

EJ

中华人民共和国核行业标准

EJ 534—91

核电厂安全级电路电缆系统 的设计和安装

1991-10-11 发布

1992-03-01 实施

中国核工业总公司 发布

目 次

1	主题内容与适用范围	(1)
2	引用标准	(1)
3	术语	(1)
4	电缆、电缆接头和连接的质量鉴定	(2)
5	导体截面选择	(3)
6	电气隔离	(3)
7	分隔与标识	(3)
8	屏蔽和屏蔽接地	(3)
9	电缆贯穿件挡火层、挡火隔件和系统封闭屏障	(4)
10	火灾探测系统	(5)
11	灭火系统	(5)
12	管理与安装	(6)
13	电缆安装后的验收检验	(7)
14	文件	(7)
	附录 A 本标准实施建议及指南(参考件)	(9)

核电厂安全级电路电缆系统 的设计和安装

EJ 534—91

1 主题内容与适用范围

本标准规定了核电厂安全级电路电缆系统的设计和安装要求。

本标准适用于核电厂安全级电路电缆系统的设计和安装,也适用于可能影响安全系统功能的相关电路或其他非安全级电路电缆系统的设计和安装。

2 引用标准

- GB 12727 核电厂安全系统电气物项质量鉴定
- GB 13286 核电厂安全级电气设备和电路独立性准则
- GB 116 火灾自动报警系统设计规范
- GBJ 282 电气装置安装工程施工及验收规范
- EJ 616 核电厂电气、仪表和控制设备的安装、检查和试验要求
- EJ 705 核电厂安全级电缆及现场电缆连接的形式检验
- HAF 0202 核电厂防火
- HAF 0402 核电厂质量保证记录制度

3 术语

3.1 安全级电路 class 1E circuits

完成反应堆紧急停堆、安全壳隔离、堆芯冷却以及从安全壳和反应堆排出热量所必需的电路,或者是防止放射性物质向环境大量排放所必需的电路。

3.2 相关电路 associated circuits

与安全级电路共用电源、信号源、外壳或电缆通道的非安全级电路,或者与安全级电路未经过可接受的分隔距离、屏障或隔离装置而实现实体分隔或电气隔离的非安全级电路。

3.3 设计基准事件 design basis events(DBE)

为确定系统和构筑物的性能要求,在设计中所采用的假想事件。

3.4 连接 connection

在电缆与设备接口处的电缆终端连接、接头或对恶劣环境边界处的密封。

3.5 电缆接头 field splice

为满足所需使用条件要求,现场导体的永久性连接并再绝缘。

3.6 合格寿命 qualified life

相对于一组规定的运行条件,能通过鉴定证明设备具有满意性能的时间间隔。

3.7 使用条件 service conditions

预计在正常运行、极限运行和电厂设计基准事件假想工况下出现的环境、动力和信号条件。

3.8 分隔 separation

冗余的电路、部件和设备的实体独立性(实体独立性可通过距离、屏障、护罩等措施来实现)。

3.9 屏蔽 shield

在单根或多根导线的绝缘层外面,加上铜丝编织、金属护套或包有聚脂的金属带(通常是铜带或铝带),以减少所屏蔽的导体与其他物项之间的静电耦合,这些物项或是对静电场噪声敏感,或是静电场(噪声)发生器。如果要求电磁屏蔽,通常要加上“电磁”一词,以表明在屏蔽要求和材料上的差别。

3.10 耐火屏障 fire resistive barrier

用来防止火灾蔓延的墙壁、地板或地板-天花板组件。

3.11 耐火屏障极限 fire resistive barrier rating

它用时间(小时和分)表示,表明在此时间间隔内,墙壁、地板或地板-天花板组件能经受住标准燃烧的作用而不失效。

3.12 电缆贯穿件 cable penetration

使电导体进入并连续通过某一耐火极限的结构墙、地板或地板-天花板组件的一个或几个组件。

3.13 电缆贯穿件挡火层 cable penetration fire stop

使电缆贯穿件穿过某一耐火极限的耐火屏障,并维持其所要求的耐火极限的材料、装置或部件组合。

3.14 电缆挡火隔件 cable fire break

除了在耐火屏障的电缆贯穿件处的以外,安装在电缆系统内的材料、装置或部件组合,用以防止火焰沿电缆系统蔓延。

3.15 电缆系统封闭屏障 cable system enclosure

安装在电缆系统周围的组合件。当该区域出现预期的最严重的火灾时,在规定时间内保持封闭屏障范围内所有电路的完整性。

4 电缆、电缆接头和连接的质量鉴定

4.1 电缆、电缆接头和连接在所有使用条件下都必须具有合格的寿命,这些条件是根据其使用场所规定的。鉴定必须符合 GB 12727 和 EJ 705 的要求。

4.2 安装在电缆托架中的所有电缆,都必须通过垂直托架燃烧试验。该试验的说明见 EJ 705 的要求。

5 导体截面选择

本章规定了安全级电路的电缆在不同安装方式下导体截面选择的要求。

- 5.1 电缆导体截面选择必须满足负荷电流的要求。
- 5.2 除了电厂安全分析提出其他环境温度外,计算载流量的最低环境温度在埋地敷设时为 20℃,明敷时为 40℃。所选导体的截面必须满足正常负荷、事故过负荷和短路电流的要求,其绝缘层温度在最大假想的环境温度下不超过设计温度。电缆质量鉴定必须考虑设计基准事件下的温度极值,并符合 EJ 705 的规定。
- 5.3 电缆路径经过几种不同的安装条件时(如直接埋地、日光下、明管敷设、电缆贯穿件挡火层、有盖电缆托架、电缆槽、热蒸汽管附近等),导体截面必须按限制条件选择。
- 5.4 导体截面选择必须考虑电压损失、护套感应环流和机械强度等要求。

6 电气隔离

本章根据电压等级、信号水平和对电噪声的易感性,规定安全级电路电缆系统的电气隔离要求。

6.1 电缆分类

6.1.1 中压电力电缆

用于向额定电压为 1kV 以上至 35kV 的厂用电系统及设备供电的电缆。

6.1.2 低压电力电缆

用于向额定电压为 1kV 及以下厂用电系统及设备供电的电缆。

6.1.3 控制电缆

这类电缆用于电流较小或断续工作的设备,以改变电厂设备的运行状态。

6.1.4 测量电缆

用于传输可变的电流或电压信号(模拟信号),或用于传输数码信息(数字信号)的电缆。

6.2 要求

- 6.2.1 中压电力电缆的安装不能因其绝缘失效而将中压加至电压较低的系统。见附录 A (参考件)A4.2。
- 6.2.2 测量电缆的安装必须尽量减小来自邻近电路和设备不可接受的噪声影响。见附录 A (参考件)A4.3。

7 分隔与标识

安全级电路电缆系统必须满足 GB 13286 的分隔和标识的要求。

8 屏蔽和屏蔽接地

本章规定了安全级电路电缆系统中压电力电缆和测量电缆的屏蔽和屏蔽接地要求。

8.1 中压电力电缆

8.1.1 屏蔽要求

除了特殊用途或特殊设计的电缆外,额定电压在 6kV 及以上的电缆必须有屏蔽层。

8.1.2 屏蔽终端要求

屏蔽电缆的末端必须加适当的经过鉴定的终端装置。这些终端装置不应损害电缆的完整性或合格性能。

8.1.3 屏蔽接地要求

8.1.3.1 电缆屏蔽、金属护套或铠装必须在一点或几点可靠地接地,使它们始终处于地电位或接近于地电位。

8.1.3.2 屏蔽或金属护套在几点接地时,存在感生的环流。在计算电缆的载流量时,必须考虑补偿环流的热效应。

8.2 测量电缆

8.2.1 除特殊原因而另有要求外,电缆屏蔽在电气上必须是连续的。当两根屏蔽电缆在端子上连接时,必须将屏蔽层接在端子板的绝缘端子上。

8.2.2 各电缆的屏蔽层必须隔离,以防止屏蔽层杂散的多路接地。

8.2.3 当屏蔽层只设计来降低静电耦合或电磁耦合时,禁止把它当作导体来使用。

8.2.4 同轴电缆、三同轴电缆和测量电缆的屏蔽准则(如屏蔽有效性、接地方法等)必须满足系统设计要求,并和产品说明书相一致。

9 电缆贯穿件挡火层、挡火隔件和系统封闭屏障

本章规定了安全级电路电缆系统的电缆贯穿件挡火层、挡火隔件和系统封闭屏障的选择和应用要求。

9.1 一般要求

电缆贯穿件挡火层、电缆挡火隔件和电缆系统封闭屏障的材料选择应根据当地环境条件及设计基准事件决定,如附录 A(参考件)A2 所述的水淹、辐射、地震、老化等事件。此外还必须考虑以下因素:

- a. 耐火材料与电缆、电缆通道材料的相容性;
- b. 安装期间产生的毒性气体、腐蚀性气体或烟雾;
- c. 安装和运行期间由于材料膨胀可能使电缆绝缘层和护套受到挤压;
- d. 电缆载流量;
- e. 电缆贯穿件挡火层承受压差的能力;
- f. 电缆贯穿件挡火层承受水龙带冲水试验的能力,该试验用于电气火灾应是可接受的。

9.2 电缆贯穿件挡火层要求

凡是电缆系统穿过耐火屏障的地方,都必须安装电缆贯穿件挡火层,其耐火极限必须等于或大于耐火屏障的耐火极限。穿过挡火层电缆数量的修改,不能损害挡火层的完整性。

9.3 电缆挡火隔件要求

经火灾危害性分析认为必要时,必须在电缆托架系统中安装电缆托架挡火隔件。

9.4 电缆系统封闭屏障要求

电缆系统加了封闭屏障之后,分隔距离允许小于 GB 13286—91 中 5.1.1.2 条的规定值,但必须满足 5.1.1.3 条的要求。

10 火灾探测系统

本章规定安全级电路电缆系统火灾探测系统的选择和使用要求。

10.1 在电缆密集区必须按照 HAF 0202 和 GBJ 116 的要求选择和布置自动火灾探测装置。见附录 A 中 A7。

10.2 在电气上必须对火灾探测系统进行监督。安装接线电路出现单点开路或单点接地而影响报警系统正常工作时,必须发出故障信号。此外,火灾报警系统的主电源、报警触发电路、信号线或报警指示电路出现接地故障或短路故障而影响报警系统正常工作时,也必须发出故障信号。

11 灭火系统

本章规定了用于保护安全级电路电缆系统的灭火系统选择和应用要求。

11.1 固定式灭火系统应用要求

11.1.1 电缆密集区、架空地板以下或吊顶以上的明敷电缆空间,必须进行火灾危害性分析(见 HAF 0202),以确定是否需要设置固定式自动灭火系统。

11.1.2 当上述分析要求设置固定式灭火系统时,所设计的自动喷水系统必须符合 HAF 0202 的规定。

如果固定式喷水系统触发后可能对敏感设备产生不良影响,从而不满足单一故障准则时,必须针对水的喷洒对设备采取保护措施并进行密封,以防止高位水沿电缆系统流入设备而引起设备损坏。如果不能对设备进行保护,则应设置适当的用其他灭火剂的灭火系统。

11.1.3 手动或自动的固定式灭火系统,必须给控制室操作人员发出系统正常工作或处于异常状态的信号。

11.1.4 在某些区域内,如强迫通风会使烟雾或气体灭火剂或这两者输送到其他区域,在灭火系统启动之前必须关闭机械通风系统。在消防系统动作之前,必须用机械或电气释放装置关闭防火挡板。

11.2 手提式灭火器要求

11.2.1 必须根据需要在全厂范围内设置手提式灭火器,并充分覆盖整个安全级电路电缆系统区域。

11.2.2 为了人身安全,只有那些专门指定并经过应用试验的水载体或水溶液手提灭火器,才能用于扑灭含有通电电缆的火灾。

11.3 消防水管和水龙带箱要求

11.3.1 必须根据需要在全厂范围设置消防水管和水龙带箱,并充分覆盖整个安全级电路电缆系统区域。

11.3.2 水龙带箱需备有喷头,如果用于附近有通电电气设备的火灾,必须采用经过合格鉴定的喷头。

12 管理和安装

12.1 一般要求

12.1.1 安全级电路电缆系统的安装和检验必须满足 EJ 626 的要求。

12.1.2 电缆必须安装在经过设计基准事件鉴定合格的电缆通道系统中。

12.1.3 电缆的安装必须使安全级设备和电路的独立性符合 GB 13286 的要求。

12.1.4 电缆安装之前,电缆通道系统必须有永久性标识。电缆和电缆通道系统的标识必须符合 GB 13286 的要求。

12.1.5 电缆接头的型式和位置必须记录并存档,以供电厂维修时参考。文件编制要求见第 14 章。

12.2 贮存要求

12.2.1 贮存期间电缆端头必须密封,以防电缆受潮和污染。

12.2.2 必须按照生产厂的建议贮存和管理电缆盘,以防电缆损坏或品质下降。

12.3 电缆安装要求

12.3.1 安装电缆的通道系统必须有适当的牵引点(如拉线盒、人孔等),使电缆所受的牵引拉力和侧壁压力不超过最大允许值,见附录 A 中 A9。

12.3.2 安装电缆的通道系统的弯曲必须适当,并具有适当的连接盒和安装部件,以满足电缆产品关于电缆安装的最小允许弯曲半径要求。

12.3.3 如果电缆通道采用钢导管或钢套筒,三相交流电路的各相或单相交流电路的两线,必须装在同一钢导管或钢套筒中,以便尽量减少感应发热。

12.3.4 电缆的安装必须使电缆系统的完整性不受机械系统移动的影响。

12.3.5 如果通道用于安装或支承设备、管系、仪表管或其他装置,则电缆不能安装在这样的通道中,除非通道系统在设计上考虑了附加负荷,或采取了专门的预防措施,保护电缆免受支承装置故障及其内含物的影响。

12.3.6 对于所有电缆的敷设细则,除遵守本标准的要求外,尚应符合 GBJ 233 的规定。

12.3.7 不得在有锐角弯或障碍物的路径中牵引电缆。

12.3.8 敷设电缆的环境温度不得低于电缆生产厂推荐的最低温度。

12.3.9 敷设电缆所用的润滑剂必须与电缆护套相容。

12.3.10 在导管中牵引电缆时,不得损害电缆的完整性。

12.3.11 中压电力电缆在安装时和安装后必须妥善密封。其他电缆如果安装在潮湿地区,也必须妥善密封。

12.3.12 电缆在接至终端装置之前,必须将牵引装置内的电缆端头部分截去。

12.3.13 电缆敷设完成后,在长期使用过程中必须保持不小于电缆生产厂所推荐的最小允许弯曲半径。

12.3.14 敷设电缆的托架,如果处于地板平面和有机械损伤危险的地方,必须采取保护电缆的措施。

12.4 电缆通道内电缆装载量要求

12.4.1 托架内电缆敷设数量受电缆载流量要求(见第4章)、托架及其支承件的结构强度和托架的横截面积的限制。

12.4.2 托架内电缆敷设数量达到设计限定值时,除了经过检查和分析表明可以增加敷设电缆外,不能再增加敷设电缆。

12.4.3 必须分析确定电缆装载的重量范围,并据此对电缆托架支承系统进行地震分析。电缆装载量不得超过地震分析所允许的数值。

12.4.4 除了分析表明允许增加敷设电缆外,导管内电缆的装载量不得超过下表要求:

电缆所占导管截面百分比(%)

导管中电缆根数	1	2	3	4	>4
铅包电缆	40	30	40	38	35
其他电缆	40	31	40	40	40

12.5 垂直路径电缆的支承要求

12.5.1 电缆终端不得承受垂直电缆所产生的过大拉力。

12.5.2 垂直敷设的电缆必须按要求每隔一定距离用支承件卡紧。垂直托架内的电缆也必须根据需要在中间位置卡紧,以保持所有电缆完全在托架中。

13 电缆安装后的验收检验

13.1 目的

检验的目的是验证电缆在贮存和安装过程中未发生较大的绝缘损坏。但是应当注意,这些检验可能发现不了在以后工作中可能导致电缆故障的损伤,如中压电缆护套、绝缘或屏蔽的损伤,或低压电缆绝缘的损伤。

13.2 要求

13.2.1 电缆系统安装后的检验必须符合 EJ 626 的要求。

13.2.2 中压电力电缆在与设备连接之前,必须进行直流耐压试验。

13.2.3 低压电力电缆在与设备连接之前必须检查绝缘电阻。

13.2.4 电缆检查结果必须记录并存档,以供电厂维修时参考。

14 文件

本章规定了安全级电路电缆系统设计和安装的文件要求。

14.1 随着工作的进行,必须完成所需的文件,以便为项目的质量和影响质量的活动提供依据。

14.2 文件必须包括审查、检查、试验和资料分析的结果。文件还必须包括适当的资料,如设计和安装过程、设备、计算机程序和人员的合格鉴定。文件至少必须列出审查、检查或试验的日期;审查者、检查者、数据记录者的姓名;审查或检查的方式、结果、可接受性以及对所存在问题所采取的措施。

14.3 文件的收集、贮存和保管必须符合 HAF 0402 的要求。

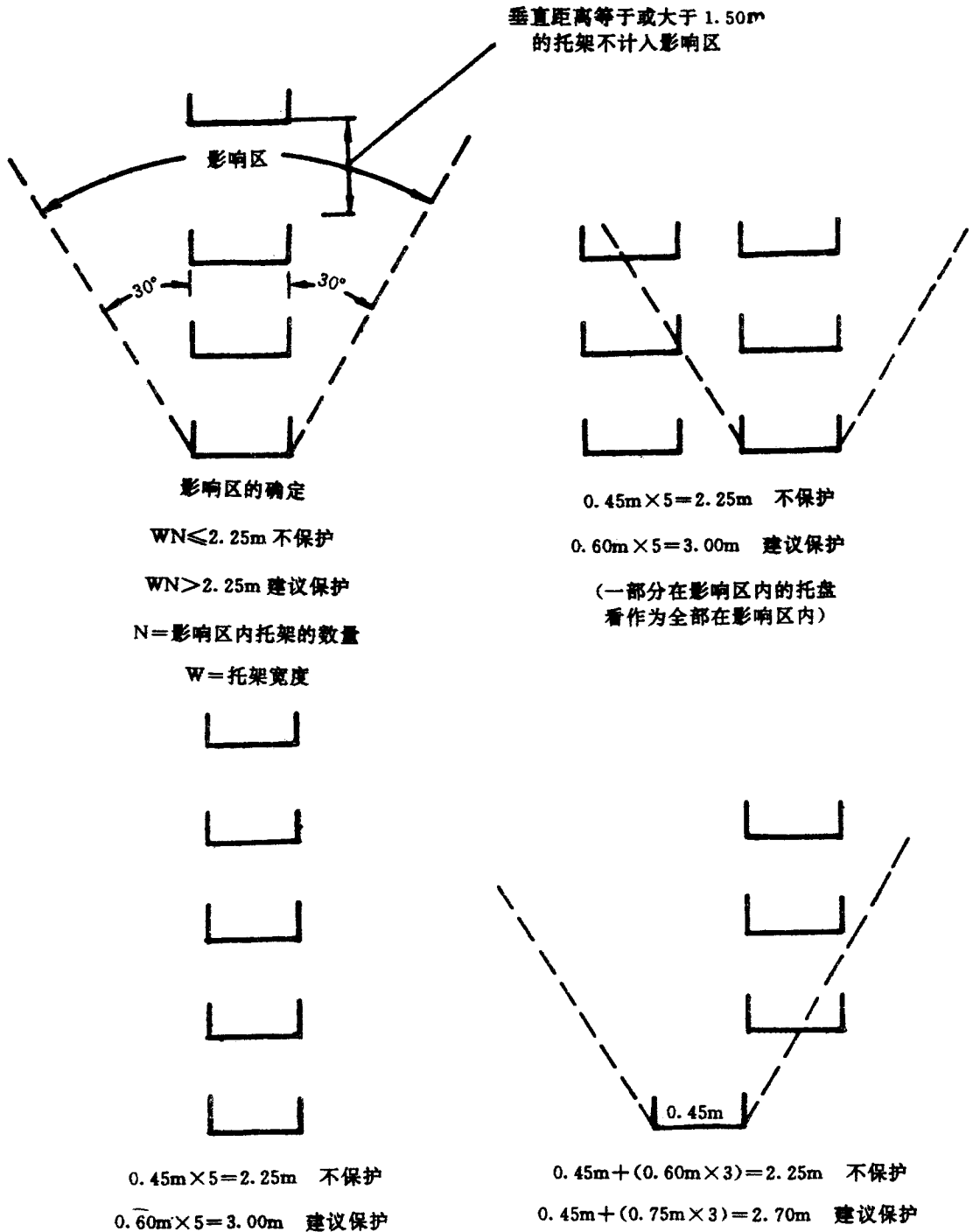


图 A1 潜在的密集电缆托架火灾影响区的确定

附录 A

本标准实施建议及指南

(参考件)

A1 总则

本附录为实现核电厂安全级电路电缆系统设计和安装标准的要求提出建议并提供指导性资料,但这并不意味着这些建议是实现本标准要求唯一可接受的方法。

A2 电缆、电缆接头和连接的质量鉴定

本章适用于本标准的第 4 章。

A2.1 使用条件

电缆可以直接埋地,敷设在地上或地下的管道中,封闭安装在地上电缆槽内,或者在电缆托架内明敷。电缆和电缆接头应适合于在安装后的环境下工作。根据安装后的环境条件对电缆连接应采取适当的保护措施。

A2.2 设计考虑

认真校核设计限值、正确选择电缆、正确确定所要求的安装设计和安装方法,将有助于保证安装的高质量。所有电缆应当满足产品规格书的要求。

A2.3 电厂分区

核电厂内的区域有正常环境、非正常环境和事故环境三种特征。

反应堆厂房以外的电厂区域,如控制室、继电器室和开关装置室可能受到下列事件的影响:火灾、水淹、地震或失去采暖、通风和空调事件,但不包括类似失水事故这样的事件。

安装在安全壳内的设备,在假想事故下,将受最严重的环境条件影响。安装在安全壳外的设备,在高压管道破裂时,通常处于最恶劣的环境条件。

A2.4 温度和压力

A2.4.1 能引起严重环境条件的假想事故是:

- a. 能产生最高压力的失水事故;
- b. 能产生高温的高压管道破裂事故。

A2.4.2 核电厂内电缆、电缆接头和连接器工作环境温度一般取 40℃。如果安装在环境温度超过 40℃的区域(如反应堆安全壳内,蒸汽阀门和设备外壳附近),其温度必须特殊考虑。

A2.5 相对湿度

压水堆和沸水堆环境的相对湿度假定为 100%。

A2.6 空气化学成分

事故期间,压水堆安全壳内的环境空间可能由饱和蒸汽、空气和氢气组成。此外,设备还可能同时处于典型的水雾中,其成分为:

硼	1900~2200ppm
硼酸-氢氧化钠溶液 pH 值	9~10.5
氢氧化钠	1.75%(重量百分比)

特殊用途的实际水雾化学成分应用于规定设备的技术条件。

注:化学物、热或辐射的作用,可能引起涂层如油漆或电镀层起皮、或从被保护表面脱落。

A2.7 辐射

用在辐射环境中的材料选择必须考虑短期和长期的辐射效应。在所使用的材料中,部分材料的品质在使用过程中总是会降低的。必须考虑辐射影响的类型和程度,它们可能使材料硬化、膨胀、软化或退化。随着在正常和事故条件下辐射剂量的逐步积累,对材料性能的影响也是逐步增加的,材料在低辐射水平下时间过长,就可能不能保持其所希望的材料特性。用在低辐射区域下满意的材料,用在连续高辐射水平下或在失水事故中则可能是不合适的。

A2.8 老化模拟

老化模拟目的是将试验样品置于产品寿命终了或电厂设计寿命终了(取其短者)的工作条件下。老化模拟包括热老化模拟和辐射老化模拟。根据阿列尼厄斯方法确定热损坏速率。辐射模拟通常用短时间高剂量的方法来进行。

A2.9 防火

A2.9.1 火灾及其后果的纵深防御概念包括采用不可燃材料。当使用不可燃材料不合适时,如电缆、润滑剂、设备和其他部件,选择材料时应考虑其阻燃特性。

A2.9.2 EJ 705 提出的燃烧试验参数,不一定代表了核电厂内的安装条件。因此,用该试验鉴定过的电缆在实际安装和排列下可能使火灾蔓延。安装经过该燃烧试验的电缆时,可能还需要采取其他防火措施。

A3 导体截面选择建议

本章适用于本标准的第 5 章。

A3.1 建议

A3.1.1 各种电缆结构及安装方式的电缆载流量是根据生产厂的推荐值确定的,其中包括导体截面的适当选择和校正系数的应用。

A3.1.2 当电缆成组并列敷设(包括明敷、穿管或直埋地敷设)时,或环境温度与载流量表的假定值不同时,电缆载流量会有明显的变化,变化情况由不同条件下的校正系数确定。

A3.1.3 除了所给出的环境温度、安装方式和排列情况之外,其他条件下的电缆载流量可采用工业上可接受的方法进行计算。

A3.1.4 如有挡火层和挡火隔件时,则可能要求再次降低电缆的载流量。

A.4 电气隔离建议

本章适用于本标准的第 6 章。

A4.1 电缆安装在重叠的电缆托架内时,应当按电压递降方式来排列,电压较高的电缆放在顶层。

A4.2 为实现第 6.2.1 条的要求(即中压电力电缆的安装不能因其绝缘失效而将中压加至电压较低的系统)建议采用以下方法:

a. 安装中压电力电缆的路径应和低压电力电缆、控制电缆和测量电缆的路径分开。不同电压等级的中压电力电缆其安装路径也建议分开。

b. 利用具有监视作用的屏蔽电缆(此时不要求路径分开)。

A4.3 为实现第 6.2.2 条的要求(即测量电缆的安装必须尽量减小来自邻近电路和设备不可接受的噪声影响),建议采用以下方法:

a. 在测量电缆和电气噪声源之间进行实体分隔,然而,只有实体隔离可能是不够的;

b. 安装在密闭的金属电缆通道中。见附录 A 中 A5.2;

c. 电缆芯线绞合并屏蔽。见附录 A 中 A5.2;

d. 设备具有适当滤波、或采用其他防止电气噪声干扰的方法。

A4.4 低压电力电缆、控制电缆和测量电缆实体分隔原则

A4.4.1 除非采取了适当的保护措施,在同一电缆通道内避免将尺寸差别很大的电缆敷设在一起,以防止敷设时损伤尺寸较小的电缆。

A4.4.2 如果低压电力电缆和控制电缆的尺寸相差不大,其工作温度接近,便可敷设在一起。当它们敷设在托架内时,如果对其位置未进行限制和编组,电力电缆载流量应按托架内所有电缆都是电力电缆来计算。低压电力电缆和控制电缆通常分开敷设。

A4.4.3 模拟信号电缆应当与所有电力电缆、控制电缆、载有数字或脉冲信号的非屏蔽电缆分开敷设。电缆分隔可以采用使电缆路径分开或在托架内加隔板来实现。应当与其他电噪声源如电力变压器、电动机等保持分隔。不带电源线的电话通信电缆,如果有适当屏蔽,便可与模拟信号电缆敷设在同一电缆通道中。

A5 屏蔽和屏蔽接地

本章适用于本标准的第 8 章。

A5.1 中压电力电缆

A5.1.1 屏蔽建议

额定电压 6kV 及以上的电缆要求屏蔽。屏蔽也可用来监测或检验电缆安装的质量,以进一步保证绝缘完整性。当存在下列条件之一时,工作电压为 2kV~6kV 的电缆应当考虑屏蔽要求:

- a. 由导电环境过渡到非导电环境;
- b. 由潮湿土地过渡到干燥土地;
- c. 静电放电不充分的干燥土壤;
- d. 潮湿导管;
- e. 接至架空线;
- f. 电缆表面集聚导电物质,如煤烟或盐的沉积物;

- g. 静电场的大小足以干扰控制和测量电路的功能；
- h. 涉及人身安全；
- i. 长的地下电缆；
- j. 托架中的单相电路。

A5.1.2 护套损耗对载流量的影响

在多点接地的护套中,护套中环流的大小取决于电缆护套与电缆芯线之间的互感、电缆护套与其他电缆芯线之间的互感、这些芯线中的电流以及护套的阻抗。环流使护套发热,从而降低了电缆有效载流量。表 A1 给出了单芯电缆护套损耗的计算公式。

为了简化互感和护套电阻的计算,可采用式(A1),(A2),(A3),(A4),(这些公式忽略了邻近损耗,但对实用目的来说是足够精确的):

$$X_M = 2\omega \ln \frac{S}{r_m} \times 10^{-9} \dots\dots\dots (A1)$$

$$a = 2\omega \ln 2 \times 10^{-9} \dots\dots\dots (A2)$$

$$b = 2\omega \ln 5 \times 10^{-9} \dots\dots\dots (A3)$$

$$R_s = \frac{\rho_s}{2\pi r_m t} \dots\dots\dots (A4)$$

式中: X_M ——护套与芯线之间的互感, Ω/cm ;

a ——用于表 A1 电缆排列 III ~ VI 的互感校正系数, Ω/cm ;

b ——用于表 A1 电缆排列 V、VI 的互感校正系数, Ω/cm ;

R_s ——护套电阻, Ω/cm ;

t ——金属护套厚度, cm ;

$\omega = 2\pi f$, f ——电源频率, Hz ;

S ——电缆中心之间的距离, cm ;

r_m ——护套的平均半径, cm ;

ρ_s ——在工作温度下(假定为 50°C)近似的护套金属电阻率,它包括了螺旋形带或螺旋形线的允许误差。

ρ_s 的典型值:

重叠的镀锡铜带 $5.0 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$

铅包护套 $2.5 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$

铝包护套 $3.3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$

当频率为 50Hz 时:

$$X_M = 6.28 \ln \frac{S}{r_m} \times 10^{-9};$$

$$a = 4.35 \times 10^{-7} \Omega/\text{cm};$$

$$b = 1.0 \times 10^{-6} \Omega/\text{cm}。$$

每根导管安装 3 根电缆,电缆排列方式为表 A1 的 II。在此情况下并考虑到电缆在管道中位置的随机性,距离 S 等于电缆外径加大 20%。

在下列情况下,三相电路的感应环流校正通常是可以忽略的:

- a. 具有公共金属护套的三芯电缆；
- b. 安装在同一电缆通道的若干单芯屏蔽电缆，每根电缆芯线截面不大于 250mm^2 ；
- c. 安装在同一电缆管道上的若干单芯铅包护套电缆，每根电缆芯线截面不大于 125mm^2 。

电路的三相应当安装在同一管道中。如果在每一管道中只能装一相，导管的选择和安装应当尽量减小管道中的环流，否则在确定电缆载流量时必须考虑环流引起的导管发热。

当电缆护套仅在一端接地时，由于护套电压的上升不能超过允许值，电缆敷设长度将受到限制。所有铅包电缆都必须作同样的考虑。

由于通常使用窗型或零序电流互感器作接地过电流保护，此时必须注意电缆屏蔽线的起始端。如果屏蔽线穿过窗型电流互感器，接地返回线应当通过该电流互感器送回后再接地，这对于保证继电器的正常工作是必要的。

A5.1.3 护套感应电压

载有交流电的单芯电缆护套，如果只有一点接地将产生一个电位。表 A1 用来计算护套感应电压。表 A2 给出护套一端接地时，护套电位保持在 25V 内的典型护套长度。如果选取更高的电位，则长度按线性外推。护套感应电压也决定于电缆的绝缘厚度、排列的几何形状和距离。如果要求的精度高于表 A2 所给的精度，则应单独进行计算。

这些长度是在铜导线可能遇到的最高负荷条件下得到的。它们适用于工作在电压频率为 60Hz 的电缆。所给长度是指由接地点到护套不接地连接点之间的长度。如果在此段的中点接地，则不接地连接点间的总长度为所给长度的两倍。

表 A2 一点接地时典型的允许护套长度

导体尺寸 $\text{mm}^2(\text{AWG}, \text{kcmil})$	每导管装 1 根 电 缆 m (ft)	每导管装 3 根 电 缆 m (ft)
53.5 (AWG NO 1/0)	381.0 (1250)	1371.6 (4500)
67.4 (AWG NO 2/0)	338.3 (1110)	1210.1 (3970)
107.1 (AWG NO 4/0)	263.7 (865)	914.4 (3000)
126.7 (250 kcmil)	248.4 (815)	822.1 (2730)
177.3 (300 kcmil)	216.4 (710)	688.8 (2260)
202.7 (400 kcmil)	199.6 (655)	643.1 (2110)
253.3 (500 kcmil)	176.8 (580)	570.0 (1870)
380.0 (750 kcmil)	155.4 (510)	457.2 (1500)
506.7 (1000 kcmil)	137.1 (450)	—
1013.4 (2000 kcmil)	103.6 (340)	—

A5.2 测量电缆

A5.2.1 噪声电压问题

表 A1 单芯电缆金属护套感应电压及损耗的计算公式

电缆排列 编 号 图 形	I 单相 ←S→ ⓑ ⓐ	II 等边三角形 ⓐ ⓑ ⓒ ←S→	III 直角三角形 ⓐ ⓑ ⓒ ←S→	IV 直线 ←S→ ←S→ ⓐ ⓑ ⓒ	V 两路 ⓐ ⓑ ⓒ ←S→ ←S→ ⓐ ⓑ ⓒ	VI 两路 ⓐ ⓑ ⓒ ←S→ ←S→ ⓒ ⓑ ⓐ
护 套 护 电 套 压 开 路 V/cm	电缆-A 电缆-C IX_M	IX_M	$\frac{I}{2}\sqrt{3Y^2+(X_M-\frac{a}{2})^2}$	$\frac{I}{2}\sqrt{3Y^2+(X_M-a)^2}$	$\frac{I}{2}\sqrt{3Y^2+(X_M-\frac{b}{2})^2}$	$\frac{I}{2}\sqrt{3Y^2+(X_M-\frac{a}{2})^2}$
电缆-B	IX_M	IX_M	IX_M	IX_M	$I(X_M+\frac{a}{2})$	$I(X_M+\frac{a}{2})$
护 套 护 损 套 耗 闭 路 w/cm	电缆-A 电缆-C $I^2R_s\frac{X_M^2}{R_s^2+X_M^2}$	$I^2R_s\frac{X_M^2}{R_s^2+X_M^2}$	$I^2R_s\frac{(P^2+3Q^2)+2\sqrt{3}(P-Q)+4}{4(P^2+1)(Q^2+1)}$ ($P=\frac{R_s}{Y}, Q=\frac{R_s}{Z}$)	$I^2R_s\frac{1}{Q^2+1}$		
电缆-B	$I^2R_s\frac{X_M^2}{R_s^2+X_M^2}$	$I^2R_s\frac{X_M^2}{R_s^2+X_M^2}$				
总损耗	$2I^2R_s\frac{X_M^2}{R_s^2+X_M^2}$	$3I^2R_s\frac{X_M^2}{R_s^2+X_M^2}$	$3I^2R_s\frac{P^2+Q^2+2}{2(P^2+1)(Q^2+1)}$			
符 号	Y	--	$X_M+\frac{a}{2}$	X_M+a	$X_M+a+\frac{b}{2}$	$X_M+a-\frac{b}{2}$
Z	--	--	$X_M+\frac{a}{6}$	$X_M-\frac{a}{3}$	$X_M+\frac{a}{3}-\frac{b}{6}$	$X_M+\frac{a}{3}-\frac{b}{6}$

注:①电缆假定载有平衡电流。

②I为芯线电流,A。

在设计和安装测量系统的测量电缆时,应当考虑以下噪声电压问题。降低噪声电压的建议见附录 A(参考件)A5.2.2。

A5.2.1.1 常模噪声(横向噪声或差模噪声)

常模噪声是在两条信号线之间出现的不相等的噪声电压,它以和有用信号相同的方式作用在探测电路上。

在下述一种或几种情况下可能产生常模噪声:

- a. 静电感应及各信号线与周围环境之间分布电容的不同;
- b. 变化磁场与各信号线耦合不相等所引起的电磁感应;
- c. 在连接系统中采用不同的金属所引起的接触电势或热电势;
- d. 由共模噪声转换为常模噪声。

A5.2.1.2 共模噪声(纵向噪声)

共模噪声是在每根信号芯线对地的方向上,出现的大小相等,相位相同的噪声电压。在下述一种或几种状态下可能产生共模噪声:

- a. 静电感应 各信号线与周围环境间的分布电容相同,在两根信号线上产生相同的噪声电压;
- b. 电磁感应 磁场和信号线的耦合相等,在两根信号线上产生相同的噪声电压。

A5.2.1.3 共模噪声转变为常模噪声

由于静电场和电磁场一般外界因素的作用,在信号线中将产生共模电压。除此之外,在一个装置的不同接地点之间由于流过接地电流而产生电压差,该电压差也被认为是共模的。当有意或无意连接这些电压差时,所产生的电流是共模的。共模电流通过的电路阻抗不相等时,就能产生常模噪声电压。

A5.2.1.4 串扰

由邻近电路内的交流或脉冲信号所引起的噪声或外来信号称为串扰。

A5.2.2 降低噪声的建议

以下提出的一般建议应根据生产厂家的建议或工业上其他可接受的做法作适当调整。

A5.2.2.1 信号电路一点接地

信号电路可起始于一个信号源,如传感器,而终止在一个如记录仪这样的负载上。它们可以直接相连,也可以通过中间放大器连接。

如果将接地的传感器(如热电偶)产生的电压信号直接接至记录仪,记录仪电路必须具有很强的共模抑制能力,否则就应该浮空。记录仪浮空有效地断开接地共模电压进入信号电路的通路。如果中间放大器为单端放大器,则信号电路的低压边不断开并在记录仪处接地。因此情况不变,仍应采取与上述记录仪相同的模式。

保护隔离的差分放大器实现两个输入端与机壳(或地)、输出端之间的隔离。该放大器具有很高的共模抑制能力,并实现输入、输出之间的隔离,因此,输出接地不会影响输入电路。

用在测量系统中的隔离差分放大器,其高的共模抑制比通常约为 $10^6:1$ (120dB)。它是所加的共模电压与过程中所产生的常模电压的比值。

当采用不接地的传感器时,使传感器电路不接地、电缆屏蔽与放大器保护外罩相接,并

在传感器端或放大器端接地,便可获得满意的效果。然而,如果将电缆屏蔽与放大器保护外罩相接,传感器的电缆屏蔽和电路都在传感器处接地,将使噪音减小,系统更稳定。传感器电路接地时屏蔽接地的补充建议见附录 A 中 A5.2.2.6。

A5.2.2.2 静电耦合噪声

对测量电缆进行屏蔽,可降低静电耦合噪声电压。将屏蔽适当接地可大大降低信号线和外部静电噪声源之间的寄生电容,因而只有很小的噪声电压能耦合到信号电路上。

A5.2.2.3 电磁感应噪声

将信号线成对地绞合是降低噪声最经济有效的方法。由于两根导线交替处于同样的电磁场作用下,在每一导线中感应出大小相等,相位相同的对地电压。这样产生的共模电压可转换成较小的常模噪声,其值由信号放大器(隔离的差分放大器或相当的装置)的共模抑制比确定。绞合的频繁度将影响抑制噪声的能力,因此,在规定双绞线电缆的要求时,必须加以考虑。

测量电缆的屏蔽材料通常用非铁质材料,它对电源频率的电磁场不起屏蔽作用。导管或托架通常用的钢材,导磁率不强,不能在电源频率下提供十分有效的屏蔽作用。但是,如果采用硬质钢管,或具有整体底板和紧密装配的整体钢盖的钢托架时,则能获得一定的改善。

A5.2.2.4 串扰

当电缆的芯线为双绞线,且每对绞线都有分别绝缘的屏蔽层时,采用这样的电缆是消除串扰最好的方法。

A5.2.2.5 分隔

测量电缆的实体分隔可减小噪声干扰。但是,除非进行了仔细分析,仅用实体分隔可能不能获得所希望的抗扰性。

A5.2.2.6 屏蔽接地

将屏蔽仅在某一点接地,例如在信号接地处接地。如果屏蔽不在信号接地处接地,而在另一点接地,由于信号和屏蔽两接地点间的电位差,在屏蔽层内可能流过充电电流。如果屏蔽多于一点接地,接地电位差将使电流流过屏蔽层。在任一情况下,屏蔽电流都能导致共模噪声电流进入信号线并转换为常模噪声,其电压与信号电路的电阻不平衡度成正比,从而降低信号探测的精确度。同样,在具有接地传感器和输入端隔离的差分放大器系统中,电缆屏蔽应当接至放大器保护外罩上,但是屏蔽在放大器处接地将降低放大器共模抑制能力。屏蔽仅在传感器处接地,将保持屏蔽的接地电位与传感器一致,允许放大器保持最大的共模抑制能力,并使在屏蔽上感应的共模电流最小。关于不接地传感器的屏蔽和信号电路的接地见附录 A 中 A5.2.2.1。

A5.2.3 屏蔽做法

A5.2.3.1 用于计算机或以低电平模拟信号作高速数据记录的电缆,应当做成屏蔽双绞线。用于非计算机型,如信号报警器和事件记录器,其电缆可不要求屏蔽。

A5.2.3.2 数字输入、输出信号电缆的绞合和屏蔽要求,随不同的计算机化测量系统产品而不同。可以要求数字输入电缆和数字输出电缆彼此隔离,并与电力电缆隔离。如果数字输入线起点彼此很接近,允许采用有总屏蔽的多芯双绞线电缆,也可采用有公共返回线的多芯

电缆,且不要求总屏蔽。数字输出电缆也可采用同样结构的电缆。脉冲电路应考虑采用单独的双绞屏蔽线。

用于非计算机数字信号电路的电缆,一般没有绞合或屏蔽要求。

A5.2.4 接地做法

A5.2.4.1 所有屏蔽应按 A5.2.2.6 的要求接地。

A5.2.4.2 如果信号电路接地,只能在一点接地。

A5.2.4.3 数字信号电路只能在电源处接地。

A5.2.4.4 所有接点接地的热电偶电路和想要在热电偶处接地的热电偶电路,其屏蔽应在热电偶套管或其附近处接地。

A5.2.4.5 热电偶所用的多线对电缆,每一双绞线应分别绝缘屏蔽,因而每一屏蔽可维持在各自的热电偶接地电位上。

A5.2.4.6 由一个电源和一个或几个不接地的电阻温度计组成的电阻温度计系统,只能在电源处接地。

A5.2.4.7 每个电阻温度计应有单独的不接地的电源,但以下情况除外:

a. 嵌在变压器或旋转机械绕组内的一组电阻温度计,为了安全应该在各自设备的框架上接地;

b. 对于安装在每台设备上的一组电阻温度计,应当设置一台单独的不接地电源。

A5.2.4.8 当信号电路接地时,低电位或负电位端应与屏蔽在同一点接地。

A6 电缆贯穿件挡火层、挡火隔件和系统封闭屏障

本章适用于本标准的第 9 章。

A6.1 一般建议

在选择电缆贯穿件挡火层、挡火隔件和系统封闭屏障的材料时,除了 A6.2 条所提要求之外,还建议考虑下列因素:

a. 安装附加电缆的能力;

b. 容易安装。

A6.2 电缆系统分隔建议

为实现和保持安全停堆状态所必需的冗余电缆系统,应当用耐火屏障分隔。组成耐火屏障的房间或区域,其墙、地板和天花板的耐火极限最好为 3h。如果适当资料为依据,耐火极限低于 3h 也是可以接受的。如果基本设计特性禁止各个电缆系统使用单独的防火区,则可以采用耐火的电缆系统封闭屏障。

但是,如果冗余电缆系统在安全壳四周的位置与主电缆系统相距为 90° 或 90° 以上,或电缆系统的试验、分析证明不需耐火封闭屏障时,安全壳内的电缆系统可以不设耐火封闭屏障。

A7 火灾探测系统

本章适用于本标准的第 10 章。

A7.1 电缆密集区

电缆密集区一般要设置火灾自动探测系统。下面是确定电缆密集区的一种方法。

对于水平电缆托架来说,在影响区内的电缆托架总宽度如果大于 225cm,则实际存在或可能存在一个电缆密集区。影响区的确定是从最下层电缆托架边框的底部作与垂直方向成 30°角的延伸线,延伸线范围内的区域即为影响区(见图 A1)。

A7.2 感温探测器

感温探测器可用来探测电缆系统的火灾。这些探测器可以是定温型、速率补偿型、增长率型或定温型和增长率型相结合的结合型。它们都有按点型或线型设计的热敏元件。采用这类探测器的典型区域是电缆敷设区、控制室、计算机室、继电器室、通讯设备室、电气设备室、开关装置室、主要电机控制中心、安全壳贯穿件区、电缆隧道、电缆竖井及室外区。

A7.2.1 定温探测器

定温探测器有以下类型:

- a. 双金属片感温器;
- b. 快动作盘式感温器;
- c. 感温电缆;
- d. 感温线敏感元件;
- e. 易熔金属;
- f. 石英球。

双金属片感温器或快动作盘式感温器都不因动作触发而损坏或永久性破坏。而易熔金属、石英球、感温电缆和感温线敏感元件受热影响部件,在动作触发之后都必须更换。

A7.2.2 速率补偿型、增长率型和定温-增长率结合型温度探测器

速率补偿型温度探测器在空气温度到达预定值时报警,但在设计上补偿了温度滞后。增长率型探测器比定温探测器具有若干优点,它们可以快速投入工作,有效工作的环境温度宽,重新投入工作一般较快,允许环境温度缓慢上升而不报警。定温-增长率结合型温度探测器,将直接响应因火灾引起的温度上升。允许环境温度缓慢上升而不报警,当温度降至环境温度后自动复原。它的缺点是探测器温度到达预定值前,对火灾的缓慢蔓延没有响应,在非灾害性的燃烧而引起的环境温度迅速上升时,则会发出虚假的报警信号。

各种型式的定温-增长率结合型探测器有以下几种:

- a. 热气探测器(点型);
- b. 热电探测器(点型);
- c. 热气管探测器(线型)。

A7.3 感烟探测器

感烟探测器适用于这样的场所:在温度的变化足以触发温度探测器之前,预期火灾的类型可以产生不可见和可见的燃烧产物。采用这类探测器的典型区域是电缆敷设区、控制室、计算机室、继电器室、通讯设备室、电气设备室、开关装置室、主要电机控制中心区、安全壳贯穿件区、电缆隧道、电缆竖井及室外区。

A7.3.1 光电探测

光电探测器分为聚光型和散光型。在它们的收集元件与光源之间,由于可见燃烧产物遮挡或反射一部分光束,探测此部分光束即可发出报警信号。

A7.3.2 燃烧产物探测器

电离探测器和凝聚核探测器在出现不可见的燃烧产物时报警。燃烧产物进入电离探测器外室,破坏了电离室之间的平衡而发出报警。凝聚核探测器根据云室原理进行工作,利用光学方法探测不可见微粒。

电离探测器不能安装在恒定辐射水平超过 $5.16 \times 10^{-3} \text{C}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 的区域,也不能安装在正常条件下就可能出微量燃烧产物的地方,如柴油发电机房。

A7.4 火焰探测器

火焰探测器在出现火光时发出报警,通常是在紫外线或红外线范围内报警。探测器用来探测典型的火焰闪光。探测器可设有时间延时,以消除因瞬时闪光所造成的虚假报警信号。

A8 灭火系统

本章适用于本标准的第 11 章。

A8.1 灭火剂

A8.1.1 水 由于水的冷却、窒息、稀释和乳化特性,水是最普通的灭火剂。在电气设备区域用水灭火应当谨慎,应采取措施防止水灭火系统误动作,并应设置一个适当的排水系统。

A8.1.2 二氧化碳 二氧化碳是不可燃气体,它能渗透并扩散到着火区的各个部位。它不导电,可以用于带电的电气设备。二氧化碳可以使人失去知觉,甚至死亡,其危险浓度为 9% 及其以上。但是灭火要求的最小浓度为 30% 及其以上。

A8.1.3 干式化学物 现在通常使用的干式化学物灭火剂是一种粉状混合物,主要有重碳酸钠(普通的)、重碳酸钾(紫色钾)或磷酸二氢铵(多用途)。在干式化学物直接喷入着火区时,即可快速熄灭火焰。但是这些化学物降低了能见度,引起呼吸困难,并能导致通风设备过滤器的阻塞。

干式化学物不能用于装有精密电气设备的场所,它的绝缘特性可能使触点不能正常工作。

A8.1.4 卤化物 卤化物是含有卤族元素即氟、氯、溴、碘的化合物。在碳氢化合物如甲烷(CH_4)或乙烷(CH_3CH_3)中,用卤原子置换氢原子时,卤原子构成不可燃气体。由于它们会产生大量腐蚀性破坏产物,可能引起连续高压电弧,在这种场所中使用卤化物应当谨慎。

A8.1.5 泡沫 泡沫是将水、泡沫液和空气或气体混合而得的一种均匀薄膜。泡沫灭火系统所用的泡沫分为高倍泡沫和低倍泡沫两种。高倍泡沫是用空气或其他气体使泡沫溶液机械膨胀而形成的气泡集合,泡沫与溶液的体积比为 100:1 到接近 1000:1。由空气泡沫、蛋白质泡沫、氟蛋白泡沫或合成泡沫浓缩物产生的泡沫,其膨胀比明显小于 100:1。所有泡沫都导电,在装有不密封带电设备的着火区,不应使用泡沫灭火。

A8.2 对消防水管和水龙带箱的建议

在安全停堆地震后,消防水管水龙带系统能将水输送到水龙带箱。这些水龙带箱设置在安全级电路电缆系统所能到达的范围内。

A9 管理和安装

本章适用于本标准的第 12 章。

A9.1 总则

安全级电路电缆通道系统的设计、安装和鉴定准则已在第 12.1 条中提出。

A9.2 对电缆牵引的建议

A9.2.1 距离限制

电缆在管道中牵引不受损伤所允许的最大距离决定于以下条件：

- a. 电缆结构允许的最大侧壁压力；
- b. 导线、护套的抗拉强度；
- c. 电缆护套和导管表面之间的摩擦系数；
- d. 电缆的重量；
- e. 数量、位置、角度和变曲半径；
- f. 斜度；
- g. 润滑；
- h. 牵引电缆的方法(拉环、钢丝网套等)；
- i. 电缆牵引设备和电缆盘操作设备的限制。

A9.2.2 电缆盘位置

电缆拉出电缆盘时,电缆的牵引拉力增加.转动电缆盘,使电缆松弛后再送入导管入口,将使电缆穿管变得较为容易。

A9.2.3 弯曲位置

如果电缆通道中有弯曲,拉电缆的方向对牵引电缆有很大影响.只要拉电缆的方向可选择时,应使一个或几个弯曲尽量靠近电缆盘.可能的最坏情况是电缆要从电缆线路末端或末端附近有弯曲的通道中拉出。

A9.2.4 电缆最大牵引长度

设计电缆管和沟槽系统时,要考虑安装电缆的最大牵引长度.为了确定单根电缆或多根电缆最大牵引长度,必须确定牵引拉力和侧壁压力的最大允许值.牵引长度将受到这些因素的限制。

A9.2.4.1 最大允许牵引拉力

最大允许牵引拉力根据电缆生产厂家的推荐值确定,也可由公式(A5)确定:

用电缆芯线牵引,牵引拉力由式(A5)计算:

$$T_{\max} = K \cdot M \cdot S \dots\dots\dots (A5)$$

式中: T_{\max} ——最大牵引拉力, N;

S——每根芯线的截面积, mm^2 ;

M——芯数;

$K=70\text{N}/\text{mm}^2$ (经过退火的铜和硬铝);

$=52\text{N}/\text{mm}^2$ (3/4 硬铝)。

用钢丝网套牵引,非屏蔽护套电缆的最大允许牵引拉力为 8896N,屏蔽护套电缆的最大允许牵引拉力为 4448N,但不超过 A9.2.4.1a 确定的牵引拉力极限。

A9.2.4.2 最大允许侧壁压力

当电缆处于拉紧状态时,侧壁压力是在电缆弯曲点上作用于绝缘和屏蔽上的径向力。电力电缆和控制电缆的最大允许侧壁压力为 7300N/m(半径)。测量电缆的最大允许侧壁压力采用电缆生产厂的推荐值。

A9.2.4.3 预计牵引拉力

导管直线段内 1 根电缆的预计拉力,在不考虑倾斜时可用公式(A6)计算:

$$T=LWK_0 \dots\dots\dots (A6)$$

式中: T——总牵引线拉力, N;
L——导管敷设长度, m;
W——电缆重量, N/m;
K₀——基本摩擦系数。

在导管倾斜段内,电缆预计拉力可由公式(A7),(A8)计算:

$$\text{向上 } T=WL(\sin \alpha+k_0 \cos \alpha)+\text{预拉力} \dots\dots\dots (A7)$$

$$\text{向下 } T=WL(k_0 \cos \alpha-\sin \alpha)+\text{预拉力} \dots\dots\dots (A8)$$

式中: α ——为与水平线夹角。

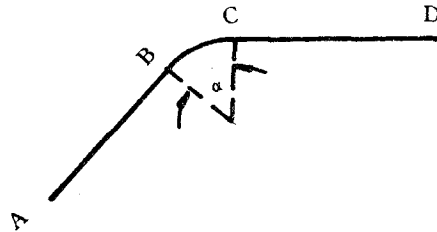


图 A2 水平弯曲周围的预计牵引拉力

电缆在有水平弯曲的导管或沟槽内敷设时,如有水平弯曲(见图 A2),并假定将电缆由 A 点拉至 D 点,弯曲周围的预计牵引拉力由式(A9)确定:

$$T_C=T_B e^{k_0 \alpha} \dots\dots\dots (A9)$$

式中: T_C——弯曲后拉力, N;
T_B——开始弯曲处的拉力, N;
e——自然对数的底数(2.72);
K₀——基本摩擦系数;
 α ——弯曲角度, rad; 1°=0.01745rad。

T_B按前述的直线段计算方法确定。

基本摩擦系数的典型范围是 0.3~0.5。经过很好润滑处理的电缆拉入平滑、清洁的导管时取 0.3;经过一般润滑处理的电缆拉入粗糙或不清洁的导管时取 0.5。不同摩擦系数的

选取可以通过牵引拉力的实际值与计算值相比较而得到验证。

如果把三根电缆穿入同一导管,其牵引拉力并不简单地等于穿单根电缆时的三倍。因为甚至在直线段内电缆和管道之间也存在挤压作用,从而产生一个侧压力,它可以看成是基本摩擦系数 K_0 的增加,并称为重量校正系数(W_c)。有效摩擦系数 K 为:

$$K = W_c K_0 \dots\dots\dots (A10)$$

于是三根电缆在直线段内的牵引拉力变成:

$$T = 3KLW \dots\dots\dots (A11)$$

因弯曲而产生的附加拉力,除了用 K 代替 K_0 外,计算方法与穿一根电缆相同。

如果知道管道内径和电缆外径之比(D/d),可用图 A3 来确定系数 W_c 。

只要计算表明预计牵引拉力超过最大允许牵引拉力或侧壁压力时,就应设置牵引点或人孔。

A9.2.4.4 临界阻塞比

当三根单芯电缆穿入一根导管时,如果 D 与 d 之比接近 3.0,在穿至弯曲附近处中间一根电缆可能被迫处在另两根电缆之间。比值达到 2.5 时,电缆被强制排列成三角形。但是,当比值接近 3.0 时,电缆可能出现阻塞并在管道中“卡滞”而引起电缆严重损伤。考虑到电缆和导管尺寸的公差和导管在弯曲处的椭圆度,应当避免 D 与 d 的比值在 2.8~3.1 的范围内(见图 A3)。

A9.2.4.5 预计侧壁压力

在导管弯曲处,作用在电缆上的侧壁压力可用式(A12)计算:

$$P = \frac{T}{R} \dots\dots\dots (A12)$$

式(A12)用于单芯电缆。

$$P = \frac{1}{3}(3W_c - 2) \frac{T}{R} \dots\dots\dots (A13)$$

式(A13)用于三根呈篮形排列的电缆,其中中心一根电缆对管道的压力最高。

$$P = \frac{W_c T}{2R} \dots\dots\dots (A14)$$

式(A14)用于三根呈三角形排列的电缆,压力由下部两根电缆等分。

式中: P ——关键电缆上的侧壁压力,N/m;

T ——总牵引拉力,N;

R ——弯曲半径,m;

W_c ——重量校正系数。

在式(A12)中未包括的所有其他电缆排列方式,其预计侧壁压力应采用电缆生产厂的推荐值。

A9.3 对电缆通道内电缆装载量的建议

A9.3.1 托架内电缆的重量应根据托架支承系统在地震事件中的性能分析来确定。

A9.3.2 除了在托架相交处和电缆在侧壁上进出托架处外,安装的电缆不应高于电缆托架侧壁的顶部。

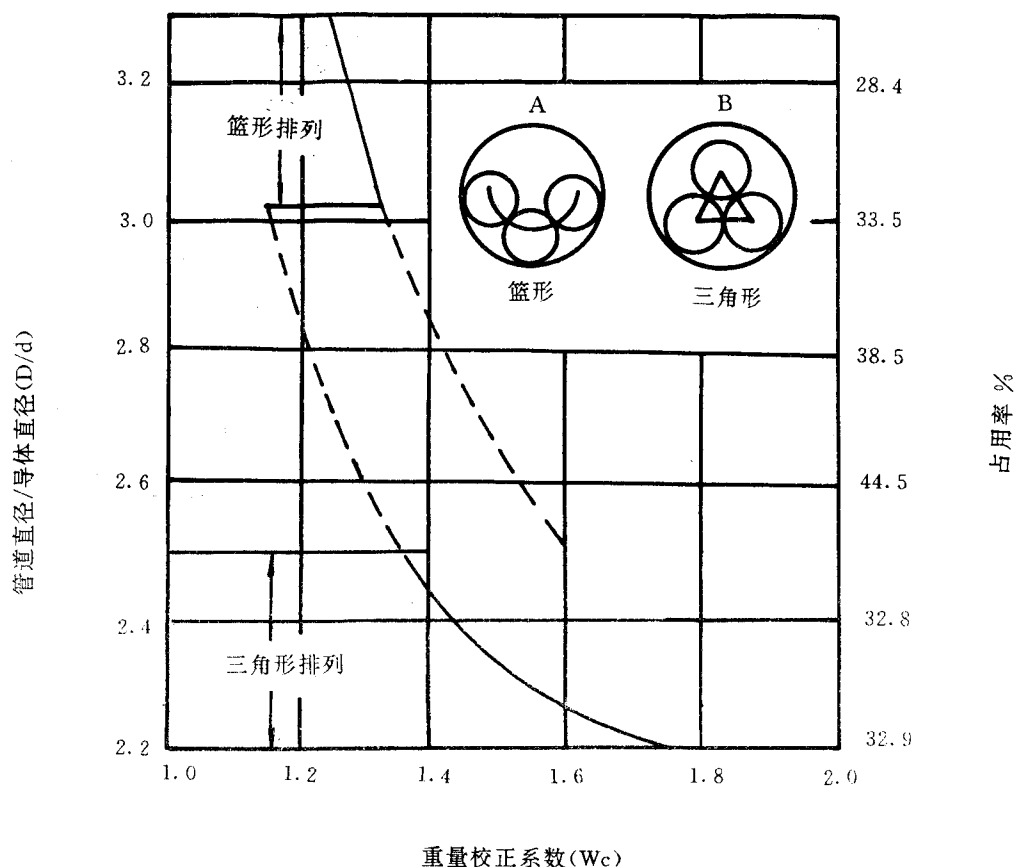


图 A3 拉力和阻塞图

A9.3.3 托架内尺寸较小的低压电力电缆通常与控制电缆、数字信号电路电缆混在一起不留间隔地随意安装在托架底板上(在托架内这样安装电缆时,除非保持一定距离并进行编组,电力电缆的载流量应按托架内电缆全部是电力电缆来计算)。

A9.3.4 托架内的控制电缆和测量电缆一般可以不留间隔地随意安装在托架底板上。

A9.3.5 在托架内如果单芯导线用于单相或三相动力电路,这些导线应牢固地限制在本电路组内,以防止由于故障电流的磁力作用使导线产生过大的位移,并尽量减小托架侧壁和底部的感应热效应。

A9.3.6 在随意安装的电缆托架内,电缆横截面积的总和在设计上必须加以限制,使其不超过电缆托架可用横截面积的预定百分比。

在随意安装电缆的托架内,限制装载的百分比是必要的,因为电缆敷设时不能整齐排列并固定其位置,这就造成电缆交叉和出现空隙而占用托架大量的横截面积。通常,电力电缆和控制电缆装载百分比为 30%~40%,测量电缆装载百分比为 40%~50%。这样的托架装载量,除了在托架相交处或电缆需要进出电缆托架系统处之外,不致使电缆安装在电缆托架

侧壁之上。

A9.3.7 电力电缆在托架内随意安装时的载流量应符合电缆生产厂的建议。

A9.4 电缆安装建议

A9.4.1 电缆线路应避免穿越润滑油箱、润滑油调节器和液压油贮存区。

A9.4.2 应考虑牵引电缆的方向,以尽量减小侧壁压力和电缆牵引拉力。

A9.4.3 电缆只能穿入清洁的电缆通道,可能损伤电缆的毛刺和毛边都应清除。在电缆敷设之前应将清理管道的心轴通过整个地下管道。

A9.4.4 牵引绞盘和其他必需设备应有足够能力,以保证在电缆上能产生稳定而持续的拉力。

A9.4.5 盘上电缆松开和送入电缆通道时,不得使电缆反向弯曲或放线超过限度。

A9.4.6 应采用某些适当的工具来保护和引导电缆从电缆盘进入电缆通道,如柔性送线管或电缆保护装置。送线管或电缆保护装置的弯曲半径不应小于电缆的最小允许弯曲半径。

A9.4.7 在牵引环和牵引绳之间应加一旋转接头。将电缆连至牵引环的金属构件,如螺栓和电缆夹紧装置,其所有尖锐部分应全部用带缠绕。以防这样的凸出部分卡在导管端或损伤导管。

A9.4.8 在安装电缆时,对托架可做临时支撑,以防损坏托架。

A9.4.9 托架和电缆沟应定期清理,以防脏物堆积。

A9.4.10 如果导管要预润滑,其做法应按牵引润滑剂生产厂的建议进行,应该搽去拉出管外电缆上的多余润滑剂。

A9.4.11 支持导线的某些方法及支持点的最大间距见 GBJ 232。特殊电缆如铠装电缆、屏蔽电缆和同轴电缆的支持应根据生产厂的建议进行。在垂直托架中,对大多数型号的电缆要每隔 0.6~1.5m 将电缆固定在托架横挡上。如果采用开口卡件,其间距应为 1.8~2.5m。

A9.4.12 在每个人孔内应留出足够的备用长度并临时支撑,使得电缆能在人孔一侧沿支架、吊架或托架拉至其最终位置。

A9.4.13 水平托架中的电缆,如易遭受下落物的损害,应予保护。

A9.4.14 如果在装有电力电缆的托架上加盖,则应考虑通风或降低电缆电流额定值,或者同时采取上述两项措施。

A9.4.15 电缆系统从顶部进入电气设备外壳时,应考虑防止水沿电缆系统流入设备。

A9.4.16 在进行焊接、锡焊和绞接操作时,应特别小心,以防损坏电缆。

A10 电缆安装后验收检验建议

本章适用于第 13 章。

A10.1 建议中压电力电缆采用直流高压试验,并符合 GBJ 232 的规定。

A10.2 低压电力电缆绝缘电阻检查,应测量同一电缆中各芯线之间的绝缘电阻、各芯线与地之间的绝缘电阻,此时同一电缆中的所有其他芯线要接地。

试验电压应不低于直流 500V。允许的最低绝缘电阻为:

$$R = (U + 1) \times \frac{3300}{L} \dots\dots\dots (A15)$$

式中:R——电缆允许的最低绝缘电阻,MΩ;

U——电缆额定电压,kV;

L——电缆长度,m。

A10.3 对控制电缆和预制电缆组件建议采用同样的方法进行检验。应当始终考虑电缆生产厂家的建议。

A10.4 如果电路特性取决于绝缘电阻水平,则绝缘电阻的测量应按测量电缆要求进行。应当始终考虑电缆生产厂家的建议。

附加说明:

本标准由全国核仪器仪表标准化技术委员会提出。

本标准由核工业第二研究设计院负责起草。

本标准主要起草人:陈廷玉。

本标准参照采用 ANSI/IEEE 690--1984《核电厂 1E 级电路电缆系统的设计和安装》。

