

# 第9章

## 过电压保护和绝缘配合

## 9.1 电力系统过电压种类和过电压水

- 9.1.1 系统运营中出现于设备绝缘上的电压
- 9.1.1.1 系统运营中出现于设备绝缘上的电压有：
  - (1) 正常运营时的工频电压。
  - (2) 临时过电压(工频过电压, 谐振过电压)。
  - (3) 操作过电压。
  - (4) 雷电过电压。
- 9.1.1.2 设备上的作用电压, 按波形的分类。
- 设备在运营中可能受到的作用电压, 按照作用电压的幅值、波形及连续时间, 可分为：

- (1) 连续工频电压 (其值不超出设备最高电压  $U_m$ )，连续时间等于设备设计的运营寿命。
- (2) 临时过电压 (涉及工频电压升高、谐振过电压)。
- (3) 缓波前 (操作) 过电压。
- (4) 快波前 (雷电) 过电压。
- (5) 陡波前过电压。
- 9.1.1.4 相对地临时过电压和操作过电压的标么值如下：
  - (1) 工频过电压的  $1.0 p. u. = U_m / 1.732$ ；
  - (2) 谐振过电压和操作过电压的  $1.0 p. u. = U_m (1.414 / 1.732)$ ，
  - $U_m$  为系统最高电压。

- 9.1.1.5 系统最高电压的范围。
- (1) 范围 I:  $3.6\text{kV} \leq U_m \leq 252\text{kV}$ ;  
 $1\text{kV} \leq U_m \leq 252\text{kV}$ ;
- (2) 范围 II:  $U_m > 252\text{kV}$ 。
- 9.1.2 电力系统过电压水平
- 9.1.2.1 工频过电压的允许水平。
- 系统的工频过电压水平一般不宜超出下列数值:
- 330—500kV 线路断路器的变电所侧 1.3p. u.
- 线路断路器的线路侧 1.4p. u.
- 110—220kV 1.3p. u.
- 35—66kV 1.732p. u.
- 3—10kV  $(1.1 * 1.732)$  p. u.

- 9.1.2.2 操作过电压的允许水平。
- (1) 相对地：
  - 500kV (直接接地系统) 2.0p.u.
  - 330kV (直接接地系统) 2.2p.u.
  - 110—220kV (直接接地系统) 3.0p.u.
  - 66kV及下列 (非直接接地系统) 4.0p.u.
  - 35kV及下列 (低电阻接地系统) 3.2p.u.
- (2) 相间：
  - 330—500kV (取相对地过电压的倍数) 1.3~1.4
  - 3—220kV (取相对地过电压的倍数) 1.5

## 9.2 雷电过电压的特点及相应的限制和保护设计

- 9.2.1 雷电过电压特点
- 9.2.1.1 雷电参数。
- (1) 雷电流幅值的概率。
- 1) 除2)所述地域以外的我国一般地域雷电流幅值超出 $I$ 的概率可按式(9-2-1)求得, 即
- $$\lg P = -(I/88) \quad (9-2-1)$$
- 式中  $P$ ——雷电流幅值概率;
- $I$ ——雷电流幅值, kA。
- 2) 陕南以外的西北地域、内蒙古自治区的部分地域(此类地域的平均年雷暴日数在20及下列)雷电流幅值较小, 可由式(9-2-2)求得, 即

- $\lg P = -(1/44) \quad (9-2-2)$
- (2) 平均年雷暴日数宜根据本地气象台数年资料取得或参照全国平均年雷暴日数分布图拟定。
  - 1) 少雷区，平均年雷暴日数不超出15的地域；
  - 2) 中雷区，平均年雷暴日数超出15但不超出40的地域；
  - 3) 多雷区，平均年雷暴日数超出40但不超出90的地域；
  - 4) 雷电活动特殊强烈地域，平均年雷暴日数超出90的地域及根据运营经验雷害特殊严重的地域。
- (3) 在线路防雷设计中，雷电流波头长度一般取 $2.6 / I_s$ ，波头形状取斜角形；在设计特殊高塔时，可取半余弦波形，其最大陡度与平均陡度之比为 $\pi / 2$ 。
- (4) 地面落雷密度为每一雷电日每平方公里对地平均落雷次数，一般40雷电日地域为0.07。

## ● 9.2.1.2 线路雷电过电压

- (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，形成对导线的还击产生过电压。设计时要求塔头空气间隙和档距中央空气间隙的绝缘水平高于绝缘子串的绝缘水平。
- 绝缘子串上承受的雷电过电压与杆塔本身电感、接地电阻、避雷线分流系统以及雷电流幅值有关，一般以耐雷水平(线路能承受该雷电流幅值而绝缘子串不致发生闪络)作为线路的耐雷指标。
- (2) 雷直击(无避雷线线路)和绕击(有避雷线线路)导线将伴随电压等级的增高，线路绕击的事故率增长，故电压等级的增高绕击事故率占总事故率的比重增大。



### ● 9.2.1.3 发电厂、变电所雷电过电压

- (1) 雷直接击在发电厂、变电所电气设备上产生直击雷过电压，因为过电压幅值很高，会造成设备的损坏，应对直击雷采用防护措施。

- 当雷击发电厂避雷针、线或其他建、构筑物，将引起接地网冲击电位增高，会造成对电气设备的还击，产生还击过电压。还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。

- (2) 雷击附近物体或地面，因为空间电磁场发生剧烈变化，在线路的导线上或其他金属导体上产生感应过电压。一般感应过电压仅对35kV及下列线路和电气设备绝缘有危害。

- 当雷击点与导线的距离不小于65m时，导线上感应过电压可按式(9—2—3)计算。

- (3) 输电线路受到雷击，雷电波沿导线侵入到发电厂电气设备上，产生侵入雷电波过电压。过电压幅值与发电厂进线保护段耐雷水平，雷击点距发电厂的距离，导线电晕衰减与发电厂接线、运营方式有关。

- 9.2.2 雷电过电压的限制和保护设计
- 9.2.2.1 设计和运营中应考虑直接雷击、雷电还击和感应雷电过电压对电气装置的危害。
- 9.2.2.2 架空线路上的雷电过电压。
  - (1) 距架空线路 $S > 65\text{m}$ 处, 雷云对地放电时, 线路上产生的感应过电压最大值可按式(9—2—3)计算, 即
  - $$U_i \cong (25 * I * hc / S) \quad (9-2-3)$$
  - 式中  $U_i$ ——雷击大地时感应过电压最大值, kV;
  - $I$ ——雷电流幅值(一般不超出100), kA;
  - $hc$ ——导线平均高度, m;
  - $S$ ——雷击点与线路的距离, m。
- 线路上的感应过电压为随机变量, 其最大值可达300—400kV, 一般仅对35kV及下列线路的绝缘有一定威胁。

- (2) 雷击架空线路导线产生的直击雷过电压，可按式(9—2—4)拟定，即
- $$U_s \cong 100 I \quad (9-2-4)$$
- 式中  $U_s$ ——雷击点过电压最大值，kV。
- 雷直击导线形成的过电压易造成线路绝缘闪络。架设避雷线可有效地降低雷直击导线的概率。
- (3) 因雷击架空线路避雷线、杆顶形成作用于线路绝缘的雷电还击过电压，与雷电参数、杆塔型式、高度和接地电阻等有关。
- 宜合适选用杆塔接地电阻，以降低雷电还击过电压的危害。

- 9.2.2.3 发电厂和变电所内的雷电过电压来自雷电对配电装置的直接雷击、还击和架空进线上出现的雷电侵入波。
  - (1) 应该采用避雷针或避雷线对高压配电装置进行直击雷保护并采取措施预防还击。
  - (2) 应该采用措施预防或降低发电厂和变电所近区线路的雷击闪络，并在发电厂、变电所内合适配置阀式避雷器，以降低雷电侵入波过电压的危害。
  - (3) 按原则要求对采用的雷电侵入波过电压保护方案校验时，校验条件为保护接线一般应该确保2km外线路导线上出现雷电侵入波过电压时，不引起发电厂和变电所电气设备绝缘损坏。
- 9.2.2.4 雷电过电压的保护设计
  - (1) 高压架空线路的雷电过电压保护见9.5.1。
  - (2) 发电厂和变电所的雷电过电压保护见9.5.2。
  - (3) 配电系统的雷电过电压保护见9.5.3。
  - (4) 旋转电机的雷电过电压保护见9.5.4。

- 9.2.3 雷电过电压保护装置的选择

- 9.2.3.1 避雷针和避雷线。

- (1) 单支避雷针的保护范围(见图9—2—1)。

- 1) 避雷针在地面上的保护半径，应按式(9—2—1)计算，保护半径 $r$ 为

- $$r=1.5hP \quad (9-2-5)$$

- 式中  $r$ ——保护半径，m；

- $h$ ——避雷针的高度，m；

- $P$ ——高度影响系数， $h \leq 30\text{m}$ ， $P=1$ ； $30\text{m} < h \leq 120\text{m}$ ， $P=5.5/(h)^{0.5}$ ；当 $h > 120\text{m}$ 时，取其等于120m。

-

- (2) 在被保护物高度 $h_x$ 水平面上的保护半径 $r_x$ 应按下列措施拟定:

- a) 当 $h_x \geq 0.5h$ 时

- $$r_x = (h - h_x) P \quad (9-2-6)$$

- 式中  $r_x$ ——避雷针在 $h_x$ 水平面上的保护半径, m;

- $h_x$ ——被保护物的高度, m;

- $h_a$ ——避雷针的有效高度, m。

- b) 当 $h_x < 0.5h$ 时

- $$r_x = (1.5h - 2h_x) P \quad (9-2-7)$$

-

- (2) 两支等高避雷针的保护范围
- 1) 两针外侧的保护范围应按单支避雷针的计算措施拟定。
- 2) 两针间的保护范围应按经过两针顶点及保护范围上部边沿最低点O的圆弧拟定，圆弧的半径为只。O点为假想避雷针的顶点，其高度应按式(9—2—8)计算，为
- $$h_0 = h - (D/7P) \quad (9-2-8)$$
- 式中  $h_0$ ——两针间保护范围上部边沿最低点高度，m；
- $D$ ——两避雷针间的距离，m。
- 两针间 $h_x$ 水平面上保护范围的一侧最小宽度应按图9—2—3拟定。当 $b_x > r_x$ 时，取 $b_x = r_x$ 。
- 求得 $b_x$ 后，可按图9—2—2绘出两针间的保护范围。
- 两针间距离与针高之比 $D / h$ 不宜不小于5。

- (3) 多支等高避雷针的保护范围 [见图9—2—4(a)及图9—2—4(b)]。
- 1) 三支等高避雷针所形成的三角形的外侧保护范围应分别按两支等高避雷针的措施计算拟定。如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一侧最小宽度 $b_x \geq 0$ , 则全部面积即受到保护。
- 2) 四支及以上等高避雷针所形成的四角形或多角形, 可先将其提成两个或数个三角形, 然后分别按三支等高避雷针的措施计算。如各边的保护范围一侧最小宽度 $b_x \geq 0$ , 则全部面积即受到保护。
- (4) 单根避雷线在 $h_x$ 水平面上每侧保护范围的宽度 (见图9—2—5)。



- 1) 当 $h_x \geq (h/2)$ 时
- $$r_x = 0.47(h - h_x)P \quad (9-2-9)$$
- 式中  $r_x$ ——每侧保护范围的宽度, m。
- 2) 当 $h_x < (h/2)$ 时
- $$r_x = (h - 1.53h_x)P \quad (9-2-10)$$
- (5) 两根等高平行避雷线的保护范围(见图9—2—6)。
- 1) 两避雷线外侧的保护范围应按单根避雷线的计算措施拟定。
- 2) 两避雷线间各横截面的保护范围应由经过两避雷线1、2点及保护范围边沿最低点O的圆弧拟定。O点的高度应按式(9—2—11)计算, 即
- $$h_0 = h - (D/4P) \quad (9-2-11)$$
- 式中  $h_0$ ——两避雷线间保护范围上部边沿最低点的高度, m;
- $D$ ——两避雷线间的距离, m;
- $h$ ——避雷线的高度, m。

- 3) 两避雷线端部的两侧保护范围仍按单根避雷线保护范围计算。两线间保护最小宽度(参见图9—2—2)按下列措施拟定:
  - a) 当 $h_x \geq (h/2)$ 时
  - $$r_x = 0.47(h_0 - h_x)P \quad (9-2-12)$$
  - 式中  $r_x$ ——每侧保护范围的宽度, m。
  - b) 当 $h_x < (h/2)$ 时
  - $$r_x = (h_0 - 1.53h_x)P \quad (9-2-13)$$
- (6) 不等高避雷针、避雷线的保护范围(见图9—2—7)。
  - 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措施拟定。

- 2) 两支不等高避雷针间的保护范围应按单支避雷针的计算措施，先拟定较高避雷针1的保护范围，然后由较低避雷针2的顶点，作水平线与避雷针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措施拟定避雷针2和3间的保护范围。经过避雷针2、3顶点及保护范围上部边沿最低点的圆弧，其弓高应按式(9—2—14)计算，为

- $$f=D//7P \quad (9-2-11)$$

- 式中  $f$ ——圆弧的弓高，m；

- $D'$ ——避雷针2和等效避雷针3间的距离，m。

- 3) 对多支不等高避雷针所形成的多角形, 各相邻两避雷针的外侧保护范围按两支不等高避雷针的计算措施拟定; 三支不等高避雷针, 如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一侧最小宽度 $b_x \geq 0$ , 则全部面积即受到保护; 四支及以上不等高避雷针所形成的多角形, 其内侧保护范围可仿照等高避雷针的措施拟定。
- 4) 两根不等高避雷线各横截面的保护范围, 应仿照两支不等高避雷针的措施, 按式(9—2—11)计算。
- (7) 山地和坡地上的避雷针, 因为地形、地质、气象及雷电活动的复杂性, 避雷针的保护范围应有所减小。避雷针的保护范围可按式(9—2—5)一式(9—2—7)的计算成果和依图9—2—3拟定的 $b_x$ 等乘以系数0.75求得; 式(9—2—8)可修改为 $h_0 = h - (D/5P)$ ; 式(9—2—14)可修改为 $f = D/5P$ 。

- 利用山势设置的远离被保护物的避雷针不得作为主要保护装置。
- (8) 相互接近的避雷针和避雷线的联合保护范围可近似按下列措施拟定(见图9—2—8):
- 避雷针、线外侧保护范围分别按单针、线的保护范围拟定。内侧首先将不等高针、线划为等高针、线,然后将等高针、线视为等高避雷线计算其保护范围。
- 9.2.3.2 阀式避雷器
- (1) 采用阀式避雷器进行雷电过电压保护时,除旋转电机外,对不同电压范围、不同系统接地方式的避雷器选型如下:
  - 1) 有效接地系统,范围II应该选用金属氧化物避雷器;范围I宜采用金属氧化物避雷器;
  - 2) 气体绝缘全封闭组合电器(GIS)和低电阻接地系统应该选用金属氧化物避雷器;

- 3) 不接地、消弧线圈接地和高电阻接地系统, 根据系统中谐振过电压和间歇性电弧接地过电压等发生的可能性及其严重程度, 可任选金属氧化物避雷器或碳化硅一般阀式避雷器。
- (2) 旋转电机的雷电侵入波过电压保护, 宜采用旋转电机金属氧化物避雷器或旋转电机磁吹阀式避雷器。
- (3) 有串联间隙金属氧化物避雷器和碳化硅阀式避雷器的额定电压, 一般情况下应符合下列要求:
  - 1) 110kV及220kV有效接地系统不低于 $0.8U_m$ ;
  - 2) 3—10kV和35kV、66kV系统分别不低于 $1.1U_m$ 和 $U_m$ ;
  - 3kV及以上具有发电机的系统不低于 $1.1U_m$  ( $U_m$ 为发电机最高运营电压);
  - 3) 中性点避雷器的额定电压, 对3—20kV和35、66kV系统, 分别不低于 $0.64U_m$ 和 $0.58U_m$ ; 对3—20kV发电机, 不低于 $0.64U_m$ 。

- (4) 采用无间隙金属氧化物避雷器作为雷电过电压保护装置时，应符合下列要求：
  - 1) 避雷器的连续运营电压和额定电压应不低于表9—2—1所列数值；
  - 2) 避雷器能承受所在系统作用的临时过电压和操作过电压能量。
- (5) 阀式避雷器标称放电电流下的残压，不应不小于被保护电气设备(旋转电机除外)准雷电冲击全波耐受电压的71%。
- (6) 发电厂和变电所内35kV及以上避雷器应装设简朴可靠的屡次动作统计器或磁钢统计器。

- 9. 2. 3. 3 排气式避雷器。
- (1) 在选择排气式避雷器时，开断续流的上限，考虑非周期分量，不得不小于安装处短路电流的最大有效值；开断续流的下限，不考虑非周期分量，不得不小于安装处短路电流的可能最小值。
- (2) 如按开断续流的范围选择排气式避雷器，最大短路电流应按雷季电力系统最大运营方式计算，并涉及非周期分量的第一种半周短路电流有效值。如计算困难，对发电厂附近，可将周期分量第一种半周的有效值乘以1.5；距发电厂较远的地点，乘以1.3。最小短路电流应按雷季电力系统最小运营方式计算，且不涉及非周期分量。
- (3) 排气式避雷器外间隙的距离，在符合保护要求的条件下，应采用较大的数值。表9—2—1。



## 9.3 临时过电压的特点及相应的限制和保护设计

### ● 9.3.1 临时过电压的特点

#### ● 9.3.1.1 工频过电压的性质。

- 工频过电压的频率为工频或接近工频，幅值不高，在中性点不接地或经消弧线圈接地的系统，约为工频电压的 $\sqrt{3}$ 倍；在中性点直接接地系统中，一般不允许超出1.5倍。
- 工频过电压常发生在故障引起的长线切合过程中。在发电机暂态电势 $E_d$ 为常数时，工频过电压处于暂态状态，连续时间不超出1s。因为在0.1—1s以内，工频过电压仅变化2%—3%，一般多取0.1s左右的暂态数值作为参照值。今后，发电机自动电压调整器发生作用， $E_d$ 变化，在2—3s后来，系统进入稳定状态。此时的工频过电压称为工频稳态过电压。
- 工频过电压对220kV及下列电力网的电气设备没有危险，但对330kV及以上的超高压电网影响很大，需要采取措施予以限制。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/385320244242011341>