

ICS 27.140

P 62

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL/T 781—2020

水利水电工程过电压保护
及绝缘配合设计规范

Specification for design of overvoltage protection
and insulation coordination of water
and hydropower projects

2020-04-15 发布

2020-07-15 实施



中华人民共和国水利部 发布

https://www.sizjxx.com
水利造价信息网

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水利水电工程岩石
试验规程》等4项水利行业标准的公告

2020年第3号

中华人民共和国水利部批准《水利水电工程岩石试验规程》
(SL/T 264—2020)等4项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电工程岩石试验规程	SL/T 264—2020	SL 264—2001	2020.4.15	2020.7.15
2	水工钢闸门和启闭机安全运行规程	SL/T 722—2020	SL 240—1999 SL 722—2015	2020.4.15	2020.7.15
3	水利水电工程过电压保护及绝缘配合设计规程	SL/T 781—2020		2020.4.15	2020.7.15
4	堤防工程安全监测技术规程	SL/T 794—2020		2020.4.15	2020.7.15

水利部

2020年4月15日

http://www.slzjxx.com
水利造价信息网

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水利水电工程岩石
试验规程》等4项水利行业标准的公告

2020年第3号

中华人民共和国水利部批准《水利水电工程岩石试验规程》
(SL/T 264—2020)等4项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电工程岩石试验规程	SL/T 264—2020	SL 264—2001	2020.4.15	2020.7.15
2	水工钢闸门和启闭机安全运行规程	SL/T 722—2020	SL 240—1999 SL 722—2015	2020.4.15	2020.7.15
3	水利水电工程过电压保护及绝缘配合设计规程	SL/T 781—2020		2020.4.15	2020.7.15
4	堤防工程安全监测技术规程	SL/T 794—2020		2020.4.15	2020.7.15

水利部

2020年4月15日

址：北京市西城区白广路二条 2 号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

<https://www.sizjxx.com>
水利造价信息网

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	系统电压、中性点接地方式和过电压	3
3.1	系统电压	3
3.2	系统中性点接地方式	3
3.3	作用在电气装置绝缘上的电压	7
4	暂时过电压、操作过电压及其保护	8
4.1	暂时过电压及其保护	8
4.2	操作过电压及其保护	13
5	雷电过电压和保护装置	16
5.1	雷电过电压	16
5.2	避雷针和避雷线	19
5.3	避雷器	29
6	架空线路段和配电线路雷电过电压保护	31
6.1	架空线路段过电压保护	31
6.2	架空配电线路过电压保护	34
7	变配电装置及建筑物雷电过电压保护	35
7.1	直击雷过电压保护	35
7.2	感应雷过电压保护	40
7.3	雷电侵入波过电压保护	40
8	旋转电机雷电过电压保护	50
8.1	直配电机雷电过电压保护	50
8.2	非直配电机雷电过电压保护	53
9	中性点过电压保护	54
9.1	旋转电机中性点过电压保护	54
9.2	变压器中性点过电压保护	54

10 绝缘配合	56
10.1 绝缘配合的原则	56
10.2 架空线路段和配电线路的绝缘配合	58
10.3 配电装置绝缘配合	61
附录 A 中性点接地装置参数计算	65
A.1 中性点谐振接地方式	65
A.2 中性点高电阻接地方式	66
A.3 中性点低电阻接地方式	68
附录 B 外绝缘放电电压海拔校正	69
B.1 基于海拔 0m 的外绝缘放电电压试验数据的海拔校正	69
B.2 基于海拔 1000m 的外绝缘放电电压试验数据的海拔校正	69
附录 C 电气设备承受一定幅值和时间暂时过电压要求	71
标准用词说明	73
条文说明	75

http://www.sltz.com
水利造价信息网

1 总 则

1.0.1 为统一水利水电工程过电压保护及绝缘配合设计标准，做到安全可靠、技术先进、经济合理，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程 3~750kV 电气及建筑物的过电压保护和电气装置的绝缘配合设计。

1.0.3 水利水电工程过电压保护及绝缘配合设计，应根据电网结构、雷电活动特点、地面落雷密度及运行经验，通过计算分析和经济技术比较，采用差异化设计。

1.0.4 本标准主要引用下列标准：

GB 311.1 绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则

GB/T 26218.1 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 1 部分：定义、信息和一般原则

GB/T 26218.2 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 50057 建筑物防雷设计规范

1.0.5 水利水电工程过电压保护及绝缘配合设计除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

- 2.0.1 地面落雷密度** ground flash density (GFD)
每平方公里、每年地面落雷次数。
- 2.0.2 少雷区** less thunderstorm region
平均年雷暴日数不超过 15d 或地面落雷密度不超过 0.78 次/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的地区。
- 2.0.3 中雷区** moderate thunderstorm region
平均年雷暴日数超过 15d 不超过 40d 或地面落雷密度超过 0.78 次/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 不超过 2.78 次/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的地区。
- 2.0.4 多雷区** more thunderstorm region
平均年雷暴日数超过 40d 不超过 90d 或地面落雷密度超过 2.78 次/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 不超过 7.98 次/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的地区。
- 2.0.5 强雷区** strong thunderstorm region
平均年雷暴日数超过 90d 或地面落雷密度超过 7.98 次/ $(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的地区。
- 2.0.6 线路耐雷水平** line lightning resisting level
雷击线路时不致引起线路绝缘闪络的最大雷电流值，以 kA 为单位。
- 2.0.7 架空线路段** overhead transmission line section
不同布置场所开关设备、变压器之间的架空联络线路。
- 2.0.8 保护角** shielding angle
地线对导线的保护角指杆塔处，不考虑风偏，地线对水平面的垂线与导线或分裂导线最外侧子导线连线之间的夹角。
- 2.0.9 直配电机** electrical machine directly connected with overhead line
直接与架空线路连接的旋转电机。

3 系统电压、中性点接地方式和过电压

3.1 系统电压

3.1.1 系统标称电压和系统最高电压应按表 3.1.1 选用。

表 3.1.1 系统标称电压和系统最高电压 单位: kV

系统标称电压 有效值 U_n	系统最高电压 有效值 U_m	系统标称电压 有效值 U_n	系统最高电压 有效值 U_m
3	3.6	110	126
6	7.2	220	252
10	12	330	363
20	24	500	550
35	40.5	750	800
66	72.5		

3.1.2 电机额定电压有效值应按表 3.1.2 选用。

表 3.1.2 电机额定电压 单位: V

发电机额定电压 有效值 U_n	电动机额定电压 有效值 U_n	发电机额定电压 有效值 U_n	电动机额定电压 有效值 U_n
3150	3000	20000	—
6300	6000	22000	
10500	10000	23000	
13800	13800	24000	
15750	15750	25000	
18000	18000	26000	

3.2 系统中性点接地方式

3.2.1 3~20kV 不直接连接发电机系统和 35kV、66kV 系统中

性点宜采用不接地方式。当单相接地故障电容电流超过 10A，且在接地故障条件下运行时，应采用中性点谐振接地方式。

3.2.2 主要由电缆线路构成的 3~35kV 配电系统以及厂（站）用电系统，单相接地故障电容电流较大时，可采用中性点低电阻接地方式。采用该方式的系统在单相接地故障时应立即跳闸。

3.2.3 3~10kV 配电系统以及厂（站）用电系统，单相接地故障电容电流不大于 7A 时，可采用高电阻接地方式，故障总电流不应大于 10A。

3.2.4 中性点有效接地方式应符合下列规定：

1 110~750kV 系统中性点应采用有效接地方式。在各种条件下应使系统的零序电抗与正序电抗的比值 X_0/X_1 为正值且 $X_0/X_1 \leq 3$ ，零序电阻与正序电抗的比值 $R_0/X_1 \leq 1$ 。

2 110kV 及 220kV 变压器，除自耦变压器外中性点应采用经隔离开关接地或经低阻抗接地。经隔离开关接地时，根据系统运行需要变压器中性点可接地，也可不接地。

3 330~750kV 变压器中性点应采用直接接地或经低阻抗接地。若系统单相短路电流未超过断路器的开断电流，宜选用直接接地方式。

3.2.5 同步电机内部发生单相接地故障时，当单相接地故障持续电流不大于表 3.2.5 的规定时，中性点宜采用不接地方式；当单相接地故障持续电流大于表 3.2.5 的规定时，宜采用中性点谐振或高电阻接地方式，并应满足下列要求：

1 当不要求瞬时切机时，应采用中性点谐振接地方式且补偿后故障点的残余电流不应大于表 3.2.5 的规定。中性点谐振接地消弧线圈可装在同步电机中性点上，也可装在厂（站）用变压器中性点上。

表 3.2.5 同步电机单相接地故障电流最高允许值

同步电机额定电压/kV	3.15~6.3	10.5	13.8~15.75	18~26
单相接地故障电流允许值/A	4.0	3.0	2.0	1.0

2 当要求瞬时切机时，中性点宜采用高电阻接地方式，电阻器宜接在同步电机中性点单相变压器的二次绕组上。

3.2.6 3~66kV 系统采用中性点谐振接地方式时应符合下列要求：

1 谐振接地系统宜采用具有自动跟踪补偿功能的消弧装置。

2 主变压器中性点经消弧线圈接地系统，消弧线圈应采用过补偿方式。在正常运行时，中性点长时间位移电压不应超过额定相电压的 15%，脱谐度不宜大于 10%。

3 中性点经消弧线圈接地的非直配电机，宜采用欠补偿运行方式。在正常运行时，中性点长时间位移电压不应超过额定相电压 10%，脱谐度不宜超过 30%，消弧线圈分接头应满足脱谐度要求。

4 直配电机中性点消弧线圈应采用过补偿方式。消弧线圈容量不足时，允许短时间以欠补偿方式运行，但脱谐度不宜超过 10%。

5 装有消弧线圈系统，故障点残余电流不宜大于 10A。必要时可将配电系统分区运行，减少故障点的残余电流。

6 消弧线圈容量应根据电网远景年发展规划确定，并按附录 A.1 计算。

7 消弧线圈宜直接接于变压器中性点，变压器无中性点引出时，应装设专用接地变压器，容量应与消弧线圈容量相配合。

3.2.7 中性点采用高电阻接地方式时应符合下列要求：

1 同步电机中性点高电阻值选择应满足运行机组健全相暂时过电压控制不宜超过 2.6p.u.（基准电压）要求。电阻值计算可参照附录 A.2。

2 变压器额定电压不宜低于同步电机额定电压。变压器容量计算可参照附录 A.2。

3 变压器低压侧接入电阻的阻值以及变压器二次侧额定电压选择应满足保护系统设计的要求。低压电阻值计算可参照附录 A.2。

3.2.8 3~35kV 配电系统采用中性点低电阻接地方式时，安装在变压器中性点电阻器的电阻，在满足单相接地继电保护可靠性和过电压绝缘配合的前提下宜选择较大值，电阻值计算可参照附录 A.3。

3.2.9 中性点采用低阻抗接地方式应符合下列要求：

1 变压器中性点经低阻抗接地方式如图 3.2.9 所示。电抗值应取 1/3 变压器零序电抗值，两台变压器经电抗器接地，与一台变压器接地、一台变压器不接地的零序电抗值相同。当退出一台变压器运行时，可将另一台运行变压器中性点低阻抗用隔离开关短接。对多台变压器也可仿照此处理方法。

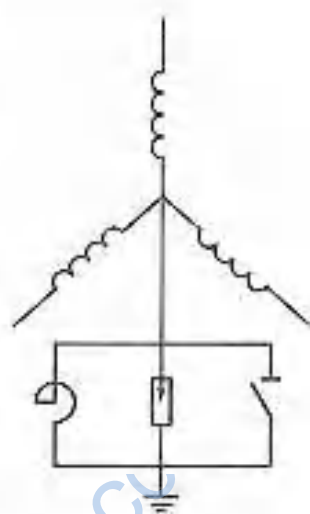


图 3.2.9 变压器中性点经低阻抗接地方式

2 采用变压器中性点经 1/3 变压器零序电抗接地，在单相接地时，变压器中性点零序电压可按式 (3.2.9) 计算。

$$U_0 = \frac{0.5k}{k+2} U_{sw} \quad (3.2.9)$$

式中 U_0 ——变压器中性点零序电压，kV；

U_{sw} ——系统最大工作相电压，kV；

k ——零序电抗 (X_0) 与正序电抗 (X_1) 比值， $X_0/X_1 \leq 3$ 。

3 110~750kV 系统变压器中性点最大零序电压应按表 3.2.9 选用。

4 低阻抗值在流过零序电流范围内应为恒值，低阻抗伏安特性应为线性。

5 为限制单相短路电流而将变压器中性点经低阻抗接地时，接入低阻抗后可取 $X_0/X_1 \approx 1$ 。

表 3.2.9 110~750kV 系统变压器中性点最大零序电压

单位: kV

系统标称电压	变压器中性点最大零序电压	系统标称电压	变压器中性点最大零序电压
110	21.8	500	95.1
220	44	750	138.6
330	63		

3.3 作用在电气装置绝缘上的电压

3.3.1 交流电气设备绝缘上作用电压包括下列电压:

- 1 正常运行时的持续工频电压, 不超过系统最高电压 U_m , 持续时间为设备设计运行寿命。
- 2 暂时过电压, 包括工频过电压和谐振过电压。
- 3 操作过电压。
- 4 雷电过电压。
- 5 特快速瞬态过电压 (VFTO)。

3.3.2 相对地暂时过电压和操作过电压标么值的基准电压应按式 (3.3.2-1) 和式 (3.3.2-2) 计算:

- 1 工频过电压的基准电压应按式 (3.3.2-1) 计算:

$$1.0 \text{ p. u. } = U_m / \sqrt{3} = U_{se} \quad (3.3.2-1)$$

式中 U_m 系统最高电压, 对于电机为电机额定电压, kV;

U_{se} 与系统最高电压或电机额定电压对应的相电压, kV。

- 2 谐振过电压、操作过电压和特快速瞬态过电压的基准电压应按式 (3.3.2-2) 计算:

$$1.0 \text{ p. u. } = \sqrt{2} U_m / \sqrt{3} = \sqrt{2} U_{se} \quad (3.3.2-2)$$

4 暂时过电压、操作过电压及其保护

4.1 暂时过电压及其保护

4.1.1 暂时过电压包括工频过电压和谐振过电压。工频过电压由空载线路电容效应、甩负荷和单相接地故障引起，可分别按下列公式计算：

1 送电线路空载运行状态下，线路末端工频过电压可采用式(4.1.1-1)和式(4.1.1-2)计算：

$$U_{gl} = \frac{E_s}{\cos \lambda_0} - \frac{X_s}{Z_0} \sin \lambda_0 \quad (4.1.1-1)$$

$$\lambda_0 = 2\pi f l_1 / v \quad (4.1.1-2)$$

式中 U_{gl} ——空载线路末端工频过电压，kV；

E_s ——送端系统的等值电动势，kV；

X_s ——送端系统的等值电抗， Ω ；

Z_0 ——线路波阻抗， Ω ；

λ_0 ——线路波长，rad；

v ——电波速度，km/s；

l_1 ——输电线路长度，km。

2 发电机突然甩负荷引起工频过电压可采用式(4.1.1-3)计算：

$$E'_d = U'_m \sqrt{\left(1 + \frac{P_L \tan \varphi}{S_r} X_s^*\right)^2 + \left(\frac{P_L}{S_r} X_s^*\right)^2} \quad (4.1.1-3)$$

式中 E'_d ——失去负荷前发电机等值暂态电动势，kV；

U'_m ——失去负荷前母线电压，kV；

S_r ——发电机视在功率，kVA；

P_L ——线路输送功率，kW；

X_s^* ——送端系统等值电抗标么值；

φ ——功率因数角。

3 系统单相接地故障，健全相工频过电压可采用式 (4.1.1-4) 简化计算：

$$U = \sqrt{3} \sqrt{1 + \frac{k - k^2}{2k}} U_x \quad (4.1.1-4)$$

式中 U ——健全相工频过电压，kV；

U_x ——故障相在故障前的相电压，kV。

4.1.2 各级电压系统允许工频过电压水平不宜超过表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 各级电压系统允许工频过电压水平

电压等级		工频过电压水平
中性点不接地的 3~20kV 系统		$1.1\sqrt{3}U_{ph}$
中性点谐振接地、低电阻接地和高电阻接地的 3~20kV 系统		$\sqrt{3}U_{ph}$
35~66kV 系统		$\sqrt{3}U_{ph}$
110kV 及 220kV 系统		$1.3U_{ph}$
330~750kV 系统	线路断路器变电站侧	$1.3U_{ph}$
	线路断路器线路侧	$1.4U_{ph}$ (持续时间不大于 0.5s)

4.1.3 220kV 及以下系统可不采取限制工频过电压的措施。对工程中采用长电缆段输电的回路，电缆系统是否采取限制工频过电压的措施，宜经计算确定。

4.1.4 330~750kV 系统中，工频过电压应在设计时结合工程条件预测计算，宜以正常送电状态下突然甩负荷和在线路受端有接地故障情况下突然甩负荷时可能产生幅值较高的工频过电压作为主要预测工况。当工频过电压超过表 4.1.2 的规定时，应在线路上安装并联电抗器加以限制。当线路上只装设一组电抗器时，宜安装在线路受电端。

4.1.5 谐振过电压包括线性谐振过电压和非线性铁磁谐振过电压。谐振过电压不可用避雷器限制。各级电压系统中，均应采取

避免电感电容参数不利组合引起谐振过电压措施，或采用保护装置限制谐振过电压的幅值和持续时间。

4.1.6 当同步发电机外电路容抗值在 $X_d \sim X_q$ 和 $X_q \sim X'_d$ 范围内时，将会产生同步自励磁和异步自励磁过电压，应采取限制措施。自励磁过电压判据和限制措施宜满足下列要求：

1 使同步发电机容量大于所连接空载线路充电功率。不发生自励磁的判据可按式 (4.1.6-1) 确定：

$$W_N > Q_C X_d^* \quad (4.1.6-1)$$

式中 W_N —— 不发生自励磁的同步发电机额定容量，MVA；

Q_C —— 线路充电功率，应计入高低压并联电抗器影响，Mvar；

X_d^* —— 同步发电机及升压变压器等值同步电抗标么值，以同步发电机容量为基准。

2 可采用快速励磁自动调节器限制同步自励磁过电压。

3 可采用速动过电压继电保护断开同步电机或装设并联电抗器，消除可能产生的异步自励磁过电压。

4 对 330kV 及以上系统，由于输电线路较长，容抗值较小，易发生自励磁过电压，宜采用并联电抗器加以限制。并联电抗器限制自励磁过电压的最小容量可按式 (4.1.6-2) 计算：

$$Q > P_s \tan \lambda_c - \frac{1}{\frac{X_s \%}{S_b} + \frac{X_d \%}{S_G}} \quad (4.1.6-2)$$

式中 Q —— 并联电抗器容量，kvar；

P_s —— 线路自然功率，kW；

S_b —— 变压器容量，kVA；

S_G —— 同步发电机容量，kVA；

$X_s \%$ —— 变压器漏抗标么值；

$X_d \%$ —— 同步发电机直轴电抗标么值。

4.1.7 当无阻尼绕组同步电机发生不对称短路或负荷严重不平衡时，在同步电机定子绕组和转子绕组上分别产生脉动磁场和直

流磁场，健全相上将产生幅值较高的谐振过电压。在同步电机转子上加装阻尼绕组，可限制过电压幅值不超过 $3U_{\text{w}}$ 。加装阻尼绕组的同步电机发生不对称短路过电压可按式 (4.1.7) 计算：

$$U_f = k_d \left(2 \frac{X_q''}{X_d''} - 1 \right) U_{\text{w}} \quad (4.1.7)$$

式中 U_f ——同步电机不对称短路过电压幅值，kV；

k_d ——两相短路 $k_d=1$ ，两相短路接地 $k_d=1.5$ ；

X_q'' ——同步电机交轴超瞬态电抗， Ω ；

X_d'' ——同步电机直轴超瞬态电抗， Ω ；

U_{w} ——同步电机最高运行相电压幅值，kV。

4.1.8 防止电磁式电压互感器引起铁磁谐振过电压措施应满足下列要求：

1 在直接接地系统中，对敞开式配电装置，应选用电容式电压互感器；对气体绝缘全封闭配电装置 (GIS)，当采用带有均压电容的断路器开断连接电磁式电压互感器的空载母线，经验算可能产生铁磁谐振过电压时，应采取下列措施：

- 1) 运行中应避免可能引起谐振的操作方式。
- 2) 装设专门抑制此类铁磁谐振的装置。

2 在不接地系统中，对带绝缘监视用电磁式电压互感器与空载母线或空载短线引起的铁磁谐振过电压，电源中性点发生对地位移，引起虚幻接地信号，可采取下列预防和限制措施：

- 1) 采用励磁特性饱和点较高的电磁式电压互感器或电容式电压互感器。
- 2) 增大母线对地电容，减小对地容抗 (X_{CS})，使对地容抗与电压互感器在线电压作用下单相绕组的励磁感抗 (X_m) 之比 $\frac{X_{\text{CS}}}{X_m} < 0.01$ 。
- 3) 电压互感器高压绕组中性点对地间串接单相电压互感器或消谐装置。
- 4) 在电压互感器开口三角绕组中装设电阻，或装设专门

消除此类谐振的消谐装置。

4.1.9 防止非全相运行引起铁磁谐振过电压措施应满足下列要求：

1 非全相运行引起的铁磁谐振过电压应考虑下列情况：

- 1) 对单侧电源中性点不接地系统的变压器或中性点直接接地系统的中性点不接地变压器，当发生线路断线或断路器、熔断器非全相分合闸时，由于空载或轻载变压器励磁电感与线路对地电容构成串联铁磁谐振，将产生 $2.0p.u. \sim 3.0p.u.$ 的过电压。谐振频率可为基频，也可为高频和分频。
- 2) 对双侧电源变压器，当发生线路断线或断路器、熔断器非全相分合闸时，由于两侧电源的不同步，在各级电压系统中将引起中性点位移过电压。不接地变压器中性点位移电压可达 $2.0p.u.$ 。非直接接地有补偿的系统中，过电压将使不接地变压器中性点位移电压更高。
- 3) 有并联电抗器补偿的系统中，线路处于非全相空载运行状态，且当并联电抗器零序电抗小于线路零序容抗时，断开相上可能激发基频铁磁谐振过电压。

2 防止和限制非全相运行引起铁磁谐振过电压应采取下列措施：

- 1) 可采用同期性能良好的断路器。
- 2) 对中性点有效接地系统，操作时应将不接地变压器中性点临时接地，并在不接地变压器中性点加装棒间隙。
- 3) 并联电抗器中性点可装设小电抗器。

4.1.10 防止二次谐波铁磁谐振过电压，宜避免对只带空载线路的变压器低压侧合闸。当运行操作无法避免时，应在线路继电保护装置内增设过电压速断保护，缩短过电压持续时间。

4.1.11 谐振接地的较低电压系统，运行时应避免谐振状态；非谐振接地的较低电压系统，应采取增大对地电容措施，防止高幅

值的转移过电压。

4.2 操作过电压及其保护

4.2.1 系统操作过电压计算倍数，应根据系统结构、系统容量、电气参数、中性点接地方式、断路器性能、母线上出线回路数以及系统运行接线、操作方式等因素确定。操作过电压计算倍数宜取下列数值：

1 相对地绝缘操作过电压计算倍数宜按表 4.2.1-1 确定。

表 4.2.1-1 相对地绝缘操作过电压计算倍数

系统电压	设备最高运行相电压 U_m 的倍数	相对地绝缘操作过电压取值基准
3~60kV	4.0	计算用最大过电压
110kV 及 220kV	3.0	
330kV	2.2	2%统计过电压
500kV	2.0	
750kV	1.8	

2 相间绝缘操作过电压计算倍数宜按表 4.2.1-2 确定。在确定相间绝缘时，两相的电位宜分别取相间操作过电压的 +60% 和 -40%。

表 4.2.1-2 相间绝缘操作过电压计算倍数

系统电压	相对地操作过电压的倍数
3~220kV	1.3~2.4
330~750kV	1.5

4.2.2 对 66kV 及以下中性点不接地系统，当间歇性弧光接地过电压对设备最高运行相电压 U_m 的倍数不超过表 4.2.2 的规定时，可采用常规过电压保护方案。

表 4.2.2 间歇性弧光接地过电压倍数

中性点接地方式	设备最高运行相电压 U_{ph} 的倍数
不接地	3.5
谐振接地	3.2
电阻接地	2.5

4.2.3 对具有限流电抗器、电动机负荷，且设备参数配合不利的 3~10kV 的不接地系统的过电压保护方案可根据负荷性质和工程重要程度，通过过电压预测确定。

4.2.4 空载线路开断时，断路器发生重击穿产生的分闸过电压是控制 220kV 及以下系统操作过电压绝缘设计的主要依据，应采取下列限制措施：

1 对 110kV 及 220kV 系统，开断空载架空线路宜采用重击穿概率极低的断路器；开断电缆线路应采用重击穿概率极低的断路器；过电压不应超过 3.0p.u.。

2 对 66kV 及以下中性点不接地或谐振接地系统以及 3~35kV 的低电阻接地系统，开断空载线路应采用重击穿概率极低的断路器。

3 线路侧采用电磁式电压互感器，可泄放线路残余电荷，降低触头间恢复电压，避免断路器重击穿或降低重击穿过电压。

4.2.5 当系统送受端联系薄弱，如线路因非对称故障导致分闸或在系统振荡状态下解列，将产生线路非对称故障分闸或振荡解列过电压。预测线路非对称故障分闸过电压，可选择线路受端存在单相接地故障的条件，分闸时线路送受端电动势功角差宜按实际工况选取。当过电压幅值较高时，应采用安装在线路两端的金属氧化物避雷器（MOA）加以限制，并应校验 MOA 的吸收能量。

4.2.6 220kV 及以下的线路合闸和重合闸过电压可不采取限制措施。线路合闸和重合闸过电压是 330kV 及以上系统操作过电压绝缘设计的重要控制依据，应采取下列过电压限制措施：

1 采用在进出线断路器线路侧安装无间隙 MOA 保护，避雷器应能承受安装点除谐振过电压外的各种过电压的幅值和持续时间。避雷器的通流容量和允许吸收能量应满足系统要求。

2 当计算采用无间隙 MOA 限制合闸过电压达不到要求时，还应采用具有合闸电阻的断路器。

3 应采用单相自动重合闸。

4 应采用选相合闸装置。

4.2.7 开断空载变压器或电抗器时，由断路器强制熄弧引起电磁能转换振荡而产生的过电压与断路器结构、回路参数、变压器或并联电抗器的接线和特性等因素有关，应采取下列限制措施：

1 对采用灭弧性能较强又无分闸电阻的断路器开断励磁电流较大的空载变压器产生的高幅值过电压，应在断路器与变压器间装设 MOA 予以限制。

2 开断并联电抗器时，宜采用截流数值较低的断路器，并宜采用 MOA 或能耗极低的 R-C 阻容吸收装置作为限制断路器强制熄弧截流产生过电压的后备保护。对 330kV 及以上的并联电抗器开断时，也可采用选相分闸装置。

4.2.8 当采用真空断路器开断高压电机时，宜在断路器与电动机之间装设旋转电机用 MOA 或能耗极低的 R-C 阻容吸收装置。高压电机合闸的操作过电压可不采取保护措施。

4.2.9 330kV 及以上隔离开关操作由敞开式配电装置构成的空载母线时产生的过电压，宜采用 MOA 保护。

4.2.10 GIS 或气体绝缘半封闭配电装置 (HGIS) 隔离开关操作时可能产生 VFTO，宜计算对变压器高压绕组入口处的电压幅值和陡度以及 VFTO 的主要谐波频率，并应根据计算结果采取相应措施。

5 雷电过电压和保护装置

5.1 雷电过电压

5.1.1 雷电过电压包括直击雷过电压和雷电侵入波过电压。防雷设计应根据当地雷电活动强度、地面落雷密度、地形地貌、土壤电阻率及已有线路、变电站和发电厂运行经验等因素，通过计算分析和经济比较，采用差异化防雷保护措施。

5.1.2 雷电特性参数确定应符合下列规定：

1 雷电流幅值超过 I 的概率可按式 (5.1.2) 计算或按雷电流幅值概率曲线 (图 5.1.2) 查出。

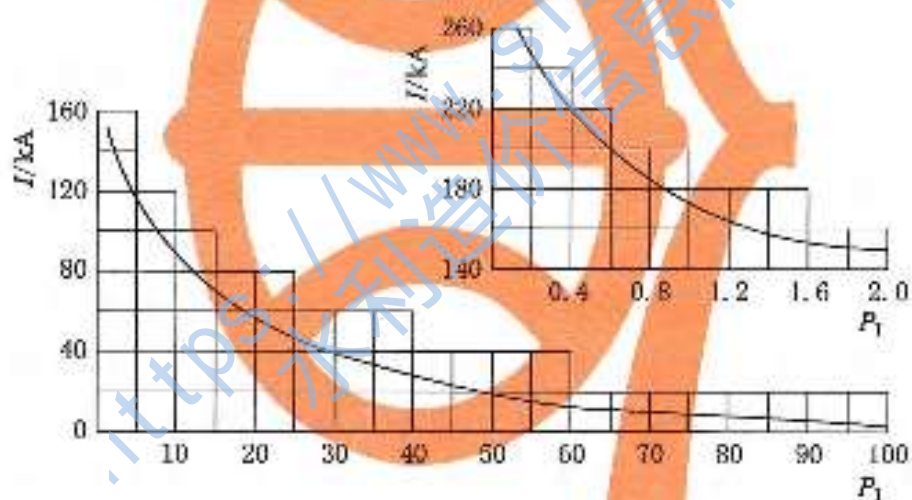


图 5.1.2 我国雷电流幅值概率曲线

注：较南以外的西北地区和内蒙古自治区的部分地区，年平均雷暴日数在 20 及以下，雷电流幅值较小，可由给定的概率按图查出雷电流幅值后减半。

$$\lg P_1 = -\frac{I}{88} \quad (5.1.2)$$

式中 P_1 —— 雷电流幅值概率；

I —— 雷电流幅值，kA。

2 平均年雷暴日数宜根据当地气象台多年资料获得。

3 在线路防雷设计中，雷电流波头长度取 $2.6\mu\text{s}$ ，波头形状取斜角形；特殊高塔设计时，可取半余弦波形，最大陡度与平均陡度之比为 $\pi/2$ 。

4 线路受雷密度应以线路受雷宽度为 4 倍避雷线或导线平均悬挂高度加上两根避雷线之间的距离计算。

5.1.3 变配电设备的雷电性能分析应考虑下列因素：

1 雷直接击在电气设备上产生直击雷过电压，由于过电压幅值很高，会造成设备的损坏。当雷击避雷针，避雷线或其他建筑物、构筑物时，将引起接地网冲击电位增高，会造成对电气设备的反击，产生反击过电压。反击过电压的幅值取决于雷电流幅值、地网冲击电阻、引流点位置和设备充电回路的时间常数。当采用避雷针或避雷线对高压配电装置进行直击雷保护时应采取防止反击措施。

2 输电线路受到雷击，雷电波沿导线侵入电气设备上，产生侵入雷电波过电压，过电压幅值与进线保护段耐雷水平，雷击点距高压配电装置的距离，导线电晕衰减和电气接线、运行方式有关。应采取防止或减少近区线路的雷击闪络，并适当配置 MOA 以减少雷电侵入波过电压的危害。

5.1.4 线路雷电过电压的分析应考虑下列因素：

1 当雷击线路杆塔或避雷线时，可能造成绝缘子串、塔头空气间隙和避雷线与导线间空气间隙闪络，形成对导线的反击而产生过电压。设计时，塔头空气间隙和档距中央空气间隙的绝缘水平应高于绝缘子串绝缘水平。绝缘子串上承受的雷电过电压与杆塔自身电感、接地电阻、避雷线分流系数以及雷电流幅值有关，宜以线路耐雷水平作为线路的耐雷指标。

2 雷击线路附近的物体或地面，空间电磁场发生剧烈变化，可能在线路的导线上或其他金属导体上产生感应过电压。感应过电压仅对 35kV 及以下线路和电气设备绝缘有危害。感应过电压可采用下列公式计算：

1) 当雷击点与导线的距离大于 55m 时，导线上感应过电

压可达 300~400kV，可按式 (5.1.4-1) 计算：

$$U_v \approx \frac{25I_h d}{S} \quad (5.1.4-1)$$

式中 U_v ——感应过电压最大值，kV；

h_d ——导线平均高度，m；

S ——雷击点与线路的距离，m。

2) 雷击线路杆塔或附近的避雷针、避雷线，在导线上产生的感应过电压可按式 (5.1.4-2) 计算：

$$U_v = \alpha h_e \quad (5.1.4-2)$$

$$\alpha = \frac{I_1}{2.6} \quad (5.1.4-3)$$

式中 α ——感应过电压系数，其值为雷电流陡度，通常 $\alpha=40\sim 60$ ，雷击塔顶时按式 (5.1.4-3) 计算；

I_1 ——线路耐雷水平，kA。

3) 雷直击和绕击导线将产生过电压，线路绕击率与避雷线对边导线的保护角，杆塔高度以及线路经过地区的地形、地貌有关，可按式 (5.1.4-4) 和式 (5.1.4-5) 计算：

1) 对平原线路：

$$\lg P_c = \frac{\alpha \sqrt{h_T}}{86} - 3.9 \quad (5.1.4-4)$$

2) 对山区线路：

$$\lg P_o = \frac{\alpha \sqrt{h_T}}{86} - 3.35 \quad (5.1.4-5)$$

式中 P_c ——导线绕击率；

α ——避雷线对边导线的保护角；

h_T ——杆塔高度，m。

线路绕击耐雷水平可按式 (5.1.4-6) 计算：

$$I_2 \approx \frac{U_{50\%}}{100} \quad (5.1.4-6)$$

式中 I_2 ——线路绕击的耐雷水平，kA；

$U_{50\%}$ ——线路绝缘子串 50% 冲击放电电压，kV。

5.2 避雷针和避雷线

5.2.1 电气设备宜采用避雷针和避雷线保护防止直接雷击。防直击雷设计应全面考虑避雷针、避雷线的保护范围，引流线电抗和接地电阻的作用和影响。

5.2.2 当被保护物体与避雷针处于同一地平面时，单支避雷针的保护范围（见图 5.2.2）应按式（5.2.2-1）～式（5.2.2-3）计算：

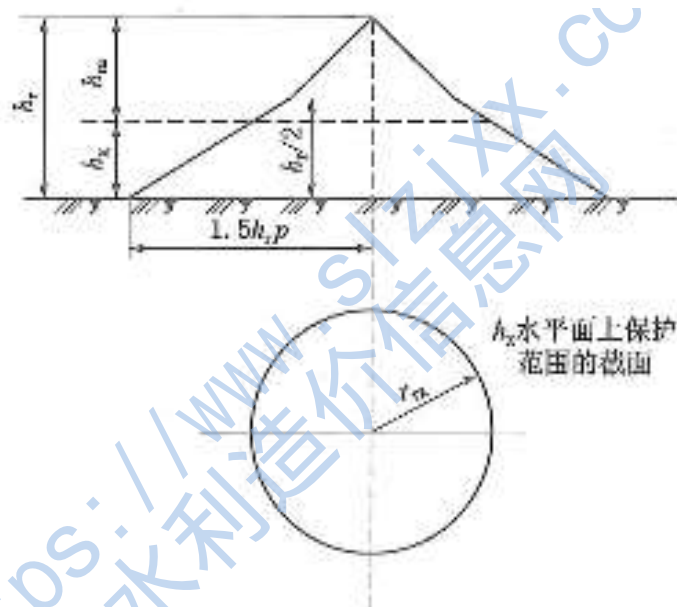


图 5.2.2 单支避雷针保护范围

- 1 避雷针在地面上的保护半径：

$$r_x = 1.5h_x p \quad (5.2.2-1)$$

式中 r_x ——避雷针在地面上的保护半径，m；

h_r ——避雷针的高度，m，当 $h_r > 120\text{m}$ 时，可取 120m；

p ——高度影响系数， $h_r \leq 30\text{m}$ 时， $p = 1$ ； $30\text{m} < h_r \leq 120\text{m}$ 时， $p = 5.5/\sqrt{h_r}$ ； $h_r > 120\text{m}$ 时， $p = 0.5$ 。

- 2 在被保护物高度 h_x 水平面上的保护半径：

1) 当 $h_x \geq \frac{h_r}{2}$ 时：

$$r_{ix} = (h_i - h_x)p = h_m p \quad (5.2.2-2)$$

式中 r_{ix} ——避雷针在 h_x 水平面上的保护半径，m；

h_x ——被保护物高度，m；

h_m ——避雷针的有效高度，m。

2) 当 $h_x < \frac{h_i}{2}$ 时：

$$r_{ix} = (1.5h_i - 2h_x)p \quad (5.2.2-3)$$

5.2.3 不同地平面单支避雷针保护范围（见图 5.2.3）应分别以不同地面对应不同避雷针高，确定所在地面被保护物的保护半径。以地平面 1 为基准，避雷针高度为 h_{i1} ，按单支避雷针保护范围的方法确定保护 h_x 的保护半径 r_{ix1} 。以地平面 2 为基准，避雷针高为 h_{i2} ，按单支避雷针保护范围的方法确定保护 h_x 的保护半径 r_{ix2} 。

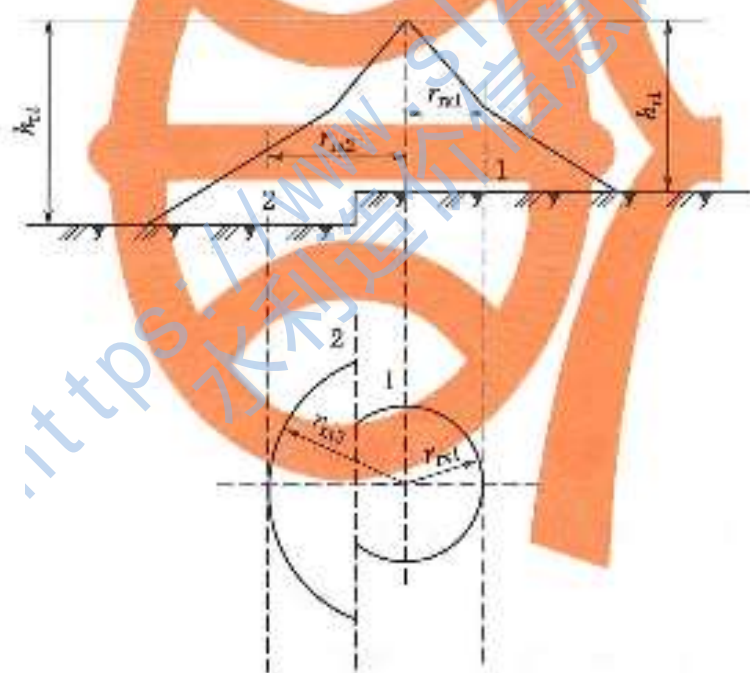


图 5.2.3 不同地面高度的单支避雷针保护范围

5.2.4 缓坡度地面单支避雷针保护范围（见图 5.2.4）应按下列方法确定：

1 避雷针上坡方向的保护范围，应在避雷针 h_i 底部作假想水平地面（见图 5.2.4 中虚线），按单支避雷针保护范围确定方法确定。

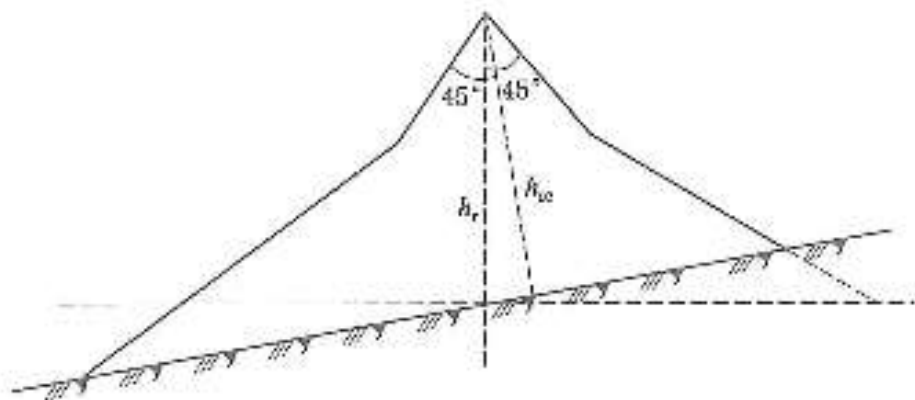


图 5.2.4 缓坡度地面单支避雷针保护范围

2 避雷针下坡方向的保护范围，可由避雷针顶点向缓坡地面做一垂直 h_{eq} ，将 h_{eq} 看作等效避雷针高度，再按单支避雷针保护范围确定方法确定。

5.2.5 两支等高避雷针保护范围（见图 5.2.5-1）应按下列方法确定：

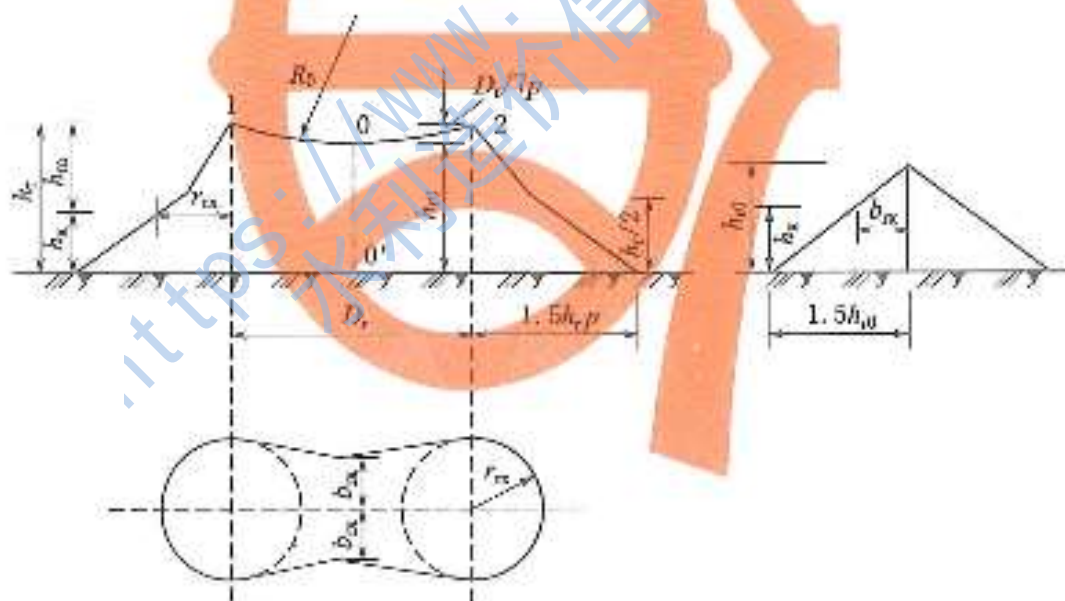


图 5.2.5-1 两支等高避雷针保护范围

- 1 两针外侧的保护范围应按单支避雷针的计算方法确定。
- 2 两针间保护范围上部边缘最低高度 h_0 应按式 (5.2.5) 计算：

$$h_0 = h_r - \frac{D_r}{7p} \quad (5.2.5)$$

式中 h_{ro} ——两针间保护范围上部边缘最低点的高度, m;

D_r ——两避雷针间的距离, m。

3 两针间 h_x 水平面上保护范围一侧最小宽度 b_{rx} 可按图 5.2.5-2 确定。当 b_{rx} 大于 r_{rx} 时, 应取 $b_{rx} = r_{rx}$ 。

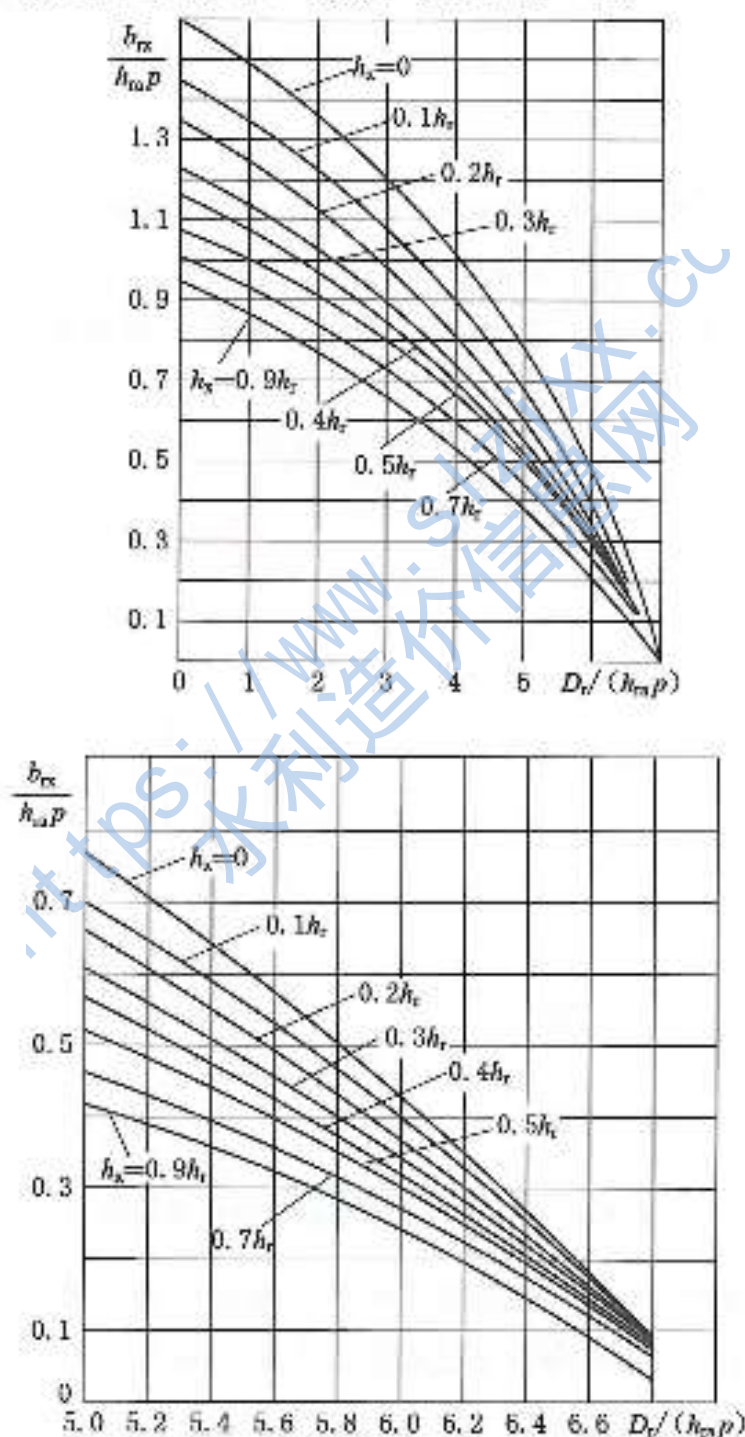


图 5.2.5-2 两支避雷针间保护范围最小宽度 b_{rx}

4 查得 b_r 后, 可按图 5.2.5-1 绘出两针间的保护范围。两针间距离与针高之比 D_r/h_r 不宜大于 5。

5.2.6 两支不等高避雷针保护范围 (见图 5.2.6) 应按下列方法确定:

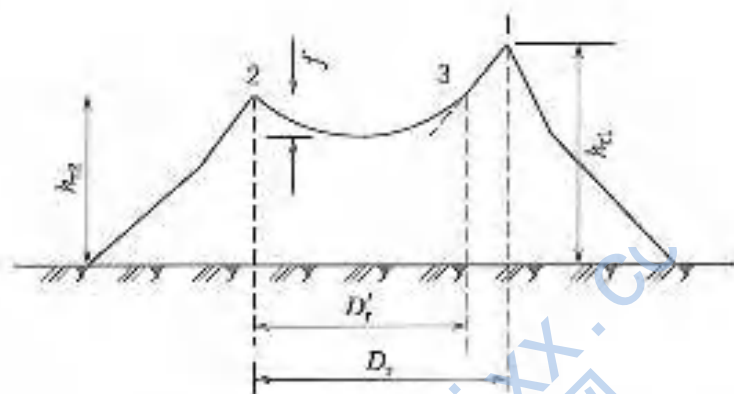


图 5.2.6 两支不等高避雷针保护范围

1 两支不等高避雷针外侧的保护范围, 应分别按单支避雷针的计算方法确定。

2 两针间的保护范围, 应按单支避雷针的计算方法, 先确定较高避雷针 1 的保护范围, 然后由较低避雷针 2 的顶点做水平线与避雷针 1 的保护范围相交于点 3, 取点 3 为等效避雷针的顶点, 再按两支等高避雷针的计算方法确定避雷针 2 和等效避雷针 3 的保护范围。通过避雷针 2、等效避雷针 3 顶点及保护范围上部边缘最低点的圆弧, 弓高应按式 (5.2.6) 计算:

$$f = \frac{D'_r}{7p} \quad (5.2.6)$$

式中 f —— 圆弧的弓高, m;

D'_r —— 避雷针 2 和等效避雷针 3 间的距离, m。

5.2.7 不同地平面两支避雷针保护范围 (见图 5.2.7) 应按下列方法确定:

1 两针外侧保护范围, 应分别按单支避雷针保护范围确定方法确定。

2 两针内侧保护范围, 应分别以不同地平面, 按两支避雷

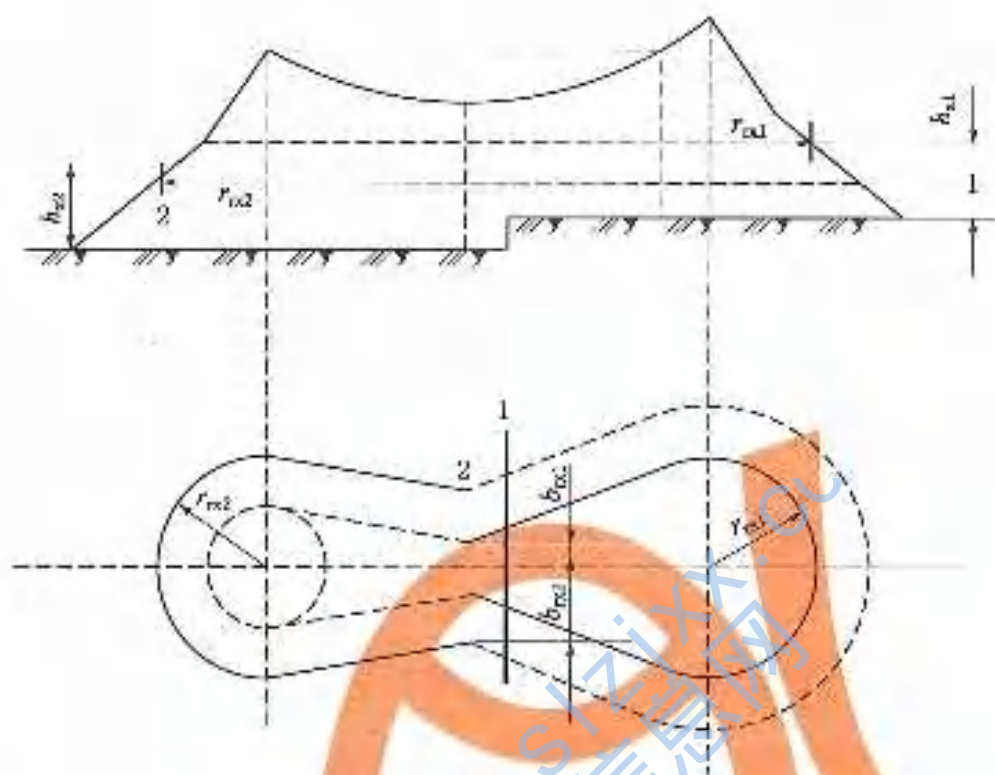


图 5.2.7 不同地面高程的两支避雷针保护范围

针内侧保护范围的方法，确定所在地平面内被保护物的保护范围。若两地平面的被保护高程不在同一水平面上，两针间保护一侧最小宽度，应分别按不同地平面确定不同的 b_{rx1} 、 b_{rx2} ，如图 5.2.7 中实线。若两地平面被保护高程相同，不论按哪一地平面确定，两针间保护一侧的最小宽度应相同。

5.2.8 多支避雷针的保护范围（见图 5.2.8）应按下列方法确定：

1 三支等高避雷针形成的三角形外侧保护范围应分别按两支等高避雷针的计算方法确定。在三角形内被保护物最大高度 h_x 水平面上，各相邻避雷针间保护范围的一侧最小宽度 $b_{rx} \geq 0$ 时，全部面积可受到保护。

2 四支及以上等高避雷针形成的四角形或多角形，可先分成两个或数个三角形，然后分别按三支等高避雷针的方法计算。

5.2.9 山地和陡坡地的避雷针保护范围可按式 (5.2.2-2)、式

$$h_0 = h_r - \frac{D_r}{5p} \quad (5.2.9-1)$$

$$f = \frac{D_r'}{5p} \quad (5.2.9-2)$$

5.2.10 单根避雷线在 h_x 水平面上避雷线每侧保护范围的宽度和端部保护半径 (见图 5.2.10) 应按式 (5.2.10-1) 和式 (5.2.10-2) 计算:

1 当 $h_x \geq \frac{h_w}{2}$ 时:

$$r_{wx} = 0.47(h_w - h_x)p \quad (5.2.10-1)$$

式中 r_{wx} —— 每侧保护范围的宽度或端部保护半径, m;

h_w —— 避雷线的高度, m。

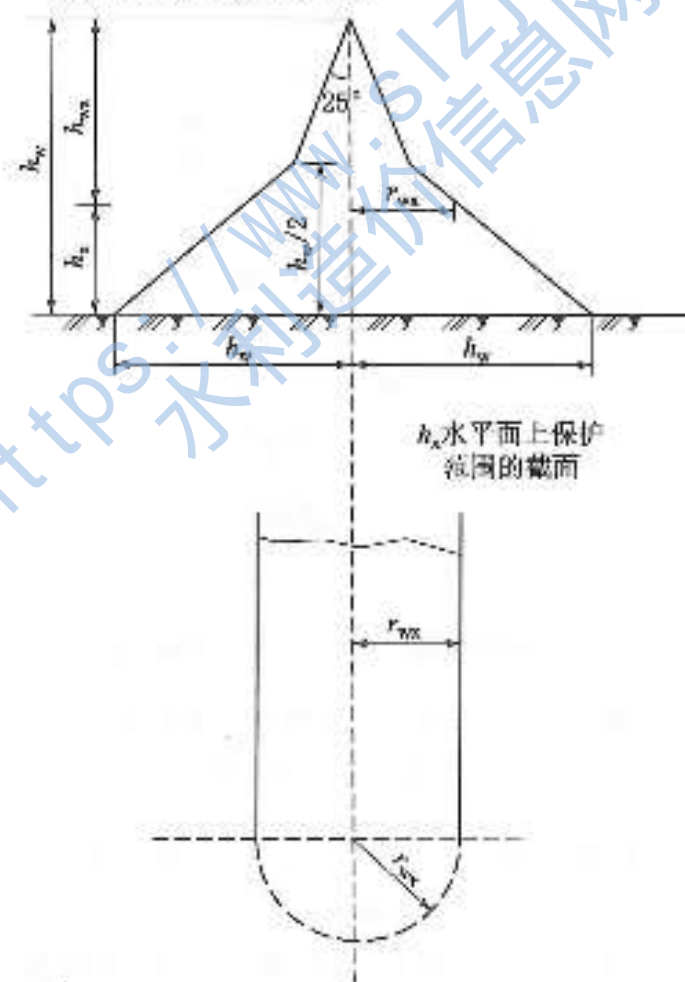


图 5.2.10 单根避雷线保护范围

2 当 $h_s < \frac{h_w}{2}$ 时:

$$r_{ws} = (h_w - 1.53h_s)p \quad (5.2.10-2)$$

5.2.11 两根平行等高避雷线保护范围 (见图 5.2.11) 应按下列方法确定:

1 两避雷线外侧保护范围应按单根避雷线保护范围确定方法确定。

2 两避雷线间保护范围上部保护范围圆弧最低高度 h_{wb} 应按式 (5.2.11-1) 计算:

$$h_{wb} = h_w - \frac{D_w}{4p} \quad (5.2.11-1)$$

式中 h_{wb} ——两避雷线间保护范围上边缘最低点的高度, m;

D_w ——两避雷线间的距离, m。

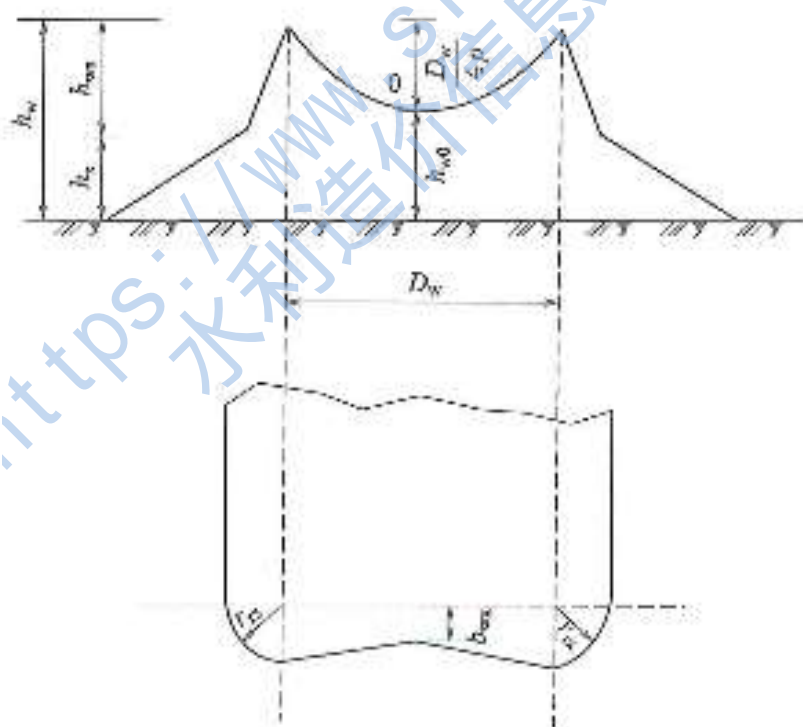


图 5.2.11 两根平行等高避雷线保护范围

3 两避雷线端部外侧保护范围应按单根避雷线保护范围计算。两线间端部保护最小宽度 b_{ws} 应按式 (5.2.11-2) 和式 (5.2.11-3) 计算:

1) 当 $h_x \geq \frac{h_w}{2}$ 时:

$$b_{wx} = 0.47(h_{w3} - h_x)p \quad (5.2.11-2)$$

2) 当 $h_x < \frac{h_w}{2}$ 时:

$$b_{wx} = (h_{w3} - 1.53h_x)p \quad (5.2.11-3)$$

式中 b_{wx} ——两避雷线端部保护最小宽度, m。

5.2.12 两根平行不等高避雷线保护范围确定应与两支不等高避雷针保护范围的确定方法相同。

5.2.13 避雷针、避雷线联合保护范围 (见图 5.2.13) 应按下列方法确定:

- 1 避雷针外侧保护范围应按单支避雷针保护范围确定。
- 2 避雷线外侧保护范围应按单根避雷线保护范围确定。

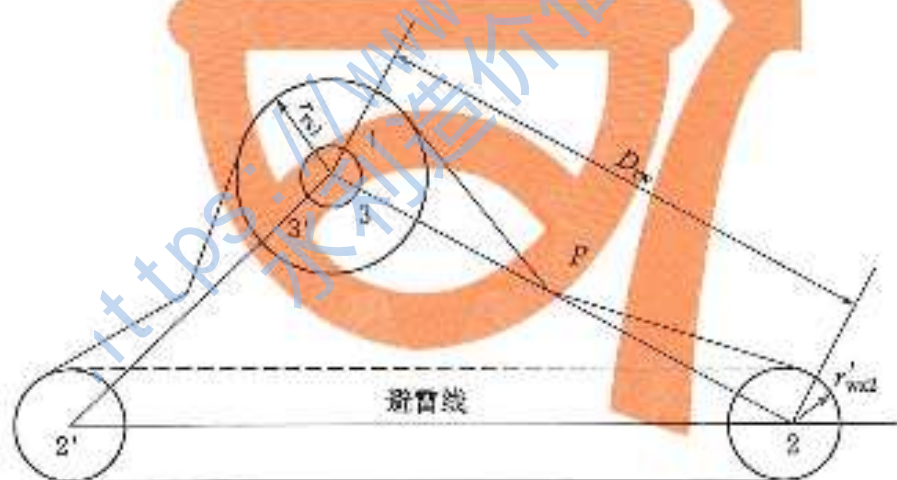


图 5.2.13 避雷针、避雷线联合保护范围

3 避雷针、避雷线间的保护范围, 宜首先按单支避雷针或单根避雷线计算方法将不等高的避雷针、避雷线划分为等高避雷针、避雷线 (见图 5.2.6 中的 2 点、3 点), 然后视为等高避雷线计算保护范围。避雷针、避雷线间保护最大距离 D_w 应按式 (5.2.13-1) 和式 (5.2.13-2) 计算:

1) 当 $h_r > h_w$, 且 $h_w \geq \frac{h_r}{2}$ 时:

$$D_w = (h_r + 3h_w - 4h_x)p \quad (5.2.13-1)$$

式中 D_w ——避雷针、避雷线间保护最大距离, m。

2) 当 $h_r < h_w$, 且 $h_w \geq \frac{h_r}{2}$ 时:

$$D_w = (0.47h_w + 3.53h_r - 4h_x)p \quad (5.2.13-2)$$

5.3 避雷器

5.3.1 MOA 分为无间隙 MOA 和有间隙 MOA, 无特殊要求宜采用无间隙 MOA。

5.3.2 电气装置保护用相对地的 MOA 持续运行电压不应低于系统的最高相电压。变压器、并联电抗器等中性点 MOA 持续运行电压不应低于系统中性点最大的零序电压。

5.3.3 电气装置保护用无间隙 MOA 的额定电压和持续运行电压应按下列方法选择:

1 避雷器额定电压 (U_r) 可按式 (5.3.3) 选择:

$$U_r \geq KU_T \quad (5.3.3)$$

式中 K ——切除短路故障时间系数, 故障切除时间不大于 10s 时 $K=1.0$, 故障切除大于 10s 时 $K=1.25$;

U_T ——暂时过电压, kV。在选择避雷器额定电压时, 仅考虑单相接地、甩负荷和长线电容效应引起的暂时过电压, 按表 5.3.3-1 选取。

表 5.3.3-1 暂时过电压值

接地方式	非直接接地 (包括电阻接地、谐振接地)		直接接地					
	系统标称电压 /kV	3~20	35 及 66	110 及 220	330~750			
暂时过电压 U_T /kV	$1.1U_n$	U_n	$1.3 \frac{U_n}{\sqrt{3}}$	<table border="1"> <tr> <td>母线</td> <td>线路</td> </tr> <tr> <td>$1.3 \frac{U_n}{\sqrt{2}}$</td> <td>$1.4 \frac{U_n}{\sqrt{3}}$</td> </tr> </table>	母线	线路	$1.3 \frac{U_n}{\sqrt{2}}$	$1.4 \frac{U_n}{\sqrt{3}}$
母线	线路							
$1.3 \frac{U_n}{\sqrt{2}}$	$1.4 \frac{U_n}{\sqrt{3}}$							

2 保护旋转电机的避雷器额定电压，对应故障切除时间不大于 10s 和大于 10s 时，应分别按不超过 1.05 倍和 1.3 倍旋转电机额定电压选择。

3 无间隙 MOA 最大持续运行电压 (U_c) 选择时，避雷器的 U_c 应与 U_m 近似成正比选用， U_c 可取 (0.76~0.8) U_m ，不应低于表 5.3.3-2 的规定。

表 5.3.3-2 避雷器最大持续运行电压

接地方式	直接接地	非直接接地		
		故障切除时间 不大于 10s	故障切除时间大于 10s	
			3~20kV	35~66kV
最大持续运行电压 U_c /kV	$U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$U_c \geq 1.1U_m$	$U_c \geq U_m$

4 保护旋转电机 MOA 持续运行电压不应小于旋转电机额定电压值，且不宜低于 MOA 额定电压的 80%。

5.3.4 无间隙 MOA 标称放电电流宜根据额定电压和用途按表 5.3.4 选取。

表 5.3.4 无间隙 MOA 标称放电电流

MOA 额定电压 U_r /kV	MOA 用途	标称放电电流 /kA
$420 \leq U_r \leq 648$	电站用避雷器	20
$90 \leq U_r \leq 468$	电站用避雷器	10
$4 \leq U_r \leq 25$	发电机用避雷器	5
$5 \leq U_r \leq 17$	配电用避雷器	5
$5 \leq U_r \leq 90$	并联补偿电容器用避雷器	5
$5 \leq U_r \leq 108$	电站用避雷器	5
$4 \leq U_r \leq 13.5$	电动机用避雷器	2.5
$2.4 \leq U_r \leq 15.2$	电机中性点用避雷器	1.5
$50 \leq U_r \leq 207$	变压器中性点用避雷器	1.5

6 架空线路段和配电线路 雷电过电压保护

6.1 架空线路段过电压保护

6.1.1 架空线路段防雷设计，应根据线路电压、负荷性质和系统运行方式，已有线路运行经验，雷电活动、地形地貌及土壤电阻率等，在计算耐雷水平后，通过技术经济比较确定。

6.1.2 35kV 及以上架空送电线路段，应采用下列保护方式：

- 1 35kV 及以上架空线路段应全线架设避雷线。
- 2 110kV 架空线路段在山区和强雷区宜架设双避雷线。
- 3 220kV 及 330kV 架空送电线路段除少雷区外应全线架设双避雷线。
- 4 500kV 及 750kV 线路应全线架设双避雷线。

6.1.3 杆塔上避雷线对边导线保护角，应符合下列要求：

- 1 对于同塔双回或多回路，220kV 及以上线路保护角均不应大于 0° ；110kV 线路不应大于 10° 。
- 2 对于单回路，500kV 及 750kV 线路对导线保护角不应大于 10° ，330kV 及以下线路不应大于 15° 。
- 3 单避雷线架空线路保护角不宜大于 25° 。
- 4 对中重冰区架空线路保护角可适当加大。
- 5 多雷区和强雷区送电线路可采用负保护角。

6.1.4 双避雷线架空线路段，杆塔上两根避雷线之间的距离，不应超过避雷线与导线间垂直距离的 5 倍。

6.1.5 每基杆塔在不连避雷线时测量的工频接地电阻，在雷季干燥时，不宜超过表 6.1.5 的规定。

6.1.6 架空线路段耐雷水平不宜低于表 6.1.6 的规定。

表 6.1.5 线路杆塔的工频接地电阻

土壤电阻率 / $(\Omega \cdot m)$	≤ 100	100~500 (含 500)	500~1000 (含 1000)	1000~2000 (含 2000)	> 2000
接地电阻 / Ω	10	15	20	25	30

注：土壤电阻率超过 2000 $\Omega \cdot m$ ，接地电阻很难降低到 30 Ω 时，可采用 6~8 根总长不超过 500m 的放射形接地体，或采用连续伸长接地体，接地电阻不受限制。

表 6.1.6 架空线路段耐雷水平

系统标称电压/kV	35	66	110	220	330	500	750
单回线路耐雷水平/kA	36	47	68	99	151	177	232
同塔双回线路耐雷水平/kA			81	92	137	182	224

6.1.7 档距中央导线与避雷线间距离，应根据气温 +15 $^{\circ}\text{C}$ 、无风的计算条件，按式 (6.1.7-1) 和式 (6.1.7-2) 校验：

1 220kV 及以下的架空线路：

$$S \geq 0.012L + 1 \quad (6.1.7-1)$$

式中 S ——导线与避雷线间的距离，m；

L ——档距，m。

2 330kV 及以上的架空线路：

$$S \geq 0.015L + 1 \quad (6.1.7-2)$$

6.1.8 钢筋混凝土杆铁横担和钢筋混凝土横担线路的避雷线支架、导线横担与绝缘子固定部分或瓷横担固定部分之间，宜有可靠的电气连接并与接地引下线相连。主杆非预应力钢筋上下采用绑扎或焊接连成电气通路时，可兼作接地引下线。利用钢筋兼作接地引下线的钢筋混凝土电杆，钢筋与接地螺母、铁横担间应有可靠的电气连接。外敷接地引下线可采用镀锌钢绞线，截面不应小于 25mm²，接地体引出线截面不应小于 50mm²，表面应采用有效防腐处理。

6.1.9 采用绝缘避雷线时，应限制避雷线上的电磁感应电压和电流，并应选用可靠的避雷线间隙，保证绝缘避雷线安全运行。

6.1.10 线路交叉部分的保护应符合下列要求：

1 交叉点宜靠近上下方线路的杆塔。

2 当导线运行温度为 40°C （若导线按允许温度 $+80^{\circ}\text{C}$ 设计时，导线运行温度取 $+50^{\circ}\text{C}$ ）时，同级电压线路相互交叉或与较低电压线路、通信线路交叉时，两交叉线路导线间或上方线路导线与下方线路避雷线间的垂直距离，不得小于表6.1.10的规定。按允许载流量计算导线截面的线路，交叉距离还应按导线最高允许温度校验，并应大于操作过电压间隙要求的空气间隙，且不得小于 0.8m 。

表 6.1.10 同级电压线路或与较低电压线路、通信线路的交叉距离

系统标称电压/kV	3~10	20~110	220	330	500	750
交叉距离/m	2	3	4	5	6 (8.5)	7 (12)
注：括号内数值为至输电线路杆顶或通信线路的交叉距离。						

33kV及以上的同级电压线路相互交叉或与较低电压线路、通信线路交叉距离比表6.1.10规定大 2m 及以上时，交叉档可不采取保护措施，否则交叉档两端的钢筋混凝土杆或铁塔均应接地。

6.1.11 大跨越档雷电过电压保护应符合下列要求：

1 全高超过 40m 有避雷线的杆塔，每增高 10m ，应增加1个绝缘子。避雷线对边导线的保护角应符合6.1.3条的规定。接地电阻不应超过表6.1.5规定的50%，当土壤电阻率大于 $2000\Omega\cdot\text{m}$ 时，也不宜超过 20Ω 。全高超过 100m 的杆塔，绝缘子数量应结合运行经验，通过雷电过电压计算确定。

2 根据雷击档距中央避雷线时防止反击条件，大跨越档导线与避雷线间的距离不得小于表6.1.11的规定。

表 6.1.11 防止反击要求的大跨越档导线与避雷线间的距离

系统标称电压/kV	35	56	110	220	330	500	750
距离/m	3.0	6.0	7.5	11.0	15.0 (注)	17.5 (注)	(注)
注：应根据雷电过电压计算校验确定。							

6.2 架空配电线路过电压保护

6.2.1 35kV 以下架空配电线路不宜全线架设避雷线。多雷区混凝土杆架空配电线路可架设避雷线或在三角排线的中线上安装避雷器，架设避雷线时保护角不应大于 25° 。

6.2.2 除少雷区外，35kV 以下的钢筋混凝土杆配电线路，宜采用瓷或其他绝缘材料的横担；若采用铁横担，宜提高绝缘子等级，当导线为绝缘导线时可不提高绝缘子等级。

6.2.3 有避雷线的钢筋混凝土杆和铁塔应接地。居民区无避雷线钢筋混凝土杆和铁塔亦应接地，接地电阻不宜超过 30Ω 。

6.2.4 架空配电线路使用绝缘导线时，应根据雷电活动和已有运行经验采取防止雷击导线断线的防护措施。可采取防弧金具、钳位绝缘子和有串联间隙的金属氧化物避雷器等措施。

7 变配电装置及建筑物雷电过电压保护

7.1 直击雷过电压保护

7.1.1 直击雷过电压保护可采用避雷针、避雷线或避雷带。下列设施应设置直击雷保护装置：

- 1 户外变压器和配电装置。
- 2 门式启闭机、油处理室、柴油发电机房、油库、露天油罐及易燃材料仓库等建筑物。
- 3 厂内通信基站。

7.1.2 发电厂主厂房、主泵房、主控制室和配电装置室的直击雷过电压保护措施应符合下列规定：

- 1 直击雷保护装置包括避雷针、避雷线、避雷带、兼做接闪器的设备金属外壳、电缆金属外皮、建筑物金属构件等，其接地装置可利用水利水电工程的主接地网，但应在避雷针、避雷线、避雷带的直击雷保护装置附近设置集中接地装置。

- 2 主厂房、主泵房及主控制室、配电装置室可不专门装设避雷针作为直击雷保护装置。保护其他设备装设的避雷针，不宜装在独立的主控制室及35kV及以下配电装置室的屋顶上。

- 3 强雷区主厂房、主控制室、配电装置室宜装设直击雷保护装置。

- 4 主厂房上装设的避雷针、屋顶避雷带或可作为接闪器的金属屋顶，应采取加强分流、装设集中接地装置、设备接地点远离避雷针接地引下线的入地点、避雷针接地引下线远离电气设备等防止反击的措施。

- 5 主厂房、主泵房、主控制室、35kV及以下配电装置室屋顶直击雷保护宜采取下列措施：

- 1) 屋顶为金属屋顶或为金属结构，应将金属部分接地。
- 2) 屋顶为钢筋混凝土结构，应将钢筋焊接成网并接地。

3) 屋顶为非导电结构，应采用避雷带保护，避雷带网格宜为 $8\sim 10\text{m}$ ，每隔 $10\sim 18\text{m}$ 设接地引下线。该接地引下线应与主接地网连接，并在连接处加装集中接地装置。

6 峡谷地区的水利水电工程宜用避雷线保护。

7 屋顶上的设备金属外壳、电缆金属外皮和建筑物金属构件均应接地。

8 露天布置的 GIS 设备外壳可不装设直击雷保护装置，但应可靠接地。

7.1.3 独立避雷针（线）宜设独立的接地装置。在非高土壤电阻率地区，接地电阻不宜超过 10Ω 。当有困难时，该接地装置可与主接地网连接，但避雷针与主接地网地下连接点至 35kV 及以下设备与主接地网的地下连接点，沿接地体长度不得小于 15m 。独立避雷针不应设在人经常通行的地方，避雷针及其接地装置与道路或出入口等的距离不宜小于 3m ，否则应采取均压措施，或铺设砾石或沥青地面。

7.1.4 构架或屋顶上安装的避雷针应符合下列要求：

1 110kV 及以上的配电装置，可将避雷针装在配电装置的构架或屋顶上，土壤电阻率大于 $1000\Omega\cdot\text{m}$ 时，宜装设独立避雷针。否则，应通过验算，采取降低接地电阻或加强绝缘等措施。

2 66kV 的配电装置，可将避雷针装在配电装置的构架或房顶上，土壤电阻率大于 $500\Omega\cdot\text{m}$ 时，宜装设独立避雷针。

3 35kV 及以下高压配电装置构架或房顶不宜装设避雷针。

4 装在构架上的避雷针应与接地网连接，并应在附近装设集中接地装置。装有避雷针的构架上，接地部分与带电部分间的空气中距离不得小于绝缘子串长度；空气污秽地区有困难时，空气中距离可按非污秽区标准绝缘子串长度确定。

5 除大坝与厂房紧邻的发电厂外，装设在构架（不包括变压器门型构架）上的避雷针与主接地网地下连接点至变压器外壳

接地线与主接地网地下连接点之间，沿接地体长度不应小于15m。

6 除大坝与厂房紧邻的发电厂外，变压器门型构架上和高电压变压器主接地线小于15m的配电装置的构架上，当土壤电阻率大于 $350\Omega\cdot\text{m}$ 时，不应装设避雷针、避雷线。当土壤电阻率不大于 $350\Omega\cdot\text{m}$ 时，根据方案比选确有必要在以上部位装设避雷针、避雷线，应通过验算采取限制反击过电压措施，并应符合下列要求：

- 1) 装设在变压器门型构架上避雷针应与主接地网相连，并采取降低冲击接地电阻的措施。
- 2) 直接在3~35kV变压器绕组的出线上或在距变压器电气距离不大于5m条件下装设金属氧化物避雷器。

7.1.5 架空线路避雷线引接到配电装置内应符合下列要求：

1 110kV及以上配电装置，可将线路避雷线引接到出线门型构架上，土壤电阻率大于 $1000\Omega\cdot\text{m}$ 时，应装设集中接地装置；

2 35kV和66kV配电装置，土壤电阻率不大于 $500\Omega\cdot\text{m}$ 时，将线路避雷线可引接到出线门型构架上，但应装设集中接地装置；土壤电阻率大于 $500\Omega\cdot\text{m}$ 时，避雷线应架设到线路终端杆塔为止。从线路终端杆塔到配电装置一档线路的保护，可采用独立避雷针，也可在线路终端杆塔上装设避雷针。

7.1.6 装有避雷针和避雷线构架附近的电源线应符合下列要求：

1 装有避雷针（线）构架上的照明灯电源线，应采用直接埋入地下的带金属外皮的电缆或穿入金属管的导线。电缆外皮或金属管埋入地中长度在10m以上，方可与35kV及以下配电装置接地网及低压配电装置相连接。

2 严禁在装有避雷针（线）的构筑物上架设未采取保护措施的通信线、广播线和低压线。

7.1.7 独立避雷针、避雷线与配电装置带电部分、设备和构架接地部分之间的空气中距离，以及独立避雷针、独立避雷线的接

地装置与接地网间的地中距离，应符合下列要求：

1 独立避雷针与配电装置带电部分、电气设备接地部分、构架接地部分之间的空气中距离，应符合式 (7.1.7-1) 的要求：

$$S_k \geq 0.2R_{ch} + 0.1h_d \quad (7.1.7-1)$$

式中 S_k ——空气中距离，m；

R_{ch} ——独立避雷针冲击接地电阻， Ω ；

h_d ——独立避雷针校验点高度，m。

2 独立避雷针接地装置与水利水电工程主接地网的地中距离，应符合式 (7.1.7-2) 的要求：

$$S_d \geq 0.3R_{ch} \quad (7.1.7-2)$$

式中 S_d ——地中距离，m。

3 独立避雷线与配电装置带电部分、电气设备接地部分、构架接地部分之间的空气中距离，应符合式 (7.1.7-3) 和式 (7.1.7-4) 的要求：

$$S_k \geq \beta [0.2R_{chx} + 0.1(h_m + \Delta l)] \quad (7.1.7-3)$$

$$\beta = \frac{l_{xx} + \Delta l + h_{xx}}{l_{xx} + 2h_{xx}} \quad (7.1.7-4)$$

式中 R_{chx} ——避雷线冲击接地电阻， Ω ；

h_m ——避雷线支柱高度，m；

Δl ——避雷线上校验点与最近接地支柱距离，m；

β ——对两端接地的避雷线分流系数。对一端接地、另一端绝缘的避雷线， β 取1；

l_{xx} ——避雷线两柱间距离，m。

4 独立避雷线接地装置与水利水电工程主接地网的地中距离，应符合式 (7.1.7-5) 的要求：

$$S_d \geq 0.3\beta R_{ch} \quad (7.1.7-5)$$

5 除满足以上计算外， S_k 不宜小于5m， S_d 不宜小于3m。对66kV及以下配电装置，包括组合导线、母线廊道（桥），应

降低感应过电压，当条件许可时， S_k 应增大。

7.1.8 雷击避雷针（线）引起地网冲击电位升高，冲击电位对电力设备的反击过电压应按下列方法校验：

1 雷电流引起的引流点冲击电位升高，可按式（7.1.8-1）计算：

$$U_{ch} = R_{ch} I_{ch} \quad (7.1.8-1)$$

式中 U_{ch} ——地网引流点冲击电压，kV；

R_{ch} ——地网冲击电阻， Ω ；

I_{ch} ——雷电流，A，通常不大于100kA。

2 地网冲击电阻可按式（7.1.8-2）和式（7.1.8-3）估算：

1) 对长孔接地网：

$$R_{ch} = 0.6\sqrt{\rho} \quad (7.1.8-2)$$

2) 对方孔接地网：

$$R_{ch} = 0.2\sqrt{\rho} \quad (7.1.8-3)$$

式中 ρ ——接地网土壤电阻率， $\Omega \cdot m$ 。

3 设备外壳处地网电位升高，可按式（7.1.8-4）计算：

$$U'_{ch} = U_{ch} e^{-18.3L/\rho} \quad (7.1.8-4)$$

式中 U'_{ch} ——设备外壳处地网电压，kV；

L ——引流点至设备外壳接地点沿接地线的最短距离，m。

4 设备反击过电压可按式（7.1.8-5）估算：

$$U = K_r U'_{ch} \quad (7.1.8-5)$$

式中 U ——设备上反击过电压，kV；

K_r ——反击电压系数，反击电压系数与设备充电回路的时间常数有关，时间常数按式（7.1.8-6）计算，反击电压系数可由图7.1.8查得。

$$T_c = ZC_m \quad (7.1.8-6)$$

式中 T_c ——设备充电回路的时间常数， μs ；

Z ——架空线（电缆）的波阻抗， Ω ；

C_m ——设备连接端子对地入口电容， μF 。

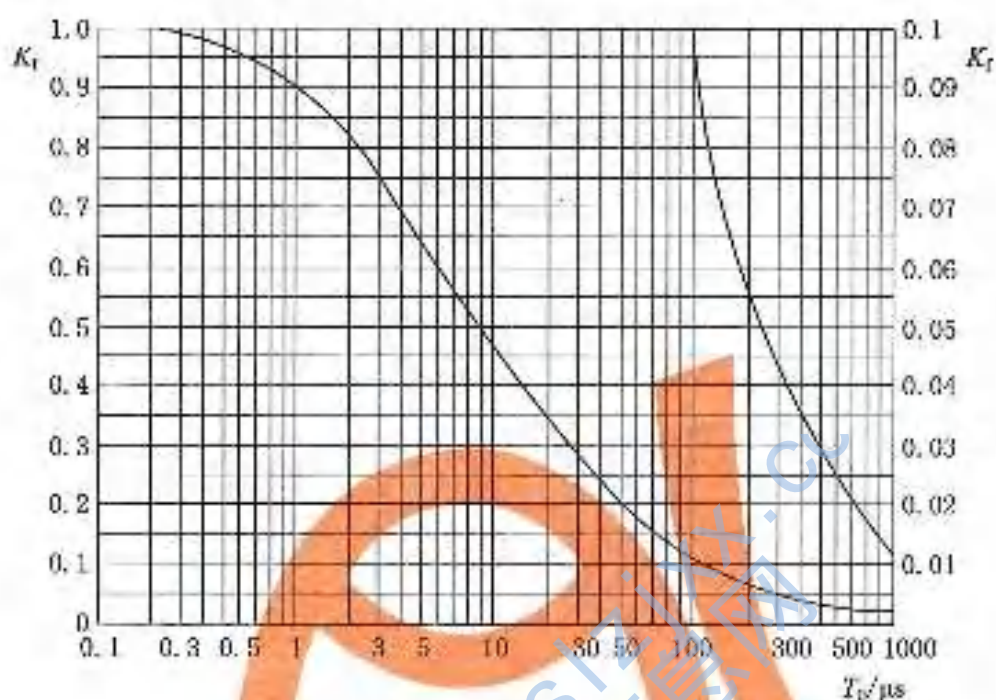


图 7.1.8 设备反击电压系数

5 电气设备反击电压经校验后，对电气设备绝缘有危害时，应采取措施，可将设备接地点远离避雷针（线）的引流点，或采用避雷器保护。采用上述措施有困难时，应将避雷针（线）移至别处。

7.1.9 孤立建筑物防直击雷保护应按 GB 50057 执行。

7.2 感应雷过电压保护

7.2.1 避雷针（线）宜远离 35kV 及以下配电装置，包括组合导线、母线廊道（桥）等，降低感应过电压。

7.2.2 房顶上的设备金属外壳、电缆金属外皮和金属构件均应接地。

7.3 雷电侵入波过电压保护

7.3.1 35~220kV 进（出）线间隔的隔离开关或断路器经常断路运行，同时线路侧又带电时，应在靠近隔离开关或断路器线路

侧装设 MOA。

7.3.2 35kV 及以上电缆进出线段，在电缆与架空线连接处应装设 MOA，接地端应与电缆金属护层连接，并应符合下列要求：

1 对三芯电缆，末端金属护层应直接接地，如图 7.3.2-1 所示；对 35kV 以上单芯电缆，应经护层保护器接地，对 35kV 单芯电缆，根据需要也可经护层保护器接地，如图 7.3.2-2 所示。

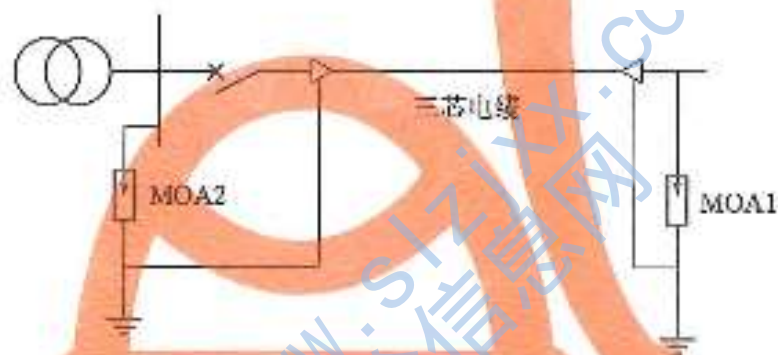
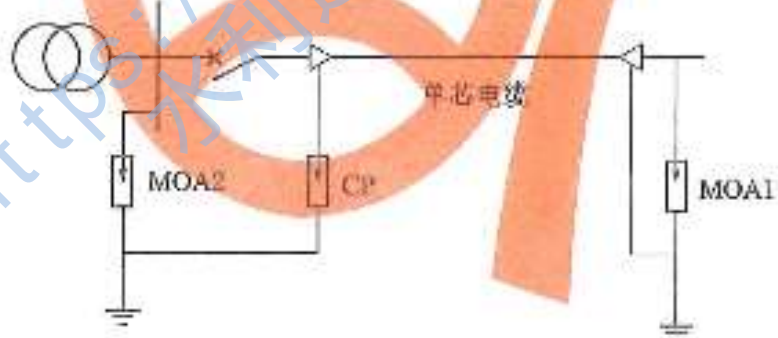


图 7.3.2-1 三芯电缆段的进出线保护接线



MOA1—线路型 MOA；MOA2—电站型 MOA；

CP—金属氧化物电缆护层保护器

图 7.3.2-2 单芯电缆段进出线保护接线

2 电缆长度不超过 50m 或虽超过 50m 但经校验装 1 组 MOA 即能符合保护要求，图 7.3.2-1 和图 7.3.2-2 中可只装 MOA1 或 MOA2。

3 电缆长度超过 50m 时，且断路器在雷雨季节可能经常断路运行，应在电缆末端装设 MOA。

4 连接电缆的架空线路，应架设 1km 避雷线。

7.3.3 两端与架空线路相连接长度超过 50m 的电缆，应在两端装设 MOA；长度不超过 50m 的电缆，可只在任一端装设 MOA。

7.3.4 高压电气主接线在各种运行方式下，有可能受到雷电侵入波危害的设备，均应在避雷器保护范围内并按下列规定配置：

1 桥形接线和角形接线的配电装置，避雷器宜配置在线路入口处。

2 单母线和双母线接线的配电装置，避雷器宜配置在主母线上，当有旁路母线投运时，出线设备不在主母线避雷器保护范围内，应在旁路母线上设置避雷器。

3 3/2 接线或 4/3 接线，对 220kV 配电装置，避雷器宜配置在母线上；对 330~750kV 配电装置，避雷器宜配置在进出线入口处。仍有设备不在避雷器保护范围内时，可在母线上设置避雷器。

4 以上设置的避雷器应靠近变压器附近装设。当变压器远离高压配电装置又不在配电装置避雷器保护范围内时，应在变压器附近设置避雷器。

5 配电装置中所有避雷器应以最短接地线与主接地网连接，同时配电装置露天布置或布置在室内与土壤直接接触的地面上时应在附近装设集中接地装置；布置在室内不与土壤直接接触的地面上时可不就近装设集中接地装置，但宜采取降低冲击电阻的措施。

7.3.5 220kV 及以下敞开式电气设备，MOA 至主变压器间的最大允许电气距离可按表 7.3.5 确定，其他被保护设备的最大距离可相应增加 35%。避雷器与被保护设备的最大电气距离超过规定时，可在主变压器附近增设避雷器。出线回路数应按雷雨季节可能运行的最少回路数确定，对双回路杆塔出线，有同时遭受

雷击的可能时，应按一回路出线确定。并应充分考虑到初期出线回路数较少的情况。避雷器与主变压器及其他被保护电气设备的电气距离宜缩短。

表 7.3.5 MOA 至变压器的最大电气距离

电压等级 /kV	进线保护段 /km	出线回路数			
		1	2	3	≥ 4
		最大电气距离/m			
35	1	25	40	50	55
	1.5	40	55	65	75
	2	50	75	90	105
66	1	45	65	80	90
	1.5	60	85	105	115
	2	80	105	130	145
110	1	55	85	105	115
	1.5	90	120	145	165
	2	125	170	205	230
220	2	125 (90)	195 (140)	235 (170)	265 (190)

注 1：全线有进线进线长度取 2km，进线长度在 1~2km 时的距离按照补插法确定。

注 2：标准绝缘水平指 35kV、66kV、110kV 及 220kV 变压器、电压互感器标准雷电冲击全波耐受电压分别为 200kV、325kV、480kV 及 550kV，括号内的数值对应的雷电冲击全波耐受电压为 850kV。

7.3.6 采用仿真计算确定雷电侵入波保护方案和避雷器设置应符合下列要求：

1 对于 330kV 及以上高压配电装置，雷电侵入波过电压保护方案和避雷器设置应通过仿真计算确定。

2 对 110kV 及 220kV 的 GIS 且具有电缆段的电气接线，雷电侵入波过电压保护方案和避雷器设置可通过仿真计算确定。

7.3.7 对采用的雷电侵入波过电压保护方案校验时，计算条件

为保护接线应保证 2km 外线路导线上出现雷电侵入波过电压时不引起电气设备绝缘损坏。计算时应选取各种可能的运行接线方式和影响因素选择最大过电压值进行绝缘配合。

7.3.8 35~220kV 配电装置，应根据重要性和进线路数，在进线上装设 MOA。

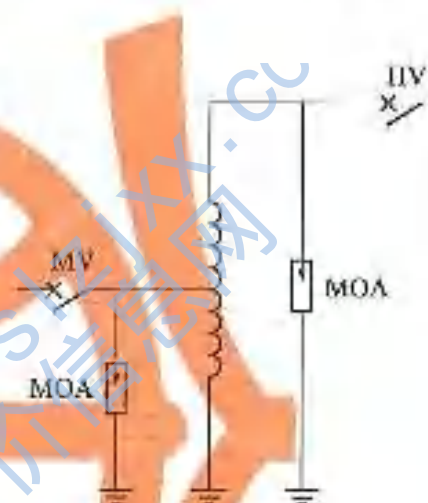
7.3.9 自耦变压器应在两个自耦合绕组的出线上装设避雷器，避雷器应装在自耦变压器和断路器之间，并应采用图 7.3.9 所示的保护接线。

7.3.10 与架空线路连接的三绕组自耦变压器、三绕组变压器（包括一台变压器与两台电机相连的三绕组变压器）的低压绕组有开路运行的可能和发电厂双绕组变压器当发电机断开由高压侧倒送厂用电时，应在变压器低压绕组出线上安装避雷器。

7.3.11 有效接地系统中性点不接地的变压器，中性点采用分级绝缘且未装设间隙保护时，应在中性点装设 MOA。中性点采用全绝缘，变电站为单进线且为单台变压器运行时，应在中性点装设 MOA。中性点不接地、谐振接地和高电阻接地系统的变压器（含接地变压器）中性点，可不装设保护装置，但多雷区单进线且变压器中性点引出时，宜装设 MOA。

7.3.12 3~10kV 配电装置雷电侵入波过电压保护应符合下列要求：

1 3~10kV 配电装置，应在每组母线和架空进线上分别装设电站型和配电型 MOA，并应采用图 7.3.12 所示的保护接线。MOA 至 3~10kV 主变压器的最大电气距离宜符合表 7.3.12 的规定。



MOA—电站型金属氧化物避雷器

图 7.3.9 自耦变压器保护接线

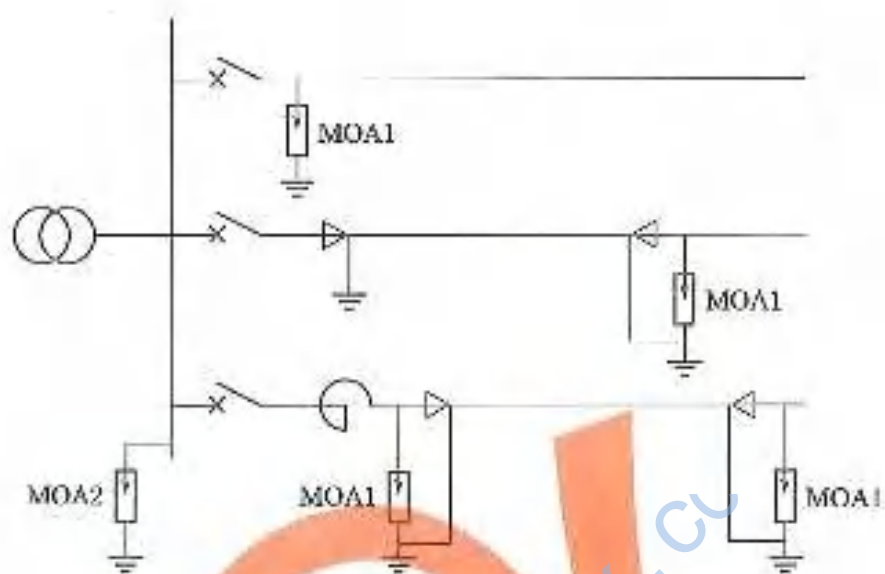


图 7.3.12 3~10kV 配电装置雷电侵入波过电压的保护接线

表 7.3.12 MOA 至 3~10kV 主变压器的最大电气距离

馈线中经常运行的进线回路数	1	2	3	≥4
最大电气距离/m	15	20	25	30

2 架空进线全部在厂区内，且受到其他建筑物屏蔽时，可只在母线上装设 MOA。

3 有电缆段的架空线路，MOA 应装设在电缆终端附近，接地端应与电缆金属外皮相连。各架空进线均有电缆段时，MOA 与主变压器的最大电气距离可不受限制。

4 MOA 应以最短接地线与配电装置主接地网连接，可通过电缆金属外皮连接。MOA 附近应装设集中接地装置。

5 3~10kV 配电站，当无站用变压器时，可在每路架空进线上装设 MOA。

7.3.13 330kV 及以上变压器和高压并联电抗器中性点经电抗器接地时，中性点上应装设 MOA 保护。

7.3.14 有 GIS 配电装置的变电站雷电侵入波过电压保护应符合下列要求：

1 66kV 及以上无电缆段进线的 GIS 变电站保护（见图 7.3.14-1）应符合下列要求：

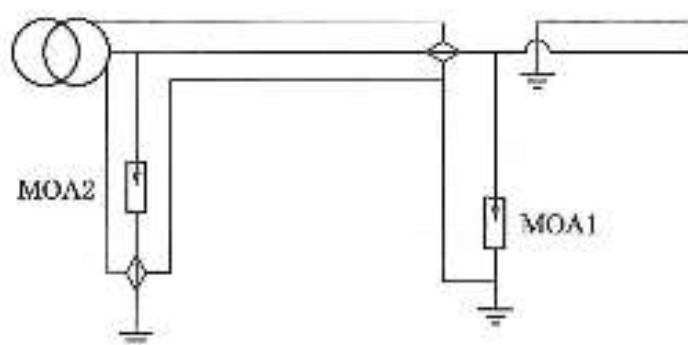


图 7.3.14-1 无电缆段进线的 GIS 变电站保护

- 1) 应在 GIS 管道与架空线路连接处装设 MOA，接地端应与管道金属外壳连接。
- 2) 变压器或 GIS 一次回路的电气部分至 MOA1 间的最大电气距离，对 66kV 系统不超过 50m 时，对 110kV 及 220kV 系统不超过 130m 时，或经校验装 1 组 MOA 既能符合保护要求时，可只装设 MOA1。
- 3) 连接 GIS 管道的架空线路进出线保护段长度不应小于 2km。

2 66kV 及以上进出线有电缆段的 GIS 变电站雷电侵入波过电压保护应符合下列要求：

- 1) 电缆段与架空线路连接处应装设 MOA，接地端应与电缆金属外皮连接。
- 2) 对有单芯电缆段进出线的 GIS 变电站的保护接线（见图 7.3.14-2），应经金属氧化物电缆护层保护器接地。

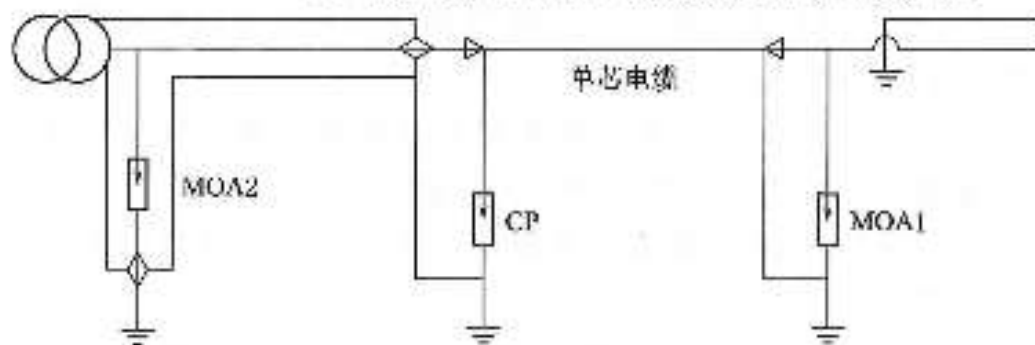


图 7.3.14-2 有电缆段进线的 GIS 变电站保护接线

3) 电缆末端至变压器或 GIS 一次回路的任何电气部分间的最大电气距离不超过本条 1 款 2) 项的规定可不装设 MOA2。当超过时, 经校验装 1 组 MOA 既能符合保护要求, 图 7.3.14-2 中可不装设 MOA2。

4) 连接电缆段的 2km 架空线路应架设避雷线。

3 进线全长为电缆的 GIS 变电站内的 MOA 装设, 应根据电缆另一端有无雷电过电压侵入波, 经校验确定。

7.3.15 小容量变电站雷电侵入波过电压应按下列要求采用简易保护:

1 3150~5000kVA 的变电站 35kV 侧, 可根据负荷重要性及雷电活动, 进线段地线长度可减少到 500~600m, 并采用图 7.3.15-1 所示的简易保护接线。

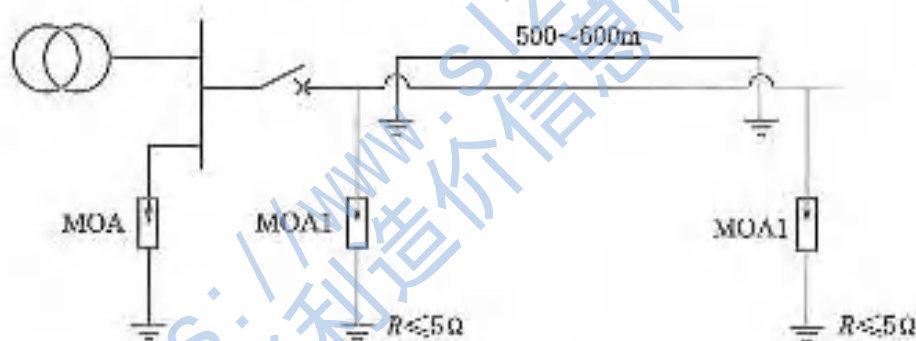


图 7.3.15-1 3150~5000kVA 的 35kV 变电站的简易保护接线

2 小于 3150kVA 供非重要负荷的变电站 35kV 侧, 根据雷电活动, 可采用图 7.3.15-2 所示的保护接线; 容量为 1000kVA 及以下的变电站, 可采用图 7.3.15-3 所示的保护接线。

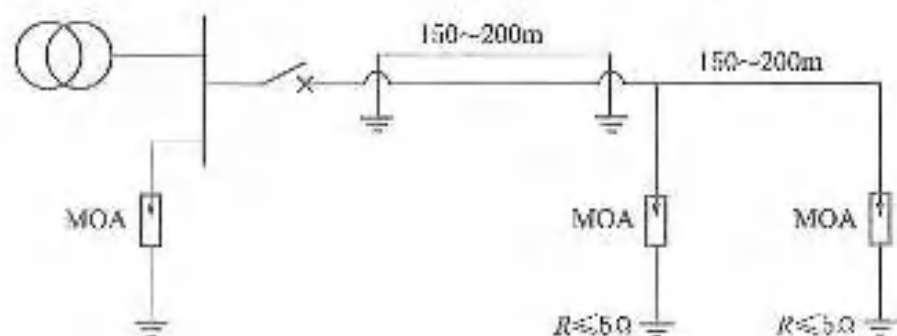


图 7.3.15-2 小于 3150kVA 变电站的简易保护接线

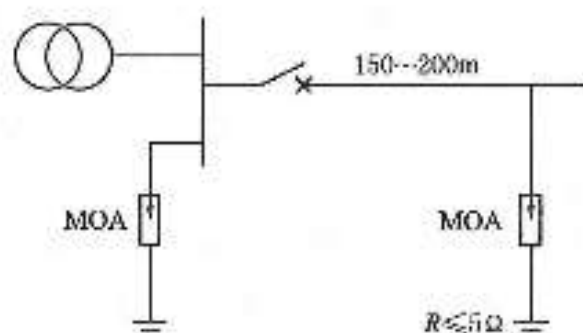


图 7.3.15-3 1000kVA 及以下变电站的简易保护接线

3 小于 3150kVA 供非重要负荷的 35kV 分支变电站，根据雷电活动，分支线较短时可采用图 7.3.15-4 所示的保护接线，分支线较长时可采用图 7.3.15-5 所示的保护接线。

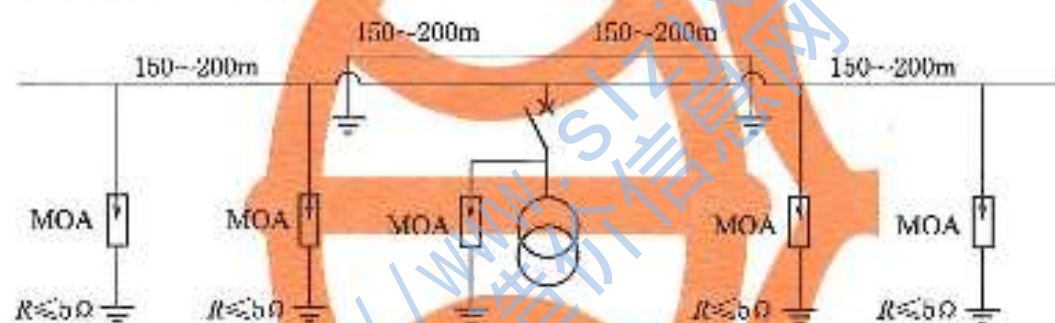


图 7.3.15-4 小于 3150kVA 分支变电站的简易保护接线 (一)

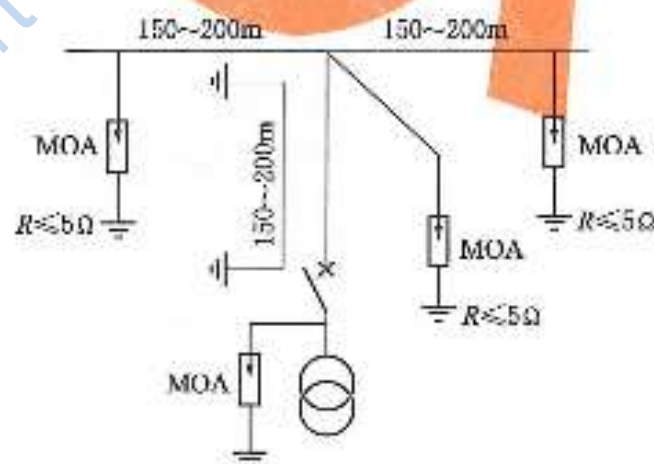


图 7.3.15-5 小于 3150kVA 分支变电站的简易保护接线 (二)

4 简易保护接线的变电站 35kV 侧，MOA 与主变压器或电压互感器的最大电气距离不宜超过 10m。

7.3.16 3~35kV 变配电系统中宜靠近配电变压器的高低压侧装设 MOA。该 MOA 接地线应与变压器金属外壳连在一起接地。

7.3.17 3~35kV 柱上断路器和负荷开关应装设 MOA 保护。经常断路运行而又带电的柱上断路器、负荷开关或隔离开关，应在带电侧装设 MOA，接地线应与柱上断路器等金属外壳连接，且接地电阻不宜超过 10Ω。

7.3.18 低压架空线路接户线的绝缘子铁脚宜接地，接地电阻不宜超过 30Ω。土壤电阻率在 $200\Omega \cdot m$ 及以下的铁横担钢筋混凝土杆线路，由于连续多杆自然接地作用，可不另设接地装置。屋内有电力设备接地装置的建筑物，在入口处宜将绝缘子铁脚与该接地装置相连，可不另设接地装置。

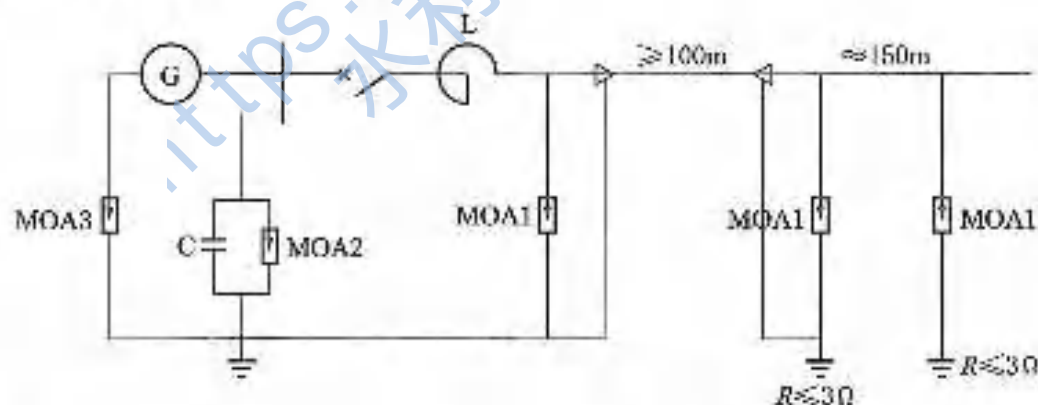
7.3.19 发电厂厂用电系统外来电源或近区供电接 3~35kV 架空线路时，宜在每组母线和架空进线上装设 MOA。母线上 MOA 距配电变压器的电气距离不宜大于 15m。有电缆段的架空线路，MOA 应装设在电缆头附近。接地端应与电缆金属外皮相连。避雷器应以最短接地线与主接地网连接。

8 旋转电机雷电过电压保护

8.1 直配电机雷电过电压保护

8.1.1 直配电机保护方式，应根据容量、雷电活动和运行可靠性确定。旋转电机雷电过电压保护用 MOA 的选择应按 5.3.3 条的规定执行。

8.1.2 单机容量不小于 6000kW 且不大于 25000kW 的直配电机，进出线回路中有限流电抗器宜采用图 8.1.2-1 所示的保护接线，在多雷区可采用图 8.1.2-2 所示的保护接线；如进出线回路中无限流电抗器，在多雷区可采用图 8.1.2-3 所示的保护接线，当单机容量不小于 6000kW 且不大于 12000kW 时，宜采用有电抗线圈的图 8.1.2-4 所示的保护接线。进线电缆段宜直接埋设在土壤中；当进出线电缆段未直接埋设时，可将电缆金属外皮多点接地。进出线段上的避雷器的接地端应与电缆的金属外皮和地线连在一起接地。



MOA1—配电 MOA；MOA2—旋转电机 MOA；MOA3—旋转电机中性点 MOA；
G—旋转电机；C—电容器；R—接地电阻；L—限制短路电流用的电抗器

图 8.1.2-1 6000~25000kW 直配电机的保护接线 (一)

8.1.3 单机容量不小于 1500kW 且小于 6000kW 的直配电机或少雷区 25000kW 及以下的直配电机，可采用图 8.1.3-1 所示的

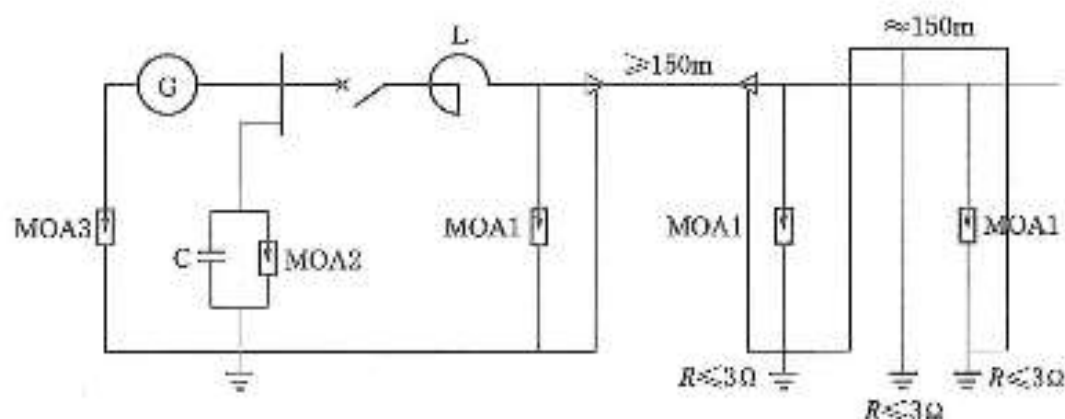


图 8.1.2-2 6000~25000kW 直配电机的保护接线 (二)

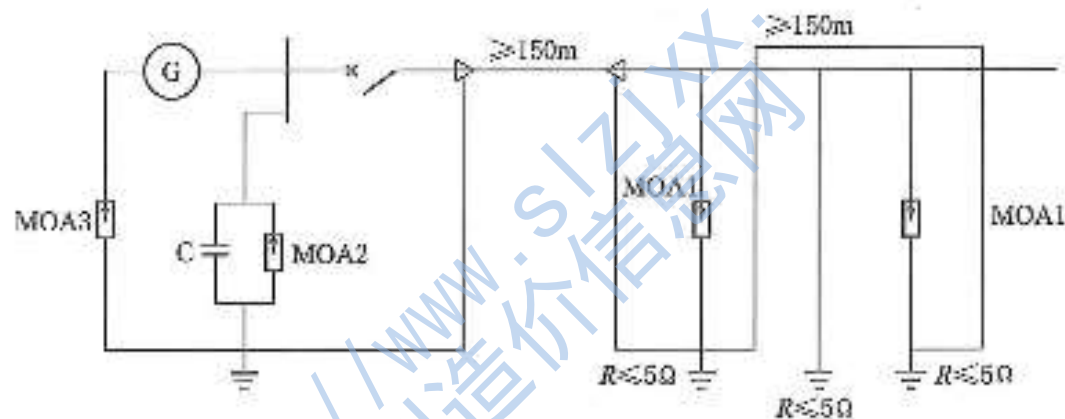


图 8.1.2-3 6000~25000kW 直配电机的保护接线 (三)

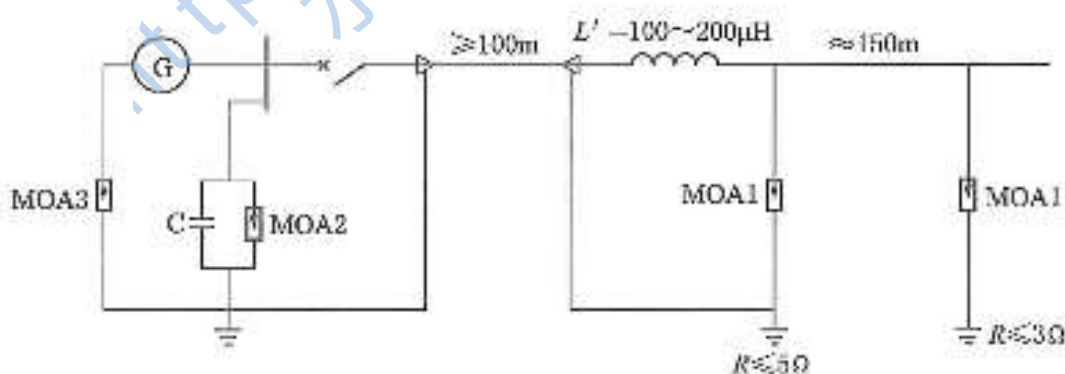


图 8.1.2-4 6000~12000kW 直配电机的保护接线

保护接线。对单机容量不小于 1500kW 且小于 6000kW 的直配电机，也可采用图 8.1.3-2 所示的有电抗线圈 L' 或限流电抗器 L 的保护接线。

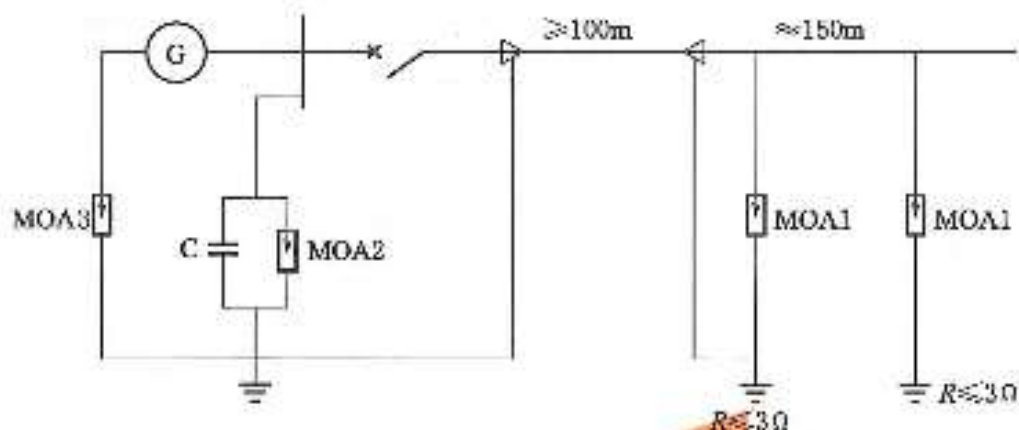


图 8.1.3-1 不小于 1500kW 且小于 6000kW 直配电机或少雷区 25000kW 及以下直配电机的保护接线

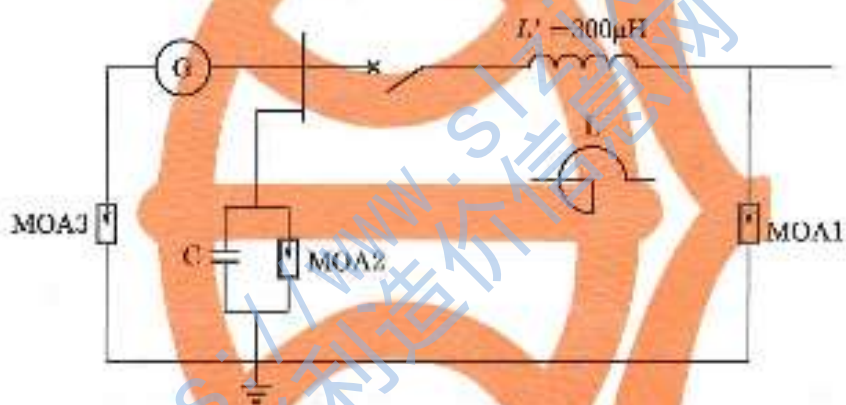


图 8.1.3-2 不小于 1500kW 且小于 6000kW 直配电机的保护接线

8.1.4 保护高压旋转电机用避雷器，宜采用电机型 MOA。容量为 25000kW 的直配电机，应在每台电机进出线处装设避雷器。25000kW 以下的直配电机，避雷器宜靠近电机装设，如每组母线上的电机不超过 2 台，避雷器也可装在每组母线上。

8.1.5 保护直配线用避雷线，对边导线的保护角不应大于 20° 。

8.1.6 装在每相母线上保护直配电机匝间绝缘和防止感应过电压用的电容器，包括电缆电容在内的电容值应为 $0.25 \sim 0.5 \mu\text{F}$ ，对于中性点不能引出或双排非并绕线圈的电机，应为 $1.5 \sim 2 \mu\text{F}$ 。电容器宜有短路保护。

8.2 非直配电机雷电过电压保护

8.2.1 负荷容量较小的近区供配电可采用图 8.2.1 所示的经 1:1 变压器的保护接线方式。

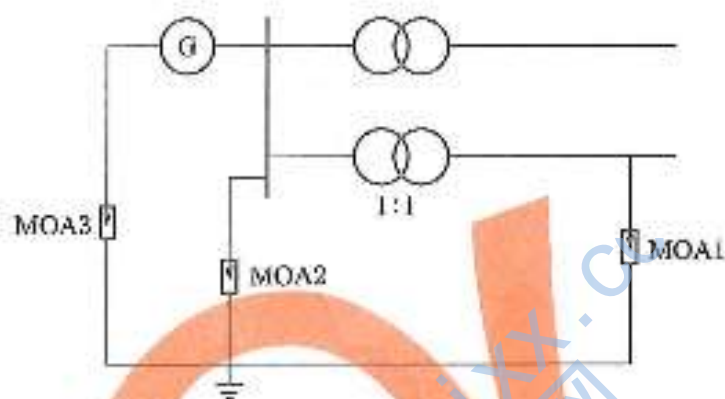


图 8.2.1 近区供配电经 1:1 变压器的保护接线

8.2.2 经变压器与架空线路连接的非直配电机，宜在电机进出线上装设旋转电机用 MOA，防止雷电过电压经变压器绕组的电磁传递而危及电机的绝缘。

8.2.3 非直配电机与变压器之间的母线桥或组合导线无金属屏蔽部分的长度大于 50m 时，应采取防止感应过电压的措施，宜在电机侧每相装设不小于 $0.15\mu\text{F}$ 电容器或电机型避雷器。变压器侧已按 7.3.10 条装有避雷器时，可不再增设，但该避雷器应选择电机型 MOA。

9 中性点过电压保护

9.1 旋转电机中性点过电压保护

9.1.1 直配电机中性点能引出且未直接接地，应在中性点上装设旋转电机型避雷器，额定电压宜按表 9.1.1 选定。

表 9.1.1 保护旋转电机中性点绝缘的避雷器额定电压

单位：kV

电机额定电压（电动机/发电机）	3/3.15	6/6.3	10/10.5
无间隙金属氧化物避雷器额定电压	2.4	4.8	8.0

9.1.2 电机中性点不引出或绕组为三角形接线时，应按 8.1.6 条增大安装在母线上电容器的电容量，使中性点不致出现危险的过电压。

9.2 变压器中性点过电压保护

9.2.1 变压器中性点避雷器额定电压不应低于系统单相接地变压器中性点上最大工频电压。变压器中性点的雷电绝缘配合系数不应低于 1.25。

9.2.2 根据表 9.2.2-1 变压器中性点绝缘水平和 3.2.1 条、3.2.2 条系统接地方式，保护变压器中性点绝缘的避雷器主要参数可按表 9.2.2-2 选定。

表 9.2.2-1 变压器中性点绝缘水平

单位：kV

系统标称电压		35		66		110		220		330		500		750	
中性点接地方式		不接地	不接地	不固定接地	固定接地	不固定接地	固定接地	经低阻抗接地	固定接地	经低阻抗接地	固定接地	经低阻抗接地	固定接地	经低阻抗接地	
变压器中性点绝缘水平	短时工频耐受电压	85	95	95	85	200	85	105	85	140	85	200			
	雷电冲击耐受电压	185	250	250	185	400	185	250	185	325	185	480			

表 9.2.2-2 保护变压器中性点绝缘的避雷器主要参数

系统标称电压/kV	35	66	110	220	330	500	750
	不接地	不接地	不固定 接地	不固定 接地	经低阻 抗接地	经低阻 抗接地	经低阻 抗接地
MOA 的标称 放电电流/kA	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
MOA 的额定 电压/kV	54	98	84	144	84	102	150
MOA 的标称放 电电流下的雷电 冲击电流残压 /kV	≤144	≤260	≤200	≤320	≤200	≤260	≤384

9.2.3 110kV、220kV 变压器中性点应采用棒间隙和避雷器联合保护。棒间隙值可按表 9.2.3 选定。

表 9.2.3 变压器中性点棒间隙值

系统标称电压/kV	110	220
棒间隙值/mm	$65 + 25 \frac{X_0}{X_1}$	$150 + 70 \frac{X_0}{X_1}$
注 1: 棒间隙公式适用于 $1 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 3$ 。		
注 2: 间隙尺寸应由系统运行单位给出确定值。		

10 绝缘配合

10.1 绝缘配合的原则

10.1.1 绝缘配合时，应考虑设备造价、维修费用以及故障损失，做到技术经济合理。不同的电力系统，可有不同的绝缘水平。对不同类型的电压和过电压，应考虑到其在系统作用时与标准耐受电压试验所施加的标准电压波形作用时绝缘性能的差异。

10.1.2 220kV 及以下的绝缘配合可采用确定性法（惯用法），330kV 及以上的绝缘配合可采用统计法，330kV 及以上线路的绝缘配合也可采用简化统计法。

10.1.3 持续运行电压和暂时过电压的绝缘配合应符合下列要求：

1 电气装置外绝缘应符合现场污秽度等级下的耐受持续运行电压要求。电气设备应能在设计寿命期间内承受持续运行电压。

2 线路、变电站的空气间隙和电气设备应承受一定幅值和时间的暂时过电压。

10.1.4 操作和雷电过电压的绝缘配合，应根据设备安装点的预期过电压、系统和设备的电气特性、运行经验以及保护装置限制过电压效果确定。用于操作、雷电过电压绝缘配合的标准电压波形应符合下列规定：

1 操作冲击电压波，波头 $250\mu\text{s}$ ，波尾 $2500\mu\text{s}$ ；对有绕组的设备按 GB 311.1 的规定执行。

2 雷电全波冲击电压波，波头 $1.2\mu\text{s}$ ，波尾 $50\mu\text{s}$ ；雷电截波冲击电压波为全波冲击电压波在 $2\sim 5\mu\text{s}$ 时截断的波形，截断的跌落时间为 $0.7\mu\text{s}$ 。

10.1.5 绝缘子串和空气间隙以及设备外绝缘的绝缘配合公式应按下列标准气象条件确定：

1 标准气象条件为气压(海拔 0m) 101.325kPa, 温度 20℃, 绝对湿度 11g/m³。

2 当海拔高于 0m, 不超过 4000m, 电气设备的外绝缘试验电压, 应按附录 B 修正。

3 海拔 4000m 以上的电气设备外绝缘, 试验电压应研究确定。

4 海拔高于 1000m, 但不超过 4000m, 按标准绝缘水平选择的电气设备外绝缘和干式变压器的绝缘试验电压, 应按附录 B 修正。

10.1.6 环境空气温度高于 40℃ 的电气设备外绝缘, 干燥状态下的试验电压应按式 (10.1.6-1) 和式 (10.1.6-2) 修正。

$$U(T) = K_T U(T_{40}) \quad (10.1.6-1)$$

$$K_T = 1 + 0.0033(T - 40) \quad (10.1.6-2)$$

式中 $U(T)$ —— 试验电压, kV;

$U(T_{40})$ —— 环境空气温度为 40℃ 的设备标准试验电压, kV;

K_T —— 温度校正系数。

10.1.7 电缆外绝缘泄漏距离应符合 GB/T 26218.1 和 GB/T 26218.2 的规定。

10.1.8 各类电气设备耐受电压和标准绝缘水平, 应按 GB 311.1 确定。

10.1.9 线路绝缘子串及空气间隙的绝缘配合应符合下列规定:

1 绝缘子串片数应首先按满足工频电压泄漏距离的要求确定, 然后再进行操作过电压和雷电过电压校验。

2 风偏后导线对杆塔的空气间隙, 应以工频、操作、雷电的电压作用分别确定。工频应按系统最大运行电压确定间隙, 操作应按允许操作过电压倍数确定间隙, 雷电应按绝缘子串 0.85 倍的正极性 50% 放电电压确定间隙。

3 杆塔塔头尺寸应以不同电压作用下的风偏和不同电压的 3 个间隙圆确定。

10.1.10 配电装置绝缘配合应符合下列规定:

1 绝缘子串片数确定方法应与线路相同，应按 10.1.9 条选择。绝缘子串受避雷器保护时，操作、雷电冲击绝缘强度应以避雷器相应保护水平进行绝缘配合。

2 导线对构架的空气间隙确定方法应与线路相同。空气间隙受避雷器保护时，操作、雷电冲击绝缘强度应以避雷器相应保护水平进行绝缘配合。

3 电气设备内绝缘的雷电电压，应按避雷器雷电保护水平的配合系数确定。330kV 及以上电气设备操作电压应按避雷器操作保护水平的配合系数确定。

4 电气设备外绝缘应按工频电压泄漏比距确定，雷电冲击强度应与内绝缘相同，330kV 及以上电气设备操作过电压应与内绝缘相同。

5 电气设备的绝缘配合时，对非自恢复绝缘宜采用惯用法，对自恢复绝缘可采用统计法或简化统计法。

10.2 架空线路段和配电线路的绝缘配合

10.2.1 由工频电压泄漏距离确定的线路每串绝缘子片数应按式 (10.2.1) 计算：

$$n \geq \frac{\lambda U_m}{K_e L_0} \quad (10.2.1)$$

式中 n ——海拔 1000m 及以下时，每串绝缘子片数；

λ ——泄漏比距，按 GB/T 26218.1 和 GB/T 26218.2 的规定选取，cm/kV；

L_0 ——每片悬式绝缘子的几何爬电距离，cm；

K_e ——绝缘子泄漏距离的有效系数，由绝缘子泄漏距离在试验和运行中提高污秽耐压的有效性确定；并以 XP-70 型绝缘子作为基础， K_e 值取为 1。

10.2.2 线路绝缘子片数应按操作冲击电压校验，并应符合下列要求：

1 220kV 及以下线路，操作冲击电压校验时，绝缘子串应

扣除零值绝缘子。直线杆塔应扣除 1 片，耐张杆塔应扣除 2 片。在扣除零值绝缘子后，绝缘子串的正极性操作冲击电压波的 50% 放电电压应符合式 (10.2.2-1) 的要求：

$$U_{50} \geq K_1 K_0 \sqrt{2} U_{op} \quad (10.2.2-1)$$

式中 U_{50} ——正极性操作冲击电压波的 50% 放电电压，kV；

K_1 ——正极性操作冲击电压配合系数，在海拔 1000m 及以下，对 220kV 及以下回路 $K_1=1.17$ ；

K_0 ——操作过电压倍数。

2 330kV 及以上线路不应扣除零值绝缘子，绝缘子串的 50% 放电电压应符合式 (10.2.2-2) 的要求：

$$U_{50} \geq K_2 U_{om} \quad (10.2.2-2)$$

式中 U_{om} ——线路末端相对地统计操作过电压，kV；

K_2 ——线路绝缘子串的操作过电压统计配合系数，在海拔 1000m 及以下，取 $K_2=1.25$ 。

10.2.3 线路绝缘子片数应满足线路耐雷水平、零值绝缘子和海拔高度修正的要求。

10.2.4 持续电压运行下，风偏后线路导线对杆塔空气间隙的工频 50% 放电电压应符合式 (10.2.4) 的要求。按运行电压绝缘配合时，运行电压计算风速应采用最大设计风速。

$$U_{50} \geq K_3 U_{ac} \quad (10.2.4)$$

式中 U_{50} ——工频 50% 放电电压，kV；

K_3 ——线路空气间隙工频电压配合系数，取 1.6。

10.2.5 风偏后操作过电压下，线路导线对杆塔空气间隙的正极性操作冲击电压波 50% 放电电压应符合式 (10.2.5-1) 和式 (10.2.5-2) 的要求。

1 对 220kV 及以下线路：

$$U_{50} = K_0 K_1 \sqrt{2} U_{ac} \quad (10.2.5-1)$$

式中 U_{ac} ——导线对杆塔空气间隙的正极性操作冲击电压波 50%，kV；

K_4 ——线路空气间隙操作冲击电压配合系数，对单回路 K_4 可取 1.1；对同塔双回路无风时上、中导线对中、下导线 K_4 可取 1.27，风偏后，三相导线对塔身或横担 K_4 可取 1.1。

2 对 330kV 及以上线路：

$$U_{sh} \geq K_5 U_{mod} \quad (10.2.5-2)$$

式中 K_5 ——线路空气间隙操作冲击电压统计配合系数，除 V 形串取 1.25 外，其余取 1.1。

3 按正极性操作冲击电压绝缘配合时，操作过电压计算风速宜采用最大设计风速的 50%，且不得小于 15m/s。

10.2.6 架空线路段导线与杆塔间的空气间隙，在绝缘子串正常位置和风吹偏斜时，应按下列条件确定。配合时，空气间隙应考虑杆塔尺寸误差，横担变形和施工误差等不利因素，留有一定裕度，且不应小于表 10.2.6 的规定。

表 10.2.6 架空线路段的最小空气间隙

系统标称电压/kV	35	55	110	220	330	500	750
雷电过电压间隙/mm	450	650	1000	1400	2150	3300	4200
操作过电压间隙/mm	250	500	700	1450	2000	2700	4000 (边相 I 串) 4800 (中相 V 串)
运行电压间隙/mm	100	200	250	550	900	1300	1900
悬垂绝缘子串个数	3	5	7	13	19	25	32
注 1：绝缘子型号 220kV 以下为 XP-70 型，330kV 为 XP-100 型，500kV 及以上为 XP3-160 型。							
注 2：绝缘子适用于 A 级污秽区，其他污秽区绝缘加强时间隙仍用表中数值。							

1 按雷电过电压进行绝缘配合时，应与绝缘子串的冲击放电电压相适应，风偏后线路导线对杆塔空气间隙的正极性雷电冲击电压波 50% 放电电压不应低于绝缘子串相应电压的 85%。最大设计风速小于 35m/s 的地区，雷电过电压计算风速宜采用

10m/s; 最大设计风速为 35m/s 及以上和雷暴时风速较大的地区, 雷电过电压计算风速宜采用 15m/s。

2 按操作过电压进行绝缘配合时, 应与 4.2.1 条中的计算过电压倍数相适应。操作过电压计算风速宜采用最大设计风速的 50%, 且不得小于 15m/s。

3 按运行电压进行绝缘配合时, 运行电压计算风速应采用最大设计风速。

10.3 配电装置绝缘配合

10.3.1 由工频电压泄漏距离要求的发电厂、泵站及水闸中的每串绝缘子片数, 应按式 (10.2.1) 计算, 其中 λ 应按 GB/T 26218.1 和 GB/T 26218.2 的规定选取。同时应考虑零值绝缘子片数和高海拔修正, 且不得低于线路每串绝缘子片数。

10.3.2 绝缘子串受避雷器保护时, 绝缘子串正极性操作冲击电压波 50% 放电电压应符合式 (10.3.2) 的要求, 且不得低于配电装置中隔离开关、支柱绝缘子的相应值。

$$U_{50} \geq K_0 U_{\text{op}} \quad (10.3.2)$$

式中 U_{50} ——绝缘子串正极性操作冲击电压波 50% 放电电压, kV;

U_{op} ——避雷器操作过电压保护水平, 对于 220kV 及以下, 该参数取值为计算用最大操作过电压, kV;

K_0 ——配电装置内绝缘子串操作过电压配合系数, 取 1.27。

10.3.3 绝缘子串受避雷器保护时, 绝缘子串正极性雷电冲击电压波 50% 放电电压应符合式 (10.3.3) 的要求, 且不得低于配电装置中的隔离开关、支柱绝缘子的相应值。

$$\bar{U}_{50} \geq K_1 U_{\text{es}} \quad (10.3.3)$$

式中 \bar{U}_{50} ——绝缘子串正极性雷电冲击电压波 50% 放电电压, kV;

U_{mb} ——避雷器标称放电电流下的雷电冲击电流残压值, kV;

K_2 ——配电装置内绝缘子串雷电过电压配合系数, $K_2 = 1.4$ 。

10.3.4 相对地空气间隙与工频电压的配合, 应与架空线路段和配电线路相同, 按 10.2.4 条的规定执行。

10.3.5 相对地空气间隙与操作过电压配合应与线路相同, 空气间隙受避雷器保护时, 正极性操作冲击电压波 50% 放电电压, 应符合式 (10.3.5) 的要求:

$$\bar{U}_{\text{c.i.b}} \geq K_3 U_{\text{pe}} \quad (10.3.5)$$

式中 $\bar{U}_{\text{c.i.b}}$ ——正极性操作冲击电压波 50% 放电电压, kV;

K_3 ——配电装置内相对地空气间隙与操作过电压配合系数, 有风偏间隙取 1.1, 无风偏间隙取 1.27。

10.3.6 相对地空气间隙与雷电过电压配合应与线路相同, 空气间隙受避雷器保护时, 正极性雷电冲击电压波 50% 放电电压, 应符合式 (10.3.6) 的要求:

$$\bar{U}_{\text{L.i.b}} \geq K_4 U_{\text{mb}} \quad (10.3.6)$$

式中 $\bar{U}_{\text{L.i.b}}$ ——正极性雷电冲击电压波 50% 放电电压, kV;

K_4 ——相对地空气间隙雷电过电压配合系数, 有风偏间隙取 1.4, 无风偏间隙取 1.45。

10.3.7 相间空气间隙的工频 50% 放电电压应为相对地空气间隙放电电压的 $\sqrt{3}$ 倍。相间空气间隙的 50% 操作冲击电压波放电电压应为相对地间隙放电电压的 1.5 倍。雷电过电压相间空气间隙应为相对地间隙的 1.1 倍。

10.3.8 清洁区配电装置应满足下列要求:

1 户外电瓷绝缘的泄漏比距 λ , 不应小于 10.3.1 条规定中选取的数值。泄漏比距应按式 (10.3.8-1) 计算:

$$\lambda = \frac{K_5 L}{U_m} \quad (10.3.8-1)$$

式中 L ——电气设备户外电瓷绝缘的泄漏距离, cm;

K_b ——泄漏距离有效系数，以普通棒形支柱绝缘子为基础， $K_b=1$ 。

2 断路器同极断口间灭弧室瓷套的有效泄漏比距不应小于对地泄漏比距的 1.5 倍。

3 330~750kV 变压器内绝缘在正常运行工频电压作用下的工作可靠性，应通过长时间工频耐压试验验证。变压器耐压值应为 1.5 倍系统最高相电压。

4 电气设备应能承受一定幅值和时间的工频过电压和谐振过电压，内外绝缘短时工频耐受电压的有效值不应小于最大工频过电压的 1.15 倍。

5 断路器同极断口间内外绝缘短时工频耐受电压的有效值应符合式 (10.3.8-2) 的要求：

$$U_{s,d} \geq 1.15U_{s,p} + k_m \sqrt{2}U_{s,r} \quad (10.3.8-2)$$

式中 $U_{s,p}$ ——断路器同极断口间内外绝缘短时工频耐受电压有效值，kV；

$U_{s,r}$ ——设备内外绝缘短时工频耐受电压有效值，kV；

k_m ——断口耐受电压折扣系数，对 330kV 和 500kV 设备 k_m 取 0.7 或 1，对 750kV 设备 k_m 取 1。

10.3.9 330~750kV 电气设备额定操作冲击耐压应符合下列规定：

1 330~750kV 电气设备内外绝缘相对地额定操作冲击耐压与避雷器操作过电压保护水平间的配合系数，不应小于 1.15。外绝缘淋雨耐压值可低 5%。

2 330~750kV 变压器内外绝缘相间额定操作冲击耐压，应取内绝缘相对地额定操作冲击耐压的 1.5 倍。

3 330~750kV 断路器同极断口间内外绝缘额定操作冲击耐压应符合式 (10.3.9-1) 的要求：

$$U_{s,d} \geq 1.15U_{s,r} + k_m \sqrt{2}U_{s,r} \quad (10.3.9-1)$$

式中 $U_{s,r}$ ——断路器同极断口间内外绝缘额定操作冲击耐压，kV；

$U_{\text{sb,p}}$ ——线路避雷器操作冲击电流残压, kV。

4 GIS 相对地绝缘与 VFTO 的绝缘配合应符合式 (10.3.9-2) 的要求:

$$U_{\text{GIS,L,d}} \geq 1.15U_{\text{sw,p}} \quad (10.3.9-2)$$

式中 $U_{\text{GIS,L,d}}$ ——GIS 雷电冲击耐受电压要求值, kV;

$U_{\text{sw,p}}$ ——避雷器陡波冲击保护水平, kV。

10.3.10 电气设备的额定雷电冲击耐压应符合下列规定。

1 变压器内外绝缘和 220kV 及以下其他电气设备的额定全波雷电冲击耐压与保护避雷器标称放电电流下残压间的配合系数应为 1.4。

2 220kV 及以下变压器、电流互感器截波雷电冲击耐压与相应设备全波雷电冲击耐压比值不应小于 1.4。330kV 及 500kV 变压器、并联电抗器及电流互感器应比相应设备全波雷电冲击耐压值高一级。

3 断路器同极断口间内绝缘及断路器、隔离开关同及断口间外绝缘的全波雷电冲击耐压 $U_{\text{L,c}}$ 应符合式 (10.3.10) 的要求:

$$U_{\text{L,c}} \geq U_{\text{sw,p}} + k_{\text{sw}} \sqrt{2} U_{\text{sp}} \quad (10.3.10)$$

式中 $U_{\text{L,c}}$ ——断路器、隔离开关全波雷电冲击耐压, kV。

附录 A 中性点接地装置参数计算

A.1 中性点谐振接地方式

A.1.1 为便于运行调谐,宜选用容量接近于计算值的消弧线圈。消弧线圈的补偿容量,可按式(A.1.1-1)~式(A.1.1-3)计算:

$$Q = K_d I_c \frac{U_N}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.1.1-1})$$

$$I_c = \sqrt{3} U_N \omega C \times 10^3 \quad (\text{A.1.1-2})$$

$$\omega = 2\pi f_c \quad (\text{A.1.1-3})$$

式中 Q ——补偿容量, kVA;
 K_d ——系数,过补偿取 1.35,欠补偿按脱谐度确定;
 I_c ——电网或电机回路的电容电流, A;
 U_N ——电网或电机回路的额定线电压, kV;
 C ——电网或电机回路的电容, F;
 ω ——角频率, rad/s;
 f_c ——额定频率, Hz。

A.1.2 在计算消弧线圈的补偿容量时,电网的电容电流应包括有电气连接的所有架空线路、电缆线路的电容电流,并计及厂(站)母线和电器的影响。该电容电流应取最大运行方式下的电流。电机电压回路的电容电流,应包括电机、变压器的电机电压侧和连接电机、变压器之间连接导体的电容电流,当回路装有直配线或电容器时,尚应计及该电容电流。

A.1.3 中性点位移电压和脱谐度可按式(A.1.3-1)和式(A.1.3-2)计算:

$$U_c = \frac{U_m}{\sqrt{d^2 + v^2}} \quad (\text{A.1.3-1})$$

$$\nu = \frac{I_C - I_L}{I_C} \quad (\text{A. 1.3-2})$$

式中 U_0 ——中性点位移电压, kV;

U_{hd} ——消弧线圈投入前电网或电机回路中性点不对称电压, 可取 0.8% 相电压;

d ——阻尼率, 60~110kV 架空线路一般取 3%, 35kV 及以下架空线路宜取 5%, 电缆线路一般取 2%~4%;

ν ——脱谐度;

I_C ——电网或电机回路的电容电流, A;

I_L ——消弧线圈电感电流, A。

A. 2 中性点高电阻接地方式

A. 2.1 当中性点采用高电阻接地方式时, 电阻参数可按式 (A. 2.1-1) ~ 式 (A. 2.1-3) 计算:

$$U_R \geq 1.05 \times \frac{U_N}{\sqrt{3}} \quad (\text{A. 2.1-1})$$

$$R = \frac{U_N}{\sqrt{3} I_R} \times 10^3 = \frac{U_N}{\sqrt{3} K_i I_C} \times 10^3 \quad (\text{A. 2.1-2})$$

$$P_R = \frac{U_N}{\sqrt{3}} I_R \quad (\text{A. 2.1-3})$$

式中 R ——中性点接地电阻值, Ω ;

U_R ——电阻额定电压, kV;

I_R ——电阻电流, A;

K_i ——单相对地短路时电阻电流与电容电流的比值, 一般取 1.1;

P_R ——电阻消耗的功率, kW。

A. 2.2 当中性点采用经单相配电变压器接地时, 接地变压器及二次侧电阻参数选择应符合下列规定:

1 接地变压器的额定电压应按下列要求确定:

1) 安装在电机或变压器中性点的单相接地变压器额定

次电压应按式 (A. 2. 2-1) 计算:

$$U_{N1} = U_N \quad (\text{A. 2. 2-1})$$

式中 U_{N1} ——单相接地变压器额定一次电压, kV。

- 2) 接于系统母线三相接地变压器额定一次电压应与系统额定电压一致。接地变压器二次电压可根据负载特性确定。
- 2 接地变压器的绝缘水平应与连接系统绝缘水平一致。
- 3 接地变压器的额定容量应按式 (A. 2. 2-2) 计算:

$$S_N \geq \frac{1}{K_R} U_{N1} I_C \quad (\text{A. 2. 2-2})$$

式中 S_N ——单相接地变压器额定容量, kVA;

K_R ——过负荷系数, 变压器过负荷系数与过负荷持续时间的关系可按图 A. 2. 2-1 查得。

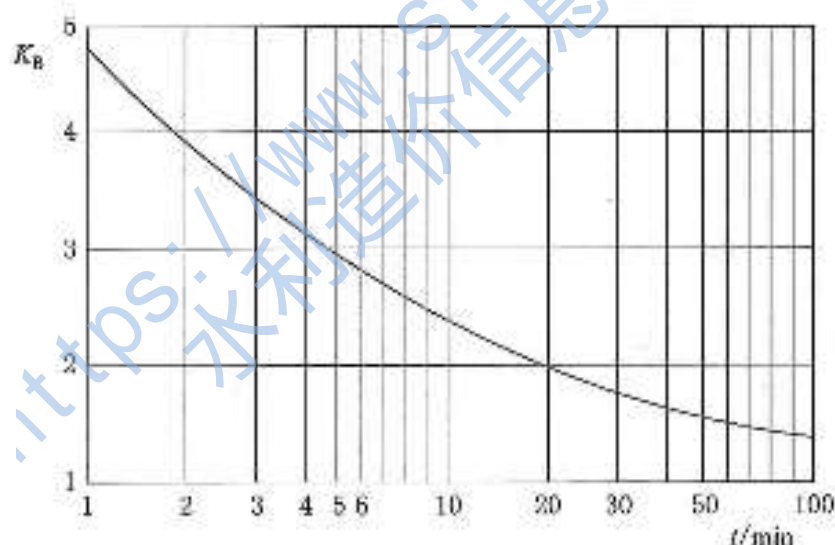


图 A. 2. 2-1 变压器过负荷系数与过负荷持续时间的关系

- 4 二次电阻参数可按式 (A. 2. 2-3) ~ 式 (A. 2. 2-6) 计算:

$$U_R = U_{N2} \quad (\text{A. 2. 2-3})$$

$$R_{N2} = \frac{R}{n_s^2} = \frac{PU_{R2}^2}{S_N^2} \quad (\text{A. 2. 2-4})$$

$$P_R = I_{R2} U_{N2} = \frac{U_N^2 \times 10^{-3}}{n_v^2 R_{N2}} \quad (\text{A. 2.2-5})$$

$$n_v = \frac{U_{N1}}{U_{N2}} \quad (\text{A. 2.2-6})$$

- 式中 R_{N2} ——二次侧电阻值, Ω ;
 n_v ——降压变压器一次、二次之间的变比;
 I_{R2} ——二次电阻上流过的电流, A;
 U_{N2} ——单相配电变压器的二次电压, kV;
 P ——变压器总损耗, W。

A. 2.3 中性点电阻材质可选用金属、非金属或金属氧化物线性电阻。

A. 3 中性点低电阻接地方式

A. 3.1 当中性点采用低电阻接地方式时, 接地电阻额定电压和电阻值可按式 (A. 3.1-1) 和式 (A. 3.1-2) 计算:

$$U_R \geq 1.05 \times \frac{U_N}{\sqrt{3}} \quad (\text{A. 3.1-1})$$

$$R = \frac{U_N}{\sqrt{3} I_d} \quad (\text{A. 3.1-2})$$

式中 I_d ——选定的单相接地电流, A。

A. 3.2 当中性点采用低电阻接地方式时, 接地电阻的容量可按式 (A. 3.2) 选择。

$$P_R \geq I_d U_R \quad (\text{A. 3.2})$$

附录 B 外绝缘放电电压海拔校正

B.1 基于海拔 0m 的外绝缘放电电压 试验数据的海拔校正

B.1.1 当给出的外绝缘放电电压试验数据是基于海拔 0m 的标准气象条件下且所在地区海拔高度 4000m 及以下时,各种作用电压下外绝缘空气间隙的放电电压可按式 (B.1.1-1) 和式 (B.1.1-2) 校正:

$$U(P_H) = k_{al} U(P_0) \quad (\text{B.1.1-1})$$

$$k_{al} = e^{-\frac{H}{5500}} \quad (\text{B.1.1-2})$$

式中 $U(P_H)$ ——海拔 4000m 及以下外绝缘空气间隙的放电电压, kV;

$U(P_0)$ ——海拔 0m 时空气间隙的放电电压, kV;

k_{al} ——基于海拔 0m 的海拔校正系数;

m ——系数;

H ——海拔, m。

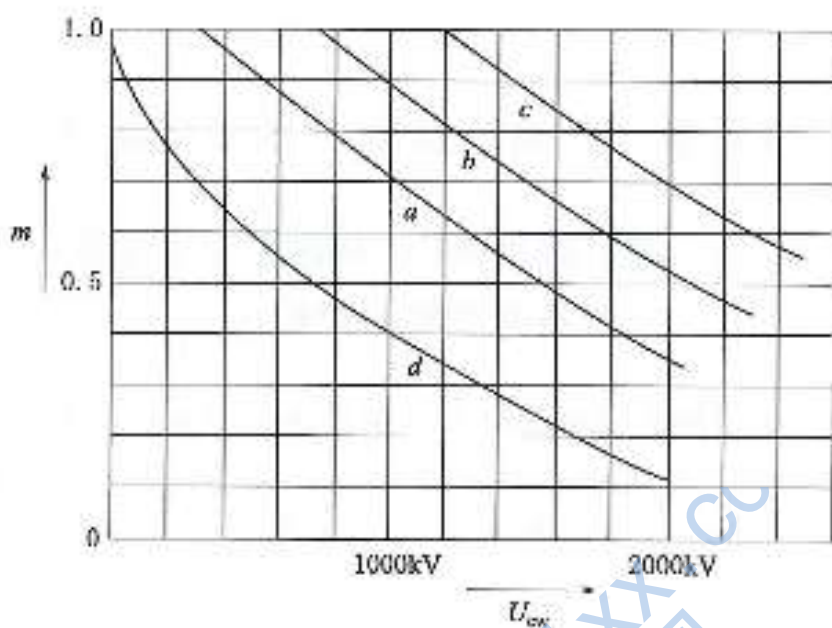
B.1.2 式 (B.1.1-2) 中系数 m 的取值应符合下列要求:

a) 对于雷电冲击电压、空气间隙和清洁绝缘子的短时工频电压, m 应取 1.0;

b) 对于操作冲击电压, m 应按图 B.1.2 选取。

B.2 基于海拔 1000m 的外绝缘放电电压 试验数据的海拔校正

B.2.1 当给出的外绝缘放电电压试验数据是基于海拔 1000m 的标准气象条件下且所在地区海拔 1000m 及以下时,说明设备额定外绝缘水平已按海拔 1000m、温度 40℃ 的使用条件进行了修正。因此,额定耐受电压范围已涵盖所有海拔 1000m 及以下的



a—相对地绝缘；b—纵绝缘；c—相间绝缘；
d—棒-板间隙（标准间隙）

图 B.1.2 各种作用电压下的 m 值

注：对于由两个分量组成的电压，电压值是各分量之和。

外绝缘要求，各种作用电压下外绝缘空气间隙的放电电压可不再进行修正。

B.2.2 当给出的外绝缘放电电压试验数据是基于海拔 1000m 的标准气象条件下且所在地区海拔 1000~4000m 时，各种作用电压下外绝缘空气间隙的放电电压可按式 (B.2.2-1) 和式 (B.2.2-2) 校正。

$$U(P_{\text{H}}) = k_a U(P_{1000}) \quad (\text{B.2.2-1})$$

$$k_a = e^{m \left(\frac{11-1000}{3150} \right)} \quad (\text{B.2.2-2})$$

式中 $U(P_{1000})$ ——海拔 1000m 时空气间隙的放电电压，kV；

k_a ——基于海拔 1000m 的海拔校正系数。

附录 C 电气设备承受一定幅值和时间暂时过电压要求

C.0.1 电气设备承受的幅值和时间暂时过电压的标么值基准值应符合下列要求：

1 变压器上过电压的基准电压应取相应分接头下的额定电压。

2 其余设备上过电压的基准电压应取最高相电压。

C.0.2 电气设备承受一定幅值和时间暂时过电压标么值的要求应符合表 C.0.1-1~表 C.0.1-5 的规定。

表 C.0.1-1 110~330kV 电气设备承受暂时过电压的要求

时间	20min	20s	1s	0.1s
电力变压器和 自耦变压器	1.10p. u. /	1.25p. u. /	1.30p. u. /	2.00p. u. /
	1.10p. u.	1.25p. u.	1.50p. u.	1.58p. u.
分流电抗器和 电磁式电压互感器	1.15p. u. /	1.35p. u. /	2.00p. u. /	2.10p. u. /
	1.15p. u.	1.35p. u.	1.50p. u.	1.58p. u.
开关设备、电容式电压互感器、 电流互感器、耦合电容器和 汇流排支柱	1.15p. u. /	1.60p. u. /	2.20p. u. /	2.40p. u. /
	1.15p. u.	1.60p. u.	1.70p. u.	1.80p. u.

注：分子的数值代表相对地绝缘；分母的数值代表相对相绝缘。

表 C.0.1-2 500kV 变压器、电容式电压互感器及耦合
电容器承受暂时过电压的要求

时间	连续	5h	2h	30min	1min	30s
变压器	1.1p. u.	—	—	1.2p. u.	1.3p. u.	
电容式电压 互感器	1.1p. u.	1.2p. u.	1.3p. u.	—	—	1.5p. u.
耦合电容器	—		1.3p. u.	—	—	1.5p. u.

表 C.0.1-3 500kV 并联电抗器承受暂时过电压的要求

时间	2h	1h	40min	20min	10min	3min	1min	20s	3s
备用状态 下投入	1.15 p. u.	—	1.20 p. u.	1.25 p. u.	1.30 p. u.	—	1.40 p. u.	1.50 p. u.	—
运行状态	—	1.15 p. u.	—	1.20 p. u.	1.25 p. u.	1.30 p. u.	—	4.10 p. u.	1.50 p. u.

表 C.0.1-4 750kV 变压器承受暂时过电压的要求

时间	连续 (空载)	连续 (额定电流)	20s	1s	0.1s
标么值	1.1p. u.	1.05p. u.	1.25p. u.	1.5p. u.	1.58p. u.

表 C.0.1-5 750kV 并联电抗器承受暂时过电压的要求

时间	20min	3min	1min	20s	8s	1s
标么值	1.15p. u.	1.2p. u.	1.25p. u.	1.3p. u.	1.4p. u.	1.5p. u.

标准用词说明

标准用词	严格程度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

http://www.sizjxx.com
水利造价信息网

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程过电压保护及
绝缘配合设计规范

SL/T 781—2020

条文说明

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

目 次

3	系统电压、中性点接地方式和过电压	77
4	暂时过电压、操作过电压及其保护	81
5	雷电过电压和保护装置	87
6	架空线路段和配电线路雷电过电压保护	89
7	变配电装置及建筑物雷电过电压保护	90
8	旋转电机雷电过电压保护	93
9	中性点过电压保护	97
10	绝缘配合	98
附录 A	中性点接地装置参数计算	101
附录 B	外绝缘放电电压海拔校正	103
附录 C	电气设备承受一定幅值和时间暂时过电压要求	104

3 系统电压、中性点接地方式和过电压

3.1 系统电压

3.1.1 参照 GB/T 156—2017《标准电压》的有关规定。

3.1.2 参考 GB/T 7894—2009《水轮发电机基本技术条件》的规定，同时根据国内电动机额定电压的实际运行情况补充了电动机额定电压。

3.2 系统中性点接地方式

3.2.1 35kV、66kV 系统，不论是架空线路系统还是电缆系统，当单相电容电流超过 10A 时，应采用中性点经消弧线圈接地的方式。

对于大型电厂、厂用电 10kV 系统的电缆线路较长，电容电流较容易超过 10A，若设置不带选线的速断保护可能导致厂用电系统全部停电，严重威胁电站运行安全，因此应避免采用。

3.2.2 针对大型水力发电厂高压厂用电系统主要采用电缆线路构成的情况，考虑到电缆绝缘不能自恢复，若允许带单相接地故障运行 2h，容易导致绝缘老化，扩大事故。中性点采用低电阻接地方式可以改善这一情况，但是需要注意，因采用该方式的系统在单相接地故障时立即跳闸，厂用电系统在设计时应考虑母线分段、电源设置及切换等进行全面综合考虑，以免造成全厂失去厂用电的事故。同时还应考虑到接地电流对通信系统带来的影响。

3.2.3 参照 GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》的有关规定。此处的高电阻接地系统的设计应符合每相零序电阻 $R_0 \leq X_0$ （每相对地容抗）的准则，以限制由于间歇性电弧接地故障时产生的瞬态过电压。其优点是：一是可以防止和限制谐振过电压以及间歇性电弧接地过电压在 2.6p.u.（标么值）及以下，且接地故障可以不立即清除，因此

能带单相接地故障运行；二是相对于不接地方式，采用高电阻接地后，可以使得系统接地故障检测手段简单、可靠。

中性点接地方式选择中单相接地电容电流 7A 为一分界点其原因为：当采用高电阻接地时单相接地电流为 $7 \times \sqrt{2} = 9.9\text{A}$ ，此时电动机回路可不跳闸；单相接地电容电流大于 7A 时高电阻接地、电动机回路单相接地（电流为 10A 及以上）时仍要跳闸，故不宜采用高电阻接地。

3.2.4 110~750kV 系统为有效接地系统，仅个别 110kV 系统为减少雷击跳闸率而采用了中性点不接地方式，但这种接地方式受到系统发展的限制，目前已改为有效接地系统所谓有效接地系统，即：指系统中一部分变压器中性点接地，一部分变压器中性点不接地这种接地方式在非全相运行时，易产生较高的工频过电压和谐振过电压，使不接地变压器中性点避雷器受到损坏，同时易形成孤立不接地系统对设备安全运行带来危害。20 世纪 80 年代葛洲坝水电站 6 组 500kV 变压器中性点采用经低阻抗接地，取代部分变压器中性点接地方式，已安全运行 20 多年，该作法不仅因降低了变压器中性点绝缘水平而获得可观的经济效益，而且提高了系统安全运行的可靠性。

330kV 系统中，当变压器中性点不接地运行时，变压器中性点的雷电全波冲击耐压和工频 1min 耐压分别为 550kV 和 230kV。当中性点经接地电抗器接地时，中性点的绝缘水平分别降低至 250kV 和 105kV，效益明显。

220kV 系统中，当变压器中性点不接地运行时，变压器中性点的雷电全波冲击耐压和工频 1min 耐压分别为 400kV 和 200kV。当中性点经接地电抗器接地时，中性点的绝缘水平分别降低至 185kV 和 85kV，可见 220kV 变压器中性点经接地电抗器接地时，在技术经济方面更具优越性。

3.2.5 表 3.2.5 中给出的数值为发电机允许的单相接地故障持续电流值，或为电机允许的经中性点消弧线网补偿后的持续残余电流值。近十几年国内投产的大中型水轮发电机组较多地采用了

中性点经高电阻接地方式，电阻器宜接在发电机中性点单相变压器的二次绕组上，以便机组内部发生故障时瞬时切机。

3.2.6 参照 GB/T 50064—2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》的有关规定。

3.2.7 若定义中性点接地电阻对发电机侧对地容抗之比为阻抗比， $K=R/X_c=R/(\omega C)-1$ 。当 $K \leq 1$ 时，定子绕组接地重燃弧过电压峰值约为 2.6p.u.（基准为相电压峰值），若以线电压为基准值，则，即为 1.5 倍发电机额定电压峰值。当 K 增大时，过电压有可能超过 2.6p.u.。根据 GB/T 7894—2009《水轮发电机基本技术条件》的内容，发电机定子安装完成后，定子绕组的工频绝缘试验电压值为 $2U_N + 10\text{kV}$ ，且定子线圈的工频击穿电压值一般为 $(5.5 \sim 6)U_N$ 。因此实际进行参数配置时可适当提高阻抗比 K 值，适当放宽对过电压的要求。经仿真计算，当 K 取值为 4.0~5.0 时，过电压仍可限制在 3.5p.u. 以下。

接地变压器二次电阻需满足保护对二次侧电阻最小值的要求。接地变二次侧电压通常选择为 110V 或 220V。由于二次侧电阻值与接地变压器变比相互关联，因此在选择时应综合考虑。

3.2.9 对于我国目前电力企业大多数 110~220kV 变压器中性点采用间隙和避雷器并联保护的方式，由于间隙的放电电压多受环境、气候和地理等因素的影响，存在较大的偏差。已经出现多起报道因线路遭受雷击后，主变压器间隙动作导致主变压器零序保护误动或非雷击线路零序保护误动的事故。采用中性点经低阻抗接地方式可以从根本上解决上述问题。

220~750kV 系统变压器中性点经低阻抗接地时的中性点绝缘水平参照 GB/T 50064—2014 的内容制定。

当系统发生单相接地时，变压器中性点的电压在较大范围内变化。因此接地电抗器应具有良好的线性伏安特性，使整个系统参数不发生随机变化。此外，中性点电抗器的绝缘水平应与变压器中性点绝缘水平匹配，且在结构设计中应校验其热稳定性和动稳定性。

3.3 作用在电气装置绝缘上的电压

参照 GB/T 50064—2014 的有关规定执行。



4 暂时过电压、操作过电压及其保护

4.1 暂时过电压及其保护

4.1.1 系统中包括工频过电压和谐振过电压的暂时过电压，其幅值和持续时间与系统结构、容量、参数、运行方式及各种安全自动装置的特性有关。暂时过电压不但会增大绝缘承受电压，而且对选择过电压保护装置亦有重要影响。

4.1.2 各级电压系统允许工频过电压水平值，系依据 GB/T 50064—2014 的有关规定提出。

4.1.3 针对进（出）线段及联络线采用电力电缆输送电力的水利水电工程，宜在电缆系统设计时对其工频过电压进行计算，并依此确定限制措施。

4.1.4 330kV 及以上超高压系统中，对单电源系统，通常并联电抗器安装于线路末端。但对双电源系统，仅于一端装设并联电抗器，对另一端工频过电压的限制作用较小。所以并联电抗器宜装设于线路中间。当线路中间无装设条件时，宜将并联电抗器装设于系统容量较大一端或分装于线路两端。虽然，本条从限制工频过电压有效措施的角度提出装设并联电抗器，但是否装设，装设位置、数量、容量、参数选择等，应由工程接入系统设计单位根据系统稳定、无功平衡、调相、调压计算等，综合考虑确定。

4.1.5 系统中的电感、电容元件在一定电源的作用下，并受到操作或故障的激发，使得某一自由振荡频率与外加强迫频率相等时，将形成周期性或非周期性的剧烈震荡，电压振幅急剧上升，出现严重的谐振过电压。谐振过电压的持续时间较长，甚至可以稳定存在，直到谐振条件被破坏为止。谐振过电压可在各级电压系统中发生，危及绝缘，烧毁设备，破坏保护设备的性能。所以避雷器不但起不到限制过电压的作用，而且还可能遭到损坏。水利水电工程中的谐振过电压主要为同步电机自励磁过电压、不对

称短路或负荷严重不平衡过电压和铁磁谐振过电压。

4.1.6 同步电机在不同的运行工况下，其感抗值呈周期性变化，当同步电机经变压器与空载线路相连，其外电路容抗值在同步电机感抗变化范围内时，只要电感或电容上存在微小的能量就可导致电磁能量的集聚，使电流、电压幅值急剧上升，产生自励磁过电压。由于自励磁过电压时间长，危害性大，因此需要预判校验，并采取有效限制措施。

4.1.7 当无阻尼绕组的同步电机发生不对称短路或负荷严重不平衡时，健全相绕组上将产生幅值较高的谐振过电压，两相短路的过电压幅值可达 $3U_{xq} \sim 4U_{xq}$ ，两相短路接地的过电压幅值可达 $4.5U_{xq} \sim 6U_{xq}$ ，而转子上装有交轴阻尼绕组的同步电机，两相短路的过电压幅值仅为 $U_{xq} \sim 2U_{xq}$ ，两相短路接地的过电压幅值为 $1.5U_{xq} \sim 3U_{xq}$ 。因此，在同步电机转子上加装交轴阻尼绕组，并使 X''_d 接近于 X''_q ，是降低同步电机不对称短路过电压幅值的最有效措施。

4.1.8~4.1.10 具有铁芯的电感设备，因系统操作和故障引起设备上电压增高或产生励磁涌流，均会导致铁芯饱和。在谐振频率下，当感抗与容抗值相等时，就会引起铁磁谐振过电压。通常引起铁磁谐振过电压的原因为：电磁式电压互感器；非全相运行；合带空载线路的变压器。铁磁谐振过电压的幅值一般不超过 $2.5U_{xq}$ ，个别可达到 $3.5U_{xq}$ 以上。应采取防止措施避免其产生，或采用保护装置限制其幅值和持续时间。但目前制造厂商提供的消除铁磁谐振的装置，其效果尚有待于试验验证。

在白振频率接近 100Hz 的中性点直接接地系统中，当对带空载线路的变压器合闸操作时，由于变压器电感的周期性变化，在高压空载或轻载线路中将引起幅值较高的二次谐波为主的铁磁谐振过电压。因此应避免对只带空载线路的变压器低压侧合闸，若运行操作无法避免时，应在线路继电保护装置内增设过电压速断保护，以缩短过电压持续时间。

4.1.11 谐振接地的较低电压系统，应适当选择消弧线圈的脱谐

度，以避免谐振点。非谐振接地的较低电压系统中转移过电压，系指零序电压通过电容耦合产生的过电压，如变压器绕组间或两条架空线路间的电容耦合，由较高电压系统传递到中性点不接地的较低电压系统，或由较低电压系统传递到较高电压系统，或回路参数形成串联谐振条件。可通过安装电力电容器的措施增大对地电容。

4.2 操作过电压及其保护

4.2.1 系统中的电容、电感等储能元件，在发生故障或操作时，由于其工作状态发生突变，将产生充电再充电或能量转换的过渡过程，电压的强制分量叠加以暂态分量形成操作过电压。操作过电压的幅值、波形与系统的运行方式、故障类型、操作对象密切相关，故障形态不同或操作对象不同，产生过电压的机理也不同，因而所采取的针对性限制措施也各不相同。操作过电压是决定系统绝缘水平的重要依据，特别是 330kV 及以上系统中，有时起着决定性作用。本条即是根据我国现行有关规程规定，选择绝缘水平所采用的过电压计算倍数。

4.2.2、4.2.3 中性点不接地系统中发生单相接地时，流过故障点的电流为电容电流。当 3~10kV 系统的电容电流超过 30A、35kV 或 66kV 系统的电容电流超过 10A 时，接地电弧不易自行熄灭，常常形成熄灭和重燃交替的间歇性电弧。因而导致电磁能的强烈震荡，使故障相、非故障相和中性点都产生过电压。这种弧光接地过电压一般不超过 $3U_{\text{ce}}$ ，最大值为 $3.5U_{\text{ce}}$ ，低于设备绝缘的耐受水平，但它波及整个系统，持续时间长，容易发展成相间故障，影响安全运行。尤其对具有限流电抗器、电动机负荷，且设备参数配合不利的 3~10kV 的不接地系统，由于电动机的绝缘相对较弱，弧光接地过电压会对其绝缘构成威胁。因此，有必要进行过电压预测并采取保护措施。此外，可通过改变中性点接地方式的措施来限制弧光接地过电压的幅值或缩短燃弧时间，消除间歇性电弧，避免弧光接地过电压的产生。

4.2.4 空载线路在分闸过程中，当断路器触头间的绝缘恢复强度低于电压恢复强度时，断路器发生重击穿，使线路上电压发生振荡，产生分闸过电压。

1 对110kV及220kV系统，采用重击穿概率极低的断路器可防止开断空载线路的过电压超过3.0p.u.。

2 对66kV及以下中性点不接地或谐振接地系统，断路器开断空载线路发生重击穿时的过电压通常不超过3.5p.u.；若开断前系统已有单相接地故障，采用普通断路器操作时产生的过电压可能会超过4.0p.u.；6~35kV的低电阻接地系统，开断空载线路断路器发生重击穿时的过电压可能会达到3.5p.u.，因此要求采用重击穿概率极低的断路器。

3 由于线路侧接入的电磁式电压互感器的直流电阻为3~15kΩ，线路残留电荷通过它得以很快泄放，这就降低了断路器触头间恢复电压，使之避免重燃或降低重燃时的过电压。可使重燃过电压的幅值降低30%左右。只有当线路很长，超过了断路器保证的切空线长度时，可采用此辅助措施。

4.2.5 线路非对称故障分闸或振荡解列过电压主要发生在两个系统的超高压联络线上，导致这种过电压的发生主要有两种情况：一种是线路末端发生非对称接地短路时断路器开断，将会产生振荡过电压，但其幅值一般不超过工频过电压的1.5~1.7倍；另一种是线路两端电源的相角差因故障摆开很大，系统因失步解列，使断路器两侧电压产生振荡。线路末端过电压和断路器触头间的恢复电压可能超过工频过电压的2倍。

由于影响振荡解列过电压的各种不利因素（较大的相角差、较小的电源容量、较长的线路、较远的短路点位置等）很少重叠发生，所以产生最大解列过电压的概率不大，其危险性小于合闸过电压。

4.2.6 空载线路合闸时，由于线路电感电容的振荡将产生合闸过电压。线路重合闸时，由于电源电动势较高以及线路上残余电荷的存在，加剧了这一电磁振荡过程，使过电压进一步提高，因

此应采取措施加以限制。

1 无间隙 MOA 的安装位置和参数要求。

2 合闸电阻的作用是使合闸分两阶段进行，以降低合闸时触头间的电位差，使振荡过电压得到降低。

3 由于故障相的残留电荷接近于零，单相自动重合闸产生的过电压要比三相自动重合闸过电压低得多。

4 其作用是控制断路器触头处在电源零电位附近合闸，使振荡的电压很小，线路上不会出现合闸过电压。

220kV 及以下的线路合闸和重合闸过电压一般不超过 3.0p.u.，可不采取限制措施。

4.2.7 对 220kV 及以下系统，由于设备绝缘水平较高，能够承受系统中可能出现的操作过电压，可不采取限制措施。对 330kV 及以上系统，则应采取限制操作过电压的措施。

开断空载变压器或电抗器均是开断感性负载，开断过程中如出现截流，就会产生可能对设备构成危害的过电压，故提出限制措施。

1 开断空载变压器过电压的限制措施。MOA 可安装在变压器的低压侧或高压侧，但如高低压系统中性点接地方式不同时，低压侧宜采用保护水平较低的 MOA。

2 开断并联电抗器过电压的限制措施。由于开断电抗器时开断的电流为电抗器的额定电流，远大于开断空载变压器的激磁电流；另外，切断电流时，断路器断口间的瞬态恢复电压固有频率各不相同，开断变压器的频率为数百赫兹，而开断电抗器却为数千赫兹或更大，使断路器更难开断。实测表明，大的开断电流反而截流值较低，不会产生过高的过电压，但高频率的恢复电压将给断路器带来熄弧困难，容易产生重燃，并可能产生高频重燃过电压，损坏断路器。因此，针对电抗器回路，不同的电压等级和采用不同结构性能的断路器，其过电压的限制措施亦不同。

4.2.8 水利水电工程中普遍存在 6kV 或 10kV 真空断路器直接开断高压感应电动机的运行工况，因断路器的截流、三相同步开

断和高频重复击穿等会产生过电压。过电压的幅值与断路器的灭弧性能、电动机和回路元件参数等有关。开断空载电动机的截流过电压通常不超过 2.5p.u.。开断启动过程中的电动机的截流过电压和三相同时开断过电压可能超过 4.0p.u.，高频重复击穿过电压可能超过 5.0p.u.。因此应采取保护措施。而高压电机合闸的操作过电压一般不超过 2.0p.u.，可不采取保护措施。另根据近年来 R-C 阻容吸收装置的不断改进，克服了以往线性电阻器能耗高的缺点。故对 R-C 阻容吸收装置提出了能耗极低的要求。MOA 和 R-C 阻容吸收装置也可同时设置，其保护装置安装在被保护电机侧效果最佳。

4.2.9 当用隔离开关操作空载母线时，由于重击穿将会产生幅值可能超过 2.0p.u.、频率为数百千赫至兆赫的高频振荡过电压，可能使电流互感器一次绕组进出线之间的套管闪络，这对 330kV 及以上电压等级的电气装置构成一定危害。

4.2.10 当 GIS 或 HGIS 配电装置中的隔离开关开合管线时，将会产生 VFTO，对 330kV 及以上变压器高压绕组进线端匝间绝缘可能构成危害。VFTO 的特点是波前时间很短 ($<0.1\mu\text{s}$)；波前之后的振荡频率很高 ($>1\text{MHz}$)；幅值也较高 (可达 2.5p.u.)。高幅值的 VFTO 会损害 GIS、HGIS、变压器和电磁式电压互感器绝缘，还会对二次设备造成损害或干扰。当变压器与 GIS 经架空线路或电缆相连时，在变压器上的 VFTO 幅值不高，波前时间也有所变缓。当变压器与 GIS 经油气套管相连时，作用在变压器上的 VFTO 可能会损坏变压器匝间绝缘。因此，应要求变压器制造商根据过电压计算结果，加强对变压器纵绝缘的设计。

5 雷电过电压和保护装置

5.1 雷电过电压

5.1.2 雷电特性参数

2 平均雷暴日数提供了某一地区雷电活动的粗略概况，未表明在一个雷暴日内雷电活动持续时间长度、雷击密度以及是云间放电还是云对地放电等。这里仍沿用 DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》中给出的分布概率。

3 此处给出的是线路防雷设计计算中通常采用的雷电流波形。总之，雷电流波形的选择可以视具体情况而定，在有的工程设计中为了数学运算方便的原因，也有采用指数波、余弦波、斜角波等。

4 本款给出了以雷暴日数推算地面雷击密度的方法。由于雷击的选择性以及受地形、地质、气象等条件的影响，经实测证明雷暴日数与地面落雷密度是弱相关的。一般地，平均雷暴日数较大的地区，其地面雷击密度也较大。因此应注意到这种推算方法的不精确会给设计结果带来一定的偏差。

5.1.4 线路雷电过电压

1 线路设计原则将线路雷击闪络点局限在绝缘子串处，故空气间隙绝缘水平高于绝缘子串的绝缘水平。

2 随着电压等级的增高，线路绕击的事故率增加，绕击事故率占总事故率的比重增大。

5.2 避雷针和避雷线

5.2.1 避雷针（线）的设计不仅应考虑避雷针（线）的保护范围，还要求避雷针（线）的泄流通道的阻抗（包括引流线阻抗和接地电阻）较低，以避免雷击避雷针（线）时，高泄流通道的阻抗导致避雷针（线）对被保护物在空气中或地中反击。

5.2.2~5.2.13 高度不超过 30m 的避雷针（线）保护范围的可靠性经长期运行经验证实，可靠性为 0.999。高度超过 30m 的避雷针（线），由于受侧击雷，雷击避雷针（线）低于其顶点，因此保护的有效性有所降低。

在山地和陡坡地，由于地形、地质、气象及雷电活动的复杂性，避雷针的保护范围有所降低。

图 5.2.5-2 采纳 GB/T 50064—2014 中的内容。两针间 h ，水平面上保护范围的一侧最小宽度在本规范中采用查表法（见图 5.2.5-2）确定，《水电站机电设计手册》电气一次部分 [式 (15.32)] 最小宽度采用公式法，通过选取多组不同针高、针间距及被保护物高度，分别利用查表和公式法计算最小宽度值，经验算在误差允许范围内，两种算法的最小宽度值比较接近，因此，最小宽度值可由本标准图 5.2.5-2 查表确定，也可由《水电站机电设计手册》电气一次部分中的公式法计算确定。

5.3 避雷器

5.3.1 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。由于金属氧化物避雷器在国内的大量推广使用，制造工艺日臻成熟，产品性能已经比较稳定。目前普通阀式避雷器和磁吹避雷器基本不再生产，因此本标准中未列入与普通阀式避雷器和磁吹避雷器有关的条款。

5.3.2 对于无间隙 MOA，运行电压直接作用在 MOA 的电阻片上，会引起电阻片的劣化，因此允许持续作用在避雷器上的电压是一个很重要的参数。为了保证一定的使用寿命，长期作用在避雷器上的电压不得超过避雷器的持续运行电压，以免引起电阻片的过热和热崩溃。

5.3.3 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

5.3.4 参考 GB 11032—2010《交流无间隙金属氧化物避雷器》和 SL 561—2012《水利水电工程导体和电器选择设计规范》的有关规定。

6 架空线路段和配电线路 雷电过电压保护

6.1 架空线路段过电压保护

6.1.2 参考 GB 50061—2010《66kV 及以下架空电力线路设计规范》和 GB 50545—2010《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》的有关规定。同时考虑水利水电工程架空线路段和配电线路距离相对比较短，为了线路和设备运行安全，提高了避雷线设置的要求。

6.1.3 参考 GB 50061—2010 和 GB 50545—2010 的有关规定。条文中对单避雷线架空线路的保护角要求不宜大于 25° 。

6.1.4~6.1.9 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。雷击线路档距中央避雷线反击导线时，其耐雷水平要求比较高，因此规定了档距中央导线与避雷线的最小距离。

6.1.10 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。为了导线初伸长、覆冰、过载温升、短路电流过热等均会导致弧垂增大，为减少其影响交叉点应尽量靠近上下方线路的杆塔。

6.1.11 参考 GB/T 50064—2014 和 GB 50545—2010 的有关规定。国内大型水电站高压侧电压等级为 500kV 及以上时，高压开关装置通常采用 GIS 设备，同时考虑到设备运行的安全，极少有将高压开关装置和主变压器分别设置并采用架空线路段连接的工程实例，因此表 6.1.11 中未给出 750kV 的大跨越档导线与避雷线的距离。

6.2 架空配电线路过电压保护

参考 GB 50061—2010 的有关规定。

7 变配电装置及建筑物 雷电过电压保护

7.1 直击雷过电压保护

7.1.1 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。水利水电工程地面建筑物的屋顶避雷带与避雷针、避雷线均为直击雷保护装置。但是在如油库、油罐、柴油发电机房、易燃材料仓库等按照 GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》划分为一类建筑物的被保护对象上应慎重采用屋顶避雷带作为直击雷保护装置。

7.1.2 参考 GB/T 50064—2014 和 GB 50057—2010 的有关规定。本条第 4 款避雷带接地引下线的间隔采用 GB 50057—2010 的规定，每隔 10~18m 设接地引下线。

7.1.3 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

7.1.4 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

根据水利水电工程的运行经验，受场地、地形条件的限制，存在较多需要在 220kV 及以上电压等级变压器门架上或靠近变压器主接地线的建筑物顶端装设避雷针（线）等接闪器的情况。此时应结合接地系统的设计综合考虑，需经过验算并采取限制反击过电压的措施。

35kV 配电装置的构架不宜安装避雷针，但对高压侧 35kV 的变电站，在变压器门型构架上装设避雷针时，变电站的接地电阻不应超过 4Ω ，该接地电阻不包括构架基础的接地电阻。

本条 5 款的规定，主要是考虑雷击避雷针形成的反击雷电过电压波沿接地极流动时有足够的衰减，以防反击电气设备。

对大坝与厂房紧邻的水力发电厂，因条件特殊，难以实现本条 5 款、6 款的具体要求，故予以排除。

7.1.5~7.1.8 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

7.3 雷电侵入波过电压保护

7.3.1 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

7.3.2 参考 GB/T 50064—2014 和 GB 50217—2018《电力工程电缆设计规范》的有关规定。对 35kV 单芯电缆，可根据需要按图 7.3.2-2 所示经护层保护器接地。

7.3.4 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。条文中降低冲击电阻的措施主要为增大接地线的截面。

7.3.5 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

7.3.6、7.3.7 进行计算时应满足以下要求：

(1) 将进线保护段与高压配电装置作为一个网络整体进行计算，尽量不简化接线。

(2) 应选择各种可能的运行接线方式和影响因素进行计算并选择出最大过电压值。

(3) 雷击点位于 2km 处，绝缘子串的闪络特性应以绝缘子串的伏秒特性来确定。

(4) 进线保护段导线应考虑冲击电晕对侵入雷电波波形的影响。在具有电缆段的接线，应考虑侵入雷电波幅值在电缆段上的衰减。

(5) 避雷器的放电伏秒特性和阀片的伏安特性，应根据制造厂提供的数据或曲线采用分段模拟计算。

(6) 雷电流参数：雷电流波形为 $2.6 \sim 50 \mu\text{s}$ ；雷电流幅值宜为进线保护段耐雷水平的 1.5 倍。

(7) 电气设备上作用的电压波形与全波相似，应与全波耐压配合；与截波相似，应与截波耐压配合。

(8) 应考虑油纸绝缘设备的累积效应，其保证耐压为试验电压的 0.85 倍 (3~220kV)、0.9 倍 (330kV)、0.95 倍 (500kV)。

(9) 应采用近区雷击的计算结果作为校验条件。

7.3.8~7.3.11 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

7.3.12 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。本条的配电装置

是指变电所内仅有起开闭和分配电能作用的配电装置，母线上无主变压器。

7.3.14 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。对于 GIS 变电站进出线为电力电缆时，GIS 的雷电侵入波保护按本条执行，电缆段的雷电侵入波保护按本标准 7.3.2 执行。

7.3.16~7.3.19 水力发电厂的近区供电通常是由电厂 10~35kV 电压侧经隔离变压器向外供电，因此该部分条款仅针对水力发电厂内配电装置及架空出线的雷电过电压保护设计。近区供电终端的小容量变电站的雷电过电压保护应参照其他标准执行。

另外，水力发电厂的厂用电系统经常可能有从地方电网或施工供电电网引接外来电源的情况或由厂用电系统向发电厂营地供电的情况。当采用架空线路供电时，为避免雷电侵入波对厂用电系统设备造成破坏进而影响厂用电系统和发电厂的安全运行，避雷器的配置方案一般从严考虑。

8 旋转电机雷电过电压保护

8.1 直配电机雷电过电压保护

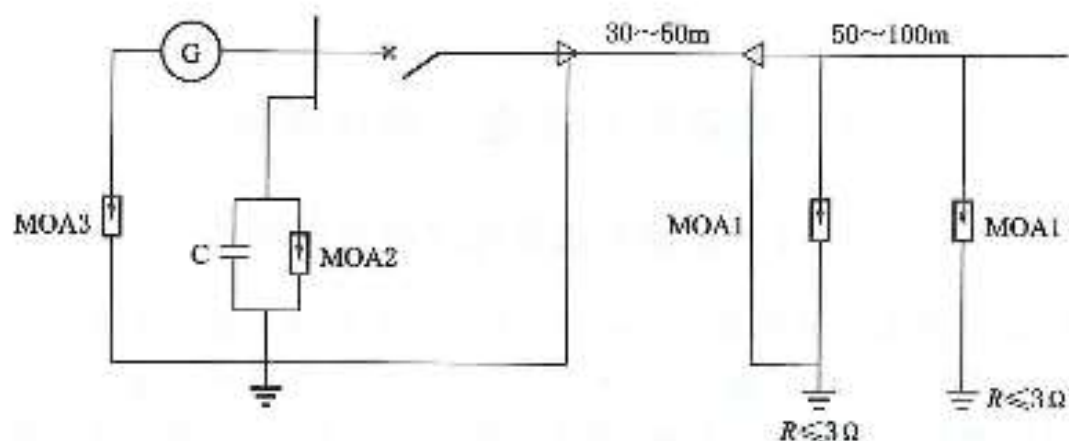
8.1.1 根据电机容量、雷电活动的强度和供电可靠性要求，直配电机容量一般不超过 25MW。超过该容量的机组，建议采用经隔离变压器隔离后供电。各类直配电机防雷保护接线方式中的关键元件是装设在旋转电机出口或母线上的避雷器。采用电气性能良好的旋转电机用金属氧化物避雷器是提高直配电机防雷保护接线方式耐雷水平的有效措施。

侵入电缆段中的雷电波，由于电缆自身的特性可以得到有效地衰减。因此目前采用旋转电机直配线方式的水电厂、泵站和闸站，为充分利用电缆段作为防雷保护元件且简化场内电气设备布置，推荐采用旋转电机经电缆段接直配线的方式。

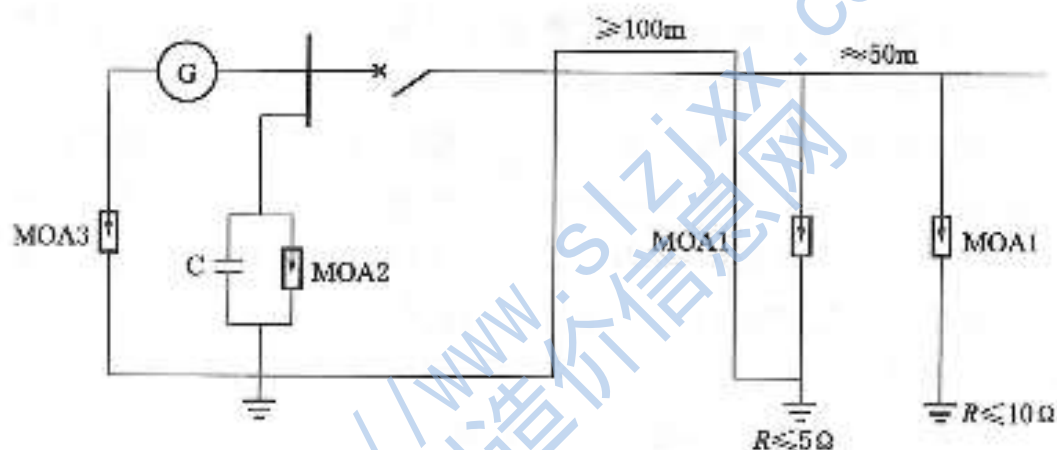
8.1.2、8.1.3 规定了单机容量不小于 1500kW 且不大于 25000kW 的直配电机的过电压保护接线方式。对于小于 1500kW 的直配电机的过电压保护接线方式可参照中国电力出版社 1996 年 6 月出版的《小型水电站机电设计手册》执行，对地处平原靠近负荷中心，单机容量不小于 300kW 且小于 1500kW 的直配电机可参照正文中图 8.1.3 接线保护或采用图 1 接线保护，单机容量小于 300kW 的直配电机可采用图 2 接线保护，图 2 (a) 为采用部分电缆段的接线，图 2 (b) 为在线路端的电杆上装设保护间隙并将绝缘子铁脚接地。

将架空线终端杆设在离水电站或泵站 50m 处，用一段高压电缆引入，使雷电波在电缆中以半光速推进，由于雷击的能量与雷电波行波速度的平方成正比，使用一段长度超过 50m 的电缆进线后作用在电机绕组上的冲击能量只剩下未设电缆前的 1/4，有效地保护了电机绝缘。

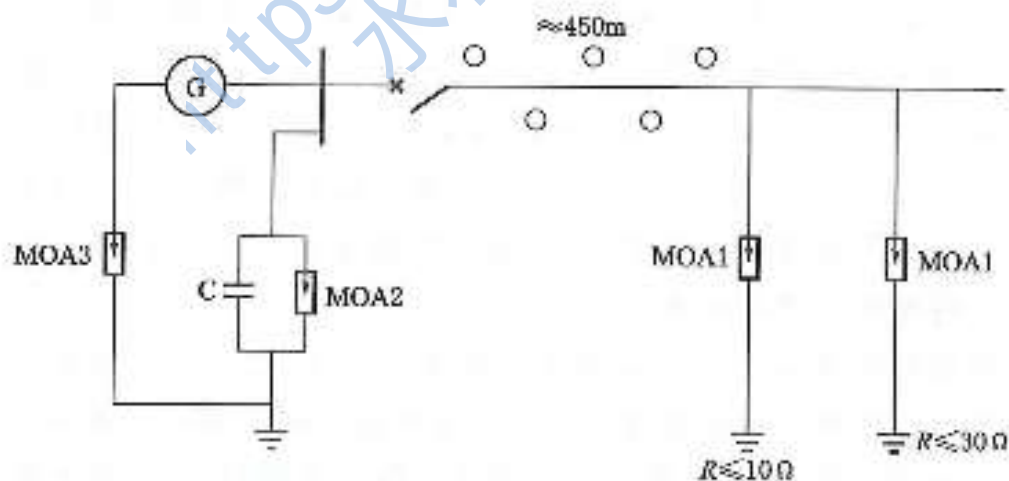
进线电缆段保护时应以充分利用其金属外皮的分流作用，直



(a) 线路引入段用直埋电缆保护



(b) 线路引入段用架空地线保护

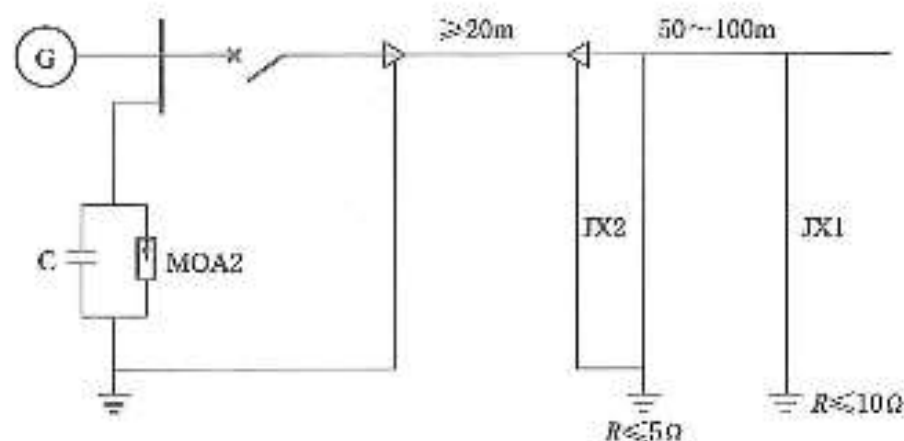


(c) 线路引入段用避雷针保护

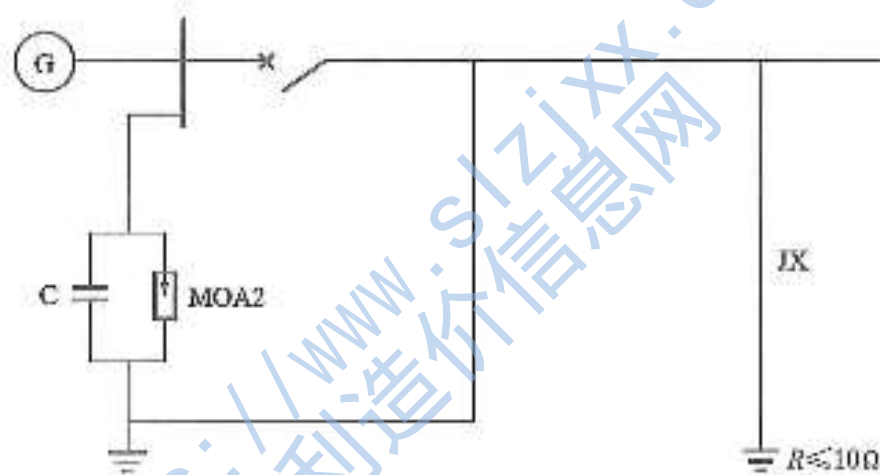
MOA1 配电 MOA; MOA2—旋转电机 MOA; MOA3—旋转电机中性点 MOA;

G—旋转电机; C—电容器; R—接地电阻

图 1 300~1500kW 直配电机的保护接线



(a) 线路引入段用直埋电缆保护



(b) 线路引入段加装保护间隙

JX、JX1、JX2—保护间隙

图2 300kW以下直配电机的保护接线

接埋设在土壤中时，电缆外皮与土壤充分接触；当进出线电缆段未直接埋设时，可将电缆金属外皮多点接地。

8.1.4、8.1.5 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

8.1.6 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。在有直配电机泵站的 10kV 或 6kV 母线上装设一组容量为 $0.5\mu\text{F}$ 的高压电容器，以降低雷电波的进波陡度，降低电机绝缘首端与匝间的电压上升速度，限止在 $2000\text{V}/\mu\text{S}$ 以下，电机绝缘电压上升速率一般最大允许值为 $5000\text{V}/\mu\text{S}$ ，满足了电机绝缘在单位时间内电压上升率

不超过厂方制造标准。

8.2 非直配电机雷电过电压保护

8.2.1 图 8.2.1 中的电机中性点避雷器 MOA3 可根据电机的中性点接线要求配置。

8.2.2、8.2.3 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。



9 中性点过电压保护

9.1 旋转电机中性点过电压保护

9.1.1 特别强调中性点不能引出的发电机的过电压保护方式。装设的电站型 MOA 额定电压（灭弧电压）按不小于电机额定相电压的 1.3 倍取。

9.2 变压器中性点过电压保护

9.2.1 变压器中性点氧化锌避雷器保护方式考虑到中性点的实际情况规定雷电绝缘配合系数可适当降低但不得小于 1.25。

9.2.2 参照 GB 311.1—2012《绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则》和 GB/T 50064—2014。根据 GB/T 50064—2014 的规定，220kV 系统不推荐采用经低阻抗接地，330kV 系统不推荐采用不固定接地。当 330kV 变压器中性点采用不固定接地方式时，变压器中性点绝缘水平如下：工频电压为 85kV，冲击电压为 185kV；保护变压器中性点绝缘的避雷器参数推荐如下：标称放电电流 1.5kA，额定电压 84kV；标称放电电流下的雷电冲击电流残压不大于 200kV。

10 绝缘配合

10.1 绝缘配合的原则

10.1.1 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。考虑所采用的过电压保护措施后，决定设备上可能的作用电压，并根据设备的绝缘特性及可能影响绝缘特性的因素，从技术经济合理性确定设备绝缘强度，安全运行是技术合理的一部分。不同的电力系统，因结构不同以及在不同的发展阶段，可以有不同的绝缘水平。

10.1.2 参考 GB 311.1—2012《绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则》的有关规定。由于试验时设备绝缘需要施加的冲击电压次数较多，而且电压幅值可能超过额定耐受电压值，并需对系统的过电压进行广泛深入的研究，故绝缘配合统计法在实际应用上受到某些限制，但用于各种因素的敏感度分析是很有效的。

当降低绝缘水平具有显著经济效益，特别是当操作过电压成为控制因素时，统计法才特别有价值，因此规定统计法仅用于设备最高电压 252kV 以上的绝缘配合。

在所有电压范围内，当设备绝缘主要是非自恢复型时，为检验耐受强度是否得到保证，一般只能施加有限次的冲击（如在给定条件下施加 3 次），因此尚不能考虑将故障率作为定量的设计指标，统计法至今只用于自恢复绝缘。

绝缘配合的确定性法（惯用法）的原则是在惯用过电压（即可接受的接近于设备安装点的预期最大过电压）与耐受电压之间，按设备制造能力、水平和电力系统的运行经验选取适宜的配合系数。

10.1.3 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

10.1.4 参考 GB/T 50064—2014 和 GB 311.1—2012 的有关规定。

10.1.5 参考 GB/T 50064—2014 和 GB 311.1—2012 的有关规

定。试验电压的确定，采用方法不同，海拔高度是不一样的。绝缘子串和空气间隙的外绝缘放电电压试验是以海拔高度 0m 标准气象条件下给出的。按标准绝缘水平确定的设备外绝缘和变压器绕组类绝缘，试验电压是以海拔 1000m，温度 40℃ 进行了修正，详见 GB 311.1 中 3.1 条。研究对象的不同，海拔修正公式也不同。

10.1.6 参考 GB 311.1 2012 的有关规定。

10.1.7 考虑污秽标准在 DL/T 5222 2005《导体和电器选择设计技术规定》等标准中也有规定，所以标准作出了明确规定。

10.1.8 本标准采用 GB 311.1 2012 的有关规定，不再详细列出。GB 311.1 对电气设备的耐受电压和标准绝缘水平的规定，反映了加强标准化和充分利用按标准设计的系统的运行经验，以及标准化的额定耐受电压和设备的最高电压之间的对应关系。

10.1.9 本条给出了线路绝缘子和空气间隙绝缘配合的一般原则。110~750kV 线路悬垂绝缘子串片数选择，一般需满足能耐受长期工频电压的作用和能耐受设备操作过电压，至于雷电过电压除大跨越外，一般不作为选择绝缘子片数的决定条件，仅作为校验线路的耐雷水平是否满足要求。

10.1.10 本条给出了配电装置绝缘配合的一般原则。

10.2 架空线路段和配电线路的绝缘配合

10.2.1 本条规定反映了每串绝缘子应符合现场污秽度等级下耐受持续电压的要求， λ 值可 GB/T 26218.1《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 1 部分：定义、信息和一般原则》和 GB/T 26218.2《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》选取。绝缘子爬电距离也称绝缘子泄漏距离，其有效利用系数 K_f 值，主要由各种绝缘子几何爬电距离在试验和运行中所对应的污耐压来决定。能综合地体现悬式绝缘子的结构造型和自然积污量。 K_f 值按式 (1) 计算。

$$K_e = \frac{E_{c1}}{E_{c2}} \quad (1)$$

式中 E_{c1} ——相同自然条件，相同积污区内被试绝缘子积污盐密值的人工污闪电压梯度；

E_{c2} ——相同自然条件，相同积污区内基准绝缘子积污盐密值的人工污闪电压梯度。

绝缘子泄漏距离的有效系数以 XP-70 型绝缘子作为基础。此外几何泄漏距离为 290mm 的 XP-160 绝缘子的 K_e 值也暂取为 1。除 XP-45 型、XP-70 型、XP-100 型和 XP-160 型的几何泄漏距离外，其他型号的绝缘子片几何泄漏距离由试验确定。

10.2.2 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

10.2.3 参考 GB/T 50064—2014。线路绝缘子串外绝缘配合时，还应考虑零值绝缘子和海拔修正。

10.2.4、10.2.5 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。

10.2.6 参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。表 10.2.6 为海拔高度 1000m 及以下的架空线路段和配电线路的最小空气间隙。

10.3 配电装置绝缘配合

10.3.1 参考了 GB/T 50064—2014、GB/T 26218.1 和 GB/T 26218.2 的有关规定。

10.3.2 对于 35kV 及以下的中性点经低电阻接地电网， $\bar{U}_{n,p}$ 可取值 3.2p.u.；66kV 及以下中性点不接地或经消弧线圈接地电网， $\bar{U}_{b,p}$ 可取值 4.0p.u.；110kV 和 220kV 中性点直接接地电网， $\bar{U}_{n,p}$ 可取值 3.0p.u.。

10.3.3~10.3.7 参考了 GB/T 50064—2014 的有关规定。

10.3.8 参考了 GB/T 50064—2014 的有关规定。断口耐受电压折扣系数 k_m 生产厂家和用户的要求不一致，对 330kV 和 500kV 生产厂家为 0.7，用户推荐为 1，设备 1 订购时可协商确定。

10.3.9~10.3.11 参考了 GB/T 50064—2014 的有关规定。

附录 A 中性点接地装置参数计算

A.1 中性点谐振接地方式

A.1.1 参考 SL 561—2012《水利水电工程导体和设备选择设计规范》的有关规定。

A.1.2 参考 SL 561—2012 的有关规定。连接导体的电容电流一般采用实测值，无实测值时，对敞开式可按每 100m 三相电容电流 0.05~0.1A 考虑。变压器低压线圈电容电流一般采用制造部门提供的实测值，无实测值时，可按 0.1~0.2A 考虑。当发电机电容电流较大时，这两部分电容电流的影响可以忽略不计。

A.1.3 参考 SL 561—2012 的有关规定。

A.2 中性点高电阻接地方式

A.2.1 参考 SL 561—2012 的有关规定。

A.2.2、A.2.3 参考 SL 561—2012 的有关规定。

由于中性点经高电阻接地系统允许带单相接地故障运行，因此，接地变压器的容量应大于接地电阻的容量。当接地变压器一次侧电压采用线电压时，变压器容量应为电阻容量的 $\sqrt{3}$ 倍。

对电机接地用变压器，其一次电压取电机的额定线电压，这样可在发生单相接地，中性点有 1.6 倍相电压的过渡电压时，不致使变压器饱和。二次侧电压一般可取 110V 和 220V，根据保护灵敏度的需要二次侧电压亦可大于 220V。当接地保护需要 100V 电压，而变压器二次电压因供货原因而选用 220V 或以上时，可在电阻中增加分压抽头。

接地变压器二次侧接入电阻值的计算减扣了配电变压器自身损耗等值的电阻值。考虑到发电机单相接地时的接地重燃弧过电压可以适当放宽，也可不扣除配电变压器损耗等值的电阻值。

A.2.3 目前接地电阻器按电阻采用的材质可以分为三种：金属

电阻、金属氧化物阀片式电阻和非金属电阻。金属电阻又可以分为：镍铬合金、铜合金和不锈钢电阻。金属电阻由于其通流时间长、耐高温性能好，适用于高电阻接地系统；阀片式电阻和非金属电阻其电阻率高、性能稳定、体积小，并可和互感器组合在一个柜中，安装布置简单方便，且价格比金属电阻低，但通流持续时间较短，适用于低电阻接地系统。非金属电阻是近些年研制出来的新产品，其体积小、阻值范围大、且可配备电流互感器和动作记录仪，正常时可监视中性点的不平衡电流，单相接地故障时，可记录动作次数，且可给保护和监控系统提供模拟量输出。

A.3 中性点低电阻接地方式

参考 SL 561—2012 的有关规定。

附录 B 外绝缘放电电压海拔校正

B.1 基于海拔 0m 的外绝缘放电电压 试验数据的海拔校正

参考了 GB 311.1—2012 和 GB/T 50064—2014 的有关规定。
式 (B.1.1) 和式 (B.1.2) 适合海拔 4000m 以下的修正。

B.2 基于海拔 1000m 的外绝缘放电电压 试验数据的海拔校正

参考了 GB 311.1—2012 的有关规定。式 (B.1.1) 和式
(B.1.2) 适合海拔高度 4000m 以下的修正。

附录 C 电气设备承受一定幅值 和时间暂时过电压要求

参考 GB/T 50064—2014 的有关规定。



水利水电技术标准咨询服务中心 简介

中国水利水电出版社标准化出版分社

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其他学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已经出版近四万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（中国水利水电出版社标准化出版分社）是水利部指定的行业标准出版、发行单位，主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣传、推广工作，同时还负责水利水电类科技专著、工具书、文案及相关业务培训教材编辑出版工作。

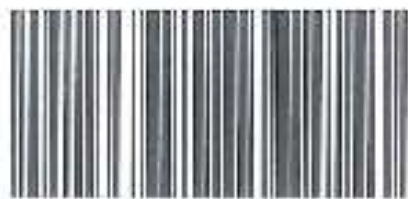
感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版、发行及推广工作。

购买标准电子版或其他电子图书，欢迎登录 <http://www.shuizhishi.cn>，或扫描下方二维码。



水利造价信息网
<http://www.slzjxx.com>

https://www.sizjxx.com
水利造价信息网



155170.555

SI/T 781—2020

中华人民共和国水利行业标准
水利水电工程过电压保护及绝缘配合设计规范
SL/T 781—2020

中国水利水电出版社出版发行

(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)

网址: www.waterpub.com.cn

E-mail: sales@waterpub.com.cn

电话: (010) 88547653 (营销中心)

北京科水图书销售中心 (零售)

电话: (010) 88533994、88202643、88543874

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经营

编辑: 水立 (天津) 印刷有限公司印刷

140mm×203mm 32开本 3.5印张 54千字

2020年3月第1版 2020年3月第1次印刷

书号 155170·555

定价 46.00元

凡购买我社规程,如有缺页、倒页、脱页的,

本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

水利部标准定额
查询服务中心



标准二维码,扫一扫
方便查询,终身受益

销售分类:

机电与金结/材料与试验