

中华人民共和国国家标准

固体绝缘材料电气强度试验方法

工频下的试验

Methods of test for electric strength
of solid insulating materials—
Tests at power frequencies

GB/T 1408.1—1999
eqv IEC 60243-1:1988

代替 GB/T 1408—1989

1 范围

本标准规定了测量固体绝缘材料工频(即 48 Hz~62 Hz)短时电气强度的试验方法。虽然规定了用液体和气体作为固体绝缘材料试验时的浸渍剂或周围媒质,但本标准不适用于液体和气体试验。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 1981—1989 有溶剂绝缘漆试验方法(neq IEC 60464-2:1974)

GB 2536—1990 变压器油(neq IEC 60296:1982)

GB/T 7114—1986 电气绝缘漆管试验方法(neq IEC 60684-2:1983)

GB/T 13541—1992 电气用塑料薄膜试验方法(neq IEC 60674-2:1988)

GB/T 15023—1994 电气绝缘无溶剂可聚合树脂复合物试验方法(neq IEC 60455-2:1977)

JB/T 3958.2—1999 电气绝缘用热固性模塑料试验方法

3 定义

本标准采用下列定义。

3.1 电气击穿(电气破坏) electric breakdown

在电应力作用下绝缘介质的绝缘特性之消失(至少是暂时地消失)。

3.2 击穿电压 breakdown voltage

在规定的试验条件下或在使用中(绝缘材料)发生击穿时的电压。

3.3 电气强度 electric strength

介电强度 dielectric strength

在规定的试验条件下,击穿电压与施加电压的两导电部分之间距离的商。在逐级试验的情况下,击穿电压取为能耐受的最高的一级电压值。该定义也用作材料相应的特性。

3.4 闪络 flashover

沿固体绝缘材料的表面(至少是一部分表面),在气体、液体或真空中的电极之间的击穿。

4 试验的意义

4.1 按本标准得到的电气强度试验结果,能用来检测由于工艺变更、老化条件及其他制造环境情况改变而引起的性能变化或相对于正常值的偏离,而很少能用于直接确定在实际应用中的绝缘材料的性能状态。

4.2 材料的电气强度测试值可受如下多种因素的影响:

- a) 施加电压的频率、波形和升压速率或加压时间;
- b) 试样的厚度和均匀性,是否存在机械应力;
- c) 试样预先的处理,特别是干燥和浸渍过程;
- d) 环境温度、气压和湿度;
- e) 是否夹附气体、水份或其他杂质;
- f) 电极系统、电极尺寸及其导热系数;
- g) 击穿前的表面放电强度;
- h) 在最高电场强度下电极间的面积或体积;
- i) 周围媒质的电、热特性。

4.3 在研究还没有实际经验的新材料时,应该考虑到所有这些有影响的因素。本标准规定了一些特定的条件,以便迅速地判别材料,并可用以进行质量控制和类似的目的。

用不同方法得到的结果是不能直接相比的,但可提供关于材料电气强度的资料。应该指出,大多数材料的电气强度随着电极间试样厚度的增加而减小,随电压施加时间的增加而减小。

4.4 大多数材料的电气强度随击穿前的表面放电强度和延续时间的不同而变化。为了设计在试验电压范围内无局部放电的电气设备,必须要知道材料击穿前无放电的电气强度,但本标准的方法通常不适用提供这方面资料。

4.5 具有高电气强度的材料未必一定能耐受长时期的劣化,例如由于局部放电而引起腐蚀或化学变质,或者当有湿气存在时的电化学变质。而这些过程都会导致在运行中于很低的电场强度下发生破坏。

5 电极和试样

金属电极应始终保持光滑、清洁无缺陷。

注:当对薄试样进行试验时,电极的维护格外重要。为了在击穿时尽量减小电极损伤,建议采用不锈钢电极。

接到电极上的导线不应使电极倾斜,且不得使电极移动或影响试样上的压力。导线也不能显著影响试样周围的电场分布。

5.1 垂直于非叠层材料表面和垂直于叠层材料层向的试验

5.1.1 板材和薄片材料

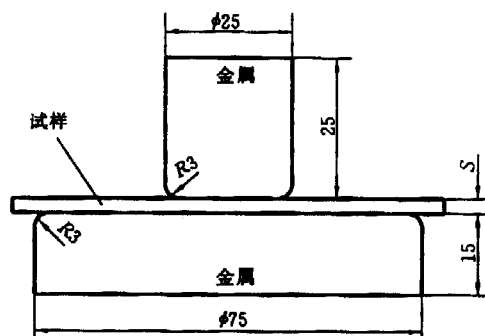
5.1.1.1 不等尺寸电极

电极由两个金属圆柱体组成,其边缘倒圆成半径 3 mm 的圆弧。其中一个电极的直径为 25 mm \pm 1 mm,高约 25 mm。另一个电极直径 75 mm \pm 1 mm,高约 15 mm。两个电极同轴放置如图 1a)。

当板材和薄片厚度超过 3 mm 时,应机械加工到 3 mm \pm 0.2 mm,试验时将直径 25 mm 的电极放在未加工的那个面上。

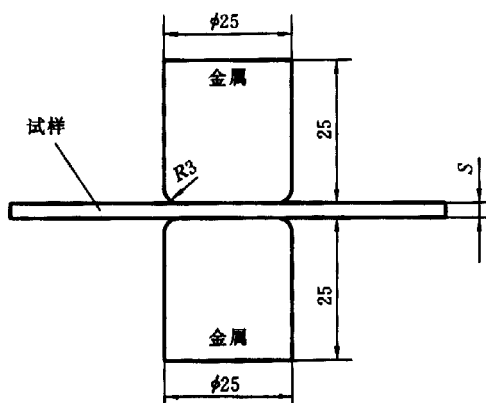
5.1.1.2 等直径电极

如果使用电极架使上下电极能准确地对中放置,则下电极可减小到直径为 25 mm,但这样得到的结果未必与电极直径为 25 mm/75 mm 的得到的结果相同(如图 1b))。



单位:mm

a) 不等尺寸电极



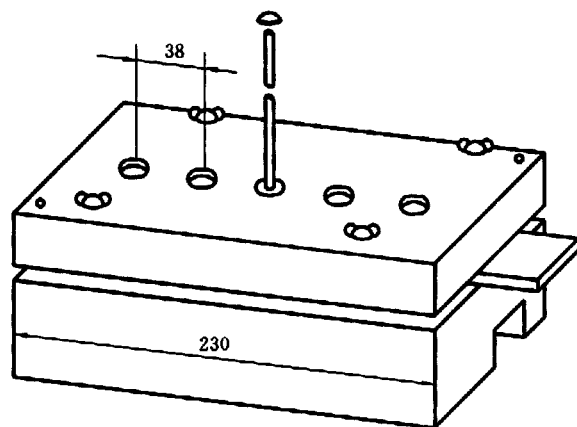
单位:mm

b) 等直径电极

图 1 用于厚板和片材垂直于表面试验的电极装置

5.1.2 带和薄膜

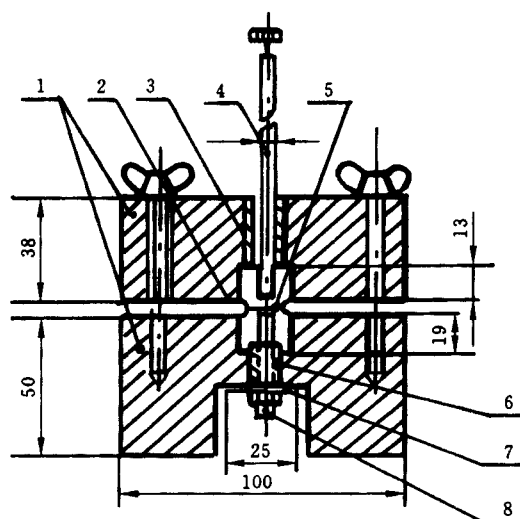
两电极为一根金属棒,每根直径为 $6\text{ mm}\pm0.2\text{ mm}$ 。垂直安装在电极架上,使一个电极在另一个电极上面,试样夹在棒的两个水平端面内。推荐的一种电极装置如图 2 所示。



单位:mm

a) 装置的总装图

图 2 用于对带材作垂直于表面试验的电极装置实例



b) 装置的剖面图(上电极微微提起)

单位:mm

1—绝缘材料块,例如层压纸板;2—防弧漆布带;3—黄铜轴套;
4—上电极;5—试样;6—有内螺纹的黄铜轴套;7—宽 25 mm
的黄铜条,连接所有的下电极;8—下电极

图 2(完)

上下电极要同心。两个水平端面的边应倒成半径约 1 mm 的圆弧。上电极质量为 $50\text{ g} \pm 2\text{ g}$,且上下移动时其摩擦力应最小。

如果需要使试样在拉伸状态下进行试验,则应将试样夹在特别装置中,使试样放在如图 2 所示的规定的位上。为达到所需的拉伸,方便的办法是将试样的一端缠在旋转的圆棒上,另一端固定,旋转圆棒即可使试样拉伸。

为了防止狭条边缘发生闪络,可用漆布条搭盖在狭条边缘夹住试样。此外,电极周围可以采用防弧密封圈,规定电极和密封圈之间有 1.5 mm 左右的环状空间。

对薄膜的试验按 GB/T 13541 进行。

5.1.3 软管和软套管

按 GB/T 7114 进行试验。

5.1.4 硬管(内径 100 mm 及以下的)

外电极是 $25\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ 宽的金属箔带。内电极是与内壁紧配合的导体例如圆棒、管、金属箔或充填直径 $0.75\text{ mm} \sim 2.0\text{ mm}$ 的金属球,使与管材的内表面良好接触。不管怎样,内电极的每端至少应长出外电极 25 mm。

注:当对试样无不良影响时,可用硅油、硅脂或凡士林将箔贴到试样的内、外表面。

5.1.5 硬管(内径大于 100 mm)

外电极是 $75\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ 宽的金属箔带,内电极是直径 $25\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ 的圆形金属箔,金属箔应足够柔软以适应圆筒的曲率。该装置如图 3 所示。

5.1.6 电工用塑料和无溶剂可聚合树脂化合物

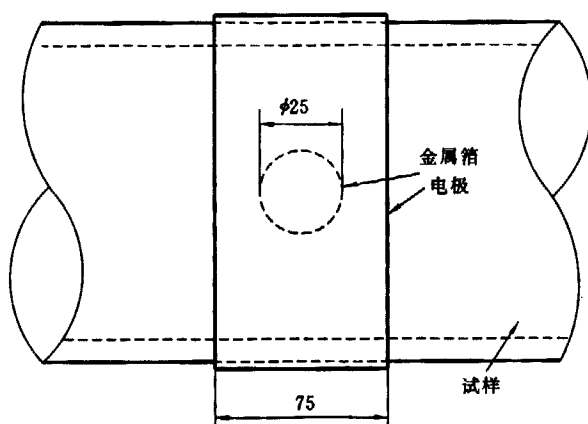
电工用塑料按 JB/T 3958.2 进行试验,无溶剂可聚合树脂化合物按 GB/T 15023 进行试验。

5.1.7 绝缘漆

按 GB/T 1981 进行试验。

5.1.8 充填胶

电极是两个金属球,每个球的直径 $12.5\text{ mm} \sim 13.0\text{ mm}$ 。水平同轴放置,彼此相隔 $0.75\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 、 $1.0\text{ mm} \pm 0.10\text{ mm}$ 或 $1.25\text{ mm} \pm 0.10\text{ mm}$ 。并都嵌入充填胶内。应注意避免出现空穴,特别要避免两电极间的空穴。由于用不同的电极距离得到的结果不能直接相比,因此必须在材料规范或试验报告中注明间隙长度。



单位:mm

图3 对内径大于100 mm的管子作垂直表面试验的电极装置

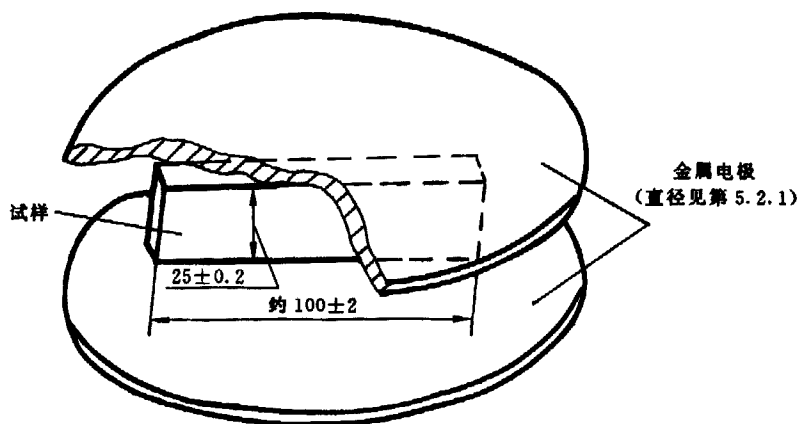
5.2 平行于非叠层材料表面和平行于叠层材料层向的试验

如果不区分由试样击穿引起的破坏和贯穿试样表面引起的破坏,则可按5.2.1或5.2.2的电极,而5.2.1的电极应被优先采用。

5.2.1 平行板电极

5.2.1.1 板材和片材

试验板材和片材时,试样厚度为被试材料厚度,试样尺寸为:长 $100\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$,宽 $25\text{ mm} \pm 0.2\text{ mm}$ 。试样两条长边应切成垂直于材料表面的两个平行平面。试样夹在两金属平行板之间,两金属板相距25 mm,其厚度不小于10 mm,作为两电极,电压施加在两金属板上。对于薄材料可以用两个或三个试样恰当地放置(即用它们的长边形成合适的角度),以支撑上电极。电极应该有足够大的尺寸,以覆盖试样边缘至少超过试样各边15 mm,要注意保证试样两侧的整个面积均与电极良好接触。电极的边缘应适当倒圆(半径为3 mm~5 mm),以免电极的边与边之间的闪络。(如图4)。



单位:mm

图4 平行于表面(和沿层)试验用的电极装置

这种电极仅适用于对厚度大于1.5 mm的硬质材料的试验。

5.2.1.2 硬管

试验管子和圆筒时,试样是一个完整的环或圆弧长度为100 mm的一段环,且轴向长度为 $25\text{ mm} \pm 0.2\text{ mm}$ 。试样两端应加工成垂直于管轴或圆筒轴的两个平行面。将试样放在两平行板电极之间按5.2.1.1所述的板材和片材的试验方法进行试验。必要时可用二或三个试样来支撑上电极。电极应有足够大的尺寸以使电极覆盖试样至少超过试样各边15 mm,要注意保证试样两侧的整个面积均与电极良好接触。

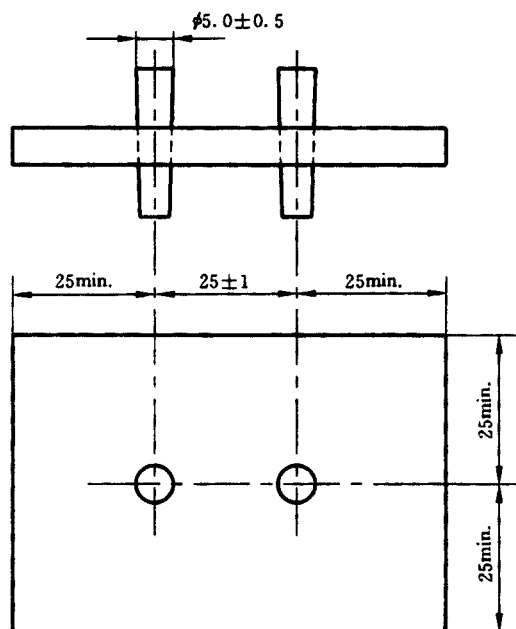
5.2.2 锥销电极

在试样上垂直试样表面钻两个相互平行的孔,两孔中心距离 $25\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ 。两孔的直径这样来确定:用锥度约 $1:50$ 的铰刀扩孔后每个孔的大一端的直径不小于 4.5 mm 而不大于 5.5 mm 。

钻好的两孔完全贯穿试样。如果试样是管子,则孔仅贯穿一层管壁,并在孔的整个长度上用铰刀扩孔。

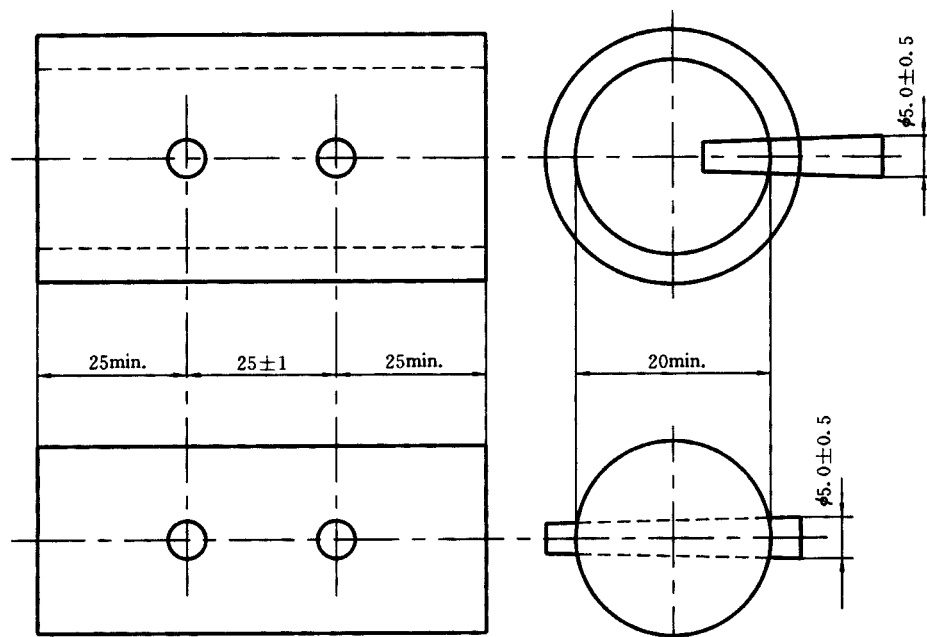
在钻孔和扩孔时,孔周围的材料不应有任何形式的损坏,如劈裂、破碎或碳化。

将用作电极的锥形插销压入(但不要锤入)两孔,以使它们能紧密配合,并突出试样两个面各至少 2 mm 。(如图 5a)和图 5b)所示)



a) 带锥销电极的平板试样

单位: mm



b) 带锥销电极的管子或圆棒试样

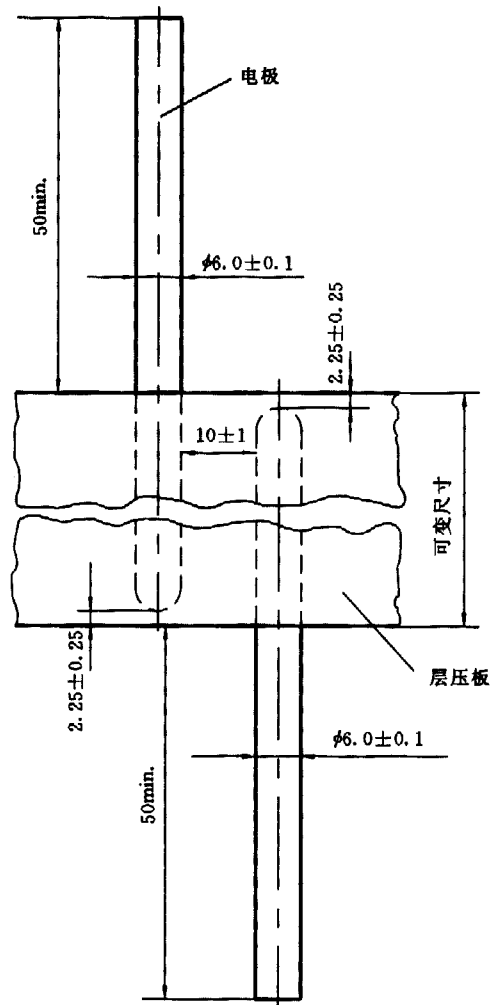
单位: mm

图 5 锥销电极装置

这类电极仅适用于试验厚度至少为 1.5 mm 的硬质材料。

5.2.3 平行圆柱形电极

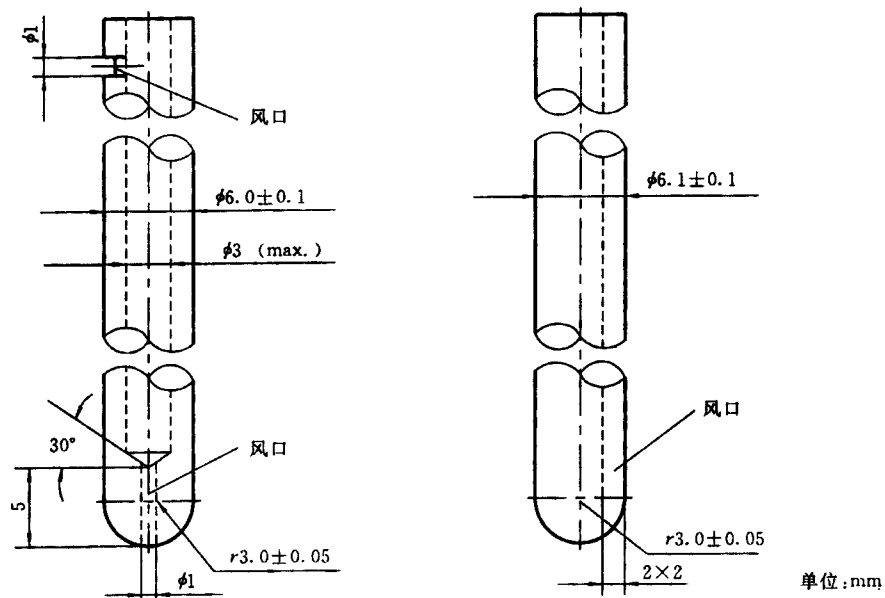
对厚度大于 15 mm 的具有高电气强度的试样进行试验时,将试样切成 $100\text{ mm} \times 50\text{ mm}$,并如图 6 所示钻两个孔,每个孔的直径应大于电极的直径,但差值不得超过 0.1 mm,圆柱形电极直径为 $6\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$,并有半球形的端部。每个孔的底部是与电极半球形的端部配合。如果在材料规范中没有另外的规定,则两孔应相距 $10\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$,每孔应伸至离相对的表面 $2.25\text{ mm} \pm 0.25\text{ mm}$ 以内。两种形式的通风电极如图 6b)所示。当使用带小槽的电极时,这些小槽的位置与电极的间距正好相反,如图 6c)所示。



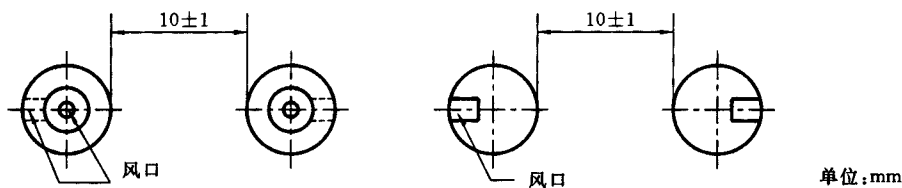
单位:mm

a) 装置的总体布置

图 6 对厚度大于 15 mm 的层压板作平行于层向试验的带平行圆柱电极的装置



b) 两种不同风口的电极



c) 电极风口在试样中的方向

图 6(完)

5.3 试样

除了上述各条中已叙述过的有关试样的情况外,通常还要注意下面几点:

制备固体材料试样时要注意与电极接触的试样两表面要平行,而且尽量地平整光滑。

对于垂直于材料表面的试验,要求试样有足够大的面积以防止试验过程中发生闪络。

对于垂直于材料表面的试验,不同厚度的试样其结果不能直接相比。(见第4章)。

5.4 两电极间距离

用来计算电气强度的值应为下列之一(视被试材料而定)。

- 标称厚度或两电极间距离(除非另有规定,一般均采用此值);
- 试样的平均厚度或对于平行于表面的试验为两电极间的距离;
- 在每个试样上击穿点附近直接测得的厚度或两电极间的距离。

6 试验前的处理

绝缘材料的电气强度随温度和含水量而变化。除被试材料已有规定者外,试样应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $(50 \pm 5)\%$ 的条件下处理不少于 24 h。

7 周围媒质

材料试验应在下列媒质中进行:

- 在空气中;
- 在油中;
- 在材料使用时的周围媒质中。

如果由于闪络或过分的局部放电而无法进行试验时,应在较高的电气强度或较高介电常数的媒质中试验。使用的任何媒质均不能对被试材料产生有害的影响。

有时媒质对试验结果有很大影响,特别是对易吸收的材料如纸板,因此必须在试样制备程序中确定全部的必要步骤(如干燥、浸渍等)。

必须有足够的时间让试样达到所要求的温度,但是有些材料会因长期处于高温而受影响。

7.1 在空气中的试验

在高温空气中作试验,可在任何设计合理的烘箱中进行,烘箱要有足够大的体积来容纳试样和电极,使它们在试验时不发生闪络。烘箱应装有空气循环装置使试样周围的温度大体上保持均匀,把温度计、热电偶或其他测量温度的装置放在试验点附近测量温度。

7.2 在液体中的试验

当试验要在绝缘液体中进行时,除另有规定,一般应使用符合 GB 2536 的变压器油。必须保证液体有足够的电气强度以免闪络。液体电阻率的降低会引起试样电气强度的谬误性增加。

在高温下的试验可以在烘箱内的盛液容器中进行(见 7.1),也可在以绝缘油作为热传递介质的恒温控制的油浴中进行。在这种情况下应采用合适的液体循环措施,以使试样周围的温度大致均匀。

8 电气设备

8.1 电源

用一个可变的低压正弦电源供给,一个升压变压器来获得试验电压。变压器及其电源和它的调节装置应具有如下特性。

8.1.1 在回路中有试样的情况下,对于大于试样击穿电压 50% 的电压区间内,试验电压的峰值与有效值(r. m. s)之比为 $\sqrt{2}(1+5\%)(1.34\sim 1.48)$ 。

8.1.2 电源的容量应足够大,使之在发生击穿之前均能维持试验电压。对于大多数材料在使用所推荐的电极的情况下,通常 40 mA 的输出电流容量已足够,对于大多数试验来说,电源容量范围为:对于 10 kV 及以下的小电容试样的试验,其容量为 0.5 kVA,对于试验电压为 100 kV 以下者则为 5 kVA。

8.1.3 可变的低压电源调节装置应能使试验电压平滑、均匀地变化,无过冲或瞬变现象。当用一个自耦调压器按第 10 章施加电压所产生的递增的增量不应超过预期击穿电压的 2%。

任何电压瞬变峰值决不可超过仪表指示的试验电压有效值的 1.48 倍。对于短时试验(快速升压试验),最好使用电动升压。

8.1.4 为了保护电源不致损坏,应装有一个装置使在试样击穿的三个周期以内切断电源,这个装置可以由一个接在高压回路中的电流敏感元件组成。

8.1.5 为了限制在击穿时由于电流或电压冲击引起的损伤,要求将一个具有合适值的电阻器与电极串联。电阻值的大小应取决于电极所允许的损伤程度。

8.2 电压测量

应具有测量试验电压的有效值的措施。较好的方法是用一块峰值电压表,将其读数除以 $\sqrt{2}$ 便得到有效值(见 8.1.1)。电压测量回路的总误差应不超过测得值的 5%,该误差中包括了由于电压表的响应时间所引起的误差。因此,在所用的任何升压速率下,电压表的时间滞后引起的击穿电压下降值应不大于总量值的 1%。

8.2.1 采用符合上述要求的电压表来测量施加到电极上的电压。最好将它直接接到电极上,也可通过分压器或电压互感器接到电极上。如果使用升压变压器的测量线圈来测量电压,则施加到电极上的电压的指示正确度应不受升压变压器负载和串联电阻器的影响。

8.2.2 希望在击穿后能在电压表上保留最大试验电压的读数值,从而正确地读出并记录击穿电压,但指示器的抗电磁干扰性应良好。

9 程序

将符合第 5 章的电极装到试样上,装电极时要防止损伤试样,使用符合第 8 章的供电设备,将电压

施加到两电极之间,按照 10.1~10.5 之一的方法升高电压,观察击穿是由试样穿孔还是由闪络造成(见第 11 章)。申请试验的文件应注明以下内容:

- 被试样品的名称、型号;
- 试样厚度的测量方法(如果不是标称厚度的话);
- 试验前的处理;
- 试样数量,若不是五个的话要注明试样数量;
- 试验温度;
- 周围媒质;
- 使用的电极;
- 升压方式;
- 以电气强度还是击穿电压作为报告的结果。

10 升压方式

10.1 短时(快速)试验

10.1.1 将试验电压由零开始以均匀的速率上升直至击穿发生。

10.1.2 对被试材料选择升压速率,应使大多数击穿发生在 10 s~20 s 之间。对于击穿电压有显著差异的材料,有些试样可能会在这个时间范围以外发生破坏。如果大多数击穿发生在 10 s~20 s 之间,则认为试验是满意的。

10.1.3 对于大多数材料,通常使用 500 V/s 的升压速率。推荐凡有可能的场合应选择下列速率:100, 200, 500, 1 000, 2 000, 5 000 V/s。

注:对于短时击穿试验,如 8.2 所规定的对电压表响应时间的要求是较难达到的。

10.2 20 s 逐级升压试验

10.2.1 从表 1 中选出最接近于 40%短时击穿电压的电压值并将它施加在试样上,假如不知道短时试验时的击穿电压的大概值,则可按 10.1 的方法来得到。

表 1 施加电压的顺序

(峰值/ $\sqrt{2}$, kV)

0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95					
1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9					
2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8
5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5					
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					
20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
50	55	60	65	70	75	80	85	90	95					
100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200				

10.2.2 假如试样耐受电压 20 s 还未击穿,则可接着施加下一级更高的电压 20 s,直至发生击穿。

10.2.3 升压要尽可能地快,级间升压所用的时间包括在较高一级电压的 20 s 内。

如果击穿发生在从起始算起少于六级的电压内,则用更低的起始电压再做五个试样的试验。

根据试样能耐受 20 s 而不击穿的最高试验电压来确定电气强度和/或击穿电压。

10.3 慢速升压试验(120 s~240 s)

从 40%的预计短时击穿电压开始匀速升压,使击穿发生在 120 s~240 s 之间。对于击穿电压有显著差异的材料来说,有些试样可能在此时间范围以外发生破坏,如果大多数击穿发生在 120 s~240 s 之间,则认为是满意的。选择升压速率时应从下列数据中选择:2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1 000 V/s。

10.4 60 s 逐级升压试验

除非另有规定,应按 10.2 进行,但每一级中的时延为 60 s。

10.5 很慢速升压试验(300 s~600 s)

除非另有规定,应按 10.3 进行试验,但击穿应发生在 300 s~600 s 之间。从下列数据中选取升压速率:

1,2,5,10,20,50,100,200 V/s。

注:在 10.3 中所述的 120 s~240 s 的慢速升压试验和按 10.5 所述的 300 s~600 s 的很慢速升压试验所得结果与 20 s 逐级升压(10.2)或 60 s 逐级升压(10.4)所得结果大致相似。但若使用现代自动设备则前者更为方便些,采用这两种慢速升压试验也使自动设备的使用成为可能。

10.6 检查试验

为作检查或耐压试验,要求施加一个预先确定的电压。即将电压尽快而准确地升到所要求的值,升压过程中不出现任何瞬态的过电压,然后将所要求的电压值维持规定的时间。

11 击穿的判断

电介质击穿的同时,回路中电流增加和试样两端电压下降,电流的增加可使断路器跳开或熔丝烧断。但是有时也可由于闪络、试样充电、漏电或局部放电电流、设备磁化电流或误动作引起断路器跳开。因此,断路器应与试验设备及被试材料的特性相匹配,否则断路器可能会在试样未击穿时动作或当试样击穿时断路器不动作,这样便不能正确地判断出是否击穿。即使在最好的条件下,周围媒质先击穿的情况也会发生。因此在试验过程中要注意观察和检测这些现象,若发现媒质击穿应在报告中写上。

在垂直于材料表面方向试验时通常易于判断。当击穿发生后用肉眼可看到真正击穿的通道,无论通道是否充有碳粒。

在做平行于表面的试验时,按 5.2 要求必须区分由试样破坏引起的还是由闪络引起的击穿。这可通过检查试样或用再加一次电压的办法来区分。再加一次电压的电压值应小于第一次的击穿电压值,比较方便的做法是再加一半的击穿电压值,然后与第一次试验同样的方法升压直到破坏。

12 试验次数

除非另有规定,通常做五次试验,取试验结果的中值作为电气强度或击穿电压。如果任何一个试验结果偏离中值 15% 以上,则另做五个试验。然后由 10 次试验的中值作为电气强度或击穿电压。

当试验并非用于例行的质量控制时,必须做较多的试样,具体数量随材料的种类和所用的统计分析方法而定。

13 报告

除非另有规定,报告应包括如下内容:

- a) 被试材料的全称,试样及其制备方法;
- b) 电气强度的中值,以 kV/mm 表示,而击穿电压中值,以 kV 表示;
- c) 每个试样的厚度(见 5.4);
- d) 试验时所用的周围媒质及其性能;
- e) 电极系统;
- f) 电气强度的各个值,以 kV/mm 表示,而击穿电压的各个值,以 kV 表示;
- g) 在空气中或在其他气体中试验时的温度、压力和湿度,若在液体中试验时周围媒质的温度;
- h) 试验前的条件处理;
- i) 施加电压的方式及频率;
- j) 指出击穿的类别和位置。

如果只需要简单的结果报告,则必须报告前四项内容。