

中华人民共和国水利行业标准

SL 344—2006

水利水电工程电缆设计规范

**Code for the designing cables of hydraulic
and hydroelectric project**

2006-09-09 发布

2006-10-01 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告

2006 年第 4 号

部直属各单位，各省、自治区、直辖市水利（水务）厅（局），各计划单列市水利（水务）局，新疆生产建设兵团水务局：

中华人民共和国水利部批准以下 9 项标准为水利行业标准，现予以公布（见附件）。

二〇〇六年九月九日

附件

序号	标准编号	标准名称	替代标准号	发布日期 (年.月.日)	实施日期 (年.月.日)
1	SL 21—2006	降水量观测规范	SL 21—90	2006.09.09	2006.10.01
2	SL 23—2006	渠系工程抗冻胀设计规范	SL 23—91	2006.09.09	2006.10.01
3	SL 44—2006	水利水电工程设计洪水计算规范	SL 44—93	2006.09.09	2006.10.01
4	SL 211—2006	水工建筑物抗冰冻设计规范	SL 211—98	2006.09.09	2006.10.01
5	SL 341—2006	水土保持信息管理技术规程		2006.09.09	2006.10.01
6	SL 342—2006	水土保持监测设施通用技术条件		2006.09.09	2006.10.01
7	SL 343—2006	风力提水工程技术规程		2006.09.09	2006.10.01
8	SL 344—2006	水利水电工程电缆设计规范		2006.09.09	2006.10.01
9	SL/Z 346—2006	水利信息系统项目建议书编制规定		2006.09.09	2006.10.01

前 言

根据水利部水利水电规划设计管理局水总局科〔2001〕1号“关于下达2001年度水利水电勘测设计技术标准制定、修订项目计划及主编单位的通知”及《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求,编制本标准。

本标准共9章24节150条和4个附录,主要技术内容有:

- 电缆型式选择;
- 电缆截面选择;
- 电缆附件;
- 电缆敷设;
- 电缆的支持与固定;
- 电缆防火及阻燃;
- 对相关专业的要求。

本标准为全文推荐。

本标准批准部门: 中华人民共和国水利部

本标准主持机构: 水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位: 水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位: 中水珠江规划勘测设计有限公司

本标准出版、发行单位: 中国水利水电出版社

本标准主要起草人: 符夏碧 游赞培 陈永利 刘 颖

殷 丽 杜长泉

本标准审查会议技术负责人: 覃利明

本标准体例格式审查人: 陈 昊

目次

1	总则	1
2	术语	2
3	电缆型式选择	3
3.1	导体材质	3
3.2	电缆导体数	3
3.3	电缆的绝缘水平	4
3.4	电缆绝缘类型	6
3.5	电缆护层	6
4	电缆截面选择	9
4.1	一般规定	9
4.2	按载流量选择	10
4.3	按短路条件选择	11
4.4	中性线、保护接地线	12
5	电缆附件	13
5.1	电缆终端及接头的选择	13
5.2	高压单芯电缆金属护层接地方式	16
5.3	护层电压限制器选择	21
6	电缆敷设	23
6.1	电缆路径及敷设方式选择	23
6.2	电缆的布置与排列	24
6.3	直埋敷设	26
6.4	敷设于保护管中	28
6.5	敷设于电缆构筑物中	29
6.6	敷设于水下	30
6.7	敷设于其他公用设施中	31
7	电缆的支持与固定	32

7.1	电缆支架	32
7.2	电缆固定	33
8	电缆防火及阻燃	36
9	对相关专业的要求	37
9.1	对水工结构的要求	37
9.2	对通风的要求	38
9.3	其他要求	39
附录 A	高压电缆允许持续载流量的计算方法	40
附录 B	常用电力电缆允许持续载流量	41
附录 C	敷设条件不同时电缆允许持续载流量的校正系数	45
附录 D	电缆穿管敷设时容许最大管长的计算方法	49
	标准用词说明	51
	条文说明	53

1 总 则

1.0.1 为使水利水电工程电缆设计做到技术先进、经济合理、安全适用、便于施工和检修维护，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新建的水利水电工程电压等级为 500kV 及以下电缆的设计，扩建、改建的水利水电工程可参照执行。

1.0.3 下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。在本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

《高压电缆选用导则》(DL/T 401—2002)

《电缆周期性和紧急情况下的载流量计算》(IEC 853—2)

《电缆持续载流量计算》(IEC 287)

1.0.4 电缆设计除应遵守本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 电缆和附件的电压值 voltages pertaining to the cable and its accessories

U_0 ——设计时采用的电缆和附件的导体与金属护套（或屏蔽）之间的额定工频电压（有效值）；

U ——设计时采用的电缆和附件的导体之间的额定工频电压（有效值）；

U_m ——设计时采用的电缆和附件的导体之间的工频最高电压（有效值）（不包括事故和突然甩负荷引起的暂态电压升高）；

U_{p1} ——设计时采用的电缆和附件的每一导体与金属护套（或屏蔽）之间的雷电冲击耐受电压（峰值）；

U_{p2} ——设计时采用的电缆和附件的每一导体与金属护套（或屏蔽）之间的操作冲击耐受电压（峰值）。

2.0.2 阻燃电缆 flame retardant electric cables

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

2.0.3 耐火电缆 fire resistive electric cables

在规定试验条件下，电缆在火焰中被燃烧而在一定时间内仍能够保持运行功能的电缆。

2.0.4 电缆桥架 cable tray

由托盘或梯架的直线段、弯通、组件及托臂（臂式支架）、吊架等构成支承电缆的刚性系统之全称。

2.0.5 电缆槽盒 cable trough

未含支架、带封盖的电缆支持物。

2.0.6 电缆支架 cable brackets

普通支架、吊架、桥架等电缆支持物的统称。

3 电缆型式选择

3.1 导体材质

- 3.1.1 二次电缆导体应采用铜材。
- 3.1.2 35kV 及以下电力电缆导体应采用铜材。
- 3.1.3 66kV 及以上高压电缆导体经过技术经济比较后可采用铝材。

3.2 电缆导体数

- 3.2.1 用于 35kV 以上交流系统的电力电缆，应采用单芯电缆。
- 3.2.2 用于 1kV 以上至 35kV 交流系统的电力电缆，下列情况可采用单芯电缆；其他情况宜采用三芯型电缆：

- 1 工作电流大的回路，或者是制造的最大截面三芯电缆不能满足回路要求的载流能力。

- 2 同一回路多根电缆的终端头，配置于柜内较拥挤。

- 3 在较长线路能减少设置接头。

- 4 电缆敷设受弯曲半径限制。

- 3.2.3 1kV 及以下电压等级电导体数的选择原则：

- 1 保护线与中性线合一的三相四线制系统，应采用四芯电缆；单相分支回路，宜采用两芯电缆。

- 2 保护线与中性线各自独立的三相四线制系统，宜采用五芯电缆；单相分支回路，宜采用三芯电缆。

- 3 在设备外壳的接地与电源的接地各自分开的三相四线制系统中，应采用四芯电缆；单相分支回路，宜采用两芯电缆。

- 3.2.4 直流供电回路，宜采用二芯电缆。

- 3.2.5 控制、保护、测量电缆导体数的选择应符合下列规定：

- 1 导体截面为 $1.5 \sim 2.5\text{mm}^2$ 者，电缆导体数不宜超过 24

芯；导体截面为 $4.0 \sim 6.0\text{mm}^2$ 者，电缆导体数不宜超过 10 芯。二次电缆导体数不宜超过 48 芯。

2 对信号线、逆变换器输出线、晶闸管整流器输入线、输出线及高频分量电压与电流线路，应尽量使用同一根电缆中的两条导体。

3 在同一根电缆内不应有两个安装单位的电缆导体。同一个安装单位的交流和直流操作、信号回路，不宜合用一根电缆。

4 双重化保护的电流、电压以及直流电源回路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。

5 一次和二次回路不应合用同一根电缆。

6 下列情况不宜合用同一根电缆：

1) 控制回路的强电信号与弱电信号回路。

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。

7 二次回路每一对往返导线，宜属于同一根控制电缆。

8 控制电缆备用导体的预留，应考虑电缆长度、导体截面及敷设条件等因素：

1) 较长的控制电缆，当导体数在 7 芯及以上且截面小于 4.0mm^2 时，宜留有 $10\% \sim 15\%$ 的备用导体。

2) 同一安装单位且同一起点、止点的控制电缆不必都留备用导体，可在同类性质的一根电缆中预留。

3) 需降低电气干扰的控制电缆，可在工作导体外加一接地备用导体。

3.3 电缆的绝缘水平

3.3.1 电力电缆的额定电压应满足表 3.3.1 的值；导体相间额定工频电压 U 不应低于使用回路的工作线电压。

3.3.2 U_0 应满足所在电力系统中性接地方式及其运行要求的水平。

表 3.3.1 电力电缆的额定电压 单位：kV

U		1	3	6	10	15	20	35	66	110	220	330	500
U _m		1.2	3.5	6.9	11.5	17.5	23	40.5	72.5	126	252	363	550
U ₀	I 类	0.6	1.8	3.6	6	8.7	12	21	38	64	127	190	300
	II 类	0.6	3	6	8.7	12	18	26	50				

1 用在单相接地故障能很快切除，在任何情况下不超过 1min 的系统中的电缆，U₀ 宜取第 I 类电压。

2 用在单相接地故障情况下能短时运行的系统、带故障运行时间不超过 1h 的电缆，U₀ 应取第 II 类电压。

3.3.3 发电机电压回路电缆的绝缘水平，U 应按 105% 的发电机额定电压选择；当发电机额定电压与表 3.3.1 中参数不符时，应取与其相邻的高一等级的额定电压。

3.3.4 发电机中性点电缆的 U₀ 宜按发电机额定电压选择。

3.3.5 交流系统中电缆的雷电冲击耐压 U_{p1}，应通过计算确定，但不应低于表 3.3.5-1 的规定。对于 190/330kV 及以上的超高压电缆应考虑操作冲击绝缘水平 U_{p2}，见表 3.3.5-2。

表 3.3.5-1 电力电缆的雷电冲击耐受电压 单位：kV

U ₀ /U	1.8/3	3.6/6	6/10	8.7/10 8.7/15	12/20	18/20	21/35
U _{p1}	40	60	75	95	125	170	200
U ₀ /U	26/35	50/66	64/110	127/220	190/330	300/500	
U _{p1}	250	450	550	1050	1175 1300	1550 1675	

表 3.3.5-2 电力电缆的操作冲击耐受电压 单位：kV

U ₀ /U	190/330	300/500
U _{p2}	850	1050
	950	1240

- 3.3.6 控制电缆额定电压的选择，应不低于 450/750V 额定电压。沿较长高压电缆并行敷设的控制电缆（导引电缆），应选用合适的额定电压，屏蔽层对外层的耐压水平宜选用工频 15kV/min。
- 3.3.7 对于采用金属护层一端互联接地或三相金属护层交叉互联接地的高压单芯电缆，护层的绝缘耐受电压应按表 3.3.7 选择。必要时可参照 DL/T 401—2002 进行验算。

表 3.3.7 电力电缆护层绝缘耐受电压值 单位：kV

电缆额定电压 U_0/U	50/66	64/110	127/220	190/330	300/500
直流耐压	30	30	30	30	30
1min 工频耐压	25	25	25	25	25
护层雷电冲击耐受电压(峰值)	37.5	37.5	47.5	62.5	72.5

3.4 电 缆 绝 缘 类 型

- 3.4.1 电压 6kV 及以上回路，应采用交联聚乙烯绝缘电缆。
- 3.4.2 电压 1kV 及以下回路，宜选用交联聚乙烯绝缘电缆。
- 3.4.3 用电设备需要移动的供电回路，应采用橡皮绝缘电缆。
- 3.4.4 在日光照射场所（如户外主变压器器身、户外架空敷设等）没有遮阳措施时，不宜采用聚氯乙烯绝缘电缆，宜采用交联聚乙烯绝缘电缆等。
- 3.4.5 运行环境温度在-15℃以下场所，不应选用聚氯乙烯绝缘电缆，宜采用交联聚乙烯绝缘电缆等。
- 3.4.6 水下敷设的电缆，宜选用乙丙橡胶绝缘电缆。
- 3.4.7 进入中控室、发电机或发电机坑的电缆及重要厂用电回路的电缆，或者地下厂房的电缆，宜选用阻燃型电缆；直流电源、消防电源及消防设备用的电缆，宜选用耐火电缆。

3.5 电 缆 护 层

- 3.5.1 电缆护层的选择，应符合下列规定：
- 1 电缆位于高落差、受力条件需要时，应采用钢丝铠装

电缆。

2 在潮湿或有浸水可能、有化学腐蚀的场所，应采用挤塑聚乙烯外护套，需要金属铠装的不应采用外铠装结构。

3 用于交流系统的单芯电力电缆，不应用未经去磁处理的钢带铠装或普通钢丝铠装的电缆。

4 在运行环境温度 -15°C 以下的地区，应采用聚乙烯护套。

5 在白蚁严重危害地区、直埋敷设时，宜采用较高硬度的外护层。

6 用于水下敷设的电缆，按下列规定执行：

1) 水下敷设的电缆应具有防水构造。

2) 当需要承受拉力时，采用钢丝铠装；当不需要承受拉力时，可采用钢带铠装。

3.5.2 敷设在易受震动场所并缺乏抗震措施时，不宜采用铅包电缆。

3.5.3 在可能被油浸泡的场所，不宜用橡胶护套电缆。

3.5.4 110kV 及以上电压等级电缆的金属护层选择参见 DL/T 401—2002 第 6.6.1 条。

3.5.5 金属屏蔽按下列规定执行：

1 当位于存在干扰影响的环境又不具备有效抗干扰措施时，信号、控制电缆宜有金属屏蔽。

2 位于 110kV 以上配电装置的二次控制电缆，宜有总屏蔽、双层式总屏蔽。

3 电缆具有钢铠、金属护层时，应充分利用其屏蔽功能。

4 计算机监控系统电缆的屏蔽选择，按下列规定执行：

1) 开关量信号，可用总屏蔽。

2) 高电平模拟信号，宜用对绞线总屏蔽，必要时也可用对绞导体分屏蔽。

3) 低电平模拟信号或脉冲量信号，宜用对绞导体分屏蔽，必要时也可用对绞导体分屏蔽复合总屏蔽。

5 其他情况应按电磁感应、静电感应等影响因数，采用适

宜的屏蔽方式。

3.5.6 控制电缆金属屏蔽的接地方式，按下列规定执行：

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

2 除 1 款规定需要一点接地情况外的控制电缆屏蔽层，当电磁感应的干扰较大，宜采用两点接地；静电感应的干扰较大，可用一点接地。双重屏蔽或复合式总屏蔽，宜对内、外屏蔽分用一点、两点接地。

3 两点接地的选择，还宜考虑在暂态电流作用下屏蔽层不致被烧熔。

4 电缆截面选择

4.1 一般规定

4.1.1 电缆持续运行时导体的最高允许温度，应符合表 4.1.1 所列允许值。

表 4.1.1 常用电力电缆铜导体的最高允许温度 单位:℃

电 缆 类 型	最高允许温度	
	持续运行时	短路时(最长时间 $\leq 5s$)
交联聚乙烯绝缘, 乙丙橡胶绝缘	90	250
聚氯乙烯绝缘当导体截面面积 $< 300mm^2$	70	160
聚氯乙烯绝缘当导体截面面积 $\geq 300mm^2$	70	140
橡皮绝缘	60	200
矿物绝缘	105 (70)	
注: 括号内数字为带 PVC 外护套的允许温升。		

4.1.2 应满足单相或三相短路故障时最大短路电流所产生的热效应的要求。短路计算用最高温度，不应超过表 4.1.1 所列允许值。当满足下列情况时，可不校验短路热效应：

- 1 用限流熔断器保护的回路。
- 2 额定电流 60A 以下的熔断器保护的回路。
- 3 当熔体的额定电流不大于电缆允许载流量的 3 倍，且供电回路末端的最小短路电流大于熔体额定电流的 4 倍时。

4.1.3 应满足连接回路在最大工作电流作用下的电压降不超过允许值。

4.1.4 铝导体电力电缆最小截面应大于 $4mm^2$ 。

4.1.5 长距离、大电流、运行时间长的电力电缆的截面宜按经济电流选择，按寿命期内投资和损耗总费用最小原则确定。

4.1.6 在满足上述条款的前提下，当电缆的年运行小时数很低

且连续运行时间很短时，宜考虑电缆的应急电流能力，应急电流的计算方法按 IEC 853—2。

4.1.7 二次电缆导体截面的选择应按照如下原则：

1 电流回路电导体线截面不应小于 2.5mm^2 。

2 电压回路应按允许电压降选择电缆截面，且不应小于 1.5mm^2 。

4.1.8 当两根或多根电缆在回路中同一相（同一极）并联连接时，并联的电缆应有相同的材质、相同的截面、大约相同的长度、沿线无分支。

4.2 按载流量选择

4.2.1 110kV 及以上电缆的载流量，宜按附录 A 计算；110kV 以下常用电缆的载流量，宜按附录 B 所列值选择，并根据下列敷设条件按附录 C 进行载流量校正：

1 环境温度差异。

2 直埋敷设时土壤热阻系数差异。

3 多根电缆并行敷设。

4 户外无遮阳架空敷设时日照的影响。

5 穿管敷设时。

4.2.2 不属于附录 C 规定的其他情况下敷设的电缆，确定电缆持续允许载流量时，应经过计算或经科学试验，并应考虑下列影响因素予以校正：

1 35kV 以上单芯电缆，金属护层交叉互联接地方式的三个区段长度不均等时，应考虑金属护层的附加损耗的影响。

2 电缆敷设于封闭槽盒中，应计入槽盒的材质、尺寸等因素对热阻的影响。

3 施加在电缆上的防火涂料、包带等覆盖层的厚度大于 1.5mm 时，宜考虑热阻的影响。

4 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 $2.0\text{K} \cdot \text{m/W}$ 的热阻系数计入影响。

4.2.3 确定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选取，并计入实际敷设环境的温升影响。应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 电缆持续允许载流量的环境温度确定

敷设场所	条件特征	选取的环境温度
户外空气中		最热月的日最高温度平均值
厂房内空气中	无良好通风	最热月的日最高温度平均值
	有良好通风	通风设计温度
户内电缆沟		最热月的日最高温度平均值
户外电缆沟		最热月的日最高温度平均值加 5℃
电缆廊道、隧道	无良好通风	最热月的日最高温度平均值
	有良好通风	通风设计温度
土中直埋		埋深处最热月平均地温
水下		最热月的日最高水温平均值
灯泡式发电机内		按发电机冷却器出口冷风温度加 5℃

4.2.4 电缆路径中有几种不同的散热条件区段时，对重要回路的电缆，全长截面宜按其中散热最坏区段条件选择。

4.3 按短路条件选择

4.3.1 电缆在短路电流作用下，应能保持使用特性不变。对非熔断器保护的回路，应按式（4.3.1）计算允许的最小导体截面，电缆的 C 值按表 4.3.1 选取。

$$S \geq \frac{\sqrt{I^2 t}}{C} \tag{4.3.1}$$

式中 S——导体截面（mm²）；
I——短路允许电流（有效值 A）；
t——短路时间（s）。

表 4.3.1 电缆的 C 值

导体绝缘材料		聚氯乙烯绝缘 当导体截面面积 $<300\text{mm}^2$	聚氯乙烯绝缘 当导体截面面积 $\geq 300\text{mm}^2$	交联聚乙烯 绝缘、乙丙 橡胶绝缘	橡皮绝缘
导体材料	铜	115	103	143	141
	铝	76	68	94	92

4.3.2 电力设备专用接地电缆，其截面应满足单相短路电流热效应的要求。

4.3.3 电力电缆的金属屏蔽层的有效截面，应满足系统发生单相接地或不同地点两相同时发生故障时短路容量的要求。

4.4 中性线、保护接地线

4.4.1 中性线导体截面应能承受线路最大不平衡电流，不宜小于 50% 的相导体截面。

4.4.2 保护接地线的截面应符合表 4.4.2 的规定。

表 4.4.2 按热效应要求的保护接地线

允许最小截面

单位： mm^2

电缆导体截面 S	保护地线允许最小截面
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

4.4.3 保护接地中性线导体截面应符合：采用单芯电缆时，铜芯应不小于 10mm^2 ，铝芯应不小于 16mm^2 ；采用多芯电缆时，其截面应不小于 4mm^2 。

5 电 缆 附 件

5.1 电缆终端及接头的选择

5.1.1 电缆终端的装置类型选择应符合下列规定：

1 66kV 及以上交联聚乙烯绝缘电缆与 GIS 直接相连时，应采用 GIS 终端。

2 66kV 及以上交联聚乙烯绝缘电缆与变压器直接相连时，宜采用充油终端，也可采用 GIS 终端。

3 66kV 及以上交联电缆与户内、户外导线相连时，宜采用空气终端。

4 35kV 及以下交联聚乙烯绝缘电缆宜采用预制式、冷缩型终端，也可采用热缩型终端。

5.1.2 电缆终端的构造型式应保证导体连接良好，绝缘可靠，有足够的机械强度，密封良好，防止潮气侵入、防腐蚀，还应按安置环境、作业条件、满足工程所需可靠性和经济合理性，并应符合下列规定满足下列要求：

1 GIS 终端应符合下列规定：

1) GIS 终端的导体与 GIS (GIL) 导体的连接处应有一可拆卸短段，以便于 GIS (GIL) 和电缆分开进行各项试验。

2) GIS 终端外壳与 GIS (GIL) 外壳连接处应有一绝缘垫，绝缘垫的两侧应并联金属护层电压限制器。绝缘垫的绝缘水平应与外护层的绝缘水平相一致。

3) GIS 终端应有单独的绝缘气体检测装置。

4) 挤包绝缘电缆 GIS 终端中存在绝缘填充剂时，绝缘填充剂应与应力锥材料相容，并对电缆绝缘介质无害。

2 充油终端应符合下列规定：

1) 充油终端的导体与变压器导体的连接处应有一可拆卸

短段，以利于电缆和变压器分开进行各项试验。

- 2) 充油终端外壳与变压器外壳连接处应有一绝缘垫，绝缘垫两侧应并联金属护层电压限制器。绝缘垫的绝缘水平应与电缆外护层的绝缘水平相一致。
- 3) 挤包绝缘电缆充油终端应有防止绝缘油和电缆绝缘介质接触的措施。

3 户外终端应符合下列规定：

- 1) 户外终端应有使终端底座与终端支架相互绝缘的底座绝缘子，底座绝缘子的绝缘水平与电缆外护层的绝缘水平要求一致。
- 2) 户外终端的外绝缘最小公称爬电比距应满足安装地点环境条件的要求。
- 3) 330kV 及以上空气终端应有防晕罩或屏蔽环。
- 4) 终端应能承受连接导体的拉力。
- 5) 应符合工程设计地震烈度的要求。
- 6) 在潮湿、污秽或盐雾的环境，特别是安装在空气中靠近山丘或需防坠落物的地方，宜采用复合套终端。

5.1.3 电缆终端的额定电压及其绝缘水平不应低于所连接电缆的额定电压及其绝缘水平。

5.1.4 电缆终端的布置按下列规定执行：

1 支撑电缆终端的支架应能方便电缆穿入，便于电缆终端及其连接附件的安装。

2 工作电流大于 1500A 时，钢结构支架应有防止横向磁路闭合等附加发热措施。

3 金属护层接地连接箱宜布置在支架上，金属护层电压限制器应满足热效应的要求，其绝缘水平与外护层相同，应布置在连接箱内或支架上人不能触及的位置，并使同轴电缆最短。同轴电缆截面应满足热效应要求，绝缘水平与外护层的绝缘水平相同。

4 底座绝缘子的设计宜不吊出终端就可更换绝缘子。

5 35kV 以上电缆终端、接头布置于户内时，应按试验要求在一侧留有足够的实验场地，并应考虑便于施工和运输。

6 电缆终端或接头旁配置穿芯式电流互感器时，应将电缆金属护层接地线同时穿过。

5.1.5 电缆接头宜采用预制式接头。

5.1.6 电缆接头的装置类型按下列规定执行：

1 单芯高压电缆实行交叉互联接地的隔断金属护层连接部位，应采用绝缘接头。需按段监察绝缘的交叉互联接地方式相邻单元的连接，也可采用绝缘接头。

2 不同绝缘材料的电缆间的连接应采用过渡接头。

3 三芯与单芯电缆相连接时，应采用转换接头。

4 电缆金属护层需要直接连接时，宜采用直接接头。

5 中压挤包绝缘电缆间的连接，宜采用冷缩型或预制式接头。

5.1.7 电缆接头的构造型式，应按连接电缆的绝缘类型、安置环境、作业条件，不影响电缆通流能力，满足工程所需的可靠性和经济性合理等因素确定，并应符合下列规定：

1 水下电缆的接头，应能维持钢铠层纵向连接，且有足够的机械强度，宜用软性连接。

2 电缆接头的导体应连接良好，铜导体之间应采用压接相连。

3 高压电缆接头应有密封性能良好的外罩，外罩应能承受一定的机械外力。

5.1.8 电缆接头的绝缘水平不应小于所连接电缆的绝缘水平。

5.1.9 电缆接头绝缘环两侧耐受电压，不应低于所连电缆护层绝缘水平的 2 倍，且应适合所用系统的运行条件。

5.1.10 电缆接头外壳应对地可靠绝缘，可采用绝缘保护罩或底座绝缘子，绝缘保护罩和底座绝缘子的绝缘水平要求应与电缆外护层绝缘水平的要求一致。

5.1.11 绝缘接头在外屏蔽层断开处的绝缘、金属保护罩的绝缘

夹板及保护罩等绝缘水平应与电缆外护层的要求一致。

5.1.12 电缆接头的布置按下列规定执行：

1 支撑电缆接头的支架，应不妨碍电缆接头制作完成后方便地吊装就位。

2 电缆接头的布置应满足安装维修所需的间距，以及电缆允许弯曲半径和伸缩节配置要求。

3 金属护层接地连接箱宜布置在支架上，金属护层电压限制器应布置在连接箱内或支架上人不能触及的位置，布置应使同轴电缆最短。

4 电缆接头底座绝缘子的设计，宜不吊起接头就能更换绝缘子。

5 不应用铁磁材料作单相敷设电缆的接头保护盒。

6 直埋电缆接头盒外面应有防止机械损伤的保护盒（环氧树脂接头盒除外）。位于冻土层下的保护盒内宜注以沥青。

7 如电缆井排水困难，应把电缆井中的电缆接头用支架撑起。电缆接头安置于可能有水侵入的场所，应具有防水密封保护。

8 接头两侧在电缆热伸缩的纵向受力较大时，需有刚性固定。

9 绝缘接头和直通接头可以直埋或敷设在隧道或接头人孔井内。对于直埋敷设的接头，应有防水外壳。

10 邻近电气化交通线路等对电缆金属护层有侵蚀影响的地段，接头设置方式应便于监察维护。

5.2 高压单芯电缆金属护层接地方式

5.2.1 金属护层一端接地按下列规定执行：

1 当电缆线路长度不长，能满足 5.2.9 条 2 款的要求时，宜采用在线路一端直接接地的方式。见图 5.2.1。

2 当单芯电缆两端所连电气设备不同，电缆金属护层的接地点应符合下列规定：

- 1) 电缆一端连接变压器，另一端连接架空线路，金属护层的接地点应设在电缆与架空线连接的一端，并三相互联接地。
- 2) 电缆一端连接 GIS，另一端连接架空线路，金属护层的接地点应设在电缆与架空线连接的一端，并三相互联接地。
- 3) 电缆一端连接 GIS，另一端连接变压器，金属护层的接地点宜设在电缆与 GIS 连接的一端，并三相互联接地。

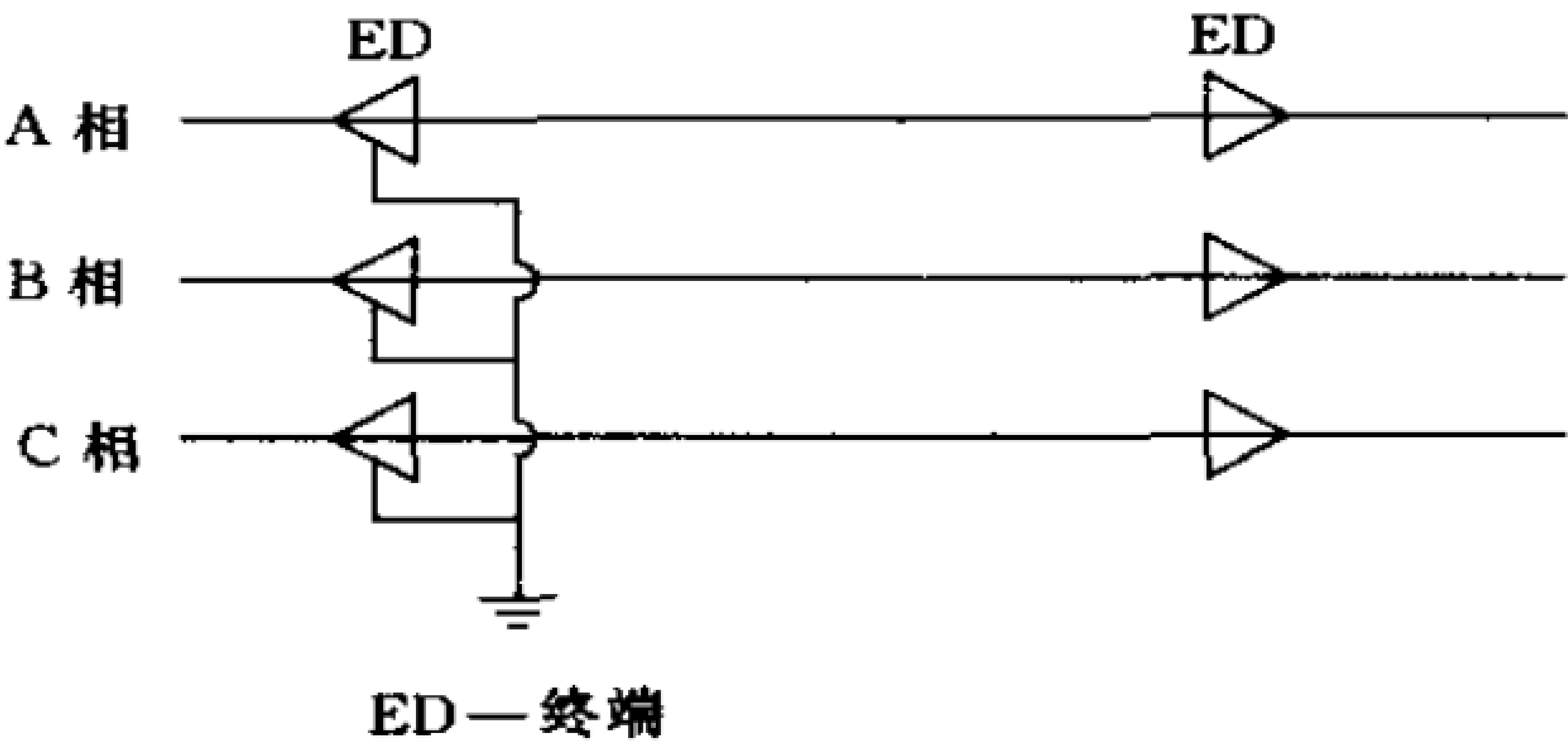


图 5.2.1 金属护层一端直接接地

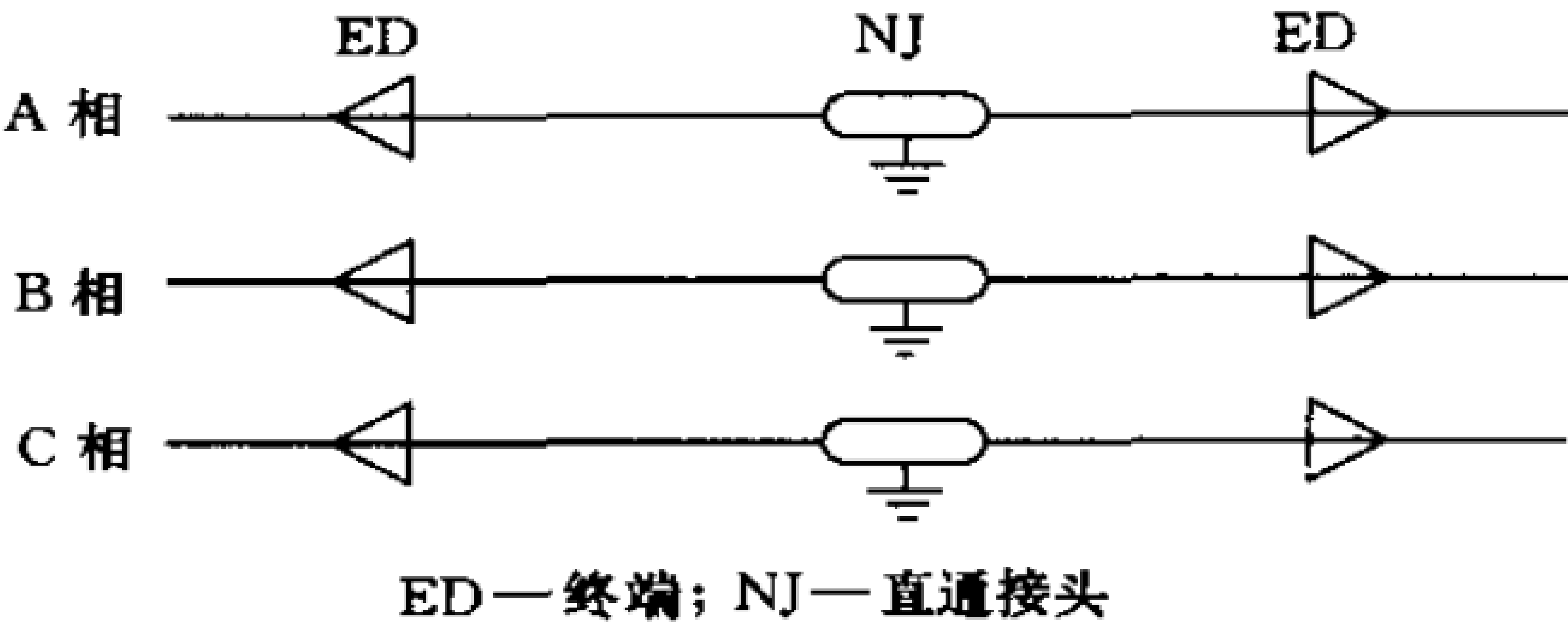


图 5.2.2 金属护层中点直接接地

5.2.2 金属护层中点接地应符合下列规定：

当电缆线路有接头，能满足 5.2.9 条 2 款的要求时，应采用金属护层中点接地的方式，见图 5.2.2。

5.2.3 金属护层两端接地应符合下列规定：

线路较长，一段直接接地不能满足 5.2.9 条 2 款的要求时，35kV 以下线路、水下电缆或 35kV 以上输送容量较小的高压线路，可采取在线路两端直接接地的方式，见图 5.2.3。

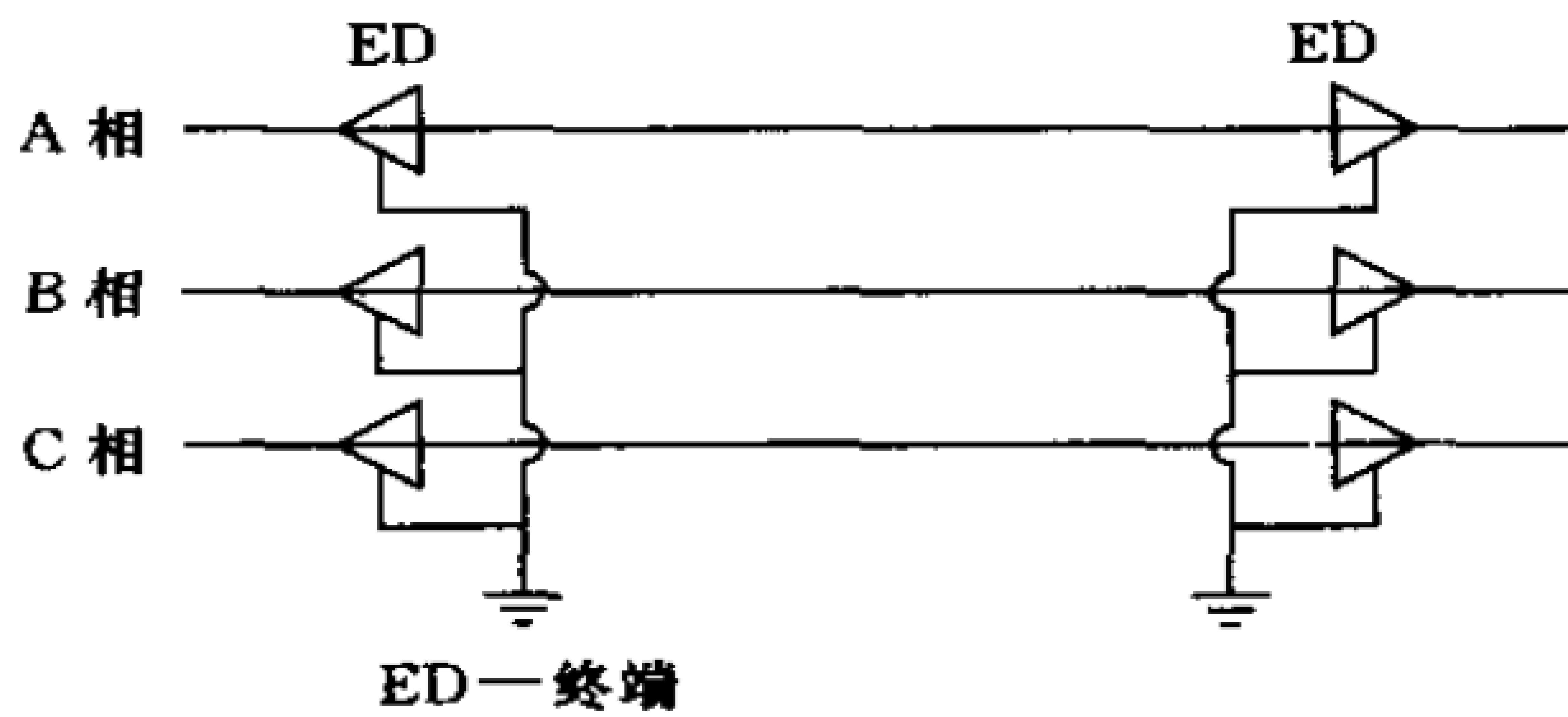


图 5.2.3 金属护层两端直接接地（全接地）

5.2.4 金属护层交叉互联接地应符合下列规定：

单芯电缆线路很长时，宜采用金属护层交叉互联接地方式。见图 5.2.4。

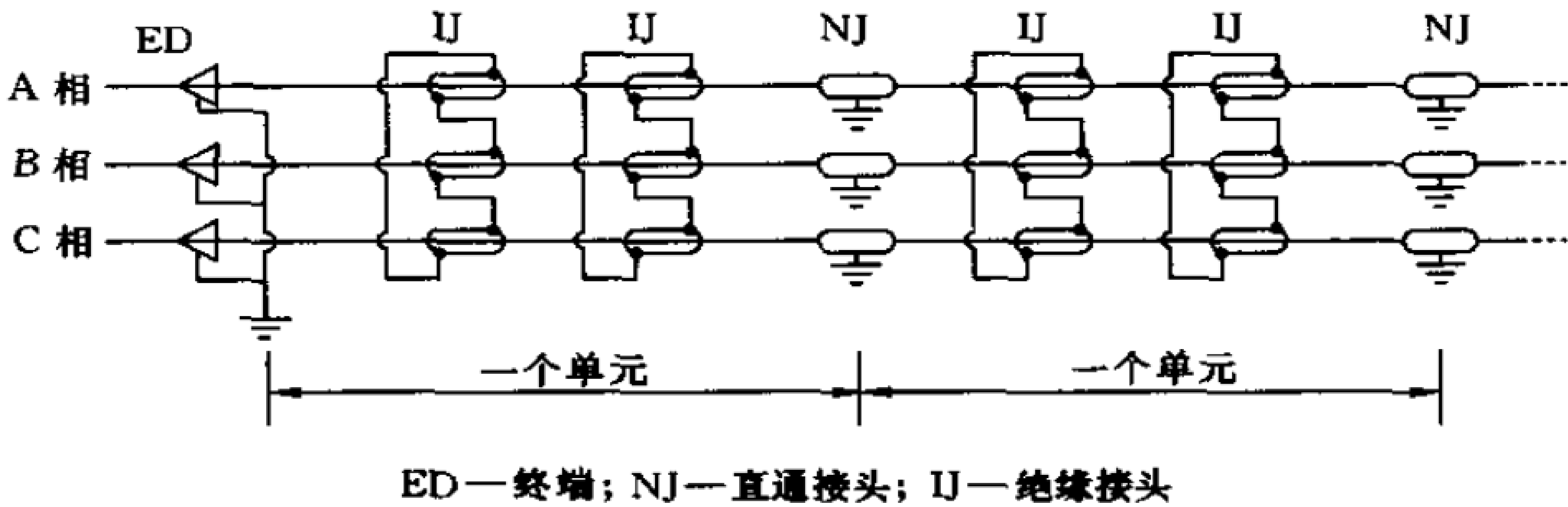


图 5.2.4 金属护层交叉互联接地

5.2.5 220kV 以下单芯电缆线路，在下列情况下，应沿电缆线路并行配置均压线。

- 1 可能出现的工频或冲击感应电压超过电缆外护层绝缘和电压限制器的耐受强度时。
- 2 防止单相接地时，地网接地电阻的电压降作用到电缆金属护层电压限制器上。

3 需抑制电缆邻近的控制或通讯电缆的感应干扰强度时。

4 在隧道或沟内敷设的电缆，沿线路并行配置均压线时，应充分考虑沿电缆支架设置接地线的作用。

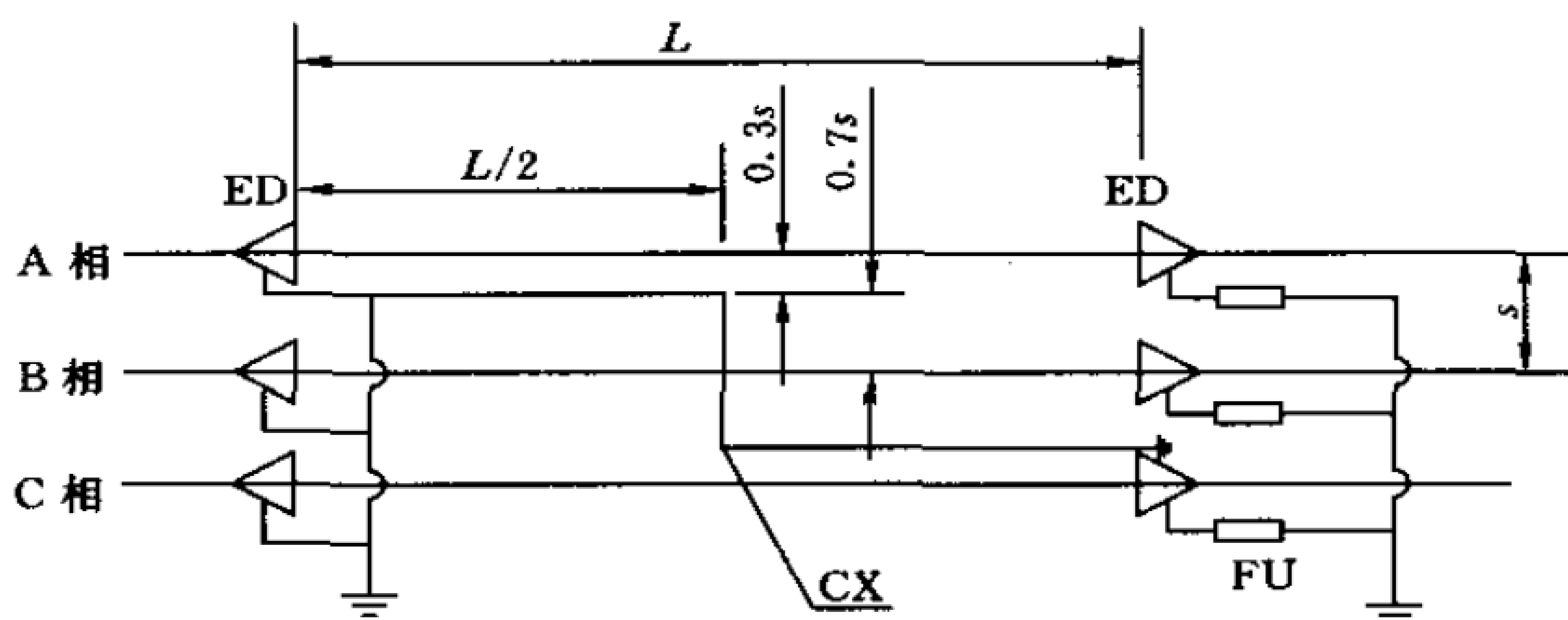
5.2.6 均压线的配置按下列条件要求：

1 均压线应采用裸导线，使电缆附近的地面电位抬高并分布均匀，以降低外护层绝缘所承受的工频过电压。

2 为使均压线充分发挥作用，均压线的泄漏电阻宜大于自身阻抗的 30 倍。

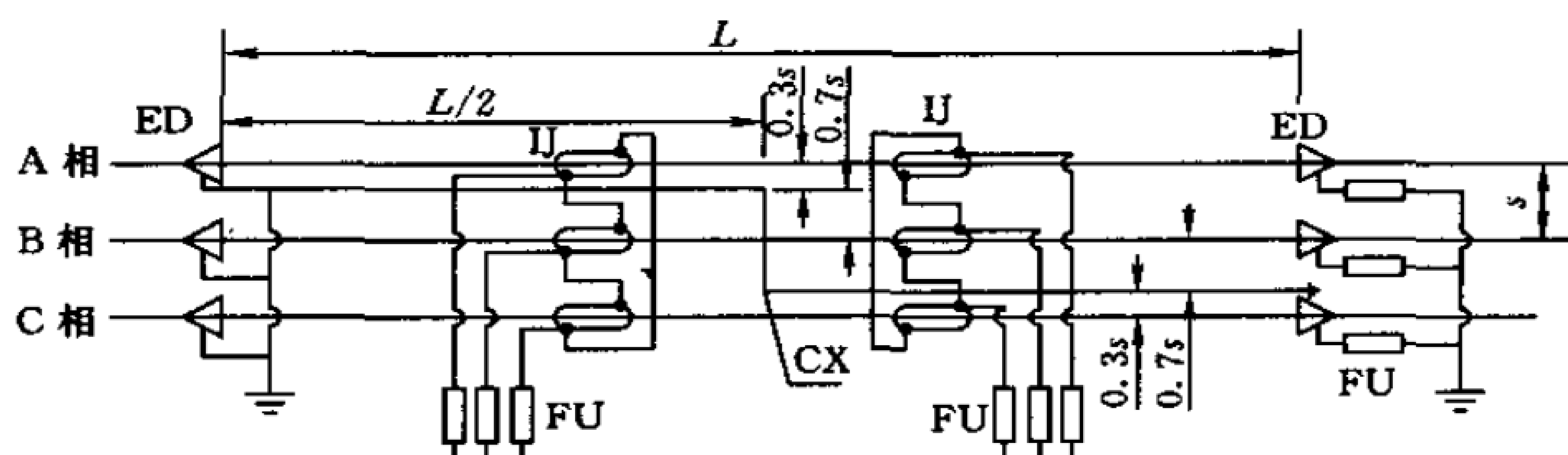
3 均压线在三相电缆之间按“三七开”布置并两端接地，能有效地降低护层工频过电压。均压线的布置见图 5.2.6。

如果电缆线路较短，经计算均压线布置在电缆外侧线中间，



a) 短电缆

ED—终端；FU—电压限制器；CX—均压线或回流线



b) 长电缆

ED—终端；FU—电压限制器；IJ—绝缘接头；CX—均压线或回流线

图 5.2.6 均压线或回流线布置和电压限制器接线

不换位也可能满足要求时，可不按“三七开”布置。

5.2.7 220kV 及以上金属护层一端接地的单芯电缆线路，当线路长度较长，护套损耗大而且又无法采用交叉互联方式时，宜专门敷设一根回流线。

5.2.8 回流线的配置应符合下列规定：

1 回流线应采用绝缘铜芯电缆。在三相电缆之间按“三七开”布置并两端接地。

2 当电缆通过对称短路或不对称短路电流时，回流线在电缆金属护层不接地端的感应电压较高，在安装电压限制器处应采取安全措施。

3 回流线的绝缘等级应采用 10kV 电压级或与金属护层绝缘相匹配，其截面积应满足短路电流热效应的要求。

4 回流线的阻抗及其两端接地电阻，宜与系统内最大零序电流和回流线上感应电压允许值相匹配。

5 回流线的排列配置方式，宜使电缆正常工作时在回流线产生的损耗最小。

5.2.9 交流单芯电缆的金属护层，应直接接地，并应符合下列要求：

1 计算电缆金属护层工频过电压时，应考虑“三七开”布置均压线或回流线。在任何条件下金属护层工频过电压应低于外护层绝缘的工频耐压水平，安全系数取 1.05。

2 在金属护层上任一点非接地处的正常感应电压，未采取不能任意接触金属护层的安全措施时，不应大于 50V；否则不应大于 100V。

3 长电缆护层交叉互联且两端互联接地，只需计算一个分段金属护层的感应电压。

4 电缆金属护层绝缘承受的雷电冲击过电压值，应等于电压限制器的残压、电压限制器连接电缆的冲击电感的压降及电压限制器接地电阻的压降三者之和。

5 雷电冲击波进入电缆时，无论是否有均压线或回流线，

金属护层不接地端均应装设金属护层电压限制器。

5.2.10 对重要回路且可能有过热部位的高压电缆线路，宜设有温度检测装置。

5.2.11 重要的交流单相高压电缆金属屏蔽层以一端直接接地或交叉互联接地时，该电缆线路宜设有护层绝缘监察装置。

5.3 护层电压限制器选择

5.3.1 电缆护层电压限制器的选择应保证在使用环境下可靠、耐久，监视维护方便和利于安装，其参数选择应符合下列规定：

1 护层电压限制器当最大雷电冲击电流通过时，不应损坏。按表 5.3.2 的通流容量 20 次不损坏。

2 护层电压限制器在最大可能冲击电流下的残压不应高于电缆护层绝缘的冲击耐压除以 1.4 的数值。

3 护层电压限制器在最大可能工频过电压的作用下，应能耐受 5s 而不损坏。

5.3.2 护层电压限制器接在电缆线路和架空线路的连接端处时，通过电压限制器的雷电冲击电流最大，应按此情况确定电压限制器的通流容量，见表 5.3.2。

表 5.3.2 电缆金属护层电压限制器的通流容量

额定电压 (kV)、	110	220	330	500
雷电流幅值 (kA)	5.1	10	15	20
波形 (μs)	8/20			

5.3.3 护层电压限制器阀片的片数应根据限制器承受的工频过电压值与一片阀片 2s 工频耐压值之比，取其上限的整数为电压限制器的阀片片数。

5.3.4 护层电压限制器的配置应符合下列规定：

1 采用一端互联接地方式的电缆线路，非接地端连接的三相电压限制器应按 Y₀ 连接，见图 5.2.6a)。

2 采用交叉互联接地方式的电缆线路，绝缘接头处连接的

三相电压限制器应按 Y 连接，见图 5.2.6b)。

5.3.5 电缆金属护层与电压限制器间连接线的选择，按下列要求执行：

1 电压限制器宜分相布置，连接导线宜采用同轴电缆，长度不宜超过 5m。

2 连接导线的截面应满足在通过最大可能电流时的热效应要求。

3 连接导线的绝缘水平应与电缆外护层的绝缘水平一致。

4 电压限制器应装有动作记录器。

5 电压限制器及其连接组件的布置，应易于观察，不能任意接触，必要时装设防护遮栏或设置在箱内。

6 电 缆 敷 设

6.1 电缆路径及敷设方式选择

6.1.1 电缆路径的选择原则应符合下列规定：

- 1 应避免电缆遭受机械性外力、较强振动、水浸泡等损害。
- 2 应便于敷设及维修。
- 3 应避开可能挖掘施工的地方。
- 4 在符合安全性要求下，电缆敷设路径应有利于降低电缆及其构筑物的综合投资。

5 应有利于电缆接头及终端的布置与施工。

6.1.2 电缆敷设场所及方式（如电缆夹层、隧道、沟、竖井、浅槽、架空、悬吊、穿管、排管、直埋、水下敷设等）选择应符合下列规定：

1 控制室、继电保护室的下部，宜设有非敞露的夹层或电缆室；电缆数量较少时，也可采用活动地板构成电缆层。

2 户外配电装置的主要电缆通道，宜采用电缆沟；当地下水位较高时，也可用浅槽；当电缆数量较多时可用隧道。

3 户内主要电缆通道宜采用隧道或电缆夹层，电缆较少时可利用厂房内通行廊道作电缆通道。

4 厂区内电缆数量较少时，宜穿管埋地敷设；对于非重要电缆，也可采取直埋。

5 垂直敷设的电缆宜沿墙沿柱明敷，数量较多或含有66kV及以上的高压电缆时，应设置竖井。

6 在可能发生爆炸、着火（如油库、油处理室）的场所，不应采取明敷，应穿金属管架空或埋地敷设。

6.1.3 电缆的计算长度，应包括实际路径长度与附加长度，附加长度宜计入高差、伸缩节、迂回备用、终端或接头制作所需预留段和电缆引至设备等因素。35kV及以下终端或接头制作所需

电缆长度及电缆引至设备的附加长度可按表 6.1.3 计，66kV 及以上终端或接头制作所需电缆长度及电缆引至设备的附加长度应根据现场情况确定。

表 6.1.3 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)
电缆终端头的制作		0.5
电缆接头的制作		0.5
由地坪引至各设备的终端头处	电动机(按接线盒对地坪的实际高度)	0.5~1
	配电屏	1~2
	车间动力箱	2
	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	2
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，电缆终端头、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%。		

6.2 电缆的布置与排列

6.2.1 同一通道或同侧多层支架上明敷电缆的布置原则应符合下列规定：

- 1 电力与控制电缆不应配置在同一层支架上。
- 2 支架层数受通道限制时，35kV 及以下的相邻电压级电力电缆，可排列于同一层支架。
- 3 同侧多层支架上的电缆排列，应按高压电力电缆、低压电力电缆、控制电缆、信号电缆顺序，宜分层由上而下配置；但在含有大截面或 35kV 高压电缆时，为引入柜盘的电缆符合弯曲半径要求，也可由下而上配置。
- 4 在同一工程中，均应按相同的上下排列顺序原则配置。

5 双电源供电重要回路，其主、备用回路电缆宜分开布置于不同通道；若必须在同一通道敷设时，宜分别布置在通道两侧支架上；有困难时也可布置在不同层次支架上。

6.2.2 电缆在每一格架的排列方式，宜符合表 6.2.2 所列要求。

表 6.2.2 每一格架电缆的排列方式

类 别		允许配置 电缆根数	允许叠置层数		电缆之间排列	
			普通支架	桥架	普通支架	桥架
控制电缆			1	1~2	紧 靠	紧靠
35kV 及以下电 压 电 力 电 缆	多芯		1	1~2	有 1 倍电缆外径 或 35mm 的空隙	非紧靠
	单芯用于 交流系统		2	2	需考虑载流能力因素 选择	
35kV 以上电压交 流系统的单芯电缆		3~6	2	2	需考虑载流能力和护 层正常感应电压综合影 响因素选择	
注 1：最大允许填充率不超过：控制电缆 50%~70%；电力电缆 40%~50%。 且宜预留 10%~25%的工程发展裕量。						
注 2：重要的同一回路多根电力电缆不宜叠置。						

6.2.3 需抑制电气干扰强度的控制和信号电缆回路，可采取下列措施：

- 1 与高压电力电缆并行敷设时，宜在可能范围内远离。
- 2 在 220kV 及以上电压配电装置内，无其他条件限制时，宜在可能范围内远离耦合电容器或电容式电压互感器、避雷器、避雷针的接地点。
- 3 沿控制电缆并行敷设专用屏蔽线或将电缆敷设于钢制管盒中。

6.2.4 电缆在任何敷设方式下，其转弯部位均应满足该电缆的允许弯曲半径的要求，弯曲半径由电缆的绝缘及构造特性确定。常用电缆的允许弯曲半径，可采用表 6.2.4 所列数值。

表 6.2.4 常用电缆的允许弯曲半径

电 缆 种 类	多 芯	单 芯
35kV 以上干式电缆		20
35kV 及以下交联聚乙烯绝缘电缆	15	20
聚氯乙烯绝缘电缆	10	10
橡皮绝缘电缆 / 橡皮或聚氯乙烯护套电缆	10	
橡皮绝缘电缆 / 裸铅护套	15	
橡皮绝缘电缆 / 铅护套钢带铠装	20	
注：表中数值系电缆外径倍数。		

6.3 直 埋 敷 设

6.3.1 电缆直埋敷设时应符合下列规定：

1 由电缆外皮至地下构筑物基础不应小于 300mm；至地面的埋深，不应小于 700mm；穿越耕地、车行道的埋深，不应小于 1000mm；直埋于冻土地区时，宜埋入冻土层以下，当电缆埋深未超过土壤冻结深度时，应采用透水性好的回填土或其他措施以防止电缆受到损坏。

2 沿直埋电缆的上侧、下侧，应铺以 100mm 厚的软土或砂层，并盖以混凝土保护板，板宽超出电缆两侧各 50mm。

3 不应将电缆平行敷设于地下管道的正上方或下侧。

4 直埋电缆的地面上应设有明显的标志。

5 电缆之间及与管道、道路、构筑物等相互间容许的最小距离应符合表 6.3.1 的规定。

6.3.2 电缆引入建（构）筑物的贯穿段或从地下引出在地坪上 2000mm 高的一段，应采取具有机械强度的管或罩加以保护；对于只有电气人员活动的场所，引出地坪上的一段可不加保护。

6.3.3 直埋敷设的电缆与铁路、公路交叉时，应穿保护管，且保护范围超出路基外 2000mm 以上。

6.3.4 直埋敷设电缆的接头配置，按下列规定执行：

1 接头与邻近电缆的净距，不应小于 250mm。

**表 6.3.1 电缆之间及与管道、道路、构筑物等
相互间容许的最小距离**

单位：m

电缆直埋敷设时的情况	平行时	交叉时
10kV 以上电力电缆之间及其与 10kV 及以下电力电缆、二次电缆、通信电缆之间	0.25	0.5 (0.25)
10kV 及以下电力电缆之间及其与二次电缆、通信电缆之间	0.1	0.5 (0.25)
二次电缆、通信电缆之间		0.5 (0.25)
不同使用部门的电缆之间	0.5 (0.1)	0.5 (0.25)
与水管、压缩空气管之间	1 (0.25)	0.5 (0.25)
与可燃气体及易燃液体管道之间	1	0.5 (0.25)
与铁道（平行时与轨道、交叉时与轨底，电气化铁路除外）之间	3	1
与道路（平行时与路边、交叉时与路面）之间	1.5 [0.7]	1
与排水明沟（平行时与沟边、交叉时与沟底）之间	1 [0.5]	0.5
与建筑物、构筑物基础之间	0.6 [0.3]	
与 1kV 及以下架空线路电杆之间	1 [0.5]	
与 1kV 以上架空线路电杆塔基础之间	4 [2]	
与树木主干之间	0.7	
注 1：表中所列净距，应自各种设施的外缘算起。 注 2：路灯电缆与路边灌木丛平行距离不限。 注 3：表中圆括号内数字，是指局部地段电缆穿管，加隔板保护后允许的最小净距。方括号内数字指特殊情况下可采用的最小值。		

2 并列电缆的接头位置宜相互错开，且不小于 500mm 的净距。

3 处于斜坡地形处的接头，应呈水平状安置。

4 对重要回路的电缆接头，宜在其两侧约 1000mm 开始的局部段，按留有备用量方式敷设电缆。

6.3.5 35kV 及以下电力电缆直埋时，同一通路不宜多于 5 根电缆。

6.4 敷设于保护管中

6.4.1 电缆保护管按下列规定执行：

- 1 保护管应具有足够机械强度、内壁光滑和耐久特性。
- 2 钢质保护管，不应用于交流系统中单芯电力电缆单根回路。
- 3 每管宜只穿 1 根电缆，管内径与电缆外径之比不应小于 1.5 倍；排管管孔内径不宜小于 75mm。
- 4 每管最多不宜超过 3 个弯头，直角弯不宜多于 2 个。
- 5 明敷管的固定支持间距，不宜超过 3000mm；并列管的净空隙距离，不宜小于 20mm。
- 6 地中埋管，距地面深度不宜小于 500mm；与铁路公路交叉处距路基深度不宜小于 1000mm。埋管两端各伸出路基不应少于 2000mm。
- 7 电缆穿管敷设时容许最大管长的计算方法见附录 D。

6.4.2 部分或全部露在空气中的电缆保护管选择，按下列规定执行：

- 1 防火或机械性要求高的场所，宜用钢质管，且应采取涂漆、镀锌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，可用难燃型塑料管。部分埋入混凝土中等有冲击的使用场所，塑料管应具备相应承压能力和可挠性。

6.4.3 地中埋设的保护管，宜用具有相应承压能力的塑料管。通过不均匀沉降的回填土地段等受力较大的场所，宜用钢管或可挠性金属管。

6.4.4 混凝土中埋设的保护管，宜用钢管或可挠性金属管。

6.4.5 电缆排管的配置原则应符合下列规定：

- 1 同一通道的电缆数量较多时，宜用排管，并应留有一定量的备用管孔。
- 2 布置上应按高中低压电力电缆、强电和弱电控制电缆的

次序排列。

6.4.6 较长电缆管路中的下列部位，应设有工作井：

- 1 电缆分支、接头处。
- 2 电缆牵引张力限制的间距处。
- 3 管路方向较大改变或敷设方式变更处。
- 4 管路坡度较大且需防止电缆滑落而必须加强固定处。

6.5 敷设于电缆构筑物中

6.5.1 电缆支架的层间垂直距离，应满足电缆能方便地敷设和固定，且在多根电缆同置于一层支架上时，有更换或增设任一电缆的可能，宜符合表 6.5.1 所列数值。

表 6.5.1 电缆支架层间垂直距离
的最小允许值 单位：mm

电缆类型和敷设特征		普通支架、吊架	桥 架
控制电缆		120	250
电力电缆	1kV 电缆	150~200	250
	3~10kV 电缆	200~250	300
	35kV 单芯	250	300
	66~220kV，每层 1 根		
	35kV 三芯	300	350
	66~220kV，每层 1 根以上		
电缆敷设在槽盒中		槽盒高+80	槽盒高+100

6.5.2 水平敷设电缆的最上层支架，距构筑物顶板或梁底的最小允许净距，宜在表 6.5.1 规定值基础上再加 80~150mm；并应满足电缆引接盘柜时允许弯曲半径的要求。

6.5.3 电缆支架最低层距地坪、沟道底部的最小允许净距，宜不小于表 6.5.3 所列数值。

表 6.5.3 最下层电缆支架距地坪、沟道底部
的允许最小净距

单位：mm

电缆敷设场所及其特征		垂直净距
电缆沟		50~100
电缆隧道		100~150
电缆夹层	至少在一侧不小于 800mm 宽通道处	1400
	除上项外的情况	200
公共廊道中电缆支架未有围栏防护		1500~2000
厂房内		2000

6.5.4 厂房内电缆支架离管道或其他设备装置顶部的净空，不应小于 300mm，否则应设耐火隔板。

6.5.5 电缆桥架与支撑立柱的净距宜大于 20mm，并行桥架的水平净距不应小于 50mm。

6.5.6 普通支（吊）架的跨距、桥架组成中的梯形托架横撑间距，不宜大于表 6.5.6 所列数值。

表 6.5.6 普通支架、吊架、桥架的允许跨距

单位：mm

类 型	电 缆 特 征	敷 设 方 式	
		水平	垂直
普通支架、吊架	全塑型电缆	400 (800)	1000
	铠装的中、低压电缆	800	1500
	35kV 以上高压电缆	1500	2000
桥架	35kV 及以下电缆	300	400
	35kV 以上高压电缆	400	600
注：括号内数字为普通支架、吊架能维持电缆较平直时可采用的数值。			

6.6 敷 设 于 水 下

6.6.1 电缆宜敷设在河床稳定、流速较缓、岸边不易被冲刷、少有沉锚和拖网渔船活动的水域，并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。

6.6.2 水下电缆应埋设于水底。浅水区埋深不宜小于 0.5m，深水航道的埋深不宜小于 2m，并加以稳固覆盖保护，在其两岸，应设有醒目的警告标志。

6.6.3 水下电缆相互间严禁交叉、重叠，应按水的流速和电缆埋深等因素确定安全间距，且按下列规定执行：

1 主航道内，电缆相互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 在流速未超过 1m/s 的非通航河流中，同回路单芯电缆相互间距不应小于 0.5m，不同回路电缆间距不应小于 5m。

6.6.4 水下电缆引至岸上的区段，应采用保护管、沟槽敷设，必要时可设置工作井连接，并预留适当长度的备用电缆。

6.7 敷设于其他公用设施中

6.7.1 桥梁上和交通隧洞中的电缆，应有防止电缆着火、避免外力损伤的可靠措施，且应符合下列规定：

1 电缆不应明敷在通行的路面上。

2 隧洞中的电缆，应敷设于电缆沟中，也可敷设在难燃或不燃性的管、槽盒中。

3 桥墩两端和伸缩处，电缆应充分松弛。当桥梁中有挠角部位时，宜设电缆迂回补偿装置。35kV 以上大截面电缆宜以蛇形敷设。

7 电缆的支持与固定

7.1 电 缆 支 架

7.1.1 电缆支架的基本技术要求应符合下列规定：

1 电缆支架的支架部分，应由不燃性材料制作；组成桥架的梯形托架或托盘，可为难燃性材料。

2 应表面光滑无毛刺，具有足够的机械强度，并耐受使用环境的长期腐蚀。

3 应便于电缆的安装敷设和维护。

7.1.2 电缆支架的机械强度，应满足电缆及其固定件等荷重和安装维护时的受力条件，当电缆支架上有可能上人时，应计入人体荷重；当承载有大截面电缆或采用机械施工方式时，还应计入横向推力、纵向拉力和滑轮载重等。

7.1.3 桥架的承载能力与跨距 L 选择，应满足允许荷载下挠度值不大于 $L/200$ （钢制）、 $L/300$ （铝合金或玻璃钢制）、托臂的倾斜与臂长之比不大于 $1/100$ 。

7.1.4 钢制电缆支架，用于干燥环境或非重要回路时，可涂防腐漆；用于易受腐蚀环境时，应选择合适的一次性防腐处理方式（如热浸镀锌、塑料喷涂、合金电镀处理等）。当技术经济分析合理时，也可采用铝合金或玻璃钢制梯架、托盘。

7.1.5 电缆支架除支持单相工作电流大于 1500A 的单芯电缆情况外，宜用钢制。

7.1.6 厂内主要电缆通道，宜采用桥架。 35kV 以上高压电缆以蛇形敷设时，也可用桥架。

7.1.7 桥架类型的选择原则应符合下列规定：

1 需抑制干扰强度的控制电缆回路，应选用钢制封闭式托盘。

2 多层桥架构成的电缆通道，底层宜选用托盘，其余宜选

用梯架。

7.1.8 桥架的直线段超过 30m（钢制）、15m（铝合金或玻璃钢制）时，应留有 20mm 伸缩缝。

7.1.9 普通支架使用在电缆沟中或电缆较少的场所，可用型钢焊接制作，但不宜采用圆钢。

7.1.10 金属制桥架系统，应有可靠的电气连接并接地：

1 利用金属桥架作接地回路导体时，桥架的各段应有符合接地截面要求的可靠电气连接。

2 采用非金属桥架时，应沿桥架全长另设专用接地线。

3 沿桥架全长宜每隔 10~20m 处有一次可靠的接地。

7.2 电 缆 固 定

7.2.1 固定电缆用的夹具、支托件和绑扎带，应有足够的机械强度、且具有表面光滑、耐久和安装简便性；用于交流系统中单芯电力电缆时不应构成磁性闭合回路。

7.2.2 夹具、绑扎带的选用原则应符合下列规定：

1 除交流系统中使用单芯电力电缆情况外，可采用经防锈蚀处理的扁钢等金属材料制作夹具；在易受腐蚀环境，宜用尼龙绑扎带或喷塑金属扎带。

2 用于交流系统中单芯电力电缆的刚性固定，宜采用铝合金或不构成磁性回路的夹具。对其他固定方式，可用尼龙带、绳索。

3 不应用铁丝直接绑扎电缆。

7.2.3 用于交流系统中单芯电力电缆的固定部件，应按短路电动力条件验算机械强度，可按式（7.2.3-1）、式（7.2.3-2）计算：

$$F_g \geq \frac{2.05i^2 lk}{D} \times 10^{-7} \quad (7.2.3-1)$$

式中 F_g ——夹具、绑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 (m);

l ——在电缆上安置夹具、绑扎带等的相邻跨距 (m);

k ——安全系数, 取大于 2。

对于矩形断面夹具可按式 (7.2.3-2) 计算:

$$F_g = bh\sigma \quad (7.2.3-2)$$

式中 b ——夹具厚度 (mm);

h ——夹具宽度 (mm);

σ ——夹具材料允许拉应力(Pa), 铝合金夹具 $\sigma=80\times 10^6$ Pa。

7.2.4 35kV 以上高压电缆在水平或斜坡支架的层次位置变化段、接头盒两端等部位, 宜在支架上设置支托件, 支托件支撑面应无棱角。

7.2.5 35kV 及以下电压电缆明敷时, 应加以固定的部位如下:

- 1 在电缆首末端和转弯处、接头两端、直线段约 100m 处。
- 2 垂直敷设的上下端、中间适当数量支架处。
- 3 斜坡敷设视坡度情况在高位侧适当数量的支架处。
- 4 交流系统用单芯电力电缆, 按满足短路电动力确定的固定间距处。

5 当电缆间需保持一定空隙时, 在每隔约 10m 处。

6 对水平敷设于支架上的全塑型电缆, 在每隔约 3m 处。

7.2.6 35kV 以上高压电缆明敷时的固定方式, 除应参照 7.2.5 条 1~4 款规定外, 还应符合下列规定:

1 在终端、接头、转弯处紧邻部位的电缆上, 应有不少于 1 处的刚性固定。

2 在垂直或斜坡敷设的高位侧, 宜有不少于 2 处的刚性固定; 对于高落差电缆, 固定夹具还应把金属护层夹住并能承受电缆自重等产生的拉力。

3 在蛇形敷设的每一节距, 应采取挠性固定; 蛇形与直线敷设的相接部位, 宜采取刚性固定。

7.2.7 35kV 以上高压电缆终端、接头与电缆连接部位应符合下列规定:

1 终端与电缆连接部位，应有伸缩节。

2 接头的两端宜有伸缩节，当未设伸缩节时，应在接头的两侧采取刚性固定或在适当长度内电缆实施蛇形敷设。

3 伸缩节应大于电缆允许弯曲半径。

7.2.8 蛇形敷设的波幅与节距的选择，应使电缆轴向热应力不超过允许值，该允许值可按金属护层允许应变、允许约束力或按导体与绝缘的基本特性无损害条件而定。

8 电缆防火及阻燃

8.0.1 电缆室、电缆隧道和穿越各机组段之间的电力电缆、控制电缆等均应分层排列敷设。电力电缆上下层之间、电力电缆层与控制电缆层之间，应装设耐火极限不低于 0.5h 的隔板进行分隔。

8.0.2 电缆隧道和电缆沟道的下列部位应设防火封堵：

- 1 穿越（入）电气设备室等处。
- 2 穿越厂房外墙处。
- 3 电缆隧道和电缆沟的进出口、分支处。

8.0.3 电缆隧道每隔 60m 处、电缆沟每隔 200m 处、电缆室每隔 300m² 宜设一个防火分隔物。防火分隔物应采用耐火极限不低于 1.0h 的非燃烧材料。

在防火分隔物两侧各 1m 的电缆区段上，应有防止串火的措施。当在防火分隔物上设门时，应采用丙级防火门。

8.0.4 电缆竖（斜）井的上、下两端可用防火网封堵，利于通风散热。电缆竖（斜）井的进出电缆的孔口应采用耐火极限不低于 1.0h 的非燃烧材料封堵。

当电缆竖（斜）井高度较大时，竖井中间每隔 60m 设一个封堵层，该封堵层应能承受检修人员的荷载。

8.0.5 电缆穿越楼板、隔墙的孔洞和进出开关柜、配电盘、控制盘、自动装置盘和继电保护盘等的孔洞，以及靠近充油电气设备的电缆沟道盖板缝隙处，应采用非燃烧材料封堵。

8.0.6 大型电缆室、大型电缆隧道和电缆竖井宜装设固定式灭火系统。敷设 110kV 及以上交联聚乙烯电力电缆的专用隧道或竖（斜）井，可不装设固定式灭火系统，但当隧道和竖（斜）井中敷设多回路电缆时，不同回路之间应装设耐火极限不低于 1.0h 的隔板进行分隔。

8.0.7 电缆隧道、夹层中不应敷设易燃油气管路，不应设置裸露电气设备。

9 对相关专业的要求

9.1 对水工结构的要求

9.1.1 电缆构筑物的排水防水按下列规定执行：

1 电缆沟、电缆廊道、电缆排管，应有良好的排水性，纵向排水坡度不应小于 0.5%。

2 电缆廊道通向户外部分应有防止户外水倒灌的措施。

3 户内电缆沟与户外电缆沟接头处，户内电缆沟底应高于户外电缆沟底。

4 电缆廊道内应设排水边沟，应沿排水方向适当距离设置集水井（坑）并实现有效排水。

5 电缆沟的底部低于地下水位，或电缆沟与水沟并行相近时，应采取有效的防水措施。

6 电缆廊道或电缆沟与其他水管沟交叉时，电缆沟宜在其他水管沟上面通过，否则应采取妥善的防水措施。

7 户外电缆沟沟沿面和排管的人孔，宜高出地平面 100mm；当与地面同高时，应采取防止场地水排入电缆沟的措施。

9.1.2 厂内的电缆廊道长度大于 75m 时，应设两个或两个以上的出口；工作最远点到出口的距离应小于 60m。

9.1.3 电缆排管应设人孔，相邻人孔间距不应大于 60m，人孔距终端不宜超过 5m，人孔直径不应小于 700mm。

9.1.4 电缆廊道、电缆沟等电缆构筑物在转直角弯处应满足电缆弯曲半径的要求。

9.1.5 电缆竖井内应有通向地面或其他房间的足够数量的门或进入孔。周围无拆卸可能的电缆竖井，应使竖井内有容纳供人上下的活动空间，视竖井高度情况宜符合下列规定：

1 未超过 5m 高时，设置爬梯，且人孔允许最小尺寸为

800mm×800mm。

2 超过 5m 高时，设置楼梯，且每隔 3m 左右设楼梯平台。

3 超过 20m 高且电缆数量多或重要性高时，还可设置电梯。

9.1.6 高差地段的电缆隧道中通道不宜呈阶梯状，坡度不宜大于 15°。

9.1.7 电缆构筑物按下列规定执行：

1 电缆隧道的净高，不宜小于 1900mm；与其他沟道交叉的局部段净高，不应小于 1400mm。

2 电缆室、夹层的净高，不应小于 2000mm，但不宜大于 3000mm。

3 电缆沟、隧道中通道的允许净宽，不宜小于表 9.1.7 所列数值。

表 9.1.7 电缆沟、隧道中通道净宽允许最小值 单位：mm

电缆支架配置及其通道特征	电 缆 沟 沟 深			电缆隧道
	≤600	600~1000	≥1000	
两侧支架间净通道	300	500	700	1000
单列支架与壁间通道	300	450	600	900
注：在 110kV 及以上高压电缆接头中心两侧 3000mm 局部范围，通道净宽不宜小于 1500mm。				

4 电缆斜井的坡度不宜大于 35°。

9.2 对通风的要求

9.2.1 电缆廊道宜采用自然通风；但当电缆正常负荷使隧道内空气温度高于 40℃时，可采取机械通风。

9.2.2 采用机械通风的电缆廊道，当发生火灾时，应能自动停止送风。

9.2.3 电缆廊道不应作为通风系统的风道。

9.3 其 他 要 求

9.3.1 对水电厂内 35kV 以上高压电缆的布置场所，应考虑运输、施工、试验所需的活动空间，并设置必要的固定吊钩等预埋件。

9.3.2 特别潮湿的电缆廊道内，宜装设 24V 的照明，并采用防水防潮灯具。

附录 A 高压电缆允许持续载流量的计算方法

A. 0. 1 高压电缆允许持续载流量可用式 (A. 0. 1) 计算:

$$I = \left\{ \frac{(\theta_c - \theta_0) - W_d[0.5T_1 + (T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + R(1 + \lambda_1)T_2 + R(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A. 0. 1})$$

式中 θ_c 、 θ_0 ——电缆持续运行时的最高允许温度和环境温度 ($^{\circ}\text{C}$);

R ——每米电缆在持续运行时最高允许温度下的交流电阻 (Ω/m);

W_d ——每米绝缘层的介质损耗 (W/m);

T_1 ——每米电缆绝缘层的热阻 ($\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$);

T_2 ——每米衬垫层 (在金属护层和铠装层之间) 的热阻 ($\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$);

T_3 ——每米电缆外护套的热阻 ($\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$);

T_4 ——每米电缆的外部热阻 ($\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$);

λ_1 ——电缆金属护层的损耗系数;

λ_2 ——电缆铠装层的损耗系数。

A. 0. 2 式 (A. 0. 1) 中各参数的选取和计算可参见 IEC 287。

附录 B 常用电力电缆允许持续载流量

表 B-1 单芯交联聚乙烯绝缘铜芯电缆在自由空气中敷设时允许载流量

		电缆允许持续载流量 (A)							
额定电压 (kV)		0.6/1~1.8/3		3.6/6~12/20		18/20~26/35		64/110	
单芯电缆排列方式		品字形	水平形	品字形	水平形	品字形	水平形	品字形	水平形
导体截面 (mm ²)	1.5	22	32						
	2.5	30	42						
	4	41	56						
	6	53	70						
	10	73	97						
	16	97	125						
	25	123	166	140	165				
	35	154	206	170	205				
	50	188	250	205	245	220	245		
	70	244	321	260	305	270	305		
	95	298	391	315	370	330	370		
	120	348	455	360	430	375	425		
	150	401	525	410	490	425	485		
	185	460	602	470	560	485	555		
	240	553	711	555	665	560	650	570	630
	300	640	821	640	765	650	745	650	725
	400	749	987	745	890	760	870	750	840
	500	861	1140	855	1030	875	1000	860	970
	630	990	1323	980	1190	1000	1160	980	1120
800			1100	1370	1130	1330	1110	1280	
1000			1230	1540	1250	1490	1240	1450	
环境温度 (℃)		40							
导体最高工作温度 (℃)		90							
注 1：水平形排列电缆相互间中心距为电缆外径的 2 倍。									
注 2：6kV 及以上载流量值为参考数据。									

表 B-2 单芯交联聚乙烯绝缘铜芯电缆埋地敷设时允许载流量

		电缆允许持续载流量 (A)							
额定电压 (kV)		1~3		3.6/6~12/20		18/20~26/35		64/110	
单芯电缆排列方式		品字形	水平形	品字形	水平形	品字形	水平形	品字形	水平形
导体截面 (mm ²)	1.5	24							
	2.5	32							
	4	40							
	6	50							
	10	68							
	16	86							
	25	111		143	152				
	35	133		171	181				
	50	157		202	212	204	214		
	70	195		249	259	252	261		
	95	231		296	310	299	314		
	120	263		338	353	338	353		
	150	297		381	400	376	395		
	185	333		423	446	428	447		
	240	384		493	516	494	522	500	525
	300	433		553	586	559	592	565	595
	400			632	674	639	677	645	680
	500			711	767	729	776	730	775
	630			800	874	823	884	820	880
	800			884	977	912	996	910	990
1000			967	1088	996	1100	1000	1090	
环境温度 (℃)		25							
土壤热阻系数 (K·m / W)		1.2							
导体最高工作 温度 (℃)		90							
注 1：水平形排列电缆相互间中心距为电缆外径的 2 倍。									
注 2：埋地敷设适用于电缆直埋或穿管埋设。									
注 3：6kV 及以上载流量值为参考数据。									

表 B-3 三芯交联聚乙烯绝缘铜芯电缆允许持续载流量

		电缆在自由空气中敷设时(A)			电缆在土壤中埋地敷设时 (A)		
额定电压(kV)		1~3	3. 6/6~12/20	18/20~26/35	1~3	3. 6/6~12/20	18/20~26/35
导体截面 (mm ²)	1. 5	21			24		
	2. 5	29			32		
	4	38			40		
	6	49			50		
	10	68			67		
	16	91			86		
	25	116			111		
	35	144	151		134	141	
	50	175	184	163	158	168	146
	70	224	232	208	195	207	181
	95	271	282	252	231	245	215
	120	315	323	293	263	279	244
	150	363	369	338	297	316	276
	185	415	420	386	333	353	310
	240	490	496	455	384	410	358
	300	565	578	525	433	465	402
400		649	592		506	453	
环境温度(℃)		40	40	40	25	25	25
土壤热阻系数 (K·m / W)					1. 2		
导体最高工作 温度(℃)		90					

注 1：6kV 及以上载流量值为参考数据。
注 2：埋地敷设适用于电缆直埋或穿管埋设。

表 B-4 1kV 聚氯乙烯绝缘铜芯电缆允许持续载流量

敷 设 方 式		电 缆 在 自 由 空 气 中 敷 设 时 （A）			电 缆 在 土 壤 中 埋 地 敷 设 时(A)	
电 导 体 数 及 组 合 方 式		相 互 接 触 的 三 根 单 芯 电 缆	二 芯 电 缆 或 相 互 接 触 的 二 根 单 芯 电 缆	三 芯 或 四 芯 电 缆	二 芯 或 二 根 单 芯	三 芯、四 芯 或 单 芯 三 角 排 列
导 体 截 面 (mm ²)	1.5		19	16	24	19
	2.5		26	22	31	26
	4		35	30	41	34
	6		44	37	51	42
	10		61	52	68	56
	16		82	70	88	73
	25	96	104	88	113	93
	35	119	129	110	135	112
	50	145	157	133	160	132
	70	188	202	171	198	163
	95	230	245	207	234	194
	120	268	285	240	266	220
	150	310	330	278	301	250
	185	356	378	317	338	279
	240	422	447	374	391	323
	300	488	516	432	442	364
	400	571				
	500	652				
环 境 温 度(℃)		40	40	40	25	25
土 壤 热 阻 系 数 (K · m /W)					1. 2	
导 体 最 高 工 作 温 度(℃)		70				
注：埋地敷设适用于电缆直埋或穿管埋设。						

附录 C 敷设条件不同时电缆允许持续
载流量的校正系数

表 C-1 35kV 及以下电缆在不同环境温度下载流量的校正系数

		空气中				土壤中			
环境温度 (℃)		30	35	40	45	20	25	30	35
导体最高 工作温度 (℃)	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
<p>注：其他环境温度下载流量的校正系数 K 可按下式计算：</p> $K = \sqrt{\frac{\theta_m - \theta_2}{\theta_m - \theta_1}} \quad (C-1)$ <p>式中 θ_m——导体最高工作温度 (℃)； θ_1——对应于额定载流量的基准环境温度 (℃)； θ_2——实际环境温度 (℃)。</p>									

表 C-2 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 · 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
<p>注 1：本表适用于缺乏实测土壤热阻系数时的粗略分类，对 110kV 及以上电压电缆线路工程，宜以实测方式确定土壤热阻系数。</p> <p>注 2：表中所给值适用于埋地深度不大于 800mm。</p>		

表 C-3 土壤中多回路直埋敷设时电缆载流量的校正系数

回路数		2	3	4	5	6
电缆间的净距	无间距	0.75	0.65	0.60	0.55	0.50
	1根电缆外径	0.80	0.70	0.60	0.55	0.55
	125mm	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60
	250mm	0.90	0.80	0.75	0.70	0.70
	500mm	0.90	0.85	0.80	0.80	0.80
注：表中所给值适用于埋地深度 700mm，土壤热阻系数为 2.5K·m/W 时的单芯或多芯电缆。						

表 C-4 敷设在埋地管道内多回路电缆的载流量校正系数

单路管道内的多芯电缆				
电缆根数	管道之间距离			
	相互接触	250mm	500mm	1000mm
2	0.85	0.90	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.90	0.95
4	0.70	0.80	0.85	0.90
5	0.65	0.80	0.85	0.90
6	0.60	0.80	0.80	0.90
单路管道内的单芯电缆				
由二根或三根单芯电缆组成的回路数	管道之间距离			
	相互接触	250mm	500mm	1000mm
2	0.80	0.90	0.90	0.95
3	0.70	0.80	0.85	0.90
4	0.65	0.75	0.80	0.90
5	0.60	0.70	0.80	0.90
6	0.60	0.70	0.80	0.90
注：表中所给值适用于埋地深度 700mm，土壤热阻系数为 2.5K·m/W 时的单芯或多芯电缆。				

表 C-5 多回路电缆成束敷设时电缆载流量的校正系数

敷设方式		托盘数	回路数或多芯电缆数									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥10
敷设在墙、地板、无孔托盘上	无间距	1	1.0	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	0.70
		2	1.0	0.86	0.80	0.77		0.73			0.68	
敷设在有孔托盘上	无间距	3	1.0	0.85	0.78	0.76		0.71			0.66	
		1	1.0	0.98	0.96	0.95		0.91			—	
		2	0.97	0.93	0.89	0.87		0.85			—	
	2d	3	0.96	0.92	0.86			0.85			—	
		1	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	—	—	—	—
		2	0.97	0.95	0.93	—		—				
敷设在梯架上	无间距	3	0.95	0.94	0.90	0.96	—	—				
		1	1.0	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78
		2	1.0	0.86	0.80	0.78		0.76			0.73	
	2d	3	1.0	0.85	0.79	0.76		0.73			0.70	
		1	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	—	—	—	—
		2	0.97	0.95	0.93	—		—				

注 1：本表适用于二根或三根单芯电缆组成的电缆束，以及多芯电缆。
注 2：本表适用于尺寸和负荷相同的电缆束。
注 3： d —电缆外径。相邻电缆的水平间距大于 2 倍 d 时，则不需要校正。
注 4：本表适用于两个托盘间垂直间距 300mm、托盘与墙距大于 20mm 的情况。

表 C-6 在桥架上无间距 2 层并列时载流量的校正系数

叠置电缆层数		2
桥架类别	梯架	0.65
	有孔托盘	0.55

注：呈水平状并列电缆数不少于 7 根。

表 C-7 1~10kV 电缆户外明敷无遮阳时载流量的校正系数

截 面 (mm ²)				35	50	70	95	120	150	185	240
电 压 (kV)	1	芯 数	三	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.96	0.94
	10		三	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.88
			一	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98

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 D 电缆穿管敷设时容许最大管长的计算方法

D. 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关系式确定：

$$T_{i=n} \leq T_m \quad \text{或} \quad T_{j=m} \leq T_m \quad (\text{D. 0. 1 - 1})$$

$$P_j \leq P_m \quad (j = 1, 2, \dots) \quad (\text{D. 0. 1 - 2})$$

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拉力 (N)；

$T_{j=m}$ ——从电缆送入管端起至第 m 个弯曲段拉出时的牵拉力 (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 ——电缆容许侧拉力 (N/m)。

D. 0. 2 水平管路的电缆牵拉力可按下列算式：

1 直线段：

$$T_i = T_{i-1} + \mu C W L_i \quad (\text{D. 0. 2 - 1})$$

2 弯曲段：

$$T_j = T_i e^{\mu \theta_j} \quad (\text{D. 0. 2 - 2})$$

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；

μ ——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)；

θ_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)。

D. 0. 3 弯曲管段电缆侧压力可按下列算式:

1 1 根电缆:

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

2 2 根电缆:

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

3 3 根电缆呈品字形:

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

式中 R_j ——第 j 段弯曲管道内半径 (m)。

D. 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:

$$T_m = k\sigma qS \quad (\text{D. 0. 4})$$

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

σ ——导体允许抗拉强度 (Pa/mm²), 铜芯 7×10^7 、铝芯 4×10^7 ;

q ——电缆导体数;

S ——电缆导体截面 (mm²)。

D. 0. 5 电缆容许侧压力, 可采取下列值:

1 分相统包电缆 $P_m=2500\text{N/m}$ 。

2 其他挤塑绝缘电缆 $P_m=3000\text{N/m}$ 。

D. 0. 6 电缆与管道间动力摩擦系数, 可采取表 D. 0. 6 所列数值。

表 D. 0. 6 电缆穿管敷设时动力摩擦系数 μ

管壁特征和管材	波纹状聚乙烯	平滑状聚氯乙烯	平滑状钢	平滑状石棉水泥
μ	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。				

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程电缆设计规范

SL 344—2006

条文说明

目 次

3	电缆型式选择	56
3.1	导体材质	56
3.2	电缆导体数	56
3.3	电缆的绝缘水平	57
3.4	电缆绝缘类型	57
3.5	电缆护层	60
4	电缆截面选择	62
4.1	一般规定	62
4.2	按载流量选择	67
4.3	按短路条件选择	68
4.4	中性线、保护接地线	69
5	电缆附件	70
5.1	电缆终端及接头的选择	70
5.2	高压单芯电缆金属护层接地方式	71
5.3	护层电压限制器选择	74
6	电缆敷设	76
6.1	电缆路径及敷设方式选择	76
6.2	电缆的布置与排列	76
6.3	直埋敷设	78
6.4	敷设于保护管中	79
6.5	敷设于电缆构筑物中	80
6.6	敷设于水下	80
6.7	敷设于其他公用设施中	80
7	电缆的支持与固定	81
7.1	电缆支架	81
7.2	电缆固定	82

8 电缆防火及阻燃..... 84

9 对相关专业的要求..... 86

9.1 对水工结构的要求 86

9.2 对通风的要求 86

9.3 其他要求 86

3 电缆型式选择

3.1 导体材质

3.1.1、3.1.2 无论从电气性能上比较还是从机械性能上比较，铜材均优于铝材，而控制、通信、计算机电缆的截面较小，采用铜芯电缆，可以减少安装时对导体的损伤。

在同样条件下，铜与铜导体连接比铝与铜导体连接的接触电阻要小 10~30 倍，故连接的可靠性和安全性较高；另外，厂用电、高压引出线等一般电流较大，采用铜芯电缆可以减少电缆根数，减少接头，改善屏（柜）内运行环境，提高可靠性。

铜材的载流量较铝材大 30%，在同样载流量下可获得较小的截面（或较少的根数），有利于水下敷设。

耐火电缆需具有经受 750~1000℃ 作用下维持通电的功能，铝的熔融温度为 660℃，而铜为 1080℃。

3.1.3 目前对 66kV 及以上电缆的导体，制造厂有采用铜材的也有采用铝材的，由于铜材的性能较好但价格较铝材高，因此 110kV 以上高压电缆的导体材质如选择铝材应经过技术经济比较。

3.2 电缆导体数

3.2.1 35kV 以上等级的多芯电缆制造难度大，且截面尺寸较大，安装敷设较困难。

3.2.2 大载流量的多芯电缆一般截面较大，要求的弯曲半径亦较大，敷设困难；多根电缆的终端头挤在屏（柜）中，较容易因电气间距等造成事故；单芯电缆的制造长度较三芯电缆长，可以减少接头。

3.2.3 按接地的性质不同选择。

3.2.5 敷设条件较好的场所，如中控室内部和机旁屏间，可不留备用芯或少留备用芯。

3.3 电缆的绝缘水平

3.3.1、3.3.2 参照《高压电缆选用导则》(DL/T 401—2002)。

3.3.3 考虑了励磁系统的调节作用。

3.3.4 根据《水力发电厂过电压保护和绝缘配合设计技术导则》(DL/T 5090—1999)第4.5.2条:发电机中性点变压器的额定电压不宜低于发电机额定电压。

3.3.5 参照《水力发电厂交流 110~500kV 电力电缆工程设计规范》DL/T 5228—2005。

3.3.6 沿较长高压电缆敷设的控制电缆,在高压系统发生单相接地故障时,感应在控制电缆上的工频过电压可能超出常用控制电缆的绝缘水平,按照《电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点》第16.5.1条的规定。

3.3.7 对于采用金属护层一端互联接地或三相金属护层交叉互联接地的高压单芯电缆,当电缆线路所在系统发生短路故障或遭受雷电冲击和操作冲击电压作用时,在金属护层的不接地端或交叉互联处会出现过电压,可能会使外护层绝缘发生击穿。因此应装设过电压限制器,此时作用在外护层上的电压主要取决于过电压限制器的残压。

3.4 电缆绝缘类型

3.4.1 国内常用的电缆绝缘有油浸纸绝缘、充油绝缘、交联聚乙烯绝缘(XLPE)、普通聚氯乙烯(PVC)绝缘。油浸纸绝缘一般用于中低压电缆,由于存在漏油、污染、运行维护不方便、有火灾隐患等问题,现新建或改建的工程已不采用,大多制造厂已不生产。充油绝缘用在110kV及以上电缆,其附件庞大复杂,运行维护工作量大,若用在电厂内也存在火灾隐患。由于电厂的防火问题越来越得到重视,为减少火灾隐患,简化设计,故目前新建的水利水电工程也几乎不使用。而近年来XLPE电缆发展迅猛,从1~500kV都具有生产规模并有成熟的运行经验(国内

几家大型电缆厂也已具备生产 500kV 电缆的能力)，已形成取代油电缆的趋势。PVC 电缆由于有价格优势，也有广泛的运用，尤其在低电压等级中。

XLPE 电缆具有优良电气性能，耐电强度高，施工方便，是目前最主要的电缆品种。采用三层共挤的制作工艺，可以使其表面光滑，减少水树的发生，提高电缆的可靠性。对绝缘较厚的电力电缆，不宜选用辐照交联而应选用化学交联生产的电缆。为了尽可能减少绝缘偏心的程度，对 110kV 及以上电压等级，一般宜选用在立塔 (VCV) 生产线或长承模 (MDCV) 上生产的交联电缆。

3.4.2 XLPE 电缆较 PVC 电缆的允许运行温度高，在同样条件下，选用 PVC 电缆要比选用 XLPE 电缆增大 1~3 级截面，而且稍有过载或短路则绝缘变形。厂用电回路较为重要，直接影响电厂的安全运行，故宜选用 XLPE 电缆。

3.4.4 PVC 的耐高温性能较 XLPE 差。

3.4.5 PVC 的耐寒性能较 XLPE 差。

3.4.6 乙丙橡胶绝缘 (EPR) 电缆的柔软性好，耐水，不会产生水树，阻燃性好，低烟无卤，但价格昂贵，故宜在水底敷设时选用。

3.4.7 为配合防火设计，对水利水电工程中采用防火电缆的规定。常用电缆材料的燃烧特性见表 1。

表 1 常用电缆材料的燃烧特性

材料名称	软化温度 (℃)	熔融温度 (℃)	自燃温度 (℃)	引燃温度 (℃)	燃烧热能 (kcal/kg)
聚氯乙烯	80~100	200~210	455	350~400	4300~6700
聚乙烯		220	355	344	11000~11400
矿物油			332 ^a	510 ^a	11000
铅、铝、铜、钢的熔融温度为：328、660、1083、1084℃。					
交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护层电缆的引燃温度实测为 650℃。					
a：含矿物油的螺旋铜管。					

普通聚氯乙烯在燃烧时逸出氯化氢气体量达到 339 ~ 580mg/g，着火时 PVC 电缆排出浓烈的毒性烟气，不但妨碍消防活动、加剧火势蔓延，而且弥漫烟气的沉淀物有导电和腐蚀性，对电气设备产生二次危害。

原国家电力公司文件国电发〔2000〕589 号《关于印发〈防止电力生产重大事故的二十五项重点要求〉的通知》第 1.1.4 条规定：“对于新建、扩建的火力发电机组主厂房……，宜选用阻燃电缆。”

按《电线电缆燃烧试验方法 第 5 部分：成束电线电缆燃烧试验方法》（GB 12666.5）标准，阻燃电缆划分为 A、B、C 三级，见表 2。

表 2 阻燃电缆分级表

级别	供火温度 (℃)	供火时间 (min)	成束敷设电缆的 非金属材料体积 (L/m)	电缆表面焦化高度 (mm)	自熄时间 (h)
A	≥815	40	≥7	≤2.5	≤1
B			≥3.5		
C		20	≥1.5		

采用阻燃或耐火电缆的类型应考虑电缆回路的重要性，一旦火灾事故的后果、附加阻燃措施的完善性、灭火时间以及投资差额（目前一般 PVC 绝缘的 A 类、B 类比 C 类造价增加约 6%、3%）等。

耐火电缆划分为 A、B 两类，见表 3。

表 3 耐火电缆分类表

类别	耐火特性		
	受火温度 (℃)	供火时间 (min)	技术指标
A	900~1000	90	3A 熔丝不熔断
B	750~800		

敷设在电缆数量大的场所，应选用符合《电线电缆燃烧试验方法》(GB 12666.6)的 A 类，若在电缆少量配置的场所，可用 B 类。如果采用水消防，则供火时间应结合水消防的灭火时间来考虑。

3.5 电 缆 护 层

3.5.1 为防止外力破坏，或在有可能产生机械拉力的场所，应采用钢带或钢丝铠装，钢丝铠装可承受较大的拉力。直埋敷设在可能发生位移的土壤中，或垂直敷设高差大于 50m 时，应采用钢丝铠装电缆。

在一般情况下可按正常运行时导体最高工作温度选择外护层材料，当导体最高温度为 80°C 时可选用 PVC—S1 (ST1) 型聚氯乙烯外护层，当导体最高温度为 90°C 时应选用 PVC—S2 (ST2) 型聚氯乙烯或 PE—S7 (ST7) 型聚乙烯外护层。

35kV 以上单芯电缆用于交流系统，只要其钢丝的节距足够大，普通钢丝铠装也是可以的。

在 -15°C 以下低温场所用普通聚氯乙烯易脆化开裂，而聚乙烯能耐 $-60\sim-50^{\circ}\text{C}$ 。

电缆的径向防水构造一般采用铅套、皱纹铝套或皱纹不锈钢套作为径向防水层。

水下电缆在水流、波浪、潮汐等作用下受力，单靠缆芯的耐张力往往不能满足要求，需要钢丝铠装且宜预扭或绞向相反式结构。另外在江、海上可能会有渔具、锚钩对电缆的损伤，在构造上还要综合考虑防护特性。

3.5.2 纯铅在振动情况下易龟裂。

3.5.3 橡胶护套耐油性差。

3.5.5 弱电回路控制电缆与电力电缆如果能拉开足够距离，或敷设在钢管内、钢制封闭式托盘上等情况，可能使外部干扰降低至容许限度，否则，一般与电力电缆邻近并行敷设，或位于高压配电装置且近旁有接地干线等情况的无屏蔽的控制电缆，无金属

屏蔽时，经由静电、电磁感应和地电位升高等作用，干扰电压往往较大，使所连接的低电平信号回路产生误动或绝缘击穿。

一般采用总屏蔽电缆，但电压较高（如 500kV）的配电装置场所，则需双层式总屏蔽。

计算机监控系统电缆分类特征：①开关信号： $< 60\text{V}$ 或 $< 0.2\text{A}$ ；②高电平模拟信号： $\geq \pm 1\text{V}$ 或 $0 \sim 50\text{mA}$ ；③低电平模拟信号： $\leq \pm 1\text{V}$ 。

4 电缆截面选择

4.1 一般规定

4.1.1 运行温度大于允许值时，将影响使用寿命，《电力工程电缆设计规范》（GB 50217—94）第 3.7.1.1 条指出：交联聚乙烯工作温度较允许值增加约 8°C 或 15°C （对应载流量增加 7% 或 12%），则使用寿命降低一半或减为 $1/4$ 。

4.1.2 与《水力发电厂厂用电设计规程》（DL/T 5164—2002）保持一致。

4.1.4 有工程实践证明小于 4mm^2 的铝芯电缆，在安装时容易折损。

4.1.5 “总费用最小”是依照《电力电缆尺寸的经济最佳化》（IEC 287—3—2/1995）的原则，指在电缆的经济寿命期内的总费用最少，即初始投资和经济寿命期内的线路损耗费用之和最少。计算公式见式（1）～式（5）（适用于中、低压电力电缆）：

（1）总费用最小：

$$C_T = C_1 + C_J \quad (1)$$

$$C_J = I_{\max}^2 R_L F \quad (2)$$

$$F = N_P N_C (\tau P + D) \Phi / (1 + i/100) \quad (3)$$

$$\Phi = \sum_{n=1}^N (r^{n-1}) = (1 - r^N) / (1 - r) \quad (4)$$

$$r = \frac{(1 + a/100)^2 (1 + b/100)}{1 + i/100} \quad (5)$$

式中 C_T ——总费用；

C_1 ——电缆主材、附件及施工费用之和；

C_J ——损耗费用，它与负载大小、年最大负荷损耗小时、电价、电缆电阻（截面）、使用寿命等因数有关；

I_{\max} ——第一年导体最大负载电流（A）；

R_L ——计及集肤效应、邻近效应、护层损耗系数、温度、长度后的实际交流电阻 (Ω);

N_P ——每回路相线数;

N_C ——传输同样型号和负载值的回路数;

τ ——年最大负荷损耗时间 (h);

P ——电价 [元/ (kW · h)];

D ——由于线路损耗而导致额外供电的成本 [元/(kW · 年)];

i ——贴现率;

a ——负荷增长率;

b ——能源成本增长率;

N ——经济寿命。

(2) 经济电流范围:

$$I_{ec}(\text{下限}) = \{C_1 - C_{11} / [FL(R_1 - R)]\}^{0.5} \quad (6)$$

$$I_{ec}(\text{上限}) = \{C_{12} - C_1 / [FL(R - R_2)]\}^{0.5} \quad (7)$$

式中 C_1 ——某一截面电缆的总投资 (元), (包括主材、附件及施工费);

C_{11} ——比 C_1 小一级截面电缆的总投资 (元);

C_{12} ——比 C_1 大一级截面电缆的总投资 (元);

R —— C_1 对应截面电缆单位长度的交流电阻 (Ω/km);

R_1 —— C_{11} 对应截面电缆单位长度的交流电阻 (Ω/km);

R_2 —— C_{12} 对应截面电缆单位长度的交流电阻 (Ω/km);

L ——电缆长度 (m)。

(3) 经济电流密度:

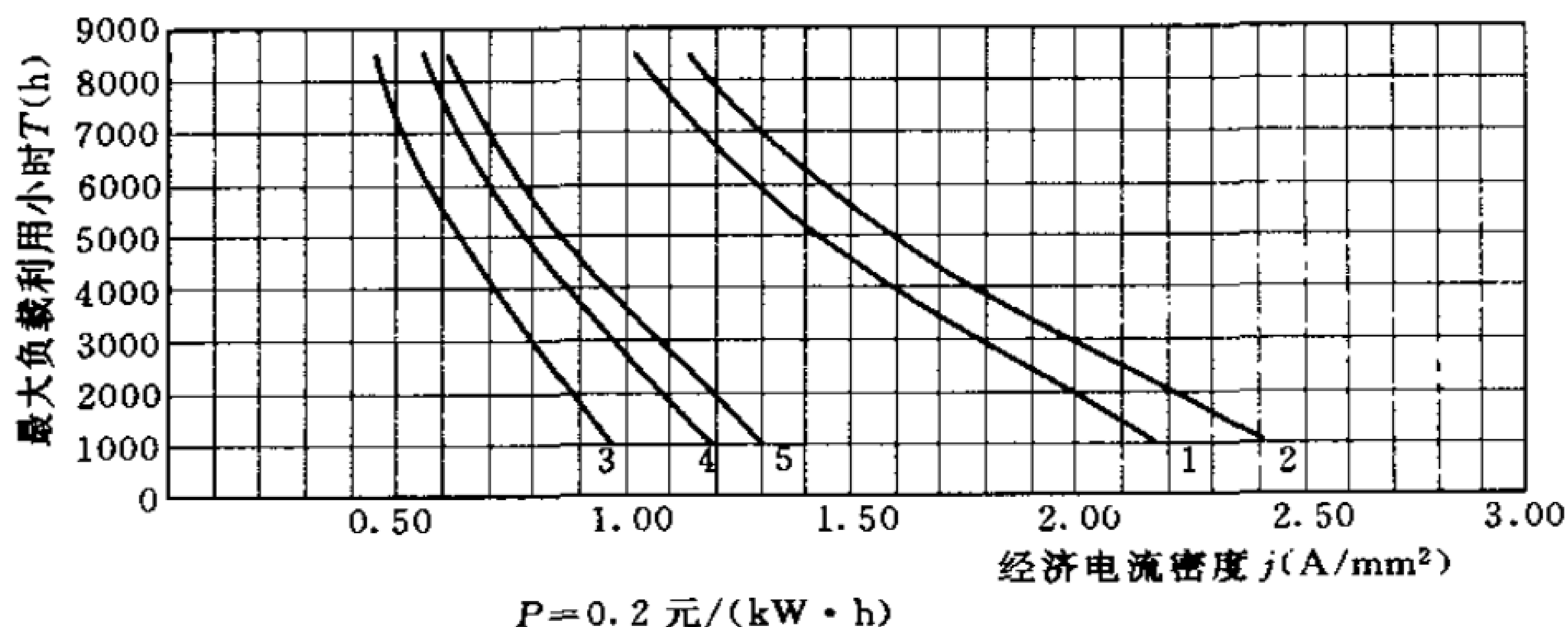
$$j = \frac{I_{\max}}{S_{ec}} = \sqrt{\frac{A}{F\rho_{20}B \times [1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]}} / 1000 \quad (8)$$

式中 ρ_{20} ——20℃下的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$);

α_{20} ——导体材料 20℃下电阻的温度系数 ($1/^\circ\text{C}$);

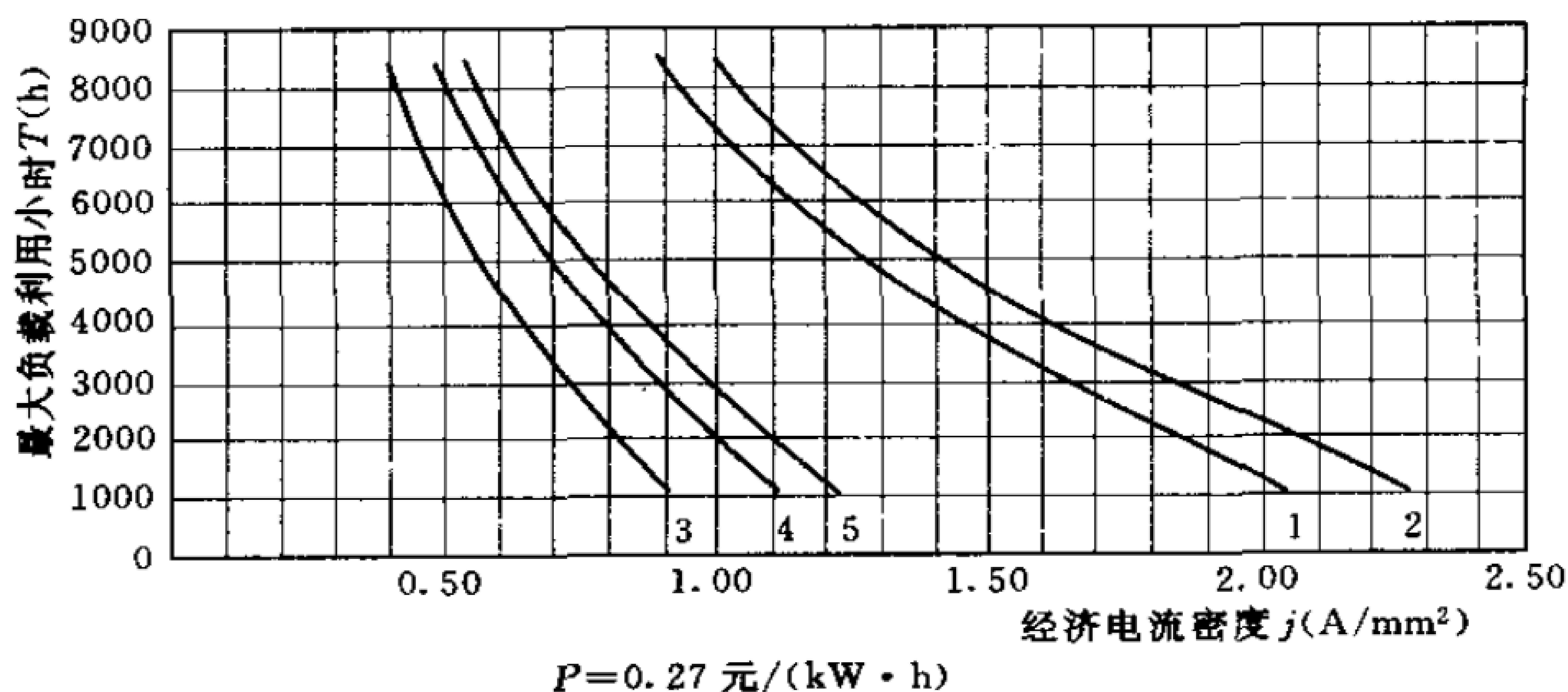
θ_m ——平均导体运行温度 ($^\circ\text{C}$)。

典型的经济电流密度曲线见图 1~图 5。



1—VV-1; 2—YJV-10; 3—VLV-1; 4—YJLV-10; 5—YJLV₂₂-10

图 1 铜、铝电缆经济电流密度



1—VV-1; 2—YJV-10; 3—VLV-1; 4—YJLV-10; 5—YJLV₂₂-10

图 2 铜、铝电缆经济电流密度

4.1.6 实际的电缆回路中，电缆的负荷不可能任何时候都是满载的、恒定不变的，在水利水电工程中，如油泵、渗漏排水泵等负荷，运行都是断续的、短时的；调峰电站的日负荷变化非常大；双电源回路供电时，各回路承担 50% 的负荷或主用回路承担 100% 负荷、备用回路承担 0 负荷等情况。由于电缆长期轻载，偶尔短时应急容许最高温度大于长期工作容许温度，在安全

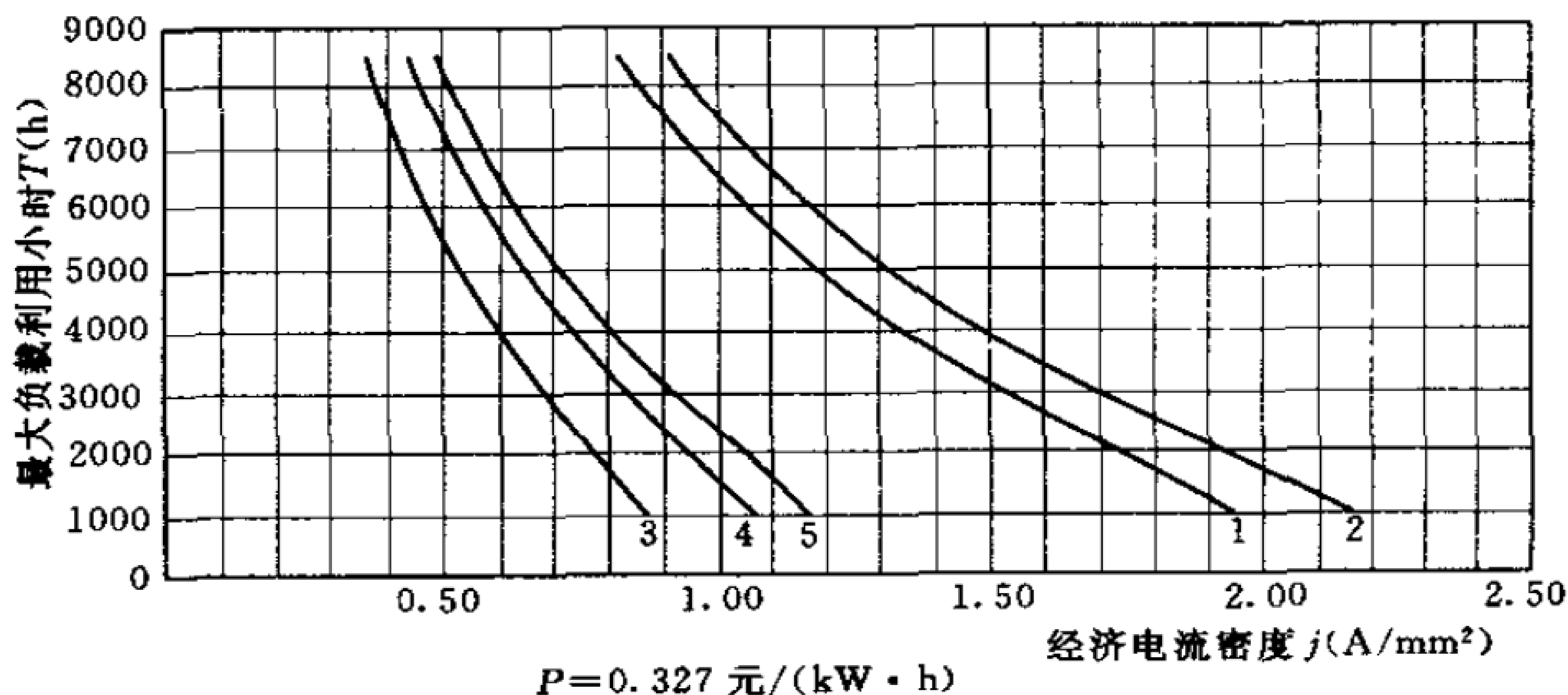


图 3 铜、铝电缆经济电流密度

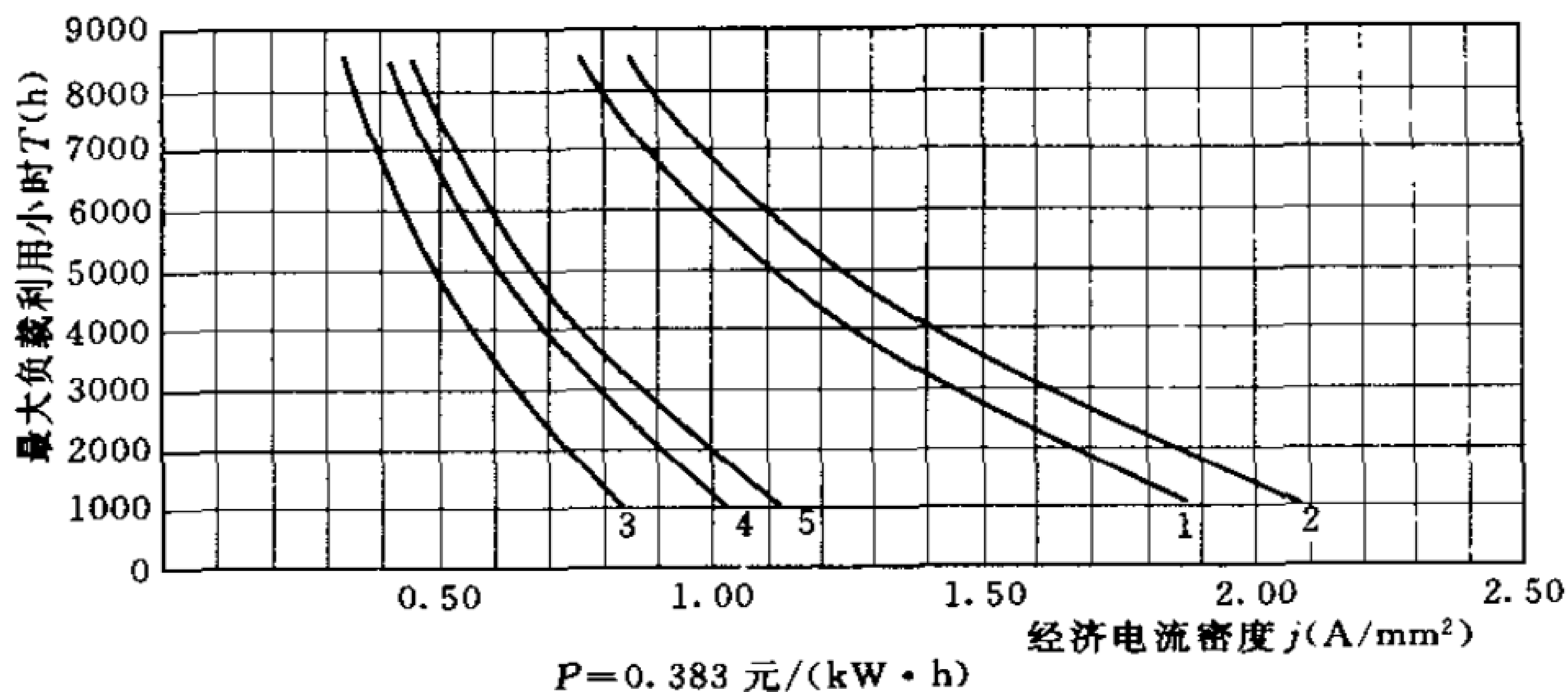
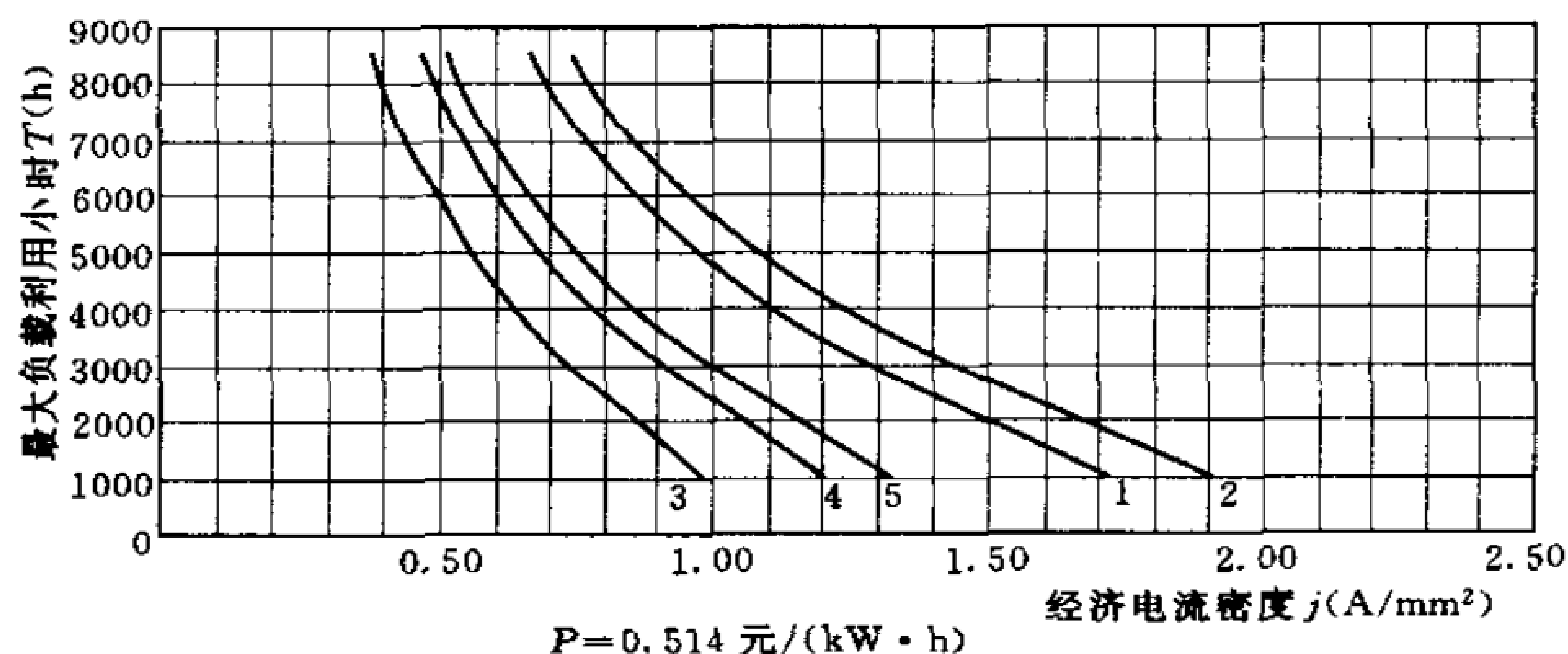


图 4 铜、铝电缆经济电流密度

可靠不影响使用寿命的前提下，电缆具有短时过载能力（应急电流能力）。国内有对 XLPE 中压电缆在空气中过负荷的试验分析，认为短时容许最高温度可达到 $105^{\circ}C$ ；一些国外（如美国、瑞典）标准中对电缆紧急过负荷允许短时容许温升的规定见表 4。



1—VV-1; 2—YJV-10; 3—VLV-1; 4—YJLV-10; 5—YJLV₂₂-10

图 5 铜、铝电缆经济电流密度

表 4 国外标准中对电缆紧急过负荷允许短时容许温升的规定

国家	标 准	电压 (kV)	电缆 绝缘	θ_{em} (°C)	相应的容许时间、次	
美国	AEIC CS5 (1982)	5~46	XLPE	130	36h/(次·年)	3 次/年
	AEIC CS7 (1982)	69	XLPE	130	100h/(次·年)	2 次/10 年
	AEIC CS7 (1993)	69~138	XLPE	105~130	72h/(次·年)	1500h/使用寿命期
瑞典	SS 424、14、24(1980)	1~24	XLPE	130	50h/次	

另外，基于电缆工作温度与使用寿命之间的函数关系，有分析认为若限制每次过载经历的时间，即在短时容许最高温度作用下不超过绝缘寿命的 1/1000 时，并制约过负荷次数，则可认为几乎不影响电缆的宏观使用寿命。IEC 853—2 (1989) 给出了紧急情况下电缆的载流量计算方法。

4.1.7 参照《水力发电厂二次接线设计规范》(DL/T 5132—2001) 的规定：

(1) 电流回路应按满足测量仪表、继电保护和自动装置要求的电流互感器的工作准确度等级所允许的导线阻抗选择其电缆截面，电缆芯线截面不应小于 2.5mm^2 。

(2) 电压回路应按允许电压降选择电缆截面, 电压互感器至计费用的 0.5 级电能表的电压降不宜超过二次电压的 0.25%。对电厂内部的 0.5 级电能表, 其电压回路的电压降可适当放宽, 但不应大于 0.5%。在正常负荷下, 至其他测量仪表的电压降不应超过额定电压的 1%。在最大负荷时, 至其他测量仪表、继电保护和自动装置的电缆电压降不应超过额定电压的 3%。当电压互感器连接有距离保护时, 其电缆截面尚应按有关规定校验。电缆芯线截面不应小于 1.5mm^2 。

(3) 控制、信号电缆截面应按在正常最大负荷时, 直流屏至各设备的电缆电压降不应超过额定电压的 10% 选择。

(4) 按机械强度要求, 铜芯控制电缆或绝缘导线的芯线, 连接于强电控制回路的, 最小截面不应小于 1.5mm^2 。

4.2 按载流量选择

4.2.1 附录 B 的取值原则: 1~3kV 按《建筑电气装置 第 5 部分: 电气设备的选择和安装 第 523 节: 布线系统载流量》(GB/T 16895.15); 6~36kV 参照《电力工程电缆设计规范》GB 50217 及上海电缆研究所的计算值; 110kV 参照上海电缆研究所的计算值以及国内几家大型电缆制造厂的产品样本。附录 C 参照 GB/T 16895.15。

4.2.2 110kV 以上高压电缆的载流量计算宜采用 IEC 287 提供的方法, 一般的工程设计可以参考制造厂提供的载流量表。

有实验证明, 采用防火涂料、包带等会使电缆载流量减少 1%~3%。

4.2.3 参照《发电厂、变电所电缆选择与敷设设计规程》(SDJ 26—89) 第 2.2.5 条。

当户外电缆沟盖板上覆土大于 30cm 时, 可以认为不受日照的影响。

由于灯泡式发电机组越来越多, 灯泡式发电机舱散热条件差, 有必要对此值进行规定。敷设于发电机风道内的电缆, 也可

参照执行。

4.3 按短路条件选择

4.3.1 电缆的 C 值由式 (9) 确定：

$$C = \sqrt{\frac{Q_c(\beta + 20)}{\rho_{20}} \ln\left(1 + \frac{T_i + \beta}{T_f + \beta}\right)} \tag{9}$$

式中 Q_c ——导体材料的体积热容量 $[J/(^{\circ}C \cdot mm^3)]$ ；

β ——电阻温度系数的倒数 $(1/^{\circ}C)$ ；

ρ_{20} ——导体材料在 $20^{\circ}C$ 时的电阻率 $(\Omega \cdot mm)$ ；

T_i ——导体短路时的初始温度 $(^{\circ}C)$ ；

T_f ——绝缘材料的短路允许温升 $(^{\circ}C)$ 。

各参数见表 5，且假定短路时间不大于 5s。

表 5 系 数 表

导体材料	β ($1/^{\circ}C$)	Q_c [$J/(^{\circ}C \cdot mm^3)$]	ρ_{20} ($\Omega \cdot mm$)
铜	234	3.455×10^{-3}	17.24×10^{-6}
铝	228	2.5×10^{-3}	28.264×10^{-6}

按短路条件选择电缆截面应符合下列规定：

- (1) 按工程建成后，所在系统的 5~10 年远景规划计算；
- (2) 按可能发生最大短路电流的正常接线计算，不考虑仅在切换过程中短暂运行的接线方式；
- (3) 宜按三相短路电流计算；
- (4) 短路点按下列情况确定：

——对于未超过制造长度的单根电缆回路，短路点应取在电缆末端；但长度小于 200m 的高压厂用电电缆，短路点可取在电缆回路首端。

——当电缆线路较长且有接头时，短路点应取在每一电缆线段缩减截面的首端；当电缆线段的截面相同时，短路点可取在第二段电缆的首端。

——无接头的并联同一回路电缆，短路点宜取在并列点之后。

(5) 短路电流作用的时间：应按保护动作时间加断路器全分闸时间确定。

4.4 中性线、保护接地线

4.4.1 照明负荷为主（尤其以气体放电灯为主）的供电线路，不平衡电流较大。当谐波电流较小时，仍可按相线电流选择中性线截面，但计算电流应按基波电流除以表 6 的校正系数。当谐波电流超过 33% 时，所引起的中性线电流超过相电流，此时，应按中性线电流选择截面，计算电流同样要除以表 6 的校正系数。参见 GB/T 16895.15。

表 6 4 芯和 5 芯电缆存在谐波电流的校正系数

相电流中三次谐波分量 (%)	按相电流选择截面	按中性线电流选择截面
0~15	1.0	—
15~33	0.86	—
33~45	—	0.86
>45	—	1.0

5 电 缆 附 件

5.1 电缆终端及接头的选择

5.1.1 挤包绝缘电缆和变压器相连采用 GIS 终端有利于防火：

66~154kV 级、275~400kV 级电缆终端可采用橡胶增强式结构。有的生产厂家为了使环氧套管表面电场更均匀，在 275~500kV 级电缆终端仍然使用油浸电容锥式结构。

中压冷缩硅橡胶电缆附件制作简便，不用喷灯、锡焊。硅橡胶电缆附件有弹性，紧紧贴在电缆上，克服了热缩材料没有弹性，但会使电缆绝缘体间出现间隙，且易形成水树。

5.1.2 对于户外终端（立式），电缆一般由其下部接入，这有利于架空线与电缆直连，减少占地面积，简化电缆引上铁塔的装置。

户外安装的户外终端多采用合成材料复合套。若采用磁套管一旦发生绝缘击穿，则可能发生爆裂，使磁片飞溅，还可能引发火灾。环氧树脂套管适应表面泄漏引起炭化的耐闪络性不及磁套管，故多以复合式取代。复合套质轻、结实、难损伤、易装卸、耐紫外线、耐臭氧，有优越的憎水性，在同样的重污染条件下，它的交流爬电滑闪电压比磁套高 30%，并适合于潮湿污秽或盐雾环境。

5.1.4 交流单相电缆工作电流达 1500A 时，由于闭合磁通引起终端的钢结构支架发热影响，实测有时温升达 33℃，为此，有的生产厂家改用玻璃钢制结构；此外，户外终端受强烈阳光影响，使终端旁局部温升约 20℃，可为此增加遮阳板。

有的电缆线路在电缆终端下部套装了电流互感器用于测量和继电保护。金属护层两端接地的电缆线路，正常运行时，金属护层上有环流；金属护层一端接地或交叉互联的电缆线路，当金属护层出现冲击过电压，电压限制器动作时，金属护层上有很大的

电流经地线流入大地。这些电流都将在电流互感器上反应出来，为了抵消这些电流的影响，必须将套有电流互感器一端的金属护层接地，或者连接电压限制器的接地线自上而下穿过电流互感器。

5.1.5 电缆接头按绝缘构造可划分为：绕包式、现场浇注式和预制式。绕包式接头现场施工需要专用设备（绕包机），施工时间也较长，且绕包式结构接头质量不够稳定。

我国高压交联电缆附件的发展趋势也是优先开发预制式接头。由于预制式电缆接头全部绝缘件工厂化，其特性经检验，质量有保证，安装较简单，费时短，潮气、微尘等影响小，有利于提高可靠性，目前已有广泛的应用趋势。

预制式接头分半预制和全预制两种，全预制接头安装工艺简单，手工处理少，制造和安装的质量都容易控制。全预制接头按制造材料分为乙丙橡胶和硅橡胶两种，乙丙橡胶接头安装时不进行预扩张，不会造成绝缘体的胀裂，硅橡胶比较柔软，电性能也比乙丙橡胶好，接头安装时先进行预扩张，不会把半导体材料带入绝缘部位。

5.1.12 直流电机车轨道流入大地的杂散电流，对邻近埋地敷设电缆的铅（或铝）包护层产生电解腐蚀，防范措施可实行电气排流，相应需安设可调电阻、电流表和保险器等设备，此外，当设置有接头情况，因接头制作可能改变了电缆防腐构造，且若添加的防蚀覆盖层欠可靠时，将使接头部位的腐蚀加快，故需创造便于监察维护的条件。

5.2 高压单芯电缆金属护层接地方式

5.2.1 单芯电缆金属屏蔽护层一端直接接地，可消除护层循环电流，减少线路损耗。在雷击和操作时，金属屏蔽开路端可能出现很高的冲击过电压，可能达到侵入波的60%以上。系统发生短路事故和短路电流流经芯线时，金属屏蔽不接地端也可能出现很高的工频感应电压。当电缆外护层不能承受这种过电压的作用

而损坏时，就会造成金属护层的多点接地。因此，这种方式宜用于线路距离较短、金属护层上任一非接地处的正常感应电压较小时。

电压限制器设在与架空线路连接的一端；这样可以降低金属护层上的冲击过电压值。

5.2.2 通常由于电缆制造长度的限制，需配置接头时，可结合在线路中央设置接头处实施金属护层一点接地，该接头可以用直通式接头，也可以用绝缘接头，后者有利于分段检查外护层绝缘接地故障。

5.2.3 若金属护层上的感应电压极小，则金属护层两端接地形成通路后，护层中的环流也很小，造成的损耗不显著，对电缆的载流量影响不大。金属护层两端接地后，不需装设电压限制器，还可以减少维护工作量，这与金属护层的损耗相比，还是经济的。电缆接地引线的截面积，应满足循环电流经济密度的要求。

35kV 及以下电缆线路的金属护层若采用两端接地，由于阻抗值不像 35kV 以上电缆那么小，环流不显著。

5.2.4 金属护层交叉互联接地。

单芯电缆线路很长时，应采用金属护层交叉互联。将电缆线路全长分成三等分段或三等分段的倍数，且金属护层上任意一点的正常感应电压不得超过 5.2.9 条的规定。每段之间装设绝缘接头，绝缘接头处金属护层三相之间用同轴电缆引线经接线盒进行换位连接，即交叉互联。

交叉互联单元中，三个区段均等时，正常运行中金属护层上感应电压低，环流小。如果电缆线路的三相排列是对称的，则由于各段金属护层电压的相位相差 120° ，而幅值相等，因此两个接地点之间的电位差等于零，这样在金属护层上就不可能产生环形电流，这时电缆线路上最高的金属护层电压，即为每一小段长度上的感应电压，可以限制在 50V 以内，当三相电缆排列不对称，如水平排列时，中相感应电压较边相低，虽然三个小段的技术护层长度相等，三相金属护层电压的向量和有一个很小的合成

电压，经两端接地在金属护层内形成环流，但接地极和大地之间有一定的电阻，故电流很小。

5.2.5 一般将均压线敷设在干混凝土地面上就能满足要求。

5.2.7 回流线较短时（一般小于 200m），可以利用金属护套做回流线。

5.2.8 当电缆线路发生单相短路时，接地短路电流可以通过回流线流回系统的中性点，特别是当故障发生在布置有回流线的接地网中时，接地电流的绝大部分通过回流线，由于通过回流线的接地电流产生的磁通抵消了一部分电缆导体接地电流所产生的磁通（两者电流方向相反），因而装设回流线后可降低短路故障时金属护层的感应电压，同时也防止了在电缆线路附近的二次信号和通信用的电缆上产生很大的感应电压，使二次回路或通信线路的正常运行免受干扰。

5.2.9 正常感应电压允许值，按不大于人体接触电压极限确定，根据 IEC/TC 64 制定的 IEC 364—4—41（1982）标准，推荐按 50V，与我国接地规程一致。不能任意接触的安全措施，一般应含有穿绝缘靴的情况，按“手与手”可能形成电流通路，据 IEC 报告测定推荐这时的心脏电流系数为 0.4，较“手与脚”的该系数 0.8～1 相差一倍，所以可认为这时接触电压允许值大至 100V。

5.2.10 由于电缆运行产生的热量会对电缆的安全运行及寿命产生影响，甚至导致电缆击穿。

测温并不限于电缆本体上，也可以对直埋设时的地温、隧道内环境温度等实行监测。目前，按测量探头分类，监测装置可分为 RTD 方式、氮气膨胀方式、分布式光纤监测方式，前两种方式只能监测电缆的固定点温度，分布式光纤可监测电缆纵向沿线的温度分布，不仅可以发现电缆整体的过热故障，还可以发现电缆的局部温度升高。随着测温技术的发展，光纤装置的价格在逐步降低，对超高压、大容量的电缆以及重要回路的高压电缆，由于故障的影响范围大，因此对电缆外护层的温度监测采用分布式

光纤监测装置还是值得的。

5.2.11 交流单相高压电缆金属屏蔽层一端直接接地或交叉互联接地的线路，一旦由于另一处发生接地，就伴随产生大的环流和损耗发热，将使电缆温升过高，危及电缆安全。

对高压电缆护层绝缘实行监察，及时发现接地故障，是有必要的。目前高压电缆线路实行在线式护层绝缘监察已较普遍。

5.3 护层电压限制器选择

5.3.1 冲击电流累积作用 20 次而不损坏护层电压限制器，与 IEC 对氧化锌阀片标准第八次修订草案中热稳定性实验项目一致。残压乘以 1.4 倍，是计入绝缘配合系数。

5.3.4 电缆通常所处潮湿环境，而采用 Y₀ 接法配置电压限制器，易于实施对阀片的老化检测，尤其适合在线式检测，有助于达到安全可靠运行。

5.3.5 雷电冲击波沿电压限制器连接线的波阻产生压降，将与阀片的残压迭加，一起作用于护层绝缘或绝缘接头两侧护层上，为降低其影响，宜使连接线尽可能的短，不同长度连接线及其类型的效果测试值如表 7。

表 7 不同长度连接线的保护效果实测值

电缆金属护层单侧接地时					
聚乙烯绝缘线连接长度 (m)			无保护	5	0.6
护层对地感应电压与入射波比值			0.95	0.7	0.2
电缆金属护层交叉互联接地方式、电压限制器 Y ₀ 接线					
连接长度 (m)		无保护	10	5	2
绝缘接头两侧 护层感应电压 与侵入波比值	聚乙烯绝缘线	1.25	0.85	0.7	0.6
	同轴电缆	1.25	0.85		0.35

直埋敷设电缆的绝缘接头未安置于工井而把电压限制器安置在便于巡查的地方时，连接长度一般难于限制在 10m 以内，除

此之外电压限制器 Y。接线时的连接线长度可在 $2\sim 10\text{m}$ 实现。

目前制造厂生产的电压限制器均与同轴电缆相匹配，同轴电缆现场接线方便，尽量短的同轴电缆波阻抗小，不影响电压限制器的有效值。

6 电 缆 敷 设

6.1 电缆路径及敷设方式选择

6.1.1 按电缆较短且综合投资较低的原则选择电缆路径，但不能忽视振动、水浸、干扰等不利因素。直埋电缆线路遭受外力破坏的事故比例较高，尤其在城镇地区建设挖掘频繁地段突出。

6.1.2 控制室、继电保护室汇集电缆多，敷设困难，维修不便，故应设夹层或电缆室、或采用有活动盖板的电缆层。

电缆沟敷设经济实用，便于安装维护，尤其适应户外配电装置。浅槽敷设，是介于直埋与电缆沟之间的一种敷设方式。我国南方地区由于地下水位较高，又需维持电缆线路有较高的防护外力损伤，较多应用浅槽敷设，实践达到预期成效。

电缆隧道、电缆夹层易于敷设和维护，适合厂内电缆品种多、数量大、布置集中的特点。

厂区电缆较少时穿管直埋较为经济，反之则以电缆沟为宜。

35kV 以上电缆因其电压高和本身的重要性需与其他电缆分开敷设，故应设置竖井。

油库、油处理室可能发生爆炸、着火，电缆不能明敷，避免火灾蔓延。本规定与我国已颁发的《爆炸和火灾危险场所的电力装置设计规范》(GB 50058—92) 基本一致。

6.2 电缆的布置与排列

6.2.1 为了便于运行维护管理，实行防火分隔，有利于降低弱电电缆回路的电气干扰强度。

过去参照前苏联规程，按电力电缆、控制电缆自上而下的顺序排列，实践中有因上层大截面引接时难满足容许弯曲半径的情况。

根据多次实体模拟燃烧试验证明，上层动力电缆着火后，温熔融物滴落在下层控制电缆上也会引燃。故从防火意义看，高压

电缆由上而下抑或由下而上顺序，并无本质差别。所以，两种顺序都应允许，可因地制宜。

6.2.2 同一层格架上迭置的电缆层数较多时，将有助于减少支架总层数、增加通道中容纳电缆数量以降低投资，然而一旦故障时波及影响面增加，也给巡视检查增加困难；此外，还宜考虑今后发展上增添可能，故宜有所限制。

日本电气设备技术基准对容纳电缆截面之和占桥架中横截面的比例，规定一般不大于 20%，控制电缆等情况不大于 50%；美国《国家电气法规》(NEC) 对大截面电力电缆规定原则上不超过一层，对控制电缆的占积率规定不大于 50%（有孔托盘或梯架）和 40%（无孔托盘）。

6.2.3 抑制干扰的措施有：使电缆支架形成电气通路；对敷设电缆的构筑物钢筋网焊接连通；沿电缆线路适当附加并行的金属屏蔽线或罩盒等。由于方法很多，若简单地给出定量的允许距离值，并不合理恰当。可借鉴部分国外的标准、设计方法，供分析时参考。

日本《电气设备技术基准》规定，弱电回路电缆与其他电缆的间距不宜小于 150mm。对计算机信号回路用软线（无屏蔽线）与并行电力电缆的相互允许最小间距，有按表 8 所列数值的做法。

表 8 计算机信号回路软线与并行电力电缆
允许量小间距 单位：m

电力电缆 电压与工作电流	相互并行长度					
	小 于					大于
	10	25	100	250	500	500
125V, 10A	0.01	0.01	0.05	0.1	0.2	1.2
250V, 50A	0.01	0.05	0.15	0.2	0.45	1.2
200~400V, 100A	0.05	0.1	0.2	0.45	0.6	1.2
400~500V, 200A	0.1	0.2	0.3	0.6	0.9	1.2
3000~10000V, 800A	0.2	0.3	0.6	0.9	1.2	1.2

6.2.4 未达电缆允许弯曲半径极易造成电缆损伤，诱发故障。如隧道或沟的转弯、分支部位未具备适应性；粗大截面电力电缆位于沟道的支架上层、与柜盘连接的空间过小而难以满足等。各型电缆允许弯曲半径，可由相应的电缆制造标准查明或制造厂提供。

6.3 直埋敷设

6.3.1 直埋敷设的埋深限制，是从防护电缆安全又兼顾经济性的综合考虑。经分析，我国已颁布的《电力电缆运行规程》和GB 50217—90 规定的埋深要求，经长期实践证明可行，与国外标准（见表 9）相近，因而继续采用基本一致的要求。

表 9 国外对电缆直埋敷设允许最小埋深的规定 单位：m

国别及其规范标准名称	电缆允许最小埋深
前苏联 1985 年颁布的 《电气安装规程》	0.5（在引入建筑物 5m 内） 0.7（35kV 以下电缆除下列情况外） 1.0（35kV 以下电缆横跨街道广场时，35kV 电缆） 1.5（110~220kV 充油电缆）
瑞典《电气装置设计及维护规程》 （SIND—FS—1978）	0.45（24kV 及以下电缆） 0.65（24kV 以上）
美国《国家电气法规》（NEC）	0.6（0.6kV 以下电缆） 0.75（0.6~22kV） 0.9（22~40kV） 1.05（40kV 以上）
日本《电气设备技术基准》	1.2（有载重车经过） 0.6（其他情况）
日本《道路法实施规则》	0.8

6.3.2 主要防止外力破坏。

6.3.3 穿越铁路公路的电缆，经常受到重力和振动的作用，可能造成损伤。

6.3.4 统计资料显示，接头运行故障率较高，考虑接头制作的需要，对重要回路的接头两侧留有备用，将有助于恢复供电。

6.3.5 同一通路电缆较多时直埋不利于维护，影响可靠性。

6.4 敷设于保护管中

6.4.1 保护管的机械强度一般由相应专业标准明确。

国内某城市供电设计研究室开发四孔型混凝土排管，拟定技术条件是：混凝土抗压强度 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ ，管体的承压极限（裂缝荷载） 5000kg 以上、弯曲强度极限 $400\text{ kg}\cdot\text{m}$ 以上。

交流单相电缆以单根穿于钢管时，由于闭合磁路感应涡流使钢管发热，可能烧坏电缆。

一般推荐 1 管穿 1 根电缆是基于长期实践经验，较有利于保持电缆不易在施工中受损伤，确保安全。

电缆外径与保护管管径的比值，要从便于施工和管材投资两方面统一考虑，经分析仍以维持多年采取的倍数值为宜。这与日本等国标准也相同。

减少弯头，易于施工。与美国国家电气法规（NEC）规定不超过相当于 4 个直角弯的弯头接近。

明管的固定间距主要考虑管材强度和方便施工。

埋管距地面深度的允许值，由保护管的抗压强度和对应于地面上承受的荷载等因素确定。与美国《国家电气法规》（NEC）的埋深限制不小于 0.454m ，前苏联《电气安装规程》要求不小于 0.5m ，但与铁路交叉时距路基深度不小于 1m 相近。

6.4.2 钢质管属非燃烧物质，且强度较高，但易于腐蚀。塑料管用于混凝土中埋设，应能耐受施工时高处重物落下的冲击。

6.4.3 目前所用水泥管、铸铁管、石棉水泥管、钢管、硬质聚乙烯管、多孔陶瓷管、玻纤增强塑料管、可挠性金属管等在地中埋设时均有相当的承受力。

6.4.4 可挠性金属管强度较高，较易弯曲，施工方便。

6.4.6 工作井的设置除考虑电缆接头、分支外，还要便于敷设

和维护。牵引张力限制间距一般由制造厂给出。

6.5 敷设于电缆构筑物中

6.5.1 工程实践证实可行。

6.5.2 强调满足电缆往上侧柜盘引接时的允许弯曲半径要求。

6.5.3 底层电缆架距地大于 1400mm 垂直净距的要求，是保证运行巡视条件的措施。

6.5.4 防止电缆着火殃及其他设备。

6.5.5 便于桥架盖板安装。

6.5.6 工程实践证实可行。

6.6 敷设于水下

6.6.1 实践表明，水下电缆事故多源于船泊沉锚、渔船拖网或河道整治等活动；水流长期冲刷引发的故障也时有发生。所以路径选择时不必追求最短，而应综合分析考虑。

6.6.2 据了解，沉锚深度通常在 0.5~5.0m 之间，水下电缆埋深要完全躲过沉锚是不经济的。本条借鉴国内外的经验和参考前苏联《电气安装规程》规定的埋深 2.0m 而确定。

6.6.3 避免投锚后船移走锚时伤及相邻电缆，限制事故扩大至相邻回路。与前苏联《电气安装规程》基本一致。

6.6.4 穿保护管是为了防止水浪、漂浮物、浮冰等机械性作用可能对水下电缆岸边部分的损伤。

6.7 敷设于其他公用设施中

6.7.1 桥梁、交通隧道兼作电缆通道，国内外已有广泛实践。主要考虑电缆不受机械性损伤，避免发生火灾危及行人安全。

7 电缆的支持与固定

7.1 电 缆 支 架

7.1.1 结合工程实践，针对电缆桥架的安装、使用、安全、耐久性等方面提出的基本要求。

7.1.2 电缆支架短暂上人，是工程中常见的现象。人体荷重一般按 900N，大截面电缆一般指 35kV 以上高压电缆。

7.1.3 过去只关注梯架、托盘的挠度，而忽略了因托臂等组件超载带来的不稳定因素。

7.1.4 实测表明，未经防腐处理的钢材，侵蚀深度平均 0.04~0.15mm/年，经一次性防腐处理后使用年限可达到预期 30~40 年以上。

7.1.5 交流单相大截面电缆工作电流达 1450A 时，因涡流作用引起钢制电缆支架产生的铁损，可达 160（三相呈品字形配置）~530W/m（分相配置），约占电缆损失的 20%~70%。铝合金或玻璃钢制桥架不存在涡流问题，并具有一定的强度，价格也在不断降低，应用日益广泛。

7.1.6 桥架可汇集大量电缆，便于敷设，美观实用。35kV 以上高压电缆以蛇形敷设时，也可用桥架。

7.1.7 钢制桥架具有一定的屏蔽作用。无孔托盘，有利于减免灾害。底层采用托盘是为了电缆敷设美观。

7.1.8 适应桥架热胀冷缩的需要。

7.1.9 塑料护套电缆防护性能相对较差，敷设在圆钢支架上时，由于接触面小，容易受到损伤。

7.1.10 金属桥架在强磁场环境中，会感应较高的电压故必须接地。非金属桥架的金属托臂，也应全部接地。

7.2 电 缆 固 定

7.2.1 构成磁性闭合回路的夹具，会产生环流、发热从而损坏电缆。

7.2.2 铁丝容易锈蚀，绑扎接触面小，可能破坏电缆绝缘。

7.2.3 工程中往往不太注意单相交流电缆短路时的电动力作用，时有造成夹具损坏等事故发生。

7.2.4 电缆敷设层次变换时，其外层护套容易受到支架棱角的破坏。

7.2.5 垂直敷设的电缆，不能仅靠上、下两端固定，在中间每个支架处也要固定，这有助于避免缆芯线及其连接受损、防止外护层变形。

7.2.6 垂直敷设的电缆，由于自重影响，需在固定时施以足够把持力，但又不能造成电缆过于变形或损伤外护层，至少应有两个固定点。

对蛇形敷设部位的固定要求，是维持蛇形形态所需。蛇形敷设如正弦波状，温度变化下电缆的热胀冷缩，在蛇形状态下沿波峰横向显示，从而使电缆轴向热应力被吸收减小。

7.2.7 伸缩节可以减少电缆轴向热应力。当伸缩节布置有困难时，可采用其他能吸收热应力的方式。

7.2.8 蛇形敷设可分水平蛇形、垂直蛇形。蛇形敷设的参数主要含有节距与波幅，可通过实体模拟测试或公认的理论计算方式确定。

如含有金属套、水平蛇形敷设的电缆，粗略算法见式(10)；轴向热应力的表达式：

$$F = \frac{8E_1}{B^2} \frac{\alpha t}{2} - \frac{8E_1}{(B+n)^2} \frac{\alpha t}{2} + \frac{0.8\mu WL^2}{2(B+n)} \quad (10)$$

$$n = \sqrt{B^2 + 1.6\alpha t L^2} - B \quad (11)$$

式中 B ——蛇形敷设正负波幅总幅宽 (mm)；

L ——蛇形半个节距 (mm)；

n ——蛇形幅宽的变位量 (mm);
 E_1 ——电缆的弯曲刚性 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);
 α ——电缆的线膨胀系数 ($1/^\circ\text{C}$);
 t ——温升 ($^\circ\text{C}$);
 μ ——电缆的摩擦系数;
 W ——电缆单位重量 (kg/m)。

按电缆金属护层容许应变确定的拘束力, 可采取式 (12):

$$F_c = \delta S \quad (12)$$

$$S = \pi db \quad (13)$$

式中 F_c ——拘束力 (kg);
 S ——金属护层截面 (mm^2);
 δ ——金属护层容许拘束力 (kg/mm^2);
 d ——电缆平均直径 (mm);
 b ——金属护层厚度 (mm)。

满足 $F = F_c$ 条件式, 可确定 B 、 L 系列组合, 并结合工程条件择定。

需指出上述算法只是一种提示, 以助理解本条要求。其精确性不足, 即把电缆摩擦力以集中荷载方式处理, 而实际为均布荷载, 后者影响计入后蛇形变位将偏大; 此外, 夹具若含有缓冲材料能夹紧使电缆在热伸缩下不扭转, 就伴随产生力矩, 从而影响表达式的确切性, 综合影响计入后, 轴向力算值将偏大。

8 电缆防火及阻燃

8.0.1 电缆火灾是电力系统多发性事故，其中由外部火源引燃电缆的占总数的 70.3%；由电缆本身故障引起火灾的占总数的 29.7%。

电缆室（电缆夹层）、电缆隧道（廊道）及厂房内其他各种场所架空敷设电缆回路中，由于电力电缆运行中发生火灾的几率相对较大，故对电力电缆、控制电缆及通讯电缆等采取分层敷设。在转弯处，电缆也要分层排列，不宜成捆、成束安装，并在电力电缆层间加装耐火隔板，这样可以限制电缆火灾蔓延。为阻止延燃，同时规定隔板的耐火极限不应低于 0.5h。

8.0.2 根据电缆火灾事故统计，发电厂和变电所多起重大火灾都是起火后沿着电缆隧道蔓延扩大造成的。本条根据实际工程教训，规定设置防火封堵的部位。

本条规定的三种部位应包括各个电缆集中敷设场所的电缆出入口、电缆沟及隧道分支处、电缆穿越（入）各设备室的孔洞、跨越各主要生产厂房外墙分支电缆沟引接处。

8.0.3 防火分隔物上的丙级防火门的耐火极限为 0.6h。防火分隔物的耐火极限应大于 1h，从现在的防火材料看较容易满足。在不设防火门的场合，为防止相邻防火隔段之间火焰经门洞窜燃蔓延，可采用沿电缆加装耐火隔板、阻火网、施加电缆防火包带和喷涂防火涂料等措施。

8.0.4 电缆竖井在火灾中起烟囱作用，加剧火灾蔓延扩大并难以扑救，必须采取封堵措施。考虑到电缆竖井的通风散热要求，上下两端封堵宜采用防火网的方式，正常运行时可正常通风散热，当火灾发生时，防火网遇热膨胀封堵井口，防止火灾蔓延，已有工程应用实例。

8.0.5 根据国内外发变电工程多年来运行实践，证明电缆孔洞

的封堵对于防止电缆火灾蔓延起着十分重要的作用。

火灾事故统计表明，多起火灾都是由于靠近电缆沟盖板的充油电气设备（如高压充油电缆终端、电压互感器、电流互感器及油浸变压器等）事故油火滴漏进入电缆沟，未被及时发现造成的。电缆敷设后，盖板缝隙应及时采用非燃烧材料封堵严密，或用电缆穿管敷设。

8.0.6 大型电缆室是指面积在 300m^2 以上的电缆室，大型电缆竖井和隧道是指长度在 150m 以上，且电缆在 200 根及以上的电
缆竖井和隧道。这些场所内一般都是多回路电缆密集敷设，空间通道小，一旦局部事故起火，火势可能迅速蔓延传播，而造成严重损失。大面积电缆火灾的消防，各工程应结合具体条件，采用灭火设施。有条件的宜装固定式灭火系统。水喷雾以其优异灭火性能，用于有限空间内大面积电缆火灾，具有灭火迅速，并兼有排烟特点，在长电缆廊道内，配合使用防火分隔设施和自动火灾探测报警系统，可供大型工程重要场所选用。

8.0.7 裸露电气设备容易发生短路故障，诱发火灾，油气制品会助涨火势。

9 对相关专业的要求

9.1 对水工结构的要求

9.1.1 结合厂区布置情况及集水面积，确定排水坡度和泄水系统。

9.1.2、9.1.3 参照水电站消防设计规范中规定任意位置距出口的疏散距离不超过 60m 确定。

9.1.5 便于安装维护，保障人身安全。

9.1.6 电缆隧道中敷设电缆和制作接头，进行试验等的机具或设备，有相当重量，需有平缓通道以便拖动，故不得形成阶梯状。

9.1.7 隧道、电缆室、夹层的容许最小净高，按适于巡视通行、维修活动人员的一般身高所拟。已通过广泛工程实践证实。

9.2 对通风的要求

9.2.1 是否设置机械通风装置视电缆隧道中敷设电缆的多少，电缆最高允许温度及发热量而定。

9.2.2 电缆隧道、电缆室的通风机应与消防控制系统联动控制，防止火灾蔓延。

9.3 其他要求

9.3.1 便于电缆的施工及检修。