

## 解读IEEE 690-1984标准(2002年再次确认) 《核能发电站1E级回路用电缆系统的设计和安装标准》

### 前言

这是一份电缆系统的设计和安装标准，主要是陈述1E级回路对系统的要求，在编制方式上与电缆制造标准有较大的差异，但内容却与电缆关系密切，可以从系统要求联系到电缆结构上的问题。电缆制造工作者深入了解该标准后，对制订电缆产品标准和产品获取资质认证有一定帮助。为方便读者了解这份标准的实质内容，本文以陈述的方式来表达其中与电缆有关的内容，如有不当之处，欢迎读者指正。

### 一、一般叙述

美国IEEE 690-1984标准的前身为IEEE 442-1977导则，其名称为《核能发电站1E级回路用电缆系统的设计和安装导则》，该导则实际上也作为标准使用。1984年将导则制订为标准，名称为《核能发电站1E级回路用电缆系统的设计和安装标准》，并且于2002年再次得到确认。IEEE 690-1984与IEEE 422-1977导则相比，除内容有所扩大外，在文字语气上较多地用了肯定词“应”（英语shall）。该标准专为核电站中与安全相关的电缆系统（包括辅助回路）的设计与安装提供指导，也可作为某些与安全无关，但可能对安全有影响的电缆系统设计与安装提供引导。IEEE 690标准规定的具体对象为电缆，现场接头和连接。关于“电缆”的定义毋需作更多的解释。关于“现场接头”是指需要在现场进行施工，并应符合使用要求的永久性导体连接和树脂绝缘，通常指导体焊接或压接和绝缘的浇注或注塑。关于“连接”是指电缆终端、中间连接盒，或处于有害环境分界线部位的电缆与设备接合处的密封。

IEEE 690标准主要针对1E安全级的电缆，1E级回路的定义如下：此安全级回路是指完成反应堆紧急停堆；安全壳隔离、堆芯应急冷却、反应堆余热导出、反应堆安全壳的热导出；防止放射性物质向周围环境排放等功能的电气系统设备的安全级。IEEE 690标准也对辅助回路提出同样的要求，当然不是包含所有的辅助回路，此处辅助回路的定义如下：与1E级回路分管电力供应、信号源、封闭或管线的回路；或采取了可被接受的间隔距离、隔离围墙或隔离措施装置，但与1E回路未完全分隔或电气绝缘的回路。我国核电站设计，将1E级再分为K1、K2和K3类三种电缆，要求有所差别，核电设计部门对电缆的选型另行制订更具体的规范，电缆制造部门也应相应规范来制订各类产品标准。

### 二、电缆敷设的分隔

1E级回路需按电压水平、信号水平和防范电气干扰等因素，对电缆系统提出电气分隔要求。具体分为：

1. 中压电力电缆，电压等级为601~15000 V，通常设计用于厂内辅助系统有关设备供电。
  2. 低压电力电缆，电压等级为600 V及以下，常设计用于厂内辅助系统有关设备供电。
  3. 控制电缆，通常在较小电流水平下应用，或在需要改变厂内辅助系统设备运行状态时，电缆间隙通电方式运行。
  4. 仪表电缆，用来传输变量的电流或电压信号（模拟），或用来传输编码信息（数码）。
- 电缆敷设时规定中压电缆不应压在任何低压电缆的上面，以免压伤低压电缆绝缘。仪表电缆的敷设，若会受到邻近回路和设备的电气干扰，应使不允许受到的干扰信号降低到最小。

### 三、电缆的屏蔽和屏蔽接地

IEEE 690标准提出了屏蔽和屏蔽接地的要求。对于中压电力电缆，除非特殊设计外，

5 kV以上电缆的绝缘和导体应有限制电场的非金属材料屏蔽。屏蔽层必须有效的与电缆终端连接。同时应采用金属屏蔽层完成有效的单点或多点接地，当多点接地时，金属层应符合各种感应电流容量的要求。对于仪表电缆，可在其绝缘芯外（含线对、三线组和四线组）编织金属线或绕包金属带或绕包聚酯薄膜金属（铝或铜箔）复合带，此屏蔽层的目的是抑止外部对其感应或内部向外发射的干扰，屏蔽层主要是降低芯间和组间的电磁耦合。此外应注意以下几点：

1. 结构上要求屏蔽层必需保持导电连续性，所以绕包聚酯薄膜金属复合带时，金属面应向内，并包含纵向裸绞线作为导引线，导引线截面在产品标准种规定。当二根电缆在终端连接时，应将屏蔽用导线可\*连接。
2. 每根电缆的屏蔽层应是相互绝缘的，以防止屏蔽层分散接地和多点接地。所以在屏蔽层外再搭盖绕包一层聚酯薄膜。国内有些不正规产品，绕包聚酯薄膜金属复合带时金属面向外，成缆后再用铜线总编，表面上看似乎连接很完整，实际上构成不规则的分散接地，在传输某些信号时会产生畸变现象。
3. 屏蔽层设计时，若只是考虑降低静电或电磁耦合的功能，就不应作为导体使用，即不允许用作传导额外的电流或电压。
4. 标准的同轴电缆、三同轴电缆和仪表电缆。应符合系统设计要求和设备制造商提出的结构。

#### 四、1E级回路电缆系统的防火

1E级回路电缆系统的防火设计包括三步措施：

1. 阻止火焰渗透措施，这是指建立一个防火壁垒，壁垒由不会着火的墙壁、地面和天花板组成。防火壁垒的等级是按照火灾中壁垒能维持完整的时间来衡量。凡是穿过防火壁垒的材料、设备和电缆束应具有规定的阻燃等级。
2. 火焰熄灭（自熄），是要求材料、仪器和电缆束在火灾中着火后能够自熄，这在电缆产品标准均有具体规定。
3. 电缆系统的封闭，是指组合在电缆系统周围的一系列装置，这些装置在规定时间内，能使电缆系统和包括周围装置本身，能保持回路安全和完整性的措施。

发生火灾后的过程比较复杂，而且火灾的几率甚少，所以对电缆不只是要求阻燃，也需要顾及其他方面：

1. 阻燃材料、电缆和管线材料，三者应具有相容性，其含义是这些材料在正常使用和发生火灾时均不会有相互侵害因素。
2. 在安装过程中不应产生毒气、腐蚀气体或异味气体（刺激性气等）。
3. 在安装和运行过程中，管材和电缆的径向和纵向膨胀和收缩，可能对电缆绝缘和护套产生挤压作用，但挤压不应造成绝缘和护套破损。
4. 符合电缆载流量要求。
5. 火灾发生时，为阻止火焰参透，会产生某些物质的压力，上述材料、管道和电缆应能耐受某些物质压力而不损坏。
6. 火灾发生时，为阻止火焰参透，以上材料、管道和电缆，应具有应付电气着火时抵抗蒸汽喷淋的能力试验，当然蒸汽喷淋的温度和压力是有规定限度的。

#### 五、电缆的管理和敷设

电缆在储存期间，电缆端头应密封，以避免电缆受潮和污染。成盘电缆的储存应按制造商推荐的办法储存和管理，以避免电缆损坏或变坏。电缆敷设应遵循以下规定：

1. 电缆应敷设在线管内，并有合适的牵引作业点，作业点具有一定的空间，如人孔或岗亭等。作业中最大允许牵引力和侧压力不应超过有关规定。

2. 电缆在线管内敷设，必需有充分尺寸的弯道（包括作业点），以适应电缆制造商允许的电缆敷设时最小弯曲半径，不允许违反制造厂这项规定。
3. 当采用钢管或钢套时，交流三相线路的任何一相和任何单相，均应敷设在同一钢管或钢套内，以使钢质材料感应发热量最小。
4. 电缆安装到移动机械设备系统时，不应影响电缆系统的安全。
5. 电缆不应敷设在用来负重或支撑设备的线管内、管道内、工具管道以及其他设备内，除非线管系统特殊设计时兼顾到负重，或除非已采取特殊的预防措施，保护电缆能抵御所支撑设备及其组件的破坏作用。
6. 有电缆的牵引应按制造商推荐的说明书进行。
7. 牵引电缆时不应绕过尖角和障碍物。
8. 牵引电缆时的环境温度不应低于制造商推荐的最低的敷设温度。
9. 牵引电缆时的润滑剂应与电缆护套有相容性。
10. 不可用裸绞线软绳作为牵引工具在管内牵引电缆。
11. 中压电缆在敷设时和敷设后，其终端均应完好地密封。在潮湿地区的所有其他电缆，在敷设时和敷设后，其终端均应完好地密封。
12. 电缆端头包括牵引件，在连接到终端前均应切除。
13. 电缆牵引完毕后，安装时的固定整形，应符合制造商推荐的最小弯曲半径。
14. 在电缆托架的地平面上以及有可能造成物理性损害的部位，应具备电缆的保护措施。

此外托架敷设电缆的数量，应受载流量要求的限制，也受托架及其支撑能力和托架截面积的限制。管道内电缆的填充率应符合AMSI/NFPA-70-1984 国家电气规则第九章表9的规定。对于垂直路线敷设的电缆，应有间隔的固定措施，使其终端不承受电缆的重力。

## 六、电缆敷设后的交接试验

电缆敷设后的交接试验，目的是证明电缆经过储存和敷设，绝缘未发生损坏。需注意的是这些试验也许检验不出电缆损坏，但在今后使用中最终仍有可能导致电缆出现损坏，例如中压电缆的电缆护套或绝缘屏蔽损坏，或低压电缆的绝缘损坏。交接试验的项目不多，总的应符合ANSI/IEEE Std 336-1980核动力发电站1E级仪表和电气装备安装、检验和试验要求标准。

具体试验项目：

1. 中压电缆与设备连接前应进行直流高压试验。
2. 低压电缆既可以在与设备连接前进行绝缘电阻试验，也可作为检验设备系统的一个部分进行功能试验，试验应在设备运行电压下进行。试验结果应记录留作今后工厂参考。

## 七、结语

我国即将进入核电站建设高潮时期，1E级电缆全面国产化是必然趋势，对电缆产品标准方面的认识，至今未完全统一。本文介绍IEEE 690标准的目的，希望制造部门对1E级电缆有更深入的认识，使电缆结构和性能更为理性化。既不必以提高性作为盲目竞争的手段，也不能以降低成本而疏忽了某些基本要素。务必从全面和综合的观点来设计和制造优质低价的电缆。