

## 前 言

本导则是根据原电力工业部 1996 年度电力标准制修订项目计划制定的。

本导则指导选择和使用交流金属氧化物避雷器。

金属氧化物避雷器自 20 世纪 80 年代起在我国研制，经过十多年的生产使用，发现了一些问题，也积累了一些经验。本导则在总结经验的基础上，对选择和使用金属氧化物避雷器中易混淆的性能参数进行了详细的解释，并给出了部分推荐数值。

本导则由电力行业避雷器标准化技术委员会提出并负责起草。

本导则由电力行业避雷器标准化技术委员会负责解释。

主要起草人：李启盛、张学鹏、张翠霞、张宝全、樊力、么虹。

# 中华人民共和国电力行业标准

## 交流电力系统金属氧化物避雷器 使用导则

DL/T 804—2002

Application guide of metal oxide surge arresters for a.c. power system

### 1 范围

本标准是选择和使用交流电力系统金属氧化物避雷器（以下简称避雷器）的指导性文件。

本标准适用于系统标称电压为 3kV~500kV 无间隙避雷器以及系统标称电压为 3kV~35kV 有间隙避雷器，但不包括线路用避雷器。

### 2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准引用而构成本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB311.1—1997 高压输变电设备的绝缘配合
- GB2900.19—1982 电工名词术语 高电压试验技术和绝缘配合
- GB4585.2—1991 高压绝缘子人工污秽试验方法 固体层法
- GB7327—1987 交流系统用碳化硅阀式避雷器
- GB11032—2000 交流无间隙金属氧化物避雷器
- GB2900.12—1989 电工名词术语 避雷器
- GB50150—1991 电气装置安装工程电气设备交接试验标准
- GB/T16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分：一般试验方法
- GB/T5582—1993 高压电力设备外绝缘污秽等级
- DL/T 596—1996 电力设备预防性试验规程
- DL/T 613—1997 进口交流无间隙金属氧化物避雷器技术规范
- DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合
- JB/T 8952—1999 35kV 及以下交流系统用复合外套无间隙金属氧化物避雷器
- ZBK49005—1990 交流有串联间隙金属氧化物避雷器
- IEC 99—4 (1991) 交流无间隙金属氧化物避雷器

### 3 术语、符号、代号

名词术语、符号、代号与所引用的标准一致。

### 4 使用环境条件

#### 4.1 正常使用环境条件

- a) 环境温度不高于 +40℃，不低于 -40℃，日温差不超过 25℃；
- b) 在太阳光的辐射下，避雷器外套表面的温度一般不超过 60℃；
- c) 海拔高度不超过 1000m；
- d) 地震烈度为 7 度及以下地区；

- e) 最大风速不超过 35m/s;
- f) 覆冰厚度不大于 2cm;
- g) IV 级及以下污秽等级。

#### 4.2 异常使用环境条件

在下列异常条件下工作的避雷器，使用单位在订货时应预先说明，由厂家按合同要求提供。

- a) 环境温度超过 +40℃，或低于 -40℃；
- b) 海拔高度超过 1000m；
- c) 可能使绝缘表面或安装金具产生腐蚀的烟气或蒸汽；
- d) 因烟气、灰尘、盐雾、严重水雾或其他导电物质引起的严重污染；
- e) 粉尘、煤气或烟气的爆炸性混合物；
- f) 异常机械条件（烈度 7 度以上地震、振动，最大风速超过 35m/s，覆冰厚度超过 2cm 等）；
- g) 热源靠近避雷器；
- h) 用于油中。

### 5 电力系统条件

#### 5.1 系统标称电压 ( $U_n$ ) 和系统最高工作电压 ( $U_m$ )

系统标称电压和系统最高工作电压见表 1。

表 1 系统标称电压和系统最高工作电压 kV (有效值)

$U_n$	3	6	10	20	35	66	110	220	330	500
$U_m$	3.6	7.2	12	24	40.5	72.5	126	252	363	550

#### 5.2 系统额定频率

系统额定频率为 50Hz。

#### 5.3 系统接地方式

按中性点接地阻抗的不同，电力系统分为中性点直接接地系统和中性点非直接接地系统。系统中性点接地方式与系统标称电压的关系见表 2。

表 2 中性点接地方式与系统标称电压的关系 kV (有效值)

系统中性点接地方式	中性点直接接地系统	中性点非直接接地系统
系统标称电压	3~20, 110~500	3~66

##### 5.3.1 中性点直接接地系统

中性点直接接地（包括经低值阻抗接地）的系统，通常其零序电抗与正序电抗的比值 ( $X_0/X_1$ )  $\leq 3$ ，零序电阻与正序电抗的比值 ( $R_0/X_1$ )  $\leq 1$ 。

##### 5.3.2 中性点非直接接地系统

中性点绝缘（包括经高值阻抗或经消弧线圈接地）的系统，通常其零序电抗与正序电抗的比值 ( $X_0/X_1$ )  $> 3$ ，零序电阻与正序电抗的比值 ( $R_0/X_1$ )  $> 1$ 。

#### 5.4 接地故障因数

- a) 中性点直接接地系统的接地故障因数通常不大于 1.4；
- b) 中性点非直接接地系统的接地故障因数通常不大于 1.73，但当接地电阻为电网总容抗的 37% 时，该接地故障因数最大值可达  $1.82 \sim 1.90^{1)}$ 。从理论上讲，若  $X_0/X_1$  的比值在  $-1 \sim -20$  之间时，

1)  $(1.05 \sim 1.10) \sqrt{3}$ 。

由于接近谐振点  $X_0/X_1 = -2$ ，故谐振条件可能出现，此时接地故障因数会高于 1.90。通常  $X_0/X_1$  的比值离引起谐振的范围值很远，所以在选取避雷器时不考虑这种状态。

### 5.5 接地故障持续时间

系统的接地故障持续时间见表 3。

表 3 系统的接地故障持续时间

系统中性点接地方式	中性点直接接地系统	中性点非直接接地系统
接地故障持续时间 s	$\leq 10$	$> 10^*$
* 经高电阻或消弧线圈接地系统中，使用单相选线跳闸时，接地故障持续时间可能 $< 10\text{s}$		

## 6 避雷器类型

### 6.1 无间隙避雷器

#### 6.1.1 特点

- 结构简单。
- 保护性能好，电阻片有良好的非线性伏安特性，正常工作电压下通过避雷器的电流小（以容性分量为主），无需串联间隙，消除了因间隙击穿特性变化所造成的影响，保护特性仅由残压所决定。
- 吸收能量大，非线性金属氧化物电阻片单位体积吸收能量较碳化硅非线性电阻片大 5~10 倍，同时，电阻片或避雷器均可并联使用，使吸收能力成倍提高。
- 保护效果好，只要过电压超过避雷器额定电压，保护作用就开始，这对降低频繁作用在被保护设备上的过电压，减少异常绝缘击穿，对延长设备的寿命有积极作用。
- 运行检测方便，能通过带电试验检测避雷器特性的变化。
- 由于没有串联间隙，电阻片不仅要承受雷电和操作过电压作用，还要承受正常持续运行电压和暂时过电压，因而存在着这些电压作用下的劣化和热稳定问题。

#### 6.1.2 分类

无间隙避雷器按其标称放电电流及使用的场合来分类，见表 4。

表 4 避雷器分类

标称放电电流 $I_n$	20kA 等级	10kA 等级	5kA 等级				2.5kA 等级	1.5kA 等级	
避雷器 额定电压 $U_r$ kV (有效值)	$420 \leq U_r$ $\leq 468$	$90 \leq U_r$ $\leq 468$	$4 \leq U_r$ $\leq 25$	$5 \leq U_r$ $\leq 34$	$5 \leq U_r$ $\leq 90$	$5 \leq U_r$ $\leq 108$	$4 \leq U_r$ $\leq 13.5$	$2.4 \leq U_r$ $\leq 15.2$	$60 \leq U_r$ $\leq 207$
避雷器类别	电站用		发电机用	配电用	并联补偿 电容器用	电站用	电动机用	发电机中 性点用	变压器中 性点用

a) 电站用避雷器：用以限制作用在发变电所 3kV~500kV 设备的雷电过电压和除谐振过电压及暂态过电压以外的相对地过电压。

b) 配电用避雷器：用以限制作用在 3kV~20kV 配电设施，主要是配电变压器、分段开关、刀闸及电缆头的雷电过电压和除谐振过电压及暂态过电压以外的相对地过电压。

c) 并联补偿电容器用避雷器：用以限制投切电容器组时可能产生的过电压，用于不同容量和电压等级电容器组的避雷器，其方波通流容量有不同的要求。

d) 发电机用避雷器：用以限制作用在发电机的雷电过电压和除谐振过电压以外的相对地过电压，并可限制升压变压器的传递过电压。

e) 电动机用避雷器：用以限制 3kV~10kV 投切电动机时的操作过电压。

f) 发电机中性点用避雷器：用以限制发电机中性点的雷电侵入波过电压，同时对发电机整个绝缘也有一定的保护作用。在正常运行工况下，作用在避雷器上的电压很低。

g) 变压器中性点用避雷器：主要用以限制中性点为分级绝缘的变压器（包括中性点接有低于其设备绝缘水平的设备，如消弧线圈）雷电过电压。在正常运行工况下，作用在避雷器上的电压很低。

h) 其他特殊用途避雷器：避雷器还可用于下列设备的过电压保护，如输电线路、串联电抗器、串联电容器、电缆护层、电流互感器低压和高压侧间、发电机灭磁回路等。

## 6.2 有间隙避雷器

根据被保护对象的特点，如输电线路和谐振过电压多发的地方等，可选用有串联间隙的避雷器。对于绝缘较弱，要求残压较低时，还可选用有并联间隙避雷器。

### 6.2.1 特点

a) 有串联间隙的避雷器与无间隙避雷器相比，增加了串联间隙，使电阻片与带电导线隔离，可避免系统单相接地引起的暂时过电压和弧光接地或谐振过电压对电阻片的直接作用。但使用串联间隙后，也就不再具备无间隙避雷器的优点。

b) 有并联间隙的避雷器：在一部分电阻片上并联间隙，在雷电流达到一定幅值时，这部分电阻片上的残压使间隙放电而短路。在雷电流幅值等于标称放电电流时，避雷器的残压值可以低于无间隙避雷器的残压，在保护雷电冲击绝缘水平较低的设备，如发电机等，有一定的优越性，但结构较复杂。

c) 与普通碳化硅阀式避雷器相比，具有相近保护特性时，避雷器可以没有续流或续流很小。如果保持续流相近，则残压值可比碳化硅阀式避雷器低，在中性点非直接接地系统中，残压值还可以比无间隙避雷器的残压低。

d) 有串联间隙避雷器：由于放电电压与电阻片的残压相近，给工频放电电压试验带来一定的困难，放电电压较难检测。

e) 有间隙避雷器一般用于线路或 3kV~66kV 中性点非直接接地系统中的保护。

### 6.2.2 分类

有间隙的避雷器主要分为如下四种类型：

a) 电站用避雷器：用以限制作用在 3kV~66kV 中性点非直接接地系统变电所的雷电过电压。

b) 配电用避雷器：用以限制作用在 3kV~20kV 配电设施，主要是配电变压器、分段开关、刀闸及电缆头的雷电过电压，其性能优于普阀式避雷器。

c) 发电机用避雷器：用以限制作用在发电机的雷电过电压。

d) 线路用避雷器：并联连接在线路绝缘子的两端，用以限制线路上的雷电过电压及（或）操作过电压，以降低线路跳闸率。

## 7 避雷器选择的一般程序

### 7.1 无间隙避雷器

a) 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。

b) 根据被保护对象选择避雷器的类型。

c) 按照系统中长期作用在避雷器上的最高电压确定避雷器的持续运行电压。

d) 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，并与工频电压耐受时间特性进行校核。

e) 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。

f) 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等级、方波冲击试验电流幅值

以及能量吸收能力。

g) 根据被保护设备的额定雷电冲击耐受电压和操作冲击耐受电压, 按照绝缘配合的要求, 确定避雷器雷电冲击保护水平和操作冲击保护水平。

h) 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。

i) 按照避雷器安装处的污秽情况, 选择避雷器外套的爬电比距。在外绝缘选择中, 要考虑设备外绝缘与海拔高度的关系。

j) 按照避雷器安装处的引线拉力、风速和地震条件, 选择避雷器的机械强度。

k) 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: 调整避雷器的位置; 选择保护性能较好的避雷器; 适当降低避雷器的额定电压; 增加避雷器的台数等。

## 7.2 有间隙避雷器

a) 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。

b) 根据被保护对象选择避雷器的类型。

c) 对于有并联间隙或串联间隙上有并联电阻的避雷器, 按照系统中长期作用在避雷器上的最高工作电压, 确定避雷器的持续运行电压。

d) 估算避雷器安装点过电压的幅值及间隙遮断续流的能力, 对有串联间隙避雷器, 考虑避雷器电阻片部分; 对有并联间隙避雷器, 考虑避雷器无并联间隙的电阻片部分的额定电压。

e) 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。

f) 若避雷器在部分操作过电压下动作, 应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等级、方波冲击试验电流幅值以及能量吸收能力。

g) 根据被保护设备的额定雷电冲击耐受电压和操作冲击耐受电压, 按照绝缘配合的要求, 确定避雷器雷电冲击保护水平和操作冲击保护水平。

h) 根据被保护设备的绝缘水平, 确定有串联间隙避雷器雷电冲击放电电压上限。

i) 根据被保护设备可耐受的操作过电压倍数 (避雷器不应动作), 确定避雷器工频放电电压下限。

j) 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。

k) 按照避雷器安装处的污秽情况, 选择避雷器外绝缘的爬电比距。在外绝缘选择中, 要考虑设备外绝缘与海拔高度的关系。

l) 按照避雷器安装处的引线拉力、风速和地震条件, 选择避雷器的机械强度。

## 8 避雷器特性参数和选择应用

### 8.1 无间隙避雷器

#### 8.1.1 持续运行电压 ( $U_c$ )

避雷器持续运行电压是允许持久地施加在避雷器端子间的工频电压有效值。

对于无间隙避雷器, 运行电压直接作用在避雷器的电阻片上, 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。避雷器的持续运行电压一般相当于额定电压的 75%~80%。

a) 中性点直接接地系统: 在中性点直接接地系统中, 接在相对地的无间隙避雷器, 其持续运行电压应不低于系统的最高工作相电压。

b) 中性点非直接接地系统: 在中性点非直接接地系统中, 如果单相接地故障在 10s 及以内切除, 无间隙避雷器其持续运行电压应不低于系统的最高工作相电压。有的系统为了安全供电的需要, 当单相接地故障时, 一般不瞬时间跳闸, 接地故障的持续时间有的在 2h 及以上, 这时作用在健全相避雷器上的电压就等于或高于系统的线电压。在 3kV~20kV 系统中, 中性点大多不直接接地, 当零序电抗 ( $X_0$ ) 与正序电抗 ( $X_1$ ) 之比在  $-20 \sim -\infty$  之间, 在健全相上的电压可达线电压的 1.1 倍。在 35kV~66kV

系统中,中性点一般经消弧线圈接地,且在过补偿下运行,健全相上的电压一般不高于线电压,即:

10s 及以下切除故障:  $U \geq U_m/\sqrt{3}$ ;

10s 以上切除故障:  $U_c \geq 1.1U_m$  (3kV~20kV 系统);  $U_c \geq U_m$  (35kV~66kV 系统)。

在进口无间隙金属氧化物避雷器时,也应按照上述原则选取。

### 8.1.2 额定电压 ( $U_r$ )

避雷器额定电压是施加到避雷器端子间的最大允许工频电压有效值,按照此电压所设计的避雷器,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。它是表明避雷器运行特性的一个重要参数,但它不等于系统标称电压。

由于电力系统的标称电压是该系统相间电压的标称值,而避雷器一般安装在相对地之间,正常工作下承受的是相电压和暂时过电压,并且避雷器有它本身的特点,因此其额定电压与电力系统的标称电压以及其他电器(变压器、断路器)的额定电压有不同的意义。

按国际电工委员会(IEC 99-4)及 GB11032 对无间隙金属氧化物避雷器的规定,避雷器在 60℃ 的温度下,注入标准规定的能量后,必须能耐受相当于额定电压数值的暂时过电压至少 10s。

在相同的系统标称电压下,避雷器的额定电压选得越高,在运行中通过避雷器的漏电流越小,对减轻避雷器的劣化有利,可以提高运行的可靠性。但另一方面,避雷器的额定电压高了,残压也相应增高了,在同样的绝缘水平下,保护裕度会降低,这两方面是矛盾的。一般考虑的原则是:只要满足保护绝缘的配合系数(8.1.7.3),避雷器的额定电压可选得高一些。

#### 8.1.2.1 中性点直接接地系统

在中性点直接接地系统中,单相接地故障在 10s 及以下切除,可以只考虑单相接地时非故障相的电压升高和部分甩负荷、长线效应引起的暂时过电压。额定电压可以等于或大于暂时过电压。

#### 8.1.2.2 中性点非直接接地系统

在中性点非直接接地系统中,如果单相接地故障在 10s 及以下切除,也可以应用以上原则;如果单相接地故障在 10s 以上切除,额定电压还应乘上一个系数  $k$ 。

无间隙金属氧化物避雷器的额定电压可按式(1)选择,暂时过电压  $U_t$  的推荐值见表 5,避雷器额定电压的建议值见表 6。

$$U_r \geq kU_t \quad (1)$$

式中:  $k$ ——切除单相接地故障时间系数;

10s 及以下切除,  $k=1.0$ , 10s 以上切除,  $k=1.25\sim 1.3$  ( $k=1.25$  主要用于保护并联补偿电容器及其他绝缘较弱设备的避雷器);

$U_t$ ——暂时过电压(kV)。

表 5 暂时过电压  $U_t$  推荐值

kV (有效值)

接地方式	非直接接地系统		直接接地系统		
系统标称电压	3~20	35~66	110~220	330~500	
				母线侧	线路侧
$U_t$	$1.1U_m$	$U_m$	$1.4U_m/\sqrt{3}$	$1.3U_m/\sqrt{3}$	$1.4U_m/\sqrt{3}$

表 6 避雷器额定电压  $U_r$  的建议值

kV (有效值)

接地 方式	非直接接地系统 & 小阻抗接地系统												直 接 接 地 系 统					
	10s 及以下切除故障						10s 以上切除故障											
系统标 称电压	3	6	10	20	35	66	3	6	10	20	35	66	110	20	330		500	
															母线 侧	线路 侧	母线 侧	线路 侧
$U_r$	4	8	13	26	42	72	5	10	17	34	54	96	102	204	300	312	420	444

## 8.1.2.3 保护发电机用避雷器

保护发电机用的避雷器的额定电压按 1.25 倍发电机额定电压选择, 建议值见表 7。

表 7 保护发电机用避雷器额定电压  $U_r$  建议值

kV (有效值)

发电机额定电压	3.15	6.3	10.5	13.8	15.75	18	20	22	24	26
$U_r$	4	8	13.2	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5

## 8.1.2.4 中性点用避雷器

a) 变压器中性点用避雷器的额定电压, 一般直接接地系统不低于系统最高工作相电压, 非直接接地系统不低于系统最高工作电压。

变压器中性点避雷器的额定电压建议值见表 8。

表 8 变压器中性点用避雷器额定电压  $U_r$  建议值

kV (有效值)

中性点绝缘水平	全绝缘		分级绝缘			
系统标称电压	35	66	110	220	330	500
$U_r$	51	96	72	144	84 (210)	102
注: 括号中数使用于中性点 150kV 等级绝缘。						

b) 发电机中性点避雷器的额定电压, 一般按发电机额定相电压 1.25 倍选择。建议值如表 9。

表 9 发电机中性点用避雷器额定电压  $U_r$  建议值

kV (有效值)

发电机额定电压	3.15	6.3	10.5	13.8	15.75	18	20	22	24	26
$U_r$	2.4	4.8	8.0	10.5	12.0	13.7	15.0	16.0	18.0	19.0

当上列建议值 (或 GB11032—2000 典型值) 的额定电压不能满足实际要求, 需要另外选取避雷器的额定电压时, 只要符合 GB11032 的额定电压级差也是允许的。其直流 1mA 参考电压及相应的保护特性, 可按邻近的典型额定电压推算。

8.1.3 参考电压 ( $U_{ref}$ )

## 8.1.3.1 工频参考电压

工频参考电压是避雷器在工频参考电流下 (由制造厂确定) 测出的避雷器的工频电压最大峰值除以  $\sqrt{2}$ 。这一数值应不低于避雷器的额定电压值。在 GB11032 中以及国外避雷器的产品型录中, 一般都不列出这一数值, 但出厂试验报告中应给出测量值。

## 8.1.3.2 直流参考电压



直流参考电压是避雷器在直流参考电流下测出的避雷器上的电压。直流参考电流的数值，由制造厂规定。国内一般都采用 1mA。直流 1mA 参考电压值一般不小于避雷器额定电压的峰值。

#### 8.1.4 工频电压耐受时间特性

这个特性是表明避雷器在运行中，吸收了规定的操作过电压能量以后，耐受暂时过电压的能力。如 8.1.2 所述的，避雷器可耐受数值等于额定电压的暂时过电压 10s。如果暂时过电压的时间短了，可以耐受的幅值就可以高，反之就可能低。因此，在必要时，如果暂时过电压的幅值高于或低于避雷器额定电压，而其作用时间短于或长于 10s，可以用工频电压耐受时间特性曲线校核。各个制造厂的避雷器工频电压耐受时间特性是不同的，所以必须用制造厂提供的曲线来校核。图 1 为一个工频电压耐受时间特性曲线的例子。

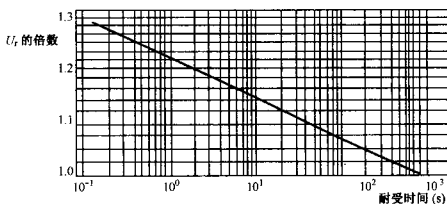


图 1 中性点直接接地系统用避雷器的工频电压耐受时间特性的例子

在超高压系统中，一般使用暂态网络分析仪或计算机对操作过电压和暂时过电压进行计算，得到操作过电压的能量及暂时过电压的幅值和作用时间，就可以用避雷器的工频电压耐受时间特性进行校核，使选用的避雷器具有足够的耐受操作过电压能量和暂时过电压的能力。

#### 8.1.5 能量吸收能力

避雷器的能量吸收能力包括操作冲击（长持续时间电流冲击）与大电流冲击两个方面。一般认为对超高压系统的避雷器，操作冲击对能量吸收的要求较严酷。大电流冲击则由于残压较高，电阻片侧面容易发生闪络。

##### 8.1.5.1 长持续时间电流冲击吸收能力

无间隙金属氧化物避雷器（特别是用在高压和超高压中性点直接接地系统中）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：

- 空载线路分合闸（重合）闸；
- 空载变压器和并联电抗器分闸；
- 线路非对称故障分闸和振荡解列；
- 投切并联电容器组；
- 中性点非直接接地系统的弧光接地。

- 线路放电耐受能力。对 10kA 和 20kA 等级避雷器和 5kA 等级（额定电压 90kV 及以上）避雷器，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。GB11032 参照 IEC 标准作了线路放电试验规定。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。

避雷器在操作过电压中吸收的能量，按 GB11032 的 8.6.5 及 IEC 99-4 的 7.5.5 操作冲击动作负载试验规定，每次试验均需施加二次长持续时间电流冲击（GB11032 中图 2），两次之间时间很短（50～

60s), 实际上是绝热过程, 因此避雷器吸收能量的能力是两次冲击能量之和, 并大于 TNA (暂态网络分析仪) 计算要求的比能量。其计算过程如下:

$$W = 2 \times U_{\text{res}} (U_L - U_{\text{res}}) \cdot T / Z \quad (2)$$

式中:  $W$ ——避雷器吸收的能量 (kJ);

$U_{\text{res}}$ ——避雷器操作冲击电流下的残压 (kV);

$U_L$ ——预期过电压 (kV);

$Z$ ——线路冲击阻抗 (波阻抗,  $\Omega$ );

$T$ ——电流持续时间 (ms),  $T = 2L/V$ ;

$L$ ——线路长度 (km);

$V$ ——波速, 取  $300\text{m}/\mu\text{s}$ 。

由于避雷器的额定电压不同, 吸收能量的总能力 ( $W$ ) 也不同, 所以一般以比能量 ( $W'$ ) 即单位额定电压吸收能量的能力 ( $W' = W/U_r$ ), 来表示避雷器吸收能量的能力, 整只避雷器吸收能量的总能力应大于操作过电压下避雷器需吸收能量。

GB11032 规定, 110kV 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, 试验参数可分为五个等级, 见表 10。

表 10 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 $Z$ $\Omega$	电流峰值视在 持续时间 $T$ $\mu\text{s}$	充电电压 $U_L$	相当于系统标称 电压等级 kV
5、10	1	$4.9U_r^*$	2000	$3.2U_r$	110
10	2	$2.4U_r$	2000	$3.2U_r$	220
10	3	$1.3U_r$	2400	$2.8U_r$	220~330
20	4	$0.8U_r$	2800	$2.6U_r$	330~500
20	5	$0.5U_r$	3200	$2.4U_r$	500

\*  $U_r$  为试品额定电压的千伏有效值的绝对值。

若系统条件不符合表 10 或对避雷器能量吸收能力有较高的要求时, 可通过电磁暂态计算程序 (EMTP) 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 2 中找出相应的线路放电等级。需要注意的是, GB11032 附录 F 中图 F1 纵坐标的比能量仅为一次长持续时间电流冲击的能量, 因此其数值为本导则图 2 的 1/2。

2) 方波冲击电流能力。对 1.5kA 和 2.5kA 等级避雷器和 5kA 等级 (额定电压 90kV 以下) 避雷器, 不要求进行输电线路特性规定的线路放电试验, 但避雷器在雷电过电压或部分操作过电压动作后, 系统的电容、电感中存储的能量仍会向避雷器释放。因此要根据避雷器的类型及使用情况进行幅值为 50A~600A 的 2000 $\mu\text{s}$  的方波冲击电流试验, 具体要求见表 11。

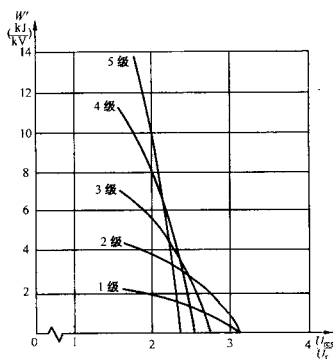


图 2 线路放电等级及比能量

表 11 5kA、2.5kA、1.5kA 避雷器方波通流容量

避雷器标称放电电流等级 kA	避雷器类型	避雷器额定电压 kV (有效值)	2000 $\mu$ s 方波电流 A (峰值)
5	配电	5~34	75
	电站	5~51	150
		84~90	400
	发电机	4~25	400
	并联补偿电容器	5~90	400~600
2.5	电动机	4~13.5	200
1.5	发电机中性点	2.4~15.2	200
	变压器中性点	60~207	400

#### 8.1.5.2 大电流冲击耐受能力

GB11032 中规定,对无间隙避雷器电阻片需进行大电流冲击耐受抽样试验,这是考虑在接近避雷器安装地点处,遭受直接雷击或发生反击时,通过避雷器的雷电流将较大。电阻片在这种大电流冲击下,不应有击穿或闪络等破坏。在动作负载试验中,也要施加大电流冲击,由于避雷器承受大电流的几率较少,所以只能加两次,耐受试验数值见表 12。

表 12 大电流冲击耐受试验数值

避雷器标称放电电流等级 kA	大电流冲击电流值 kA (峰值)	避雷器标称放电电流等级 kA	大电流冲击电流值 kA (峰值)
20	100	2.5	25
10	100	1.5	10
5	65		

#### 8.1.6 避雷器标称放电电流的选择

按照 DL/T 620 规定,66kV 及以上系统架空线路,绝大部分均为沿全线架设避雷线,按远方雷击的侵入波的概率统计及电站的重要性,可作以下选择:

- 66kV~220kV 系统一般选用 5kA,在雷电活动特别强烈的地区、重要的变电所、进线保护不完善或进线段耐雷水平达不到规定时,可选用 10kA;
- 330kV 系统一般选用 10kA;
- 500kV 系统一般选用 10kA~20kA;
- 35kV 及以下系统虽不是全线架设避雷线,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,按照避雷器类型的使用条件,标称放电电流可选用 5kA、2.5kA 和 1.5kA 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。

GB11032 中规定的避雷器标称放电电流见表 4。

对电机用避雷器、中性点用避雷器标称放电电流在表 4 中也作了相应的规定。

#### 8.1.7 避雷器的保护水平与绝缘配合

避雷器的保护水平,是电力系统过电压保护和绝缘配合中的一项基本参数。

##### 8.1.7.1 雷电过电压的保护水平

无间隙金属氧化物避雷器的保护水平完全由它的残压所决定。

避雷器雷电过电压的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。

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 GIS 中的绝缘，有不同的系数。

#### 8.1.7.2 操作过电压保护水平

它是操作冲击电流下的最大残压。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  $30\mu\text{s}\sim 100\mu\text{s}$ （在此范围内或波头更长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。

#### 8.1.7.3 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裕度，称之为配合系数  $k_s$ ，其数值为被保护设备的绝缘水平除以避雷器的保护水平。

按 GB311.1 的规定：

- a) 雷电过电压的配合系数：

中性点避雷器  $k_s > 1.25$ ；

避雷器非紧靠保护设备  $k_s > 1.4$ 。

- b) 操作过电压的配合系数  $k_s > 1.15$ 。

对于 330kV 和 500kV 变电所、带电电缆段的变电所和气体绝缘变电所（GIS）的配合系数，必要时可通过模拟计算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。

#### 8.1.8 并联补偿电容器用避雷器的参数选择

并联补偿电容器组是一种要频繁投切的设备。若断路器投切中出现重燃现象，会产生过电压，这种过电压会引起设备损坏事故。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，对电容器和断路器都有好处。这种避雷器的参数选择有一定特点。

##### 8.1.8.1 保护接线

通常采用图 3 所示的 I 型保护接线方式，可以有效地限制单相重燃，即电容器组相对地过电压和电容器组中性点过电压的发展，同时也可能降低两相重燃的几率，将电容器和电抗器上的过电压限制在一定范围之内。

若需要进一步限制电容器极间过电压，可以采用图 4 的接线方式。

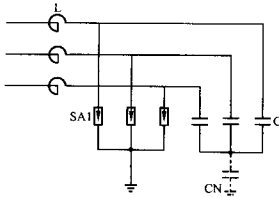


图 3 I 型保护接线方式

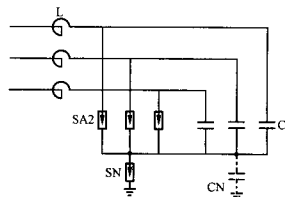


图 4 II 型保护接线方式

图 4 所示的 II 型接线方式是由四只避雷器组成，三只避雷器 SA2 并接在每相电容器组的两端之间，另一只避雷器 SN 则接在电容器中性点。这样既能限制电容器相对地过电压，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。

#### 8.1.8.2 主要参数的选择

a) 额定电压和直流 1mA 电压：并联补偿电容器主要用于 3kV~66kV 中性点非直接接地系统，避雷器额定电压和直流 1mA 电压的选择可参照 8.1.2 及 8.1.3 的原则，I 型接线方式中的避雷器额定电压可以按照 GB11032 选取。II 型接线方式中的避雷器 SN 在单相接地故障中只承受相电压的作用，所以避雷器 SN 额定电压的选择应以相电压为基础，而不能直接应用 GB11032 中的值。对 II 型接线方式中相间避雷器 SA2 和中性点对地避雷器 SN 的额定电压可取 8.1.2 中推荐值的 1/2，或通过计算确定。

b) 保护水平：由于母线上一般都装有防雷专用避雷器，并联电容器用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 DL/T 620 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选取。

c) 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标称电压有关。I 型和 II 型两种接线方式中避雷器方波通流能力可近似按表 13 选取。

表 13 并联补偿电容器用避雷器的方波通流能力

A

系统标称电压 kV (有效值)			3	6	10	35	66
电容器组容量 kvar	I 型	2500	300				
		4500		300			
		7500			400		
		20000				500	
		40000					600
	II 型	2500	1000				
		4500		900			
		7500			900		
		20000				700	
		40000					800

注：在某一系统标称电压下，当电容器组容量大于表 13 所列值时，应重新计算对避雷器方波通流能力的要求。

#### 8.1.9 压力释放要求

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套的严重爆炸，避雷器所能耐受的短路电流应大于避雷器安装处的最大短路电流，并按此选定避雷器的压力释放电流等级。

在选择压力释放电流等级时，一般可参考安装处 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。

复合外套避雷器也应做相应的大电流系统短路试验。

#### 8.1.10 避雷器的外绝缘和耐污要求

对于正常使用条件的避雷器，避雷器外套所承受的雷电冲击水平不得低于 1.2 倍的标称电流下的残压值。

在避雷器安装处的海拔超过 1000m, 或地震烈度在 7 度以上、最大风速超过 35m/s 以及覆冰厚度超过 2cm 时, 应与制造厂协商, 对避雷器外绝缘机械强度重新核算。

根据避雷器安装地区的污秽情况, 按标准 GB/T 5582 选用避雷器外绝缘污秽等级。污秽等级分为 4 级, 规定了外套最小公称爬电比距的要求:

I 级轻污秽地区为 17mm/kV;

II 级中等污秽地区为 20mm/kV;

III 级重污秽地区为 25mm/kV;

IV 级特重污秽地区为 31mm/kV。

在选择爬电比距时, 应注意外套的有效绝缘高度, 考虑它的有效性。在 III 级及以上重污秽地区用的避雷器, 其型式试验中应做人工污秽试验。

#### 8.1.11 无线电干扰和局部放电性能要求

试验应在完整的避雷器上进行, 并按实际运行情况安装。

试验时, 加于避雷器的工频电压应升至避雷器的额定电压, 然后在短于 10s 时间内降至 1.05 倍的持续运行电压。在该电压下局放量不大于 50pC (也有制造厂的规范为 10pC), 无线电干扰电压不大于 2500 $\mu$ V。

测试无线电干扰的频率为 1.0MHz。

#### 8.1.12 机械性能

运行中的避雷器要承受导线的最大允许水平拉力和作用于避雷器上的风压力。GB11032 中作了相应的规定并推荐了计算公式。

若避雷器为悬挂式安装, 应做拉伸试验。

使用于地震区的避雷器, 制造厂应通过计算或试验, 提供避雷器可能承受的地震加速度。

#### 8.1.13 密封性能

密封性能的好坏是影响避雷器安全运行的主要因素之一。现场安装时应注意保护压力释放板, 防止扎破或碰伤。

GB11032 中推荐采用氦质谱检测仪检验密封, 同时也允许采用其他方法。对 17kV 及以下的避雷器, 使用较多且行之有效的办法是冷热水浸泡法和抽气浸泡法 (多用于额定电压为 26kV 及以下的避雷器)。

a) 冷热水浸泡法: 冷水温度为环境温度, 冷水和热水温度相差 40℃。将被试品放入热水浸泡 2h, 取出随即放入冷水中浸泡 12h, 取出避雷器进行试验, 并比较浸泡前后的数据。

b) 抽气浸泡法: 将避雷器放入盛有环境温度水的可观察的密封容器中, 将容器中水面上气压抽至真空度规定值 (型式试验为 20Pa, 出厂试验为 15Pa), 并保持 10min, 无连续气泡冒出的避雷器为合格。

### 8.2 有间隙避雷器

#### 8.2.1 持续运行电压 ( $U_c$ )

有串联间隙避雷器, 对持续运行电压不像无间隙 (及有并联间隙) 避雷器那样敏感。在中性点直接接地系统中, 除线路用避雷器外, 一般不会使用有间隙避雷器。在中性点非直接接地系统中, 对串联间隙上有并联电阻的避雷器, 应进行 2h 以上耐受 2.0 倍系统最高线电压的试验, 以证明并联电阻与电阻片的热稳定性能达到要求。

#### 8.2.2 额定电压 ( $U_n$ )

对有串联间隙避雷器, 其额定电压的选取主要要求避雷器在雷电过电压动作后, 避雷器要在该电压下阻断续流, 其性质与碳化硅避雷器相似, 因此, 可参照采用与之相同的数值。典型推荐值见表 14。

表 14 有串联间隙避雷器典型推荐值

kV

系统标称电压 (有效值)	避雷器额定电 压 (有效值)	电 站 用			配 电 用		
		工频放 电电压 (有效值)	1.2/50 $\mu$ s 冲击 放电电压 (峰值)	波前冲击 放电电压 (峰值)	工频放 电电压 (有效值)	1.2/50 $\mu$ s 冲击 放电电压 (峰值)	波前冲击 放电电压 (峰值)
3	3.8	9	20	25	9	21	26.3
6	7.6	16	30	37.5	16	35	43.8
10	12.7	26	45	56.5	26	50	62.5
35	42	80	134	168	—	—	—

### 8.2.3 避雷器的放电电压

#### 8.2.3.1 工频放电电压

工频放电电压应不低于普通阀式或磁吹避雷器的工频放电电压。典型推荐值见表 14。

#### 8.2.3.2 冲击放电电压及波前冲击放电电压

冲击放电电压及波前冲击放电电压一般不应高于阀式避雷器的冲击放电电压。典型推荐值见表 14。

#### 8.2.4 工频电压耐受时间特性

对于有间隙避雷器一般不校核其耐受暂态过电压的能力,但对于间隙有并联电阻的避雷器,需要证明并联电阻与避雷器电阻片串联后,应能耐受 2h, 2.0 倍的系统最高线电压。

### 8.2.5 能量吸收能力

#### 8.2.5.1 方波电流冲击耐受能力

避雷器在动作后, 仍可能吸收系统所储存的能量, 因此对避雷器试验的要求, 最少应达到无间隙避雷器的要求。

#### 8.2.5.2 大电流冲击耐受能力

对有间隙避雷器, 电阻片对大电流冲击耐受能力的要求与无间隙避雷器相同。

#### 8.2.6 动作负载试验

避雷器应在额定电压下承受 20 次动作负载试验。冲击点火电流的波形为 8/20 $\mu$ s, 幅值为 5kA, 避雷器应可靠地遮断续流。试验前后工频放电电压平均值的变化及 5kA 残压的变化不大于 5%。

#### 8.2.7 避雷器标称放电电流的选择

有间隙避雷器主要用于非直接接地系统, 包括电站用、配电用和电机用等类型, 标称放电电流选用 5kA 及以下等级。

### 8.2.8 避雷器的保护水平与绝缘配合

#### 8.2.8.1 避雷器的保护水平

有间隙避雷器的保护水平不仅由它的残压, 而且还要由它的间隙放电电压决定。它的雷电过电压保护水平是下列四项数值的最高者:

- 雷电冲击电压全波下的放电电压;
- 雷电冲击电压陡波下的放电电压除以 1.15;
- 标称放电电流下最大残压;
- 陡波冲击电流下最大残压除以 1.15。

#### 8.2.8.2 配合系数

有间隙避雷器的绝缘配合系数与无间隙避雷器相同。

#### 8.2.9 避雷器的外绝缘和耐污要求

有间隙避雷器的外绝缘和耐污要求与无间隙避雷器相同。

## 8.2.10 机械性能

有间隙避雷器的机械性能与无间隙避雷器相同。

## 8.2.11 密封性能

对有间隙避雷器使用较多且行之有效的检测方法是冷热水浸泡法和抽气浸泡法。

## 9 检验

本导则规定的避雷器检验分为型式试验、定期试验、抽样试验、例行试验、验收试验、交接试验和预防性试验 7 种。其中型式试验、定期试验、抽样试验、例行试验和验收试验的要求按标准 GB11032、JB/T 8952 和 ZBK49005 的规定执行，其试验依据和试验方法不再重复，下面只列出相应的试验项目。

## 9.1 型式试验

新产品试制定型时，必须进行全部型式试验，不同避雷器类型的型式试验项目见表 15 和表 16。

## 9.2 定期试验

正常生产的产品需三年进行一次定期试验。长期停产后恢复生产时 also 需作定期试验。试验项目及试品数量见表 17。

## 9.3 抽样试验

主要是针对电阻片进行的试验，应按批次抽取试品，试验项目及试品数量见表 18。

## 9.4 例行试验

出厂的每只避雷器（或电阻片）均需按表 19 的规定进行试验，避雷器（或电阻片）只有通过表 19 中所有的试验项目方为合格。

表 15 无间隙避雷器型式试验项目

序号	试验项目名称	试 验 要 求							
		20kA	10kA	5kA			2.5kA	1.5kA	
		电站用 避雷器	电站用 避雷器	电站用 避雷器	并联补偿 电容器用 避雷器	配电用 避雷器	发电机 用 避雷器	电动机 用 避雷器	中性点 用 避雷器
1	持续电流试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
2	残压试验								
	a) 陡波冲击残压试验	要求	要求	—	要求	要求	要求	要求	—
	b) 雷电冲击残压试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
	c) 操作冲击残压试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
3	长持续时间电流冲击耐受试验								
	a) 线路放电试验	要求	要求	—	—	—	—	—	—
	b) 方波冲击电流	—	—	要求	要求	要求	要求	要求	要求
4	工频电压耐受时间特性试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
5	工频参考电压试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
6	动作负载试验								
	a) 加速老化试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
	b) 大电流动作负载试验	—	—	要求	—	要求	要求	要求	—
	c) 操作冲击动作负载试验	要求	要求	—	要求	—	—	—	—
7	密封试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
8	外套绝缘耐受试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求



表 15 (续完)

序号	试验项目名称	试 验 要 求							
		20kA	10kA	5kA			2.5kA	1.5kA	
		电站用 避雷器	电站用 避雷器	电站用 避雷器	并联补偿 电容器用 避雷器	配电用 避雷器	发电机 用 避雷器	电动机 用 避雷器	中性点 用 避雷器
9	压力释放（系统短路）试验 a) 大电流压力释放试验 b) 小电流压力释放试验	要求 要求	要求 要求	要求 要求	要求 要求	—	要求 要求	—	要求 要求
10	机械负荷试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
11	直流参考电压试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
12	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
13	局部放电和无线电干扰试验*	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
14	复合外套外观检查	复合外套避雷器要求							
15	热机试验和水煮试验	复合外套避雷器要求							
16	复合外套起痕和电蚀试验	复合外套避雷器要求							
17	人工污秽试验	Ⅲ级及以上重污秽地区使用的产品要求							
18	多柱避雷器电流分布试验	有多柱电阻片组成的避雷器要求							
19	避雷器脱离器试验	当避雷器带脱离器时要求							
* 额定电压为 96kV 及以下的避雷器及中性点用避雷器不要求。									

表 16 有间隙避雷器型式试验项目

序号	试 验 项 目 名 称	试 验 要 求	
		无并联电阻串联间隙	有并联电阻串联间隙
1	工频放电电压	要求	要求
2	雷电波冲击放电电压试验	要求	要求
3	波前冲击放电电压试验	要求	要求
4	标称放电电流下残压试验	要求	要求
5	密封试验	要求	要求
6	方波电流耐受试验	要求	要求
7	大电流冲击耐受试验	要求	要求
8	动作负载试验	要求	要求
9	漏电流/电导电流试验	要求	要求
10	机械强度试验	要求	要求
11	外绝缘试验	要求	要求
12	工频耐受试验	—	要求
13	复合外套外观检查	复合外套避雷器要求	
14	热机试验和水煮试验	复合外套避雷器要求	
15	复合外套起痕和电蚀试验	复合外套避雷器要求	
16	压力释放试验	额定电压 42kV 及以上电压避雷器要求	
17	人工污秽试验	Ⅲ级及以上重污秽地区使用的产品要求	

表 17 避雷器定期试验项目

序 号	试 验 项 目 名 称	试 验 要 求	
		无间隙避雷器	有间隙避雷器
1	残压试验	要求	要求
2	长持续时间冲击电流耐受试验	要求	要求
3	动作负载试验	要求	要求
4	工频电压耐受时间特性试验	要求	要求*
5	放电电压试验	—	要求
6	热机试验和水煮试验	复合外套避雷器要求	
7	复合外套起痕和电蚀试验	复合外套避雷器要求	

\* 对于带并联电阻避雷器，需做此项试验。

表 18 避雷器抽样试验项目

序号	试 验 项 目 名 称	抽 取 试 品 数 量
1	方波冲击电流耐受试验	1.0% (不少于 5 片)
2	大电流冲击耐受试验	5 片
3	加速老化试验	3 只试品

注 1 制造厂应至少半年对电阻片进行一次方波电流、加速老化试验和大电流冲击耐受试验；  
 2 加速老化试验中  $K_a$  值应不大于型式试验中加速老化试验所得的  $K_a$  值。若大于时，应重做动作负载试验；  
 3 多柱避雷器做方波冲击电流耐受试验时，其每片电阻片的方波电流值应考虑电流分布不均匀程度。

表 19 避雷器例行试验项目

序 号	试 验 项 目 名 称	试 验 要 求	
		无间隙避雷器	有间隙避雷器
1	持续电流试验	要求	要求
2	标称放电电流残压试验	要求	要求
3	工频参考电压试验	要求	—
4	直流参考电压试验	要求	—
5	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	要求	—
6	密封性能试验	要求	要求
7	局部放电试验	要求	要求
8	多柱避雷器电流分布试验	要求	—
9	工频放电电压试验	—	要求
10	冲击放电电压试验	—	要求
11	复合外套外观检查	复合外套避雷器要求	

### 9.5 验收试验

按需方的要求或订货规定，抽取大于订购避雷器数量立方根的最小整数进行下列项目的试验。

- a) 外观检查；
- b) 持续电流（全电流或阻性电流）试验；
- c) 工频或直流参考电压试验（无间隙避雷器），0.75 倍直流参考电压下漏电流试验；
- d) 残压试验；
- e) 局部放电试验；
- f) 密封试验；
- g) 工频放电电压试验（有间隙避雷器）；
- h) 冲击放电电压试验（有间隙避雷器）。

### 9.6 交接试验

基建单位向运行单位移交设备时进行的试验，试验项目如下：

- a) 无间隙避雷器。
  - 1) 测量绝缘电阻。
  - 2) 测量直流参考电压及 75% 直流参考电压下的漏电流；直流参考电压应不低于出厂值的 95%，75% 直流参考电压下的漏电流应不大于标准规定值。
  - 3) 在系统运行电压下测量避雷器的持续电流（全电流和阻性电流），这个值可能与出厂值有差别，但应不大于出厂值的 30%，这个值可以作为避雷器投产后的初始电流值。
- b) 有间隙避雷器。
  - 1) 测量绝缘电阻，35kV 及以下避雷器的绝缘电阻应不低于 1000MΩ（使用 2500V 兆欧表）；35kV 以上避雷器的绝缘电阻应不低于 2500MΩ（使用 5000V 兆欧表）。
  - 2) 工频放电电压测量值应符合标准规定。

### 9.7 预防性试验

- a) 无间隙避雷器：
  - 1) 在系统电压下测量避雷器的全电流或阻性电流，当阻性电流增加到初始值的 2 倍时应停电检查；
  - 2) 同 9.6a) 1)；
  - 3) 同 9.6a) 2)。

试验注意事项：测量避雷器电流时应记录气象条件，特别是环境温度。测量工频或直流参考电压时，应以工频或直流参考电流为基础，即当避雷器电流达到生产厂规定的参考电流时，读取试验电压值作为避雷器的参考电压，而不应将试验电压升到参考电压后看避雷器是否超过规定的参考电流值。

- b) 有间隙避雷器
  - 1) 同 9.6b) 1)；
  - 2) 同 9.6b) 2)。

## 10 带电测量

### 10.1 总则

为了掌握无间隙金属氧化物避雷器在系统运行下的工作状态，通常对其进行带电测量，带电测量分为定期测量、非定期测量和在线监测。

避雷器的带电测量主要测量在系统电压作用下通过避雷器的漏电流，该电流包括三部分：

- a) 电阻片柱的漏电流；
- b) 绝缘支架的漏电流；

## c) 绝缘外套的漏电流。

性能正常的避雷器的漏电流，电阻片的漏电流（全电流  $I_X$ ）是主要的部分。避雷器劣化或存在隐患时全电流  $I_X$  将增大。全电流  $I_X$  由电阻性分量  $I_r$  和电容性分量  $I_c$  组成。避雷器内部受潮或电阻片性能劣化时， $I_r$  反映最灵敏。当避雷器的漏电流  $I_X$  有明显变化时还应注意对底座绝缘或外套表面状况的影响。

目前常用的监测仪表有交流微安表和漏电流测试仪。后者通常可以测量全电流、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。

避雷器运行中的监视还应包括在雷雨季节中经常检查记录器的动作情况。

## 10.2 测量

测量时应记录电压、环境温度、大气条件以及外套污秽状况等运行条件。

新投产的 110kV 及以上避雷器应三个月后测量一次，三个月以后半年再测量一次。以后每年雷雨季节前测量一次，应在晴朗天气下进行。

测量结果与出厂或投运时，以及前几次的数据进行比较，如发现异常可与同类设备的测量数据进行比较。必要时可停电进行直流参考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。对系统标称电压 220kV 及以上避雷器还应考虑邻相电场的影响。

有条件时，可开展在线监测工作。