

# 电子电器产品非金属材料球压试验及测量不确定度评定

徐超 姚远 刘源 吴穷 汤子翊

(湖北省产品质量监督检验研究院)

**摘要:** 本文介绍了电子电器产品非金属材料(除陶瓷外)球压试验的具体试验过程及注意事项, 并从A类不确定度和B类不确定度两方面, 对球压压痕直径的测量不确定度进行评定。

**关键词:** 非金属材料, 球压试验, 不确定度

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2023.08.020

## Ball Pressure Test of Non-metallic Materials for Electronic and Electrical Products and Evaluation of Measurement Uncertainty

XU Chao YAO Yuan LIU Yuan WU Qiong TANG Zi-yi

(Hubei Institute of Quality Supervision and Inspection)

**Abstract:** This paper introduces the specific test process and precautions of ball pressure test of non-metallic materials (except ceramics) of electronic and electrical products, and evaluates the measurement uncertainty of ball pressure indentation diameter from the aspects of class A uncertainty and class B uncertainty.

**Keywords:** non-metallic materials, ball pressure test, uncertainty

目前, 电子电器产品中常见的非金属材料, 大部分属于聚合材料。部分材料在高温的环境下, 分子间作用力会减弱, 部分共价键发生破裂, 材料出现软化、熔融流动等现象。如果将其用在触电防护和载流部件固定等方面, 存在触电、短路的风险。生产企业在设计产品之初, 就需要考虑可能出现的非正常热危险, 提升产品非金属材料的耐热性能。国内外实验室常用球压试验来评估非金属材料耐热性能, 将球压试验结果作为符合性的判定依据, 因此, 开展电子电器产品非金属材料球压试验及测量不确定度评定工作显得尤为重要。

## 1 相关标准及决议文件

我国现行球压试验方法标准为GB/T 5169.21-2017《电工电子产品着火危险试验 第21部分: 非正常热 球压试验方法》, 该标准等同采用国际标准IEC 60695-10-2-2014。该项标准对样品制备、试验程序、结果评估等内容做出了规定。

除了上述方法标准外, 在电子电器类相关产品标准, 如: 家用电器类产品标准GB 4706.1-2005《家用和类似用途电器的安全 第1部分: 通用要求》, 信息技术设备类产品标准GB 4943.1-2011《信息技术设备 安全 第1部分: 通用要求》, 音视频电

---

**作者简介:** 徐超, 本科, 主要从事电子电器产品质量安全检测及风险评估工作。

子设备类产品标准GB 8898-2011《音频、视频及类似电子设备 安全要求》，电动工具类产品标准GB/T 3883.1-2014《手持式、可移式电动工具和园林工具的安全 第1部分：通用要求》，照明电器类产品标准GB 7000.1-2015《灯具 第1部分：一般要求与试验》和电器附件类产品标准GB/T 2099.1-2022《家用和类似用途插头插座 第1部分：通用要求》等标准中，也明确规定采用球压试验对非金属材料的耐热性能进行考核。

在进行球压试验时，实验室之间因仪器设备的精度不同和压痕测量选点方式不统一等因素的影响，存在相同材质的样块在不同实验室之间，球压测量结果差异较大的问题。为了规范试验人员的操作流程，统一各实验室仪器设备的技术要求，确保球压试验结果的重复性和复现性。国际电工委员会电工产品合格测试与认证组织(IECEE)的分支技术机构检测实验室委员会(CTL)组织对球压试验的技术要求进行讨论，最终形成CTL DSH0391C球压测试及CTL DSH2075球压测试等决议文件。因此，在进行球压试验时，除了需要依据相关方法标准和产品标准外，还应按照相关决议文件规定开展检测工作。

## 2 试验步骤及注意事项

现行国家标准GB/T 5169.21-2017《电工电子产品着火危险试验 第21部分：非正常热 球压试验方法》描述了一种在烘箱中使用压力球评估聚合材料负重时的软化和材料流动性试验方法，用于测量、描述和分级材料在可控实验室条件下对高温的反应，根据试验结果对聚合物材料的耐热性能进行评定。标准规定，试验样块需要进行预处理至少24h，球压试验装置与烘箱也需要同时升温预处理至少3h，随后在30s内将试验样块放置在球压装置上，试验60min后，取下样块，并在10s内将样块浸入15~25℃的水中，4~8min后，从水中取出样块，擦干样块表面的水迹，在3min内测量压痕直径。

### 2.1 试样样块的制备

试验样块从电子电器整机上切取，样块的边长或直径至少10mm，厚度至少2.5mm。如果单个样块厚度不满足要求，可将多个样块进行叠加，但是需要注意叠加时样块之间不能出现明显的位移。制备的样块上下表面应尽可能平行，避免试验过程中压力球与试样表面之间发生滑动或由于上下表面倾斜，压力球垂直向下的作用力被分解，压痕向分力方向倾斜，造成压痕呈现不规则形状，影响试验结果。

### 2.2 试验样块预处理

球压试验前，需要对试验样块进行环境预处理，将样块放置在环境温度为15~35℃，湿度为45%~75%RH的环境下至少24h，对于机械性能容易受到湿度和温度影响的材料，应该根据相关要求提供更为严格的环境状态进行前置处理<sup>[1]</sup>。

### 2.3 试验烘箱

试验用烘箱应使用单室烘箱，温度的梯度、波动和偏差应符合IEC 60214-4-1的要求，烘箱温度偏差不应超过±2℃。同时，在试验样块放置完毕，重新关闭烘箱门后，烘箱应在5min内恢复至设定温度的±2℃，且温度过冲不超过5℃。

根据CTL DSH2075决议相关要求，IEC 60214-4-1标准规定了老化试验用的强制通风烘箱的要求，由于球压试验不认为是老化试验，因此不要求强制通风，也不应将其与强制对流相混淆。为了进行球压试验，只要满足所有其他要求，可以使用带或不带强制对流的腔室<sup>[2]</sup>。

### 2.4 球压试验装置

球压试验装置由负载装置和试样底座两部分构成。负载装置由一个直径为 $5\pm0.05$ mm的压力球（符合ISO 3290-1的滚动轴承成品钢球）连接到砝码系统中构成，其被设计成可施加一个垂直向下的作用力，包含压力球的质量相当于 $20\pm0.2$ N的负载<sup>[1]</sup>。

GB/T 5169.21-2006和CTL DSH0391C中认为50mm直径的平滑安装表面和100mm高度的实心钢圆柱体是合适的试验底座，但在GB/T 5169.21-2017中删除了此项规定。在实际使用时，如果试验底座质量过轻，尺寸偏小，当开启烘箱门放置试

验样块时,试样底座的温度会迅速下降,当关闭烘箱门后,试样底座会吸收大量热量以达到热平衡,延长了烘箱整体热平衡的时间,降低了试验严酷程度,影响试验结果。建议沿用GB/T 5169.21-2006和CTL DSH0391C相关要求,使用直径不小于50mm、高度不小于100mm的实心圆柱钢底座<sup>[3]</sup>。

## 2.5 温度采集装置

实际使用时,烘箱内部各点的温度与中心点温度会存在一定的偏差,为了进一步监控试验底座的温度,保证试验结果的有效性,GB/T 5169.21-2017规定在位于试样底座中心表面下方约3mm的位置安装一根独立的热电偶(如图1所示),热电偶首选K型或J型,并且在100℃以下要求误差不大于±2℃,100℃及以上温度,要求误差不超过3%。

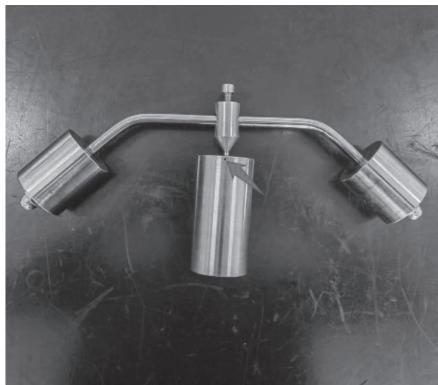


图1 球压装置底座预留热电偶孔

## 2.6 测量设备

GB/T 5169.21-2017中规定光学测量装置的测量标尺精度不低于0.1mm,测量时可增加照明装置将光线照射在施加过压力球的试样表面,测量装置的光学放大倍数不应小于10倍,同时删除了旧版标准上限值为20倍的规定。

## 2.7 结果读取

球压压痕直径是从压痕一端清晰边界到另一端清晰边界之间的最大距离(如图2所示)。根据CTL DSH2075决议要求,如果获得非圆形压痕,则最长和最短测量值之间的最大差值不应超过0.2mm。如果观察到的直径差大于0.2mm,则应重复试验。如果继续观察到直径差异较大,应将压痕的非圆形特征与结果一起报告<sup>[2]</sup>。

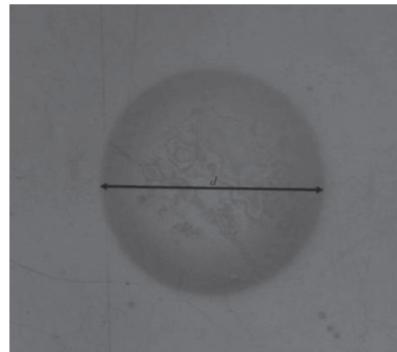


图2 球压压痕实测图

## 2.8 注意事项

在使用球压试验装置前注意调节负载装置砝码与中心轴之间的距离,将负载装置保持在水平状态,避免出现倾斜;当烘箱温度达到热平衡后放置样块时,应在30s内完成;人员在操作时应注意轻拿轻放;开启和关闭烘箱门时避免出现振动,尽量减少人为因素对试验结果的影响。

GB/T 5169.21-2017规定试验底座应有足够大的质量,以防止在烘箱内放置和取出试样时,出现试验装置温度明显降低的情况,但并未对底座的直径、高度和质量等参数做出规定。当进行200℃及以上高温球压试验时,对于质量较重、体积较大的底座,如果按照标准GB/T 5169.21-2017规定的最低要求对试验装置和底座预热3h,底座温度将很难在预定时间内达到热平衡,直接影响试验结果。因此,采用GB/T 5169.21-2006相关规定,将试验支架与底座预热至少24h的规定更为合理。

## 3 不确定度评定

球压试验作为评估非金属材料耐热性能的主要方法之一,其测量结果的准确性显得尤为重要。在试验过程中,由于各阶段变量引入的测量不确定度,会对试验结果造成影响。因此,对球压试验开展不确定度评定,对提高测量结果的准确性,提高检测效率,具有十分重要的意义。

### 3.1 评定条件

测量依据:依据GB/T 5169.21-2017《电工电子产品着火危险试验 第21部分:非正常热 球压试验

方法》进行测量。

**测量对象:**从电源适配器的固定载流部件绝缘材料上切取的厚度为3mm,边长为15mm的矩形样块。

**测量仪器设备:**SUN-QY型球压试验装置,LHX-II型高温试验箱,JTVMS-3020型影像测量仪,测量范围0~200mm,最小分度值0.001 mm。

**测量环境条件:**温度15~35℃,湿度45%RH~75%RH。

### 3.2 测量过程

根据电子电器产品相关标准要求截取特定部位的非金属材料进行球压试验,并对试样的球压压痕进行测量。一般来说测量次数不同,测量精密度也会不同,增加测量次数,可以提高精度,但测量次数达到10次后,随着测量次数的增加,测量时间延长,难以保证测量条件的恒定,会对测量结果造成影响,因此本次重复测量次数取10次,10次测量的算术平均值即为测量结果。

### 3.3 不确定度数学模型的建立

非金属材料压痕直径可由影像测量仪直接读取,因此可得数学模型:

$$D=L$$

式中,D为测得压痕直径,mm;

L为影像测量仪示值,mm。

### 3.4 不确定度的引入

球压试验压痕直径的不确定度主要来源有以下几方面:试验人员重复测量引入的标准不确定度、影像测量仪的示值误差引入的不确定度,样块的环境预处理、样块的平整度、样块的厚度、球压装置和试验时间等因素。

#### 3.4.1 输入量的标准不确定度评定

球压压痕直径的测量不确定度由以下两个分量组成:

(1) 重复测量引入的不确定度(A类不确定度)

在试验过程中,用JTVMS-3020型影像测量仪进行测量,在重复条件下对压痕直径连续测量10次,测得数值见表1。

$$\bar{L}=1.3447$$

利用贝塞尔公式,计算重复测量实验室标准差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(L_i - \bar{L})^2}{n-1}} = 0.01299 \text{ mm}$$

式中,

s为实验室标准差;

L为压痕直径,单位:mm;

n为测量次数。

在实际检测中,压痕测量需要测量3次取平均值,故:

$$U_A = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.0075 \text{ mm}$$

(2) 影像测量仪引起标准不确定度(B类不确定度)

依据影像测量仪校准证书,测量结果的校准不确定度为U=0.001mm(k=2),故标准不确定度为:

$$U_B = \frac{0.001mm}{2} = 0.0005 \text{ mm}$$

#### 3.4.2 合成不确定度的评定

以上两个分量U<sub>A</sub>、U<sub>B</sub>独立,互不相干,则:

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.00751 \text{ mm}$$

#### 3.4.3 扩展不确定度的评定

根据JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》,取置信度概率95%,包含因子k=2,则扩展不确定度U为,

$$U = k \times U_C = 0.01502 \text{ mm}$$

通过对球压试验压痕直径测量不确定度进行评定,最终得出,压痕直径L为1.3447mm,扩展不确定度U为0.01502mm(k=2)。从不确定度分量评定结果分析看出,测量重复性是压痕直径不确定度的主要来源,其次是影像测量仪自身引入的不确定变量。在日常检验中,应加强对重复测量的控制,减少

表1 压痕测量数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
压痕直径(mm)	1.341	1.330	1.350	1.363	1.339	1.319	1.357	1.351	1.346	1.351

由人员测量误差引起的不确定度。

## 4 结 论

球压试验作为考核非金属材料的关键技术手

段,其重要程度不言而喻。检验人员应当熟悉球压试验的各项流程及相关决议文件,各检测实验室需要加强人才队伍建设,加大对人员培训力度,对实验室用仪器设备及时溯源,保证试验结果和数据的准确性。

### 参考文献

- [1] GB/T 5169.21-2017, 电工电子产品着火危险试验 第21部分:非正常热球压试验方法[S]. [2] CTL DECISION SHEET DSH 2075 Ball pressure test[Z].  
[3] CTL DECISION SHEET DSH 0391C Ball pressure test[Z].

( 上接第84页 )

具,ISO 37107在国内城市有着良好的应用前景。实施ISO 37107有助于全面、持续、系统支撑城市规划、建设、管理、运营、服务等全过程,将进一步提升城市治理效能和运行管理水平;有助于各地方政府制定科学、合理的智慧城市方案,将为

推进智慧交通、智能电网、智慧社区、智慧政务等专项应用在全国范围协同发展提供统一的技术参考;有助于带动相关智慧产业发展,通过加强新一代信息技术在改进方案中的作用,将促进城市的产业规划、产业转型和升级及新兴产业发展。

### 参考文献

- [1] UN-Habitat.world cities report 2022: envisaging the future of cities[R/OL].Nairobi, KENYA:UN-Habitat,https://unhabitat.org/wcr/.2022.  
[2] Chris Parker-Convenor of ISO/TC 268/WG 4.The smart way to build smart cities[J].ISO focus,2020,May-June:15.  
[3] ISO.ISO/TS 37107:2019 Sustainable cities and communities—Maturity model for smart sustainable communities[S].2019.  
[4] ISO.ISO 18091:2019 Quality management systems—Guidelines for the application of ISO 9001 in local government[S].2019.