ICS 29.240
CCS K40

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 2109—2020

直流输电线路用复合外套带外串联间隙金属氧化物避雷器选用导则

Selection and application recommendations of polymer-housed metal oxide surge arresters with external series gap for dc power transmission line

2020－10－23 发布　　2021－02－01 实施

国家能源局　发布

目录

前　　言 IV
直流输电线路用复合外套带外串联间隙金属氧化物避雷器选用导则 1
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 标志和分类 3
4.1 线路避雷器标志 3
4.2 线路避雷器分类 3
5 标准额定值 4
5.1 标准额定电压 4
5.2 标准标称放电电流 4
6 运行条件 5
6.1 正常运行条件 5
6.2 异常运行条件 5
7 一般选用程序 5
8 参数选择和技术要求 6
8.1 持续运行电压 6
8.2 额定电压 6
8.3 直流参考电压 6
8.4 0.75 倍直流参考电压下漏电流试验 7
8.5 残压 7
8.6 雷电冲击动作负载试验 7
8.7 大电流冲击耐受能力 8
8.8 雷电放电能力 8
8.9 雷电冲击放电电压性能 9
8.10 直流耐受电压性能 9
8.11 操作冲击电压耐受性能 10
8.12 雷电冲击伏秒特性 10
8.13 机械性能 10
8.14 振动性能 13
8.15 密封性能 13
8.16 短路电流性能 14
8.17 爬电距离 14
8.18 续流遮断特性 15
8.19 外套绝缘耐受性能 17
8.20 本体故障后的绝缘耐受性能 18
8.21 局部放电 18
8.22 无线电干扰电压试验 18
8.23 电晕试验 ..... 错误!未定义书签。

8.24 气候老化 18
8.25 外观检查 18
8.26 金具镀锌检查 19
8.27 间隙距离检查 19
8.28 支撑件直流耐受电压性能 19
8.29 支撑件陡波冲击电压性能 19
9 检验 19
9.1 型式试验 19
9.2 例行试验 20
9.3 抽样试验 21
9.4 定期试验 21
9.5 验收试验 21
9.6 特殊试验 22
9.7 交接试验 22
9.8 预防性试验 22
10 安装 22
10.1 总则 22
10.2 安装选点 23
10.3 安装方法 23
10.4 放电计数器的安装 26
附 录 A （资料性附录） 2ms 方波冲击电流与雷电放电能力 27
A 28
A 28
附 录 B （资料性附录） 直流输电线路杆塔空气间隙距离及线路避雷器 50%放电电压 28
B 29
附 录 C （资料性附录） 线路避雷器的海拔修正和气象修正 30
附 录 D （规范性附录） 线路避雷器型号 31

前　言

本导则按照 GB/T 1.1-2009 进行编制。

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

本导则由中国电力企业联合会提出。

本导则由电力行业过电压与绝缘配合标准化技术委员会（DL/TC 38）归口。

本标准起草单位：中国电力科学研究院有限公司、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、南方电网科学研究院有限责任公司、西安西电避雷器有限责任公司、平高东芝（廊坊）避雷器有限公司、南阳金冠电气有限公司、抚顺电瓷制造有限公司、浙江恒大电气有限公司、山东电力工程咨询院有限公司、国网青海省电力公司检修公司、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网辽宁省电力公司电力科学研究院、国网河南省电力公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：张搏宇、王保山、殷禹、时卫东、万帅、蔡汉生、熊易、何计谋、宋继军、徐学亭、汤晓中、丁玉剑、康鹏、孙传政、曹昌睿、赵霞、贺子鸣、贾磊、何慧雯、刘飞、张刘春、沈海滨、卢甜甜、刘洋、耿莉娜、董曼玲、郭磊。

本标准为首次制订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

直流输电线路用复合外套带外串联间隙金属氧化物避雷器选用导则

1 范围

本导则提出了直流输电线路用复合外套带外串联间隙金属氧化物避雷器的一般选用程序、参数选择和技术要求、检验、安装等内容。

本导则适用于系统额定电压为±400kV～±1100kV 直流输电线路用复合外套带外串联间隙金属氧化物避雷器。这种避雷器仅用于保护线路绝缘（包括绝缘子（串）和空气间隙），防止由雷电引起的闪络或击穿，在操作过电压下不应动作。其他电压等级的直流输电系统用复合外套带外串联间隙金属氧化物避雷器的选用可以参照本导则。

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，仅所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 311.1-2012 绝缘配合第 1 部分 定义原则和规则

GB/T 311.2-2013 绝缘配合第 2 部分 高压输变电设备的绝缘配合使用导则

GB/T 4585 交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验

GB/T 7354 局部放电测量

GB/T 11032-2010 交流无间隙金属氧化物避雷器

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 19519 架空线路绝缘子 标称电压高于 1000V 交流系统用悬垂和耐张复合绝缘子 定义、试验方法及接收准则

GB/T 21429 户外和户内电气设备用空心复合绝缘子定义、试验方法、接受准则和设计推荐

GB/T 24842 1000KV 特高压交流输变电工程过电压和绝缘配合

GB/T 32520-2016 1kV 以上交流架空输配电线路用带外串间隙金属氧化物避雷器

GB/T 50064 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范

DL/T 804 交流电力系统金属氧化物避雷器使用导则

DL/T 815-2012 交流输电线路用复合外套金属氧化物避雷器

DL/T 1676 交流输电线路用避雷器选用导则

JB/T 8177 绝缘子金属附件热镀锌层通用技术条件

JB/T 8459 避雷器产品型号编制方法

JB/T 10497 交流输电线路用复合外套有串联间隙金属氧化物避雷器

IEC 60099-9:2014 metal-oxide surge arresters without gaps for HVDC converter stations

3 术语和定义

GB/T 11032-2010、GB/T 32520-2016、DL/T 804、DL/T 815-2012、DL/T 1676、JB/T 10497 界定的

以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 11032-2010、GB/T 32520-2016、DL/T 804、DL/T 815-2012、DL/T 1676、JB/T 10497 中的某些术语和定义。

3.1

直流输电线路用复合外套带外串联间隙金属氧化物避雷器 polymer-housed metal oxide surge arrester with external series gap for dc power transmission lines

并联连接在线路绝缘子的两端，用于限制直流输电线路雷电过电压的复合外套金属氧化物避雷器。这种线路避雷器由线路避雷器本体和外串联间隙组成，在系统可能出现的最大操作过电压下不动作，以下简称线路避雷器。

3.2

外串联间隙 external series gap

线路避雷器的一部分，与线路避雷器本体串联组成线路避雷器，以下简称间隙。

间隙分为带支撑件间隙和纯空气间隙（也称为不带支撑件间隙）。带支撑件间隙由两个分别固定在复合绝缘支撑件两端的电极组成。纯空气间隙也由两个电极组成，通常一个电极固定在线路避雷器本体高压侧，另一个电极固定在输电线路导线侧。

3.3

复合绝缘支撑件 polymeric support insulator

用于固定外串联间隙电极，其材料为复合绝缘材料，是带支撑件间隙线路避雷器外串联间隙的一部分，简称支撑件。

[DL/T 815-2012，定义3.4]

3.4

线路避雷器本体 series varistor unit (SVU)

由金属氧化物电阻片和相应的零部件及复合外套组成，与外串联间隙一起构成线路避雷器，系线路避雷器的一部分。

3.5

线路避雷器本体元件 unit of an SVU

一个封装完整的线路避雷器本体部件，可与其他线路避雷器本体元件串联和（或）并联，构成较高电压和（或）电流等级的线路避雷器本体。

3.6

线路避雷器本体比例单元 section of an SVU

一个完整的、组装好的线路避雷器本体部件。对于某种特定的试验，它必须能代表线路避雷器本体（不含间隙）的特性。

3.7

线路避雷器比例单元 section of a transmission line arrester

一个完整的、组装好的线路避雷器部件。对于某种特定的试验，它必须能代表线路避雷器（含间隙）的特性。

3.8

线路避雷器的额定电压 rated voltage of a transmission line arrester

允许施加在线路避雷器端子间的最大直流电压，按照此电压所设计的线路避雷器，能在此电压下正确工作，可靠遮断续流。

注：额定电压是表明线路避雷器规定动作和续流遮断特性的一个参考参数，不应低于直流系统线路避雷器安装点的最高运行电压；如进行续流遮断试验，施加的电压应不低于制造商宣称的额定电压。

3.9

线路避雷器本体的参考电压 reference voltage of an SVU

在线路避雷器本体通过直流参考电流时测出的线路避雷器本体直流电压平均值。如果电压与极性有关，取低值。多元件串联组成的线路避雷器本体的参考电压可以认为是每个元件参考电压之和。

注：测量直流参考电压对动作负载等试验中正确选择试品是必需的。

3.10

线路避雷器本体的参考电流 reference current of an SVU

用于确定线路避雷器本体直流参考电压的直流电流平均值。

注：直流参考电流通常取1 mA。

3.11

盐密 salt deposit density; SDD

附着在线路避雷器本体外套给定表面上盐的总量除以表面积，一般表示为mg/cm^2。

3.12

振动耐受试验 vibration withstand test

线路避雷器本体和其连接件能够耐受规定机械振动水平的验证试验。

3.13

线路避雷器本体的额定短路电流 rated short-circuit current of an SVU

在规定的试验条件下，避雷器能承受内部短路的最大工频电流试验值，在该电流下应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。

4 标志和分类

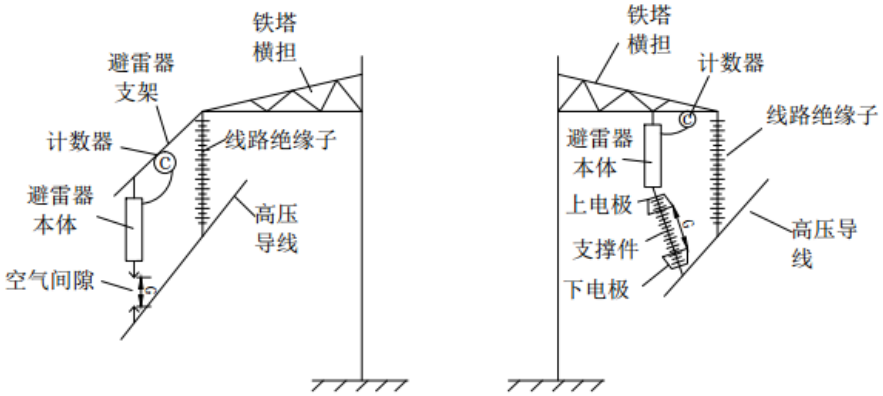
4.1 线路避雷器标志

线路避雷器铭牌上应至少包含以下信息：

——线路避雷器型号；
——线路避雷器本体直流参考电流和参考电压；
——串联间隙距离及允许偏差；
——线路避雷器 50%放电电压；
——制造厂名或标志；
——产品编号；
——制造年月。

4.2 线路避雷器分类

根据间隙结构不同，线路避雷器分为纯空气间隙线路避雷器和带支撑件间隙线路避雷器。图 1 给出了两种结构线路避雷器的示意图。



a） 纯空气间隙线路避雷器　　b）带支撑件间隙线路避雷器

图 1 两种典型间隙结构的线路避雷器

对于带支撑件间隙线路避雷器，由于在直流电压下绝缘子支撑件的老化性能、爬电距离选择、对续流遮断能力的影响等方面的研究尚待进一步深入，也缺少运行经验，目前选用极少。本导则也没能给出带支撑件间隙线路避雷器选择和使用的全部内容。

5 标准额定值

5.1 标准额定电压

线路避雷器的额定电压不得低于安装点的最高运行电压，表 1 给出了推荐的典型额定电压值。

表 1 线路避雷器典型额定电压值　　单位：kV

系统额定电压	线路避雷器额定电压
±400	412
±500	515
±660	680
±800	816
±1100	1122

5.2 标准标称放电电流

线路避雷器的标称放电电流是具有 8/20 波形的雷电冲击电流峰值，用来划分线路避雷器等级。它关系到线路避雷器耐受冲击电流的能力和线路避雷器的保护特性， ，线路避雷器的典型标称放电电流见表 2。

表 2　线路避雷器典型标称放电电流

系统额定电压　kV	线路避雷器标称放电电流（峰值)　kA
±400	20
±500	20
±660	30
±800	30
±1100	30

6　运行条件

6.1　正常运行条件

本导则涉及的线路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℃至＋40℃范围内；

b)　太阳光辐射；

注：太阳最大辐射（1.1kW/m^2）的影响已通过在型式试验中把试品预热的方法予以考虑。如果在线路避雷器附近有其他热源，线路避雷器的使用需经供需双方协商。

c)　海拔不超过 1 000m；

d)　风速≤34m/s；

e)　地震烈度 7 度及以下地区；

f)　覆冰厚度不大于 20mm；

g)　d 级污区及以下。

6.2　异常运行条件

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

a)　环境温度高于+40℃或低于-40℃；

b)　海拔高度超过 1000m；

c)　能引起绝缘表面或安装金具劣化的烟气或蒸汽；

d)　因烟气、灰尘、烟雾或其他导电物引起的严重污秽；

e)　过度暴露在严重的潮气、湿气、降水或蒸汽中；

f)　线路避雷器带电清洗；

g)　粉尘、气体或烟气的爆炸混合物；

h)　异常运输和贮存；

i)　线路避雷器靠近热源；

j)　风速大于 34m/s；

k)　地震烈度大于 7 度；

l)　覆冰厚度大于 20mm。

7　一般选用程序

线路避雷器的选用可按以下程序进行：

a) 按照使用地区的气温、海拔、风速、污秽和地震等环境条件，明确线路避雷器的运行条件；
b) 确认安装点的最高运行电压幅值，选择合适的额定电压；
c) 根据安装点线路的绝缘水平，确定线路避雷器的雷电冲击 50%放电电压和本体的雷电冲击保护水平，同时应确保线路避雷器的伏秒特性与线路绝缘的伏秒特性能够合理配合。
d) 根据安装点最高运行电压的幅值及操作过电压幅值，确定线路避雷器的直流和操作冲击耐受电压值；
e) 根据输电线路参数和安装点的雷电活动情况及可接受风险，计算通过线路避雷器的雷电冲击放电电流的幅值，选择合适的标称放电电流等级；
f) 计算分析雷电冲击电流和能量，确定线路避雷器的冲击试验电流幅值以及能量吸收能力；
g) 按照安装处的系统最大短路电流水平，选择线路避雷器的额定短路电流值；
h) 按照安装处的污秽和海拔情况，选择线路避雷器外套和支撑件的爬电距离；
i) 在外绝缘选择中，应考虑外绝缘与海拔高度的关系；
j) 如果应用于高海拔地区，还应考虑海拔对线路避雷器放电特性的影响。

8 参数选择和技术要求

8.1 持续运行电压

线路避雷器持续运行电压指安装点处的最高运行电压。

应对电阻片开展加速老化试验，试验方法参照 IEC 60099-9:2014 第 9.11.3 条进行，试验电压为直流电压，试验电压不低于试品直流参考电压的 50%。

8.2 额定电压

线路避雷器额定电压是施加到线路避雷器端子间的最大允许直流电压，按照此电压所设计的线路避雷器，能可靠遮断直流续流。

直流线路避雷器的额定电压应不低于系统最高运行电压，并能在此电压下可靠遮断直流续流。

8.3 直流参考电压

直流参考电压是在直流参考电流下测出的线路避雷器本体上的电压。

直流参考电流与线路避雷器电阻片的特性、直径等有关，由制造厂给出并在资料中公布；为了便于比较，推荐直流参考电流取 1mA。

线路避雷器直流参考电压的选取原则是：能够可靠熄灭续流电弧并能够耐受续流期间的直流电压。线路避雷器的续流遮断能力主要受外部污秽电流和内部漏电流两个方面的影响；最高运行电压下通过线路避雷器本体内部的漏电流不超过 1mA 时，基本不会影响线路避雷器的续流遮断能力。因此，推荐线路避雷器本体的直流参考电压不低于安装点最高运行电压。

另外，本体参考电压的选取还应考虑保护水平和在过电压下能量吸收能力的要求。

注：线路避雷器的直流参考电压不必一定要大于或等于额定电压。

表 3 给出了线路避雷器典型直流参考电压推荐值。

表 3 线路避雷器本体直流参考电压推荐值　　单位：kV

系统额定电压	直流参考电压
±400	≥412
±500	≥515
±660	≥680
±800	≥816
±1100	≥1122

直流参考电压试验方法应符合 GB/T 11032-2010 的要求。

8.4　0.75 倍直流参考电压下漏电流试验

线路避雷器本体在 0.75 倍直流参考电压下的漏电流不应大于 50μA。多柱并联线路避雷器本体的漏电流可由制造厂和用户协商规定。

0.75 倍直流参考电压下漏电流试验方法应符合 GB/T 11032-2010 的要求。

8.5　残压

线路避雷器残压的选择原则为：①满足绝缘配合的要求，不高于线路避雷器的雷电冲击放电电压；②符合国内实际制造水平。表 4 按雷电冲击电流下残压为本体参考电压的 2 倍给出了推荐值；只要满足绝缘配合要求，制造商宣称的残压值可以不同于推荐值。

制造商应明确宣称线路避雷器本体的雷电冲击残压。

注：工程上习惯把带间隙线路避雷器的整只残压等同于本体残压；实际上由于间隙放电时间隙弧道电阻上的压降，雷电冲击动作时整只线路避雷器两端的电压会略大于线路避雷器本体的残压；但弧道压降相对于线路避雷器本体的残压较小，对绝缘配合影响不大。

残压试验方法应符合 GB/T32520-2016 的要求。

表 4　线路避雷器残压推荐值　　单位：kV

系统额定电压	标称放电电流下残压
±400	≤814
±500	≤1030
±660	≤1360
±800	≤1632
±1100	≤2244

8.6　雷电冲击动作负载试验

原则上线路避雷器在操作过电压下不动作，因此可以只进行线路避雷器的雷电冲击动作负载试验。

如果通过了续流遮断试验，可以不进行动作负载试验。

与无间隙避雷器不同，线路避雷器不考虑试验用比例单元与实际线路避雷器的热等价性，也无需考虑在雷电过电压后的持续运行电压。

雷电冲击动作负载试验的试验程序应满足如下要求：

①试验前应先分别测定 3 只试品（电阻片）在环境温度下的直流参考电压和标称放电电流下的雷电冲击残压；

②对试品施加 3 次波形为 4/10 的大电流冲击，电流幅值不小于 100kA；施加冲击的时间间隔应使试品冷却到环境温度。

③试品应经受 20 次 8/20 雷电冲击电流，其峰值等于线路避雷器标称放电电流。

施加冲击电流时，对试品施加最高运行电压；冲击电压后最高运行电压持续时间应不小于 1s。

施加的 20 次冲击分为 4 组，每组 5 次，两次冲击之间的间隔时间为 50s~60s，两组之间的间隔时间为 25min～30min。

两组冲击之间，试品无需施加电压。

冲击电流的极性与施加此冲击时的直流电压极性相同。测出的冲击电流峰值，应为规定值的 90%～110%。

试验环境气温度应为 20℃±15K。

④试验后重复进行残压试验，并与试验前获得的值比较。试验前后试品残压变化率不超过（-5%～+5%）；试验后试品外观，应无击穿、闪络、开裂或其他明显机械损伤的痕迹。

注：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。

试验程序见图2。

初始测量 ● 标称放电电流下的残压试验 ● 参考电压试验
大电流冲击 ● 3 次大电流冲击，100kA
雷电冲击 ● 20 次 8/20 雷电冲击，分为 4 组，每组 5 次；同时施加最高运行电压
试验评价 ● 没有机械损伤 ● 标称放电电流下残压的变化不超过±5%

图 2 动作负载试验流程图

8.7 大电流冲击耐受能力

抽样试验时，线路避雷器用电阻片应耐受 3 次大电流冲击的放电动作，电流幅值不小于 100kA。

大电流冲击耐受能力试验方法应符合 GB/T32520-2016 的要求。

8.8 雷电放电能力

线路避雷器用电阻片应具有耐受几十μs电流波下的雷电放电能力。相关的试验已包含了多重雷击的影响。

表5给出了雷电放电能力典型要求值。

雷电放电能力试验方法应符合 GB/T32520-2016 的要求。

表 5　线路避雷器雷电放电能力典型要求值

系统额定电压/ kV	雷电放电能力/C
±400	≥1.6
±500	≥1.6
±660	≥2.8
±800	≥2.8
±1100	≥2.8

8.9　雷电冲击放电电压性能

线路避雷器在规定的雷电过电压下应可靠动作。

雷电冲击放电电压性能用于确定线路避雷器串联间隙的最大距离，其值主要依据线路绝缘水平（塔头间隙或者绝缘子）确定。线路避雷器雷电冲击50%放电电压应不高于线路绝缘水平雷电冲击50%放电电压的82%。如有必要，线路避雷器雷电冲击50%放电电压也可取不高于线路绝缘水平雷电冲击50%放电电压的75%。

直流输电线路的绝缘水平一般根据最小空气间隙决定可以使用以下三种方法中确定，推荐采用方法一或方法二；如果不具备条件，方法三给出了一个保守的计算确定方法。

方法一：由试验确定或者从设计资料中查找输电线路的雷电冲击绝缘水平。

方法二：按照GB/T 50064或GB/T 24842给出的线路杆塔空气间隙与放电电压曲线图，结合实际安装位置处的空气间隙距离，确定输电线路的雷电冲击绝缘水平。必要时按GB/T 311.1-2012附录B进行海拔修正。

方法三：结合实际安装位置处的空气间隙距离，按GB/T311.2-2013附录F计算确定输电线路的雷电冲击绝缘水平，必要时按GB/T 311.1-2012附录B进行海拔修正。附录B给出了计算方法和各电压等级输电线路典型杆塔的最小空气间隙距离，并据此推荐了线路避雷器正极性雷电冲击50%放电电压。

雷电冲击放电电压试验方法应符合 GB/T 16927.1 的要求。

试验时，应保证每次放电路径为间隙电极之间，而不是沿支撑件表面放电。

8.10　直流耐受电压性能

线路避雷器应能耐受规定的直流电压。

直流电压耐受性能与操作冲击电压耐受性能共同确定线路避雷器串联间隙的最小距离，直流耐受电压值应不低于线路最高运行电压的1.2倍。表6给出了各电压等级线路避雷器直流电压耐受值。

表 6　线路避雷器直流耐受电压　　单位：kV

系统额定电压	直流电压耐受
±400	494
±500	618
±660	816
±800	979
±1100	1346

直流电压耐受试验方法应符合 GB/T 16927.1 的要求。

8.11 操作冲击电压耐受性能

线路避雷器应能耐受规定的操作过电压。

操作冲击电压耐受性能与直流电压耐受性能共同确定线路避雷器串联间隙的最小距离，操作冲击耐受电压值应不低于系统最高操作过电压。表 7 给出了各电压等级线路避雷器正极性操作冲击电压耐受值。

表 7 线路避雷器操作冲击耐受电压 单位：kV

系统额定电压	正极性操作冲击耐受电压
±400	700
±500	876
±660	1156
±800	1387
±1100	1795

操作电压耐受试验方法应符合 GB/T 16927.1 的要求。

8.12 雷电冲击伏秒特性

线路避雷器雷电冲击（放电时间在 1μs～10μs）伏秒特性曲线应比被保护对象（绝缘子或塔头空气间隙）的雷电冲击伏秒特性曲线至少低 15%。

伏秒特性试验方法应符合 GB/T 16927.1 的要求。

线路绝缘水平较高时，很难得到放电截断时间在 1μs 左右的数据；不具备试验条件时，线路避雷器可按实际方式安装，每个截断时间下正负极性各 5 次，最短截断时间应尽可能接近 1μs。

8.13 机械性能

8.13.1 抗弯性能

当设计的线路避雷器本体运行中可能承受弯曲负荷时，应通过试验证实其弯曲性能满足要求。纯空气间隙线路避雷器一般采用固定安装方式，低压端固定在导线上方的横担上（悬挂安装）或导线下方的专用安装支架上（座式安装），运行中会因风荷载、自重等因素承受弯曲负荷。

带支撑件间隙线路避雷器一般为非固定悬挂安装，低压端可以自由转动一定的角度，不承受弯曲负荷时可以不进行弯曲耐受试验。

弯曲负荷试验方法应符合 GB/T 32520-2016 的要求。

其中规定长期负荷 SLL 和规定短时负荷 SSL 由供需双方根据安装方式，考虑风压力、自重等因素确定。

8.13.2 抗拉性能

8.13.2.1 总则

当设计的线路避雷器悬挂安装时，线路避雷器本体会承受拉伸负荷，应通过试验证实其拉伸性能满足要求。额定拉伸负荷至少为线路避雷器自重的 15 倍。

如果已经根据第 8.14 条在实际安装方式下进行了振动性能试验，型式试验时可以不再进行拉伸性

能试验。

拉伸试验应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正常元件之一，不是为试验专门制造的，并具有设计元件中的最高额定电压。

应按照下列二个步骤对3只试品进行试验：

应对2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。第3只进行热机预处理试验；

所有三只试品进行水浸入试验。

规定负荷的偏差应在0~5%之间。

8.13.2.2 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：

在环境温度为20 ℃±15 K下，测量功耗或阻性电流；局部放电试验；（0.01至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至10）/（10至25） μs的范围内；

8.13.2.3 试验程序

试验应在三只试品上进行。

步骤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，期间应测量避雷器的变形量。然后应平稳地卸掉负荷。

第三只试品进行热机预处理试验。

步骤2：

所有三只试品进行水煮试验。

8.13.2.4 热机预处理

试品要承受规定的50%额定拉伸负荷及温度变化循环（如图3所示）。

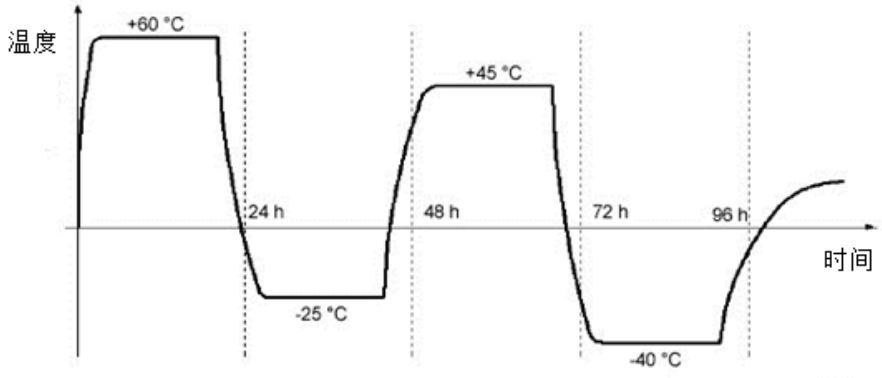


图 3 热机试验

如图2所示，温度变化循环包括两个48 h的冷热循环。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，试验应在空气中进行。

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变形量。残余变形量应在卸掉负荷后1 min至10 min内进行测量。

8.13.2.5 水煮试验

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52h）。经供需双方同意后，52 h 这个值也可扩大到 168 h。

沸腾结束后，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倍热时间常数的时间内冷却到周围空气温度。仅当须要延迟验证试验时，才有必要让水温保持在50 ℃直到如图4所示的浸水试验结束。评价试验应在规定的时间内进行，从水中取出避雷器后可用自来水清洗。

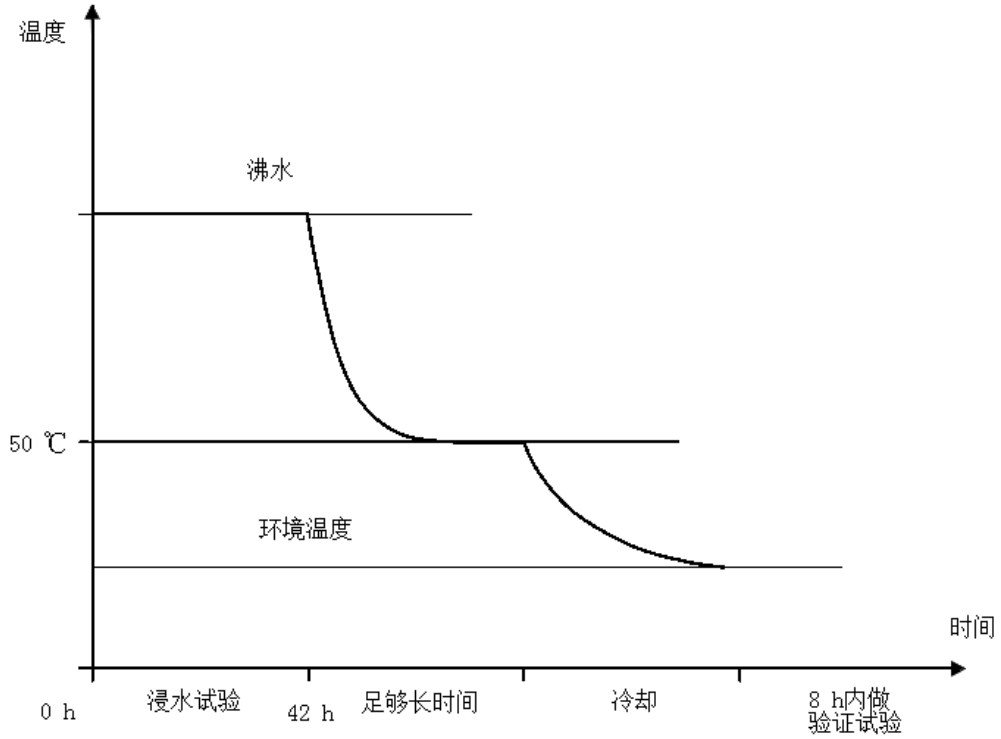


图 4 浸水试验

8.13.2.6 试验评价

对每只试品重复进行规定的试验。

如果达到以下要求，则通过试验：

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不小于10。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变形，试验后都应记录在报告中。

步骤2后：

根据图3，冷却后应在8 h之内：

——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%。试验应在与初始测量时的环境温度差不超过 3 K 的环境温度下进行；

——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反映任何部分或者全部下降的现象，冲击电流的波形应在 T_1/T_2 =（4～10）/（10～25）μs 的范围内，两次电流冲击间的间隔时间为 50 s 至 60 s。

——在两次残压试验后测量的参考电压变化率不大于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。

8.13.2.7 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（不小于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变形量量。然后应平稳地卸掉负荷。试验期间的最大变形量量和任何永久残余变形，试验后都应记录在报告中。

如果试品没有明显的机械损伤，则通过试验。

8.14 振动性能

线路避雷器在运行中可能会承受微风等负载引起的振动负荷，经供需双方协商，可通过试验验证其振动性能。

振动性能试验方法可参照 GB/T 32520-2016 的要求，其中负荷可以取自由端加速度 1g，也可以取固定端 0.1g。

注：经供需双方协商，振动试验也可以取仿真计算得到的其他负荷。

8.15 密封性能

线路避雷器本体应有可靠的密封，在线路避雷器寿命期间内不应因密封不良而影响运行性能。

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。

试品应是新的和干净的。

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。具体试验方法由制造商确定。

1）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。

最大的密封泄漏率应低于 6.65×10^{-5} Pa·L/s。

注：若采用氦质谱检漏仪检漏法，避雷器需有检漏口。

2）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。浸泡时间不小于 30 min；浸泡时间从达到规定的水温时算起，用计时器记录。

避雷器在规定的浸泡时间内，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应不大于 5%，0.75 倍直流参考电压下漏电流变化不应大于 20μA。

注：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，试验条件应满足上述要求。

3）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。

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应不大于 5%，0.75 倍直流参考电压下漏电流变化不应大于 20μA。

注：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，试验条件应满足上述要求。

8.16 短路电流性能

线路避雷器本体所能耐受的短路电流应不小于安装处的最大短路电流，并按此选定额定短路电流。在选择额定短路电流时，可参考安装处系统发展可能达到的最大短路电流。

试验方法应满足 GB/T 11032-2010 的要求，其中试品为线路避雷器本体 2 只，一只用于大电流（40kA）短路试验，另一只用于小电流（600A）短路试验。

8.17 爬电距离

线路避雷器的续流遮断能力主要由续流期间的直流电流幅值和间隙结构决定；其中直流电流包括线路避雷器本体的内部电流和外套表面的污秽电流，间隙结构包括间隙距离和间隙形状。

爬电距离越大，外套表面的污秽电流越小，越有利于遮断直流续流。

对于纯空气间隙线路避雷器，线路避雷器本体的爬电比距应不低于 25mm/kV。

对于带支撑件间隙线路避雷器，线路避雷器本体和支撑件的爬电比距正在考虑中。

注 1：对于纯空气间隙线路避雷器，“25mm/kV”这一数值是已运行纯空气间隙线路避雷器的爬电比距，目前尚未出现不能遮断续流的现象；但受试验条件限制，这一数值尚未通过试验验证。制造商可以通过实际续流遮断试验或其他方法确定合理的爬电距离。

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。

如果实际试品通过了续流遮断试验，不对爬距作具体要求。

8.18 续流遮断特性

8.18.1 总则

在湿和污秽条件下续流遮断能力应通过一个满足这些运行条件的试验程序来考核。

试验是证实雷电冲击下串联间隙放电后线路避雷器的续流遮断能力，也证实由于存在湿的污秽层，在污秽条件下电流流过线路避雷器本体外套表面时线路避雷器的性能。该试验还能证实线路避雷器的动作负载性能。

试品是一个完整的线路避雷器或线路避雷器比例单元。

续流遮断试验既可以按照“试验方法A”，也可以按照“试验方法B”进行。如果按照GB/T 26218.1-2010定义，现场的污秽严酷度“很重”，则应按“试验方法B”进行。其他情况，制造商可以选择试验方法A。

本方法仅适用于纯空气线路避雷器，带支撑件间隙线路避雷器的续流遮断试验方法正在考虑中，必要时可参照执行。

注1：对“试验方法 A”，线路避雷器本体外表面电流受污秽的影响由与之并联的另外的线性电阻来模拟，试验在清洁和干燥条件下进行。“试验方法 B”是在人工污秽条件下进行。

注2：对于相同设计的系列产品，可以选取最低额定电压和最短间隙距离的试品进行试验。

注3：也可以采取其他方法验证线路避雷器爬电距离对续流遮断能力的影响，如仅对本体进行短时间下的污秽试验等。

8.18.2 “试验方法 A”

8.18.2.1 试验回路要求

直流电压源阻抗在续流流过期间，在线路避雷器两端测量的电压值不低于试品额定电压，且在续流遮断后电压变化（升高或降低）不超过额定电压的10%。

8.18.2.2 试验试品

线路避雷器试品按以下准备：

a) 非线性金属氧化物电阻部分应是一个完整的线路避雷器本体，或线路避雷器本体比例单元，或金属氧化物电阻片元件；比例系数n为整只线路避雷器与线路避雷器试品的额定电压之比。试验试品的 50%雷电冲击放电电压不大于制造商宣称的线路避雷器最小间隙距离时的 50%雷电冲击放电电压除以n。

b) 用作试品的电阻片体积应不大于整只线路避雷器本体所有电阻片最小总体积除以n。

c) 试品比例单元本体部分的参考电压U_{ref}应等于线路避雷器本体的最小参考电压除以n。如果试验比例单元本体部分的参考电压大于整只线路避雷器的避雷器本体的最小参考电压除以n，因数n将相应地减少，如果试验比例单元本体部分的参考电压小于整只线路避雷器的避雷器本体的最小参考电压除以n，这种比例单元将不允许使用。

d) 线性电阻应与线路避雷器本体并联以获得足够高的续流。

e) 外串联间隙应与线路避雷器用同样的金具连接。间隙电极的尺寸和形状不需按比例缩放。

8.18.2.3 试验程序

试验如下进行：

等于线路避雷器或其比例单元额定电压的直流电压施加到试品上。

试验期间流过外串联间隙的续流为下面两部分之和：

a) 通过并联于线路避雷器本体的线性电阻来模拟线路避雷器本体污秽表面的漏电流；

b) 施加额定电压时通过非线性金属氧化物电阻片的电流；

需要模拟线路避雷器本体污层上漏电流的线性电阻阻抗计算为$R = F/K$，F 是线路避雷器本体外套的形状系数（按GB/T 4585-2004），K 是污层电导率。

污层电导率 K 按照GB/T 4585-2004表3对应所选择的SDD来取值。可接受的阻抗偏差应在计算值(–20% / +0%)。

注1：对于线路避雷器，线路避雷器本体上污层直到闪络发生才承受在电压。在最不利的情况下，由于基本没有表面漏电流的干燥作用，污层受雨后处于湿润状态。因无干带电弧，污层可假定为线性电阻。

注2：用这个方法，电流水平高于其运行期间的，因为计算没有考虑通过线路避雷器外串联间隙的电压降。

为触发间隙放电，雷电冲击施加到线路避雷器，且提供穿过外串联间隙的导电通道。冲击发生器应调整到使得间隙有次序地放电。

施加与实际直流电压具有同极性的雷电冲击，第一次试验时间隙应足够小，以说明直流源能够提供并保持规定的续流。

并联线性电阻应调整使得试验期间总续流至少等于估算值。

然后，间隙长度应调整到最小规定值。正极性直流电压下施加正极性雷电冲击施加5次，然后负极性直流电压下施加负极性雷电冲击施加5次。如果续流没有建立，施加更多的放电动作直到续流对每个极性各建立5次。

记录每次放电的电压和续流的波形。示波图应显示试品电压和电流的全过程，至少包括从冲击施加前的50ms到续流最终遮断后的200ms。

8.18.2.4 试验判定

如果10次放电动作续流均在施加冲击后被遮断，且在随后没有进一步的放电，则试品通过了试验。

8.18.3 “试验方法 B”

8.18.3.1 试验回路要求

直流电压源阻抗在续流流过期间，在线路避雷器两端测量的电压值不低于试品额定电压，且在续流遮断后电压变化（升高或降低）不超过额定电压的10%。

8.18.3.2 试验试品

线路避雷器试品按以下准备：

a) 试品为线路避雷器的比例单元或整只线路避雷器。

b) 非线性金属氧化物电阻部分应是一个完整的线路避雷器本体，或线路避雷器本体比例单元；比例系数 n 为整只线路避雷器与线路避雷器试品的额定电压之比。试验试品的 50%雷电冲击放电电压不大于制造商宣称的线路避雷器最小间隙距离时的 50%雷电冲击放电电压除以 n。

c) 用作试品的电阻片体积应不大于整只线路避雷器本体所有电阻片最小总体积除以 n。

d) 试品比例单元本体部分的参考电压 U_{ref} 应等于线路避雷器本体的最小参考电压除以 n。如果试验比例单元本体部分的参考电压大于整只线路避雷器的线路避雷器本体的最小参考电压除以

n，因数n将相应地减少，如果试验比例单元本体部分的参考电压小于整只线路避雷器的线路避雷器本体的最小参考电压除以n，这种比例单元将不允许使用。

e) 外串联间隙应与线路避雷器用同样的金具连接。间隙电极的尺寸和形状无需按比例缩放。

8.18.3.3 试验程序

试验如下进行：

污秽浆液按GB/T 4585-2004 或其他等效方法准备，污秽浆液电导率由规定的SDD值确定。污层湿润满足GB/T 4585-2004的要求。

线路避雷器本体外套应是清洁、干燥并在环境温度下。可以用洗涤剂清洗以去除油污，但洗涤剂应用水冲洗干净。

线路避雷器本体表面憎水性必须完全清除以模拟在规定污秽条件下最坏情况时预期表面漏电流。

未通电时，污秽应加到线路避雷器本体全部绝缘表面，包括伞下。污层表现为一层连续的膜。污秽涂层可以用喷雾、浸渍或浇涂的方法施加。

注1：建议用下面的方法暂时去除试验中复合外套（特别是硅橡胶）表面憎水性，但不应损坏表面或在污秽中增加额外化学品：

a）准备浆液，1L水中包含1kg高岭土或1kg砥石粉。

b）在外表面尽可能均匀在外套表面喷浆液。

c）在自然环境温度下干燥污秽表面。

d）用如自来水大体上洗掉沉淀的砥石粉或高岭土。这个过程过后表面会留有一定数量的砥石粉或高岭土，这些物质会暂时阻止憎水性复原。

注2：试验前，在同样设计的复合外套表面检查按以上程序制成的盐密。

注3：一旦按照注 1 去除了憎水性，试验需要在 1 天内完成，以避免憎水性的恢复。

染污后，在雷电冲击点火之前给试品施加额定电压，在3 min～3.5 min内施加雷电冲击以使试品放电。

施加与实际直流电压具有同极性的雷电冲击，第一次试验时间隙应足够小，以说明直流源能够提供并保持规定的续流。

然后，间隙长度应调整到最小规定值。正极性直流电压下施加正极性雷电冲击施加5次，然后负极性直流电压下施加负极性雷电冲击施加5次。如果续流没有建立，施加更多的放电动作直到续流对每个极性各建立5次。

每次放电冲击后应确保污层湿润，否则要更新污层。

记录每次放电的电压和续流的波形。示波图应显示试品电压和电流的全过程，至少包括从冲击施加前的50ms到续流最终遮断后的200ms。

注：对这个试验，放电动作间的中断时间不需要规定。

8.18.3.4 试验判定

试验合格，如果：

a) 线路避雷器本体表面无闪络发生；

b) 如果 10 次放电动作续流均在施加冲击后被遮断，且在随后没有进一步的放电，则试品通过了试验。

8.19 外套绝缘耐受性能

线路避雷器本体外套的雷电冲击耐受电压应不低于 1.3 倍雷电冲击保护水平，直流耐受电压应不低于系统最高运行电压的 1.2 倍。

外套绝缘耐受试验方法应符合 GB/T 16927.1 的要求。

8.20 本体故障后的绝缘耐受性能

应对本体故障后的线路避雷器进行直流电压耐受试验，以验证线路避雷器在本体发生故障短路时，线路避雷器耐受运行电压的能力。本体短路情况下的直流耐受电压应不低于系统最高运行电压。

还应对本体故障后的线路避雷器进行操作冲击电压耐受试验，以得到线路避雷器在本体发生故障短路时，线路避雷器耐受操作冲击电压的能力。制造厂应提供线路避雷器本体短路情况下操作冲击电压50%放电电压值。

本体故障时的绝缘耐受性能试验方法应符合 GB/T 16927.1 的要求。

8.21 局部放电

线路避雷器本体的局部放电量应不超过 10pC。

试品可以是整只线路避雷器本体，也可以是所有线路避雷器本体元件，型式试验可以采用下述两种方法的一种进行：

方法 1：分别施加正负极性的直流电压，试验时，施加在试品上的电压应升至直流参考电压，保持 2s 到 10s，然后降低到试品直流参考电压的 0.8 倍，在该电压下，按照 GB/T 7354 规定测量局部放电，局部放电量不超过 10pC。

方法 2：施加工频电压，试验时，施加在试品上的电压峰值应升至直流参考电压，保持 2 s 到 10 s，然后电压峰值降低到试品直流参考电压的 0.8 倍，在该电压下，按照 GB/T 7354 规定测量局部放电，局部放电量不超过 10pC。

例行试验时也可以用其他灵敏的方法检验每只避雷器本体或本体元件的局部放电。

8.22 无线电干扰电压试验

线路避雷器无线电干扰电压不超过 2500μV。

试品应是整只线路避雷器，并尽可能按实际安装，试验可以采用下述两种方法的一种进行：

方法 1：分别施加正负极性的直流电压，试验时，施加在试品上的电压应升至 1.15 倍系统运行电压，然后在小于 10 s 时间内降低到 1.05 倍系统运行电压，在该电压下，无线电干扰电压不应大于 2500 μV。

方法 2：施加工频电压，试验时，施加在试品上的电压峰值应升至 1.15 倍系统运行电压，然后电压峰值在小于 10 s 时间内降低到 1.05 倍系统运行电压，在该电压下，无线电干扰电压不应大于 2500 μV。

8.23 气候老化

线路避雷器必须能够耐受运行中出现的环境影响。环境试验通过加速试验程序来考核线路避雷器本体的密封系统和外露金属连接件不被环境条件所损害。

气候老化试验方法应符合 GB/T 32520-2016 的要求。

8.24 外观检查

复合外套及支撑件（如有）表面单个缺陷面积（如缺胶、杂质、凸起等）不应超过5mm2，深度不大于1mm，凸起表面与合缝应清理平整，凸起高度不应超过0.8mm，粘结缝凸起高度不应超过1.2mm，总缺陷面积不应超过复合外套总表面积的0.2%。

试验时用量具仔细检查线路避雷器或线路避雷器本体复合外套和支撑件的表面缺陷，检查结果应符合规定。

复合外套的其他性能应满足GB/T 21429的要求。

8.25 金具镀锌检查

线路避雷器所有镀锌金属件应符合 JB/T 8177 的规定。

8.26 间隙距离检查

制造厂应明确宣称线路避雷器的间隙尺寸及其公差范围。

出厂试验或安装前，应检查每只带支撑件间隙线路避雷器的串联间隙的距离尺寸，以保证线路避雷器放电特性。

对于需要现场安装后才能确定的间隙尺寸，应明确安装要求，并确保间隙尺寸在所宣称的范围之内。

8.27 支撑件直流耐受电压性能

带支撑件间隙线路避雷器的支撑件在运行电压及各种过电压下均不应发生沿面闪络。

支撑件应进行直流耐受电压试验，试验电压值由制造厂根据相应产品串联间隙耐受电压试验值来确定，试验电压值必须保证至少高于串联间隙（不带线路避雷器本体）耐受值的 10%；试验条件不具备时也可以通过其他方法证实不会发生支撑件表面的沿面闪络，如确保支撑件的干弧距离比串联间隙距离大 15%以上。

试品为支撑件，试验方法应符合 GB/T 19519 的规定。

8.28 支撑件陡波冲击电压性能

为考核复合材料和界面的可靠性，支撑件在正负极性陡波冲击电压下均不应击穿。

支撑件应进行正、负极性各 5 次的陡波冲击电压试验，每次冲击应在电极间的试品外部闪络而不击穿。

试品为支撑件，试验方法应符合 GB/T 19519 的规定。

9 检验

9.1 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，必须对有关项目进行试验。

线路避雷器的型式试验项目见表 8。

表 8 线路避雷器型式试验项目

序号	试验名称	试验要求	试品及数量
1	加速老化试验	8.1	比例单元 3 只
2	直流参考电压试验	8.3	线路避雷器本体 1 只
3	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	8.4	线路避雷器本体 1 只
4	残压试验	8.5	比例单元 3 只
5	动作负载试验	8.6	比例单元 3 只
6	大电流冲击耐受试验	8.7	比例单元 3 只

7	雷电放电能力	8.8	比例单元 3 只
8	雷电冲击放电电压试验	8.9	线路避雷器 1 只
9	直流耐受电压试验	8.10	线路避雷器 1 只
10	操作耐受电压试验	8.11	线路避雷器 1 只
11	雷电冲击伏秒特性试验	8.12	线路避雷器 1 只
12	机械性能试验	8.13	线路避雷器本体元件 3 只
13	密封试验	8.15	线路避雷器本体元件 1 只
14	短路电流试验	8.16	线路避雷器本体元件 2 只
15	爬电距离检查	8.17	线路避雷器 1 只
16	外套绝缘耐受试验	8.19	线路避雷器外套 1 只
17	本体故障后的绝缘耐受试验	8.20	线路避雷器 1 只
18	局部放电试验	8.21	线路避雷器本体 1 只
19	无线电干扰试验	8.22	线路避雷器 1 只
20	气候老化试验	8.23	线路避雷器本体比例单元 1 只
21	外观检查	8.24	线路避雷器 1 只
22	金具镀锌检查	8.25	线路避雷器 1 只
23	间隙距离检查*	8.26	线路避雷器 1 只
24	支撑件直流耐受电压试验*	8.27	支撑件 1 只
25	支撑件陡波冲击电压试验*	8.28	支撑件 1 只
* 仅为带支撑件间隙线路避雷器试验项目。			

9.2 例行试验

出厂的每只线路避雷器应按表 9 的规定进行试验。如果线路避雷器不满足表 9 中所规定的任何一项要求时，则此线路避雷器认为不合格。

表 9 线路避雷器例行试验项目

序号	试验名称	试验要求	试品
1	直流参考电压试验	8.3	线路避雷器本体
2	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	8.4	线路避雷器本体
3	残压试验	8.5	电阻片
4	密封试验	8.15	线路避雷器本体

5	局部放电试验	8.21	线路避雷器本体
6	外观检查	8.24	线路避雷器
7	金具镀锌检查	8.25	线路避雷器
8	间隙距离检查*	8.26	线路避雷器
9	支撑件直流耐受电压试验*	8.27	支撑件
* 仅为带支撑件间隙线路避雷器试验项目。			

9.3 抽样试验

抽样试验是制造厂按批次以一定比例抽取试品试验，以保证生产工艺的稳定性，抽样试验用的试品不得投入运行。试验主要用于制造厂内部质量控制，试验判定在满足标准的前提下可由制造厂进一步提出更高要求。

线路避雷器的抽样试验项目见表 10。

表 10 线路避雷器抽样试验项目

序号	试验名称	试验要求	试品及数量
1	大电流冲击耐受试验	8.7	1%（不少于 5 片）
2	雷电放电能力	8.8	1%（不少于 10 片）

9.4 定期试验

为了控制产品质量，对于生产的产品必须 5 年进行 1 次定期试验，长期停产后恢复生产时应进行定期试验。定期试验的试品是从正常生产的产品中抽取。线路避雷器的定期试验项目见表 11。

表 11 线路避雷器定期试验项目

序号	试验名称	试验要求	试品及数量
1	残压试验	8.5	比例单元 3 只
2	动作负载试验	8.6	比例单元 3 只
3	雷电放电能力	8.8	比例单元 3 只
4	机械性能试验	8.13	线路避雷器本体元件 1 只
5	支撑件陡波冲击电压试验*	8.28	支撑件 1 只
* 仅为带支撑件间隙线路避雷器试验项目。			

9.5 验收试验

如在订货协议中规定有验收试验时，则应抽取最接近供货线路避雷器数量立方根又小于立方根的整数进行验收试验。业主单位对制造厂生产的线路避雷器是否符合技术要求进行该项试验，在制造厂进行。

线路避雷器的验收试验项目见表 12。

表 12 线路避雷器验收试验项目

序号	试验名称	试验要求	试品

1	直流参考电压试验	8.3	线路避雷器本体
2	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	8.4	线路避雷器本体
3	残压试验	8.5	比例单元
4	密封试验	8.15	线路避雷器本体
5	爬电距离检查	8.17	线路避雷器本体
6	局部放电试验	8.21	线路避雷器本体
7	外观检查	8.24	线路避雷器
8	金具镀锌检查	8.25	线路避雷器
9	间隙距离检查*	8.26	支撑件
10	支撑件直流耐受电压试验*	8.27	支撑件
* 仅为带支撑件间隙线路避雷器试验项目。			

9.6 特殊试验

由于应用条件的复杂性、多样性，必要时供需双方协商开展表 13 规定的或其他特殊试验。

表 13 线路避雷器特殊试验项目

序号	试验名称	试验要求	试品及数量
1	振动性能试验	8.14	线路避雷器 1 只
2	续流遮断试验	8.18	线路避雷器或比例单元 1 只

9.7 交接试验

交接试验是安装和运行单位交接程序的一部分，也是接入电力网前的试验。目的是检验线路避雷器运输及安装后，线路避雷器是否受到损害，是否符合技术要求并确定可否投入运行。交接试验主要试验项目和试验要求如下：

1）测量线路避雷器本体绝缘电阻及基座绝缘电阻（如有）：避雷器本体绝缘电阻应不低于 2500MΩ（使用 5000V 兆欧表）。基座（如有）绝缘电阻应不低于 5 MΩ（使用 500V 兆欧表）。

2）测量避雷器本体的直流参考电压及 0.75 倍直流参考电压下的漏电流：直流参考电压应符合本标准要求且不低于出厂值的 95%，75%直流参考电压下的漏电流应不大于本标准规定值。

3）间隙距离的测量应符合厂家规定值。

9.8 预防性试验

对于线路避雷器，由于间隙的隔离作用，无需完全按照无间隙线路避雷器的要求进行预防性试验，但应进行定期巡线，目测线路避雷器的外观是否有损坏情况，并记录计数器的动作次数。

10 安装

10.1 总则

线路避雷器的安装包括安装点的选取、安装方式的确定、安装支架及金具的设计等内容。

选取线路避雷器的安装点时，应结合输电线路的重要程度、沿线的雷电活动情况，合理选取易击点

和易击段。

选取安装方式和设计安装金具时，应遵循安全性、可行性和经济性的原则。

10.2 安装选点

架空输电线路装设避雷器应按照输电线路在电网中的重要程度、线路走廊雷电活动强度、地形地貌及线路结构的不同，进行差异化配置，重点加强重要线路以及多雷区、强雷区内杆塔和线段的防雷保护。针对拟安装线路进行差异化防雷评估，以防雷性能评估结果为基础，结合分析得到的杆塔易闪络的原因确定相应的安装点位。对防雷改造之后线路的雷击闪络率再次进行计算，最终确定该线路安装选点治理策略。

通常情况下遵循下述选点原则：

a）雷电活动强烈的地段，尤其是山区；

b）线路雷击闪络率较高的地段和杆塔；

c）土壤电阻率较高、降低接地电阻难度大的地段和杆塔；

d）河谷、峡谷、山区风口和迎风坡面；

e）四周是山丘的潮湿盆地，如杆塔周围有鱼塘、水库、湖泊、沼泽地、森林或灌木，附近又有蜿蜒起伏的山丘；

f）土壤电阻率有突变的地带，土壤地质断层地带，岩石与土壤、山坡与稻田的交界处，岩石山脚下有小河的山谷等地，雷易击于低土壤电阻率处；

g）地下有导电性矿的地面和地下水位较高处。

h）避雷器宜安装在线路易击段杆塔正极性导线侧。

10.3 安装方法

10.3.1 纯空气间隙线路避雷器

10.3.1.1 总则

纯空气间隙线路避雷器一般有悬挂式、支柱式和斜拉式三种安装方式，根据现场实际情况，也可以选取其他的合理安装方式。

10.3.1.2 悬挂式安装

悬挂式安装是将避雷器本体安装于由横担沿导线方向伸出的安装支架上，线路避雷器本体高压侧电极安装于避雷器本体下端，导线侧电极通过电极支架和连接金具安装在分裂导线上的安装方法，如图 5 所示。

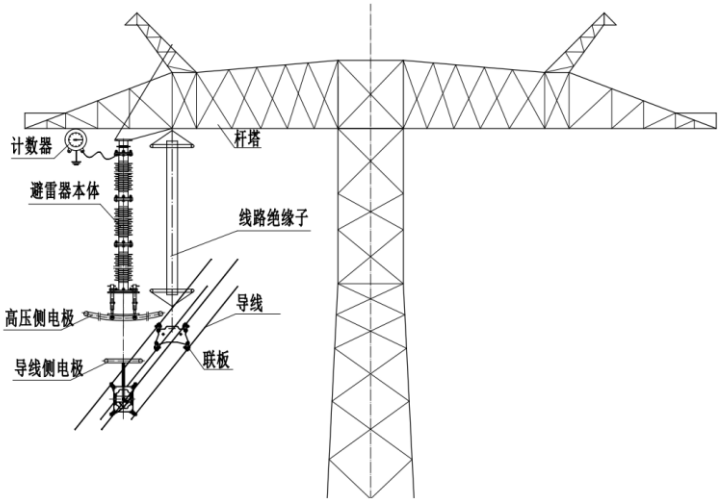


图 5 悬挂式安装示意图

悬挂式安装的安装要求：

a）设计安装支架和吊架时，除应考虑满足避雷器安装强度外，还需验算避雷器安装后对铁塔强度及电气间隙距离的影响是否满足技术要求；

b）安装支架伸出足够的距离，并留有一定裕度，防止避雷器对绝缘子金具放电或影响绝缘子的电压分布；

c）导线侧电极长轴方向应与导线平行，线路避雷器本体高压侧电极长轴方向应与导线垂直。

10.3.1.3 支柱式安装

支柱式安装是将避雷器本体安装在导线下方预先架设好的安装平台上，线路避雷器本体高压侧电极安装于避雷器本体上端，导线侧电极通过电极支架和连接金具安装在分裂导线上的安装方法，如图 6 所示。

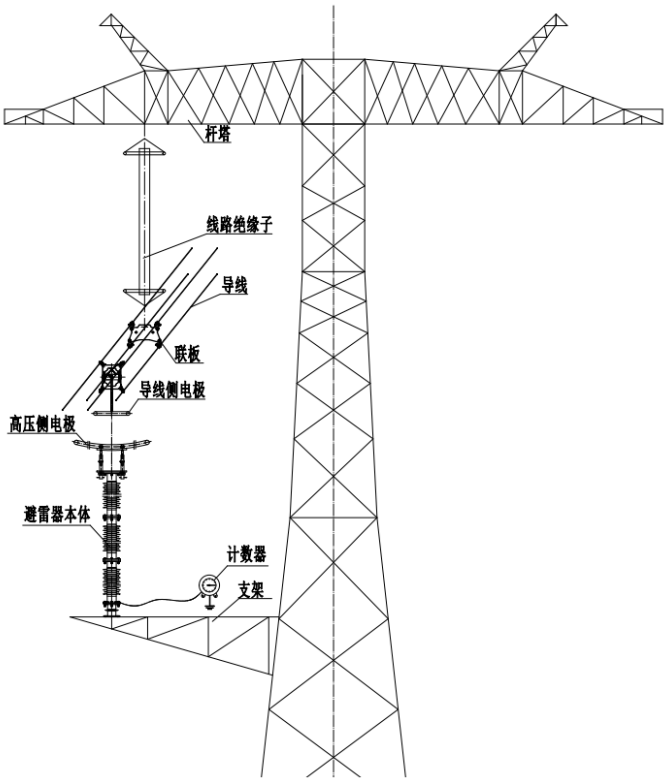


图 6　支柱式安装示意图

支柱式安装的安装要求：

a）设计安装平台时，除应考虑满足避雷器安装强度外，还需验算避雷器安装后对铁塔强度及电气间隙距离的影响是否满足技术要求；

b）导线侧电极长轴方向应与导线平行，线路避雷器本体高压侧电极长轴方向应与导线垂直。

10.3.1.4　斜拉式安装

复合绝缘子斜拉式安装是将避雷器本体安装于由夹具固定在杆塔主材上的安装支架上，通过在头部、中部、尾部的 V 串复合绝缘子斜拉固定，绝缘子串上端通过夹具与杆塔主材相连，线路避雷器本体高压侧电极通过法兰安装于避雷器本体上端，导线侧电极通过导线联板和连接附件安装在分裂导线上的安装方法，见图 7 所示。

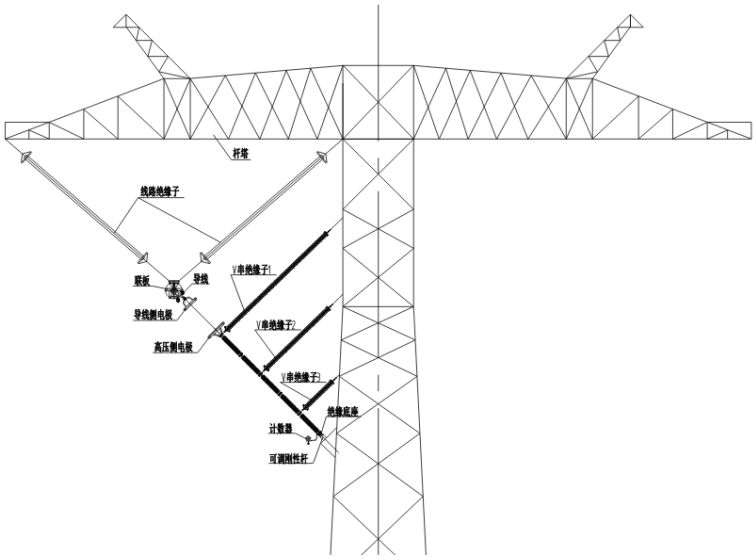


图 7 复合绝缘子斜拉式安装示意图示意图

复合绝缘子斜拉式安装的安装要求：

a）设计时，除应考虑满足避雷器安装强度外，还需验算避雷器安装后对杆塔强度及电气间隙距离的影响是否满足技术要求；

b）V 串复合绝缘子机械负荷及爬电比距应满足相关技术要求。

10.4 放电计数器的安装

放电计数器应紧靠避雷器安装，过长的引下线产生的电感压降可能导致线路避雷器的绝缘底座闪络，也会影响线路避雷器的保护水平。

放电计数器通过夹具固定在铁塔上，安装时应注意放电计数器的位置和方向，确保运行维护人员能够通过登塔或其他方式准确读出动作次数，如图 7 所示。

附 录 A
（资料性附录）
2ms 方波冲击电流与雷电放电能力

线路避雷器用电阻片应具有耐受持续时间几十微秒的电流波下的雷电放电能力。相关的试验已包含了多重雷击的影响。

国内交流线路避雷器有关标准，如DL/T 815-2010、国家电网公司直流线路避雷器企业标准一般用2ms方波考核电阻片在冲击电流下的耐受能力，附表A-1给出了现行线路避雷器的2ms方波冲击电流耐受能力。

附表 A-1 线路避雷器的 2ms 方波冲击电流

系统额定电压/ kV	2ms 方波冲击电流耐受能力/A
±400	1200
±500	1200
±660	2000
±800	2000
±1100	2000

附　录　B（资料性附录）
直流输电线路杆塔空气间隙距离及线路避雷器 50%放电电压

按GB/T311.2-2013附录F给出的公式计算，线路绝缘的正极性雷电冲击50%放电电压为：

$U_{50RP}=530d$　　（1）

其中U_{50RP}表示棒板间隙的50%放电电压，单位为kV（峰值），d表示输电线路的最小空气间隙距离，范围为1~10,单位为m。

公式（1）适用于海平面（海拔高度为0m），按公式（1）计算线路绝缘水平时，可按GB/T 311.1-2012附录B给出的公式进行海拔修正:

$Ka=e^{q*H/8150}$　　（2）

公式（2）适用于雷电冲击，其中Ka为海拔修正因数，q=1.0为指数，H为海拔高度，单位为m。

因此海拔高度为H，输电线路的最小空气间隙距离为d时，输电线路杆塔空气间隙的正极性雷电冲击50%放电电压应为：

$U_{50}=530d/e^{q*H/8150}$

线路避雷器正极性雷电冲击50%放电电压应不大于与之并联的输电线路杆塔空气间隙的正极性雷电冲击50%放电电压的82%。如有必要，线路避雷器雷电冲击50%放电电压也可取不高于线路绝缘水平雷电冲击50%放电电压的75%。

附表B-1给出了各电压等级输电线路典型的最小空气间隙距离，并根据最小空气间隙距离和上述计算方法推荐了线路避雷器的正极性雷电冲击50%放电电压推荐值，其中计算放电电压时，同一间隙距离下取对应的最高海拔。如对于±400kV直流输电线路，最小间隙距离为4.70m的输电线路杆塔，海拔4500m处安装线路避雷器时，避雷器的正极性雷电冲击50%放电电压应不大于892kV。

附表B-1给出的仅是典型输电线路杆塔空气间隙，应确认实际安装点的海拔高度和空气间隙距离，并据此核算线路避雷器的放电电压。

附表B-1　线路避雷器雷电冲击放电电压典型值

系统电压/ kV	输电线路杆塔空气间隙			线路避雷器
	典型海拔高度 /m	最小间隙距离 /m	正极性雷电冲击 U50%/ kV	正极性雷电冲击 U50% / kV
±400	2500-4500	4.7	1434	1176
	4500-5000	5.0	1435	1177
	5000-5300	5.2	1438	1179
±500（单回路）	0-1000	3.4	1594	1307
±500（双回路）	0-1000	4.2	1969	1615
±660（单回路）	0-1000	5.1	2391	1961
±800	0-500	4.9	2442	2003
	500~1000	5.3	2485	2037
	1000~2000	5.9	2447	2006
±1100	0-1000	8.9	4172	3421
	1000-2000	9.5	3939	3230
	2000-3000	9.9	3631	2978

注1：±400kV相关数据来源于青藏联网柴拉线1#~1395#杆塔空气间隙设计值。

注 2：±500kV 和±660kV 相关数据来源于 DL/T5497-2015《高压直流架空输电线路设计技术规程》。

注 3：±800kV 相关数据来源于 GB/T 50790-2013《±800kV 直流架空输电线路设计规范》。

注 4：±1100kV 相关数据来源于国家电网公司企业标准 Q/GDW 11675-2017《±1100kV 直流架空输电线路设计规范》。

附 录 C
（资料性附录）
线路避雷器的海拔修正和气象修正

线路避雷器的放电电压与串联间隙的放电电压和本体参考电压有关，串联间隙的放电电压受海拔高度和气象条件影响，而本体参考电压不受海拔高度和气象条件影响。因此，线路避雷器的放电电压不能简单采用空气间隙的海拔修正或气象修正方法。

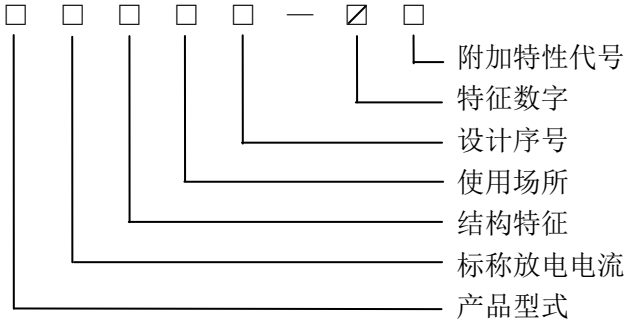
考虑到绝缘配合系数较大，线路避雷器进行雷电冲击放电电压试验、操作冲击电压耐受试验、直流电压耐受试验、雷电冲击伏秒特性试验等试验时，可以不再进行气象修正，但试验时应记录气象条件。

当线路避雷器安装点海拔高度超过 1000m 时，雷电冲击放电电压试验和雷电冲击伏秒特性试验的试验地点的海拔高度应不高于安装点的海拔高度。操作冲击电压耐受试验和直流电压耐受试验的试验地点的海拔高度应不低于安装点的海拔高度。

具备条件时，可以在人工气候罐内通过改变大气压力的方式，模拟高海拔环境条件进行线路避雷器的上述试验。

附 录 D
（规范性附录）
线路避雷器型号

线路避雷器型号编制方法参照 JB/T 8459，规定如下：



其中各个单元代表的含义如下：

产品型式：一般为 YH，表示线路避雷器用电阻片主要材料为氧化锌，外套为复合外套。

标称放电电流：一般为 20 或 30，表示线路避雷器的标称放电电流，单位为 kA。

结构特征：一般为 C，表示带间隙线路避雷器。

使用场所：一般为 XL，表示适用于直流系统输电线路。

设计序号：当产品结构特征、使用场所及特征数字均相同，但其外形尺寸、内部结构、安装结构或其他特性不同时，需要在产品型号上区别时，则使用设计序号，并按产品开发时间顺序依次排列，以阿拉伯数字表示。它既不代表产品的先进性，也不代表制造厂。

特征数字：斜线上方为线路避雷器额定电压（单位为 kV），斜线下方为线路避雷器本体在标称放电电流下的残压（单位为 kV）。

附加特性代号：W 表示适用于重污秽地区，G 表示适用于高海拔地区，J 表示带支撑件间隙线路避雷器，K 表示纯空气间隙线路避雷器。