

## 交流无间隙金属氧化物避雷器使用导则

### 1 主题内容与适用范围

本标准是选择和使用交流无间隙金属氧化物避雷器的指导性文件。

本标准适用于交流电力系统限制过电压用的无间隙金属氧化物避雷器。

本标准不适用于带有串联或并联间隙的金属氧化物避雷器。

### 2 引用标准

GB 11032 交流无间隙金属氧化物避雷器

GB 311.1 高压输变电设备的绝缘配合

GB 3117 高压输变电设备的绝缘配合使用导则

GBJ 64 工业与民用电力装置的过电压保护设计规范

### 3 绪言

无间隙金属氧化物避雷器,由于既无串联间隙又无并联间隙,消除了因间隙击穿特性变化所造成的影响,保护特性仅由冲击电流通过时的残压所决定。无间隙金属氧化物避雷器的非线性电阻片(阀片)单位体积吸收能量大,还可以并联使用,使能量吸收能力成倍提高,可以有效地限制电力系统的大气过电压和操作过电压。

另一方面,由于没有串联间隙,金属氧化物避雷器的阀片不仅要承受雷电波和操作波过电压的作用,同时还要直接承受持续运行电压和暂时过电压的作用。因而便出现了在这些电压作用下的老化、寿命和热稳定问题。此外,在某些情况下,如避雷器由污秽以及邻近物体之间的杂散电容等因素引起电压沿避雷器的分布严重不均时将造成避雷器的局部过热。所以,使用中需要注意运行中的热稳定。通常避雷器的保护水平与避雷器本身可靠性是两个互相矛盾的要求。因此,避雷器的选择是一个优选过程,需要周密考虑有关的系统参数和设备参数,即使避雷器的保护水平满足被保护设备的要求,也使避雷器本身具有足够的可靠性。

本导则是为配合 GB 11032 而制定的。针对无间隙金属氧化物避雷器的特点和电力系统的具体状况,阐述了避雷器选择和使用中需要考虑的问题。在额定电压 110~500 kV 的中性点有效接地电力系统,金属氧化物避雷器的优越性比较明显。额定电压 3~63 kV 的非有效接地系统,由于一般都没有接地故障自动切除装置,通常还允许带接地故障运行两个小时或者更长,所以需要避雷器有较高的参考电压和额定电压,致使其残压接近普通阀式避雷器。但由于没有间隙,对于某些操作过电压可以有一定的限制作用。在中性点非有效接地系统使用无间隙金属氧化物避雷器限制并联补偿电容器组和电动机操作过电压已取得很好的效果。在保护老旧或弱绝缘设备以及空间比较紧凑的户内变电所或开关柜等特殊场合,使用金属氧化物避雷器也会有较好的效果。

### 4 金属氧化物避雷器的基本特性

#### 4.1 总则

机械电子工业部 1991-10-24 批准

1992-10-01 实施

无间隙金属氧化物避雷器的基本特性是它们的额定电压和保护水平。

避雷器的保护水平是由陡波冲击电流、标称放电电流和操作冲击电流三者的残压所决定的。

对于某一给定的额定电压,存在不同类型的避雷器,因而有不同的参考电压和保护水平。

在具体应用中需要进一步考虑的还有持续运行电压、工频电压耐受时间特性、标称放电电流、长持续时间电流冲击耐受特性、压力释放等级和污秽耐受能力等特性。

#### 4.2 额定电压( $U_N$ )

避雷器两端子间的最大允许工频电压有效值。按照此电压设计的避雷器,能在所规定的动作负载试验中确定的暂时过电压下正确地工作,金属氧化物避雷器的正确工作,是在一次或多次冲击电流作用后能够承受规定时间的额定电压,随后在持续运行电压作用下能够达到热稳定状态。

额定电压是避雷器各项电气特性的基准参数。

#### 4.3 参考电压( $U_{ref}$ )

包含工频参考电压和直流参考电压。在工频参考电流下测出的避雷器上的工频电压最大峰值除以 $\sqrt{2}$ 为工频参考电压;在直流参考电流下测出的避雷器上的电压为直流参考电压。多元件串联组成的避雷器参考电压是每个元件参考电压之和。

参考电压是避雷器伏安特性曲线小电流拐点附近的电压。

#### 4.4 持续运行电压( $U_c$ )

允许持久地施加在避雷器两端之间的工频电压有效值。无间隙金属氧化物避雷器一个重要的特点,就是在工频电压的持续作用下阀片有可能产生老化。老化的最终结果是避雷器的直流 1 mA 电压严重下降,在动作时或在持续运行电压下失去热稳定。

#### 4.5 荷电率

持续运行电压的峰值与直流参考电压的比值。荷电率的高低直接影响到避雷器的老化过程。荷电率偏高时会加速避雷器的老化。当持续运行电压沿避雷器的分布不均时,有可能使部分阀片的荷电率偏高。降低荷电率不但会减缓避雷器的老化,暂时过电压的耐受能力也会提高。但荷电率偏低时避雷器的保护性能将随之变坏。

荷电率是影响避雷器老化性能和保护水平的一项重要参数。

#### 4.6 工频电压耐受时间特性

在规定条件下,对避雷器施加不同值的工频电压,避雷器不损坏、不发生热崩溃的相应最长持续时间。

金属氧化物避雷器承受暂时过电压的能力,与过电压的幅值和持续时间以及暂时过电压前避雷器所吸收的操作过电压能量有关,过电压的幅值过高或持续时间过长都可能使避雷器损坏。同一类型和同一额定电压不同生产厂家的避雷器可能有不同的工频电压耐受时间特性。

工频电压耐受时间特性对于按照具体条件选择避雷器的额定电压或参考电压很重要。

#### 4.7 标称放电电流( $I_n$ )

用以划分避雷器等级的冲击波形 8/20 的放电电流峰值,它用来确定在雷电过电压下的保护水平。

#### 4.8 避雷器的保护水平

无间隙金属氧化物避雷器的保护水平完全由它的残压决定。

避雷器雷电过电压保护水平是下列两项数值的较高者:

- a. 陡波冲击电流下最大残压除以 1.15;
- b. 标称放电电流下最大残压。

注:关于陡波冲击电流残压除以 1.15 的规定,是认为变压器类电器的油浸绝缘所具有的陡波电流残压的耐受强度要比标称电流残压的耐受强度高 15% 以上。其他类型的绝缘,如旋转电机、干式变压器、电缆及 SF<sub>6</sub> 变电站(GIS)中的绝缘,可有不同的系数。

避雷器操作过电压保护水平是操作冲击电流下的最大残压。

当额定电压一定时,残压是通过避雷器电流的函数。在雷电冲击电流范围内,残压还与冲击电流的波头时间有关。考虑到近区雷电流的可能性,电站和配电避雷器特性中给出了陡波电流下的残压值。

避雷器的操作冲击电流残压试验所用的操作冲击电流的波头时间为  $30 \sim 100 \mu\text{s}$  (在此范围内或波头更长时对残压值无明显影响)。其电流幅值则按避雷器的不同标称电流系列、不同类型以及不同额定电压分别规定了不同的数值。这个操作冲击电流值只用于避雷器的操作残压试验,并不要求在长持续时间冲击电流耐受试验中也要达到这一数值。

避雷器的保护水平,是电力系统过电压保护和绝缘配合中一项基本参数。

#### 4.9 长持续时间电流冲击耐受特性

避雷器吸收长持续时间放电能量的能力。系统额定电压  $110 \text{ kV}$  及以上的避雷器,通过线路放电耐受试验进行考核,GB 11032 按能量大小分为四个等级。通常系统额定电压等级越高、线路越长、线路波阻抗越低,放电耐受试验等级的级数就越大。系统额定电压  $63 \text{ kV}$  及以下的避雷器,通过方波电流冲击耐受试验进行考核。

长持续时间电流冲击耐受特性,对于超高压长距离输电系统和大容量并联补偿电容组用以限制操作过电压的避雷器尤为重要。

#### 4.10 压力释放等级

避雷器耐受内部故障电流的能力。在规定短路电流下,具有压力释放装置避雷器的瓷套不会发生爆炸(即爆炸时碎片不会飞出规定范围)。压力释放电流等级以工频电流有效值表示。

#### 4.11 污秽耐受能力

避雷器的耐污秽性能主要与其整体结构、瓷套外表面的爬电距离和伞裙形状有关,瓷套表面的污秽,除了引起表面闪络外,还会引起沿电阻片电压分布不均,造成电阻片的局部过热并导致损坏。定期清扫和涂抹防污涂料也可以提高避雷器的防污能力。

### 5 避雷器选择的一般程序

#### 5.1 避雷器的选择步骤

- 按照使用地区的气温、海拔、风速、污秽和地震等环境条件,确定避雷器的使用条件;
- 根据被保护对象选择避雷器的类型;
- 按照系统最高电压确定避雷器的持续运行电压;
- 估算避雷器安装点的暂时过电压的幅值和持续时间,选择避雷器的额定电压并以工频电压耐受时间特性进行校核;
- 估算通过避雷器的雷电放电电流幅值,选择避雷器的标称放电电流;
- 估算通过避雷器的操作冲击电流和能量,选择避雷器的线路放电耐受试验等级、方波冲击试验电流幅值以及能量吸收能力;
- 按照绝缘配合的要求选择避雷器的保护水平;
- 按照避雷器安装处的最大故障电流选择避雷器的压力释放等级;
- 按照避雷器安装处的污秽状况选择避雷瓷套的爬电比距;
- 按照避雷器安装处的引线拉力、风速和地震等条件选择避雷器的机械强度。

#### 5.2 避雷器的应用

- 根据选定的被保护设备的额定雷电冲击耐受电压,确定避雷器的雷电过电压保护水平;如有必要,根据被保护设备的额定操作冲击耐受电压,选择避雷器的操作过电压保护水平;
- 根据变电所的出线数目校核避雷器的保护范围;
- 在绝缘水平选择中,要考虑设备外绝缘与海拔高度的关系以及内绝缘运行时间而降低因素;
- 当避雷器不能满足绝缘配合要求时,可采取以下一种或几种办法予以改进,通过技术经济比较选取较优方案:调整避雷器的位置,降低避雷器的额定电压,提高避雷器的标称放电电流等级或采用专

门的具有较低保护水平的避雷器。必要时也可提高被保护设备的绝缘水平。

## 6 避雷器的选择原则

### 6.1 使用条件的校核

使用条件包括环境温度、太阳光辐射、海拔高度、风速、污秽和地震等外部条件。GB 11032 中划分了正常使用条件和异常使用条件。

温度对无间隙金属氧化物避雷器的老化和热稳定具有直接的影响。除环境温度外,还应考虑太阳光辐射的温升。为此,在型式试验中作了将试品预热到平均加权温度为  $60^{\circ}\text{C}$  的规定。超出这一范围时应与制造厂协商解决。如在严寒地区,避雷器的密封应专门考虑。而炎热地区,则会降低避雷器吸收过电压能量的能力。

对于污秽的考虑,GB 11032 将瓷套分为 3 级规定了最小公称爬电比距(外绝缘爬电距离与设备最高电压或系统最高电压之比)的要求:

无明显污秽地区 17 mm/kV;

普通污秽地区 20 mm/kV;

重污秽地区 25 mm/kV。

在选择爬电比距时,并应注意瓷套的有效绝缘高度,考虑它的有效性。重污秽地区用避雷器要在型式试验中进行人工污秽试验。

在避雷器安装处的海拔高度超过 1 000 m,或地震烈度在 7 度以上、最大风速超过 35 m/s 以及复冰厚度超过 2 cm 时,应与制造厂协商,在避雷器的外绝缘,机械强度等重新核算,必要时应在设计上给予特殊考虑。

### 6.2 相对地避雷器的持续运行电压

用于具有接地故障自动切除装置系统中的避雷器,其持续运行电压应等于或高于系统最高相电压。110~500 kV 系统都具有接地故障自动切除装置,用于这种系统中的避雷器,其持续运行电压可按不低于系统最高相电压选取。

用于中性点非有效接地且没有接地故障自动切除装置系统中的避雷器,其持续运行电压仍可按不低于系统最高相电压选取。

考虑到系统可能经常出现较长时间的带接地故障的运行方式,为了解决避雷器的老化和热稳定问题和减少在弧光接地及谐振过电压下的事故率,GB 11032 提高了 3~63 kV 电站配电和并联补偿电容器避雷器的直流 1 mA 参考电压,并在动作负载试验中将试验电压都提高到 1.3 倍,持续运行电压作了处理。

### 6.3 相对地避雷器的额定电压

避雷器的额定电压的选择应以电力系统的暂时过电压作为基础。

通常认为,避雷器必须能够承受由单相接地故障引起健全相电压升高的暂时过电压,其他原因引起的暂时过电压也要考虑。避雷器额定电压的选择,一般应以这些过电压中的最高值为基础,有时则要考虑由于不同原因同时出现的暂时过电压(如接地故障的同时又突然甩负荷),且计及这些不同现象同时发生的概率。

#### 6.3.1 接地故障引起的暂时过电压

这些过电压可用避雷器安装处的接地故障因数乘以系统最高相电压求得。接地故障因数可用合适的程序计算求得。

##### a. 中性点有效接地系统

接地故障因数通常不大于 1.4,接地故障因数的计算考虑了  $X_0/X_1$ 、 $R_0/X_1$  及  $R_1/X_1$ (见附录 A)。

其中:  $X_0$ ——零序电抗

$X_1$ ——正序电抗

$R_0$ ——零序电阻

$R_1$ ——正序电阻

#### b. 中性点非有效接地系统

接地故障因数通常是 1.73,但它与接地电阻值有关。在中性点非有效接地系统中,当接地电阻为电网总容抗的 37% 时该因数达到最大值,可达 1.82。从理论上讲,如果  $X_0/X_1$  的值在 -1 与 -20 之间时,由于接近谐振点,  $\frac{X_0}{X_1} = -2$  谐振条件可能出现。接地故障因数会高于 1.82,但通常  $X_0/X_1$  的值离引起谐振的范围值很远,在选取避雷器额定电压时可不考虑这种状态。

#### 6.3.2 其他原因引起的暂时过电压

除接地故障外,引起暂时过电压最多的其他重要原因还有:

a. 突然甩负荷导致发电机过励磁过电压;

b. 空载长线末端电压升高(长线电容效应)。

另外,在正常或非正常条件下出现的其他类型暂时过压也需要注意,例如:

谐振作用和平行回路的感应;

由于甩负荷、投变压器或电容器组引起的谐波谐振和变压器饱和。

#### 6.3.3 额定电压的确定

由于暂时过电压与系统结构的参数密切相关,对于某些复杂系统要确定其最大暂时过电压及其持续时间就比较困难,需要通过模拟、计算或对实际系统的调查进行估算。

为了简化额定电压的选择程序,避雷器的额定电压通常按电力系统单相接地并考虑甩负荷条件下健全相的最高暂时过电压选取。

对于一般中性点有效接地系统的零序电抗之比( $Z_0/Z_1$ )在 0 与 +3 之间,零序电阻与正序电抗之比( $R_0/X_1$ )在 0 与 +1 之间,在单相接地时,避雷器安装点的故障因数不超过 1.4。因此对 110 kV 及 220 kV 中性点有效接地系统,避雷器的额定电压一般可采用 1.4 倍系统最高工作相电压。对 330 kV 及 500 kV 系统,虽然接地故障因数一般较低,但甩负荷和长线电容效应等因素的影响却较大,对这两个电压等级的变电所母线上和断路器线路侧的避雷器,其额定电压一般分别可按 1.3 和 1.4 倍最大相电压选取。

对于中性点非有效接地系统,GB 11032 仍然按单相接地同时甩负荷条件规定了避雷器的额定电压。谐振到避雷器尚须承受谐振和弧光接地过电压的作用,因此在工频电压耐受时间特性试验和动作负载试验中将电站、配电和并联补偿电容器避雷器的试验电压提高到 1.2~1.3 倍额定电压的方法作了特殊处理。

最近几年 3~63 kV 系统中出现了中性点经中值或低值阻抗接地的运行方式。用于这种系统中的避雷器尚未列入 GB 11032,其额定电压可按具体条件与制造厂协商解决。

额定电压是避雷器的一项综合指标,选择较低额定电压可以提高保护裕度,但相应降低了避雷器本身的可靠性和使用寿命。

#### 6.4 工频电压耐受时间特性

无间隙金属氧化物避雷器耐受暂时过电压的能力,不但与工频过电压的幅值而且也与工频过电压的持续时间以及避雷器所吸收的初始能量有关。

避雷器的初始能量,是因为暂时过电压可能是由雷击或操作过电压造成系统故障而产生的,所以避雷器在承受暂时过电压前有时会吸收一定的操作波和雷电波的过电压能量(主要是操作波过电压能量)。这部分初始能量会引起阀片温度的上升,从而影响避雷器暂时过电压的耐受能力。

避雷器耐受暂时过电压的允许时间是施加于避雷器上暂时过电压值和初始过电压能量的函数。具体的初始能量,在 GB 11032 中规定为一次大电流冲击或两次长持续时间电流冲击试验所产生的能量,在试验中紧接着加上预定的工频电压幅值,作出工频电压耐受时间特性。国外有的厂家提供的工频耐受



伏秒特性曲线,其选加的初始操作过电压能量,与两次长持续时间电流冲击试验所产生的能量大体相当。

制造厂应按 GB 11032 向用户提供避雷器的工频耐受伏秒特性曲线。一般按技术要求选定额定电压后,并非必须校核工频电压耐受特性。在避雷器安装点有可能出现幅值较大持续时间较长的暂时过电压的特殊情况,或为了取得绝缘更大的保护裕度,选择较低一级额定电压的避雷器时,宜对工频电压耐受特性校核,如暂时过电压的幅值或时间超过避雷器的耐受能力,则需选择额定电压较高一级的避雷器。

电力系统预期暂时过电压的幅值和持续时间,通常是由单相接地故障时继电保护及断路器的动作来决定,其数值随接地条件和继电保护方式而有所不同。在不利的条件下可能出现幅值高于避雷器额定电压或持续时间比较长的暂时过电压。

中性点有效接地系统在下述条件下会产生高幅值或长时间暂时过电压:

a. 为限制接地故障电流,常有一部分变压器的中性点不接地。在故障跳闸或倒闸操作过程中,网络的某些部分可能变为非直接接地系统,使接地故障因数升高;

b. 断路器的非同期操作可能产生谐振过电压;

c. 按计划合闸、系统并网同步调度操作的时间可长达 20 min 或更多。

中性点非有效接地系统在无接地故障自动切除装置时,接地故障健全相的电压升高到线电压,持续时间通常可达两小时会更长。有时则会出现幅值更高的弧光接地和谐振过电压。GB 11032 为此规定用于非有效接地系统的电站、配电和并联补偿电容器避雷器,要在避雷器和额定电压下耐受 24 h,在 1.2~1.3 倍额定电压下耐受 2 h。

## 6.5 雷电放电电流

### 6.5.1 影响雷电放电电流的主要因素

通过避雷器的雷电放电电流的幅值与陡度与许多因素有关。在有避雷器针或避雷线作直击雷保护的变电所中,主要因素是:

a. 与变电所连接的架空线路的几何参数(主要是高度、宽度及避雷线位置),通常几何参数受线路额定电压的影响最大;

b. 进线段线路绝缘的雷电冲击耐受电压;

c. 进线保护段的长度。放电电流的陡度决定于进入变电所的雷电过电压的陡度。由于架空线路导线的衰减作用,接线路几何形状的不同,过电压的陡度被限制在  $150 \text{ kV}/\mu\text{s}$  与  $1200 \text{ kV}/\mu\text{s}$  之间;

d. 线路波阻抗;

e. 杆塔接地阻抗;

f. 避雷器动作时变电所连接线路的数目。由于行波的折反射,避雷器的放电电流要受到连接在母线上其他架空线路和电缆线路并联波阻抗的影响。

没有直接雷击保护的电力设施,如配电变压器或架空线路与电缆连接处,被保护设施和避雷器都可能受到直接雷击,产生很高很陡的电压和很大的放电电流。通过避雷器的放电电流有可能接近于雷电流本身。

### 6.5.2 标称放电电流的选择

选定避雷器标称放电电流时主要考虑以下因素:

a. 电站的重要性,即可以接受的绝缘损坏的危险率,通常随着系统电压的提高重要性也随之加强;

b. 高于标称放电电流的放电电流出现的概率。

按照 GBJ 64 规定,110 kV 及以上的架空线路,绝大部分均为沿全线架设避雷线,保护角也比较小。按远方雷击的侵入波统计,通过避雷器的雷电流绝大多数为:

a. 110~220 kV 系统一般不大于 5 kA,在雷电活动特别强烈的地区、进线保护不完善或进线段

耐雷水平达不到规定时可能大于 5 kA,但小于 10 kA;

- b. 330 kV 系统一般不大于 10 kA;
- c. 500 kV 系统在一个变电所内有多组避雷器时,每组不大于 20 kA。

110 kV 以下线路虽无全线避雷线,但从技术经济比较考虑,有一定的设备绝缘损坏危险率是可以接受的。按照避雷器类型使用条件,标称电流可以选用 5 kA、2.5 kA 和 1 kA 等级。

近区雷击一般不作为选择标称放电电流的依据,但避雷器应该具有足够的大电流冲击耐受能力。

GB 11032 规定的避雷器标称放电电流如表 1 所示:

表 1 避雷器的标称放电电流值

避雷器类型	系统或设备额定电压,kV(有效值)	标称放电电流,kA(峰值)
电机和变压器中性点	3.15~500	1.0
低压	0.220~0.380	1.5
电机	3.15~20.0	2.5
配电	3~10	5
并联补偿电容器	3~63	5
电气化铁道	27.5~55	5
电站	3~220	5
	110~500	10
	500	20

6.6 长持续时间放电能力

金属氧化物避雷器应具有在下列操作过电压下吸收操作冲击电流能量的能力。

- a. 线路合闸和重合闸;
- b. 空载变压器和并联电抗器分闸;
- c. 线路非对称故障分闸和振荡解列;
- d. 空载线路分闸和切合并联电容器组;
- e. 中性点非有效接地系统的弧光接地。

为了考验避雷器在实际运行条件下承受线路上所储存的过电压能量的能力,GB 11032 参照 IEC 标准草案作了线路放电试验的规定。采用分布参数的链型冲击电流发生器来模拟输电线路改变冲击发生器各链的参数可以模拟不同的线路长度和波阻抗,并可根据不同的电压等级按比例模拟不同的过电压倍数,然后向被试避雷器比例单元放电,形成近似操作过电压的长持续时间冲击电流。

GB 11032 规定,110 kV 及以上系统用避雷器(不包括中性点避雷器)均要进行该项试验,并按系统额定电压分为四个等级(表 2)。

表 2 中规定了分布参数冲击发生器的参数,对于避雷器的操作冲击残压与额定电压之比一定时,获得的能量随放电等级增加而增加。然而试验时避雷器中产生的能量很大程度上与被试电阻片实际操作残压有关。这一能量可按式(1)计算并有足够的精确度:

$$W' = \frac{U_{ns}}{U_R} \left( \frac{U_L}{U_R} - \frac{U_{cs}}{U_R} \right) \times \frac{U_R}{Z} \times T \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $U_R$ ——试品的额定电压,kV(有效值);

$U_L$ ——发生器充电电压,kV;

$W'$ ——试验中确定的比能量,其值等于试验时避雷器吸收的总能量与额定电压  $U_R$  的比值,kJ/kV;

$U_{cs}$ ——线路放电试验时试品的残压,kV;

$Z$ ——线路波阻抗,  $\Omega$ ;  
 $T$ ——电流峰值的视在持续时间, ms。

表 2 避雷器线路放电试验参数

避雷器标称放电 电流等级, kA	线路放电等级	线路波阻抗 $Z$ , $\Omega$	电流的视在持续 时间, ms	充电电压 $U_L$ , kV	相当于系统额定 电压等级, kV
5 10	1	$4.9U_R$	2 000	$3.2U_R$	110
5 10	2	$2.4U_R$	2 000	$3.2U_R$	220
10	3	$1.3U_R$	2 400	$2.8U_R$	330
10 20	4	$0.8U_R$	2 800	$2.6U_R$	500

比能量与操作冲击残压的关系示于图 1。

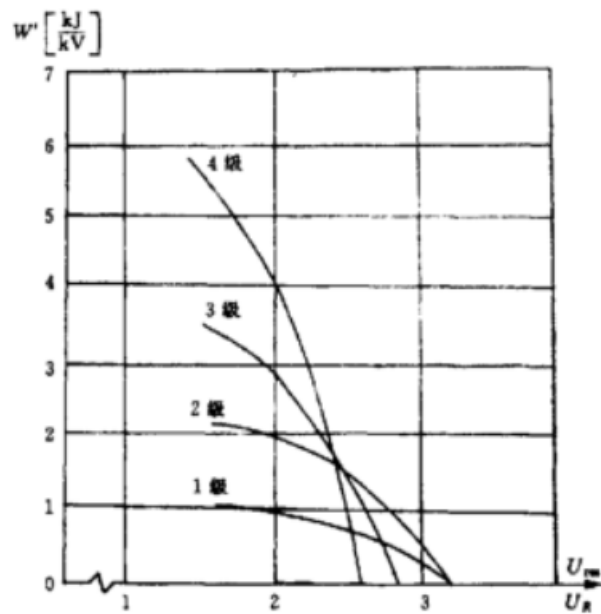


图 1 每 kV 额定值比能量(kJ)和避雷器操作冲击残压  $U_{res}$  与额定电压  $U_R$  有效值之比的关系曲线参变量线路放电等级

表 2 中避雷器线路放电试验参数所对应的输电线路参数如表 3 所示:

表 3 输电线路参数

线路放电等级	系统额定电压, kV	线路近似长度, km	线路近似波阻抗, $\Omega$	近似过电压倍数(标么值)
1	110	300	490	3.1
2	220	300	480	3.1
3	330	360	390	2.8
4	500	420	336	2.4

注: 标么值为系统最高相电压的峰值。

如系统条件符合表 3, 避雷器的线路放电等级一般可直接按表 2 选取。

若系统条件不符合表 3 或对避雷器能量吸收能力有较高要求时, 可通过电磁暂态计算程序 (EMTP) 或暂态网络分析仪 (TNA) 来计算避雷器吸收的能量。这一能量除以避雷器额定电压为实际要求的比能量, 再根据该比能量在图 1 中找出相应的线路放电等级。



注：① 当横、纵坐标交点落在两级之间，取较高的一级；

② 对同一额定电压的避雷器，按上述方法选择的线路放电等级可能高于表 2 中对应的等级。

在不具备 EMTP 和 TNA 的情况下，当忽略相间耦合的影响时，简单的单相模型在很多情况下是适用的。下面的近似公式可用来估算避雷器吸收的操作波电流和能量。图 2 中曲线 a 为避雷器伏安特性。

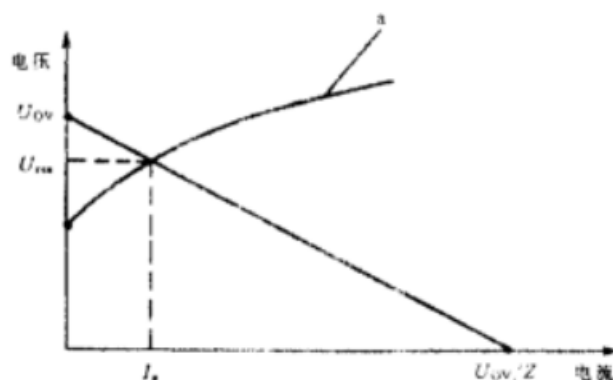


图 2

$$I_s = (U_{OV} - U_m) / Z \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$W = \frac{(U_{OV} - U_m)}{Z} U_m \times 2T \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中： $U_{OV}$ ——预期过电压；

$Z$ ——线路波阻抗；

$I_s$ ——避雷器操作波电流；

$U_m$ ——避雷器操作波残压；

$T$ ——操作波由线路首端到末端的传播时间；

$W$ ——避雷器吸收的能量。

注：公式(3)计算的是一次操作避雷器所吸收的能量。

对于 3~63 kV 系统用避雷器，不要求进行输电线路特性规定的线路放电试验，而是要根据避雷器的类型及使用情况对幅值为 50~400 A 的 2 000  $\mu$ s 的万波冲击电流试验。

## 6.7 绝缘配合系数

按惯用法衡量绝缘配合程度时，设备的绝缘水平与避雷器的保护水平之间应有的裕度，称之为配合系数  $K_s$  (安全系数  $D_f$  和距离系数  $S_f$  的乘积)。

$$K_s = \frac{\text{被保护设备的绝缘水平}}{\text{避雷器的保护水平}} = D_f \cdot S_f \quad \dots\dots\dots (4)$$

按照 GB 311.7 的规定：

a. 雷电过电压下的配合系数

避雷器紧靠保护设备  $K_s > 1.25$

避雷器非紧靠保护设备  $K_s > 1.4$

b. 操作过电压下的配合系数  $K_s > 1.15$

对于 330 kV 和 500 kV 变电所、带电缆段的变电所和气体绝缘变电所 (GIS) 的配合系数，必要时可使用计算机或模拟试验以对绝缘配合状态进行校核，也可用统计法求出变电所的危险概率。

## 6.8 压力释放等级

为使在避雷器内部故障时通过避雷器的故障电流不致引起避雷器外壳的严重爆炸，避雷器所能耐受的短路电流应不小于避雷器安装处的最大故障电流，并按此选定避雷器的压力释放电流等级。

从避雷器的使用寿命出发，在选择压力释放电流等级时一般可考虑安装处 10 年内系统发展可能达

到的最大短路电流(周期分量)有效值。

## 7 特殊用途的避雷器

### 7.1 并联电容器避雷器

并联补偿电容器组是一种需要频繁投切的设备。目前用于投切电容器组的国产真空断路器在操作中还存在重燃现象,并在重燃时出现过电压,经常因这种过电压发生设备损坏事故。用金属氧化物避雷器限制投切电容器组的重燃过电压效果显著。

#### 7.1.1 保护结线

通常采用图3的保护结线,可以有效地限制单相重燃即电容器相对地过电压和电容器组中性点过电压的发展,同时也能降低两相重燃的机率,将电容器和电抗器上的过电压限制在一定的范围之内。

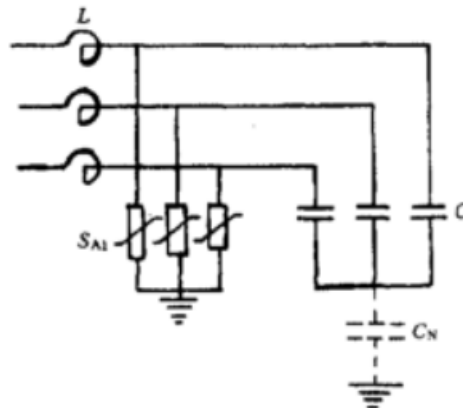


图3 I型结线方式

$L$ —串联电抗器; $C$ —并联电容器组; $S_{A1}$ —金属氧化物避雷器; $C_N$ —电容器中性点杂散电容

若需要进一步限制电容器相间过电压,可以用图3和图4两种接线方式。

图4所示的Ⅱ型结线方式是由四只避雷器组成的,三只并接在电容器组两端 $S_{A2}$ ,另一只则接在中性点 $S_{N2}$ ,这样既能限制电容器的相对地过电压,也可限制极间过电压,是一种比较理想的保护方式。但是这种接线方式中的避雷器在两相重燃过电压中要吸收很大的能量,所以避雷器应具有较大的方波通流能力。

图5所示的Ⅲ型保护结线方式也是一种既能够限制电容器的相对地过电压,但也可限制电容器,极间过电压的结线方式,但目前运行经验尚不很多。

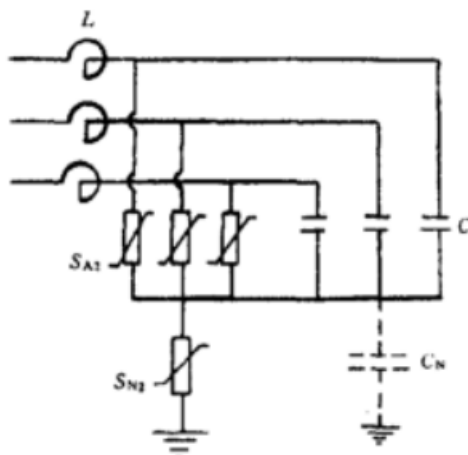


图4 II型结线方式

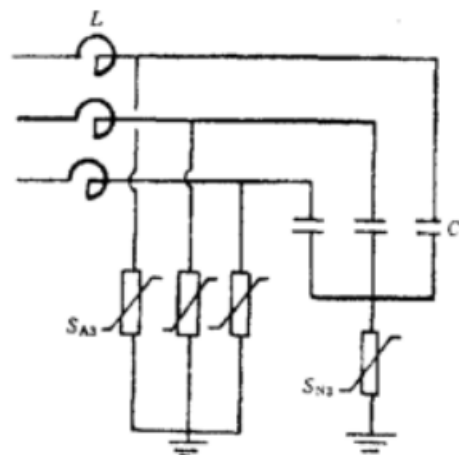


图5 III型结线方式

$L$ —串联电抗器; $C$ —并联电容器; $S_A$ —相对地或并在电容器两端的避雷器;

$S_N$ —中性点避雷器; $C_N$ —电容器中性点杂散电容

7.1.2 避雷器主要参数的选择

7.1.2.1 额定电压和直流 1 mA 电压

并联补偿电容器主要用于 3~63 kV 中性点非有效地系统,避雷器额定电压的选择可参照 6.3 条的原则。Ⅰ型结线方式中的避雷器和Ⅱ型结线方式中的避雷器  $S_{A3}$  额定电压可以按照 GB 11032 中表 6 选取。Ⅰ型结线方式中的避雷器和Ⅱ型结线方式中的避雷器  $S_{N3}$  在单相接地故障中只承受相电压,所以避雷器额定电压的选择以相电压为基础,而不能直接应用 GB 11032 中的表 6。这些避雷器的额定电压应在满足绝缘配合要求的前提下具体计算确定。

7.1.2.2 保护水平

由于母线上一般都装有防雷专用避雷器,并联电容器避雷器的雷电冲击残压可按普通阀式避雷器考虑。对于操作冲击保护水平,根据过电压保护规程及并联电容器国家标准的规定,电容器对地绝缘水平一般为 4 倍最高相电压峰值;电容器极间绝缘水平按 2.15 倍电容器额定电压峰值取。

7.1.2.3 方波通流能力

避雷器方波通流能力的要求与电容器组容量及系统额定电压有关。Ⅰ型和Ⅱ型二种结线方式中避雷器的方波通流能力可近似按表 5 选取。表 5 中的数值是通过计算得出的。对于较重要的电容器组及Ⅲ型接线方式,可进行具体的计算求得避雷器的方波通流能力。

表 5 并联补偿电容器避雷器的方波通流能力 A

避雷器结线型	电容器组容量 kvar	不同系统额定电压下的方波通流能力				
		3	6	10	35	63
Ⅰ型	2 500	300	300	400	500	600
	4 500					
	7 500					
	20 000	1 000	900	900	700	800
	40 000					
Ⅱ型	2 500	1 000	900	900	700	800
	4 500					
	7 500					
	20 000	1 000	900	900	700	800
	40 000					

注:表中系统额定电压(有效值)的单位是 kV。在某一系统额定电压下,当电容器组容量大于表 5 所列值时,应重新计算对避雷器方波通流能力的要求。

7.2 电机和变压器中性点避雷器

理论分析和实测统计均表明,通过电机和变压器中性点避雷器的雷电流幅值和陡度都较小,避雷器标称电流 1 kA 已经足够。

避雷器额定电压按单相接地时中性点的电压升高选择。

7.2.1 电机中性点避雷器

直接与架空线路连接的旋转电机,如中性点能够引出并未直接接地,应在中性点装设避雷器。避雷器的额定电压应不低于电机最高相电压。

7.2.2 变压器中性点避雷器

7.2.2.1 中性点有效接地系统中分级绝缘的变压器,当其中性点未直接接地时,应在中性点装设避雷器。避雷器的额定电压应不低于变压器最高相电压;

7.2.2.2 110 kV 变压器,其中性点的标准雷电冲击绝缘水平为 185 kV 时,避雷器额定电压取 60 kV;

7.2.2.3 500 kV 变压器中性点通常为死接地或经小阻抗接地。后者中性点的标准雷电冲击绝缘水平为 325 kV,避雷器额定电压取 100 kV;

7.2.2.4 中性点非有效接地系统中变压器的中性点,一般不需要装设保护装置。但多雷区(年平均雷暴日超过 40 的地区)单进线的变电所,可在变压器中性点装设额定电压不低于 0.8 倍系统最高电压的避雷器。

7.2.2.5 中性点接有消弧线圈的变压器,如有单进线运行可能,也应在变压器中性点与消弧线圈并联装设避雷器。避雷器的额定电压应不低于系统最高电压的 80%。

### 7.3 电机避雷器

#### 7.3.1 电动机避雷器

电动机避雷器主要用来限制频繁投切的电动机的操作过电压。GB 11032 中规定的电动机避雷器参数并未考虑电动机较长时间单相接地运行的情况。在发电厂、炼钢厂等一般使用场所,电动机避雷器具有较好的运行经验。在避雷器的使用条件比较苛刻时,如电动机接在架空线路为主的系统中,单相接地运行时间较长或次数较多,则应注意避雷器的选择或改善使用条件。

#### 7.3.2 发电机避雷器

发电机避雷器主要用来限制直接与架空线路连接的发电机的雷电过电压。由于发电机冲击绝缘强度比较弱,且冲击系数接近于 1,目前的发电机避雷器仍不能完全满足绝缘配合的要求。因此,发电机过电压的保护应按 GBJ 64 的规定,采用进线(电缆)段、电容器、避雷器等综合保护措施。

### 7.4 电气化铁道避雷器

27.5~55 kV 铁道电力牵引网与一般电力系统不同,它不是三相系统。因此避雷器的额定电压和持续运行电压的选择原则与一般避雷器不同。具体应用时参照 GB 11032 中表 8。

### 7.5 避雷器其他的特殊应用

其他特殊设计的金属氧化物避雷器,可用于下列设备的保护。避雷器的特性参数,由用户根据设备的特点与制造厂家协商确定。

- a. 特殊变压器,如干式变压器;
- b. 串联电抗器和串联电容器;
- c. 电缆系统;
- d. 发电机灭磁回路;
- e. SF<sub>6</sub> 组合电器(CIS);
- f. 并联电抗器中性点的小电抗;
- g. 其他。

## 8 避雷器与被保护设备的连接

图 6 是避雷器与被保护设备的基本接线图。高压连线  $a_1$ ,应尽可能短,因为增加  $a_1$  的行波传播时间会增大设备上的过电压。另外,沿  $a$  的行波压降必然迭加于避雷器残压上。在没有接地网时,避雷器的接地引出线  $a_2$  应与被保护设备的接地金属外壳相连,如接在电缆外皮或变压器箱壳上。这样,当有过电压加在避雷上时,接地阻抗  $Z$  上的压降就被排除在保护水平之外(图 6a)。而在有接地网的发电厂或变电所,避雷器的接地引出线应接到接地网上(图 6b)。

当过电压在避雷器上时,沿  $a_2$  的电压降将迭加于避雷器的残压上,因而  $a_2$  应尽量短和直。为了避免被保护设备的地电位过高,接地阻抗  $Z$  应尽量降低并符合过电压保护规程的要求。

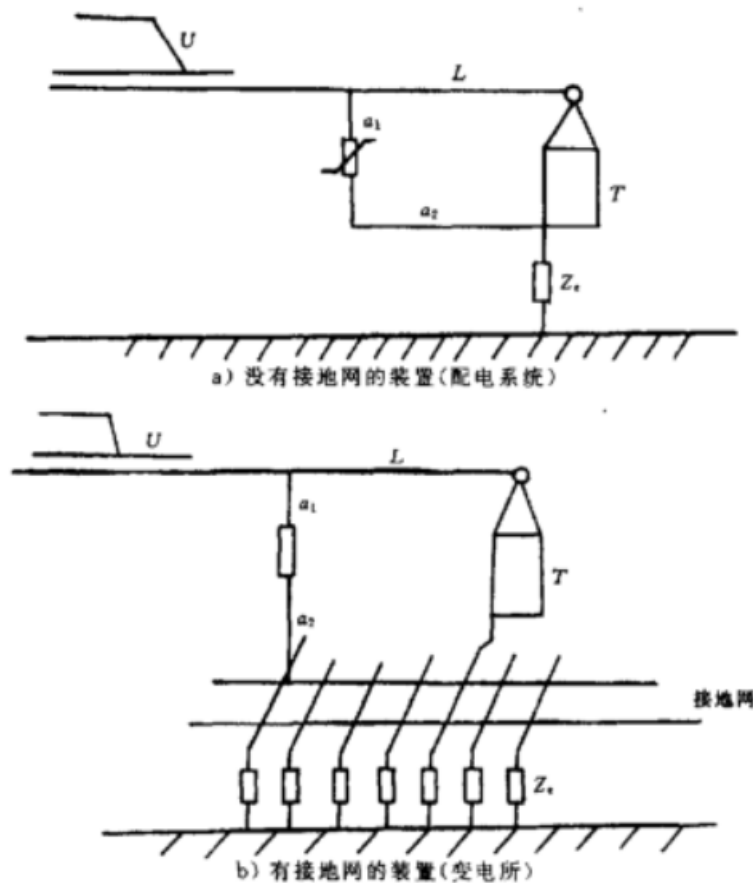


图6 避雷器与被保护设备连接示意图

$L$ —被保护设备高压端至避雷器高压导体连接点的距离; $a_1$ —避雷器高压导体的长度;

$a_2$ —避雷器接地导体的长度; $Z_g$ —接地阻抗; $T$ —被保护对象; $U$ —过电压入波

## 9 监测和维护

### 9.1 总则

为了掌握金属氧化物避雷器在系统运行电压下的工作状况,通常需对其进行现场监测。现场监测分为定期监测、非定期监测和在线监测。

避雷器的泄漏电流包括三部分:

- 电阻片的泄漏电流;
- 绝缘支架的泄漏电流;
- 瓷套的泄漏电流。

性能正常的避雷器的泄漏电流, $a$ 部分是主要的。避雷器老化或存在隐患时泄漏电流增大。电阻片的泄漏电流由电阻性分量 $I_r$ 和电容性分量 $I_c$ 组成。避雷器内部受潮时,全电流 $I_t$ 明显增大。电阻片性能劣化时, $I_r$ 反应最敏感。

目前常用的监测仪表有交流微安表和泄漏电流测试仪。后者通常可用以测量全电流、阻性电流和功率损耗等。在线监测装置则是带电连续监测的装置。

### 9.2 测量

在系统运行电压下测量避雷器的全电流和阻性电流。测量避雷器的功耗对于判断其运行状况也很重要。

测量时应记录端电压、环境温度、大气湿度以及瓷套污秽状况等运行条件。

新投运的110 kV及以上避雷器应每个月测量一次,三个月以后半年测量一次。

测量结果与投运时或出厂时以及前几次的数据进行比较。如发现异常可同邻相的测量数据进行比较。必要时可停电进行直流 1 mA 电压等有关项目的测量。

影响现场测量结果的因素较多,诸如计数器内阻、测量仪器性能等的影响。对系统额定电压 220 kV 及以上避雷器还应考虑邻近效应,邻相电场的影响。

有条件时,可开展在线监测工作。

### 9.3 放电计数器

系统额定电压 35 kV 及以上的避雷器宜配备放电计数器。安装放电计数器应注意读数时的方便。不要因为装设计数器过分地加长避雷器的接地线。

计数器的上限电流值用以表征计数器在避雷器标称放电电流下能可靠动作;下限电流值是规定计数器必须达到的灵敏度。计数器只能记录放电次数。

计数器的残压是附加在避雷器残压上的一个增量。计数器的冲击电流耐受能力应不低于相应避雷器的冲击电流耐受能力。

在电机避雷器和系统额定电压 10 kV 及以下避雷器的安装计数器时,应注意其残压的影响,需要降低计数器和残压时,应由供需双方协商解决。

### 9.4 清扫

为了防止避雷器由于瓷套表面污秽引起内部过热,在严重污秽地区应加强定期清扫。

## 10 低压系统避雷器的使用

### 10.1 装设避雷器的场所

在 1 000 V 以下低压系统中,为限制雷电过电压主要有以下处所需要装设避雷器:

- a. 多雷区的 3~10 kV/0.4 kV, Y/Y<sub>0</sub> 和 Y/Y 接线配电变压器的低压侧以及 Y/Y 接线配电变压器低压侧的中性点。
- b. 35/0.4 kV 配电变压器的低压侧以及低压侧不接地的中性点。
- c. 多雷区或易受雷击地段直接与架空线连接的电度表外侧。
- d. 配电变压器低压侧的相线与零线之间。
- e. 进入微波通信站机房的电力线和通信线。

### 10.2 接地

避雷器的接地线应尽可能的短,接地电阻应符合有关标准的规定。

配电变压器高低压侧避雷器的接地端,低压侧中性点(中性点不接地时则为中性点避雷器的接地端)以及变压器铁壳应连接在一起后再经引下线接地,以防止雷电流通过接地体时,地电位升高而引起铁壳对低压侧的逆闪络。



附录 A  
确定接地故障因数的方法  
(参考件)

**A1** 接地故障因数是在系统发生接地故障(在任意点单相或多相)时,在某一特定点健全相的最高工频相电压有效值与无故障时的最高工频相电压有效值之比。

接地故障因数可通过正序、负序、零序复阻抗  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_0$  计算,同时考虑故障电阻  $R_0$ ,阻抗的表示式为:

$$Z_1 = Z_2 = R_1 + jX_1; \text{正、负序电阻和感抗}$$

$$Z_0 = R_0 + jX_0; \text{零序电阻和感抗}$$

注: 应该注意,在伸展的消弧线圈接地网络中,在其他点的接地故障因数可以比故障点大。

图 A1 给出了当  $R_1 \ll X_1$  且  $R=0$  时的全部情况。

对  $X_0/X_1$  值(正或负)很高的区域,适于谐振接地或中性点不接地系统。

$X_0/X_1$  正值小的区域,适用于中性点接地系统。 $X_0/X_1$  负值小的区域(如阴影部),由于谐振条件,不适用于实际应用。

对中性点有效接地系统,图 A2 以一族对应于  $R_1=0$  的曲线给出了接地故障系数。

曲线被分成几个区,用下面表示方法代表最严峻的条件:

- a. 在单相接地时,出现在(相位)超前于故障相的健全相上的最高电压;
- b. 在单相接地时,出现在(相位)滞后于故障相的健全相上的最高电压;
- c. 两相接地时,出现在健全相上的最高电压。

上述曲线适用于那些能够给出最大接地故障因数的故障电阻值。

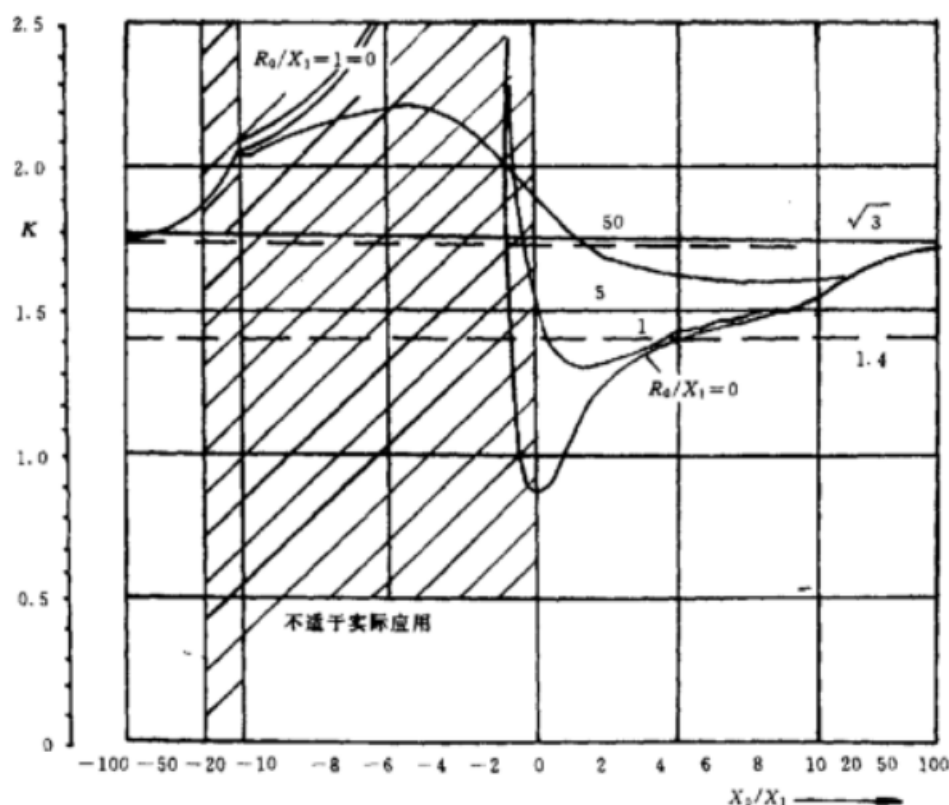


图 A1 接地故障因数  $K$  与  $X_0/X_1$  的关系 ( $R_1/X_1 = R_0 = 0$ )

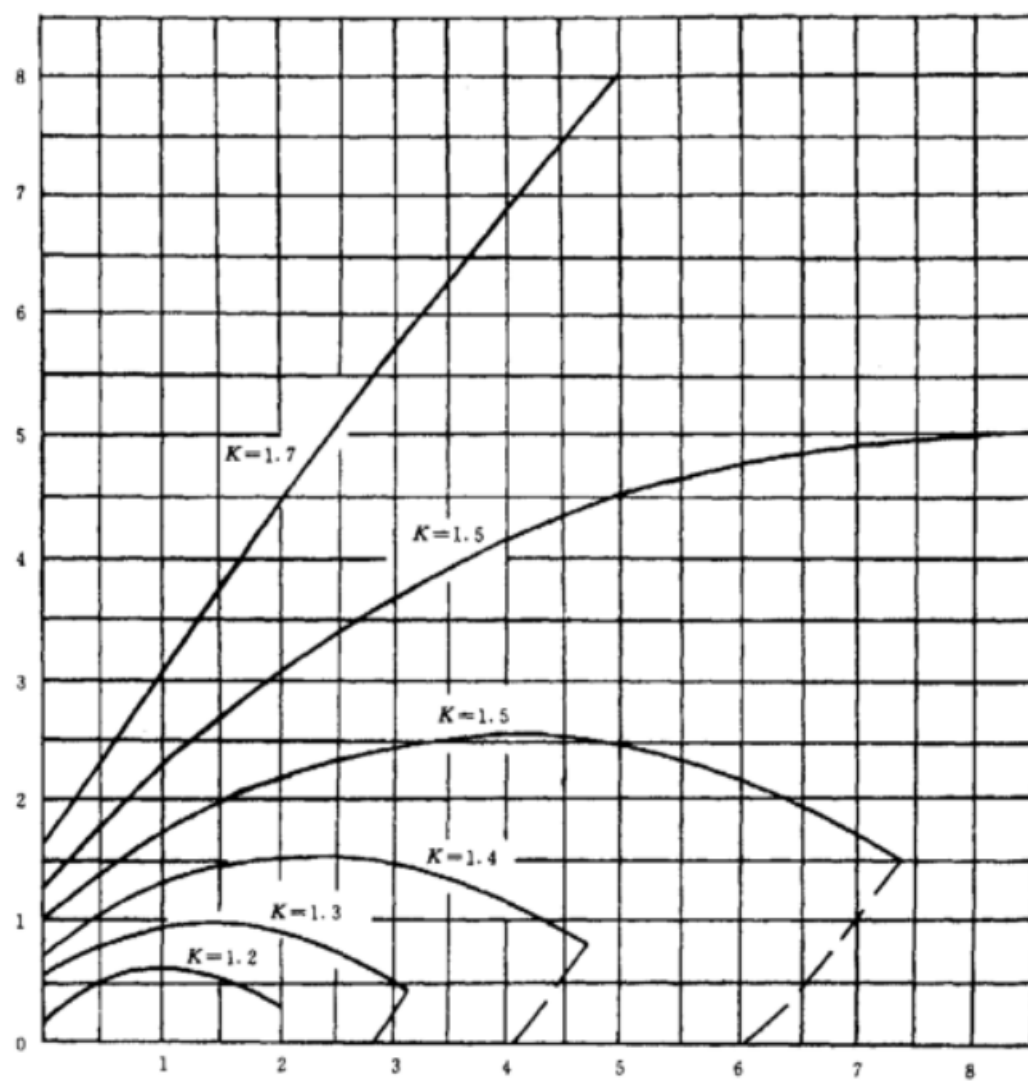


图 A2 接地故障因数  $K$  与  $R_0/X_1$  及  $X_0/X_1$  的关系曲线 ( $R_1=0$ )

## 附录 B

### 保护范围

(参考件)

#### B1 总则

避雷器的保护范围是指在被保护设备上的过电压不超过允许值时,避雷器与被保护设备间连线的允许长度。保护范围受下列因素的影响:

- a. 进入变电所的过电压波形;
- b. 避雷器的保护水平;
- c. 对应于所承受的过电压波形,被保护设备的绝缘强度。

#### B2 用统计法确定保护范围

用统计法确定避雷器保护范围的程序比较复杂,只在特殊情况下才采用,如保护水平与耐受电压之间的裕度偏小或被保护设施的可靠性要求较高等。

#### B3 用简化法确定保护范围

由于设备与避雷器之间连接线的行波效应,在陡波过电压下被保护设备与避雷器上的电压是不同的。设备上的过电压峰值与避雷器上的过电压峰值(保护水平)之比,称作距离系数:

$$D_F = \frac{U_{OV}}{U_P} \quad \dots\dots\dots (B1)$$

式中:  $D_F$ ——距离系数;

$U_{OV}$ ——设备上的过电压峰值;

$U_P$ ——避雷器的雷电过电压保护水平。

距离系数随着被保护设备与避雷器之间的连接线长度呈线性增长。

$$D_F = 1 + \frac{K}{U_P} L_e \quad \dots\dots\dots (B2)$$

式中:  $K$ ——常数;

$L_e$ ——避雷器与被保护设备之间的连接线有效长度。

注:在推导(B2)式时,假设设备上的过电压在避雷器保护水平以上时随距离线性增加。

$$U_{OV} = U_P + K L_e$$

常数  $K$  决定于许多因素,特别是入侵的过电压波形(主要是幅值和波前陡度)和连接于母线数目以及行波速度。

连接线的有效长度可按(B3)式计算:

$$L_e = L + a_1 + a_2 \quad \dots\dots\dots (B3)$$

式中各段长度的意义见图 6。

如果设备上的过电压峰值不超过除以安全系数后的额定雷电冲击耐受电压,则设备得到了合适的保护:

$$U_{OV} \leq \frac{U_{rw}}{S_F} \quad \dots\dots\dots (B4)$$

式中:  $U_{rw}$ ——设备的雷电冲击耐受电压;

$S_F$ ——安全系数。

按照配合系数(保护比)的定义推得:

$$K_s = \frac{U_{rw}}{U_p} = D_F \cdot S_F \quad \dots\dots\dots (B5)$$

从(B1)~(B4)式推导出最大连接线有效长度称作避雷器的保护范围:

$$L_p = L_{max} = \frac{1}{K} \left( \frac{U_{rw}}{S_F} - U_p \right) = \frac{U_p}{K} \left( \frac{K_s}{S_F} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (B6)$$

式中:  $L_p$ ——保护范围

影响常数  $K$  的因素很多,难于给出对于  $K$  普通适用的关系,但可以给出它随以下因素增大的趋势:

- a. 地区的雷电活动,即落雷密度的增加;
- b. 进线的杆塔高度和避雷器保护角的增加;
- c. 进线导线直径的增大,即电晕畸变效应的减小;
- d. 进线绝缘强度的增加;
- e. 进线杆塔接地阻抗的增大;
- f. 连接于母线的线路数目的减少。

避雷器的保护范围,通常可按过电压保护设计规范确定,特殊情况需进行具体计算。

#### B4 与有间隙阀式避雷器混合使用的保护范围

在扩建工程中,如需与有间隙的磁吹或普通阀式避雷器在一个变电所中混合使用,一般应通过计算确定保护范围及绝缘配合。在简单估算中,可以考虑原有的有间隙阀式避雷器保护范围不变,新设计安装的金属氧化物避雷器,单独考虑其保护范围。对整个变电所的设备,都应至少在一种避雷器的保护范围之内。通过金属氧化物避雷器的冲击电流,按该避雷器单独承担考虑,除了经计算证明,不宜考虑有间隙阀式避雷器的分流作用。

附加说明:

本标准由全国避雷器标准化技术委员会提出并归口。

本标准由电力科学研究所和武汉高压研究所负责起草。

本标准主要起草人李启盛、王维洲、王健生、张大琨、颜文。

# www.bzxz.net

免费标准下载网