

ICS 29.080.10
K 48
备案号: 40074-2013

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1244 — 2013

交流系统用高压绝缘子人工覆冰 闪络试验方法

Artificial icing flashover test methods on high voltage insulators
to be used in AC system

2013-03-07 发布

2013-08-01 实施

国家能源局 发布

目 次

| | |
|----------------------------------|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 覆冰类型及覆冰试验方法分类 | 1 |
| 5 试验电源及覆冰试验环境模拟系统 | 2 |
| 6 融冰过程中闪络的试验程序 | 2 |
| 7 覆冰过程中闪络的试验程序 | 5 |
| 8 绝缘子的闪络或耐受特性 | 5 |
| 附录 A (资料性附录) 不同类型覆冰结构特点 | 7 |
| 附录 B (规范性附录) 气候室模拟的雨淞类型覆冰参数 | 8 |
| 附录 C (资料性附录) 根据升压法确定覆冰闪络电压参考值的方法 | 9 |

前 言

本标准根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2007 年行业标准修订、制定计划的通知》（发改办工业〔2007〕1415 号）的安排制定。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业绝缘子标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准负责起草单位：中国电力科学研究院。

本标准参加起草单位：国网电力科学研究院、重庆大学。

本标准主要起草人：周军、高海峰、于昕哲、宿志一、吴光亚、蒋兴良。

本标准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）。

交流系统用高压绝缘子人工覆冰闪络试验方法

1 范围

本标准规定了交流系统用高压绝缘子人工覆冰闪络试验方法。表面覆涂防污闪涂料的瓷、玻璃绝缘子或加装辅助伞裙的绝缘子可参照本标准执行。

本标准包括带电和不带电绝缘子串的人工覆冰闪络试验方法。

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 4585—2004 交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求

DL/T 859—2004 高压交流系统用复合绝缘子人工污秽试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

覆冰 **icing**

指在绝缘子表面形成的冰层、冰柱、冰棱等。

3.2

单元试验 **unit test**

指在对一规定污秽度下的试品经过覆冰过程，以及对该覆冰试品施加一规定交流试验电压持续至规定时间或至发生闪络所构成的单一过程。

3.3

覆冰水电导率 **conductivity of icing water**

用于对试品进行喷淋，导致绝缘子表面覆冰的水的电导率，单位是 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

3.4

融冰水电导率 **conductivity of melting ice**

指融冰过程中绝缘子覆冰表面融化后的冰水的电导率，单位是 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

3.5

50%交流覆冰闪络电压 **50% AC icing flashover voltage**

在给定的覆冰试验条件下，覆冰绝缘子在一组单元试验中发生50%交流覆冰闪络概率的电压，单位是 kV。

3.6

运行电压 **operating voltage**

输电线路或变电站设备实际运行的电压值，单位是 kV。

4 覆冰类型及覆冰试验方法分类

4.1 覆冰类型

覆冰类型通常有雨淞、硬雾淞、软雾淞三类，对这三类覆冰类型的形成条件和形态描述见附录 A。

4.2 覆冰试验方法分类

相同条件下,由雨淞覆冰类型的覆冰绝缘子闪络电压最低,本标准推荐的覆冰方法为雨淞类型的绝缘子覆冰方法。根据试验条件差异,绝缘子人工覆冰方法分为带电覆冰和不带电覆冰两类。

- a) 带电覆冰: 试验绝缘子串施加一定电压,进行覆冰过程。
- b) 不带电覆冰: 试验绝缘子串不施加电压,进行覆冰过程。

4.3 覆冰闪络试验方法分类

根据闪络时间的差异,绝缘子人工覆冰闪络试验的方法分为两类。

- a) 覆冰闪络: 发生覆冰过程中的闪络。
- b) 融冰闪络: 覆冰完成后,发生融冰过程中的闪络。

5 试验电源及覆冰试验环境模拟系统

5.1 试验电源

试验电源应符合 GB/T 4585—2004 的有关要求。

5.2 覆冰试验环境模拟系统

本标准推荐的模拟雨淞覆冰的试验环境模拟系统(气候室)的条件控制参数见附录 B。

6 融冰过程中闪络的试验程序

融冰过程中的闪络试验,应使试验尽可能模拟因辐照或环境温度升高,使冰层融化的某些现场条件(例如日出或暖锋气流)。

6.1 覆冰阶段

6.1.1 试品准备

试品采用表面洁净的绝缘子、预涂污的绝缘子或自然积污绝缘子。

预涂污绝缘子的污染和干燥方法按照 GB/T 4585—2004 或 DL/T 859—2004 中规定的固体污层法进行。

6.1.2 试品布置

绝缘子一般均按实际安装方式布置。

绝缘子的任何部分与除了绝缘子的支架和喷嘴柱(当使用时)之外的任何接地物之间的最小间距为每 100kV 试验电压不应小于 1.0m,并且在任何情况下不得小于 1.5m。

对于全尺寸的绝缘子串,如果实际运行中安装了均压环,那么在试验中应加上均压环或其他金具。

6.1.3 冷却

人工气候室环境温度降至预定覆冰的温度。

覆冰前绝缘子温度冷却到与周围环境温度相同为止。

6.1.4 预覆冰

为避免覆冰喷淋水对绝缘子表面污秽的冲刷,在覆冰试验开始前,可采用手工的方式对绝缘子上表面喷覆一定的预覆冰喷淋水,使绝缘子上表面形成一层薄冰,预覆冰喷淋水应和覆冰喷淋水的电导率相同。

6.1.5 施加交流电压

在绝缘子覆冰过程中,为了模拟现场运行绝缘子的自然覆冰过程,施加交流运行电压,或根据绝缘子串长的实际情况选用和绝缘子串长成比例的相应的运行电压,也可以根据试验要求施加预定电压。本标准推荐对绝缘子串施加的交流电压应不低于该试品预计 50%交流覆冰闪络电压值的 0.7 倍。

在条件不具备的情况下,为了研究绝缘子的 50%交流覆冰闪络特性,可以进行不带电覆冰试验。

6.1.6 带电喷淋覆冰

6.1.6.1 喷淋水的准备

喷淋水的电导率可采用现场实际收集到水所测的电导率。在没有现场数据的情况下，喷淋水的电导率可按照 GB/T 16927.1 的规定，取 $(100 \pm 15) \mu\text{S}/\text{cm}$ （换算至 20℃ 时），也可以根据试验要求采用其他喷淋水的电导率。

喷淋水电导率的控制与改变可以通过在去离子水中加入一定的分析纯 NaCl 而实现。

6.1.6.2 喷淋水的预处理

喷淋水应进行预冷却处理，覆冰前喷淋水的温度应降至 4℃ 以下。

6.1.6.3 淋雨过程的控制

- 雨量：根据试验条件，可以采用连续喷淋或断续可控喷淋方式，但覆冰淋雨的连续降水量应与绝缘子人工淋雨试验一致，降雨量测量方法及装置与 GB/T 16927.1 中的规定相同。喷淋速率也可根据覆冰实际情况控制。
- 风：试验中可以增加风的影响因素，风速的偏差应小于 10%。
- 方向：淋雨过程形成的雨滴（或雾状水珠）到达测试绝缘子位置时的运动方向应向斜下方，并与垂直方向呈 $(45^\circ \pm 10^\circ)$ 夹角。按照 GB/T 16927.1 中的规定进行淋雨率测量时，在测试绝缘子位置测得的平均淋雨率的垂直分量和水平分量应相近，即均处于 1.0mm/min~2.0mm/min 的范围内。

6.1.6.4 泄漏电流的控制

在整个覆冰过程中，应注意监测泄漏电流情况。当出现泄漏电流大于 20mA 情况时，应适当减少喷淋时间，增大冻结时间。应避免出现泄漏电流大于 50mA 而对整体覆冰形态造成破坏的情况。

6.1.7 覆冰过程结束

绝缘子的最终覆冰状态以预定覆冰状态为依据。

在带电覆冰情况下，绝缘子伞间桥接达到预定覆冰程度时，覆冰阶段结束，进入硬化阶段。

6.2 硬化阶段

绝缘子覆冰达到预定的覆冰严重程度后，停止喷淋覆冰。同时，继续维持环境温度，并保持施加的电压，直至硬化过程完成。硬化时间应不小于 30min，这个阶段泄漏电流应始终小于 10mA，以确保绝缘子表面覆冰完全硬化。至此，覆冰绝缘子串的试品准备完成。保持施加电压不变。

6.3 绝缘子覆冰量的测量

绝缘子覆冰厚度的测量可在硬化过程接近完成时开始进行。

绝缘子覆冰程度可由多种特征量来表征，如固定和旋转圆柱体的覆冰厚度、绝缘子表面覆冰厚度、绝缘子覆冰重量、桥接严重程度等。

6.3.1 圆柱体覆冰厚度

在覆冰水喷淋的有效区域内，分别设置旋转和固定的圆柱体。圆柱体的直径为 25mm~30mm，长度为 600mm。旋转圆柱体的转速为 1r/min~3r/min。圆柱体表面冰层厚度可以反映覆冰量。

对圆柱体表面的覆冰厚度进行测量时，应在圆柱体中间区域取至少 3 个不同位置进行测量，并拍照记录。

一般情况下，覆冰后的两个圆柱体的最大覆冰直径应接近。当它们有较大差异时，以旋转的圆柱体的测量值为准。

6.3.2 绝缘子表面覆冰厚度

绝缘子表面的覆冰厚度是指试品表面的冰层厚度。绝缘子表面覆冰厚度的测量位置为伞裙边缘处，该厚度值可通过摄像图片按比例换算得出。

当沿绝缘子串不同位置的绝缘子表面覆冰厚度不同时，绝缘子表面的覆冰厚度应为至少三个不同位置的覆冰厚度最大值的平均值。

6.3.3 绝缘子覆冰重量

采用带有温度校正功能的重量传感器，测量绝缘子串在覆冰前后的重量，以覆冰前后的重量差值反映绝缘子的覆冰程度，也可采用其他可行的方法测量绝缘子的实际覆冰重量。

6.3.4 桥接严重程度

通过桥接严重程度来描述绝缘子串的覆冰严重程度。

覆冰严重程度（即桥接严重程度， S ）可定义为式（1）：

$$S = \frac{1}{(n-1)L} \sum_{i=1}^{n-1} l_i \times 100\% \quad (1)$$

式中：

n ——绝缘子串伞裙数（对于大小伞结构，则仅为大伞数）；

$n-1$ ——绝缘子伞裙（大伞）间的间隙数；

L ——伞裙（大伞）间的间隙长度，mm；

l_i ——每个伞裙间隙最长冰柱的长度，mm；

S ——绝缘子串桥接严重程度，百分数。

6.4 覆冰密度的测量

取一定量的油样（或 0℃ 的水）将其装入量筒或量杯中，测量油样的体积（ V_1 ）以及油样与容器的重量（ M_1 ），将冰样完全浸入装有油样的测量容器，测量浸入冰样的油样的总体积（ V_2 ），以及油样、冰样与容器的总重量（ M_2 ），然后利用下式计算覆冰密度（ ρ ）：

$$\rho = (M_2 - M_1) / (V_2 - V_1)$$

式中：

M_1 ——油样与容器的重量，g；

M_2 ——油样、冰样与容器的重量，g；

V_1 ——油样的体积， cm^3 ；

V_2 ——油样与冰样的总体积， cm^3 ；

ρ ——冰样的密度， g/cm^3 。

6.5 升压阶段

指从运行电压升至试验电压的过程。硬化阶段完成后，应继续保持环境温度，电压缓慢升至预计耐受或闪络的试验电压（试验电压一般高于运行电压）。在整个升压过程中，当出现泄漏电流大于 10mA 情况时，应适当降低升压平均速度，避免出现大泄漏电流导致提前破坏覆冰形态。

电压升至试验电压后，应保持环境温度继续对绝缘子覆冰进行硬化，硬化时间应不小于 30min，硬化过程与 6.2 一致。完成硬化后，保持环境温度，保持试验电压不变。

6.6 融冰阶段

在维持试验电压的状态下启动融冰装置，对覆冰绝缘子串进行融冰（在条件允许的条件下，应尽量避免由于升温措施不当造成的异常风、绝缘子凝露等现象）。人工气候室的室温从零度以下逐渐上升，直至冰层融化。起初的温升速度可不进行控制，当环境温度升至 -2℃ 后，温度上升速度控制为 2℃/h ~ 3℃/h。在整个融冰的过程中，可辅助测量温度和相对湿度。

在融冰过程中，收集绝缘子表面冰层融化后滴落的融冰水，测量其温度和融冰水电导率。

6.7 融冰闪络或耐受试验阶段

耐受试验结果有两种：闪络或耐受。

a) 闪络：当绝缘子发生贯穿性放电时，认为试品闪络。

b) 耐受：从环境温度升至 -2℃ 起，若 2h 内试品未发生闪络，或绝缘子间桥接的冰块大量脱落（脱冰量大于 1/2，或 $S < 50\%$ ），可认为试品耐受。

除根据升压法确定覆冰闪络电压（见附录 C）外，任何覆冰的绝缘子串只进行一次试验（闪络或耐受）。

7 覆冰过程中闪络的试验程序

应使覆冰过程中的闪络试验尽可能模拟某些现场条件（如冻雨条件），并且覆冰过程中的闪络发生在带电覆冰条件下。

7.1 试品

试品准备、试品布置应符合 6.1.1、6.1.2 的规定。

7.2 施加电压

试品准备、布置完成后，施加电压值为运行电压或预计 50%覆冰闪络电压。

7.3 覆冰试验条件

覆冰试验条件与融冰过程中闪络的试验程序相同，应符合 6.1.3、6.1.6 的规定。

7.4 试验完成

当按 6.3.4 计算的覆冰严重程度 S 稳定在某个数值范围内后，保持覆冰条件不变，持续 8h 后未发生闪络，则视为耐受，该次试验结束。

7.5 测量

试验完成后立即进行覆冰量、覆冰密度的测量，分别按 6.3、6.4 规定的方法测量。

8 绝缘子的闪络或耐受特性

8.1 绝缘子覆冰耐受特性的测定

8.1.1 给定污秽度和覆冰条件下最大覆冰耐受电压的测定

在一个给定污秽度和覆冰条件下，对绝缘子进行一系列单元试验。耐受试验电压水平相差为 5%~10%。试验应按照第 6 章或第 7 章的试验程序进行：

- a) 在某一电压水平下，发生闪络的单元试验总数达到 2 次时，将不进行相同或更高电压水平下的试验。
- b) 在某一电压水平下，试验结果为耐受的单元试验总数达到 3 次时，将不进行相同或更低电压水平下的试验。

如果在任一电压水平下有 3 次单元试验的结果为耐受，并且在下一个更高的电压水平下有 2 次单元试验的结果为闪络，则认为所使用的电压是在该污秽度和覆冰条件下的最大覆冰耐受电压。

8.1.2 给定试验电压和污秽度条件下最大覆冰厚度的测定

绝缘子应在给定试验电压和污秽度条件下，按照第 6 章或第 7 章的试验程序进行。

- a) 在某一覆冰厚度下，发生闪络的单元试验的总数达到 2 次时，将不进行相同或更大覆冰厚度的试验。
- b) 在某一覆冰厚度下，试验结果为耐受的单元试验的总数达到 3 次时，将不进行相同或更低的覆冰厚度下的试验。

如果任一覆冰厚度下有 3 次单元试验的结果为耐受，并在规定的下一个较高覆冰厚度下有两次单元试验的结果是闪络，则应认为所使用的覆冰厚度是在该试验电压和现场污秽条件下的最大耐受覆冰厚度。

8.1.3 给定试验电压和覆冰厚度下最大耐受污秽度

绝缘子应在给定试验电压和覆冰厚度条件下，按照第 6 章或第 7 章的试验程序进行。

- a) 在某一污秽度下，发生闪络的单元试验的总数达到 2 次时，将不进行相同或更大污秽度的试验。
- b) 在某一污秽度下，试验结果为耐受的单元试验的总数达到 3 次时，将不进行相同或更低的污秽度下的试验。

如果任一污秽度下有 3 次单元试验的结果为耐受，并规定的下一个较高污秽度下有两次单元试验的结果是闪络，则应认为所使用的污秽度是在该试验电压和覆冰条件下的最大耐受污秽度。

8.2 给定覆冰条件下 50% 交流覆冰闪络电压的测定

在给定的覆冰条件下绝缘子应经受至少 10 次有效的试验。试验应按照第 6 章或第 7 章进行。每一次试验施加的电压水平应按升降法变化，电压级差应不大于预期 50% 交流覆冰闪络电压的 10%。

与前一次试验产生的效果不同的第一个试验选作为第一个有效试验，只有这一次试验和随后至少 9 次试验才作为有效的试验，并用它们来确定 50% 交流覆冰闪络电压。

50% 交流覆冰闪络电压应使用式 (2) 计算：

$$U_{50\%} = \frac{\sum(n_i \times U_i)}{N} \quad (2)$$

式中：

U_i —— 施加的电压水平，kV；

n_i —— 在相同的施加电压水平 U_i 下进行试验的次数；

N —— 有效试验的次数。

附录 A
(资料性附录)
不同类型覆冰结构特点

形成不同类型覆冰的气候条件主要参数见表 A.1。

表 A.1 不同类型覆冰结构特点

| 覆冰类型 | 冰的密度 g/cm ³ | 环境温度 ℃ | 风速 m/s | 状态描述 |
|------|---------------------------|-----------|-----------|--|
| 雨淞 | 0.7~0.9 | -3~0 | 1~20 | 一种由降水在固体表面形成的比较洁净、透明的覆冰形式，积累形成后覆冰的密度大多为 700kg/m ³ ~900kg/m ³ 。多由冻雨（以液体状态滴落，但在接触暴露在空气中的固体表面后迅速冻结成透明冰层的降雨形式）形成。在冻结物上会形成洁净、透明的冰柱。具有很强的黏附性，很难从黏接部位敲除 |
| 硬雾凇 | 0.3~0.7 | -15~-3 | 5~20 | 覆冰内部具有均匀气泡的结构，积累形成覆冰的密度大多为 300kg/m ³ ~700kg/m ³ 。会在暴露物体的迎风面上形成坚硬的三角锥或圆锥形结构，但会在导线上形成均匀的圆柱形。此类覆冰也具有较强的黏附性，也较难从黏接部位敲除 |
| 软雾凇 | <0.3 | -25~-5 | 5~20 | 颗粒状覆冰结构，积累形成覆冰的密度大多为 150kg/m ³ ~300kg/m ³ ，结构比较稀松。在暴露物体的迎风面上也会形成三角锥或圆锥形结构，但其在物体表面的黏附性较弱，很容易用手清除 |

附录 B
(规范性附录)
气候室模拟的雨淞类型覆冰参数

本标准推荐的气候室模拟的雨淞类型覆冰参数见表 B.1。

表 B.1 气候室模拟的雨淞类型覆冰参数

| 覆冰参数 | | 单位 | 推荐值 |
|---------------|------|--------|---------|
| 覆冰类型 | | — | 雨淞 |
| 覆冰厚度 | | mm | 5~30 |
| 测量点的覆冰淋雨率 | 水平分量 | mm/min | 1.0~2.0 |
| | 垂直分量 | mm/min | 1.0~2.0 |
| 覆冰水的电导率(20℃时) | | μS/cm | 100±15 |
| 风速 | | m/s | 0~12 |
| 环境温度 | | ℃ | -15~-5 |
| 喷水角度 | | (°) | 45±10 |

附录 C

(资料性附录)

根据升压法确定覆冰闪络电压参考值的方法

由升压法确定的闪络电压不作为指导工程设计和运行的依据,但可作为研究绝缘子闪络特性的试验方法。特别是对于自然污秽绝缘子,由于试品绝缘子数量一般较少,无法按照每次升降 5%~10%的方式获得 50%耐受电压,可采用升压法得到覆冰闪络电压的参考值。

采用升压法进行试验时,试验的覆冰条件与 6.1.2、6.1.3、6.1.4、6.1.5、6.1.6、6.1.7 中的规定一致。覆冰的绝缘子串到达预先所规定的试验状态后,对其施加持续增加的试验电压,直至绝缘子串发生闪络。如一次闪络后,覆冰绝缘子串表面的冰层没有明显脱落,连接绝缘子串间的冰柱没有断裂和脱落时,可间隔 1min~2min 后,继续进行下一次升压闪络试验。通常情况下,每串覆冰绝缘子串的闪络次数不能超过 3 次。取所有闪络得到的闪络电压值中与最小的闪络电压值偏差不大于 15%的闪络电压值为有效闪络电压值。最终的闪络电压值为所有有效闪络电压值的平均值。
