

ICS 31.030

L 90

备案号:



中 华 人 民 共 和 国 电 子 行 业 标 准

SJ/T 11469—2014

压电陶瓷材料性能测试方法 切变压电应变常数 d_{15} 的准静态测试

Test methods for the piezoelectric properties of ceramics
shear piezoelectric strain constant d_{15} testing on quasi-static principle

2014 - 10 - 14 发布

2015 - 04 - 01 实施

中 华 人 民 共 和 国 工 业 和 信 息 化 部 发 布

前 言

本标准按GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国半导体设备和材料标准化技术委员会（SAC/TC203）提出并归口。

本标准起草单位：中国科学院声学研究所。

本标准主要起草人：潘潮、陈守六、易晓星、章力旺、龚莉莉。

引 言

切变压电应变常数 d_{ts} 是表征压电陶瓷材料压电性能的一个重要参数,过去通常采用动态法^[1]对其测量,但由于动态法测量较复杂,且对被测样品的形状尺寸有特殊要求,因此对实用压电元件(不一定能满足动态法对形状尺寸要求)的测量往往无能为力。2007年,中国科学院声学研究所在国内外首先研制出采用准静态法测量压电陶瓷切变压电应变常数 d_{ts} 的测试装置^[2],可以简单、快速、准确的测得压电陶瓷元件的切变压电应变常数 d_{ts} ,同时形成产品销往国内外,至今在行业内已拥有一定用户,但由于目前国内外还尚无一个准静态法测量压电陶瓷切变压电应变常数 d_{ts} 的国际标准以及国家标准或行业标准供他们使用,为了进一步向行业内推广普及这种新的测量压电陶瓷切变压电应变常数 d_{ts} 的准静态方法,规范现有测试方法中的测试条件、测试装置和测试步骤等要素,特制定本行业标准。

本文件的发布机构提请注意,声明符合本文件时,可能会涉及到“用于切向压电应变常数 d_{ts} 测量中使用的切向加力部件”(专利号ZL 200710120432.6)专利中相关专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构保证,他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下,就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下方式获得:

专利持有人姓名:中国科学院声学研究所

地址:北京市北四环西路21号

请注意除上述专利外,本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

压电陶瓷材料性能测试方法

切变压电应变常数 d_{15} 的准静态测试

1 范围

本标准规定了准静态法测量压电陶瓷材料的切变压电应变常数 d_{15} 的测试装置, 测试条件, 测试方法。本标准适用于压电陶瓷材料切变压电应变常数 d_{15} 的准静态法测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件, 仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB/T 3389.1—1996 铁电压电陶瓷词汇。

3 术语和定义

GB/T 3389.1—1996 界定的术语和定义适用于本文件。

4 符号

下列符号适用于本文件。

- C_1 —— 与被测样品并联的电容, 单位为法拉 (F);
- C_2 —— 与比较样品并联的电容, 单位为法拉 (F);
- d_{15} —— 切变压电应变常数, 单位为 库仑每牛顿 (C/N) 或 米每伏 (m/V);
- d_{33} —— 纵向压电应变常数, 单位为 库仑每牛顿 (C/N) 或 米每伏 (m/V);
- d_{31} —— 横向压电应变常数, 单位为 库仑每牛顿 (C/N) 或 米每伏 (m/V);
- F —— 纵向准静态低频交变力, 单位为牛顿 (N);
- F_5 —— 切向准静态低频交变力, 单位为牛顿 (N);
- Q_1 —— 被测样品在与 x 轴相垂直电极面上产生的电荷, 单位为库仑 (C);
- Q_2 —— 比较样品在与 z 轴相垂直电极面上产生的电荷, 单位为库仑 (C);
- U_1 —— 被测样品所产生的电荷 Q_1 , 在与其并联的电容 C_1 上建立的电压, 单位为伏 (V);
- U_2 —— 比较样品所产生的电荷 Q_2 , 在与其并联的电容 C_2 上建立的电压, 单位为伏 (V);
- β —— 纵向力与切向力之间的夹角, 单位为度 (°) 或弧度 (Rad)。

5 测试

5.1 原理

准静态法的测试原理是依据正压电效应，当在压电振子某个方向j上施加一个频率远低于振子谐振频率的低频交变力 F_j 时，会在与某个方向i相垂直的电极面上产生同频率的交变电荷 Q_i 。这样即可由式 $d_{ij}=Q_i/F_j$ 得到相应的压电常数 d_{ij} ；这里， $i=1, 2, 3$ ，分别对应与 x, y, z 轴相垂直的电极面； $j=1, 2, 3, 4, 5, 6$ ，其中，1至3分别对应 x, y, z 轴方向的作用力；在本标准中，5为与 x 轴相垂直的电极面上沿 z 轴方向的面作用力。采用不同的施力方法和不同的拾取电荷的电极面，就可获得不同的压电应变常数，如 d_{33}, d_{31}, d_{15} 。

切变压电应变常数 d_{15} 的测试原理见图1。样品先在 z 方向极化，极化后去除两端面上的电极，再在与 x 轴相垂直的两平面上制备电极。对于这样一个样品，在与 x 轴相垂直的，涂有电极的两平面上施加一对向切向力 F_5 (应力 T_5)，由于有切向压电效应，即会在此电极面上产生电荷 Q_1 ，其比值就是切变压电应变常数 d_{15} ，其值计算见公式(1)：

$$d_{15}=Q_1/F_5\cdots\cdots\cdots(1)$$

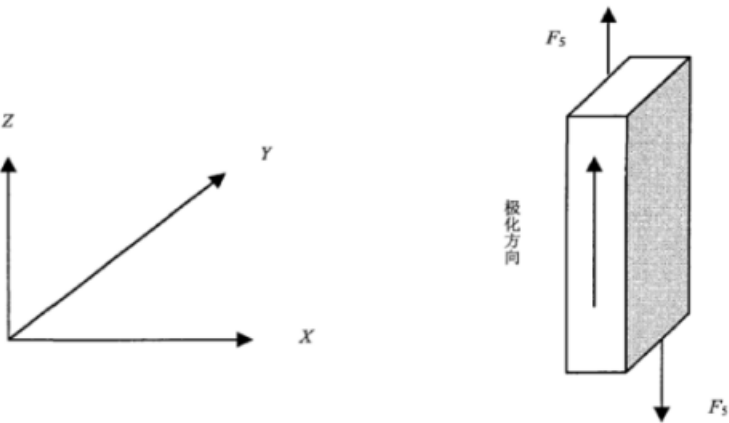


图 1 切变压电应变常数测试原理图

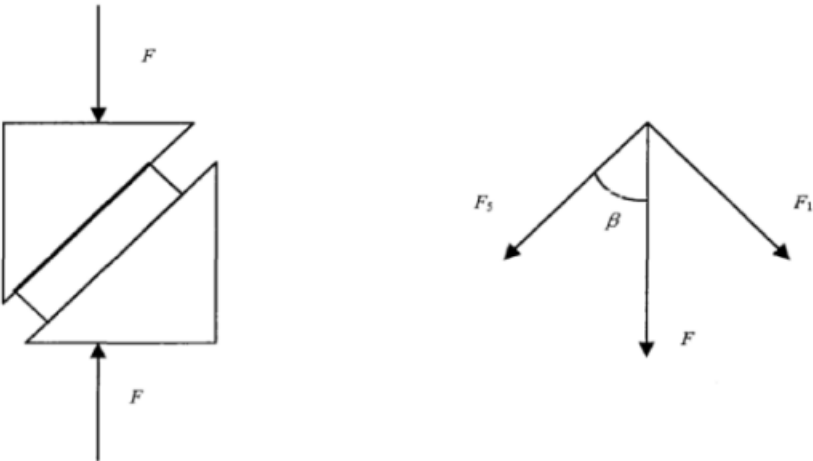


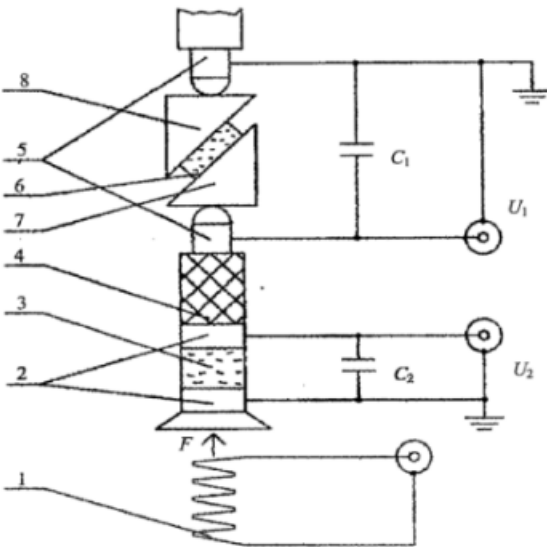
图 2 力分解示意图($F_3=F\cos\beta$)

切向力的产生是基于如图2 所示的物理模型,被测样品置于上下两金属压块的斜面处,当在两压块的上下两端面中心处施加纵向准静态低频交变力 F 时,则力 F 将被分解为平行于斜面的切向力 $F_5 = F \cos \beta$ 和垂直于斜面的纵向作用力 $F_1 = F \sin \beta$ 作用于被测样品,为使被测样品在两斜面间不滑动,在其垂直于斜面方向要预先施加一预应力(用一装置把两压块在垂直于斜面方向紧固住。附录A中图A.1给出了装好被测样品的 d_{15} 专用夹具结构详图,图A.3给出了详细操作步骤),由于有切向压电效应,切向力 F_5 将会在被测样品电极面上产生电荷 Q_1 ,对于压电陶瓷类材料,其 d_{11} 压电常数为零,所以分力 F_1 及紧固预应力在两电极面上不产生电荷。这样,根据压电方程及应力分解,有

$$Q_1 = d_{15} F \cos \beta \cdots \cdots (2)$$

即

$$d_{15} = Q_1 / F \cos \beta \cdots \cdots (3)$$



- 说明:
- 1——电磁驱动线圈;
 - 2——比较样品上下电极;
 - 3——比较样品;
 - 4——绝缘体;
 - 5——上下测试电极;
 - 6——被测样品(切向极化);
 - 7—— d_{15} 专用夹具下压块;
 - 8—— d_{15} 专用夹具上压块。

图3 切变压电应变常数 d_{15} 的准静态法测试原理图

如果将一被测样品与一已知压电常数的比较样品(纵向压电振子,即 d_{33} 模式)在力学上串联,通过一施力装置内的电磁驱动器产生低频交变力,并同时施加到上述两样品上(见图3),则被测样品所

释放的电荷 Q_1 ，在与其并联的电容 C_1 上建立电压 $U_1=d_{15}F_3/C_1$ ，而比较样品所释放的压电电荷 Q_2 在其并联电容 C_2 上建立起电压 $U_2=d_{33}F/C_2$ 。由上述关系可得：

$$d_{15}=C_1 U_1/F \cos \beta \cdots \cdots \cdots (4)$$

$$d_{33}=C_2 U_2/F \cdots \cdots \cdots (5)$$

取 $C_1=C_2$ ，且大于 $100C^T$ (C^T 为样品自由电容)。

式(4)和式(5)合并可得：

$$d_{15}=U_1 d_{33}/U_2 \cos \beta \cdots \cdots \cdots (6)$$

其中比较样品的 d_{33} 已知， β 角也是已知的(由图2中上下两金属压块斜面的角度决定，这里给出 45°)，因此即可计算得到被测样品的切变压电应变常数 d_{15} 。当在 d_{15} 模式测量时，这里的 U_1 ， U_2 ， $\cos \beta$ 经电路处理后，在仪器上即可直接显示 d_{15} 值；而在 d_{31} 模式测量时，先把仪器上输入“尺寸因子”的拨码开关置为“0.71”(即 $\cos 45^\circ$ 的近似值)，此时也直接显示 d_{15} 值；在 d_{33} 模式时，则显示值需再除以0.707(即 $\cos 45^\circ$ 的值)后得到 d_{15} 值。

5.2 测试条件

5.2.1 测试的大气条件

- a) 温度：15℃～35℃；
- b) 相对湿度：25%～75%；
- c) 气压：86 kPa～106 kPa。

5.2.2 被测样品

样品如图1右边所示的切向极化长条，先在 z 方向极化，极化后去除极化电极，再在与 x 轴相垂直的两平面上制备电极(制备此电极时，样品温度应远低于居里温度，以确保样品没有退极化)，长度、宽度、厚度应分别不大于40 mm、10 mm、4 mm，样品受力平面的粗糙度控制在 $Ra=1.6 \mu m \sim 3.2 \mu m$ 范围。

5.2.3 测试装置

测试装置应满足下列要求：

- a) 准静态 $d_{33}/d_{31}/d_{15}$ 测量仪：其测量范围应不小于2000 pC/N，准静态力幅度0.1 N～0.4 N，力频率110 Hz左右。
- b) d_{15} 测量专用夹具：斜面角度应为 $45^\circ \pm 0.5^\circ$ ，斜平面粗糙度控制在 $Ra=1.6 \mu m \sim 3.2 \mu m$ 范围；其结构详图参见附录A(图A.1)。

5.3 测试方法

5.3.1 测试前准备

参照准静态 $d_{33}/d_{31}/d_{15}$ 测量仪的使用说明，将仪器调整到正常测量状态，包括预热仪器，调零等；并按仪器所采用的不同测量模式作下列调整。

- a) d_{15} 模式：将仪器测量模式选择在 d_{15} 模式；
- b) d_{31} 模式：将仪器测量模式选择在 d_{31} 模式，并将左上方的“尺寸因子”拨码开关设定为0.71；
- c) d_{33} 模式：将仪器测量模式选择在 d_{33} 模式。

5.3.2 测试步骤

准备好 d_{15} 专用夹具（参看附录A，图A.1），并按照图A.3所示步骤把被测试样安装于夹具内：

- a) 把安装底座安放于桌面（如图 A.3, a））；
- b) 把下压块安放在安装底座内（如图 A.3, b））；
- c) 被测样品放在下压块上，利用两定位滑片使被测样品处于中心位置（如图 A.3, c）），注意被测样品极化方向要与下压块边沿平行；
- d) 把上压块轻轻放到被测样品上，并使右边沿嵌入安装底座凹槽内（如图 A.3, d））；
- e) 将下压块上的框架旋转竖立，并拧紧调节螺杆使之成一整体（如图 A.3, e））；
- f) 把安装好被测样品的 d_{15} 专用夹具从安装底座上取出（如图 A.3, f））；
- g) 然后安放在准静态 $d_{15}/d_{31}/d_{33}$ 测量仪中测量头的上下探头之间（如图 A.3, g））；
- h) 调节仪器测量头上方的手轮（参考图 A.2），使测量头中上下探头轻轻夹住 d_{15} 专用夹具即可（力太大会损坏测量头）；
- i) 待仪器显示稳定后，记下仪器面板表上的显示值。

5.3.3 压电常数 d_{15} 的计算

按仪器所采用的不同测量模式，分别由如下模式得到 d_{15} 。

- a) d_{15} 模式： d_{15} =显示值；
- b) d_{31} 模式： d_{15} =显示值；
- c) d_{33} 模式： d_{15} =显示值 / 0.707。

5.4 测量不确定度

采用本标准规定的方法，以压电陶瓷材料的切向极化薄片（14 mm×7 mm×1 mm）为例，在通常情况下，切变压电应变常数 d_{15} 的相对扩展不确定度不大于3.09%（ $k=2$ ）。不确定度分析报告参看本标准的附录B。

附录 A
(规范性附录)
 d_{15} 专用夹具结构及安装示意图

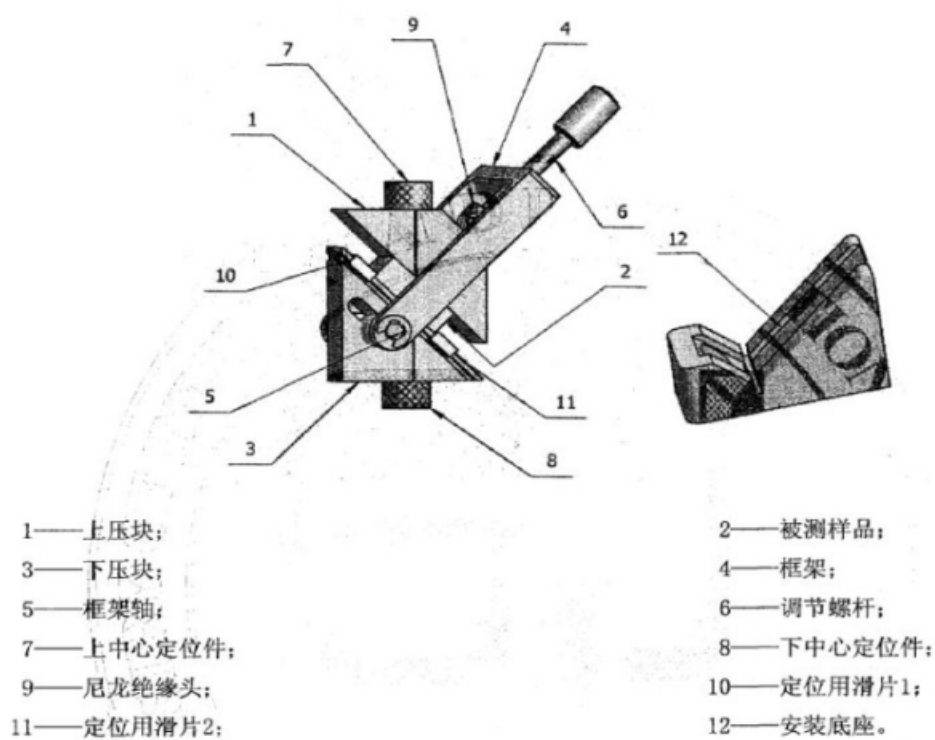


图 A.1 d_{15} 专用夹具结构图

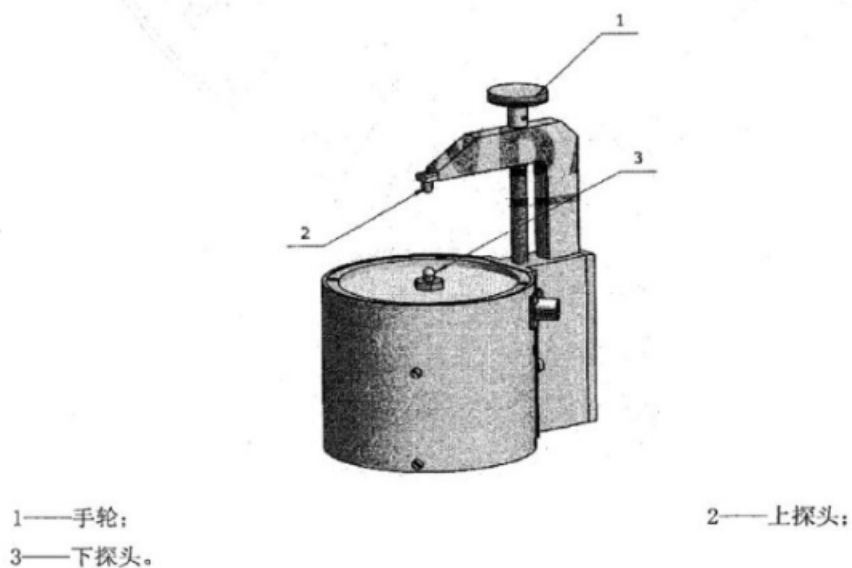


图 A.2 准静态 $d_{15}/d_{31}/d_{33}$ 测量仪测量头

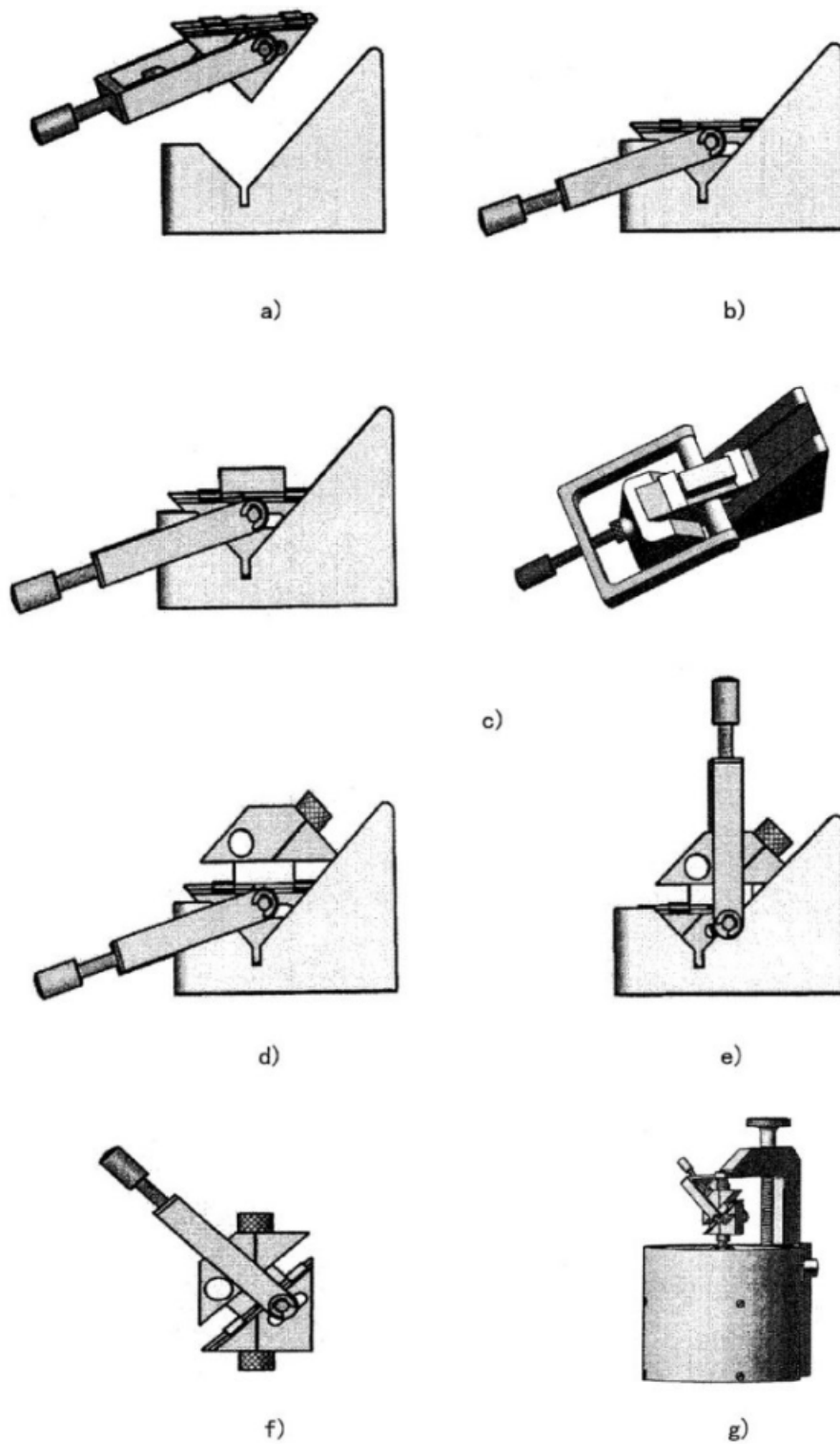


图 A.3 d_{15} 专用夹具安装及测量步骤示意图

附录 B
(资料性附录)
不确定度分析报告

B.1 测量不确定度A类评定

A类不确定度是由统计分析方法评定的不确定度，用实验标准偏差表征，一般情况下，对同一被测样品独立重复测量 n 次，用算术平均值 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 作为测量结果时，测量结果的A类评定的标准不确定度为：

$$u_A = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

式中：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

其中， x_i 为各次测量值， $n-1$ 为自由度，此不确定度是对于平均值而言的，而对于单次测量结果的实验标准偏差则为 $s(x)$ 。

对于一尺寸为14 mm×7 mm×1 mm的压电陶瓷P5材料薄片被测样品，用准静态 d_{15} 测量仪，进行重复测量6次，得到结果如表B.1所示。

表 B.1 A 类不确定度测量数据

测量值 (pC/N)						平均值 (pC/N)	$s(x)$ (pC/N)	u_A (pC/N)
750	778	745	742	780	783	763	19.2	7.85

B.2 测量不确定度B类评定

B类不确定度是用非统计方法评定的不确定度，在本标准情况下，由以下各项构成：

B.2.1 仪器误差引入项

这由估计的标准偏差表征，即：

$$u_{B1} = \frac{\alpha}{k}$$

式中， α 为仪器说明书给的误差范围的半宽度， k 为包含因子；通常设仪器误差分布为均匀分布，则取 $k=\sqrt{3}$ 。

对于准静态 d_{15} 测量仪，其说明书给出的误差为±2%，用上述测量数据，得：

$$u_{B1} = \frac{763 \times 0.02}{\sqrt{3}} = 8.81 \text{ pC/N}。$$

通常这是B类不确定度评定的主要项。

B.2.2 d_{11} 模式时，因仪器尺寸因子输入固有偏差引入项

d_{31} 模式测量时，因测量仪输入“尺寸因子”的拨码开关小数点后只有两位，本应置入0.707（ $\cos 45^\circ$ 的值），只能用0.71替代，由此引入的恒定相对误差为0.42%，所以 $U_{B2}=763 \times 0.0042=3.2 \text{ pC/N}$

B.3 合成不确定度

对于使用 d_{15} 和 d_{33} 模式测量时，其合成不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2}, \text{ 用上述测量数据, 得: } u_c = 11.8 \text{ pC/N.}$$

对于使用 d_{31} 模式测量时，其合成不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2}, \text{ 用上述测量数据, 得: } u_c = 12.2 \text{ pC/N.}$$

式中：

u_A 为A类标准不确定度， u_{B1} 、 u_{B2} 分别为各种B类标准不确定度， u_c 为合成标准不确定度。

B.4 扩展不确定度

扩展不确定度为 $U=ku_c$ ，式中 $k=2$ 。

d_{15} 和 d_{33} 模式下的扩展不确定度为：23.6 pC/N，对应相对扩展不确定度为 3.09%，

d_{31} 模式下的扩展不确定度为：24.4 pC/N，对应相对扩展不确定度为 3.20%。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3389.6—1997压电陶瓷材料性能测试方法, 长片厚度切变振动模式
 - [2] 潘潮, 陈守六, 鲍小琪 一种测量切向压电常数 d_{15} 的新方法, 应用声学 2008, 27 (6)
 - [3] GB/T 11309—1989 压电陶瓷材料性能测试方法 纵向压电应变常数 d_{33} 的准静态测试
 - [4] Carol,Z.R. et al, piezoelectricity , AIP,New York,1992
-

中 华 人 民 共 和 国
电 子 行 业 标 准
压电陶瓷材料性能测试方法
切变压电应变常数 d_{15} 的准静态测试
SJ/T 11469—2014

*

中国电子技术标准化研究院 编制
中国电子技术标准化研究院 发行

电话: (010) 84029065 传真: (010) 84029217
地址: 北京市安定门东大街 1 号
邮编: 100007
网址: www.cesi.cn

*

开本: 880×1230 1/16 印张: 1 字数: 24 千字

2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月第一次印刷
印数: 200 册 定价: 40.00 元

版权专有 不得翻印
举报电话: (010) 84029080