



中华人民共和国国家标准

GB/T 31838.6—2021/IEC 62631-2-1:2018

固体绝缘材料 介电和电阻特性 第6部分:介电特性(AC方法) 相对介电常数和介质损耗因数 (频率 0.1 Hz~10 MHz)

Solid insulating materials—Dielectric and resistive properties—Part 6: Dielectric properties (AC method)—Relative permittivity and dielectric dissipation factor (frequencies 0.1 Hz~10 MHz)

(IEC 62631-2-1:2018, Dielectric and resistive properties of solid insulating materials—Part 2-1: Relative permittivity and dissipation factor—Technical frequencies (0.1 Hz~10 MHz)—AC Methods, IDT)

2021-05-21 发布

2021-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

引言 II

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 2

5 试验程序 9

6 报告..... 10

7 重复性和再现性..... 10

附录 A（资料性） 基本测量 11

参考文献 14

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 31838《固体绝缘材料 介电和电阻特性》的第6部分。GB/T 31838 已经发布了以下部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：电阻特性(DC方法) 体积电阻和体积电阻率；
- 第3部分：电阻特性(DC方法) 表面电阻和表面电阻率；
- 第4部分：电阻特性(DC方法) 绝缘电阻；
- 第5部分：电阻特性(DC方法) 浸渍和涂层材料的体积电阻和体积电阻率；
- 第6部分：介电特性(AC方法) 相对介电常数和介质损耗因数(频率 0.1 Hz~10 MHz)；
- 第7部分：电阻特性(DC方法) 高温下测量体积电阻和体积电阻率。

本文件使用翻译法等同采用 IEC 62631-2-1:2018《固体绝缘材料的介电和电阻特性 第2-1部分：相对介电常数和损耗因数 技术频率(0.1 Hz~10 MHz) AC方法》。

与本文件中规范性引用文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 6672—2001 塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法(ISO 4593:1993, IDT)；
- GB/T 10580—2015 固体绝缘材料在试验前和试验时采用的标准条件(IEC 60212:2010, IDT)。

本文件做了下列编辑性修改：

- 为与现有标准系列一致，将文件名称改为《固体绝缘材料 介电和电阻特性 第6部分：介电特性(AC方法) 相对介电常数和介质损耗因数(频率 0.1 Hz~10 MHz)》；
- 为便于理解和实施应用，将 IEC 62631-2-1:2018 中 4.3.2.1 和 4.3.2.2 的“Null 方法”修改为“电桥法”；
- 由于 IEC 62631-2-1:2018 原文编辑性错误，将公式(13)中的 ϵ_r 修改为 ϵ_0 。

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：浙江荣泰电工器材有限公司、苏州巨峰电气绝缘系统股份有限公司、泰州钰明新材料有限公司、苏州太湖电工新材料股份有限公司、厦门弘诚复合材料有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、浙江博菲电气股份有限公司、东方电气集团东方电机有限公司、江苏中车电机有限公司、中车永济电机有限公司、广东明阳电气股份有限公司、安徽威能电机有限公司、北京福润达绝缘材料有限责任公司、信承瑞技术有限公司、铜陵精达特种电磁线股份有限公司、无锡江南电缆有限公司、金杯电工电磁线有限公司、桂林赛盟检测技术有限公司、中国长江三峡集团有限公司。

本文件主要起草人：刘亚丽、陈昊、郑敏敏、夏宇、郭振岩、朱永明、狄宁宇、井丰喜、张跃、王建良、耿涛、郭献清、盛海荣、张金鑫、邹祖冰、王琴、彭春斌、朱志存、匡美周、戴继文、赵婕。

引 言

介质损耗角正切值或介质损耗因数又称为 $\tan\delta$ ，是衡量绝缘材料质量的一个基本参数。测量电容和损耗角的方法已在工业上使用 100 多年。

介质损耗因数 ($\tan\delta$) 取决于几个参数，如电极设计、材料特性、环境、湿度、温度、施加电压，且主要取决于测试频率，测试设备的精度和应用于试样上的其他参数。

频率范围是有限的，这取决于测试单元和电极设计、样品和连接导线的尺寸。因此，在本文件中，所使用频率的参数限制在 0.1 Hz~10 MHz 的极低频 (VLF) 范围内。然而，测量仪器可提供更宽的频率范围，因此可用的和合适的频率范围受到整个测试系统的限制。

GB/T 31838 提出了固体绝缘材料的介电和电阻特性的测试方法，为用户测试固体绝缘材料介电和电阻特性提供统一的试样制备方法和测试程序等。

目前，GB/T 31838 由七部分构成。

- 第 1 部分：总则。提出影响固体绝缘材料介电和电阻特性测试的因素，指导该文件其他部分的编制。
- 第 2 部分：电阻特性 (DC 方法) 体积电阻和体积电阻率。提出测定固体绝缘材料 (不包括浸渍和涂层材料、浇注材料) 体积电阻和体积电阻率的试验方法。
- 第 3 部分：电阻特性 (DC 方法) 表面电阻和表面电阻率。提出测定固体绝缘材料表面电阻和表面电阻率的试验方法。
- 第 4 部分：电阻特性 (DC 方法) 绝缘电阻。提出测定固体绝缘材料绝缘电阻的试验方法。
- 第 5 部分：电阻特性 (DC 方法) 浸渍和涂层材料的体积电阻和体积电阻率。针对浸渍和涂层类绝缘材料，提出测定体积电阻和体积电阻率的试验方法。
- 第 6 部分：介电特性 (AC 方法) 相对介电常数和介质损耗因数 (频率 0.1 Hz~10 MHz)。提出 0.1 Hz~10 MHz 频率下测定固体绝缘材料介电特性的试验方法。
- 第 7 部分：电阻特性 (DC 方法) 高温下测量体积电阻和体积电阻率。提出温度不高于 800 °C 下测定固体绝缘材料体积电阻和体积电阻率的试验方法。

固体绝缘材料 介电和电阻特性

第6部分:介电特性(AC方法)

相对介电常数和介质损耗因数

(频率 0.1 Hz~10 MHz)

1 范围

本文件描述了 0.1 Hz~100 MHz 频率范围内测定固体绝缘材料介电常数和介质损耗因数特性的试验方法(AC方法)。

注:本文件主要考虑带有保护电极的测量装置系统。

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 60212 固体绝缘材料在试验前和试验时采用的标准条件(Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials)

ISO 4593 塑料薄膜和薄板机械扫描测定厚度(Plastics—Film and sheeting—Determination of thickness by mechanical scanning)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 中用于本文件中的术语和定义见下列网址:

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

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

3.1

电气绝缘材料 electrical insulating material

具有可忽略不计的低电导率的固体材料,用于隔离电势不同的导体部分。

注:术语“电气绝缘材料”也可指绝缘液体和绝缘气体。IEC 60247 包含绝缘液体的内容。

3.2

介电特性 dielectric properties

用交流电压测量出的绝缘材料的综合性能,包括电容、绝对介电常数、相对介电常数、相对复介电常数、介质损耗因数。

3.3

绝对介电常数 absolute permittivity

电通密度除以电场强度的商。

3.4

相对介电常数 relative permittivity
绝对介电常数与真空介电常数 ϵ_0 的比值。

3.5

相对复介电常数 relative complex permittivity
稳定的正弦场下,以复数表示的介电常数。

3.6

介质损耗因数 $\tan\delta$ dielectric dissipation factor $\tan\delta$
损耗角正切值 loss tangent
复介电常数的虚部与实部的比值。

3.7

电容 capacitance
C
导体间存在电势差时,导体和电介质组成的系统存储电荷的特性。

3.8

施加电压 voltage application
电极间施加的电压。
注:施加电压有时称为电化。

3.9

测量电极 measuring electrodes
贴附于材料表面的或者埋入材料内部的导体,与之接触以测量材料的介电或电阻特性。
注:测量电极的设计取决于试样和试验目的。

4 试验方法

4.1 通用原理

测量的绝缘材料的介电常数 ϵ 是其相对介电常数 ϵ_r 和真空介电常数 ϵ_0 的乘积,可由公式(1)表示:

$$\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r \quad \dots\dots\dots(1)$$

介电常数以法拉每米(F/m)为单位,真空介电常数 ϵ_0 具有下值,如公式(2)所示:

$$\epsilon_0 = 8.854\ 187\ 817 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad \dots\dots\dots(2)$$

相对介电常数是绝对介电常数和真空介电常数 ϵ_0 的比值。

在恒定电场和足够低频率的交变电场情况下,各向同性或准各向同性电介质的相对介电常数等于电容器的电容与真空中相同电极结构的电容的比值,其中电极之间和电极周围的空间完全充满电介质。

在实际工程中,通常用相对介电常数表示介电常数。绝缘材料的相对介电常数 ϵ_r 是电容性试样(电容器)加入到电极间所测得的电容 C_x 与电极之间为真空时测得的电容 C_0 的比值,如公式(3)所示,其中试样完全填充两电极之间的空间:

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad \dots\dots\dots(3)$$

在标准大气压下,不含二氧化碳的干燥空气的相对介电常数 ϵ_r 等于 1.000 53。因此在实践中,空气中电极结构的电容 C_a 通常可代替 C_0 来确定相对介电常数 ϵ_r ,具有足够的精度。

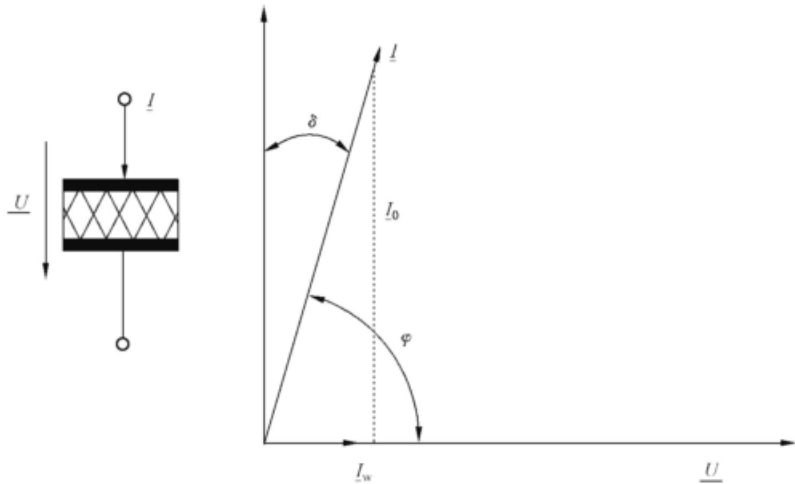
在稳定正弦电场下,相对复介电常数是以复数来表示的介电常数,如公式(4)所示:

$$\underline{\epsilon}_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' = \epsilon_r \times e^{-j\delta} \dots\dots\dots (4)$$

其中 ϵ_r' 和 ϵ_r'' 为实数。

注 1：复介电常数 $\underline{\epsilon}_r$ 通常以 ϵ_r' 和 ϵ_r'' ，或 ϵ_r 和 $\tan\delta$ 的形式引用。如果 $\epsilon_r' > \epsilon_r''$ ，则 $\epsilon_r \approx \epsilon_r'$ ，称为相对介电常数。

注 2： ϵ_r'' 又称损耗指数。



标引序号说明：

δ —— 介质损耗角；

φ —— 施加电压与产生电流的相位差；

$\underline{U}$ —— 施加的电压；

$\underline{I}$ —— 产生的电流；

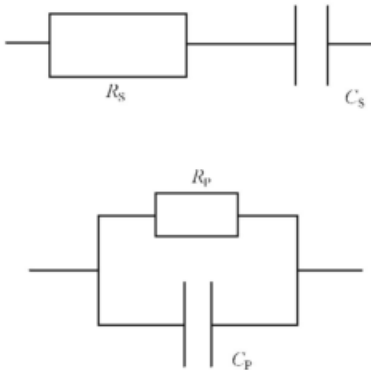
$\underline{I}_0$ —— 产生的电流的虚部；

$\underline{I}_w$ —— 产生的电流的实部。

图 1 介质损耗因数

介质损耗因数 $\tan\delta$ (损耗角正切值) 是复介电常数虚部与实部的比值，如公式 (5) 所示：

$$\tan\delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \dots\dots\dots (5)$$



标引序号说明：

R_s —— 串联电路中的电阻器；

C_s —— 串联电路中的理想电容器；

R_p —— 并联电路中的电阻器；

C_p —— 并联电路中的理想电容器。

图 2 等效电路图

因此，当固体绝缘材料专门用作电容性试样 (电容器) 时，绝缘材料的介质损耗因数 $\tan\delta$ 是 $\pi/2$ 弧

度减去施加电压与产生电流的相位差 φ 所得角 δ (介质损耗角) 的正切值 (与图 1 比较)。介质损耗因数也可用等效电路图表示, 图中使用理想电容器串联或并联电阻 (见图 2)。此时, 有公式 (6)、公式 (7) 和公式 (8)。

$$\tan \delta = \omega C_s \times R_s = \frac{1}{\omega C_p \times R_p} \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{C_p}{C_s} = \frac{1}{1 + \tan^2 \delta} \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{R_p}{R_s} = 1 + \frac{1}{\tan^2 \delta} \dots\dots\dots (8)$$

注 3: R_s 和 R_p 与绝缘材料的体积和表面电阻没有直接关系, 但受其影响。因此, 介质损耗因数也可能受到这些材料电阻特性的影响。

电容 C 是导体和电介质排列的特性, 当导体之间存在电势差时, 则允许存储电荷。

C 是电荷量 q 与电位差 U 之比, 按公式 (9) 计算。电容值总是正值。当电荷以库仑表示并且电势以伏特表示时, 单位为法拉。

$$C = \frac{q}{U} \dots\dots\dots (9)$$

这种通用方法描述一般测量的常见值。如果在本文中描述了特定类型材料的方法, 则应使用特定的方法。

测量介电常数和介质损耗因数时应仔细进行, 并考虑测量电路的电性能以及材料的特定电性能。

注 4: 进行试验时, 大多数情况下需要使用高压, 注意防止触电。

本文件不描述测试仪器和方法的基本原理, 相关资料见参考文献。

4.2 电压源

电压源应提供稳定的正弦电压。在测量期间, 电压源的电压值波动应不超过 $\pm 5\%$ 。

电压波形应近似于正弦波, 其正负峰值的幅度差小于 2% 。

正弦形状 (峰值与 r.m.s 比值等于 $\sqrt{2}$) 的偏差应在 $\pm 5\%$ 范围内。

首选电压为 0.1 V、0.5 V、10 V、100 V、500 V、1 000 V 和 2 000 V。

为了在工作电场强度下进行试验, 可使用更高的电压值, 并应在报告中记录相关的电压等级。

注: 当电压超过特定起始电压时, 局部放电可能会影响测量。在空气中, 电压低于 340 V 时, 不会发生局部放电。

4.3 设备

4.3.1 精度

测量设备宜能够测量与预期材料特性一致的未知介电常数和介质损耗因数, 且测量系统的精度应记录在报告中。

注: 用户可根据测量结果需要选择测量系统精度。

4.3.2 试验方法选择

4.3.2.1 概述

测量介电常数和介质损耗因数的方法可分为如下三种:

- 电桥法;
- 阻抗分析法;
- 数字移相法。

4.3.2.2 电桥法

对于介电常数和介质损耗因数的测量,可使用平衡电桥替代技术,即在电桥的一个桥臂上接入或不接入试品,调整桥臂达到平衡。通常使用的电桥有西林电桥、变压器电桥(即互感耦合比例臂电桥)和并联 T 型电桥。变压器电桥的优点是采取保护电极不需任何外加附件或过多操作,与其他电桥相比没有缺点。

4.3.2.3 阻抗分析法

很多商用仪器(阻抗分析仪或 LCR 测试仪)可用于测量。这些仪器将试样的阻抗确定为测量的电压和电流矢量之比。矢量包含幅值和相位。通常,在一个或多个固定频率下确定阻抗,或在频率范围内扫频确定阻抗。

大多数仪器允许使用给定频率的串联或并联等效电路将阻抗表示为损耗电容($C, \tan\delta$ 或 D)。本文件使用并联等效电路。

宜注意以正确方式补偿测量导线的影响。为此,通常应对测量导线进行开路 and 短路补偿,在某些情况下还应进行负载补偿,不规则的补偿可能会导致测量错误。

阻抗分析仪的精度取决于仪器本身的质量,但也可能很大程度上取决于测量阻抗(容量)的大小和测量的频率。可能使用任何仪器,但仪器的精度应适用于被测材料,并应在报告中说明。

4.3.2.4 数字移相法

测量原理以电压作为基准移相标记,精确记录标准(基准)电容器和被测试样的路径为基础。使用测量的这些电流之间的移相计算介质损耗因数。

通过高精度的模数转换,可同时测量正弦电流、电压的幅值和时间精度。可通过数字滤波来抑制电流和电压正弦波的谐波和外部噪声,例如在时域或频域中的快速傅里叶变换(FFT)。根据从数字电流测量中提取的相移和幅值信息,计算出介质损耗因子 $\tan\delta$ 和电容 C_x 。

为达到介质损耗因数 $\tan\delta$ 不大于 1×10^{-4} 精度的测量结果,A/D 转换器的分辨率宜不小于 16 位。

从安全角度考虑,宜将放置在带电区域的测量设备与操作控制单元分离,例如使用光纤分离。

4.3.3 电极装置

4.3.3.1 概述

用于绝缘材料的电极宜为方便实用的材料,可与试样表面紧密接触,且不会由于电极电阻或试样污染而引起明显的误差。在试验条件下,电极材料宜耐腐蚀。电极应与给定形状和尺寸的适当垫板一起使用。使用两种不同的电极材料或两种应用方法可有利于观察是否引入明显误差。

电极尺寸的测量应符合 ISO 4593 的规定。

注:电极尺寸测量的准确性直接关系到预期试验结果的准确性。

对于压敏试样,电极施加在试样上的机械力约为 1 Pa。也可使用其他机械力,但应在报告中记录。机械力不宜使试样承受过大的应力。

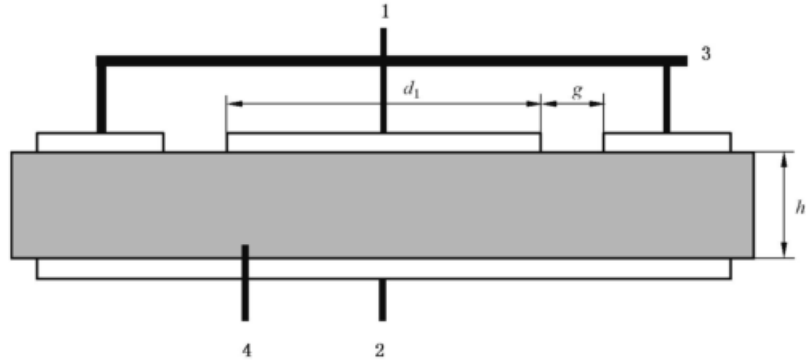
4.3.3.2 保护电极

测试电路的绝缘最好由与被测材料特性相匹配的材料组成。测量误差可能与下列因素有关:

- 影响测量容量的电场边缘效应;
- 可能影响介质损耗因数的表面电阻,特别是在低频时。

使用保护电极可有效改善测量误差。

保护电极所构成的保护系统与测量电极形成三电极系统,其基本连接如图 3 所示。



标引序号说明:

- 1 —— 测量电极;
- 2 —— 下电极;
- 3 —— 保护电极(保护环);
- 4 —— 试样;
- d_1 —— 电极直径;
- g —— 电极间隙;
- h —— 试样厚度。

图 3 用于平板型试样测量的带保护电极的圆柱形电极系统

表面积 A (单位为 mm^2) 等于 $\pi/4$ 乘以电极直径 d_1 与电极间隙 g 和的平方,见公式(10)。

$$A = \frac{\pi}{4} \times (d_1 + B \times g)^2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

因子 B 是试样间隙和厚度与介电常数之比的函数。公式(10)是假定相对介电常数 ϵ_r 趋近于无穷大。忽略因子 B ,则公式(11)表示有效面积可能存在的误差。

$$e\% = \frac{A_{B=1} - A_{B \neq 1}}{A_{B \neq 1}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

将自身带有电极的试样连接在金属垫衬电极之间,该电极比试样自带的电极略小。附录 A 给出了用于计算圆盘形或圆柱形电极不同布置方式电容的公式,以及计算此类电极边缘效应的经验公式。

4.3.3.3 导电银漆

某些商用类型的高导电性银涂料,无论是风干型还是低温烘烤型,都具有足够的多孔性,以允许水分扩散,从而可在施加电极之后对试样进行调节。在研究电阻-湿度效应以及随温度变化时,这是一个特别有用的特性。但在将导电涂料用作电极材料之前,应确定涂料中的溶剂不会影响试样的电性能。用细毛刷可获得相当光滑的保护电极边缘。然而对于圆形电极,可通过使用针来绘制电极的轮廓圆并用刷子填充封闭区域获得更锐利的边缘。若喷涂电极涂料,可使用夹式面罩。

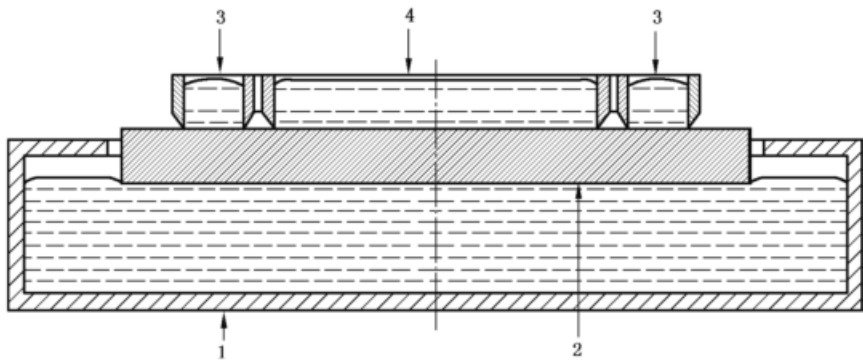
4.3.3.4 电镀金属电极

蒸发或溅射金属电极能用于材料不受离子轰击、温度应力或真空处理影响的场合。

4.3.3.5 液体电极

使用液体电极,能得到满意的结果。上电极的液体宜注入不锈钢制的限制环中,每个不锈钢环的下边缘在不接触液体的那一面宜斜切而成锐边。图 4 给出了液体电极示例。室温下为液态的合金适合用

作液体电极,如镓、铟和锡等。不宜使用水银作为液体电极。



- 标引序号说明:
- 1——测试电压源;
 - 2——试样;
 - 3——保护电极;
 - 4——测量电极。

图 4 液体电极测量示例

4.3.3.6 金属箔

铝和锡箔是常用金属箔。通常使用最少量的凡士林、硅脂、油或其他合适的材料作为黏合剂附着在试样上。

所有黏合材料均可影响测量结果,宜控制用量。

注:经验表明,硅脂具有足够低的介电损耗,是十分合适的黏合材料。

4.3.3.7 管状试样

最适合管状试样的电极系统取决于其介电常数、壁厚、直径以及所需的测量准确度。一般情况下,电极系统应由内电极和稍窄的外电极组成,每端都有保护电极。内电极外壁和保护电极之间的间隙应小于管壁厚度。对于小直径和中等直径的管状试样,可在管的外侧施加三个箔带或熔敷金属带,中间带作为工作外电极,另外两个箔或熔敷金属带,每侧一个,作为保护电极。可使用液态金属内电极、熔敷金属膜或紧密配合的芯轴。

对于高介电常数的管状试样,内电极和外电极可延伸到管的整个长度,并且可免除保护电极。

对于大直径的管子或圆筒,电极系统可能是圆形的或矩形贴片,仅测试管外围的一部分。这样的试样能视为片状试样。金属箔、熔敷金属膜或紧配合芯轴的内电极与金属箔或熔敷金属的外电极和保护电极一起使用。如果使用箔式电极,管内可能需要一个灵活的膨胀夹,以确保内部电极和试样之间的良好接触。

对于相对介电常数 ϵ_r 高达 10 的管状试样,最方便的电极是箔或液态金属。对于相对介电常数 ϵ_r 大于 10 的管状试样,应使用熔敷金属电极。对于陶瓷管,应使用烧制电极。可在整个圆周上或圆周的一部分上施加带状电极。

4.3.3.8 空气中平行电极(微米级精度)

在插入试样和不插入试样的情况下,能将电容调整为相同值,并且介电常数测定没有参考测量系统的电气校准。

4.3.3.9 液体替代法

在一种液体中,其介电常数与试样的介电常数几乎相同,且损耗因数可忽略不计。此时,与通常相比,试样厚度的精确测量已不重要。通过两种液体的交替使用,试样厚度和电极系统尺寸可能从方程中消除。

试样应为直径与电极相同的圆盘,或对于微米级电极,试样可足够小,以使边缘效应可忽略不计。为使边缘效应在微米级电极中可忽略不计,试样直径应比微米级电极小至少两倍的试样厚度。

4.4 校准

应根据所测得的介质损耗因数校准设备。

4.5 试样

4.5.1 总体要求

为确定材料的介电常数和介质损耗因数,宜优先使用片状试样。若材料形状只能是管状,则试样厚度应与其实际应用厚度相接近。

当测量介电常数要求高精度时,不确定度主要来源于试样的尺寸,特别是厚度,因此试样尺寸应足够大,以使测量达到所要求的精度。厚度的选择取决于试样的制备方法以及不同点厚度的可能变化。应通过系统地在试样电气测试区域上的测量来确定厚度,且平均厚度应均匀到 $\pm 1\%$ 以内。选择的试样面积应提供足够的电容以达到测量所要求的精度。

注 1: 经验表明,典型试样的电容大约在 10 pF 到 100 pF 之间。

当测量的介质损耗因数比较小时,由导线串联电阻引入的损耗尽可能小,否则需要修正,即电阻与被测电容的乘积尽可能小。同时,测量电容与总电容的比值尽可能大。

注 2: 第一点表明保持尽可能低的导线串联电阻,以及具有小试样电容的重要性。第二点表明与试样连接的电桥中的总电容较低,且较大试样电容的必要性。通常,最佳的方案是试样的电容约为 20 pF,与试样并联的测量电路的电容不超过 5 pF。

注 3: 若无其他规定,可使用尺寸为 $[\geq 100\text{ mm} \times \geq 100\text{ mm} \times (1\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm})]$ 的平板试样。

4.5.2 试样与电极的建议尺寸

如无其他规定,各种类型的试样推荐使用表 1 中的尺寸。

表 1 试样

类型	推荐的试样尺寸	备注
热塑性材料	60 mm×60 mm×1 mm	见 ISO 294-1 及 ISO 294-3
热固性材料	—	见 ISO 295
长纤维增强聚酯和乙烯基酯模塑料 (SMB/BMC)	100 mm×100 mm×3 mm	—
环氧基板和层压板	—	—
浸渍树脂和清漆	—	材料描述见 IEC 60455 和 IEC 60464 系列
浇注树脂	—	材料描述见 IEC 60455 系列
管材和棒状材料	—	材料描述见 IEC 61212
弹性材料	100 mm×100 mm×3 mm	—

试样的尺寸应大于包括保护电极在内的测试电极的尺寸。

4.5.3 试样制备

应根据材料的相关标准,确定试样的形状并进行制备。在试样制备和移动过程中,不应改变试样状态,也不应损坏试样。

如果试样表面与电极接触区域进行了机加工,则应在试验报告中记录加工类型。试样应具有简单的几何形状(如具有平行测量区域的板、圆筒等)。

如可能,来自成品的试样,应根据成品厚度制备。

4.5.4 试样数量

应根据相关产品标准确定试样的数量。若没有可参考的标准或数据,至少应准备三个试样进行试验。

4.5.5 试样条件处理和预处理

应按照相关产品标准对试样进行条件处理和预处理。若没有可参考的产品标准,则应按照 IEC 60212(标准条件 B)的规定,在 23 ℃、50%相对湿度条件下,进行至少 4 天的条件处理。

4.6 特定材料程序

特定材料的程序见材料规范。若存在特殊材料的特定程序,则应使用该规范。报告中应说明包括试样制备在内的试验程序。

5 试验程序

5.1 总体要求

按照相关规范的要求准备一定数量的试样。若无其他规定,则应测试至少三个试样。在放置电极前,宜最少在 5 个点测量试样厚度。试样的厚度和电极尺寸的精度应为±1%。应根据相关标准,对试样进行条件处理和预处理。若没有可参考的产品标准,则应按照 IEC 60212(标准条件 B)的规定,在 23 ℃、50%相对湿度条件下,进行至少 4 天的条件处理。

5.2 介电常数和相对介电常数计算

5.2.1 相对介电常数

当试样的测量电容为 C_x 时,根据公式(12)计算相对介电常数 ϵ_r 。

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \dots\dots\dots (12)$$

其中 C_0 可根据公式(13)计算如下:

$$C_0 = \epsilon_0 \times \frac{A}{h} = 0.088\ 54 \frac{A}{h} \dots\dots\dots (13)$$

如有必要,应对试样对地的电容、开关触点之间的电容、以及等效串联和并联电容之间的差异进行类似的校正。

5.2.2 介质损耗因数 $\tan\delta$

应根据所使用测量装置给出的方程式,通过测量值计算介质损耗因数 $\tan\delta$ 。

6 报告

试验报告应包含以下信息：

- 试样的名称、标识、材料规范、颜色、来源和制造商的代码；
- 试样和测试单元的形状和尺寸；
- 试样的温度 and 环境的相对湿度；
- 试样的固化条件处理和任何的预处理；
- 试验次数，描述程序；
- 试验方法和使用的测量电路；
- 试验设备的精度和制造商的仪器标识；
- 试验的时间和地点；
- 环境温度、相对湿度和气压；
- 试验电压；
- 试验频率；
- 电极布置方式和试样使用的电极类型；
- 机械电极压力(Pa)(如适用)；
- 试样数量；
- 试验时间和日期；
- 介质损耗因数和介电常数的每个值和平均值；
- 其他任何重要信息；
- 并联电容值，相对介电常数和介质损耗因数与估计精度，试样有效面积的误差修正值以及由该值计算得到的损耗指数和损耗角。如果对一个试样进行多次试验，则应给出与温度和频率相关的平均值。

7 重复性和再现性

相对介电常数和介质损耗因数的测量取决于许多方面。

注：经验表明，介质损耗因数和相对介电常数的测量值的重复性和再现性在 10% 以内。

附录 A
(资料性)
基本测量

A.1 环形保护电极有效面积的误差

以下以 $d_1=25\text{ mm}$ 、 50 mm 或 100 mm ， $w=1\text{ mm}$ 为例进行说明。
间隙和厚度的比可能引起测量误差，特别是对于薄试样。目前已获得修正公式来解决该问题。对于标准几何形状，校正系数 B 如公式(A.3)所示。对于其他需要更高精度的情况，宜计算 B 。如试样的尺寸与推荐尺寸不同，则采用边缘修正系数计算(见图 A.1～图 A.3)。

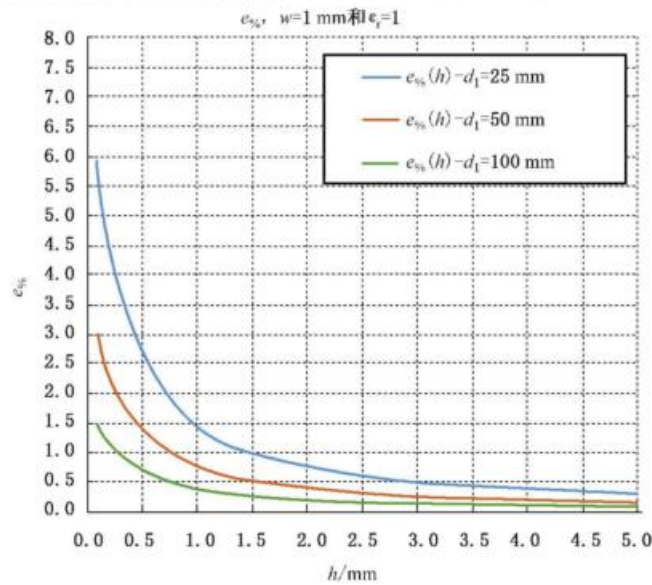


图 A.1 当 $\epsilon_r = 1$ 时,面积误差($e_{\%}$)随厚度 h 变化的关系图

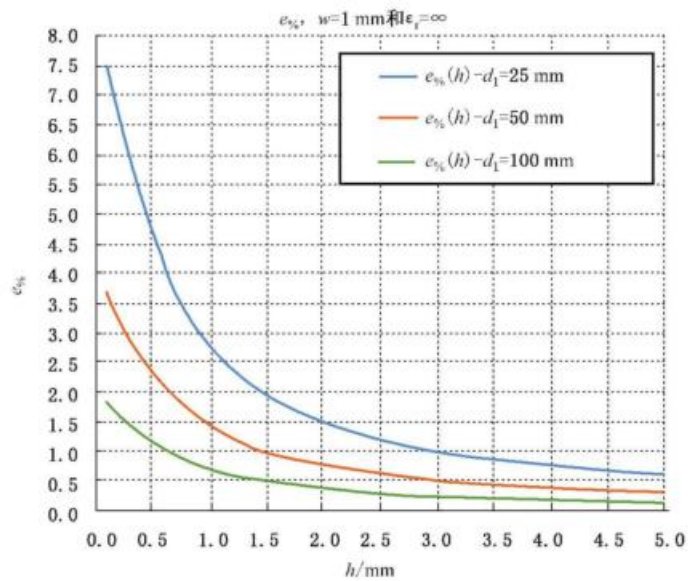


图 A.2 当 $\epsilon_r = \infty$,面积误差($e_{\%}$)随厚度 h 变化的关系图

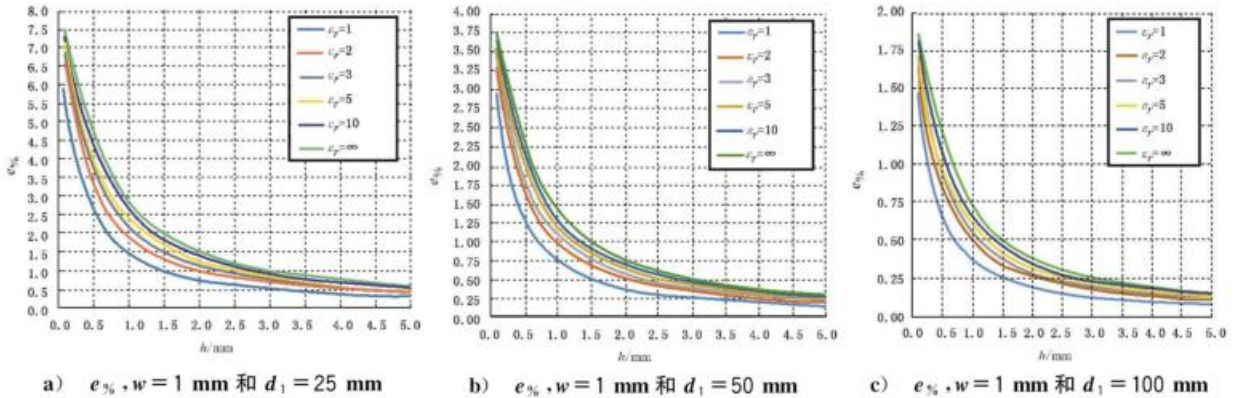


图 A.3 不同 ϵ_r 和 d_1 的误差计算

A.2 有效面积边缘效应的校正

边缘效应的校正流程,如图 A.4 所示。

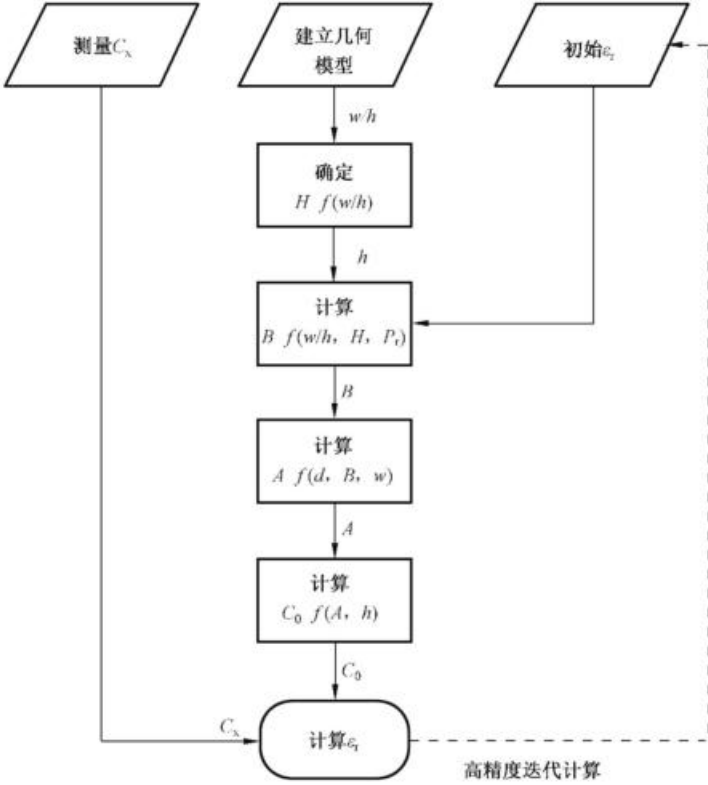


图 A.4 有效面积边缘效应修正计算流程图

注: ϵ_r 的初始值可通过假设 $B=1$ 或使用基于预知的估计来确定。

A.3 确定 H 并计算 B

通过曲线拟合 H 近似值见公式(A.1)和公式(A.2)。

$$\pi \times \frac{w}{h} = H - \frac{1}{H} + 2 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$H \approx a_6 \times \left(\frac{w}{h}\right)^6 + a_5 \times \left(\frac{w}{h}\right)^5 + a_4 \times \left(\frac{w}{h}\right)^4 + a_3 \times \left(\frac{w}{h}\right)^3 + a_2 \times \left(\frac{w}{h}\right)^2 + a_1 \times \left(\frac{w}{h}\right)^1 \quad \dots\dots (A.2)$$

式中：
 w ——电极间隙；
 h ——试样厚度；
 H ——待确定的系数。

图 A.5 显示了系数 H 与间隙 w 和厚度 h 的关系。

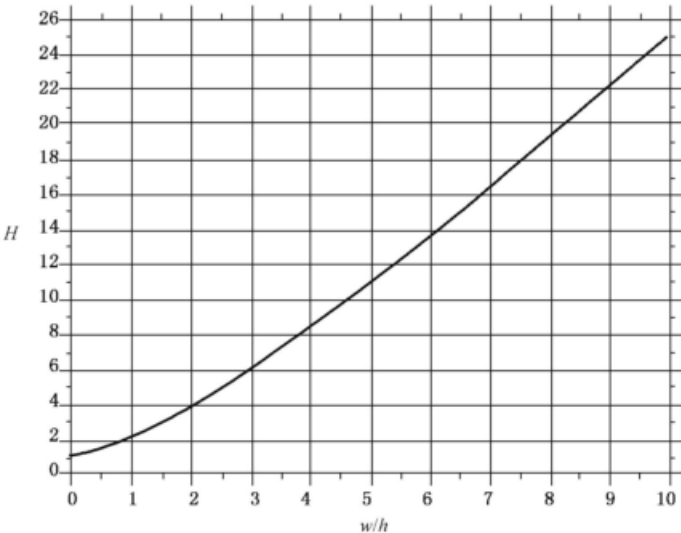


图 A.5 H 与间隙 w 和厚度 h 的关系

B 值的计算见公式(A.3)。

$$B = 1 - \frac{H - 1}{\left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right) \times (H + 1) + \frac{\pi \times w \times H}{\epsilon_r \times h \times (H - 1)}} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：
 w ——电极间隙；
 h ——试样厚度；
 ϵ_r ——相对介电常数；
 H ——已确定的系数；
 B ——试样间隙和厚度与介电常数之比的函数。

参 考 文 献

- [1] ISO 291 Plastics—Standard atmospheres for conditioning and testing
- [2] ISO 294-1 Plastics—Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials—Part 1: General principles, and moulding of multipurpose and bar test specimens
- [3] ISO 294-3 Plastics—Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials—Part 3: Small plates
- [4] ISO 295 Plastics—Compression moulding of test specimens of thermosetting materials
- [5] ISO 558 Conditioning and testing—Standard atmospheres—Definitions
- [6] EN 10088-2:2014 Stainless steels—Part 2: Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for general purposes
- [7] IEC 60050-121:1998 International electrotechnical vocabulary (IEV)—Part 121: Electromagnetism
- [8] IEC 60216-1 Electrical insulating materials—Thermal endurance properties—Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results
- [9] IEC 60216-4-1:2006 Electrical insulating materials—Thermal endurance properties—Part 4-1: Ageing ovens—Single-chamber ovens
- [10] IEC 60247 Insulating liquids—Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and d.c. resistivity
- [11] IEC 60250:1969 Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio frequencies including metre wavelengths
- [12] IEC 60455 (所有部分) Resin based reactive compounds used for electrical insulation
- [13] IEC 60464 (所有部分) Varnishes used for electrical insulation
- [14] IEC 60505 Evaluation and qualification of electrical insulation systems
- [15] IEC 61212 (所有部分) Insulating materials—Industrial rigid round laminated tubes and rods based on thermosetting resins for electrical purposes
- [16] IEC 62631-1 Dielectric and resistive properties of solid insulating materials—Part 1: General
- [17] Schering H. Bridge for loss measurement (in German). Tätigkeitsbericht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Braunschweig, Germany, 1919.
- [18] Wagner K W. Zur Messung dielektrischer Verluste mit der Wechselstrombrücke (To the measurement of dielectric losses with the a. c. bridge). Elektrotechnische Zeitschrift Vol. 32 (1911), p. 1001.
- [19] Hague B. Alternating current bridge methods. Pitman 1959.
- [20] Poleck, H.; Measuring bridges for the measurement of capacitances and loss factors of grounded test objects (in German); Archiv für Technisches Messen, 921-951, 1939
- [21] Seitz P., Osvath P. Microcomputer controlled transformer ratio-arm bridges. 3rd ISH, Milan paper 43.11, 1979.
- [22] Kaul G., Plath R., Kalkner W. Development of a computerized loss factor measurement system, including 0.1 Hz and 50/60 Hz. 8th International Symposium on High Voltage Engineering, Yokohama, Japan, paper 56.04, 1993.

- [23] Bartnikas R. Phase shift measurement with complex compensation bridge. *ASTM Engineering Dielectrics, Electrical Insulation Liquids, Volume III*, page 122-124, ISBN 0-8031-2055-9-1.
 - [24] Hyde P. F. Wide frequency range dielectric spectrometer. *Proc. IEE*, Vol 117, no. 9, pp. 1891-1901, September 1970.
 - [25] Muhr M., Knollseisen G. Schwarz R. Sumereder C. Comparison of methods for the dissipation factor measurement. 51th Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau September 11-15, 2006.
 - [26] Pütter M., Krüger, M., Koch M., Hulka L. Laboratory and Field Measurements on Transformer Insulations with Different Dissipation Factor test Methods. 11th Insucon Conference, Birmingham, UK 2009, pp. 20-26.
 - [27] Bartnikas R. *Engineering Dielectrics, Volume IIB Electrical Properties of Solid Insulating Materials; Measuring Techniques*. ASTM Library PCN 04-926000-21, STP 926-1987.
 - [28] Lisowski M. and Skopec A. Effective Area of Thin Guarded Electrode in Determining of Permittivity and Volume Resistivity. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 16, No.1; February 2009.
 - [29] Schichler U., Pischler O. Effective Area of Disk Electrodes with Guard-Ring Contribution for the Revision of IEC 60250. Institute of High Voltage Engineering and System Performance, Graz University of Technology, Austria, February 2015.
 - [30] Dorota Kotakowska, Michał Lisowski. The effective area of measurement electrode in volume resistivity and permittivity of solid dielectrics measurements. *Measurement Automation Monitoring*, Feb. 2015, vol. 61, no. 02.
 - [31] Schnell L. *Alternating-Current Bridge Methods* See Chapter 4, *Technology of Electrical Measurements*. John Wiley and Sons Ltd, 1993, or B. Hague, (5th ed.), Pitman & Sons, London, 1962.
 - [32] Hauschild W., Lemke E. *High-Voltage Test and Measuring Techniques*. Springer, Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-45352-6, 2014.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
固体绝缘材料 介电和电阻特性
第 6 部分:介电特性(AC 方法)
相对介电常数和介质损耗因数
(频率 0.1 Hz~10 MHz)

GB/T 31838.6—2021/IEC 62631-2-1:2018

*

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.org.cn

服务热线:400-168-0010

2021 年 5 月第一版

*

书号:155066·1-67622

版权专有 侵权必究



GB/T 31838.6-2021



码上扫一扫 正版服务到