

前 言

本标准等效采用国际标准 IEC 60099-4:1991(第一版)《避雷器 第4部分:交流系统用无间隙金属氧化物避雷器》(以下简称 IEC 60099-4)。

等效采用 IEC 60099-4 是促进我国交流系统用无间隙金属氧化物避雷器技术进步、提高避雷器质量和市场竞争能力的重要手段,是加快与国际惯例接轨的重要措施,是尽快适应国际经济贸易和技术交流的需要。

本标准中避雷器的技术要求、特性参数及试验方法等技术内容均遵循与 IEC 60099-4 一一对应。

本标准中所采用的术语、符号、单位等力求与 IEC 60099-4 一致。

本标准的编写与 IEC 60099-4 略有不同,但标准的编写格式、方法与 GB/T 1.1、GB/T 1.2 一致。技术内容上与 IEC 60099-4 仅有一些小的差异。

本标准与 IEC 60099-4 的主要差异是:

——避雷器分类在遵循 IEC 60099-4 按标称放电电流分类的同时,并附有“备注”,标明避雷器使用场合;

——遵循 IEC 60099-4 附录 K 的规定原则,根据我国具体情况增列了表 6~表 12 典型避雷器特性参数;

——按 GB/T 1634 原则增补了 IEC 60099-4“正在考虑之中”的避雷器耐污秽等级和相应的爬电比距要求。

本标准在力求与 IEC 60099-4 一致的基础上,保留了 GB 11032—1989 中部分仍有指导和使用价值而在 IEC 60099-4 中处于“正在考虑之中”的技术内容,如:

——避雷器的机械性能要求及试验、检验方法;

——避雷器的耐污秽性能要求及试验、检验方法;

——避雷器的密封性能试验及检验方法。

本标准也同时完善和增补了 IEC 60099-4 及 GB 11032—1989 中未提出的技术内容,如:

——0.75 倍直流 1 mA 参考电压下漏电流试验、检验方法。……

本标准附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 均为标准的附录。

本标准附录 F、附录 G、附录 H、附录 J、附录 K、附录 L 均为提示的附录。

本标准自实施之日起,同时代替 GB 11032—1989。

本标准由国家机械工业局提出。

本标准由全国避雷器标准化技术委员会归口。

本标准由西安电瓷研究所、电力部电力科学研究院、武汉高压研究所负责起草。

本标准主要起草人:张文化、郭洁、樊力、王维洲。

本标准于 1989 年首次发布,于 2000 年 1 月第一次修订。

本标准由西安电瓷研究所负责解释。

IEC 前言

- 1 IEC 在技术问题上的正式决定或协议,均由各技术委员会提出,代表了特别关切这些问题的所有国家委员会,它们尽可能地表达出对所涉及的问题在国际上的一致意见。
- 2 这些决定或协议以推荐标准的形式供国际上使用,并在此意义上为各国家委员会所接受。
- 3 为了促进国际上的一致,IEC 希望所有国家委员会应在本国条件允许的情况下,采用国际电工委员会(IEC)正文所推荐的规则作为国家标准。IEC 所推荐的规则与相应的国家标准若有任何分歧,应尽可能在国家标准中明确指出。

IEC 99 国际标准之本部分由 IEC 第 37(避雷器)技术委员会起草。

此部分的正文基于下列文件:

DIS(国际标准草案)	投票报告
37(中办)38	37(中办)45

上表所示的投票报告中记载了批准此部分投票结果的全部资料。

附录 A、B、C、D 为本标准的组成部分。

附录 E、F、G、H、J、K 仅为参考资料。

中华人民共和国国家标准

交流无间隙金属氧化物避雷器

Metal oxide surge arresters without gaps for a. c. systems

GB 11032—2000
eqv IEC 60099-4:1991

代替 GB 11032—1989

1 总则

1.1 范围

本标准适用于为限制交流电力系统过电压而设计的无间隙金属氧化物避雷器(以下简称避雷器)。

本标准基本上适用于各种金属氧化物避雷器,但是对复合外套、GIS、浸入液体和其他特殊设计的避雷器在设计、试验和使用时应做特殊考虑。

1.2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中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。

GB 191—1990 包装储运图示标志

GB 311.1—1997 高压输变电设备的绝缘配合(neq IEC 71-1:1993)

GB/T 775.3—1987 绝缘子试验方法 第3部分:机械试验方法

GB/T 2900.12—1989 电工名词术语 避雷器(neq IEC 99-1)

GB/T 2900.19—1994 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合(neq IEC 60-1)

GB/T 7354—1987 局部放电测量(neq IEC 270:1981)

GB/T 11604—1989 高压电器设备无线电干扰测试方法(eq v IEC 18:1983)

GB/T 16434—1996 高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准

GB/T 16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分:一般试验要求(eq v IEC 60-1:1989)

GB/T 16927.2—1997 高电压试验技术 第二部分:测量系统(eq v IEC 60-2:1994)

JB/T 7618—1994 避雷器密封试验 浸泡法

2 定义

本标准采用下列定义。

本标准所用术语,除按标准规定外,其余应符合 GB/T 2900.12 及 GB/T 2900.19 的规定。

2.1 无间隙金属氧化物避雷器

由非线性金属氧化物电阻片串联和(或)并联组成且无并联或串联放电间隙的避雷器。

2.2 非线性金属氧化物电阻片

避雷器的主要工作部件。由于其具有非线性伏安特性,在过电压时呈低电阻,从而限制避雷器端子间的电压,而在正常工频电压下呈现高电阻(非线性金属氧化物电阻片,以下简称电阻片)。

2.3 避雷器内部均压系统

并联于一片或一组电阻片上的均压阻抗,主要是均压电容器,以控制沿电阻片柱的电压分布。

2.4 避雷器均压环

一种金属部件,通常是圆环形,用以改善静电场下避雷器的电压分布。

2.5 避雷器比例单元

一个完整的、组装好的避雷器部件。对某种特定试验,该部件必须代表整只避雷器的特性。避雷器比例单元不一定是避雷器元件。

2.6 避雷器元件

一个完全封装了的避雷器部件。可与其他元件串联和(或)并联,构成更高额定电压和(或)更高标称放电电流等级的避雷器。

2.7 避雷器压力释放装置

用于释放避雷器内部压力的装置,并防止外套由于避雷器的故障电流或内部闪络时间延长而发生爆炸。

2.8 避雷器额定电压(U_r)

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。

2.9 避雷器持续运行电压(U_c)

允许持久地施加在避雷器端子间的工频电压有效值。

2.10 避雷器额定频率

避雷器设计使用的电力系统的频率。

2.11 雷电冲击电流

一种 8/20 波形冲击电流。因设备调整的限制,视在波前时间的实测值为 $7\ \mu\text{s}\sim 9\ \mu\text{s}$ 波尾视在半峰值时间为 $18\ \mu\text{s}\sim 22\ \mu\text{s}$ 。

2.12 长持续时间冲击电流

一种方波冲击电流,其迅速上升到最大值,在规定时间内大体保持恒定,然后迅速降至零值的冲击波。定义方波冲击电流的参数为:极性、峰值、峰值视在持续时间和总的视在持续时间。

2.13 冲击波的视在原点

在电压对时间或电流对时间的曲线上,通过冲击波前上两个参考点所画直线与零值电压或零值电流的时间轴相交所确定的点。对于冲击电流,两个参考点为峰值的 10% 及 90%。

注

1 此定义仅适用于纵坐标和横坐标尺寸为线性标度时。

2 如果在波前振荡时,10% 和 90% 的参考点应在通过振荡的平均曲线上取值。

2.14 冲击电流视在波前时间(T_1)

以微秒表示的时间,其值等于电流峰值的 10% 增加到电流峰值的 90% 所需时间的 1.25 倍。

注:如果在波前上有振荡,在 10% 和 90% 的两个参考点应在通过振荡的平均曲线上取值。

2.15 击穿

穿过固体介质的破坏性放电。

2.16 破坏性放电

绝缘在电负荷下破坏而发生的现象,包括电压突降和电流导通。本术语用于固体、液体、气体介质或其组合体的电击穿。

注:在固体介质中破坏性放电造成电气强度永久性丧失,而在液体或气体介质中电气强度之丧失可能是短时的。

2.17 闪络

在固体表面上的一种击穿放电。

2.18 冲击

一种无明显振荡的单极性的电压或电流波,它迅速上升到最大值,然后通常缓慢地下降到零,即使带有反极性振荡,其幅值也很小。

定义冲击电流和冲击电压的参数是:极性、峰值、波前时间和波尾降至半峰值时间。

2.19 冲击波形表示

两数值的组合,第一个 T_1 表示视在波前时间,第二个 T_2 表示视在波尾半峰值的时间,时间单位均为 μs ,写作 T_1/T_2 ,符号“/”无数学意义。

2.20 陡波冲击电流

视在波前时间为 $1\mu\text{s}$ 的一种冲击电流。因设备调整的限制,实测值为 $0.9\mu\text{s}\sim 1.1\mu\text{s}$ 。视在波尾半峰值时间不应大于 $20\mu\text{s}$ 。

注:波尾半峰值时间不是重要的,在残压型式试验时可有任意偏差,见 8.3。

2.21 冲击峰值

冲击电压或冲击电流最大值,叠加的振荡可忽略不计,见 8.4.2c 和 8.5e。

2.22 冲击波前

冲击波峰值以前的部分。

2.23 冲击波尾

冲击波峰值以后的部分。

2.24 冲击波前的视在陡度

冲击波峰值与视在波前时间之商。

2.25 冲击波尾半峰值的视在时间(T_2)

视在起点与电压或电流降至峰值一半的时间间隔,该时间用 μs 表示。

2.26 方波冲击的视在峰值持续时间

冲击波幅值大于其峰值 90% 的时间。

2.27 方波冲击的视在总持续时间

冲击波幅值大于其峰值 10% 的时间。如在波前出现有小振荡时,应画出平均曲线以确定达到 10% 的时间。

2.28 冲击波反极性峰值

冲击电压或电流波在达到永久零值前,在零值附近振荡时反极性最大幅值。

2.29 避雷器的放电电流

避雷器动作时通过避雷器的冲击电流。

2.30 避雷器的标称放电电流(I_n)

用来划分避雷器等级的、具有 8/20 波形的雷电冲击电流峰值。

2.31 避雷器的大电流冲击

冲击波形为 4/10 的放电电流峰值,用于试验避雷器在直击雷时的稳定性。

2.32 避雷器的操作电流冲击

视在波前时间大于 $30\mu\text{s}$ 但小于 $100\mu\text{s}$,视在波尾半峰值时间约为视在波前时间 2 倍的放电电流峰值。

2.33 避雷器的持续电流

施加持续运行电压时流过避雷器的电流。

为了比较,持续电流可用有效值或峰值表示。

注:持续电流由阻性和容性分量组成,随温度、杂散电容和外部污秽影响而变化。因此试品持续电流可不同于整只避雷器的持续电流。

2.34 避雷器的参考电压(U_{ref})

参考电压分为工频参考电压($U_{a.c.ref}$)和直流参考电压($U_{d.c.ref}$)。

2.34.1 避雷器的工频参考电压($U_{a.c.ref}$)

在避雷器通过工频参考电流时测出的避雷器的工频电压最大峰值除以 $\sqrt{2}$ 。多元件串联组成的避

雷器的电压是每个元件工频参考电压之和。

注：测量工频参考电压对动作负载试验中正确选择试品是必需的。

2.34.2 避雷器的直流参考电压($U_{d.c.ref}$)¹⁾

在避雷器通过直流参考电流时测出的避雷器的直流电压平均值。

注：测量直流参考电压对动作负载试验中正确选择试品是必需的。

2.35 避雷器的参考电流

2.35.1 避雷器的工频参考电流

用于确定避雷器工频参考电压的工频电流阻性分量的峰值(如果电流是非对称的,取两个极性中较高的峰值)。工频参考电流应足够大,使杂散电容对所测避雷器或元件(包括设计的均压系统)的参考电压的影响可以忽略,该值由制造厂规定。

注

1 工频参考电流取决于避雷器的标称放电电流及(或)线路放电等级。对单柱避雷器,参考电流值的典型范围为每平方厘米电阻片面积 $0.05\text{ mA} \sim 1.0\text{ mA}$ 。

2 在工频参考电流波形因极性而不对称情况下,应取两极性中较高的电流来确定参考电流。

2.35.2 避雷器的直流参考电流²⁾

用于确定避雷器直流参考电压的直流电流平均值。

注：避雷器直流参考电流通常取 $1\text{ mA} \sim 5\text{ mA}$ 。

2.36 0.75 倍直流参考电压下漏电流³⁾

在 0.75 倍直流参考电压下流过避雷器的漏电流。

2.37 避雷器的残压(U_{res})

放电电流通过避雷器时其端子间的最大电压峰值。

2.38 避雷器的工频电压耐受时间特性

在规定条件下,对避雷器施加不同的工频电压,避雷器不损坏,不发生热崩溃时所对应的最大持续时间的关系曲线。

2.39 回路预期电流

在回路给定点,用可忽略阻抗的导体短接时,在该导体上流过的电流。

2.40 避雷器的保护特性

由以下各项组合：

- a) 陡波电流冲击下残压；
- b) 雷电冲击电流下残压；
- c) 操作冲击电流下残压。

避雷器的雷电(过电压)保护水平是取下列两项的较高者；

- 陡波电流冲击下最大残压除以 1.15；
- 标称放电电流下最大残压。

避雷器的操作冲击保护水平是规定的操作冲击电流下的最大残压。

2.41 避雷器的热崩溃

“热崩溃”是描述当避雷器承受的持续功率损耗超过外套和连接件的散热能力引起电阻片的温度升

采用说明：

- 1) 在 IEC 60099-4 中无此定义。按照 DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》(下称 DL/T 596)规定,此项试验为避雷器运行中预防性必备试验项目,因而增加此项定义。
- 2) 在 IEC 60099-4 中无此定义。由于增补了“2.34.2 避雷器的直流参考电压”,因而相应地必须增加此项定义。
- 3) 在 IEC 60099-4 中无此定义。按照 DL/T 596 规定,此项试验为避雷器运行中预防性必备试验项目,因而增加此项定义。

高,最终导致避雷器损坏的过程。

2.42 避雷器的热稳定

避雷器热稳定是指避雷器在动作负载试验后引起温度上升,在规定的条件下对避雷器施加规定的持续运行电压,电阻片的温度能随时间而下降,则称此避雷器是热稳定的。

2.43 避雷器脱离器

避雷器损坏时,使避雷器引线系统与系统断开以排除系统持续故障,并给出事故避雷器的可见标志的一种装置。

注:脱离器脱离时切断流经避雷器的故障电流通常不是该装置的功能。

2.44 型式试验(设计试验)

完成一种新的避雷器设计开发时所做的试验,以确定代表性的性能,并证明符合有关标准。且做了这些试验,无需重做,除非设计改变而改变其性能时,这时,只需重做有关项目试验。

2.45 例行试验

按要求对每只避雷器或部件或材料进行的试验,以保证产品符合设计规范。

2.46 验收试验

经供需双方协议,对订购的避雷器或代表性试品所做的试验。

2.47 定期试验¹⁾

制造厂在特殊情况下或规定的年限内而进行的产品质量监督试验。

2.48 抽样试验¹⁾

对产品主要元件,按批次以一定比例抽取试品进行抽样检查以控制产品质量的试验。

3 标志和分类

3.1 避雷器标志

避雷器应以下述最少资料永久地标志在避雷器名牌上:

- 持续运行电压;
- 额定电压;
- 直流 1 mA 参考电压;¹⁾
- 额定频率(如避雷器额定频率与 4.2 的频率相同时,可以不标志);
- 标称放电电流;
- 压力释放额定电流, kA(有效值)(用于带有压力释放装置的避雷器),见 6.14;
- 制造厂名或商标,避雷器型号和标志;
- 元件装配位置标志(仅用于多元件避雷器);
- 制造年、月;
- 编号(额定电压 42 kV 及以上的避雷器)。

注:如果有足够多的位置、名牌上还应包含:

- 线路放电等级或强雷电负载种类,见附录 C;
- 避雷器外套的污秽耐受水平。

3.2 避雷器分类²⁾

避雷器按其标称放电电流分类。见表 1。

采用说明:

1) 在 IEC 60099-4 中无此定义。为了确保避雷器产品生产稳定性和产品质量,增加此项定义和要求。

2) 表 1 避雷器分类在遵循 IEC 60099-4 表 1 分类原则的前提下,根据我国电网实际情况增附了“备注”。

IEC 60099-4 表 1 中的试验要求按 GB/T 1.1 编写格式要求列入本标准表 13 中,并增加了 1、4、5、10、11、12 六项试验项目。表 1 中标称放电电流 I_n 所对应的避雷器额定电压 U_n 范围与 IEC 60099-4 表 1 规定的避雷器额定电压范围略有不同。这主要是针对我国电网的实际使用情况。

表 1 避雷器分类

标称放 电电流 I_n	20 kA	10 kA	5 kA					2.5 kA	1.5 kA		
避雷器 额定电压 U_r , kV (有效值)	$420 \leq U_r$ ≤ 468	$90 \leq U_r$ ≤ 468	$4 \leq U_r$ ≤ 25	$5 \leq U_r$ ≤ 17	$5 \leq U_r$ ≤ 90	$5 \leq U_r$ ≤ 108	$42 \leq U_r$ ≤ 84	$4 \leq U_r$ ≤ 13.5	$0.28 \leq U_r$ ≤ 0.50	$2.4 \leq U_r$ ≤ 15.2	$60 \leq U_r$ ≤ 207
备注	电站用 避雷器		发电机 用避雷 器	配电用 避雷器	并联补 偿电容 器用避 雷器	电站用 避雷器	电气化 铁道用 避雷器	电动机 用避雷 器	低压 避雷器	电机中 性点用 避雷器	变压器 中性点 用避雷 器

4 标准额定值

4.1 标准额定电压

避雷器的额定电压标准值, kV(有效值), 在规定的电压范围内以相等的电压级差列于表 2。

表 2 额定电压级差

kV

额定电压范围	额定电压级数
<3	正在考虑中
3~30	1
30~54	3
54~96	6
96~288	12
288~396	18
396~756	24
注: 其他额定电压值也可接受, 但需是 6 的倍数。	

4.2 标准额定频率

标准额定频率为 50 Hz 和 60 Hz。

4.3 标准标称放电电流

标准 8/20 标称放电电流为: 20 kA, 10 kA, 5 kA, 2.5 kA, 1.5 kA。

5 运行条件

5.1 正常运行条件¹⁾

符合本标准的避雷器在下述正常运行条件下应能正常运行。

a) 环境温度不高于 +40℃, 不低于 -40℃;

b) 太阳光的辐射;

注: 太阳最大照射 (1.1 kW/m²) 的影响已通过型式试验中把试品预热的方法予以考虑, 如果在避雷器附近有其他热源, 避雷器的使用需经供需双方协商。

采用说明:

1) IEC 60099-4 无此内容。

- c) 海拔不超过 1 000 m;
- d) 电源的频率不小于 48 Hz, 不超过 62 Hz;
- e) 长期施加在避雷器端子间的工频电压应不超过避雷器的持续运行电压;
- f) 地震烈度 7 度及以下地区;¹⁾
- g) 最大风速不超过 35 m/s。

5.2 异常运行条件

异常运行条件见附录 A 的规定。

在异常运行条件下, 本标准的使用需经供需双方协商。

6 技术要求

6.1 避雷器外套的绝缘耐受性能²⁾

避雷器外套的绝缘耐受电压应根据避雷器使用的系统标称电压按 GB 311.1 中对高压电器外绝缘的规定进行绝缘耐受试验。

对变压器中性点用避雷器、电机中性点用避雷器以及某些特殊用途的避雷器, 可按以下要求对避雷器外套进行绝缘耐受试验。

避雷器外套应耐受下列雷电冲击电压:

——避雷器雷电冲击保护水平乘以 1.4。

避雷器外套应耐受下列工频电压, kV(峰值):

——避雷器雷电冲击保护水平乘以 0.88, 持续时间 1 min。

低压避雷器外套绝缘耐受电压见表 3。

表 3 低压避雷器外套的绝缘耐受电压

kV

避雷器额定电压 (有效值)	短时 1 min 工频耐受电压(干试) (有效值)不小于	短时 1 min 工频耐受电压(湿试) (有效值)不小于
0.28	3.0	2.0
0.50	4.0	2.5

6.2 参考电压

6.2.1 避雷器的工频参考电压

每只避雷器的参考电压应在制造厂选定的参考电流下由制造厂测量, 见 8.13。在例行试验中, 应规定选用的参考电流下的避雷器最小参考电压值, 并应在制造厂的资料中公布。

6.2.2 避雷器的直流 1 mA 参考电压

对整只避雷器(或避雷器元件)测量直流 1 mA 参考电流下的直流参考电压值即 U_{1mA} , 其值应不小于表 6~表 12 的规定。

6.3 避雷器的持续电流

在持续运行电压下通过避雷器的持续电流应不超过规定值, 该值由制造厂规定和提供。

6.4 0.75 倍直流参考电压下漏电流

$0.75U_{1mA}$ 下漏电流一般不超过 50 μA 。多柱并联和额定电压 216 kV 以上的避雷器漏电流由制造厂

采用说明:

1) IEC 60099-4 正在考虑之中。

2) 在 IEC 60099-4 中的 5.1 避雷器外套的绝缘耐受要求与我国 GB 311.1 和 GB/T 16927.1 的要求不一致。所以本标准对避雷器外套的绝缘耐受要求按 IEC 60099-4 进行了调整且严于 IEC 60099-4 要求, 配合系数由 1.3 改为 1.4, 并明确规定了变压器中性点、电机中性点用避雷器及某些特殊用途避雷器绝缘耐受值。

和用户协商规定。

6.5 避雷器的残压

测量残压的目的是为了获得各种规定的电流和波形下某种给定设计的最大残压。这些残压可从型式试验数据中得到,也可从制造厂规定的和公布的例行试验用的雷电冲击电流下的最大残压中得到。

对于任何电流和波形,某种给定的避雷器设计的最大残压可从型式试验时被试的比例单元的残压乘以比例系数算出。比例系数等于公布的最大残压(例行试验时已被检验)与在同样电流和波形下比例单元所测残压之比。避雷器在陡波、雷电、操作冲击电流下残压值应不大于表 6~表 12 规定。

注:对于额定电压低于 42 kV 的避雷器,可用直流参考电压或工频参考电压来代替残压的计算。

6.6 避雷器的局部放电和无线电干扰电压¹⁾

额定电压 2.4 kV 及以上避雷器应测定局部放电量。额定电压 96 kV 及以上避雷器,还应测定其无线电干扰电压。

避雷器在 1.05 倍持续运行电压下的局部放电量应不大于 50 pC。

避雷器在 1.05 倍持续运行电压下的无线电干扰电压应不大于 2 500 μ V。

6.7 避雷器的密封性能

带密封封壳的避雷器元件应无任何可测到的泄漏。

6.8 多柱避雷器的电流分布

制造厂应规定多柱避雷器一柱中的最大电流值。

6.9 避雷器的热稳定

经供需双方协商,可按 9.2.2 进行专门的热稳定试验。

6.10 长持续时间电流冲击耐受

避雷器应耐受在型式试验时校核的长持续时间电流冲击的考核。

对 10 kA 和 20 kA 等级避雷器及 5 kA 等级(额定电压 90 kV 及以上)避雷器,应按用户要求的线路放电等级通过线路放电试验(见 8.4.2)验证长持续时间耐受能力。

对 1.5 kA 和 2.5 kA 等级避雷器及 5 kA 等级(额定电压 90 kV 以下)避雷器,应通过方波电流冲击试验(见 8.4.3)验证长持续时间耐受能力。

长持续时间电流冲击耐受试验后观察试品,电阻片应无击穿、闪络、破碎或其他明显损伤的痕迹,且试验前后残压变化应不大于 5%。

6.11 大电流冲击耐受

大电流冲击耐受用于抽样试验,以及大电流冲击动作负载试验、强雷电负载避雷器动作负载试验,操作冲击动作负载试验的预备性试验、工频电压耐受时间特性试验和避雷器热稳定试验。

大电流冲击耐受要求见 8.5。

6.12 动作负载

避雷器应能耐受动作负载试验(见 8.6)所示的运行中出现的各种负载。这些负载不应引起损坏或热崩溃。

对 1.5 kA, 2.5 kA, 5 kA(额定电压 90 kV 以下,并联补偿电容器用避雷器除外)以及强雷电负载避雷器(见附录 C),用大电流冲击动作负载试验验证,见 8.6.4 和图 1 或图 C1。

对 10 kA、20 kA 等级的避雷器,应用操作冲击动作负载试验验证,见 8.6.5 和图 2。

对并联补偿电容器用避雷器和放电等级 5 kA(额定电压 90 kV 及以上电站用)避雷器也应用操作

采用说明:

1) 在 IEC 60099-4 中仅列出“局部放电”,“无线电干扰电压”要求现在正处于讨论之中。IEC 60099-4 局部放电量规定不大于 50 pC,如果生产厂能做到更小值,应在制造厂的资料中公布。

冲击动作负载试验验证¹⁾。

如果达到热稳定,试验后检查试品,若电阻片无击穿、闪络或破损的痕迹,试验前后残压变化不大于5%,则避雷器通过试验。

6.13 避雷器工频电压耐受时间特性

制造厂应提供避雷器在预热到 60℃并分别经受大电流或线路放电等级能量负载后,允许施加在避雷器上工频电压的持续时间及相应的工频电压值,而不发生损坏或热崩溃的数据。

提出的资料应为工频电压与时间的曲线,且在曲线上应标明施加工频电压前的冲击能量消耗。

注

1 该曲线对于选择避雷器额定电压是必要的。避雷器的额定电压由当地系统条件(如雷电、操作和暂时过电压)决定。

2 暂时过电压曲线应包括时间范围为 0.1 s 到 20 min。对于使用在无清除接地故障装置的中性点绝缘系统或谐振接地系统,时间应扩大到 24 h。

工频电压耐受时间特性的试验程序按附录 D 进行。

6.14 压力释放

当避雷器装有压力释放装置时,避雷器故障不应引起外套粉碎性爆破。试验按表 4 规定的电流值进行试验。

额定电压 42 kV 及以上避雷器和保护发电机用避雷器应具有压力释放装置,并按表 4 规定的电流进行试验。

如果外套仍然完整或者外套发生非爆破性破裂并且试品的全部零部件落在规定的范围内时,则认为试品通过试验。

表 4 压力释放试验的电流值

避雷器等级	避雷器使用场合	大电流压力释放预期对称电流 kA(有效值)	小电流压力释放电流值 A(有效值)
20 kA	电站用避雷器	80	800
		63	
		40	
		20	
10 kA	电站用避雷器	40	
		20	
		10	
5 kA	电站用避雷器	16	
	并联补偿电容器用避雷器		
	发电机用避雷器		
	电气化铁道用避雷器	10	
2.5 kA	电动机用避雷器	5	
1.5 kA	中性点用避雷器		

6.15 脱离器

6.15.1 脱离器耐受

采用说明:

1) 依据我国电网的运行情况,并联补偿电容器用避雷器列入操作冲击动作负载试验中。

当避雷器装有脱离器或与脱离器相连时,脱离器应耐受下列各项试验而不动作。

——长持续时间电流冲击试验,见 8.8.2.1;

——动作负载试验,见 8.8.2.2。

6.15.2 脱离器动作

按照 8.8.3 对 20 A、200 A、800 A 3 种电流值确定脱离器的动作时间。脱离器应有有效和永久脱离的清晰标志。

6.16 避雷器的机械性能¹⁾

6.16.1 承受的长期机械力

避雷器在下述机械负荷共同作用下,应能可靠运行。

a) 避雷器顶端承受导线的最大允许水平拉力 F_1 ,其值按表 5 规定。

表 5 最大允许水平拉力 F_1

避雷器额定电压 kV(有效值)	2.4~25	42~90	96~216	288~468
最大允许水平拉力 N	147	294	490,980	980,1 470

b) 作用于避雷器上的风压力 F_2 应按式(1)计算:

$$F_2 = \frac{v_0^2}{16} \alpha S \times 9.8, \text{N} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: v_0 ——最大风速, m/s;

S ——避雷器的迎风面积(应考虑表面覆冰厚度 20 mm), m^2 ;

α ——空气动力系数,它依风速大小而定。

当 $v_0 \leq 35$ m/s 时, $\alpha = 0.8$ 。

6.16.2 承受地震力

制造厂应通过计算或试验,提供避雷器可承受的地震加速度能力。

6.17 避雷器的耐污秽性能²⁾

避雷器外套的最小公称爬电比距应符合以下要求:

I 级轻污秽地区 17 mm/kV;

II 级中等污秽地区 20 mm/kV;

III 级重污秽地区 25 mm/kV;

IV 级特重污秽地区 31 mm/kV。

III 级及以上重污秽地区用避雷器应做污秽试验,污秽等级划分及人工污秽试验方法见附录 E。

7 试验程序

7.1 测量设备和精度

测量设备应满足 GB/T 16927.2 的要求,所测数值精确度应符合有关试验条款要求。除另有规定外,所有工频电压试验的交流电压频率在 48 Hz 和 62 Hz 之间,且近似于正弦波。

7.2 试品

除另有规定,全部试验应在相同避雷器、避雷器比例单元或避雷器元件上进行。试品应是新的、干净的、装配完整的(如有均压环应装配上),并且尽可能模拟运行条件布置。

采用说明:

1) 在 IEC 60099-4 中对“避雷器的机械性能”要求正在考虑之中。

2) 在 IEC 60099-4 中对污秽条件目前无要求。按照 DL/T 596 要求,增加了此项内容和附录 E。

表 6 典型的电站和配电用避雷器参数(参考)

kV

避雷器 额定 电压 U_n (有效值)	避雷器 持续运 行电压 U_c (有效值)	标称放电电流 20 kA 等级						标称放电电流 10 kA 等级						标称放电电流 5 kA 等级					
		电站避雷器						电站避雷器						电站避雷器					
		陡波冲 击电流 残压	雷电冲 击电流 残压	雷电冲 击电流 残压	操作冲 击电流 残压	直流 1mA 参考电压 不小于	(峰值)不大于	陡波冲 击电流 残压	雷电冲 击电流 残压	雷电冲 击电流 残压	操作冲 击电流 残压	直流 1mA 参考电压 不小于	(峰值)不大于	陡波冲 击电流 残压	雷电冲 击电流 残压	雷电冲 击电流 残压	操作冲 击电流 残压	直流 1mA 参考电压 不小于	(峰值)不大于
5	4.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15.5	13.5	11.5	7.2	17.3	15.0
10	8.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31.0	27.0	23.0	14.4	34.6	30.0
12	9.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37.2	32.4	27.6	17.4	41.2	35.8
15	12.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	46.5	40.5	34.5	21.8	52.5	45.6
17	13.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	51.8	45.0	38.3	24.0	57.5	50.0
51	40.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	154.0	134.0	114.0	73.0	—	—
84	67.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	254	221	188	121	—	—
90	72.5	—	—	—	—	—	—	264	235	201	130	140	288	270	235	201	130	—	—
96	75	—	—	—	—	—	—	280	250	213	140	145	299	260	221	145	140	—	—
(100)*	78	—	—	—	—	—	—	291	260	221	145	148	305	266	226	148	148	—	—
102	79.6	—	—	—	—	—	—	297	266	226	148	157	323	281	239	157	157	—	—
108	84	—	—	—	—	—	—	315	281	239	157	157	323	281	239	157	157	—	—
192	150	—	—	—	—	—	—	560	500	426	280	280	—	—	—	—	—	—	—
(200)*	156	—	—	—	—	—	—	562	520	442	290	290	—	—	—	—	—	—	—
204	159	—	—	—	—	—	—	594	532	452	296	296	—	—	—	—	—	—	—
216	168.5	—	—	—	—	—	—	630	562	478	314	314	—	—	—	—	—	—	—
288	219	—	—	—	—	—	—	782	698	593	408	408	—	—	—	—	—	—	—
300	228	—	—	—	—	—	—	814	727	618	425	425	—	—	—	—	—	—	—
306	233	—	—	—	—	—	—	831	742	630	433	433	—	—	—	—	—	—	—
312	237	—	—	—	—	—	—	847	760	643	442	442	—	—	—	—	—	—	—
324	246	—	—	—	—	—	—	880	789	668	459	459	—	—	—	—	—	—	—
420	318	1 170	1 046	858	565	565	—	1 075	960	852	565	565	—	—	—	—	—	—	—
444	324	1 238	1 106	907	597	597	—	1 137	1 015	900	597	597	—	—	—	—	—	—	—
468	330	1 306	1 166	956	630	630	—	1 198	1 070	950	630	630	—	—	—	—	—	—	—

* 过渡。

表 7 典型的电气化铁道用避雷器参数(参考)

kV

避雷器 额定电压 U_r (有效值)	避雷器持续 运行电压 U_c (有效值)	标称放电电流 5 kA 等级			
		陡波冲击 电流残压	雷电冲击 电流残压	操作冲击 电流残压	直流 1 mA 参考电压
		(峰值)不大于			不小于
42	34.0	138.0	120.0	98.0	65.0
84	68	276	240	196	130

表 8 典型的并联补偿电容器用避雷器参数(参考)

kV

避雷器 额定电压 U_r (有效值)	避雷器持续 运行电压 U_c (有效值)	标称放电电流 5 kA 等级		
		雷电冲击 电流残压	操作冲击 电流残压	直流 1 mA 参考电压
		(峰值)不大于		不小于
5	4.0	13.5	10.5	7.2
10	8.0	27.0	21.0	14.4
12	9.6	32.4	25.2	17.4
15	12.0	40.5	31.5	21.8
17	13.6	46.0	35.0	24.0
51	40.8	134.0	105.0	73.0
84	67.2	221	176	121
90	72.5	236	190	130

表 9 典型的电机用避雷器参数(参考)

kV

避雷器 额定电压 U_r (有效值)	避雷器持续 运行电压 U_c (有效值)	标称放电电流 5 kA 等级				标称放电电流 2.5 kA 等级			
		发电机用避雷器				电动机用避雷器			
		陡波冲击 电流残压	雷电冲击 电流残压	操作冲击 电流残压	直流 1 mA 参考电压	陡波冲击 电流残压	雷电冲击 电流残压	操作冲击 电流残压	直流 1 mA 参考电压
		(峰值)不大于			不小于	(峰值)不大于			不小于
4	3.2	10.7	9.5	7.6	5.7	10.7	9.5	7.6	5.7
8	6.3	21.0	18.7	15.0	11.2	21.0	18.7	15.0	11.2
13.5	10.5	34.7	31.0	25.0	18.6	34.7	31.0	25.0	18.6
17.5	13.8	44.8	40.0	32.0	24.4	—	—	—	—
20	15.8	50.4	45.0	36.0	28.0	—	—	—	—
23	18.0	57.2	51.0	40.8	31.9	—	—	—	—
25	20.0	62.9	56.2	45.0	35.4	—	—	—	—

表 10 典型的低压避雷器参数(参考)

kV

避雷器 额定电压 U_r (有效值)	避雷器持续 运行电压 U_c (有效值)	标称放电电流 1.5 kA 等级	
		雷电冲击电流残压	直流 1 mA 参考电压
		(峰值)不大于	不小于
0.28	0.24	1.3	0.6
0.50	0.42	2.6	1.2

表 11 典型的电机中性点用避雷器参数(参考)

kV

避雷器 额定电压 U_r (有效值)	避雷器持续 运行电压 U_c (有效值)	标称放电电流 1.5 kA 等级		
		雷电冲击电流残压	操作冲击电流残压	直流 1 mA 参考电压
		(峰值)不大于		不小于
2.4	1.9	6.0	5.0	3.4
4.8	3.8	12.0	10.0	6.8
8	6.4	19.0	15.9	11.4
10.5	8.4	23.0	19.2	14.9
12	9.6	26.0	21.6	17.0
13.7	11.0	29.2	24.3	19.5
15.2	12.2	31.7	26.4	21.6

表 12 典型的变压器中性点用避雷器参数(参考)

kV

避雷器 额定电压 U_r (有效值)	避雷器持续 运行电压 U_c (有效值)	标称放电电流 1.5 kA 等级		
		雷电冲击电流残压	操作冲击电流残压	直流 1 mA 参考电压
		(峰值)不大于		不小于
60	48	144	135	85
72	58	186	174	103
96	77	260	243	137
144	116	320	299	205
207	166	440	410	292

当试验在比例单元上进行时,比例单元对于规定的试验必须能代表制造厂公差范围内所有可能的避雷器性能。

对于线路放电试验(见 8.4.2)和动作负载试验(见 8.6),试品参考电压值应选取制造厂宣布的变化范围的最低值。此外,对多柱避雷器应考虑电流分布不均匀的最大值。为了满足这些要求,需按下述规定执行:

a) 整只避雷器的额定电压与比例单元的额定电压比定义为 n 。试品中所用电阻片的最小体积应不大于整只避雷器所用的电阻片中最小体积除以 n 。

b) 被试比例单元的参考电压等于 kU_r/n ,其中 k 是避雷器的最小参考电压与其额定电压之比。当所选用的试品的 $U_{ref} > kU_r/n$ 时,系数 n 必须相应减小(当 $U_{ref} < kU_r/n$ 时,避雷器可能吸收过多的能量,这种比例单元只有在制造厂同意后方能采用)。

c) 对于多柱避雷器,各柱间的电流分布应按 8.17 所规定的电流分布试验时使用的冲击电流下测量(见 8.17),最大的电流值应不大于制造厂规定的上限。

8 型式试验(设计试验)

8.1 总则

型式试验按表 13 的要求进行。

8.2 外套的绝缘耐受试验

8.2.1 总则

外套的绝缘应进行电压耐受试验。如欲验证其余设计结构,试验需经供需双方协商。

试验应在 6.1 规定的条件和试验电压下进行,绝缘部件外表面应清洁,内部元件应取出或使之失效,使能做这项试验。

8.2.2 在避雷器元件外套上的试验

本试验应在最长的避雷器外套上进行。如果外套不能代表单位长度的电压梯度最高者时,则需要在具有最大电压梯度的避雷器元件外套上进行补充试验,内部零部件可用等价布置(如均压元件)来替代,并使沿避雷器轴向方向的电压成线性分布。

8.2.3 在组装的整只避雷器外套上试验¹⁾

避雷器应尽可能按实际运行情况安装。

试验时,避雷器外套的外表面应清洁干燥,避雷器内部电阻片及其他元件应除去。具体试验要求及方法应符合 6.1 规定和 GB 311.1、GB/T 16927.1 中的有关规定。

8.2.4 试验时环境空气条件

耐受试验时施加的电压值等于规定的耐受电压乘以考虑空气密度和湿度的校正系数,见 GB/T 16927.1。

湿试验时不做湿度修正。

8.2.5 湿试验程序

户外避雷器的外绝缘应按 GB/T 16927.1 给出的试验程序进行湿耐受试验。

8.2.6 雷电冲击电压试验

避雷器应按 GB/T 16927.1 进行干状态下的标准雷电冲击电压试验。

每种极性连续施加 15 次冲击试验电压,如果内部不发生闪络,且每 15 次冲击中外部闪络不超过 2 次时,则认为避雷器通过了试验。

如果干弧距离或干弧距离之和大于试验电压除以 500 kV/m,则本试验可免试。

8.2.7 操作冲击电压试验

额定电压 288 kV 及以上的 10 kA 和 20 kA 等级的避雷器应按 GB/T 16927.1 进行标准操作冲击电压试验。户外用避雷器应作湿试验,户内用避雷器应作干试验。

每种极性连续施加 15 次冲击试验电压,如果内部不发生闪络,且每 15 次冲击中外部闪络不超过 2 次时,则认为避雷器通过了试验。

8.2.8 工频电压耐受试验

本试验应在干、湿状态下进行,并要尽可能按实际运行情况安装。

8.3 残压试验

型式试验的残压试验目的是为了获得 6.5 所述的最大残压,包括各种规定冲击电流下残压与在例行试验中所检验的电压水平的比值,后者可用参考电压或者在 0.01 倍~2 倍标称放电电流范围内任一适当的雷电冲击电流下的残压,该电流值可依据制造厂例行试验程序来选定。

在制造厂资料中必须规定并公布例行试验用雷电冲击电流下最大残压,在各种规定的电流和波形下所测试验比例单元残压乘以公布的例行试验电流下的最大残压与在相同电流下所测比例单元残压之比便得到避雷器在该规定电流和波形下的最大残压。

雷电冲击残压允许用单个电阻片雷电冲击残压算术和代之。

对于额定电压 42 kV 及以下避雷器,在例行试验中制造厂可以选择仅检验参考电压,此时应规定最大参考电压。试验中所测得的比例单元残压乘以避雷器最大参考电压与试验比例单元所测参考电压之比便得到各种规定电流和波形的最大残压。

全部残压试验应在相同的 3 只完整避雷器或避雷器比例单元试品上进行。两次放电的间隔时间应足以使试品恢复到接近环境温度。对多柱避雷器,试验可以仅对取自 1 个柱的比例单元进行,此时试验电流值为规定电流幅值除以柱数。

8.3.1 陡波电流冲击残压试验

采用说明:

1) 在 IEC 60099-4 中在组装的整只避雷器外套上的试验正在考虑之中。

[illegible]

序 号	试验项目名称	试验 依据	试验 方法	试品数量	试 验 要 求										
					20 kA	10 kA	5 kA				2.5 kA	1.5 kA			
					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	电气化铁道 用避雷器	配电用 避雷器	发电机用 避雷器	电动机用 避雷器	低压 避雷器	中性点 避雷器	
8	外套的绝缘耐受试验	6.1	8.2	42 kV 及以上 1 只外套 42 kV 以下 3 只外套	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求
9	压力释放试验 a) 大电流压力释放试验 b) 小电流压力释放试验	6.14	8.7	1 只避雷器(或元件) 1 只避雷器(或元件)	要求 要求	要求 要求	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	6.16	8.9	42 kV 及以上 1 只避 雷器 42 kV 以下 3 只避雷器	要求	要求	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	6.2.2	8.14	额定电压 288 kV 及以 上避雷器 1 只,其余 3 只	要求	要求	要求	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	6.4	8.15	额定电压 288 kV 及以 上避雷器 1 只,其余 3 只	要求	要求	要求	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 电压试验	6.6	8.16	1 只避雷器	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	要求	—	要求	要求
14	人工污秽试验	6.17	8.11	1 只避雷器	Ⅲ 级及以上重污秽地区使用的产品要求										
15	多柱避雷器电流分布 试验	6.8	8.17	1 只避雷器	由多柱电阻片组成的避雷器要求										
16	脱离器试验	6.15	8.8	按要求	当避雷器带有脱离器时要求										

应对 3 只试品的每 1 只试品施加 1 次幅值等于避雷器标称放电电流(偏差 $\pm 5\%$)的陡波冲击电流,记录 3 次电压峰值。残压按 6.5 确定,最大值定为避雷器的陡波电流残压。所用电压测量回路的响应时间 T 和 T_1 应不超过 20 ns。电流测量回路响应时间应不超过 150 ns(见 GB/T 16927.2)。

8.3.2 雷电冲击残压试验

应对 3 只试品的每 1 只试品施加 3 次雷电电流冲击(见 2.11),其幅值分别约为避雷器标称放电电流的 0.5 倍、1 倍和 2 倍。视在波前时间应在 $7\ \mu\text{s}\sim 9\ \mu\text{s}$ 之间,而半峰值时间(无严格要求)可有任意偏差。残压按 6.5 确定。已确定的残压最大值应画成残压与电流的曲线。在曲线上相应于标称放电电流读取的残压,定义为避雷器雷电冲击保护水平。

注:如果整只避雷器例行试验在上述任一电流下不能进行时,则型式试验应补充进行电流在 0.01 倍 \sim 0.25 倍的标称放电电流范围内某一电流下的试验,以便与整只避雷器进行比较,也允许用单个电阻片残压的算术和代之。

若用户需要,制造厂也可提供 0.5 倍、2 倍避雷器标称放电电流下残压值,其规定值应由供需双方协商确定。

8.3.3 操作冲击残压试验¹⁾

应对 3 只试品的每 1 只试品施加 1 次操作电流冲击,其幅值等于表 14 中规定的幅值(偏差 $\pm 5\%$)。残压按 6.5 确定。最大值定为相应电流下避雷器的操作冲击残压。按表 14 规定的电流值测出的最大残压定义为避雷器的操作冲击保护水平。

表 14 避雷器操作冲击残压试验用电流值

避雷等级	避雷器使用场合	避雷器额定电压 kV(有效值)	操作冲击电流值 A(峰值)
20 kA	电站用避雷器	420~468	500 及 2 000
10 kA	电站用避雷器	90~216	125 及 500
		288~324	250 及 1 000
		420~468	500 及 2 000
5 kA	并联补偿电容器用避雷器	5~90	125 及 500
	电站用避雷器	5~84	250
		90~108	125 及 500
	发电机用避雷器	4~25	250
	电气化铁道用避雷器	42~84	500
	配电用避雷器	5~17	100
2.5 kA	电动机用避雷器	4~13.5	100
1.5 kA	变压器中性点用避雷器	60~207	500
	电机中性点用避雷器	2.4~15.2	100

8.4 长持续时间电流冲击耐受试验

8.4.1 总则

试验前,应对每只试品测量标称放电电流下雷电冲击残压,用作评价。

每种长持续时间电流冲击耐受试验应按照 7.2 和 8.1 规定对 3 只新的以前未经过任何试验(除上述规定的评价目的外)的整只避雷器、避雷器比例单元或电阻片上进行。试验期间电阻片可以暴露在敞开空气中,此静止空气的温度为 $20^\circ\text{C}\pm 15^\circ\text{C}$ 。若被试避雷器额定电压不小于 3 kV,则试品的额定电压应不小于 3 kV,但不必超过 6 kV。若避雷器的脱离器与避雷器设计成一体时,该试验必须按运行条件带

采用说明:

1) 在遵循 IEC 60099-4 表 3 原则的前提下,按我国国情增加了 5 kA、2.5 kA、1.5 kA 等级电流值要求。

脱离器进行。

每种长持续时间电流冲击试验由 18 次放电动作组成, 共分为 6 组, 每组 3 次, 2 次动作间隔时间为 50 s~60 s, 2 组之间的间隔时间应使试品冷却到接近环境温度。

在长持续时间电流冲击试验后且试品冷却到接近环境温度时, 要重复进行长持续时间电流冲击试验前的残压试验, 并与试验前残压值比较, 该值变化应不超过 5%。

试验后检查试品, 电阻片不应有任何击穿、闪络、破碎或者明显损坏的痕迹。

8.4.2 避雷器线路放电试验要求¹⁾

本试验是对试品施加电流冲击以模拟按表 15 所规定的线路参数下预充电线路通过试品放电所产生的冲击电流。

表 15 避雷器线路放电试验参数

避雷器等级	线路放电等级	线路波阻抗 Z Ω	峰值的视在 持续时间 T μs	充电电压 U_L kV(d.c.)
5 kA	1	$4.9U_r$	2 000	$3.2U_r$
10 kA				
10 kA	2	$2.4U_r$	2 000	$3.2U_r$
10 kA	3	$1.3U_r$	2 400	$2.8U_r$
10 kA	4	$0.8U_r$	2 800	$2.6U_r$
20 kA				
20 kA	5	$0.5U_r$	3 200	$2.4U_r$
U_r 为试品额定电压。 注 1 上表中等级 1~5 与逐级增高的放电要求相对应。合适的放电等级的选择是以系统要求为依据, 见附录 F。 2 试验回路波阻抗与表 15 规定的线路波阻抗的偏差应不大于 $\pm 10\%$ ²⁾				

根据表 15 的参数用下式确定注入到试品中能量(W):

$$W = U_{res} \cdot (U_L - U_{res}) \cdot 1/Z \cdot T$$

式中 U_{res} 是用表 14 中较低电流值对 3 只试品所测操作冲击残压的最低值。

试验可用满足下列要求的任何发生器进行:

- 冲击电流峰值的视在持续时间应为表 15 规定值的 T 值的 100%~120%;
- 冲击电流的视在总持续时间应不超过峰值视在持续时间的 150%;
- 振荡或起始过冲应不超过电流峰值的 10%。若有振荡, 应画一条平均曲线以确定峰值;
- 每只被试试品每次冲击承受的能量规定为: 第 1 次冲击应为上述计算值的 90%~110%, 其余各次冲击应为计算值的 100%~110%。

电流发生器应在电流过零后在冲击电流的视在总持续时间的 1 倍~2 倍间与试品断开。

附录 J 中描述了一种实用的试验回路的实例。

8.4.3 用于 5 kA、2.5 kA 和 1.5 kA 避雷器的长持续时间电流(方波冲击电流)要求

采用说明:

- 在遵循 IEC 60099-4 表 4 原则的前提下, 按我国国情增加了 5 kA 等级, 线路放电 1 级, 10 kA 等级, 线路放电 4 级要求。
- 在 IEC 60099-4 中无要求, 但考虑到试验结果的合理性、公正性、准确性, 增加了此项内容。

本试验所用发生器产生的冲击电流应满足下列要求：

- a) 峰值视在持续时间应为表 16 规定值的 100%~120%；
- b) 视在总持续时间应不超过峰值视在持续时间的 150%；
- c) 振荡或起始过冲应不超过电流峰值的 10%，若出现振荡，应画一条平均曲线以确定峰值；
- d) 第 1 次冲击的电流峰值应为表 16 规定值的 90%~110%，对其余各次冲击应为规定值的 100%~110%。

型式试验应在比例单元上进行。试品 3 只。试品应按 7.2 规定。

抽样试验在电阻片上进行，应从同批被试电阻片中抽取工频参考电压(或直流参考电压)最高的 5 片进行试验。

型式试验和抽样试验中，若仅有 1 只试品电流冲击试验次数不足 18 次时，可加倍数量抽取参考电压最高的电阻片重复试验。如试验合格，则认为试品合格。若其中仍有电流冲击试验次数不足 18 次的电阻片出现时，则认为试验没有通过。对于抽样试验允许降低参考电压(由制造厂自行规定)重新进行试验。试验合格后，则高于此参考电压的电阻片认为不合格。

本试验用方波发生器进行，若用触发点火系统，其能量不得超过主回路贮存能量的 0.5%。

表 16 避雷器长持续时间电流冲击(方波冲击电流)试验要求¹⁾

避雷器等级	避雷器使用场合	避雷器额定电压 kV(有效值)	电流冲击 2 000 μ s 方波电流 A(峰值)
5 kA	发电机用避雷器	4~25	400
	电站用避雷器	5~51	150
		84~90	400
	电气化铁道用避雷器	42~84	400
	并联补偿电容器用避雷器	5~90	400*
	配电用避雷器	5~17	75
2.5 kA	电动机用避雷器	4~13.5	200
1.5 kA	电机中性点用避雷器	2.4~15.2	200
	变压器中性点用避雷器	60~207	400
	低压用避雷器	0.28~0.50	50
* 如有更高要求，由供需双方协商。			

8.5 大电流冲击耐受试验

试验时，应从同批被试电阻片中抽取工频参考电压(或直流参考电压)最高者 5 片，进行此项试验。试品应耐受两次冲击，不应有击穿、闪络等损坏。两次之间间隔时间应能使电阻片冷却到环境温度。

试验电流值应按表 17 规定，波形为 4/10。波形调整范围如下：

- a) 电流峰值为规定值的 90%~110%；

采用说明：

- 1) 在 IEC 60099-4 中 5 kA 等级规定电流峰值为 75 A，峰值视在持续时间为 1 000 μ s，2.5 kA 等级规定电流峰值为 50 A，峰值视在持续时间为 500 μ s。根据我国电网运行情况，均做了偏严调整。

- b) 视在波前时间为 $3.5\ \mu\text{s} \sim 4.5\ \mu\text{s}$;
- c) 视在半峰值时间为 $9\ \mu\text{s} \sim 11\ \mu\text{s}$;
- d) 任何反极性电流波的振荡峰值应小于电流峰值的 20%;
- e) 允许冲击波上有小振荡,但其峰值应小于峰值的 5%。为了测量,可以用一条平均曲线确定峰值。

8.6 动作负载试验

8.6.1 总则

如 6.12 所述,本试验是对避雷器施加一定次数的规定冲击,并同时施加规定电压和频率的工频电源以模拟运行条件。电压测量的精度应为 $\pm 1\%$,并且从空载到满载电压峰值的变化不允许大于 1%。电压峰值与有效值之比与 $\sqrt{2}$ 的偏差不大于 2%。在动作负载试验期间,工频电压与规定值的偏差应不大于 $\pm 1\%$ 。

通过该项试验的主要要求是,避雷器在施加工频电压时能够逐渐冷却,即不出现热崩溃。因此要求被试避雷器比例单元的暂态及稳态热耗散能力等于或小于整只避雷器的热耗散能力,见 8.6.3。

试验程序包括:

- 初始测量;
- 预备性试验;
- 施加冲击;
- 测量和检查。

该程序见图 1、图 2 和附录 C 中图 C1。

试验应按 7.2 和 8.14 进行。在环境温度为 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 下对 3 只完整避雷器或避雷器比例单元试品进行。若被试避雷器的额定电压不小于 3 kV,则试品的额定电压应不小于 3 kV,但不必超过 12 kV。若避雷器的脱离器与避雷器设计成一体时,该试验必须按运行条件带脱离器进行,见 8.8。

对于额定电压 12 kV 以上的避雷器,因现有试验设备的限制,通常需要在避雷器比例单元上进行。重要的是施加在试品上的电压和通过试品的工频电流应尽可能代表整只避雷器的条件。

避雷器成功地通过动作负载试验的评价参数是电阻片的功率损耗。因此应在升高的试验电压 U_c^* 、 U_r^* 下对新电阻片进行动作负载试验。以使新电阻片在 U_c^* 、 U_r^* 下给出的功率损耗相同于已老化的电阻片分别在持续运行电压和额定电压下的功率损耗。升高的试验电压应按 8.6.2.2 中规定的加速老化程序确定。

施加于试验避雷器比例单元的工频电压应为整只避雷器的持续运行电压和额定电压除以相同的避雷器比例单元的节数 n ,见 7.2。

该电压 U_{c0} 等于 U_c/n 和 U_{r0} 等于 U_r/n 应按 8.6.2.2 修正,以确定升高的试验电压 U_c^* 、 U_r^* 。

注:图 1 和图 2 规定的预热温度 $60^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 是加权平均温度,它包括环境温度、太阳辐射以及避雷器外套上污秽的影响。

8.6.2 加速老化程序

本试验程序用以确定在动作负载试验中所使用的电压值 U_c^* 、 U_r^* (见图 1、图 2 和附录 C 中图 C1),这样动作负载试验允许在新的电阻片上进行。

注:本条是暂时的,因为电阻片的老化尚在研究之中。

8.6.2.1 试验程序

将已校正的最大持续运行电压 U_{c0} (见下述)施加到 3 只电阻片试品上 1 000 h,在 1 000 h 期间应控制电阻片的表面温度在 $115^\circ\text{C} \pm 4^\circ\text{C}$ 。加速老化期间,电阻片应置于避雷器中所使用的介质中。在这种情况下,老化试验应在处于封闭容器内的单片电阻片上进行,容器的容积应至少为电阻片体积的 2 倍,并且容器内的介质密度不能低于避雷器中介质密度。

注

- 1 如果制造厂能够证明在敞开的空气中进行的试验等价于在实际介质中进行的试验,则老化试验可以在敞开空气

中进行。

2 在避雷器正常的寿命期间,避雷器内电阻片周围的介质可能会变化,适合于这种变化的试验程序正在考虑中。

3 如果电阻片周围介质是液体或固体物质,老化试验程序需经供需双方协商。

用于本试验程序中的电压是电阻片在避雷器中应承受的校正后的最大持续运行电压(U_{ct}),该电压包括电压分布不均匀影响,该电压由下式确定:

$$U_{ct} = U_c(1 + 0.05L)$$

式中 L 是避雷器总高度,单位 m 。若制造厂宣称低于上式的值时,必须由电压分布测量或计算来证实。或者,若已通过测量或计算确定了多元件避雷器中每个元件的电压分布,则在电压分布最大的元件上使用该公式。

注:当使用不同于上述公式的程序时,确定电压分布所选用的程序细节(要考虑避雷器在运行中可能的安装布置),需经供需双方协商。

上述老化试验程序应在 3 只典型的电阻片元件试品上进行,试品的参考电压应满足 7.2 的要求。工频电压应满足 8.6.1 对动作负载试验规定的要求。

8.6.2.2 升高的额定电压和持续运行电压的确定

3 只试品应加热到 $115^\circ\text{C} \pm 4^\circ\text{C}$,在施加电压后 1 h~2 h 之间测量在电压 U_{ct} 下电阻片的功率损耗 P_{1ct} ,在不间断地施加 U_{ct} 计 $1\,000\text{ h} + {}^{+100}_{-0}\text{ h}$ 老化后,在相同条件下测量功率 P_{2ct} ,两项测量均应在允许的温度范围内进行且温度相差不大于 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

如果 P_{2ct} 等于或小于 P_{1ct} ,则使用的 U_{sc} 和 U_{sr} 可不作任何修改。

如果 P_{2ct} 大于 P_{1ct} ,则取每只试品所确定的比值 P_{2ct}/P_{1ct} 中比值最高者为 K_{ct} 。在环境温度下对 3 只新电阻片试品分别在 U_{sc} 和 U_{sr} 下测量功率损耗 P_{1c} 和 P_{1r} 。然后,提高电压,使相应的功率损耗 P_{2c} 和 P_{2r} 满足下列关系:

$$\frac{P_{2c}}{P_{1c}} = K_{ct} \quad \frac{P_{2r}}{P_{1r}} = K_{ct}$$

U_c^* 、 U_r^* 为提高了的三个电压中的最大者。

测量时间应尽可能短,以避免因加热而使功率损耗增加。

8.6.3 试品的热耗散特性

8.6.3.1 总则

在动作负载试验中,试品的性能在很大程度上取决于试品散热能力,即泄放能量后冷却下来的能力。因此若能从试验中获得准确的数据,则试品应具有等价于整只避雷器的瞬态和稳态的散热能力以及热容量。在同样的环境条件下,试品和整只避雷器中的电阻片当承受相同电压时,原则上应达到相同温度。

8.6.3.2 避雷器比例单元要求

本条规定了一个避雷器比例单元的热模型,当要求热等价时应遵循:

a) 模型在电性能和热性能上应代表被模拟避雷器工作元件的一部分。

b) 外套应满足下述要求:

1) 材料应与避雷器外套相同。

2) 内径应与避雷器内径相同($\pm 5\%$)。

3) 外套总重量应不大于被模拟避雷器的平均比例单元外套重量的 10%。

4) 外套应足够长,以容纳避雷器的比例单元,且两端的绝热量应调整到能满足附录 B 中所规定的热要求。

c) 试品内用于电气连接的电极线尺寸不得大于 3 mm 直径的铜线。

8.6.4 大电流冲击动作负载试验

本试验适用于 6.12 规定的 1.5 kA、2.5 kA、5 kA(额定电压 90 kV 以下)等级的避雷器以及附录 C

中强雷电负载避雷器。

完整的试验程序见图 1 或附录 C 中图 C1。

在预备性试验以前,作为动作负载试验的第一部分,应先分别测定 3 只试品(电阻片)在环境温度下的标称放电电流下的雷电冲击残压,见 8.3.2。

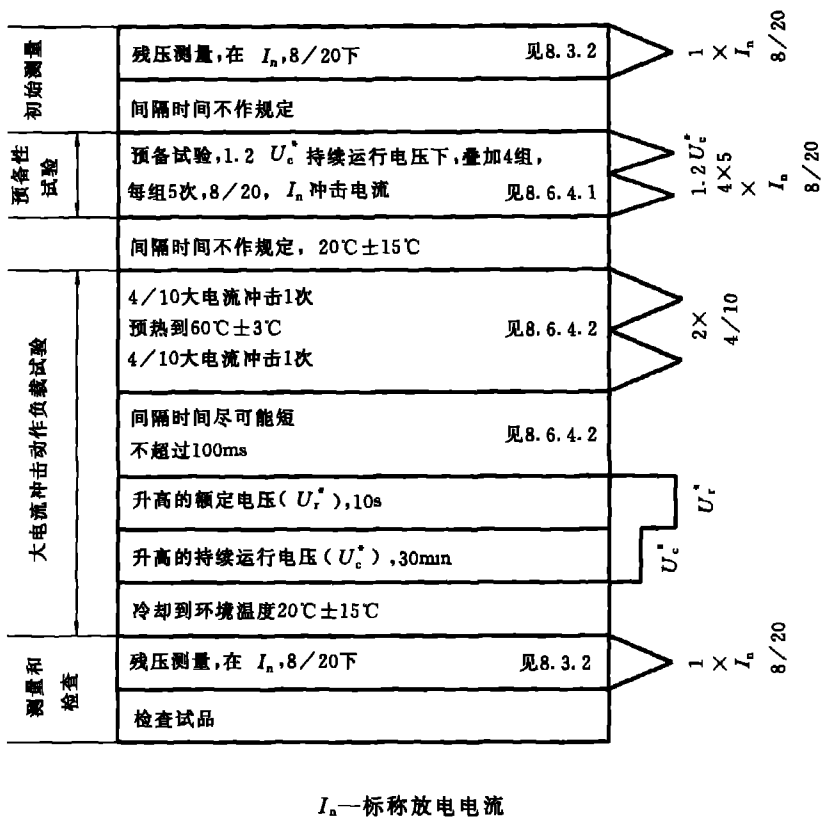


图 1 避雷器大电流冲击动作负载试验

8.6.4.1 预备性试验

预备性试验中,试品应经受 20 次 8/20 雷电冲击电流,其峰值等于避雷器标称放电电流。施加冲击电流时,对试品施加 1.2 倍试品持续运行电压的工频电压。施加的 20 次冲击分为 4 组,每组 5 次,两次冲击之间的间隔时间为 50 s~60 s,两组之间的间隔时间为 25 min~30 min。两组冲击之间,试品无需施加工频电压。冲击电流的极性与施加此冲击时的工频电压半波极性相同。并且冲击应在工频电压峰值前 $60^\circ \pm 15^\circ$ 内施加。

预备性试验可以在静止空气温度为 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 的敞开空气中对电阻片进行。测出的冲击电流峰值,应为规定值的 90%~110%。

8.6.4.2 施加冲击

在动作负载试验开始时,比例单元的温度应在 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 范围内。

比例单元应耐受表 17 规定的峰值和波形的大电流冲击 2 次,强雷电负载避雷器应耐受附录 C 中规定的峰值为 40 kA 波形 30/80 冲击 3 次。

表 17 大电流冲击要求¹⁾

避雷器等级	大电流冲击电流值 kA(峰值)
20 kA	100
10 kA	100
	(65)
5 kA	65
	(40)
2.5 kA	25
1.5 kA	10
注 1 括号内电流峰值为不推荐值。 2 根据运行条件电流峰值可取其他值(较低或较高)。	

两次冲击之间比例单元应在烘箱内预热,使施加第 2 次冲击时试品的温度为 $60^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。试验应在环境温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 15^{\circ}\text{C}$ 下进行。

如果由于严重污秽或非正常运行条件认为必须用更高的温度时,经供需双方协商试验可使用更高的温度。

预备性试验和随后的大电流冲击应施加相同的极性。

附录 H 叙述了可供使用的典型试验回路。

在最后一次大电流冲击后,应尽可能快且在不超 100 ms 内向试品施加 10 s 升高的额定电压(U_r^*),然后再接着施加 30 min 升高的持续运行电压(U_r^*)(见 8.6.2),以证明热稳定或热击穿。

注:为了再现实际系统条件,应该是在试品施加电压 U_r^* 时,施加第二次大电流冲击,鉴于实际的试验回路的限制允许 100 ms。

每次冲击应记录电流波形。同一试品的电流波形不应出现显示试品击穿或闪络的差异。

在施加升高的持续运行电压(U_r^*)期间,应连续记录试品电流值。

在施加工频电压期间,应监测电阻片温度或电流阻性分量或功率损耗,以证明热稳定或热崩溃(见 8.6.6)。

在完成整个试验程序且在试品冷却到接近环境温度后,重复试验程序开始时的残压试验。

如达到热稳定,试验前后测得的残压变化不大于 5%,且试验后检查试品,电阻片无击穿、闪络或破碎痕迹,则认为避雷器通过了本试验。

8.6.5 操作冲击动作负载试验

本试验适用于 10 kA 线路放电等级 1 级、2 级和 3 级以及 20 kA 线路放电等级 4 级和 5 级避雷器,及并联补偿电容器用避雷器和 5 kA(额定电压 90 kV 及以上电站用)避雷器(见 6.12)。完整的试验程序见图 2。

本操作冲击动作负载试验前,在环境温度下应分别测定 3 只试品(电阻片)在标称放电电流下的雷电冲击残压(见 8.3.2)。

试品应做适当地标记,以保证在下述试验中施加正确的极性。

采用说明:

1) 在遵循 IEC 60099-4 表 6 对大电流冲击要求的前提下,根据我国避雷器的生产、运行情况,增列了不推荐值 40 kA 和 65 kA。

初始测量	残压测量,在 I_n ,8/20下	见8.3.2	$1 \times I_n$	8/20
	间隔时间不作规定			
预备性试验	预备试验,1.2 U_c^* 持续运行电压下,叠加4组,每组5次,8/20, I_n 冲击电流	见8.6.5.1	$1.2 U_c^*$ 4×5	I_n 8/20
	间隔时间不作规定, $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$			
	4/10大电流冲击1次 冷却到环境温度	见8.6.5.1	$2 \times$	4/10
	4/10大电流冲击1次			
操作冲击动作负载试验	贮存备用			
	预热到 $60^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$			
	长持续时间电流冲击	见8.4		
	50s~60s			
	长持续时间电流冲击	见8.4		
	间隔时间尽可能短 不超过100ms	见8.6.5.2		
	升高的额定电压 (U_r^*),10s		U_r^*	
	升高的持续运行电压 (U_c^*),30min		U_c^*	
	冷却到环境温度 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$			
最后检查	残压测量,在 I_n ,8/20下	见8.3.2	$1 \times I_n$	8/20
	检查试品			

I_n —标称放电电流

图2 避雷器操作冲击动作负载试验

8.6.5.1 预备性试验

预备性试验中的第一部分,试品应经受20次峰值等于避雷器标称放电电流而波形为8/20的雷电冲击电流(按2.11)试验。施加冲击时,试品应施加1.2倍试品持续运行电压的工频电压。施加的20次冲击分为4组,每组5次。两次冲击间隔时间应为50s~60s,两组之间的间隔时间为25min~30min。在两组间试品无需施加工频电压。冲击电流极性应与施加此冲击时的工频电压半波极性相同,并且冲击应在工频电压峰值前 $60^\circ \pm 15^\circ$ 内施加。

预备性试验第一部分可以在静止空气温度为 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 的敞开空气中对电阻片进行。

预备性试验第二部分是施加两次表17规定的大电流冲击,见2.30。测出的冲击电流峰值应为规定峰值的90%~110%。

在预备性试验后,试品应贮存,以备进行操作冲击动作负载试验时使用。

8.6.5.2 施加冲击

在操作冲击动作负载试验开始时,即在施加两次长持续时间电流冲击之前,比例单元的温度应为 $60^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$,而环境温度应为 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 。

如果由于严重污秽或非正常运行条件认为必须用更高温度时,经供需双方协商,试验可使用更高的温度。

避雷器比例单元要耐受两次按8.4.2表15中相应的线路放电等级所规定的长持续时间电流冲击。两次冲击的间隔时间应为50s~60s。长持续时间电流冲击的极性应与预备性试验中电流冲击的极性

相同。在第二次长持续时间电流冲击后,比例单元应与线路脱离,并应尽可能快而在不超过 100 ms 内与工频电源接通。然后再向试品施加按 8.6.2 所述的加速老化程序确定的升高的额定电压(U_r^*),然后再接着施加 30 min 升高的持续运行电压(U_c^*),以证明热稳定或热崩溃。

注:为了再现实际系统条件,应该在试品施加电压 U_r^* 时,施加第 2 次持续时间电流冲击,鉴于实际的试验回路的限制允许 100 ms。

在第 2 次长持续时间电流冲击施加时应用示波器记录加在试品两端的电压和通过试品的电流。施加第 2 次操作时通过试品所耗散的能量应根据示波图中电压和电流来确定。且应把能量值记录在试验报告中。在施加工频电压期间应连续记录电压和电流。

在施加工频电压期间应监测电阻片的温度或电流阻性分量或功率损耗,以证明热稳定或热崩溃。

在完成整个试验程序且在试品冷却到接近环境温度后,重复试验程序开始时的残压试验。如果达到热稳定(见 8.6.6),试验前后测得的残压变化不大于 5%,且试验后检查试品,电阻片无击穿、闪络或破碎痕迹时,则认为避雷器通过了本试验。

8.6.6 动作负载试验中热稳定的评价

对于各类避雷器在图 1、图 2 和附录 C 图 C1 中所示程序中,至少在施加 U_r^* 的最后 15 min 期间内,如果漏电流的阻性分量峰值或功率损耗或电阻片的温度稳定地降低,则认为经受动作负载试验的避雷器比例单元是热稳定的,且认为通过了本试验。

施加电压的稳定性和环境温度的变化对漏电流的阻性分量有很大影响。因此,在某些情况下,在施加电压 U_r^* 结束时,仍不能明确地判断避雷器是否热稳定。如果出现这种情况,施加电压 U_r^* 的时间应延长,直到能够确认电流或功率损耗或温度稳定降低为止。如果在施加电压 3 h 以后,电流或功率损耗或温度尚未观察到明显增加趋势,则认为比例单元是稳定的。

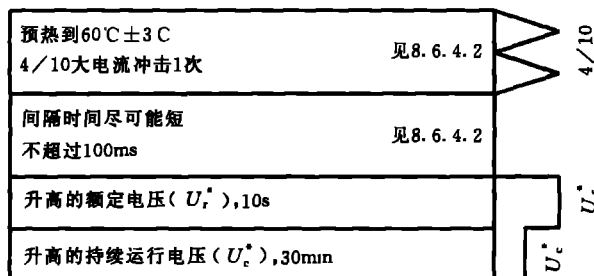


图 3 5 kA(额定电压 90 kV 以下电站用)、2.5 kA
1.5 kA 等级避雷器热稳定试验,见 9.2.2

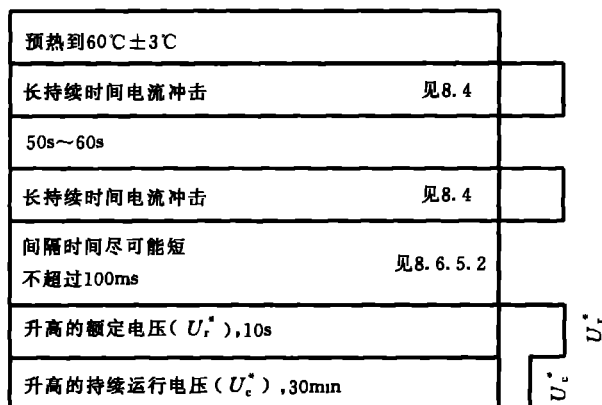


图 4 5 kA(额定电压 90 kV 及以上电站用)、10 kA 及 20 kA 等级避雷器
并联补偿电容器用避雷器热稳定试验,见 9.2.2

8.7 压力释放试验

本试验用于绝缘外套密封并装设有压力释放装置的避雷器。对于其他型式的避雷器,如用于封闭式组合电器(GIS)的避雷器,试验应经供需双方协商。

8.7.1 总则

当避雷器装设有压力释放装置时,应进行本项试验。试验是为了证实,避雷器在故障时不会引起外套爆破。每次试验应在新外套组装的试品上进行。一只试品进行大电流压力释放试验,另一只试品进行小电流下压力释放试验。

为了触发电流在避雷器试品内部流通,全部电阻片用熔丝旁路,熔丝将在试验电流开始后第一相位角为 30° 以内熔断。旁路电阻片的熔丝应沿着并紧贴电阻片表面。

按照制造厂推荐的方法,模拟实际安装条件安装试品。上端与另一元件端部结构或端盖相接,两者取较能限制压力释放的那一种。底座的底平面应与一个近似圆形围栏顶部在同一水平面上,围栏至少30 cm高,围绕试品且与之同心。围栏直径等于试品直径加两倍试品高度,但最小直径为1.8 m。如试品保持完整无损,或者是非爆炸性破裂,且全部零部件都落在圆形围栏之内,则认为试品通过了试验。

试验电源的频率不低于48 Hz,不高于62 Hz。

8.7.2 大电流压力释放试验

试品应为同类型避雷器设计中最长的元件,如能满足下列要求,则应认为同一设计所有额定电压避雷器均符合本试验要求。

a) 该结构把串联和并联的电阻片组装在元件内与元件的额定电压成比例。凡避雷器设计是避雷器每个元件中含有不同比例和数量的电阻片串联时,试验程序须经供需双方协商。

b) 避雷器每个元件使用截面尺寸相同的外套。如避雷器由外套设计结构不同的元件组成,即底元件尺寸较大时,应试验每种设计中最长的元件。

电源的短路容量应足够大,以便当避雷器用阻抗可以忽略不计的连杆短路时,电源的交流分量有效值在0.2 s不降到规定值的75%以下。试验回路的短路功率因数应不高于0.1($X/R=10$ 或以上)。

试验应在单相回路上进行,空载电压尽可能为避雷器额定电压的77%~100%。若试验站没有足够的功率能在77%额定电压下试验所有的高压避雷器,则在8.7.2.1和8.7.2.2中,给出进行大电流压力释放试验的两种代替程序。

注:77%电压相应于施加避雷器的额定电压为系统线电压75%(即位于接地故障因数1.3的地点)的系统相电压。

对于接地故障因数为1.39或1.73的地点,相电压分别为避雷器额定值的72%或58%。试验应表明符合表13所示的一个压力释放要求。试品试验时,试验电流至少应通流0.2 s,虽然对于测量预期电流及调整回路来说,试验时间再短一些更合适。

8.7.2.1 空载电压等于或大于77%额定电压的大电流试验

首先测量预期电流,试验方法是将避雷器用阻抗可忽略不计的固体连杆旁路。回路参数和开关合闸时间整定为使电流交流分量有效值等于或超过表4给出的额定压力释放电流,且第一个主波峰值至少为电流交流分量有效值的2.5倍。试验时电流的第一波必须为主波。

然后去掉固体连杆,并用相同的回路参数和合闸时间对避雷器试品进行试验。

避雷器内部限弧电阻将降低电流的交流分量和峰值。这一点不使试验无效,因为试验至少是用正常运行电压进行的,且对试验电流的影响与运行中发生故障的情况是相同的。试验时故障电流为避雷器用阻抗可忽略不计的连杆旁路时测得的预期电流交流分量有效值时,则认为避雷器通过了试验。

8.7.2.2 空载电压低于77%额定电压下大电流试验

当试验所用试验回路大大低于试品额定电压的77%时,内部电弧的电阻与试验回路阻抗相比高得不成比例,以致电流的交流分量和峰值不能再认为是避雷器的预期电流值。因此,当避雷器在低于避雷器额定电压时,避雷器试验电流的第一主波峰值至少应为电流交流分量有效值的1.7倍。并且交流分量的有效值至少应等于从表4所选预期电流的有效值。避雷器试验电流第一波必须是主波。

用阻抗可忽略不计的连杆旁路避雷器作预备试验并不是主要的,但在选用试验回路参数时,由于内部电弧电阻随电弧长度和电弧在避雷器外套内受到限制而改变的影响应留有裕度,这就需要增加预期电流,特别是当试验回路的电压显著地低于避雷器额定电压的 77% 时。

8.7.2.3 小电流压力释放试验

避雷器试品可以是所考虑的设计的任何额定值,并且本试验应证明相同设计的所有额定值避雷器均能合格。

试验回路空载电压为试品额定电压的 77%~100%,回路参数应调整到使能产生 800 A 有效值($\pm 10\%$)的电流通过试品,电流是在电流开始流通后约 0.1 s 时测得的。电流至少需流通到排气发生为止,且试验时电流的降低值不应超过起始测量值的 10%。

注:若避雷器在试验时没有释放压力,为了释放内部压力在靠近避雷器时应当小心,因为内部压力即使在冷却时可能还很高。

8.8 脱离器试验

8.8.1 总则

如 6.15 所述,本试验应在装有避雷器脱离器的避雷器上进行。设计的脱离器在正常安装时不致受到避雷器邻近零件发热的影响时,可对脱离器单独进行试验。

试品应按制造厂推荐的方法安装,连接线须采用推荐的最大尺寸和刚性以及推荐的最短长度。在无推荐时,导线应为冷拔裸铜线,直径约为 5 mm,长约 30 cm,且安装得使脱离器在动作时能自由移动。

8.8.2 电流冲击和动作负载耐受试验

如 8.4 和 8.6 所述,对于内装式脱离器,试验应与避雷器试验同时进行。如果脱离器设计成避雷器的附件或者作为附件插接在导线与地线之中,试验可单独进行或与避雷器试品同时进行。脱离器对下述每种试验应能耐受而不发生动作。每项试验均须使用 3 只新试品。

8.8.2.1 长持续时间电流冲击试验

本试验按 8.4 进行,试验电流峰值和持续时间应是脱离器设计所能配用的避雷器中的最高等级,见表 15 和表 16。

8.8.2.2 动作负载试验

本试验应按 8.6 进行。脱离器试品与避雷器比例单元试品串联,且被试避雷器比例单元是设计使用脱离器的各种避雷器中参考电流最大的那种设计。

8.8.3 脱离器的动作

8.8.3.1 安秒曲线试验

安秒曲线的数据应由流经脱离器试品(按 8.8 带或不带避雷器)的 3 个不同的对称起始电流水平(即 20 A、200 A 和 800 A 有效值 $\pm 10\%$ 时)得出。

对于受相连避雷器内发热影响的脱离器试验,应将内部电阻片用直径 0.08 mm~0.13 mm 裸铜线旁路,以引发内部电弧。

对于不会受相连避雷器动作影响的脱离器试验,如避雷器安装脱离器,则应将避雷器的电阻片用直径足够大的导线并联或代替,以保证导线在试验时不会熔断。

试验电压可以是任何适当值,只要足以维持以电弧形式流过避雷器元件,并且足以引起和保持脱离器赖以动作的任何间隙燃弧。但试验电压不应大于设计带有脱离器的避雷器最低的额定电压。

首先应调整试验回路的参数,试品用阻抗可忽略不计的连线短路,以产生所需要的电流值。合闸开关应整定在电压峰值附近的几个电气角度内接通回路,以产生近似对称电流。可以设置分闸开关,以备调整流过试品的电流时间。当持续时间不需要准确控制时,分闸开关可省去。试验回路参数调整后,短路试品的导线即可拆除。

电流值应保持在所要求的数值,直到脱离器发生动作为止。对 3 种电流数值中的每一种,至少应试验 5 只新试品。

对所有被试试品,应以流过试品的电流有效值和对应的脱离器开始脱离的时间绘制成曲线。脱离器安秒曲线是由以表示最大脱离时间的各点画成的光滑曲线构成。

对于具有明显的动作时延的脱离器,做安秒特性试验应控制电流流经试品的时间,以确定3种电流值中的每一种电流下都能导致使脱离器成功动作的最小持续时间。安秒曲线上所采用的点,在5次正式试验中,必须每次都成功动作。如果5次中仅有1次未成功动作,允许用同样电流值及持续时间再加试5次,这5次均应成功动作。

8.8.3.2 脱离器性能评价

装置应能给出有效和永久脱离的明显证明。如果装置对此不能明确地证明,则对脱离器施加等于1.2倍设计带有脱离器的避雷器最高额定值额定电压的工频电压1 min,流过脱离器的电流不应超过1 mA有效值。

8.9 机械负荷试验

试验时,将避雷器按实际运行情况安装,对其顶端施加与避雷器轴线垂直的负荷。避雷器应能承受住顶端最大允许水平拉力与风压力折算到顶端的集中作用力之和的2.5倍的负荷而不破坏。具体试验方法应符合GB/T 775.3的规定。

如果避雷器是由若干元件组成,此试验允许在元件上进行,但必须与整只避雷器等价。

8.10 密封性能试验

试验时建议采用氦质谱检漏仪检漏法(漏气率要求小于 $6.65 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$)、抽气浸泡法、热水浸泡法进行试验,具体试验方法可按JB/T 7618进行。

注:IEC 60099-4:1991的5.5条中,对密封泄漏提出了要求,但无相应的试验方法。

8.11 人工污秽试验

见附录E。

注:IEC 60099-4:1991的7.1条及附录F中,规定了污秽试验为型式试验项目,但无相应的试验方法。

8.12 持续电流试验

型式试验应在整只避雷器上进行,对试品施加持续运行电压,测量通过试品的全电流和阻性电流。

如果在避雷器的元件上进行时,所施加的持续运行电压按整只避雷器的额定电压与元件额定电压的比例计算。

试验环境温度为 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 。

注:例行试验可在整只避雷器或避雷器元件上进行。

8.13 工频参考电压试验

对避雷器(或避雷器元件)施加工频电压,当通过试品的阻性电流等于工频参考电流时,测出试品上的工频电压峰值。参考电压等于该工频电压峰值除以 $\sqrt{2}$,如参考电压与极性有关时,取低值。试验环境温度为 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 。

8.14 直流参考电压试验

对避雷器(或避雷器元件)施加一直流电压,当通过试品的电流等于直流参考电流时,测出试品上的直流电压值。如参考电压与极性有关时,取低值。

直流电压脉动部分应不超过 $\pm 1.5\%$ 。

试验环境温度为 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 。

8.15 0.75倍直流参考电压下漏电流试验

对避雷器施加0.75倍直流参考电压,测量通过避雷器的漏电流,如漏电流与极性有关,取高值。

8.16 局部放电和无线电干扰电压试验

型式试验应在整只避雷器上进行,并应按实际运行情况安装。

试验时,施加在避雷器上的工频电压应升至它的额定电压,然后在小于10 s时间内降低至1.05倍持续运行电压。在该电压下,局部放电量不大于50 pC,无线电干扰电压应不大于2 500 μV 。

测试无线电干扰的频率为 1.0 MHz。试验前应确定背景干扰水平,并应使背景干扰降至最低水平。

无线电干扰电压试验方法按照 GB/T 11604 中的有关规定进行。局部放电试验方法应按照 GB 7354 中的有关规定进行。

制造厂在做例行试验时,也可采用其他灵敏的方法检验每只避雷器或避雷器元件的局部放电。

8.17 多柱避雷器电流分布试验

本试验应对所有并联的电阻片组进行,一个并联电阻片组指的是各柱间没有中间电连接的装配的一部分。制造厂应规定一个适当的冲击电流值,其值为标称放电电流的 0.01 倍~1.0 倍,在该电流下测量通过每柱的电流。电流的最大值应不高于制造厂规定的电流值上限。冲击电流视在波前时间不小于 7 μ s,半峰值时间不作规定。

注:如果在设计中所用并联电阻片组的额定电压比试验设备能提供的电压高时,在本试验中可在并联柱的中间部分增加电气连接线以降低并联电阻片组的额定电压,这样可确定几个人为的并联电阻片组。每一个人为的并联电阻片组应通过电流分布试验。

例行试验时,测量每柱的平均参考电流值下参考电压值(直流或交流)和平均标称放电电流下的残压值。各柱平均参考电流值下的参考电压的偏差不得大于参考电压规定值的 $\pm 1\%$,平均标称放电电流下的残压的偏差由制造厂规定。

9 例行试验和验收试验

9.1 例行试验¹⁾

出厂的每只避雷器(或电阻片)应按表 18 的规定进行试验。如果避雷器(或电阻片)不满足表 16 中所规定的任何一项要求时,则此避雷器(或电阻片)认为不合格。

表 18 避雷器例行试验项目

序 号	试 验 名 称	试验依据	试验方法	试 品
1	持续电流试验	6.3	8.12	避雷器或元件
2	标称放电电流残压试验	6.5	8.3	避雷器或元件
3	工频参考电压试验	6.2.1	8.13	避雷器或元件
4	直流参考电压试验	6.2.2	8.14	避雷器或元件
5	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	6.4	8.15	避雷器或元件
6	密封性能试验	6.7	8.10	避雷器或元件
7	局部放电试验	6.6	8.16	避雷器或元件
8	多柱避雷器电流分布试验	6.8	8.17	每组并联的电阻片柱
注:额定电压 42 kV 以下避雷器,序号 1、3、7 项试验可不作。				

9.2 验收试验²⁾

9.2.1 标准验收试验

当订货者在订货协议中规定有验收试验时,则应抽取最接近供货避雷器数量立方根又小于立方根

采用说明:

1) 在遵循 IEC 60099-4:1991 的 8.1 条规定的前提下,增加了 1、4、5 三项试验。

2) 在遵循 IEC 60099-4:1991 的 8.2 条规定的前提下,增加了 a)、b)、f) 三项试验。

的整数进行下列试验：

- a) 外观检查：检查外观、名牌及其附件有无缺少或损坏；
- b) 按 6.3 的规定，在持续运行电压下，测量通过避雷器(或元件)的全电流和阻性电流；
- c) 按 6.2.1 和 6.2.2 的规定，对整只避雷器施加工频电压或直流电压，测量避雷器的工频参考电压或直流参考电压及 0.75 倍直流 1 mA 参考电压下漏电流；
- d) 按照本标准 8.3 进行避雷器的残压试验；
- e) 按 8.16 进行避雷器的局部放电试验；
- f) 按 8.10 进行密封试验。

9.2.2 特殊热稳定试验

下述试验，需经供需双方另行协商，且在避雷器装配前进行，见 6.9。

本试验应在选自日常生产中的与被试避雷器用电阻片尺寸和特性相同的电阻片组成的 3 只不同的比例单元试品上进行。试验由相应类型避雷器动作负载试验的一部分构成，如图 3、图 4 和附录 C 中图 C2 所示。

在施加工频电压期间，应监测电阻片温度或电流阻性分量或功率损耗，以证明热稳定性。如果 3 只试品全部达到热稳定(见 8.6.6)，则认为避雷器通过了试验。如果 1 只试品未达到热稳定，进一步的试验程序需经供需双方协商。

10 定期试验

为了控制产品质量，对于生产的产品必须 3 年作 1 次定期试验，长期停产后恢复生产时应作定期试验。定期试验是从正常生产的产品中抽取 3 只，按表 19 进行。试验方法均按相应的型式试验方法进行。

表 19 定期试验项目

序 号	试验项目名称	试验依据	试验方法	试验数量
1	残压试验	6.5	8.3	3 只避雷器或比例单元
2	长持续冲击电流冲击耐受			
	a) 线路放电试验	6.10	8.4	3 只比例单元
	b) 方波冲击电流耐受试验	6.10	8.4	3 只避雷器或比例单元
3	动作负载试验			
	a) 加速老化试验	6.12	8.6	3 只避雷器或比例单元
	b) 大电流冲击动作负载试验	6.12	8.6	3 只避雷器或比例单元
	c) 操作冲击动作负载试验			3 只比例单元
4	工频电压耐受时间特性试验	6.13	附录 D	比例单元

11 抽样试验

抽样试验主要对电阻片进行，应按批次以一定比例抽取试品。试验项目及试品数量见表 20。抽样试验用的试品不得装入避雷器。

11.1 用于抽样试验中的方波电流冲击耐受试验

20 kA、10 kA 和 5 kA(额定电压 90 kV 及以上电站用)等级避雷器方波电流冲击试验要求见表 21。

11.2 用于抽样试验中的大电流冲击耐受试验

试验方法按 8.5 进行。

表 20 抽样试验项目

序号	试 验 名 称	试验依据	抽取试品数量	试验方法
1	方波冲击电流耐受试验	6.10	1.0%(不少于5片)	8.4
2	大电流冲击耐受试验	6.11	5片	11.2
3	加速老化试验	6.12	3只试品	8.6

注

- 1 制造厂应至少半年对电阻片进行一次加速老化试验及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 21 20 kA、10 kA 及 5 kA(额定电压 90 kV 及以上电站用)

等级避雷器用于抽样试验的方波冲击电流试验值

避雷器等级	线路放电等级	等效方波冲击电流 试验值, A
5 kA	1	400
10 kA		
10 kA	2	600
	3	1 000
10 kA	4	1 500
20 kA		
20 kA	5	1 800

附 录 A
(标准的附录)
异常运行条件

下述是避雷器典型的异常运行条件,在避雷器制造和使用时需要特殊考虑,并应引起制造厂注意:

- a) 温度高于 $+40^{\circ}\text{C}$ 或低于 -40°C ;
- b) 使用海拔高度超过 1 000 m;
- c) 能引起绝缘表面或安装金具劣化的烟气或蒸汽;
- d) 因烟气、灰尘、盐雾或其他导电物引起的严重污染;
- e) 过度暴露在严重湿气、潮气、降水或蒸汽中;
- f) 避雷器带电冲洗;
- g) 粉尘、煤气或烟气的爆炸性混合物;
- h) 异常的机械条件(地震烈度 7 度以上,振动,最大风速超过 35 m/s,覆冰厚度超过 20 mm 及高弯曲负载等);
- i) 异常运输或贮存;
- j) 额定频率低于 48 Hz 或高于 62 Hz;
- k) 避雷器靠近热源,见 5.1b)。

附 录 B
(标准的附录)

验证整只避雷器和避雷器比例单元间的热等价性试验

经供需双方协商,试验应按下述程序或其他程序进行。

将整只避雷器或多元件避雷器中单位长度装有电阻片最多的元件置于温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ 静止空气中,环境温度应保持在 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 偏差内。热电偶和(或)使用光纤技术测温的某种探测装置贴在电阻片上。检验点必须足够多以便计算出平均温度,或者制造厂仅选择位于距顶部为避雷器长度的 $1/2 \sim 1/3$ 之间的某一点作为测温点。后者将给出留有余地的结果,因而证明是一种简化方法。

通过施加幅值大于工频参考电压的工频电压,使电阻片温度加热到大约 120°C 。如果测几片电阻片的温度时,该温度应是平均值,如只检验 $1/2 \sim 1/3$ 的某一点时,该温度就应是该点值。加热时间不作规定,如果随后加热试验比例单元所用时间大致相同,则根据电源容量,加热时间可选择几分钟到几小时,当达到预定温度时应切断电源,并且确定不少于 2 h 的冷却时间曲线,在测量几个点时,应画出平均温度曲线。

随后试品比例单元用与整只避雷器相同的方法在环境温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ 的静止空气中进行试验,环境温度必须保持 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 偏差内。施加工频电压使比例单元试品与整只避雷器一样加热到比环境温度高的相同温升。电压幅值的选择应使加热时间与整只避雷器加热时间相近。通过测量几片电阻片的温度确定平均温度,或者只测位于比例单元顶部 $1/2 \sim 1/3$ 间的一片电阻片的温度。当比例单元达到预定温度时,应切断电源,并测出不少于 2 h 的冷却时间曲线。

比较整只避雷器和比例单元的冷却曲线,或都使用平均温度或者使用一片电阻片温度。对较低的曲线用增加环境温度差的方法将冷却曲线调整到相同的环境温度。

证明热等价的条件是,比例单元试品在冷却期间各瞬间的温度等于或高于整只避雷器的温度。

附录 C

(标准的附录)

电压范围 2.4 kV~51 kV 强雷电负载避雷器的要求

本附录规定了专用于强雷电密度区 20 kA 的 2.4 kV~51 kV 避雷器的要求。

表 C1 规定了试验要求。

动作负载试验按 6.12 和 8.6.4 进行,并应包括对每只试品施加 3 次峰值 40 kA、波形 30/80 的冲击电流。

3 次电流冲击的间隔时间为 50 s~60 s,设备调整的偏差应能使测得的冲击电流值在下列范围内:

- a) 电流峰值为规定峰值的 90%~110%;
- b) 视在波前时间 25 μ s~35 μ s;
- c) 波尾半峰值视在时间 70 μ s~90 μ s;
- d) 任何反极性电流波峰值应低于电流峰值的 20%;
- e) 在冲击波上允许有小振荡,但在冲击波峰附近的振幅不超过峰值的 5%。在这些条件下,为测量起见,用于确定峰值做出的平均曲线是可以接受的。

完整的试验程序示于图 C1。

注:为了再现实际系统条件,试品应在施加电压 U_r 时施加最后一次大电流冲击。由于实际试验回路的限制,100 ms 是允许的。

热稳定试验(见 9.2.2)应按图 C2 进行。

表 C1 20 kA 强雷电负载避雷器的试验要求

1	额定电压 U_r	$2.4 \text{ kV} \leq U_r \leq 51 \text{ kV}$
2	避雷器外套的绝缘耐受试验	6.1、8.2.6、8.2.8
3	残压试验	表 K1 和 6.5
	a) 陡波电流冲击残压试验	8.3.1
	b) 雷电冲击残压试验	8.3.2
	c) 操作冲击残压试验	不要求
4	长持续时间电流冲击耐受试验	8.4
	动作负载试验	6.12 和附录 D
	a) 大电流冲击动作负载试验	8.6.4
	b) 操作冲击动作负载试验	不要求
6	工频电压耐受时间特性曲线	6.13
7	压力释放试验(当装有压力释放装置时)	6.14
8	避雷器脱离器(当装有脱离器时)	6.15、8.8
9	人工污秽试验	附录 E

初始测量	测量残压在 $I_n, 8/20$ 下	见 8.3.2	1 × 20kA 8/20
	间隔时间不作规定		
预备性试验	预备试验, 1.2 U_c^* 持续运行电压下, 叠加 4 组 每组 5 次, 冲击电流 $I_n, 8/20$	见 8.6.4.1	1.2 U_c^* 4 × 5 20kA 8/20
	间隔时间不作规定, 20℃±15℃		
大电流冲击动作负载试验	40kA, 30/80 大电流冲击 3 次 不冷却 间隔时间 50s~60s	见 8.6.4.2	3 × 40kA 30/80
	间隔时间尽可能短 不超过 100ms	见 8.6.4.2	
	升高的额定电压 (U_r^*), 10s		U_r^*
	升高的持续运行电压 (U_c^*), 30min		U_c^*
	冷却到环境温度 20℃±15℃		
	测量残压在 $I_n, 8/20$ 下	见 8.3.2	1 × 20kA 8/20
测量和检查	检查试品		

I_n —标称放电电流

图 C1 20 kA 强雷电负载避雷器动作负载试验

40kA, 30/80 大电流冲击 3 次 不冷却 间隔时间 50s~60s	见 8.6.4.2	3 × 40kA 30/80
间隔时间尽可能短 不超过 100ms	见 8.6.4.2	
升高的额定电压 (U_r^*), 10s		U_r^*
升高的持续运行电压 (U_c^*), 30min		U_c^*

图 C2 20 kA 强雷电负载避雷器热稳定试验, 见 9.2.2

附录 D

(标准的附录)

避雷器工频电压耐受时间特性试验程序

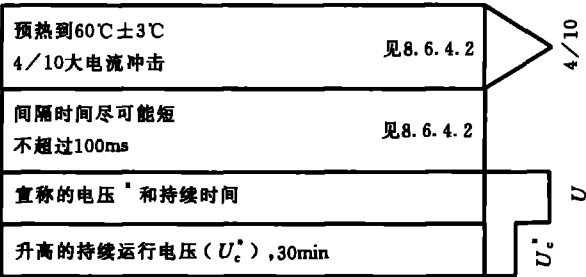
试验在避雷器比例单元上进行,按避雷器类别使用图 1、图 2 或图 C1 所规定的动作负载试验的最后一部分,在施加电压 U_r^* 前改变所加工频电压的水平和持续时间,曲线至少由 3 个点组成,每只试品只做 1 次工频耐受试验。

对标称放电电流 5 kA、2.5 kA、1.5 kA(额定电压 90 kV 以下)等级的避雷器,试验程序开始时应使试品预热到 60℃±3℃。接着在施加工频电压前施加 1 次大电流冲击,注入一定能量,见图 D1。

对强雷电负载避雷器(附录 C),试验程序开始时在环境温度下对试品连续施加 3 次大电流冲击,见

图 D2。

对标称放电电流 10 kA、20 kA 及 5 kA(额定电压 90 kV 及以上)等级的避雷器,试品应预热到 60℃±3℃,在施加工频电压前后施加 2 次长持续时间电流冲击,注入一定能量,见图 D3。
在施加工频电压期间,电源电压幅值变化不得大于 1%。



* 电压一般以标么值形式表示,其基准值为试品的 U_c^{*}(下同)。

图 D1

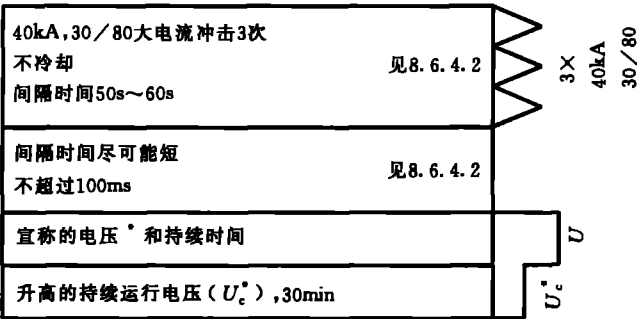


图 D2 避雷器工频电压耐受时间特性试验程序

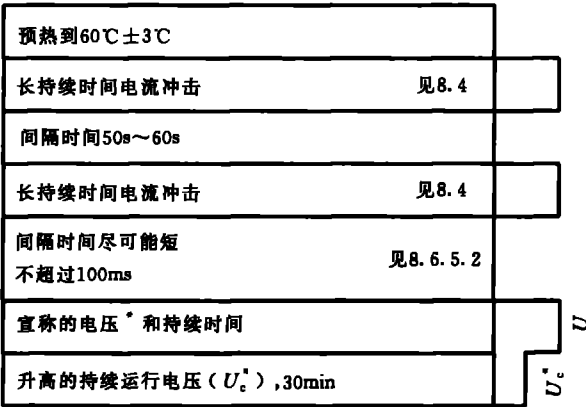


图 D3 避雷器工频电压耐受时间特性试验程序

附 录 E
(标准的附录)
人工污秽试验

E1 污秽等级划分

表 E1 典型环境举例

I —— 轻	大气轻度污染地区,工业区和人口低密集区,离海岸盐场 10 km~50 km 地区。在污闪季节中干燥少雾(含毛毛雨)或雨量较多时
II —— 中等	大气中等污染地区,轻盐碱和炉烟污秽地区,离海岸盐场 3 km~10 km 地区,在污闪季节中潮湿多雾(含毛毛雨)但雨量较少时
III —— 重	大气污染较严重地区,重雾和重盐碱地区,离海岸盐场 1 km~3 km 地区,工业与人口密度较大地区,离化学污染源和炉烟污秽 300 m~1 500 m 的较严重污秽地区
IV —— 特重	大气特别严重污染地区,离海岸盐场 1 km 以内,离化学污染源和炉烟污秽 300 m 以内的地区

E2 试验

E2.1 总则

本试验是验证避雷器在污秽条件下的耐电能力,检验的主要内容是绝缘耐受能力和热稳定性能。试验应在整只避雷器上进行。同一种设计的避雷器,可只作额定电压最高的避雷器。

E2.2 试验电源

试验电源的电压波形应近似为正弦波,频率为 48 Hz~62 Hz。试验电压指其峰值除以 $\sqrt{2}$ 。试验电源容量应满足:试品在规定的电压下在泄漏电流波动时(除偶有不连续外),半周波电压降不超过规定值的 5%。试品在发生闪络前的一周波电压不低于开路电压的 90%。

注:如达不到上述要求,试品发生闪络时实际额定短路电流应不小于 10 A(有效值)。

E2.3 污液

污秽悬液由 40 g 高岭土、1 000 g 水和适量的盐组成,或由 100 g 硅藻土、10 g 高度分散的二氧化硅(粒度 $2\ \mu\text{m}\sim 20\ \mu\text{m}$)、1 000 g 水和适量的盐组成。III 级重污秽地区,试验用盐密度为 $0.03\ \text{mg}/\text{cm}^2$ ($\pm 15\%$)。IV 级特重污秽地区,试验用盐密由供需双方协商。

E2.4 试品

避雷器应是清洁干燥的,其安装方式应模拟实际运行情况。避雷器的热稳定性能可通过监测避雷器中电阻片温度、漏电流阻性分量或功率损耗来判断。

E2.5 试验程序

E2.5.1 在冲净干燥后的避雷器上喷涂污层后 3 min 内施加电压。

E2.5.2 首先快速均匀地向避雷器施加规定的电压 E1(避雷器持续运行电压),持续 1 min 后迅速上升到电压 E2(避雷器额定电压的 90%),持续 2 s 后迅速降低到 E1,这样构成一个循环试验。电压改变时要迅速,但不应产生任何暂态过电压施加到避雷器上。

E2.5.3 按 E2.5.2 反复进行 8 次循环作为一个系列试验。

E2.5.4 一个系列试验后停止试验,并将外套表面冲净、干燥,然后施加新的污层。

E2.5.5 上述系列试验进行 4 次。第 4 次系列试验后,在避雷器上施加电压 E1,持续 30 min。在加压期

间内,应监测温度、阻性电流或功耗。在最后加压 30 min 期间内当被监测值逐渐减小或趋于稳定时,则认为热稳定。

E3 试验评价

如果避雷器热稳定,并且在试验期间内没有发生外部闪络,并经检查证实电阻片没有发生闪络或损坏时,则认为试验合格。

附 录 F

(提示的附录)

线路放电等级的选用导则

按表 15 中规定的线路放电试验参数,对于具有给定操作冲击残压与额定电压之比的避雷器,获得的能量随线路放电等级增加而增加。但是,试验时避雷器中发生的能量在很大程度上取决于被试电阻片的实际操作冲击残压。该能量可按下式确定,其具有足够精确度:

$$W' = \frac{U_{\text{res}}}{U_r} \left(\frac{U_L}{U_r} - \frac{U_{\text{res}}}{U_r} \right) \times \frac{U_r}{Z} \times T \quad \dots\dots\dots (F1)$$

式中: U_r ——额定电压(有效值);

U_L ——发生器充电电压;

W' ——比能量,等于能量除以额定电压;

U_{res} ——操作冲击电流下的残压(见 8.3.3);

Z ——线路波阻抗;

T ——电流峰值的视在持续时间。

比能量与操作冲击残压的关系示于图 F1。

线路放电等级的选择按下列顺序进行:

- a) 确定金属氧化物避雷器在运行中产生的能量,要考虑由雷电和(或)操作引起的可能情况。
- b) 将能量除以额定电压有效值确定比能量。
- c) 将上述比能量与公式(1)或图 F1 在试验中产生的比能量相比较,选择邻近较高的线路放电等级。

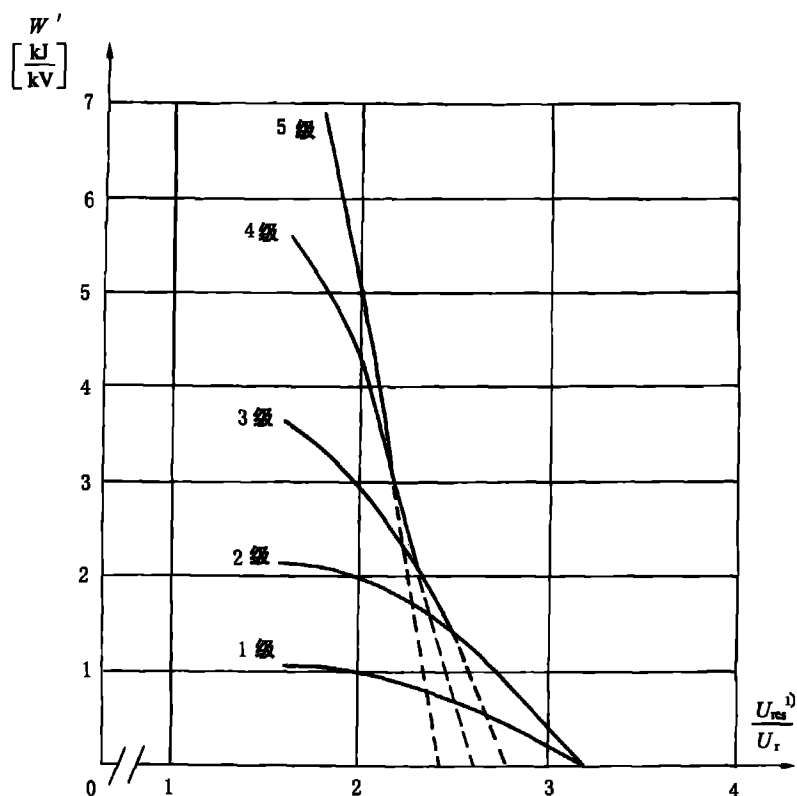


图 F1 比能量 kJ/kV 与避雷器操作冲击残压 U_{res} 和额定电压有效值 U_r 之比的关系曲线,参变量:线路放电等级

附录 G

(提示的附录)

询价和投标应提供的典型信息

G1 询价应给的信息

G1.1 系统数据

- 最高系统电压;
- 频率;
- 在系统故障条件下最大对地电压(接地故障因数或中性点接地系统);
- 接地故障的最大持续时间;
- 暂时过电压最大值及其最大持续时间(接地故障,甩负荷,铁磁谐振);
- 被保护设备绝缘水平;
- 避雷器安装点的系统短路电流。

采用说明:

1) 在 IEC 60099-4:1991 中为 $\frac{U_a}{U_r}$ 。

G1.2 运行条件

正常条件,见 5.1。

异常条件:

a) 环境条件,见 5.2 和附录 A:

——自然污秽水平,见 GB/T 16434。

b) 系统:

——发电机超速的可能性(电压与时间特性);

——额定频率低于 48 Hz 或高于 62 Hz;

——甩负荷同时有接地故障。在通常的中性点有效接地系统内,故障时使系统的一部分形成中性点绝缘系统;

——不完全的接地故障电流补偿。

G1.3 避雷器负载

a) 与系统连接:

——相对地;

——中性点对地;

——相对相。

b) 被保护设备类型:

——变压器(直接接于线路或经电缆);

——旋转电机(直接接于线路或经变压器);

——电抗器;

——高频电抗器;

——变电站的其他设备;

——气体绝缘变电站(GIS);

——电容器组;

——电缆(型号和长度)等。

c) 被保护设备与避雷器之间的高压连线之间的最大长度(保护距离)。

G1.4 避雷器特性

——持续运行电压;

——额定电压;

——陡波电流冲击残压;

——标准波标称放电电流和残压;

——操作电流冲击和残压;

——10 kA 和 20 kA 避雷器的预期长持续时间放电等级,见 8.4.2;

——压力释放等级(短路电流能力),见 6.14;

——避雷器外套爬电距离长度和形状。选择要根据实际区域内避雷器和其他类型设备的运行经验。

G1.5 其他设备和安装

——全封闭型避雷器;

——安装形式:座式,箍夹式,悬挂式(在什么位置)等,以及是否需要绝缘底座安装放电计数器。对箍夹式安装的避雷器,箍夹接地与否;

——如非垂直安装,安装方向;

——如需要时,接地刀闸;

——连接引线的截面。

G1.6 任何特殊的异常条件

例如：非常频繁动作。

G2 投标应给的信息

——G1.4 和 G1.5 的全部。

另外附加：

——在环境温度下的参考电流和参考电压；

——工频电压与时间特性，见附录 D；

——在 0.5 倍、1 倍和 2 倍标称放电电流下雷电冲击残压。如果在上述电流下不能进行整只避雷器验收试验时，应另行给出在 0.01 倍~0.25 倍标称放电电流的某一电流下的残压，见 6.5 和 8.3；

——压力释放性能；

——间距，安装规范；

——安装可能性，钻孔图，绝缘底座，箍夹；

——避雷器端子型式及允许的导线尺寸；

——避雷器与放电计数器间及放电计数器与地间引线的最大允许长度；

——尺寸和重量；

——抗弯强度。

附录 H

(提示的附录)

大电流冲击动作负载试验的典型回路

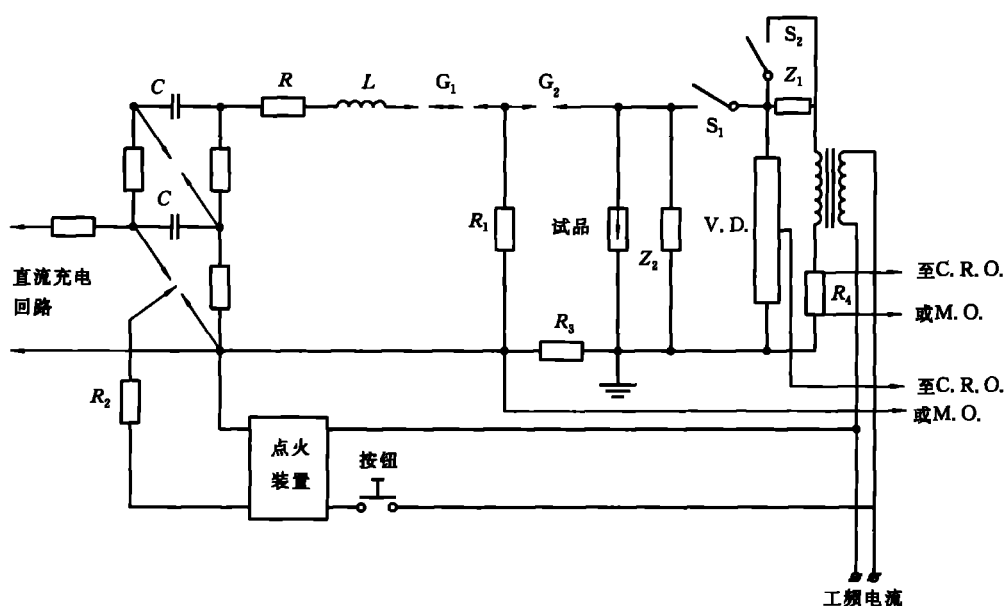
本附录的目的是推荐一种用于大电流动作负载试验(见 8.6.4)的实用性试验回路(图 H1)，并介绍回路各元件的作用，而不是规定在各处做试验时必须使用的一种标准试验回路。动作负载试验的要求，如工频电压和冲击电流特性等已在 8.6.1 和 8.6.4 中给出。满足这些要求的精确方法并不重要。在回路和各元件参数的选择方面可能有很多方案。

试品经开关 S_1 接到工频电源上(通常通过变压器)，虽然这点并不重要。图示为 2 级回路的冲击发生器(如果够用 1 级也可以)，通过电阻 R_1 、电感 L 及放电间隙 G_1 和 G_2 与试品相连。选择适当的 C 、 R 和 L 值，以控制冲击电流波形。图中低电阻无感分流器 R_3 和分压器 $V.D.$ ，分别用来测量冲击电流和冲击电压。图中连接电源变压器的分流器 R_4 ，用来记录流过避雷器的工频电流。

使冲击发生器与试品隔离的放电间隔可能有各种形式。在采用图示间隙形式时，电阻 R_1 (如果采用的话)为 $M\Omega$ 数量级，当无电流流过时， R_1 用来使多个间隔的某点保持在地电位。因此间隙 G_1 上也没有任何工频电压。间隙 G_2 尽可能做得小到能耐受工频电压即可。阻抗 Z_1 和 Z_2 通过开关 S_2 用来控制加在试品两端的工频电压(分别为 U_1^* 和 U_2^*)达到满足 8.6.1 规定的工频电源要求。

如果采取适当措施，工频电源电流可以用电磁式示波器记录，也可用阴极射线示波器记录。工频电压可通过分压器或电压互感器用电磁式示波器或阴极射线示波器记录。

如图 H1 所示，冲击发生器通过触发装置可进行触发。触发装置把高压脉冲施加到冲击发生器的 3 个电极间隔的中间电极。高阻值电阻 R_2 可防止较大的冲击电流流经触发回路，冲击发生器触发可以用按钮起动。



C.R.O. — 示波器, M.O. — 示波器, V.D. — 分压器, S — 开关
图 H1 典型的大电流冲击动作负载试验用试验回路图

附录 J

(提示的附录)

长持续时间电流冲击耐受试验用的一种分布 常数冲击发生器的典型回路

本附录目的是推荐适用于长持续时间电流冲击耐受试验(见 8.4)的一种试验回路原理,并介绍回路各元件的作用,而不是规定在所有试验中必须使用的标准试验回路。

波形、持续时间、注入试品的能量以及两次冲击间的间隔时间等都已在试验规范中给出。满足这些要求的精确方法并不重要。在回路和各元件参数的选择方面可能有很多方案。图 J1 给出分布常数冲击发生器的简图。当忽略电阻时,发生器的波阻抗由下式确定:

$$Z = \sqrt{L/C}$$

通常发生器 LC 链数约为 10 链,以产生可接受的波形。为了限制波形峰值始尾端的振荡,可能需要增大发生器两端的电感,并需要增添并联电阻 R 以补偿因电感的加大引起波前陡度的降低。

触发间隙,可以用简单的开关,如果使用辅助冲击发生器以触发分布常数发生器放电,则前者贮存的能量,不应超过后者贮存能量的 0.5%。

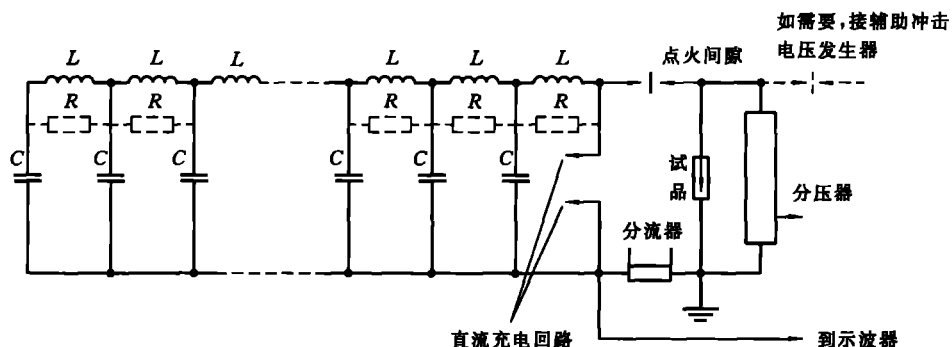


图 J1 长持续时间冲击试验用的典型分布常数冲击发生器

应记录流过避雷器试品的电流和避雷器试品两端的电压。

附 录 K
(提示的附录)
典型的最大残压

表 K1 每单位额定电压下 20 kA 和 10 kA 等级避雷器残压 kV

额定电压 U_r (有效值)	20 kA (峰值)/ U_r			10 kA (峰值)/ U_r		
	陡波 ¹⁾	雷电 ²⁾	操作 ³⁾	陡波 ¹⁾	雷电 ²⁾	操作 ³⁾
3~29				2.6~4.0	2.3~3.6	2.0~2.9
30~132	2.6~3.1	2.3~2.8	2.0~2.3	2.6~3.7	2.3~3.3	2.0~2.6
144~342	2.6~3.1	2.3~2.8	2.0~2.3	2.6~3.7	2.3~3.3	2.0~2.6
360~756	2.6~3.1	2.3~2.8	2.0~2.3	2.6~3.1	2.3~2.8	2.0~2.3
1) 陡波电流冲击残压试验,见 8.3.1。 2) 雷电冲击保护水平,见 8.3.2。 3) 操作冲击保护水平,见 8.3.3。						

注: 本表给出通常可用的最大残压范围,残压值低者通常相应于线路放电等级高的避雷器反之亦然。

表 K2 每单位额定电压下 5 kA、2.5 kA 和 1.5 kA 等级避雷器残压 kV

额定电压 U_r (有效值)	5 kA (峰值)/ U_r		2.5 kA (峰值)/ U_r		1.5 kA (峰值)/ U_r	
	陡波 ¹⁾	雷电 ²⁾	陡波 ¹⁾	雷电 ²⁾	陡波 ¹⁾	雷电 ¹⁾
0.175~2.9	2.7~4.0	2.4~3.6	3.7~5.0	3.3~4.5		
3~29	2.7~4.0	2.4~3.6	4.0	3.6	4.5~6.7	4.0~6.0
30~132	2.7~3.7	2.4~3.3	4.0	3.6		
1) 陡波电流冲击残压试验,见 8.3.1。 2) 雷电冲击保护水平,见 8.3.2。						

注: 本表给出通常可用的最大残压范围。

附 录 L
(提示的附录)
包装、运输及保管

L1 包装

避雷器的包装必须保证在运输中,不因包装不良而使产品损坏。在包装箱上应标明:

- a) 制造厂名、产品名称及型号;
- b) 发货单位、收货单位及详细地址;
- c) 产品净重、毛重、体积等;
- d) “小心轻放”、“向上”、“防潮”等字样和标记,字样和标记应符合 GB 191 的要求。

L2 随产品提供的技术文件

- a) 包装清单;
- b) 产品出厂合格证明书;
- c) 安装、使用说明书(每组避雷器附 1 份)。

L3 运输和保管

整只产品或分别运输的部件和包装,都要适用运输、装卸的要求。如果产品对运输、装卸和保管有其他特殊要求时,制造厂应在包装箱上明确标志。
