

中华人民共和国国家标准

固体绝缘材料体积电阻率 和表面电阻率试验方法

GB 1410—89

代替 GB 1410—78

Methods of test for volume resistivity and surface
resistivity of solid insulating materials

本标准等效采用国际标准 IEC 93《固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法》(1980 年版)。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率的试验方法。这些试验方法包括对固体绝缘材料体积电阻和表面电阻的测定程序及体积电阻率和表面电阻率的计算方法。

体积电阻和表面电阻的试验都受下列因素影响：施加电压的大小和时间；电极的性质和尺寸；在试样处理和测试过程中周围大气条件和试样的温度、湿度。

2 术语

2.1 体积电阻

在试样的相对两表面上放置的两电极间所加直流电压与流过两个电极之间的稳态电流之商；该电流不包括沿材料表面的电流。在两电极间可能形成的极化忽略不计。

2.2 体积电阻率

在绝缘材料里面的直流电场强度与稳态电流密度之商，即单位体积内的体积电阻。

2.3 表面电阻

在试样的某一表面上两电极间所加电压与经过一定时间后流过两电极间的电流之商；该电流主要为流过试样表层的电流，也包括一部分流过试样体积的电流成分。在两电极间可能形成的极化忽略不计。

2.4 表面电阻率

在绝缘材料的表面层的直流电场强度与线电流密度之商，即单位面积内的表面电阻。

3 说明

3.1 通常，绝缘材料用于电气系统的各部件相互绝缘和对地绝缘，固体绝缘材料还起机械支撑作用。一般希望材料有尽可能高的绝缘电阻，并具有合适的机械、化学和耐热性能。

3.2 体积电阻率可作为选择绝缘材料的一个参数，电阻率随温度和湿度的变化而显著变化。体积电阻率的测量常常用来检查绝缘材料是否均匀，或者用来检测那些能影响材料质量而又不能用其他方法检测到的导电杂质。

3.3 当直流电压加到与试样接触的两电极间时，通过试样的电流会指数式地衰减到一个稳定值。电流随时间的减小可能是由于电介质极化和可动离子位移到电极所致。对于体积电阻率小于 $10^{10} \Omega \cdot m$ 的材料，其稳定状态通常在 1 min 内达到。因此，要经过这个电化时间后测定电阻。对于电阻率较高的材

料,电流减小的过程可能会持续几分钟、几小时、几天,因此需要用较长的电化时间。如果需要的话,可用体积电阻率与时间的关系来描述材料的特性。

3.4 由于体积电阻总是要被或多或少地包括到表面电阻的测试中去,因此只能近似地测量表面电阻,测得的表面电阻值主要反映被测试样表面污染的程度。所以,表面电阻率不是表征材料本身特性的参数,而是一个有关材料表面污染特性的参数。

当表面电阻较高时,它常随时间以不规则的方式变化。测量表面电阻通常都规定1 min的电化时间。

4 电源

电源为直流稳压电源,试验电压通常为100 V、250 V、500 V、1 000 V,电压误差应小于±5%。

在某些情况下,试样的电阻与施加电压的极性有关。若电阻与极性有关,应该在报告中注明,并以两次电阻值的几何平均值作为结果。

5 测量方法和精度

5.1 方法

测量高电阻常用的方法是直接法和比较法。

直接法是测量加在试样上的直流电压和流过试样的电流而求得试样电阻。直接法主要有检流计法(见附录中A1.1条)和直流放大法(高阻计法,见附录中A1.2条);比较法主要有检流计法(见附录中A2.1条)和电桥法(见附录中A2.2条)。

5.2 精度

对于大于 $10^{10} \Omega$ 的电阻,仪器误差应在±20%的范围内;对于不大于 $10^{10} \Omega$ 的电阻,仪器误差应在±10%的范围内。

5.3 保护

测量仪器用的绝缘材料一般只具有与被测材料差不多的性能。试样的测试误差可以由下列原因产生:

- a. 外来寄生电压引起的杂散电流。通常不知道它的大小,并且有漂移的特点;
- b. 测量线路的绝缘与试样电阻标准电阻器或电流测量装置的并联。

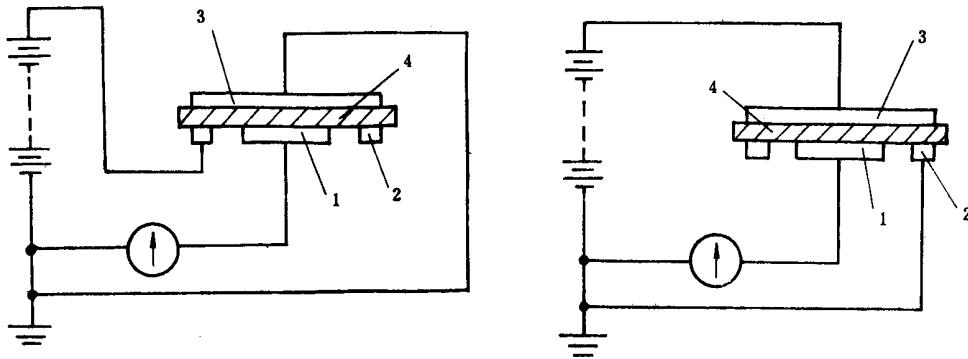
使用高电阻绝缘材料可以改善测量误差,但这种方法将使仪器昂贵而又笨重,而且对高阻值试样的测量仍不能得到满意的结果。较为满意的改进方法是使用保护技术,即在所有主要的绝缘部位安置保护导体,通过它截住了各种可能引起误差的杂散电流;将这些导体联接在一起组成保护系统,并与测量端形成一个三端网络。当线路连接恰当时,所有外来寄生电压的杂散电流被保护系统分流到测量电路以外,这就可大大减少产生误差的可能性。

图1给出了各不同测试方式的保护系统的使用方法。

在系统的保护端和被保护端之间存在的电解电势、接触电势或热电动势较小时,均能补偿掉,使它们在测量中不引起显著误差。

在电流测量中,由于被保护端和保护端之间的电阻与电流测量装置并联可能产生误差,因此前者至少应为电流测量装置输入电阻的10倍,最好为100倍。在电桥法测量中,保护端与测量端带有大致相同的电位,但电桥中的一个标准电阻与不保护端和保护端之间的电阻并联,因此,后者至少为标准电阻的10倍,最好100倍。

在开始测试前先断开电源和试样的连线进行一次测量,此时设备应在它的灵敏度许可范围内指示无穷大的电阻。可用一些已知值的标准电阻来检查设备运行是否良好。



a 测量体积电阻率

b 测量表面电阻率

图 1 测量体积电阻率和表面电阻率时的基本联接法

1—电极①;2—电极②;3—电极③;4—试样

6 试样与电极配置

6.1 体积电阻率

为了测定体积电阻率,使用的保护系统应能抵消由表面电流引起的误差。对表面泄漏可忽略的试样,在测量体积电阻时可以去掉保护。

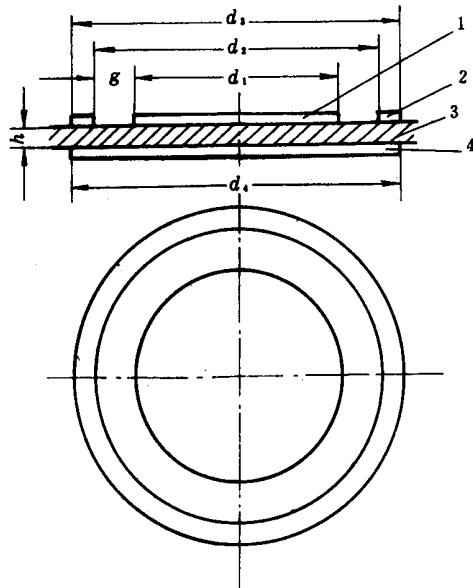


图 2 平板试样的电极配置

1—电极①;2—电极②;3—试样;4—电极③

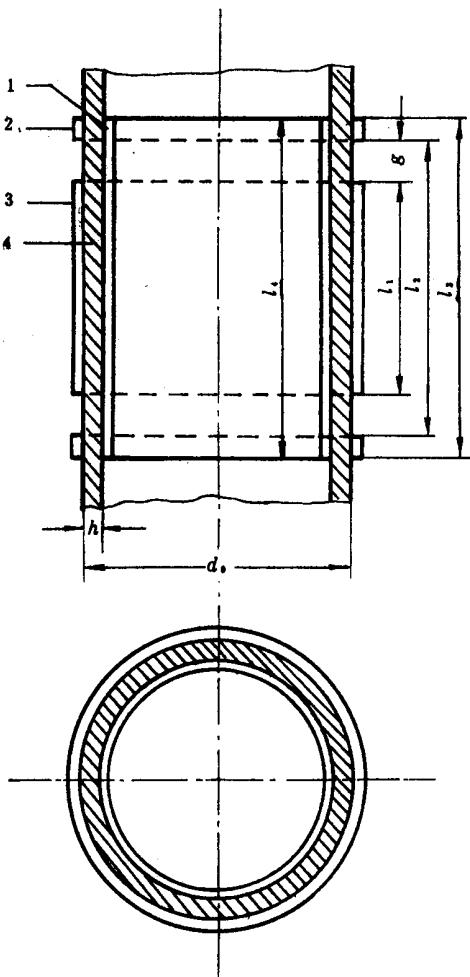


图 3 管状试样的电极配置

1—电极③;2—电极②;3—电极①;4—试样

在被保护电极与保护电极之间的试样表面上的间隙宽度要均匀，并且在表面泄漏不致引起测量误差的条件下间隙应尽可能窄，实际使用时最小为 1 mm。

图 2、图 3 给出了三电极装置的配置。测量体积电阻时，电极①为被保护电极（测量电极），电极②为保护电极，电极③为不保护电极。测量电极的直径 d_1 或长度 l_1 应至少为试样厚度的 10 倍，实际使用时通常最小为 25 mm。不保护电极的直径 d_4 （或长度 l_4 ）和保护电极的外径 d_3 （或保护电极两外缘的长度 l_3 ）应该等于保护电极内径 d_2 （或保护电极两内缘的长度 l_2 ）加上至少两倍的试样厚度。推荐使用 $d_1(l_1)=50 \text{ mm}$, $d_2(l_2)=54 \text{ mm}$, $d_3(l_3)=d_4(l_4)=74 \text{ mm}$ 。

6.2 表面电阻率

为测定表面电阻率，使用的保护系统应尽可能地抵消体积电阻引起的影响。图 2、图 3 中电极①为被保护电极，电极③为保护电极，电极②为不保护电极。表面电阻可在电极①和②之间测量，但这时测得的值包括了一部分体积电阻。要消除体积电阻的影响，则保护间隙 g 至少应为试样厚度的两倍，实际使用时，至少为 1 mm。被保护电极直径（或长度）至少为试样厚度的 10 倍，实际使用时，至少为 25 mm。推荐使用 $d_1(l_1)=50 \text{ mm}$, $d_2(l_2)=60 \text{ mm}$, $d_3(l_3)=d_4(l_4)=80 \text{ mm}$ 。

7 电极材料

7.1 概述

电极材料是用于改善金属块电极与试样的接触而施加于试样表面的导电材料。电极材料应容易加

到试样上,能与试样表面紧密接触,且不致因电极电阻或对试样污染而产生可观的误差。在试验条件下,电极材料应能耐腐蚀。下面是一些可采用的电极材料。

如有必要可使用两种不同的电极材料或两种不同使用方法来了解电极材料是否会产生可观误差。

7.2 真空镀膜和金属喷镀电极

真空镀膜电极是在真空下将金属喷镀到试样表面上形成的电极。金属喷镀电极是将低熔点金属喷镀到试样上形成的电极。这样的电极一加到试样上后,即可进行试验。电极是多孔性的。因此,可将喷有金属电极的试样进行预处理。使用这种电极材料时,试样应不受离子轰击或真空处理的影响。

7.3 液体电极

图 4 表示了使用液体电极的装置,构成上电极的液体应被框住,例如用不锈钢环来框住。每个环的下面边缘在不接触液体的一边被削成锐边。导电液体为汞,因汞蒸气有毒,故不推荐长期使用或高温下使用汞,液体电极往往能得到满意的结果。

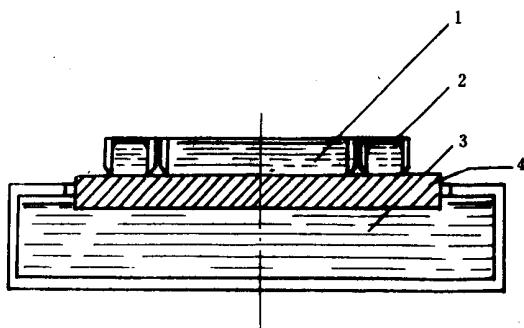


图 4 液体电极配置

1—电极①;2—电极②;3—电极③;4—试样

7.4 胶体石墨

分散在水中或其他合适媒质中的胶体石墨按所规定的电极形状仔细地刷到试样表面即可得到胶体石墨电极。这种电极是多孔性的。涂敷后试样仍可进行预处理(若胶体石墨的溶剂为水,则不容许进行浸水甚至受潮试验)。这种电极特别适用于湿度-电阻、温度-电阻关系的试验。使用这种电极材料时,溶剂对试样应无影响。

7.5 导电橡皮

导电橡皮可作电极材料,它的优点是使用方便。由于只是在测定时才加电极到试样上,因而它不妨碍试样的条件处理。导电橡皮的体积电阻率为不大于 $10 \Omega \cdot m$,邵氏硬度为 40~60(A 表),使用时压力为 0.01 MPa 左右。

7.6 金属箔

金属箔可粘贴在试样表面形成电极,普遍使用的金属箔为铅、铅锑、退火铝箔和锡箔。通常以极少量的精炼凡士林、硅脂、硅油、电容器油以及其他合适的材料作为粘贴剂将金属箔粘贴到试样上去,也可以使用以下组分的导电粘合剂。

分子量为 600 的无水聚乙二醇 800 份质量比

水 200 份质量比

软肥皂 1 份质量比

氯化钾 10 份质量比

将粘有粘合剂的金属箔放于试样表面后,用软物以均匀的力自箔中心向边缘挤压,以消除一切皱褶、气泡,并将多余的粘合剂挤走。

7.7 导电银漆

它具有和本标准 7.4 条相同的用法和优点，且比胶体石墨有更小的接触电阻。

8 试样

试样应比电极的最大尺寸每边多至 7 mm。每组试样至少 3 个。

除非另有要求，试样均采用原厚度。

9 试样操作与安放

为了使电极之间、测量极与地之间的杂散电流对测试仪器的读数没有明显的影响，测试时加电极到试样上和安放试样时均要极为仔细，以免形成对测试结果有影响的杂散电流通道。

测量表面电阻时，除非另有协议或规定，不要清洗及处理表面，也不要用手或其他任何东西触及。

10 条件处理

试样的预处理条件取决于被测材料,这些条件在材料规范中规定。

推荐使用 GB 10580《固体绝缘材料在试验前和试验时采用的标准条件》中规定的预处理方法。可使用甘油-水溶液潮湿箱进行湿度预处理。

测试条件应与预处理条件尽可能地一致,有些时候(如浸水处理)不能保持预处理条件和测试条件一致时,则应在从预处理环境中取出后尽可能短的时间内完成测试。一般不超过 5 min。

11 试验程序

试样按本标准第6、7、8、9、10章处理和准备试验。

除非另有规定，在测量电极范围内沿直径方向测量三点试样的厚度，以三点的算术平均值作为试样厚度，测量误差不大于 1%。

11.1 体积电阻

在测试前应使试样具有电介质的稳定状态，即试样不带有剩余电荷。

如有必要,可通过测量如图 2、图 3 中的电极①和电极③间的短路电流 I_0 来观察试样的剩余电荷状态,该短路电流达到一个稳定值时,应小于电化电流的稳定值。由于短路电流的方向有可能改变,因此,即使短路电流为零,也要维持短路状态到需要的时间,记下 I_0 的方向和大小。

加上规定的直流电压并同时开始计时,电化时间可从 1 min、2 min、10 min、50 min、100 min 中选取。若试样的电化电流很长时间达不到稳定状态,则记录体积电化时间的函数关系。一般情况下,采用 1 min 电化时间。

11.2 表面电阻

施加规定的直流电压于同一表面的两个电极之间(图 1b), 电化 1 min 后读数。

12 试验结果

12.1 体积电阻率

体积电阻率按式(1)计算:

式中: ρ_v —体积电阻率, $\Omega \cdot m$;

R_v —测得的试样体积电阻, Ω ;

A ——测量电极的有效面积, m^2 , 在附录 B 中给出了某些电极装置的有效面积 A 的计算公式;

h —试样的平均厚度, m。

对于某些高电阻率材料,电化以前的短路电流 I_0 与电化稳定电流相比不能忽略不计时,体积电阻应按式(2)计算:

式中: R_v —体积电阻, Ω ;

U_x —试验电压,V;

I_s —电化后的稳定电流, A;

I_0 —电化前的短路电流, A。

当 I_0 与 I_1 同向时使用负号, 反之用正号。

12.2 表面电阻率

表面电阻率应按式(3)计算:

式中: ρ_s —表面电阻率, Ω ;

R_s —试样的表面电阻, Ω ;

p ——所使用的特定电极装置或测量电极装置中,测量电极的有效周长,m,附录 B 中给出了某些电极装置中 p 的算法;

g —两电极之间的距离, m。

12.3 数据处理

数据处理按产品标准进行,若产品无此项规定,则取各试验值的几何平均值作为最终结果。

13 报告

试验报告应包括下列内容：

- a. 材料的说明和标志(名称、型号、生产厂等);
 - b. 试样的形状和尺寸;
 - c. 电极的形式、尺寸、材料;
 - d. 试样的处理(清洁、预处理条件等);
 - e. 试验条件(温度、湿度);
 - f. 测量仪器和方法;
 - g. 测试电压和电化时间;
 - h. 测得的各个值和最终结果;
 - i. 操作者和试验日期。

附录 A

几种常用的测量方法 (参考件)

A1 直接法

A1.1 检流计法

如图 A1 所示,被测试的电阻 R_x 计算如下:

式中: R_x —试样电阻, Ω ;

U —试验电压,V;

N —分流比;

α ——检流计偏转数,用两次读数的平均值表示,mm;

C_s —检流计常数,A/mm。

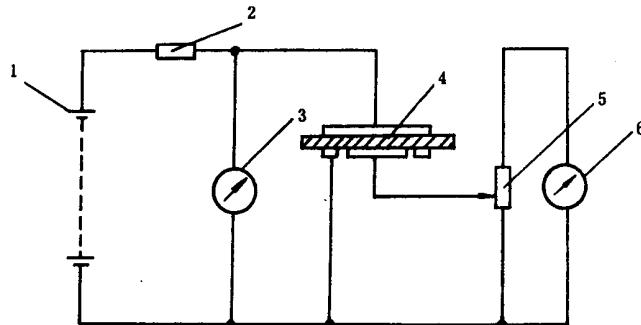


图 A1 检流计直接测量原理图

1—电源； 2—保护电阻； 3—电压表；

4—试样电阻;5—分流器;6—检流计

A1.2 高阻计法

高阻计法又称直流放大法,它是将通过试样的微弱电流经过放大后,推动指示仪表,故可测量较高的绝缘电阻。

通常在高阻计中,有数个数量级不同的标准电阻,以适应测量不同数量级的 R_x 的需要,被测电阻可以直接读出。高阻计法一般可测 $10^{17} \Omega$ 以下的绝缘电阻。

图 A2 表示高阻计的测量原理, 当 $R_s \leq R_x$ 时, 则:

式中: R_x —试样电阻, Ω ;

U —试验电压,V;

U_s —标准电阻两端的电压,V;

R_s ——标准电阻, Ω 。

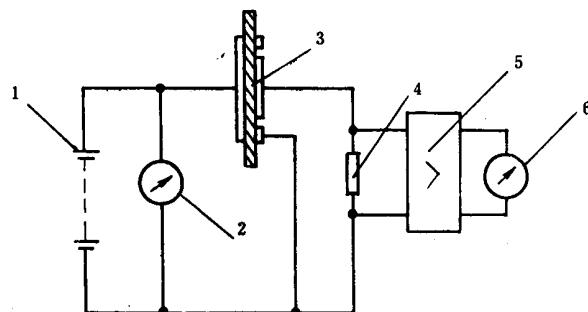


图 A2 高阻计法测量原理图

1—电源；2—电压表；3—试样电阻；
4—标准电阻；5—直流放大器；6—检流计

A2 比较法

A2.1 检流计法

如图 3 所示, R_x 的计算如下:

式中： R_s —标准电阻， Ω ；

d_1 、 d_2 ——分别为开关打开与闭合时检流计的偏转,mm;

n_1, n_2 —分别为开关打开与闭合时分流器的分流比。

检流计一般测量 $10^{12} \Omega$ 以下的电阻。

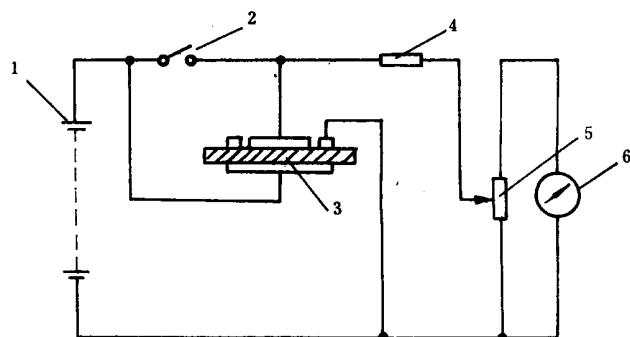


图 A3 检流计比较法测量原理图

1—电源；2—开关；3—试样电阻；
4—标准电阻；5—分流器；6—检流计

A2.2 电桥法

惠斯登电桥法测量电阻的原理如图 A4 所示。

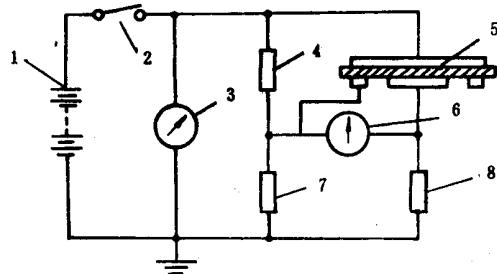


图 A4 惠斯登电桥法测量原理图

1—电源;2—开关;3—电压表;4—十进制可调标准电阻 R_B ;5—试样电阻;

6—检流计;7—十进制可调标准电阻 R_A ;8—标准电阻

测量时,调节 R_B 、 R_A 使电桥平衡,也就使流过检流计中的电流为零,此时

惠斯登电桥测量电阻时,一般用于测量 $10^{12} \Omega$ 以下的电阻,并且,无法观察电化电流随时间变化的情形。

附录 B

A 和 *p* 的计算公式 (参考件)

对于大多数用途，计算测量电极的有效面积和有效周长，如下的近似公式的精确度就足够了。

B1 有效面积 A

- a. 圆电极: $A = \pi(d_1 + g)^2 / 4$ (B1)
 - b. 长方形电极: $A = (a + g)(b + g)$ (B2)
 - c. 正方形电极: $A = (a + g)^2$ (B3)
 - d. 管形电极: $A = \pi(d_0 - h)(l_1 + g)$ (B4)

式中 d_0, d_1, g, h, l_1 分别为图 2、图 3 中所指的尺寸, 测量电极为正方形或长方形时, a, b 分别为长度和宽度, 尺寸均用 m 表示。

B2 有效周长

- a. 圆电极: $p = \pi(d_1 + g)$ (B5)
 - b. 长方形电极: $p = 2(a + b + 2g)$ (B5)
 - c. 正方形电极: $p = 4(a + g)$ (B7)
 - d. 管形电极: $p = 2\pi d_0$ (B8)

式中符号的意义与 B1 章中相同。

GB 1410-89

附加说明：

本标准由全国绝缘材料标准化技术委员会提出并归口。

本标准由桂林电器科学研究所负责起草。

本标准主要起草人袁明珍、顾宁君。