

ICS 27.140

P 59

NB

中华人民共和国能源行业标准

P

NB/T 10498-2021
代替 DL/T 5228-2005

水力发电厂交流 110 kV~500 kV 电力电缆
工程设计规范

Code for Design of AC 110 kV~500 kV Power Cable Systems
for Hydropower Station

2021-01-07 发布

2021-07-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

水力发电厂交流 110 kV~500 kV 电力电缆
工程设计规范

Code for Design of AC 110 kV~500 kV Power Cable Systems
for Hydropower Station

NB/T 10498—2021

代替 DL/T 5228—2005

主编部门：水电水利规划设计总院

批准部门：国家能源局

施行日期：2021年7月1日

中国水利水电出版社

2021 北京

国家能源局

公告

2021 年 第 1 号

国家能源局批准《水电工程建设征地移民安置综合设计规范》等 320 项能源行业标准（附件 1）、《Carbon steel and low alloy steel for pressurized water reactor nuclear power plants-Part 7: Class 1, 2, 3 plates》等 113 项能源行业标准外文版（附件 2）、《水电工程水生生态调查与评价技术规范》等 5 项能源行业标准修改通知单（附件 3），现予以发布。

- 附件: 1.行业标准目录
2.行业标准外文版目录
3.行业标准修改通知单

国家能源局

2021 年 1 月 7 日

附件 1:

行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
15	NB/T 10498-2021	水力发电厂交流 110kV~500kV 电力电缆工程 设计规范	DL/T 5228—2005		2021- 01-07	2021- 07-01
...						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2016 年能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2016〕238 号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本规范。

本规范的主要技术内容是：总则、术语和符号、使用条件，主要技术参数选择，型式与结构，终端和接头，金属套接地方式和过电压保护，辅助设施，布置及敷设，防火，试验。

本规范修订的主要技术内容是：

——增加了电缆在线监测装置的有关规定。

——增加了电缆防火的有关规定。

——增加了“试验”一章。

——将原规范电压、允许持续载流量及导体截面、额定短时耐受电流、绝缘水平等内容合并为“主要技术参数选择”一章。

——删除了均压线及充油电缆相关内容。

本规范由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业水电电气设计标准化技术委员会（NEA/TC17）负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号，邮政编码：100120）。

本规范主编单位：中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

本规范参编单位：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

江苏安靠智能输电工程科技股份有限公司

本规范主要起草人员：李 强 何 笑 王耀辉 温凤香 余 丹

俞 鹏 李 勇 冯真秋 侯彦硕 汪静文

伊晓婧 陈晓鸣 王心琦 鞠 琳

本规范主要审查人员：于庆贵 庞秀岚 王劲夫 康本贤 陈寅其

吴仲平 周会高 夏富军 杨建军 王 勇

邵光明 杨俊双 王华军 刘长武 邓双学

谢小辉 潘 虹 宗万波 杨 梅

目 次

1	总则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	2
3	使用条件.....	3
3.1	运行条件.....	3
3.2	敷设条件.....	3
4	主要技术参数选择.....	5
4.1	电压.....	5
4.2	导体截面.....	5
4.3	绝缘水平.....	7
5	型式与结构.....	8
5.1	型式.....	8
5.2	导体.....	8
5.3	绝缘层.....	8
5.4	导体屏蔽层和绝缘屏蔽层.....	10
5.5	缓冲层.....	10
5.6	金属套.....	10
5.7	外护套.....	11
6	终端和接头.....	12
6.1	一般规定.....	12
6.2	终端.....	13
6.3	接头.....	14
7	金属套接地方式和过电压保护.....	15
7.1	金属套接地方式的选择.....	15
7.2	金属套感应电压.....	17
7.3	回流线.....	18
7.4	金属套保护器.....	18
8	辅助设施.....	20

8.1	电缆夹具.....	20
8.2	电缆支架.....	20
8.3	电缆终端支架.....	20
8.4	电缆在线监测装置.....	21
9	布置及敷设.....	22
9.1	一般规定.....	22
9.2	电缆布置.....	22
9.3	终端和接头布置.....	23
9.4	电缆固定.....	23
9.5	电缆敷设.....	24
10	防火.....	25
11	试验.....	26
	本规范用词说明.....	29
	引用标准名录.....	28
	附：条文说明.....	30

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	2
3	Service Conditions	3
3.1	Operating Conditions	3
3.2	Laying Conditons	3
4	Selection of Main Technical Parameters	5
4.1	Voltage	5
4.2	Cross-Sectional Area of Conductors.....	5
4.3	Insulation Level	7
5	Type and Structure	8
5.1	Type	8
5.2	Conductor	8
5.3	Insulation Screen.....	8
5.4	Semi-Conductive Inner Screen and Semi-Conductive Outer Screen.....	10
5.5	Buffer Layer.....	10
5.6	Metal Sheath	10
5.7	Outer Sheath.....	11
6	Terminations and Joints	13
6.1	General Requirements	13
6.2	Terminations.....	14
6.3	Joints	15
7	Earthing Methods and Overvoltage Protetion for Metal Sheath	16
7.1	Selection of Metal Sheath Earthing Methods	16
7.2	Induced Voltage on Metal Sheath	18
7.3	Shielding Conductor	19

7.4	Metal Sheath Earthing Protector	19
8	Auxiliary Facilities.....	21
8.1	Cable Clamp	21
8.2	Cable Support	21
8.3	Cable Terminal Support	21
8.4	Cable On-Line Monitoring Device	22
9	Cable Layout and Laying	23
9.1	General Requirements.....	23
9.2	Cable Layout	23
9.3	Layout of Terminations and Joints	24
9.4	Cable Fixing	24
9.5	Cable Laying	25
10	Fire Prevention.....	26
11	Test.....	27
	Explanation of Wording in This Code	29
	List of Quoted Standards	30
	Addition: Explanation of Provisions	32

1 总则

1.0.1 为规范水力发电厂交流 110 kV~500 kV 电力电缆工程设计，做到安全可靠、技术先进、经济合理、便于施工和维护，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于标称电压为交流 110 kV~500 kV，频率为 50 Hz 的新建、改建和扩建水力发电厂的电力电缆工程设计。

1.0.3 水力发电厂交流 110 kV~500 kV 电力电缆工程设计，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 回流线 shielding conductor

平行于单芯电缆线路，具有两端接地的绝缘导线或电缆，供单相短路电流流回电源，以降低电缆金属套上的感应过电压，保护外护套绝缘。

2.1.2 挠性固定 slip fixing

允许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。

2.1.3 刚性固定 rigid fixing

不允许电缆随热胀冷缩发生位移的夹紧固定方式。

2.1.4 蛇形敷设 snaking

按定量参数要求使电缆轴向热应力减少或需保留预留量而使电缆呈波浪状的敷设方式。

2.2 符号

U_0 ——电缆和附件设计用的每一导体与屏蔽或护套之间的额定工频电压有效值；

U ——电缆和附件设计用的任何两导体之间的额定工频电压有效值；

U_m ——电缆和附件设计用的任何两导体之间的最高工频电压有效值；

U_{p1} ——设计时采用的电缆或附件的每一导体与屏蔽层或金属套之间的雷电冲击耐受电压的峰值；

U_{p2} ——设计时采用的电缆或附件的每一导体与屏蔽层或金属套之间的操作冲击耐受电压的峰值。

3 使用条件

3.1 运行条件

3.1.1 系统标称电压与系统最高电压应采用表 3.1.1 的规定值。

表 3.1.1 系统标称电压与系统最高电压 (kV)

系统标称电压	110	220	330	500
系统最高电压	126	252	363	550

3.1.2 雷电冲击电压与操作冲击电压应由系统基本绝缘水平及绝缘配合的要求确定。

3.1.3 系统频率应为 50 Hz。

3.1.4 110 kV 及以上系统的中性点接地方式均应为有效接地。

3.1.5 电缆及附件应满足使用地点的海拔、地震烈度的要求，并考虑温度、土壤热阻、风速、覆冰、日照等环境条件的影响。

3.1.6 电缆最大工作电流应按持续运行、事故紧急运行及过负荷运行工况的最大电流值确定。

3.1.7 电缆首端相间及相对地短路时流过电缆的对称和不对称的短路电流应根据工程所在电力系统的远景发展规划确定。

3.1.8 110 kV 电力电缆额定短时耐受电流的持续时间可取 3 s，220 kV 及以上电力电缆额定短时耐受电流的持续时间可取 2 s；单相接地短路电流的持续时间应按不小于继电保护第一级后备保护动作时间确定。

3.2 敷设条件

3.2.1 电缆设计时应考虑以下敷设条件：

- 1 电缆线路路径、地形、高差和长度。
- 2 电缆回路数，电缆按水平、垂直或三角等排列的排列方式及间距。
- 3 金属套接地方式。

- 4 电缆防火设施布置方式。
- 5 特殊敷设方式及其他特殊要求。

3.2.2 电缆的敷设环境温度应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 敷设环境温度

敷设方式		环境温度选取原则
地下	直埋	埋深处当地的最热月平均地温
	保护管	埋深处当地的最热月平均地温
空气	有通风隧道	通风设计温度
	无通风隧道或电缆沟	最热月的日最高气温平均值另加 5℃
	有日照架空	最热月的日最高气温平均值

3.2.3 地下敷设的电缆及附件除应符合本规范第 3.2.1、3.2.2 条的规定外，还应考虑下列因素：

- 1 直埋或排管中安装条件确定金属套结构和铠装型式。
- 2 防腐、防小动物、防潮等安装条件确定外护套材。
- 3 埋设深度和冻土层厚度。
- 4 沿电缆线路的沙土、黏土、人工土等土壤种类及其热阻系数，并说明上述资料是实测值还是假设值。
- 5 埋设深度处土壤的最高、最低和平均温度。
- 6 靠近其他热源或已运行电缆的详细资料。
- 7 电缆沟或排管的长度，若有工井，则包括工井之间的距离。
- 8 排管的数量、内径和构成材料。
- 9 排管之间距离。

4 主要技术参数选择

4.1 电压

电缆电压应符合表 4.0.1 的规定。

表 4.0.1 电缆电压 (kV)

U	U_m	U_0
110	126	64
220	252	127
330	363	190
500	550	290

4.2 导体截面

4.2.1 在使用条件下, 导体截面允许载流量不应小于最大持续工作电流。导体允许载流量可按下式计算:

$$I = \left[\frac{(\theta_c - \theta_0) - W_d [0.5T_1 + (T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + R(1 + \lambda_1)T_2 + R(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.2.1)$$

式中: θ_c ——电缆持续运行时的最高允许温度 (°C), 交联聚乙烯 (XLPE) 电

缆导体正常运行的允许最高温度为 90°C;

θ_0 ——电缆持续运行时的环境温度 (°C);

W_d ——每米绝缘层的介质损耗 (W/m);

T_1 ——每米电缆的绝缘层的热阻 (k·m/W);

T_2 ——金属套和铠装层之间每米衬垫层的热阻 (k·m/W);

T_3 ——每米电缆外护套的热阻 (k·m/W);

T_4 ——每米电缆的外部热阻 (k·m/W);

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);

λ_1 ——电缆金属套的损耗系数;

λ_2 ——电缆铠装层的损耗系数。

4.2.2 导体截面应满足额定短时耐受电流的要求。

4.2.3 电缆短路热稳定计算截面可按下列公式计算:

$$S \approx \frac{\sqrt{Q_d}}{C} \quad (4.2.3-1)$$

$$C = \sqrt{\frac{JQ}{k\rho_{20}\alpha} \left/ \ln \frac{1+\alpha(t_d-20)}{1+\alpha(t_g-20)} \right.} \quad (4.2.3-2)$$

式中: S ——电缆短路热稳定计算截面 (mm^2);

Q_d ——短路电流的热效应 ($\text{A}^2\cdot\text{S}$);

C ——热稳定系数;

J ——热功当量系数 (J/cal), 取 4.2 J/cal ;

Q ——电缆导体单位体积的热容量 [$\text{cal}/(\text{cm}^3\cdot^\circ\text{C})$], 铝芯导体取 $0.59 \text{ cal}/(\text{cm}^3\cdot^\circ\text{C})$, 铜芯导体取 $0.81 \text{ cal}/(\text{cm}^3\cdot^\circ\text{C})$;

k —— 20°C 时的导体交流电阻与直流电阻之比;

ρ_{20} ——电缆导体在 20°C 的电阻系数 ($\Omega\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$), 铝芯取 $0.031\times 10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$, 铜芯取 $0.0184\times 10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$;

α ——电缆导体在 20°C 时的电阻温度系数 ($1/^\circ\text{C}$), 铝芯取 $0.00403/^\circ\text{C}$, 铜芯取 $0.00393/^\circ\text{C}$;

t_d ——电缆芯线导体在短路时的最高允许温度 ($^\circ\text{C}$), XLPE 电缆导体短路的允许最高温度为 250°C ;

t_g ——额定负荷时最高允许温度 ($^\circ\text{C}$)。

4.2.4 导体截面应从标准截面系列中选取; 110 kV 电缆的截面不宜小于 240 mm^2 , 220 kV 电缆的截面不宜小于 400 mm^2 , 330 kV 电缆的截面不宜小于 630 mm^2 , 500 kV 电缆的截面不宜小于 800 mm^2 。

4.3 绝缘水平

4.3.1 电缆及其终端和接头的雷电冲击耐受电压应按表 4.3.1 的规定选取，330 kV 及以上电缆应进行过电压计算并校核绝缘配合。

表 4.3.1 电缆及其终端和接头的雷电冲击耐受电压 (kV)

电缆电压 $U_0/U (U_m)$	64/110 (126)	127/220 (252)	190/330 (363)	290/500 (550)
雷电冲击耐受电压 U_{p1}	550	1050	1175 1300	1550 1675

4.3.2 330 kV 及以上电缆及其终端和接头的操作冲击耐受电压应按表 4.3.2 的规定选取。

表 4.3.2 330kV 及以上电缆及其终端和接头的操作冲击耐受电压 (kV)

电缆电压 $U_0/U (U_m)$	190/330 (363)	290/500 (550)
操作冲击耐受电压 U_{p2}	950	1175

4.3.3 电缆外护套绝缘工频和雷电冲击耐受电压值应按表 4.3.3 的规定选取；电缆外护套绝缘直流耐受电压值宜为 30 kV，历时不应低于 1min。

表 4.3.3 电缆外护套绝缘工频和雷电冲击耐受电压值 (kV)

电缆电压 $U_0/U (U_m)$	额定短时工频耐受电压 (有效值)	雷电冲击耐受电压 (峰值)
64/110 (126)	25	37.5
127/220 (252)	25	47.5
190/330 (363)	25	62.5
290/500 (550)	25	72.5

5 型式与结构

5.1 型式

5.1.1 110 kV~500 kV 电缆宜采用 XLPE 电缆。

5.1.2 XLPE 电缆结构应至少包括导体、导体屏蔽层、绝缘层、绝缘屏蔽层、缓冲层、金属套和外护套。

5.2 导体

5.2.1 导体材质宜选用铜材。

5.2.2 导体截面为 630 mm² 及以下的电缆宜采用紧压绞合圆形导体结构；导体截面为 1000 mm² 及以上的电缆宜采用分割导体结构；导体截面为 800 mm² 的电缆可采用紧压绞合圆形导体结构，也可采用分割导体结构。

5.3 绝缘层

5.3.1 XLPE 电缆绝缘应由干式交联工艺生产，电缆的导体屏蔽层、绝缘层和绝缘屏蔽层应三层一次共挤成型。

5.3.2 XLPE 电缆绝缘标称厚度应根据工频耐压和雷电冲击耐压水平确定，不宜小于表 5.3.2 规定的数值。

表 5.3.2 XLPE 电缆绝缘标称厚度

$U_0/U (U_m)$ (kV)	绝缘标称厚度 t_n (mm)
64/110 (126)	16
127/220 (252)	24
190/330 (363)	27
290/500 (550)	30

5.3.3 绝缘厚度的平均值、任一处的最小厚度和偏心度要求应符合表 5.3.3 的规定：

表 5.3.3 绝缘厚度的平均值、任一处的最小厚度和偏心度要求

项目	110 kV、220 kV	330 kV、500 kV
平均厚度	$\geq t_n$	$\geq t_n$
任一处的最小厚度	$\geq 0.95t_n$	$\geq 0.95t_n$
偏心度	$\leq 6\%$	$\leq 5\%$

注：1 t_n 为表 5.3.2 规定的绝缘标称厚度。

2 偏心度为在同一断面上测得的最大厚度和最小厚度的差值与最大厚度比值的百分数。

5.3.4 绝缘层及绝缘层界面的微孔、杂质与凸起的限值应按表 5.3.4 的规定选择。

表 5.3.4 绝缘层及绝缘层界面的微孔、杂质与凸起的限值

电压 (kV)	检查项目		限值
110	绝缘	大于 0.05 mm 的微孔	0
		大于 0.025 mm, 小于等于 0.05 mm 的微孔	≤ 18 个/10cm ³
		大于 0.125 mm 的不透明杂质	0
		大于 0.05 mm, 小于等于 0.125 mm 的不透明杂质	≤ 6 个/10cm ³
		大于 0.25 mm 的半透明深棕色杂质	0
	半导体屏蔽层与绝缘层界面	大于 0.05 mm 的微孔	0
	导体半导体屏蔽层与绝缘层界面	大于 0.125 mm 进入绝缘层和半导体屏蔽层的突起	0
绝缘半导体屏蔽层与绝缘层界面	大于 0.125 mm 进入绝缘层和半导体屏蔽层的突起	0	
220	绝缘	大于 0.05 mm 的微孔	0
		大于 0.025 mm, 小于等于 0.05 mm 的微孔	≤ 18 个/10cm ³
		大于 0.125 mm 的不透明杂质	0
		大于 0.05 mm, 小于等于 0.125 mm 的不透明杂质	≤ 6 个/10cm ³
		大于 0.16 mm 的半透明深棕色杂质	0
	半导体屏蔽层与绝缘层界面	大于 0.05 mm 的微孔	0
	导体半导体屏蔽层与绝缘层界面	大于 0.08 mm 进入绝缘层和半导体屏蔽层的突起	0
绝缘半导体屏蔽层与绝缘层界面	大于 0.08 mm 进入绝缘层和半导体屏蔽层的突起	0	
330 和 500	绝缘	大于 0.02 mm 的微孔	0
		大于 0.075 mm 的不透明杂质	0
	半导体屏蔽层与绝缘层界面	大于 0.02 mm 的微孔	0
	导体半导体屏蔽层与绝缘层界面	大于 0.05 mm 进入绝缘层和半导体屏蔽层的突起	0
绝缘半导体屏蔽层与绝缘层界面	大于 0.05 mm 进入绝缘层和半导体屏蔽层的突起	0	

5.4 导体屏蔽层和绝缘屏蔽层

5.4.1 截面 500 mm² 以下的 110 kV XLPE 电缆的导体屏蔽层应为一层挤包半导电层，其他 XLPE 电缆的导体屏蔽层应由半导电包带和挤包半导电层组成。

5.4.2 绝缘屏蔽均应为挤包半导电层。

5.5 缓冲层

5.5.1 绝缘屏蔽层和金属套之间应有缓冲层。

5.5.2 缓冲层应使绝缘屏蔽层与金属套保持电气上接触良好。

5.5.3 缓冲层的厚度应能满足补偿电缆运行中热膨胀的要求。

5.6 金属套

5.6.1 电缆金属套应根据通过的不对称短路电流大小、径向防水与承受机械拉力和压力的要求来选择。

5.6.2 金属套的选择宜满足下列要求：

- 1 无腐蚀性场所中，电缆的金属套可选用皱纹铝套或平滑铝套。
- 2 在水下或腐蚀性场所中，电缆的金属套宜选用铅套。

5.6.3 电缆金属套的截面应满足单相接地故障或不同地点两相同时发生接地故障时短路容量的要求，并要求制造厂提供相应计算书。

5.6.4 电缆铅套任一点的最小厚度应满足下式要求：

$$t_{\min} \geq t_n - (0.1 + 0.05t_n) \quad (5.6.4)$$

式中： t_{\min} ——最小厚度（mm）；

t_n ——标称厚度（mm）。

5.6.5 皱纹铝套任一点的最小厚度应满足下式要求：

$$t_{\min} \geq t_n - (0.1 + 0.15t_n) \quad (5.6.5)$$

式中： t_{\min} ——最小厚度（mm）；

t_n ——标称厚度（mm）。

5.7 外护套

5.7.1 电缆外护套应采用耐热性能良好的绝缘型聚氯乙烯或聚乙烯，其绝缘水平应符合本规范表 4.3.3 的规定；一般敷设条件下的电缆外护套可选用聚氯乙烯，直埋、穿管、地下水位较高和低温下敷设的电缆外护套宜采用聚乙烯。

5.7.2 电缆外护套的阻燃性能不应低于阻燃 C 类。成品电缆应能通过现行国家标准《单根电线电缆燃烧试验方法 第 2 部分：水平燃烧试验》GB/T 12666.2 规定的不延燃试验。

5.7.3 电缆外护套除应符合现行国家标准《电缆外护层 第 1 部分：总则》GB/T 2952.1、《电缆外护层 第 2 部分：金属套电缆外护层》GB/T 2952.2、《电缆外护层 第 3 部分：非金属套电缆通用外护层》GB/T 2952.3 的有关规定外，表面还应有均匀牢固的导电层。

5.7.4 电缆外护套的最小厚度应满足下式要求：

$$t_{\min} \geq t_n - (0.1 + 0.15t_n) \quad (5.7.4)$$

式中： t_{\min} ——最小厚度（mm）；

t_n ——标称厚度（mm）。

5.7.5 敷设条件需要时，外护套应能防止白蚁、鼠啮和真菌的伤害，外护套预防添加剂不应是环境保护禁用的材料。

5.7.6 敷设条件需要时，外护套也可由铠装层和挤压成型的聚氯乙烯或聚乙烯层构成；铠装层由非磁性钢带或钢丝构成并应符合现行国家标准《电缆外护层第 1 部分：总则》GB/T 2952.1、《电缆外护层第 2 部分：金属套外护层》GB/T 2952.2 和《电缆外护层第 3 部分：非金属套电缆通用外护层》GB/T 2952.3 的有关规定。

5.7.7 整根电缆外护套应印刷或压制下列标记：

- 1 制造厂名称。
- 2 电压。
- 3 导体截面和材料。
- 4 绝缘材料。
- 5 制造年份。

6 终端和接头

6.1 一般规定

6.1.1 电缆终端和接头的电压可用 U_0/U (U_m) 表示，不应低于电缆的电压。

6.1.2 电缆终端和接头的绝缘特性应符合下列规定：

1 电缆终端和接头的各种组件、部件和材料应在满足设计工艺要求下便于现场安装；电缆附件在绝缘结构上应与电缆本体结合成不可分割的整体。

2 电缆终端外绝缘的统一爬电比距应根据污秽等级选择，计算电缆终端外绝缘的统一爬电距离时应取系统最高相电压。电缆终端外绝缘的统一爬电比距不应低于表 6.1.2 的规定。

表 6.1.2 电缆终端外绝缘的统一爬电比距 (mm/kV)

污秽等级	统一爬电比距
a	22
b	27.8
c	34.7
d	43.3
e	53.7

3 安装地点海拔超过 1000 m 的电缆终端外绝缘水平应按现行国家标准《绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则》GB/T 311.1 的有关规定进行海拔修正。

4 接头外壳应对地绝缘，外壳绝缘保护盒的绝缘水平与电缆外护套的绝缘水平应一致；绝缘接头在金属屏蔽层断开处的绝缘水平不得低于连接电缆外护套绝缘水平的 2 倍。

6.1.3 电缆终端的机械强度应符合下列规定：

1 电缆终端的抗震设计应满足现行国家标准《电力设施抗震设计规范》GB 50260 的有关规定。

2 与架空线直接连接的电缆终端应能承受 2 kN 的水平拉力。

3 户外布置的电缆终端还应满足使用环境处风压的要求。

6.1.4 直埋于土壤的接头应在外壳绝缘保护盒外加设防护罩，防护罩应具有防腐

能力。防护罩外应采取措施避免保护盒受力。

6.2 终端

6.2.1 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；电缆终端中存在绝缘液体或气体介质时，宜对其设置单独的监测装置。

6.2.2 与 GIS 连接的电缆终端和与油浸式变压器连接的电缆终端宜采用干式电缆终端。

6.2.3 与 GIS 连接的电缆终端应满足下列要求：

1 电缆终端与 GIS 的接口设计及供货范围划分宜满足现行国家标准《额定电压 72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备与充流体及挤包绝缘电力电缆的连接 充流体及干式电缆终端》GB/T 22381 的技术要求，并便于电缆终端施工及检修试验。

2 电缆终端的外壳与 GIS 外壳连接处应有绝缘垫，绝缘垫两侧应沿圆周均布并联保护器，绝缘垫的绝缘水平应与电缆外护套的绝缘水平要求一致。

3 户外布置的电缆终端应设置遮阳防护罩。

6.2.4 与油浸式变压器连接的电缆终端应满足下列要求：

1 电缆终端外壳与变压器外壳连接处应有绝缘垫，绝缘垫两侧应沿圆周均布并联保护器，绝缘垫的绝缘水平应与电缆外护套的绝缘水平要求一致。

2 电缆终端应有防止绝缘油和电缆绝缘介质接触的措施。

6.2.5 与架空线连接的电缆终端应满足下列要求：

1 电缆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应与电缆外护套的绝缘水平要求一致。

2 电缆终端的外绝缘统一爬电比距应满足安装地点污秽、海拔高度等环境条件的要求。

3 330 kV 及以上电缆终端应设屏蔽环，220 kV 电缆终端宜设屏蔽环。

6.3 接头

6.3.1 无运输、敷设条件的限制或金属套保护器的选择限制要求时，电缆不宜设置接头。

6.3.2 电缆接头应根据金属套接地方式选用直通接头或绝缘接头。

6.3.3 接头应满足下列要求：

- 1 接头的电压及其绝缘水平不应低于所连接电缆的电压及其绝缘水平。
- 2 接头的导体应连接良好，导体之间宜采用压接相连。
- 3 接头应有密封性能良好的外壳绝缘保护盒，保护盒外的防护罩应能耐受机械外力。

6.3.4 接头结构型式的选择应满足下列要求：

- 1 接头结构应满足电缆电压等级、绝缘类型、安装环境和设备可靠性要求。
- 2 接头的结构型式可按表 6.3.4 选择。

表 6.3.4 接头的结构型式

电缆绝缘类型	电压等级 (kV)	结构型式	结构特征
XLPE	110~500	整体预制式	主要部件是橡胶预制件，预制件内径与电缆外径要过盈配合，以确保界面间的足够压力
		组合预制式	以预制橡胶应力锥及预制环氧绝缘件在现场组装并采用弹簧机械紧压

7 金属套接地方式和过电压保护

7.1 金属套接地方式的选择

7.1.1 交流单芯电力电缆金属套上应至少在一端直接接地，正常运行时，在任一非接地端的感应电势最大值应符合下列规定：

1 未采取能有效防止人员接触金属的安全措施时，任一非接地端的感应电势不得大于 50 V；超过 50 V 时应采取安全措施。

2 除上述情况外，任一非接地端的感应电势不得大于 300 V。

7.1.2 单点直接接地应满足下列要求：

1 线路较短且符合本规范第 7.1.1 条感应电势规定要求时，应采取一端直接接地（图 7.1.2-1），接地点应设置在线路一端，另一端经过电缆金属套保护器接地。

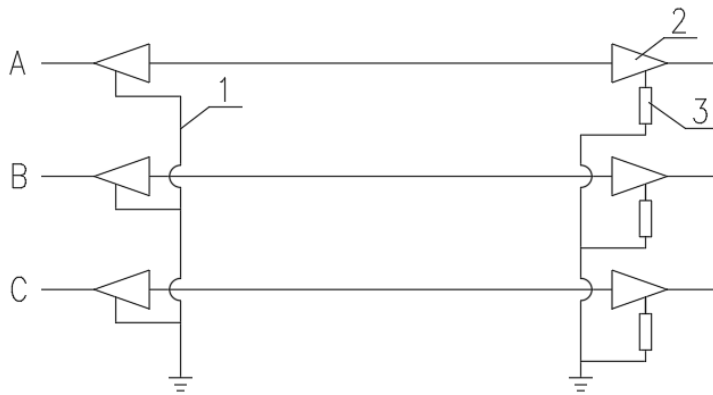


图 7.1.2-1 一端直接接地

1—直接接地；2—电缆终端；3—金属套保护器

2 线路较长，一端单点接地不能满足感应电势规定要求时，应采取中间直接接地（图 7.1.2-2），接地点应设置在电缆线路中间部位，两端经过电缆金属套保护器接地。

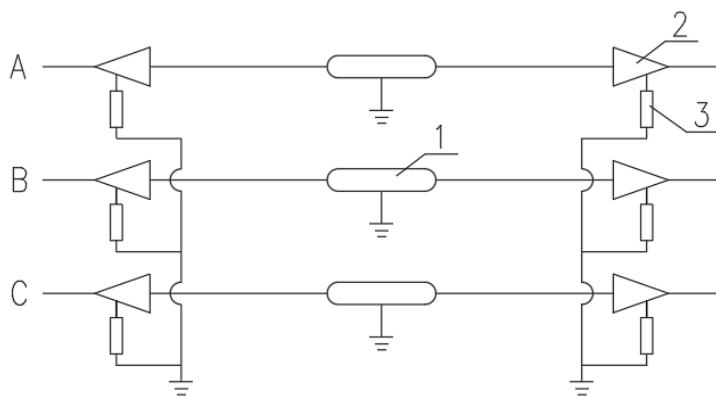


图 7.1.2-2 中间直接接地

1—接头；2—电缆终端；3—金属套保护器

3 电缆金属套的接地点可选择在电缆的任一端，电缆两端所连接的电气设备不同时，接地点应按下列规定选择：

- 1) 电缆一端连接变压器，另一端连接架空线路时，金属套的接地点宜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时，金属套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，另一端连接变压器时，金属套的接地点宜设在电缆与 GIS 连接的一端，并三相互联接地。

7.1.3 电缆线路较长，采用一点直接接地方式不能满足感应电压规定要求时，应采用交叉互联接地（图 7.1.3）方式。电缆线路全长宜等分成 3 的倍数段，一个互联保护单元段长差不宜超过 50 m；相邻两段的金属套应进行交叉互联，在电缆两端金属套三相互联接地，电缆金属套分隔应采用绝缘接头。分段长度应使金属套上任一点的感应电势不超过本规范第 7.1.1 条的要求。

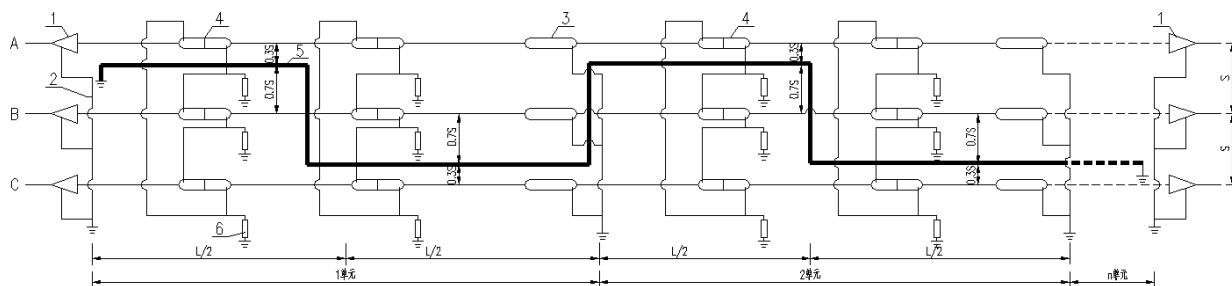


图 7.1.3 交叉互联接地

1—电缆终端；2—直接接地；3—接头；4—绝缘接头；

5—回流线；6—金属套保护器

7.2 金属套感应电压

7.2.1 金属套感应电压的计算应符合现行国家标准《电力工程电缆设计标准》GB 50217 的规定。

7.2.2 计算电缆金属套的工频过电压时宜按“三七开”布置回流线。

7.2.3 电缆金属套交叉互联且两端直接接地时，金属套的感应电压可只计算一个分段。

7.2.4 电缆金属套不直接接地端应装设金属套保护器。

7.2.5 金属套绝缘承受的雷电冲击过电压值可按下式计算：

$$U_F = U_b + I_m \left(\frac{1}{2} R_c + R_L L \right) \quad (7.2.5)$$

式中： U_F ——金属套绝缘承受的雷电冲击过电压（kV）；

U_b ——金属套保护器的残压（kV）；

I_m ——通过金属套保护器的最大雷电流幅值（kA）；

R_c ——金属套保护器与地网连接的冲击接地电阻（ Ω ），一般取 2Ω ；

R_L ——金属套保护器连接线冲击电感的等值电阻（ Ω/m ），对 110 kV~220 kV 电缆可取 $0.337 \Omega/m$ ，330 kV 电缆可取 $0.62 \Omega/m$ ，500 kV 电缆可取 $0.818 \Omega/m$ ；

L ——金属套保护器连接线的长度 (m)，可取 2.5 m。

7.2.6 金属套绝缘承受的雷电冲击过电压值和操作冲击过电压值的工程详细计算宜采用计算机仿真计算。

7.3 回流线

7.3.1 110 kV 及以上电缆金属套一端直接接地时，下列任一情况下，应沿电缆邻近设置回流线：

1 系统短路时电缆金属套产生的工频感应电压超过电缆护层绝缘耐受强度或金属套保护器的工频耐压。

2 需要抑制电缆对邻近弱电线路的电气干扰强度。

7.3.2 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套工频感应过电压，并应使其截面满足最大不对称短路电流作用下的热稳定要求，短时耐受电流持续时间按照本规范第 3.1.8 条的规定选取。

2 回流线的排列配置方式宜采用“三七开”布置方式，当安装布置困难时，可采用双曲线上对称点敷设。

3 回流线宜采用铜芯电缆，其绝缘等级应根据感应电压计算结果与电缆金属套绝缘相匹配，宜采用 10 kV 电缆。

7.4 金属套保护器

7.4.1 金属套保护器应符合下列规定：

1 在可能的最大冲击电流作用下，电缆外护套的冲击耐压水平与金属套保护器的残压之间的配合系数不应小于 1.4，并应校核金属套上的冲击感应电压与外护套的冲击耐压水平的绝缘裕度。

2 在任何条件下金属套工频过电压应低于外护套绝缘工频耐受电压，安全系数可取 1.2。最大工频感应过电压作用下，在可能长的切除故障时间内，金属套保护器应能耐受。切除故障时间应按 2 s 计算。

- 3 可能最大冲击电流累积作用 20 次后，金属套保护器不应损坏。
- 4 金属套保护器的残工比宜选择在 2.0~3.0。
- 5 金属套保护器应选用氧化物保护器，并配有动作记录器。

7.4.2 金属套保护器的性能参数应符合绝缘配合的要求。

7.4.3 金属套保护器的配置连接应满足下列要求：

1 金属套保护器配置方式应按冲击过电压抑制效果、满足工频感应过电压下参数匹配、便于检查维护等因素综合确定，宜采用金属套一端接地、另一端三相金属套保护器按 Y_0 连接的方式。

2 金属套保护器连接回路应满足下列要求：

- 1) 连接线应尽量短，宜采用同轴电缆，其截面应满足系统最大不对称短路电流通过时的热稳定要求。
- 2) 连接回路的绝缘导线的绝缘性能不应低于电缆外护层绝缘水平。
- 3) 金属套直接接地箱和保护器接地箱的材质及其防护等级应满足其使用环境的要求。

8 辅助设施

8.1 电缆夹具

8.1.1 固定电缆的夹具宜采用铝合金制作，也可采用非磁性不锈钢材料制作，其机械强度应承受回路短路电动力的作用；夹具表面应光滑无尖角和毛刺，安装简便。

8.1.2 电缆夹具与电缆间应加氯丁橡胶或其他合成材料做的绝缘垫层，垫层厚度不宜小于 5 mm。

8.1.3 夹具安装时应采用力矩扳手紧固。

8.1.4 捆绑悬吊敷设电缆所用尼龙带具的机械强度应满足电缆悬吊的荷重要求。

8.2 电缆支架

8.2.1 电缆支架、悬吊式敷设电缆的吊具和悬臂支架梁的机械强度，应满足电缆及其固定件的全部荷重和安装维修临时附加的荷重要求，安装维修临时附加的荷重应主要包括安装时的纵向拉力、电缆传输装置重量和人体重量。

8.2.2 电缆支架表面应光滑无尖角和毛刺。

8.2.3 电缆支架应采取防腐措施并可靠接地。

8.2.4 电缆支架应符合工程防火和防腐蚀要求，宜采用热浸镀锌型钢制成。构成闭合磁路时，支架应采用非磁性材料隔断。

8.2.5 刚性固定电缆的支架固定在构筑物上时，电缆及支架均不应产生位移。

8.2.6 挠性固定电缆的支架固定在构筑物上时，支架不应产生位移，电缆可在电缆轴向和径向上偏移。

8.3 电缆终端支架

8.3.1 电缆终端支架高度和间距的设计应符合下列规定：

- 1 户外电缆终端底座垂直于地面的安装高度不应小于 2.5 m。

- 2 电缆终端支架的设计应满足电缆弯曲半径的要求，并便于终端安装。
- 8.3.2** 电缆终端支架应能支撑终端的全部荷重和安装维修临时附加的荷重，并应符合本规范第 6.1.3 条的要求；钢结构构件设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。
- 8.3.3** 电缆终端支架的材料和结构应满足下列要求：
- 1 电缆终端支架应符合防腐要求，宜采用热浸镀锌型钢制成。
 - 2 钢结构支架不宜围绕电缆构成闭合磁路，否则应采用非磁性材料隔断闭合磁路。
 - 3 电缆终端支架应与接地网可靠连接。

8.4 电缆在线监测装置

- 8.4.1** 220kV 及以上电缆宜装设分布式光纤测温在线监测装置。
- 8.4.2** 500kV 电缆终端和接头可装设局部放电监测装置。
- 8.4.3** 接地箱处宜装设多点接地在线监测装置。
- 8.4.4** 空气终端中存在绝缘填充油或气体介质时，宜对其设置单独的监测装置。

9 布置及敷设

9.1 一般规定

9.1.1 电缆路径选择应符合下列要求：

- 1 电缆路径应避免电缆遭受机械外力、振动、水浸泡、腐蚀等损害。
- 2 电缆路径应便于电缆的敷设与维护。
- 3 电缆路径应避免易燃、易爆的场所。
- 4 电缆路径中宜在两端各预留重新制作一个终端所需长度的电缆。

9.1.2 电缆路径应满足电缆允许弯曲半径的要求；电缆敷设时的允许弯曲半径可按电缆外径的 20 倍计，电缆安装后的允许弯曲半径可按电缆外径的 15 倍计。

9.1.3 电缆不应与供热管道布置在同一构筑物中。

9.1.4 厂区内电缆根据工程条件可敷设于隧道、竖井或斜井内，条件受限制时也可敷设于电缆沟内，但不宜采用直埋敷设。

9.1.5 电缆在与厂区道路或铁路交叉时应敷设于保护管中或隧道内；保护管的内径不宜小于电缆外径的 1.5 倍，长度应在道路或铁路宽度的两端各伸出 2 m，保护管管顶距道路路面或铁路路基不应小于 1 m。

9.1.6 未呈品字形布置的单芯电力电缆，有两回及以上布置在同一通道时，电缆工程设计应计入相互影响。

9.1.7 电缆的布置应留有试验场地。

9.2 电缆布置

9.2.1 敷设在同一隧道、斜井或竖井内的电缆回路数不宜超过 4 回。

9.2.2 电缆隧道、斜井的净高不应小于 2000 mm，电缆两侧布置时通道净宽不应小于 1000 mm，电缆单侧布置时通道净宽不应小于 900 mm。

9.2.3 110 kV~220 kV 电缆支架或吊架的层间距离不宜小于 350 mm；330 kV 及以上电缆支架或吊架的层间距离不宜小于 400 mm；水平敷设时最上层电缆支架

距建筑物顶板或梁底的净距不宜小于 500 mm，最下层支架距地坪不应小于 150 mm。

9.2.4 电缆竖井中应设置供人上下的活动空间，高差超过 5 m 时宜设楼梯，且每隔 3m 左右宜设有楼梯平台；高差超过 20 m 且电缆回路数在 2 回及以上时可增设电梯。

9.2.5 电缆隧道、竖井和斜井应采取防渗漏水和防外部进水的措施，并设置排水设施，隧道底部沿纵向宜设泄水边沟。

9.2.6 电缆斜井的倾斜角不宜超过 35°。

9.3 终端和接头布置

9.3.1 电缆终端布置应满足下列要求：

- 1 支撑电缆终端的支架应能方便电缆穿入和电缆终端及其附件的吊装。
- 2 底座绝缘子的设计应能使不吊起终端就能更换绝缘子。
- 3 金属套接地连接箱宜布置在支架上，金属套保护器应布置在接地连接箱内或支架上人不能触及的位置，布置应使同轴电缆连接最短。

9.3.2 电缆接头布置应满足下列要求：

- 1 电缆接头宜设置在水平敷设段。
- 2 电缆接头的布置应三相错开，不得妨碍电缆接头制作，并能方便地吊装就位。
- 3 金属套接地连接箱宜布置在支架上，金属套保护器应布置在接地连接箱内或支架上人不能触及的位置，布置应使同轴电缆连接最短。

9.4 电缆固定

9.4.1 电缆在构筑物明敷时，电缆的固定应满足下列规定：

- 1 紧邻终端、接头或转弯处的电缆应设置不少于 2 处的刚性固定。
- 2 竖井或斜井敷设的电缆顶部宜设置不少于 2 处的刚性固定。
- 3 蛇形敷设电缆的每一周波中应设置不少于 1 个刚性固定，其余宜采用挠性

固定；蛇形转换成直线敷设的过渡部位宜采取刚性固定。

9.4.2 电缆在竖井中敷设时，应采取防止电缆导体与金属套发生相对位移的措施。

9.5 电缆敷设

9.5.1 水平敷设电缆的支架、吊架或挂钩的间距不宜大于 2000 mm；竖井内敷设电缆的支架、吊架或挂钩的间距不宜大于 3000 mm。

9.5.2 蛇形敷设的电缆采用挠性固定时，蛇形敷设参数的选择应使电缆因温度变化所产生的轴向热应力无损电缆绝缘，不致因长期运行使金属套产生疲劳断裂；蛇形节距和初始蛇形幅值应要求制造厂根据工程条件计算。

10 防火

10.0.1 110kV~500kV 电缆与动力或控制电缆敷设在同一电缆通道、廊道或沟道内时，应在 110kV~500kV 电缆与动力或控制电缆间设置防火隔板。

10.0.2 电缆穿越楼板、地板、隔墙、竖井上下两端时，电缆通道、廊道或沟道的进出口、分支处以及电缆孔洞应采用耐火极限不低于 1h 的不燃材料封堵。

10.0.3 电缆防火分隔的设置应符合下列规定：

1 电缆通道、廊道或沟道的进出口及分支处、长距离电缆廊道和电缆沟每 60m 处宜设一个防火分隔。

2 防火墙应采用耐火极限不应低于 1h 的不燃材料制作。

3 防火分隔上的门应为丙级防火门；不设防火门时，防火分隔两侧各 1m 的电缆区段上应有防止串火的措施。

10.0.4 电缆竖井的防火封堵应符合下列要求：

1 电缆竖井上、下两端，进出电缆的孔口处及电缆竖井的每一楼层处应进行防火封堵。

2 同一井道内敷设两回路及以上电缆时，不同回路之间应采用防火隔板分隔。

3 竖井内设有水喷雾、细水喷雾灭火设施时，竖井内的防火封堵可不受本条第 1、2 款要求的限制。

4 电缆竖井应采用耐火极限不低于 1h 的不燃材料封堵，封堵层应能承受巡检人员的荷载，活动人孔可采用承重型防火隔板制作。

10.0.5 电缆支架不应采用易燃材料制作，支架的设计应考虑防火隔板的安装。

11 试验

11.0.1 电缆及其附件的试验应符合现行国家标准《额定电压 110 kV ($U_m=126$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 1 部分：试验方法和要求》GB/T 11017.1、《额定电压 110 kV ($U_m=126$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 2 部分：电缆》GB/T 11017.2、《额定电压 110 kV ($U_m=126$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 3 部分：电缆附件》GB/T 11017.3、《额定电压 220 kV ($U_m=252$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 1 部分：试验方法和要求》GB/T 18890.1、《额定电压 220 kV ($U_m=252$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 2 部分：电缆》GB/T 18890.2、《额定电压 220 kV ($U_m=252$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 3 部分：电缆附件》GB/T 18890.3、《额定电压 500 kV ($U_m=550$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 1 部分：额定电压 500 kV ($U_m=550$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 试验方法和要求》GB/T 22078.1、《额定电压 500 kV ($U_m=550$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 2 部分：额定电压 500 kV ($U_m=550$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆》GB/T 22078.2 和《额定电压 500 kV ($U_m=550$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 3 部分：额定电压 500kV ($U_m=550$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆附件》GB/T 22078.3 的相关规定。

11.0.2 110 kV 及以上的电缆应进行型式试验，220 kV 及以上的电缆应进行预鉴定试验。

11.0.3 500 kV 电缆现场交流耐压试验应符合下列规定：

1 现场 500 kV 电缆绝缘交流电压试验的电压波形应基本为正弦波形，频率应为 20 Hz~300 Hz。

2 根据实际试验条件，500 kV 电缆施加 320 kV 或 493 kV ($1.7 U_0$) 交流电压时，试验施加时间不应小于 1 h；施加 290 kV (U_0) 交流电压时，试验施加时间不应小于 24 h；500 kV 电缆绝缘试验宜采用施加 $1.7 U_0$ 交流电压，时间为 1 h 的试验条件。

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：

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：

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：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 《电力工程电缆设计标准》 GB 50217
- 《电力设施抗震设计规范》 GB 50260
- 《水电工程设计防火规范》 GB 50872
- 《绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则》 GB/T 311.1
- 《电缆外护层 第1部分：总则》 GB/T 2952.1
- 《电缆外护层 第2部分：金属套电缆外护层》 GB/T 2952.2
- 《电缆外护层 第3部分：非金属套电缆通用外护层》 GB/T 2952.3
- 《额定电压 110kV (Um=126kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第1部分：试验方法和要求》 GB/T 11017.1
- 《额定电压 110kV (Um=126kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第2部分：电缆》 GB/T 11017.2
- 《额定电压 110kV (Um=126kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第3部分：电缆附件》 GB/T 11017.3
- 《单根电线电缆燃烧试验方法 第2部分：水平燃烧试验》 GB/T 12666.2
- 《额定电压 220kV (Um=252kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第1部分：试验方法和要求》 GB/T 18890.1
- 《额定电压 220kV (Um=252kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第2部分：电缆》 GB/T 18890.2
- 《额定电压 220kV (Um=252kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第3部分：电缆附件》 GB/T 18890.3
- 《额定电压 500kV (Um=550kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第1部分：额定电压 500kV (Um=550kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 试验方法和要求》 GB/T 22078.1
- 《额定电压 500kV (Um=550kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第2部分：额定电压 500kV (Um=550kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆》 GB/T 22078.2
- 《额定电压 500kV (Um=550kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第3部分：额定电压 500kV (Um=550kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆附件》 GB/T 22078.3

《额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备与充流体及挤包绝缘电力
电缆的连接 充流体及干式电缆终端》 GB/T 22381

中华人民共和国能源行业标准

水力发电厂交流 110 kV~500 kV 电力 电缆工程设计规范

NB/T 10498-2021

代替 **DL/T 5228-2005**

条文说明

修订说明

《水力发电厂交流110kV~500kV电力电缆工程设计规范》NB/T 10498-2021，经国家能源局2021年1月7日以第1号公告批准发布。

本规范是在《水力发电厂交流110kV~500kV电力电缆工程设计规范》（DL/T 5228-2005）的基础上修订而成的，上一版的主要起草单位是中国水电顾问集团水电水利规划设计总院、中国水电顾问集团华东勘测设计研究院、中国水电顾问集团成都勘测设计研究院、中国水电顾问集团中南勘测设计研究院，主要起草人员是李定中、余国铨、吴嘉泰、杨瑞棠、李宁君。

本规范修订过程中，编制组进行了广泛调查、深入研究，总结了近年来水力发电厂交流110 kV~500 kV电力电缆工程设计中的实践经验，吸收了水力发电厂高压电缆设计研究等方面所取得的科技成果。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《水力发电厂交流110 kV~500 kV电力电缆工程设计规范》编写组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

2	术语和符号	34
2.2	符号	34
3	使用条件.....	35
3.1	运行条件	35
3.2	敷设条件	35
4	主要技术参数选择	37
4.1	电压	37
4.2	导体截面	37
4.3	绝缘水平	37
5	型式与结构.....	39
5.1	型式	39
5.2	导体	39
5.3	绝缘层	39
5.5	缓冲层	41
5.6	金属套	41
5.7	外护套	42
6	终端和接头.....	43
6.1	一般规定	43
6.2	终端	43
6.3	接头	44
7	金属套接地方式和过电压保护	45
7.1	金属套接地方式的选择	45
7.2	金属套感应电压	46
7.3	回流线	47
7.4	金属套保护器	48
8	辅助设施.....	51
8.1	电缆夹具	51
8.3	电缆终端支架	51
8.4	电缆在线监测装置	51

9	布置及敷设	52
9.1	一般规定	52
9.2	电缆布置	52
9.3	终端和接头布置	52
9.4	电缆固定	53
9.5	电缆敷设	53
10	防火	54
11	试验	55

2 术语和符号

2.2 符号

原规范第 4.0.1 条修改条文，新增 U_{p1} 和 U_{p2} 符号说明。

电缆和其附件的电压值通常是指在设计电缆及其附件时采用的电压值，也即 U_0 、 U 、 U_m 、 U_{p1} 和 U_{p2} 。

U_0 是设计电缆及其附件时每一导体与绝缘屏蔽层或金属套之间的额定工频电压（有效值），各有关规范规定基本相同。

根据现行行业标准《高压电缆选用导则》DL/T 401-2017 规定 U_p 分为 U_{p1} 与 U_{p2} 。按现行国家标准《绝缘配合第 1 部分：定义、原则和规则》GB/T 311.1-2012 选取超高压电器设备的绝缘水平时，要考虑操作冲击和雷电冲击作用电压。 U_{p1} 即是现行国际标准《Guidance for the selection of high-voltage A.C. cable systems》IEC 60183-2015 规定的 U_p ，而 U_{p2} 则是指设计电缆及其附件时采用的每一导体与绝缘屏蔽层或金属套之间的操作冲击耐受电压（峰值）。

3 使用条件

3.1 运行条件

3.1.1 原规范第 5.1.1 条修改条文。采用现行国家标准《标准电压》GB/T 156-2017 第 3.4、3.5 节，取消 245 kV 最高电压。

3.1.4 有效接地方式包括直接接地和经小阻抗接地两种方式。

3.1.5 新增条文。规定了电缆及附件应满足使用地点和环境影响的要求。

3.1.6 原规范第 5.1.6 条的保留条文。参照现行国际标准《Guidance for the selection of high-voltage A.C. cable system》IEC 60183-2015 的第 4.1 章编写，由于水电厂高压电缆出线不存在周期运行方式，故不考虑此工况。

持续运行、事故紧急运行及过负荷运行工况的最大电流值是指电缆达到热平衡的最大持续运行电流值。

3.1.7 原规范第 5.1.7 条的保留条文。明确规定短路电流必须按照电缆工程所在的电力系统远景发展规划进行计算，同时规定短路点按偏严重情况均选在电缆回路首端计算。

3.1.8 原规范第 5.1.8 条的修改条文。110 kV 及以上电力电缆均为单芯，本身发生相间短路机率极少，但考虑到其连接的其他电器仍可能发生短路，流过相应短路电流，同时考虑到短路持续时间的长短对电缆造价影响不很大，以及每一回路各电气设备的校验时间应尽可能一致，所以按断路器标准的持续时间制订。《气体绝缘金属封闭开关设备技术条件》DL/T 617-2010 第 5.8 条和《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》DL/T 593-2016 第 4.8 条规定，126 kV~363 kV 断路器短路持续时间为 3 s，550 kV 断路器短路持续时间为 2 s。

3.2 敷设条件

3.2.1 原规范第 5.2.1 条的修改条文。特殊敷设方式是指电缆水下敷设或垂直长电缆中段需设置猫耳洞土建结构的敷设等。

3.2.2 新增条文。根据现行行业标准《城市电力电缆线路设计技术规定》DL/T

5221-2016 的第 5.3.3 条新增敷设环境温度选取的表格。

4 主要技术参数选择

4.1 电压

原规范第 6.0.2 条和 6.0.3 条的修改条文。

现行国家标准《额定电压 500 kV ($U_m=550$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件第 2 部分》GB/T 22078.2-2008 和现行国际标准《Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV ($U_m=170$ kV) up to 500 kV ($U_m=559$ kV) -Test methods and requirements》IEC 62067-2011 中, 500kV 电缆的最高电压 U_m 为 550 kV, U_0 为 290 kV。本规范中 500 kV 电缆的 U_0 值由 300 kV 修改为 290 kV。

4.2 导体截面

4.2.1 原规范第 7.0.3 条及附录 A 的修改条文。

鉴于 110 kV 及以上电缆载流量计算比较复杂, 需要制造厂根据其结构和材料确定多个系数后方能进行。为了使用方便, 提供了有关计算方法做参考。一般工程设计也可以直接从制造厂提供的载流量表选取。

4.2.2 新增条文, 增加电缆导体截面的要求。

4.2.4 原规范第 7.0.3 条的修改条文。

新增各电压等级电缆的推荐最小截面值。同时在进行导体最小截面选择时, 还考虑了电场强度的影响。

4.3 绝缘水平

4.3.1 原规范第 6.0.4 条的修改条文。

根据目前电缆的实际制造情况, 删除了原规范中“电缆的绝缘水平比相连接的电器设备的绝缘水平提高一级”的要求。

330 kV 及以上电缆及其终端和接头进行过电压计算并校核绝缘配合时建议

综合考虑线路的冲击绝缘水平、系统保护水平、避雷器的保护特性、架空线路和电缆线路的波阻抗、电缆长度及雷击点离终端的距离等因素。

4.3.3 原规范第 6.0.5 条的修改条文。

雷电冲击耐受电压参照现行国际标准《Impulse tests on cables and their accessories》IEC 60230-2018 制订；工频耐受电压则委托武汉水利电力大学进行试验。试验结果直流电压可耐受 30 kV，交流电压可耐受 25 kV，而不会闪络或击穿，试验结论如下：

(1) 目前国内外厂家生产高压 XLPE 电缆，护套绝缘材料大多采用 PE 聚乙烯，通过这次交直流电压试验表明其绝缘水平是较高的，直流电压可以耐受 30 kV，交流电压可以耐受 25 kV 而不会发生闪络或击穿。

(2) 现行国际标准《Electric cables - Tests on extruded oversheaths with a special protective function》IEC 60229-2007 规定护套标称厚度每毫米施加直流电压 8 kV、历时 1 min 而不击穿，最高试验电压为 25 kV（直流）。以 110 kV 和 220 kV 电缆为例，一般护套绝缘厚度为 5 mm，因此规定工频耐受电压为 25 kV 裕度仍较大。

(3) 550 kV 电缆的直流耐压根据现行国家标准《额定电压 500 kV (Um=550 kV)交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件第 1 部分：试验方法和要求》GB/T 22078.1-2008 修订。

5 型式与结构

5.1 型式

5.1.1 原规范第 7.0.1 和 7.0.2 条的修改条文。

鉴于充油电缆有火灾危险，敷设高差也有限制，法国 EDF 标准已规定在 400 kV 不再使用充油电缆。新建的电力电缆工程基本也不再采用充油电缆，故本规范取消了充油电缆的相关内容。

低密度聚乙烯电缆近年已不发展，交联聚乙烯绝缘电缆是发展方向。对于新建工程项目建议采用交联聚乙烯绝缘电缆，对于改造项目如确需保持与原电缆一致建议采用低密度聚乙烯电缆。

电缆型式建议根据工程所在地区的环境及敷设条件、运行维护经验、防火及环保要求等，通过技术经济比较选用。地下工程、高落差场所等建议优先采用交联聚乙烯电缆。

5.1.2 根据制造厂技术特点或敷设环境，XLPE 电缆还可以包括纵向阻水层和金属屏蔽层。

5.2 导体

5.2.1 原规范第 7.0.3 条的保留条文。

根据现行国家标准《电力工程电缆设计标准》GB 50217-2018 第 3.1 节，电力电缆导体推荐采用铜导体。国外制造商认为铜芯、铝芯各有优缺点，小截面（1000 mm² 以下）、高落差可用铝芯。但考虑到国内没有运行经验，所以只将该规定改为宜用铜材。

5.3 绝缘层

5.3.1 原规范第 8.2.3 条的修改条文。

调查表明，超高压挤包绝缘电缆的击穿事故中有 74% 是绝缘内部的杂质引

起的，有 26% 是屏蔽层的凸起引起。为保证金属屏蔽层平滑，因此电缆的导体屏蔽层、绝缘和绝缘屏蔽层应一次共挤成型。根据有关资料，在这一工艺采用之前，电缆的工频、冲击平均击穿场强分别为 20 kV/mm 和 50 kV/mm，在采用后分别提高到 25 kV/mm 和 60 kV/mm，而现在已提高到 40 kV/mm 和 80 kV/mm。

XLPE 电缆绝缘的成型工艺有使用水蒸气作介质的湿法交联、氮气、硅油、长承模和辐照等的干法交联。事实表明，干法交联生产的绝缘在杂质、微孔和水分含量上都比湿法交联生产的绝缘好，适合高压和超高压挤包绝缘电缆。

5.3.2 原规范第 8.2.3 条的保留条文。

目前还没有形成一部国际公认的高压和超高压挤包绝缘电缆设计标准。因此，无论是电缆的设计理论，还是绝缘厚度、最大电场强度等电缆重要参数的取值，各电缆生产厂家很不一致。例如，日本用平均电场强度设计绝缘厚度，法国用最大电场强度设计绝缘厚度，而美国直接规定绝缘厚度。根据目前国内设计工程和电缆厂生产经验，如下表 5-1 所示，我国不仅考虑工频耐压和雷电冲击耐压水平，还需满足表 5.3.2 电缆绝缘标称厚度的要求。

表 5-1 国内设计工程或生产采用交联聚乙烯挤包绝缘电缆绝缘标称厚度 (mm)

电缆截面	110 kV	220 kV	330 kV	500 kV	备注
240 mm ²	19	—	—	—	电缆厂提供，未收集到业绩
300 mm ²	18.5	24.3	—	—	缅甸 BL 电站
400 mm ²	17.5	27	—	—	西藏 DB、重庆 LZB、YCH、QX、厄瓜多尔 MNS、LD、PT、LZG 技改、QQ 电站
500 mm ²	17	—	—	—	—
630 mm ²	16.5	26	—	—	海南 QZCX 电站
800 mm ²	16	24/25	—	30~35	XLD/MMY 一级/MLT 二期； TC/PL/HZY/WD/GPT/WNL/QY/FM/CHB/GD/ PBG 等电站
1000 mm ²	16	24	—	30~34	SYZ/SL 电站； XSJ/XW/CLS/XJB/HJP/DGS 电站
1200 mm ²	16	24.2	—	—	MW 电站
1600 mm ²	25	—	28.4	34.2/31.5	厄瓜多尔 CCS 水电站，广州 XN 电站 A 厂技改
2000 mm ²	—	—	—	—	—
2500 mm ²	—	24	—	—	深圳 XN 电站
最小	16	24	28.4	30	—

5.3.3 原规范第 8.2.3 条的修改条文。

本条参照国家电网公司企业标准《10(6) kV~500 kV 电缆技术标准》Q/GDW 371-2009 的第 4.2.2.3 条对绝缘厚度平均值、最小厚度和偏心度进行要求。

5.3.4 原规范第 8.2.3 条的修改条文。

本条参照国家电网公司企业标准《10(6) kV~500 kV 电缆技术标准》Q/GDW 371-2009 的第 4.2.2.4 条对绝缘层及绝缘层界面的微孔、杂质与凸起的限值进行要求。

5.5 缓冲层

5.5.1 原规范第 8.2.5 条的修改条文。

XLPE 电缆在额定工作温度（90℃）时，绝缘受热膨胀，厚度比在常温（20℃）时增大 1 mm~2 mm，因此 XLPE 电缆应有缓冲层进行补偿，不致发生绝缘变形而损坏电缆。

5.5.2 新增条文。

根据国内电缆运行经验，提出此要求。若绝缘屏蔽层与金属套接触不良，会造成缓冲层烧蚀。

5.6 金属套

5.6.2 原规范第 8.2.7 条的修改条文。

1 除选用皱纹铝套或平滑铝套外，还可以根据工程实际条件选用其他型式的金属套。

2 铅套的耐腐蚀性较强，适用于腐蚀性较强或水下场所。

铝或铜塑复合套重量较轻，不能承受过大的拉力，仅适用于水平敷设条件。当电缆载流量特别大，为减少金属套的损耗，电缆金属套可以采用不锈钢或铜套。

5.6.3 原规范第 8.2.7 条的修改条文。

参照现行行业标准《高压电缆选用导则》DL/T 401-2017 的有关规定编制。

5.7 外护套

5.7.1 原规范第 8.2.8 条的修改条文。

聚乙烯耐低温、耐磨和阻水能力强于聚氯乙烯。因此，对直埋、穿管，地下水位较高和低温下敷设的电缆，宜采用聚乙烯外护套。

5.7.2 原规范第 8.2.8 条的修改条文。

如不作特殊要求，则电缆外护套具有一定的阻燃性。根据电缆的敷设条件和重要程度，有条件情况下尽量选用防火性能更好的外护套。

5.7.3 原规范第 8.2.8 条的修改条文。导电层是为了方便电缆的电气试验。

5.7.4 原规范第 8.2.8 条的修改条文。

外护套的误差要求与现行国际标准《Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m=36$ kV) up to 150 kV ($U_m=170$ kV) - Test methods and requirements》IEC 60840-2011 和《Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV ($U_m=170$ kV) up to 500 kV ($U_m=559$ kV) - Test methods and requirements》IEC 62067-2011 标准一致。

5.7.6 原规范第 8.2.8 条的修改条文。

高落差敷设的挤包绝缘电缆，多数没有铠装层，这是因为电缆本体较轻并采用蛇形布置，使电缆的受力大大减小。只有在电缆易受机械损伤的情况下，电缆才应有铠装层。

6 终端和接头

6.1 一般规定

6.1.1 新增条文。增加电缆终端和接头的电压要求。

6.1.2 原规范第 5.1.5 条的修改条文。

1 新增条文。提出电缆终端和接头、电缆附件进行选择时应考虑的因素。

2 电缆终端外绝缘统一爬电比距按照现行国家标准《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 2 部分：交流系统用瓷和玻璃绝缘子》GB/T 26218.2-2010 修订。

6.1.3 新增条文。增加电缆终端的抗震设计、机械强度的要求。

6.1.4 新增条文。由于外壳绝缘保护壳不应承受外力，防护罩外需要采取措施避免保护盒受力。

6.2 终端

6.2.1 原规范 9.1.2 第 4 条的修改条文。

因为要避免绝缘油对 XLPE 电缆的损害，引起绝缘劣化，所以要求电缆终端绝缘填充剂应采用像硅油等对挤包绝缘和应力锥无害的材料；GIS 气体如渗入绝缘油中，引起油中的含气量增加，绝缘油性能劣化，所以应防止相互渗透。

电缆终端存在绝缘填充绝缘油或气体时，为保证电缆终端绝缘运行可靠并不受相连其他设备故障的影响，电缆终端应设置单独的绝缘液体或 SF₆ 气体监测装置。

6.2.2 新增条文。

根据近年来新材料、新技术的发展情况，结合设备制造和工程实际应用的情况，增加了本条规定。

6.2.3 原规范第 9.1.2 条的修改条文。

1 电缆终端与 GIS 的接口设计及供货范围划分根据现行国家标准《额定电

压 72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备与充流体及挤包绝缘电力电缆的连接充流体及干式电缆终端》GB/T 22381-2017 执行。

2 绝缘垫的主要作用是防止电缆金属套通过 GIS/变压器/外壳接地，从而破坏了电缆金属套的接地系统，并防止 GIS/变压器/外壳上的感应电流或短路电流进入电缆金属套，造成电缆发热损坏。金属套保护器的作用是防止绝缘垫两边的电位差过高而造成绝缘垫击穿。

3 新增户外布置电缆终端的要求。

6.2.5 原规范第 9.1.4 条的修改条文。

1 底座绝缘子使终端底座与终端支架相互绝缘，防止电缆的金属套发生多点接地。

3 增加电缆终端防晕罩或屏蔽环的要求。

6.3 接头

6.3.3 原规范第 9.2.1 条的修改条文。

1 考虑到电缆接头相对电缆本体故障率更高，价格更贵，所以规定其绝缘水平应等于或高于所连接电缆的绝缘水平。

3 接头布置在空气中时外壳绝缘保护盒外加绝缘防护罩。

6.3.4 新增条文。增加电缆接头结构型式选择的规定。

7 金属套接地方式和过电压保护

7.1 金属套接地方式的选择

7.1.1 原规范第 11.6.2 条的修改条文。按照现行国家标准《电力工程电缆设计规范》GB 50217-2018 第 4.1.11 条要求，增加金属套上感应电压最大值的要求。

7.1.2 原规范第 11.1.1 和 11.2 条的合并修改条文。

对于金属套一点直接接地的情况，分为两种，即 1) 线路不长，一端接地时感应电压能够满足要求的情况和 2) 线路较长，一端接地时感应电压不能够满足要求，需要加装接头，并且在两端电缆头处采用一端接地方式的情况。最普遍采用的是电缆金属套一端直接接地，另一端通过金属套保护器接地的方式。当雷击架空线路、雷电冲击波进入电缆时，在金属套不接地端会出现 530 kV~1250 kV 的雷电冲击过电压，因此，金属套保护器是保护护套绝缘免遭雷击损坏所必需的。金属套一端接地，还可避免两端接地时在金属套上流过数值为电缆线芯电流 70%~95% 的环流，防止了金属套的功率损耗和发热，因而不会降低电缆载流量。

当电缆金属套感应电压不满足第 7.1.1 条的规定时，需要设置回流线，根据目前收集到的电站设计资料，一般均增设了回流线，常用的方式为图 7-1 和图 7-2。

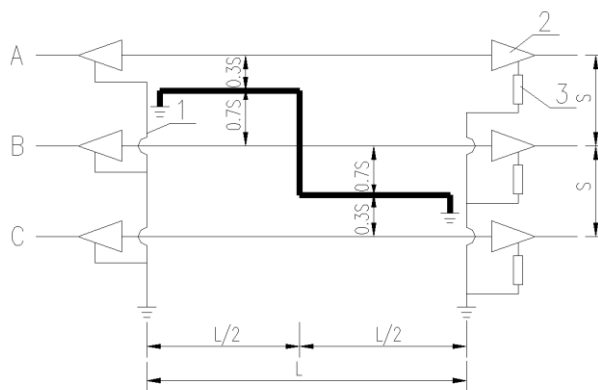


图 7-1 设置回流线的一端直接接地

1—直接接地；2—电缆终端；3—金属套保护器

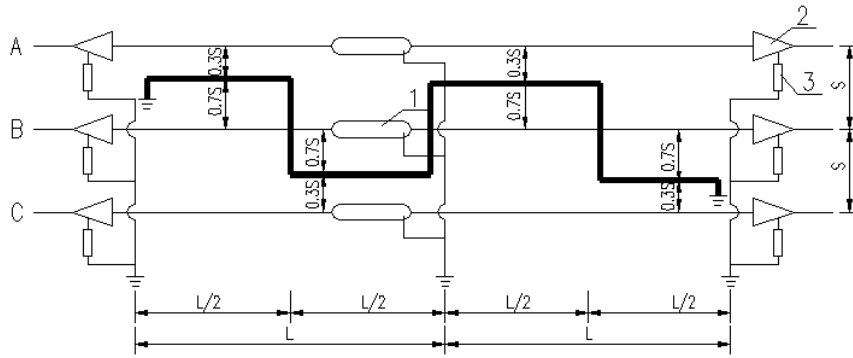


图 7-2 设置回流线的中间直接接地

1—接头；2—电缆终端；3—金属套保护器

电缆金属套的接地点，原则上可选择在电缆的任一端，但考虑到电缆两端连接的电气设备不同，接地点可有不同的选择。这主要是避免有环流通过电缆金属套造成功率损耗和发热，影响电缆的载流量。例如：电缆一端连接 GIS，另一端连接架空线时，为避免 GIS 外壳的环流通过电缆的金属套形成回路，直接接地点宜设在电缆与 GIS 连接的一端，金属套保护器接在电缆与架空线连接的一端，并三相互联接地，当 GIS 的接地网不会使 GIS 外壳与电缆金属套构成回路时，接地点可设在电缆与架空线连接的一端，金属套保护器接在电缆与 GIS 连接的一端。

7.1.3 原规范第 11.1.3 条和第 11.3 条的合并修改条文。

电缆三相金属套交叉互联接地，如本规范图 7.1.3 所示。电缆线路全长分成三等分段或三等分段的倍数，把三相相邻两段的金属套进行交叉互联。这样，在任何情况下，三相电缆金属套两端的电压都相等。正常运行时，电缆金属套两端间感应电压为零（即三段电缆金属套的电压是对称并串联，故其向量和为零）。当电缆通过单相短路电流时，三段电缆金属套的工频过电压也是相等的，其值与分段长度的长度和短路电流值有关。因此，每一分段的长度，要使金属套的感应电压满足本规范第 7.1.1 条的规定。所以，在计算感应电压时，只须计算一个分段即可。若因为实际施工原因，不能完全按照 3 等分，建议尽量减少段长差。

7.2 金属套感应电压

7.2.1 计算中若电缆呈三角形并列或呈直线并列建议按《电力工程电缆设计标准》

GB 50217 中提供的公式计算，若采用其他布置方式建议根据电缆的布置方案采用计算机模拟仿真计算。

7.2.2 原规范第 11.6.1 条的修改条文。

回流电缆在三相电缆之间按“三七开”布置并两端接地，如本规范图 7.1.3 所示，它能有效地降低各相电缆金属套上的工频过电压。因为回流电缆与三相电缆之间的几何均距相接近，在正常运行时，三相电缆对回流电缆的感应电压接近于零，对长电缆在每一个三等分段中其感应电压也接近于零，所以，在回流电缆两端接地时，没有电流和功率损耗。

7.2.3 原规范第 11.6.3 条的保留条文。电缆三相金属套交叉互联接地，如本规范图 7.1.3 所示。电缆线路全长分成三等分段或三等分段的倍数，把三相相邻两端的金属套进行交叉互联。这样，在任何情况下，三相电缆金属套两端的电压都相等。正常运行时，电缆金属套两端间感应电压为零（即三段电缆金属套的电压是对称并串联，故其向量和为零）。当电缆通过单相短路电流时，三相电缆金属套的工频过电压也是相等的，其值与分段长度的长度和短路电流值有关。因此，每一分段的长度，要使金属套的感应电压满足第 7.1.1 条的规定。计算感应电压时，只需计算一个分段即可。

7.2.6 新增条文。金属套绝缘层承受的过电压受到电缆截面、电缆布置方案、回流线的布置方案等参数的影响，不能由单一公式推导，建议制造厂采用计算机仿真计算。

7.3 回流线

7.3.1 原规范第 11.4.1、11.4.2 条合并修改条文。按照现行国家标准《电力工程电缆设计规范》GB 50217-2018 第 4.1.16 条要求规定，增加了回流线的设置条件，回流线的布置方法见本规范第 7.2.2 条。

7.3.2 新增条文。按照现行国家标准《电力工程电缆设计规范》GB 50217-2018 中第 4.1.16 条的要求规定，增加了回流线的选择与设置条件。回流线是单相短路电流流回电源的通路，由于通过的电路方向与电缆线芯的短路电流的方向相反，形成较强的去磁作用，降低了电缆金属套上的感应电压，即工频过电压。金属套

绝缘所承受的工频过电压也降低了，保护了护套绝缘。回流线采用铜芯电缆的电压等级应由金属套所承受的感应电压计算结果决定。回流线的最佳布置方式为“三七开”，但是在工程中由于布置和安装的原因，往往难以完全按照“三七开”布置，此时可采取在双曲线上对称点敷设。要保证回流线电压为零，则要回流线左右布置保证在 $X^2 - Y^2 = \frac{1}{2}$ 的双曲线上和关于坐标原点或 Y 轴对称上即可。

7.4 金属套保护器

7.4.1 原规范第 11.7.1 条的修改条文。按照现行国家标准《电力工程电缆设计规范》GB 50217-2018 中第 4.1.14 条要求规定，增加最大冲击电流作用下金属套保护器的残压不得大于电缆护层的冲击耐压被 1.4 所除数值，将绝缘保护器在最大工频过电压作用下的耐受时间改为 2s，并补充对金属套绝缘裕度校验的要求。

在按照 7.2.2 的规定计算金属套的工频过电压时计算方法如下：电缆护套绝缘承受的工频过电压，应低于护套绝缘允许的工频耐受电压值，其安全系数可取 1.2。这是根据 1999 年在武汉水利电力大学进行“高压单芯电缆护套绝缘试验研究”的结果而推荐的。试验采用 110 kV、220 kV XLPE 电缆和 500 kV 充油电缆作试品，进行了直流耐压、工频交流耐压和雷电冲击耐压试验。试验结果如下：

(1) 110 kV XLPE 电缆 PE 护套绝缘，绝缘厚度为 5 mm，试品长度为 1.5 m。绝缘电阻为 10000 MΩ；直流耐压 30 kV/min，未闪络，125 kV 击穿；交流耐压 25 kV/min，未闪络，80 kV 击穿；雷电冲击 37.5 kV 1.2/50 μs 正负极性各 10 次，未闪络，击穿电压。电缆护套绝缘泄漏试验结果见表 7-1。

表 7-1 电缆护套绝缘泄漏试验结果

U (kV)	10	15	20	25	30
I (μA)	0	1	2	5	10

(2) 220 kV XLPE 电缆 PE 护套绝缘，绝缘厚度 6 mm，试品长度为 1.5 m。绝缘电阻为 10000 MΩ；直流耐压 30 kV/min 未闪络，136 kV 击穿；交流耐压 25 kV/min，未闪络，100 kV 击穿；雷电冲击 47.5 kV 1.2/50 μs 正负极性各 10 次，未闪络，击穿电压。电缆护套绝缘泄漏试验结果见表 7-2。

表 7-2 电缆护套绝缘泄漏试验结果

U (kV)	10	15	20	25	30
I (μ A)	0	1	1	2	5

(3) 500kV充油电缆PVC绝缘，绝缘厚度为5 mm，试品长度为0.6 m（因找不到更长的电缆）。绝缘电阻为10000 M Ω ；直流耐压30 kV/min未闪络；交流耐压22.5 kV，未闪络（因试品太短）；雷电冲击47.5 kV 1.2/50 μ s正极性，闪络（因试品太短，无法继续升压）。电缆护套绝缘泄漏试验结果见表7-3。

表 7-3 电缆护套绝缘泄漏试验结果

U (kV)	10	15	20	25	30
I (μ A)	0	1	1	2	8

从试验结果可得如下结论：对于交流 110 kV~500 kV 电力电缆，其外护套绝缘为 PE、PVC 材料时，护套允许直流耐压值为 30 kV，护套允许交流耐压值为 25 kV。因此，护套绝缘承受工频过电压的安全系数可取为等于或大于 1.2。即：

$$\text{工频过电压值} \leq \frac{\text{护套允许的交流耐压值}}{1.2} = \frac{25\text{kV}}{1.2} \approx 20 \text{ kV}$$

值得注意的是金属套保护器的工频放电电压要大于工频过电压值 20 kV，要小于护套绝缘允许的交流耐压值 25 kV。

如以广州抽水蓄能电站 500 kV 电缆为例：A 相电缆通过单相接地电流 28 kA 时，其护套承受的工频过电压为 2.76 kV，回流电缆的感应电压为 7.24 kV，都小于 20 kV，为控制回流电缆感应电压不超过 20 kV，电缆的长度可由现在的 580 m 延长

到 $\frac{20}{7.24} \times 580\text{m} = 1601\text{m}$ 而不需三相金属套交叉互联接地（否则超过 1000 m 就须

三相护套交叉互联）。这说明：电缆护套绝缘允许交流耐压值提高，使护套承受的工频过电压值也能提高。因而，电缆三相金属套允许交叉互联的每一分段的长度可以增长。

7.4.2 原规范第 11.7.2 条的修改条文。根据工程经验和西安高压电器研究院的研究结果，提供金属套保护器的具体参数供设计时参考选择，具体见表 7-4 和表 7-5。

表 7-4 金属套保护器的性能参数

系统标称电压 U_n / kV	110	110	110	220	330	500
保护器额定电压 U_r / kV	3	3	4	4	8	8
保护器持续运行电压 U_c / kV	2.4	2.4	3.2	3.2	6.4	6.4
标称放电电流 I_n / kA	10	10	10	10	10	20
标称放电电流下残压 U_{res} / kV (不大于)	7.6	7.8	10.3	10.3	19.8	20.2
1mA 直流参考电压 $U_{d.c.ref}$ / kV (不小于)	4.2	4.2	5.7	5.7	11.0	11.2
0.75 倍直流 1mA 参考电压下泄漏电流 / μ A (不大于)	50	50	50	50	50	50
4/10 μ s 大电流冲击耐受电流 / kA	100	100	100	100	100	100
2ms 方波耐受电流 / A	800	800	800	1000	1200	1800

表 7-5 金属套保护器的性能参数

系统标称电压 U_n / kV	110	110	220	330	500
保护器额定电压 U_r / kV	4.6	9.2	4.6	4.6	4.6
保护器持续运行电压 U_c / kV	3.7	7.4	3.7	3.7	3.7
标称放电电流 I_n / kA	10	10	10	10	20
标称放电电流下残压 U_{res} / kV (不大于)	11.7	23.4	11.7	11.7	11.7
1mA 直流参考电压 $U_{d.c.ref}$ / kV (不小于)	6.5	13.0	6.5	6.5	6.5
0.75 倍直流 1mA 参考电压下泄漏电流 / μ A (不大于)	50	50	50	50	50
4/10 μ s 大电流冲击耐受电流 / kA	100	100	100	100	100
额定重复转移电荷 / C	1.2	1.2	1.2	2.0	3.6
额定热能量 / kJ/kV	6	6	6	7	14
工频电压耐受时间特性 / kVrms/s	5/5	10/5	5/5	5/5	5/5

8 辅助设施

8.1 电缆夹具

8.1.1 原规范第 13.2.1 条的修改条文。根据近年工程实践经验得出。

8.3 电缆终端支架

8.3.1 新增条文。室内外配电装置的安全净距的要求参见现行行业标准《高压配电装置设计规范》DL/T 5352-2018。

8.3.2 新增条文。安装维修临时附加的负载建议按 2 kN 考虑。

8.3.3 新增条文。本条主要防止电缆电流较大时造成钢结构支架损耗太大，发热严重。

8.4 电缆在线监测装置

8.4.1~8.4.2 新增条文，电缆终端和电缆的局部温升是反映电缆绝缘性能的重要指标，根据近年多个工程的运行实践经验，建议分布式光纤测温在线监测装置和电缆终端的局部放电量监测。

9 布置及敷设

9.1 一般规定

9.1.1 原规范第 12.1.1 条的修改条文，根据近年工程实践经验，增加“电缆路径中宜在两端各预留重新制作一个终端所需长度的电缆”。

9.1.2 原规范第 12.1.2 条的修改条文。根据近年工程实践经验，对电缆在敷设和安装后的电缆半径做出了区分。

9.1.6 新增条文，根据近年工程实践经验新增，建议考虑电缆布置对电缆阻抗、载流量、温升、感应电压等的影响。

9.1.7 新增条文，根据近年工程实践经验新增。

9.2 电缆布置

9.2.3 新增条文，根据近年工程实践经验新增。

9.2.5 原规范 12.2.4 条的修改条文。并明确增加“竖井”也有同样的要求。

9.3 终端和接头布置

9.3.2 110 kV、220 kV 电缆中间接头的安装建议满足现行行业标准《额定电压 66 kV~220 kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆接头安装规程》DL/T 342-2010 的技术要求。330 kV、500 kV 电缆中间接头的安装建议满足现行国家标准《额定电压 500 kV ($U_m=550$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件第 3 部分：额定电压 500 kV ($U_m=550$ kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆附件》GB/T 22078.3-2008 的技术要求。

9.4 电缆固定

9.4.1 原规范第 12.3.1 条的修改条文。根据近年工程实践经验修改电缆固定方式。

9.5 电缆敷设

9.5.1 原规范第 12.2.6 条的修改条文。根据近年工程实践经验修改水平敷设电缆的支架、吊架或挂钩的间距。

10 防火

10.0.1 新增条文。根据现行国家标准《水电工程设计防火规范》GB 50872-2014 第 9.0.2 条要求新增。

10.0.2 新增条文。根据现行国家标准《水电工程设计防火规范》GB 50872-2014 第 9.0.5、9.0.8 条要求新增。

10.0.3 新增条文。根据现行国家标准《水电工程设计防火规范》GB 50872-2014 第 9.0.6 条及现行行业标准《电力设备典型消防规程》DL 5027-2015 第 10.5.14 条要求新增。

10.0.4 新增条文。根据现行国家标准《水电工程设计防火规范》GB 50872-2014 第 9.0.7 条要求新增。

11 试验

11.0.3 根据国内近年水力发电厂 500 kV 电力电缆试验经验确定，500 kV 电力电缆绝缘交流电压试验宜采用施加 $1.7 U_0$ 交流电压，时间为 1 h 的试验条件。
