

水利电力部技术改进局编

过电压保护装置 安装及运行须知

中国工业出版社

本书扼要说明过电压保护装置的原理、性能、结构、选择、维护、检修，并详述其安装方法。全书共分四章，分别阐述阀型避雷器、管型避雷器、保护间隙和接地装置。附录中着重介绍了阀型避雷器的结构、试验、检修以及国外生产的若干阀型避雷器的电气特性。

本书可供从事过电压保护工作的技术人员和工人参考。

水利电力部技术改进局编
过电压保护装置安装及运行须知

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜外月坛南街10号）

中国工业出版社出版（北京修德门内大街10号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本787×1092 $\frac{1}{2}$ ·印张3 $\frac{1}{2}$ ·字数83,000

1962年11月北京第一版·1962年11月北京第一次印刷

印数0001—3,250·定价（10-7）0.54元

统一书号：15165·1241（水电-210）

序 言

正确地使用过电压保护装置，是防雷保护工作中的一个重要关键。各电压等级的避雷器和各种保护措施的接地装置，在系统中广泛地应用着，但直到目前为止，在使用、检查、检修中还存在着一一些问题。为了加强电力系统的安全运行，我们从生产中的实际问题出发，根据目前国内制造业生产的产品和系统中使用的情况，以及运行中碰到的一些情形，编写本书，供各单位参考。书中包括阀型避雷器、管型避雷器、保护间隙、接地装置四个部分，阐述有关结构、安装、检查、检修中的主要问题。

由于我们收集的資料不够，实际經驗和技术水平有限，錯誤与不妥之处在所难免，希望有关单位在使用中把发现的问题随时函告我们，以便重版时修正和补充。

本书第一、二、三章及附录由我局高压試驗室李启盛同志编写，第四章由徐士珩同志编写；全书經徐士珩和許穎同志审校修改。

水利电力部技术改进局

1962年6月

目 录

第一章 閘型避雷器	1
第一节 基本原理	1
第二节 閘型避雷器的选择与使用	5
第三节 閘型避雷器的运输及安装	16
第四节 閘型避雷器在运行中的监督及预防性试验	17
第二章 管型避雷器	20
第一节 管型避雷器的原理及结构	20
第二节 管型避雷器的选择与使用	28
第三节 管型避雷器的运输和安装	32
第四节 管型避雷器运行中的监视、检查和检修	36
第三章 保护间隙	39
第四章 接地装置	43
第一节 有关规程对接地装置测试的要求	43
第二节 一般原理及正确的测量条件	44
第三节 测量方法及专用测量仪表	51
附 录	63
一、閘型避雷器的结构	63
二、閘型避雷器的预防性试验方法	72
三、閘型避雷器的检修	77
四、外国各厂一些閘型避雷器的电气特性	81
五、管型避雷器的涂漆	112
六、几种常用接地电阻测试仪的内部结构	113

第一章 閘型避雷器

第一节 基本原理

閘型避雷器是由火花間隙与非綫性电阻盘串联构成的(其結構及特性見附录一、四)。火花間隙的任务是在正常情况下使避雷器的工作电阻盘与电力系统隔离,而在过电压来到时,則发生击穿,使雷电流泄入大地,以降低过电压幅值。在过电压过去以后,必須在半个周波內(0.01秒)将工頻續流截断,恢复正常状态。工頻續流是在电流通过零点后,依靠一连串火花間隙中絕緣的恢复而被切断的。由于火花間隙只依靠本身的絕緣恢复,沒有外加的灭弧装置,所以目前各国生产的閘型避雷器,其熄灭續流的能力,一般不超过80安峰值。而且,每个間隙所承受的灭弧电压不能太大,一般均在1.5千伏以下。每个間隙的距离很小,电极是平板形的,中間的电場是均匀电場;在电极与云母垫接触部分,电場强度特別集中,产生局部光游离而照射火花間隙的工作部分,所以間隙的伏秒特性曲綫較平。单个間隙的冲击系数 $\frac{(\text{冲击放电电压(峰值)})}{(\text{工頻放电电压(峰值)})}$ 在1.1左右。这就保证了在一定的工頻放电电压下,其冲击放电电压較低,在較低的雷电过电压下避雷器动作而起保护作用。

閘性电阻盘的任务是:在雷电流通过时,其电阻很小,所产生的电压降(一般称为殘压)不超过被保护设备的絕緣水平,同时不产生較陡的截波。当雷电流通过后,其电阻变大,将工頻續流限制在80安峰值以下,以保证間隙能可靠地灭弧。因此,其伏安特性应与綫性电阻不同,这可用图1-1来

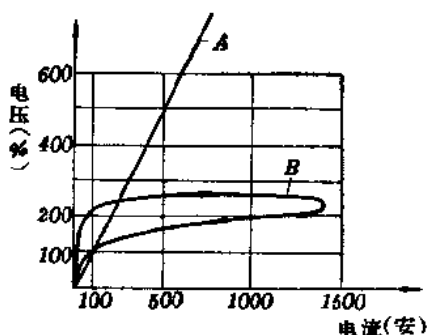


图 1-1 线性电阻与非线性电阻的电流-电压关系曲线

表明。图中 A 是线性电阻的电流-电压关系曲线，B 是电阻盘的非线性电流-电压关系曲线，其特点是小电流下电阻很大，即 100 安时电压达到 200%，但大电流下电阻却很小，在 1000 安下电压仍只有 250% 左右。电阻盘的伏安特

性大致可用下式表示：

$$u = CI^\alpha$$

式中 u ——电阻盘上的残压(电压降)；

I ——通过电阻盘的电流；

C ——材料的常数；

α ——材料的非线性系数，一般在 0.2~0.22 左右。

电阻盘是由金刚砂烧制成的。它产生的非线性物理过程可大致描述如下：整个电阻盘是由无数小颗粒的金刚砂粘结在一起构成的(其示意图如图 1-2)，在每粒金刚砂的表面上都有一层封闭层。封闭层的电导随外加的电压而改变，电压增大时，其电导增大得很快。另外，在颗粒间有许多很小的火花间隙，这些火花间隙在较高的电压下也形成通道，这也大大增加了电阻盘的电导。在每一次通过电流后，金刚砂封闭层的接触点都遗留了一定的损伤，因此电阻盘的通过能力是有一定次数的。平常任意进行冲击电流下的残压试验或避雷器的续流遮断试验，都会使电阻盘的寿命缩短，尤以续流遮断试验对间隙及电阻盘的损伤更为严重。

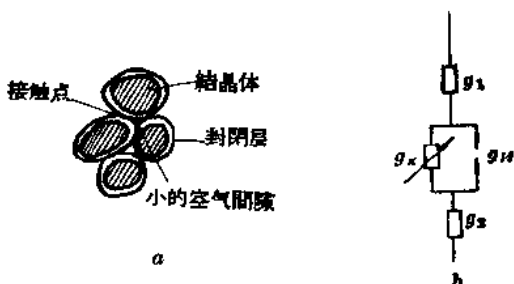


图 1-2 金刚砂电阻盘的示意图

(a)物理结构示意图; (b)等效电气连接示意图

g_1 、 g_2 —每粒金刚砂结晶体的电导; g_k —金刚砂颗粒间封闭层的电导; g_H —金刚砂颗粒间小的空气间隙的电导。

在较高电压等级的避雷器中(一般额定电压在 10 千伏以上),为了使电压沿各个间隙组上分布均匀,在其上并联了均压电阻(通常称为并联电阻)。并联电阻的作用如下:每一个火花间隙相当于一个电容,而每个火花间隙又有对地电容,组成了电容链,如图 1-3 所示;由于下面各个火花间隙对地电容的电容电流均须流过第一个火花间隙,因此分配在第一个火花间隙的电压最高,这种情况与线路绝缘子串的情况相似,间隙的数目愈多,这种不均匀的情况就愈严重,往往使间隙不能灭弧。为了使间隙上的电压分布均匀,就在一定数目的间隙旁边并联了电阻,这就构成了图 1-4 的原理接线图。在工频电压下,由于频率较低,电容电流较小,故电压分布主要决定于并联电阻,所以每组间隙组上的电压分布是均匀的。但假如并联电阻发生损坏或本身数值不一致时,就将产生相反的效果。如图 1-4 中假如是 R_5 断开或烧坏时,电阻变得很大,则加在避雷器上的电压绝大部分集中在第 5 个间隙上,使这个间隙组首先击穿;由于一组间隙首先

被击穿，間隙数目减少了，其他間隙也相继击穿，就会使工頻放电电压大大降低，引起避雷器的爆炸事故。因此，必須注意監視并联电阻的情况。

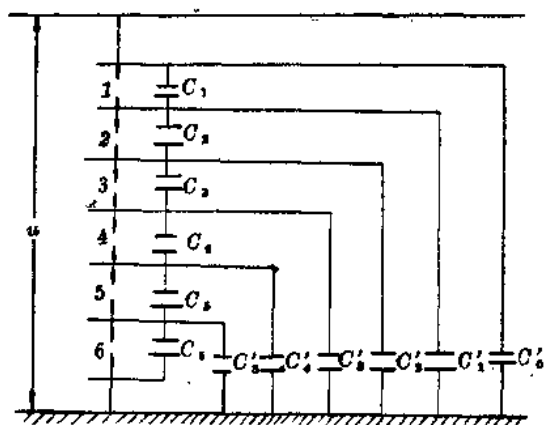


图 1-3 串联火花間隙所組成的电容分布

C —每个火花間隙間的电容； C' —每个火花間隙的对地电容。

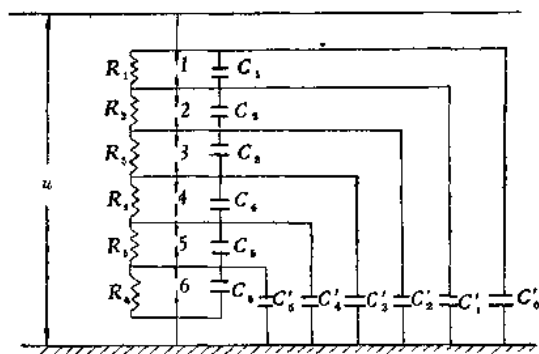


图 1-4 帶有并联电阻的火花間隙原理图

C —每个火花間隙間的电容； C' —每个火花間隙的对地电容；
 R —并联电阻。

第二节 閘型避雷器的選擇與使用

要正確使用避雷器，必須先明了它的主要特性數據的意義，和相互之間的关系。閘型避雷器的主要特性數據有下面幾個：

(1) 額定電壓：這一數據標誌避雷器的電壓等級，蘇聯及我國生產的閘型避雷器均標出這一數據。但使用中必須注意同一個額定電壓等級的避雷器也會不同，如額定電壓為110千伏與154千伏的避雷器就有中性點直接接地與非直接接地系統使用的避雷器兩種。因此，還須要校驗最大容許電壓值是否合乎要求。所以有些外國的避雷器就往往只標出最大容許電壓而沒有額定電壓值。

(2) 最大容許電壓(滅弧電壓)：這一數據表示避雷器在不超過這一電壓的作用下，能可靠地遮斷續流。當避雷器安裝點上的電壓超過這一數值時，由於閘性電阻盤的非線性特性，縱使電壓超過的數值不大，但工頻續流的增加卻很大，使閘隙及電阻盤不能承受而引起爆炸。

(3) 工頻放電電壓：避雷器的工頻放電電壓受三個因素影響：1) 工頻放電電壓不能太低，避免避雷器在持續時間較長的操作過電壓下動作爆炸。一般在中性點非直接接地系統中，其工頻放電電壓應在系統最大的運行相電壓3.5倍以上，在高压的中性點直接接地系統中，應在3.0倍相電壓以上。2) 為了保證閘隙能可靠地滅弧，避雷器的工頻放電電壓應不小于其最大容許電壓(滅弧電壓)的180%。3) 由於避雷器都有一定的沖擊系數，故工頻放電電壓不能太高，否則沖擊放電電壓將超過規定數值。

(4) 沖擊放電電壓：避雷器沖擊放電電壓值是在發生大

气过电压时避雷器动作的数值，它是决定避雷器保护水平的主要特性之一。

(5) 残压：这是避雷器在动作后通过一定雷电流时的电压降数值。目前一般避雷器的残压是指通过幅值为 3 千安或 5 千安雷电流时的残压值。它也是决定避雷器保护水平的主要特性之一。一般衡量一个避雷器保护性能的好坏，主要根据残压与灭弧电压的比值，这一数值称为保护比。保护性能越好的避雷器，其保护比越低。

选用避雷器时，应按下列步骤进行。

1. 确定避雷器的额定电压等级：我国及苏联生产的 PBC 型，都标出额定电压数值，这个数值与我国现行的运行电压相同。因此，在标准情况下就可以直接使用。其他一些国家生产的避雷器，虽然有的标出额定电压数值，但因他们的电力系统最大运行电压与我国不一致，故还须根据具体情况校核避雷器的最大容许电压（灭弧电压）是否适合要求。在避雷器只标出最大容许电压的情况下，则只须校核其最大容许电压数值。

2. 校核避雷器的最大容许电压：必须按照使用情况，核对避雷器安装地点可能出现的最大的导线对地电压，是否等于或小于避雷器的最大容许电压。安装地点可能出现的最大对地电压，与系统中性点接地方式及系统参数有关。中性点接地方式，可分为中性点对地绝缘、中性点经消弧线圈或高阻抗接地及中性点直接接地三种。在正常情况下，导线对地电压是相电压（最大运行线电压/ $\sqrt{3}$ ），但在一相接地时，中性点将发生位移，其位移数值与该系统的零序电抗（ X_0 ）及零序电阻（ R_0 ）有关，用 $\frac{X_0}{X_1}$ 与 $\frac{R_0}{X_1}$ 的比值来表示（ X_1 为系统

的正序电抗)。按中性点接地方式，无故障相的导线的电压升高，可分述如下：

(1) 中性点不接地系统：在这种系统中， X_0 是容性的， X_1 是感性的， $\frac{X_0}{X_1}$ 为负值；其非故障的两相电压的升高最少至线电压值。在极端情况下(所连线路很短)，电压可以升得很高。由计算得到的电压升高数值与系统阻抗的关系如图 1-5 所示。

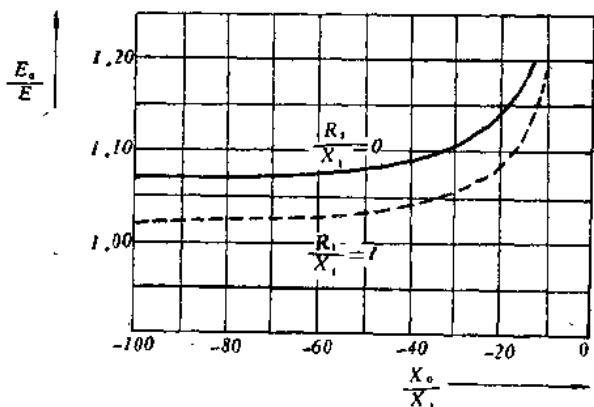


图 1-5 中性点绝缘系统避雷器上电压与系统参数的关系

X_0 —系统的零序电抗； X_1 —系统的正序电抗； R_1 —系统的正序电阻；
 E_0 —避雷器上可能出现最大电压； E —系统的线电压。

从图 1-5 可见， $\frac{X_0}{X_1}$ 在 -10 至 -30 的范围内，其数值超过 1.1 倍线电压，但这种情况是很少出现的。在一般情况下， $\frac{X_0}{X_1}$ 均在 -40 至 $-\infty$ 的范围内，同时，中性点绝缘的系统大多为低压系统，其导线电阻不可忽略，所以可以近似取

$\frac{R_1}{X_1} = 1$ 的电压升高曲线。在这个范围内， E_a/E 不大于 1.05，苏联及我国生产的 PBC 型避雷器在 3、6、10 千伏等级中的灭弧电压均为系统最大线电压的 1.1 倍。其他国家生产的避雷器有些取 1.05 倍，在个别情况下，也有选取等于系统最大线电压的。

(2) 中性点经消弧线圈或高阻抗接地系统：在这种系统中，中性点电压位移随补偿度或接地阻抗的大小而异，一般选取避雷器的最大容许电压(灭弧电压)等于最大线电压的 100%。

(3) 中性点直接接地系统：这种系统中，在中性点是理想接地的情况下，发生单相接地时，其他两相应仍保持相电压的数值。但在实际情况中，中性点有一定的接地电阻，零序电流在其中将有电压降；另外，零序电流在接地相流通时，对其他两相也有电磁耦合，这些电压都加在其他两相上面。这两相电压的升高，与 $\frac{X_0}{X_1}$ 及 $\frac{R_0}{X_1}$ 有直接关系。图 1-6 中画出了不同 X_0 及 R_0 的情况下，无故障相对地电压与线电压的比值。

图 1-6 中表示，只要避雷器安装地点的 $\frac{X_0}{X_1}$ 与 $\frac{R_0}{X_1}$ 值在某一曲线的范围以内，无故障相对地电压与线电压的比值将不大于曲线上所示的数值。例如：在 $\frac{X_0}{X_1} = 3.5$ 及 $\frac{R_0}{X_1} = 1$ 的情况下，其比值将不大于 0.8。苏联及我国生产的 PBC 型避雷器，在中性点直接接地系统中，其灭弧电压等于系统最大线电压的 80%。在保护弱绝缘及特殊情况下，可按安装点的参数进行计算，组装合适的避雷器。在使用其他一些国

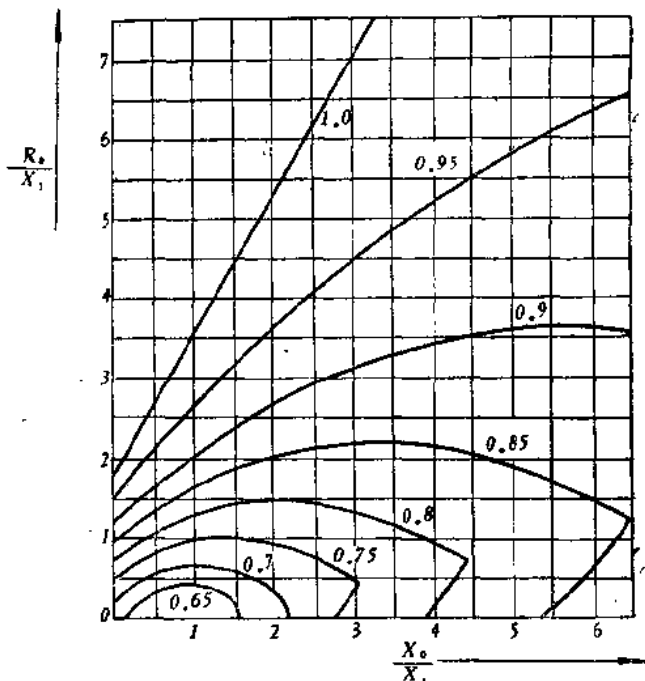


图 1-6 中性点接地系统中单相接地时无故障相对地电压与线电压的比值

R_0 —中性点的接地电阻； X_0 —系统的零序电抗； X_1 —系统的正序电抗。

家生产的避雷器时，由于他们系统的额定电压及最大工作电压与我国不同，必须根据具体情况计算安装点可能出现的最小导线对地电压，然后与避雷器的最大容许电压进行核对。

3. 校核工频放电电压值：一般在避雷器产品说明书中，只标明其工频放电电压不小于某一数值。在选用时只须保证其工频放电电压不会太低，以免在操作过电压下误动作而引起事故。在中性点绝缘或经阻抗接地系统中，工频放电

电压一般应大于最大运行相电压的 3.5 倍。在中性点直接接地系统中，应大于最大运行相电压的 3.0 倍。在組装避雷器时，則須同时校核其工頻放电电压是否在灭弧电压的 180% 以上。在以多个元件进行組装时，由于每个元件内部具有并联电阻，只要保証各元件中并联电阻一致，則电压沿各个元件的間隙上的分布基本上是均匀的。因此，其放电电压可以认为是各个元件工頻放电电压的算术和，而不需要重新进行試驗。

4. 校核各元件并联电阻的非綫性系数：在組装多个带有并联电阻元件的避雷器时，必須注意各元件内部的并联电阻是否一致。当該組避雷器是由制造厂成套供应时，一般在制造厂內已进行校核。不同国家或工厂生产的避雷器元件，由于使用的并联电阻不同，一般不能进行組合。在同一制造厂供应的产品中，如果不是按照組合好的各元件成套供应，在組合使用时，都必須校核各元件中并联电阻的一致性。由于并联电阻是非綫性的，只有一个电阻值时，是不能决定整个并联电阻的性能的。图 1-7 中画出了两个串联的避雷器元件的并联电阻的电流-电压关系曲线。在电流 I_1 下两者是一致的

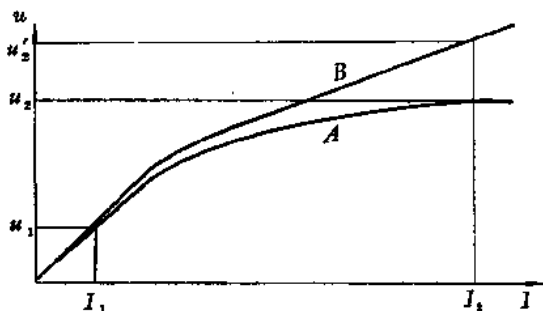


图 1-7 并联电阻的非綫性系数示意图

的，所以在其上的电压分布是均匀的，都等于 u_1 ；但在电流 I_2 下两者的电阻就不等，它们的电压分别等于 u_2 及 u'_2 ，使电压按元件的分布就变得不均匀。因此在非线性电阻中，除了一个数值（预防性试验中所规定的电压下电导电流值）符合要求外，还要使它的非线性系数相同，才能保证两电阻相同。事实上要求两者的非线性系数完全相同是困难的，故规定其容许相差数值不大于 0.035。校核的方法，将在避雷器的试验一节中叙述。

5. 校核避雷器的冲击放电电压及残压：我国及苏联生产的 PBC 型避雷器的这两个保护性能，对于我国各额定电压等级的正常电器绝缘，是完全可以配合的。以目前其他国家的一些避雷器来说，在符合最大容许电压情况下，一般保护性能也可以满足正常绝缘配合的要求。只有在须保护弱绝缘或其他特殊情况下，才需要校核。目前一般阀型避雷器的冲击放电电压均低于其残压值（5000 安下），即使冲击放电电压较高，由于作用时间很短，相当于截波作用的情况，而一般电器绝缘的截波试验电压要比全波试验电压高得多，所以在配合上不会有很大的问题。因此绝缘配合主要从残压来衡量，只要被保护电器绝缘的基本冲击水平（约为电器的冲击试验电压的 90%）大于避雷器残压 10~15%，而避雷器与电器的距离又符合“过电压保护规程”规定的数值，则可以认为避雷器的保护特性是可与电器绝缘相配合的。

6. 避雷器使用地点的海拔高度：目前一般阀型避雷器的使用海拔高度，规定在 1000 米以下。因为随海拔高度的升高，大气压力几乎以直线关系下降（如图 1-8 所示），而阀型避雷器所应保证的密封，只有在避雷器内腔气压与外部气压相差不大时才能得到，在气压相差极大时，密封是不能保

証的。在制造厂出厂时，只要求內腔压力在 360 毫米水銀柱下，保持 20 分钟。曾經进行試驗，經過 40 小时，即可上升 270 毫米水銀柱，因此在高原地区运行的避雷器，其內腔气压将很快与外部大气压力一致。避雷器的工頻放电电压与內部、外部絕緣强度的标准，均按海拔 1000 米以下的气压情况規定的。在海拔高度增加时，其工頻放电电压将会降低。一

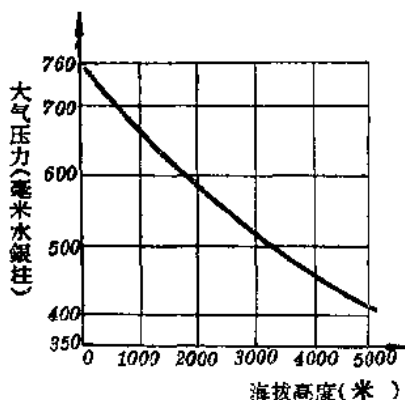


图 1-8 大气压力与海拔高度的关系

些試驗数据說明其工頻放电电压的降低与空气密度 δ 的降低成正比关系，空气密度与海拔高度的关系如图 1-8 所示。因此，在海拔高度大于 1000 米情况下，必須校核其工頻放电电压，以免因工頻放电电压下降导致閘型避雷器在操作过电压下誤动作而爆炸。

在系統中，常因避雷器不足而采取下列交通的保护方式：

1. 在升压系統中，采用原有避雷器串联角間隙。这样只能提高其放电电压，适应升压以后的电压，使不致产生不正确的动作，但因电阻盘沒有增加，所以一旦在額定电压下动作时，其續流将很大。根据試驗，6 千伏閘型避雷器串联間隙使用在 10 千伏系統中时，在 10 千伏下动作的續流达到 200 ~ 300 安，而如前所述，間隙及电阻盘的容許續流只是 80 安峰值。同时，这里間隙的恢复电压由 6 千伏增至 10 千伏，因

而将不能灭弧而发生爆炸。

2.在升压系统中，将原有避雷器内部的弹簧改短，加进部分灭弧间隙。这种情况所产生的后果与前者相同，因此不能使用。

3.在升压系统中，采用原有避雷器，并在其下面串联一个共同的避雷器，其原理如图1-9所示。

这种组合方式的缺点是：底下的一个避雷器所受的负担最重，上面的三个避雷器动作时，其雷电流及续流均通过下面的避雷器。但当下面的避雷器损坏时，上面任何一个避雷器动作也会引起损坏。

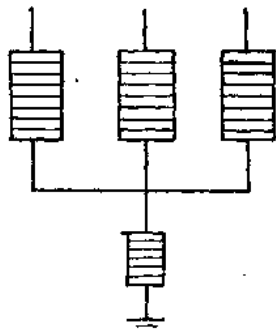


图 1-9 三相共同串联一个避雷器

4.采用两相避雷器，一相间隙串联避雷器（该避雷器通常为电压等级降低一级的避雷器），其

接线如图1-10所示。在这种接线下，串联间隙的避雷器在动作时与第1种情况相同，往往使串联的避雷器发生爆炸，在冲击放电电压上亦不会比单纯使用间隙低。因此，在间隙下串联一个避雷器反而产生不良的后果。

5.采用两相避雷器，一相角间隙保护，其接线如图1-11所示。在中性点非直接接地系统中，当避雷器不足时，采用这种保护方式是可行的。因为在这种情况下，当单纯角间隙动作时，不会引起跳闸，同时在非直接接地系统中，单相短路电流很小，角间隙本身也具备一定的消弧能力，故经过一段时间后，电弧可自行熄灭。在另一相接地，面角间隙又同时动作时，会引起两相短路，使系统跳闸。当配合自动重合