



中华人民共和国国家标准

GB/T 4207—2022/IEC 60112:2020

代替GB/T 4207—2012

固体绝缘材料耐电痕化指数和相比电痕化 指数的测定方法

Method for the determination of the proof and the comparative tracking
indices of solid insulating materials

(IEC 60112:2020, IDT)

2022-07-11发布

2023-02-01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	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 原理	2
5 试样	3
6 试样条件处理	3
6.1 环境条件	3
6.2 试样表面状态	3
7 试验设备	4
7.1 电极	4
7.2 试验电路	4
7.3 试验溶液	4
7.4 滴液装置	5
7.5 试样支撑台	5
7.6 电极装置安装	5
7.7 条件处理室	5
8 基本试验程序	5
8.1 概述	5
8.2 准备	5
8.3 试验程序	6
9 电蚀损的测定	6
10 测量耐电痕化指数 (PTI)	6
10.1 程序	6
10.2 报告	7
11 测量相比电痕化指数 (CTI)	7
11.1 概述	7
11.2 筛选试验	7
11.3 测量经受50滴液滴的最大电压	8
11.4 100 滴液滴测量	8
11.5 报告	9
附录 A (资料性) 宜考虑因素清单	12
附录 B (资料性) 溶液 B	13
附录 C (资料性) 电极材料选择	14
C.1 铂电极	14
C.2 备选方案	14
参考文献	15

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。

本文件代替GB/T 4207—2012《固体绝缘材料耐电痕化指数和相比电痕化指数的测定方法》，与GB/T 4207—2012相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“材料成分和表面状况对测量结果影响的描述”（见第1章）；
- b) 增加了“ISO 4287”规范性引用文件（见第2章）；
- c) 删除了“GB/T 17037.1—1997、GB/T 17037.3—2003、IEC 104、ISO 293:1986和ISO 295:1991”五个规范性引用文件（见2012年版的第2章）；
- d) 更改了“电痕化失效”术语定义的注释（见3.2, 2012年版的3.2）；
- e) 更改了“相比电痕化指数”术语定义的注释，并增加了注1和注4的内容（见3.5, 2012年版的3.5）；
- f) 增加了“去离子水”术语和定义（见3.8）；
- g) 更改了“原理”注释的内容（见第4章, 2012年版的第4章）；
- h) 更改了“试样”中试样加工工艺可参考的文件，增加了注6和注7的技术内容（见第5章, 2012年版的第5章）；**
- i) 更改了“环境条件”中环境温度的界定，由“23℃±5℃”改为“(23±2)℃”，并增加了开始测试时间的要求（见6.1, 见2012年版的6.1）；**
- j) 更改了“溶液A”的描述，删除了配置溶液用去离子水电导率的要求，增加了注2（见7.3, 2012年版的7.3）；
- k) 更改了“溶液B”的描述，改为“见附录B”（见7.3, 2012年版的7.3）；
- l) 增加了溶液C的成分和配比要求，电阻率要求和表面张力要求（见7.3, 2012年版的7.3）；
- m) 更改了“滴液装置”的技术内容，增加了滴液之间的目标时间的要求，增加了“注2”内容（见7.4, 2012年版的7.4）；
- n) 增加了“条件处理室”的技术内容（见7.7）；**
- o) 删除了“规定的数量试样要求”（2012年版的10.1）；**
- p) 更改了“耐电痕化指数试验结果报告”的描述（见10.2, 2012年版的10.2）；
- q) 更改了“概述”测定相比电痕化指数的要求，删除了注1和注2（见11.1, 2012年版的11.1）；
- r) 增加了“筛选试验”（见11.2）；
- s) 更改了“100滴液滴测量”中的注1的技术内容（见11.4, 2012年版的11.2）；
- t) 更改了“附录B”的技术内容，将“溶液B”改为推荐使用“溶液C”，在“溶液B”的技术内容中删除了去离子水的电导率要求，增加了“可使用溶液B代替溶液C，以实现试验结果的兼容性”的内容描述（见附录B, 2012年版的7.3）；
- u) 更改了“电极材料选择”的内容（见附录C, 2012年版的附录B）。**

本文件等同采用IEC 60112:2020《固体绝缘材料耐电痕化指数和相比电痕化指数的测定方法》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——由于原文中编辑性错误，将6.1中的“(23±5)℃”修改为“(23±2)℃”。

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。

GB/T 4207—2022/IEC 60112:2020

本文件由全国电气绝缘材料与绝缘系统评定标准化技术委员会(SAC/TC 301)归口。

本文件起草单位：四川东材科技集团股份有限公司、苏州太湖电工新材料股份有限公司、江苏钰明新材料有限公司、浙江荣泰科技企业有限公司、深圳市沃尔核材股份有限公司、东方电气集团东方电机有限公司、江苏中车电机有限公司、安徽威能电机有限公司、中车永济电机有限公司、广东明阳电气股份有限公司、江苏中天伯乐达变压器有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、无锡江南电缆有限公司、安徽天康(集团)股份有限公司、上海电器设备检测所有限公司、深圳市沃尔热缩有限公司、桂林电器科学研究院有限公司、哈尔滨理工大学、苏州巨峰电气绝缘系统股份有限公司、珠海康晋电气股份有限公司。

本文件主要起草人：陈昊、刘亚丽、李杰霞、施文磊、朱永明、郑敏敏、张润川、何明鹏、邵平安、李培新、耿涛、郭献清、封春波、鲍启伟、夏喜明、管兆杰、沈秀晴、黄海琴、夏宇、沈茂雄、高俊国、郭宁。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1984年首次发布为GB/T 4207—1984；

——2003年第一次修订；

——2012年第二次修订；

——本次为第三次修订。

固体绝缘材料耐电痕化指数和相比电痕化指数的测定方法

1 范围

本文件描述了固体绝缘材料耐电痕化和相比电痕化指数的测量方法，适用于交流电压下使用的设备元件和盘状材料。

本文件提供了按照要求测定电蚀损的程序。

注1:耐电痕化指数的测量可作为材料的验收标准，也可作为对材料及零部件进行质量控制的方法。相比电痕化指数主要可用作材料的基本特性表征和性能比较的参数。

本文件适用于评定材料的成分和表面特性。材料的成分和表面状况都直接影响评定的结果，因此在选用合适的材料前应考虑其成分和表面状况的影响。

本文件测试结果不能直接用于评估电气设备的安全爬电距离。

注2:本文件符合IEC 60664-1。

注3:通过本试验，可以鉴别在潮湿环境下工作的电气设备上的材料耐电痕化性能优劣。若需评定户外使用材料的性能，则可采用更严酷的长期试验，采用较高电压和尺寸更大的试样(见IEC 60587的斜板试验)，其他试验方法(如斜板法)可与本文件给出的滴定试验的材料排列顺序不同。

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。

ISO 4287 产品几何技术规范(GPS) 表面结构：轮廓法 术语、定义和表面结构参数 [Geometrical Product Specification(GPS)—Surface texture:Profile method—Terms,definition and surface texture parameters]

注：GB/T 3505—2009 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(ISO 4287 1997, IDT)。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 维护的用于标准化的术语数据库地址如下：

——ISO 在线浏览平台：<https://www.iso.org/obp>;

——IEC 电子百科：<http://www.electropedia.org/>。

3.1

电痕化 tracking

在电应力和电解杂质的联合作用下，固体绝缘材料表面和/或内部逐步形成导电通道的现象。

3.2

电痕化失效 tracking failure

导体间的绝缘部分由于电痕化引起绝缘失效。

注:在本文件规定的试验中,由于电流会通过试样表面和/或试样内部,因此能通过过电流装置的动作来判断是否发生电痕化。

3.3

电蚀损 electrical erosion

由于放电作用使电气绝缘材料产生耗损。

3.4

空气电弧 air arc

试样表面之上的电极之间产生的电弧。

3.5

相比电痕化指数 comparative tracking index;CTI

五个试样经受50滴滴液期间未电痕化失效和不发生持续燃烧时的最大电压值,以伏特(V)表示,还包括100滴滴液试验时关于材料性能的叙述。

注1:在任何较低的试验电压条件下,不发生电痕化失效和持续燃烧。

注2:CTI判断标准可要求说明电蚀损的程度。

注3:试验中,允许材料发生非持续燃烧但不导致失效,除非考虑其他更重要的因素,否则材料完全不燃烧为首选,见附录A。

注4:某些材料可以承受较高的试验电压,但在较低的试验电压下反而会发生失效,见11.2。

3.6

持续燃烧 persistant flame

超过2 s的燃烧。

3.7

耐电痕化指数 proof tracking index;PTI

五个试样经受50滴滴液期间未电痕化失效和不发生持续燃烧所对应的最大电压数值,以伏特(V)表示。

注:试验中,允许材料非持续燃烧但不导致失效,除非考虑其他更重要的因素,否则材料完全不燃烧为首选,见附录A。

3.8

去离子水 de-ionized water

符合ISO 3696中的3级标准或同等品质分析性的实验室用水。

4 原理

将试样支撑,使其上表面几乎为水平面,通过两个电极施加电应力。在电极间连续滴下电解液,直到过电流装置动作,或直到发生持续燃烧,或直到试验通过。

每组试验持续时间较短(少于1 h),在试样的表面上放置间距为4 mm的铂电极,在两电极的中心点以30 s的间隔滴下50滴或100滴(每滴约20 mg)的电解液。

试验时,电极间施加100 V~600 V交流电压。

可使用表面非常平整的试样,其面积足够大,确保试验期间过程中,试样可被腐蚀或变软,因此允许电极陷入试样。若试验时发生该现象,要同时报告通过试样形成的孔以及孔的深度(测量试样厚度),可选用更厚的试样重新测试,试样最大厚度为10 mm。

注:电痕化失效所需液滴数通常随施加电压降低而增加,低于临界值时,不发生电痕化。对于某些材料,高于临界值时也许不发生电痕化。

5 试样

液体不会从测试电极之间流走。

注1:虽然能使用较小尺寸的试样,但依然建议使用能供试验的平面尺寸不小于20 mm×20mm的试样,以减少电解液流出试样边缘损失,若不损失电解液,也能使用尺寸为15 mm×15mm的试样,例如 ISO 3167中规定的多用途试样。

注2:通常情况下,每次试验使用独立的试样。如果要在同一试样上进行多次测试,测试点之间的距离可能要足够远,以避免测试点产生的闪光或烟雾及腐蚀后的产物污染或影响其他待测区域。

试样的厚度应不小于3 mm,可将多个试样叠加以获得至少3 mm 的厚度。

注3:对于较薄的试样,热量会通过其本身散发到玻璃支撑件上,因此小于3 mm厚的试样与较厚试样上得到CTI值不具可比性,可以将试样叠加以获得满足试验要求的试样厚度。

除非产品标准中另有规定,否则试样表面应均匀光滑并且无缺陷,如无擦伤、瑕疵、杂质等。若无法保证上述要求,则应说明试样表面情况与试验结果一起报告。因为试样表面某种特性也许增加试验结果的分散性。

对于在产品部件上进行的试验,在无法从部件上切割出合适尺寸的试样情况下,可在相同绝缘材料模压成型的试样上截取合适的尺寸用于试验。在此情况下,宜确保部件和截取的试样均通过相同的制造工艺生产,并尽量使其具有相同的表面特征。如最终制造工艺的细节未知,则参考ISO 293、ISO 294-1、ISO 294-3以及ISO 295中规定的制备方法。

注4:在测定PII和CII的试验中,使用不同制造条件/工艺制备的试样,可能会导致试样表现出不同的性能水平。

注5:在测定PII和CII的试验中,使用不同流向模压成型的试样,也可能导致试样表现出不同的性能水平。

在特殊情况下,为使试样表面平滑,可对试样进行抛光。若抛光试样,则表面纹理应符合 ISO 4287的规定(如轮廓最大高度Rz 的值)并且应记录在试验报告中(见10.2和11.5)。

注6:任何抛光可能会损坏试样,在此情况下,通过抛光制成的材料表面与试样原始表面相比所测得的耐电痕化值可能更高或更低。

当电极的方向与材料特性显著相关时,测量应沿其特性方向和正交特性方向进行。除非另有规定,应报告测得CTI 较低的特性方向。

注7:当材料表面具有疏水性时,通常使用具有腐蚀性的电解液,例如溶液C。

6 试样条件处理

6.1 环境条件

除非另有规定,试样应在(23±2)℃,相对湿度(50±10)%下保持至少24 h。应在试样从条件处理室中取出的30 min 内开始测试(见7.7)。

6.2 试样表面状态

除非另有规定,对试样表面状态有如下要求:

- a) 试验前,应将试样表面进行清洁;
- b) 应报告清洁步骤,若可能,清洁的具体细节应由供需双方协商确定。

灰尘、脏物、指印、油脂、油、脱模剂或其他污染物可能影响试验结果。清洁试样时应避免使材料发生溶胀、软化、擦伤或其他破坏。

7 试验设备

7.1 电极

应使用纯度至少为99%的金属铂作为电极(见附录C),两个电极矩形横截面应为 $(5.0 \pm 0.1) \text{ mm} \times (2.0 \pm 0.1) \text{ mm}$,其端部斜面角度应为 $(30 \pm 2)^\circ$,具体见图1,斜面的刃应近似为平面,约 $0.01 \text{ mm} \sim 0.10 \text{ mm}$ 宽。

注1:经验表明,带有目镜校准的显微镜适用于检验刃的表面尺寸。

注2:通常在每次试验后使用机械方法对电极进行再次加工,以确保电极尺寸保持所要求的公差,特别是其斜面和端部的角度。

在试验开始前,电极应对称地安放在试样表面上,并垂直于试样表面,电极之间的夹角为 $(60 \pm 5)^\circ$,电极间距应为 $(4.0 \pm 0.1) \text{ mm}$,电极安放于试样上的示意图见图2。

应使用矩形薄金属滑规检查电极间距,电极应能自由移动,并且在试验时,电极在试样表面上施加的压力应为 $(1.00 \pm 0.05) \text{ N}$,在试验过程中压力尽可能保持不变。

图3给出了一种典型的电极结构。应在适当的试验间隔期间调整电极在试样表面上施加的压力。

对于一些材料,电极陷入材料表面的深度较小,可通过弹簧产生压力。对于一般材料,宜通过其自身重量产生压力满足试验需要。

注3:对于大多数但并非全部的装置设计,如果电极在试验过程中因试样软化或腐蚀而移动,则其端部会产生电弧,且电极间距也会改变。间距改变程度和方向取决于两电极中心点和与试样接触点的相对位置的变化。这些变化主要取决于材料本身,但不是决定性的。设计上的差异可能会导致试验结果的差异。

7.2 试验电路

应对电极施加正弦波电压,电压范围为 $100 \text{ V} \sim 600 \text{ V}$,频率范围为 $48 \text{ Hz} \sim 62 \text{ Hz}$,电压测量装置应显示为有效值,最大误差应不超过1.5%,电源功率应不小于 0.6 kVA ,合适的试验电路示例见图4。

应通过可变电阻器将两电极间的短路电流调节到 $(1.0 \pm 0.1) \text{ A}$,且在此电流下,电压表指示的电压下降幅度不应超过10%。测量短路电流仪器的读数精确度应为 $\pm 3\%$ 或更高。

注:电源电压足够稳定可获得要求的公差。

当有效值为 $(0.50 \pm 0.05) \text{ A}$ 的电流持续 $(2.0 \pm 0.2) \text{ s}$ 时,过电流装置应动作。

7.3 试验溶液

溶液A:

将质量分数约0.1%且纯度不小于99.8%的分析纯无水氯化铵($\text{NH}_4 \text{ Cl}$)试剂溶解于去离子水中,以制备在 $(23 \pm 1)^\circ \text{ C}$ 时电阻率为 $(3.95 \pm 0.05) \Omega \cdot \text{ m}$ 的溶液A。

注1:在规定的电阻率范围内确定氯化铵用量制备溶液。

注2:溶液A的电阻率在 25° C 时为 $(3.75 \pm 0.05) \Omega \cdot \text{ m}$,在 20° C 时为 $(4.25 \pm 0.05) \Omega \cdot \text{ m}$ 。

溶液B:

见附录B。

溶液C:

将质量分数约0.2%、纯度不小于99.8%的分析纯无水氯化铵($\text{NH}_4 \text{ Cl}$)试剂和质量分数 $(0.50 \pm 0.02)\%$ 的非离子表面活性剂(辛苯昔醇,CAS号:9002-93-1)溶解于去离子水中,以制备在 $(23 \pm 1)^\circ \text{ C}$ 时电阻率为 $(1.98 \pm 0.05) \Omega \cdot \text{ m}$ 的溶液C,溶液C表面张力小于 40 mN/m 。

注3:在规定的电阻率范围确定氯化铵用量,在规定的表面张力范围内确定表面活性剂用量,以制备溶液。

通常使用溶液A进行试验,但在模拟腐蚀性更强环境的试验时,建议选用溶液C进行试验。若选

用溶液C 试验, 则应在CTI 和 PTI 后加字母“C”。溶液B 可用于试验结果对比。

7.4 滴液装置

试验溶液应在试样上方(35±5)mm 的高度, 应以(30±5)s 的时间间隔滴落在两电极间中心位置的试样表面上。

两滴之间的目标时间应为30 s, 连续50滴液滴的质量应在0.997 g~1.147 g, 连续20滴液滴的质量应在0.380 g~0.480 g。

注1:液滴的质量能通过合适的天平称量来确定。

注2:50滴的目标质量为1.07 g, 20滴的目标质量为0.43 g。

应在合适的时间间隔内检查液滴的质量。

注3:对于溶液A, 经验表明外径为0.9 mm~1.2mm薄壁不锈钢管(如皮下注射针管)适合作为滴定装置的滴液口, 具体采用哪种滴液口取决于滴液系统。对于溶液B 和溶液C, 经验表明, 可使用不同的滴液系统, 但宜使用滴液口外径为0.90 mm~3.45 mm。

注4:可使用液滴检测计或计数器, 以确定是否有连续滴液或未滴液。

7.5 试样支撑台

应使用一块或若干块尺寸合适的玻璃板, 总厚度不小于4 mm, 用来在试验期间支撑试样。

注1:为了避免清洁支撑台, 通常将一次性玻璃显微镜用的载玻片放在支撑台上紧挨着试样的位置。

注2:经验表明, 在玻璃板边缘使用薄的金属箔, 可以用来检查电解液的损失。

7.6 电极装置安装

试样和其紧接的电极应放置在箱体内通风好的位置。

注: 为保持箱内理想的排烟效果, 对于某些材料, 能使试样表面和电极间保持细微的空气流动, 经验表明试验前和试验期间0.2 m/s 空气流动速度是适合的。能提高箱内其他区域的空气流动速度以帮助排气, 能使用合适的热电阻风速计测量空气流动速度。

应安装合适的烟雾排出系统, 以确保试验后安全排气。

7.7 条件处理室

条件处理室应保持温度为(23±2)℃, 相对湿度为(50±10)%。

注: IEC 60212中描述了固体绝缘材料测试前和测试期间所使用的标准条件。

8 基本试验程序

8.1 概述

当材料为各向异性材质时, 试验应沿其特性方向和正交特性方向进行, 除非另有规定, 应在CTI 较低的特性方向上进行试验。

试验应在环境温度(23±5)℃下进行。

除非另有规定, 否则应在未污染的试样上进行试验。

若试样产生孔, 则认为试验结果有效, 与试样厚度无关。但应同时报告孔形成的原因和孔的深度(试样或叠层厚度)。

8.2 准备

每次试验后, 用合适溶剂清洗电极, 然后使用去离子水冲洗并干燥。若有需要, 重新对电极加工使其恢复原状, 必要时进行抛光并冲洗, 在下次试验前再次进行干燥处理。

试验前，若有需要，对电极进行冷却处理，确保其温度不足以对试样性能产生不利影响。

确保不产生直观的污染，通过标准试验与试验前的测量确保所采用溶液符合电导率要求。

注1:由于以往试验导致滴定设备中的残留物可能会污染溶液，以及溶液蒸发会增加其浓度，两者可使得结果比真实值偏低。在此情况下，试验前能机械地和/或用溶剂清洗滴定设备，内部也用相同的溶剂清洗，用10滴~20滴冲洗，通常能去掉浓度较大的液体。

如有争议，电极和滴定装置清洁程序应由供需双方协商确定。

将试样水平放置在支撑台上，测试面朝上。调整试样的相对高度和电极装置，使电极置于试样上方，并定位校准电极间距为 $(4.0 \pm 0.1) \text{ mm}$ 。确保整个电极横刃与试样表面按要求的压力接触，压力均匀分布在整个刃宽度上。

注2:为便于目视检查，能在电极后放置一光源。

试样的方向宜确保液滴保留在两电极之间。

调节试验电压到要求值，电压值应为25 V的整数倍，并调整电路参数，使短路电流在允许的公差范围内。

8.3 试验程序

启动滴液装置，使液滴滴落在试样表面，保持试验进行，直到发生以下情况之一，则停止试验：

- a) 过电流装置动作；
- b) 发生持续燃烧；
- c) 第50(100)滴液滴滴落后经过至少25 s, 无 a) 或 b) 情况发生。

注：若不要求测定电蚀损，可在任何50滴试验前进行100滴试验。

试验结束后，排出试验箱内有毒气体，取出试样。

9 电蚀损的测定

按要求，50滴液滴试验结束后，应清除掉粘在未失效试样表面的任何碎屑或松散附着的分解物，然后将试样放在带有深度计的平台。应使用半球端部直径为1.0 mm的探针测量每个试样的最大电蚀损深度，以毫米表示，精度为0.1 mm。测量五次，结果取最大值。

电蚀损深度小于1 mm时，应以“<1 mm”表示。

按第10章的规定进行试验时，应在规定的电压下对经受50滴液滴试验的试样进行电蚀损深度测量。

按第11章的规定进行试验时，应在最大电压下对经受50滴液滴试验的五个试样进行电蚀损深度测量。

10 测量耐电痕化指数(PTI)

10.1 程序

在材料标准、电气设备规范或其他标准中，如仅需进行耐电痕试验，应按照国家第8章的规定进行50滴液滴试验，但试验仅在某个规定电压下进行。

由空气电弧导致的过电流装置动作，不是电痕化失效。

至少测试五个试样。若其中一个在特定的试验电压下失效，除非另有规定，否则可对一组新的五个试样进行试验，如果十个试样中只有一个失效，则结果为“通过”。

试样数量可由供需双方协商确定，或按照产品标准确定。

耐电痕试验电压应为25 V的整数倍。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/946033215055010200>