大于 5m 处设置安全孔。

2 对封闭式工作井,应在顶盖板处设置 2 个安全孔。位于公共区域的工作井,安全孔井盖的设置宜使非专业人员难以启开。

3 安全孔至少应有一处适合安装机具和安置设备的搬运,供人出入的安全孔直径不得小于 700mm。

4 安全孔内应设置爬梯,通向安全门应设置步道或楼梯等设施。

5 在公共区域露出地面的安全孔设置部位,宜避开公路、轻轨,其外观宜与周围环境景观相协调。

**5.5.8** 高落差地段的电缆隧道中,通道不宜呈阶梯状,且纵向坡度不宜大于 15°,电缆接头不宜设置在倾斜位置上。

**5.5.9** 电缆隧道宜采取自然通风。当有较多电缆导体工作温度持续达到 70℃ 以上或其他影响环境温度显著升高时,可装设机械通风,但机械通风装置应在一旦出现火灾时能可靠地自动关闭。

长距离的隧道,宜适当分区段实行相互独立的通风。

**5.5.10** 非拆卸式电缆竖井中,应有人员活动的空间,且宜符合下列规定:

1 未超过 5m 高时,可设置爬梯,且活动空间不宜小于 800mm×800mm。

2 超过 5m 高时,宜设置楼梯,且每隔 3m 宜设置楼梯平台。

3 超过 20m 高且电缆数量多或重要性要求较高时,可设置简易式电梯。

## 5.6 其他公用设施中敷设

**5.6.1** 通过木质结构的桥梁、码头、栈道等公用构筑物,用于重要的木质建筑设施的非矿物绝缘电缆时,应敷设在不可燃性的保护管或槽盒中。

**5.6.2** 交通桥梁上、隧洞中或地下商场等公共设施的电缆,应具有防止电缆着火危害、避免外力损伤的可靠措施,并应符合下列规定:

1 电缆不得明敷在通行的路面上。

2 自容式充油电缆在沟槽内敷设时应埋砂,在保护管内敷设时,保护管应采用非导磁的不可燃性材质的刚性保护管。

3 非矿物绝缘电缆用在无封闭式通道时,宜敷设在不可燃性的保护管或槽盒中。

**5.6.3** 公路、铁道桥梁上的电缆,应采取防止振动、热伸缩以及风力影响下金属套因长期应力疲劳导致断裂的措施,并应符合下列规定:

1 桥墩两端和伸缩缝处,电缆应充分松弛。当桥梁中有挠角部位时,宜设置电缆迂回补偿装置。

2 35kV 以上大截面电缆宜采用蛇形敷设。

3 经常受到振动的直线敷设电缆,应设置橡皮、砂袋等弹性衬垫。

## 5.7 水下敷设

**5.7.1** 水下电缆路径的选择,应满足电缆不易受机械性损伤、能实施可靠防护、敷设作业方便、经济合理等要求,且应符合下列规定:

1 电缆宜敷设在河床稳定、流速较缓、岸边不易被冲刷、海底无石山或沉船等障碍、少有沉锚和拖网渔船活动的水域。

2 电缆不宜敷设在码头、渡口、水工构筑物附近,且不宜敷设在疏浚挖泥区和规划筑港地带。

**5.7.2** 水下电缆不得悬空于水中,应埋置于水底。在通航水道等需防范外部机械力损伤的水域,电缆应埋置于水底适当深度的沟槽中,并应加以稳固覆盖保护;浅水区的埋深不宜小于0.5m,深水航道的埋深不宜小于2m。

**5.7.3** 水下电缆严禁交叉、重叠。相邻的电缆应保持足够的安全间距,且应符合下列规定:

1 主航道内,电缆间距不宜小于平均最大水深的1.2倍。引至岸边间距可适当缩小。

2 在非通航的流速未超过1m/s的小河中,同回路单芯电缆间距不得小于0.5m,不同回路电缆间距不得小于5m。

3 除上述情况外,应按水的流速和电缆埋深等因素确定。

**5.7.4** 水下的电缆与工业管道之间的水平距离,不宜小于50m;受条件限制时,不得小于15m。

**5.7.5** 水下电缆引至岸上的区段,应采取适合敷设条件的防护措施,且应符合下列规定:

1 岸边稳定时,应采用保护管、沟槽敷设电缆,必要时可设置工作井连接,管沟下端宜置于最低水位下不小于1m处。

2 岸边未稳定时,宜采取迂回形式敷设以预留适当备用长度的电缆。

**5.7.6** 水下电缆的两岸,应设置醒目的警告标志。

## 6 电缆的支持与固定

### 6.1 一般规定

6.1.1 电缆明敷时,应沿全长采用电缆支架、桥架、挂钩或吊绳等支持与固定。最大跨距应符合下列规定:

1 应满足支架件的承载能力和无损电缆的外护层及其导体的要求。

2 应保证电缆配置整齐。

3 应适应工程条件下的布置要求。

6.1.2 直接支持电缆的普通支架(臂式支架)、吊架的允许跨距,宜符合表 6.1.2 所列值。

表 6.1.2 普通支架(臂式支架)、吊架的允许跨距(mm)

电 缆 特 征	敷 设 方 式	
	水 平	垂 直
未含金属套、铠装的全塑小截面电缆	400*	1000
除上述情况外的中、低压电缆	800	1500
35kV 以上高压电缆	1500	3000

注: \* 维持电缆较平直时,该值可增加 1 倍。

6.1.3 35kV 及以下电缆明敷时,应设置适当固定的部位,并应符合下列规定:

1 水平敷设,应设置在电缆线路首、末端和转弯处以及接头的两侧,且宜在直线段每隔不少于 100m 处。

2 垂直敷设,应设置在上、下端和中间适当数量位置处。

3 斜坡敷设,应遵照 1、2 款因地制宜。

4 当电缆间需保持一定间隙时,宜设置在每隔约 10m 处。

5 交流单芯电力电缆,还应满足按短路电动力确定所需予以

固定的间距。

**6.1.4** 35kV 以上高压电缆明敷时,加设固定的部位除应符合本规范第 6.1.3 条的规定外,尚应符合下列规定:

1 在终端、接头或转弯处紧邻部位的电缆上,应设置不少于 1 处的刚性固定。

2 在垂直或斜坡的高位侧,宜设置不少于 2 处的刚性固定;采用钢丝铠装电缆时,还宜使铠装钢丝能夹持住并承受电缆自重引起的拉力。

3 电缆蛇形敷设的每一节距部位,宜采取挠性固定。蛇形转换成直线敷设的过渡部位,宜采取刚性固定。

**6.1.5** 在 35kV 以上高压电缆的终端、接头与电缆连接部位,宜设置伸缩节。伸缩节应大于电缆容许弯曲半径,并应满足金属护层的应变不超出容许值。未设置伸缩节的接头两侧,应采取刚性固定或在适当长度内电缆实施蛇形敷设。

**6.1.6** 电缆蛇形敷设的参数选择,应保证电缆因温度变化产生的轴向热应力、无损充油电缆的纸绝缘,不致对电缆金属套长期使用产生应变疲劳断裂,且宜按允许拘束力条件确定。

**6.1.7** 35kV 以上高压铅包电缆在水平或斜坡支架上的层次位置变化端、接头两端等受力部位,宜采用能适应方位变化且避免棱角的支持方式。可在支架上设置支托件等。

**6.1.8** 固定电缆用的夹具、扎带、捆绳或支托件等部件,应具有表面平滑、便于安装、足够的机械强度和适合使用环境的耐久性。

**6.1.9** 电缆固定用部件的选择,应符合下列规定:

1 除交流单芯电力电缆外,可采用经防腐处理的扁钢制夹具、尼龙扎带或镀塑金属扎带。强腐蚀环境,应采用尼龙扎带或镀塑金属扎带。

2 交流单芯电力电缆的刚性固定,宜采用铝合金等不构成磁性闭合回路的夹具;其他固定方式,可采用尼龙扎带或绳索。

3 不得采用铁丝直接捆扎电缆。

**6.1.10** 交流单芯电力电缆固定部件的机械强度,应验算短路电动力条件。并宜满足下列公式:

$$F \geq \frac{2.05i^2 Lk}{D} \times 10^{-7} \quad (6.1.10-1)$$

对于矩形断面夹具:

$$F = b \cdot h \cdot \sigma \quad (6.1.10-2)$$

式中  $F$ ——夹具、扎带等固定部件的抗张强度(N);

$i$ ——通过电缆回路的最大短路电流峰值(A);

$D$ ——电缆相间中心距离(m);

$L$ ——在电缆上安置夹具、扎带等的相邻跨距(m);

$k$ ——安全系数,取大于2;

$b$ ——夹具厚度(mm);

$h$ ——夹具宽度(mm);

$\sigma$ ——夹具材料允许拉力(Pa),对铝合金夹具, $\sigma$ 取  $80 \times 10^6$ 。

**6.1.11** 电缆敷设于直流牵引的电气化铁道附近时,电缆与金属支持物之间宜设置绝缘衬垫。

## 6.2 电缆支架和桥架

**6.2.1** 电缆支架和桥架,应符合下列规定:

- 1 表面应光滑无毛刺。
- 2 应适应使用环境的耐久稳固。
- 3 应满足所需的承载能力。
- 4 应符合工程防火要求。

**6.2.2** 电缆支架除支持工作电流大于1500A的交流系统单芯电缆外,宜选用钢制。在强腐蚀环境,选用其他材料电缆支架、桥架,应符合下列规定:

- 1 电缆沟中普通支架(臂式支架),可选用耐腐蚀的刚性材料制。

2 电缆桥架组成的梯架、托盘,可选用满足工程条件阻燃性的玻璃钢制。

3 技术经济综合较优时,可选用铝合金制电缆桥架。

**6.2.3 金属制的电缆支架应有防腐处理,且应符合下列规定:**

1 大容量发电厂等密集配置场所或重要回路的钢制电缆桥架,应从一次性防腐处理具有的耐久性,按工程环境和耐久要求,选用合适的防腐处理方式。

在强腐蚀环境,宜采用热浸锌等耐久性较高的防腐处理。

2 型钢制臂式支架,轻腐蚀环境或非重要性回路的电缆桥架,可采用涂漆处理。

**6.2.4 电缆支架的强度,应满足电缆及其附件荷重和安装维护的受力要求,且应符合下列规定:**

1 有可能短暂上人时,计入 900N 的附加集中荷载。

2 机械化施工时,计入纵向拉力、横向推力和滑轮重量等影响。

3 在户外时,计入可能有覆冰、雪和大风的附加荷载。

**6.2.5 电缆桥架的组成结构,应满足强度、刚度及稳定性要求,且应符合下列规定:**

1 桥架的承载能力,不得超过使桥架最初产生永久变形时的最大荷载除以安全系数为 1.5 的数值。

2 梯架、托盘在允许均布承载作用下的相对挠度值,钢制不宜大于 1/200;铝合金制不宜大于 1/300。

3 钢制托臂在允许承载下的偏斜与臂长比值,不宜大于 1/100。

**6.2.6 电缆支架型式的选择,应符合下列规定:**

1 明敷的全塑电缆数量较多,或电缆跨越距离较大、高压电缆蛇形安置方式时,宜选用电缆桥架。

2 除上述情况外,可选用普通支架、吊架。

**6.2.7 电缆桥架型式的选择,应符合下列规定:**

1 需屏蔽外部的电气干扰时,应选用无孔金属托盘加实体盖板。

2 在有易燃粉尘场所,宜选用梯架,最上一层桥架应设置实体盖板。

3 高温、腐蚀性液体或油的溅落等需防护场所,宜选用托盘,最上一层桥架应设置实体盖板。

4 需因地制宜组装时,可选用组装式托盘。

5 除上述情况外,宜选用梯架。

**6.2.8** 梯架、托盘的直线段超过下列长度时,应留有不少于20mm的伸缩缝:

1 钢制 30m。

2 铝合金或玻璃钢制 15m。

**6.2.9** 金属制桥架系统,应设置可靠的电气连接并接地。采用玻璃钢桥架时,应沿桥架全长另敷设专用接地线。

**6.2.10** 振动场所的桥架系统,包括接地部位的螺栓连接处,应装置弹簧垫圈。

**6.2.11** 要求防火的金属桥架,除应符合本规范第7章的规定外,尚应对金属构件外表面施加防火涂层,其防火涂层应符合现行国家标准《电缆防火涂料通用技术条件》GA 181的有关规定。

## 7 电缆防火与阻止延燃

**7.0.1** 对电缆可能着火蔓延导致严重事故的回路、易受外部影响波及火灾的电缆密集场所,应设置适当的阻火分隔,并应按工程重要性、火灾几率及其特点和经济合理等因素,采取下列安全措施:

- 1 实施阻燃防护或阻止延燃。
- 2 选用具有阻燃性的电缆。
- 3 实施耐火防护或选用具有耐火性的电缆。
- 4 实施防火构造。
- 5 增设自动报警与专用消防装置。

**7.0.2** 阻火分隔方式的选择,应符合下列规定:

1 电缆构筑物中电缆引至电气柜、盘或控制屏、台的开孔部位,电缆贯穿隔墙、楼板的孔洞处,工作井中电缆管孔等均应实施阻火封堵。

2 在隧道或重要回路的电缆沟中的下列部位,宜设置阻火墙(防火墙)。

- 1)公用主沟道的分支处。
- 2)多段配电装置对应的沟道适当分段处。
- 3)长距离沟道中相隔约 200m 或通风区段处。
- 4)至控制室或配电装置的沟道入口、厂区围墙处。

3 在竖井中,宜每隔 7m 设置阻火隔层。

**7.0.3** 实施阻火分隔的技术特性,应符合下列规定:

1 阻火封堵、阻火隔层的设置,应按电缆贯穿孔洞状况和条件,采用相适合的防火封堵材料或防火封堵组件。用于电力电缆时,宜使对载流量影响较小;用在楼板竖井孔处时,应能承受巡视人员的荷载。

阻火封堵材料的使用,对电缆不得有腐蚀和损害。

2 阻火墙的构成,应采用适合电缆线路条件的阻火模块、防火封堵板材、防火包等软质材料,且应在可能经受积水浸泡或鼠害作用下具有稳固性。

3 除通向主控室、厂区围墙或长距离隧道中按通风区段分隔的阻火墙部位应设置防火门外,其他情况下,有防止窜燃措施时可不设防火门。防窜燃方式,可在阻火墙紧靠两侧不少于 1m 区段所有电缆上施加防火涂料、包带或设置挡火板等。

4 阻火墙、阻火隔层和阻火封堵的构成方式,应按等效工程条件特征的标准试验,满足耐火极限不低于 1h 的耐火完整性、隔热性要求确定。

当阻火分隔的构成方式不为该材料标准试验的试件装配特征涵盖时,应进行专门的测试论证或采取补加措施;阻火分隔厚度不足时,可沿封堵侧紧靠的约 1m 区段电缆上施加防火涂料或包带。

**7.0.4 非阻燃性电缆用于明敷时,应符合下列规定:**

1 在易受外因波及而着火的场所,宜对该范围内的电缆实施阻燃防护;对重要电缆回路,可在适当部位设置阻火段实施阻止延燃。

阻燃防护或阻火段,可采取在电缆上施加防火涂料、包带;当电缆数量较多时,也可采用阻燃、耐火槽盒或阻火包等。

2 在接头两侧电缆各约 3m 区段和该范围内邻近并行敷设的其他电缆上,宜采用防火包带实施阻止延燃。

**7.0.5 在火灾几率较高、灾害影响较大的场所,明敷方式下电缆的选择,应符合下列规定:**

1 火力发电厂主厂房、输煤系统、燃油系统及其他易燃易爆场所,宜选用阻燃电缆。

2 地下的客运或商业设施等人流密集环境中需增强防火安全的回路,宜选用具有低烟、低毒的阻燃电缆。

3 其他重要的工业与公共设施供配电回路,当需要增强防火安全时,也可选用具有阻燃性或低烟、低毒的阻燃电缆。

#### 7.0.6 阻燃电缆的选用,应符合下列规定:

1 电缆多根密集配置时的阻燃性,应符合现行国家标准《电缆在火焰条件下的燃烧试验 第3部分:成束电线或电缆的燃烧试验方法》GB/T 18380.3的有关规定,并应根据电缆配置情况、所需防止灾难性事故和经济合理的原则,选择适合的阻燃性等级和类别。

2 当确定该等级类阻燃电缆能满足工作条件下有效阻止延燃性时,可减少本规范第7.0.4条的要求。

3 在同一通道中,不宜把非阻燃电缆与阻燃电缆并列配置。

7.0.7 在外部火势作用一定时间内需维持通电的下列场所或回路,明敷的电缆应实施耐火防护或选用具有耐火性的电缆:

1 消防、报警、应急照明、断路器操作直流电源和发电机组紧急停机的保安电源等重要回路。

2 计算机监控、双重化继电保护、保安电源或应急电源等双回路合用同一通道未相互隔离时的其中一个回路。

3 油罐区、钢铁厂中可能有熔化金属溅落等易燃场所。

4 火力发电厂水泵房、化学水处理、输煤系统、油泵房等重要电源的双回供电回路合用同一电缆通道而未相互隔离时的其中一个回路。

5 其他重要公共建筑设施等需有耐火要求的回路。

7.0.8 明敷电缆实施耐火防护方式,应符合下列规定:

1 电缆数量较少时,可采用防火涂料、包带加于电缆上或把电缆穿于耐火管中。

2 同一通道中电缆较多时,宜敷设于耐火槽盒内,且对电力电缆宜采用透气型式,在无易燃粉尘的环境可采用半封闭式,敷设在桥架上的电缆防护区段不长时,也可采用阻火包。

**7.0.9** 耐火电缆用于发电厂等明敷有多根电缆配置中,或位于油管、有熔化金属溅落等可能波及场所时,其耐火性应符合现行国家标准《电线电缆燃烧试验方法 第1部分:总则》GB/T 12666.1中的A类耐火电缆。除上述情况外且为少量电缆配置时,可采用符合现行国家标准《电线电缆燃烧试验方法 第1部分:总则》GB/T 12666.1中的B类耐火电缆。

**7.0.10** 在油罐区、重要木结构公共建筑、高温场所等其他耐火要求高且敷设安装和经济合理时,可采用矿物绝缘电缆。

**7.0.11** 自容式充油电缆明敷在公用廊道、客运隧洞、桥梁等要求实施防火处理时,可采取埋砂敷设。

**7.0.12** 靠近高压电流、电压互感器等含油设备的电缆沟,该区域沟盖板宜密封。

**7.0.13** 在安全性要求较高的电缆密集场所或封闭通道中,宜配备适于环境的可靠动作的火灾自动探测报警装置。

明敷充油电缆的供油系统,宜设置反映喷油状态的火灾自动报警和闭锁装置。

**7.0.14** 在地下公共设施的电缆密集部位、多回充油电缆的终端设置处等安全性要求较高的场所,可装设水喷雾灭火等专用消防设施。

**7.0.15** 电缆用防火阻燃材料产品的选用,应符合下列规定:

1 阻燃性材料应符合现行国家标准《防火封堵材料的性能要求和试验方法》GA 161的有关规定。

2 防火涂料、阻燃包带应分别符合现行国家标准《电缆防火涂料通用技术条件》GA 181和《电缆用阻燃包带》GA 478的有关规定。

3 用于阻止延燃的材料产品,除上述第2款外,尚应按等效工程使用条件的燃烧试验满足有效的自熄性。

4 用于耐火防护的材料产品,应按等效工程使用条件的燃烧试验满足耐火极限不低于1h的要求,且耐火温度不宜低于1000℃。

5 用于电力电缆的阻燃、耐火槽盒,应确定电缆载流能力或有关参数。

6 采用的材料产品应适于工程环境,并应具有耐久可靠性。

## 附录 A 常用电力电缆导体的最高允许温度

表 A 常用电力电缆导体的最高允许温度

电 缆			最高允许温度(℃)	
绝缘类别	型式特征	电压(kV)	持续工作	短路暂态
聚氯乙烯	普通	≤6	70	160
交联聚乙烯	普通	≤500	90	250
自容式充油	普通牛皮纸	≤500	80	160
	半合成纸	≤500	85	160

## 附录 B 10kV 及以下电力电缆 经济电流截面选用方法

**B.0.1** 电缆总成本计算式如下：

电缆线路损耗引起的总成本由线路损耗的能源费用和提供线路损耗的额外供电容量费用两部分组成。

考虑负荷增长率  $a$  和能源成本增长率  $b$ ，电缆总成本计算式如下：

$$C_T = C_1 + I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot F \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$F = N_p \cdot N_c \cdot (\tau \cdot P + D) \Phi / (1 + i/100) \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$\Phi = \sum_{n=1}^N (r^{n-1}) = (1 - r^N) / (1 - r) \quad (\text{B.0.1-3})$$

$$r = (1 + a/100)^2 (1 + b/100) / (1 + i/100) \quad (\text{B.0.1-4})$$

式中  $C_T$ ——电缆总成本(元)；

$C_1$ ——电缆本体及安装成本(元)，由电缆材料费用和安装费两部分组成；

$I_{\max}$ ——第一年导体最大负荷电流(A)；

$R$ ——单位长度的视在交流电阻( $\Omega$ )；

$L$ ——电缆长度(m)；

$F$ ——由计算式(B.0.1-2)定义的辅助量(元/kW)；

$N_p$ ——每回路相线数目，取 3；

$N_c$ ——传输同样型号和负荷值的回路数，取 1；

$\tau$ ——最大负荷损耗时间(h)，即相当于负荷始终保持为最大值，经过  $\tau$  小时后，线路中的电能损耗与实际负荷在线路中引起的损耗相等。可使用最大负荷利用时间( $T$ )近似求  $\tau$  值， $T = 0.85\tau$ ；

$P$ ——电价(元/kW·h),对最终用户取现行电价,对发电企业取发电成本,对供电企业取供电成本;

$D$ ——由于线路损耗额外的供电容量的成本(元/kW·年),可取 252 元/kW·年;

$\Phi$ ——由计算式(B. 0. 1-3)定义的辅助量;

$i$ ——贴现率(%),可取全国现行的银行贷款利率;

$N$ ——经济寿命(年),采用电缆的使用寿命,即电缆从投入使用一直到使用寿命结束整个时间年限;

$r$ ——由计算式(B. 0. 1-4)定义的辅助量;

$a$ ——负荷增长率(%),在选择导体截面时所使用的负荷电流是在该导体截面允许的发热电流之内的,当负荷增长时,有可能会超过该截面允许的发热电流。 $a$  的波动对经济电流密度的影响很小,可忽略不计,取 0;

$b$ ——能源成本增长率(%),取 2%。

## B. 0. 2 电缆经济电流截面计算式如下:

### 1 每相邻截面的 $A_1$ 值计算式:

$$A_1 = (S_{1\text{总投资}} - S_{2\text{总投资}}) / (S_1 - S_2) \text{ (元/m} \cdot \text{mm}^2) \quad (\text{B. 0. 2-1})$$

式中  $S_{1\text{总投资}}$ ——电缆截面为  $S_1$  的初始费用,包括单位长度电缆价格和单位长度敷设费用总和(元/m);

$S_{2\text{总投资}}$ ——电缆截面为  $S_2$  的初始费用,包括单位长度电缆价格和单位长度敷设费用总和(元/m)。

同一种型号电缆的  $A$  值平均值计算式:

$$A = \sum_{n=1}^n A_n / n \text{ (元/m} \cdot \text{mm}^2) \quad (\text{B. 0. 2-2})$$

式中  $n$ ——同一种型号电缆标称截面档次数,截面范围可取 25~300mm<sup>2</sup>。

### 2 电缆经济电流截面计算式:

1)经济电流密度计算式:

$$J = \sqrt{\frac{A}{F \times \rho_{20} \times B \times [1 + \alpha_{20} (\theta_m - 20)] \times 1000}} \quad (\text{B. 0. 2-3})$$

2)电缆经济电流截面计算式:

$$S_j = I_{\max} / J \quad (\text{B. 0. 2-4})$$

式中  $J$ ——经济电流密度(A/mm<sup>2</sup>);

$S_j$ ——经济电缆截面(mm<sup>2</sup>);

$B = (1 + Y_p + Y_s)(1 + \lambda_1 + \lambda_2)$ ,可取平均值 1.0014;

$\rho_{20}$ ——20℃时电缆导体的电阻率( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ),铜芯为  $18.4 \times 10^{-9}$ 、铝芯为  $31 \times 10^{-9}$ ,计算时可分别取 18.4 和 31;

$\alpha_{20}$ ——20℃时电缆导体的电阻温度系数(1/℃),铜芯为 0.00393、铝芯为 0.00403。

**B. 0. 3** 10kV 及以下电力电缆按经济电流截面选择,宜符合下列要求:

1 按照工程条件、电价、电缆成本、贴现率等计算拟选用的 10kV 及以下铜芯或铝芯的聚氯乙烯、交联聚乙烯绝缘等电缆的经济电流密度值。

2 对备用回路的电缆,如备用的电动机回路等,宜按正常使用运行小时数的一半选择电缆截面。对一些长期不使用的回路,不宜按经济电流密度选择截面。

3 当电缆经济电流截面比按热稳定、容许电压降或持续载流量要求的截面小时,则应按热稳定、容许电压降或持续载流量较大要求截面选择。当电缆经济电流截面介于电缆标称截面档次之间,可视其接近程度,选择较接近一档截面,且宜偏小选取。

## 附录 C 10kV 及以下常用电力电缆 允许 100% 持续载流量

**C.0.1** 1~3kV 常用电力电缆允许持续载流量见表 C.0.1-1~表 C.0.1-4。

**表 C.0.1-1** 1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆空气中敷设时允许载流量(A)

绝缘类型		不滴流纸			聚氯乙烯		
护套		有钢铠护套			无钢铠护套		
电缆导体最高工作温度(°C)		80			70		
电缆芯数		单芯	二芯	三芯或四芯	单芯	二芯	三芯或四芯
电 缆 导 体 截 面  (mm <sup>2</sup> )	2.5	—	—	—	—	18	15
	4	—	30	26	—	24	21
	6	—	40	35	—	31	27
	10	—	52	44	—	44	38
	16	—	69	59	—	60	52
	25	116	93	79	95	79	69
	35	142	111	98	115	95	82
	50	174	138	116	147	121	104
	70	218	174	151	179	147	129
	95	267	214	182	221	181	155
	120	312	245	214	257	211	181
	150	356	280	250	294	242	211
	185	414	—	285	340	—	246
240	495	—	338	410	—	294	
300	570	—	383	473	—	328	
环境温度(°C)		40					

注:1 适用于铝芯电缆,铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。

2 单芯只适用于直流。

表 C.0.1-2 1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆直埋敷设时允许载流量(A)

绝缘类型		不滴流纸			聚氯乙烯					
护套		有钢铠护套			无钢铠护套			有钢铠护套		
电缆导体最高工作温度(℃)		80			70					
电缆芯数		单芯	二芯	三芯 或四芯	单芯	二芯	三芯 或四芯	单芯	二芯	三芯 或四芯
电 缆 导 体 截 面  (mm <sup>2</sup> )	4	—	34	29	47	36	31	—	34	30
	6	—	45	38	58	45	38	—	43	37
	10	—	58	50	81	62	53	77	59	50
	16	—	76	66	110	83	70	105	79	68
	25	143	105	88	138	105	90	134	100	87
	35	172	126	105	172	136	110	162	131	105
	50	198	146	126	203	157	134	194	152	129
	70	247	182	154	244	184	157	235	180	152
	95	300	219	186	295	226	189	281	217	180
	120	344	251	211	332	254	212	319	249	207
	150	389	284	240	374	287	242	365	273	237
	185	441	—	275	424	—	273	410	—	264
	240	512	—	320	502	—	319	483	—	310
	300	584	—	356	561	—	347	543	—	347
	400	676	—	—	639	—	—	625	—	—
500	776	—	—	729	—	—	715	—	—	
630	904	—	—	846	—	—	819	—	—	
800	1032	—	—	981	—	—	963	—	—	
土壤热阻系数 (K·m/W)		1.5			1.2					
环境温度(℃)		25								

注:1 适用于铝芯电缆,铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以1.29。

2 单芯只适用于直流。

表 C.0.1-3 1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆空气中敷设时允许载流量(A)

电缆芯数		三芯		单 芯							
单芯电缆排列方式				品字形				水平形			
金属层接地点				单侧		两侧		单侧		两侧	
电缆导体材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜
电 缆 导 体 截 面  (mm <sup>2</sup> )	25	91	118	100	132	100	132	114	150	114	150
	35	114	150	127	164	127	164	146	182	141	178
	50	146	182	155	196	155	196	173	228	168	209
	70	178	228	196	255	196	251	228	292	214	264
	95	214	273	241	310	241	305	278	356	260	310
	120	246	314	283	360	278	351	319	410	292	351
	150	278	360	328	419	319	401	365	479	337	392
	185	319	410	372	479	365	461	424	546	369	438
	240	378	483	442	565	424	546	502	643	424	502
	300	419	552	506	643	493	611	588	738	479	552
	400	—	—	611	771	579	716	707	908	546	625
	500	—	—	712	885	661	803	830	1026	611	693
630	—	—	826	1008	734	894	963	1177	680	757	
环境温度(℃)		40									
电缆导体最高工作温度(℃)		90									

注:1 允许载流量的确定,还应符合本规范第 3.7.4 条的规定。

2 水平形排列电缆相互间中心距为电缆外径的 2 倍。

表 C.0.1-4 1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆直埋敷设时允许载流量(A)

电缆芯数		三 芯		单 芯			
单芯电缆排列方式				品字形		水平形	
金属层接地点				单侧		单侧	
电缆导体材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜
电 缆 导 体 截 面 (mm <sup>2</sup> )	25	91	117	104	130	113	143
	35	113	143	117	169	134	169
	50	134	169	139	187	160	200
	70	165	208	174	226	195	247
	95	195	247	208	269	230	295
	120	221	282	239	300	261	334
	150	247	321	269	339	295	374
	185	278	356	300	382	330	426
	240	321	408	348	435	378	478
	300	365	469	391	495	430	543
	400	—	—	456	574	500	635
	500	—	—	517	635	565	713
630	—	—	582	704	635	796	
电缆导体最高工作温度(℃)		90					
土壤热阻系数(K·m/W)		2.0					
环境温度(℃)		25					

注：水平形排列电缆相互间中心距为电缆外径的2倍。

C.0.2 6kV 常用电缆允许持续载流量见表 C.0.2-1 和表 C.0.2-2。

表 C.0.2-1 6kV 三芯电力电缆空气中敷设时允许载流量(A)

绝缘类型		不滴流纸	聚氯乙烯		交联聚乙烯	
钢铠护套		有	无	有	无	有
电缆导体最高工作温度(℃)		80	70		90	
电 缆 导 体 截 面 (mm <sup>2</sup> )	10	—	40	—	—	—
	16	58	54	—	—	—
	25	79	71	—	—	—
	35	92	85	—	114	—
	50	116	108	—	141	—
	70	147	129	—	173	—
	95	183	160	—	209	—
	120	213	185	—	246	—
	150	245	212	—	277	—
	185	280	246	—	323	—
	240	334	293	—	378	—
	300	374	323	—	432	—
	400	—	—	—	505	—
500	—	—	—	584	—	
环境温度(℃)		40				

注:1 适用于铝芯电缆,铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。

2 电缆导体工作温度大于 70℃时,允许载流量还应符合本规范第 3.7.4 条的规定。

表 C.0.2-2 6kV 三芯电力电缆直埋敷设时允许载流量(A)

绝缘类型		不滴流纸	聚氯乙烯		交联聚乙烯	
钢铠护套		有	无	有	无	有
电缆导体最高工作温度(℃)		80	70		90	
电 缆 导 体 截 面 (mm <sup>2</sup> )	10	—	51	50	—	—
	16	63	67	65	—	—
	25	84	86	83	87	87
	35	101	105	100	105	102
	50	119	126	126	123	118
	70	148	149	149	148	148
	95	180	181	177	178	178
	120	209	209	205	200	200
	150	232	232	228	232	222
	185	264	264	255	262	252
	240	308	309	300	300	295
	300	344	346	332	343	333
	400	—	—	—	380	370
500	—	—	—	432	422	
土壤热阻系数(K·m/W)		1.5	1.2		2.0	
环境温度(℃)		25				

注:适用于铝芯电缆,铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。

C.0.3 10kV 常用电力电缆允许持续载流量见表 C.0.3。

表 C.0.3 10kV 三芯电力电缆允许载流量(A)

绝缘类型		不滴流纸		交联聚乙烯			
				无		有	
钢铠护套							
电缆导体最高工作温度(℃)		65		90			
敷设方式		空气中	直埋	空气中	直埋	空气中	直埋
电 缆 导 体 截 面 (mm <sup>2</sup> )	16	47	59	—	—	—	—
	25	63	79	100	90	100	90
	35	77	95	123	110	123	105
	50	92	111	146	125	141	120
	70	118	138	178	152	173	152
	95	143	169	219	182	214	182
	120	168	196	251	205	246	205
	150	189	220	283	223	278	219
	185	218	246	324	252	320	247
	240	261	290	378	292	373	292
	300	295	325	433	332	428	328
	400	—	—	506	378	501	374
500	—	—	579	428	574	424	
环境温度(℃)		40	25	40	25	40	25
土壤热阻系数(K·m/W)		—	1.2	—	2.0	—	2.0

注:1 适用于铝芯电缆,铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。

2 电缆导体工作温度大于 70℃时,允许载流量还应符合本规范第 3.7.4 条的规定。

## 附录 D 敷设条件不同时电缆允许持续载流量的校正系数

**D.0.1** 35kV 及以下电缆在不同环境温度时的载流量校正系数见表 D.0.1。

**表 D.0.1** 35kV 及以下电缆在不同环境温度时的载流量校正系数

敷设位置		空气中				土壤中			
环境温度(°C)		30	35	40	45	20	25	30	35
电缆导体 最高工作 温度(°C)	60	1.22	1.11	1.0	0.86	1.07	1.0	0.93	0.85
	65	1.18	1.09	1.0	0.89	1.06	1.0	0.94	0.87
	70	1.15	1.08	1.0	0.91	1.05	1.0	0.94	0.88
	80	1.11	1.06	1.0	0.93	1.04	1.0	0.95	0.90
	90	1.09	1.05	1.0	0.94	1.04	1.0	0.96	0.92

**D.0.2** 除表 D.0.1 以外的其他环境温度下载流量的校正系数可按下式计算：

$$K = \sqrt{\frac{\theta_m - \theta_2}{\theta_m - \theta_1}} \quad (\text{D.0.2})$$

式中  $\theta_m$ ——电缆导体最高工作温度(°C)；

$\theta_1$ ——对应于额定载流量的基准环境温度(°C)；

$\theta_2$ ——实际环境温度(°C)。

**D.0.3** 不同土壤热阻系数时电缆载流量的校正系数见表 D.0.3。

**表 D.0.3 不同土壤热阻系数时电缆载流量的校正系数**

土壤热阻系数 ( $K \cdot m/W$ )	分类特征(土壤特性和雨量)	校正系数
0.8	土壤很潮湿,经常下雨。如湿度大于9%的沙土;湿度大于10%的沙-泥土等	1.05
1.2	土壤潮湿,规律性下雨。如湿度大于7%但小于9%的沙土;湿度为12%~14%的沙-泥土等	1.0
1.5	土壤较干燥,雨量不大。如湿度为8%~12%的沙-泥土等	0.93
2.0	土壤干燥,少雨。如湿度大于4%但小于7%的沙土;湿度为4%~8%的沙-泥土等	0.87
3.0	多石地层,非常干燥。如湿度小于4%的沙土等	0.75

注:1 适用于缺乏实测土壤热阻系数时的粗略分类,对110kV及以上电缆线路工程,宜以实测方式确定土壤热阻系数。

2 校正系数适用于附录C各表中采取土壤热阻系数为 $1.2K \cdot m/W$ 的情况,不适用于三相交流系统的高压单芯电缆。

**D.0.4 土中直埋多根并行敷设时电缆载流量的校正系数见表D.0.4。**

**表 D.0.4 土中直埋多根并行敷设时电缆载流量的校正系数**

并列根数		1	2	3	4	5	6
电缆之间 净距(mm)	100	1	0.9	0.85	0.80	0.78	0.75
	200	1	0.92	0.87	0.84	0.82	0.81
	300	1	0.93	0.90	0.87	0.86	0.85

注:不适用于三相交流系统单芯电缆。

**D.0.5 空气中单层多根并行敷设时电缆载流量的校正系数见表D.0.5。**

**表 D.0.5 空气中单层多根并列敷设时电缆载流量的校正系数**

并列根数		1	2	3	4	5	6
电缆 中心距	$S=d$	1.00	0.90	0.85	0.82	0.81	0.80
	$S=2d$	1.00	1.00	0.98	0.95	0.93	0.90
	$S=3d$	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96

注:1  $S$  为电缆中心间距,  $d$  为电缆外径。

2 按全部电缆具有相同外径条件制订, 当并列敷设的电缆外径不同时,  $d$  值可近似地取电缆外径的平均值。

3 不适用于交流系统中使用的单芯电力电缆。

**D.0.6 电缆桥架上无间距配置多层并列电缆载流量的校正系数**  
见表 D.0.6。

**表 D.0.6 电缆桥架上无间距配置多层并列电缆载流量的校正系数**

叠置电缆层数		一	二	三	四
桥架类别	梯架	0.8	0.65	0.55	0.5
	托盘	0.7	0.55	0.5	0.45

注:呈水平状并列电缆数不少于 7 根。

**D.0.7 1~6kV 电缆户外明敷无遮阳时载流量的校正系数**见表 D.0.7。

**表 D.0.7 1~6kV 电缆户外明敷无遮阳时载流量的校正系数**

电缆截面( $\text{mm}^2$ )		35	50	70	95	120	150	185	240		
电压 (kV)	1	芯数	三	—	—	—	0.90	0.98	0.97	0.96	0.94
	6		三	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.88
			单	—	—	—	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

注:运用本表系数校正对应的载流量基础值, 是采取户外环境温度的户内空气中电缆载流量。

## 附录 E 按短路热稳定条件计算电缆导体 允许最小截面的方法

### E.1 固体绝缘电缆导体允许最小截面

**E.1.1** 电缆导体允许最小截面,由下列公式确定:

$$S \geq \frac{\sqrt{Q}}{C} \times 10^2 \quad (\text{E.1.1-1})$$

$$C = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{Jq}{\alpha K \rho} \ln \frac{1 + \alpha(\theta_m - 20)}{1 + \alpha(\theta_p - 20)}} \quad (\text{E.1.1-2})$$

$$\theta_p = \theta_o + (\theta_H - \theta_o) \left( \frac{I_p}{I_H} \right)^2 \quad (\text{E.1.1-3})$$

**E.1.2** 除电动机馈线回路外,均可取  $\theta_p = \theta_H$ 。

**E.1.3**  $Q$  值确定方式,应符合下列规定:

1 对火电厂 3~10kV 厂用电动机馈线回路,当机组容量为 100MW 及以下时:

$$Q = I^2(t + T_b) \quad (\text{E.1.3-1})$$

2 对火电厂 3~10kV 厂用电动机馈线回路,当机组容量大于 100MW 时, $Q$  的表达式见表 E.1.3-1。

**表 E.1.3-1 机组容量大于 100MW 时火电厂电动机馈线回路  $Q$  值表达式**

$t$ (s)	$T_b$ (s)	$T_d$ (s)	$Q$ 值( $A^2 \cdot S$ )
0.15	0.045	0.062	$0.195I^2 + 0.22II_d + 0.09I_d^2$
	0.06		$0.21I^2 + 0.23II_d + 0.09I_d^2$
0.2	0.045	0.062	$0.245I^2 + 0.22II_d + 0.09I_d^2$
	0.06		$0.26I^2 + 0.24II_d + 0.09I_d^2$

注:1 对于电抗器或  $U_d\%$  小于 10.5 的双绕组变压器,取  $T_b = 0.045$ ,其他情况取  $T_b = 0.06$ 。

2 对中速断路器, $t$  可取 0.15s,对慢速断路器, $t$  可取 0.2s。

### 3 除火电厂 3~10kV 厂用电动机馈线外的情况:

$$Q = I^2 \cdot t \quad (\text{E. 1. 3-2})$$

- 式中  $S$ ——电缆导体截面( $\text{mm}^2$ );
- $J$ ——热功当量系数,取 1.0;
- $q$ ——电缆导体的单位体积热容量( $\text{J}/\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ),铝芯取 2.48,铜芯取 3.4;
- $\theta_m$ ——短路作用时间内电缆导体允许最高温度( $^\circ\text{C}$ );
- $\theta_p$ ——短路发生前的电缆导体最高工作温度( $^\circ\text{C}$ );
- $\theta_H$ ——电缆额定负荷的电缆导体允许最高工作温度( $^\circ\text{C}$ );
- $\theta_o$ ——电缆所处的环境温度最高值( $^\circ\text{C}$ );
- $I_H$ ——电缆的额定负荷电流(A);
- $I_p$ ——电缆实际最大工作电流(A);
- $I$ ——系统电源供给短路电流的周期分量起始有效值(A);
- $I_d$ ——电动机供给反馈电流的周期分量起始有效值之和(A);
- $t$ ——短路持续时间(s);
- $T_b$ ——系统电源非周期分量的衰减时间常数(s);
- $\alpha$ —— $20^\circ\text{C}$ 时电缆导体的电阻温度系数( $1/^\circ\text{C}$ ),铜芯为 0.00393、铝芯为 0.00403;
- $\rho$ —— $20^\circ\text{C}$ 时电缆导体的电阻系数( $\Omega\text{cm}^2/\text{cm}$ ),铜芯为  $0.0184 \times 10^{-4}$ 、铝芯为  $0.031 \times 10^{-4}$ ;
- $\eta$ ——计入包含电缆导体充填物热容影响的校正系数,对 3~10kV 电动机馈线回路,宜取  $\eta=0.93$ ,其他情况可按  $\eta=1$ ;
- $K$ ——电缆导体的交流电阻与直流电阻之比值,可由表 E. 1. 3-2 选取。

表 E.1.3-2 K 值选择用表

电缆类型		6~35kV 挤塑					自容式充油		
导体截面(mm <sup>2</sup> )		95	120	150	185	240	240	400	600
芯数	单芯	1.002	1.003	1.004	1.006	1.010	1.003	1.011	1.029
	多芯	1.003	1.006	1.008	1.009	1.021	—	—	—

## E.2 自容式充油电缆导体允许最小截面

E.2.1 电缆导体允许最小截面应满足下式：

$$S^2 + \left(\frac{q_0}{q}\right) S_0 S \geq \left[ \alpha K \rho I^2 t / J q \ln \frac{1 + \alpha(\theta_m - 20)}{1 + \alpha(\theta_p - 20)} \right] 10^4 \quad (\text{E.2.1})$$

式中  $S_0$ ——不含油道内绝缘油的电缆导体中绝缘油充填面积 (mm<sup>2</sup>)；

$q_0$ ——绝缘油的单位体积热容量(J/cm<sup>3</sup>·°C)，可取1.7。

E.2.2 除对变压器回路的电缆可按最大工作电流作用时的  $\theta_p$  值外，其他情况宜取  $\theta_p = \theta_H$ 。

## 附录 F 交流系统单芯电缆金属层 正常感应电势算式

**F.0.1** 交流系统中单芯电缆线路一回或两回的各相按通常配置排列情况下,在电缆金属层上任一点非直接接地处的正常感应电势值,可按下式计算:

$$E_s = L \cdot E_{s0} \quad (\text{F.0.1})$$

式中  $E_s$ ——感应电势(V);

$L$ ——电缆金属层的电气通路上任一部位与其直接接地处的距离(km);

$E_{s0}$ ——单位长度的正常感应电势(V/km)。

**F.0.2**  $E_{s0}$ 的表达式见表 F.0.2。

表 F.0.2  $E_{s0}$ 的表达式

电缆回路数	每根电缆相互间中心距均等时的配置排列特征	A 或 C 相 (边相)	B 相 (中间相)	符号 $Y$	符号 $a$ ( $\Omega/\text{km}$ )	符号 $b$ ( $\Omega/\text{km}$ )	符号 $X_s$ ( $\Omega/\text{km}$ )
1	2 根电缆 并列	$IX_s$	$IX_s$	—	—	—	—
	3 根电缆 呈等边 三角形	$IX_s$	$IX_s$	—	—	—	—
	3 根电缆 呈直角形	$\frac{I}{2} \sqrt{3Y^2 + (X_s - \frac{a}{2})^2}$	$IX_s$	$X_s + \frac{a}{2}$	$(2\omega \ln 2) \times 10^{-4}$	—	$(2\omega \ln \frac{S}{r}) \times 10^{-4}$
	3 根电缆 呈直线并列	$\frac{I}{2} \sqrt{3Y^2 + (X_s - a)^2}$	$IX_s$	$X_s + a$	$(2\omega \ln 2) \times 10^{-4}$	—	$(2\omega \ln \frac{S}{r}) \times 10^{-4}$

续表 F.0.2

电缆回路数	每根电缆相互间中心距均等时的配置排列特征	A 或 C 相 (边相)	B 相 (中间相)	符号 Y	符号 a ( $\Omega/\text{km}$ )	符号 b ( $\Omega/\text{km}$ )	符号 $X_s$ ( $\Omega/\text{km}$ )
2	两回电缆等距直线并列 (相序同)	$\frac{I}{2} \sqrt{3Y^2 + (X_s - \frac{b}{2})^2}$	$I(X_s + \frac{a}{2})$	$X_s + a + \frac{b}{2}$	$(2\omega \ln 2) \times 10^{-4}$	$(2\omega \ln 5) \times 10^{-4}$	$(2\omega \ln \frac{S}{r}) \times 10^{-4}$
	两回电缆等距直线并列 (但相序排列互反)	$\frac{I}{2} \sqrt{3Y^2 + (X_s - \frac{b}{2})^2}$	$I(X_s + \frac{a}{2})$	$X_s + a - \frac{b}{2}$	$(2\omega \ln 2) \times 10^{-4}$	$(2\omega \ln 5) \times 10^{-4}$	$(2\omega \ln \frac{S}{r}) \times 10^{-4}$

注: 1  $\omega = 2\pi f$ ;2  $r$ —电缆金属层的平均半径(m);3  $I$ —电缆导体正常工作电流(A);4  $f$ —工作频率(Hz);5  $S$ —各电缆相邻之间中心距(m);6 回路电缆情况,假定其每回  $I, r$  均等。

## 附录 G 35kV 及以下电缆敷设度量时的附加长度

**表 G 35kV 及以下电缆敷设度量时的附加长度**

项 目 名 称	附 加 长 度 (m)	
电缆终端的制作	0.5	
电缆接头的制作	0.5	
由地坪引至各设备的终端处	电动机(按接线盒对地坪的实际高度)	0.5~1
	配电屏	1
	车间动力箱	1.5
	控制屏或保护屏	2
	厂用变压器	3
	主变压器	5
	磁力启动器或事故按钮	1.5

注:对厂区引入建筑物,直埋电缆因地形及埋设的要求,电缆沟、隧道、吊架的上下引接,电缆终端、接头等所需的电缆预留量,可取图纸量出的电缆敷设路径长度的 5%。

## 附录 H 电缆穿管敷设时容许最大管长的计算方法

**H.0.1** 电缆穿管敷设时的容许最大管长,应按不超过电缆容许拉力和侧压力的下列关系式确定:

$$T_{i=n} \leq T_m$$

或  $T_{j=m} \leq T_m$  (H.0.1-1)

$$P_j \leq P_m (j=1,2,\dots)$$
 (H.0.1-2)

式中  $T_{i=n}$ ——从电缆送入管端起至第  $n$  个直线段拉出时的牵引力(N);

$T_{j=m}$ ——从电缆送入管端起至第  $m$  个弯曲段拉出时的牵引力(N);

$T_m$ ——电缆容许拉力(N);

$P_j$ ——电缆在  $j$  个弯曲管段的侧压力(N/m);

$P_m$ ——电缆容许侧压力(N/m)。

**H.0.2** 水平管路的电缆牵拉力可按下列公式计算:

1 直线段:

$$T_i = T_{i-1} + \mu CWL_i$$
 (H.0.2-1)

2 弯曲段:

$$T_j = T_i \cdot e^{\mu \theta_j}$$
 (H.0.2-2)

式中  $T_{i-1}$ ——直线段入口拉力(N),起始拉力  $T_0 = T_{i-1} (i=1)$ ,可按 20m 左右长度电缆摩擦力计,其他各段按相应弯曲段出口拉力;

$\mu$ ——电缆与管道间的动摩擦系数;

$W$ ——电缆单位长度的重量(kg/m);

$C$ ——电缆重量校正系数,2 根电缆时, $C_2 = 1.1$ ,3 根电

$$\text{缆品字形时, } C_3 = 1 + \left[ \frac{4}{3} + \left( \frac{d}{D-d} \right)^2 \right];$$

$L_i$ ——第  $i$  段直线管长(m);

$\theta_j$ ——第  $j$  段弯曲管的夹角角度(rad);

$d$ ——电缆外径(mm);

$D$ ——保护管内径(mm)。

**H. 0. 3** 弯曲管段电缆侧压力可按下列公式计算:

1 1 根电缆:

$$P_j = T_j / R_j \quad (\text{H. 0. 3-1})$$

式中  $R_j$ ——第  $j$  段弯曲管道内半径(m)。

2 2 根电缆:

$$P_j = 1.1 T_j / 2R_j \quad (\text{H. 0. 3-2})$$

3 3 根电缆呈品字形:

$$P_j = C_3 T_j / 2R_j \quad (\text{H. 0. 3-3})$$

**H. 0. 4** 电缆容许拉力,应按承受拉力材料的抗张强度计入安全系数确定。可采取牵引头或钢丝网套等方式牵引。

用牵引头方式的电缆容许拉力计算式:

$$T_m = k\sigma qs \quad (\text{H. 0. 4})$$

式中  $k$ ——校正系数,电力电缆  $k=1$ ,控制电缆  $k=0.6$ ;

$\sigma$ ——导体允许抗拉强度( $\text{N}/\text{m}^2$ ),铜芯  $68.6 \times 10^6$ 、铝芯  $39.2 \times 10^6$ ;

$q$ ——电缆芯数;

$s$ ——电缆导体截面( $\text{mm}^2$ )。

**H. 0. 5** 电缆容许侧压力,可采取下列数值:

1 分相统包电缆  $P_m = 2500 \text{N}/\text{m}$ ;

2 其他挤塑绝缘或自容式充油电缆  $P_m = 3000 \text{N}/\text{m}$ 。

**H. 0. 6** 电缆与管道间动摩擦系数,可取表 H. 0. 6 所列数值。

表 H.0.6 电缆穿管敷设时动摩擦系数  $\mu$

管壁特征和管材	波纹状	平滑状		
	聚乙烯	聚氯乙烯	钢	石棉水泥
$\mu$	0.35	0.45	0.55	0.65

注：电缆外护层为聚氯乙烯，敷设时加有润滑剂。

## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国国家标准

电力工程电缆设计规范

**GB 50217 - 2007**

条文说明

# 目 次

1	总 则 .....	(77)
2	术 语 .....	(78)
3	电缆型式与截面选择 .....	(79)
3.1	电缆导体材质 .....	(79)
3.2	电力电缆芯数 .....	(80)
3.3	电缆绝缘水平 .....	(81)
3.4	电缆绝缘类型 .....	(83)
3.5	电缆护层类型 .....	(86)
3.6	控制电缆及其金属屏蔽 .....	(88)
3.7	电力电缆导体截面 .....	(89)
4	电缆附件的选择与配置 .....	(94)
4.1	一般规定 .....	(94)
4.2	自容式充油电缆的供油系统 .....	(113)
5	电缆敷设 .....	(114)
5.1	一般规定 .....	(114)
5.2	敷设方式选择 .....	(114)
5.3	地下直埋敷设 .....	(115)
5.4	保护管敷设 .....	(115)
5.5	电缆构筑物敷设 .....	(116)
5.6	其他公用设施中敷设 .....	(119)
5.7	水下敷设 .....	(119)
6	电缆的支持与固定 .....	(120)
6.1	一般规定 .....	(120)
6.2	电缆支架和桥架 .....	(120)

7 电缆防火与阻止延燃 .....	(121)
附录 A 常用电力电缆导体的最高允许温度 .....	(125)
附录 B 10kV 及以下电力电缆经济电流截面选用方法 ...	(127)
附录 C 10kV 及以下常用电力电缆允许 100% 持续载流量 .....	(131)
附录 D 敷设条件不同时电缆允许持续载流量的 校正系数 .....	(131)
附录 E 按短路热稳定条件计算电缆导体允许 最小截面的方法 .....	(131)
附录 F 交流系统单芯电缆金属层正常感应电势算式 .....	(131)
附录 G 35kV 及以下电缆敷设度量时的附加长度 .....	(132)
附录 H 电缆穿管敷设时容许最大管长的计算方法 .....	(132)

# 1 总 则

**1.0.1** 系原条文 1.0.1 保留条文。条文中“电力工程”系指包括发电、输变电、石油、冶金、化工、建筑、市政等电力工程。

**1.0.2** 系原条文 1.0.2 修改条文。近十年来,我国先后在多个发电工程建成使用 500kV 电缆,城网 220kV 电缆输送容量不断增大,已难以适应供电需求,500kV 电缆随将应用,且会越来越广泛,规范适用范围需由 220kV 扩大至 500kV。

改建的电力工程可参照本规范执行。

**1.0.3** 系原条文 1.0.3 保留条文。

## 2 术 语

- 2.0.1** 系原条文 2.0.1 修改条文。给出电缆的耐火性定义。
- 2.0.2** 系新增条文。
- 2.0.3** 系原条文 2.0.2 修改条文。给出电缆的阻燃性定义。
- 2.0.4** 系新增条文。消防术语关于材料的燃烧属性是按不燃、难燃、易燃等来划分的，“阻燃”往往被误解为“阻止燃烧”或不会着火，所以在《电力工程电缆设计规范》GB 50217—94 报批时，原国家主管部门审定“明确不用阻燃而用难燃来表征电缆属性”。本次修编基于一些单位反映，在工程应用中对难燃与阻燃是否等同时有误解，十年来的实际工作已习惯“阻燃性”和“阻燃电缆”，因此现以“阻燃性”及“阻燃电缆”取代原规范的“难燃性”和“难燃电缆”，达到使用与制造两方面统一。
- 2.0.5** 系原条文 2.0.3 保留条文。
- 2.0.6** 系原条文 2.0.4 修改条文。
- 2.0.7** 系原条文 2.0.5 修改条文。
- 2.0.8、2.0.9** 系原条文 2.0.6、2.0.7 保留条文。
- 2.0.10** 系原条文 2.0.8 修改条文。
- 2.0.11** 系原条文 2.0.10 保留条文。
- 2.0.12** 系原条文 2.0.13 修改条文。
- 2.0.13** 系原条文 2.0.14 修改条文。“排管”也作为较常采用的电缆构筑物型式，因此增加“排管”。
- 2.0.14、2.0.15** 系原条文 2.0.15、2.0.16 保留条文。
- 2.0.16** 系原条文 2.0.17 修改条文。

## 3 电缆型式与截面选择

### 3.1 电缆导体材质

**3.1.1** 系原条文 3.1.1 修改条文。有关“芯”、“芯线”名称,按照现行电缆有关标准统一称为“导体”。

控制和信号电缆导体截面一般较小,使用铝芯在安装时的弯折常有损伤,与铜导体和端子的连接往往出现接触电阻过大,且铝材具有蠕变属性,连接的可靠性较差,故统一明确采用铜导体。

**3.1.2** 系原条文 3.1.2、3.1.3 合并修改条文。几点说明如下:

**1** 在相同条件下铜与铝导体比铝和铜导体连接的接触电阻要小约 10~30 倍,另据美国消费品安全委员会(CPCS)统计的火灾事故率,铜导体电线电缆只占铝的 1/55,可确认铜导体电缆比铝导体电缆的连接可靠性和安全性高,我国的工程实践也在一定程度上反映,铝比铜导体的事故率较高。

**2** 电源回路一般电流较大,同一回路往往需要多根电缆,采用铝芯电缆更需增加电缆数量,造成柜、盘内连接拥挤,曾多次因连接处发生故障导致严重事故。

**3** 耐火电缆需具有在经受 750~1000℃作用下维持通电的功能,铝的熔融温度为 660℃,而铜可达到 1080℃

**4** 水下敷设比陆上的费用高许多,采用铜芯电缆有助于减少电缆根数,从而节省施工费用和缩短施工工期,对工程有利。

**5** 我国的铝和铜资源都欠充足,长期以来均需自国际市场购进 20%以上,在加入 WTO 以后,电工铜的原材料来源有了较大的改善。

**6** 将原条文 3.1.3 的 3 种“宜”使用铜的情况一并修改为“应”,既符合当前实际情况和趋势,也是更好地体现经济发展强调

安全生产的国策。

**3.1.3** 系原条文 3.1.4 修改条文。产品仅有铜导体的指充油电缆、耐火电缆、矿物绝缘电缆等。

### 3.2 电力电缆芯数

**3.2.1、3.2.2** 系原条文 3.2.1、3.2.2 保留条文。

**3.2.3** 系原条文 3.2.3 修改条文。3~35kV 中压三相供电电缆,我国长期以来惯用普通统包三芯型,单芯型使用不多,近年开始有采用绞合三芯型(工厂化以 3 根单芯电缆绞合构造成 1 根,也称扭绞型)。

1 3 根单芯比 1 根普通三芯电缆投资大,但优点是:①电缆与柜、盘内终端连接时,由于可减免交叉,使电气安全间距较宽裕,改善了安装作业条件;②在长线路工程可减免电缆接头,增强运行可靠性;③其截流量较高,约增大 10%左右,可使截面选择降低 1 档;④一旦电缆发生接地,难以发展至相间短路;⑤容许弯曲半径较小,利于大截面电缆的敷设。

2 绞合三芯型电缆在日、法早已应用,其构造特征是把 3 根单芯电缆沿纵向全长采用钢带按恰当螺距以螺旋式环绕(日),或按适当间距以间隔式捆扎(法)形成 1 根整体,不存在统包三芯电缆的各缆芯之间需有填充料。

绞合三芯型电缆除具有单芯电缆的上述优点外,还具有普通统包三芯电缆的敷设较简单的特点,且造价也相近。这对于 XLPE 电缆如今趋向采用预制式附件,以及环网柜等使用情况,尤显其优越性。

**3.2.4** 系新增条文。世界上 66~132kV 级截面不超过 500mm<sup>2</sup> 的电缆,日本、欧洲等除单芯型外,还早已生产应用三芯型。如日本名古屋航空港供电的 77kV 海底电缆,美国西海岸圣胡安岛供电电缆敷设于水深 100m 海峡,先后建成 115kV 充油(1982 年)、69kV XLPE 500mm<sup>2</sup> (2004 年),电缆线路均为三芯型(见《广东电

缆技术》2005, No. 3; 2005, No. 4)。欧洲正开发 132kV 800mm<sup>2</sup> 三芯 XLPE 电缆(总外径 184mm), 用于长距离跨海工程(见《ETEP》, Vol. 13, 2003), 日本近又开发出 154kV 1000mm<sup>2</sup> 三芯 XLPE 电缆, 用于埋管敷设, 降低工程造价(见《IEEJ Trans. PE》, Vol. 126, No. 4, 2006)。近年, 我国中部某大湖的 110kV XLPE 小截面水下电缆工程, 就采用了引进欧洲制造的三芯型, 由于在海、湖中水下电缆敷设的难度大、占工程造价的份额高, 这就可显著缩短工期降低投资。

**3.2.5 系新增条文。**电气化铁道的牵引变电站通常为交流单相, 近年我国北方曾有 220kV 系统向牵引变供电, 其线路每回由 2 根单芯电缆组成, 已建成投入运行。

**3.2.6 系原条文 3.2.5 修改条文。**高压直流输电电缆线路敷设于海底, 其施工往往很复杂。为减少工作量和降低造价, 日本近年曾开发出直流 120kV 同轴型 XLPE 绝缘电缆, 如截面为 200mm<sup>2</sup> 的电缆, 采用 17mm 直径缆芯导体作为主回路导体, 9mm 厚的主绝缘外围以 50 根 2.1mm 线径构成返回路导体, 其外围依次为 4mm 厚绝缘层、2.6mm 厚铅包、3.5mm 厚挤包聚乙烯内护层、垫层、41 根 6mm 外径钢丝、4.5mm 外护层, 电缆总外径 98mm, 重约 22.5kg/m(空气中); 该型电缆的接头由工厂化制作。已按国际大电网会议(CIGRE)推荐标准通过试验获确认可使用。这显示了直流输电电缆并非只限于以往的 2 根单芯组成方式(详见《广东电缆技术》, 2003, No. 1)。

### 3.3 电缆绝缘水平

**3.3.1 系原条文 3.3.1 保留条文。**

**3.3.2 系原条文 3.3.2 修改条文。**

1 本款将“中性点经低阻抗接地”修改为“中性点经低电阻接地”, 以避免“低阻抗”误解为含有消弧线圈接地。

2 中性点不直接接地系统的电缆导体与金属层之间额定电

压级的选择要求,原规范编制时,根据供电系统一些曾采用相电压  $U_0$  级(如 10kV 系统  $U_0$  为 6kV 的标称 6/10kV)电缆,运行中曾屡有发生绝缘击穿故障,造成巨大损失现象,分析是缘于单相接地引起健全相电压升高,且持续时间较长,故需采用比  $U_0$  高一档的电压级(如 8.7/10kV 等)以增强安全。但另有煤矿等个别行业,认为其使用  $U_0$  级的电缆,在较长实践中却并不存在此现象,坚持无必要比  $U_0$  级提高。为兼顾两方面情况,同时仍偏重安全考虑,对规范初稿所拟不应低于 133% $U_0$  的要求,定稿时把“应”改为“宜”,同时添加“供电系统”前置词。这仍然被认为还不足以反映其特点,因而不得不在条文说明中含有如下的阐述:对采用  $U_0$  后的电缆运行实践尚无问题的情况,可允许区别对待。

近有报道,某行业系统使用 6/10kV 级 XLPE 电缆运行 14 年来,累计发生单相接地 80 余次,接地持续时间有达 2h 15min,累计接地持续时间有超过 7h 15min;在 46 次电缆故障中,电缆绝缘击穿占 65%,充分显示了  $U_0$  级电缆不能可靠运行。在更换抑或继续使用这批电缆的处理对策上,涉及投资而争议难决,就有认为原规范条文说明中的一些不确定提法应予删除(见《电力设备》,Vol. 6, No. 10, 2005, P63~65)。这一报道事例,再次印证本条第 2 款成立无误。

**3.3.3 系原条文 3.3.3 保留条文。**

**3.3.4 系原条文 3.3.4 修改条文。**高压输电用直流电缆,由于不存在电容电流,输送有功功率不受距离限制,且导体直流电阻比交流电阻小,又无金属套电阻损耗和介质、涡流、磁滞损耗,从而具有比交流电缆较大的载流量。通常 100kV 以上输电超过约 30km,尤其是海底敷设时,多倾向用直流电缆,世界上迄今使用只有不滴流浸渍(Mass Impregnated Non Draining,简称 MIND 或 MI)层状绝缘或自容式充油电缆两类型,但国外正竞相研制适用于直流输电的 XLPE 电缆,近年日本开发出直流型 250kV、500kV 的 XLPE 电缆,即将应用。

直流电缆的电场分布依赖绝缘电阻率( $\rho$ ),且受空间电荷影响,由于 $\rho$ 是温度的函数,电缆最大场强的部位就随负荷大小改变,故绝缘特性与交流电缆有显著不同。若使用现行交流 XLPE 电缆,其交联残渣因素,在高温时影响电荷积聚会形成局部高场强,从而导致绝缘击穿强度降低。

本条文关于输电直流电缆绝缘特性的要点,与交流电缆具有不同的特征,是源于国际大电网会议(CIGRE)20 世纪 80 年代的挤包绝缘直流电缆试验导则(草案),以及 20 世纪 90 年代日本开发 250kV 与研制 500kV XLPE 电缆的试验项目(参见《广东电缆技术》,2004, No. 1, No. 2)。

**3.3.5** 系原条文 3.3.5 修改条文。控制电缆 600/1000V 与 450/750V 没有本质区别,控制电缆制造要求的最小绝缘厚度的绝缘强度远大于 600/1000V。因此,取消 600/1000V 电压等级。

### 3.4 电缆绝缘类型

**3.4.1** 系新增条文。条文不只是针对现行电缆,也适合不久或将有新型绝缘电缆之应用。如高温(指在低温范畴意义上比以往极低温有大幅提高)超导电缆正进入工业性试运行阶段,我国在世界上也位于前列,其传输大容量时的能耗显著较小,应用前景看好;又如,超高压输电使用压缩气体管道绝缘线(GIL)在一些国家已成功实践,我国随着大容量输电需求也将可能运用。另一方面,近年曾有新型绝缘电缆的推出,虽示出其独特优点,但需以满足条文第 1 款的试验论证,来规范引导其健康发展。此外,按条文第 2 款来评估,有的新型绝缘电缆虽具备部分优越特性,但对工程条件并不适用(如易着火,毒性大等),这一规范性制约就具有积极意义。

1 电缆绝缘在一定条件下的常规预期使用寿命不少于 30~50 年,它与电缆应通过的标准性老化试验实质对应。

2 同一使用条件的不同类型绝缘电缆,有的安装与维护管理较麻烦,但经历长期实践其运行可靠性易于把握;有的造价虽较

低,但容许最高工作温度不高从而载流量较低,所需电缆截面较大。在未能兼顾情况下,需视使用条件及其侧重性来选择。

除矿物绝缘型外的电缆绝缘固体或液体材料,都属可燃物质,由含氯、氟等卤化物构成的绝缘电缆,不能用于有低毒无卤化防火要求的场所。

3 21世纪全球进入生态协调呼声日益高涨。日本从20世纪末开始由政府明令公用事业需使用环保型电缆,日本电线工业协会制定了JCS第419号(1998)控制电缆、JCS第418号A(1999)低压电力电缆等环保型产品标准,主要特征是不用聚氯乙烯(PVC)。欧洲的环保活动声势早盛,但在电缆上禁用PVC却经历了反复,如瑞典已明确PVC的淘汰推迟至2007年;此外,基于 $\text{SF}_6$ 气体的温室效应相当于 $\text{CO}_2$ 的2.4万倍,西门子公司推出具有80% $\text{N}_2$ 与20% $\text{SF}_6$ 混合气体的500kV GIL,于2001年在日内瓦的工程成功实践,日本近年也步其后尘开发这种环保型GIL。我国电力行业标准DL/T978—2005中含 $\text{N}_2/\text{SF}_6$ 混合气体构造,显示了适应环保之考虑。由此可见,电缆的绝缘用材或构造有适应环保化趋向。

环保型电缆具有的特征:①使用期间对周围生态环境和人体安全不致产生危害;②废弃处理焚烧时不会有二噁英等致癌物质扩散,或掩埋时不会有铅(如用于塑料的稳定剂)之类流失危害;③材料将有再生循环利用可能。

3.4.2 系新增条文。本条文中的“常用”是指在工业与民用范围已广泛应用。

1 中低压电缆曾长期使用粘性浸渍纸绝缘型,世界上除英、俄等少数国家外,如今多已被挤塑绝缘电缆取代,我国现也如此,因而本次修订不再纳入。

低压系统中挤塑类PVC型电缆广泛使用的主要因素是其造价较低,而交联聚乙烯(XLPE)型电缆在近十年来也大量应用,我国XLPE电缆生产能力有了充足发展,两种材料的价格差距逐渐

缩小,且 XLPE 的容许最高工作温度较大,从而按截流量确定的电缆导体截面可较小,XLPE 电缆的经济性与 PVC 电缆不相上下,况且 XLPE 电缆符合环保化趋势,故在维持继续使用 PVC 型的同时又纳入 XLPE 电缆。

2 35kV 以上高压电缆的应用,世界上有自容式充油(FF)、钢管充油(PFF)、聚乙烯(PE)、乙丙橡胶(EPR)、XLPE、GIL 等类型,其中 EPR 多在意大利使用且用于 150kV 及以下,PE 在法国、美国等曾有少量使用,我国个别水电厂也引进 500kV PE 电缆投入运行,PFF、GIL 虽在不少国家使用但数量不多,常用的是 FF 与 XLPE 电缆,我国也如此。66~330kV FF 电缆有 30 年以上运行实践,而电压至 220kV 的 XLPE 电缆比 FF 电缆使用晚 20 年左右,近 10 年有大量应用趋势,且两类电缆在国内均能制造。

FF 电缆在国内外已有相当长的成功运行经验,其可靠耐久性较易把握。它比 XLPE 电缆虽多增了油务的管理,但却因此有油压监视和报警,线路一旦受损能从其信号显示及时发现;此外,对运行电缆抽取油样做色谱分析、电气测试,可实现有效的绝缘监察。这些恰是 XLPE 电缆所没有的长处。

XLPE 电缆不存在供油系统附属装置及其油务带来的麻烦,易受欢迎,包括超高压系统的应用已是大势所趋。但是其实践时间还不够长,400~500kV 级 XLPE 电缆在欧洲、日本的运行实践才不过 10 年。此外,较长的电缆线路其投资在目前还比 FF 型贵。因此,在推广 XLPE 型的同时并考虑了有选用 FF 型电缆的空间。

3 高压直流输电电缆迄今在世界上使用不滴流浸渍纸绝缘(MI)与 FF 两种类型,且近年已开发半合成纸(或称聚丙烯薄膜,简称 PPLP)取代以往用的牛皮纸,使 MI 型电缆的容许最高工作温度由原来的 50~55℃ 提升到 80℃,载流能力可显著增大。

现行交流系统用的普通 XLPE 电缆不适合直流输电,因直流电场下交联残渣影响杂电荷的产生,当温度较高时空间电荷积聚

易形成局部高场强,这将会导致绝缘击穿强度降低,且其直流击穿强度还具有随温度升高而降低的特性。

另一方面,国外研究直流输电用新型 XLPE 电缆已见成效,如日本采用在 XLPE 料中添加具有导电性或者有极性的无机填料两种方法,均可使直流击穿电压提高 50%~80%,固有绝缘电阻率也显著提高,据此确认 250kV 直流 XLPE 电缆开发成功;随后,又完成 500kV 级模型的实物性能试验验证,包括在 PE 料中加入极性团实施聚合物材料的改性方式,证实直流击穿与极性反转击穿,能分别提高约 70%和 50%,可认为用 XLPE 构造直流输电电缆的技术已攻克,不久将获应用。以上简介了国外近年已研究开发 XLPE 构造直流输电电缆的可行,也就反衬出现行交流常规型 XLPE 电缆,不能直接用于直流输电系统(可参见《广东电缆技术》,2004, No. 1)。

**3.4.3、3.4.4** 系原条文 3.4.3、3.4.4 保留条文。

**3.4.5** 系原条文 3.4.5 修改条文。

**3.4.6** 系原条文 3.4.6 修改条文。用于额定电压  $U_0/U \leq 1.8/3$ kV 电缆的聚氯乙烯绝缘混合料(PVC/A)的耐受最低温度为  $-15^{\circ}\text{C}$ 。

**3.4.7** 系原条文 3.4.7 修改条文。

**3.4.8** 系原条文 3.4.8 修改条文。

**3.4.9** 系原条文 3.4.9 修改条文。绝缘层和内、外半导体层三层共挤工艺比二层共挤加导电包带的工艺构造电缆,有较优的耐水树特性,得到长期实践证实,有利于提高电缆的运行可靠性,且目前国内大多数制造厂已具备此工艺条件,强调 6kV 重要回路或 6kV 以上的交联聚乙烯电缆采用该工艺是必要的。

### 3.5 电缆护层类型

**3.5.1** 系原条文 3.5.1 修改条文。

1 曾有多个工程交流单芯电力电缆采用钢带或钢丝铠装,未

达载流量就出现电缆过热甚至烧毁事故,因此判断钢带或钢丝铠装所作非磁性处理的实际效果不好,铠装层产生涡流、磁滞损耗并未抑制到预期程度。故本条文强调非磁性处理需确有效,又考虑到现今技术难以实现,故对需要增强电缆抗外力的外护层,首先说明铠装层应采用非磁性金属材料,主要有铝合金等。如广东某核电厂使用的法国铝合金铠装单芯电力电缆,运行中没有过热现象,反映良好,此外,英国等单芯电力电缆也采用铝合金铠装。

2 以聚乙烯(PE)作外护层的电缆,在实际工程中得到较广泛应用,反映较好。

3 原条款3的低温值 $-20^{\circ}\text{C}$ 修改为 $-15^{\circ}\text{C}$ ,是基于电缆外护层用聚氯乙烯(PVC)的 $\text{ST}_1$ 、 $\text{ST}_2$ 混合料的耐受最低温度为 $-15^{\circ}\text{C}$ 。

4 电缆外护层塑料护套的化学稳定性,可参照《城市电力电缆线路设计技术规定》DL/5221—2005附录E。

3.5.2 系原条文3.5.2保留条文。

3.5.3 系原条文3.5.3修改条文。我国南方一些地区,电缆遭受不同程度白蚁危害的现象较普遍,有的蛀蚀电缆外护层乃至金属套,造成110kV、220kV电缆故障,不容忽视。由于化学防治方法的副作用将危害生态环境协调,因而合理的对策是采取物理防治法。

国内外工程实践的做法有:日本强调用硬度较高的光滑尼龙外护层,防蚁性优越,但成本高,且耐酸性较差。以往英国BICC电缆公司在东南亚的白蚁活动地区,采用邵氏硬度不小于65的聚乙烯外护层(见G. F. Moore,《Electric Cables Handbook》,1997),近年梅戈诺(Megolon)公司推出一种Termigon(译称退灭虫)特种聚烯烃共聚物防蚁护套料,不仅硬度比以往毫不逊色,且光洁有弹性又耐磨,防蚁性与抗酸性均优,成本比尼龙低。国内有关单位与之合作,用于通信电缆,经测定符合GB/T2951.38—1986标准,在电讯行业逐渐使用,2002年又用于肇庆110kV电缆工程实

践(见《广东电缆技术》,2003, No. 3)。

物理防治方法晚于化学防治方法,经验还不足,认识有待深化。虽然个别地区的金属套或钢铠曾遭白蚁蛀蚀,但还不宜完全否定其功效,仍作为一种防白蚁手段保留。

地下水位较高的地区,采用聚乙烯(PE)外护层,是就材料透水率( $\text{g} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3 \cdot \text{dmm H}_2\text{O}$ )而论,一般性PE为 $28 \times 10^{-8}$ ,而PVC为 $160 \times 10^{-8}$ ,因此PE的阻水性较好(见《日立电线》,No. 2, 1982)。

**3.5.4** 系原条文 3.5.4 修改条文。原条文第 1、7 款取消,保留第 2 款,其他各款有不同程度的修改。

1 除俄、英等极少数国家,一般在中低压回路不再选用浸渍纸绝缘电缆,我国也如此。不滴流浸渍纸绝缘电缆在国外直流 400kV 及以下输电虽有应用,但今后可能被已开发的 XLPE 直流电缆取代,故本规范不再纳入浸渍纸绝缘电缆内容。

2 由于铠装电缆成本增加不多且有利安全,故用词“可”改为“应”。

3 交流回路单芯电力电缆铠装层,避免使用钢铠。

4 增加第 5 款,以适应今后环保要求。

**3.5.5、3.5.6** 系原条文 3.5.5、3.5.6 保留条文。

**3.5.7** 系原条文 3.5.7 修改条文。取消油浸纸绝缘铅套电缆相关内容。

**3.5.8、3.5.9** 系原条文 3.5.8、3.5.9 保留条文。

### 3.6 控制电缆及其金属屏蔽

**3.6.1** 系原条文 3.6.1 保留条文。

**3.6.2** 系原条文 3.6.2 修改条文。为防止相互间干扰,确保运行安全,用词“宜”改为“应”。

**3.6.3** 系原条文 3.6.3 修改条文。为防止相互间干扰,确保运行安全,用词“宜”改为“应”。

**3.6.4** 系新增条文。电流互感器、电压互感器的每组二次绕组各相线和中性线处于同一根电缆中,是消除由于设计配置不当引起干扰的有效措施。

**3.6.5** 系原条文 3.6.4 保留条文。

**3.6.6** 系原条文 3.6.5 修改条文。目前国内普通控制电缆与带屏蔽的控制电缆价差已缩小,且安全性要求也越来越重要,因此将“宜”改为“应”。

**3.6.7** 系原条文 3.6.6 修改条文。增加第 2 款,是基于原电力工业部 1994 年 1 月发布的“电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点”第 7.1 条,以增强控制信号回路安全性。

**3.6.8** 系原条文 3.6.7 修改条文。备用芯以一端接地方式,可增强屏蔽作用,但备用芯如果两端接地,则会增添电磁感应干扰途径反而不利,故补充只能以一点接地。

**3.6.9** 系原条文 3.6.8 修改条文。

1 “一点接地”的要求由“宜”改为“应”,是基于现今不存在条件不许可情况,以确保安全。

2 增加第 2 款,是基于原电力工业部 1994 年 1 月发布的“电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点”第 7.1 条,以增强控制信号回路安全性。

**3.6.10** 系新增条文。规定了控制信号电缆容许量小截面,以防止出现断线,有助于增强安全性。

### 3.7 电力电缆导体截面

**3.7.1** 系原条文 3.7.1 修改条文。

1 电缆导体的持续容许最高温度( $\theta_m$ ),对应绝缘耐热使用寿命约 40 年,明确最大工作电流( $I_R$ )需满足不得超过  $\theta_m$ ,是实现电缆预期使用寿命的要素。直接取  $\theta_m$  求算  $I_R$  时,需把所有涉及发热的因素计全才符合上述原则,否则,客观存在的发热因素未完全计入, $I_R$  计算值就会偏大,运行中导体实际温度将超出  $\theta_m$ 。

$I_R$  的算法标准 IEC 287(1982)或 IEC 60287-1-1(1995),不像 1968 年初版时示出各类电缆的  $\theta_m$  值,而提示  $\theta_m$  值确定需留有安全裕度。不妨就高压单芯电缆  $I_R$  求算时  $\theta_m$  值的择取作一辨析:1993 年 IEC 287-1-2 首次公布双回并列电缆的涡流损耗率  $\lambda_{id}''$  算式,此前只有单回电缆涡流损耗率  $\lambda_i''$  的算式,而  $\lambda_{id}'' > \lambda_i''$ ,可认为双回并列电缆在依照  $\lambda_{id}''$  与  $\theta_m$  计算的  $I_R$ ,与仅依  $\lambda_i''$  (即未计入并行回路引起涡流损耗增大的影响)求算  $I_R$  时,要使两者相同或相近,就需对后者采取低于  $\theta_m$  的  $\theta_m'$  值。这也昭示了 IEC 287 并非所有的算式一次性制订完备,因而它不硬性规定单一  $\theta_m$  值,以不失科学严谨性。藉此还需指出,IEC 60287-1-2(1993)只适合两回单芯电缆并列配置,它主要反映直埋或穿管埋地敷设电缆方式,但我国多以隧道、沟或排管敷设电缆方式,并行两回电缆为层叠配置情况,其  $\lambda_{id}''$  算式在该标准中却未给出,也没有说明可略而不计。然而,在日本电线工业协会标准 JCS 第 168 号 E(1995)《电力电缆的容许电流(之一)》中,却示明包含 2 层及其以上层叠配置单芯电缆的  $\lambda_{id}''$  算式,经按一般电缆使用条件计算分析,其  $\lambda_{id}''$  与  $\lambda_i''$  值差异明显而不能忽视(可参见《广东电缆技术》2001, No. 3)。因此,在并非所有发热因素计全时,求算  $I_R$  若仍依固定的  $\theta_m$  值计,就满足不了本条款要求。

美国爱迪生照明公司联合会(AEIC)制订的 AEIC CS7(1993)《额定电压 69kV 至 138kV XLPE 屏蔽电力电缆技术要求》标准中载明:“当  $I_R$  计算涉及电缆存在的全部热性数据充分已知,确保  $\theta_m$  不致超过时,可按  $\theta_m$  为  $90^\circ\text{C}$ ,否则应采取比该温度降低  $10^\circ\text{C}$  或其他适当值”。这对于辨析地择取  $\theta_m$  值的理解,可供参考。

2 关于条款 4,电力电缆截面最佳经济性算法 IEC 1959 标准于 1991 年首次公示,后又纳入电缆额定电流计算标准系列 IEC 60287-3-2(1995;1996 修订)。其算法是基于电缆线路初始投资与今后运行期间的能量损耗综合最小。

多年来我国经济持续高速增长,发供电随着用电需求虽在不

断迅猛发展,但一些地区仍感电力不足。分析认为,以往一般只按载流量紧凑地选择电缆截面,导致线损较大,这一影响不可忽视;现今地球“温室效应”愈益严重,尤因火力发电的  $\text{CO}_2$  排放影响占有相当大成分,在这一形势下,需着眼于努力降低损耗、减少电源增长(火电厂一直占有较大份额)带来温室效应的加剧,就需要考虑电缆的经济截面。至于经济截面比按载流量选择截面增大后,降低年损耗的同时会引起初投资的增加,从我国宏观经济条件来看,现已能适应。

由于电缆经济电流密度受电缆成本、贴现率、电价、使用寿命、最大负荷利用小时数等诸多因素影响,难以给出固定不变的电缆经济电流密度曲线或数据,需要时,可按照本规范附录 B 的方法计算。

3 条款 5 在原条文基础上新增铜芯电缆最小截面的规定。

### 3.7.2 系原条文 3.7.2 修改条文。

IEC 等标准关于电缆的持续容许工作电流算法分两类:①负荷为 100% 持续(100% Load factor),即常年持续具有日负荷率( $L_f$ )为 1 时的  $I_{R1}$ ,如发电厂中持续满发机组及其辅机,或工矿主要用电器具等供电回路的负荷电流;②负荷虽持续但并非 100% 恒定最大,而是周期性变化,即常年持续具有  $L_f < 1$  时的  $I_{R2}$ ,如城网供电电缆线路等公用负荷电流。

IEC 60287(以往称 IEC 287)为  $I_{R1}$  算法标准,IEC 60851(原 IEC 851)为  $I_{R2} = M \cdot I_{R1}$  的  $M$  算法标准,日本电线工业协会 JCS 第 168 号 E(1994)、美国电子电气工程师学会 IEEE Std 853(1995)标准均同时含  $I_{R1}$ 、 $I_{R2}$ 。在空气中敷设的电缆, $I_{R1} = I_{R2}$ ,直埋或穿管埋地(包括排管)敷设的电缆, $I_{R1} < I_{R2}$ ;当  $L_f$  约为 0.7 左右时,一般  $I_{R2}$  比  $I_{R1}$  增大约 20% 以上。我国长期以来工程实践只计  $I_{R1}$  且一般遵循 IEC 60287,至于 IEC 851-1、IEC 853-2 虽早于 1985、1989 年公示,但国内迄今几乎未在工程中运用,或缘于该算法需按日负荷曲线分时计算感到繁琐,而日、美标准只需计入  $L_f$

求算  $I_{R2}$ , 适合工程设计阶段(可参见《广东电缆技术》, 2001, No. 4, P. 2~12)。在我国由于尚未广为知晓而缺乏应用, 故此次修改标准就没有直接示出  $I_{R2}$ , 只在持续工作电流之首增加 100%, 这虽是沿袭原规范基本内容, 但冠以 100% 的持续工作电流不仅示明归属  $I_{R1}$ , 也意味着对于  $I_{R2}$  和短时应急过载  $I_E$  (参见《广东电缆技术》, 2002, No. 4) 以及提高载流量的途径(参见《广东电缆技术》, 2003, No. 4), 都留有另行考虑的空间, 显然不应被误解为  $I_{R2}$ 、 $I_E$  均排斥或拒绝。从这一意义不妨强调, 本规范现仅规定电缆载流能力中属于  $I_{R1}$  的基本要求。

此外, 100% 持续工作电流之称谓, 既与 IEC 60287 标准名称一致, 又与本规范附录 C 内容能相呼应。

### 3.7.3 系原条文 3.7.3 修改条文。

1 因为含变流、电子电压调整等装置的负荷有高次谐波, 诸如变频空调、电气化铁道等。在香港的低压配电电缆、东北某电铁牵引变电站的 220kV 供电电缆工程实践, 都已显示了计入高次谐波的影响。

2 条款 3 去掉“塑料”。因为电缆保护管并不局限塑料材质, 如复合式玻纤增强塑料、陶瓷等管材, 均有应用。

### 3.7.4~3.7.7 系原条文 3.7.4~3.7.7 保留条文。

### 3.7.8 系原条文 3.7.8 修改条文。

1 工程建成后 5~10 年取代原条文的 5 年以上, 可与较多的工程实际相结合, 利于安全, 也与《导体和电器选择设计技术规定》DL/T 5222—2005 中的规定一致。

2 将原条文中“保护切除时间”和“断路器全分闸时间”分别改为“保护动作时间”和“断路器开断时间”, 使概念更清晰。

### 3.7.9 系原条文 3.7.9 保留条文。

### 3.7.10 系原条文 3.7.10 修改条文。

1 补充“配电干线采用单芯电缆作保护接地中性线时”的前提条件, 以与《低压配电设计规范》GB 50054—95 协调一致。

2 补充主芯截面  $400\text{mm}^2 < S \leq 800\text{mm}^2$  和  $S > 800\text{mm}^2$  的保护地线允许最小截面选择要求。

### 3 新增条款 3。

因多芯电缆的中性线和保护地线合一时的芯线要求,原规范中没有叙及,而实际已较多采用。

**3.7.11** 系原条文 3.7.11 修改条文。大电流负荷的供电回路,往往由多根单芯大截面电缆并联组成,运行时屡因电流分配不均,其中有电缆出现过热乃至影响继续供电。

交流供电回路多根电缆并联时的电流分配,主要依赖于导体阻抗,同时还受金属层(有环流时)阻抗的影响。并联各电缆的长度以及导体、金属层截面均等,是使电流能均匀分配的必要条件,在应用单芯电缆时,各电缆在空间上几何配置的相互关系,常难使各阻抗值均等;而各电缆的相序排列关系,也影响电流分配。故应以计算方式确定各电流分配的电流值,较为复杂繁琐。近年,首次公布的 IEC 60287-3-1(2002)《多根单芯电缆并联电流分配及其金属层环流损耗的计算》标准,是按照并联电缆的各导体阻抗、金属层阻抗均等的前提下,建立联立方程导出,其算法具有公认的可行性。需要指出的是,该算法从工程实用意义上已并不简单,可推论若不具备并联电缆各导体阻抗、金属层阻抗均等的条件,计算各电缆的电流分配必将更繁琐复杂。

现今,供电回路由多根并列组成的电缆采取相同截面,既不存在条件不许可的情况,而基于上述考虑,故需对原条文用词的“宜”改为“应”,且补增电缆长度尽量相等的要求。

**3.7.12** 系原条文 3.7.12 保留条文。

## 4 电缆附件的选择与配置

### 4.1 一般规定

4.1.1 系原条文 4.1.1 修改条文。

4.1.2 系原条文 4.1.2 修改条文。电缆终端的构造类型,随电压等级、电缆绝缘类别、终端装置型式等有所差异。在同一电压级的特定绝缘电缆及其终端装置情况下,终端构造方式可能有多种类型。

66kV 以上自容式充油电缆终端构造已基本定型且种类有限,然而 XLPE 电缆的终端构造类型较多,其户外式终端、GIS 终端的构造类型及其在世界上主要应用概况,列于表 1。XLPE 电缆远晚于充油电缆运用实践,在逐步提升其应用电压等级的初期,常沿袭后者终端构造型式,其可靠性较易把握;然而在电缆使用增多后,具有注入油/SF<sub>6</sub> 的非干式构造终端,往往感到安装或运行管理较麻烦,且有安装质量等因素出现漏油之类缺陷,促使趋向用干式构造;但干式终端实践历史尚不够长,荷兰 150kV 电缆系统曾在 1993 年 1 天中发生多个干式终端一连串故障,经分析判明是橡胶应力锥与 XLPE 电缆绝缘间界面问题所导致(详 IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 15, No. 4, 1999),荷兰于 1997 年向 IEC 提出关于界面绝缘评价的试验方法标准化提案,只因基础性研究不够充分尚未被采纳(详见日本《电气学会技术报告》第 948 号,2004,1),然而,至少可认为,干式终端所含不同绝缘材料间弹性压接的界面压力,长期使用将有自然减小,是否确实不影响绝缘击穿特性,依现行标准试验似还难以充分地评断。这对于电压等级越高其意义显然越需重视。

本条文既对各类型终端构造的使用特征归纳出合理选择原

则,还基于某些电缆或终端的特点,以条款 1、2、3 分别示明必要的制约,又按《额定电压 150kV( $U_m = 170kV$ )以上至 500kV( $U_m = 550kV$ )挤出绝缘电力电缆及其附件——试验方法和要求》IEC 62067—2001 标准,以条款 4 提示需具备满足该标准资格试验(国内常称预鉴定试验)为选用前提;另以条款 5、6 示出并非严格而留有选择余地的推荐内容,它们反映了大多数工程设计的做法或趋向。

表 1 66kV 及以上 XLPE 电缆户外式、GIS 终端的构造类型及其应用概况

序号	终端装置名称	终端构造类型特征		主要特点	主要国家应用电压(年份)及其他
		类别	型式		
1	户外式终端	干式	热缩式	需明火作业	欧美应用最高工作电压 72kV
2			橡胶预制	安装与维护简便	法国 66~110kV,我国、日本近已开发
3		非干式(套管内注入绝缘油或 SF <sub>6</sub> 气体)	增绕应力锥	沿袭充油电缆所用,有长期实践经验,易把握可靠性。但安装费时	日本 275kV(1980 年)、500kV(1988 年);法国 66~190kV;英国、韩国 400kV
4			电容锥	—	—
5			导向锥	—	—
6			预制应力锥	安装较简便,可避免潮气影响,绝缘可靠性较高	日本 66~275kV,欧美澳 200~500kV,法国 190kV(注油)、200~500kV(SF <sub>6</sub> )
7			预制应力锥复合套管	复合式套管改善耐污特性,可避免爆裂碎片飞溅的破坏影响	瑞士 20 世纪 80 年代开创至 1995 年,110~170kV、220~400kV 各已运行 15 年、5 年;日本近年也开发

续表 1

序号	终端装置名称	终端构造类型特征		主要特点	主要国家应用电压(年份)及其他
		类别	型式		
8	GIS 终端	无套管	直浸式	预制应力锥+SF <sub>6</sub> 气体构成	法国、瑞典 200 ~ 500kV
9		有套管 非干式	电容锥	长期实践证明绝缘性可靠	法国 66 ~ 190kV, 德国 310 ~ 500kV
10			预制应力锥	安装较简便	广泛用于 500kV 及以下各高压级
11		有套管 干式	预制应力锥	安装更简便, 运行管理也简单	欧洲首创, 英国 500kV, 日本 275kV
12			预制应力锥, 导体插接	部件分解简单, 安装更进一步简化	德国 110 ~ 220kV (20 世纪 90 年代以来)

注: 1 表中内容摘自 2000 年日本《电气学会技术报告》第 767 号“关于海外输电电缆的技术动向”。

2 我国的工程实践中序号 2、3、6、7、9、10、11、12 都有不同程度的应用。

**4.1.3** 系原条文 4.1.3 修改条文。一般套管外绝缘的爬电比距要求, 在《高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准》GB/T 16434 中有选择方法的规定, 电缆终端的套管不应低于其要求。GB/T 16434 标准附录 B 提示影响外绝缘发生污闪的因素, 往往随时间推移会出现难以预料的变化, 工程设计应给今后运行管理留有适当安全裕度。近年, 有论述对东北、华北和河南电网大面积污闪事故分析, 除证实必须满足爬电比距标准要求外, 还强调 500kV 级变电设备的爬电比距应高于所在污秽地区的规定值(可参见《电力设备》, Vol, No. 4, 2001)。

电缆终端与一般支持绝缘子在出现闪络击穿事故后的更换影响不同, 前者价昂且换装费时, 故宜有较大安全裕度。此外, 同一盐密度表征的污秽条件下, 日本高压电缆终端套管的爬电比距较 GB/T 16434 规定值要稍大些。

综上, 本次规范修改以“必须”取代“应”。

**4.1.4** 系原条文 4.1.4 保留条文。

#### 4.1.5 系原条文 4.1.5 修改条文。

本条款 3:在 275kV 及以下单芯 XLPE 电缆线路,直接对电缆实施金属层开断并做绝缘处理,以减免绝缘接头的设置,为最近欧洲、日本开创的新方法。欧洲是在需要实施交叉互联的局部分段,剥切其外护层、金属套和外半导体层,且对露出的该段绝缘层实施表面平滑打磨后,再进行绝缘增强和密封防水处理,形成等效于绝缘接头的功能;日本的方法不同之处只是不剥外半导体层,从而不存在绝缘层表面的再处理(可参见《广东电缆技术》,2002, No. 4)。

我国近年在 220kV XLPE 电缆线路工程已如此实践。这种做法,常被称为假绝缘接头。

本条款 4:带分支主干电缆(Main cable with branches)(有称预分支电缆)是一种在主干电缆多个特定部位实施工厂化预制分支的特殊形式电缆,它的分支接头,已被纳入该电缆整体,无须另选用 T 型接头。这种电缆目前我国只有低压级,国外已有 6~10kV 级,它主要用于高层建筑配电。

#### 4.1.6 系原条文 4.1.6 修改条文。

电力电缆,尤其是高压 XLPE 电缆的接头构造类型较多。接头的装置类型中直通接头与绝缘接头的基本构成相同,此类接头使用广泛,就高压范围看,充油电缆接头构造几乎已定型,而 XLPE 电缆随着应用不断扩展和技术进步,其接头选用问题则愈益受到关注。

现将世界上 66kV 以上 XLPE 电缆直通接头的构造类型、特点及其主要应用概况列示于表 2。从不完全的调查所知,除了表中序号 3、5、6 等项外,列示的其他类型接头在我国 66~220kV 系统均有不同程度的应用,实践历史最长不到 30 年,而近年来,采用预制式接头已是较普遍趋向。

以往使用 PJ、PMJ 的工程实践中,有在竣工试验或运行不长时间发生绝缘击穿,但这些归属初期实践缺乏经验的因素,易于克服改观,无碍其继续有效应用(参见全国第六次电力电缆运行经验交流会论文集)。同属预制式的 CSJ、SPJ,近年虽有较多选用趋

向,从减免安装过程中绝缘件受污损,有利于增强绝缘可靠性,但其长期运行的界面压力将自然减小,就使用寿命期内未来是否能保持所需绝缘特性而论,还不一定优于 PJ。综合分析,表 2 所列各类型构造,除个别外,或许评断为时尚早,因而从一般性考虑按使用特征归纳出合理选择原则。

虽然 66~110kV 电缆线路原有的 TJ 多在正常运行,且还将继续。但对于 TJ 的应用问题,要看到以往采用它是由于接头的构造类型有限,其选择条件不像如今的多样化;TJ 的可靠性受人为因素影响较大,是其本质弱点;既然可靠性相对较高的构造类型已不乏供选择,国产 PMJ 等也已问世,而 TJ 的应用电压不可能进入 220kV 级,其发展空间有限,再开发国产绕包机等缺乏实际意义,因此,对于工程设计限制选用 TJ,有其积极意义。但这显然不意味现已正常运行的 TJ 均需撤换,它也不应属于工程设计范畴。

表 2 66kV 及以上 XLPE 电缆接头构造类型和主要应用概况

序号	接头构造类型的中英文名称 (英文简称)	构成特征与使用性特点	国内外主要应用电压、 时间及其反映
1	包带型接头(TJ) Taped Joint	安装过程绝缘易受潮或污染,带与带间空隙难限制在 150 $\mu$ m 以下,工艺要求高。可靠性缺乏保障	日本用于 154kV 以下,我国 110kV 早期曾有相当数量运用,大多正常但发生过几起故障。多认为可靠性难负期望,而几乎不再选用*
2	包带模塑型接头(TMJ) Taping Molded Joint	比 TJ 绝缘性较好,但安装环境的洁净与防潮要求仍较高	我国某工程 110kV TMJ 竣工试验曾发生 5 个击穿,缘于安装工艺欠当**
3	橡胶带绕包模塑型接头(RMJ) Rubber Mold Joint	与 TMJ 用 0.5mm 厚可交联的聚乙烯带不同,是用 0.25mm 橡胶带。比 TMJ 的加热温度低,时间较短,造价降 20%	日本于 20 世纪 90 年代末开发,已在 66kV 实践

续表 2

序号	接头构造类型的中英文名称 (英文简称)	构成特征与使用性特点	国内外主要应用电压、 时间及其反映
4	挤出模塑型接头(EMJ) Extruded Molded Joint	在严格实施安装过程的质量管理,包含借助电脑处理的 X 射线成像检测,能检出杂质 50、伤痕深 60、微孔 $40\mu\text{m}$	日本克服了早期曾出现施工质量问題后,不仅在 275kV 大量应用,500kV 接头的首次实践也采用此型
5	注入模塑型接头(IMJ)	预制橡胶应力锥和增强绝缘件套入连接处,注入液态橡胶,常温固化成形	德国 420kV 首创,1995 年开始做预鉴定试验
6	部件模塑型接头(BMJ) Block Molded Joint	预制出与 XLPE 同材质的模件套入后模塑成形。比 EMJ 费时少一半,投资省 10%	不存在相异材质的绝缘界面特性影响,可靠性高,日本 1996 年用于 275kV
7	向对型接头(BBJ) Back to Back Joint	由置于注有油/SF <sub>6</sub> 的封闭筒内 2 个终端呈顶构成;它也可构成分支接头	澳大利亚 1991 年用于 220kV,德国也应用于 220kV
8	组合预制型(PJ) Prefabricated Joint	由乙丙橡胶应力锥、环氧树脂绝缘件、弹簧构成。橡胶预制件较小	日本首创,用于 132~400kV,韩国 66~500kV;英国、丹麦、加拿大、德国用于 300~500kV
9	整体预制型(PMJ) Pre-molded Joint	由单一硅橡胶绝缘件构成,其内径与电缆绝缘外径需较大的过盈配合,比 PJ 安装较简,但需来回拖拽易污损	欧洲首创,瑞典 1972 年用于 80kV,现已至 275kV;瑞士、荷兰用于 60~500kV;英国、美国、法国、澳大利亚多用于 200~300kV;德国、加拿大、意大利、法国用于 300~500kV
10	导体插接式整体预制型 (PMJ-CF)	安装时不存在 PMJ 的来回拖拽,绝缘完整性获保障,安装更简,费时更少	荷兰首创,50~150kV 已应用 1500 个以上,275kV 级已通过型式试验

续表 2

序号	接头构造类型的中英文名称 (英文简称)	构成特征与使用性特点	国内外主要应用电压、 时间及其反映
11	预扩径冷缩型(CSJ) Cold-Shrinkable Joint	工厂化预扩径,按所配电缆设螺旋形内衬,比 PMJ 易安装,增强绝缘可靠性	日本于 20 世纪 90 年代后期开发用于 66~400kV
12	现场扩径冷缩型或称自压缩型 (SPJ) Self-Pressurized Joint	安装时的扩径使绝缘界面压力特性难免有差异,优点是它在隔氧密封下可保持 10 年,而 CSJ 只 2~3 年	日本首创,1995 年以来 66~132kV 已应用 1300 个、154kV81 个、220kV 包含在我国应用的已有 100 个以上

注:1 \* 详见 1997 年、2000 年全国第五次、第六次电力电缆运行经验交流会论文集,《上海电力》1993, No. 1。

\* 详见 1992 年全国第四次电力电缆运行经验会论文集。

2 除注 1 所示外,其余详见《电气学会技术报告》第 767 号,2000,3。

**4.1.7、4.1.8** 系原条文 4.1.7、4.1.8 保留条文。

**4.1.9** 系新增条文。电力电缆的金属层直接接地,是保障人身安全所需,也有利于电缆安全运行。

交流系统中三芯电缆的金属层,在两终端等部位以不少于 2 点接地,正常运行时金属层不感生环流。未规定单芯电缆一般也如此实施接地,是考虑正常运行的单芯电缆金属层感生环流及其损耗发热影响,故另以第 5.1.10 条区分要求。

电力电缆的金属层,为金属屏蔽层、金属套的总称,对于既有金属屏蔽层又有金属套的单芯电缆,金属层的接地是指二者均连通接地。

**4.1.10** 系原条文 4.1.9 修改条文。交流单芯电缆金属层正常感应电势( $E_s$ )的推荐算法示于本规范附录 F,适合包括并列双回电缆的常用配置方式。它引自日本东京电力公司饭冢喜八郎等编著《电力ケーブル技术ハンドブック》,1994 年第 2 版。以往虽有资料给出  $E_s$  算法,或较繁琐;或仅示出 1 回电缆,而并列双回是大多电缆线路工程的一般性情况,忽视相邻回路影响的  $E_s$  算值,就比

实际值偏小而欠安全。

1 50V 是交流系统中人体接触带电设备装置的安全容许限值。它基于 IEC 61936—1 标准中所示人体安全容许电压 50~80V;IEC 61200—413 标准按通过人体不危及生命安全的容许电流 29mA(试验测定值为 30~67mA)和人体电阻 1725 $\Omega$  计,推荐在带电接触时容许电压为 50V。

2 本款原规范感应电势容许值为 100V,此次修改提升为 300V,修改原因及其可行性、注意事项和这一修改的积极意义,分述如下:

1)高压电缆截面和负荷电流的愈益增大,在较长距离电缆线路工程,受金属正常感应电势容许值( $E_{SM}$ )仅 100V 的制约,往往不仅不能采取单点接地,而且交叉互联接地需以较多单元,使得不长的电缆段就需设置绝缘接头。如 500kV 1 $\times$ 2500mm<sup>2</sup> 电缆通常三相直列式配置时,每隔约 250m 就需设置接头;若以品字形配置虽可增大距离,但在沟道中会使蛇形敷设施工困难,且支架的承受荷载过重、截流量较小以及安全性降低,因而靠限制电缆三相配置方式并非上策。

又基于超高压电缆的接头造价昂贵,且接头数量若多,不仅安装工作量大、工期长,且将影响运行可靠性降低,因而,近些年来日本、欧洲在大幅度增加电缆制造长度的同时,还采取提升  $E_{SM}$  的做法,以作为一揽子对策。如:日本中部电力公司海部线 275kV 1 $\times$ 2500mm<sup>2</sup> XLPE 电缆 23km 长,实施 5 个交叉互联单元,平均 4300m 长单元的 3 个区间段中,最长段按电缆制造长度 1800m 考虑;福冈 220kV 1 $\times$ 2000mm<sup>2</sup> XLPE 电缆线路 2.8km 长,若按以往电缆制造长度约 500m,需实施 2 个交叉互联单元,现可采取 1 个交叉互联,其最长区段按电缆制造长度增加为 1050m 考虑,由于接头减少,工程总投资节省了 5%;其他还有类似的工程实践,都具有  $E_s$  达 200~300V 的特点(参见《电气评论》,1997.7 和《フジクラ技报》,1998.10 等)。英国国家电网公司于 20 世纪初对运行

30年的21km长275kV电缆线路改造,研究了由原来的28个交叉互联单元缩减为7个可行,交叉互联单元段增至2955~3099m,其中最大 $E_s$ 达214V;西班牙马德里地区400kV  $1 \times 2500\text{mm}^2$  XLPE电缆12.7km长输电干线,采取5个交叉互联单元,单元中最长区段按电缆制造长度850m考虑, $E_s$ 达263~317V,该线路于2004年建成运行(参见《IEEE TPD》, Vol. 18, No. 3, 2003和《Transmission & Distribution world》, 2005, 8)。

2)原规范规定 $E_{SM} \leq 100\text{V}$ ,主要是参照日本1979年出版的《地中送电规程》JEAC 6021,该规程2000年修订版取消100V,改为在采取有效绝缘防护时不大于300V;着有绝缘防护用具或带电作业器具时不大于7000V(见《地中送电规程》JEAC 6021—2000)。此外,IEC的有关标准迄今未显示 $E_{SM}$ 值,然而在国际大电网会议(CIGRE)的有关专题论述中,曾涉及 $E_{SM}$ 的提升,20世纪70年代,当时一般按 $E_{SM}$ 为50~65V的情况下,CIGRE有撰文提出,在人体不能任意接触的情况, $E_{SM}$ 可取60~100V;2000年CIGRE的论述则提出 $E_{SM}$ 可取400V。美国电子电气工程师学会(IEEE)较早的标准《交流单相电缆金属层连接方式适用性以及电缆金属层感应电势和电流的计算导则》IEEE Std575—1988载有:应以安全性限制 $E_s$ ,却未明示 $E_{SM}$ 值,只指出按通常电缆外护层的绝缘性, $E_{SM}$ 可达300V,但需以600V为限;该导则附录中还示出当时北美地区电缆工程实践的 $E_s$ 最大值:美国60~90V,加拿大100V,均比同期欧洲广泛以65V的做法要高。

3) $E_{SM}$ 超出50V时,不论是100V或300V,都属于人体不能任意接触需安全防护的范畴,这一电压终究不很高,在考虑工作人员万一可能带电接触,如电缆外护层破损有金属层裸露时,运行管理中可明确需着绝缘靴或设绝缘垫等;至于在终端或绝缘头有局部裸露金属,除了可设置警示牌外,对安置场所可采取埋设均压带或设置局部范围绝缘垫等措施。

顺便指出,按带电作业用绝缘垫产品适用电压等级划分为4

类,其0类、1类为380V、3000V,相应耐压为10kV、20kV,故可认为 $E_{SM}$ 无论是100V或300V,绝缘垫选用也无差异(见《带电作业用绝缘垫》DL/T 853—2004标准)。

4)  $E_{SM}$ 值由100V提升至300V,对于电缆外护层绝缘保护器(简称护层电压限制器)的三相配置接线与参数匹配,有如下考虑:

①由于金属层上电气通路远离直接接地点的 $E_s$ 值,较以往可能增大3倍,在系统发生短路时该处的工频过电压( $U_{ov}$ )相应也将比以往情况增大3倍,为使装设于该处的护层电压限制器承受的 $U_{ov}$ 不致过高,可把三相接线由过去的 $Y_0$ 改为采取 $\Delta$ 或 $Y$ 等,从而使作用于护层电压限制器的 $U_{ov}$ ,可降至 $Y_0$ 时的 $1/\sqrt{3}$ 或 $1/2$ 倍或者更低。

②护层电压限制器的残压( $U_r$ ),不得超出电缆外护层冲击过电压作用时的保护水平( $U_L$ ),其工频耐压( $U_R$ )应满足 $U_R \geq U_{ov}$ ,是其参数选择匹配原则。如果因 $U_{ov}$ 比以往显著增大而不再满足该关系式,其方法之一是添加阀片串联数来提高 $U_R$ ,但伴随着 $U_r$ 会增大,需验核 $U_r \leq U_L$ 是否仍满足。近年日本的工程为适应 $E_{SM}$ 提升,曾采用此方法实践,或有启发性。

③若上述①、②尚不足以适应,可促使开发更佳参数的护层电压限制器,也并不存在克服不了的技术障碍。

5)提升 $E_{SM}$ 的积极意义,是减免单芯电缆线路接头的配置,既降低工程造价和缩短工期,又有利于增强电缆线路系统的可靠性。电压等级越高,其效益越明显。此外,还将会促使我国生产厂家增大电缆制造长度,随之更有助于上述积极意义的体现。总之,在我国经济形势持续高涨下,高压、超高压的大截面单芯电缆线路工程建设,将不断发展,提升 $E_{SM}$ 仅每年投资节省费,估计将超过百万元或千万元以上。

#### 4.1.11 系原条文4.1.10修改条文。

1 单点接地方式增添在线路中央部位也可实施,有利于其应用范围扩大。

2 原条文“35kV 及以上的电缆线路”系印误,现更正为“35kV 及以下电缆”。

3 电缆金属层实施绝缘分隔以取代绝缘接头,近年在国内外已成功实践。见第 4.1.5 条说明。

关于接地方式选择在中低压单芯电缆的国外做法简介如下:

35(或 33)kV 及以下电缆线路在不能以单点接地时,英国、日本等国通常是采取全接地方式,仅在 33kV 级大截面线路可能用交叉互联(见 G. F. Moore,《Electric Cables Handbook》,1997)。

#### 4.1.12 系原条文 4.1.11 修改条文。

单芯电力电缆及其接头的外护层和终端支座、绝缘接头的金属层绝缘分隔、GIS 终端的绝缘筒这三个部位,冲击耐压指标在国内外标准中有不尽全面的各自规定,现列于表 3。

表 3 国内外标准中载列单芯电缆及其附件的冲击耐压(kV)指标

标准号	部 位	各额定电压级对应外护层等冲击耐压(kV)				
		≤35	66	110	220	500
GB/T 11017	额定电压(kV)	≤35	66	110	220	500
GB 2952 GB/Z 18890.1	电缆外护层、户外终端支座	20	—	37.5	47.5	72.5
IEC 60229	电缆主绝缘额定冲击耐压(kV)	<380	—	380~750	750~1175	≥1550
	电缆外护层	20	—	37.5	47.5	72.5
IEC 60840—1999	电缆主绝缘额定冲击耐压(kV)	250~325	—	550~750	—	—
	电缆及其接头外护层,终端支座	30	—	30(37.5)	—	—
	绝缘接头的金属层分隔绝缘	60	—	60(75)	—	—
JEC 3402 (日)	额定电压(kV)	—	66~77	110~187	220~275	500
	电缆外护层等	—	45 (50)	60	65	80
	GIS 终端的绝缘筒	—	40	50	—	—
IEEE 404—1993 (美)	额定电压(kV)	—	46~138		—	—
	绝缘接头的金属分隔绝缘	—	60		—	—

为评估电缆系统上述部位可能作用的暂态过电压,可由计算或测试两个途径,简述如下:

1 按电缆连接特征的等价电路求算:

1) 电缆与架空线直接相连的情况,外护层的雷电冲击过电压算法:

① 首侧终端接地、电缆尾侧金属层开路端的冲击过电压  $U_{SA}$  的表达式:

$$U_{SA} = 2E \frac{RZ_{se}/(R+Z_{se})}{Z_o + Z_c + [RZ_{se}/(R+Z_{se})]} \quad (\text{kV}) \quad (1)$$

或当电缆尾端接有大的电容时:

$$U_{SA} = -4E \frac{Z_c}{Z_o + Z_c} \times \frac{Z_{se}}{Z_c + Z_{se}} \quad (\text{kV}) \quad (2)$$

② 尾侧终端接地、电缆首侧金属层开路端的冲击电压  $U_{SB}$  的表达式:

$$U_{SB} = 2E \frac{Z_{se}}{Z_o + Z_c + Z_{se}} \quad (3)$$

式中  $E$ ——雷电进行波幅值(kV);

$Z_o$ ——架空线波阻抗( $\Omega$ ),一般为 400~600 $\Omega$ ;

$Z_c$ ——电缆导体与金属层之间波阻抗( $\Omega$ );

$Z_{se}$ ——电缆金属层与大地之间波阻抗( $\Omega$ );

$R$ ——金属层接地电阻( $\Omega$ )。

$Z_c$ 、 $Z_{se}$ 与电缆规格、型式和敷设方式有关,尤其后者影响差异较明显。理论计算值与实测值往往有较大差异,现从日本和国际大电网会议(CIGRE)文献中摘列部分  $Z_c$ 、 $Z_{se}$  值,列于表 4。

表 4 部分单芯电缆  $Z_c$ 、 $Z_{se}$  值

电缆敷设 方式	电缆规格、型式			实测值( $\Omega$ )		计算值( $\Omega$ )	
	电压 (kV)	截面 (mm <sup>2</sup> )	型式	$Z_c$	$Z_{se}$	$Z_c$	$Z_{se}$
隧道	275	2500	充油	17.6	77	17.6	78.4
	220	2500	充油	17.8	53.9	15.5	79.2
	154	800	充油	13	21.4~22.6	10.9	87.5

续表 4

电缆敷设 方式	电缆规格、型式			实测值(Ω)		计算值(Ω)	
	电压 (kV)	截面 (mm <sup>2</sup> )	型式	Z <sub>c</sub>	Z <sub>se</sub>	Z <sub>c</sub>	Z <sub>se</sub>
管道	154	800	充油	15	22~25	16.6	5.7
	77	400	充油	14.3	12.7	13.2	8.6
	77	400	XLPE	29.6	25.5	26.4	6.9
	77	2000	XLPE	19.9	55.9	15.7	5.1
直埋	275	1000	充油	19	10.9	19.2	2.6
	225	400	充油	30	12.1	23.6	3.3
	110	1400	充油	10	11.5	8.8	3.2

2) 电缆直连 GIS 终端的绝缘筒, 因断路器切合时产生操作过电压, 具有约 20MHz 高频衰减振荡波和波头长 0.1μs 陡度的特征, 该行波沿电缆导体浸入, 在金属层感生暂态过电压的相关因素和等价电路, 示于图 1, 可得到绝缘筒间过电压(U<sub>ab</sub>)、电缆金属层对地过电压(U<sub>s</sub>)的表达式:

$$U_{ab} = 2E_1 \frac{\frac{L_2 Z_{cs}}{L_2 + Z_{cs}} + \frac{L_1 Z_{se}}{L_1 + Z_{se}}}{Z_c + Z_{cb} + \frac{L_2 Z_{cs}}{L_2 + Z_{cs}} + \frac{L_1 Z_{se}}{L_1 + Z_{se}}} \quad (4)$$

$$U_s = \frac{Z_{se}}{Z_{se} + Z_{cs}} U_{ab} (1 - \epsilon^{-\alpha}) \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{1}{C} \cdot \frac{Z_c + Z_{cb} + Z_{se} + Z_{cs}}{(Z_c + Z_{cb})(Z_{se} + Z_{cs})} \quad (6)$$

式中 E<sub>1</sub>——GIS 的断路器切合过电压沿电缆导体进行波幅值 (kV);

Z<sub>cb</sub>——气体绝缘母线的芯线与护层间波阻抗(Ω);

Z<sub>cs</sub>——气体绝缘母线的护层与大地间波阻抗(Ω);

L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>——气体绝缘母线和电缆的各自接地线感抗(Ω);

$C$ ——两护层间的杂散电容(F);

其余符号含意同上。

以上算法虽不复杂,然而在工程设计中要确定准确的有关参数,一般较难办。

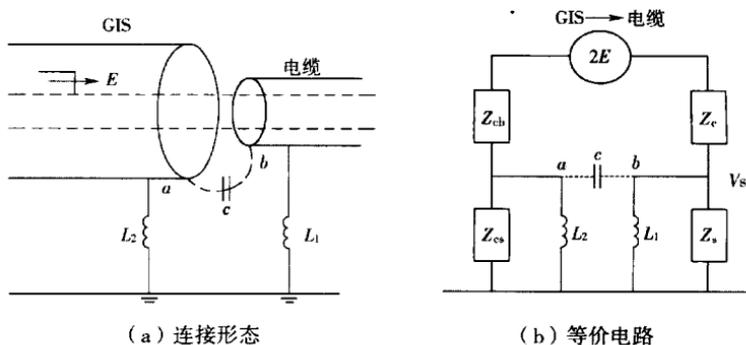


图1 电缆直连 GIS 终端绝缘筒的  
暂态过电压计算用等价电路

2 经由实际系统的测试结果评估。迄今所见,主要有日本报道过 66kV 及以上单芯电缆线路的系列实际测试,现摘列部分结果如下:

1)对于 66~275kV 电缆未设置护层电压限制器情况,20 世纪 80 年代起先后进行过 10 次以上测试,电缆线路金属层对地暂态过电压( $U_s$ )分别达 45.6kV、100~219kV、90~246kV(相应额定电压级为 66kV、154kV、275kV),均已超出电缆外护层绝缘耐压水平。

此外,系列 66~154kV 电缆具有多个交叉互联单元的长线路测试数据,显示了电缆线路首端(雷电波侵入侧;若线路另一侧直连架空线,则存在两侧首端)起始 1~2 个交叉互联单元的  $U_s$  才有超过耐压值情况,其后的  $U_s$  均在耐压水平以下。虽如此,但日本对 275kV 及以上电缆线路所有的绝缘接头,均仍设置护层电压限制器以策安全。

2)66~275kV 电缆直连 GIS 终端的绝缘筒,在 3 种不同条件电缆线路的测试结果, $U_{ab}$  分别达 44.9kV、52.4kV、104.4kV、186.6kV(相应额定电压级为 66kV、77kV、154kV、275kV),均超出耐压值,若在绝缘筒并联  $0.03\mu\text{F}$  电容或护层电压限制器,则测得  $U_{ab}$  不超过 6~14kV,证实有效。[参见日本《电气学会技术报告》第 366 号(1991)、第 527 号(1994)等专题论述]。

### 3 基于以上论述就本条文内容作如下解释。

1)单芯电缆的外护层等 3 类部位,在运行中承受可能的暂态过电压,如雷电波或断路器操作、系统短路时所产生,若作用幅值超出这些部位的耐压指标时,就应附加护层电压限制器保护,是作为原则要求。

2)因 35kV 以上电缆系统的  $U_0$  实测有超出耐压值情况,又考虑通常对具体工程难以确切判明,为安全计就一般而论,均需实施过电压保护。如果有工程经实测或确切计算认为无须采取,则属“一般”之外。

3)35kV 及以下单芯电缆以往多未装设护层电压限制器,经多年运行尚未反映有过电压问题;而实测  $U_0$  随额定电压由高至低有较大幅度变小的趋势,况且设置后若选用不当(如工频过电压的热损坏)也会带来弊病,故与 35kV 以上的对策宜有所区分。鉴于国内有的 35kV 电缆工程近年也设置护层电压限制器,利于安全的积极意义,需引起重视,现都综合反映于修改的条文中。

4)原条文只规定单点接地方式下护层电压限制器的设置,对交叉互联情况未予规定,易产生误解,现予以补增。

5)本条款 1 的第 3)项也系补增。首先需指出,我国迄今使用电缆直连 GIS 终端为国外引进产品,国内有关标准尚无 GIS 终端的绝缘筒耐压指标,现基于上述第 1 款第 2)项,并借鉴日本《地中送电规程》JEAC 6021—2000 规定(如图 2)拟定此对策。其次在用词上并未以“应”而取“宜”,是考虑到一旦若选用较高的耐压指标而确能耐受  $U_{ab}$  时,保护措施或将免除。

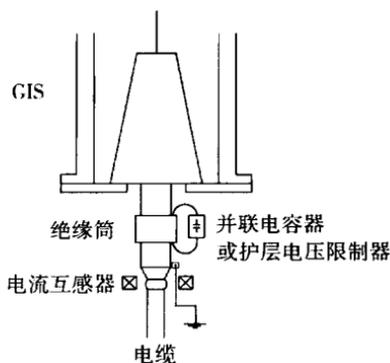


图 2 GIS 终端绝缘筒及其接地和保护示意

4.1.13 系原文 4.1.12 修改条文。现行的电缆用护层电压限制器 (Sheath Voltage Limiter, 简称 SVL) 主体为无间隙的氧化锌阀片, 具有电压为电流函数的非线性变化特征, 其特征参数含: ① 起始动作电压  $U_{1mA}$ ; ② 残压  $U_r$ ; ③ 一定时间内的工频耐压  $U_{AC,t}$ 。

1 雷电波侵入或断路器操作时产生的冲击感应过电压, 使 SVL 动作形成的  $U_r$ , 不致超过电缆护层绝缘耐受水平, 是作为其功能的基本要素之一。  $U_r$  乘以 1.4 是计入绝缘配合系数。

2 电缆金属层相连的 SVL, 在系统正常运行时所承受几百伏内的电压下, 具有很高的电阻性, 犹如对地隔断状态; 当系统短路时产生的工频过电压 ( $U_{OV, AC}$ ), 在短路切除时间 ( $t_k$ ) 内, 不超出  $U_{AC,t}$  时则 SVL 能保持正常工作。

我国现行 SVL 用的串联阀片, 显示有单个阀片的特性参数, 其  $U_{AC,t}$  按 2s 给出。日本按 66~275kV 电缆系统用的整体 SVL 示出参数含有  $U_{1mA} \geq 4.5kV$ ,  $U_r \leq 14kV$ ; 另对 SVL 在工频过电压下是否出现热损坏的界定, 曾基于系列试验归纳出电压、时间临界关系曲线, 如  $t_k$  为 0.2s 或 2s 时, 不发生热破坏的相应临界工频电压为 6.4kV 或 6kV (参见《电气评论》1997 年 7 月号载“电力ケーブル防食层保护装置の适用基准”)。

就  $t_k$  值的确定而论, 不同电压级系统继电保护与断路器动作

的可靠性统计,显示了  $t_k$  存在差别,如日本 1984~1991 年根据 3 大电力系统实绩,按电压级 500kV、275kV、154kV 及以下,推荐  $t_k$  相应为 0.2s、0.4s、2s(见《电气学会技术报告》第 527 号,1994);但英国则按继电保护的第 2 级动作来择取  $t_k$  (见 G. F. Moore,《Electric Cables Handbook》,1997);我国的部分运行统计,则显示与日本类似规律。按原条文  $t_k$  统一按 5s 计诚然偏安全,但考虑到此次修改正常感应电势由 100V 提升至 300V 后,将使  $U_{OV, AC}$  值比以往会增大,随之给 SVL 的  $U_{AC}$ ,选择可能带来困难,而对超高压电缆的  $t_k$  考虑比 5s 减小时就有所弥补,故修改原条文硬性的 5s 规定,采取变通的表达。

#### 4.1.14 系原条文 4.1.13 修改条文。

1 单点接地方式电缆线路的 SVL 接线配置方式有  $Y_0$ 、Y 或  $\Delta$ 。一般安置 SVL 的环境较潮湿, $\Delta$ 、Y 法的 SVL 需保持对地绝缘性,且不及  $Y_0$  法易于实施阀片的老化检测,故以往实践中多使用  $Y_0$  法,且三相装一箱,其中每台 SVL 还配置连接片或隔离刀闸。又  $\Delta$  比  $Y_0$  的抑制过电压效果较好,但承受工频过电压却是  $Y_0$  法的 1.73 倍;Y 则比  $Y_0$  的工频过电压稍低,它适合接地电阻大于  $0.2\Omega$  情况。

2 交叉互联电缆线路在绝缘接头部位,设置 SVL 的三相连接方式有多种提议,主要有:(a)  $Y_0$ ; (b)  $\Delta$  或桥形不接地; (c) 桥形接地; (d)  $\Delta$  加  $Y_0$  双重式等。日本《地中送电规程》JEAC 6021—2000 载有(a)~(c)示例,如图 3 所示。

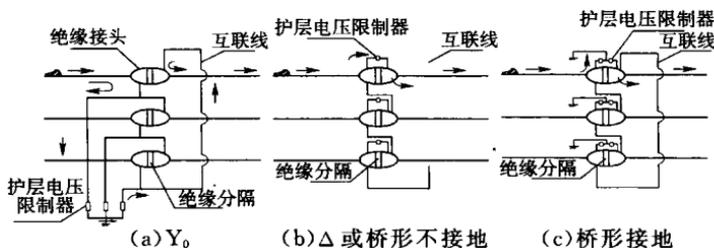


图 3 交叉互联线路设置护层电压限制器的三相接线方式

从暂态过电压保护效果看,按最佳到较差的顺序依次有(d)>(c)>(b)>(a);就(b)与(c)相比,如果保护回路一旦断线时,对地的暂态感应电势( $U_s$ )二者虽相当,但绝缘接头金属层绝缘分隔的跨接暂态感应电势( $U_{AA}$ ), (b)比(c)显著较高;就连接线长度影响而论, (a)方式的连接线比(b)、(c)长,一般达2~10m或电缆直埋时可能更长,暂态冲击波沿连接的波阻产生压降,与SVL的 $U_r$ 一起叠加作用之 $U_s$ ,前者就往往占有相当份额,而(c)配置方式跨接于绝缘接头的SVL以铜排连接时长度只为0.02~0.2m。

从系统短路时产生 $U_{OV.AC}$ 作用于SVL的大小来看, (a)为(b)的 $1/\sqrt{3}$ , (c)为(b)的 $1/2$ 。

从运行中定期需进行检测的方便性来看,带有隔离刀闸的 $Y_0$ 接线方式(a),就有其优点。

英国等欧洲电缆直埋线路曾广泛使用 $Y_0$ 接线,日本以往曾用 $Y_0$ ,近年则主要采取上述(b)、(c),也有采取(b)与(a)联合方式。

3 SVL连接回路的要求,除了从电气性协调一致考虑外,还从实际使用条件以及经验启迪所归纳,尤其是直埋电缆的环境。例如英国直埋电缆线路设置的SVL箱,按可能处于1m深水中条件做防水密封;箱壳顶采取钟罩式;箱体采取铸铁或不锈钢;箱内绝缘支承用瓷质件;对同轴电缆引入处加密封套;部分空隙以沥青化合物充填等。国际大电网会议(CIGRE)的有关导则也强调箱体应密封防潮。又如我国工程实践,有的箱底胶木板在运行中受潮丧失绝缘性,同轴电缆未与它充分隔开时,进行绝缘检测易出现误判等。

注:参见《电气学会技术报告》第366号(1991),第527号(1994);G. F. Moore,《Electric cables Handbook》,1997;《Electra》No. 128,1990;《上海电力》No. 4,2001等。

4.1.15 系原条文4.1.14修改条文。工程实践显示,一般是在单点接地方式下考虑设置回流线所带来改善的功能,现按此改变原

条文表达方式,既确切又有助提示其积极意义,以适应规范有关条款改变后的局面,即此次单芯电缆金属层正常运行下感应电势限值由 100V 提升至 300V,将使电缆线路单点接地方式的容许距离显著增长,随之在系统短路时产生的工频感应过电压( $U_{OV.AC}$ ),会比以往有增大至约 3 倍可能,设置回流线以抑制  $U_{OV.AC}$  就不失为一有效对策。

如  $U_{OV.AC}$  值增高超出 SVL 的  $U_{AC,1}$  时,交叉互联接地具有的使 SVL 由  $\Delta$  接法改变为  $Y_0$ 、桥形接地来降低  $U_{OV.AC}$  之途径,对单点接地方式却不适应,需以回流线的设置来适应。

**4.1.16** 系原条文 4.1.15 修改条文。110kV 及以上交流系统中性点为直接接地,系统发生单相短路时,在金属层单点接地的电缆线路,沿金属层产生的  $U_{OV.AC}$  有下列表达式:

无并行回流线:

$$U_{OV.AC} = [R + (R_g + j\omega \times 10^{-4} \ln \frac{D}{r_s})l]I_k \quad (7)$$

有并行回流线,回流线与电源中性线接地的地网未连通:

$$U_{OV.AC} = (R_P + j2\omega \times 10^{-4} \ln \frac{s^2}{r_P r_s})lI_k \quad (8)$$

有并行回流线,回流线与电源中性线接地的地网连通:

$$U_{OV.AC} = \left( Z_{AA} - Z_{PA} \frac{R_1 + R_2 + lZ_{PA}}{R_1 + R_2 + lZ_{PP}} \right) lI_k \quad (9)$$

$$Z_{AA} = R_g + j2\omega \times 10^{-4} \ln \frac{D}{r_s} \quad (10)$$

$$Z_{PA} = R_g + j2\omega \times 10^{-4} \ln \frac{D}{s} \quad (11)$$

$$Z_{PP} = R_P + R_g + j2\omega \times 10^{-4} \ln \frac{D}{r_P} \quad (12)$$

式中  $D$ ——地中电流穿透深度;当  $f=50\text{Hz}$  时,  $D=93.18\sqrt{\rho}(\text{m})$ ;  $\rho$  为土壤电阻率( $\Omega \cdot \text{m}$ ),通常为 20~100;直埋取 50~100;

$R$ ——金属层单点接地处的接地电阻( $\Omega$ );

$R_p$  和  $R_1$ 、 $R_2$ ——回流线电阻( $\Omega/\text{km}$ )及其两端的接地电阻( $\Omega$ );

$R_g$ ——大地的漏电电阻( $\Omega/\text{km}$ ),  $R_g = \pi^2 \times f \times 10^{-4} = 0.0493$ ;

$r_p$ 、 $r_s$ ——回流线导体、电缆金属层的平均半径(m);

$s$ ——回流线至相邻最近一相电缆的距离(m);

$I_k$ ——短路电流(kA),  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  为工作频率(Hz);

$l$ ——电缆线路计算长度(km);当 SVL 设置于线路中央或者设置于两侧终端而在线路中央直接接地时,  $l$  为两则终端之间线路长度的一半。

运用(7)~(9)式的一般结果显示:(7)式中  $R$  占相当份额,同一条件下有(8)比(7)式算值小,(9)比(8)式算值较小因而比(7)式算值更小。由此,本条款 3 和条款 1 的前一段,得以释明,后一段则指,系统短路时在回流线感生的暂态环流,按发热温升不致熔融导体是保持继续使用功能的最低要求,现以热稳定计是留有充分的安全裕度。

需指出,当电缆并非直埋或排管敷设而是在隧道、沟道中,则金属支架接地的连接线就具有一定程度的回流线功能。

注:上述算式可参见江日洪编《交联聚乙烯电力电缆线路》,1997;《Electra》No. 128,1990 等。

**4.1.17** 系原条文 4.1.16 保留条文。

**4.1.18** 系原条文 4.1.17 修改条文。电缆的金属层是金属屏蔽层、金属套的总称。

## 4.2 自容式充油电缆的供油系统

**4.2.1~4.2.6** 系原条文 4.2.1~4.2.6 保留条文。

## 5 电缆敷设

### 5.1 一般规定

- 5.1.1** 系原条文 5.1.1 修改条文。
- 5.1.2** 系原条文 5.1.2 保留条文。
- 5.1.3** 系原条文 5.1.3 修改条文。
- 5.1.4** 系原条文 5.1.4 修改条文。用词“应”修改为“宜”。
- 5.1.5、5.1.6** 系原条文 5.1.5、5.1.6 保留条文。
- 5.1.7** 系原条文 5.1.7 修改条文。城市电缆从原条文表列值适用范围剔除,是因为《城市工程管线综合规划规范》GB 50289—98 含有相关规定,以避免两个等同规范存在差异时不便执行。
- 5.1.8** 系原条文 5.1.8 保留条文。
- 5.1.9** 系原条文 5.1.9 修改条文。原条文的 5℃ 提法不便执行,且从安全影响考虑,不能只限于重要回路而应适用于所有的电缆。修改后实质与原国家电力公司 2000 年 9 月 28 日下发的《防止电力生产重大事故的二十五项重点要求》和《火力发电厂与变电所设计防火规范》GB 50229—2006 的有关规定一致。
- 5.1.10** 系原条文 5.1.10 修改条文。
- 5.1.11~5.1.15** 系原条文 5.1.11~5.1.15 保留条文。
- 5.1.16** 系原条文 5.1.16 修改条文。原条文“1kV 以上”属印误,更正为“1kV 以下”。
- 5.1.17、5.1.18** 系原条文 5.1.17、5.1.18 保留条文。

### 5.2 敷设方式选择

- 5.2.1~5.2.3** 系原条文 5.2.1~5.2.3 保留条文。
- 5.2.4** 系原条文 5.2.4 修改条文。用词“应”改为“宜”。

**5.2.5~5.2.7** 系原条文 5.2.5~5.2.7 保留条文。

**5.2.8** 系原条文 5.2.8 修改条文。实际已经有许多不设电缆夹层工程的事例,因此将用词“应”改为“宜”,可根据不同条件留有选择余地,对节省电缆工程土建费用具有积极意义。

**5.2.9~5.2.11** 系原条文 5.2.9~5.2.11 保留条文。

**5.2.12** 系新增条文。发电厂等工业厂房采用的桥架是按长时间耐久性要求做一次性防腐处理,又因电缆接头少,故维修周期长,工作量少,而厂房具有管道布置密集、空间受限的特点,因此架空桥架不宜设置检修通道。但城市电缆线路较长,路经常处于交通繁忙且管线设施较多,或有立体交叉等复杂环境中,加之有些桥架一次性防腐处理的耐久性时间不够长,又存在较多电缆接头,需有一定的维护工作量,以往电缆线路架空桥架却因缺乏检修通道,而在维护时阻碍正常交通。故作此规定。

### **5.3 地下直埋敷设**

**5.3.1** 系原条文 5.3.1 保留条文。

**5.3.2** 系原条文 5.3.2 修改条文。在我国经济持续增长形势下,许多城镇不断扩大,以致原来未在道路范围内的直埋电缆,随着市政建设快速发展,时有因机械施工被外力损坏,造成人身伤亡、供电中断等事故,故需强调城镇所有地方,不仅局限于道路范围,沿电缆直埋敷设路径需设置标识带。

**5.3.3、5.3.4** 系原条文 5.3.3、5.3.4 保留条文。

**5.3.5** 系原条文 5.3.5 保留条文。经多年工程实践,原条文规定的电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间的容许最小距离对保证安全具有重要的指导意义,本次修改纳入强制性条文。

**5.3.6~5.3.9** 系原条文 5.3.6~5.3.9 保留条文。

### **5.4 保护管敷设**

**5.4.1** 系原条文 5.4.1 修改条文。

**5.4.2** 系原条文 5.4.2 保留条文。

**5.4.3** 系原条文 5.4.3 修改条文。地中电缆保护管的耐受压力,除了覆盖土层的重量,在可能有汽车通行的地方(有的现虽无道路但并不能断定没有载重车经过)还需计入其影响。日本《地中送电规程》J EAC 6021—2000 也如此规定,还给出有关计算数据:土层的单位体积重量为  $16\sim 18\text{kN/m}^3$  (不含水分)或  $20\text{kN/m}^3$  (含水分);路面交通荷重(埋深不超过 3m 时,计入车辆急刹车时冲击力)为  $12\sim 35.5\text{kN/mm}^2$  (相应埋深由 3m 至 1m 变化)。其载重车总重按 220kN 或 250kN,后轮重  $2\times 47.5\text{kN}$  或  $2\times 50\text{kN}$ ,依  $55^\circ$  分布角推算出均布荷载。

电缆保护管可使用钢管、塑料管、玻纤增强塑料(FRP)管等,由于 FRP 管强度较高,不像塑料管需以混凝土加固,可纵向以适当间距设置管枕来直接埋土敷设。现对管枕的容许最大间距示明确定原则,是基于实践的安全性考虑。它与日本同类应用 FRP 管的技术要求一样。

**5.4.4** 系原条文 5.4.4 修改条文。

**5.4.5** 系原条文 5.4.5 修改条文。根据设计和现场施工实践,电缆保护管弯头一般不会超过 3 个,当电缆路径复杂需要 3 个以上弯头时,可采用两段保护管。

**5.4.6、5.4.7** 系原条文 5.4.6、5.4.7 保留条文。

## 5.5 电缆构筑物敷设

**5.5.1** 系原条文 5.5.1 修改条文。电缆构筑物内电缆配置遵循本规范第 5.1.2~5.1.4 条和第 6.1.5 条规定,是安全运行的基本要求,此外,电缆配置方式还可有进一步增强安全或提高运行经济性的其他考虑,诸如:①在工作井的管路接口引入的局部段,也以弧形敷设形成伸缩节,使在热伸缩下避免电缆金属套出现疲劳应变超过容许值而导致的开裂;②在隧道等全线路,每回单芯电缆各相以适当间距,组成品字或直角乃至平列式配置,有助于提高载

流量;③2回及以上高压单芯电缆并列敷设情况,加大其并列间距可减少金属套涡流损耗,从而能提高载流量等。这都在一定程度上导致空间尺寸增大,进而可能影响工程造价增加,尤其地中长途隧道较显著,因而同时需顾及投资增加因素,选择恰当的配置以使技术经济综合效益最佳。

电缆构筑物内敷设施工与巡视维护作业所需通道的宽、高空间容许最小尺寸,原规范规定值获实践认同,现基本沿袭,仅按新情况稍作调整充实。

1 如今城网电缆隧道以地中推进的构建方式为多,且由于其空间尺寸较大,会导致工程造价很高,故考虑非开挖式比开挖式隧道的通道宽度宜紧凑些。日本《地中送电规程》JEAC 6021—2000规定:“考虑到隧道中施工与巡视维护活动的有限次数,通道宽度按正常步行姿势所需不小于700~800mm即可,高度则为不小于2000mm”。可借鉴作为非开挖式隧道引用。

考虑到地中推进大口径管构建的隧道,一般在断面为圆形的下侧弓弦处设置步行地坪,故不再采用隧道净高而采用通道净高。

2 隧道与其他管沟交叉的局部段,容许比人员通行所需高度适当降低的情况,不适用于长距离隧道,以策安全。

**5.5.2 系原条文 5.5.2 修改条文。**本条文首先规定电缆支架、梯架或托盘的层间距离确定的原则要求。而影响层间距离的主要因素有:

1 高压单芯电缆呈品字形配置时,可能以铝合金制夹具固定,故对3根电缆外接圆的外径,需计入金具凸出的附加尺寸。

2 接头一般比电缆外径粗,不同构造型式接头有一定差异,就高压XLPE电缆用整体橡胶预制式(简称PMJ或RMJ等)与组合预制式(即橡胶制应力锥与环氧树脂模制部件组装,简称PJ)相比,PJ约比PMJ粗100mm。如220kV 1×2000mm<sup>2</sup>XLPE电缆外径约为138mm,PJ的外径约为360mm。此外,绝缘接头上直接以铜排跨接护层电压限制器时,又占有一定空间。

3 电缆支架托臂通常为不等腰梯形断面,随着电缆外径越粗其承受荷载就越重,则托臂的断面包含高度尺寸会相应较大。

4 同一电压级电缆截面供选择的范围很大,像中压电缆一般有 $50\sim 1000\text{mm}^2$ ,高压有 $200\sim 2500\text{mm}^2$ ,故同级电缆的外径变化约 $1.5\sim 1.7$ 倍。

鉴于上述因素,如果没有前提限制,按电压级来制定满足条文要求的层间距离值,就必然很大,这对使用电缆截面尚小、接头外径不大等情况,显然会导致构筑物尺寸很不经济合理。此外,日本《地中送电规程》JEAC 6021—2000 虽未规定统一的层间距离容许值,但就各类使用条件(包含电压级、某一电缆截面以下等)给出示例值以供参考(可参见《广东电缆技术》,2006, No. 3)。

考虑原规范表 5.5.2 所列值历经多年实践,供实际工作者遵循且广受欢迎,再增加 330、500kV 级数值以充实,并补充使用前提条件后纳入本条文,将给实际工作带来便利。而表 5.5.2 所列值虽并非适合各电压级的全部截面电缆或所有接头,但如有截面很大或接头外径很粗的情况,由于已明示使用条件具有提示性,将促使按条文原则要求去校核,就可再作调整。

5.5.3 系原条文 5.5.3 修改条文。原条文“最下层电缆支架距地坪、沟道底部的最小净距(mm)”表中“电缆沟”、“隧道”及“公共廊道中电缆支架未有围栏防护”栏给出的最小尺寸是一个范围,现修改给出明确单一的限定值。

5.5.4~5.5.6 系原条文 5.5.4~5.5.6 保留条文。

5.5.7 系原条文 5.5.7 修改条文。在沿袭原规范条文基本要求基础上,作了适当调整。

1 考虑电缆隧道中巡检人员安全出口的需要,城镇公共区域不宜设置过密间距的安全孔(门),且结合一般电缆敷设与通风装置,由 75m 放宽至 200m 较合适,但对于非开挖式隧道,通常埋深可能达 $10\sim 50\text{m}$ ,加以大口径管顶进的构建方式,其安全孔设置难度很大,不便对安全孔间距作硬性规定。

2 封闭式工作井当成安全孔供人进出时,在公共区域需要防止非专业人员可能随便进入。如日本《地中送电规程》JEAC 6021—2000 就明确规定:“工作井的盖板应使得专业工作人员外的一般人不容易开启,以预防任意进入的危险,为此,不仅需盖板具有足够重的重量,而且需使用特殊的开启工具”。

3 敷设电缆用牵引机、电缆接头组装用机具、隧道内安置防噪声的大叶片风机、照明箱和控制箱等,其尺寸较大,安全孔(门)需有适合通过的尺寸。

4 安全孔设置合适的爬梯,是指一般为固定式,且在高差较大时宜有单侧或双侧的扶手栏杆,以保证安全。

5 隧道安全孔的出口设置在车辆通行道路上,将达不到安全效果,宜尽可能避免。

**5.5.8~5.5.10** 原条文 5.5.8~5.5.10 保留条文。

## 5.6 其他公用设施中敷设

**5.6.1** 系原条文 5.6.1 保留条文。

**5.6.2** 系原条文 5.6.2 修改条文。自容式充油电缆除采用沟槽内埋砂敷设方式外,还可以选择敷设在可燃性材质的刚性保护管中。

**5.6.3** 系原条文 5.6.3 保留条文。

## 5.7 水下敷设

**5.7.1~5.7.6** 系原条文 5.7.1~5.7.6 保留条文。

## 6 电缆的支持与固定

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 系原条文 6.1.1 修改条文。在原条文“电缆明敷时,应沿全长采用电缆支架、挂钩或吊绳等支持”中补充“桥架”。

**6.1.2~6.1.11** 系原条文 6.1.2~6.1.11 保留条文。

### 6.2 电缆支架和桥架

**6.2.1** 系原条文 6.2.1 修改条文。原条文对电缆支架提出的要求,同样适合电缆桥架,故条文中补充“桥架”。

**6.2.2** 系原条文 6.2.2 修改条文。原条文中的电流取值“1000A”修改为“1500A”,与本规范第 4.1.8 条一致,也与《导体和电器选择设计技术规定》DL/T 5222—2005 第 7.3.9 条相协调。

**6.2.3~6.2.6** 系原条文 6.2.3~6.2.6 保留条文。

**6.2.7** 系原条文 6.2.7 修改条文。

1 实践证明,屏蔽外部的电气干扰,采用无孔金属托盘加实体盖板能起到较好的效果。

2 在有易燃粉尘场所如火电厂的输煤系统,桥架最上一层装设实体盖板时,以下各层梯架上粉尘不易积聚,又利于电缆散热。

3 高温、腐蚀性液体或油的溅落等需防护场所使用的托盘,最上一层装设实体盖板,可增强防护措施。

**6.2.8~6.2.11** 系原条文 6.2.8~6.2.11 保留条文。

## 7 电缆防火与阻止延燃

7.0.1 系原条文 7.0.1 保留条文。

7.0.2 系原条文 7.0.2 修改条文。排管中电缆引至工作井的管孔,也需实施阻燃封堵。

7.0.3 系原条文 7.0.3 修改条文。

### 1 条款 1 说明:

1)正在编制的《防火封堵材料》国家标准中已明确,孔洞用的该材料含有:①柔性有机堵料;②无机堵料;③阻火包;④阻火模块;⑤防火封堵板材;⑥泡沫封堵材料。我国已广泛应用①~⑤类,⑥类在欧洲已应用。生产厂家早已推出①~⑤类产品,近年又开发有膨胀型防火密封胶、防火灰泥、防火发泡砖、防火涂层矿棉板等品种。

2)防火封堵组件是一种由非单一封堵材料构成特定厚度的组合体,可含有支撑件。国外如日本电气施工协会按使用条件特征(孔洞口径及其贯穿电缆所占其面积百分数、封堵材料品种组合及其构成方式等)制定系列分类组装件模式,经日本建筑中心(BCJ)防火特性评定委员会评定,通过标准试验确定(BCJ-防火-型号标志)供应用,使封堵阻火性能较可靠地把握(参见日本期刊《电设工业》,2000,5,P44~56)。我国的生产厂家近年也有推出封堵组件,经标准试验证实了阻火性。

3)长期运行中电缆载流量( $I_M$ )受制于电缆导体工作温度( $\theta_M$ ),封堵部位的散热变差会使局部电缆导体温度持续增高 $\Delta\theta$ ,使 $I_M$ 值降低,就采用有机堵料与无机堵料两种而论,国内外曾进行过测试,如封堵层102~340mm厚且使用无机堵料时, $\Delta\theta$ 达8~18℃,相应 $I_M$ 需减少10%~20%;若使用有机堵料时, $\Delta\theta$ 的

增值很小可忽略(参见《电力设备》,2002, No. 3, P45~51);像膨胀式有机防火堵料、膨胀式阻火包之类材料,用于封堵时,可使电缆周围存在一定空隙以利正常运行时的散热,而一旦有火焰高温作用,热膨胀形成密封,能起阻火作用,因而也利于  $I_M$  不致降低。

4)按不同封堵材料的技术经济性,结合使用条件优化选择,如:当电缆贯穿孔洞为适应扩建而留有较大空间时,除对电缆周围宜用有机堵料外,其他空间的填充,可采用廉价、利于工效提高的无机堵料、阻火包等。

2 根据中国移动通讯调查,户外电缆沟设置阻火墙用的阻火包,由于积水浸泡曾有坍塌。故作此规定。

### 3 条款 4 说明:

1) 电缆贯穿孔洞封堵的一侧,若发生电缆着火,通过电缆导体、金属套的热传导,使背火侧出现高温,当电缆表面温度( $\theta_f$ )达到外护层材料的引燃温度时,则继续形成电缆延燃。通常电缆外护层为 PVC,其引燃温度约  $380^{\circ}\text{C}$ 。而阻火分隔的背火侧高温水随其厚度越薄越显著。对此,常用隔热性来表征,在此项燃烧试验标准中应有所反映,如美国 IEEE Std 634(1978 年)规定  $\theta_f$  不得超过  $370^{\circ}\text{C}$ ;日本建设者公告 2999 号、通商产业者第 122 号令所颁标准中,封堵层背火面限值为  $260^{\circ}\text{C}$ 、 $\theta_f$  为  $360^{\circ}\text{C}$ 。

2) 防火封堵材料及其组件的防火性,均经标准试验考核确认。当阻火分隔的构成特征如封堵厚度较薄或电缆截面很大、根数较多等,比该材料的标准试件装置条件苛刻时,其阻火有效性就需再证实。对隔热性不足需施加防火涂料等措施的长度值确定,是基于国内外测试值,一般可考虑  $0.5\sim 1\text{m}$ ;至于在封堵一侧或两侧施加,需视情况而定,如贯穿楼板孔洞引至柜、盘的电缆,一般在楼板上侧施加即可。

**7.0.4** 系原条文 7.0.4 保留条文。

**7.0.5** 系原条文 7.0.5 修改条文。修改原条文对采用阻燃电缆需具有 300MW 及以上机组的条件,改为不限机组容量,以增强电

厂的安全。

**7.0.6** 系原条文 7.0.6 保留条文。

**7.0.7** 系原条文 7.0.7 修改条文。新增条款 4。

**7.0.8** 系原条文 7.0.8 保留条文。

**7.0.9** 系原条文 7.0.9 保留条文。耐火电缆是具有在规定试验条件下,试样在火焰中被燃烧而在一定时间内仍能够保持正常运行性能的电缆,与阻燃电缆有显著区别。耐火电缆有较好的耐燃烧性能,但造价较高。

耐火电缆需着重考核在模拟工程条件及一定温度和时间的外部火焰作用下的持续通电能力。IEC 331 耐火性试验标准规定,火焰作用温度为 750℃ 时间为 3h,被试电缆应能在工作电压下维持连续通电。日本消防厅 1978 年修正的公告(强制性标准)规定,耐火电缆需在燃烧试验炉内按标准升温曲线的 30min 高温考核,30min 的最高温度为 840℃。我国《电线电缆燃烧试验方法 第 1 部分:总则》GB/T 12666.1—1990 和《在火焰条件下电缆或光缆的线路完整性试验 第 21 部分 试验步骤和要求 额定电压 0.6/1.0kV 及以下电缆》GB/T 19216.21—2003 等效 IEC 331,但试验温度和时间与 IEC 331 不同,划分为 A 级 950~1000℃、B 级 750~800℃ 两类,时间均为 1.5h,要求较 IEC 331 高。

在模拟工程条件及一定温度和时间的火焰作用下进行的电缆持续通电能力试验,国内外都进行过多次。在完成《电力工程电缆设计规范》GB 50217—94 报批稿前,国内曾按工程隧道和大厅式条件、配置 4~9 层支架、数十至上百根电缆,进行多次燃烧试验,测得火焰温度高达 875~990℃,每区段 800℃ 以上的时间未超过 0.5h,接近 1000℃ 的时间约在 10min 内。前苏联在隧道中 3~5 层支架多根电缆做燃烧试验,测得高温多在 850~1100℃,700~800℃ 持续时间 12min,隧道中空气温度 850~930℃。美国在大厅条件下配置 7 层电缆托架多根电缆,进行过燃烧试验,测得温度达 850~930℃。

20 世纪 80 年代初,日本东京高层建筑曾发生电缆火灾事故,事后测试,该建筑中的耐火电缆外护层被烧损但绝缘性仍能符合要求,表明符合日本耐火试验标准的耐火电缆经受住了高温火焰考验。英国军舰在马尔维纳斯海战中,其耐火电缆被烧损不能使用,反映出仅达到 IEC 331 标准(750℃),并不足以满足实际所需耐火性,此后促使英国制定出 BS 6387 标准,该标准的电缆耐火最高温度为 950℃、作用时间 20min。

综上所述,耐火电缆符合 GB 12666.1 标准的 A 类较为可靠。

**7.0.10~7.0.12** 系原条文 7.0.10~7.0.12 保留条文。

**7.0.13** 系原条文 7.0.13 修改条文。

**7.0.14** 系原条文 7.0.14 保留条文。

**7.0.15** 系原条文 7.0.15 修改条文。

## 附录 A 常用电力电缆导体的最高允许温度

系在原规范附录 A 基础上删改。

1 交流系统中不滴流浸渍、粘性浸渍纸绝缘电缆,现今除俄、英等极少数国家尚继续有限地采用外,我国与大多数国家一样,已不再选用,故删去。

2 电力电缆的耐高温特性与作用时间密切相关,一般分为:①长期持续;②短时应急过载;③短路暂态。世界上仅日、美的标准示出①~③相应允许最高温度 $\theta_m$ 、 $\theta_{me}$ 、 $\theta_{mk}$ ,迄今 IEC 标准中未曾示明 $\theta_{me}$ ,且本规范也尚未涉及②项,故仍只列示①、③。

3 自容式充油电缆除以牛皮纸作层状绝缘基材料,国外近有用半合成(聚丙烯薄膜,即 Polypropylene Laminated Paper,简称 PPLP)取代,我国也已具备这一制作能力。现所示普通型 $\theta_m$ 值比原规范提高,是根据《交流 330kV 及以下油纸绝缘自容式充油电缆及附件》GB 9326;半合成纸型 $\theta_m$ 值则参照日本 JCS 第 168 号 E (1995)、美国 AEIC CS<sub>4</sub>(1993)标准。它比法国 275~400kV 自容式电缆 ES 109—5(1991)标准 $\theta_m$ 为 90℃稍低。

4 聚氯乙烯(PVC)绝缘电缆的 $\theta_m$ 示出值,是按现行国家标准《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》GB/T 12706。它称之为普通型,因另曾研制有耐热型,需有所区分。国外关于 PVC 电缆类型可能的 $\theta_m$ 范围,如加拿大有撰述认为可在 60~105℃(参见《IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation》,Vol. 8, No. 5, 2001),日本 JCS 第 168 号 E 标准所示 PVC 电缆 $\theta_m$ 为 60℃。

5 交联聚乙烯(XLPE)绝缘电缆的 $\theta_m$ 示出值,依 220kV 及以下电缆制造标准 GB/T 12706、《额定电压 110kV 交联聚乙烯绝

缘电力电缆及其附件》GB/T 11017、《额定电压 220kV ( $U_m = 252\text{kV}$ )交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件》GB/Z 18890.1~3, 以及 500kV 级电缆需满足 IEC 62027—2001 标准试验考核所确定。与原规范 10kV 以上  $\theta_m$  取  $80^\circ\text{C}$  不同, 现不再按电压区分, 都取统一的  $90^\circ\text{C}$ , 是基于如下考虑:

XLPE 电缆迄今运行已达 30 年以上, 并未显示  $\theta_m$  需比额定值有所降低后才能可靠工作。至于日本 JCS 第 168 号 E(1995)标准中虽加注 110kV 以上 XLPE 电缆多使用  $\theta_m$  为  $80^\circ\text{C}$ , 但从 2001 年 IEC 62027 标准公布推行后, 国际上无一例外地都遵从该标准满足长达 1 年的资格试验(或称预鉴定试验), 因而再无须留有裕度。此外, 按美国标准 AEIC CS7(1993)对  $\theta_m$  值选取要求: 需在计算载流量所涉及电缆存在的全部热性数据充分已知, 确保  $\theta_m$  不致超过时可采取  $90^\circ\text{C}$ , 否则应取比该温度降低  $10^\circ\text{C}$  或其他适当值。借鉴已纳入本规范 3.7.1 的条文说明中提示, 故无必要对本附录列示  $\theta_m$  值打折扣。

需指出的是, 国内外现行 XLPE 电缆的  $\theta_m$  均为  $90^\circ\text{C}$ , 且仅此一种, 但日本近有特别选用非交联时具有高熔点( $128^\circ\text{C}$ )的聚乙烯料, 来研制  $\theta_m$  达  $105^\circ\text{C}$  的耐高温 XLPE 电缆, 且包含接头等附件也能适应(参见《电气学会论文志》B, Vol. 123, No. 12 或《广东电缆技术》2004, No. 2), 因而, 或许今后将可能不止当今一种型式, 故对所列 XLPE 电缆也注明属普通型。

6 原规范关于  $\theta_{mk}$  的备注, 源自早期苏联《电气安装规程》, 苏联第 6 版修订已不再含有, 而原规范当时沿袭自较早的电力部颁布的《发电厂、变电所电缆选择与敷设计规程》。现鉴于实际工作多未照办又尚无不良反应, 因此, 本次修订删除该备注。

## 附录 B 10kV 及以下电力电缆 经济电流截面选用方法

系新增附录。

电缆的经济电流密度是选择电缆的必要条件之一,对于选择电缆继而节省能源、改善环境、提高电力运行可靠性有着重要的技术经济意义。

导体的截面选择过小,将增加电能的损耗;选择过大,则增加初投资。使用经济电流密度选择电缆的目的,就是在已知负荷的情况下,选择最经济的电缆截面。

在经济电流密度的表达式中,有以下几个参数: $C_1$ 、 $A$ 、 $Y_p$ 、 $Y_s$ 、 $P$ 、 $i$ 、 $b$ 、 $a$ 、 $N$ 、 $R$ 、 $N_p$ 、 $N_c$ 、 $\tau$ 。参数中除  $i$  为国家规定的贷款利息外,其余的参数均要进行数据统计或调查研究。

经济电流密度计算公式中参数的确定:

(1) $C_1$ : 电缆本体及安装成本(元),由电缆材料费用和安装费两部分组成。电缆安装费中不包括电缆头制作及直埋电缆挖填土的费用。

(2) $A$ : 电缆投资中有一部分和电缆截面有关,这部分叫做成本的可变部分即为  $A$ 。其数值是相邻截面电缆的投资差与截面差的比值,即是电缆截面与投资形成函数的曲线的斜率。单位为元/ $m \cdot mm^2$ ,其公式见本规范式(B. 0. 2-1)。

对相同型号的电缆,随着截面积的变化  $A$  值变化的幅度不大,取其平均值作为计算数值。

(3) $Y_p$ 、 $Y_s$ :  $Y_p$  为集肤效应系数,  $Y_s$  为临近效应系数。

集肤效应系数  $Y_p$  与导体的直流电阻、截面积及材质有关,其函数表达式为:

$$Y_p = f(X) \quad (13)$$

$X=1256/(R_0 \cdot K_1)$ , 其中  $R_0 \cdot K_1$  为在工作温度下导体的直流电阻 ( $\Omega/m$ )。

$R_0 = \rho_{20}/S$  ( $\Omega/m$ ) 为  $20^\circ\text{C}$  下的直流电阻最大值。

$K_1 = 1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)$ , 为温度系数, 其中  $\theta_m$  为经验数值 (见 IEC 287-3-2/1995) 取  $40^\circ\text{C}$ 。

$K_1$  (铝) = 1.0806

$K_1$  (铜) = 1.077

邻近效应系数  $Y_s$  的表达式为:

$$Y_s = 1.5(d_1/S)^2 \cdot G(X') / [1 - 5(d_1/S)^2 \cdot H(X')/24] \quad (14)$$

$$H(X') = F(X')/G(X')$$

$$X' = 0.984X$$

式中  $d$ ——导体外径;

$S$ ——导体中心距离。

每种不同型号和材料的电缆, 都可以求出各自对应截面的  $Y_p$ 、 $Y_s$  值, 因同种型号和材料的导体的  $Y_p$ 、 $Y_s$  值随截面的变化波动不大, 所以在计算中取其平均值。

(4)  $P$ : 根据 IEC 287-3-2/1995,  $P$  为电价, 是在相关电压水平上  $\text{kW} \cdot \text{h}$  的成本, 也就是使用者的用电成本。  $P$  值根据使用对象的不同是各不相同的。对于使用本专题的三类用户, 即发电企业、供电企业和最终用户, 要分别进行讨论。对于最终用户  $P$  值为现行电价, 而对于发电企业和供电企业来说则是发电成本和供电成本。

由于发电行业和供电行业还没有完全分开, 他们之间仍存在千丝万缕的联系, 而且发电厂本身由于发电方式的差异和地域性的差别, 其发电成本是千差万别的, 而发电企业给电网的上网电价也是各不相同的。因此, 国家电力公司动力经济研究中心建议发电成本和供电成本各取一个全国平均价。

(5)  $i$ : 为贴现率(%), 可取全国现行的银行贷款利率。

(6)  $b$ : 为能源成本增长率(%), 根据 IEC 287-3-2/1995, 取 2%。

(7)  $a$ : 为负荷增长率。我们在选择导体截面时所使用的负荷电流是在该导体截面允许的发热电流之内的, 当负荷增长时, 有可能会超过该截面允许的发热电流。考虑  $a$  的目的是预计负荷的增长而将导体截面留有一定的裕度。

当使用经济电流密度选择导体截面时, 往往选择的经济截面要比发热截面大很多, 不存在负荷的增长使发热截面不满足要求的情况; 同时, 负荷增长率是随时间、空间不断变化的, 很难确定其数值; 根据灵敏度分析,  $a$  的波动对  $J$  的影响又很小, 所以忽略不计。

(8)  $N$ : 为经济寿命, 即采用导体的使用寿命。考虑某种导体从投入使用一直到使用寿命结束整个时间内的投资和运行费用的总和最小, 而不是使用中的某个阶段。

根据 IEC 287-3-2/1995 及国家电力公司动力经济研究中心的建议,  $N$  取 30 年。

(9)  $R$ : 为交流电阻( $\Omega/m$ )。计算公式为:

$$R = R_0 \cdot B \cdot K_1 \quad (15)$$

式中  $R_0$ ——20℃下的直流电阻;

$B$ ——导体损耗系数;

$K_1$ ——温度系数。

(10)  $N_p$ : 为每回路相线数。本报告中讨论的均为三相导体, 所以  $N_p$  取 3。

(11)  $N_c$ : 为传输同样型号和负荷值的回路数。考虑为独立的导体,  $N_c$  取 1。

(12)  $\tau$ : 为最大负荷损耗时间, 即相当于负荷始终保持为最大值, 经过  $\tau$  小时后, 线路中的电能损耗与实际负荷在线路中引起的损耗相等。单位为小时, 其表达式如下:

$$\tau = (\int_0^{8760} W_0^2 dt) / W_m^2 \quad (16)$$

式中  $W_0$ ——视在功率；

$W_m$ ——视在功率最大值。

实际系统中负荷是随时间变化的，所以送电网络的功率损耗也随着负荷变化而变化。表示负荷随时间变化的曲线称之为负荷曲线。设计新电网时，负荷曲线是不知道的，同时负荷变化同很多因素有关，因此要准确预测某线路的  $\tau$  值是相当困难的。特别是最大负荷损耗时间  $\tau$  和视在功率（全电流）的负荷曲线有关，而一般负荷曲线都是用有功负荷表示，若要将有功负荷曲线改为视在功率负荷曲线就要知道每一时刻的功率因素，这就更困难了。目前可使用最大负荷利用时间  $T$  来近似求  $\tau$  值。所谓最大负荷利用时间，就是负荷始终等于最大负荷，经过  $T$  小时后它所送出的电能恰好等于负荷的全年实际用电量。显然  $T$  与  $\tau$  的关系是由负荷曲线的形状和功率因素决定的。 $T$  的表达式如下：

$$T = (\int_0^{8760} P dt) / P_m \quad (17)$$

式中  $P$ ——有功功率；

$P_m$ ——有功功率的最大值。

附录 C 10kV 及以下常用电力电缆  
允许 100% 持续载流量

系原附录 B。

附录 D 敷设条件不同时电缆允许持续载流量的  
校正系数

系原附录 C。

附录 E 按短路热稳定条件计算电缆导体  
允许最小截面的方法

系原附录 D。

附录 F 交流系统单芯电缆金属层  
正常感应电势算式

系新增附录。

## 附录 G 35kV 及以下电缆敷设度量时的附加长度

系原附录 E。

## 附录 H 电缆穿管敷设时容许最大管长的计算方法

系原附录 F。

S/N:1580177·028



9 158017 702804 >



统一书号:1580177·028

定 价:27.00 元