



中华人民共和国国家标准

GB/T 4074.5—2024/IEC 60851-5:2019

代替 GB/T 4074.5—2008

绕组线试验方法 第5部分：电性能

Test methods of winding wires—Part 5:Electrical properties

(IEC 60851-5:2019, Winding wires—Test methods—
Part 5:Electrical properties, IDT)

2024-04-25 发布

2024-11-01 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 III

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 试验方法 5:电阻 1

5 试验方法 13:击穿电压 2

 5.1 试验原理 2

 5.2 试验设备 2

 5.3 漆包圆线 3

 5.4 导体标称直径大于 0.100 mm 且小于或等于 2.500 mm,绝缘厚度为 1 级至 3 级的漆包圆线 5

 5.5 导体标称直径大于 2.500 mm 的圆线 6

 5.6 丝包圆线 7

 5.7 扁线 9

6 试验方法 14:漆膜连续性(适用于漆包圆线和薄膜绕包圆线) 9

 6.1 概述 9

 6.2 低压连续性试验(导体标称直径小于或等于 0.050 mm,绝缘厚度为 1 级至 3 级) 9

 6.3 高压连续性试验(导体标称直径大于 0.050 mm 且小于或等于 1.600 mm,绝缘厚度为 1 级至 3 级,导体标称直径大于 0.035 mm 且小于或等于 1.600 mm,绝缘厚度为 FIW3 级至 FIW9 级) 10

 6.4 在线高压连续性试验(导体直径大于 0.035 mm 且小于或等于 1.600 mm,绝缘厚度 FIW3 级至 FIW10 级) 15

7 试验方法 19:介质损耗因数 $\tan\delta$ (适用于漆包线和束线) 17

 7.1 试验原理 17

 7.2 试验设备 17

 7.3 试样制备 18

 7.4 试验程序 18

 7.5 试验结果 18

8 试验方法 23:针孔试验 18

附录 A (规范性) 损耗因数法 19

 A.1 正切角—交点 19

 A.2 试验方法 19

 A.3 试验结果分析 20

参考文献 22



前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 4074《绕组线试验方法》的第5部分。GB/T 4074 已经发布了以下部分：

- 第1部分：一般规定；
- 第2部分：尺寸测量；
- 第3部分：机械性能；
- 第4部分：化学性能；
- 第5部分：电性能；
- 第6部分：热性能；
- 第7部分：测定漆包绕组线温度指数的试验方法；
- 第8部分：测定漆包绕组线温度指数的试验方法 快速法；
- 第21部分：耐高频脉冲电压性能。

本文件代替 GB/T 4074.5—2008《绕组线试验方法 第5部分：电性能》，与 GB/T 4074.5—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了击穿电压试验中部分试验设备（见 5.2，2008 年版的 4.2）；
- 更改了漆包圆线试验方法并明确了产品的绝缘厚度（见 5.3.1，2008 年版的 4.3）；
- 增加了绝缘厚度漆包圆线击穿电压试验方法（见 5.3.2）；
- 增加了漆膜连续性试验的概述（见 6.1）；
- 更改了漆膜连续性试验中低压连续性试验的规格范围（见 6.2，2008 年版的 5.1）；
- 更改了漆膜连续性试验中高压连续性试验的规格范围（见 6.3，2008 年版的 5.2）；
- 增加了高压连续性试验中石墨刷电极原理（见 6.3.1）；
- 增加了高压连续性试验中石墨纤维刷电极组件（见 6.3.2，2008 年版的 5.2.2）；
- 增加了在线高压连续性试验（见 6.4）。

本文件等同采用 IEC 60851-5:2019《绕组线 试验方法 第5部分：电性能》。

本文件增加了“术语和定义”一章。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称改为《绕组线试验方法 第5部分：电性能》。

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专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国电线电缆标准化技术委员会(SAC/TC 213)归口。

本文件起草单位：上海电缆研究所有限公司、江苏大通机电有限公司、长沙湘鸿仪器机械有限公司、无锡锡洲电磁线有限公司、巨丰电工材料(扬州)有限公司、上海国缆检测股份有限公司、上海申茂电磁线有限公司、珠海蓉胜超微线材有限公司、露笑科技股份有限公司。

本文件主要起草人：李福、肖先雄、梁学昊、张斌、蔡麟、诸冉冉、顾新建、冯忠泰、张东旭、王万忠、潘国梁、张兆。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

GB/T 4074.5—2024/IEC 60851-5:2019

- 1999 年首次发布为 GB/T 4074.5—1999；
- 2008 年为第一次修订；
- 本次为第二次修订。



引 言

绕组线作为电力、电机、电器、家电、电子、通信、交通、电网、航空等领域主要配套原材料之一,使用范围广,涉及领域多,已成为重要的机械工业产品。

GB/T 4074 作为国内测量绕组线产品的唯一试验方法标准,对产品检测、规范市场、产品提升均具有重要作用。

GB/T 4074《绕组线试验方法》旨在确立绕组线不同种类产品性能的试验方法标准,拟由以下 9 个部分构成。

- 第 1 部分:一般规定。目的在于确立绕组线试验方法的术语、定义和试验通则。
- 第 2 部分:尺寸测量。目的在于确立绕组线不同产品尺寸测量的试验方法。
- 第 3 部分:机械性能。目的在于确立绕组线不同种类产品机械性能的试验方法。
- 第 4 部分:化学性能。目的在于确立绕组线不同种类产品化学性能的试验方法。
- 第 5 部分:电性能。目的在于确立绕组线不同种类产品电性能的试验方法。
- 第 6 部分:热性能。目的在于确立绕组线不同种类产品热性能的试验方法。
- 第 7 部分:测定漆包绕组线温度指数的试验方法。目的在于确立测定漆包绕组线温度指数的试验规程。
- 第 8 部分:测定漆包绕组线温度指数的试验方法 快速法。目的在于确立测定漆包绕组线温度指数的快速试验规程。
- 第 21 部分:耐高频脉冲电压性能。目的在于确立绕组线的耐高频脉冲电压性能试验方法。



绕组线试验方法

第 5 部分:电性能

1 范围

本文件描述了绕组线下列试验方法:

- 试验方法 5:电阻;
- 试验方法 13:击穿电压;
- 试验方法 14:漆膜连续性;
- 试验方法 19:介质损耗因数;
- 试验方法 23:针孔试验;

术语、定义、试验方法通则和绕组线试验方法目录请依照 IEC 60851-1。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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。

IEC 60851-1 绕组线试验方法 第 1 部分:一般规定(Winding Wires—Test Methods—Part 1: General)

注: GB/T 4074.1—2024 绕组线试验方法 第 1 部分:一般规定(IEC 60851-1:2021, IDT)

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 试验方法 5:电阻

电阻是 20 °C 时 1 m 长绕组线的直流电阻。

所用试验方法的测量精度应为 0.5 %。

对于束线,其长度应不超过 10 m,并应在测量前将两端头焊锡。当测量电阻是为了检查断股情况时,应使用 10 m 长的束线。

如果电阻 R_t 是在温度 t 而不是在 20 °C 时测量,20 °C 时的电阻 R_{20} 应按下式计算:

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + \alpha(t - 20)}$$

式中:

t ——测量时的实际摄氏温度,单位为摄氏度(°C);

α ——温度系数,单位为负一次方开(K⁻¹)。

在 15 °C 至 25 °C 的温度范围内,所使用的温度系数应为:

——铜: $\alpha_{20}=3.96\times10^{-3}\text{K}^{-1}$;

——铝: $\alpha_{20}=4.07\times10^{-3}\text{K}^{-1}$ 。

做一次试验,记录电阻。

5 试验方法 13:击穿电压

5.1 试验原理

试验电压应是标称频率为 50 Hz 或 60 Hz 的交流电压。从零开始施加试验电压,然后按表 1 规定的恒定速率升压。

表 1 试验电压升压速率

击穿电压 V		升压速率 V/s
大于	小于或等于	
—	500	20
500	2 500	100
2 500	—	500

5.2 试验设备

应使用下列试验设备。

- 额定功率至少为 500 VA 的试验变压器。在试验条件下能输出近似正弦波形的交流电压,峰值系数为 $\sqrt{2}(1\pm5\%)(1.34\sim1.48)$,其容量能保证输出 5 mA 电流时的最大电压降为 2%。
- 泄漏电流检测回路,电流大于或等于 5 mA 时动作。
- 能以规定速率升压的试验电压装置。
- 强迫通风烘箱。
- 直径为 25 mm±1 mm 的抛光金属圆棒,轴向水平安装(见图 1),并与试验电源的一个接线柱电气连接。
- 图 2 所示的扭绞装置,能扭绞 125 mm 长的两根漆包线试样。
- 6 mm 宽的金属箔和 12 mm 宽的压敏带。
- 盛有不锈钢珠或镀镍铁珠的容器,金属珠直径应不超过 2 mm,应定期用合适方法清洗金属珠。
- 直径为 50 mm±2 mm 的金属圆棒。
- 直径为 25 mm±1 mm 的金属圆棒。
- 直径为 80 mm±3 mm 的金属圆棒。

5.3 漆包圆线

5.3.1 导体标称直径小于或等于 0.100 mm,绝缘厚度为 1 级~3 级的漆包圆线

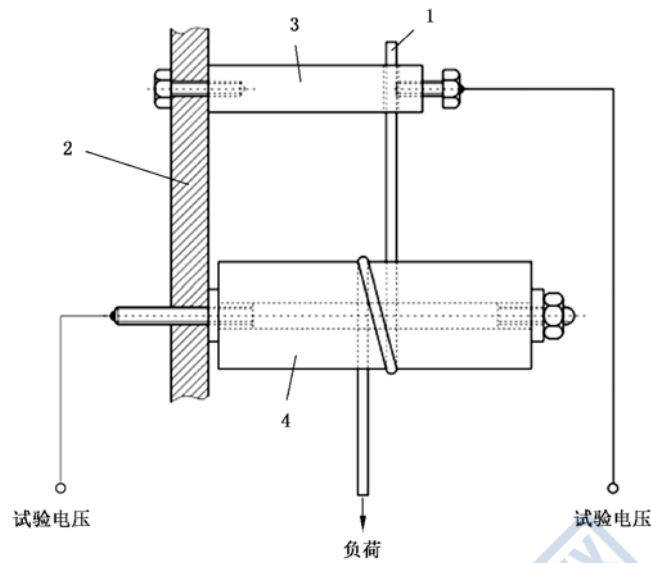
试验在直径为 25mm±1 mm 的圆棒上进行。将一根校直漆包线试样的一端除去绝缘,按图 1 所示接到上接线端,然后在金属圆棒上绕一圈。在漆包线的下端施加符合表 2.1 规定的负荷,以保持试样与金属圆棒紧密接触。

按 5.1 规定在漆包线导体和金属圆棒之间施加试验电压。试验应在室温下进行。

测试五个试样,记录五个击穿电压值。

表 2.1 施加在漆包线上的负荷

导体标称直径		负荷 N
mm		
大于	小于或等于	
—	0.018	0.013
0.018	0.020	0.015
0.020	0.022	0.020
0.022	0.025	0.025
0.025	0.028	0.030
0.028	0.032	0.040
0.032	0.036	0.050
0.036	0.040	0.060
0.040	0.045	0.080
0.045	0.050	0.100
0.050	0.056	0.120
0.056	0.063	0.150
0.063	0.071	0.200
0.071	0.080	0.250
0.080	0.090	0.300
0.090	0.100	0.400



标引序号说明：

- 1——试样；
- 2——绝缘体；
- 3——接线柱；
- 4——圆棒。

图 1 击穿电压试样用圆棒和试样的放置方式

5.3.2 导体标称直径小于或等于 1.600 mm, 绝缘厚度 FIW3 级至 FIW9 级的漆包圆线

按表 2.2 规定圆棒直径进行试验。

将一根校直漆包线试样的一段除去绝缘, 按图 1 所示接到上接线段, 然后在直金属圆棒上绕一圈。在漆包线的下端施加符合表 2.2 规定的负荷, 以保持试样和金属圆棒紧密接触。

按 5.1 的规定在漆包线导体和金属圆棒之间施加试验电压。试验在室温下进行。

测试五个试样, 记录五个击穿电压值。

表 2.2 施加在漆包线上的负荷

导体标称直径 mm		负荷 N	圆棒直径 mm
大于	小于或等于		
—	0.040	0.080	25±1
0.040	0.045	0.100	25±1
0.045	0.050	0.130	25±1
0.050	0.056	0.160	25±1
0.056	0.063	0.200	25±1
0.063	0.071	0.260	25±1

表 2.2 施加在漆包线上的负荷（续）

导体标称直径 mm		负荷 N	圆棒直径 mm
大于	小于或等于		
0.071	0.080	0.330	25±1
0.080	0.090	0.400	25±1
0.090	0.100	0.500	25±1
0.100	0.160	0.600	25±1
0.160	0.250	0.850	25±1
0.250	0.355	1.700	25±1
0.355	0.500	3.400	25±1
0.500	0.710	7.000	50±2
0.710	1.060	13.500	50±2
1.060	1.400	27.000	80±3
1.400	1.600	54.000	80±3

5.4 导体标称直径大于 0.100 mm 且小于或等于 2.500 mm，绝缘厚度为 1 级至 3 级的漆包圆线

5.4.1 室温下试验

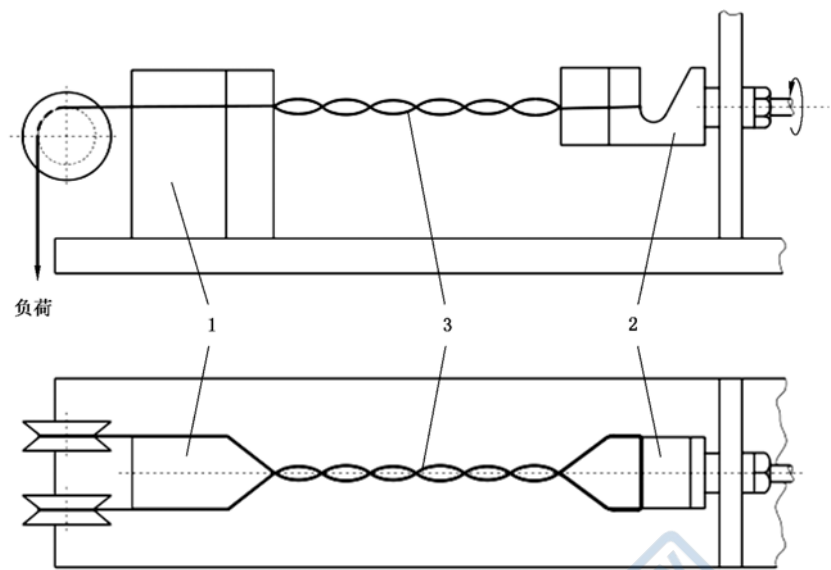
将一根约 400 mm 长的漆包线试样两端除去绝缘，对折后在图 2 所示的扭绞机上扭绞成(125±5) mm 的线对，将两端并紧。扭绞时施加在线对上的力和扭绞数应符合表 3 的规定。在两处剪断扭绞部分端环，并使剪断处端头间距最大。可弯曲端头使其间距合适，但应避免过分弯曲或损伤漆膜。

按 5.1 规定在漆包线两根导体之间施加试验电压。

测试五个试样。记录五个击穿电压值。

表 3 施加在线对上的负荷和扭绞数

导体标称直径 mm		负荷 N	扭绞数
大于	小于或等于		
0.100	0.250	0.85	33
0.250	0.355	1.70	23
0.355	0.500	3.40	16
0.500	0.710	7.00	12
0.710	1.060	13.50	8
1.060	1.400	27.00	6
1.400	2.000	54.00	4
2.000	2.500	108.00	3



标引序号说明：

- 1——分隔器；
- 2——旋转钩；
- 3——试样。

图 2 击穿电压试验用试样扭绞装置

5.4.2 高温下试验

将按 5.4.1 制备的试样置于预热到规定的试验温度 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中。试样至少放置 15 min 后，按 5.1 规定在漆包线两根导体之间施加试验电压。试验应在 30 min 内完成。

测试五个试样。记录五个击穿电压值。

5.5 导体标称直径大于 2.500 mm 的圆线

5.5.1 室温下试验

将一根足够长的校直试样的一端除去绝缘，然后按图 3 所示在圆棒上弯曲。

圆棒直径应为 $50\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ 。

将试样放在容器中，周围至少应保持有 5 mm 厚金属珠填充。试样端部应伸出足够长以避免闪络。

将金属珠轻轻地倒入容器直至试样至少覆盖 90 mm 深的金属珠。金属珠直径应不大于 2 mm；使用不锈钢珠、镍珠或镀镍铁珠比较合适。应定期用合适的溶剂清洗金属珠，比如 1,1,1-三氯乙烷。

按 5.1 的规定在导体和金属珠之间施加试验电压。

注：如果供需双方经协商同意，试验可在油中进行，油应符合 IEC 60296 规定或由供需双方协商同意。

测试五个试样。记录五个击穿电压值。

单位为毫米

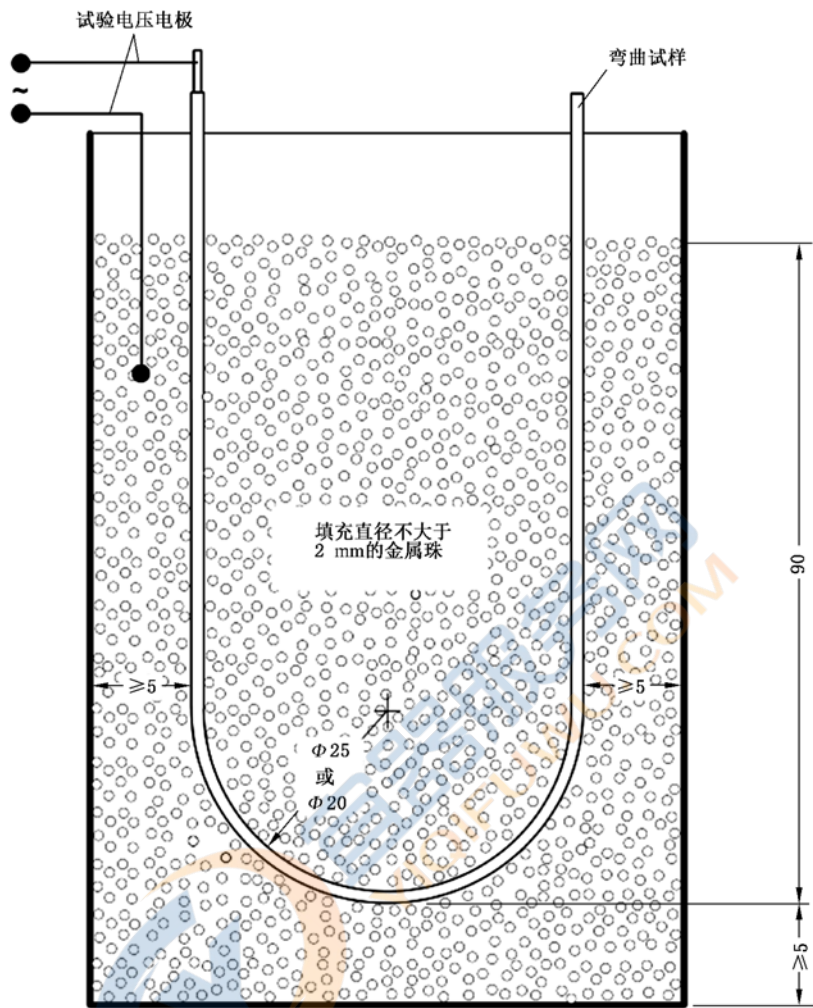


图 3 击穿电压试验用试样(试样置于金属珠槽内)

5.5.2 高温下试验

将按 5.5.1 制备的试样置于预热到规定的试验温度 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中。将金属珠和容器放入规定试验温度的烘箱中预热,放入试样时应保持该温度。放入试样时应避免对其损伤。

试样至少在烘箱中放置 15 min 后,按 5.1 的规定在导体和金属珠之间施加试验电压。试验应在 30 min 内完成。

试验温度的波动应控制在 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。

测试五个试样。记录五个击穿电压值。

5.6 丝包圆线

5.6.1 室温下试验

将一根足够长的校直试样的一端除去绝缘,然后按图 4 所示在圆棒上卷绕 10 圈。圆棒直径应:

- 标称直径小于或等于 2.500 mm,为 $(25\pm 1)\text{ mm}$;
- 标称直径大于 2.500 mm,为 $(50\pm 2)\text{ mm}$ 。

如图 4 所示,将试样放入容器中,周围至少应保持有 5 mm 厚金属珠填充。相邻圈之间的最小距离应为 2.5 mm。试样端部应伸出足够长以避免闪络。

将金属珠轻轻地倒入容器,直至试样至少覆盖 90 mm 深的金属珠。金属珠直径应不大于 2 mm;使用不锈钢珠、镍珠或镀镍铁珠比较合适。金属珠应每年清洗一次。

按 5.1 规定在导体和金属珠之间施加试验电压。

注: 如果供需双方协商决定,试验可在油中进行,油应符合 IEC 60296 规定或由供需双方协商同意。

应测试五个试样,记录五个击穿电压值。

单位为毫米

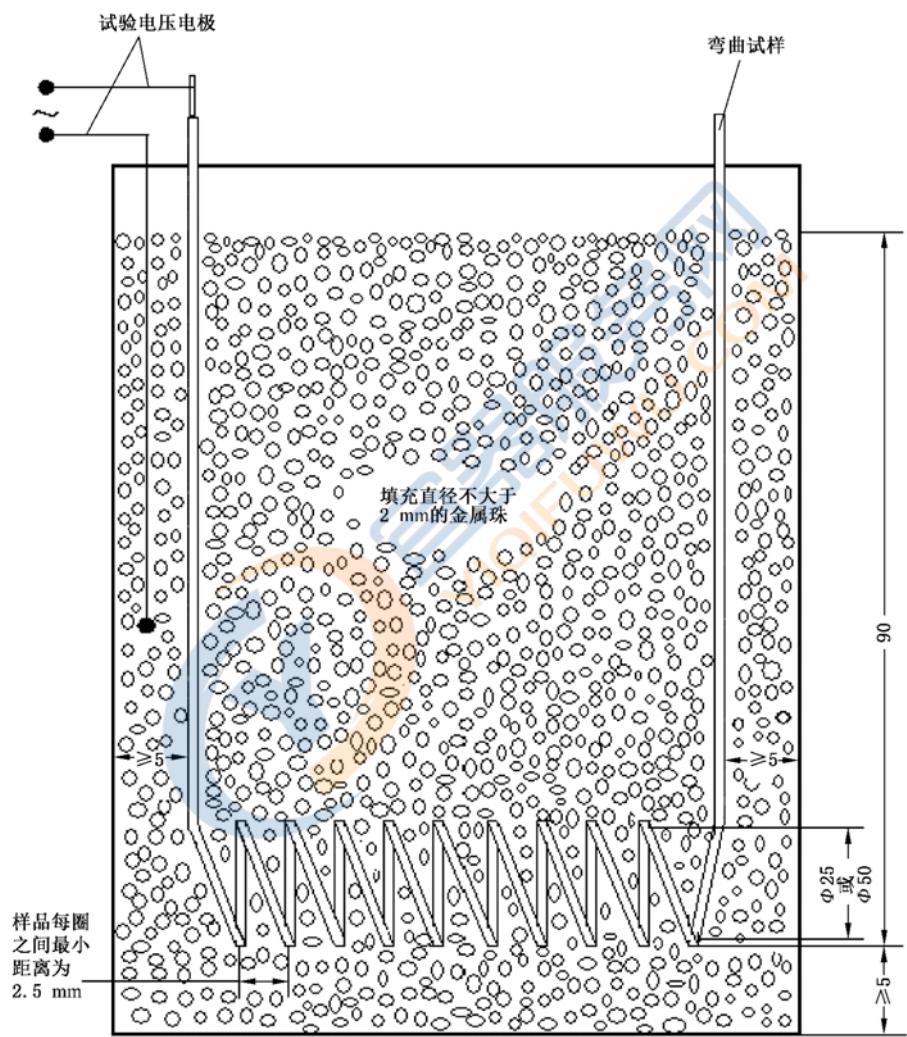


图 4 击穿电压试验用试样

5.6.2 高温下试验

将按 5.6.1 制备的试样置于预热到规定的试验温度 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中。将金属珠和容器放入规定试验温度的烘箱中预热,放入试样时应保持该温度。放入试样时应避免对其损伤。试样至少在烘箱中放置 15 min 后,按 5.1 的规定在导体和金属珠之间施加试验电压。试验应在 30 min 内完成。

试验温度的波动应控制在 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。

测试五个试样。记录五个击穿电压值。

5.7 扁线

5.7.1 室温下试验

将一根约 350 mm 长的校直试样的一端除去绝缘,然后按图 3 所示在圆棒上宽边弯曲。圆棒直径应:

——标称窄边尺寸小于或等于 2.500 mm,为 (25 ± 1) mm;

——标称窄边尺寸大于 2.500 mm,为 (50 ± 2) mm。

将试样放入容器中,周围至少应保持有 5 mm 厚金属珠填充。试样端部应伸出足够长以避免闪络。

将金属珠轻轻地倒入容器,直至试样至少覆盖 90 mm 深的金属珠。金属珠直径应不大于 2 mm;使用不锈钢珠、镍珠或镀镍铁珠比较合适。金属珠应定期清洗。

按 5.1 的规定在导体和金属珠之间施加试验电压。

注:如果供需双方协商决定,试验可在油中进行。

测试五个试样。记录五个击穿电压值。

5.7.2 高温下试验

将按 5.7.1 制备的试样置于预热到规定的试验温度 $\pm 3^\circ\text{C}$ 的烘箱中。将金属珠和容器放入规定试验温度的烘箱中预热,放入试样时应保持该温度。放入试样时应避免对其损伤。试样至少在烘箱中放置 15 min 后,按 5.1 规定在导体和金属珠之间施加试验电压。试验应在 30 min 内完成。

试验温度的波动应控制在 $\pm 3^\circ\text{C}$ 以内。

测试五个试样。记录五个击穿电压值。

6 试验方法 14:漆膜连续性(适用于漆包圆线和薄膜绕包圆线)

6.1 概述

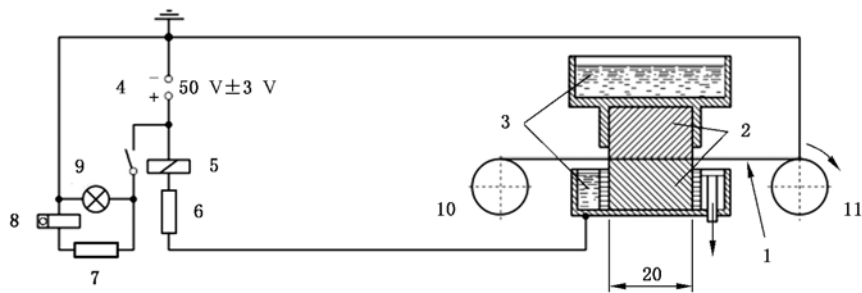
漆膜连续性是用单位长度绕组线通过电气试验回路检测出的针孔数表示。

6.2 低压连续性试验(导体标称直径小于或等于 0.050 mm,绝缘厚度为 1 级至 3 级)

使一根 (30 ± 1) m 试样以 (275 ± 25) mm/s 的速度在两块毛毡之间通过,毛毡应浸在浓度为 30 g/L 的硫酸钠电解质溶液中,试样导体和电解质溶液接入电气回路,其开路直流输出电压为 (50 ± 3) V(见图 5)。施加在试样上的力应不超过 0.03 N。应使用带计数器的合适的继电器测量针孔数。当试样的绝缘电阻小于 10 k Ω 的时间大于或等于 0.04 s 时,计数器应动作。当试样的绝缘电阻等于 15 k Ω 或更大时,计数器不应动作。针孔检测回路应以 (5 ± 1) ms 速度响应,当以裸线检测时,计数器显示为每分钟 (500 ± 25) 个。

做一次试验。记录每 30 m 长试样的针孔数。

单位为毫米



标引序号说明：

- 1 —— 线；
- 2 —— 毛毡；
- 3 —— 电介质溶液(浓度为 30 g/L 的 Na_2SO_4 水溶液)；
- 4 —— 直流电源；
- 5 —— 继电器；
- 6 —— 50 k Ω 电阻；
- 7 —— 50 k Ω 电阻；
- 8 —— 计数器；
- 9 —— 指示灯；
- 10 —— 带有绕组线的放线盘；
- 11 —— 收线盘。

图 5 低压漆膜连续性试验仪

6.3 高压连续性试验(导体标称直径大于 0.050 mm 且小于或等于 1.600 mm,绝缘厚度为 1 级至 3 级,导体标称直径大于 0.035 mm 且小于或等于 1.600 mm,绝缘厚度为 FIW3 级至 FIW9 级)

6.3.1 试验原理

使一根导体接地的试样以恒定速度通过一个“V”形槽电极(导轮)或通过石墨刷电极。在电极和接地之间施加直流试验电压。检测试样的针孔并用计数器计数。试验结果用每 30 m 长试样的针孔数表示。

6.3.2 试验设备

应使用下列试验设备。

- 高压电源。能输出经滤波的平滑直流电压,波动小于 5%,其开路试验电压可在 350 V~3 000 V 之间调节,任何试验电压下的阈值电流为 $(25 \pm 5) \mu\text{A}$ 。如果针孔处的电阻为 50 M Ω ,电压降应不超过 75%。
- 针孔检测回路。当阈值电流达到表 4 规定值时该回路动作,其响应速度为 $(5 \pm 1) \text{ms}$ 。如果是裸线试样,针孔计数器的重复计数频率为每分钟 (500 ± 25) 次。
- 两个高压电极导轮。由不锈钢制成,如图 6 所示。每个电极导轮与试样的接触长度为 25 mm。
- 如图 7 所示的高压电极导轮由不锈钢制成,与试样的接触长度为 25 mm~30 mm。
- 石墨纤维刷电极组件如图 8 所示,其结构应使导电刷完全围绕并接触导线表面 $(25 \pm 2.5) \text{mm}$

- (见图 6)。如果存在过度磨损或异物堆积,应检查、清洁或更换石墨纤维刷电极。石墨刷电极组件应在试验期间进行电气隔离,以防止在规定电压下出现错误读数。
- 接地导轮的外径为 (50 ± 0.25) mm,根部直径为 (40 ± 0.25) mm,间隔为 (140 ± 2) mm。
 - $4.7\times(1\pm10\%)$ M Ω 的脉冲阻尼电阻。接入高压线路中。

注: 高压电极的接地绝缘宜是非吸湿性的、不产生漏痕并容易清洗的高电阻率材料。其绝缘间隔宜能承受 3 000 V 的连续电压。由于在开关和计数过程中要求的是最小对地电容,因此高压引线不宜屏蔽。驱动电机宜是无刷型,其功率足以达到 1.600 mm 试样所需的牵引速度。

表 4 离线高压连续性阈值电流

试验电压(直流)	阈值电流
V	μA
3 000	16
2 500	14
2 000	12
1 500	10
1 000	8
750	7
500	6
350	5

单位为毫米

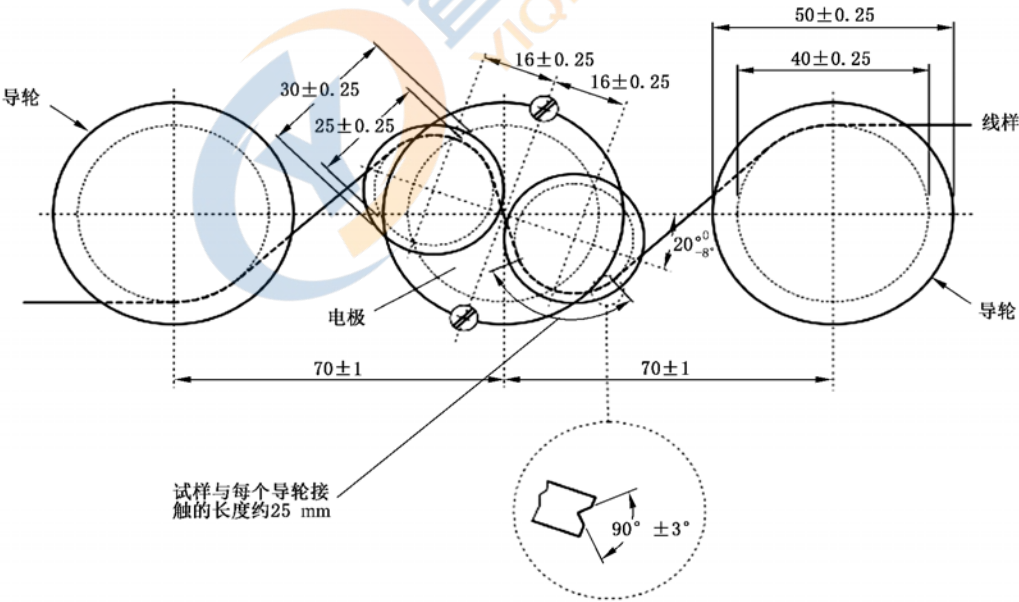


图 6 高压直流漆膜连续性试验仪(适用于线径 0.050 mm~0.250 mm 的导轮)

单位为毫米

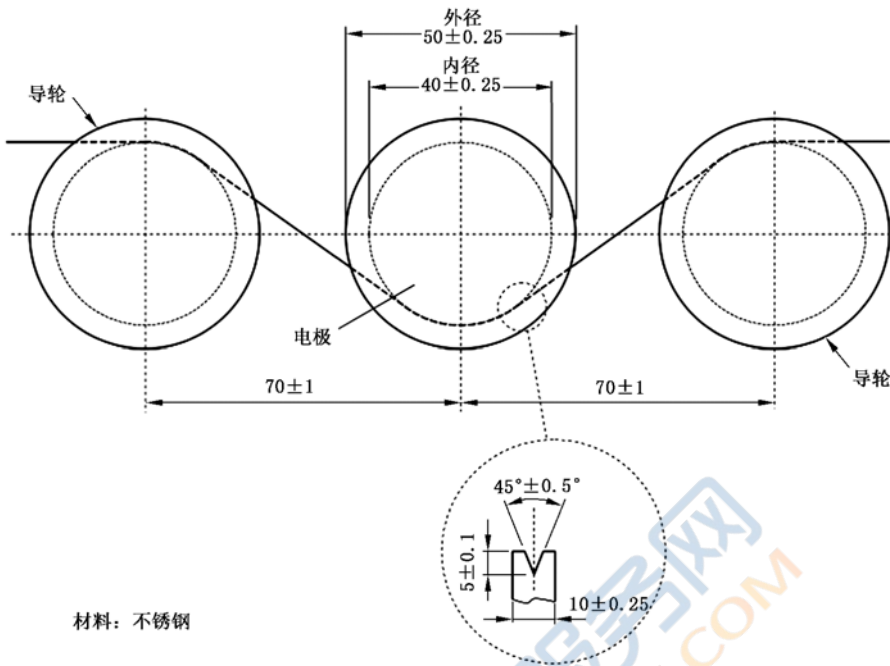
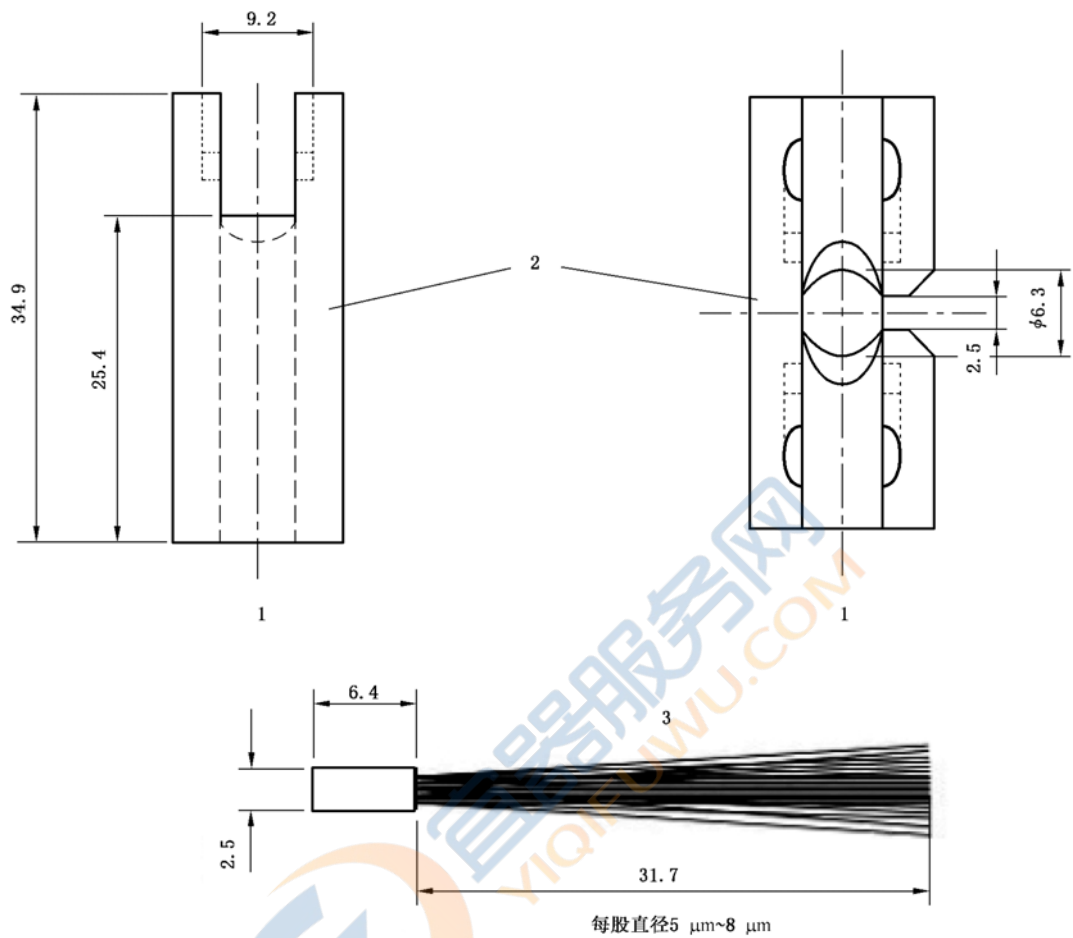


图 7 适用于线径大于或等于 0.250 mm 且小于或等于 1.600 mm 的导轮的规格和放置方式

单位为毫米,公差为±1%

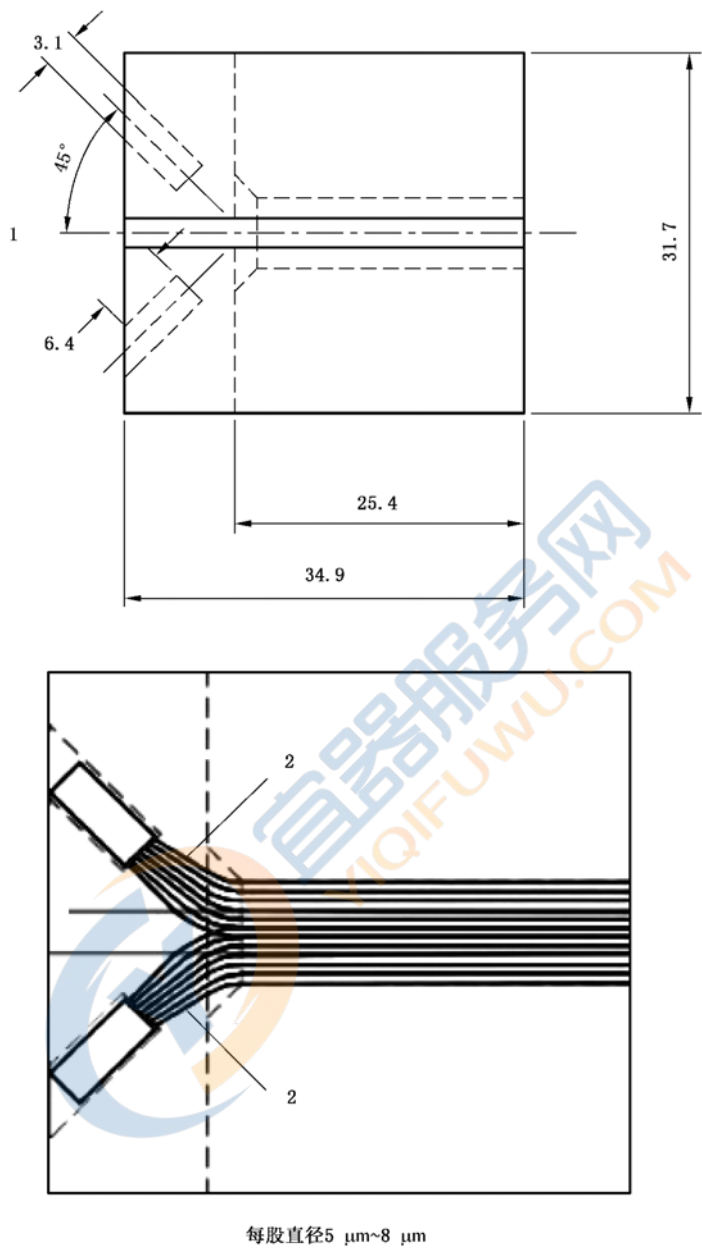


标引序号说明：
1——线路径；
2——刷式安装块；
3——单石墨刷。

a) 石墨纤维单刷电极组件

图 8 石墨纤维单刷或双刷电极组件

单位为毫米,公差为±1%



标引序号说明:

- 1——线路径;
- 2——双石墨刷。

b) 石墨纤维双刷电极组件

图 8 石墨纤维单刷或双刷电极组件 (续)

6.3.3 试验程序

使一根(30±1) m 的试样以(275±25) mm/s 的速度从高压电极轮上通过。试样导体和电极接入电气回路。将开路直流试验电压调到表 5.1 或表 5.2 的规定值,允许公差为±5%。试样的接地导体应接正极。

表 5.1 绝缘厚度 1 级~3 级的离线高压连续性试验电压

导体类型	导体标称直径 mm		直流电压 V		
	大于	小于或等于	1 级	2 级	3 级
铜	0.050	0.125	350	500	750
	0.125	0.250	500	750	1 000
	0.250	0.500	750	1 000	1 500
	0.500	1.600	1 000	1 500	2 000
铝	0.400	1.600	500	1 500	—

表 5.2 FIW3 级至 FIW9 级的离线高压连续性试验电压

导体类型	导体标称直径/mm		直流电压/V						
	大于	小于或等于	FIW 3 级	FIW 4 级	FIW 5 级	FIW 6 级	FIW 7 级	FIW 8 级	FIW 9 级
铜	0.035	0.050	750	750	1 000	2 000	2 000	2 000	—
	0.050	0.053	750	750	1 000	2 000	2 000	2 000	—
	0.053	0.063	750	750	1 000	2 000	2 000	3 000	—
	0.063	0.085	750	1 000	2 000	2 000	2 000	3 000	3 000
	0.085	0.095	750	1 000	2 000	2 000	3 000	3 000	3 000
	0.095	0.118	750	1 000	2 000	2 000	3 000	3 000	3 000
	0.118	0.125	1 000	2 000	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	0.125	0.170	1 000	2 000	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	0.170	0.190	1 000	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	0.190	0.250	2 000	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	0.250	0.300	2 000	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	0.300	0.375	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	0.375	0.425	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	—
	0.425	0.500	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	—	—
	0.500	0.600	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	—	—
	0.600	0.750	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	—	—
	0.750	1.060	3 000	3 000	3 000	3 000	—	—	—
	1.060	1.600	3 000	3 000	3 000	—	—	—	—
铝	0.400	1.600	—	—	—	—	—	—	—

6.3.4 试验结果

做一次试验。记录每 30 m 长试样的针孔数。

6.4 在线高压连续性试验(导体直径大于 0.035 mm 且小于或等于 1.600 mm,绝缘厚度 FIW3 级至 FIW10 级)

6.4.1 试验原理

在涂漆过程中,在绕组线被卷在输送滚筒、线轴或卷轴之前,它要经过一个“V”型槽电极(滑轮)或

通过石墨刷电极。在电极和接地之间施加直流试验电压。计数器记录导线的运行长度和针孔数。

6.4.2 试验设备

- 应使用如下试验设备。
- 高压电源。能输出经滤波的平滑直流电压,波动小于 5%,其开路试验电压可在 350 V~3 000 V 之间调节,任何试验电压下的阈值电流为 $(25\pm5)\mu\text{A}$ 。如果针孔处的电阻为 50 MΩ,电压降应不超过 75%。
 - 针孔检测回路。当阈值电流达到 18 μA 时该回路动作,其响应速度为 $\leq 1.5\text{ ms}$ 。
 - 电极导轮、石墨刷或其他由导电材料制成的接触配置。提供导线接触长度,使接触时间至少为 2.25 ms(例如导线接触长度 $\geq 25\text{ mm}$,导线运行速度在 $\leq 667\text{ m/min}$)。
 - $4.7\times(1\pm 10\%)\text{ M}\Omega$ 的脉冲阻尼电阻,接入高压线路中。
- 注: 高压电极的接地绝缘宜是非吸湿性的、不产生漏痕并容易清洗的高电阻率材料。其绝缘间隔宜能承受 3 000 V 的连续电压。由于在开关和计数过程中要求的是最小对地电容,因此高压引线不宜屏蔽。

6.4.3 试验程序

漆包线应以漆包机生产速度连续拉取,在输送轮、速度或卷轴之前的高压电机导轮、石墨刷电极或其他电极配置上连续拉取,导线导体和电极连接到电路,并连接开路直流。试样导体和电极接入电气回路。将开路直流试验电压调到表 7 的规定值,允许公差为 $\pm 5\%$ 。试样的接地导体应接正极。

表 7 在线高压连续性试验电压

导体 类型	导体标称直径 mm		直流电压 V						
	大于	小于或等于	FIW 3 级	FIW 4 级	FIW 5 级	FIW 6 级	FIW 7 级	FIW 8 级	FIW 9 级
铜	0.035	0.050	350	350	500	750	1 000	2 000	3 000
	0.050	0.053	350	350	500	1 000	1 500	2 000	3 000
	0.053	0.085	350	350	750	1 000	1 500	3 000	3 000
	0.085	0.095	350	500	750	1 000	2 000	3 000	3 000
	0.095	0.118	500	500	1 000	1 500	2 000	3 000	3 000
	0.118	0.125	500	500	1 000	2 000	1 000	3 000	3 000
	0.125	0.170	500	750	1 000	2 000	1 500	3 000	3 000
	0.170	0.190	750	750	1 000	2 000	1 500	3 000	3 000
	0.190	0.250	1 000	1 000	1 500	3 000	2 000	3 000	3 000
	0.250	0.300	1 500	1 500	2 000	3 000	2 000	3 000	3 000
	0.300	0.375	2 000	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	0.375	0.425	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	—
	0.425	0.600	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000	—	—
	0.600	0.750	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	—	—
	0.750	1.060	3 000	3 000	3 000	3 000	—	—	—
	1.060	1.600	3 000	3 000	3 000	—	—	—	—
铝	0.400	1.600	—	—	—	—	—	—	—

6.4.4 试验结果

应记录绕组线被卷在输送滚筒、线轴或卷轴上运行的长度和针孔数。

7 试验方法 19: 介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ (适用于漆包线和束线)

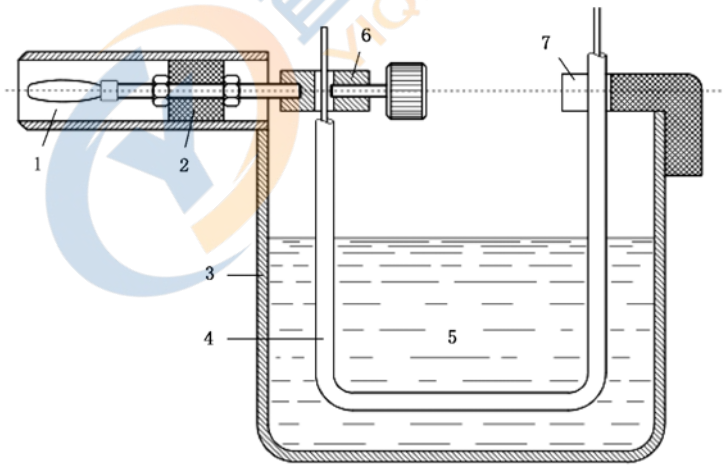
7.1 试验原理

把一根试样当作一个电容,其漆膜作为电介质,导体为电容的一个电极,导电介质作为另一个电极。将电容接入电路,该电路在规定频率下能测量电容分量和电阻分量,由此测得介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 。

7.2 试验设备

应使用下列试验设备。

- 阻抗测试仪。应在有关产品标准规定的频率下操作。在该频率下试样要求的电容范围内,电容的测量精度应为 $\pm 1\%$ 。
- 频率发生器。在有关产品标准规定的频率下能输出正弦波电压。
- 试验方法 A:
如图 9 所示的金属槽。盛有合适的液态金属(合金),并带有温度可控制在 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内的加热系统。
- 试验方法 B:
 - 两块金属块。带有温度可控制在 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内的加热系统。
 - 导电悬浮液。



标引序号说明:

- 1——电插头;
- 2——绝缘材料;
- 3——金属容器;
- 4——试样;
- 5——电极;
- 6——接线柱;
- 7——绝缘夹头。

图 9 介质损耗因数 $\text{tg}\delta$ 试验用电极的安装

7.3 试样制备

7.3.1 金属槽电极试样

将一根校直试样弯曲成 U 形,然后置于图 9 所示的金属槽中。

7.3.2 导电悬浮液电极试样

7.3.2.1 导体标称直径小于或等于 0.100 mm 的漆包圆线

将一根 (100 ± 5) mm 长的校直试样卷绕在一根直径为 1 mm~2 mm 的校直裸铜线上,然后涂上导电悬浮液,比如在试样上刷一层含水石墨的分散液,然后予以干燥,例如在 100 °C 强迫通风烘箱中干燥试样 30 min。

7.3.2.2 导体标称直径大于 0.100 mm 的漆包圆线和漆包扁线

在一根约 150 mm 长的校直试样上涂导电悬浮液,例如在试样上刷一层含水石墨的分散液。涂层长度应为 (100 ± 5) mm,然后予以干燥,例如在 100 °C 强迫通风烘箱中干燥试样 30 min。

7.4 试验程序

试验方法 A:将按 7.3.1 制备的试样置于如图 9 所示的金属槽中。

试验方法 B:将按 7.3.2 制备的试样放在两块金属块之间。将试样与阻抗仪连接,并应使其达到规定的试验温度。然后直接从阻抗测试仪读出介质损耗因数。

7.5 试验结果

测试一个试样。记录介质损耗因数、试验频率和试验温度。

8 试验方法 23: 针孔试验

本试验目的为检查经盐水处理后绝缘的缺陷。类似于 6.3 规定的高压连续性试验。

若导体标称直径小于 0.07 mm,取一根长约 1.5 m 的试样;若导体标称直径大于或等于 0.07 mm,取一根长约 6 m 的试样。

若导体标称直径小于 0.07 mm,将一根 (1 ± 0.05) m 长的试样弯曲成直径为 (100 ± 50) mm 的圆环。

若导体标称直径大于或等于 0.07 mm,将一根 (5 ± 0.2) m 长的试样弯曲成直径为 (300 ± 100) mm 的圆环。

试样应在 (125 ± 3) °C 的空气循环烘箱中处理 10 min(见注 1)(如有关产品标准中无规定)。

热处理后,在不弯曲或拉伸试样的情况下将试样冷却至室温(见注 2),然后浸入浓度为 2 g/L 的氯化钠溶液中,并在溶液中加入适量浓度为 30 g/L 的酚酞乙醇溶液,以易于观察到针孔(溶液中会出现淡红色流束)。试样导体和电解质溶液接入电气回路,其开路直流输出电压为 (12 ± 2) V。

以试样为负极接入溶液中,施加电压 1 min。为防止过度发热,短路电流应不大于 500 mA。

用正常视力观察,记录针孔数。

注 1: 未经过热处理,试验结果无意义。

注 2: 拉伸会导致电解溶液中针孔数增加。

注 3: 因本试验是在含水溶液中进行,对那些漆膜在水中发生裂解的漆包线,会得出错误的结果。

附录 A

(规范性)

损耗因数法

A.1 正切角—交点

有一些准确有效的方法,这些方法在示例中可见。

试验原理:将一个漆包线试样作为电容器,以试样导体作为一个电极,以干燥的石墨涂层或容器内的熔融金属作为另一个电极。样品温度以可控的、均匀的速率升高,确定损耗因数(d),以损耗因数(正切角)相对于温度作图。分析试验所得曲线,可得到一个温度值,这一温度直接关系到漆膜的固化程度。也可使用另一类方法,在这类方法中,是将样品由高温冷却至低温。

A.2 试验方法

A.2.1 试验方法 A

A.2.1.1 使用温度逐渐升高的熔融金属合金

应使用一个可直接确定 d 值的电桥。

用软布将漆包线试样擦拭干净后固定在夹具上。将试样连同夹具一起浸入预先调至最低温度的熔融液态金属槽内。以试样的导体作为一个电极,熔融液态金属作为另一极,将试样接在电桥上。以稳定的速率将装置从室温加热至某一温度,以温度为一个坐标轴,以正切角或正切角的对数为另一个坐标轴作图。得出一条曲线。准确读出正切角和温度的数值。因为读数变化很快,所以适合使用自动图表记录仪或电脑系统来记录读数。虽然自动记录系统的引入可使试验在较快温升的情况下进行,但试验过程中仍需小心确认读数相对于实际温度之间是否有明显的滞后现象。实际试验过程中,仪器、温升和试验结果的整理宜经供需双方协商决定。

A.2.1.2 使用温度逐渐降低的熔融金属合金

使用一个可直接确定 d 值的电桥。

用软布将漆包线试样擦拭干净后固定在夹具上。将试样连同夹具一起浸入在预先调至最高温度的熔融液态金属槽内 30 s。然后取出试样并摇动以除去多余的熔融合金,在室温下冷却约 10 s,然后再次浸入。以试样的导体作为一个电极,熔融液态金属作为另一极,将试样接在电桥上。以稳定的速率将装置逐步降温,以温度为一个坐标轴,以介质损耗因数为另一个坐标轴作图,得出一条曲线。进行一次试验。

准确读出正切角和温度的数值。因为读数变化很快,所以适合使用自动图表记录仪或电脑系统来记录读数。虽然自动记录系统的引入可使试验在较快温升的情况下进行,但试验过程中仍需小心确认读数相对于实际温度之间是否有明显的滞后现象。实际试验过程中,仪器、温升和试验结果的整理宜经供需双方协商决定。

注:浸入在熔融金属槽内试样的冷却曲线的最高温度和正切角取决于绝缘类型和绝缘漆的玻璃化转变温度(t_g)。其能通过对未知漆包线的预试验来确定。

A.2.2 试验方法 B—线样涂覆导电涂层

应使用一个可直接确定 d 值的电桥。

以试样的导体作为一个电极,石墨涂层作为另一极,将试样接在电桥上。

以稳定的速率将装置从室温加热至某一温度,温度通过检测仪接触试样测出。温度检测仪的位置和接触方式的不同会得出不同的结果。以温度为一个坐标轴,以正切角或正切角的对数为另一个坐标轴作图,得出一条曲线。准确读出正切角和温度的数值。因为读数变化很快,所以适合使用自动图表记录仪或电脑系统来记录读数。虽然自动记录系统的引入可使试验在较快温升的情况下进行,但试验过程中仍需小心确认读数相对于实际温度之间是否有明显的滞后现象。实际试验过程中,仪器、温升和试验结果的整理宜经供需双方协商决定。

A.3 试验结果分析

A.3.1 总则

正切角曲线可以用图 A.1 和图 A.2 所示的两种方式表示。
可用 d 值或 d 值的对数作为 Y 轴。对于这两种方法,用两种不同的方式计算 $\text{tg}\delta$ 值。得出结果时应明确指出使用的是哪种方法。下面所给出的图例仅用来理解试验方法,并不表示对材料的具体要求。

A.3.2 线性法

在正切角相对于温度的曲线中,在第一段上升曲线的最陡处作切线。在曲线上,过供需双方同意的 Y 值的点作平行线。可以确定平行线与上述切线交点处的温度值。这个值表示为 $\text{tg}\delta = \times \times \times ^\circ\text{C}$ (lin)。

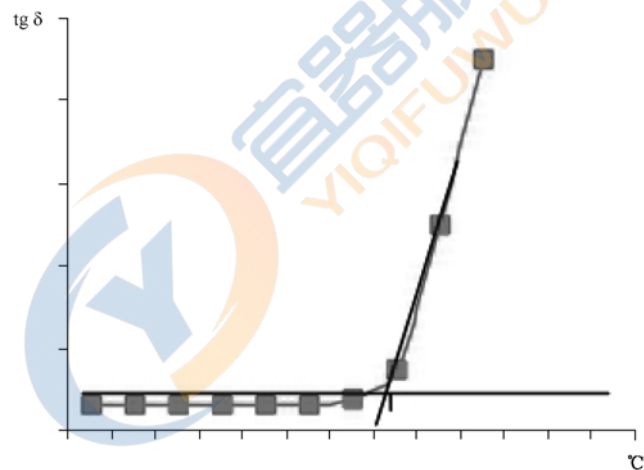


图 A.1 线性法示例

A.3.3 对数法

过供需双方同意的两个 Y 值的点作两条平行线。过两条平行线与曲线的交点作一条直线,直线与过曲线上最小 Y 值的点的平行线相交。可以确定交点处的温度值。这个值表示为 $\text{tg}\delta = \times \times \times ^\circ\text{C}$ (log)。

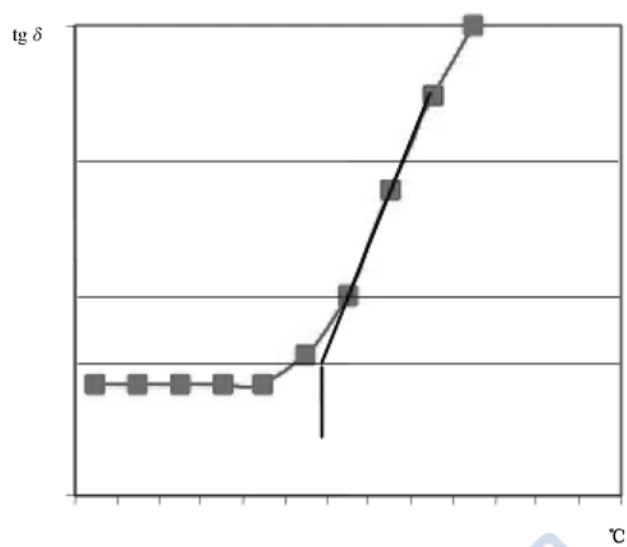


图 A.2 对数法示例

参 考 文 献

- [1] IEC 60296 Fluids for electrotechnical applications—Mineral insulating oils for electrical equipment
-







中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

绕组线试验方法

第 5 部分:电性能

GB/T 4074.5—2024/IEC 60851-5:2019

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.net.cn

服务热线:400-168-0010

2024 年 4 月第一版

*

书号:155066·1-75898

版权专有 侵权必究



GB/T 4074.5-2024