ICS 29.080.99
K 49

中华人民共和国国家标准

GB/T 11032—2020
代替 GB/T 11032—2010

交流无间隙金属氧化物避雷器

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

(IEC 60099-4:2014,Surge arresters—Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems,MOD)

2020-12-14 发布　　2021-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　次

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 11032—2010《交流无间隙金属氧化物避雷器》，与 GB/T 11032—2010 相比，主要技术变化如下：

——增加了规范性引用文件 GB/T 3505、GB/T 11604—2015、GB/T 12022、GB/T 16422.1—2006、GB/T 16422.2—2014、GB/T 16422.3—2014、GB/T 16927.4、GB/T 22079、GB/T 26218.1—2010 及 GB/T 26218.2—2010(见第 2 章)；

——删除了规范性引用文件 GB/T 775.1—2000、GB/T 775.3—2006、GB/T 6553—2003、GB/T 17467—1998、GB/T 19519—2004、IEC 60068-2-42:2003、IEC 60815:1986、IEC 61166:1993、CISPR16-1:1999、CISPR18-2:1986 及 JB/T 7618—1994(见 2010 年版第 2 章)；

——增加了术语和定义“无间隙线路避雷器”“树脂浇铸外套避雷器”“绝缘底座”“安装托架”“电站类避雷器”“配电类避雷器”“陡波冲击电流保护水平”“雷电冲击保护水平”“操作冲击保护水平”“额定重复转移电荷”“额定热转移电荷”“额定热能量”“正弦半波冲击电流”“雷电冲击放电”“额定短路电流”“规定的长期负荷”“规定的短期负荷”及“拉伸负荷”(见 3.2、3.13、3.19、3.20、3.27、3.28、3.40、3.42、3.44、3.46、3.47、3.48、3.51、3.52、3.56、3.76、3.77、3.80)(见第 3 章)；

——删除了术语和定义“最大允许工作负荷”“最大允许动态工作负荷”及“允许静态工作负荷”(见 2010 年版第 3 章)；

——修改了避雷器分类(见表 1，2010 年版的表 1)；

——增加了重复转移电荷耐受和内部均压部件的要求(见 6.10、6.15)；

——删除了长持续时间电流冲击耐受的要求(见 2010 年版的 6.8)；

——增加了避雷器比例单元要求(见 7.2.2)；

——增加了重复转移电荷试验、内部部件绝缘耐受试验和内部均压部件试验(见 8.5、8.15、8.16)；

——修改了动作负载试验、工频电压耐受时间特性试验及弯曲负荷试验(见 8.7、8.8、8.11，2010 年版的 8.5、附录 D、8.9)；

——删除了长持续电流冲击耐受试验(见 2010 年版的 8.4)；

——修改了复合外套避雷器的弯曲负荷试验、气候老化试验及拉伸负荷试验(见 10.8.11、10.8.24、10.8.25，2010 年版的 10.8.9、10.8.14、10.8.15)；

——删除了避雷器湿气浸入试验(见 2010 年版的 10.8.13)；

——增补了标准的附录“电压分布试验”“基于线路放电等级的能量分类与基于动作负载试验的额定热能量和重复单次事件能量的额定重复转移电荷的分类比较”“热稳定试验起始温度”“动作负载试验试品参数计算示例”及“多元件避雷器平均温度”(见附录 K、附录 M、附录 N、附录 O、附录 P)；

——修改了热等价性试验(见附录 I，见 2010 年版的附录 B)；

——删除了标准的附录“电压范围 1 kV～52 kV 强雷电负载避雷器的要求”“验证避雷器工频电压耐受时间特性试验程序”“线路放电等级的选用导则”“大电流冲击动作负载试验的典型回路”“长持续时间冲击电流耐受试验用的一种分布常数发生器的典型回路”及“人工污秽试验方法”(见 2010 年版的附录 C、附录 D、附录 E、附录 H、附录 I 及附录 O)。

本标准使用重新起草法修改采用 IEC 60099-4:2014《避雷器　第 4 部分：交流无间隙金属氧化物避雷器》。

本标准与 IEC 60099-4:2014 相比,在结构上有较多调整,附录 A 中列出了本标准与 IEC 60099-4:2014 章条编号变化对照一览表。

本标准与 IEC 60099-4:2014 相比存在技术性差异,附录 B 中给出了相应技术性差异及其原因的一览表。

本标准做了下列编辑性修改:

——为与我国技术标准体系一致,将标准名称修改为《交流无间隙金属氧化物避雷器》;

——根据附录在正文中的顺序,调整了附录的位置。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国避雷器标准化技术委员会(SAC/TC 81)归口。

本标准起草单位:西安西电避雷器有限责任公司、西安高压电器研究院有限责任公司、中国电力科学研究院有限公司、国家绝缘子避雷器质量监督检验中心、西安交通大学、南方电网科学研究院有限责任公司、中电普瑞电力工程有限公司、甘肃电器科学研究院、国网四川省电力公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、国网陕西省电力公司电力科学研究院、清华大学、云南电网有限责任公司电力科学研究院、中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司、西安神电电器有限公司、抚顺电瓷制造有限公司、大连法伏安电器有限公司、平高东芝(廊坊)避雷器有限公司、金冠电气股份有限公司、厦门 ABB 避雷器有限公司、恒大电气有限公司、温州益坤电气有限公司、宁波市镇海国创高压电器有限公司、南阳中威电气有限公司、国网湖北省电力公司电力科学研究院、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、上海电瓷厂有限公司、浙江永固电缆附件有限公司、大连北方避雷器有限公司。

本标准主要起草人:何计谋、王建生、王保山、黄勇、田恩文、熊易、张博宇、祝嘉喜、郭洁、何金良、弥璞、李凡、时卫东、孙泉、张益民、蔡汉生、车文俊、孟鹏飞、崔涛、贾磊、饶章权、韩彦华、谢清云、马御棠、胡晓、贾东旭、汤晓中、樊力、宋继军、徐学亭、赵冬一、刘飞、张锁龙、李向军、刘斌、邓万婷、钟雅凤。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB 11032—1989,GB 11032—2000,GB/T 11032—2010。

交流无间隙金属氧化物避雷器

1 范围

本标准规定了交流无间隙金属氧化物避雷器(以下简称避雷器)的标志及分类、标准额定值和运行条件、技术要求及试验方法等。

本标准适用于为限制交流电力系统瞬态过电压而设计的无间隙金属氧化物避雷器。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 311.1 绝缘配合 第1部分:定义、原则和规则(GB/T 311.1—2012,IEC 60071-1:2006,MOD)

GB/T 311.2—2013 绝缘配合 第2部分:使用导则(IEC 60071-2:1996,MOD)

GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Ka:盐雾(IEC 60068-2-11:1981,IDT)

GB/T 2423.22—2012 环境试验 第2部分:试验方法 试验N:温度变化(IEC 60068-2-14:2009,IDT)

GB/T 2900.12—2008 电工术语 避雷器、低压电涌保护器及元件

GB/T 2900.19—1994 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合

GB/T 3505 产品几何技术规范(GPS)表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数(GB/T 3505—2009,ISO 4287:1997,IDT)

GB/T 3906—2020 3.6 kV～40.5 kV交流金属封闭开关设备和控制设备(IEC 62271-200:2011,MOD)

GB/T 7354 高电压试验技术 局部放电测量(GB/T 7354—2018,IEC 60270:2000,MOD)

GB/T 7674—2020 额定电压72.5 kV及以上气体绝缘金属封闭开关设备(IEC 62271-203:2011,MOD)

GB/T 8905 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则

GB/T 11023—2018 高压开关设备六氟化硫气体密封试验方法

GB/T 11604—2015 高压电气设备无线电干扰测试方法(IEC/TR CISPR 18-2:2010,MOD)

GB/T 12022 工业六氟化硫

GB/T 16422.1—2006 塑料 实验室光源暴露试验方法 第1部分:总则(ISO 4892-1:1999,IDT)

GB/T 16422.2—2014 塑料 实验室光源暴露试验方法 第2部分:氙弧灯(ISO 4892-2:2006,IDT)

GB/T 16422.3—2014 塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分:荧光紫外灯(ISO 4892-3:2006,IDT)

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第1部分:一般定义及试验要求(GB/T 16927.1—2011,

IEC 60060-1:2010,MOD)

GB/T 16927.2 高电压试验技术 第2部分:测量系统(GB/T 16927.2—2013,IEC 60060-2:2010,MOD)

GB/T 16927.4 高电压和大电流试验技术 第4部分:试验电流和测量系统的定义和要求

GB/T 22079 标称电压高于1 000 V使用的户内和户外聚合物绝缘子 一般定义、试验方法和验收准则(GB/T 22079—2008,IEC 62217:2005,MOD)

GB/T 26218.1—2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第1部分:定义、信息和一般原则(IEC/TS 60815-1:2008,MOD)

GB/T 26218.2—2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第2部分:交流系统用瓷和玻璃绝缘子(IEC/TS 60815-2:2008,MOD)

IEC 60507:2013 交流系统用高压绝缘子人工污秽试验(Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems)

3 术语和定义

GB/T 311.1、GB/T 2900.12—2008、GB/T 2900.19—1994、GB/T 26218.1—2010界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无间隙金属氧化物避雷器 metal-oxide surge arrester without gaps

由装在具有电气和机械连接端子外套中的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。

3.2

无间隙线路避雷器 non-gapped line arrester;NGLA

安装在输电线路上,与线路绝缘子(串)并联,用来保护线路绝缘,防止线路绝缘子(串)和空气间隙闪络的无间隙金属氧化物避雷器。

3.3

非线性金属氧化物电阻片 non-linear metal-oxide resistor

避雷器的部件,由瓷体、两端面金属电极和侧面绝缘层构成的具有非线性伏安特性的金属氧化物电阻片。

注1:非线性金属氧化物电阻片在正常工频电压下呈现高电阻,在承受过电压时呈现低电阻,从而限制避雷器端子间的过电压。

注2:非线性金属氧化物电阻片通常简称电阻片。

3.4

外套 housing

用以提供爬电距离、机械强度并保护内部部件不受环境影响的避雷器外绝缘部件。

注:该外套的定义不同于特殊类型避雷器外套的定义(例如:气体绝缘金属封闭避雷器、外壳不带电避雷器、分离避雷器及液浸避雷器)。对于这些避雷器外套的定义分别在第11章、第12章和第13章中给出。

3.5

伞裙 shed

用以增加爬电距离,具有伞形轮廓,从外套伸出的绝缘部分。

3.6

瓷外套避雷器　porcelain-housed surge arrester

用瓷材料做外套，并带有附件和密封系统的避雷器。

3.7

复合外套避雷器　polymer-housed surge arrester

用聚合物和(或)复合材料做外套的避雷器。

注：可以设计为具有封闭的气体容积，利用聚合物材料本身或独立的密封系统来实现密封。

3.8

气体绝缘金属封闭避雷器　gas-insulated metal enclosed surge arrester

GIS 避雷器　GIS-arrester

用金属材料做外套，内部充以不同于空气的气体的避雷器。

注 1：气体压力通常超过 1 bar=10^5 Pa。

注 2：该避雷器用于气体绝缘开关设备中。

3.9

外壳不带电型避雷器　arrester dead-front type

外壳不带电避雷器　dead-front arrester

用屏蔽的金属材料或者导电的复合材料做外套的避雷器。

注 1：大部分外壳不带电避雷器是带电插拔避雷器，该避雷器安装在柜体内，用于保护配电设备及回路。

注 2：避雷器装在不同屏蔽等级的绝缘外套中，该外套提供系统绝缘并屏蔽接地，屏蔽等级是由安装的安全或接触要求所确定的。对于屏蔽等级各制造商的描述有些不同，但都是从安全性和外套外部的导电性方面考虑是否允许工人带电操作避雷器以及是否用带电作业工具。

3.10

分离型避雷器　arrester separable type

分离避雷器　separable arrester

用绝缘材料或屏蔽的导电材料做外套的避雷器。

注 1：分离避雷器通过滑动接触或螺栓装置实现电气连接；所有分离避雷器都是不带电插拔避雷器，该避雷器安装在柜体内，用于保护配电设备及系统。

注 2：避雷器装在不同屏蔽等级的绝缘外套中，该外套提供系统绝缘，屏蔽等级是由安装的安全或接触要求所确定的。对于屏蔽和保护等级各制造商的描述有些不同，但都是从安全性和外套外部的导电性方面考虑是否允许工人带电作业以及是否用带电作业工具。

3.11

带电插拔避雷器　load-break arrester

能够在回路带电时连接和断开的避雷器。

3.12

不带电插拔避雷器　dead-break arrester

只有在回路不带电时，才能和回路连接和断开的避雷器。

3.13

树脂浇铸外套避雷器　cast resin housed arrester

用一种有机基材(例如：脂环族环氧树脂)做外套的避雷器。

注：该避雷器在机械过应力下会产生与瓷外套类似的破裂。

3.14

液浸型避雷器　arrester liquid-immersed type

液浸避雷器　liquid-immersed arrester

浸在绝缘液体中的避雷器。

3.15

避雷器均压环　grading ring of an arrester

用金属材料制成，用以改善避雷器静电场电压分布的金属环。

3.16

避雷器内部均压系统　internal grading system of an arrester

用以控制沿电阻片柱轴向的电压分布，并联于一片或一组非线性电阻片上的均压阻抗。

注：通常是均压电容器。

3.17

芯体　internal parts

带有支撑结构和内部均压系统（如果有）的电阻片组件。

3.18

避雷器压力释放装置　pressure-relief device of an arrester

防止外套由于避雷器流过故障电流或内部闪络而发生不可接受的爆炸，并释放避雷器内部压力的一种装置。

3.19

绝缘底座　insulating base

为了能够在避雷器的低压端与地之间连接监测装置，通常安装在避雷器低压端与地之间的一种绝缘构件。

3.20

安装托架　mounting bracket

用于将配电类避雷器安装在电杆或者其他结构上的一种辅助安装装置。

注：对于配电类复合外套避雷器，安装托架通常是用绝缘材料制成，并且通常安装在避雷器的底部（接地端）；对于配电类瓷外套避雷器，安装托架通常是用金属材料（一般为钢材）制成，通过一个“抱箍”固定连接瓷外套，并与避雷器的接地端有一定的距离。

3.21

脱离器　disconnector

在避雷器故障时，为了防止系统持续故障，能够使避雷器与系统断开并给出可见标识的装置。

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。

3.22

故障指示器　fault indicator

能够指示避雷器故障的一种装置。

注：故障指示器不必具有将避雷器从系统中脱离的功能。

3.23

避雷器元件　unit of an arrester

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

3.24

电气元件　electrical unit

元件两端电极均暴露在外部环境中的避雷器部分。

注：一个电气元件内可以包含有多个机械元件（见图 5）。

3.25

机械元件　mechanical unit

元件内部电阻片被机械固定防止轴向移动的避雷器部分。

注 1：一个电气元件内可以包含多个机械元件(见图 5)。

注 2：一个机械元件可以有多个电气元件(见图 5)。

3.26

避雷器比例单元(比例单元)　section of an arrester(prorated section)

一个完整的、组装好的对某种特定试验代表整只避雷器特性的避雷器部件。

注：避雷器比例单元不一定是避雷器元件。对于某些试验，电阻片可以单独构成比例单元。

3.27

电站类避雷器　station class arrester

通常但不限于使用在 $U_s \geqslant 72.5$ kV 的系统中，用于保护电站电器设备免受瞬态过电压损害的避雷器。

注 1：电站类避雷器的标称标称放电电流 I_n 有 5 kA、10 kA、20 kA。

注 2：电站类避雷器按负载的高、中、低来分等级，分别表示为 SH、SM 和 SL(见表 1)。

注 3：电站类避雷器也可用于 $U_s \leqslant 40.5$ kV 的系统中。

3.28

配电类避雷器　distribution class arrester

通常使用在 $U_s \leqslant 40.5$ kV 的系统中，主要用于保护配电系统电器设备免受雷电过电压损害的避雷器。

注 1：配电类避雷器的标称放电电流 I_n 为 1.5 kA、2.5 kA、5 kA、10 kA。

注 2：配电类避雷器按负载的高、中、低来分等级，分别表示为 DH、DM 和 DL(见表 1)。

3.29

额定电压　rated voltage of an arrester

U_r

通过工频电压耐受时间特性试验和动作负载试验验证，允许施加到避雷器端子间持续 10 s 的最大工频过电压方均根值。

注：额定电压是表明避雷器运行特性的一个参考参数。

3.30

额定频率　rated frequency of an arrester

设计的避雷器所应用到的电力系统频率。

3.31

持续运行电压　continuous operating voltage of an arrester

U_c

允许持久地施加在避雷器端子间的工频电压方均根值。

3.32

持续电流　continuous current of an arrester

施加持续运行电压时流过避雷器的电流。

注 1：持续电流由阻性和容性分量组成，其值会随温度、杂散电容和外部污秽情况而变化。因此试品的持续电流可能会与整只避雷器的持续电流存在差异。

注 2：为了便于比较，持续电流可统一用方均根值或峰值表示。

3.33

标称放电电流　nominal discharge current of an arrester

I_n

用于避雷器分类的雷电冲击电流峰值。

3.34

参考电流　reference current of an arrester

3.34.1

工频参考电流　power-frequency reference current of an arrester

用于确定避雷器工频参考电压的工频电流阻性分量峰值(如果电流是非对称的,取两个极性中较高的峰值)。

注:工频参考电流足够大,杂散电容对所测避雷器元件(包括设计的均压系统)的工频参考电压的影响可以忽略,该值由制造商规定。对于单柱避雷器,通过电阻片截面的工频参考电流密度值的典型范围为 0.02 mA/cm² ~ 1.0 mA/cm²。

3.34.2

直流参考电流　DC reference current of an arrester

用于确定避雷器直流参考电压的直流电流平均值。

注:对于单柱避雷器,直流参考电流通常取 1 mA~5 mA。

3.35

参考电压　reference voltage of an arrester

U_{ref}

工频参考电压(U_{refAC})和直流参考电压(U_{refDC})的总称。

3.35.1

工频参考电压　power-frequency reference voltage of an arrester

U_{refAC}

在避雷器流过工频参考电流时所测的避雷器端子间的工频电压峰值除以$\sqrt{2}$。

注 1:多元件串联避雷器的工频参考电压是整只避雷器测量的结果,如果是用每个元件工频参考电压之和代替,则充分考虑杂散电容对所测整只避雷器工频参考电压值的影响。

注 2:工频参考电压的测量对动作负载试验中正确选择试品是必要的(见 8.7)。

3.35.2

直流参考电压　DC reference voltage of an arrester

U_{refDC}

在避雷器流过直流参考电流时所测出的避雷器端子间的直流电压平均值(如果电压与极性有关,取低值)。

注 1:多元件串联避雷器的直流参考电压为每个元件直流参考电压之和。

注 2:直流参考电压的测量对动作负载试验中正确选择试品是必要的(见 8.7)。

3.36

0.75 倍直流参考电压下漏电流　leakage current at 0.75 U_{refDC} of an arrester

在 0.75 倍直流参考电压下流过避雷器的漏电流。

3.37

放电电流　discharge current of an arrester

流过避雷器的冲击电流。

3.38

残压　residual voltage of an arrester

U_{res}

放电电流流过避雷器时其端子间的电压峰值。

3.39

陡波冲击电流　steep current impulse of an arrester

视在波前时间为 0.9 μs～1.1 μs、视在波尾半峰值时间不大于 20 μs 的一种视在波前时间为 1 μs 的冲击电流。

注：在残压试验时，波尾半峰值时间的偏差不作要求(见 8.3)。

3.40

陡波冲击电流保护水平　steep current impulse protection level；STIPL

在幅值等于标称放电电流值的陡波冲击电流下避雷器的最大残压。

3.41

雷电冲击电流　lightning current impulse of an arrester

视在波前时间为 7 μs～9 μs、波尾视在半峰值时间为 18 μs～22 μs 的一种 8/20 波形的冲击电流。

注：在残压试验时，波尾半峰值时间的偏差不作要求(见 8.3)。

3.42

雷电冲击保护水平　lightning impulse protection level；LIPL

U_{pl}

在标称放电电流下避雷器的最大残压值。

3.43

操作冲击电流　switching current impulse of an arrester

视在波前时间的测量值大于 30 μs 但小于 100 μs、视在波尾半峰值时间的测量值约为视在波前时间 2 倍的一种冲击电流。

3.44

操作冲击保护水平　switching impulse protection level；SIPL

U_{ps}

按避雷器分类确定的操作冲击电流值下的避雷器最大残压。

3.45

避雷器的保护特性　protective characteristics of an arrester

雷电冲击保护水平(LIPL)、操作冲击保护水平(SIPL)及陡波冲击电流保护水平(STIPL)的组合。

3.46

额定重复转移电荷　repetitive charge transfer rating

Q_{rs}

由单次或者多次冲击电流产生，通过避雷器转移，并且不会引起电阻片的损坏或者不可接受的电气性能劣化的避雷器最大电荷转移能力。

注：通过电流对时间的积分(绝对值)来计算电荷值。本标准中，电荷值是由单次冲击电流或者 2 s 内多次冲击电流累积的电荷值，并且接下来可在不少于 60 s 的时间间隔再次承受冲击电流。

3.47

额定热转移电荷　thermal charge transfer rating

Q_{th}

在热稳定试验中，1 min 内可以通过避雷器或避雷器比例单元转移而不会导致热崩溃的最大规定

电荷值。

注：额定热转移电荷值通过动作负载试验来验证。

3.48

额定热能量　thermal energy rating

W_{th}

在热稳定试验中，3 min 内可以注入避雷器或避雷器比例单元而不会导致热崩溃的最大规定单位额定电压下的能量(用 kJ/kV 表示)。

注：额定热能量通过动作负载试验来验证。

3.49

大电流冲击　high current impulse of an arrester

用于验证避雷器在遭受直击雷时稳定性，冲击波形 4/10 的冲击电流峰值。

3.50

长持续时间冲击电流　long-duration current impulse

一种方波冲击电流，其迅速上升到最大值，在规定时间内基本保持恒定，然后迅速降至零值的冲击电流。

注：表征该冲击电流的参数：极性、峰值、视在峰值持续时间和视在总的持续时间。

3.51

正弦半波冲击电流　unipolar sine half-wave current impulse

一种近似于正弦电流半波的冲击电流。

3.52

雷电冲击放电　lightning impulse discharge

冲击电流瞬时值超过 5%峰值，持续时间在 200 μs～230 μs，近似正弦半波的冲击电流。

注：用于考核线路避雷器的雷电冲击放电能力的电流波形。

3.53

工频电压耐受时间特性　power-frequency voltage versus time characteristic

在规定的条件下(见 6.12)，对避雷器施加不同的工频电压且不导致避雷器损坏或热崩溃所对应的最大持续时间。

注：工频电压耐受时间特性也称为 TOV 耐受特性。

3.54

避雷器的热崩溃　thermal runaway of an arrester

当避雷器的持续功率损耗超过外套和连接件的散热能力而引起电阻片温度逐渐升高，最终导致避雷器损坏的情况。

3.55

避雷器的热稳定　thermal stability of an arrester

当避雷器在动作负载试验引起温度上升后，在规定的环境条件下对避雷器施加规定的持续运行电压过程中，电阻片的温度能随时间而降低的状态。

3.56

额定短路电流　rated short-circuit current

I_s

在规定的试验条件下，避雷器不发生不可接受的外套爆炸(如果产生了明火，应在不超过 2 min 的时间内熄灭)，能承受内部短路的最大工频电流试验值。

3.57

回路预期电流　prospective current of a circuit

在回路给定试品安装的位置，用可忽略阻抗的导体短接时流过该导体的电流。

3.58

液浸避雷器的故障开路电流额定值　fail-open current rating for liquid-immersed arrester

可发展为开路的最低避雷器故障电流值。

3.59

液浸避雷器的故障短路电流额定值　fail-short current rating for liquid-immersed arrester

可发展为短路的最大避雷器故障电流值。

3.60

密封(气/水密封性)　seal(gas/water tightness)

避免对电气和(或)机械性能有影响的物质进入避雷器内部的能力。

3.61

破坏性放电　disruptive discharge

在电应力作用下绝缘失效的现象(包括电压突降和电流导通)。

注 1：本术语适用于固体、液体、气体介质或其组合体的电击穿。

注 2：在固体介质中破坏性放电会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的丧失可能是暂时的。

3.62

闪络　flashover

在固体表面上的贯穿性放电。

3.63

击穿　puncture(breakdown)

穿过固体介质的破坏性放电。

3.64

冲击　impulse

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)的一种无明显振荡单极性的电压或电流波。

注：表征该冲击波形的参数：极性、峰值、波前时间和波尾半峰值时间。

3.65

冲击波形的表示　designation of an impulse shape

由视在波前时间 T_1 和视在波尾半峰值的时间 T_2 两个数值表示。

注：写作 T_1/T_2，时间单位均为 μs，符号“/”无数学意义。

3.66

冲击波前　front of an impulse

冲击峰值以前的部分。

3.67

冲击峰值　peak(crest)value of an impulse

冲击电压或冲击电流的最大值。

注：叠加的振荡可忽略。

3.68

冲击反极性峰值　peak(crest)value of opposite polarity of an impulse

冲击电压或电流在达到永久零值前，在零值附近振荡时反极性最大幅值。

3.69

冲击波尾　tail of an impulse

冲击峰值以后的部分。

3.70

冲击的视在原点　virtual origin of an impulse

在电压(或电流)对时间的曲线上，通过冲击波前上的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。

注1：对于冲击电流，两个参考点为峰值的10%和90%。

注2：此定义适用于纵坐标和横坐标为线性标度的情况。

注3：如果存在波前振荡时，10%和90%的参考点在通过振荡的平均曲线上取值。

3.71

冲击电流视在波前时间　virtual front time of a current impulse

T_1

从10%的电流峰值增加到90%的电流峰值所需时间的1.25倍的时间(以微秒表示时间)。

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

3.72

冲击的视在波前陡度　virtual steepness of the front of an impulse

冲击峰值与视在波前时间之商。

3.73

冲击的视在波尾半峰值时间　virtual time to half-value on the tail of an impulse

T_2

视在原点到冲击波尾50%电压或电流峰值的时间间隔(用微秒表示)。

3.74

方波冲击的视在峰值持续时间　virtual duration of the peak of a rectangular impulse

冲击幅值大于其峰值90%的时间。

3.75

方波冲击的视在总持续时间　virtual total duration of a rectangular impulse

冲击波幅值大于其峰值10%的时间。

注：如果在波前出现有小震荡时，可画出平均曲线以便于确定达到10%值的时间。

3.76

规定的长期负荷　specified long-term load;SLL

垂直作用于避雷器的纵轴，在运行期间允许持续施加不会引起避雷器机械损坏的力。

3.77

规定的短期负荷　specified short-term load;SSL

垂直作用于避雷器的纵轴，在运行期间对于短期和比较罕见的事件(例如：短路电流负载和极端阵风)允许施加不会引起避雷器机械损坏的最大力。

注：规定的短期负荷(SSL)不涉及地震荷载的机械强度要求，见F.2。

3.78

端子水平拉力　terminal line force

垂直作用于避雷器的纵轴，在避雷器中心线上施加的力。

3.79

扭转负荷　torsional load

作用于垂直安装避雷器外套顶端，但未经过避雷器纵轴的水平力。

3.80

拉伸负荷　tensile load

施加在避雷器纵轴上，方向与避雷器的纵轴一致的拉伸力。

3.81

弯矩　bending moment

垂直作用于避雷器纵轴的力乘以施力点与避雷器安装底座（法兰的下平面）之间的垂直距离。

3.82

破坏负荷　breaking load

垂直作用于瓷外套或树脂浇铸避雷器的纵轴，导致避雷器外套机械破坏的力。

3.83

平均破坏负荷　mean breaking load；MBL

由试验所确定的瓷外套或树脂浇铸外套避雷器的破坏负荷平均值。

3.84

损伤极限（机械的）　damage limit（mechanical）

垂直作用于复合外套避雷器的纵轴，导致避雷器外套机械性损伤的最小力值。

3.85

型式试验　type tests

设计试验　design tests

完成一种新的避雷器设计时，为确定代表性的性能并证明符合有关标准所做的试验。

注：型式试验做一次即可，但是如果在设计和工艺上有所变更对产品性能有影响时，重新进行相关项目的试验。

3.86

例行试验　routine tests

为保证产品符合设计规范，对每只避雷器或部件进行的试验。

3.87

抽样试验　sample test

对避雷器产品的主要部件，按批次以一定比例抽取试品进行抽样检查以控制避雷器产品质量的试验。

3.88

定期试验　periodic test

制造厂在特殊情况下或规定的年限内进行的产品质量监督试验。

3.89

验收试验　acceptance tests

经供需双方协商，对避雷器或代表性试品进行的试验。

4 标志及分类

4.1 避雷器标志

避雷器的铭牌上应至少包含以下信息：

——型号；

——持续运行电压；

——直流参考电压；

——额定频率，如果与标准额定频率(见 5.2)不同；

——额定短路电流(kA)，对于没有宣称短路额定值的避雷器，应以“0”值表示；

——制造商名称或商标；

——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)。

如果铭牌有空间，还应包含：

——避雷器的等级(见表 1 的等级栏)；

——额定重复转移电荷 Q_{rs}；

——外套的污秽耐受水平(见 GB/T 26218.1—2010)。

4.2 避雷器分类

电站类和配电类避雷器的分类见表 1，其试验要求和性能特性应至少符合表 3 的规定。

根据应用情况，无间隙线路避雷器也可以采用表 1 所示的任何一种避雷器的分类。

表 1 避雷器分类

避雷器分类	电站类				配电类			
等级	SH	SM	SL		DH	DM	DL	
标称放电电流[a]	20 kA	10 kA	10 kA	5 kA	10 kA	5 kA	2.5 kA	1.5 kA
操作冲击电流[b]	2 kA	1 kA	0.5 kA	0.5 kA	0.5 kA	0.25 kA	0.1 kA	0.1 kA
Q_{rs}[c]/C	≥2.4	≥1.6	≥1.0	≥0.8	≥0.4	≥0.2	≥0.1	≥0.1
W_{th}[c]/(kJ/kV)	≥10	≥7	≥4	≥3.5	—	—	—	—
Q_{th}[c]/C	—	—	—	—	1.1	0.7	0.45	0.2

注：字母 H、M、L 在等级栏中分别表示负载的高、中、低。

[a] 其余电流值由制造商和用户协商规定，不同使用场合的典型避雷器标称放电电流值见表 D.1～表 D.8。

[b] 其余电流值由制造商和用户协商规定，不同使用场合的典型避雷器操作冲击放电电流值见表 D.9。

[c] 不同使用场合的典型避雷器额定重复转移电荷值、额定热能量值及额定热转移电荷见表 D.9。

5 标准额定值和运行条件

5.1 标准额定电压

避雷器的额定电压标准值见表 2。

表 2 额定电压的典型推荐值

额定电压的范围(有效值) kV	额定电压的级差(有效值) kV
<3 kV	不作规定
3～30	1
30～54	3
54～288	6
288～396	12
396～900	24
注：其他额定电压值也可接受。	

5.2 标准额定频率

标准额定频率为 50 Hz 和 60 Hz。

5.3 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。

5.4 运行条件

5.4.1 正常运行条件

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) 环境温度在－40 ℃～＋40 ℃范围内；

b) 太阳光辐射；

注：最大太阳辐射(1.1 kW/m²)的影响通过在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，避雷器的使用经供需双方协商。

c) 海拔不超过 1 000 m；

d) 交流系统的频率不低于 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) 风速≤34 m/s；

g) 地震烈度Ⅶ度及以下地区；

h) 覆冰厚度不大于 20 mm；

i) 垂直安装。

5.4.2 异常运行条件

在异常运行条件下，避雷器的设计、制造及使用应特殊考虑。在异常运行条件下，本标准的使用应经供需双方协商。异常运行条件见附录C。

6 技术要求

6.1 绝缘耐受

避雷器外套应能够耐受在避雷器通过雷电冲击电流和操作冲击电流时的残压，以及预期的最大工频过电压。外套的外绝缘耐受能力应按8.2进行验证，而内绝缘耐受能力应按8.15进行验证。

6.2 参考电压

6.2.1 工频参考电压

应在制造商规定的工频参考电流下测量避雷器（或避雷器元件）的工频参考电压，其值应不小于制造商规定的最小工频参考电压值，并应在制造商的资料中公布。

6.2.2 直流参考电压

应在规定的直流参考电流下测量避雷器（或避雷器元件）的直流参考电压，其值应不小于附录D的规定，并应在制造商的资料中公布。

6.3 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，也可从制造商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，某种给定避雷器设计的最大残压可从型式试验时比例单元试验的残压乘以比例系数计算得出。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。典型的避雷器在陡波、雷电、操作冲击电流下残压值应不大于附录D的规定。

例行试验时，对于额定电压42 kV及以下的避雷器，可用直流参考电压或工频参考电压进行残压换算。

对于列出的每种避雷器，制造商的资料里应包含下列残压信息：

至少在0.5倍、1倍和2倍避雷器标称放电电流下的最大雷电冲击残压（见8.3.3）；

在表1中规定的操作冲击电流下的最大操作冲击残压（见8.3.4）；

在陡波冲击电流等于避雷器标称放电电流下的最大陡波冲击电流残压（不包括等效电感电压）（见8.3.2）；

在陡波冲击电流等于避雷器标称放电电流下的最大陡波冲击电流残压（包括等效电感电压）（见8.3.2），陡波冲击电流残压应等于最大陡波冲击电流残压（不包括等效电感电压）（见8.3.2）与等效电感电压之和。

避雷器端子间的等效电感电压由公式(1)确定：

$$U_L = L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = L'h\frac{I_n}{T_f} \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

U_L ——等效电感电压，单位为千伏（kV）；

L' ——单位长度的电感值，单位为微亨每米（μH/m），对瓷外套和复合外套避雷器，$L'=1$；对 GIS 避雷器、分离避雷器及外壳不带电避雷器，$L'=0.3$；

h ——避雷器端子间的高度减去电阻片高度，单位为米（m）；

T_f ——陡波冲击电流的波前时间，等于 1 μs；

I_n ——标称放电电流，单位为千安（kA）。

注 1：等效电感电压仅在陡波冲击电流下变得显著，它实际上增加了避雷器的陡波冲击电流保护水平，超过了按 8.3.2确定的电阻片陡波冲击电流残压。对于希望进行绝缘配合研究的用户，需提供包含等效电感电压的最大的陡波冲击电流残压。

注 2：对于多柱并联避雷器，计算用的电流值为规定的标称放电电流值除以避雷器并联柱数。

6.4 局部放电

避雷器在 1.05 倍持续运行电压下的局部放电量不应大于 10 pC。

6.5 密封性能

避雷器应有可靠的密封。在避雷器寿命期间内，不应因密封不良而影响避雷器的运行性能。对于具有封闭的气体容积和独立的密封系统的避雷器，避雷器的密封性能应符合 8.13 的规定。

6.6 电流分布

制造商应规定多柱并联避雷器的电阻片柱（或避雷器元件）间允许的最大电流分布不均匀系数。电流分布最大不均匀系数应不大于 1.10。

公式（2）确定电流分布不均匀系数 β：

$$\beta = n \times \frac{I_{max}}{I_{arr}} \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：

n ——并联柱数；

I_{max}——通过电阻片柱或避雷器元件最大的电流峰值，单位为安培（A）；

I_{arr} ——通过避雷器的总电流，单位为安培（A）。

6.7 热稳定性

经供需双方协商，可按 9.2.2 进行特殊的热稳定试验。

6.8 长期稳定性

应对电阻片进行加速老化试验，以提供避雷器在整个预期寿命期间电阻片将会呈现稳定性的保证（见 8.4）。

6.9 散热特性

涉及热稳定试验所用的比例单元应有合适的散热特性，以确保不会导致对避雷器性能的不当评价。比例单元的散热特性应通过试验来验证（见 8.6）。

6.10 重复转移电荷耐受

在型式试验时，避雷器应通过重复转移电荷耐受的考核（见 8.5）。

重复转移电荷试验在电阻片上进行，试验程序见 8.5.2。

注 1：可能存在某些特殊应用，单次冲击的转移电荷产生的能量高于额定热能量。

注 2：经供需双方协商，重复转移电荷试验也可以在 3 只避雷器上进行，试验程序参照 8.5.2，试验后 3 只试品无机械损伤痕迹，试验评价参照 8.5.3。

6.11 动作负载

避雷器应能耐受操作冲击的能量或者雷电冲击的转移电荷，并且在接下来施加的暂时过电压和随后施加的持续运行电压的情况下能够热稳定。这种能力通过动作负载试验来验证(见 8.7)。

6.12 工频电压耐受时间特性

制造商应提供，按照 8.7.2.3 的要求预热避雷器到起始温度，在没有预注能量(或电荷)负载时和对于 $I_n \geqslant 5$ kA 的避雷器预注额定热能量 W_{th}(或额定热转移电荷 Q_{th})负载时，在不发生损坏或热崩溃的情况下，允许施加到避雷器上的工频电压的持续时间以及相应电压值的数据。

上述信息应以工频电压耐受时间特性曲线(TOV 曲线)表示，并且在曲线上注明施加工频电压前的能量(或电荷)负载情况。

工频电压耐受时间特性(TOV 试验)应在热比例单元上进行验证(见 8.8)。

6.13 短路性能

对同种设计的避雷器系列，制造商应宣称额定短路电流。只有当安装点的预期短路电流在 1 kA 以下时，可宣称额定短路电流值为“0”，同时在铭牌上标注短路电流值为“0”。应按照 8.10 对避雷器进行短路试验，以验证避雷器故障时不会发生外套不可接受的爆炸，试验期间如果有明火产生，则应在规定的时间内自行熄灭。

注：对于中性点非有效接地系统，避雷器的预期短路电流通常在 1 kA 以下，可不进行大电流短路试验，但在铭牌上标注额定短路电流值为“0”。

6.14 脱离器

6.14.1 脱离器耐受

当避雷器装配有(或连接有)脱离器时，脱离器应耐受下列试验而不动作：

对用于配电类避雷器：

——重复转移电荷试验(见 8.5.2)；

——额定热转移电荷 Q_{th} 的动作负载试验(见 8.7.2)；

——供需双方协商的机械试验(见 8.9.4.1 的注)；

——温度循环和密封试验(见 8.9.5)。

对用于无间隙线路避雷器(NGLA)：

——采用雷电冲击放电(见附录 E)或长持续时间冲击电流(见 8.5.2)的重复转移电荷试验；

——额定热能量 W_{th} 的动作负载试验(见 8.7.2)；

——弯曲负荷试验(见 8.9.4.2)；

——拉伸负荷试验(见 8.9.4.3)；

——扭转负荷试验(见 8.9.4.4)；

——温度循环和密封试验(见 8.9.5)。

6.14.2 脱离器动作

按照 8.9.3 中规定的中性点有效接地系统(或中性点非有效接地系统)的三个电流值确定脱离器的

动作时延。脱离器应有有效和永久脱离的清晰标志。

6.15 内部均压部件

如果在避雷器中装有内部均压部件，其应耐受在运行中出现的组合应力，并且在使用寿命期间均压元件的阻抗值应保持稳定，并通过在包括内部均压部件的比例单元上的动作负载试验（见 8.7）和工频电压耐受时间特性试验（见 8.8）来验证。

应对均压元件进行加速老化试验和冷热循环试验（见 8.16）。

注：如果由于比例单元制备条件所限，内部均压部件无法随电阻片一并进行试验，那么可用一系列的单独试验对其进行考核，但是其所有的应力（电、热、机械等）耐受能力都要得到考核。

6.16 机械负荷

6.16.1 总则

制造商应规定与安装及运行相关的最大允许端部负荷，如弯曲、扭转及拉伸负荷。

6.16.2 弯曲负荷

避雷器应能耐受制造商宣称的弯曲负荷（见 8.11）。在按附录 F 确定的负荷值（SSL）作用下耐受 60 s～90 s 而不损坏，并可靠运行。

当确定施加在避雷器上的机械负荷时，用户应考虑风、覆冰及电磁力对安装的影响。

装箱的避雷器应能够耐受由用户规定的运输负荷。

注：与瓷外套避雷器不同，复合外套避雷器在运行中可能会出现机械偏移。

6.16.3 耐气候特性

避雷器应能耐受 8.12 规定的环境作用。

6.16.4 绝缘底座和安装托架

当避雷器安装有绝缘底座和（或）安装托架时，其可以单独或与避雷器组装在一起进行弯曲负荷试验（见 8.11）。

6.16.5 平均破坏负荷（MBL）

对于瓷外套和树脂浇铸外套避雷器，其平均破坏负荷 MBL 应不小于 1.2 倍规定的短期负荷 SSL，并应在 8.11 弯曲负荷试验中加以验证。

6.17 电磁兼容

避雷器不受电磁干扰的影响，因此不进行抗干扰试验。

在正常的运行条件下（干燥天气），避雷器应不发射出明显的干扰信号。对于使用在 $U_s \geqslant 72.5$ kV 系统中的避雷器（不包括变压器中性点用避雷器），应进行无线电干扰电压试验（见 8.14）。

6.18 寿命终止

按照用户要求，以及国际和国家法律规定，制造商应给出所有避雷器零部件报废和（或）循环利用的足够信息。

6.19 雷电冲击放电能力

对于安装在 U_s>40.5 kV 架空线路中的无间隙线路避雷器，应按附录 E 的试验程序来验证雷电冲击放电能力。

6.20 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，该值由制造商规定和提供。

6.21 0.75 倍直流参考电压下漏电流

0.75 倍直流参考电压下漏电流通常不超过 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商和用户协商规定。

6.22 大电流冲击耐受

大电流冲击耐受用于抽样试验、动作负载试验及内部零部件的绝缘耐受试验。

大电流冲击耐受要求见表 4。

注：抽样试验时，经供需双方协商，大电流冲击耐受试验也可以在 3 只避雷器上进行，试验程序参照 8.24，试验评价参照 8.15.3。

6.23 耐污秽性能

避雷器外套的统一爬电比距应符合 GB/T 26218.1—2010 的要求。

d 级及以上重污秽地区用瓷外套避雷器应做污秽试验，污秽试验方法见附录 G。

对于单元件瓷外套避雷器，附录 G 不适用，对其耐污性能按避雷器外套的爬电距离进行考核。

对于变压器中性点用避雷器，对其耐污性能不作要求。

6.24 包装、运输和保管

避雷器的包装、运输和保管参见附录 H。

7 试验要求

7.1 测量设备及准确度

测量设备应满足 GB/T 16927.2 和 GB/T 16927.4 的要求。所测数值准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电压频率在 48 Hz 和 62 Hz 之间，且近似于正弦波；直流电压试验的电压纹波因数不大于 1.5%。

7.2 试品

7.2.1 总则

除另有规定，应在相同的避雷器、避雷器元件或避雷器比例单元上进行全部试验。试品应是新的、干净的、装配完整的(如果有均压环和绝缘底座，应安装上)，并且尽可能模拟运行条件布置。

对于涉及热稳定性的试验，比例单元应包含实际设计避雷器外套中所装配的最大并联电阻片柱数。

当试验在比例单元上进行时，比例单元对于特定的试验应能代表制造商公差范围内所有可能的避雷器性能。

注：由于GIS避雷器内部结构通常很复杂，采用多柱电阻片并联进行试验可能无法进行。另一方面，因为GIS避雷器具有较好的散热特性，与瓷外套避雷器、复合外套避雷器相比采用单柱电阻片比例单元可实现与GIS避雷器的热等价性。因此，如果按照附录I能够证明热等价性，则对于GIS避雷器可采用单柱电阻片比例单元。

通常，试品应覆盖使用在避雷器中该规格电阻片的最高残压和最低参考电压。如果动作负载试验和TOV试验中规定了额定热转移电荷（见8.7和8.8），试品应有设计的单位长度最高的雷电冲击保护水平U_{pl}。如果动作负载试验中规定了额定热能量，试品应有制造商宣称范围内的最低参考电压。对于多柱并联的避雷器，应考虑电流分布不均匀系数的最大值。为了满足这些要求，应按下述规定执行：

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。试品中电阻片的体积应不大于整只避雷器所用的全部电阻片最小体积除以n。

b) 被试比例单元的参考电压应等于kU_r/n，其中k是避雷器最小参考电压与其额定电压之比。当所选用试品的$U_{ref}>kU_r/n$时，系数n应相应减小（$U_{ref}<kU_r/n$时，避雷器可能吸收过多的能量，这种比例单元需经制造商同意后才能采用）。

注：选取$(U_{ref}/\text{电阻片高度})_{最大值}$的电阻片组装比例单元，比例单元的额定电压等于其参考电压除以k。

c) 对于多柱并联避雷器，应在冲击电流下测量各柱间的电流分布（见8.22），最大的电流分布不均匀系数应不大于规定值（见6.6）。对于在多柱比例单元上进行的试验，通过乘以系数β_g/β_a来增加冲击能量，其中β_g是电流分布不均匀系数的规定值，β_a是比例单元的最大电流分布不均匀系数；对于在单柱比例单元上进行的试验，通过乘以系数β_g来增加冲击能量。

d) 重复转移电荷试验的试品应是设计使用的该规格电阻片高度最高的，并且在I_n下的残压和电阻片高度比值值不小于$0.97\times(U_{1n}/\text{电阻片高度})_{最大值}$，其中$(U_{1n}/\text{电阻片高度})_{最大值}$是指制造商规定使用在避雷器中电阻片的$I_n$下残压与其电阻片高度的比值的最大值。如果采用小于$0.97\times(U_{1n}/\text{电阻片高度})_{最大值}$的试品，试验时应乘以系数$(U_{1n}/\text{电阻片高度})_{最大值}/(U_{1n}/\text{电阻片高度})_{实际值}$，来增加试验时应施加的重复转移电荷值。

e) 对于涉及热稳定的试验，施加的持续运行电压应满足比例单元的持续运行电压与额定电压的比值，应不小于规定的该避雷器最大的持续运行电压与额定电压的比值。

7.2.2 避雷器比例单元要求

7.2.2.1 热比例单元

对于热稳定试验的比例单元应代表避雷器的热耗散特性。按附录I的程序进行热等价验证。

比例单元的额定电压应不低于3 kV。

在验证热等价时，可能需要装入一些不属于避雷器设计中的部件。在能量或电荷注入期间，该部件的装入应不影响试品的绝缘性能。

热比例单元也可以是避雷器或避雷器元件。

在有两柱或多柱电阻片并联的情况下，热比例单元应包含有与避雷器相同的并联电阻片柱数。

经供需双方协商一致，如果能够验证单柱电阻片的热比例单元与避雷器热等价，多柱并联避雷器热比例单元可以采用单柱避雷器的热比例单元进行试验。

对于多柱电阻片设计的GIS避雷器，如果验证单柱电阻片的热比例单元与GIS避雷器热等价，则可采用单柱的热比例单元。

对于热比例单元的设计，没有进一步的要求。因此热比例单元不必是避雷器的一个截切部分，也不需要只包含与避雷器相同的材料。只要保证热等价，以及在能量、电荷注入时有足够的绝缘强度，热比例单元可以与避雷器有不同的设计。

7.2.2.2 介电特性比例单元

用于内部部件绝缘试验的比例单元，其截面尺寸、材料及内部结构应与避雷器一致，包括电阻片、外套和支撑结构等。

比例单元的额定电压应不低于 3 kV。

比例单元应满足下列要求：

比例单元在截面尺寸、材料等方面应是避雷器的复制。其应包含机械支撑结构，以及在避雷器中分布安装的部件（如支撑件和垫片），芯体周围应有与避雷器内部相同的介质。

介电特性比例单元也可以是避雷器或避雷器元件。

在试验报告中应附有介电特性比例单元的结构图。

7.2.2.3 残压试验比例单元

用于残压试验的比例单元，可以是一个完整的避雷器元件，也可以是在空气中的多个串联电阻片或单个电阻片。对于多柱并联避雷器，比例单元可以由实际电阻片数量的并联电阻片柱或并联电阻片柱组成，也可以由单个电阻片或单柱电阻片柱组成。

7.2.2.4 重复转移电荷试验比例单元

重复转移电荷试验的比例单元应是在空气中或在实际设计的周围介质中的单个电阻片，这两种方式的比例单元由制造商确定。

8 型式试验（设计试验）

8.1 总则

本条所规定的型式试验适用于瓷外套避雷器。按表 3 的规定进行型式试验。

新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时，应对有关项目进行试验。

表 3 型式试验项目

序号	避雷器类别	电站类	电站类	配电类	试品
	标称放电电流	20 kA 10 kA	20 kA 10 kA 5 kA	10 kA 5 kA 2.5 kA 1.5 kA	
	典型 U_s（有效值）/kV	>252	≤252	≤40.5	
1	绝缘耐受试验				1 只避雷器外套
	a）雷电冲击电压试验	8.2.6	8.2.6	8.2.6	
	b）操作冲击电压试验	8.2.7	不要求	不要求	
	c）工频电压试验	8.2.8	8.2.8	8.2.8	

表 3（续）

序号	避雷器类别	电站类	电站类	配电类	试品
	标称放电电流	20 kA 10 kA	20 kA 10 kA 5 kA	10 kA 5 kA 2.5 kA 1.5 kA	
	典型 U_s（有效值）/kV	>252	≤252	≤40.5	
2	残压试验				3 只避雷器或比例单元
	a）陡波冲击电流残压试验	8.3.2	8.3.2	8.3.2	
	b）雷电冲击残压试验	8.3.3	8.3.3	8.3.3	
	c）操作冲击残压试验	8.3.4	8.3.4	8.3.4	
3	长期稳定性试验	8.4	8.4	8.4	3 只避雷器或比例单元
4	重复转移电荷试验	8.5	8.5	8.5	按要求
5	散热特性试验	8.6	8.6	8.6	1 只避雷器或元件 1 只比例单元
6	动作负载试验	8.7	8.7	8.7	3 只避雷器或比例单元
7	工频电压耐受时间特性试验	8.8	8.8	8.8	按要求
8	脱离器试验	8.9	8.9	8.9	如果装有，按要求
9	短路试验	8.10	8.10	8.10	按要求
10	弯曲负荷试验	8.11	8.11	8.11	按要求
11	环境试验	8.12	8.12	8.12	1 只避雷器或元件
12	密封试验	8.13	8.13	8.13	1 只避雷器或元件
13	无线电干扰电压试验	8.14	8.14	不要求	1 只避雷器
14	内部部件绝缘耐受试验	8.15	8.15	8.15	1 只比例单元
15	内部均压部件试验	8.16	8.16	8.16	按要求
16	污秽试验*	附录 G	附录 G	附录 G	按要求
17	持续电流试验	8.17	8.17	8.17	1 只避雷器
18	工频参考电压试验	8.18	8.18	8.18	
19	直流参考电压试验	8.19	8.19	8.19	
20	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	8.20	8.20	8.20	
21	局部放电试验	8.21	8.21	8.21	
22	电流分布试验	8.22	8.22	8.22	
23	统一爬电比距检查	8.23	8.23	8.23	

注：序号 12、13、17～21、23 项试验为同一试品。

* 对于单元件瓷外套避雷器不适用，对其耐污性能按避雷器外套的爬电距离进行考核。

在下列不同的条款中规定了试品的数量和试验条件。

避雷器仅是安装方式或支撑结构的排列布置不同，并且具有相同的部件和相似的结构，具有相同的性能包括热耗散和内部介质，可认为是同一设计。

8.2 绝缘耐受试验

8.2.1 总则

本试验的目的是用来验证避雷器外套外绝缘的电压耐受能力。如需验证其他设计结构，试验需经供需双方协商。

避雷器外套的绝缘耐受试验应在整只避雷器外套上进行。

试验应在下列规定的条件和试验电压下进行。绝缘部件的外表面应清洁，并且为了能够进行该项试验，内部部件应取出或使之失效。

如果按 8.2.6、8.2.7 或 8.2.8 中的规定，计算与试验电压有关的干弧距离满足要求，则不需要进行在 8.2.6、8.2.7 和 8.2.8 中规定的相关试验，避雷器的绝缘耐受电压满足最低要求。

8.2.2 在避雷器元件外套上的试验

对用于 $U_s \leqslant 252$ kV 系统的避雷器，经供需双方协商，可在避雷器元件外套上按 8.2.6 进行雷电冲击电压试验和按 8.2.8 进行工频电压试验。

试验应在最长的避雷器元件外套上进行。如果外套不能代表最高电压梯度，则应在具有最高电压梯度的元件外套上进行补充试验。对于该项试验，应从外套中取出或用绝缘物取代电阻片。

8.2.3 在整只避雷器外套上的试验

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。按 8.2.6 进行雷电冲击电压试验，按 8.2.7 进行操作冲击电压试验，按 8.2.8 进行工频电压试验。

对于户外使用的避雷器，应将避雷器放置在支架上且在湿的条件下进行操作冲击试验。在试验报告中应对所用的支架进行说明。对于户内使用的避雷器，应在干的条件下进行操作冲击试验。

8.2.4 试验的环境条件

耐受试验时施加的电压值等于规定的耐受电压乘以大气修正因数(见 GB/T 16927.1)。

在湿耐受试验时不进行湿度修正。

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

应按 GB/T 16927.1 进行干状态下的标准雷电冲击电压试验。试验电压应不小于 1.3 倍的避雷器在标称放电电流下的最大残压。

注：1.3 倍的系数是从 $1.15 \times e^{1\,000/8\,150}$ 中获得的，它反映了考虑放电电流高于标称的放电电流和绝缘耐受电压统计特性的 15%配合系数，以及考虑从海平面到不超过 1 000 m 正常运行海拔高度气压变化的 13%裕度。

在每种极性下连续施加 15 次的冲击试验电压，如果内部没有发生闪络，且在每一系列的 15 次冲击中外部闪络不超过 2 次，则认为试验通过。

如果干弧距离或部分干弧距离[单位为米(m)]之和大于试验电压[单位为千伏(kV)]除以

500 kV/m，则不需要进行本试验。

8.2.7 操作冲击电压试验

对于 U_s>252 kV 的电站类避雷器应按 GB/T 16927.1 进行标准操作冲击电压试验。对于户外避雷器应在湿条件下进行试验，对于户内避雷器应在干条件下进行试验。试验电压应不小于 $1.1\times e^{m\times 1\,000/8\,150}$ 乘以避雷器的最大操作冲击残压。其中：

对于 $U_s\leqslant$800 kV 系统中的避雷器，$m=1$；U_s>800 kV 系统中的避雷器，m 的值由 GB/T 311.2—2013 图 9 中相对地的绝缘来确定，横坐标的值应是 1.1 倍的避雷器的最大操作冲击残压。

注 1：$1.1\times e^{m\times 1\,000/8\,150}$ 的系数反映了考虑放电电流高于标称的放电电流和绝缘耐受电压的统计特性的 10%配合系数，以及考虑从海平面到不超过 1 000 m 正常运行海拔高度气压变化的 13%裕度。

当按上述计算 U_s>800kV 系统中避雷器的绝缘要求高于为被保护设备规定值，避雷器的绝缘水平应与该设备相同。

在每种极性下连续施加 15 次的冲击试验电压，如果内部没有发生闪络，且在每一系列的 15 次冲击中外部闪络不超过 2 次时，则认为试验通过。

如果干弧距离或部分干弧距离之和大于由方程式 $d=2.2\times[e^{(U/1\,069)}-1]$ 计算的距离，其中 d 是距离(单位为 m)和 U 是试验电压(单位为 kV)，则不需要进行本试验。

注 2：该方程式是来源于 GB/T 311.2--2013 中的公式(F.3)，公式 U_{50} 中等于 $k\times 1\,080\times\ln(0.46\times d+1)$，$k$ 是间隙因数，d 是距离。对于本标准，间隙因数 k 取 1.1，考虑两个标准偏差(标准偏差为 0.05)来获得耐受电压。

8.2.8 工频电压试验

户外用避雷器的外套应在湿条件下进行试验，户内用避雷器的外套应在干条件下进行试验。

对于表 1 规定的配电类避雷器，其外套应能耐受峰值等于雷电冲击保护水平乘以 0.88，持续 1 min 的工频电压。

注 1：0.88 倍因数是考虑了对于雷电放电电流高于标称放电电流情况下的 1.15 的安全裕度、对于安装地的 1 000 m 海拔高度的 1.13 海拔修正因数、操作和雷电冲击保护水平的 0.8 倍的典型比率因数以及根据 GB/T 311.2—2013 表 2 中对于操作冲击电压转化到工频电压峰值的 $0.6\times\sqrt{2}$ 的试验转换因数。

对于表 1 规定的电站类避雷器外套应能耐受峰值等于操作冲击保护水平乘以 1.06，持续 1 min 的工频电压。

注 2：1.06 因数是考虑了对于高的操作冲击电流的 1.1 倍安全裕度、安装地 1 000 m 海拔的 1.13 海拔校正系数以及根据 GB/T 311.2—2013 表 2 中的 $0.6\times\sqrt{2}$ 的试验转换系数。

如果干弧距离或部分干弧距离之和大于由方程式 $d=[1.82\times(e^{(U/859)}-1)]^{0.833}$ 计算的距离，其中 d 是距离(单位为 m)和 U 是工频试验电压峰值(单位为 kV)，则不需要进行本试验。

注 3：该方程式是来源于 GB/T 311.2—2013 中的公式(F.1)，公式中 U_{50} 的峰值等于 $750\times\sqrt{2}\times\ln(1+0.55\times d^{1.2})$，$d$ 是距离。按照 GB/T 311.2—2013，对于本标准，间隙因数 k 取 1，耐受电压为 90%的 U_{50}，在湿条件下的 U_{50} 比在干条件下的 U_{50} 减小 10%。

8.3 残压试验

8.3.1 总则

型式试验的残压试验目的是为了获得导出 6.3 所述的最大残压的必要数据，包括在各种规定冲击电流下残压与在例行试验中所检测电压的比值。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，该电流值依据制造商例行试验程序来选定。

在制造商的资料中应规定和公布例行试验用的雷电冲击电流下的最大残压。通过在各种规定的电

流和波形下所测量的比例单元残压乘以公布的在例行试验电流下的最大残压与在相同电流下在比例单元上测量残压的比值，来得到避雷器在该规定电流和波形下的最大残压。

对于额定电压 42 kV 及以下的避雷器，在例行试验中制造商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上的残压乘以避雷器的最大参考电压与试验比例单元所测量参考电压之比值，来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。对多柱电阻片并联避雷器，试验可以在单柱比例单元上进行；在从避雷器的总电流除以柱数获得的电流值下测量残压。

8.3.2 陡波冲击电流残压试验

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±5%）的陡波冲击电流，记录在 3 只试品上的电压峰值和冲击波形，如果有必要，应对电压测量回路以及试品和试验回路的几何尺寸的电感效应进行校正。

采用下列程序进行电感效应校正：

——将上述陡波冲击电流施加在与电阻片试品相同尺寸的有色金属块上。应记录在金属块上的电压的峰值和波形。

——如果金属块上的电压峰值低于 2%的电阻片试品上的电压峰值，则对电阻片的测量不需要进行电感效应的校正。

——如果金属块上的电压峰值为 2%～20%的电阻片试品上的电压峰值，则应从电阻片电压的冲击波形减去金属块电压的冲击波形，并且应记录合成的冲击波形的电压峰值，作为被校正后的电阻片的电压值。

——如果金属块上的电压峰值超过了 20%的电阻片试品上的电压峰值，则应改进试验回路和电压测量回路，并重新进行试验。

注 1：进行测量时将电阻片试品与金属块串联在试验回路中，获得完全相同电流波形。通过交换金属块或试品的位置可以测出相应的电压降。

测量的三个试品残压最大值（如果必要，按上述校正）乘以规定的比例系数（见 7.2），作为避雷器的陡波冲击电流保护水平（不包括避雷器的等效电感电压）。

另外，按 6.3 计算最大陡波冲击电流残压（包括避雷器的等效电感电压）。

注 2：对陡波冲击电流，避雷器到系统的连接线会增加电感电压。

8.3.3 雷电冲击残压试验

应对 3 只试品的每 1 只试品施加 3 次雷电冲击电流，其峰值分别约为避雷器标称放电电流的 0.5 倍、1 倍和 2 倍（偏差±5%）。视在波前时间应在 7 μs～9 μs 之间，而半峰值时间（无严格要求）可有任意偏差。按 6.3 确定残压。应按已确定的残压最大值绘制成残压与放电电流的曲线。在曲线上与标称放电电流相对应的点读取的残压定义为避雷器雷电冲击保护水平。

如果整只避雷器的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～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。

例行试验时，试验可在整只避雷器、组装好的元件或电阻片上进行。制造厂要在 0.01 倍～2 倍标称电流范围内确定一适当的雷电冲击电流，残压将在该电流（偏差±5%）下测量。如果不能直接测量整只避雷器的残压，可以把电阻片的残压之和或单个避雷器元件的残压之和视作整只避雷器的残压。整只避雷器的残压值应不高于规定值。

8.3.4 操作冲击残压试验

应对 3 只试品的每 1 只试品施加 1 次操作冲击电流，其幅值等于表 1 中规定的幅值（偏差±5%）。按 6.3 确定残压。测量的三个试品残压的最大值定义为相应电流下避雷器的操作冲击电流残压。

8.4 长期稳定性试验

8.4.1 总则

一般在正常运行情况下，施加在避雷器上的电压低于其参考电压 U_{ref}，验证长期稳定性的试验见 8.4.2。对于某种避雷器，其正常运行电压达到或高于 U_{ref}，用同样的方法可能无法进行试验，替代试验方法见 8.4.3。附录 J 给出了老化试验的原理。

8.4.2 施加在电阻片上的电压小于 U_{ref} 试验程序

8.4.2.1 试验程序

在三只新的电阻片试品上进行试验，其参考电压要满足 7.2 的要求，工频电压应满足动作负载试验规定的要求（见 8.7.1）。

老化试验时，应与整只避雷器设计一样，包括所有与电阻片直接接触的材料（固体或液体）。

在试验时，应将电阻片置于具有和避雷器内部相同介质的温控箱中，箱内的容积应至少为电阻片体积的 2 倍，并且箱内的介质密度应不低于避雷器中介质密度。

注：在避雷器的正常运行寿命期内，避雷器内电阻片周围的介质由于内部局部放电可能会有改变。电阻片周围介质的改变可能会显著增加功率损耗。

考虑这种情况，合适的试验程序正在考虑中。目前一个程序可作为选择，该程序是在含有低的氧气浓度（低于 0.1%体积）的 N_2 或 SF_6（对 GIS 避雷器）中进行这个试验。这就保证，即使在完全缺氧的情况下，避雷器仍不会老化。

如果制造商能够证明，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，则可以在敞开的空气中进行老化试验。

将电阻片加热到 115℃±4K，在施加修正的最大持续运行电压 U_{ct} 电压后的 3 h±15 min 测量电阻片的功率损耗 P_{start}，在这个电压下持续 1 000 h，在这期间应控制电阻片的表面温度在 115℃±4K。

在测量 P_{start} 后，每隔不超过 100h 测量一次电阻片的功率损耗，最终的测量 P_{end} 应在老化的 $1\ 000^{+100}_{0}$ h之后测量。试验期间测得的最小功率损耗为 P_{min}（见图 1）。

图 1 长期稳定性试验中功率损耗与时间的关系

在试验期间允许试品上偶然断电，但总累计断电时间不得超过 24 h，中断的时间不计入试验的持续时间内，最终的测量应再持续施加电压 100 h 后进行。在允许的温度范围内，所有的测量应在相同温度±1 K 下进行。

用于本试验程序中的电压是修正的最大持续运行电压(U_{ref})，包括电压分布不均匀的影响，通过电压分布测量或计算来确定该电压。电压分布试验见附录 K，电压分布计算导则参见附录 L。

对于高度低于 1 m 的避雷器，除了那些具有导电接地壳体的避雷器，如 GIS 避雷器、液浸式避雷器、外壳不带电避雷器或屏蔽外壳的分离避雷器外，用公式(3)确定电压：

$$U_{ct}=U_c(1+0.15H) \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：

H——避雷器总的高度，单位为米(m)。

8.4.2.2 试验评价

若 3 只电阻片试品的试验满足下列判据，则认为试验通过：

从测量的最小功率损耗 P_{min} 点开始到试验结束期间，测量的最大功率损耗应不超过 $1.3P_{min}$。

在老化试验期间，测量的所有功率损耗(包括 P_{end})应不大于 $1.1P_{start}$。

8.4.3 施加在电阻片上的电压不小于 U_{ref} 的试验程序

8.4.3.1 总则

如果 U_{ct} 接近或高于参考电压，此时电阻片的功率损耗对电压和所使用电源的稳定性极为敏感，或许不可能在 U_{ct} 下进行老化试验。如果 $U_{ct}\geqslant 0.95\times U_{ref}$，并且不能按照 8.4.2.1 进行加速老化试验，可采用替代的试验程序来代替 8.4.2.1 和 8.4.2.2。

该程序的步骤：

a) 计算避雷器中最高应力的电阻片(在 $T_a=40$ ℃，$U=U_c$ 下)的功率损耗 P_{ct}；

b) 采用 8.4.3.2 中三个可选择程序中的一个程序来确定避雷器中最高应力部分的稳态温度 T_{st}；

c) 在电压 U_{ct} 下，来确定电阻片在 115 ℃下和在 T_{st} 下功率损耗的比值 k_x；

d) 在 $k_x\times P_{ct}$ 恒定的功率损耗下进行加速老化试验；

e) 短时间中断试验，并在间隔 100 h 测量功率损耗；

f) 如果 $T_{st}>60$ ℃，应升高试验温度或者延长试验时间；

g) 根据 8.4.3.4 评价 e)步骤的功率损耗。

8.4.3.2 试验参数的确定

在最大环境温度 40 ℃和在避雷器的 U_c 下，计算最高电压应力的电阻片(根据附录 L，包括阻性电流的影响)的功率损耗 P_{ct}。

注 1：对于外壳不带电避雷器和液浸式避雷器，最大环境温度分别为 65 ℃和 95 ℃。

选择下列三个之一的试验程序，来确定在最大环境温度下避雷器最高应力部分的稳态温度 T_{st}：

注 2：试验程序的保守度从 a)至 c)依次增加。

a) 在环境温度 25 ℃±10 K 条件下，对整只避雷器施加标称的 U_c，直到稳定温度条件。通过 5 个测量点来测量电阻片上的温度，测量点应尽可能均匀分布在避雷器每柱 20%长度的最大应力部分。如果该部分少于 5 个电阻片，测量点的数量为每个电阻片一个测量点。温度 T_{st} 为高于电阻片环境温度的平均温升加上最高环境温度。

b) 在最高环境温度条件下，对避雷器的热比例单元施加电压，产生与上述确定的电阻片相同的功率损耗。如果必要，通过调整电压来保持功率损耗恒定。测量稳态条件下电阻片的温度并且

计算平均稳态温度，该温度为稳态温度 T_{st}。

c) 在环境温度 25 ℃±10 K 下，给避雷器的热比例单元施加电压，产生与上述确定的电阻片相同的功率损耗。如果必要，通过调整电压来保持功率损耗恒定。测量稳态条件下电阻片的温度并且计算高于环境的平均稳态温升 ΔT_{st}，稳态温度 T_{st} 为 ΔT_{st} 加上最高环境温度。

热比例单元应符合 7.2.2.1 的规定。

在电压 U_{ct} 下，来确定电阻片在 115 ℃下和在 T_{st} 下功率损耗的比值 k_x。对于该试验的电压源应符合 8.7.1 的规定。

8.4.3.3 试验程序

试验在 3 只电阻片试品(参考电压应满足 7.2 的要求)上进行。3 只电阻片试品应持续耐受功率损耗等于 $k_x \times P_{ct}$(公差 $^{+30\%}_{0}$)1 000 h。在试验期间，控制温度以保持电阻片表面温度在要求的试验温度 T_t±4 K之内。在试验开始时施加的试验电压不应小于 $0.95U_{ct}$。

如果温度 T_{st} 等于或者低于 60 ℃，T_t 应为 115 ℃。如果温度 T_{st} 高于 60 ℃，试验温度或试验时间应按下列公式计算。

a) 试验温度用公式(4)计算：

$$T_t = 115 + (T_{st} - T_{a,max} - \Delta T_n) \qquad \cdots\cdots(4)$$

式中：

T_t ——试验温度，单位为摄氏度(℃)；

T_{st} ——电阻片的稳态温度，单位为摄氏度(℃)；

$T_{a,max}$——最大环境温度，单位为摄氏度(℃)；

ΔT_n ——20 K。

注 1：对于液浸式避雷器 ΔT_n=25 K，这是由于该避雷器的动作负载试验起始温度(120 ℃)的要求高于最高环境温度(95 ℃)25 K，而其他类型避雷器动作负载试验起始温度和最高环境温度差为 20 K。

b) 试验时间用公式(5)计算：

$$t = t_0 \times 2.5^{\Delta T/10} \qquad \cdots\cdots(5)$$

式中：

t ——试验时间，单位为小时(h)；

t_0 ——1 000 h；

ΔT——超过 60 ℃的温差，单位为开尔文(K)。

注 2：对于外壳不带电避雷器和液浸式避雷器，t_0 分别为 2 000 h 和 7 000 h，ΔT 分别为与 85 ℃和 120 ℃的温差。

在施加电压后的 1 h 至 2 h 内，电压调节到 $0.95U_{ct}$ 至 U_{ct} 之间，并测量功率损耗 P_{start}。在第一次测量后约 100 h 重复测量一次，在最终的老化试验时间 $h^{+100\%}_{0}$ 测量最终的功率损耗 P_{end}。

在老化试验时，应与整只避雷器设计一样，包括所有与电阻片直接接触的材料(固体或液体)。

在试验时，应将电阻片置于具有和避雷器内部相同介质的温控箱中，箱内的容积应至少为电阻片体积的 2 倍，并且箱内的介质密度应不低于避雷器中介质密度。

注 3：在避雷器的正常运行寿命期内，避雷器内电阻片周围的介质由于内部局部放电可能会有改变。电阻片周围介质的改变可能会显著增加功率损耗。

考虑这种情况，合适的试验程序正在考虑中。目前一个程序可作为选择，该程序是在含有低的氧气浓度(低于 0.1%体积)的 N_2 或 SF_6(对 GIS 避雷器)中进行这个试验。这就保证，即使在完全缺氧的情况下，避雷器仍不会老化。

如果制造商能够证明，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，则可以在敞开的空气中进行老化试验。

在试验期间允许试品上偶然断电，但总累计断电时间不得超过 24 h，中断的时间不计入试验的持续时间内，最后的测量应再持续施加电压不小于 100 h 后进行。在允许的温度范围内，所有的测量应在相同温度±1 K 下进行。

8.4.3.4 试验评价

若 3 只电阻片的试验满足下列判据，则认为试验通过：

从测量的最小功率损耗 P_{min} 点开始到试验结束期间，测量的最大功率损耗应不超过 $1.3P_{min}$。

在老化试验期间，测量的所有功率损耗（包括 P_{end}）应不大于 $1.1P_{start}$。

8.5 重复转移电荷试验

8.5.1 总则

试验的目的是为了验证避雷器的额定重复转移电荷 Q_{rs} 能力。

重复转移电荷能力是指避雷器的电阻片能耐受 20 次冲击电流，而没有引起电阻片的损坏或者不可接受的电气性能劣化。一次冲击电流应力代表发生在实际系统的一次转移电荷事件。

重复转移电荷是与某种非常低的故障概率有关，因此不是一个确定性的，而是一个统计值。该试验是在电阻片上进行，试验电荷值为从 8.5.4 所列出电荷值中选择的额定值的 1.1 倍～1.2 倍。基于试验要求和选择的统计方法，通过这种方法可以认为个别电阻片的性能可以代表由这批电阻片组装的整只避雷器的性能。

注：基于线路放电等级的能量分类与基于动作负载试验的额定热能量和重复单次事件能量的额定重复转移电荷的分类比较的示例参见附录 M。

为了更好地比较不同的电阻片，选择电荷量作为试验依据。

从 8.5.4 的系列电荷值中选择避雷器的额定重复转移电荷值 Q_{rs}。

根据 7.2.1d）选择 10 只电阻片试品进行第 1 试验序列，如果电阻片不合格的数量不超过 1 只，则试验通过。如果电阻片不合格的数量有 2 只，则再选择 10 只试品进行第 2 个试验序列（与第 1 个试验序列相同），如果在第 2 个试验序列的电阻片全部合格，则试验通过。如果在第 1 个试验序列中电阻片不合格数量超过 2 只或在第 2 试验序列中有不合格的电阻片，则试验不通过。

8.5.2 试验程序

试验程序见图 2。

初始试验： ● 标称放电电流下的残压试验； ● 参考电压试验。
1.1 倍 Q_{rs} ● 第 1 试验序列：每只试品耐受 20 次冲击电流（10 只试品）； ● 如果在第 1 试验序列中不合格的试品数量不超过 1 只：试验通过； ● 如果在第 1 试验序列中不合格试品不超过 2 只：再选择 10 只试品进行第 2 试验序列，每只试品耐受 20 次冲击电流； ● 如果在第 1 试验序列中不合格试品超过 2 只，或在第 2 试验序列中有不合格试品：试验不通过。
试验评价： ● 检查试品，没有机械损坏； ● 参考电压的变化不超过±5%； ● 标称放电电流下的残压变化不超过±5%； ● 进行一次峰值电流密度不小于 0.5 kA/cm² 的 8/20 冲击电流或 2 倍标称放电电流冲击耐受（取低值）。

图 2 重复转移电荷试验程序

试品应满足 7.2 的要求。

试验程序：

试验前后应对每只试品进行标称放电电流残压试验和参考电压试验。对于多柱并联避雷器的电阻片，试验时的标称放电电流是电阻片在不同的设计中最高的标称放电电流。

应对每只试品进行 20 次冲击电流耐受，共分为 10 组，每组 2 次，2 次冲击电流间隔时间为 50 s～60 s，2 组之间的间隔时间应能够使试品冷却到环境温度。

冲击电流的波形和持续时间：

a) 对不用于架空线路和配电线路的避雷器（用于电站的避雷器）：视在总持续时间为 2 ms～4 ms 的长持续时间（方波）冲击电流或总持续时间为 2 ms～4 ms 的正弦半波冲击电流；

b) 对于无间隙线路避雷器（NGLA）：按照附录 E 雷电冲击放电；

c) 配电类避雷器：8/20 雷电冲击电流。

每次冲击的电荷量：

a) 对于单柱避雷器：不小于 1.1 倍的额定重复转移电荷（见 8.5.4）；

b) 对于多柱并联避雷器：不小于 1.1 倍的额定重复转移电荷（见 8.5.4）并除以并联柱数再乘以电流分布系数 β_g（见 7.2 ）。

典型避雷器的额定重复转移电荷量见表 D.9。

注 1：认为至少 1.1 倍的额定电荷值的试验要求，对于用单个电阻片的性能代表用这批电阻片组装的整只避雷器的性能，是有足够的可信度。

注 2：如果通过规定电荷量试验的单柱避雷器电阻片用于多柱并联避雷器而不重新进行试验，则多柱并联避雷器的额定重复转移电荷值不大于计算得到的电荷值（见 8.5.4），该电荷值为电阻片的额定重复转移电荷乘以并联柱数并除以电流分布不均匀系数。

8.5.3 试验评价

满足下列任何一条，则试验通过：

a) 在第一试验序列中，不合格的试品不超过 1 只；

b) 在两个试验序列中，不合格的试品不超过 2 只。

注 1：如果在第一序列期间，不合格试品仅有 1 只，在最不利的情况下，恰好是施加第 1 次冲击，在施加 180 次冲击期间没有不合格，得出整个试验的最大不合格概率为 1/181＝0.005 6 或 0.56%。如果在第一序列期间，有 2 只不合格试品，再次在最不利的情况下，恰好是第 2 只试品的第 1 次冲击，在两个序列施加 360 次冲击期间没有不合格，得出整个试验的最大不合格概率为 2/362＝0.005 6 或 0.56%。

如果满足下列所有条件，则认为试品耐受了完整系列的冲击电流：

a) 无机械损伤痕迹（击穿、闪络或开裂）；

b) 试验前后（在相同温度±3 K 下测量），参考电压的变化不超过±5%；

c) 试验前后，标称放电电流下的残压变化不超过±5%；

d) 进行一次峰值电流密度不小于 0.5 kA/cm² 的 8/20 冲击电流或 2 倍标称放电电流冲击耐受（取低值），没有机械损伤。

注 2：如果上述判据满足，金属电极的烧蚀或电弧灼伤现象不认为是机械损伤。

8.5.4 额定重复转移电荷 Q_n 值

额定重复转移电荷值应从下列选取：

——0.1 C～1.2 C，级差为 0.1 C；

——1.2 C～4.4 C，级差为 0.4 C；

——4.4 C～10 C,级差为 0.8 C;

——10 C～20 C,级差为 2 C;

——20 C 以上,级差为 4 C。

注:下面给出了从电荷值计算相应冲击电流幅值的指导:

——长持续电流,2ms:$\hat{i}$/ A ≈ 500 ×Q_{rs}/ C;

——长持续电流,4 ms:$\hat{i}$/ A ≈ 250 ×Q_{rs}/ C;

——正弦半波,2 ms:$\hat{i}$/ A ≈ 786 ×Q_{rs}/ C;

——正弦半波,4 ms:$\hat{i}$/ A ≈ 393 ×Q_{rs}/ C;

——8/20:$\hat{i}$/ kA ≈ 62 ×Q_{rs}/ C;

——按 3.52 雷电流冲击:$\hat{i}$/kA ≈ 8 ×Q_{rs}/ C。

上述计算出的电流幅值是近似值,计算采用理想矩形波代替长持续时间冲击电流波,采用理想 8/20 雷电冲击电流和理想 200μs 正弦半波代替雷电冲击放电。由于实际电流波形不同于理想波形,为达到额定电荷值而需要的电流幅值可能不同于列出的值。

8.6 散热特性试验

8.6.1 总则

在动作负载试验(8.7)和工频电压耐受时间特性试验(8.8)中,试品的性能在很大程度上取决于试品散热能力,即通过冲击电流后冷却下来的能力。

因此,如果要从试验中获得准确的信息,试品应具有等价于整只避雷器的瞬态和稳态的散热特性和热容量。在同样的环境条件下和承受相同电压应力时,原则上试品和整只避雷器中的电阻片应达到相同温度。

应通过试验来验证等价性(见 8.6.3)。

8.6.2 比例单元要求

见 7.2.2.1 中的规定。

8.6.3 热等价试验程序

见附录 I。

8.7 动作负载试验

8.7.1 总则

该试验的目的是为了验证避雷器在注入额定热能量 W_{th}或额定的热转移电荷 Q_{th}之后,分别在施加暂时过电压和随后的持续运行电压下的热稳定。试验在 3 只试品上进行。

注 1:虽然热稳定性基本上没有统计特性,但规定了 3 只试品,对电压调整不正确、功率损耗特性的变化、能量注入的偏差等统计因数进行了补偿。

试品应满足 7.2 的要求。

根据应用情况,对于每种避雷器的设计应规定额定热能量 W_{th}或额定热转移电荷 Q_{th}:

——电站类避雷器:W_{th}见 8.7.3;

——配电类避雷器:Q_{th}见表 5。

典型避雷器的额定热能量 W_{th}、额定热转移电荷 Q_{th}见表 D.9。

注 2:目前对于无间隙线路避雷器(NGLA)的要求保持不变。因此,附录 E 的能量值、电荷值以及试验程序适用。

试验的初始测量和预备性部分可在静止空气中的电阻片或介电特性比例单元(见 7.2.2.2)上进行,

环境温度为 20 ℃±15 K。

试验的热稳定部分(8.7.2.3)在热比例单元(见 7.2.2.1)上进行。应采用合适的方法来验证在开始热稳定试验时满足起始温度要求。

电压测量的相对不确定度应不大于±1%,从空载到满载电压峰值的变化应不大于 1%,电压峰值与有效值之比与$\sqrt{2}$的偏差应不大于 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±1%。

8.7.2 试验程序

8.7.2.1 总则

试验程序见图 3。

预试验: ● 热等价试验; ● 确定热稳定试验的起始温度。
初始测量: ● 标称放电电流下的残压试验; ● 参考电压试验; ● 电流分布试验(多柱并联避雷器)。
确定持续运行电压与额定电压(见 7.2)。
预备性试验: 电站类避雷器 ● 2 次大电流冲击(见表 4)。 配电类避雷器 ● 2 次大电流冲击(见表 4)。
贮存备用。
预热到起始温度(见 8.7.2.3)。
电站类避雷器 ● 在 3 min 之内,通过 1 次或多次长持续时间冲击电流或正弦半波冲击电流或雷电冲击放电(对于无间隙线路避雷器),注入额定热能量 W_{th}(见 8.7.3)。 配电类避雷器 ● 在 1 min 内,通过 2 次 8/20 雷电冲击电流,注入额定热转移电荷 Q_{th}(见 8.7.3)。
施加 U_r 持续 10 s(在注入能量或电荷后不超过 100 ms)。
施加 U_c 至少持续 30 min(直到出现明显的通过或不通过现象)。
试验评价: ● 热稳定; ● 没有机械损伤; ● 标称放电电流下残压的变化不超过±5%。

图 3 额定热能量 W_{th} 和额定热转移电荷 Q_{th} 试验程序

对用于 U_s≤800 kV 的避雷器,热稳定试验的起始温度应是 ϑ_{start}±3 K,对用于 U_s>800 kV 的避雷器,起始温度应按附录 N 确定。

8.7.2.2 初始测量和预备性试验

初始测量和预备性试验的程序：

对每只试品，在试验前后应进行标称放电电流下残压试验，以及在试验前应进行参考电压试验。参考电压测量是用于计算持续运行电压和额定电压。对多柱并联避雷器应进行电流分布试验，如果不直接进行电流分布试验，可采用将注入能量增加系数 β_g（即：假设 $\beta_a=1$）。最大的电流分布不均匀系数应不超过 6.6 的规定。

在预备性试验中，对试品应进行表 4 规定的大电流冲击。

对于电站类和配电类避雷器应对试品进行 2 次大电流冲击。预备性试验可在介电特性比例单元上进行，并且如果也满足 8.15 规定的其他要求则第一次大电流冲击可作为避雷器内部部件的绝缘耐受试验（见 8.15）。两次冲击之间间隔应能使试品冷却到环境温度。

冲击电流极性应相同，并且其极性应与热稳定试验中注入能量和转移电荷的冲击电流的极性相同。

在预备性试验后，试品应在室温下储存。如果预备性试验在介电特性比例单元上进行，储存前电阻片应从比例单元中移出。在热稳定试验前，不应对试品施加任何电压和电流应力。

注：在高温下长时间加热试品、施加交流电压或者施加反极性的冲击电流，可以使试品从可能的电气老化中恢复，因此这是不允许的。

表 4 大电流冲击要求

避雷器等级	4/10 电流峰值 kA
20 kA、10 kA	100
5 kA	65
2.5 kA	25
1.5 kA	10
注：根据运行条件电流峰值可以取其他值（较低或较高）。	

调整设备使得冲击电流的测量值在下列范围内：

a) 规定峰值的 90%～110%；

b) 视在波前时间为 3.5 μs～4.5 μs；

c) 视在波尾半峰值时间为 9 μs～11 μs；

d) 任何反极性电流波的峰值应小于电流峰值的 20%；

e) 允许在冲击波上有小的振荡，只要在冲击峰值附近的振幅小于峰值的 5%。在这种情况下，为了测量的目的，应采用平均曲线来确定峰值。

8.7.2.3 热稳定试验

热稳定试验程序：

试品应至少被预热到下列起始温度 ϑ_{start}：

——对用于 $U_s \leqslant 800$ kV 的避雷器，$\vartheta_{start}=60$ ℃或附录 I 最后一段确定的更高的起始温度值；

——对于 $U_s > 800$ kV 的避雷器，按附录 N 确定的起始温度或附录 I 最后一段确定的更高的起始温度值。

预热不应超过 20 h。

在注入能量或转移电荷前，电阻片的温度应不低于起始温度。

应在规定时间内注入每只试品的能量或转移电荷：

a) 对不用于架空线路和配电线路的避雷器(用于电站的避雷器)：在 3 min 时间内，采用视在总持续时间 2 ms～4 ms 的长持续时间(方波)冲击电流或总持续时间 2 ms～4 ms 的正弦半波冲击电流注入能量。只要在规定的 3 min 时间内完成规定的注入能量，冲击电流的次数由制造商选择。电流的幅值和冲击次数不重要，只要注入的累积能量不小于下列值：

——单柱避雷器：1.0 倍～1.1 倍宣称的额定热能量(见 8.7.3)；

——多柱并联避雷器：1.0 倍～1.1 倍宣称的额定热能量(见 8.7.3)乘以电流分布系数 β_g/β_a(见 7.2.1)。

注：附录 O 给出了一个基于宣称的能量 W_{th} 和比例单元的参数来确定实际注入能量的示例。

b) 对于无间隙线路避雷器：按照附录 E 的雷电冲击放电。

c) 对于配电类避雷器：在 1 min 内，采用 2 次 8/20 雷电冲击电流注入电荷，并具有的足够幅值使得累积的电荷不小于从表 5 中选择的宣称额定热转移电荷。

在注入能量或电荷后，应尽可能快且在不超过 100 ms 对试品施加持续 10 s 的额定电压 U_r，然后再接着施加持续至少 30 min 的持续运行电压 U_c(如有必要，按 7.2 进一步调整)来验证热稳定。应监测试品的电流阻性分量或功率损耗或温度或三者的任意组合，直至测量值明显减少(通过)，但不少于 30 min，或出现明显的热崩溃现象(不通过)。

8.7.2.4 试验评价

如果满足下列所有条件，则试验通过：

——已验证热稳定；

——没有明显的机械损伤；

——试验前后标称放电电流下的残压变化不超过±5%。

8.7.3 额定热能量和额定热转移电荷值，W_{th} 和 Q_{th}

对于电站类避雷器，额定热能量值 W_{th}(单位 kJ/kV，额定电压 U_r)应符合表 1 的要求，并从下列选取：

——在 1 kJ/kV～5 kJ/kV 范围内，级差 0.5 kJ/kV；

——在 5 kJ/kV～16 kJ/kV 范围内，级差 1 kJ/kV；

——在 16 kJ/kV～30 kJ/kV 范围内，级差 2 kJ/kV；

——在 30 kJ/kV 以上，级差 6 kJ/kV。

对于配电类避雷器，其额定热转移电荷值 Q_{th}(单位 C)从表 5 中选取。

表 5 额定热转移电荷的额定值 Q_{th}

标称放电电流 kA	Q_{th} C	每次冲击的 Q_{th} C	8/20 雷电冲击电流 (近似值) kA
1.5	0.2	0.10(±10%)	6
2.5	0.45	0.23(±10%)	14
5	0.7	0.35(±10%)	22
10	1.1	0.55(±10%)	34

8.8 工频电压耐受时间特性试验

8.8.1 总则

试验的目的是为了验证避雷器耐受暂时过电压(TOV)的能力。TOV 是持续时间从 0.1 s 到 3 600 s的工频过电压。

制造商公布的资料中应包括横坐标以时间为单位和纵坐标以额定电压 U_r 为单位的曲线。另外，制造商应用表格形式列出从曲线中得到的对应于时间点 0.1 s、1 s、10 s、100 s 和 1 000 s 的 TOV 值，并应包括有预负载和无预负载的数据。应注明公布的曲线和列表适用避雷器额定值的范围。

注 1：TOV 数据为 3 位有效数字。

注 2：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，TOV 的持续时间需扩大到 7 200 s。

有预负载并耐受 10 s 的 TOV 值应不小于 U_r。

试验程序见图 4。

初始测量： ● 标称放电电流下的残压试验； ● 参考电压试验； ● 电流分布试验(多柱并联避雷器)。
确定持续运行电压和额定电压(见 7.2)。
预热到起始温度(见 8.7.2.3)。
有预负载(4 只新试品)(仅用于 $I_n \geqslant 5$ kA 的避雷器)： ● 电站类避雷器 在 3 min 之内，通过 1 次或多次长持续时间冲击电流或正弦半波冲击电流或雷电冲击放电(无间隙线路避雷器)，注入额定热能量 W_{th}(见 8.7.3)。 ● 配电类避雷器 在 1 min 内，通过 2 次 8/20 雷电冲击电流，注入额定热转移电荷 Q_{th}(见 8.7.3)。 ● 按 TOV 曲线(在 100 ms 内)，施加试验电压和持续时间； ● 施加 U_c 至少 30 min(直至出现明显的通过或不通过现象)。
无预负载(2 个新的试品) ● 按 TOV 曲线，施加试验电压和持续时间； ● 施加 U_c 至少 30 min(直至出现明显的通过或不通过现象)。
试验评价： ● 热稳定； ● 没有机械损伤； ● 标称放电电流下的残压变化不超过±5%。

图 4 工频电压耐受时间特性试验程序(TOV 试验)

8.8.2 试品

试品应满足 7.2 的要求。

试品应为热比例单元(见 7.2.2.1)。比例单元的额定电压应不小于 3 kV，但不必超过 12 kV。另外，也可采用额定电压 9 kV～12 kV 的避雷器，只要它的降温速度是该系列所有额定电压等级避雷器中降温速度最慢的。

应对试品进行下列试验：

——有预注能量：在 8.8.4.2 中列出的 4 个持续时间范围内，每一个持续时间范围对应 1 只试品。

——无预注能量：在 8.8.4.2 中选择 2 个持续时间范围，每一个持续时间范围对应 1 只试品。

对于给定类型和设计的避雷器，如果使用多种尺寸的电阻片，对于 TOV 试验比例单元用的电阻片应有在每单位 U_c 下最小体积。

8.8.3 初始测量

应进行下列初始测量：

——标称放电电流下的残压试验；

——参考电压试验；

——电流分布试验(多柱并联避雷器)。

8.8.4 试验程序

8.8.4.1 总则

试验电源的频率在 48 Hz 到 62 Hz 之间，额定试验频率(50 Hz 或 60 Hz)应在公布的数据中注明。工频电压应符合 8.7.1 的规定。在施加过电压期间应测量避雷器端子间的工频电压峰值，最小的测量峰值除以$\sqrt{2}$，并以 U_r 为单位表示。

应注意电压源容量不足的情况。在大的非线性电流负载下电压失真(平顶)可导致在规定的电压峰值下比理想的正弦电压波要注入高的能量。因此宜使用短路电流不小于 3 kA 的电源，避免在规定的电压峰值下不符合实际的高能量注入试品。

注：经制造商同意，允许电压波形产生一定的畸变并按峰值除以$\sqrt{2}$计算 U_r 倍数，此时试验偏于严格。

试验应在 20 ℃±15 K 静止空气中的热比例单元上进行。应有足够的加热时间使试品达到热平衡，电阻片的温度应不小于起始温度 ϑ_{start}(按 8.7.2 确定 ϑ_{start})。应采用合适的方法来验证在热稳定试验开始时满足起始温度的要求。

8.8.4.2 有预负载试验

试验仅适用于 $I_n \geqslant 5$ kA 的避雷器。应在 4 个新的试品上进行有预负载试验。每只试品应在下列时间范围(单位为 s)内进行试验：

a) 0.1～1；

b) 1.1～10；

c) 10.1～100；

d) 101～3 600。

制造商应公布列 4 个时间段内的每个时间段在有预负载情况下的 TOV 数据。预负载包括注入的额定热能量 W_{th} 或额定热转移电荷 Q_{th}，如果是多柱并联避雷器，采用 β_g/β_s 进行校正。试验程序见 8.7.2.3(额定电压 U_r 用规定的 TOV 代替)。应测量注入的能量(单位：kJ/kV，U_r)或者电荷(单位：C)，并对公布的有预负载 TOV 数据进行说明。

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的避雷器，应增加 1 只试品在 7 200 s 时间点的试验。

8.8.4.3 无预负载试验

试验适用于所有标称放电电流的避雷器。无预负载试验应在两个新的试品上进行。制造商应公布在 8.8.4.2 列出的 4 个时间范围中的 2 个时间范围内无预负载的 TOV 数据。对每个试品应从列出的时

间范围中选择在 2 个不相邻的时间范围内进行试验。在对试品施加过电压后，立即施加持续 30 min 的持续运行电压（如有必要，按 7.2 进一步调整）。应监测电阻片的温度、电流阻性分量或功率损耗，直至测量值明显减少（通过），或出现明显的热崩溃现象（不通过）。

8.8.5 试验评价

如果满足下列所有条件，则试验通过：

——已验证热稳定；

——没有机械损伤；

——试验前后标称放电电流下的残压变化不超过±5%。

当对所有试品在 TOV 和相应的持续时间不小于曲线所示值下进行了试验，并且所有试品通过了试验，则制造商公布的曲线通过了验证。所有试验的点应标注在曲线上。

8.9 脱离器试验

8.9.1 总则

试验的目的是为了验证脱离器可以耐受与其在避雷器中应用相关的所有应力而不动作。试验也验证按制造商公布的脱离器安秒特性，以及脱离器的密封性和机械性能（见 6.14）。

试验应在装有脱离器的避雷器上或者单独装配的脱离器上（如果脱离器不受临近避雷器热的影响）进行。试品应按照制造商公布的推荐方法安装，使用最大的推荐尺寸和刚度以及最短的推荐连接引线长度。在无推荐时，导线应为冷拉裸铜线，其直径约为 5 mm，长度约 30 cm，且其安装应允许在脱离器/故障指示器动作时能自由移动。

8.9.2 耐受试验

8.9.2.1 总则

如果脱离器设计成避雷器的附件或作为附件插接在导线或地线之中，电荷转移试验和动作负载试验可以单独进行试验或者与避雷器试品同时进行试验。对于内置在避雷器中的脱离器，试验应与避雷器试验同时进行。脱离器应能耐受相应试验而不动作。

8.9.2.2 重复转移电荷试验

按 8.5 进行试验，重复转移电荷值应与使用脱离器的最高等级避雷器相同。对于配电类避雷器，采用 8/20 雷电冲击电流进行试验；对于无间隙线路避雷器（NGLA），采用按 3.52 定义的雷电冲击放电或取决于应用的长持续时间冲击电流。试验应在 3 个试品上进行，并与避雷器规定的电荷值相同（见 8.5.4）。

8.9.2.3 动作负载试验

按 8.7 进行试验，脱离器试品与避雷器比例单元试品串联，该避雷器比例单元是设计使用脱离器的所有避雷器中参考电流最大的。试验应在 3 只试品上进行，并与避雷器规定的热转移电荷或热能量值相同。

8.9.2.4 试验评价

在 8.9.2.2 和 8.9.2.3 的试验中，试品均没有动作，并且如果满足下列条件之一，则试验通过：

——均压元件的电阻或电容值变化不超过 20%；

——用于 8.9.2.2 和 8.9.2.3 试验的每个试品，在后续的动作试验中通过对称电流 20 A(有效值)时可靠动作。

8.9.3 脱离器动作

8.9.3.1 安秒特性试验

应对脱离器进行动作试验来确定安秒特性，安秒特性为导致脱离器动作的时间(单位为 s)与对称电流(单位为 A，有效值)的关系。对于电流终止后脱离器动作是允许的。

安秒特性曲线的数据应由通过脱离器试品(按 8.9.1，带或不带避雷器)的 3 个不同的对称起始电流得出，在每个电流值下应试验 5 只试品。对中性点有效接地系统为 20 A、200 A 和 800 A 工频电流有效值(偏差±10%)；对中性点非有效接地系统为 100 mA、1 A 和 20 A 工频电流有效值(偏差±10%)。如果宣称较低的电流值，则应对其进行试验。对于受到相连避雷器内部发热影响的脱离器试验，应将避雷器内部电阻片用直径 0.08 mm～0.13 mm 裸铜线旁路，以引发内部电弧。

对于无间隙线路避雷器(NGLA)，试验电流应由用户和制造商协商确定。对于不受相连避雷器动作影响的脱离器试验，如果用于安装脱离器，避雷器应有其均压元件(电阻或电容)分流或用在试验时保证不会熔断的足够尺寸导体取代。

试验电压可以是任何适当值，只要足以维持流过避雷器元件的电弧电流，并且足以引起和维持取决脱离器动作的任何间隙电弧。试验电压不应大于带有脱离器的避雷器最低额定电压。

因为脱离器不是故障清除装置，所以试验回路应包括具有开断功能的装置。可以用一个开断装置例如熔丝或开关来调整流过试验试品规定的电流持续时间。

注：调整试验回路的一个方法：先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。合闸开关需整定在电压峰值附近的几个电角度内接通回路，以产生近似对称电流。

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。脱离器安秒特性曲线应是通过代表最大脱离时间的各点画的光滑曲线。

在脱离器动作后，由于试验布置和试验的电流幅值，电弧会不明显。在这种情况下，通过控制试品通过电流的持续时间，确定持续引起脱离器可靠脱离的三个电流值的每一个最小持续时间，来进行安秒特性曲线试验。对于安秒特性曲线采用的点，应在 5 次试验中脱离器均可靠动作，或者如果发生一次不成功的试验，增加 5 次在相同电流和持续时间下的试验，并均应可靠动作。

8.9.3.2 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。如果装置不能给出有效和永久脱离的明显证明，则对脱离器施加 1 min 的工频电压，工频电压等于使用此脱离器的避雷器的最高额定电压的 1.2 倍，流过脱离器的电流不应超 1 mA(有效值)。在每种电流值下，确定的特性曲线上的时间值应不大于制造商所公布的数据。

8.9.4 机械试验

8.9.4.1 总则

应对与无间隙线路避雷器(NGLA)一起使用的脱离器进行弯曲负荷、拉伸负荷和扭转负荷试验。对于不同于 NGLA 的其他类型避雷器，需经供需双方协商。

注：通常，由于配电类避雷器的脱离器承受来自连接引线的重量负荷很小，因此可不进行此项试验。然而，即使在运行中的机械应力可以忽略，但脱离器在安装中可能会承受扭矩或者其他负荷。

8.9.4.2 弯曲负荷试验

试验应在5个新的试品上进行。在每个试品上，弯曲负荷在30 s到90 s之内平稳增加直至破坏。如果破坏值超过制造商的规定值，则该试验通过。如果有1个试品没有达到规定的破坏值，则应重新在5个新的试品上进行试验，并应均通过本试验。

8.9.4.3 拉伸负荷试验

试验应在5个新的试品上进行。在每个试品上，拉伸负荷在30 s到90 s之内平稳增加直至破坏。如果破坏值超过制造商规定的值，则该试验通过。如果有1个试品没有达到规定的破坏值，则应重新在5个新的试品上进行试验，并应均通过本试验。

8.9.4.4 扭转负荷试验

试验应在5个新的试品进行。在每个试品上，扭转负荷在30 s到90 s之内平稳增加直至破坏。如果破坏值超过制造商规定的值，则该试验通过。如果有1个试品没有达到规定的破坏值，则应重新在5个新的试品上进行试验，并应均通过本试验。

8.9.5 温度循环和密封试验

应在10个新的试品上进行温度循环试验(见8.12.3.1)，然后对每个试品进行密封试验。

在密封试验时，试品应被加热到60 ℃±3 ℃，并且该温度至少保持1 h，接着将试品应置于温度为4 ℃±3 K的冷水中至少2 h，冷热转换时间不超过5 min，循环试验10次。冷水的重量至少应是试品的10倍。

在达到环境温度后不超过24 h，对每个试品的均压元件的电阻和电容进行测量，并打开试品检测。如果检查试品内部部件和表面未发现受潮的迹象，并且均压元件的电阻和电容值的变化不超过20%，则脱离器试验通过。

8.10 短路试验

8.10.1 总则

试验的目的是为了验证避雷器故障时不会导致避雷器外套不可接受的爆炸，并且在规定的时间内明火(如果有)自熄灭。每种类型避雷器最多在4个短路电流值下进行试验。如果避雷器装备了其他装置以代替常规压力释放装置，试验时应包括该装置。

短路试验电流的频率应在48 Hz和62 Hz之间。

短路电流特性对于区分两种避雷器设计是非常重要的。

“设计A”避雷器是一种沿避雷器元件的整个长度都有气体通道的设计，并且内部气体容积≥除内部功能元件外剩余内部容积的50%；

“设计B”避雷器是一种没有封闭气体的设计，或者内部气体容积<除内部功能元件外剩余内部容积的50%。

注1：通常，“设计A”避雷器是指瓷外套避雷器，或者是用带压力释放装置的复合空心绝缘子装配的复合外套避雷器，或者是用预制薄弱点(具有在规定的压力下破裂或者快速打开以降低内部压力)的复合空心绝缘子装配的复合外套避雷器。

通常，“设计B”避雷器没有任何压力释放装置，是属于没有封闭的气体的固体类型。如果电阻片发生电气故障，在避雷器内建立电弧。该电弧会引起严重汽化，且可能引起外套和(或)内部材料的燃烧。这种避雷器的短路特性取决于外套在电弧作用下控制开裂或撕裂的能力，从而避免产生不可接受的爆炸。

注 2：在上下文中的“功能元件”指电阻片和与之直接串联的金属垫块。

注 3：经供需双方协商后，试验程序可以进行修改，例如重合闸操作的次数，试验程序和验收准则应经供需双方协商。

8.10.2 试品准备

8.10.2.1 总则

对于不同的避雷器类型和试验电压，试品数量、短路电流触发和第一个短路电流峰值有不同的要求。表 6 为瓷外套避雷器的试验要求，并在下列条款中进一步说明。

大电流试验时，对于每个不同的避雷器设计，试验试品应是具有最高额定电压的最长避雷器元件。

小电流试验时，对于每个不同的避雷器设计，试品应是具有最高额定电压的任何长度的避雷器元件。

不同避雷器元件的例子见图 5。

8.10.2.2 “设计 A”避雷器

应使用熔丝来导通短路电流的方法来准备试品。熔丝应沿着并紧贴电阻片表面，并且设置在气体通道内或者尽可能地靠近气体通道，并将所有的避雷器内部功能元件进行短路，设计 A 的不同结构见图 6。试验中熔丝的实际位置应在报告中注明。

应选择熔丝的材料和尺寸，以便对于大的和减小的短路电流试验在电流触发后的第 1 个 30 电角度内熔丝熔断。对于小的短路电流试验，没有熔断时间限值。

为了使熔丝在规定时间内熔断和为点燃电弧创造合适的条件，宜使用 0.2 mm～0.5 mm 直径的低阻材料的熔丝（例如：铜、铝或银）。对于大的短路试验电流使用大的截面熔丝来制备避雷器元件。当电弧触发有问题，可以使用有助于电弧建立的大截面的熔丝，但直径不超过 1.5 mm。使用沿着大部分避雷器长度上有较大截面和在中间有一段短的小截面的特殊制备的熔丝，也可以帮助电弧建立。

具有同瓷一样脆的非瓷制聚合物伞裙以及其他空心绝缘子的“设计 A”避雷器应考虑按瓷外套避雷器进行试验。

在试品中应填充与在避雷器中相同的介质（气体）。

8.10.2.3 “设计 B”避雷器

应使用熔丝来导通短路电流的方法来准备试品。熔丝应沿着并紧贴电阻片表面，并且尽可能地远离气体通道，并将所有的避雷器内部功能元件进行短路，设计 B 的不同结构见图 7。试验中熔丝的实际位置应在报告中注明。

应选择熔丝的材料和尺寸，以便对于大的和减小的短路电流试验在电流触发后的第 1 个 30 电角度内熔丝熔断。对于小的短路电流试验，没有熔断时间限值。

为了使熔丝在规定时间内熔断和为点燃电弧创造合适的条件，宜使用 0.2 mm～0.5 mm 直径的低阻材料的熔丝（例如：铜、铝或银）。对于大的短路试验电流使用大的截面熔丝来制备避雷器元件。当电弧触发有问题，可以使用有助于电弧建立的大截面的熔丝，但直径不超过 1.5 mm。使用沿着大部分避雷器长度上有较大的截面和在中间有一段短的小截面的特殊制备的熔丝，也可以帮助电弧建立。

在避雷器内部有气体的情况时，在试品中应填充与在避雷器中相同的介质（气体）。

表 6　瓷外套避雷器的试验要求

类型	试品数量	短路电流触发	第一个电流峰值与表 7 要求的短路电流有效值的比率					
			试验电压：U_r 的 77%至 107%			试验电压：小于 U_r 的 77%		
			额定短路电流	降低的短路电流	小短路电流	额定短路电流	降低的短路电流	小短路电流
设计 A	4	熔丝沿电阻片表面：在气体通道内或者尽可能接近	预期电流：≥2.5 实际电流：不要求	预期电流：≥$\sqrt{2}$ 实际电流：不要求	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥2.5	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥$\sqrt{2}$
设计 B	4	熔丝沿电阻片表面：尽可能远离气体通道	预期电流：≥$\sqrt{2}$ 实际电流：不要求	预期电流：≥$\sqrt{2}$ 实际电流：不要求	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥$\sqrt{2}$

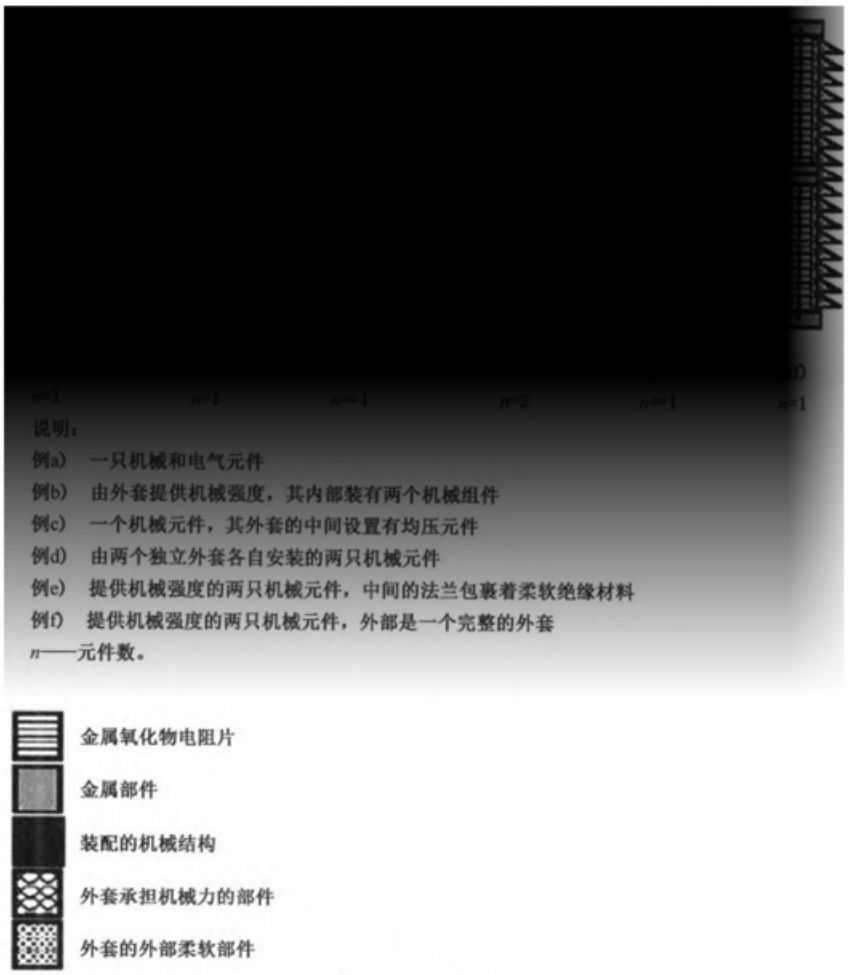


图 5 避雷器元件示例

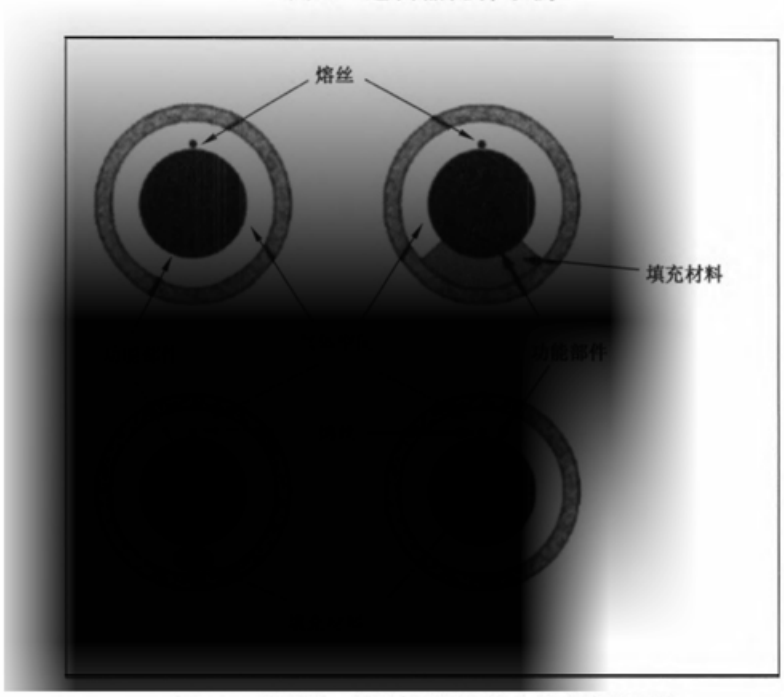


图 6 “设计 A”避雷器熔丝安装位置图例

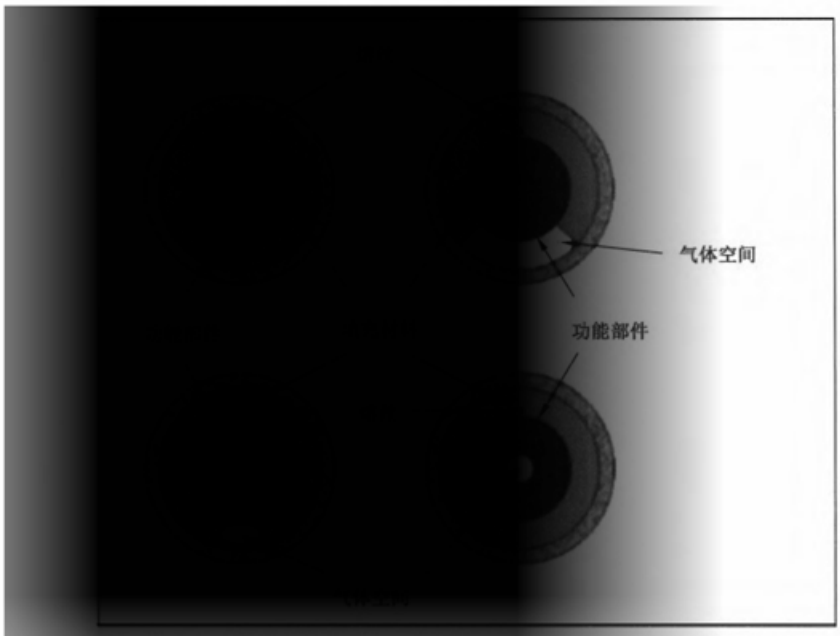
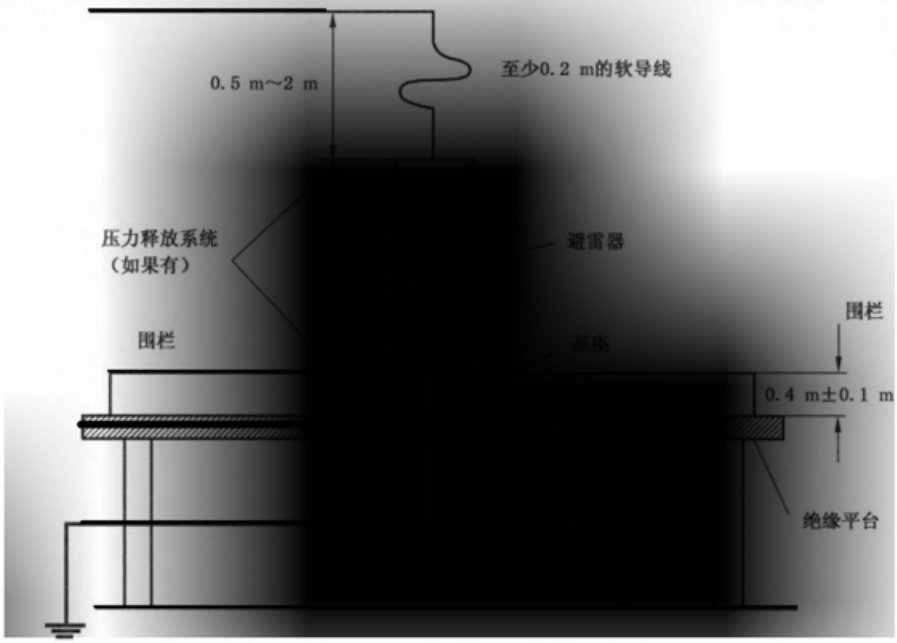


图 7 “设计 B”避雷器熔丝安装位置图例

8.10.3 试品安装

对于座式安装的避雷器，安装的布置见图 8。在图中标识了绝缘平台到地面的距离和导线布置。



注：所有引线和压力释放系统在同一平面上。

图 8 瓷外套避雷器短路试验布置

对于非座式安装的避雷器（例如，杆塔安装的避雷器），试品应安装在非金属杆上，使用安装支架和通常用于实际安装的金具。为了试验的目的，安装支架应认为是避雷器基座的一部分。如果上述情况与制造商的使用说明书不同时，避雷器应按照制造商推荐的安装方法。绝缘基座和电流传感器之间的全部导

线应有至少 1 000 V 的绝缘强度。试品的顶端应装配具有与避雷器相同设计的绝缘基座或顶盖。

对于座式安装避雷器，试品的底部部件应安装在与圆形或方形围栏等高的试验基座上。试验基座应为绝缘材料制成，或当试验基座的表面尺寸小于避雷器底部部件的表面尺寸时可采用导电材料。试验基座和围栏应安装在绝缘平台的顶部，见图 8。对于非座式安装避雷器，避雷器的底部采用同样的要求。顶部端盖和除避雷器基座以外的任何其他金属物体(悬浮或接地)之间的电弧距离应至少为避雷器试品高度的 1.6 倍，但不低于 0.9 m。围栏应由非金属材料制成，并且关于试品轴对称布置。围栏高度应为 40 cm±10 cm，其直径(如果是正方形围栏，为边长)应等于 1.8 m 或按公式(6)计算 D 值的两者较大值。在试验期间，围栏不允许打开或移动。

$$D = 1.2 \times (2 \times H + D_{arr}) \qquad \cdots\cdots(6)$$

式中：

H ——试验避雷器元件的高度，单位为米(m)；

D_{arr} ——试验避雷器元件的直径，单位为米(m)。

除非供需双方达成其他协议，试品应垂直安装。

在短路试验期间，避雷器的安装和导体的路径应代表运行中最不利的条件。

注：图 8 所示路径是在释放压力前试验初始阶段最不利的情况(特别是在避雷器装有压力释放装置的情况下)。试品的位置如图 8 所示，喷弧口朝向试验电源方向，这样可使所产生的外部电弧比其他方式更靠近外套，比相对于喷弧口的其他可能的方向，热冲击的影响可导致过多的瓷伞裙破碎飞溅和脱落。

8.10.4 大电流短路试验

8.10.4.1 总则

试验应在 3 只试品上进行，试验电流值应从表 7 中所列的额定短路电流值中选择。所有的 3 只试品应按 8.10.2 进行准备，并且按 8.10.3 进行安装。

试验应在单相试验回路中进行，具有试品的额定电压的 77% 到 107% 的开路试验电压(见 8.10.4.2)。然而，对高压避雷器进行试验时，试验站可能没有足够大的短路容量在 77%或更高的试验试品额定电压下进行试验。因此，8.10.4.2 给出了在降低电压下进行大电流短路电流试验的可选择程序。在回路中测得通过试验电流的总持续时间应不小于 0.2 s。

表 7 短路试验的电流值

避雷器等级 (标称放电电流) kA	额定短路电流 I_s kA	降低的短路电流 ±10% kA		持续时间为 1 s[a] 的 小短路电流 A
20 或 10	80	50	25	600±200
20 或 10	63	25	12	600±200
20 或 10	50	25	12	600±200
20 或 10	40	25	12	600±200
20 或 10	31.5	12	6	600±200
20、10 或 5	20	12	6	600±200
10 或 5	16	6	3	600±200
10、5、2.5 或 1.5	10	6	3	600±200
10、5、2.5 或 1.5	5	3	1.5	600±200
10、5、2.5 或 1.5	2.5	—	—	600±200

表 7（续）

避雷器等级 （标称放电电流） kA	额定短路电流 I_s kA	降低的短路电流 ±10% kA		持续时间为 1 s[a] 的 小短路电流 A
10、5、2.5 或 1.5	1	—	—	供需双方协商确定的 幅值和时间
10、5、2.5 或 1.5	<1[b]	—	—	供需双方协商确定的 幅值和时间
注：如果对于在表中的某一额定短路电流值下避雷器通过了试验验证，则可认为该类避雷器在低于该值的任何额定短路电流值下也通过了试验验证。				
[a] 对于安装在谐振接地或中性点不接地系统的避雷器，经由供需双方达成协议后，可将试验持续时间延长超过 1 s，最长 30 min。这时小短路电流应降低至 50 A±20 A，试验试品和验收准则应经供需双方协商确定。 [b] 在这种情况下，大电流试验不要求。				

对于在表 7 中的一个额定短路电流值下已验证合格的避雷器，如果要在表 7 中更高的额定短路电流值下验证该类避雷器，则只需在新的额定短路电流值下进行试验。额定短路电流值只能向上推两个等级。

如果要在高出表 7 规定的额定短路电流值下验证避雷器，则应在该额定短路电流值以及 50%和 25%的该短路电流值下进行试验。

8.10.4.2 在 77%～107%的额定电压下的大电流短路试验

应将避雷器用阻抗可忽略的连杆短路或代替进行试验，来测量预期电流。

该试验的持续时间应被限制到测量电流波形的峰值和对称分量的最小时间。

对于“设计 A”避雷器的额定短路电流试验，预期电流的第一个半波峰值应至少为从表 7 中选择的额定短路电流有效值的 2.5 倍。随后的对称分量有效值应等于或大于额定短路电流。即使预期电流对称分量的有效值可能更高，试验电流应为预期电流峰值除以 2.5。由于大的预期电流，避雷器可能会遭受更为苛刻的负载，因此在征得制造商的同意才能在 X/R 比率小于 15 下进行试验。

对于“设计 B”避雷器的额定短路电流试验，预期电流的第一个半波峰值应至少为额定短路电流有效值的$\sqrt{2}$倍。

对于所有降低的试验电流，其有效值应按表 7 选取，并且预期电流的第一个半波峰值应至少为该电流有效值的$\sqrt{2}$倍。

在检查预期电流后应拆除固体短路连接板，并在相同的回路参数下对避雷器试品进行试验。

注：避雷器内部限制电弧的电阻，可能会降低测量的电流的对称分量有效值及峰值。这不会使得试验无效，因为试验至少在标称运行电压下进行的，并且对试验电流的影响与实际运行中的故障情况是相同的。

试验回路阻抗的 X/R 比率，在没有连接避雷器时，应至少为 15。如果试验回路阻抗的 X/R 比率小于 15，可以增加试验电压或者减少阻抗，使得：

——对于额定短路电流，预期电流的第一个半波峰值等于或者大于 2.5 倍的要求试验电流值。

——对于降低电流的试验，应符合表 7 的公差。

8.10.4.3 在低于77%额定电压下的大电流短路试验

当试验回路电压小于试验试品额定电压的77%时，以这种方式调整试验回路参数，实际避雷器试验电流的对称分量的有效值应不小于从表7中选择的要求的试验电流值。

对于“设计A”避雷器的额定短路电流试验，避雷器试验电流的第一个半波峰值应不小于从表7选择的额定短路电流有效值的2.5倍。随后的对称分量有效值应不小于额定短路电流。即使实际避雷器试验电流对称分量的有效值可能更大，试验电流为实际避雷器试验电流峰值除以2.5。

对于“设计B”避雷器的额定短路电流试验，实际避雷器试验电流的第一个半波峰值应不小于额定短路电流有效值的$\sqrt{2}$倍。

对于所有降低的短路电流，其有效值应按表7选取，并且实际避雷器的试验电流的第一个半波峰值应不小于该电流有效值的$\sqrt{2}$倍。

特别是尺寸大的避雷器在低百分比额定电压下试验，很难得到2.5倍的第一个对称峰值电流，除非考虑特殊的试验可能性。因此为得到额定短路电流，可能增加试验的有效值电压或者减少阻抗使试验电流的第一个半波峰值等于或者大于2.5倍的要求试验水平。如果用发电机进行试验，通过改变发电机的励磁也可以得到2.5倍要求试验电流的第一个峰值。试验开始后小于2.5周波内，电流应减少到要求的对称值。试验电流定义为试验电流的实际峰值除以2.5，但实际避雷器试验电流对称分量的有效值可能更大。因为高的试验电流，避雷器试品可能遭受更为严酷的负载，因此在X/R小于15的条件下试验应得到制造商的同意。

8.10.5 小电流短路试验

试验可以在任何能够产生通过避雷器试品电流等于600 A±200 A(有效值)的试验回路上进行，电流值是在电流开始流过避雷器后约0.1 s时测得的。在熔丝熔断后电流持续应不小于1 s，或对于“设计A”避雷器直到压力释放发生为止。

关于没有压力释放的避雷器处置见8.10.6。

8.10.6 试验评价

如果全部满足下列条件，则试验通过：

a) 无强烈的粉碎性爆炸。只要满足条件b)和c)，允许试品的结构损坏。

b) 试品的部件应不允许在围栏外找到，除非：

——瓷材料碎片每片小于60 g，如电阻片或瓷外套碎片；

——压力释放盖板和防爆膜；

——聚合物材料的柔软部件。

c) 避雷器应在试验后2 min内自动熄灭明火。任何喷出的部件(围栏内或外)应在2 min内自动熄灭明火。对于喷出的部件自熄灭明火的更短持续时间可由经供需双方协商确定。

如果避雷器在试验结束时没有明显的压力释放，应小心，因为试验后外套可能还有压力，这适用于所有的电流水平，但特别适用于短路试验的低电流试验。

在故障后对于机械完整性和强度要求的避雷器，可由供需双方协商确定不同的试验程序和评价(例如，要求试验后的避雷器应能通过顶端将它吊起并移动)。

8.11 弯曲负荷试验

8.11.1 总则

本试验适用于U_s>40.5 kV的瓷外套避雷器和树脂浇铸外套避雷器，也适用于U_s≤40.5 kV规定

了弯曲负荷的瓷外套避雷器和树脂浇铸除外套避雷器。试验可在没有安装绝缘底座或者安装托架的避雷器上进行。

试验步骤见附录图 F.5。

8.11.2 概述

本试验的目的是为了验证避雷器耐受制造商宣称的弯曲负荷的能力。通常，避雷器设计不承受扭转负荷，如果避雷器要承受扭转负荷，经供需双方协商需要进行特殊试验。

本试验在无内部压力的整只避雷器或避雷器元件或避雷器元件带绝缘底座（或安装托架）上进行。对于单元件的避雷器，试验应在最长元件上进行。当避雷器包含有多个元件或当避雷器的两端具有不同规定的弯矩值时，试验应在每个不同的规定弯矩的最长元件上进行，负荷值按照 F.1 确定。

试验可以按以下两部分的任意顺序进行：

——用来确定平均破坏负荷值（MBL）的弯曲负荷试验；

——试验负荷等于规定的短期负荷（SSL）（即 F.3 的 100%值）的静态弯曲负荷试验。

8.11.3 试品准备

试品的一端应固定在试验设备的刚性安装面上，并且对试品的另一端（自由端）施加负荷，在固定端产生规定的弯矩。负荷的方向应通过并垂直于避雷器的纵轴。如果避雷器对应于弯曲负荷力不是轴对称的，制造商应提供非对称强度的信息，并且负荷应施加于承受最大弯矩避雷器的最弱部分角度方向。

8.11.4 试验程序

8.11.4.1 平均破坏负荷（MBL）试验程序

试验在 3 只试品上进行。对于 $U_s \geqslant 252$ kV 的避雷器也可在 1 只整只避雷器试品上进行。如果首先进行 SSL 的试验，试验后的试品可被用于 MBL 试验。试品不需要包含内部部件。对每个试品在 30 s到 90 s 之内，弯曲负荷应平稳增加直到破坏。“破坏”包括外套的断裂和固定装置或端部部件的损坏。

计算试品的破坏负荷的平均值作为平均破坏负荷（MBL）。

注 1：当施加负荷时避雷器外套可能破碎，并可能造成装卸危险。

注 2：也可经供需双方协商，试验时当弯曲负荷值超过 1.2 倍 SSL 值试品未破坏，结束试验，计算施加到试品负荷值的平均值作为平均破坏负荷（MBL）。

8.11.4.2 短期负荷（SSL）试验程序

试验在 3 只试品上进行，对于 $U_s \geqslant 252$ kV 的避雷器也可在 1 只整只避雷器试品上进行。试品应包含内部部件。试验前，对每个试验试品应进行密封试验（见 8.13）和局部放电试验（见 8.21）。如果在型式试验中已经进行了密封试验和局部放电试验，则此次不需重复试验。

注 1：试品为多元件避雷器时，试验前后的局部放电试验可在元件上分别进行。

对每个试品，在 30 s 到 90 s 之内，弯曲负荷平稳增加至 SSL，偏差 $^{+5\%}_{0}$。当达到试验负荷，应保持 60 s到 90 s。此时测量偏移量。然后应平稳降低负荷到零，记录残余偏移量。在负荷降到零后应在 1 min～10 min 的时间内测量残余偏移量。

注 2：当施加负荷时避雷器外套可能破碎，并可能造成装卸危险。

8.11.5 试验评价

如果满足下列要求，则试验通过。

平均破坏负荷 MBL≥1.2SSL；

对于 SSL 试验：

——没有明显的机械损伤；

——残余永久偏移量≤3 mm 或≤试验时最大偏移量的 10%，取高值；

——密封试验通过(见 8.13)；

——局部放电量不超过 8.21 的规定值。

8.11.6 绝缘底座和安装托架试验

如果避雷器装有绝缘底座和(或)安装托架，应对绝缘底座和(或)安装支架进行弯曲试验。试验在 3 个试品上进行。对每个试品，在 30 s 到 90 s 之内，弯曲负荷平稳增加至按避雷器 SSL 计算的值(见附录 F)。当达到试验负荷，应保持 60 s 到 90 s。此时测量偏移量。然后应平稳降低负荷到零。

如果试品没有明显的机械损伤，则试验通过。

注：如果在 8.11.4.2 中的试品带有绝缘底座和安装托架，可不对绝缘底座和安装托架进行 8.11.6 中规定的试验。

8.12 环境试验

8.12.1 总则

本试验适用于瓷及树脂浇铸外套避雷器。环境试验是通过加速试验程序验证避雷器的密封结构和外露的金属部件没有受到环境条件的损伤。

试验应在任何长度的完整避雷器元件上进行。

对于内部有封闭气体空间和独立密封系统的避雷器，内部部件可以去掉。

如果避雷器元件仅在长度方面不同，而具有同样的设计和材料，并且元件有相同的密封结构，则认为是同类避雷器。

8.12.2 样品准备

试验前，试品应进行密封试验(见 8.13)。

8.12.3 试验程序

按给定的顺序，在 1 个试品上进行下列规定的试验。

8.12.3.1 温度循环试验

试验应按照 GB/T 2423.22—2012 中的 Nb 试验进行。

——高温应至少为+40 ℃，但不大于+70 ℃。低温应与在高温期内实际施加温度的温差不小于 85 K；但是在低温期内低温不应小于−50 ℃；

——温度变化梯度：1 K/min；

——每个温度持续时间：3 h；

——循环次数：10 次。

8.12.3.2 盐雾试验

试验应按照 GB/T 2423.17—2008 中的第 3 章和 6.6 进行。

——盐溶液浓度：5%±1%(质量)；

——试验持续时间：96 h。

8.12.4 试验评价

如果试品通过了密封试验(见 8.13),则试验通过。

8.13 密封试验

8.13.1 总则

该试验适用于内部有封闭的气体空间和独立密封系统的避雷器。该试验用来验证避雷器整个系统的气密性/水密性。

试验在 1 只避雷器或元件上进行,对于采用氦质谱检漏仪检漏法,试品内部部件可以去掉。如果避雷器包含有不同密封系统的元件,则试验应在代表每个不同的密封系统的元件上进行。

试验时,可采用氦质谱检漏仪检漏法、抽气浸泡法、热水浸泡法等任何灵敏方法对避雷器进行密封试验。

8.13.2 试品准备

试品应是新的和干净的。

8.13.3 试验程序

可采用下列方法进行试验,由制造商宣称:

a) 氦质谱检漏仪检漏法:采用喷吹法检漏。喷吹法适用于有抽气口的避雷器。将避雷器接在检漏仪的检漏口,用检漏仪的真空系统对避雷器抽真空,并达到真空衔接与质谱室沟通,避雷器真空度要求应符合检漏仪的规定,然后用喷枪向密封处喷吹氦气。当有漏孔存在时,氦气就通过漏孔进入质谱室被检测出。

注 1:若采用氦质谱检漏仪检漏法,避雷器带有检漏口。

b) 热水浸泡法:将试品水平浸泡于高于试验环境温度 45 ℃±5 K 的水中,水应是清洁的,水面应高出避雷器最高点 10 cm～20 cm。对用于 $U_s \geqslant 40.5$ kV 的避雷器,浸泡时间不小于 30 min;对用于 $U_s < 40.5$ kV 的避雷器,浸泡时间不小于 10 min。浸泡时间从达到规定的水温时算起,用计时器记录。

注 2:如果制造商宣称避雷器不适用于水平放置,试品可以按制造商的规定的方向放置,试验条件满足上述要求。

c) 抽气浸泡法:将试品水平放入水温不小于 5 ℃的水中,水应是清洁的,水面应高出避雷器最高点 10 cm～20 cm。对试验水箱抽真空,压差不应小于 0.02 MPa,保压 3 min。保压时间从达到规定的压差时算起,用计时器记录。压差应用压力表测量,压力表应能读出 0.001 MPa。

注 3:如果制造商宣称避雷器不适用于水平放置,试品可以按制造商的规定的方向放置,试验条件满足上述要求。

8.13.4 试验评价

试验评价如下:

a) 对于采用氦质谱检漏仪检漏法,最大的密封泄漏率应低于 6.65×10^{-5} Pa·L/s;

b) 对于采用热水浸泡法和抽气浸泡法,避雷器在规定的浸泡(保压)时间内,如无连续性气泡溢出则视为合格(如开始有少量断续气泡溢出,但随后不再有气泡溢出,仍视为合格),如不能明确判断是否有连续气泡溢出,应重测避雷器元件的直流参考电压和 0.75 倍直流参考电压下漏电流,试验前后直流参考电压变化不应大于 5%,0.75 倍直流参考电压下漏电流变化不应大于 20 μA。

8.14 无线电干扰电压试验

本试验适用于U_s≥72.5 kV的空气绝缘敞开式电站用的避雷器。对于同一类型避雷器，该试验应在最长的具有最高额定电压的避雷器上进行。如果其他低额定值的避雷器配置的配件(高压端子、接地端子、均压环等)与已在高额定值的避雷器上通过试验验证合格的配件完全相同，则不需要进行试验。

注1：由于沿整只避雷器的电压分布是非线性的，所以不能仅对避雷器的组件、部件或元件进行试验。

注2：对于本试验，同一类型避雷器是指具有相同的均压环配置。

如果同一只避雷器已经通过了8.21规定的局部放电试验，但在这种情况下同时测避雷器内部和外部放电(即无屏蔽装置用于避雷器连接或均压环或其他部分)，则可以免做RIV试验。

试验的避雷器应完全组装好，并且包括制造商提供的避雷器标准配置的配件(高压端子、接地端子、均压环等)。

试验电压施加在端子和接地底座之间。

避雷器的接地部分应连接到地。应注意避免由于避雷器及试验和测量回路附近的接地或不接地物体影响测量。

试验接线和其端子不应成为产生比下面指示值高的无线电干扰电压源。

测量回路应符合GB/T 11604—2015的规定。应优先调整测量回路的频率到0.5 MHz，偏差为10%，也可使用0.5 MHz～2 MHz范围内的频率，记录测量频率。测量结果用微伏表示。

如果使用与GB/T 11604—2015规定不同的测量阻抗，其不应大于600 Ω或小于30 Ω。在任何情况下，相位角不应超过20°。假设所测电压与阻抗成正比，就可计算出相对于300 Ω时的无线电干扰电压。

滤波器F应有高阻抗，从试验的避雷器看去，高压导线和地之间的阻抗不会有明显的分路。该滤波器还减少了试验电路中的无线电频率回路电流，该电流是由高压变压器或由外部源产生的。在测量频率下，合适的阻抗值为10 000 Ω～20 000 Ω。

应采用一些方法以确保背景无线电干扰水平(由外部电磁场和当施加试验电压时由高压变压器所引起的无线电干扰电压水平)，至少是低于规定的试验避雷器无线电干扰水平6 dB，最好低于10 dB。测试仪器的校正方法见GB/T 11604—2015。

因为无线电干扰水平可能会受到落在绝缘子上纤维或灰尘的影响，所以在测试前允许用干净的布擦拭绝缘子。试验期间应记录大气条件。目前还不知道适用于无线电干扰试验的校正因素，但众所周知，试验对高相对湿度敏感，如果相对湿度超过80%，试验结果会引起质疑。

试验程序：

将试验电压增加到1.15U_c，然后降到1.05U_c，保持5 min，U_c为避雷器的持续运行电压。然后将电压按级差降到0.5U_c，再按级差升高到1.05U_c，保持5 min，最后再按级差降到0.5U_c。每一步都应进行无线电干扰测量，并且应画出在最后的电压降低系列中记录的无线电干扰水平和对应施加的电压值曲线，来获得的曲线是避雷器的无线电干扰特性。电压级差的幅值约为0.1U_c。

如果在1.05倍U_c下和所有较低电压级差下的无线电干扰电压均不大于2 500 μV，则试验通过。

经供需双方协商，也可按下列要求进行试验，试验程序如下：

试验时，施加在试品上的工频电压应升至额定电压，保持2 s～10 s，然后降到试品的1.05倍持续运行电压，在该电压下，无线电干扰电压不大于2 500 μV，则试验通过。

8.15 内部部件绝缘耐受试验

8.15.1 总则

本试验的目的是验证避雷器在高于标称放电电流冲击下避雷器的内绝缘耐受能力。

如果可以通过计算证明，避雷器试品最高电场处的场强值不大于已通过试验的避雷器电场强度（在相同或更高电压值下），则无需进行此项试验。另外，如果动作负载试验中的预备性试验（8.7.2.2）在介电特性比例单元上进行，则无需进行此项试验。

应在 1 只试品上进行试验。

试品应为介电特性比例单元（见 7.2.2.2），内部不安装温度传感器。

8.15.2 试验程序

为了有足够的时间获得不小于 60 ℃的热平衡，应在烘箱中加热试品。试验应在从烘箱移出试品后的 10 min 内进行。对试品进行一次大电流冲击（见表 4）。

应记录冲击电流和电压波形。

8.15.3 试验评价

如果满足下列判据，则试验通过：

检查波形图没有明显的介电特性击穿的现象，试前和试后标称放电电流下的残压的变化在±5%之内，并满足以下要求：

——如果制造商声明可以将电阻从试品中取出，检查电阻片，其应无击穿、闪络或开裂现象。

——如果制造商声明不可以将电阻片从试品中取出，为了验证在试验期间没有产生损伤，应进行下列试验：

在 I_n 下测量残压后，对试品进行 2 次 8/20 雷电流冲击，其幅值的电流密度不小于 0.5 kA/cm^2 或者两倍的 I_n（取低值）。第 1 次雷电流冲击应在试品冷却到环境温度后进行，在第 1 次雷电流冲击后间隔 50 s～60 s 进行第 2 次雷电流冲击。在 2 次雷电流冲击期间，在电流电压波形图上没有出现任何击穿的现象。

8.16 内部均压部件试验

8.16.1 均压部件的长期稳定性试验

如果在避雷器中使用了内部均压部件，如电容或（非线性）电阻等，应在持续运行电压下和在与电阻片同样的试验条件（见 8.4.2.1）下，对其进行加速老化试验，来验证长期稳定性。试品可以是单个元件或者元件组。

老化试验时，应与整只避雷器设计一样，包括所有与避雷器中的均压部件直接接触的材料（固体或液体）。

在试验时，应将试品置于具有和避雷器内部相同介质的温控箱中，箱内的容积应至少为试品体积的 2 倍，并且箱内的介质密度应不低于避雷器中介质密度。

注：在避雷器的正常运行寿命期内，避雷器内均压部件周围的介质由于内部局部放电可能会有改变。在电场中，均压部件周围介质的改变可能会显著改变其电气特性。

考虑这种情况，合适的试验程序正在考虑中。目前一个程序可作为选择，该程序是在含有低的氧气浓度（低于 0.1%体积）的 N_2 或 SF_6（对 GIS 避雷器）中进行这个试验。这就保证，即使在完全缺氧的情况下，均压部件仍不会老化。

如果制造商能够证明，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，则可以在敞开的空气中进行老化试验。

应对 3 只试品进行试验，持续 1 000 h，在试验期间控制试品的表面温度在 115 ℃±1 K。在1 000 h 的试验期间，对试品施加电压，该电压为与避雷器中均压元件并联安装的电阻片数量相对应的修正的最

高持续运行电压(见 8.4.2.1)。在 1 000 h 试验前后,在 20 ℃±15 K 的温度下测量均压元件的阻抗。

若满足下列条件,则试验通过:

——没有明显的绝缘击穿的现象;

——试验后检查,均压元件没有击穿、闪络、或开裂现象;

——在试验电压下,局部放电量不大于 10 pC;

——试验前后,均压元件的阻抗变化不超过±5%。

如果试品满足上述条件,应将与避雷器中和均压元件并联的相同数量电阻片与试品并联连接,对试品进行 2 次 8/20 雷电流冲击,其幅值的电流密度不小于 0.5 kA/cm² 或者两倍的 I_n(取低值)。第 1 次雷电流冲击应在试品冷却到环境温度后进行,在第 1 次雷电流冲击后间隔 50 s～60 s 进行第 2 次雷电流冲击。在 2 次雷电流冲击前后,在 20 ℃±15K 的条件下,测量均压元件的阻抗。如果满足下列条件,则试验通过:

——在两次雷电流冲击期间,在电流电压波形图上没有出现任何击穿的现象。

——试验前和试验后,均压元件的阻抗变化不超过±5%。

8.16.2 热循环试验

热循环应在 3 个试品上进行,试验时不用施加电压。温度循环由 5 个 48 h 的 60 ℃到－40 ℃的冷热循环组成。热和冷的温度应至少保持 16 h。试验应在空气中进行。在热循环前后和在 20 ℃±15 K 下,测量均压元件阻抗。如果满足下列条件,则试验通过:

——试验后,均压元件没有开裂的现象;

——在试验电压下,局部放电量不大于 10 pC,试验电压为在避雷器中与均压元件并联的电阻片数量相对应的修正的最大持续运行电压(见 8.4.2.1);

——试验前和试验后,均压元件的阻抗变化不超过±5%。

如果试品满足上述条件,应将与避雷器中和均压元件并联的相同数量电阻片与试品并联连接,对试品进行 2 次 8/20 雷电流冲击,其幅值的电流密度不小于 0.5 kA/cm² 或者两倍的 I_n(取低值)。第 1 次雷电流冲击应在试品冷却到环境温度后进行,在第 1 次雷电流冲击后间隔 50 s～60 s 进行第 2 次雷电流冲击。在 2 次雷电流冲击前后,在 20 ℃±15K 的条件下,测量均压元件的阻抗。如果满足下列条件,则试验通过:

——在两次雷电流冲击期间,在电流电压波形图上没有出现任何击穿的现象。

——试验前后,均压元件的阻抗变化不超过±5%。

8.17 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 ℃±15 K。

注:例行试验可在整只避雷器或避雷器元件上进行。

8.18 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 ℃±15 K。

注：可近似认为，试验电压峰值处对应的全电流瞬时值为阻性电流分量的峰值。

8.19 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。

直流电压纹波因数不应超过 1.5%。

试验环境温度为 20 ℃±15 K。

8.20 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。

直流电压纹波因数不应超过 1.5%。

试验环境温度为 20 ℃±15 K。

8.21 局部放电试验

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。

经供需双方同意，型式试验可以在避雷器元件上进行。此时，应对避雷器最长的电气元件进行试验，如果其不代表避雷器单位长度最高的电压应力，应对具有最高电压应力的元件进行附加试验。

试验时，对试品可以采取屏蔽措施以防止外部的局部放电。

注：防止外部局部放电采取的屏蔽措施不能影响避雷器的电压分布。

试验时，施加在试品上的工频电压应升至额定电压，保持 2 s 到 10 s，然后降到试品的 1.05 倍持续运行电压，在该电压下，按照 GB/T 7354 规定测量局部放电，测得的局部放电值应不大于 10 pC。例行试验时，制造商可在额定电压或者更高电压下进行局部放电测量，而不用降到试验电压。

例行试验时，试验可以在整只避雷器或避雷器元件上进行。

8.22 电流分布试验

该试验将对所有的并联的电阻片组进行。并联电阻片组意思是组装的一部分，在这部分中没有使用柱间中间电连接。制造商可以在 0.01 倍～1 倍标称放电电流的范围内规定一适当的冲击电流，在该电流下测量通过每柱的电流。最大电流值不超过生产商规定的上限。冲击电流的视在波前时间不小于 7 μs，半峰值时间可以是任意值。

注：如果在设计中所用并联电阻片组的额定电压值比试验设备能提供的电压高时，该试验中并联电阻片组的额定电压就可以通过引入柱间的中间电气连接来降低，这样就建立了几个人工的并联电阻片组。每个人工的并联电阻片组需通过所规定的电流分布试验。

8.23 统一爬电比距检查

检查避雷器绝缘部分爬电距离时，应采用不会伸长的胶布带（或金属丝），在试品两电极间，沿绝缘件表面量得的最短距离，由多个绝缘件组成的避雷器，则为其各绝缘件最短距离的总和。对于瓷外套避雷器应包括瓷件表面的半导体釉层部分，但不包括导电性胶合剂，如水泥胶合剂。

统一爬电比距要求见 GB/T 26218.1—2010。

8.24 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 只，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4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%；

b) 视在波前时间为3.5 μs～4.5 μs；

c) 视在半峰值时间为9 μs～11 μs；

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。

9 例行试验、验收试验、定期试验和抽样试验

9.1 例行试验

出厂的每只避雷器应按表8的规定进行试验。如果避雷器不满足表8中所规定的任何一项要求时，则此避雷器认为不合格。

表8 例行试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	持续电流试验	8.17	避雷器或元件
2	标称放电电流残压试验	8.3.3	元件或全部电阻片
3	工频参考电压试验	8.18	避雷器或元件
4	直流参考电压试验	8.19	避雷器或元件
5	0.75倍直流参考电压下漏电流试验	8.20	避雷器或元件
6	密封试验	8.13	避雷器或元件
7	局部放电试验	8.21	避雷器或元件
8	电流分布试验	8.22	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项试验可不做。			

9.2 验收试验

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，则应按不小于供货避雷器数量立方根的最小整数抽取试品进行试验，试验项目见表9。

表9 验收试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	外观检查	9.2.3	避雷器
2	持续电流试验	8.17	避雷器或元件
3	标称放电电流残压试验	8.3.3	元件或电阻片

表 9（续）

序号	试验项目	试验方法	试品
4	工频参考电压试验	8.18	避雷器或元件
5	直流参考电压试验	8.19	避雷器或元件
6	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	8.20	避雷器或元件
7	密封试验	8.13	避雷器或元件
8	局部放电试验	8.21	避雷器或元件

9.2.2 特殊热稳定试验

下述试验，需经供需双方协商，并在避雷器装配前进行（见 6.7）。

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 只比例单元上进行。

试验按避雷器动作负载试验的热稳定试验（见 8.7.2.3）进行。

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。如果 3 只试品全部达到热稳定（见 8.7.2.4），则试验通过。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。

9.2.3 外观检查

检查避雷器的外观、铭牌及其附件有无缺少或损坏。

9.3 定期试验

为了控制产品质量，对于生产的产品应 5 年做 1 次定期试验，长期停产后恢复生产时应做定期试验。定期试验是从正常生产的产品中抽取，按表 10 规定进行试验。

表 10 定期试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	残压试验	8.3	3 只避雷器或比例单元
2	长期稳定性试验	8.4	3 只比例单元
3	重复转移电荷试验	8.5	按要求
4	动作负载试验	8.7	3 只比例单元
5	工频电压耐受时间特性试验	8.8	按要求

9.4 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。按表 11 规定进行试验。抽样试验用的试品不得装入避雷器。

表 11 抽样试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	重复转移电荷试验	8.5	1%(不少于 10 只)
2	大电流冲击耐受试验	8.24	5 只
3	长期稳定性试验	8.4	3 只
注 1：制造商至少半年对电阻片进行一次长期稳定性试验及大电流冲击耐受试验。 注 2：对于多柱并联避雷器进行重复转移电荷耐受试验时，其每片电阻片的电荷值需考虑电流分布不均匀程度。			

10 复合外套避雷器

10.1 范围

见第 1 章。

10.2 规范性引用文件

见第 2 章。

10.3 术语和定义

见第 3 章。

10.4 标志和分类

见第 4 章。

10.5 标准额定值和运行条件

除下列要求外，第 5 章的其余要求适用。

10.5.4.1 正常运行条件

除下列要求外，5.4.1 的其余内容适用。

用下述内容替代 5.4.1 i)的内容：

悬挂、垂直安装。

10.6 技术要求

除下列要求外，第 6 章的其余要求适用。

10.6.13 短路特性

本条替代 6.13。

对每个避雷器系列，制造商应宣称额定短路电流。对于安装点预期的短路电流在 1kA 以下时，可宣称额定值“0”，铭牌上应标注“0”。应按照 10.8.10 对避雷器进行短路试验，以验证避雷器故障时不会发生外套不可接受的爆炸，且如果产生明火在规定的时间内自熄灭。

注：对于中性点非有效接地系统，避雷器的预期短路电流通常在 1 kA 以下，可不进行大电流短路试验。

10.6.16.2 弯曲负荷

本条替代 6.16.2。

避雷器应能耐受制造商宣称的弯曲负荷(见 10.8.11)。在按附录 F 确定的负荷值(SSL)作用下耐受 60 s～90 s 而不损坏,并可靠运行。

注 1:当确定施加在避雷器上的机械负荷时,用户需考虑风、覆冰及电磁力对安装的影响。

注 2:与瓷外套避雷器不同,复合外套避雷器在运行中可能出现偏移。

封闭在包装箱中的避雷器应耐受由用户规定的运输负荷。

10.6.16.4 绝缘底座和安装托架

本条替代 6.16.4。

当避雷器安装有绝缘底座和/或安装支架时,绝缘底座和/或安装托架应耐受下列试验而不发生影响它的正常功能的损伤:

——承受弯曲负荷时,应进行弯曲负荷试验(见 10.8.11.5);

——承受拉伸负荷时,应进行拉伸负荷试验(见 10.8.25.5)。

10.6.16.5 平均破坏负荷(MBL)

6.16.5 不适用。

10.6.16.6 拉伸负荷

当避雷器悬挂使用时,应进行拉伸负荷试验。

避雷器应能耐受制造商宣称的持续 60 s～90 s 的拉伸负荷,避雷器的额定拉伸负荷至少为避雷器自重的 15 倍;其他要求供需双方协商。

型式试验时,避雷器应耐受 10.8.25 规定的拉伸负荷试验。

例行试验时,避雷器应能耐受 50%的额定拉伸负荷 10 s 试验而不损坏。试验后考核项目为密封性能、局部放电量、直流参考电压及 0.75 倍直流参考电压下漏电流,应符合本标准的规定值。

10.6.25 复合外套外观要求

复合外套表面单个缺陷面积(如缺胶,杂质,凸起等)不应超过 25 mm^2,深度不大于 1 mm,凸起表面与合缝应清理平整,凸起高度不应超过 0.8 mm,粘接缝凸起高度不应超过 1.2 mm,总缺陷面积不应超过复合外套总表面 0.2%。

10.6.26 气候老化试验

本试验的目的是为了验证避雷器耐受规定气候条件的能力。户内使用的复合外套避雷器不进行该试验。

10.7 试验要求

见第 7 章。

10.8 型式试验(设计试验)

10.8.1 总则

本条规定的型式试验适用于复合外套避雷器,按表 12 的规定进行型式试验。

新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时，应对有关项目进行试验。

表 12　型式试验项目

序号	避雷器类型	电站类	电站类	配电类	试品
	标称放电电流	20 kA 10 kA	20 kA 10 kA 5 kA	10 kA 5 kA 2.5 kA 1.5kA	
	U_r(有效值)/kV	>252	≤252	≤40.5	
1	绝缘耐受试验				1 只避雷器外套
	a)雷电冲击电压试验	8.2.6	8.2.6	8.2.6	
	b)操作冲击电压试验	8.2.7	不要求	不要求	
	c)工频电压试验	8.2.8	8.2.8	8.2.8	
2	残压试验				3 只避雷器或比例单元
	a)陡波冲击电流残压试验	8.3.2	8.3.2	8.3.2	
	b)雷电冲击残压试验	8.3.3	8.3.3	8.3.3	
	c)操作冲击残压试验	8.3.4	8.3.4	8.3.4	
3	长期稳定性试验	8.4	8.4	8.4	3 只避雷器或比例单元
4	重复转移电荷试验	8.5	8.5	8.5	按要求
5	散热特性试验	8.6	8.6	8.6	1 只避雷器或元件 1 只比例单元
6	动作负载试验	10.8.7	10.8.7	10.8.7	3 只避雷器或比例单元
7	工频电压耐受时间特性试验	10.8.8	10.8.8	10.8.8	按要求
8	脱离器试验	8.9	8.9	8.9	如果装有，按要求
9	短路试验	10.8.10	10.8.10	10.8.10	按要求
10	弯曲负荷试验	10.8.11	10.8.11	10.8.11	按要求
11	拉伸负荷试验	10.8.25	10.8.25	10.8.25	按要求
12	密封试验[a]	10.8.13	10.8.13	10.8.13	1 只避雷器或元件
13	无线电干扰电压试验	8.14	8.14	不要求	1 只避雷器
14	内部部件绝缘耐受试验	8.15	8.15	8.15	1 只比例单元
15	内部均压部件试验	8.16	8.16	8.16	按要求
16	气候老化试验	10.8.24	10.8.24	10.8.24	1 只避雷器或比例单元

表 12（续）

序号	避雷器类型	电站类	电站类	配电类	试品
	标称放电电流	20 kA 10 kA	20 kA 10 kA 5 kA	10 kA 5 kA 2.5 kA 1.5kA	
	U_s(有效值)/kV	>252	≤252	≤40.5	
17	持续电流试验	8.17	8.17	8.17	1 只避雷器
18	工频参考电压试验	8.18	8.18	8.18	
19	直流参考电压试验	8.19	8.19	8.19	
20	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	8.20	8.20	8.20	
21	局部放电试验	8.21	8.21	8.21	
22	电流分布试验	8.22	8.22	8.22	
23	统一爬电比距检查	8.23	8.23	8.23	
24	复合外套外观检查	10.8.26	10.8.26	10.8.26	
注：序号 12、13、17～21、23、24 项试验为同一试品。					
[a] 适用于内部有封闭的气体空间和独立密封系统的避雷器。					

在下列不同的条款中规定了试品的数量和试验条件。

避雷器仅是安装方式或支撑结构的排列布置不同，并且具有相同的部件和相似的结构，具有相同的性能包括热耗散和内部介质，可认为是同一设计。

10.8.2 绝缘耐受试验

见 8.2。

10.8.3 残压试验

见 8.3。

10.8.4 长期稳定性试验

见 8.4。

10.8.5 重复转移电荷试验

见 8.5。

10.8.6 散热特性试验

见 8.6。

10.8.7 动作负载试验

除下列要求外，8.7 的其余内容适用。

10.8.7.2.4 试验评价

本条替代 8.7.2.4。

如果满足下列条件，则试验通过：

证明已达到热稳定；

试验前后标称电流下的残压变化不大于±5%；

满足下列要求：

——如果制造商宣称电阻片可从试品中取出，检查电阻片，电阻片应无击穿、闪络或开裂现象。

——如果制造商宣称电阻片不能从试品中取出，为验证在动作负载试验期间电阻片是否发生损伤，应进行下列试验：

在 I_n 下测量残压后，对试品在 I_n 下进行两次 8/20 雷电冲击电流。第 1 次 8/20 雷电冲击电流应在试品冷却到环境温度后进行，然后间隔 50 s～60 s，进行第 2 次 8/20 雷电冲击电流。在 2 次 8/20 雷电冲击电流的电流、电压波形图上不应出现任何击穿的现象。初始测量和最后一次 8/20 雷电冲击电流下残压变化不应大于±5%。

10.8.8 工频电压耐受时间特性试验

除下列要求外，8.8 的其余内容适用。

10.8.8.5 试验评价

本条替代 8.8.5。

如果满足下列条件，则试验通过：

——已达到热稳定；

——试验前后标称电流下的残压变化不大于±5%。

满足下列要求：

——如果制造商宣称电阻片可从试品中取出，检查电阻片，电阻片应无击穿、闪络或开裂现象。

——如果制造商宣称电阻片不能从试品中取出，为了验证在动作负载试验期间电阻片未发生损伤，应进行下列试验：

在 I_n 下测量残压后，对试品进行 2 次 8/20 雷电冲击电流，其幅值的电流密度不小于 0.5 kA/cm^2 或者两倍的 I_n(取低值)。试品应冷却到环境温度后，进行 2 次雷电冲击电流，2 次时间间隔为 50 s～60 s。在 2 次雷电冲击电流的电流、电压波形图上没有出现任何击穿的现象。

当对所有试品在 TOV 和相应的持续时间不小于曲线所示值下进行了试验，并且所有试品通过了试验，则制造商公布的曲线通过了验证。所有试验的点应标注在曲线上。

10.8.9 脱离器试验

见 8.9。

10.8.10 短路试验

除下列要求外，8.10 的其余内容适用。

10.8.10.2 试品准备

本条替代 8.10.2。

对于不同的避雷器类型和试验电压，试品数量、短路电流触发和第一个短路电流峰值有不同的要

求。表 13 为复合外套避雷器的试验要求，并在下列条款中进一步说明。

大电流试验时，对于每个不同的避雷器设计，试验试品应是具有最高额定电压的最长避雷器元件。

小电流试验时，对于每个不同的避雷器设计，试品应是具有最高额定电压的任何长度的避雷器元件。

不同避雷器元件的例子见图 5。

10.8.10.2.3 设计 B 避雷器

本条替代 8.10.2.3。

试品为避雷器元件(不需要特殊准备)。用工频过电压对完整的避雷器元件进行电气预故障。在预故障击穿后和开始短路电流试验期间，不应对试品进行任何的改变。

施加的工频过电压应大于 1.15 倍的 U_c，该电压应使避雷器在(5±3) min 内发生故障。当电阻片两端的电压降到初始施加电压的 10%以下时，认为电阻片故障。预故障试验回路的短路电流不应大于 30 A。

预故障试验和额定短路电流试验之间的时间不应大于 15 min。

通过采用施加电压源或电流源来达到试品预故障。

电压源方法：初始电流通常应在 5 mA/cm^2～10 mA/cm^2 范围内。短路电流通常应在 1 A 至 30 A 之间。初始设置后，电压源不需要调整，为在规定的时间范围内使电阻片故障，可能需要进行小范围的调整。

电流源方法：通常，在 15 mA/cm^2 左右且波动为±50%的电流密度可在规定的时间范围内使电阻片故障。短路电流通常应在 10 A 至 30 A 之间。初始设置后，电流源不需要调整，为在规定的时间范围内使电阻片故障，可能需要进行小范围的调整。

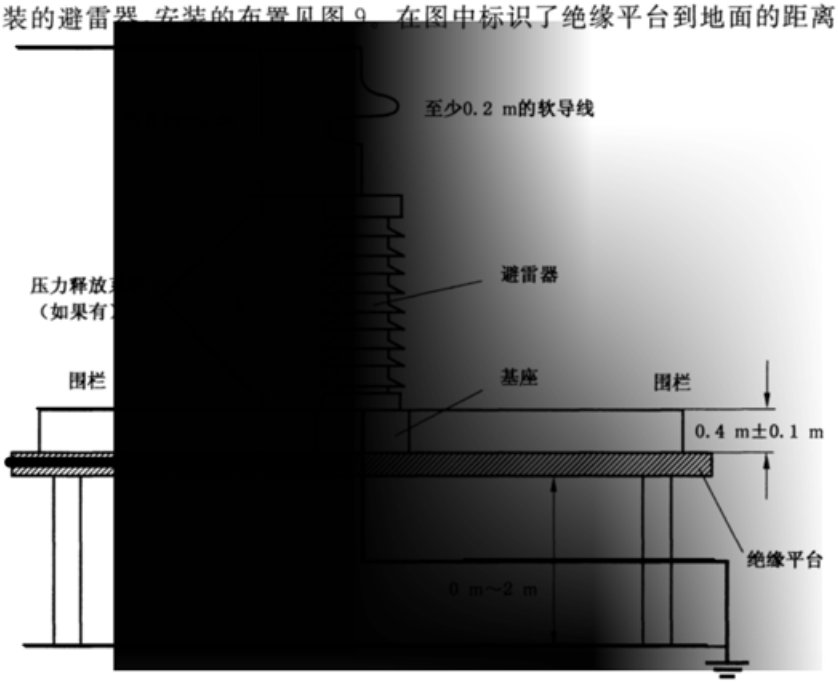
表 13　复合外套避雷器的试验要求

	要求的试品数量	短路电流开始	第一个电流峰值与表 7 要求的短路电流有效值的比率					
			试验电压：U_r 的 77%至 107%			试验电压：小于 U_r 的 77%		
			额定短路电流	降低的短路电流	小短路电流	额定短路电流	降低的短路电流	小短路电流
“设计 A”	4 或 5	熔丝沿电阻片表面；在气体通道内或者尽可能接近	预期电流：≥2.5 实际电流：不要求	预期电流：≥$\sqrt{2}$ 实际电流：不要求	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥2.5 或： 实际电流：≥$\sqrt{2}$ 在最长的元件且 实际电流：≥2.5 在 U_r≥150 kV 的元件	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥$\sqrt{2}$
“设计 B”	4	通过恒压或恒流源进行预故障	预期电流：≥$\sqrt{2}$ 实际电流：不要求	预期电流：≥$\sqrt{2}$ 实际电流：不要求	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥$\sqrt{2}$	实际电流：≥$\sqrt{2}$

10.8.10.3 试品安装

本条替代 8.10.3。

对于座式安装的避雷器，安装的布置见图 9。在图中标识了绝缘平台到地面的距离和导线布置。



注：所有引线和压力释放系统在同一平面上。

图 9 复合外套避雷器短路试验布置

对于非座式安装的避雷器（例如，杆塔安装的避雷器），试品应安装在非金属杆上，使用安装支架和通常用于实际安装的金具。为了试验的目的，安装支架应认为是避雷器基座的一部分。如果上述情况与制造商的使用说明书不同时，避雷器应按照制造商推荐的安装方法。绝缘基座和电流传感器之间的全部导线应有至少 1 000 V 的绝缘强度。试品的顶端应装配具有与避雷器相同设计的绝缘基座或顶盖。

对于座式安装避雷器，试品的底部部件应安装在与环形或方形围栏等高的试验底座上。试验底座应为绝缘材料制成或当试验底座的表面尺寸小于避雷器底部部件的表面尺寸时可采用导电材料。试验基座和围栏应安装在绝缘平台之上，如图 9 所示。对于非座式安装避雷器，避雷器的底部采用同样的要求。顶部端盖和除避雷器底座以外的任何其他金属物体（悬浮的或接地的）之间的电弧距离应至少为避雷器试品高度的 1.6 倍，但不低于 0.9 m。围栏应由非金属材料制成，并且关于试品轴对称布置。围栏高度应为40 cm±10 cm，其直径（如果是正方形围栏，为边长）应等于 1.8 m 或按公式(7)中计算 D 值的两者较大值。在试验期间，围栏不允许打开或移动。

$$D = 1.2 \times (2 \times H + D_{arr}) \qquad \cdots\cdots(7)$$

式中：

H ——试验避雷器元件的高度，单位为米(m)；

D_{arr} ——试验避雷器元件的直径，单位为米(m)。

除非制造商和用户有其他协议，试品应垂直安装。

在短路试验期间，避雷器的安装，特别是导体的路径应代表运行中最不利的条件。如图 9 所示，对于所有复合外套避雷器，接地导线的方向应与高压进线的方向相反。在短路电流的整个持续时间，电弧

将靠近避雷器，造成着火危险的最不利的条件。

10.8.10.4.3 低于77%额定电压的大电流短路试验

本条替代8.10.4.3。

当试验回路电压小于试品额定电压的77%时，试验回路参数应按以下的方法进行调整，要求通过避雷器试验电流的对称分量有效值应不小于从表7中选择的试验电流值。

对于“设计A”避雷器的额定短路电流试验，通过避雷器试验电流的第一个半波峰值应不小于表7中选择的额定短路电流有效值的2.5倍，随后的对称分量有效值应不小于额定短路电流。即使通过避雷器试验电流对称分量的有效值可能大于规定的值，试验电流也应为通过避雷器试验电流峰值除以2.5。

在额定短路电流试验中，下列要求仅适用于“设计A”复合外套避雷器：如果试品的额定电压高于150 kV，并且第一个波峰值不能达到额定短路电流的2.5倍，应增加附加试品进行试验。应按8.10.4.2或8.10.4.3进行附加试品的试验。附加试品的额定电压大于或等于150 kV，并且高度不能低于避雷器中最短的避雷器元件。额定短路电流值应是最长元件试验的电流有效值和按8.10.4.2或10.8.10.4.3在最小的150 kV额定电压的元件上试验确定的电流有效值的最低值。这两项试验均应写入报告中。

对于在额定短路电流下试验的“设计B”避雷器，避雷器试验电流的第一个半波峰值应不小于短路电流的有效值的$\sqrt{2}$倍。

对于所有降低的短路电流的有效值应按照表14规定，实际避雷器试验电流的第一个半波峰值应不小于降低的短路电流的有效值的$\sqrt{2}$倍。

特别是对尺寸大的避雷器在比额定电压低的试验电压下试验，很难得到2.5倍的第一个非对称峰值电流，除非考虑特殊试验的可能性。因此为得到额定短路电流，可能增加试验电压的有效值或者减少阻抗使试验电流的第一个半波峰值等于或者大于2.5倍的要求试验电流值。如果用发电机进行试验，通过改变发电机的励磁也可以得到2.5倍第一个峰值的试验电流。试验开始后小于2.5个周波内，电流应减少到要求的对称电流值。即使避雷器试验电流对称分量的有效值可能大于规定值，试验电流也应定义为试验电流的实际峰值除以2.5。因为高的试验电流，避雷器试品可能遭受更为严酷的负载，因此在X/R小于15的条件下试验应得制造商的同意。

对于“设计B”复合外套避雷器，除非考虑特殊试验设备，即使是第一个电流峰值的$\sqrt{2}$倍也不容易得到。预故障避雷器能建立相当大的电弧电阻，其限制流过避雷器的对称电流。因此推荐在预故障后试品冷却前，尽可能快地进行短路试验。

因此，对于预故障避雷器，推荐在施加短路电流前通过重复进行预故障以确保避雷器表现为完全低电阻特性，或者相类似的，在电流最大持续2 s后，回路立即施加短路电流（见图10）。增加预施加回路的短路电流至300 A（有效值）是可以接受的。如果这样，该电流幅值下的最大持续时间应不超过公式(8)的计算值：

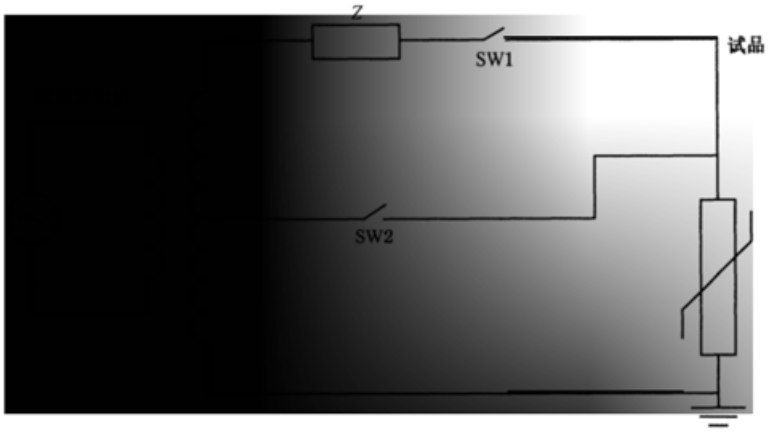
$$t_{rpf} \leqslant \frac{Q_{rpf}}{I_{rpf}} \qquad \cdots\cdots(8)$$

式中：

t_{rpf} ——重复预故障时间，单位为秒（s）；

Q_{rpf} ——重复预故障电荷为60 C；

I_{rpf} ——重复预故障电流有效值，单位为安培（A）。



注：当 SW1 闭合并且 SW2 打开时，施加预故障电流（最大值为 30 A，由阻抗 Z 来限制）。最长持续 2 s 后，SW2 闭合使规定的短路电流流过试品。

图 10　对于重复施加预故障后立即施加短路电流的试验回路

10.8.11　弯曲负荷试验

本条替代 8.11。

本试验适用于 U_s>40.5 kV 的复合外套（树脂浇铸除外）避雷器（有或者无密封气体空间），也适用于 U_s≤40.5 kV 规定了弯曲负荷的复合外套（树脂浇铸除外）避雷器（有或者无密封气体空间）。试验可在没有安装绝缘底座或者安装托架的避雷器上进行。

树脂浇铸外套避雷器应按 8.11 进行试验。没有规定弯曲负荷的避雷器应按 10.8.11.3.1.1 进行端子扭转预处理，按 10.8.11.3.1.3 进行热预处理试验，以及按 10.8.11.3.2 进行浸水试验。

试验程序见附录 F 的流程图。

10.8.11.1　总则

试验的目的是为了验证制造商宣称的避雷器耐受弯曲负荷的能力。通常，避雷器的设计不是用于承受扭转负荷。如果避雷器要承受扭转负荷，经供需双方协商需要进行特殊试验。

试验在避雷器或最高额定电压的避雷器元件上进行。对于单元件避雷器，试验应在最高额定电压的最长避雷器元件上进行。当避雷器包含有多个元件或当避雷器的两端具有不同规定的弯矩值时，试验应在每个不同的弯矩的最长元件上进行，负荷值按照 F.1 确定。如果最长的避雷器元件的长度大于 800 mm，可以使用较短的元件进行试验，需满足下列要求：

长度至少为：

——800 mm；

——三倍的底部法兰处的外套外径（伞裙除外）。

该元件是设计中使用的元件之一，不是为试验专门制造的；具有设计元件中的最高额定电压。

对三只试品，依次进行下列三个步骤的试验（U_s≤40.5 kV 的避雷器为两个步骤）：

三只试品应耐受试验负荷等于规定长期负荷（SLL）的 1 000 次循环试验；

对两只试品应进行静态弯曲负荷试验，试验负荷等于规定的短期负荷（SSL），即 F.3 中 100%的值。第三只按照 10.8.11.3.1 进行热机预处理试验；

对三只试品按照 10.8.11.3.2 进行浸水试验。

规定负荷的偏差应为 $^{+5\%}_{-0}$。

注：$U_s \leqslant 40.5$ kV 的避雷器不进行循环试验。

10.8.11.2 试品准备

试品应包含内部部件。

试验前，对每只试品进行下列试验：

——按下列顺序进行电气试验：

- 在环境温度为 20 ℃±15 K 下，测量 U_c 下的功耗或阻性电流；
- 局部放电试验；
- (0.01～1)倍标称放电电流下的残压试验；电流波形应在 $T_1/T_2=(4\sim10)/(10\sim25)\mu s$ 的范围内。

——对于有封闭气体空间和独立密封系统的避雷器，进行密封试验。

如果已经在型式试验中进行了阻性电流试验、局部放电试验和密封试验，不需要再重复进行该试验。

试品一端应固定安装在试验设备的刚性安装面上，负载应施加到避雷器的另一端(自由端)，负荷应通过避雷器的纵轴并且垂直于它。如果避雷器对于抗弯强度不是轴对称，制造商应提供非对称强度的信息，并且在应使避雷器最弱部分达到最大弯矩的角度方向施加负荷。

10.8.11.3 试验程序

试验应在三只试品上进行。对用于 $U_s>40.5$ kV 的避雷器，试验按三个步骤进行。对用于 $U_s \leqslant 40.5$ kV 的避雷器按二个步骤进行。

a) 对用于 $U_s>40.5$ kV 的避雷器

步骤 1：

所有三只试品应施加负荷进行 1 000 次循环耐受，每次循环在一个方向上的负荷从零增加到规定的 SLL，然后减小到零负荷，再在反方向施加负荷至规定的 SLL，然后减小到零负荷。循环运动在形式上大约为正弦，频率从 0.01 Hz 到 0.5 Hz。

由于对试验设备的调整，要获得 SLL 可能需要多进行一些循环。制造商应规定这些循环的最大次数。这些循环不应包含在规定的 1 000 次循环中。

应记录试验中的最大偏移量和残余偏移量。残余偏移量应在卸掉负荷后 1 min 至 10 min 内进行测量。

步骤 2：

1) 对完成步骤 1 的两只试品施加弯曲负荷，弯曲负荷应在 30 s 至 90 s 内平稳地施加到规定的短期负荷(SSL)。当到达规定的负荷值时，应维持 60 s 至 90 s。这个期间应测量避雷器的偏移量。然后应平稳地卸掉负荷。

2) 对完成步骤 1 的第三只试品按 10.8.11.3.1 进行热机预处理试验。

步骤 3：

对三只试品按 10.8.11.3.2 进行浸水试验。

b) 对用于 $U_s \leqslant 40.5$ kV 的避雷器

步骤 1：

1) 对两只试品施加弯曲负荷，弯曲负荷应在 30 s 至 90 s 内平稳地施加到规定的短期间负荷(SSL)。当到达规定的负荷值时，应维持 60 s 至 90 s。这个期间应测量避雷器的偏移量。然后应平稳地卸掉负荷。

2） 对第三只试品按 10.8.11.3.1 进行热机预处理试验。

步骤 2：

对三只试品按 10.8.11.3.2 进行浸水试验。

10.8.11.3.1 机械/热预处理

该预处理是 10.8.11.3 试验程序的组成部分，应在 10.8.11.3 规定的试品中的 1 只上进行。

10.8.11.3.1.1 端子扭矩预处理

对试品施加制造商规定的避雷器端子扭矩，持续 30 s。

10.8.11.3.1.2 热机预处理

试品在四个方向承受规定的长期负荷(SLL)及温度变化循环(如图 11 及图 12 所示)。

在特殊应用中，如果避雷器主要承受其他负荷，应由相关负荷来替代。整个试验时间和温度循环应保持不变。

如图 11 所示，温度变化循环包括两个 48 h 的冷热循环。试验在空气中进行，试验时应测量试验箱中避雷器周围的空气温度，冷热阶段的温度应分别至少保持 16 h。

施加的静态弯曲负荷应等于制造商所规定的 SLL。如图 12 所示，从热到冷或者从冷到热的温度转变过程中，施加的负荷方向每 24 h 变化一次。

试验可能会因设备维护而中断，但中断时间不超过 4 h，中断结束后应立即恢复试验，循环可认为有效。

应记录测量的相对于初始无负荷情况下的残余偏移。应在卸掉负荷后 1 min 至 10 min 内进行残余偏移量测量。

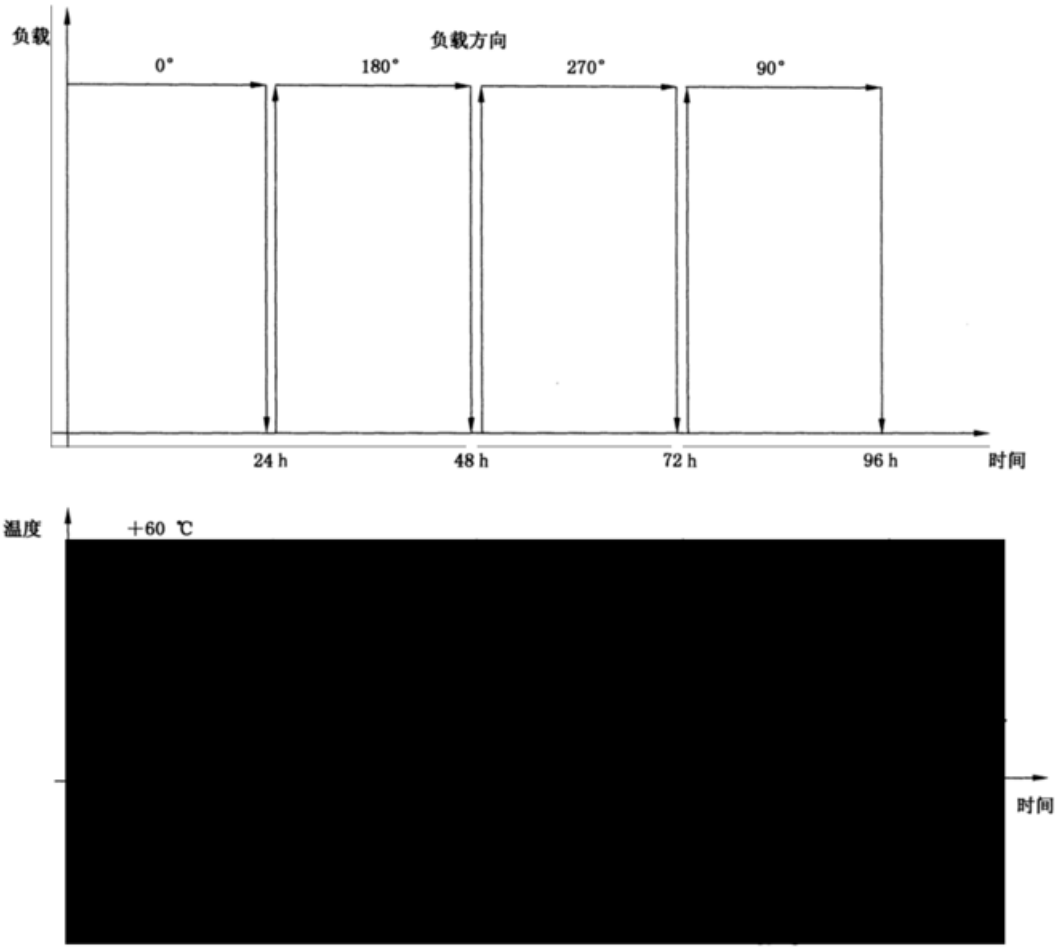


图 11　热机试验

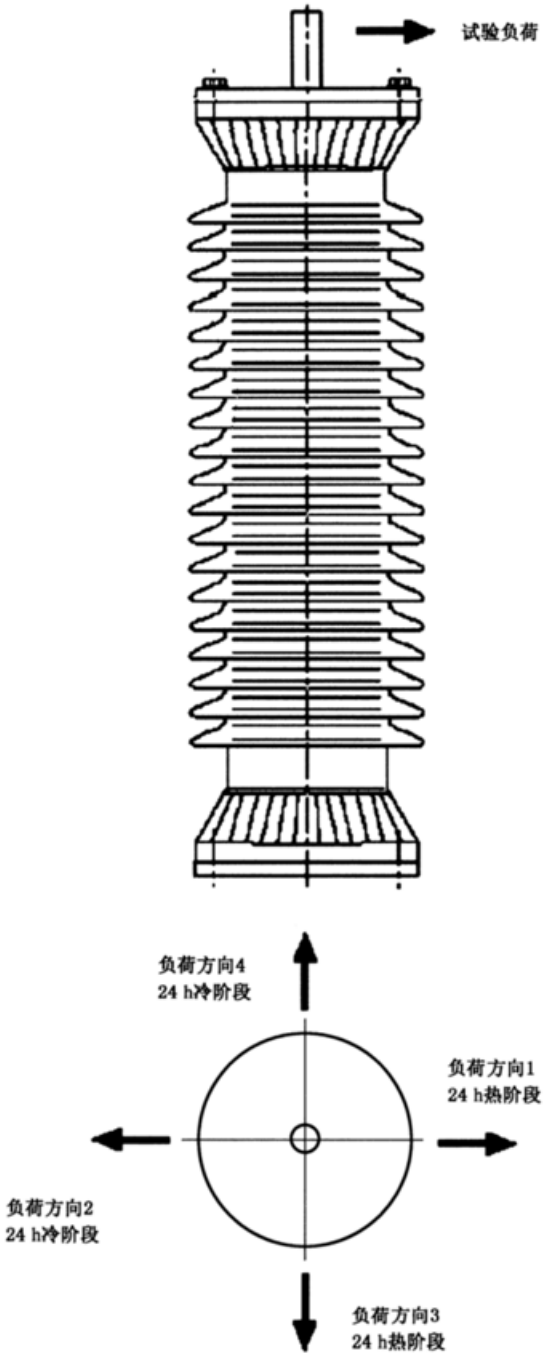


图 12　热机试验和弯曲负荷方向的安排

10.8.11.3.1.3　热预处理

该试验仅适用于无宣称弯曲负荷的避雷器。

试品要耐受如图 11 所示的温度变化循环，但不施加任何负荷。

如图 11 所示，温度变化循环包括两个 48 h 的冷热循环。试验在空气中进行，冷热阶段的温度分别

至少保持 16 h。

10.8.11.3.2 浸水试验

将避雷器浸没到盛满沸腾去离子水的容器中 42 h，水中 NaCl 的含量为 1 kg/m³。

注 1：上述水的特性为试验开始时的测量值。

注 2：如果制造商宣称其密封材料无法耐受沸水 42 h，经供需双方同意，水温（沸水）也可降到 80 ℃（最少持续 52 h）。经供需双方同意后，52 h 这个值也可扩大到 168 h（一周）。

在沸腾水煮结束后，避雷器应保持在容器中直到水冷却到约 50 ℃，并保持这个温度，直到可以进行验证试验。将避雷器从水中取出并在不大于 3 倍试品的热时间常数（从 10.8.6 得到的冷却曲线中导出）的时间内冷却到环境温度。如图 13 所示，在浸水试验结束后，仅当须要延迟验证试验时，才有必要让水温保持在 50 ℃。试验评价应在 10.8.11.4 规定的时间内进行，从水中取出避雷器后可用自来水清洗。

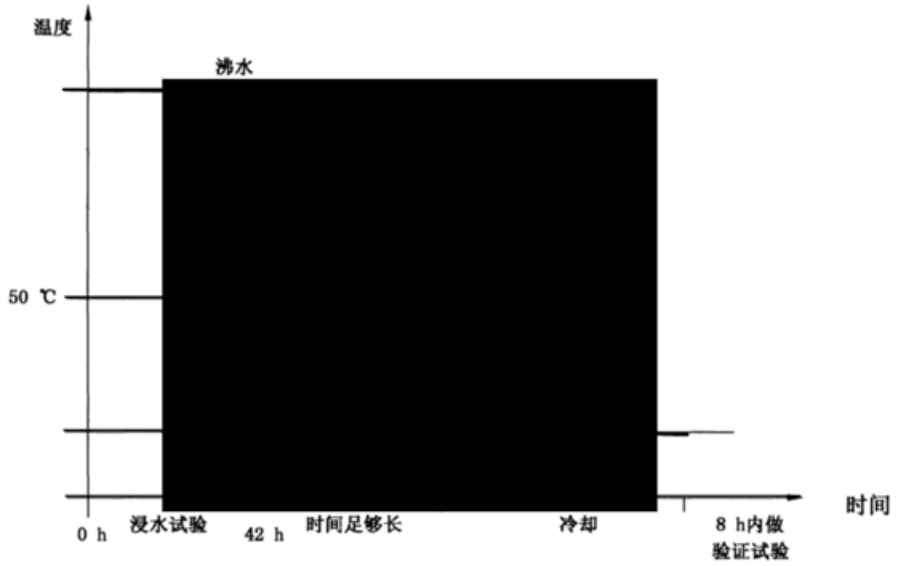


图 13 浸水试验

10.8.11.4 试验评价

对每只试品重复进行 10.8.11.2 规定的试验。

如果达到以下要求，则试验通过：

a) 对用于 U_s>40.5 kV 的避雷器

步骤 2 后：

无可见的损坏；

除了不大于 5%SSL 值的波动，一直到 SSL 值的力和偏移曲线斜率应保持正值。数字测量设备的采样率应至少为 10 s⁻¹。测量设备的截止频率应不小于 5 Hz。

在步骤 1 和步骤 2 期间的最大偏移量和任何永久残余偏移，试验后都应记录在报告中。

步骤 3 后：

根据图 13，冷却后应在 8 h 之内：

——在 U_c 下测量功率损耗或阻性电流，相对于初始测量值的增加值应不大于 20 mW/kV（在 U_c

下测量)或者变化不大于 20%。试验时应在与初始测量时的环境温度差不得超过 3 K 的环境温度下进行;

——在 1.05 倍 U_c 下测量局部放电量不超过 10 pC。

可在上述的功率损耗测量(或阻性电流)和局部放电试验后的任何时间进行下列试验:

——对于有封闭气体空间和独立密封系统的避雷器,进行密封试验。

——在与初始测量时相同的电流幅值和波形下,测量整只试品残压,残压变化不大于 5%;

——连续两次标称放电电流冲击下的残压变化不大于 2%,并且在试品的电压和电流示波图上不应出现任何部分或者全部下降的现象,冲击电流的波形应在 $\frac{T_1}{T_2}$=(4～10)/(10～25)μs 的范围内,两次电流冲击的间隔时间为 50 s 至 60 s。

——在两次残压试验前和试验后测量的工频参考电压变化不大于 2%。

注 1:如果特别长的避雷器可以拆开取出电阻片,该部分验证试验可在单独在电阻片或者电阻片柱上进行。如果不可以拆开取出电阻片,可在避雷器的绝缘外套上钻孔,用导线与串联在电阻片柱中的金属垫片连接,这样可以在短的避雷器单元上进行试验。

b) U_s≤40.5 kV 的避雷器

步骤 1 后:

无可见的机械损伤。

除了不大于 5%SSL 值的波动,一直到 SSL 值的力和偏移曲线斜率应保持正值。数字测量设备的采样率应至少为 10 s^{-1}。测量设备的截止频率应不小于 5 Hz。

在步骤 1 期间的最大偏移量和任何永久残余偏移,试验后都应记录在报告中。

步骤 2 后:

根据图 13,冷却后应在 8 h 之内:

——在 U_c 下测量功率损耗或阻性电流,相对于初始测量值的增加值应不大于 20 mW/kV(在 U_c 下测量)或者变化不大于 20%。试验时应在与初始测量时的环境温度相差不得超过 3K 的环境温度下进行;

——在 1.05 倍 U_c 下测量局部放电量不大于 10 pC。

可在上述的功率损耗测量(或阻性电流)和局部放电试验后的任何时间进行下列试验:

——对于有封闭气体空间和独立密封系统的避雷器,进行密封试验。

——在与初始测量时相同的电流幅值和波形下,测量整只样品残压,其值与初始测量相比变化不大于 5%。

——在连续两次标称放电电流冲击下的残压变化不超过 2%,并且试品的电压和电流示波图不应出现任何部分或者全部下降的现象,冲击电流的波形应在 $\frac{T_1}{T_2}$=(4～10)/(10～25)μs 的范围内,两次冲击电流间隔时间为 50 s 至 60 s。

——在两次残压试验前和试验后测量的工频参考电压变化不大于 2%。

注 2:如果特别长的避雷器可以拆开取出电阻片,该部分验证试验可在单独在电阻片或者电阻片柱上进行。如果不可以拆开取出电阻片,可在避雷器的绝缘外套上钻孔,用导线与串联在电阻片柱中的金属垫片连接,这样可以在短的避雷器单元上进行试验。

10.8.11.5 绝缘底座和安装托架试验

见 8.11.6。

10.8.12 环境试验

8.12 不适用。

10.8.13 密封试验

除下列要求外，8.13 的其余内容适用。

10.8.13.1 总则

本条替代 8.13.1。

该试验适用于内部有封闭的气体空间和独立密封系统的避雷器。该试验用来验证避雷器整个系统的气密性/水密性。它适用于为保持外套内部的气氛而带有密封和相关必要部件的复合外套的避雷器（避雷器具有封闭气体空间和独立密封系统）。

试验在 1 只避雷器或元件上进行，内部元件可省略。如果避雷器包括有不同密封系统的元件，则该试验应在每个代表不同密封系统的元件上进行。

试验时，可采用氦质谱检漏仪检漏法、抽气浸泡法、热水浸泡法等任何灵敏方法对避雷器进行密封试验。

注 1：例行试验时，对于无封闭气体空间的复合外套避雷器也可以采用上述方法进行试验；

注 2：验收试验时，经供需双方协商，复合外套避雷器的密封试验也可按 10.8.11.3.2 的规定进行，试验评价参照 8.13.4 b)。

10.8.14 无线电干扰电压试验

见 8.14。

10.8.15 内部零部件绝缘耐受试验

见 8.15。

10.8.16 内部均压部件试验

见 8.16。

10.8.17 持续电流试验

见 8.17。

10.8.18 工频参考电压试验

见 8.18。

10.8.19 直流参考电压试验

见 8.19。

10.8.20 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验

见 8.20。

10.8.21 局部放电试验

见 8.21。

10.8.22 电流分布试验

见 8.22。

10.8.23 统一爬电比距检查

见 8.23。

10.8.24 气候老化试验

10.8.24.1 总则

试验包含两个部分。一部分是验证避雷器暴露在盐雾下对其性能的影响；另一部分是验证外套材料暴露在紫外光下对其性能的影响。

10.8.24.2 盐雾试验

10.8.24.2.1 试品

该试验应在由制造商推荐的具有最小统一爬电比距和最高额定电压的最长电气元件上进行。

如果避雷器的 U_c 大于 14 kV，试验可在与制造商推荐的具有最小爬电比距和最高额定电压的避雷器的比例单元上进行，但比例单元的 U_c 不应低于 14 kV。

10.8.24.2.2 试验程序

试验是在盐雾条件和持续运行电压 U_c 下持续一定时间的连续试验。试验在具有防潮、防腐的雾室内进行。雾室的通气孔不应大于 80 cm^2，用来自然排出废气。涡轮喷雾器或具有恒定喷雾量的增湿器可作为水的雾化设备。

雾应充满整个雾室，但不能直接喷到试品上。喷雾器使用 NaCl 和去离子水制备的盐水。工频试验电压由试验变压器产生。当高压端负载有 250 mA(有效值)阻性电流持续时间 1 s 时，试验回路的最大电压降应不大于 5%。

保护水平应设定为 1 A(有效值)。试验开始前要用去离子水清洗试品。

试品要在垂直安装的情况下进行试验。为了避免电场畸变，雾室的墙和天花板与试品之间应有足够的距离。这些数据可以在制造商的安装说明书上获得。

试验持续时间：1 000 h；

水流速： 0.4 L/(h · m^3)±0.1 L/(h · m^3)；

水滴尺寸： 5 μm～10 μm；

温度： 20 ℃±5 K；

水中 NaCl 含量：1 kg/m^3～10 kg/m^3。

制造商应规定水中盐含量的初始值。水的流速以试验室中每立方米每小时流过多少升来定义。不允许盐水再循环。由闪络引起的中断是允许的。如果发生一次以上的闪络，试验应中断。然而，在开始用自来水冲洗避雷器之前应继续施加盐雾。盐雾中断时间不得超过 15 min。然后，以较低盐含量的水重新恢复试验。如果再次发生一次以上的闪络，则重复该程序。中断时间不应计入试验持续时间之内。

应记录水中的 NaCl 含量、闪络次数以及中断持续时间。应注明过电流跳闸次数，并在计算试验持

续时间上考虑到这一点。

注：在盐度范围内，较低盐含量可能会增加试验严格度。较高的盐含量增加闪络的概率，这使得试验很难在较大直径的外套上进行。

10.8.24.2.3 试验评价

如果满足下列条件，则试验通过：

——没有漏电痕迹（见 GB/T 22079）；

——腐蚀没有穿透整个外层厚度直到下一层材料；

——伞裙和外套没有击穿；

——在相同环境温度（±3 K 内）下，试验前后测量的工频参考电压降低不超过 5%；

——试验前后所测局部放电结果合格，即按照 8.21 测量的局部放电水平不超过 10 pC。

10.8.24.3 紫外光试验

10.8.24.3.1 试验程序

该试验应从避雷器试品的伞和外套材料取选取三只样片（如果适用，应包含标识）。如果外套上有标识，应直接暴露在紫外光下。绝缘外套材料应按照下列方法经受 1 000 h 紫外光照射。

——氙弧法：根据 GB/T 16422.1—2006 和 GB/T 16422.2—2014 中的方法 A 进行试验，该方法没有暗周期，标准喷射循环，黑标准温度或者黑板温度为 65 ℃，辐照度约为 550 W/m^2。

——荧光紫外法：根据 GB/T 16422.1—2006 和 GB/T 16422.3—2014，采用Ⅰ型荧光紫外灯按暴露方式 1 或者 2 进行试验。

10.8.24.3.2 试验评价

试验后，在伞和外套材料上的标识应清晰；表面是不允许有劣化现象（例如裂缝和凸起）。如果劣化有怀疑，应测量三只试片的两个表面的粗糙度。GB/T 3505 定义的粗糙度 R_Z 应沿着至少 2.5 mm 的取样长度进行测量。R_Z 不应超过 0.1 mm。

注：GB/T 6062 给出了表面粗糙度测试仪的说明。

10.8.25 拉伸负荷试验

10.8.25.1 总则

本试验适用于承受拉伸负荷（如悬挂安装）的复合外套（树脂浇铸除外）避雷器（有或者无密封气体空间）。试验可在没有安装绝缘底座或者安装托架的避雷器上进行。

例行试验时，拉伸负荷应在 30 s 至 90 s 内平稳地施加到规定的 50%的额定拉伸负荷，当到达规定的负荷值时，应维持 10 s，然后应平稳地卸掉负荷。试验后考核项目为密封性能、局部放电量、直流参考电压及 0.75 倍直流参考电压下漏电流，应符合本标准的规定值。

本试验的目的是为了验证制造商宣称的避雷器耐受拉伸负荷的能力。通常，避雷器的设计不是用于承受扭转负荷。如果避雷器要承受扭转负荷，经供需双方协商。

试验在避雷器或最高额定电压的避雷器元件上进行。如果最长的避雷器元件的长度大于800 mm，对于进行热机预处理试验的试品，可以用短一些的机械元件进行试验，如果需满足下列要求：

长度至少为：

——800 mm；

——三倍底部法兰处的外套外径（伞裙除外）。

该元件是设计中使用的元件之一，不是为试验专门制造的；

具有设计元件中的最高额定电压。

对三只试品，依次进行下列二个步骤的试验：

——对两只试品进行拉伸负荷试验，试验负荷等于规定的额定拉伸负荷，负荷方向应为避雷器的纵轴方向。对第三只试品，按照 10.8.25.3.1 进行热机预处理试验；

——对三只试品按照 10.8.25.3.2 进行浸水试验。

规定负荷的偏差应为$^{+5\%}_{0}$。

10.8.25.2 试品准备

试品应包含内部部件。

试验前，对每只试品进行下列试验：

——按下列顺序进行电气试验：

在环境温度为 20 ℃±15 K 下，测量 U_c 下的功耗或阻性电流；

局部放电试验；

(0.01～1)倍标称放电电流下的残压试验；电流波形应在 $T_1/T_2=(4\sim10)/(10\sim25)\mu s$ 的范围内；

——对于有封闭气体空间和独立密封系统的避雷器，进行密封试验。

如果已经在型式试验中进行了阻性电流试验、局部放电试验和密封试验，不需要再重复进行该试验。

10.8.25.3 试验程序

试验应在三只试品上进行。

步骤 1：

1) 两只试品进行拉伸负荷试验，拉伸负荷应在 30 s 至 90 s 内平稳地施加到规定的试验负荷值。当到达规定的负荷值时，应维持 60 s 至 90 s。这个期间应测量避雷器的位移。然后应平稳地卸掉负荷。

2) 第三只试品根据 10.8.25.3.1 进行热机预处理试验。

步骤 2：

对三只试品根据 10.8.25.3.2 进行浸水试验。

10.8.25.3.1 热机预处理

应在 10.8.25.3 中的一只试品上进行试验。

试品要承受规定的 50%额定拉伸负荷及温度变化循环(如图 11 所示)。

如图 11 所示，温度变化循环包括两个 48 h 的冷热循环。试验应在空气中进行，试验时应测量试验箱中避雷器周围的空气温度。冷热阶段的温度分别至少保持 16 h。

施加的拉伸负荷应等于制造商所规定的 50%额定拉伸负荷。

试验可能会因设备维护而中断，但中断时间不超过 4 h，中断结束后应立即恢复试验，循环可认为有效。

应记录测量的相对于初始无负荷情况下的残余位移。残余位移量应在卸掉负荷后 1 min 至 10 min 内进行测量。

10.8.25.3.2 浸水试验

将避雷器浸没到盛满沸腾的去离子水的容器中 42 h，水中 NaCl 的含量为 1 kg/m^3。

注 1：上述水的特性为试验开始时的测量值。

注 2：如果供方宣称其密封材料无法耐受沸水 42 h，经供需双方同意，水温（沸水）也可降到 80 ℃（最少持续 52 h）。经供需双方同意后，52 h 这个值也可扩大到 168 h（一周）。

在沸腾水煮结束后，避雷器应保持在容器中直到水冷却到约 50 ℃，并保持这个温度，直到可以进行验证试验。将避雷器从水中取出并在不大于 3 倍试品的热时间常数（从 10.8.6 得到的冷却曲线中导出）的时间内冷却到环境温度。如图 13 所示，在浸水试验结束后，仅当须要延迟验证试验时，才有必要让水温保持在 50 ℃。试验评价应在 10.8.25.4 规定的时间内进行，从水中取出避雷器后可用自来水清洗。

10.8.25.4 试验评价

对每只试品重复进行 10.8.25.2 规定的试验。

如果达到以下要求，则试验通过：

步骤 1 后：

无可见的损伤；

除不超过 5%额定拉伸负荷值的波动，一直到额定拉伸负荷值的力和位移曲线斜率应保持正值。数字测量设备的采样率应至少为 10 s^{-1}。测量设备的截止频率应不小于 5 Hz。

步骤 1 期间的最大位移量和任何永久残余位移，试验后都应记录在报告中。

步骤 2 后：

根据图 13，冷却后应在 8 h 之内：

——在 U_c 下测量功率损耗或阻性电流，相对于初始测量值的增加值应不大于 20 mW/kV（在 U_c 下测量）或者变化不大于 20%。试验时应在与初始测量时的环境温度差不得超过 3 K 的环境温度下进行；

——在 1.05 倍 U_c 下测量局部放电量不超过 10 pC。

可在上述的功率损耗测量（或阻性电流）和局部放电试验后的任何时间进行下列试验：

——对于有封闭气体空间和独立密封系统的避雷器，进行密封试验。

——在与初始测量时相同的电流幅值和波形下，测量整只试品残压，残压变化不大于 5%；

——连续两次标称放电电流冲击下的残压变化不大于 2%，并且在试品的电压和电流示波图上不应出现任何部分或者全部下降的现象，冲击电流的波形应在 $\frac{T_1}{T_2}=(4\sim10)/(10\sim25)\mu s$ 的范围内，两次电流冲击间的间隔时间为 50 s 至 60 s。

——在两次残压试验前和试验后测量的工频参考电压变化不大于 2%。

注：如果特别长的避雷器可以拆开取出电阻片，该部分验证试验可在单独在电阻片或者电阻片柱上进行。如果不可以拆开取出电阻片，可在避雷器的绝缘外套上钻孔，用导线与串联在电阻片柱中的金属垫片连接，这样可以在短的避雷器单元上进行试验。

10.8.25.5 绝缘底座

如果避雷器装有绝缘底座，应对绝缘底座进行拉伸负荷试验。试验在 3 个试品上进行。对每个试品，拉伸负荷应在 30 s 至 90 s 内平稳地施加到规定的试验负荷值（为避雷器的额定拉伸负荷值）。当到达规定的负荷值时，应维持 60 s 至 90 s。这个期间应测量试品的伸长量。然后应平稳地卸掉负荷。试验期间的最大位移量和任何永久残余位移，试验后都应记录在报告中。

如果试品没有明显的机械损伤，则试验通过。

注：如果在 10.25.3 中的试品带有绝缘底座，可不对绝缘底座进行 10.8.25.5 规定的试验。

10.8.26 复合外套外观检查

检查复合绝缘外套表面的缺陷(如缺胶、杂质、凸起等),缺陷面积应符合 10.6.25 规定。

10.9 例行试验、验收试验、定期试验和抽样试验

10.9.1 例行试验

出厂的每只复合避雷器应按表 14 的规定进行试验。如果复合避雷器不满足表 14 中所规定的任何一项要求时,则此复合避雷器认为不合格。

表 14 例行试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	复合外套外观检查	10.8.26	避雷器或元件
2	拉伸负荷试验	10.8.25	避雷器或元件
3	密封试验	10.8.13	避雷器或元件
4	局部放电试验	8.21	避雷器或元件
5	持续电流试验	8.17	避雷器或元件
6	工频参考电压试验	8.18	避雷器或元件
7	直流参考电压试验	8.19	避雷器或元件
8	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	8.20	避雷器或元件
9	标称放电电流残压试验	8.3.3	元件或全部电阻片
10	电流分布试验	8.22	每组并联的电阻片柱

注 1:额定电压 42 kV 以下避雷器,序号 4、5、6 项试验可不做。
注 2:拉伸负荷试验需在密封试验之前进行。

10.9.2 验收试验

见 9.2。

10.9.3 定期试验

为了控制产品质量,对于生产的产品应 5 年做 1 次定期试验,长期停产后恢复生产时应做定期试验。定期试验是从正常生产的产品中抽取,按表 15 规定进行试验。

表 15 定期试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	残压试验	8.3	3 只避雷器或比例单元
2	长期稳定性试验	8.4	3 只比例单元
3	重复转移电荷试验	8.5	按要求

表 15（续）

序号	试验项目	试验方法	试品
4	动作负载试验	8.7	3 只比例单元
5	工频电压耐受时间特性试验	8.8	按要求
6	弯曲负荷试验	10.8.11	3 只避雷器或元件
7	拉伸负荷试验	10.8.25	3 只避雷器或元件

10.9.4 抽样试验

见 9.4。

11 气体绝缘金属封闭避雷器(GIS 避雷器)

11.1 范围

见第 1 章。

11.2 规范性引用文件

见第 2 章。

11.3 术语和定义

除下列要求外，第 3 章其余内容适用。

11.3.4 GIS 避雷器外套

本条替代 3.4。

GIS 避雷器的外部金属外壳，其与地连接，保护内部零部件免受环境影响。

11.3.90 绝缘气体的额定密度 D_{re}(或额定压力 P_{rs})

由制造厂规定的，在投运前或补气后充入 GIS 避雷器内的绝缘气体的密度 D_{re}(或压力 P_{rs})，并折算到标准大气条件(+20 ℃，101.3 kPa)下。可以用相对压力或绝对压力表示。GIS 避雷器应在绝缘气体的额定密度下运行。

11.3.91 绝缘气体的最小运行密度 D_{me}(或最低运行压力 P_{me})

由制造厂规定，折算到标准大气条件(+20 ℃，101.3 kPa)下的绝缘气体的最小运行密度 D_{me}(或最低运行压力 p_{me})。可以用相对压力或绝对压力表示。绝缘气体低于此密度，GIS 避雷器的额定值将不能保证。因此需要及时补气。

11.3.92 绝对漏气率 F

单位时间内气体的漏失量，以 Pa·m^3/s 表示。

11.3.93 允许漏气率 F_p

制造厂规定的最大允许绝对漏气率。

11.3.94 相对漏气率 F_{rel}

在额定充气压力的系统中，相对于气体总量的绝对漏气率。以每年或每天的百分率表示。

11.4 标识和分类

除下列要求外，第 4 章的其余要求适用。

11.4.1

本条替代 4.1。

避雷器的铭牌上应至少包含以下信息：

——型号；

——持续运行电压；

——直流参考电压；

——额定频率，如果与标准频率(见 5.2)不同；

——额定短路电流(kA)，对于没有宣称短路额定值的避雷器，应以“0”值表示；

——制造商名称或商标；

——制造年、月；

——编号；

——20 ℃时绝缘气体的额定密度(或额定压力)。

如果铭牌有空间，还应包含：

——避雷器的等级(见表 1 的等级栏)；

——额定重复转移电荷 Q_{rs}；

11.5 标准额定值和运行条件

见第 5 章。

11.6 技术要求

除下列要求外，第 6 章的其余要求适用。

11.6.1 耐受电压

本条替代 6.1。

a) 对于单相 GIS 避雷器，按 11.8.2 进行试验，GIS 避雷器金属外壳和内部部件之间的绝缘应能耐受下列电压：

——为被保护设备的雷电冲击耐受电压，或者 1.3 倍避雷器雷电冲击保护水平，取两者的低值。

注 1：对瓷外套避雷器，因数 1.3 包括比标称放电电流更高的放电电流及大气条件的变化。对 GIS 避雷器，虽然与大气条件不相关，但仍保留因数 1.3 以提供更高的安全性。

——对用于 U_s>252 kV 系统中的 10 kA 和 20 kA 避雷器，为被保护设备的操作冲击耐受电压，或者 1.25 倍避雷器操作冲击保护水平，取两者的低值；

注 2：对瓷外套避雷，因数 1.25 包括比规定放电电流更高的放电电流级大气条件的变化。对于 GIS 避雷器，虽然与大气条件不相关，但仍保留因数 1.25 以提供更高的安全性。

——对用于 10 kA 和 20 kA 避雷器，为被保护设备的工频耐受电压，或者工频电压峰值等于 1.2 倍避雷器操作冲击保护水平，持续时间 1 min，取两者的低值。

——对 1.5 kA、2.5 kA 和 5 kA 避雷器，为被保护设备的工频耐受电压，或者工频电压峰值等于避雷器雷电冲击保护水平、持续 1 min，取两者的低值。

b) 对于三相避雷器，三相 GIS 避雷器绝缘耐受电压见表 16 和表 17。

表 16　10 kA 及 20 kA 三相 GIS 避雷器要求的耐受电压

电压(kV)	耐受电压类型	试验	注释
$U_s \leqslant 252$	雷电冲击耐受电压	相对地及相间： 被保护设备的耐受电压(见 GB/T 311.1) 或 相对地：1.3×雷电冲击保护水平 相间：1.3×雷电冲击保护水平+$U_c \times \sqrt{2}$	取低值
	工频耐受电压	相对地及相间： 被保护设备的耐受电压(见 GB/T 311.1) 或 相对地：U_{oc}=1.2×操作冲击保护水平 相间：U_{oc}=1.2×操作冲击保护水平+$U_c \times \sqrt{2}$	取低值
$U_s > 252$	雷电冲击耐受电压	相对地及相间： 被保护设备的耐受电压(见 GB/T 311.1) 或 相对地：1.3×雷电冲击保护水平 相间：1.3×雷电冲击保护水平+$U_c \times \sqrt{2}$	取低值
	操作冲击耐受电压	相对地及相间： 被保护设备的耐受电压(见 GB/T 311.1) 或 相对地：1.25×操作冲击保护水平 相间：2.5×操作冲击保护水平	取低值
	工频耐受电压	相对地及相间： 被保护设备的耐受电压(见 GB/T 311.1) 或 相对地：U_{ac}=1.2×操作冲击保护水平 相间：U_{ac}=1.2×操作冲击保护水平+$U_c \times \sqrt{2}$	取低值

表 17　1.5 kA、2.5 kA 及 5 kA 三相 GIS 避雷器要求的耐受电压

耐受电压的类型	试验	注释
雷电冲击耐受电压	相对地及相间： 被保护设备的耐受电压(见 GB/T 311.1) 或　相对地：1.3×雷电冲击保护水平 相间：1.3×雷电冲击保护水平+$U_c \times \sqrt{2}$	取低值
工频耐受电压	相对地及相间： 被保护设备的耐受电压(见 GB/T 311.1) 或　相对地：U_{ac}=雷电冲击保护水平 相间：U_{ac}=雷电冲击保护水平+$U_c \times \sqrt{2}$	取低值

11.6.4　内部局部放电

本条替代 6.4。

GIS 避雷器在 1.1 倍持续运行电压下的内部局部放电量应不大于 10 pC。

11.6.5 密封性能

本条替代 6.5。

GIS 避雷器应有可靠的密封。在 GIS 避雷器寿命期间，不应因密封不良而影响 GIS 避雷器的运行性能。GIS 避雷器的相对年漏气率不大于 0.5%/年。

11.6.13 短路性能

本条替代 6.13。

GIS 避雷器金属外壳的设计应符合 GB/T 7674—2020 的 5.103 和 GB/T 3906—2020 的 5.102 的要求。如果满足上述要求，并且 GIS 避雷器的外壳安装有与连接的开关设备相同的压力释放装置，不用进行 8.10 规定的短路试验。

如果 GIS 避雷器具有独立气室，所装的压力释放装置有别于开关金属壳体上的压力释放装置，则 8.10 适用，在这种情况下，仅需要进行额定短路电流试验。

11.6.14 脱离器

6.14 不适用。

11.6.27 外壳要求

GIS 避雷器的金属壳体应设置牢固的接地装置，金属壳体应能承受运行中出现的正常和瞬时的压力。

11.6.27.1 壳体设计

金属壳体的设计应符合 GB/T 7674—2020 的 5.103 和 GB/T 3906—2020 的要求。不论焊接或铸造的外壳，其厚度和结构的设计计算，应按压力容器要求进行，并应考虑振动、温度变化、短路电流的作用和气候条件的影响。

11.6.27.2 壳体强度试验

试验要求如下：

a) 破坏压力试验

应符合 GB/T 7674—2020 的 6.103 的要求。

b) 非破坏性压力试验

应符合 GB/T 7674—2020 的 6.103 的要求。

11.6.27.3 壳体检验

对焊接壳体的焊缝，除无法探伤部位外，应按规定进行无损探伤检查。

11.6.27.4 防爆膜要求

当壳体加装防爆膜压力释放装置时，其动作压力和壳体的额定压力的关系要适当配合以防止防爆膜误动作。

11.6.27.5 认证书

壳体制造厂需提供壳体材料的材质检验报告。

11.6.28 绝缘气体的额定密度(额定压力)和最低功能密度(最低功能压力)

GIS 避雷器的额定密度(额定压力)由制造厂宣称。

GIS 避雷器的最低功能密度(最低功能压力)由制造厂宣称。低于此密度(压力)值,GIS 避雷器的额定特性不能保证。

绝缘气体的额定密度(压力)和最低功能密度(压力)可用(定体积下>20 ℃时相应的气体密度(压力)来表示。

11.6.29 绝缘气体的要求

制造厂应规定 GIS 避雷器所用气体的类型、数量、质量和密度。且应给用户提供更换气体和保持其要求的数量和质量所需要的指导性文件。

对充 SF_6 气体的 GIS 避雷器,新的 SF_6 气体应满足 GB/T 12022 的规定。GIS 避雷器中的 SF_6 气体的湿度应满足 GB/T 8905 的规定,GIS 避雷器中 SF_6 气体湿度的交接验收值不大于 250 μL/L,运行中 SF_6 气体的质量要求,由用户和制造商商定。

11.6.30 运输振动性能

GIS 避雷器的结构应牢固,满足运输的要求而不损坏。

11.7 试验要求

见第 7 章。

11.8 型式试验(设计试验)

11.8.1 总则

本条规定的型式试验适用于 GIS 避雷器,按表 18 的规定进行型式试验。

新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时,应对有关项目进行试验。

表 18 型式试验项目

序号	试验名称	试验方法	试品
1	绝缘耐受试验		1 只避雷器(除去内部电阻片)
	a)雷电冲击电压试验	11.8.2.2	
	b)操作冲击电压试验[a]	11.8.2.3	
	c)工频电压试验	11.8.2.4	
2	残压试验		3 只比例单元
	a)陡波冲击电流残压试验	8.3.2	
	b)雷电冲击残压试验	8.3.3	
	c)操作冲击残压试验	8.3.4	
3	长期稳定性试验	8.4	3 只比例单元
4	重复转移电荷试验	8.5	按要求
5	散热特性试验	11.8.6	1 只避雷器和 1 只比例单元
6	动作负载试验	8.7	3 只比例单元
7	工频电压耐受时间特性试验	8.8	按要求
8	短路试验	11.8.10	1 只避雷器
9	密封试验	11.8.13	1 只避雷器
10	内部部件绝缘耐受试验	8.15	1 只比例单元

表 18（续）

序号	试验名称	试验方法	试品
11	内部均压部件试验	8.16	按要求
12	持续电流试验	8.17	1 只避雷器
13	工频参考电压试验	8.18	
14	直流参考电压试验[b]	11.8.19	
15	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验[a]	11.8.20	
16	局部放电试验	11.8.21	
17	电流分布试验	8.22	
18	绝缘气体湿度试验	11.8.28	
19	运输试验	11.8.29	
20	壳体强度试验	11.8.27	1 只壳体

注：序号 9、12、13、16、18、19 项试验为同一试品。

[a] 对用于 $U_r \leqslant 252$ kV 的避雷器不要求。

[b] 在装配前的全部电阻片上进行。

在不同的条款中规定了试品的数量和试验条件。基于相同的组件和相似的结构导致相同的性能特性，包括热耗散条件和内部气氛，只在安装方式或支撑结构布置不同的避雷器可认为是同一设计。

11.8.2 绝缘耐受试验

本条替代 8.2。

11.8.2.1 总则

本试验的目的是用于验证 GIS 避雷器的内部元件和金属壳体之间以及三相 GIS 避雷器的相间在规定的电压应力下的绝缘耐受能力。

绝缘耐受试验也应确保所有内部元件至少等于运行的最高应力情况下进行试验。因此为了验证要求的耐受电压（见 11.8.2.5）可对部件进行单独试验。

对于单相 GIS 避雷器，在整只避雷器上进行试验，用绝缘部件代替电阻片。为了控制沿 GIS 避雷器轴线的电压分布，可以用均压元件替换绝缘部件。

对于三相 GIS 避雷器，试验时没有被施加电压的相应与地连接。与电源连接的相，用绝缘部件替换电阻片。为了控制沿 GIS 避雷器轴线的电压分布，可以用均压部件替换绝缘部件。

注 1：由于在 GIS 避雷器中，对地电容影响很大，用均压部件获得线性电压分布可能很难甚至是不可能。在电压分布不均匀或没有任何均压部件的情况下进行该试验代表了最苛刻工况，试验结果偏保守。

在试验中，绝缘气体应为规定的 GIS 避雷器最低功能密度。

注 2：在任何海拔高度下，内绝缘的绝缘特性与海拔高度无关。因而，对这种绝缘不需要进行海拔高度校正。

11.8.2.2 雷电冲击电压试验

按照 GB/T 16927.1，应对 GIS 避雷器进行标准雷电冲击电压试验。试验要求如下：

a） 对于单相 GIS 避雷器，试验电压应按照 11.6.1 的规定。在每种极性下连续施加 15 次等于试验电压值的冲击电压。如果没有发生破坏性放电，试验通过。在发生破坏性放电的情况下，应

遵守 GB/T 7674—2020 和 GB/T 3906—2020 中的试验判据。

b) 对于三相 GIS 避雷器，试验电压应按照 11.6.1 的规定。试验应从相对地绝缘试验开始。对一相施加试验电压时，其他相接地。

相对地绝缘试验后，应进行相间绝缘试验。可以只用冲击电压或冲击电压和工频电压来进行该试验。由制造商选择。

如果只用冲击电压进行试验，应使用与相对地试验时同样的试验接线。

如果使用冲击电压和工频电压进行试验，那么只有一相与地连接。对第二相施加冲击电压，同时对第三相施加工频电压，当对第二相施加冲击电压时，工频电压达到反极性的峰值。

除非考虑到电气的对称性，证明了没有必要，否则就应对三个带电部件的所有可能的组合重复进行相对地试验和相间试验。

在两种试验中，应在每种极性下连续施加 15 次等于试验电压值的冲击电压。如果没有发生破坏性放电，试验通过。在发生破坏性放电的情况下，应遵守 GB/T 7674—2020 和 GB/T 3906—2020 中的试验判据。

11.8.2.3 操作冲击电压试验

按照 GB/T 16927.1 的要求，应对 GIS 避雷器进行操作冲击电压试验。试验要求如下：

a) 对于单相 GIS 避雷器，试验电压应按照 11.6.1 的规定。

应在每种极性下连续施加 15 次等于试验电压值的冲击电压。如果没有发生破坏性放电，试验通过。在发生破坏性放电的情况下，应按 GB/T 7674—2020 和 GB/T 3906—2020 中的试验判据。

b) 对于三相 GIS 避雷器，试验电压应按照 11.6.1 的规定。

试验应从相对地绝缘试验开始。对一相施加试验电压时，其他相接地。

相对地绝缘试验后，不改变试验接线，通过增加试验电压到所需水平，可以进行相间绝缘试验。

如果发生闪络或者预期可能发生闪络，应采用下面两种试验方法之一进行试验。由制造商选择：

——GIS 避雷器的一相接地。对其他两相分别施加幅值相等和极性相反的操作冲击电压。两个冲击应同时达到其峰值。每个冲击电压的幅值应为要求的相间操作冲击耐受电压值的一半(按照 GB/T 311.1 进行相间试验)。

——GIS 避雷器的一相接地。对第二相施加与所需相对地要求值相等的操作冲击电压，对第三相施加工频电压，在反极性的工频电压峰值时，操作冲击达到峰值。在操作冲击达到峰值时，两个电压之间的差值应等于所需的相间操作冲击耐受电压(按照 GB/T 311.1 的纵向绝缘试验)。

除非考虑到电气的对称性，证明了没有必要，否则就应对三个带电部件的所有可能的组合重复进行相对地试验和相间试验。

在两种试验中，在每个极性下连续施加 15 次等于试验电压值的冲击电压。如果没有发生破坏性放电，试验通过。在发生破坏性放电的情况下，应遵守 GB/T 7674—2020 和 GB/T 3906—2020 中的试验判据。

11.8.2.4 工频电压试验

试验要求如下：

a) 对于单相 GIS 避雷器，试验电压应按照 11.6.1 的规定。

如果没有破坏性放电发生，试验通过。

b) 对于三相避雷器，试验电压应按照 11.6.1 的规定。

试验应从相对地绝缘试验开始。对一相施加试验电压时，其他相接地。

相对地绝缘试验后，应进行相间绝缘试验。如果只使用工频电压进行试验，采取同样的试验接线，施加的电压应增加到所要求的相间值。

如果没有破坏性放电发生，试验通过。

也可采用下面试验程序：

GIS 避雷器的一相接地，对第二相施加与 1.2 倍操作冲击保护水平相等的操作冲击电压，同时对第三相施加幅值等于 U_c 的工频电压，在对第二相施加冲击电压时，工频电压达到反极性的峰值。

除非考虑到电气的对称性，证明了没有必要，否则就应对三个带电部件的所有可能的组合重复进行相对地试验和相间试验。

在每个极性下连续施加 15 次等于试验电压值的冲击电压。如果没有发生破坏性放电，试验通过。在发生破坏性放电的情况下，应遵守 GB/T 7674—2020 和 GB/T 3906—2020 中的试验判据。

11.8.2.5 GIS 避雷器芯体绝缘结构耐受试验

对于芯体为电阻片电气上串联但通过使用绝缘材料在几何布置上为并联的 GIS 避雷器，应对绝缘材料的电压耐受能力、支撑结构的绝缘及电阻片柱之间的绝缘进行试验。

试验的方式应考虑到上述所有可能的电压应力。

在试验时，试品应放置在密度（压力）与 GIS 避雷器的最小密度（最小压力）一致的实际气体中。

11.8.3 残压试验

见 8.3。

11.8.4 长期稳定性试验

见 8.4。

11.8.5 重复转移电荷试验

见 8.5。

11.8.6 散热特性试验

见 8.6。

注：经过经供需双方协商，也可通过计算来获得 GIS 避雷器的冷却曲线。

11.8.7 动作负载试验

见 8.7。

11.8.8 工频电压耐受时间特性试验

见 8.8。

11.8.9 脱离器试验

8.9 不适用。

11.8.10 短路试验

增加：

如果 GIS 避雷器具有独立的气室，所装的压力释放装置不同于于开关金属壳体上的压力释放装

置，则 8.10 适用，在这种情况下，仅需要进行额定短路电流试验。如果 GIS 避雷器的外壳安装有与连接的开关设备相同的压力释放装置，则不进行短路试验。

11.8.11 弯曲负荷试验

8.11 不适用。

11.8.12 环境试验

8.12 不适用。

11.8.13 密封试验

本条替代 8.13。

GIS 避雷器应进行密封试验，以验证其满足 11.6.5 规定的允许相对年漏气率的要求。试验应按 GB/T 11023—2018 规定进行。

11.8.14 无线电干扰电压试验

8.14 不适用。

11.8.15 内部零部件绝缘耐受试验

见 8.15。

11.8.16 内部均压部件试验

见 8.16。

11.8.17 持续电流试验

见 8.17。

11.8.18 工频参考电压试验

见 8.18。

11.8.19 直流参考电压试验

本条替代 8.19。

在 GIS 避雷器未装配前，对 GIS 避雷器的全部电阻片施加直流电压，当通过电阻片的电流等于直流参考电流时，测出电阻片上的直流电压值。如直流参考电压与极性有关时，取低值。

直流电压纹波因数应不超过 1.5%。

试验环境温度为 20 ℃±15 K。

11.8.20 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验

本条替代 8.20。

在 GIS 避雷器未装配前，对 GIS 避雷器的全部电阻片施加 0.75 倍直流参考电压，测量通过电阻片的漏电流，如漏电流与极性有关，取高值。

直流电压纹波因数不应超过 1.5%。

试验环境温度为 20 ℃±15 K。

11.8.21 局部放电试验

本条替代 8.21。

试验在 1 台 GIS 避雷器上进行，并应按实际运行情况安装。

试验时，施加在试品上的工频电压应升至额定电压，保持 2 s～10 s，然后降到试品的 1.1 倍持续运行电压，在该电压下，按照 GB/T 7354 规定测量局部放电，测得的内部局部放电值不应超过 10 pC。

11.8.22 电流分布试验

见 8.22。

11.8.23 统一爬电比距检查

8.23 不适用。

11.8.24 气候老化试验

10.8.24 不适用。

11.8.25 拉伸负荷试验

10.8.25 不适用。

11.8.26 复合外套外观检查

10.8.26 不适用。

11.8.27 壳体强度试验

11.8.27.1 破坏压力试验

破坏压力试验采用水压法。压力升高速度不应大于 400 kPa/min，破坏压力试验值应不小于设定压力的 3.5 倍。试验后的外壳，即使完整无缺，也不得使用。

该项试验为型式试验。

11.8.27.2 非破坏性压力试验

依照 GB/T 7674—2020 进行。

该项试验为例行试验。

11.8.27.3 壳体焊缝的检查

全部焊缝应进行目视检查，不应有任何裂缝、气泡、针孔、焊瘤及缩孔，焊缝应光滑，不应有尖角毛刺。

全部直焊缝应进行 X 射线探伤检查。全部环焊缝应进行着色法检查。

11.8.28 绝缘气体湿度试验

绝缘气体湿度试验方法按 GB/T 8905 的规定。

11.8.29 运输试验

应将GIS避雷器正置固定于卡车上，运输300 km，急刹车10次，采用三轴冲撞冲击记录仪，记录不低于5 g 的冲击加速度值不少于10次。

运输试验后，对GIS避雷器进行局部放电试验，测量的局部放电量应符合本标准规定；局部放电试验后对GIS避雷器进行解体检查，壳体内电阻片、均压罩应无明显变形，螺钉无松动现象。

实际运输时，采用三轴冲撞冲击记录仪记录的冲击加速度值应不超过5 g。

注：如制造商宣称GIS避雷器可耐受的运输冲击加速度值大于5 g，则应在该冲击加速度值下进行试验验证。

11.9 例行试验、验收试验、定期试验和抽样试验

11.9.1 例行试验

出厂的每只GIS避雷器应按表20的规定进行试验。如果GIS避雷器不满足表19中所规定的任何一项要求时，则此GIS避雷器认为不合格。

表19 例行试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	持续电流试验	8.17	避雷器
2	标称放电电流残压试验	8.3.3	全部电阻片
3	工频参考电压试验	8.18	避雷器
4	直流参考电压试验	11.8.19	全部电阻片
5	0.75倍直流参考电压下漏电流试验	11.8.20	全部电阻片
6	密封试验	11.8.13	避雷器
7	局部放电试验	11.8.21	避雷器
8	电流分布试验	8.22	每组并联的电阻片柱
9	壳体强度试验	11.8.27	壳体
10	绝缘气体湿度试验	11.8.28	避雷器

11.9.2 验收试验

11.9.2.1 标准验收试验

当订货者在订货协议中规定有验收试验时，则应按不小于供货避雷器数量立方根的最小整数抽取试品进行试验，试验项目见表20。

表20 验收试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	外观检查		避雷器
2	持续电流试验	8.17	避雷器

表 20（续）

序号	试验项目	试验方法	试品
3	标称放电电流残压试验	8.3.3	电阻片
4	工频参考电压试验	8.18	避雷器
5	密封试验	11.8.13	避雷器
6	局部放电试验	11.8.21	避雷器
7	绝缘气体湿度试验	11.8.28	避雷器

11.9.2.2 特殊热稳定试验

见 9.2.2。

11.9.3 定期试验

见 9.3。

11.9.4 抽样试验

见 9.4。

11.10 现场安装后的试验

如果 GIS 避雷器是以不完整装配的方式发送到现场，应按制造商规定的方法检查是否正确安装。

如果用冲击或工频电压对带有避雷器的气体绝缘开关设备的绝缘进行试验，应将避雷器拆除或使之不起作用，以便能够进行试验。

12 分离及外壳不带电避雷器

12.1 范围

本条替代第 1 章。

本章适用于具有绝缘和(或)屏蔽外套的避雷器，该外套提供系统绝缘。该避雷器装在柜体内保护配电设备和回路。

12.2 规范性引用文件

见第 2 章。

12.3 术语和定义

除下列要求外，第 3 章的其余要求适用。

12.3.4 分离或外壳不带电避雷器外套

本条替代 3.4。

a） 对于分离避雷器：避雷器的外壳，由绝缘材料或屏蔽的导电材料制作，保护内部零部件免受环

境影响。

b) 对于外壳不带电避雷器：避雷器的外壳，由屏蔽的金属材料或者导电的复合材料制作与地相连且保护内部零部件免受环境影响。

12.4 标志及分类

见第 4 章。

12.5 标准额定值和运行条件

除下列要求外，第 5 章的其余内容适用。

12.5.4 正常运行条件

本条替代 5.4。

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) 对于外壳不带电避雷器邻近处的环境温度应在－40 ℃到＋65 ℃之间；

b) 对于避雷器本身温度和避雷器邻近处的外部热源共同导致外壳不带电避雷器的最高温度不超过＋85 ℃；

c) 海拔不超过 1 000 m；

d) 交流电源的频率不小于 48 Hz，不超过 62 Hz；

e) 长期施加在避雷器端子间的工频电压不应超过避雷器的持续运行电压；

f) 机械条件（正在考虑中）。

注：在任何海拔高度下，内绝缘的绝缘特性与海拔高度无关。因而，对屏蔽分离避雷器和外壳不带电避雷器的绝缘不需要进行海拔高度校正。

12.6 技术要求

除下列要求外，第 6 章的其余要求适用。

12.6.13 短路试验

本条替代 6.13。

避雷器不应在故障时发生不可接受的爆炸（见 12.8.10）。制造商应需要给每种避雷器宣称的一个额定短路电流值。对于预期的短路电流低于 1 kA 时，可以声称额定值为“0”。这种情况下，“0”需要显示在铭牌上。

分离及外壳不带电避雷器应能够耐受电阻片故障而不会从外壳喷射出避雷器的零部件，为此目的而特殊设计的部位除外。

12.7 试验要求

见第 7 章。

12.8 型式试验（设计试验）

12.8.1 总则

本条规定的型式试验适用分离和外壳不带电避雷器，按表 21 的规定进行型式试验。

新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时，应对有关项目进行

试验。

表 21 型式试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	绝缘耐受试验		按要求
	a)雷电冲击电压试验	12.8.2	
	b)操作冲击电压试验[a]	12.8.2	
	c)工频电压试验	12.8.2	
2	残压试验		3 只避雷器或比例单元
	a)陡波冲击电流残压试验	8.3.2	
	b)雷电冲击残压试验	8.3.3	
	c)操作冲击残压试验	8.3.4	
3	长期稳定性试验	8.4	3 只避雷器或比例单元
4	重复转移电荷试验	8.5	按要求
5	散热特性试验	8.6	1 只避雷器或元件 1 只比例单元
6	动作负载试验	8.7	3 只避雷器或比例单元
7	工频电压时间耐受时间特性试验	8.8	按要求
8	短路试验	12.8.10	按要求
9	内部部件绝缘耐受试验	8.15	1 只比例单元
10	内部均压部件试验	8.16	按要求
11	持续电流试验	8.17	1 只避雷器
12	工频参考电压试验	8.18	
13	直流参考电压试验	8.19	
14	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	8.20	
15	局部放电试验	8.21	
16	电流分布试验	8.22	

注 1：序号 11～15 项试验为同一试品。

注 2：对于屏蔽分离避雷器和外壳不带电避雷器，当试验在避雷器上进行时，避雷器应配置内锥插座；对于绝缘耐受试验，试品需配置试验用内锥插座或采用其他有效的方法。

[a] 对用于 $U_r \leqslant 252$ kV 的避雷器不要求。

在不同的条款中规定了试品的数量和试验条件。基于相同的组件和相似的结构导致相同的性能特性，包括热耗散条件和内部介质，只在安装方式或支撑结构布置不同的避雷器可认为是同一设计。

12.8.2 绝缘耐受试验

8.2 适用，并增加下列条款。

12.8.2.9 未屏蔽分离避雷器绝缘耐受试验

对于未屏蔽的分离避雷器，当空气间隙小于 GB/T 311.2—2013 的规定时，应将三只避雷器试品安装于接地的试验终端箱中，见图 14。如果试验箱是对称的，应对避雷器试品 1 和试品 2 进行试验，如果试验箱是不对称的，应对三只避雷器试品进行试验。a，b，c，d 及 e 的最小间隔距离应在避雷器所带文件中规定。对于屏蔽分离避雷器，对单相试品进行试验。

绝缘耐受试验应在包含电阻片的避雷器上进行。在这种情况下，被试避雷器试品应与地电位绝缘。当进行冲击试验时，与被试避雷器试品相邻的避雷器试品应接地。

绝缘耐受试验值应符合 8.2 的规定。

图 14 分离避雷器的绝缘耐受试验布置

12.8.2.10 外壳不带电避雷器或在屏蔽分离避雷器绝缘耐受试验

对于外壳不带电避雷器或屏蔽分离避雷器，应去掉电阻片并用外径与电阻片的直径相同的金属棒替代。金属棒的长度应至少为电阻片柱的总长的三分之二，棒的下端应为使得介电应力最小的形状(如半球形)。棒的下端应与外壳屏蔽绝缘，剩余长度部分应填充绝缘材料(固体或液体)以防止试验时界面击穿。试验时对高压端施加电压，屏蔽外壳接地。

绝缘耐受试验值应符合 8.2 的规定。

12.8.3 残压试验

见 8.3。

12.8.4 长期稳定性试验

除下列外，8.4 的其余内容适用。

12.8.4.2.1 试验步骤

本条替代 8.4.2.1。

试验应在 3 只参考电压满足 7.3 要求的电阻片试品上进行。工频电压应满足动作负载试验(见 8.7.1)的要求。

老化试验时，在与避雷器中的电阻片直接接触的材料(不论固体、液体)都应与整只避雷器的设计相同。

在试验中，电阻片要放置在一个温度可控的烘箱中，且周围介质与避雷器中一致。烘箱容积至少是

电阻片体积的 2 倍，烘箱内介质的密度不小于避雷器介质的密度。

注 1：电阻片在避雷器中的周围介质会受到内部局放的影响。现场改变电阻片周围介质也许会显著提高功率损耗。涉及这些变化的更合理的试验程序正在考虑中。可以考虑试验在 N_2 或者 SF_6（对 GIS 避雷器）等低氧气浓度（小于 0.1%体积）环境下进行试验。这样就确保即使在无氧条件下，避雷器不老化。

如果制造商可以证明在空气进行该试验与在实际介质中进行的试验结果一致，老化试验可以在空气中进行。

电阻片应加热到 115 ℃±4 K，电阻片初始功耗 P_{start} 应在施加修正后的最大持续运行电压 U_{ct} 后的 3 h±5 min 范围内测量。对于分离避雷器，在此电压下持续 1 000 h，对于外壳不带电避雷器，在此电压下持续 2 000 h，在此期间，烘箱要控制电阻片表面温度保持在 115 ℃±4 K。

电阻片功耗每隔 100 h 测量一次，最后一次的功耗 P_{end} 对于分离避雷器应在进行老化试验 $1\ 000^{+100}_{0}$ h后测量，或者对于外壳不带电避雷器应在进行老化试验 $2\ 000^{+100}_{0}$ h 后测量。

试验中偶然断电总时间不应超过 24 h，中断时间不能计入试验时间，最终的测量应再持续施加电压不小于 100 h 后进行，每次测量时的温度变化不能超过±1 K。

试验电压为修正过的最大持续运行电压（U_{ct}），并经考虑电阻片电压分布的影响。该电压可以通过电压分布测量或计算得到。

注 2：附录 L 给出了避雷器电压分布计算程序的信息。

对于未屏蔽的高度 H 小于 1 m 的分离避雷器，通过公式(9)计算电压：

$$U_{ct} = U_c(1 + 0.15H) \qquad \cdots\cdots(9)$$

式中：

H——为避雷器总高，单位为米(m)。

12.8.5 重复转移电荷试验

见 8.5。

12.8.6 散热特性试验

见 8.6。

12.8.7 动作负载试验

除下列外，8.7 的其余内容适用。

12.8.7.2.3 热稳定试验

本条替代 8.7.2.3。

以下程序适用于本试验的热稳定试验：

整只试品应至少预热至以下起始温度：

对于未屏蔽分离避雷器：起始温度为 60 ℃。

对于屏蔽分离避雷器和外壳不带电避雷器：起始温度为 85 ℃。

预热时间应不超过 20 h。

电阻片在注入能量或转移电荷前的温度应至少是起始温度。

应在规定时间内注入每只试品的能量或转移电荷：

a) 对于电站类避雷器：在 3 min 时间内，采用视在总持续时间 2 ms～4 ms 的长持续时间（方波）冲击电流或总持续时间 2 ms～4 ms 的正弦半波冲击电流注入能量。只要在规定的 3 min 时间内完成规定的注入能量，冲击电流的次数由制造商选择。电流的幅值和冲击次数不重要，只

要注入的累积能量不小于下列值：

——单柱避雷器：1.0 倍～1.1 倍宣称的额定热能量(见 8.7.3)；

——多柱并联避雷器：1.0 倍～1.1 倍宣称的额定热能量(见 8.7.3)乘以电流分布系数（见 7.2.1)。

b) 对于配电类避雷器：在 1 min 内，采用 2 次 8/20 雷电冲击电流注入电荷，并具有的足够幅值使得累积的电荷不小于从表 5 中选择的宣称额定热转移电荷。

在注入能量或电荷后 100 ms 内，应施加 10 s 额定电压 U_r，接着应施加至少 30 min 的持续运行电压 U_c(如果需要，可按 7.2 进行修正)，以证明热稳定性。应监测试品的电流阻性分量或功率损耗或温度或三者的任意组合，直至测量值明显减少(通过)，但不少于 30 min，或出现明显的热崩溃现象(不通过)。

12.8.8 工频电压耐受时间特性试验

见 8.8。

12.8.9 脱离器试验

8.9 不适用。

12.8.10 短路试验

修改：

所有避雷器应依据 8.10 进行短路试验，以证明避雷器不会发生外套不可接受的爆炸。为了适用于分离避雷器和外壳不带电避雷器，对短路试验 8.10 修改如下。

注：对于分离及外壳不带电避雷器的短路试验程序正在考虑修订。

12.8.10.1 总则

本条替代 8.10.1。

应对所有避雷器进行试验，来证明避雷器不会发生外套不可接受的爆炸。

应对避雷器进行表 7 规定的 2 组短路电流试验：

大短路电流值包括额定短路电流及 2 个降低的短路电流(如果适用)；

小短路电流。

注：避雷器关于短路特性可以有两种原则上设计。

一种避雷器设计是利用内部过压力，它是由于避雷器元件的短路而产生的内部电弧造成的。过压力是由于加热封闭的一定体积的气体或液体，使之膨胀，导之压力释放装置动作(在这种情况下，这类试验有时又称为“压力释放试验”)，在过压力释放之前，避雷器外壳不能破坏。

另一种设计通常是紧凑的，没有封闭的气体或液体，没有压力释放装置，这类设计的短路性能取决于电弧直接烧穿或撕裂外壳。

如果避雷器装配一种与传统的压力释放装置不同的装置，这种装置应包括在试验中。

对于额定及降低的短路电流，试验样品准备的方法依据避雷器的结构而定，对于装有压力释放装置的避雷器，电阻片外部用熔丝旁路。对于没有压力释放装置的避雷器，电阻片可用过电压预故障，或在电阻片中钻孔并用内部熔丝在孔中将电阻片旁路。

对于小电流短路试验，采用过电压预故障。

短路电流试验电源的频率，应不低于 48 Hz，不高于 62 Hz。

经供需双方协商，可以用相互同意的重合闸循环试验程序及试验判据来进行试验。

所有的分离及外壳不带电避雷器都应能够耐受电阻片的故障而不会通过外壳本体将避雷器的零部

件喷射出去，为此目的而特殊设计的部位除外。应在给定的型号及设计的最高额定电压的整只避雷器元件上进行这项试验，该试验可以证实低于该额定电压的相同型式及设计的避雷器也符合本标准。

试品应依据 8.10.2 或 10.8.10.2 尽可能按照设计准备。

12.8.10.3 试品安装

本条替代 8.10.3。

为了模拟正常运行条件，外壳不带电避雷器的试品应装在一个标准的内锥插座上。

分离避雷器应安装在单独的隔室内进行短路试验，应按照 GB/T 7674—2020 的 10.2 进行安装。

12.8.10.6 试验结果的评价

本条替代 8.10.6。

如果外壳破裂伴随有避雷器零部件通过避雷器本体喷射出，则避雷器没有通过本试验。通过带有底盖释放的底部喷射出零部件包括金属氧化物性电阻片，或为此目的设计的其他部件抛出是可以接受的。

避雷器应在试验结束 2 min 内能够自熄灭明火。任何抛出的零部件（不管在不在围栏内）均应在 2 min内自熄灭明火。

注：该性能可能与瓷外套避雷器、复合外套避雷器明显有区别。特殊的安装建议可以咨询制造商。

12.8.11 弯曲负荷试验

8.11 不适用。

12.8.12 环境试验

8.12 不适用。

12.8.13 密封试验

8.13 不适用。

12.8.14 无线电干扰电压试验

8.14 不适用。

12.8.15 内部部件的绝缘耐受试验

见 8.15。

12.8.16 内部均压部件试验

见 8.16。

12.8.17 持续电流试验

见 8.17。

12.8.18 工频参考电压试验

见 8.18。

12.8.19 直流参考电压试验

见 8.19。

12.8.20 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验

见 8.20。

12.8.21 局部放电试验

见 8.21。

12.8.22 电流分布试验

见 8.22。

12.9 例行试验、验收试验、定期试验和抽样试验

见第 9 章。

13 液浸式避雷器

13.1 范围

本章适用于浸在绝缘液体中的避雷器。

13.2 规范性引用文件

见第 2 章。

13.3 术语和定义

除下列要求外，第 3 章的其余内容适用。

13.3.4

本条替代 3.4。

液浸式避雷器外套　housing of a liquid-immersed arrester

保护内部零部件不受环境影响的避雷器的外部电气绝缘外壳。

13.4 标志及分级

见第 4 章。

13.5 标准的额定值和运行条件

除下列要求外，第 5 章的其余要求适用。

13.5.4.1 正常运行条件

本条替代 5.4.1。

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) 液浸式避雷器附近的周围液体温度应在－40 ℃到＋95 ℃之间；

b) 周围的绝缘液体最高温度的日平均值不应超过＋120 ℃；

c) 交流电源的频率不低于 48 Hz，不超过 62 Hz；

d) 长期施加在避雷器端子间的工频电压不应超过避雷器的持续运行电压；

e) 机械条件（正在考虑中）。

13.6 技术要求

除下列要求外，第 6 章的其余要求适用。

13.6.13 短路性能

本条替代 6.13。

避雷器不应在故障时发生不可接受的爆炸（见 13.8.10）。对每个避雷器系列，制造商应宣称额定短路电流。对于安装点预期的短路电流在 1 kA 以下时，可宣称额定值“0”，在铭牌上应标注“0”。

如果宣称了故障—开路额定值，则应在宣称的最小电流水平下进行试验。

如果宣称了故障—短路额定值，则应在宣称的最大电流水平下进行试验。

13.7 试验要求

第 7 章适用。

13.8 型式试验（设计试验）

13.8.1 总则

本条规定的型式试验适用于液浸式避雷器，按表 22 的规定进行型式试验。

新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时，应对有关项目进行试验。

表 22 型式试验项目

序号	试验项目	试验方法	试品
1	绝缘耐受试验		1 只避雷器外套
	a)雷电冲击电压试验	13.8.2	
	b)操作冲击电压试验[a]	13.8.2	
	c)工频电压试验	13.8.2	
2	残压试验		3 只避雷器或比例单元
	a)陡波冲击电流残压试验	8.3.2	
	b)雷电冲击残压试验	8.3.3	
	c)操作冲击残压试验	8.3.4	
3	长期稳定性试验	8.4	3 只避雷器或比例单元
4	重复转移电荷试验	8.5	按要求
5	散热特性验证	8.6	1 只避雷器或元件 1 只比例单元

表 22（续）

序号	试验项目	试验方法	试品
6	动作负载试验	8.7	3 只避雷器或比例单元
7	工频电压耐受时间特性试验	8.8	按要求
8	短路试验	13.8.10	按要求
9	内部部件绝缘耐受试验	8.15	1 只比例单元
10	内部均压部件试验	8.16	1 只避雷器
11	持续电流试验	8.17	
12	工频参考电压试验	8.18	
13	直流参考电压试验	8.19	
14	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	8.20	
15	局部放电试验	8.21	
16	电流分布试验	8.22	
注：序号 11～15 项试验为同一试品。			
[a] 对用于 $U_s \leqslant 252$ kV 的避雷器不要求。			

在不同的条款中规定了试品的数量和试验条件。基于相同的组件和相似的结构导致相同的性能特性，包括热耗散条件和内部介质，只在安装方式或支撑结构布置不同的避雷器可认为是同一设计。

对于液浸式避雷器，当要求在绝缘液体中进行试验时，液体应为在被保护的设备中使用的液体。

13.8.2 绝缘耐受试验

除下列外，8.2 的其余内容适用。

13.8.2.1 总则

本条替代 8.2.1。

本试验的目的是为了验证避雷器外壳的外绝缘电压耐受能力。如需验证其他设计结构，试验需经供需双方协商。

试验应在 8.2 规定的试验电压和下列条件下进行。绝缘部件的外表面应清洁，并且为了能够进行该项试验内部部件应取出或使之失效。

液浸式避雷器的绝缘耐受试验应在室温下的绝缘液体中进行。

13.8.2.5 湿试验程序

本条替代 8.2.5。

按照 GB/T 16927.1 给出的进行的湿耐受试验程序不适用于液浸式避雷器。

13.8.3 残压试验

见 8.3。

13.8.4 长期稳定性试验

除下列外，8.4 的其余内容适用。

13.8.4.1 试验程序

本条替代 8.4.2.1。

本试验在参考电压要满足 7.3 的要求的 3 只电阻片试品上进行，工频电压要满足动作负载试验所述的要求(见 8.7.1)。

在老化试验时，与电阻片直接接触的材料(固体或液体)应与整只避雷器的设计完全相同。

在老化试验时，电阻片要放置在一个温度可控的烘箱中，且周围介质与避雷器中一致。烘箱容积至少是电阻片体积的 2 倍，烘箱内介质的密度不小于避雷器介质的密度。

如果制造商可以证明在空气进行该试验与在实际介质中进行试验的结果一致，老化试验可以在空气中进行。

电阻片应加热到 115 ℃±4 K，电阻片起始功耗 P_{start} 应在施加修正后的最大持续运行电压 U_{ct} 后 3 h±5 min 范围内测量。在此电压下持续 7 000 h，在此期间，烘箱要控制电阻片表面温度保持在 115 ℃±4 K。当制造商与用户达成一致时，试验时间可减少到不少于 2 000 h，至少每 100 h 测量一次电阻片的功率损耗，然后利用功率损耗对时间的平方根画出老化曲线，在曲线上用测量的最低值到最高值画一根直线，外延至 7 000 h。

首次测量后，电阻片的功耗应在 U_{ct} 下进行测量，每次间隔时间不超过 100 h，最后的测量 P_{end}，应在老化的 $7\ 000^{+100}_{0}$ h 后进行。如果使用较短的试验时间，那么最终值 P_{end}，如上述，应外延至 7 000 h 来确定。在试验期间所得到的最小功耗记为 P_{min}(见图 1)。

在试验期间，试品的偶然断电的时间总计不超过 24 h。中断的时间不计入试验时间，最终的测量应再持续施加电压不少于 100 h 后进行。在允许的温度范围内，所有的测量应在相同的温度±1 K 下进行。

本程序的相应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的影响。通过电压分布的测量或计算来确定该电压。

注：附录 L 中给出了关于电压分布计算程序的资料。

13.8.5 重复转移电荷试验

见 8.5。

13.8.6 散热特性试验

见 8.6。

13.8.7 动作负载试验

除下列外，8.7 的其余内容适用。

13.8.7.2.3 热稳定试验

本条替代 8.7.2.3。

下列程序应适用于试验的热稳定试验：

试品应预热到至少 120 ℃。

预热不应超过 20 h。

电阻片在注入能量或转移电荷前的温度应至少是起始温度。

应在规定时间内注入每只试品的能量或转移电荷：

a) 对于电站类避雷器：在 3 min 时间内，采用视在总持续时间 2 ms～4 ms 的长持续时间（方波）冲击电流或总持续时间 2 ms～4 ms 的正弦半波冲击电流注入能量。只要在规定的 3 min 时间内完成规定的注入能量，冲击电流的次数由制造商选择。电流的幅值和冲击次数不重要，只要注入的累积能量不小于下列值：

——单柱避雷器：1.0 倍～1.1 倍宣称的额定热能量（见 8.7.3）；

——多柱并联避雷器：1.0 倍～1.1 倍宣称的额定热能量（见 8.7.3）乘以电流分布系数（见 7.2.1）。

b) 对于配电类避雷器：在 1 min 内，采用 2 次 8/20 雷电冲击电流注入电荷，并具有的足够幅值使得累积的电荷不小于从表 5 中选择的宣称额定热转移电荷。

在注入能量或电荷后 100 ms 内，应施加 10 s 额定电压 U_r，接着应施加至少 30 min 的持续运行电压 U_c（如果需要，可按 7.2 进行修正），以证明热稳定性。应监测试品的电流阻性分量或功率损耗或温度或三者的任意组合，直至测量值明显减少（通过），但不少于 30 min，或出现明显的热崩溃现象（不通过）。

13.8.8 工频电压耐受时间特性试验

见 8.8。

13.8.9 脱离器试验

8.9 不适用。

13.8.10 短路试验

修订：

所有避雷器应依据 8.10 进行短路试验，以证明避雷器不会发生外套不可接受的爆炸。为了适用于液浸式避雷器，对短路试验 8.10 修改如下。

注：对于液浸式避雷器的短路试验程序正在考虑修订。

13.8.10.1 总则

本条替代 8.10.1。

除了宣称额定短路值“0”以外，宣称额定短路值的避雷器应进行短路试验，以验证避雷器故障时不会发生不可接受的爆炸。

应对避雷器进行表 7 规定的 2 组短路电流试验：

大短路电流值包括额定短路电流及 2 个降低的短路电流；

小短路电流。

注 1：避雷器关于短路的性能可以有两种原则上设计。

一种避雷器设计是利用内部过压力，它是由于避雷器元件的短路而产生的内部电弧造成的。过压力是由于加热封闭的一定体积的气体或液体，使之膨胀，导之压力释放装置动作（在这种情况下，这类试验有时又称为“压力释放试验”），在过压力释放之前，不希望避雷器外套被破坏。

另一种设计通常是紧凑的，没有封闭的气体或液体，没有压力释放装置，这类设计的短路性能取决于电弧直接烧穿或撕裂外套。

如果避雷器装配一种与传统的压力释放装置不同的装置，这种装置应包括在试验中。

对于额定的及降低的短路电流，试品准备的方法依据避雷器的结构而定。对于装有压力释放装置

的避雷器，电阻片外部用一根熔丝旁路。对于没有压力释放装置的避雷器，电阻片可用过电压预故障，或在电阻片中钻孔并用内部熔丝在孔中将带电电阻片旁路。

对于小电流短路试验，采用过电压预故障。

短路电流试验电源的频率，应不低于 48 Hz，不高于 62 Hz。

根据制造商与用户之间达成的协议，可以用相互同意的重合闸循环试验程序及试验判据来进行试验。

液浸式避雷器可设计为“故障—开路”或“故障—短路”。故障—开路设计的避雷器在故障电流低于它的故障—开路额定值时，不会总是以开路的形式发生故障，而故障—短路设计的避雷器当故障电流超过它的故障—短路额定值时，不会总是以短路的形式发生故障。

注 2：“故障—开路”并不意味避雷器将开断电路，所有的避雷器故障引发的短路电流需要被过电流保护装置所开断，在其他装置清除故障后，故障—开路避雷器允许被保护的设备重新加上电压，当然已经没有过电压保护了。

对于宣称具有故障—开路或故障—短路电流额定值的每一种型式及设计的避雷器，应对它的 3 只最低额定电压及 3 只最高额定电压的整只避雷器元件中的每一只进行这项试验，对于相同型式及设计的中间电压等级来说，应认为这些试验可证实它们符合本标准。

对于故障—开路设计的避雷器，所有的试品应在宣称的最小故障—开路电流水平下进行试验，试品不能在低于最小故障—开路额定值的“小短路电流”水平下进行试验。

对于故障—短路设计的避雷器，试品应按照 8.10.4 规定的三个电流水平中的每一个进行试验。标称短路水平可能与表 7 中列出的不同，并且由制造商选定，两个降低的短路电流水平应从表 7 中选定，一个附加的试品应按照 8.10.5 进行试验。

13.8.10.3 试品的安装

本条替代 8.10.3。

试品应按照运行时安装的位置安装，包括方向以及离地面的距离。避雷器应浸没在装有绝缘液体的足够大容器中，而不至于对容器燃弧。

13.8.10.4 大电流短路试验

本条替代 8.10.4。

应从表 7 中选定的额定短路电流下对一只试品进行试验。应根据选定的额定短路电流降低的两个短路电流中的每一个电流下对第二只和第三只试品进行试验。所有三只试品应根据 8.7.2 进行准备，根据 8.7.3 进行安装。

试验应在一个单相试验回路中进行，正如 8.7.2.1 所概述的，试验回路应具有避雷器试品额定电压的 107%到 77%的开路电压，然而，预期在高电压避雷器上的试验时，在 77%或更高的试品额定电压下进行这些试验，试验站可能会没有足够的短路容量。因此，8.7.2.2 给出了降低电压下进行大电流短路试验的替代程序。测得的试验电流在回路中流过的总的持续时间应不小于 0.2 s。

对于故障—开路设计避雷器，应调节试验回路的阻抗，使产生的流过试品的电流不大于避雷器的故障—开路电流额定值，宣称的故障—开路额定值是测得的在试验时流过任一试品的对称电流中有效值的最大值。

对于故障—短路设计避雷器，应调节试验回路的阻抗，使产生的流过试品的电流不小于避雷器的故障—短路电流额定值，宣称的故障—短路额定值是测得的在试验时流过任一试品的对称电流有效值的最小值。

13.8.10.5 试验评价

本条替代 8.10.5。

试验判据：

从记录的示波图显示电流幅值及持续时间；

短路试验后，在任何时间内，根据下列电压耐受试验结果进行判断。试品应在具有限定的、但已知的、可产生持续时间为 1 min 电流的回路中施加 U_c 电压：

a) 在故障—开路设计的避雷器内没有电流流过；

b) 在故障—短路设计的避雷器内有电流流过。

从试验后试品的外观。

所有试品应满足上述要求。

13.8.11 弯矩试验

8.11 不适用。

13.8.12 环境试验

8.12 不适用。

13.8.13 密封试验

8.13 不适用。

13.8.14 无线电干扰电压试验

8.14 不适用。

13.8.15 内部元件的绝缘耐受试验

见 8.15。

13.8.16 内部均压部件试验

见 8.16。

13.8.17 持续电流试验

见 8.17。

13.8.18 工频参考电压试验

见 8.18。

13.8.19 直流参考电压试验

见 8.19。

13.8.20 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验

见 8.20。

13.8.21 局部放电试验

见 8.21。

13.8.22 电流分布试验

见 8.22。

13.9 例行试验、验收试验、定期试验和抽样试验

见第 9 章。

附 录 A
（资料性附录）
本标准与 IEC 60099-4:2014 的章条编号对照

本标准与 IEC 60099-4:2014 的章条编号对照见表 A.1。

表 A.1 本标准与 IEC 60099-4:2014 的章条编号对照

本标准章条编号	对应 IEC 60099-4:2014 的章条编号
1	1
2	2
3	3
3.1～3.79、3.81～3.86、3.89	3.1～3.85
3.80、3.87、3.88	—
4	4
5	5
6	6
6.1～6.16.5	6.1～6.16.5
6.17	6.16.6
6.18～6.19	6.17～6.18
6.20～6.24	—
7	7
7.1	7.1
—	7.2
7.2	7.3
8	8
8.1～8.16	8.1～8.16
8.17～8.24	—
9	9
9.1～9.2	9.1～9.2
9.3～9.4	—
10	10
10.1～10.8	10.1～10.8
10.8.1～10.8.16	10.8.1～10.8.16
10.8.17～10.8.23	—

表 A.1（续）

本标准章条编号	对应 IEC 60099-4:2014 的章条编号
10.8.24	10.8.17
10.8.25～10.8.26	—
10.9	10.9
10.9.1～10.9.4	—
11	11
11.1～11.6	11.1～11.6
11.6.1	11.6.1
11.6.4～11.6.5	—
11.6.13～11.6.15	11.6.13～11.6.15
11.6.27～11.6.30	—
11.7～11.8	11.7～11.8
11.8.1～11.8.16	11.8.1～11.8.16
11.8.17～11.8.29	—
11.9	11.9
11.9.1～11.9.4	—
11.10	11.10
12	12
12.1～12.6	12.1～12.6
—	12.6.4
12.6.13	12.6.13
12.7～12.8	12.7～12.8
12.8.1～12.8.16	12.8.1～12.8.16
12.8.17～12.8.19	—
12.8.20	12.8.17
12.8.21～12.8.22	—
12.9	12.9
13	13
13.1～13.8	13.1～13.8
13.8.1～13.8.16	13.8.1～13.8.16
13.8.17～13.8.22	—
13.9	13.9

表 A.1（续）

本标准章条编号	对应 IEC 60099-4:2014 的章条编号
附录 A～附录 B	—
附录 C	附录 A
附录 D	—
附录 E	附录 H
附录 F	附录 G
附录 G	附录 C
附录 H	—
附录 I	附录 B
附录 J	附录 E
附录 K	—
附录 L	附录 F
附录 M	附录 L
附录 N	附录 I
附录 O	附录 K
附录 P	附录 J
附录 Q	附录 D

附 录 B
（资料性附录）
本标准与 IEC 60099-4:2014 的主要技术差异及其原因

本标准与 IEC 60099-4:2014 的主要技术差异及其原因见表 B.1。

表 B.1 本标准与 IEC 60099-4:2014 的主要技术差异及其原因

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
2	关于规范性引用文件，本标准做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下： ——用修改采标的 GB/T 311.1 代替 IEC 60071-1； ——用修改采标的 GB/T 311.2—2013 代替 IEC 60071-2:1996； ——用修改采标的 GB/T 3906—2020 代替 IEC 62271-200:2011； ——用修改采标的 GB/T 7354 代替 IEC 60270； ——用修改采标的 GB/T 7674—2020 代替 IEC 62271-203:2011； ——用修改采标的 GB/T 11604—2015 代替 IEC/TR CISPR 18-2:2010； ——用修改采标的 GB/T 16927.1 代替 IEC 60060-1:2010； ——用修改采标的 GB/T 16927.2 代替 IEC 60060-2:2010； ——用修改采标的 GB/T 22079 代替 IEC 62217； ——用修改采标的 GB/T 26218.1—2010 代替 IEC/TS 60815-1:2008； ——用修改采标的 GB/T 26218.2—2010 代替 IEC/TS 60815-2:2008。 ——增加引用了 GB/T 191—2008、GB/T 2900.12—2008、GB/T 2900.19—1994、GB/T 8905、GB/T 11023—2018、GB/T 12022、GB/T 16927.4	为适应国内产品制造和应用现状，修改并增加了相关的规范性引用文件
3.27	增加要求：在注 1 中增加 5 kA 在注 3 中，$U_s \leqslant 52$ kV 改为 $U_s \leqslant 40.5$ kV	根据表 1 避雷器分类，适应国内产品制造和应用现状
3.28	$U_s \leqslant 52$ kV 改为 $U_s \leqslant 40.5$ kV 增加要求：在注 1 中增加 1.5 kA	根据表 1 避雷器分类，适应国内产品制造和应用现状
3.34.2	增加定义：避雷器的直流参考电流	适应国内产品制造和应用现状
3.35.2	增加定义：避雷器的直流参考电压	适应国内产品制造和应用现状
3.36	增加定义：0.75 倍直流参考电压下漏电流	适应国内产品制造和应用现状
3.80	增加定义：拉伸负荷	适应国内产品制造和应用现状
3.88	增加定义：定期试验	适应国内产品制造和应用现状
3.89	增加定义：抽样试验	适应国内产品制造和应用现状

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
4.2	在表 1 避雷器分类中，对于电站类 SL 等级中增加 5 kA 及相应参数要求；对于配电类 SL 等级中增加 1.5 kA 及相应的参数要求；增加注	在遵循 IEC 60099-4：2014 表 1 分类原则的前提下，根据我国的产品和电网实际情况。在表 1 中、对于电站类 SL 等级中增加 5 kA 及相应参数要求；对于配电类 SL 等级中增加 1.5 kA 及相应的参数要求；增加注，在注中列出了不同使用场合的避雷器标称放电电流值、操作冲击放电电流值、额定重复转移电荷值、额定热能量值及额定热转移电荷的要求
5.1	在表 2 额定电压的典型推荐值中增加了小于 3kV 的额定电压范围及级差要求	适应国内产品制造和应用现状
5.3	标称电流增加“1.5 kA”	适应国内产品制造和应用现状
5.4.1	在正常运行条件中增加“地震烈度Ⅶ度及以下地区和覆冰厚度不大于 20 mm”要求	适应国内产品制造和应用现状
6.2.2	增加要求：避雷器的直流参考电压	适应国内产品制造和应用现状
6.3	增加要求：典型的避雷器在陡波、雷电、操作冲击电流下残压值应不大于附录 D 的规定	明确避雷器在陡波、雷电、操作冲击电流下残压，可以规范产品制造和应用
	增加要求：避雷器端子间的等效电感电压公式	便于对不同陡波冲击电流下的等效电感电压计算
6.6	增加规定：电流分布最大不均匀系数不大于 1.10 和电流分布不均匀系数 β 的计算公式	根据产品制造和应用要求而规定，明确电流分布不均匀系数的计算公式
6.12	标称放电电流 $I_n \geqslant 5$ kA	根据表 1 避雷器分类，适应国内产品制造和应用现状
6.13	增加注：对于中性点非有效接地系统，避雷器的预期短路电流通常在 1 kA 以下，可以不进行大电流短路试验	根据国内产品制造和应用现状而制定
6.16.2	增加要求：在按附录 F 确定的负荷值（SSL）作用下耐受 60 s～90 s 而不损坏，并可靠运行	适应国内产品制造和应用现状
6.16.4	增加要求：或与避雷器组装在一起进行机械试验	根据国内产品制造和应用现状而制定
6.19	系统电压超过 52 kV 改为 U_s＞40.5 kV	适应国内产品制造和应用现状
6.20	增加要求：持续电流	适应国内产品制造和应用现状

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
6.21	增加要求：0.75 倍直流参考电压下漏电流	适应国内产品制造和应用现状
6.22	增加要求：大电流冲击耐受	适应国内产品制造和应用现状
6.23	增加要求：耐污秽性能	适应国内产品制造和应用现状
6.24	增加要求：包装、运输和保管	适应国内产品制造和应用现状
7.1	增加要求：直流电压试验的直流电压纹波因数不大于 1.5%	适应国内产品制造和应用现状
7.2	将 IEC 60099-4：2014 的 7.2 参考电压测量改为本标准的 8.18 要求，将 IEC 60099-4：2014 的 7.3 试验样品改为本标准的 7.2 要求	参考电压测量已在本标准的 8.18 要求
8.1	增加要求：新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时，应对有关项目进行试验	适应国内产品制造和应用现状
	在表 3 中增加了持续电流试验、工频参考电压试验、直流参考电压试验、0.75 倍直流参考电压下的漏电流试验、局部放电试验、电流分布试验、统一爬电比距检查	在 IEC 60099-4：2014 的型式试验项目中没有要求，根据国内产品制造和应用现状，特增加的试验项目
	在表 3 中增加试品要求	适应国内产品制造和应用现状
8.21	增加要求：避雷器外套的绝缘耐受试验应在整只避雷器外套上进行	整只避雷器外套绝缘耐受试验严于在避雷器元件外套上试验
8.2.2	$U_s \leqslant 245$ kV 改为 $U_s \leqslant 252$ kV	适应国内产品制造和应用现状
	增加要求：经供需双方协商，可在避雷器元件外套上按 8.2.6 进行雷电冲击电压试验和按 8.2.8 进行工频电压试验	整只避雷器外套绝缘耐受试验严于在避雷器元件外套上试验
8.2.3	8.2.3 内容更改为“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。按 8.2.6 进行雷电冲击电压试验，按 8.2.7 进行操作冲击电压试验，按 8.2.8 进行工频电压试验	适应国内产品制造和应用现状，该要求严于 IEC 60099-4：2014 的要求
8.2.7	$U_s > 245$ kV 改为 $U_s > 252$ kV	适应国内产品制造和应用现状
8.3.1	额定电压 36 kV 及以下改为额定电压 42 kV 及以下	适应国内产品制造和应用现状
8.3.3	增加要求：偏差±5%	该要求严于 IEC 60099-4：2014 的要求
	增加要求：例行试验时，试验可在整只避雷器、组装好的元件或电阻片上进行。制造厂要在 0.01 倍～2 倍标称电流范围内确定一适当的雷电冲击电流，残压将在该电流（偏差±5%）下测量。如果不能直接测量整只残压，可以把电阻片的残压之和或单个避雷器元件的残压之和视作整只避雷器的残压。整只避雷器的残压值应不高于规定值	将 IEC 60099-4：2014 的 9.1b）的要求加入到本标准的 8.3.2 中，保证标准的系统性
8.3.4	在表 1 中增加相关避雷器的操作冲击电流要求	适应国内产品制造和应用现状

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
8.5.2	增加要求：典型避雷器的额定重复转移电荷量见表 M.9	根据国内产品制造和应用现状，明确规定了典型避雷器的额定重复转移电荷，规范产品的制造和应用
8.7.1	增加要求：典型避雷器的额定热能量 W_{th}、额定热转移电荷 Q_{th} 见表 M.9	根据国内产品制造和应用现状，明确规定了典型避雷器的额定重复转移电荷，规范产品的制造和应用
8.7.2.1 8.7.2.2	在图 3 和正文中，配电类避雷器：1 次大电流冲击改为配电类避雷器：2 次大电流冲击	适应国内产品制造和应用现状，该要求严于 IEC 60099-4：2014 的要求
8.7.2.2	在表 4 中，增加 1.5kA 避雷器耐受 10 kA 的要求	适应国内产品制造和应用现状
8.7.3	在表 5 中，增加标称放电电流 1.5kA 的避雷器的 Q_{th}、每次冲击的 Q_{th}、8/20 雷电冲击电流的相应要求值	适应国内产品制造和应用现状
8.8.1	增加注 1：TOV 数据为 3 位有效数字。 增加注 2：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，TOV 的持续时间需扩大到 7 200 s	适应国内产品制造和应用现状
	在图 4 中，$I_n \geqslant 10$ kA 改为 $I_n \geqslant 5$ kA	根据表 1 避雷器分类，适应国内产品制造和应用现状
8.8.4.1	增加要求：工频电压应符合 8.7.1 的规定	明确工频电压的要求
	增加注：经制造商同意，允许电压波形产生一定的畸变并按峰值除以 $\sqrt{2}$ 计算倍数，此时试验偏于严格	根据国内产品试验现状而规定
8.8.4.2	增加要求：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的避雷器，应增加 1 只试品在 7 200 s 时间点的试验	适应国内产品制造和应用现状
8.9.3.1	增加要求：对中性点非有效接地系统为 100 mA、1 A 和 20 A 工频电流有效值（偏差±10%）	根据国内产品制造和应用现状而规定
8.10.4.1	在表 7 中，增加标称放电电流 1.5kA	适应国内产品制造和应用现状
8.11	52 kV 改为 40.5 kV	适应国内产品制造和应用现状
8.11.4.1	增加要求：注 2：也可经供需双方协商，试验时当弯曲负荷值超过 1.2 倍 SSL 值试品未破坏，结束试验，计算施加到试品负荷值的平均值作为平均破坏负荷（MBL）	便于试验，满足弯曲负荷的要求
8.11.4.2	增加要求：对于 $U_r \geqslant 252$ kV 的避雷器也可在 1 只整只避雷器试品上进行	整只避雷器弯曲负荷试验严于在避雷器元件上试验
8.11.6	增加注：如果在 8.11.4.2 中的试品带有绝缘底座和安装托架，可不对绝缘底座和安装托架进行 8.11.6 中规定的试验	明确绝缘底座和安装托架试验的适用范围

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
8.13.1	增加要求：试验时，可采用氦质谱检漏仪检漏法、抽气浸泡法、热水浸泡法等任何灵敏方法对避雷器进行密封试验	适应国内产品制造和试验现状
8.13.3	增加试验程序：a)氦质谱检漏仪检漏法：采用喷吹法检漏。喷吹法适用于有抽气口的避雷器。将避雷器接在检漏仪的检漏口，用检漏仪的真空系统对避雷器抽真空，并达到真空衔接与质谱室沟通，避雷器真空度要求应符合检漏仪的规定，然后用喷枪向密封处喷吹氦气。当有漏孔存在时，氦气就通过漏孔进入质谱室被检测。b)热水浸泡法：将试品水平浸泡于高于试验环境温度 45 ℃±5 K 的水中，水应是清洁的，水面应高出避雷器最高点 10 cm～20 cm。对用于 $U_s \geqslant 40.5$ kV 的避雷器，浸泡时间不小于 30 min；对用于 $U_s < 40.5$ kV 的避雷器，浸泡时间不小于 10 min。浸泡时间从达到规定的水温时算起，用计时器记录。c)抽气浸泡法：将试品水平放入水温不小于 5 ℃的水中，水应是清洁的，水面应高出避雷器最高点 10 cm～20 cm。对试验水箱抽真空，压差应不小于 0.02 MPa，保压 3 min。保压时间从达到规定的压差时算起，用计时器记录。压差应用压力表测量，压力表应能读出 0.001 MPa	适应国内产品制造和试验现状
8.13.4	增加试验评价：a)对于采用氦质谱检漏仪检漏法，最大的密封泄漏率应低于 6.65×10^{-5} Pa·L/s。b)对于采用热水浸泡法和抽气浸泡法，避雷器在规定的浸泡（保压）时间内，如无连续性气泡溢出则视为合格（如开始有少量断续气泡溢出，但随后不再有气泡溢出，仍视为合格），如不能明确判断时，应重测避雷器元件的直流参考电压和 0.75 倍直流参考电压下漏电流，试验前后直流参考电压变化应不大于 5%，0.75 倍直流参考电压下漏电流变化应不大于 20 μA	适应国内产品制造和试验现状，该要求严于 IEC 60099-4：2014 要求
8.17	增加续电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.20 对应
8.18	增加工频参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.2.1 对应，并将 IEC 60099-4：2014 的 7.2 并入本条
8.19	增加直流参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.2.2 对应
8.20	增加 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.21 对应
8.21	增加局部放电试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.4 对应，并将 IEC 60099-4：2014 的 9.1c)要求加入到本条

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
8.22	增加电流分布试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与6.6对应，并将IEC 60099-4：2014的9.1e)要求加入到本条
8.23	增加统一爬电比距检查要求	适应国内产品制造和应用现状，与6.23对应
8.24	增加大电流冲击耐受试验要求	适应国内产品制造和应用现状
9	增加定期试验和抽样试验	适应国内产品制造和应用现状
9.1	例行试验项目增加持续电流试验、直流参考电压试验、0.75倍直流参考电压下漏电流试验	适应国内产品制造和应用现状
9.3	增加定期试验要求	适应国内产品制造和应用现状
9.4	增加抽样试验要求	适应国内产品制造和应用现状
10.5.4.1	正常运行条件中，增加：悬挂	适应国内产品制造和应用现状
10.6.13	增加要求：注：对于中性点非有效接地系统，避雷器的预期短路电流通常在1 kA以下，可以不进行大电流短路试验	根据国内产品制造和应用现状而制定
10.6.16.2	增加要求：在按附录F确定的负荷值（SSL）作用下耐受60 s～90 s而不损坏，并可靠运行	适应国内产品制造和应用现状
10.6.16.4	增加要求：承受拉伸负荷时，应进行拉伸负荷试验（见10.8.25.5）	适应国内产品制造和应用现状
10.6.16.6	增加拉伸负荷要求	根据国内产品制造和应用现状而制定
10.6.25	增加复合外套外观要求	根据国内产品制造和应用现状而制定
10.6.26	增加气候老化试验要求	根据国内产品制造和应用现状而制定
10.8.1	增加要求：新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时，应对有关项目进行试验	适应国内产品制造和应用现状
	增加表12型式试验项目	根据国内产品制造和应用现状而定，便于产品考核
10.8.11	52 kV改为40.5 kV	适应国内产品制造和应用现状
10.8.11.5	增加绝缘底座和安装支架试验要求	根据国内产品制造和应用现状而制定
10.8.17	增加持续电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与6.23对应

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
10.8.18	增加工频参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与6.2.1 对应，并将 IEC 60099-4：2014的 7.2 并入本条
10.8.19	增加直流参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与6.2.2 对应
10.8.20	增加 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与6.21 对应
10.8.21	增加局部放电试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与6.4 对应，并将 IEC 60099-4：2014的 9.1c)要求加入到本条
10.8.22	增加电流分布试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与6.6 对应，并将 IEC 60099-4：2014的 9.1e)要求加入到本条
10.8.23	增加统一爬电比距检查要求	适应国内产品制造和应用现状，与6.23 对应
10.8.24.2.1	增加要求：如果避雷器的 U_s 大于 14 kV，试验可在与制造商推荐的具有最小爬电比距和最高额定电压的避雷器的比例单元上进行，但比例单元的 U_s 不得低于 14 kV	适应国内产品制造和试验现状
10.8.25	增加拉伸负荷要求	适应国内产品制造和应用现状
10.8.26	增加外套外观检查	适应国内产品制造和应用现状
10.9	增加验收试验、定期试验、抽样试验	适应国内产品制造和应用现状
10.9.1	例行试验项目增加复合外套外观检查、拉伸负荷试验、持续电流试验、直流参考电压试验、0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	适应国内产品制造和应用现状
10.9.2	增加验收试验要求	适应国内产品制造和应用现状
10.9.3	增加定期试验要求	适应国内产品制造和应用现状
10.9.4	增加抽样试验要求	适应国内产品制造和应用现状
11.3	增加术语和定义：绝缘气体的额定密度、绝缘气体的最小运行密度、绝对漏气率、允许漏气率、相对漏气率	适应国内产品制造和应用现状，便于产品考核和验收
11.6.1	245 kV 改为 252 kV	适应国内产品制造和应用现状
	对 2.5 kA 和 5 kA 避雷器改为对 1.5kA、2.5 kA 和 5 kA 避雷器	适应国内产品制造和应用现状
	在表 16 中 U_s>252 kV 栏中，增加工频耐受电压及相关要求	适应国内产品制造和应用现状
11.6.4	增加局部放电要求	适应国内产品制造和应用现状

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
11.6.5	增加避雷器密封要求	适应国内产品制造和应用现状
11.6.27	增加外壳要求，包括：壳体设计、壳体强度试验、壳体检验、防爆膜要求、认证书	适应国内产品制造和应用现状
11.6.28	增加绝缘气体的额定密度（额定压力）和最低功能密度（最低功能压力）要求	适应国内产品制造和应用现状
11.6.29	增加绝缘气体的要求	适应国内产品制造和应用现状
11.6.30	增加运输振动性能要求	适应国内产品制造和应用现状
11.8.1	增加要求：新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时，应对有关项目进行试验	适应国内产品制造和应用现状
	增加表 18 型式试验项目	根据国内产品制造和应用现状而定，便于产品考核
11.8.6	增加注：经过经供需双方协商，也可通过计算来获得 GIS 避雷器的冷却曲线	根据国内产品制造和试验现状而定
11.8.13	增加密封要求	根据国内产品制造和应用现状而定，便于产品考核
11.8.17	增加持续电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.23 对应
11.8.18	增加工频参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.2.1 对应，并将 IEC 60099-4：2014 的 7.2 并入该条款
11.8.19	增加直流参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.2.2 对应
11.8.20	增加 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.21 对应
11.8.21	增加局部放电试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 11.6.4 对应
11.8.22	增加电流分布试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.6 对应，并将 IEC 60099-4：2014 的 9.1e)要求加入到本条
11.8.27	增加壳体强度试验	适应国内产品制造和应用现状，便于产品考核
11.8.28	增加绝缘气体湿度试验要求	适应国内产品制造和应用现状，便于产品考核

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
11.8.29	增加运输试验要求	适应国内产品制造和应用现状，便于产品考核
11.9	增加验收试验、定期试验、抽样试验	适应国内产品制造和应用现状
11.9.1	例行试验项目增加持续电流试验、直流参考电压试验、0.75 倍直流参考电压下漏电流试验、壳体强度试验	适应国内产品制造和应用现状
11.9.2	增加验收试验要求	适应国内产品制造和应用现状
11.9.3	增加定期试验要求	适应国内产品制造和应用现状
11.9.4	增加抽样试验要求	适应国内产品制造和应用现状
12.8.1	增加要求：新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时，应对有关项目进行试验	适应国内产品制造和应用现状
	增加表 21 型式试验项目	根据国内产品制造和应用现状而定，便于产品考核
12.8.2	删除 IEC 60099-4:2014 中的表 11、表 12	根据国内产品制造和应用现状而定
12.8.2.9	增加要求：绝缘耐受试验值应符合 8.2 的规定	适应国内产品制造和应用现状
12.8.2.10	增加要求：绝缘耐受试验值应符合 8.2 的规定	适应国内产品制造和应用现状
12.8.17	增加持续电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.23 对应
12.8.18	增加工频参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.2.1 对应，并将 IEC 60099-4:2014 的 7.2 并入本条
12.8.19	增加直流参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.2.2 对应
12.8.20	增加 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.21 对应
12.8.21	增加局部放电试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 11.6.4 对应
12.8.22	增加电流分布试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.6 对应，并将 IEC 60099-4:2014 的 9.1e)要求加入到本条
12.9	增加定期试验、抽样试验	适应国内产品制造和应用现状

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
13.8.1	增加要求：新产品投产前进行型式试验。当设计或工艺有所变更对产品性能有影响时，应对有关项目进行试验	适应国内产品制造和应用现状
	增加表 22 型式试验项目	根据国内产品制造和应用现状而定，便于产品考核
13.8.17	增加持续电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.23 对应
13.8.18	增加工频参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.2.1 对应，并将 IEC 60099-4：2014 的 7.2 并入本条
13.8.19	增加直流参考电压试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.2.2 对应
13.8.20	增加 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.21 对应
13.8.21	增加局部放电试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 11.6.4 对应
13.8.22	增加电流分布试验要求	适应国内产品制造和应用现状，与 6.6 对应，并将 IEC 60099-4：2014 的 9.1e)要求加入到本条
13.9	增加定期试验、抽样试验	适应国内产品制造和应用现状
附录 A	增加附录：本标准与 IEC 60099-4：2014 的章条编号对照	本标准与 IEC 60099-4：2014 的章条编号对照
附录 B	增加附录：本标准与 IEC 60099-4：2014 的主要技术差异及其原因	对 IEC 60099-4：2014 与本标准中的技术差异进行说明
附录 C	删除 16)避雷器拉伸负荷	根据国内产品制造、应用现状和本标准的适用范围而定
附录 D	增加附录：典型的避雷器参数（规范性附录）	根据国内产品制造和应用现状而制定，便于产品考核和选用
附录 E	52 kV 改为 40.5 kV	适应国内产品制造和应用现状
附录 F	在 F.1 中增加要求：避雷器应能耐受制造厂宣称的弯曲负荷值。规定的长期负荷（SLL）等于（$F_1+F_2/2$）；规定的短期负荷（SSL）等于 2.5 倍规定的长期负荷（SLL）。避雷器顶端承受导线的最大允许水平拉力 按表 F.1 规定。作用于避雷器上的风压力 F2 按 F.5 进行计算	适应国内产品制造和应用现状
	在 F.2 中，删除 IEC 62271-300、IEC 62271-207、JEAG 5003、IEC/TS 61463，增加 GB/T 13540	适应国内产品制造和应用现状

表 B.1（续）

本标准章条编号	技术性差异	原因简述
附录 F	在 F.2 中，增加要求：工频参考电压试验，测量的工频参考电压变化不大于±5%； 局部放电试验，在 1.05 倍 U_c 下测量局部放电量不超过 10 pC；密封试验（具有封闭的气体空间和独立的密封系统的避雷器），应满足本标准的规定	适应国内产品制造和应用现状
	在图 F.2 中，对于复合外套避雷器 SSL≤100%改为 40%	适应国内产品制造和应用现状
附录 H	增加附录：包装、运输及保管（资料性附录）	根据国内产品制造和应用现状而制定，指导产品的包装、运输及保管
附录 K	增加附录：电压分布试验（规范性附录）	根据国内产品制造和应用现状而制定，便于产品考核
附录 M	将附录中的对比参数改为 GB/T 11032—2010 的避雷器参数，并进行计算和列表，与 IEC 60099-4：2014 进行对比	对 IEC 60099-4：2014 与 GB/T 11032—2010 中的内容变化进行对比说明
附录 O	示例中的型号参数改为国内典型避雷器的参数，并进行了计算	指导动作负载试验试品的参数计算

附 录 C
（规范性附录）
异常运行条件

下述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，并应引起制造商的注意：

1） 温度高于＋40 ℃或低于－40 ℃；
2） 使用地区海拔高度超过 1 000 m；
3） 能引起绝缘表面或安装金具劣化的烟尘或蒸汽；
4） 因烟雾、灰尘、盐雾或其他导电物引起的严重污秽；
5） 过度暴露严重湿气、潮气、降水或蒸汽中；
6） 避雷器带电冲洗；
7） 由粉尘、气体或烟雾组成的爆炸性混合物；
8） 异常机械条件（地震烈度 7 度以上地区，振动，最大风速超过 34 m/s，覆冰厚度超过 20 mm 及高弯曲负载等）；
9） 异常运输和贮存；
10） 标称频率低于 48 Hz 或高于 62 Hz；
11） 避雷器靠近热源（见 5.4b）；
12） 水平等其他非直立安装；
13） 避雷器的扭转负荷；
14） 避雷器用于机械支撑。

附 录 D
（规范性附录）
典型的避雷器参数

典型的避雷器参数见表 D.1～表 D.9。

表 D.1 典型的电站和配电用避雷器参数

避雷器额定电压 U_r	避雷器持续运行电压 U_c	标称放电电流 20 kA				标称放电电流 10 kA				标称放电电流 5 kA							
		电站用避雷器				电站用避雷器				电站用避雷器				配电用避雷器			
		陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压
有效值		（峰值）不大于			不小于	（峰值）不大于			不小于	（峰值）不大于			不小于	（峰值）不大于			不小于
5	4.0									15.5	13.5	11.5	7.2	17.3	15.0	12.8	7.5
10	8.0									31.0	27.0	23.0	14.4	34.5	30.0	25.6	15.0
12	9.6									37.2	32.4	27.6	17.4	41.2	35.8	30.6	18.0
15	12.0									46.5	40.5	34.5	21.8	52.5	45.6	39.0	23.0
17	13.6					51.8	45.0	38.3	24.0	51.8	45.0	38.3	24.0	57.5	50.0	42.5	25.0
26	20.8					76.0	66.0	56.0	37.0	76.0	66.0	56.0	37.0	85.0	72.0	65.0	37.0
34	27.2					95.0	85.0	75.0	48.0	95.0	85.0	75.0	48.0	105.0	95.0	85.0	48.0
51	40.8					154.0	134.0	114.0	73.0	154.0	134.0	114.0	73.0				
84	67.2					254	221	188	121	254	221	188	121				
90	72.5					264	235	201	130	270	235	201	130				
96	75					280	250	213	140	288	250	213	140				
102	79.6					297	266	226	148	305	266	226	148				
108	84					315	281	239	157	323	281	239	157				

表 D.1（续）

避雷器额定电压 U_r	避雷器持续运行电压 U_c	标称放电电流 20 kA				标称放电电流 10 kA				标称放电电流 5 kA							
		电站用避雷器				电站用避雷器				电站用避雷器				配电用避雷器			
		陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压
有效值		（峰值）不大于			不小于	（峰值）不大于			不小于	（峰值）不大于			不小于	（峰值）不大于			不小于
192	150					560	500	426	280								
204	159					594	532	452	296								
216	168.5					630	562	478	314								
288	219					782	698	593	408								
300	228					814	727	618	425								
306	233					831	742	630	433								
312	237					847	760	643	442								
324	246					880	789	668	459								
420	318	1 170	1 046	858	565	1 075	960	852	565								
444	324	1 238	1 106	907	597	1 137	1 015	900	597								
468	330	1 306	1 166	956	630	1 198	1 070	950	630								
600	462	1 518	1 380	1 142	810												
648	498	1 639	1 491	1 226	875												
828	638	1 782	1 620	1 460	1 114/8 mA												
852	638	1 837	1 670	1 505	1 148/8 mA												

表 D.2 典型的电气化铁道用避雷器参数

单位为千伏

避雷器额定电压（有效值）U_r	避雷器持续运行电压（有效值）U_c	标称放电电流 5 kA、10 kA			
		陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	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 D.3 典型的并联补偿电容器用避雷器参数

单位为千伏

避雷器额定电压（有效值）U_r	避雷器持续运行电压（有效值）U_c	标称放电电流 5 kA		
		雷电冲击残压	操作冲击残压	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 D.4 典型的电机用避雷器参数

单位为千伏

避雷器额定电压（有效值）U_r	避雷器持续运行电压（有效值）U_c	标称放电电流 5 kA				标称放电电流 2.5 kA			
		发电机用避雷器				电动机用避雷器			
		陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	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 D.5 典型的低压避雷器参数

单位为千伏

避雷器额定电压（有效值）U_r	避雷器持续运行电压（有效值）U_c	标称放电电流 1.5 kA	
		雷电冲击残压	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 D.6 典型的电机中性点用避雷器参数

单位为千伏

避雷器额定电压（有效值）U_r	避雷器持续运行电压（有效值）U_c	标称放电电流 1.5 kA		
		雷电冲击残压	操作冲击残压	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 D.7 典型的变压器中性点用避雷器参数

单位为千伏

避雷器额定电压（有效值）U_r	避雷器持续运行电压（有效值）U_c	标称放电电流 1.5 kA		
		雷电冲击残压	操作冲击残压	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

表 D.8 典型的线路避雷器参数

单位为千伏

避雷器额定电压 U_r	避雷器持续运行电压 U_c	标称放电电流 20 kA				标称放电电流 10 kA				标称放电电流 5 kA			
		陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压	陡波冲击电流残压	雷电冲击残压	操作冲击残压	直流 1 mA 参考电压
(有效值)		(峰值)不大于			不小于	(峰值)不小于			不小于	(峰值)不大于			不小于
17	13.6									57.5	50	42.5	25
34	27.5									105	95	85	48
51	40.8									154	134	114	73
54	43.2					163	142	121	77	163	142	121	77
96	75					288	250	213	140	288	250	213	140
108	84					315	281	239	157	315	281	239	157
114	89					341	297	252	165				
216	168.5					630	562	478	314				
312	237					847	760	643	442				
324	246					880	789	668	459				
444	324	1 238	1 106	907	597	1 137	1 015	900	597				
468	330	1 306	1 166	956	630	1 198	1 070	950	630				

表 D.9 典型避雷器的操作冲击电流、额定重复转移电荷、额定热能量及额定热转移电荷值

标称放电电流 kA	避雷器使用场合	避雷器额定电压 （有效值） kV	操作冲击电流值 （峰值） A	Q_{rs} C	W_{th} kJ/kV	Q_{th} C
20	电站用避雷器、线路避雷器	420～468	2 000	3.6	14	—
	电站用避雷器	600～648	2 000	5.2	16	—
		828～852	2 000	18	60	—
10	电站用避雷器	17～51	500	0.4/0.6[a]	—	1.1
		84～108	500	1.0	4	—
		192～216	500	1.2	6	—
		288～324	1 000	2.0	7	—
		420～468	2 000	3.2	10	—
	线路避雷器	54	500	0.6	—	1.1
		96	500	1.0	4	—
		108～114	500	1.2	6	—
		216	500	1.2	6	—
		312～324	1 000	2.0	7	—
		444～468	2 000	3.2	10	—
	电气化铁道用避雷器	42～84	500	1.0	4	—
5	并联补偿电容器用避雷器[b]	5～90	500	0.8	3.5	—
	电站用避雷器	5～51	250	0.2/0.3[a]	—	0.7
		84～108	500	1.0	4	—
	线路避雷器	17～34	250	0.2	—	0.7
		51～54	250	0.6	—	0.7
		96	500	1.0	4	—

表 D.9（续）

标称放电电流 kA	避雷器使用场合	避雷器额定电压 （有效值） kV	操作冲击电流值 （峰值） A	Q_{rs} C	W_{th} kJ/kV	Q_{th} C
5	线路避雷器	108	500	1.2	6	—
	发电机用避雷器	4～25	250	0.6	—	0.7
	电气化铁道用避雷器	42～84	500	0.8	3.5	—
	配电用避雷器	5～17	100	0.2	—	0.7
		26～34	250	0.2	—	0.7
2.5	电动机用避雷器	4～13.5	100	0.3	—	0.45
1.5	变压器中性点用避雷器	60～207	500	0.6	—	0.7
	电机中性点用避雷器	2.4～15.2	100	0.3	—	0.45
	低压用避雷器	0.28～0.50	—	0.1	—	0.2

[a] 经供需双方协商可以选取该栏斜线下之数据。

[b] 如有更高要求，由供需双方协商。

附 录 E
（规范性附录）
确定雷电冲击放电能力的试验程序

E.1 总则

本试验适用于系统电压 U_s>40.5 kV 为改善输电线路雷电保护特性的输电线路用无间隙避雷器(NGLA)。通常，输电线路用避雷器与具有有效进线雷电防护措施的电站用避雷器相比，其承受较高的雷电引起的能量和电流应力。另外，决定性工况的预期电流波形，对于应用在有屏蔽线线路的避雷器，电流的持续时间为几十微秒，对于应用在没有屏蔽线线路的避雷器，电流的持续时间为几百微秒。

持续时间 200 μs 的冲击作为涵盖典型应用和多重雷击效应的波形。

因此，对输电线路保护的避雷器，采用雷电冲击放电试验来验证其额定雷电冲击放电能力。

E.2 试品的选择

应在 10 只比例单元试品上进行试验。除以评估为目的的必要试验外，这些试品未进行过任何试验。

对于雷电冲击放电试验所选择的试品，其在标称电流下的残压应为制造商宣称的残压变化范围的最高值。而且，对于多柱并联避雷器，应考虑不均匀电流分布的最高值。因此，应满足下列的要求：

a) 整只避雷器的额定电压和避雷器比例单元的额定电压的比值为 n。电阻片试品的体积不大于整只避雷器中所有电阻片最小体积除以 n。

b) 试验用比例单元的残压应等于 $k\times U_r/n$，这里 k 为避雷器在标称放电电流下的最大残压和它的额定电压之比。对于试验用试品，如果 $U_{res}>k\times U_r/n$，因数 n 应相对的减少。如果 $U_{res}<k\times U_r/n$，该试品不允许使用。

c) 对于多柱并联避雷器，柱间的电流分布应根据电流分布试验要求在冲击电流下测量。对于每个试品，要确定通过电阻片柱的最大电流和平均电流的比值 β_a，并且与制造商规定的最大电流分布不均匀系数 β_g 比较。电阻片柱的最大电流值不应高于由 β 确定的电流值。

E.3 试验程序

试验前后应对每只试品进行标称放电电流残压试验和参考电压试验。对于多柱并联避雷器的电阻片，试验时的标称放电电流是电阻片在不同的设计中最高的标称放电电流。

选择 10 只试品进行第 1 试验序列，如果试品不合格的数量不超过 1 只，则试验通过。如果电阻片不合格的数量有 2 只，则再选择 10 只试品进行第 2 个试验序列(与第 1 个试验序列相同)，如果在第 2 个试验序列的试品全部合格，则试验通过。

应对每只试品进行 20 次冲击电流耐受，共分为 10 组，每组 2 次，2 次冲击电流间隔时间为 50 s～60 s，2 组之间的间隔时间应能够使试品冷却到环境温度。

试验评价：

a) 在第一试验序列中，不合格的试品不超过 1 只；

b) 在两个试验序列中，不合格的试品不超过 2 只。

如果满足下列所有条件，则认为试品耐受了完整系列的冲击电流：

a) 无机械损伤痕迹（击穿、闪络或开裂）；

b) 试验前后（在相同温度±3 K 下测量），参考电压的变化不超过±5%；

c) 试验前后，标称放电电流下的残压变化不超过±5%；

d) 进行一次峰值电流密度不小于 0.5 kA/cm² 的 8/20 冲击电流或 2 倍标称放电电流冲击耐受（取低值），没有机械损伤（通过对示波器记录的波形进行检查）。

E.4 雷电冲击放电试验的试验参数

通过制造商选择的电流峰值来获得放电能量和电荷，该能量应不高于规定的额定热能量 W_{th}，如果不是这样，应重新进行动作负载试验，增加试验的能量以涵盖宣称的能量。

冲击电流波形应符合 3.52 的规定。反极性电流的峰值应小于冲击电流峰值的 5%。

每次冲击的电流峰值应在所选峰值的 100%～110%之间。

E.5 雷电冲击放电试验测量

应给出每次冲击的能量、电荷和峰值电流，以及冲击电流的瞬时值大于冲击电流峰值 5%的持续时间。并且应提供相同时标的施加电压、电流波形示波图及能量。

E.6 额定雷电冲击放电能力

应对通过试验的合格试品计算 20 次的冲击放电平均电荷值。对于多柱并联避雷器，在确定平均值之前，每个试品的电荷值应乘以系数 β_s/β_g。

避雷器的额定雷电冲击放电能力是：

从 E.7 选择的电荷值不大于合格试品中最低平均电荷值除以 1.1。

E.7 额定电荷值

标准的额定电荷值（单位为库仑）：0.4，0.6，0.8，1，1.2，1.4，1.6，1.8，2，2.4，2.8，3.2，3.6，4，4.4，4.8，5.2，5.6，6，6.4，6.8，7.2，7.6，8，8.4，8.8，9.2，9.6，10。

附 录 F
（规范性附录）
机械试验

F.1 弯曲负荷试验

避雷器应能耐受制造厂宣称的弯曲负荷值。

规定的长期负荷（SLL）等于（$F_1+F_2/2$）；规定的短期负荷（SSL）等于 2.5 倍规定的长期负荷（SLL）。

避雷器顶端承受导线的最大允许水平拉力 F_1 按表 F.1 规定。

作用于避雷器上的风压力 F_2 按 F.5 进行计算。

表 F.1 避雷器最大允许水平拉力

避雷器额定电压（有效值）kV	2.4～34	42～72	84～216	288～468	600～648	828～852
最大允许水平拉力 N	147	294	490,980	980,1 470	水平横向 2 500 水平纵向 2 500	水平横向 4 000 水平纵向 4 000

如果是多元件避雷器，每一个元件都应按图 F.1 进行弯曲负荷试验。要求的负荷按下面给出的方法计算。如果各个元件仅长度不同，而材料及设计都相同，则不需要对每一元件进行试验。如果元件的上下两端的结构和尺寸相同，则仅对承受弯矩大的一端进行试验。

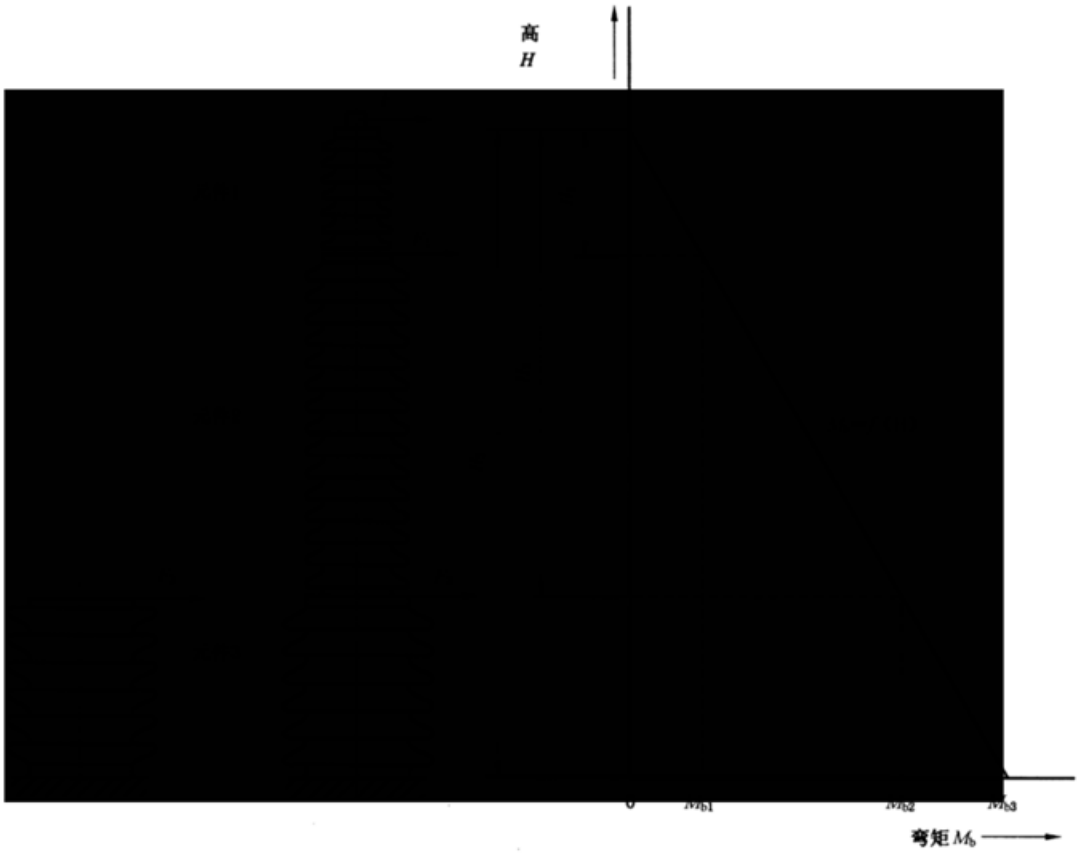


图 F.1　多元件避雷器的弯曲负荷试验

对整只避雷器进行试验，作用于底部法兰的弯矩 $M_{b3}=F\times H_3$。

作用在底部元件的上部法兰上的弯矩 $M_{b2}=F\times H_2$。

如果对一个元件单独进行试验(例如元件 3)，对元件 3 底部法兰试验，试验施加力 F_2 如公式(F.1)和公式(F.2)：

$$F_2\times(H_3-H_2)=F\times H_3 \qquad \cdots\cdots(\text{F.1})$$

$$F_2=\frac{F\times H_3}{(H_3-H_2)} \qquad \cdots\cdots(\text{F.2})$$

对元件 3 的上部法兰的试验应在相反的位置对元件进行试验，对元件 3 的上部法兰进行试验的试验施加力 F_3 如公式(F.3)和公式(F.4)：

$$F_3\times(H_3-H_2)=F\times H_2 \qquad \cdots\cdots(\text{F.3})$$

$$F_3=\frac{F\times H_2}{(H_3-H_2)} \qquad \cdots\cdots(\text{F.4})$$

F.2　地震试验

如果经供需双方达成协议，要进行地震试验，相关标准是：

——GB/T 13540；

——GB 50260；

——IEEE 693。

为了检查避雷器性能的任何变化，地震试验前后应进行下列试验：

——工频参考电压试验，测量的工频参考电压变化不大于±5%；

——局部放电试验，在 1.05 倍 U_c 下测量局部放电量不超过 10 pC；

——密封试验（具有封闭的气体空间和独立的密封系统的避雷器，应满足本标准的规定）。

F.3 机械负荷的定义

图 F.2 说明了机械负荷等级之间的关系。

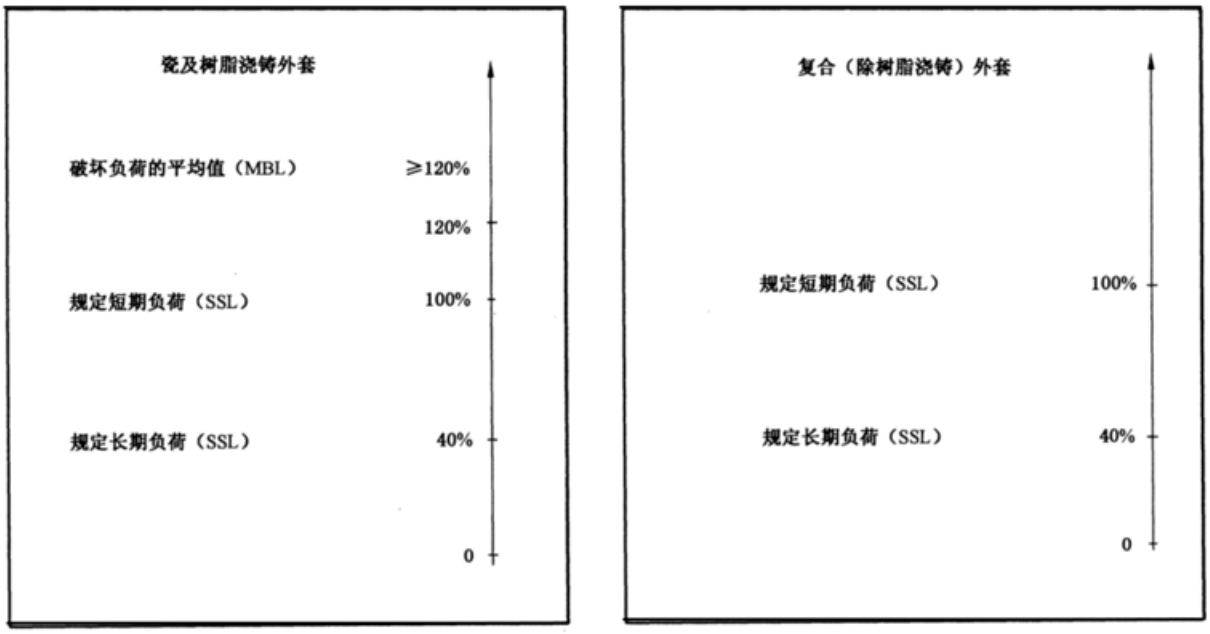


图 F.2 机械负荷的定义

F.4 密封漏率的定义

图 F.3 为避雷器元件的示意图。

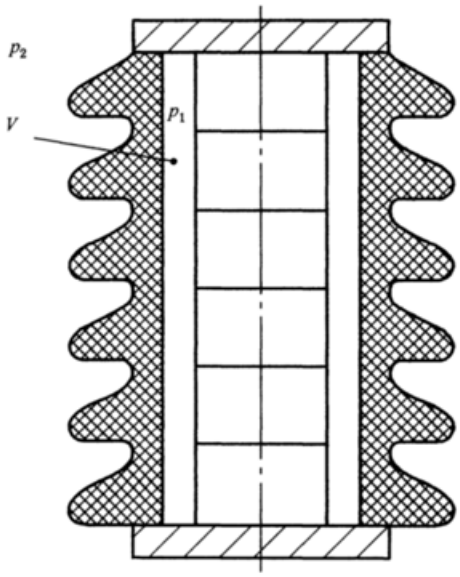


图 F.3 避雷器元件

密封漏率规定了至少在 70 kPa 的压差下，单位时间内通过外套密封部分的气体量。如果密封系统的效果与压差的大小有关，则应考虑最坏的情况。

在 $|p_1-p_2|\geqslant 70$ kPa 及温度为 20 ℃±15 K 下，密封漏率$=\dfrac{\Delta p_1\times V}{\Delta t}$，$\Delta p_1$ 的计算见公式(F.5)。

$$\Delta p_1=p_1(t_2)-p_1(t_1) \qquad \cdots\cdots(\text{F.5})$$

式中：

$p_1(t)$——避雷器外套的内部压强和时间的函数，压强单位为帕(Pa)，时间单位为秒(s)；

p_2 ——避雷器外部的气体压强，单位为帕(Pa)；

t_1 ——选定的时间间隔的起始时间，单位为秒(s)；

t_2 ——选定的时间间隔的结束时间，单位为秒(s)；

$\Delta t=t_2-t_1$，单位为秒(s)；

V ——避雷器的内部气体体积，单位为立方米(m^3)。

F.5 风负荷弯矩的计算

图 F.4 为已组装避雷器的示意图。

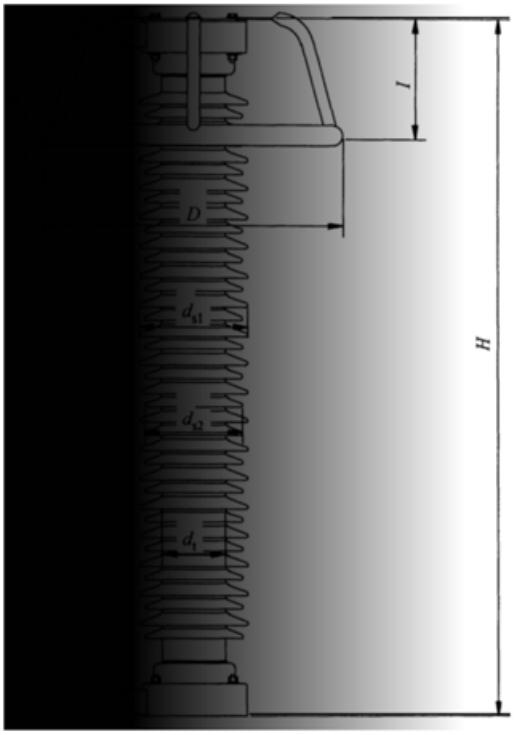


图 F.4　避雷器的尺寸

风弯矩 M_W 由公式(F.6)给出：

$$M_W = P \times H \times d_a \times C \times \frac{H}{2} + P \times D \times h \times (H - I) \qquad \text{(F.6)}$$

式中：

$$P = \left(\frac{\rho_1}{2}\right) \times v^2$$

$d_a = \frac{(2d_1 + d_{s1} + d_{s1})}{4}$，按 GB/T 26218.2—2010(对于不变伞，$d_{s1} = d_{s2}$)；

M_W ——由风造成的弯矩，单位为牛米(Nm)；

H ——避雷器的高度，单位为米(m)；

d_a ——外套直径的平均值，单位为米(m)；

h ——均压环的厚度，单位为米(m)；

D ——均压环的直径，单位为米(m)；

I ——均压环到顶部的距离，单位为米(m)；

C ——圆柱状零部件的阻力系数，等于 0.8；

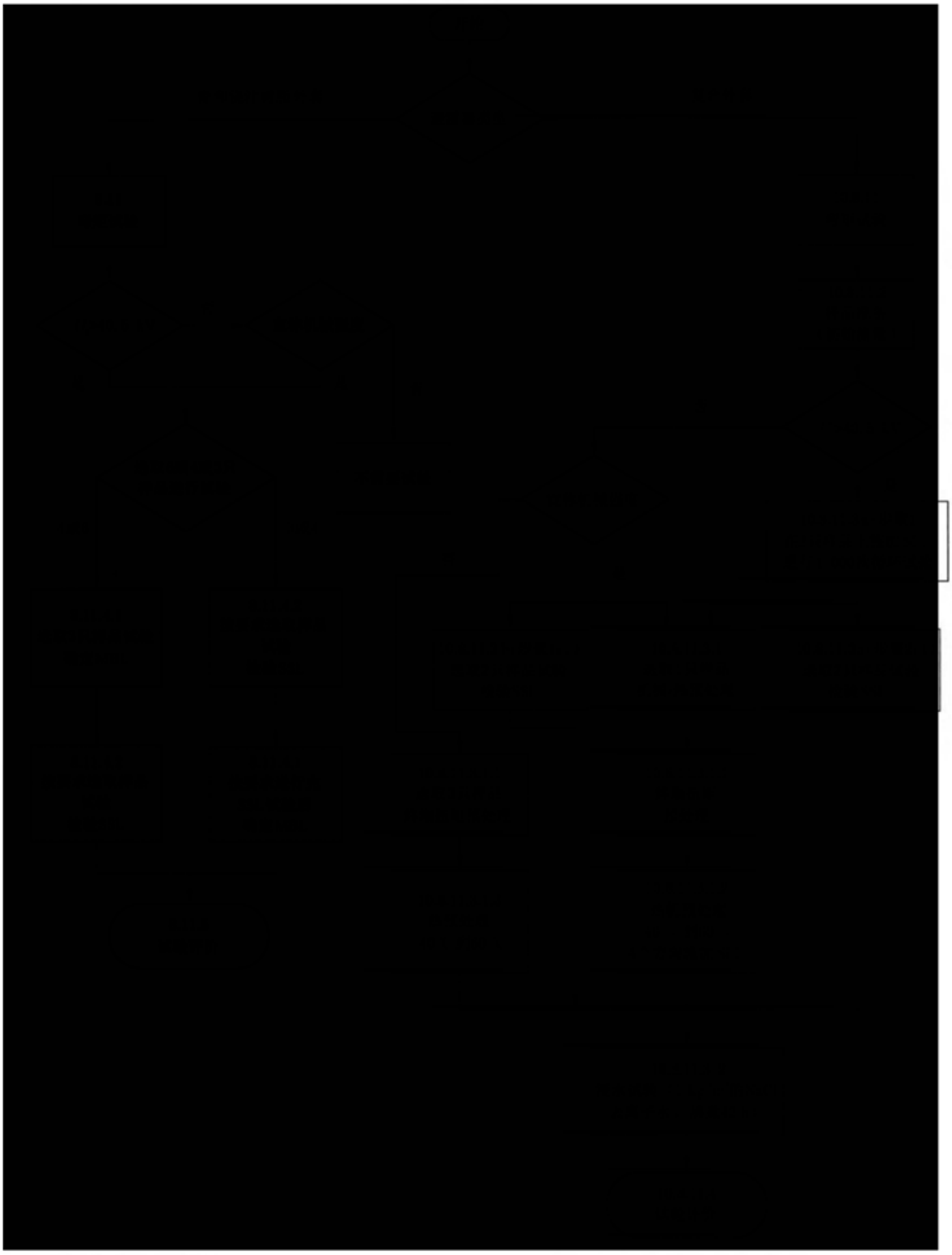
P ——风的动态压力，单位为牛顿每平方米(N/m^2)；

ρ_1 ——在 1.013×10^5 Pa 及 0 ℃时的空气密度，等于 1.29 kg/m^3；

v ——风速，单位为米每秒(m/s)。

F.6　瓷外套、树脂浇铸外套及复合外套避雷器的弯曲负荷试验程序

程序的流程图见 F.5。



[a] 可以任意顺序进行。

图 F.5 弯曲负荷试验程序流程图

附 录 G
（规范性附录）
关于热应力的多元件瓷外套金属氧化物避雷器人工污秽试验

G.1 符号及定义

G.1.1 测定量

$q_z[C/hm]$ 运行中污秽事件期间，流过绝缘子和避雷器外套表面的平均外部电荷，与污秽事件持续时间 t_z 有关。此参数用于现场污秽度的分级

$t_z[h]$ 运行中污秽事件的持续时间

$Q_e[C]$ 污秽试验期间流过避雷器元件表面的电荷

$Q_i[C]$ 污秽试验期间流过避雷器元件内部的电荷

$\Delta T_k[K]$ 元件 k 相应的温升

$\beta[K/C]$ 在预热试验中确定的避雷器内部部件的温升与流经内部的相应电荷比率

$\tau[h]$ 在预热试验中确定的避雷器等效热时间常数

G.1.2 计算量

$D_m[m]$ 避雷器外套的平均直径：按照 IEC/TS 60815-2 中的方法计算

$Q_{tot}[C]$ 相关的避雷器总电荷，是指在避雷器接地端测得的 Q_i 和 Q_e 的总和

$\Delta T_{z\,max}[K]$ 运行中最大的理论温升，用 β、q_z、t_z、D_m 和 τ 函数计算

WU 避雷器加权不平衡值，是避雷器的各元件的电气和几何特性的函数。此参数用来选择进行污秽试验时的最严设计

K_{ie} 污秽试验期间流过避雷器元件的最大外部电荷和最大内部电荷的比率

$\Delta T_z[K]$ 运行中预期的温升，用 β、q_z、t_z、D_m、K_{ie} 和 τ 的函数计算

$\vartheta_{start}[℃]$ 热稳定试验中的起始温度

G.2 总则

金属氧化物避雷器外绝缘的污秽应考虑下面三种可能的效应：

a） 外部闪络的风险；

b） 由避雷器外表面和内部带电元件之间的径向电场产生的避雷器内部局部放电；

c） 由避雷器外套表面上的污秽层产生的不均匀短时过电压所引起内部芯体的温升。

本试验程序仅考虑第三种可能效应。最大理论温升的初步计算应参照 C.5 进行。如果计算结果小于 40 K，则不需要进行任何试验。如果计算结果为 40 K 或者高于 40 K 则应进行本附录中的污秽试验。除非经供需双方协商一致（例如依据特定环境下的运行经验）可以免做污秽试验。

试验室试验和运行经验已经表明，污秽条件下避雷器内部带电部件的发热与吸收电荷有关，因而该参数在避雷器污秽特性评估被认为是必要的。

考虑到流过不同绝缘子和避雷器表面的平均外部电荷，应建立典型地区污秽等级划分。

本附录中所述的程序仅适用于瓷外套避雷器；对复合外套避雷器的程序还需进一步的研究，目前正在考虑之中。

考虑到污秽的热效应，本附录详述了在动作负载试验之前施加在试品上的预热程序；本程序合并在图 G.1 的流程图中，特别是：

——不同典型地区的污秽度用 q_z 表示，相关的数据在表 G.1 中示出。

——依据 8.6 中的方法步骤确定的避雷器的热特性，本方法步骤可以确定等效热时间常数 τ 及按本标准 G.4 所描述的方法进行 β 参数的计算。

——对避雷器热特性和安装地区预期污秽度的认识了解足以在所有与污秽事件相关的电荷均流入避雷器内部这样的最保守的条件下对最大温升进行计算。

——如果最大温升 $\Delta T_{z\,max}$ 的计算结果低 40 K，则不需进行污秽试验，而且动作负载试验的起初温度应为 8.7.2.3 规定的起始温度。如果最大温升 $\Delta T_{z\,max}$ 计算结果是 40 K 或更高，则应按本附录所述的程序进行试验，除非由供需双方协商一致（例如，依据特定环境下的运行经验）可以免做污秽试验。另外，由制造商决定，即使 $\Delta T_{z\,max}$ 的计算结果高于 40 K，污秽试验也可免做，但动作负载试验起始温度应为 8.7.2.3 规定的起始温度与（$\Delta T_{z\,max}$－40 K）之和。

——如确有必要，可在代表一定型号和设计的避雷器上进行试验室污秽试验。在污秽试验期间，应测量每个避雷器元件外部电荷 Q_e 和内部电荷 Q_i。或者，也可以测量总电荷 Q_{tot} 和内部部件温升 ΔT。考虑到在污秽条件下避雷器热特性的随机性，有必要对试验结果进行统计分析。在下列条款中描述的试验结果详细给出了系数 K_{ie}，该系数表示了电荷流向内部并对带电部件加热的趋势。此系数对某种给定的避雷器的型号和设计来说是一个特性参数。

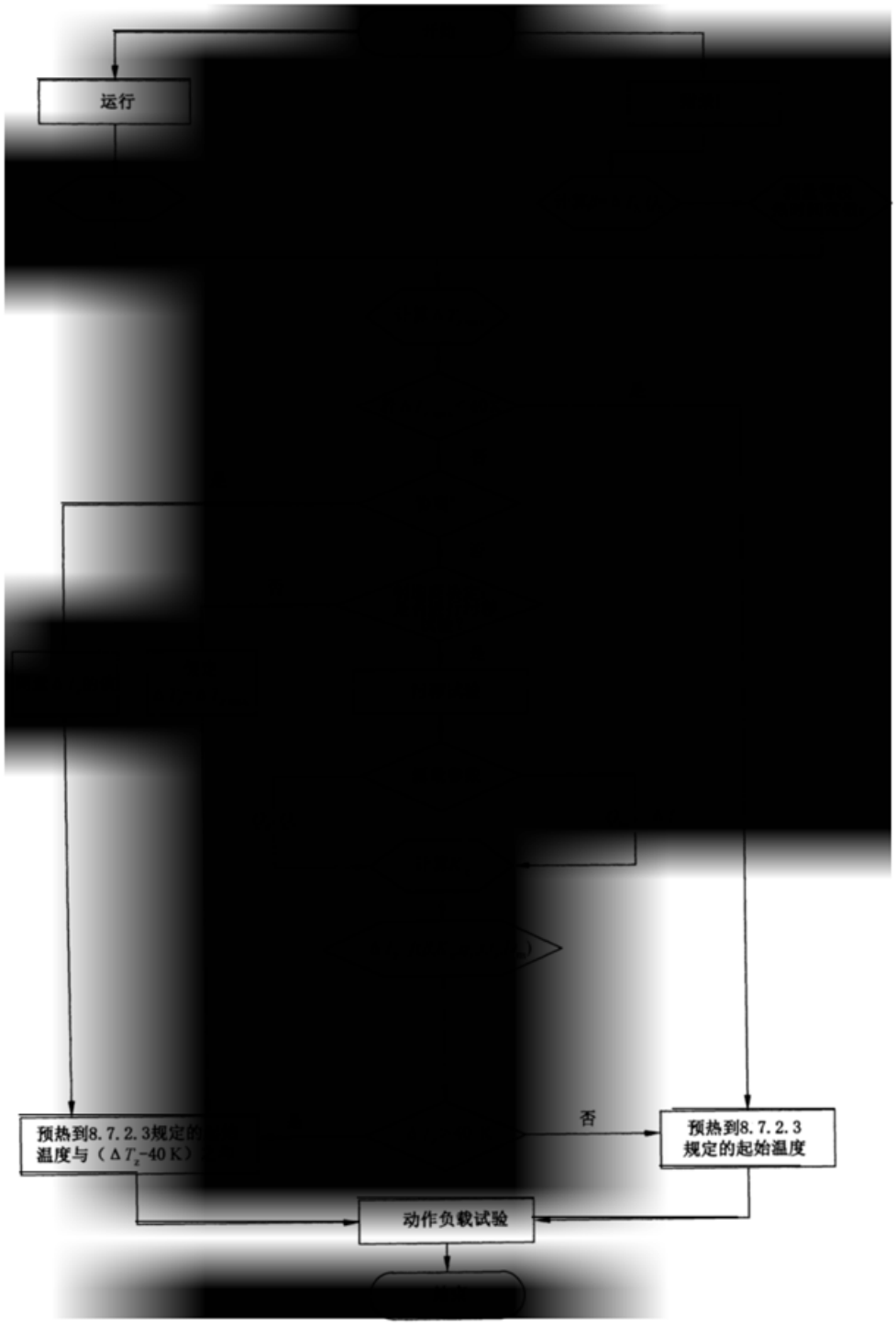
——运行中的预期温升 ΔT_z 作为 q_z、K_{ie}、D_m、t_z、β、和的函数进行了计算。

——热稳定试验的起始温度 ϑ_{start} 在下列判据的基础上进行计算：

——如果 ΔT_z 大于 40 K，则起始温度 ϑ_{start} 为 8.7.2.3 规定的起始温度与（ΔT_z－40）之和；

——如果 ΔT_z 小于或等于 40 K，则起始温度 ϑ_{start} 为 8.7.2.3 规定的起始温度；

——应按在 8.7 种所述的程序用等于 ϑ_{start} 的起始温度进行热稳定试验。



* 供需双方协商(例如:基于在特殊环境下的运行经验)。

图 G.1　确定试品预热温度流程图

G.3　地区污秽度的分级

一个地区污秽度的划分是以预期平均外部电荷 q_z 为基础,以典型的不同污秽度的各地区的测量为

依据。

考虑到流过绝缘子表面的电荷与它的直径是成比例的，q_z 的值用等效直径 1 m 来归一化。

污秽现象的持续时间(t_z)假定如下：

——中等持续时间高强度污秽：2 h；

——长持续时间的污秽：6 h。

依据公式(C.2)，对于避雷器安装地点相应的污秽水平，在以后的计算中将认为 q_z 的值是与最严酷的情况(2 h 或 6 h)相对应的值。

不同污秽区域的 q_z 值在表 G.1 中给出。

表 G.1 不同污秽度的平均外部电荷

污秽程度 (区域[a])	参考统一爬电比距(USCD) mm/kV	q_z：平均外部电荷 C/(h·m)	
		t_z=2 h	t_z=6 h
b-轻	27.8	0.5	0.24
c-中	34.7	3.3	2.4
d-重	43.3	24.0	14.0
e-非常重	53.7	55.0	36.0

注：采用 2 mA 的极限值获得 q_z 值(G.6.3.1)。

[a] 污秽等级(区域)符合 GB/T 26218.1—2010 的 8.3 中规定的污秽等级定义。根据 GB/T 26218.1—2010 和 GB/T 26218.2—2010 的相关的参考统一爬电比距，新的污秽等级“a”没有可用价值。

G.4 预热试验：热时间常数 τ 的测量和 β 的计算

应使用类似于 8.6 规定的与完整避雷器有关的试验程序，但有下列不同：

——加热时间(t_h)应少于 10 min；

——在加热时应测量施加在避雷器上的电荷 Q_z 的；

——τ 是从避雷器的冷却曲线中在 60 ℃到 (22+0.63T_a) ℃之间的时间，这里 T_a 是摄氏环境温度。

参数 β 应按公式(G.1)计算：

$$\beta=\frac{\Delta T_h}{Q_h} \qquad \cdots\cdots(G.1)$$

式中：

ΔT_h ——加热试验期间的温升，单位为开尔文(K)；

Q_h ——加热试验期间施加的电荷，单位为库仑(C)。

加热试验后，要验证加热时间(t_h)少于 0.1×τ，否则，加热试验应用一个较短的时间 t_h 重做试验。

G.5 验证进行污秽试验的必要性

为证实进行污秽试验的必要性，应进行运行最大理论温升($\Delta T_{z\,max}$)的初步计算。此计算假设运行中全部的预期电荷(q_z)都流入内部。在此假设下，$\Delta T_{z\,max}$可从公式(G.2)中得到：

$$\Delta T_{z\,max} = \beta \times q_z \times D_m \times \tau \times (1 - e^{(-\frac{t_z}{\tau})}) \times \left(\frac{U_r - U_{r\,min}}{U_r}\right) \quad \cdots\cdots (G.2)$$

式中：

U_r ——避雷器的额定电压，单位为千伏(kV)；

$U_{r\,min}$ ——避雷器元件中的最小额定电压，单位为千伏(kV)。

如果最大温升 $\Delta T_{z\,max}$ 的计算结果小于 40 K，则不需要进行污秽试验，并且动作负载试验起始温度应为 8.7.2.3 规定的起始温度。如果最大温升 $\Delta T_{z\,max}$ 的计算结果大于或等于 40 K，则应按本附录中所述的方法进行试验，除非供需双方另有协商(例如，依据在特定环境下的运行经验)，污秽试验可以省略。另外，可由制造商决定，即使最大温升 $\Delta T_{z\,max}$ 的计算结果大于 40 K，当热稳定试验的起始温度为8.7.2.3规定的起始温度与($\Delta T_z - 40$)之和时，也可免做污秽试验。

G.6 污秽试验的一般要求

G.6.1 试品

试品应代表与某一类型避雷器相关的最关键设计。

试品的特性应根据表 G.2 给出的判据进行选择。

表 G.2 污秽试验试品的特性

参数	选择判据 (相关设计类型的试品特性)
U_c/U_R	最大
加权不平衡性(WU)[a]	最大
爬电比距[mm/kV]	最小
电阻片横截面积	最小
等效瓷外套直径	最大

[a] 加权不平衡性可由公式(G.3)得到：

$$WU = \max\left(\frac{U_{rk}^2 CD}{CD_k U_r^2}\right) \quad \cdots\cdots (G.3)$$

式中：

U_r ——避雷器的额定电压，单位为千伏(kV)；

U_{rk} ——元件 k 的额定电压，单位为千伏(kV)；

CD ——避雷器的爬电距离，单位为米(m)；

CD_k ——元件 k 的爬电距离，单位为米(m)；

$k = 1, 2, \cdots, n$；

n——避雷器元件的数量。

G.6.2 试验装置

试验装置应符合 IEC 60507:2013 中 6.2 的规定。

G.6.3 测量装置和测量程序

G.6.3.1 电荷的测量

应使用一个合适的装置测量电荷。

对于内部电荷的测量，仅考虑电流的阻性分量：在电荷测量时应消除容性电流的影响。消除容性电流影响方法是波形相减法或超临界点（例如 2 mA，见表 G.1）积分法。

对测量装置的最低要求在表 G.3 中给出。

表 G.3 电荷测量装置的要求

性能	要求
最小电流积分范围	0 mA～500 mA
最小电流分辨率	0.2 mA
最小模拟带宽	0 Hz～2 000 Hz
最小取样频率	1 000 Hz
电荷最大更新周期	1 min
在更新周期内最大残留电容电荷	在新周期内总电荷的 10%
最大总测量不确定度	±10%

对于两元件避雷器，应在导线端和接地端测量其内部和外部电荷。

对于两个以上元件组成的避雷器，应采用下面的步骤：

应在避雷器导线端和接地端测量其内部和外部电荷；

对中间元件，仅测量其外部电荷；

用公式（G.4）求内部电荷的值：

$$Q_i = \frac{(Q_{iT} + Q_{eT}) + (Q_{iB} + Q_{eB})}{2} - Q_e \qquad \cdots\cdots (G.4)$$

式中：

Q_i ——中间元件的内部电荷，单位为库仑（C）；

Q_{iT} ——顶部元件的内部电荷，单位为库仑（C）；

Q_{iB} ——底部元件的内部电荷，单位为库仑（C）；

Q_e ——中间元件的外部电荷，单位为库仑（C）；

Q_{eT} ——顶部元件的外部电荷，单位为库仑（C）；

Q_{eB} ——底部元件的外部电荷，单位为库仑（C）。

G.6.3.2 温度的测量

可用测量避雷器内部部件的温度来代替内部电荷的测量。

在这种情况下，应使用安装在避雷器元件上的传感器来测量温度，每个元件至少安装三个均匀分布的传感器。传感器之间的距离应为 $h/(n+1)$，这里 h 是元件的高度，n 是所使用的传感器的数量。

温度测量装置的最低要求在表 G.4 中给出。

表 G.4 温度测量装置的要求

特性	要求
温度测量范围	20 ℃至 200 ℃
绝对测量不确定度	±1 K
分辨率	≤0.4 K
最大热时间常数	1 min
最小采样速度	1 min^{-1}
注：本试验中的典型温升在 100 K 以下。	

测量内部温度时，仅应在避雷器的接地端测量电荷 Q_{tot}。

G.6.4 试验准备

G.6.4.1 试品的清洗

避雷器外套应仔细清洗以使污渍和油脂都被清洗掉。

清洗后，避雷器的绝缘部分不得用手触摸。

最好将清洗用水加热至 50 ℃，并添加有磷酸三钠或等效清洁剂，之后应用自来水彻底清洗。

如果能观察到大面积连续浸湿，则认为绝缘子的表面是干净的并没有油渍。

G.6.4.2 试品的安装

被试避雷器应是装配完整的，与运行中的一样。在试验中，用于电荷和温度测量的装置对避雷器的性能不应有任何明显的影响。

G.7 试验程序

G.7.1 概述

可以采用 G.7.2 和 G.7.3 种所述试验方法中的一种进行试验。

G.7.2 污浆法

G.7.2.1 总则

G.7.2.1.1 污染物制备

污染物应贮存在一个容器中，使用前应充分搅拌。污浆应包含：

——水；

——膨润土，5 g/每升水；

——未稀释的无离子清洁剂，由壬基-酚-聚乙烯-乙二醇-乙醚组成，或其他类似的长链无离子乙醚，1 g 每升水；

——氯化钠。

污浆的体积电阻率应通过添加氯化钠调整至 400 Ω·cm 至 500 Ω·cm 范围内。

体积电阻率应在 20 ℃温度下测量。如果在体积电阻率测量期间，污浆温度不是 20 ℃，则应进行温

度校正计算。

G.7.2.2 环境条件

试验开始时，避雷器应与试验室空气处于热平衡状态。环境温度应不低于 5 ℃且不高于 40 ℃。

G.7.2.3 避雷器表面的预处理

开始预处理前，测量避雷器的参考电压。

应采用下面的步骤：

a) 在避雷器不带电的情况下，将污浆涂于整只避雷器上，包括伞的下部。污浆层应呈现为一个连续膜，施污最长时间为 10 min；

b) 施污完成 3 min 后，向避雷器施加电压 U_c 持续 10 min；

c) 避雷器应用水清洗干净，然后滴水晾干；

d) 将 a)、b)、c)步骤重复 3 次。

在预处理完成后，避雷器应冷却至环境温度。

为了验证避雷器在预处理过程中无损坏，应测量避雷器的参考电压并将其与预处理前所测得的参考电压进行比较。制造商应规定参考电压的允许变化范围。

预处理完成后应立刻进行污秽试验。

G.7.2.4 试验程序

应按照以下步骤进行试验：

a) 在避雷器不带电的情况下，将污浆涂于整只避雷器上，包括伞的底部。污浆层应呈现为一个连续的膜，施污最长时间为 10 min。

b) 施污完成 3 min 后，向避雷器施加电压 U_c 持续 10 min；在施压时开始测量电荷。

c) 避雷器应用水清洗干净，然后滴水晾干。在进行下一个试验之前，应放置避雷器的内部部件冷却至平均环境温度±2 K。如果没有测量内部部件的温度，为确保避雷器冷却至接近环境温度，连续两次试验之间的最小时间间隔应为 2τ。经制造商允许，可采用任何方法将避雷器冷却至环境温度。为了减少等待的时间，几只避雷器可以并行进行试验。

d) 将 a)、b)、c)步骤重复 5 次。

e) 应按照 C.8 中规定的方法对预期温升 ΔT_z 进行估算。

f) 如果 ΔT_z 的值低于 40 K，进一步的污秽试验则不要求进行，且动作负载试验的起始温度 ϑ_{start} 应是 8.7.2.3 规定的起始温度。如果 ΔT_z 的值高于或等于 40 K，应再重复步骤 a)、b)和 c)5 次并且按 C.8 规定的方法计算预期温升 ΔT_z。

注：每个循环之后需清洗避雷器，以去除上次试验循环的影响，这样可改进试验循环之间的统计独立性。

因其他原因选择的持续运行电压远高于系统相-地的运行电压，则经供需双方协商试验可以在相-地运行电压下进行。

G.7.3 盐雾法

G.7.3.1 总则

G.7.3.1.1 污染物准备

应按 IEC 60507:2013 的第 7 章准备盐溶液：盐溶液由工业纯氯化钠(NaCl)和自来水制成。

所用盐度应比避雷器规定的耐盐度小两级。盐度值的公差应与 IEC 60507:2013 的第 7 章一致。

应用测量电导率的方法进行盐度的测量，并用与 IEC 60507:2013 一致的方法对温度进行修正。

G.7.3.1.2 喷雾系统

产生盐雾的系统应与 IEC 60507:2013 第 8 章的规定一致。

G.7.3.1.3 避雷器表面的预处理

开始预处理前，测量避雷器的参考电压。

预处理每次应在避雷器的一个元件上进行，如果在已安装好的避雷器的元件上进行预处理时，其他元件应用导线外部短路，并且不带电。

对元件应施加电压 U_c，并应在盐雾作用下 20 min 或直至闪络。

如果不发生闪络，则电压应升高至避雷器元件的额定电压，时间为 5 s 或直至闪络，然后再将电压降至 U_c 值 5 min。重复该试验直至发生 8 次闪络。

为了不增加电压循环的次数而获得 8 次闪络，预处理应优先在盐度值高于元件预期最大耐受水平下进行。

经供需双方协商，预处理也可以在无内部零部件的避雷器外套上进行。

每个元件预处理后，应将盐雾清理掉并且用自来水将避雷器清洗干净。

在预处理过程结束后，避雷器应冷却到环境温度。

为验证避雷器在预处理过程中没有发生损坏，应测量避雷器的参考电压，并将其与预处理之前所测得的参考电压进行对比。制造商应规定参考电压的允许变化范围。

预处理完成后，应立刻进行盐雾试验。

试验开始时，避雷器应与试验室空气处于热平衡状态，环境温度应不低于 5 ℃但不高于 40 ℃，其与水溶液的温度差不应超过 15 K。

G.7.3.2 试验程序

应采用下面的步骤：

a) 应用自来水将避雷器均匀的清洗，当避雷器全部淋湿时，对其施加试验电压 U_c，因其他原因选择的持续运行电压远高于系统相-地的运行电压，则经供需双方协商，可在相-地运行电压下进行。

b) 避雷器施压至规定的试验电压时，应将盐溶液泵和空气压缩机接通。当喷嘴处压缩空气达到正常压力时，则认为试验开始。此时启动电荷测量系统。

c) 15 min 后停止施雾，避雷器在通电状态下再保持 15 min。

d) 在进行下一个循环之前，应将盐雾清理掉并允许将避雷器冷却至环境温度。为确保避雷器已冷却至接近环境温度，连续两次试验之间的最小时间相隔应为 2τ。经制造商允许，任何将避雷器冷却至环境温度的方法均是允许的。为了减少等待的时间，几只避雷器可以并行试验。

e) 将 a)、b)、c)和 d)步骤应重复 5 次。

f) 应按 F.8 规定的方法对预期温升 ΔT_z 进行计算。

g) 如果 ΔT_z 低于 40 K，则不要求进一步的污秽试验。动作负载试验的起始温度 T_{OD}应是 60 ℃。如果 ΔT_z 值高于或等于 40 K，步骤 a)、b)、c)和 d)应重复 5 次以上并且按 C.8 规定的方法计算预期温升 ΔT_z。

注 1：每个循环之后需清洗避雷器，以去除上次试验循环的影响，这样可以改进试验循环之间的统计独立性。

注 2：因其他原因选择的持续运行电压远高于系统相-地的运行电压，则经供需双方协商试验可以在相-地运行电压下进行。

G.8 试验结果的评价

G.8.1 K_{ie}的计算

对试验循环的每一次重复，K_n 值应按公式(G.5)计算：

$$K_n = \frac{\sum \frac{Q_{ik} \times U_{rk}}{U_r}}{Q_{e\,max}} \qquad \cdots\cdots (G.5)$$

式中：

$Q_{e\,max}$——外部电荷水平的最大值，单位为库仑(C)；

Q_{ik} ——相应于元件 k 的内部电荷，单位为库仑(C)；

U_{rk} ——元件 k 的额定电压，单位为千伏(kV)；

U_r ——避雷器额定电压，单位为千伏(kV)；

$k=1,2,\cdots,n$；

n——避雷器单元的数量。

如果用测量内部部件温度来代替内部电荷，公式(G.5)由公式(G.6)代替：

$$K_n = \frac{\sum \left(\frac{\Delta T_k \times U_{rk}}{\beta U_r}\right)}{Q_{e\,max}} \qquad \cdots\cdots (G.6)$$

这里 ΔT_k 是相应于元件 k 的温升，是由该元件不同点测得的最大温度的算术平均值计算得到的。

注：如果内部温升 ΔT_k 是试验期间直接测量的，$Q_{e\,max}$值可按公式(G.7)计算：

$$Q_{e\,max} = \max\left(Q_{tot} - \frac{\Delta T_k}{\beta}\right) \qquad \cdots\cdots (G.7)$$

平均值 K_{iem}是 K_n 值的算术平均值，σ 是 K_n 值的标准偏差，统计比率 K_{ie}按公式(G.8)计算：

$$K_{ie} = K_{iem} + c\sigma \qquad \cdots\cdots (G.8)$$

式中：

$c=2$　　基于 10 次试验循环测量为基础来进行计算；

$c=2.9$　基于用 5 次试验循环测量为基础来进行计算。

G.8.2 运行中预期温升 ΔT_z 的计算

预期温升 ΔT_z 应按公式(G.9)计算：

$$\Delta T_z = \beta \times K_{ie} \times q_z \times D_m \tau \left[1 - e^{\left(-\frac{t_z}{\tau}\right)}\right] \qquad \cdots\cdots (G.9)$$

G.8.3 热稳定试验的准备

热稳定试验的起始温度 ϑ_{start}的计算依据下列判据：

a) 如果 ΔT_z 大于 40 K，则 ϑ_{start}为 8.7.2.3 规定的起始温度与(ΔT_z－40 K)之和；

b) 如果 ΔT_z 小于或等于 40 K，则 ϑ_{start}为 8.7.2.3 规定起始温度。

热稳定试验应按 8.7 中规定的方法进行，起始温度等于 ϑ_{start}。

G.9 示例

G.9.1 概述

下例为应用该试验程序的示例，试验避雷器额定值如下：

U_r=198 kV；

$U_{r\,min}$=90 kV；

U_c=156 kV；

试验电压 142 kV(见注)；

单元数量 2；

U_r(底部单元)=90 kV；

U_r(顶部单元)=108 kV；

D_m=198 mm。

注：试验电压值选取与 G.7.3.2 的注 2 一致。

G.9.2 预加热试验

预加热试验结果如下：

τ=1.5 h；

β=19 K/ C(即，需要 5.3 C 的电荷把避雷器从 20 ℃加热至 140 ℃)。

G.9.3 污秽试验的验证

由公式(G.2)计算 $\Delta T_{z\,max}$的计算结果在表 G.5 中给出。

表 G.5 $\Delta T_{z\,max}$的计算值

污秽程度 (区域[a])	污秽持续时间 h	$\Delta T_{z\,max}$ K	进行污秽试验的必要性
b	2	1.1	否
	6	0.7	
c	2	7.5	否
	6	7.3	
d	2	54.5	是
	6	42.3	
e	2	124.7	是
	6	108.8	

[a] 污秽等级(区域)符合 GB/T 26218.1—2010 的 8.3 中规定的污秽等级定义。根据 GB/T 26218.1—2010 和 GB/T 26218.2—2010 相关的参考统一爬电比距，新的污秽等级“a”没有可用价值。

因此，应用在 b 和 c 污秽地区的避雷器不需要进行污秽试验，动作负载试验的起始温度应取 60 ℃。

G.9.4 盐雾试验

在 14 kg/m^3 的盐度时，盐雾试验结果见表 G.6。

表 G.6 盐雾试验结果

试验序号	Q_{ebot}[a] C	Q_{etop}[b] C	Q_{itop}[c] C	Q_{ibot}[d] C	K_n
1	6.7	4.1	2.3	0	0.18
2	5.9	4.2	1.3	0	0.12
3	6.4	4.3	1.8	0	0.15
4	6.7	4.5	2.2	0	0.18
5	5.9	3.5	2.2	0	0.20
6	5.7	3.6	2	0	0.19
7	6.2	3.5	2.4	0	0.21
8	6.0	3.5	2.4	0	0.21
9	6.8	4.0	2.6	0	0.20
10	6.2	3.8	2.1	0	0.18

[a] Q_{ebot}——在底部元件接地端子处所测的表面电荷。
[b] Q_{ibot}——在底部元件接地端子处所测的内部电荷。
[c] Q_{etop}——在顶部元件线路端子处所测的表面电荷。
[d] Q_{etop}——在顶部元件线路端子处所测的内部电荷。

G.9.5 5 次循环试验后计算

G.9.5.1 计算 K_{ie}

在首个 5 次污秽循环试验中对所获得的数据整理，给出下列结果：

$K_{iem}=0.166$(即，K_n 算术平均值)$\sigma=0.031$；

$\sigma=0.031$(即，K_n 值的标准偏差)。

统计比率按公式(G.10)计算 K_{ie}：

$$K_{ie}=0.166+2.9\times0.031=0.256 \qquad \cdots\cdots(G.10)$$

G.9.5.2 计算 ΔT_z 和 ϑ_{start}

不同污秽地区的运行中的预期温升 ΔT_z(见 G.8.2)的计算在表 G.7 中给出。

表 G.7 5 次循环后本例 ΔT_z 和 ϑ_{start} 的计算值

污秽地区	污秽持续时间 h	ΔT_z K	ϑ_{start} ℃
d	2	26	60
	6	20	60
e	2	59	79
	6	51	71

注：污秽等级(区域)符合 GB/T 26218.1—2010 的 8.3 中规定的污秽等级定义。根据 GB/T 26218.1—2010 和 GB/T 26218.2—2010 相关的参考统一爬电比距，新的污秽等级“a”没有可用价值。

因此，对应用于 d 级污秽地区的避雷器不需进行进一步的污秽试验，并且热稳定试验的起始温度应为 60 ℃。对于 e 级污秽地区的避雷器，应再进行 5 次循环的污秽试验。

G.9.6 10 次循环试验后计算

G.9.6.1 计算 K_{ie}

在首个 10 次循环污秽试验中对所获得的数据整理，给出下列结果：

$K_{iem}=0.182$（即，K_n 算术平均值）；

$\sigma=0.028$（即，K_n 值的标准偏差）。

统计比率 K_{ie} 按公式(G.11)计算：

$$K_{ie}=0.182+2\times0.028=0.238 \qquad \text{(G.11)}$$

G.9.6.2 计算 ΔT_z 和 ϑ_{start}

运行预期温升 ΔT_z（见 G.8.2）的计算以及不同污秽地区热稳定试验起始温度 ϑ_{start}（见 G.8.3）的计算（在这种情况下，仅需对 e 级污秽地区的避雷器进行计算）在表 G.8 中给出。

表 G.8 10 次循环后本例 ΔT_z 和 ϑ_{start} 的计算值

污秽地区	污秽事件持续时间 h	ΔT_z K	ϑ_{start} ℃
e	2	54	74
	6	47	67

注：污秽等级（区域）符合 GB/T 26218.1—2010 的 8.3 中规定的污秽等级定义。根据 GB/T 26218.1—2010 和 GB/T 26218.2—2010 相关的参考统一爬电比距，新的污秽等级“a”没有可用价值。

因此，对应于 e 级污秽地区的避雷器而言，其热稳定试验起始温度应为 74 ℃。

附 录 H
（资料性附录）
包装、运输及保管

H.1 包装

避雷器的包装要保证在运输中，不因包装不良而使产品损坏。避雷器的包装符合 JB/T 9673 的规定，在包装箱上标明：

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） “向上”“怕雨”等字样和标志，字样和标志符合 GB/T 191—2008 的要求。

H.2 随产品提供的技术文件

随产品提供的技术文件如下：

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）。

注：其他随产品提供的信息参见附录 Q。

H.3 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，制造厂要在包装箱上明确标志。

复合外套避雷器在运输时严禁与酸碱等腐蚀性物品放在同一车厢内运输。保管时不可与酸碱等腐蚀性物品放在同一库房中。

附 录 I
（规范性附录）
热等价性试验

I.1 总则

在涉及热稳定的相关试验中，使用的比例单元应与整只避雷器热等价。为验证等价性，应按下列程序进行试验。首先应对整只避雷器或避雷器元件进行试验，该避雷器元件是多元件避雷器中单位长度装有电阻片最多的元件，然后对比例单元进行试验。

I.2 整只避雷器或元件的试验

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，置于环境温度为 20 ℃±15 K 的静止空气中，试验过程中环境温度变化应保持±3 K 以内。应将热电偶和/或温度传感器贴在电阻片上，例如使用光纤技术测量温度的传感装置。测量点应足够多以便计算出平均温度，或者制造商可以仅选择距顶部距离为避雷器或避雷器元件长度的 1/2～1/3 之间的一点作为测温点。后一种方法将得出一个保守的结果，因此可作为一种简化方法。

通过施加幅值大于工频参考电压的工频电压，使电阻片温度在不超过 1 h 内加热到至少 140 ℃。如果测量多片电阻片时，温度应取平均值。如仅测量 1/2～1/3 的某一点，则温度取该点温度值。

在内部设计为多柱的情况下，可能需采取措施使所有电阻片柱达到相同的温度，例如，通过在每个元件的每柱上附加一个或多个线性电阻，线性电阻质量不应超过相应柱中电阻片质量的 5%，并且应将这些线性电阻直接装在电阻片柱的顶部或底部。如果不能采取内部装线性电阻的办法，另一种选择是在金属法兰上装小套管，将线性电阻放置在套管外。

对所有电阻片柱都应测温度，使用平均温度作为柱的温度。平均温度为 140 ℃时，在各柱同一高度处所测得的最高温度与最低温度之差不得大于 20 K。

当达到预定温度时，切断电源，测定不小于 2 h 的冷却时间曲线，至少每分钟测一次温度，对于多点测量情况，应绘制出平均温度-时间曲线。

I.3 热比例单元试验

应在静止空气的环境中对热比例单元进行试验，与整只避雷器或元件试验相同的方法进行。

环境温度应保持在整只避雷器或避雷器元件试验过程中环境温度的±10 K 范围内，在试验过程中环境温度偏差应在±3 K 范围内。施加工频电压加热比例单元获得高于环境温度的温升，并且在整只避雷器或元件试验温升值的±10 K 以内。试验所选的电压值应使比例单元的加热时间和整只避雷器或元件的加热时间相近。

如果比例单元仅为一柱，串有多片电阻片，应测量所有电阻片的温度，计算出其平均温度，与整只避雷器进行比较。

对于多柱电阻片柱并联结构，如果通过施加工频电流进行加热，如达到最高温度，各柱间最低温度和最高温度差不能满足小于 20 K 时，应采用以下两种方法的一种进行试验：

a） 可通过单独的套管与交流电压源连接，用外部线性电阻来平衡各柱间的电流分布，不允许用内

串线性电阻来平衡每柱温度；

b) 可通过按一定时间间隔的长持续电流冲击来进行加热，总的加热时间与前述避雷器或元件的加热时间相同。

通过测量每柱上的几个电阻片的温度得出其平均温度，或者只测量位于比例单元顶部 1/2～1/3 之间的某个电阻片的温度。当比例单元达到预定温度时应切断电源，并测出时间不少于 2 h 的冷却时间曲线。

I.4 相对温升

应绘出整只避雷器（或元件）和比例单元采用相对温升的冷却曲线。相对温升 T_{rel} 由下式给出：

$$T_{rel}=\frac{(T-T_A)}{(T_0-T_A)} \qquad \cdots\cdots(\text{I.1})$$

式中：

T ——冷却过程中测得的温度，单位为摄氏度（℃）；

T_A ——试验过程中的平均环境温度，单位为摄氏度（℃）；

T_0 ——最高加热温度，单位为摄氏度（℃）。

为了证实比例单元的热等价性，在冷却曲线的所有时刻，比例单元的相对温升应等于或者高于整只避雷器或元件的相对温升。

I.5 起始温度确定

在测得的冷却曲线任何时刻点，如果测得的比例单元冷却曲线比整只避雷器或元件的冷却曲线低，就需要对相对温升 T_{rel} 增加补偿因数 k 进行修正。以便在整个冷却阶段，比例单元的冷却曲线不低于整只避雷器或元件的冷却曲线。在热稳定试验时，起始温度也应相应增加，增加值：$k\times(T_0-T_A)$，其中 (T_0-T_A) 是在比例单元或整只避雷器（或元件）试验中的最大温差值。

附 录 J
（资料性附录）
老化试验程序—阿仑纽斯定律

阿仑纽斯定律对于电阻片寿命的期望值给出了很好的置信度。它是现行的老化试验程序（见 8.4）的基础。根据标准，金属氧化物避雷器运行的正常环境温度上限为 40 ℃。对于某些避雷器，如外壳不带电避雷器或液浸式避雷器，避雷器在其介质中运行的环境温度上限较高（分别为＋65 ℃及＋95 ℃）。

老化的加速率可以通过加速系数 $AF_T=2.5^{(\Delta T/10)}$ 进行合理地估算，式中 ΔT 是试验温度与相应产品的环境温度的上限的温差。

表 J.1 提供了通过在 115 ℃下 1 000 h 的老化试验（见 8.4）给出最小预测寿命的例子。

表 J.1 最小预测寿命

环境温度的上限 ℃	最小预测寿命 年
40	110
65	11
95	0.7
注：最小预测寿命为加速系数乘以 1 000 h。	

对于最高的环境温度，1 000 h 试验不能给出最小预期寿命的足够置信度。为了改善这一状况，考虑增加试验温度，试验电压或试验持续时间。

通常，试验温度超过 115 ℃是不可接受，因为这可能改变老化的机理，致使阿仑纽斯定律不适用。增加试验电压也是不可接受，因为这个因素作为加速因素不确定。

唯一剩下的可能性是增加试验时间，表 J.2 给出了试验时间与不同环境温度上限等效时间的关系。

表 J.2 115 ℃下的试验时间与在环境温度上限的等效时间关系

环境温度的上限 ℃	在 115 ℃下的试验时间 h	在环境温度上限的等效时间 年
40	1 000	110
65	2 000	22
95	7 000	5

如果用户不能接受在持续使用温度下的等效时间，在供需双方协商一致后，可以增加试验时间。或者，如果能够证明阿仑纽斯定律仍然适用，经供需双方协商一致后，可以使用较高的温度。

附 录 K
（规范性附录）
电压分布试验

K.1 总则

本试验是在避雷器持续运行电压下，用电流法测量避雷器中电阻片的电压分布。以确定避雷器中电阻片和带电体的杂散电容引起的电压分布不均匀系数。

K.2 试验电源

试验电源容量应满足短路电流不小于 1 A（有效值）。

K.3 测量系统

测量系统的不确定度应小于1%，应给出所有输入电流和输出电流的校正曲线。试验时应按照实际校正曲线确定通过探头的电流。

K.4 试品

试验应在完整的避雷器上进行，避雷器应是清洁干燥的。试验时的试品安装高度不应超过现场实际试品安装高度。试品距墙和房顶的距离不应小于 2.5 倍试品的高度。

K.5 试验程序

试验的环境温度应为(25±10)℃。

K.5.1 探头置于被测电阻片的下端，并应紧贴电阻片。探头的数量应不影响电阻片的电压分布。试验时可同时放入几个探头。

K.5.2 试品装好后，在避雷器持续运行电压下分别测量通过各探头的全电流值。

K.5.3 沿避雷器电阻片高度每隔 20 cm 至少测量一片电阻片的全电流。在电压分布最高区域，应每隔 10 cm 至少测量一片电阻片的全电流。

K.5.4 试验完成后，打开试品，分别测量每片电阻片的电容及高度。

K.6 避雷器电压分布不均匀系数

K.6.1 电阻片上电压可按实测全电流值与被测电阻片全电流一电压曲线中得出。当确认通过电阻片的全电流中，$I_c \geqslant 2I_r$ 时，电阻片上的电压可按式(K.1)计算：

$$U_i = \frac{I_{ci}}{\sqrt{2} \times 2\pi f C_i} \qquad \cdots\cdots(K.1)$$

式中：

U_i ——被测电阻片上的电压(有效值),单位为千伏(kV);

I_{ci} ——通过电阻片的全电流(峰值),单位为毫安(mA);

f ——频率,单位为赫兹(Hz);

C_i ——被测电阻片的电容,单位为微法(μF)。

K.6.2 电阻片是任意组装时(包括单柱、多柱及并有电容的避雷器),避雷器电压分布不均匀系数 K 由式(K.2)计算:

$$K=(1+K_V)\times(1+3\times K_C)-1 \qquad \cdots\cdots(\text{K.2})$$

$$K_{Vi}=\frac{\left(U_i\times\frac{C_i}{\overline{C}}\right)}{U}-1 \qquad \cdots\cdots(\text{K.3})$$

$$K_C=\frac{\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(C_i-\overline{C})^2}}{\overline{C}} \qquad \cdots\cdots(\text{K.4})$$

式中:

K_{Vi}——杂散电容引起的电压分布不均匀系数;

K_V——杂散电容引起的最大电压分布不均匀系数;

K_C——电阻片电容分散引起的电压分布不均匀系数;

U_i ——第 i 片电压,由公式(K.1)决定,i 从 1 到 n,单位为千伏(kV);

$\overline{C}$ ——电阻片的平均电容(折算成平均厚度时的电容),单位为微法(μF);

C_i ——第 i 片电阻片电容(折算成平均厚度时的电容),单位为微法(μF);

U ——U_i 的平均值,单位为千伏(kV)。

附 录 L
（资料性附录）
避雷器电压分布计算导则

L.1 总则

金属氧化物避雷器的电压分布由电阻片的电容和电阻、电阻片柱和金属法兰对地和带电部件之间的杂散电容以及边界条件（施加电压，周围布置及施加到邻近的其他物体上的电压）所决定。杂散电容造成沿电阻片柱的不均匀电压分布，最大的电压应力通常出现在避雷器的上部部件。

对于加速老化试验程序（见 8.4），试验电压 U_{cr} 是沿电阻片柱出现的最大电压应力。电压分布通常可以采用计算程序通过对电场和电路计算来确定。然而，这些计算结果取决于避雷器的等效及主要的边界条件。本附录的目的是根据边界条件模型的一般信息，提供描述避雷器的几何形状及其电气特性的基本导则。

由于避雷器安装的复杂性及多变性，经常需要简化避雷器几何形状和边界条件，使一个给定的避雷器设计的电压分布便于计算。在 L.2 中讨论了避雷器几何形状不同程度的简化，在 L.3 中提出了在三相安装方式下边界条件的简化表示。对于其他避雷器设计模型，例如 GIS 避雷器，没有给出导则，因为其几何形状及边界条件通常很好确定。

在 L.4 中描述了根据电阻片柱电气再现的复杂程度，运用了两种不同方法的计算程序。

在 L.5 中提出典型的户外安装方式避雷器电场计算的例子。

L.2 避雷器建模

因为杂散电容对于沿电阻片柱的电压分布非常重要，因此要考虑这些杂散电容对不同避雷器模型简化的影响。利用避雷器的轴对称特点，根据避雷器模型的简化程度，下面给出进行一系列电场计算的结果。

电阻片柱，包括任何金属垫块，用它的实际尺寸及介电常数来表示。用较大的直径和相对减小的介电常数来“等效”电阻片柱会导致比较高的最大电压应力。同样，用没有垫块以及相对加大的介电常数“等效”柱来代替实际电阻片/垫块柱，也会导致较高的最大电压应力。

外套可用圆筒来表示，其内径等于实际外套的内径，壁厚等于实际外套的壁厚。介电常数是实际外套材料（例如瓷或复合材料）的介电常数。因为伞裙对电压分布的影响较小，所以伞裙可以省略。

绝缘外套及电阻片柱之间的材料（例如：气体或其他填充材料）要用它的实际尺寸及介电常数来建模。

金属法兰可用圆柱来表示，其直径等于实际法兰的最大外径，高度等于实际法兰的高度。

均压环可用具有相同尺寸的圆环表示，圆环的位置与实际的均压环的位置相同。忽略支撑部分，因为它无法用轴对称模型来表示，可能导致对最大电压应力的过高估计，在轴对称，三维模型中，支撑元件的表示方法将在 L.5 中讨论。

如果采用底座，可以用圆柱来表示，其截面足以容纳实际底座的最大截面，高度等于实际底座高度。降低底座的高度导致避雷器上部有较高的最大电压应力。

高压导线要用垂直的圆导体来表示，其直径不大于实际导线的直径。省去高压导线会导致避雷器

上部较高的最大电压应力。

L.3 边界条件建模

对于典型的三相户外安装的避雷器，例如在变电站内，其边界条件由与接地构架及邻近相的距离来确定。通常，这是一个真实的三维电场问题，要考虑施加电压的大小及相位。

通过将原来的三相、三维(3D)布局简化为等效的单相、轴对称布局，可以简化计算程序，它可以用普通的二维(2D)计算软件来计算。通过模拟避雷器在接地圆筒的中心位置获得等效的轴对称结构，接地圆筒的半径由制造商推荐的最小相—地距离来确定。接地圆筒的高度为避雷器加上底座总高的1.5倍。

注：该等效轴对称结构对于典型的三相安装方式是有效的，其中三只避雷器位于一条直线，与接地结构平行。距离等于如图 L.1 所示推荐的最小相—地距离和推荐的最小相—相距离。

L.4 计算程序

如 L.4.1 及 L.4.2 中所述，根据电阻片柱电气特性的表示，计算程序可有两种不同的方法。全电容表示法(见 L.4.1)相对于阻容结合表示法(见 L.4.2)，得到比较保守的结果，后者给出较低但更符合实际情况的应力。任何其他导致相同或更保守的计算程序也可采用。

L.4.1 电阻片柱的电容表示法

在这种情况下，电阻片柱完全用它的电容(介电常数)来表示，忽略电阻特性的影响。只要能够证明相应于试验电压 U_{ct} 的最大电压应力是近似保守的，其试验电压 U_{ct} 低于电阻片的参考电压，就可以认为它是合理的。确定的最大电压应力的轴向距离不超过避雷器总高的 3%。

L.4.2 电阻片柱的阻容表示法

电阻片柱是用它的电容并联的非线性电阻特性来表示。对比仅考虑电容更为保守的表示法，这种电阻片柱表示的结果更符合实际的最大电压应力。

首先，进行电容电场计算以确定对地的杂散电容。其次，引入电阻特性并通过电路分析计算电压分布。由于温度对电阻的影响，通常需要进行迭代计算程序。然而，采用＋20 ℃下的恒定电阻特性作为合理而保守近似值。

图 L.2 所示为避雷器简化的多阶等效电路图。通过电路分析程序且考虑了电容及电阻的影响来确定电压分布。避雷器用与电压有关的电阻、非线性电阻片柱的电容及对地的杂散电容来模拟。等值回路的每一段可表示为单个电阻片(极限的情况下)或者电阻片柱的一个单元。每个单元的长度不超过整个避雷器长度的 3%。

依据 L.4.1，通过全电容电场计算得到节点电压，推导对地的杂散电容公式如下：

$$C_{e,x}=\frac{(U_{x+1}-U_x)\times C_{MO,x+1}-(U_x-U_{x-1})\times C_{MO,x}}{U_x}\ (x=1,2,\cdots,n-1) \qquad \cdots\cdots(L.1)$$

式中：

U_x ——在节点 x 的电压，单位为千伏(kV)；

$C_{MO,x}$ ——在单元 x 的电容，单位为微法(μF)；

$C_{e,x}$ ——在节点 x 的对地杂散电容，单位为微法(μF)；

n ——单元数。

注：在某些情况下，计算结果可能为负值。这是选择模型的结果，其所有的杂散电容都接地。通过使用杂散电容不同表示的其他模型，负值可以避免。

L.4.3 确定 U_{ct}

用计算的沿电阻片柱总长度(加电压 $U=U_c$)的最大电压应力除以沿同样长度的平均电压应力来确定加速老化程序(见 8.4)中 U_{ct} 与 U_c 的比值。

L.5 计算例子

实例为利用两种不同的计算方法对典型的金属氧化物避雷器进行沿轴向电压分布计算的结果：有限元法(FEM)及边界元法(BEM)。有限元法仅仅适用于 2D 计算，而边界元法用于 2D 及 3D 计算。

计算的实例采用了全电容表示法以及阻容表示法进行计算，在计算中使用的避雷器模型是典型多元件瓷外套避雷器的简化模型[见图 L.3a)]。

L.5.1 避雷器模型和边界条件

避雷器的模型是按照 L.2 推荐的方法进行简化的，但均压环是例外，如下所述均压环采用了不同的方法：

假定典型的避雷器装配有一个均压环及 4 个支撑均压环的元件，如图 L.3a)所示。图 L.3b)所示对应于均压环及其支撑件的不同简化程度而采用的不同表示法。第一个模型是利用一个没有支撑的均压环，应用在轴对称 2D 及 3D 计算中(分别为例 A 及例 D)。第二个模型用于研究在轴对称计算中添加“虚拟”均压环的可能性，以仿真均压环支撑的影响。并且进行了 2D 及 3D 的计算(分别为例 B 及例 E)。第三个模型是包括有支撑的均压环的三维表示法，仅用于 3D 计算(例 F)。

“等效”电阻片柱的相对介电常数选为 800，而瓷外套的相对介电常数设定为 5。边界条件是按照 L.3 进行选择的，也就是避雷器位于接地的圆筒中，其半径按最小距离要求来确定。

L.5.2 电阻片的电阻影响

L.4.2 介绍了金属氧化物非线性电阻片的电阻影响。图 L.4 所示为用于计算的非线性电阻特性。用包含“虚拟的”均压环(例 C)的 2D 计算与例 B 比较，研究电阻的影响。用包含支撑件(例 G)的 3D 计算与例 F 比较，研究电阻的影响。

由于电阻特性而引起的非线性效应，有必要在给定的电压水平下进行阻容计算。作为计算的例子，假设 $U_c=333$ kV 有效值(471 kV 峰值)，频率 50 Hz。

L.5.3 电场计算的结果和结论

表 L.1 概述了对于不同的例子(A－G)，在每一个元件中，电阻片柱上的最大电压应力计算结果。电压应力表示为电阻片柱每米长度承担 U_c 的百分比。假设 $U_c=100\%$时，对避雷器施加电压，产生的平均电压应力为 34.7%/m。表 L.1 中的结果是利用不同的 FEM 及 BEM 计算软件进行多次计算的平均值。期望误差为 1%/m 至 2%/m。三个单元中的最大电压应力用 U_{ct}/U_c 的比值表示，并用其来确定加速老化试验(见 L.4.3)的试验电压。对于例 B，沿避雷器柱电压应力的详细计算结果，在图 L.5 中给出。

总之，可以得出的结论是 2D 及 3D 计算可得到相似的结果(例 A 与例 D 比较，例 B 与例 E 比较)。然而，利用 3D 计算方法时，计算时间要长若干个数量级。

参照在前节中讨论的避雷器建模中不同的简化方法，从表 L.1 中可以推导出一些通常的结论：

在 3D 计算中（例 A 和例 D 与例 F 比较），如果包括了均压环的支撑件，顶部元件计算的电压应力要明显的低一些；

如果考虑了电阻的影响（例 B 与例 C 比较，例 F 与例 G 比较），在 2D 及 3D 两种计算中，所计算的应力结果都会进一步降低；

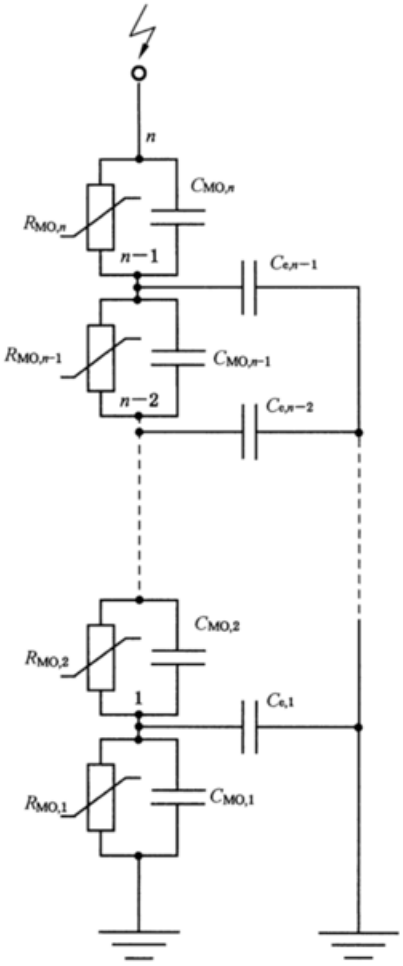
均压环支撑件的影响可以通过在轴对称模型中引入“虚拟”均压环来进行模拟（例 B 与例 F 比较，例 C 与例 G 比较）。然而，根据这些结果，不能确定“虚拟”均压环的尺寸和位置的一般规律。

表 L.1　计算示例的结果

避雷器模型	案例	最大电压应力			最大比值
		上节元件 %/m	中间元件 %/m	下节元件 %/m	U_{cr}/U_c p.u.
2D 计算					
一个均压环	A	50	39	26	1.44
两个均压环	B	44	40	27	1.27
两个均压环，电阻影响	C	41	39	29	1.18
3D 计算					
一个均压环	D	50	37	27	1.44
两个均压环	E	43	38	28	1.24
一个均压环加四个支撑	F	44	39	27	1.27
[redacted]					1.18

[redacted]

图 L.1　典型的三相避雷器安装方式



图例：

$R_{MO,x}$——x 单元的电压相关的电阻；

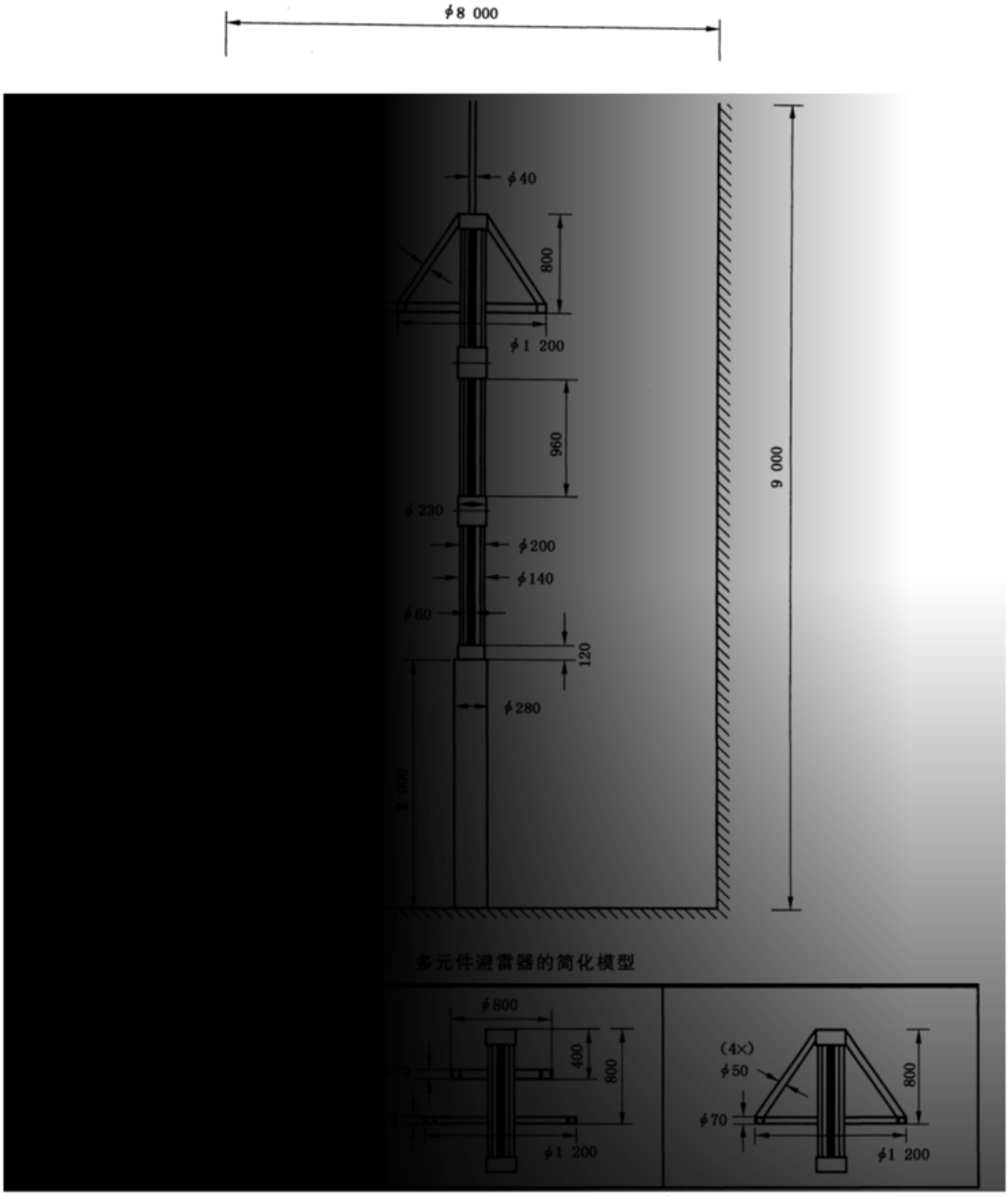
$C_{MO,x}$——x 单元的电容；

$C_{e,x}$ ——节点 x 的对地杂散电容；

n ——单元数。

图 L.2 避雷器的简化多阶等效回路

单位为毫米



例A,D　　例B,C,E　　例F,G

b) 均压环的不同表示法

图 L.3 避雷器模型的几何图形

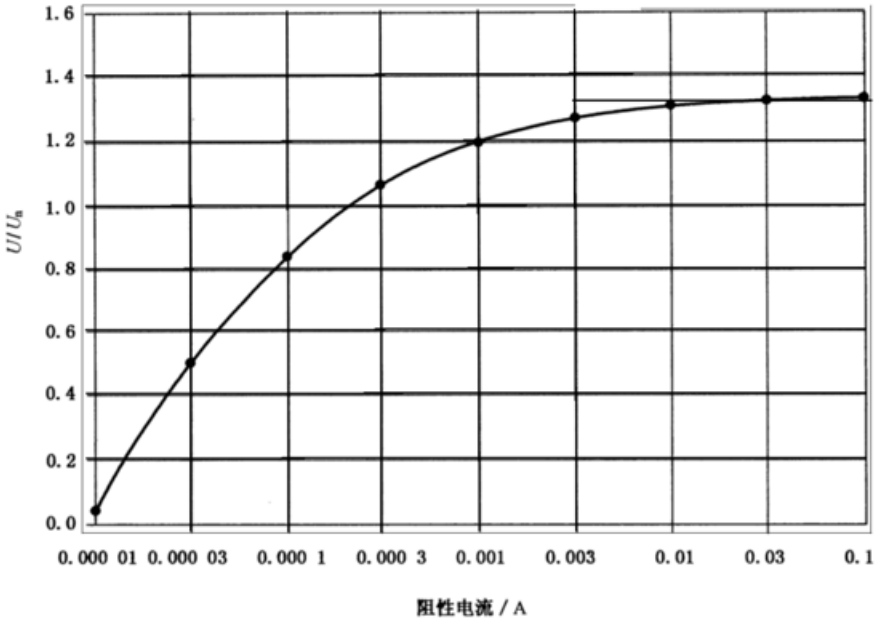


图 L.4　20 ℃下小电流区域中电阻片的伏安特性示例

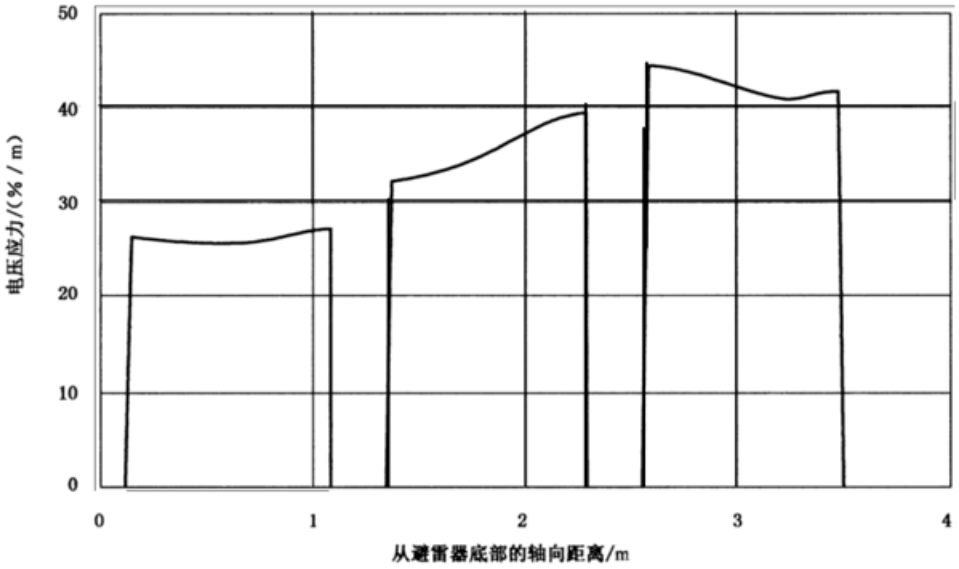


图 L.5　例 B 中计算所得沿电阻片柱的电压应力

附 录 M
（资料性附录）
基于线路放电等级的能量分类与基于动作负载试验的额定热能量和重复单次事件能量的额定重复转移电荷的分类比较

为了验证避雷器的能量吸收能力，按照 GB/T 11032—2010 要进行“长持续时间冲击电流耐受试验”和“操作冲击动作负载试验”。“长持续持续时间冲击电流耐受试验”是在单个电阻片上进行，因此是一个涉及电阻片的试验。“操作冲击动作负载试验”是在比例单元上进行，代表避雷器的电和热特性，根据规定的线路放电等级在能量注入后来验证热稳定。因此，它与电阻片特性和整只避雷器的设计有关。

规定了线路放电试验参数，对于给定操作冲击残压和额定电压比值的避雷器，能量随着线路放电等级的提高而增加。然而，在试验时试品的吸收能量取决于被试电阻片的残压，特别是对于 3 级～5 级的线路放电等级（见图 M.1）。因此为了评价放电能力，重要的是避雷器的最小残压，而不是规定的最大值。通过增加避雷器的保护水平，如增多串联的电阻片，可减小线路放电试验的能量，并且对于相同规格的电阻片可以被宣称较高的线路放电等级。如果实际的试验能量没有公布，仅通过线路放电等级来比较避雷器的实际能量耐受能力是困难的。

作为参考，GB/T 11032—2010 中表 6、表 7 和图 E.1 提供了该讨论的相关信息。这里分别作为表 M.1，表 M.2 和图 M.1。

表 M.1 操作冲击残压试验的电流峰值（GB/T 11032—2010 表 6）

避雷等级	避雷器使用场合	避雷器额定电压（有效值）kV	操作冲击电流值（峰值）A
20 000 A	电站用避雷器 线路避雷器	420～756	500 及 2 000
10 000 A	电站用避雷器 线路避雷器	3～216	125 及 500
		288～324	250 及 1 000
		420～468	500 及 2 000
	电气化铁道用避雷器	42～84	500
5 000 A	并联补偿电容器用避雷器	5～90	125 及 500
	电站用避雷器 线路避雷器	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
2 500 A	电动机用避雷器	4～13.5	100
1 500 A	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

表 M.2　避雷器线路放电试验参数(GB/T 11032—2010 表 7)

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 10 kA	1	$4.9U_r$	2 000	$3.2U_r$
10 kA	2	$2.4U_r$	2 000	$3.2U_r$
10 kA	3	$1.3U_r$	2 400	$2.8U_r$
10 kA 20 kA	4	$0.8U_r$	2 800	$2.6U_r$
20 kA	5	$0.5U_r$	3 200	$2.4U_r$

注 1：U_r 为试品额定电压，单位为千伏(kV)(有效值)。

注 2：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 GB/T 11032—2010 附录 E。

注 3：试验回路波阻抗与表 7 规定的线路波阻抗的偏差不大于±10%。

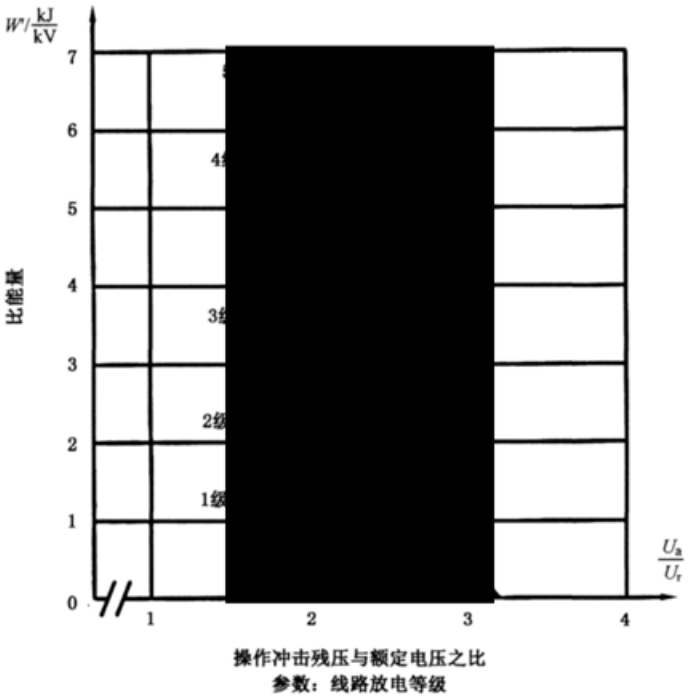


图 M.1　比能量 kJ/kV 与避雷器操作冲击残压 U_a 和额定电压有效值 U_r 之比的关系曲线(GB/T 11032—2010 图 E.1)

图 M.1 中曲线通过下式得到：

$$W' = \frac{U_{res}}{U_r}\left[\frac{U_L}{U_r} - \frac{U_{res}}{U_r}\right] \times \frac{U_r}{Z} \times T \qquad \cdots\cdots (M.1)$$

式中：

U_r ——额定电压(有效值)，单位为千伏(kV)；

U_L ——发生器充电电压，单位为千伏(kV)；

W' ——比能量，等于能量除以额定电压，单位为千焦每千伏(kJ/kV)；

U_{res} ——操作冲击电流下的残压(见表 M.1)，单位为千伏(kV)；

Z ——线路波阻抗(见 8.3.3)，单位为欧姆(Ω)；

T ——电流峰值的视在持续时间，单位为秒(s)。

在本标准中，由电阻片重复单次事件的能量吸收能力试验的电荷值和在能量注入后热稳定试验的能量值代替线路放电等级。

通常，在本附录中使用下列符号标识：

U_r 额定电压

LDC线路放电等级

U_{pl} 雷电冲击保护水平

$W = U_{res} \times (U_L - U_{res}) \times \frac{1}{Z} \times T$(要求的最小试验能量)

$U_{resmax}(I)$ 按表 M.1 在给定操作冲击电流下的最大残压

$U_{resmin}(I)$ 按表 M.1 在给定操作冲击电流下的最小残压

U_L；Z；T 按表 M.2 试验参数

表 M.3 提供了对于典型的系统配置(GB/T 11032—2010)和本标准比较。

注：这里给的信息不是规范性的，但是对于一般性的说明给出了 GB/T 11032—2010 和本标准的比较。

在下面的假定中给出了不同的线路放电等级的放电能量：

a) 最大的操作冲击保护水平 $U_{resmax}(I_{max}) = 2.0 \times U_r$(在表 M.1 中最大的电流下)；

b) 最小的操作冲击保护水平 $U_{resmin}(I_{min}) = 1.9 \times U_r$(在表 M.1 中最大的电流下)；

c) 最小残压 $U_{resmin}(I_{min}) = 1.8 \times U_r$(在表 M.1 中最小的电流下)。

这里，给出了 5 个示例来说明按线路放电等级和按额定热能量值、额定重复转移电荷及保护水平的分级之间的关系。

表 M.3 本标准与 GB/T 11032—2010 分类的比较

I_n/kA	LDC	要求的最小试验能量[a]/(kJ/kV)	按 8.7.3 相应的额定热能量值 W_{th}/(kJ/kV)	LD 试验[b]估算的电流/A	与 LDC 要求的最小能量相同的电流和持续时间的计算电荷/C	按 8.5.4 相应的额定重复转移电荷 Q_{rs}/C	重复转移电荷试验值(=1.1×Q_{rs})/C
5	1	1.0	2	239	0.49	0.5	0.55
10							
10	2	2.0	4	462	0.96	1.0	1.10
	3	3.3	7	680	1.69	2.0	2.2
10	4	5.0	10	929	2.66	2.8	3.08
20		4.9		912	2.61		

表 M.3（续）

I_n/kA	LDC	要求的最小试验能量[a]/(kJ/kV)	按 8.7.3 相应的额定热能量值 W_{th}/(kJ/kV)	LD 试验[b]估算的电流/A	与 LDC 要求的最小能量相同的电流和持续时间的计算电荷/C	按 8.5.4 相应的额定重复转移电荷 Q_{rs}/C	重复转移电荷试验值(=1.1×Q_{rs})/C
20	5	6.6	14	1 043	3.50	3.6	3.96
		7.6	16	1 290	4.32	4.4	4.84
	6[c]	27.7	60	2 384	16.4	18.0	19.80

[a] 计算 $U_{resmin}(I_{min})=1.8\times U_r$(见图 M.1)。

[b] 从上述 LD 参数、b)及 c)条款估算。

[c] 6 级线路放电等级(LDC)是依据 GB/Z 24845 的规定。

试验要在设计的具有可接受最大残压的电阻片上进行。此外，这可能会减小选择的额定电荷。

示例 1：

$U_r=216$ kV；

LDC=2；

$I_n=10$ kA；

$U_{pl}=562$ kV；

$U_{resmax(500\ A)}=478$ kV ($2.213\times U_r$)；

$U_{resmin(500\ A)}=0.95\times U_{resmax(500\ A)}=454$ kV；

$U_{resmax(125\ A)}=451$ kV；

$U_{resmin(125\ A)}=0.95\times U_{resmax(125\ A)}=428$ kV。

计算：

- 最小试验能量：$W=434$ kJ⇒$\frac{W}{U_r}=2.01$ kJ/kV；
- 在操作冲击动作负载试验中两次冲击⇒4.02 kJ/kV；
- 根据 8.7.3 额定热能量值：$W_{th}=4.5$ kJ/kV；
- LD 的电流：$I=434$ A；
- 在与给定要求 LD 的最小能量具有相同电流和持续时间下计算的电荷值：$Q=0.96$ C；
- 根据 8.5.4 额定重复转移电荷：$Q_{rs}=1.0$ C（即试验值=1.1 C）。

示例 2：

$U_r=216$ kV；

LDC=3；

$I_n=10$ kA；

$U_{pl}=646$ kV；

$U_{resmax(1\ 000\ A)}=550$ kV ($2.546\times U_r$)；

$U_{resmin(1\ 000\ A)}=0.95\times U_{resmax(1\ 000\ A)}=523$ kV；

$U_{resmax(250\ A)}=519$ kV；

$U_{resmin(250\ A)}=0.95\times U_{resmax(250\ A)}=493$ kV。

计算：

- 最小试验能量 $W_:=471$ kJ⇒$W/U_r=2.18$ kJ/kV；
- 在操作冲击动作负载试验中两次冲击⇒4.36 kJ/kV；
- 根据 8.7.3 额定热能量值：$W_{th}=4.5$ kJ/kV；

- LD 的电流：$I=380$ A；
- 在与给定要求 LD 的最小能量具有相同电流和持续时间下计算的电荷值：$Q=0.95$ C；
- 根据 8.5.4 额定重复转移电荷：$Q_{rs}=1.0$ C（即试验值=1.1 C）。

示例 1 和示例 2 说明当相应的操作冲击保护水平改变时具有不同放电等级（2 级和 3 级）的避雷器会导致有相同的额定重复转移电荷和相同的额定热能量。还注意到在示例 2 中避雷器的保护水平比表 L.1 中使用的典型值高，从而减小了放电能量降低到 LDC2 的典型值。

示例 3：

$U_r=216$ kV；

LDC=3；

$I_n=10$ kA；

$U_{pl}=562$ kV；

$U_{resmax(1\ 000\ A)}=478$ kV（$2.123\times U_r$）；

$U_{resmin(1\ 000\ A)}=0.95\times U_{resmax(1\ 000\ A)}=454$ kV；

$U_{resmax(250\ A)}=451$ kV；

$U_{resmin(250\ A)}=0.95\times U_{resmax(250\ A)}=428$ kV。

计算：

- 最小试验能量：$W=646$ kJ$\Rightarrow\dfrac{W}{U_r}=2.99$ kJ/kV；
- 在操作冲击动作负载试验中两次冲击⇒5.98 kJ/kV；
- 根据 8.7.3 额定热能量值：$W_{th}=6$ kJ/kV；
- LD 的电流：$I=587$ A；
- 在与给定要求 LD 的最小能量具有相同电流和持续时间下计算的电荷值：$Q=1.47$ C；
- 根据 8.5.4 额定重复转移电荷：$Q_{rs}=1.6$ C（即试验值=1.76 C）。

示例 3 和示例 1 比较说明当操作冲击保护水平不变，高的线路放电等级会导致要求高的额定重复转移电荷和额定热能量。

示例 4：

$U_r=420$ kV；

LDC=5；

$I_n=20$ kA；

$U_{pl}=1\ 100$ kV；

$U_{resmax(2\ 000\ A)}=867$ kV（$2.06\times U_r$）；

$U_{resmin(2\ 000\ A)}=0.95\times U_{resmax(2\ 000\ A)}=823.7$ kV；

$U_{resmax(500\ A)}=810$ kV；

$U_{resmin(500\ A)}=0.95\times U_{resmax(500\ A)}=769.5$ kV。

计算：

- 最小试验能量：$W=2\ 797$ kJ$\Rightarrow W/U_r=6.66$ kJ/kV；
- 在操作冲击动作负载试验中两次冲击⇒13.32 kJ/kV；
- 根据 8.7.3 额定热能量值：$W_{th}=13$ kJ/kV；
- LD 的电流：$I=1\ 042$ A；
- 在与给定要求 LD 的最小能量具有相同电流和持续时间下计算的电荷值：$Q=3.54$ C；
- 根据 8.5.4 额定重复转移电荷：$Q_{rs}=3.6$ C（即试验值=3.96C）。

示例 5：

$U_r=420$ kV；

LDC=5；

$I_n=20$ kA；

U_{pl}=1 000 kV；

$U_{resmax(2\ 000\ A)}$=788 kV (1.88×U_r)；

$U_{resmin(2\ 000\ A)}$=0.95×$U_{resmax(2\ 000\ A)}$=748.6 kV；

$U_{resmax(500\ A)}$=750 kV；

$U_{resmin(500\ A)}$=0.95×$U_{resmax(500\ A)}$=712.5 kV。

计算：

- 最小试验能量：W=3 208 kJ⇒W/U_r=7.64 kJ/kV；
- 在操作冲击动作负载试验中两次冲击⇒15.28 kJ/kV；
- 根据 8.7.3 额定热能量值：W_{th}=16 kJ/kV；
- LD 的电流：I=1 314 A；
- 在与给定要求 LD 的最小能量具有相同电流和持续时间下计算的电荷值：Q=4.38 C；
- 根据 8.5.4 额定重复转移电荷：Q_{rs}=4.4 C(即试验值=4.84 C)。

如示例 4 和示例 5 所示，相同的线路放电等级会导致不同的额定热能量和额定重复转移电荷，这取决于操作冲击保护水平。还注意到在示例 4 中相对于正常的 5 级线路放电等级避雷器其操作保护水平相对高。

附 录 N
（规范性附录）
热稳定试验起始温度

该试验程序仅适用于系统电压 U_s>800 kV 的避雷器。

试验在整只的避雷器上进行。应尽可能按实际运行情况安装避雷器，同时考虑实际的三相避雷器安装。因为试验通常在单相避雷器上进行，因此通过计算比较试验安装和实际安装，建立一个模拟实际的安装，以便在试验条件下获得与现场条件下大致相同的避雷器电压分布。

试验时环境温度的变化不超过±5 K。在靠近均压环（以上和以下）的元件内，在每只避雷器元件和每柱电阻片柱上应至少测量两个电阻片的温度，在其他元件上应至少测量一个电阻片的温度。如果有两个测温点，应位于距顶部约 1/3 和 2/3 避雷器元件长度处布置测温点；如果只有一个测温点，应位于距顶部约 1/3 避雷器元件长度处布置测温点；如果有超过两个测温点，应沿着避雷器元件均匀布置测温点。

为了确定热稳定试验的起始温度，应按以下步骤进行：

a) 测量整只避雷器的参考电压值，并计算其与制造商宣称的最小参考电压值的比值 k，测量的整只避雷器的参考电压值应不小于制造商宣称的最小参考电压值。

b) 对避雷器施加电压（等于避雷器宣称的 $k\times U_c$），直到避雷器内部的温度达到稳定状态。

c) 确定在稳定状态时避雷器的平均温度 T_{arl}，通过元件的额定电压与整只避雷器额定电压的比值加权测量点的温度来确定平均温度（见附录 P）。对于多柱并联避雷器，应确保不同并联柱有近似相同的功率损耗。因此试验前测量的每柱参考电压偏差应不大于±1%，并且不同并联柱之间的温升偏差应不大于±20%。

在与整只避雷器试验时相同的环境温度下，对热比例单元（按附录 I 验证）施加电压 U_{cs}，产生与整只避雷器相同的平均温度（偏差为 0 K～5 K）。由于非线性电压分布影响，U_{cs}可能明显高于由元件参考电压与整只避雷器参考电压比值所确定的电压 U_c。然后，将热比例单元置于环境温度为 40 ℃的静止空气中，并施加电压 U_{cs}直到电阻片的温度达到稳定状态。达到稳定状态后确定热比例单元电阻片的平均温度 T_{ars}。对于多柱并联避雷器，需要确保不同电阻片柱有近似相同的功率损耗，因此试验前测量的每柱电阻片柱的参考电压偏差应不大于±1%，并且不同的并联电阻片柱之间温度偏差应不大于±20%。如果平均温度 T_{ars}高于 60 ℃，则将该温度作为预热温度，否则预热温度为 60 ℃。

附 录 O
（资料性附录）
动作负载试验试品参数计算示例

避雷器技术参数

- 额定电压：$U_{r,arrester}=204$ kV；
- 最小直流参考电压：$U_{refmin,arrester}=296$ kV；
- 持续运行电压：$U_{c,arrester}=159$ kV；
- 雷电冲击保护水平 U_{pl}：在标称放电电流 $I_n=10$ kA 下的最大残压：$U_{pl,arrester}=532$ kV；
- 在标称放电电流 $I_n=10$ kA 下的最小残压：$U_{resmin,arrester}=510$ kV；
- 额定比能量：$W_{th}=10$ kJ/kV。

电阻片的技术参数

- 在 10 kA，8/20 下的残压范围：9.0 kV～10.0 kV；
- 避雷器比例单元试验参数；
- 试品包含 2 只串联的电阻片（$N_{sample}=2$）；
- 试品额定电压 $U_{rcorr,sample}$ 的计算[根据 7.2.1 a)]。

为了满足最小体积的要求，对于避雷器的最小残压选择电阻片的最大残压值为 10 kV，避雷器残压选择最小值：

$$N_{arrester}=\frac{U_{resmin,arrester}}{U_{resmin,MOarrester}}=\frac{510\ \text{kV}}{10\ \text{kV}}=51;$$

$$n=\frac{N_{arrester}}{N_{sample}}=\frac{51}{2}=25.5;$$

$$U_{r,sample}=\frac{U_{r,arrester}}{n}=\frac{204\ \text{kV}}{25.5}=8\ \text{kV};$$

根据第 7.2.1 b)进行修正：

$$k=\frac{U_{refmin,sample}}{U_{r,arrester}}=\frac{296\ \text{kV}}{204\ \text{kV}}=1.451。$$

试品参考电压测量值（例如）：$U_{refmin,sample}=11.7$ kV；

$$k\times\frac{U_{r,arrester}}{n}=1.451\times\frac{204\ \text{kV}}{25.5}=11.608\ \text{kV};$$

$$U_{refmin,sample}>k\times\frac{U_{r,arrester}}{n};$$

修正值：$n_{corr}=\dfrac{U_{refmin,arrester}}{U_{ref,sample}}=\dfrac{296\ \text{kV}}{11.7\ \text{kV}}=25.3$；

$$U_{rcorr,sample}=\frac{U_{r,arrester}}{n_{corr}}=\frac{204\ \text{kV}}{25.3}=8.063\ \text{kV}。$$

- 试品持续运行电压 $U_{c,sample}$ 的计算[根据 7.2.1e)]；

$$U_{c,sample}=\frac{U_{c,arrester}}{U_{r,arrester}}\times U_{rcorr,sample}=\frac{159\ \text{kV}}{204\ \text{kV}}\times 8.063\ \text{kV}=6.284\ \text{kV}。$$

- 要求注入的能量计算；

$$W_{th,sample}=W_{th}\times U_{rcorr,sample}=8\ \text{kJ/kV}\times 8.063\ \text{kV}=64.504\ \text{kJ}。$$

附 录 P
（规范性附录）
多元件避雷器平均温度

如果通过测温方式确定多元件避雷器的平均温度 T_{ar}，应采用以下方法。

要求至少的测温点数量：在靠近均压环（以上和以下）的元件内，应至少有两个测量点，其他元件应至少有一个测量点。

对于平均值，每个测温点代表额定电压的份数，见公式（P.1）：

$$U_{r,repr}=U_{r,unit}/\mathrm{nmp} \qquad \cdots\cdots (P.1)$$

式中：

$U_{r,repr}$——代表元件额定电压，单位为伏（V）；

$U_{r,unit}$——元件额定电压，单位为伏（V）；

nmp ——每个元件的测温点数量。

然后，将每个测温点超过环境温度的测量温度，用该点代表元件额定电压的与整只避雷器额定电压的比值（$U_{r,repr}/U_{r,complete}$）加权。

图 P.1 给出具有相同额定电压的三只元件避雷器的例子。

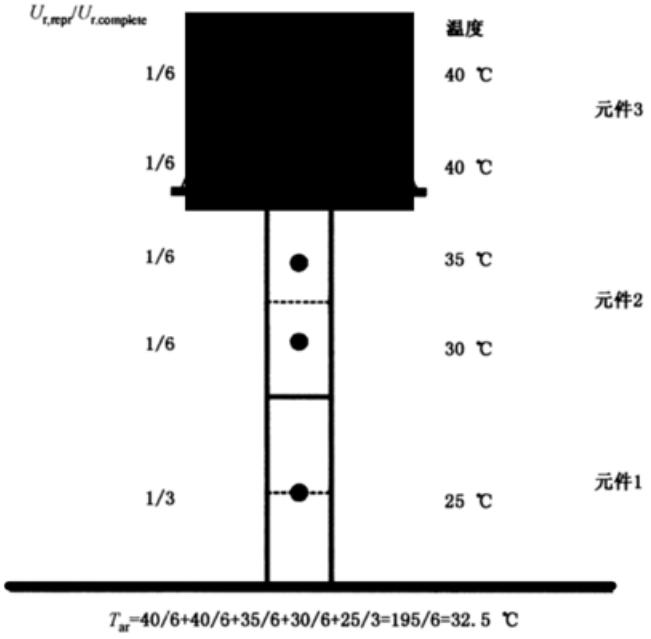
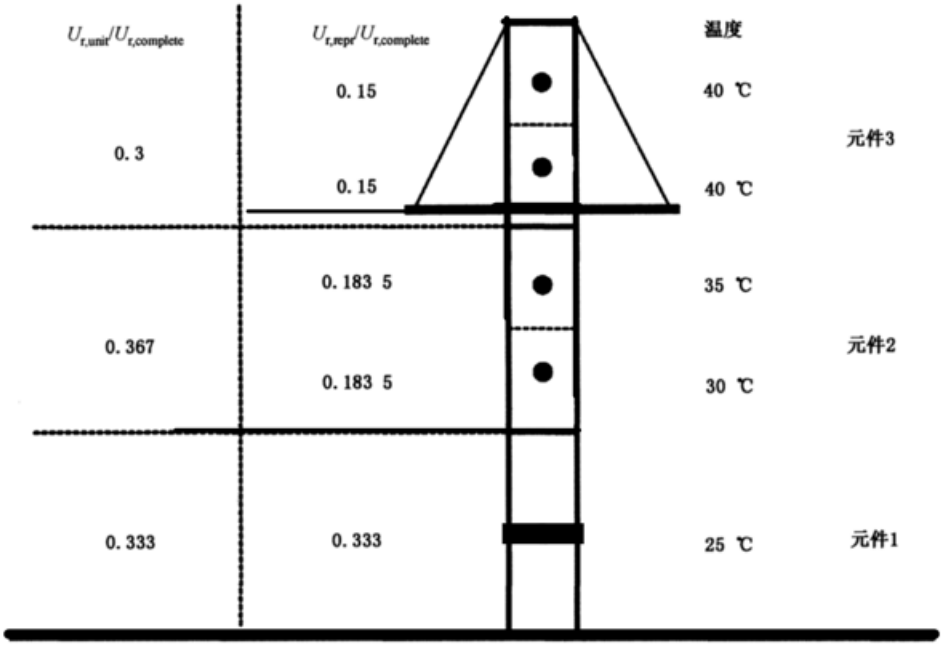


图 P.1 确定在具有相同额定电压的避雷器元件情况下的平均温度

图 P.2 给出具有不同额定电压的三只元件避雷器平均温度的例子。



T_{ar}=0.15×40+0.15×40+0.183 5×35+0.183 5×35+0.333×25=32.25 ℃

图 P.2　确定在具有不同额定电压的避雷器元件情况下的平均温度

附 录 Q
（资料性附录）
询价和投标提供的典型信息

Q.1 询价提供的信息

Q.1.1 系统数据

系统数据如下：

——最高系统电压；

——频率；

——在系统故障条件下最大对地电压（接地故障系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）；

——被保护设备的绝缘水平；

——避雷器安装点的系统短路电流。

Q.1.2 运行条件

正常条件，见 5.4.1。

异常条件：

a） 环境条件见 5.4.2 及附录 C：

——自然污秽水平，见 GB/T 311.2—2013。

b） 系统：

——发电机过速的可能性（电压与时间特性）；

——标称电源频率低于 48 Hz 或高于 62 Hz；

——甩负荷同时有接地故障。在正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的不正确补偿。

关于运行条件的其他特殊要求应尽可能详细说明并数量化。

Q.1.3 避雷器负载

避雷器负载如下：

a） 与系统连接：

——相对地；

——中性点对地；

——相间。

b） 被保护设备类型：

——变压器（直接接于线路或通过电缆）；

——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。
——被保护设备与避雷器之间的高压导线的最大长度(保护距离)。

Q.1.4 避雷器特性

避雷器特性如下：
——持续运行电压；
——额定电压；
——陡波冲击电流残压；
——标准标称放电电流和残压；
——操作冲击电流和残压；
——对于 10 kA 及 20 kA 避雷器，额定重复转移电荷值和额定热能量值；
——短路等级；
——避雷器外套爬电距离和伞形。根据实际区域避雷器和/或其他类型设备的运行经验选择。

Q.1.5 其他设备和安装

其他设备和安装如下：
——金属封闭避雷器；
——安装类型：座式、支架式、悬挂式(在什么位置)等，以及是否需要在绝缘底座安装放电计数器或监测器。对于支架式安装的避雷器，支架是否接地；
——如果不是垂直安装，说明安装方向；
——如有需要，接地端连接脱离器/故障指示器；
——连接引线的截面。

Q.1.6 任何特殊的异常条件

关于运行条件的其他特殊要求尽可能详细说明并量化。

Q.2 投标提供的信息

Q.1.4 及 Q.1.5 的全部。
另外增加：
——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 8.8)；
——在 0.5 倍、1 倍和 2 倍标称放电电流下的雷电冲击残压。如果不能在上述电流下进行整只避雷器的验收试验，要另外规定在 0.01 倍～0.25 倍标称放电电流值的某一电流下的残压值，见 6.3 及 8.3；
——压力释放功能；
——干弧距离；
——安装规范；

——安装方式，安装尺寸，绝缘底座，支架；
——避雷器端子类型及允许的导体尺寸；
——避雷器与放电计数器或监测器间及放电计数器或监测器与地间引线的最大允许长度；
——尺寸及重量；
——抗弯强度。

参 考 文 献

[1] GB/T 191—2008 包装储运图示标志