

ICS 31-030  
L 90



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 16304—2008  
代替 GB/T 16304—1996

## 压电陶瓷材料性能测试方法 电场应变特性的测试

Test methods of the properties for piezoelectric ceramics—  
Test for relation between electric field and strain

2008-08-04 发布

2009-02-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

中华人民共和国  
国家标准  
压电陶瓷材料性能测试方法  
电场应变特性的测试  
GB/T 16304—2008

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 13 千字  
2008年11月第一版 2008年11月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-34447 定价 14.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68533533



GB/T 16304-2008

## 前 言

本标准代替 GB/T 16304—1996《压电陶瓷电场应变特性测试方法》。

本标准与 GB/T 16304—1996 相比,主要有下列变化:

- 补充了相关术语和定义;
- 增加了“激光多普勒测振法”和测试原理图;
- 细化了测试步骤;
- 修改了附录 A 和附录 B,将其内容列入了标准正文。

本标准由中国船舶重工集团公司提出。

本标准由全国海洋船标准化技术委员会船用材料应用工艺分技术委员会归口。

本标准起草单位:中国船舶重工集团公司第七一五研究所。

本标准主要起草人:余锁龙、盖学周、魏薇、汪跃群。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 16304—1996。

# 压电陶瓷材料性能测试方法

## 电场应变特性的测试

### 1 范围

本标准规定了压电陶瓷材料在外电场作用下静态和动态应变特性的测试条件、方法原理、测试步骤和测试结果的表述等。

本标准适用于压电陶瓷材料电场应变特性的测试。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 3389.1 铁电压电陶瓷词汇

### 3 术语和定义

GB/T 3389.1 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**静态应变量子** quantum of static strain

压电陶瓷材料在直流电场激励下,某方向产生的形变与该方向的原始尺寸的比值。

#### 3.2

**静态应变特性** properties of static strain

静态应变量子随直流激励电场强度的变化关系。

#### 3.3

**动态应变量子** quantum of dynamic strain

压电陶瓷材料在交流电场激励下,某方向产生的最大振幅(谐振频率下)与该方向的原始尺寸的比值。

#### 3.4

**动态应变特性** properties of dynamic strain

动态应变量子随交流激励电场强度的变化关系。

### 4 测试条件

#### 4.1 大气条件

##### 4.1.1 正常大气条件

测试场所的正常大气条件要求如下:

- a) 温度:15℃~35℃,测试过程中的温度变化应控制在±2℃范围内;
- b) 相对湿度:45%~75%;
- c) 气压:86 kPa~106 kPa。

#### 4.1.2 仲裁大气条件

测试场所的仲裁大气条件要求如下：

- a) 温度： $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $45\% \sim 55\%$ ；
- c) 气压： $86\text{ kPa} \sim 106\text{ kPa}$ 。

#### 4.2 样品

4.2.1 静态应变特性被测样品宜采用矩形或圆柱形样品。矩形样品推荐尺寸为： $70\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ ；圆柱形样品推荐尺寸为： $15\text{ mm} \times \phi 6\text{ mm}$ 。

4.2.2 动态应变特性被测样品应符合以下要求：

- a) 按不同振动模式，长条样品的长度  $l$ 、宽度  $b$  和厚度  $t$  满足  $(l/b)^2 \geq 10$ 、 $(l/t)^2 \geq 10$ ；薄圆片样品的直径  $d$  与厚度  $t$  之比  $d/t \geq 10$ ；
- b) 样品的基音频率与使用的测振仪的频率范围相适应。

4.2.3 样品应保持清洁干燥，极化后存放 72 h，并在 4.1.1 规定的条件下放置 2 h 后进行测试。

#### 5 仪器设备

测试用仪器和设备应满足下列要求：

- a) 可调式直流电源：电压范围  $\pm 5\text{ kV}$ ，纹波系数不大于 1%；
- b) 信号发生器：输出信号频率范围  $20\text{ Hz} \sim 1\text{ MHz}$ ，最大允许误差为读数的  $\pm 0.01\%$ ；输出电压范围  $0\text{ V} \sim 10\text{ V}$ ，最大允许误差  $\pm 0.01\%$ ；
- c) 数字示波器：垂直灵敏度不大于  $2\text{ mV/格}$ ，幅度最大允许误差  $\pm 1.0\%$ ，频带宽度  $0\text{ MHz} \sim 20\text{ MHz}$ ；
- d) 迈克尔逊激光干涉仪：分辨率不大于  $\lambda/8$ ；
- e) 激光多普勒测振仪：速度档位分为  $10\text{ mm/s/V}$ 、 $50\text{ mm/s/V}$  两档，分辨率不大于  $0.2\text{ }\mu\text{m/s}$ ；
- f) 贝塞尔函数高频激光干涉测振仪：测量范围  $0.0020\text{ }\mu\text{m} \sim 0.3780\text{ }\mu\text{m}$ ，最大允许误差  $\pm 5\%$ ；
- g) 电感测微仪：测量范围  $-100\text{ }\mu\text{m} \sim 100\text{ }\mu\text{m}$ ，分辨率不大于  $0.1\text{ }\mu\text{m}$ ；
- h) 电容测微仪：测量范围  $-50\text{ }\mu\text{m} \sim 50\text{ }\mu\text{m}$ ，分辨率不大于  $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。

#### 6 静态应变特性测试

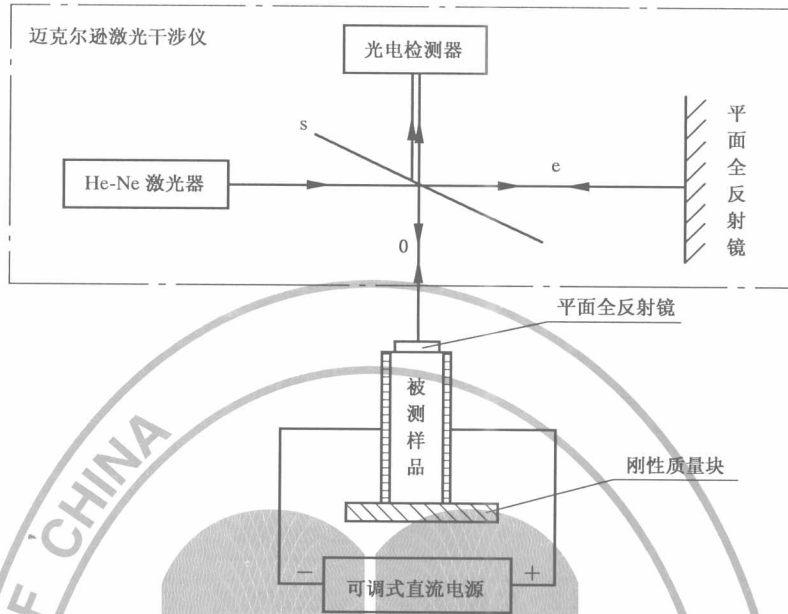
##### 6.1 一般原则

静态应变特性测试有激光干涉法、电感法和电容法等三种方法，其中激光干涉法为仲裁的测试方法。

##### 6.2 激光干涉法

###### 6.2.1 方法原理

利用光干涉原理，使样品在外加直流电场作用下产生形变（位移），通过对物光进行调制，使干涉条纹变化，从而得到被测物体形变量。测试原理图见图 1。



s——分光镜；  
0——物镜；  
e——参考光。

图 1 激光干涉法测试原理图

6.2.2 测试步骤

激光干涉法按下列步骤进行测量：

- a) 按图 1 所示，将样品一端垂直地粘紧在刚性质量块上，然后将一块直径不大于  $\phi 10$  mm、厚度约 1 mm 的平面全反射镜粘贴于另一端面中心处，样品接入可调式直流电源；
- b) 调整迈克尔逊激光干涉仪处于正常工作状态；
- c) 开启可调式直流电源；
- d) 依照条纹整数变化规律，按升高、下降，反向升高、下降的顺序缓慢调节电压，观察干涉条纹的移动，并记录电压和对应的移动条纹数。

注：在电压回到零时，可能存在剩余条纹（即剩余形变）。

6.2.3 应变量的计算

根据条纹数的改变，按公式(1)和公式(2)计算相应的形变量和应变量。

$$\Delta l = \frac{n\lambda}{2} \dots\dots\dots (1)$$

$$S = \frac{\Delta l}{l} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\Delta l$ ——一定电压作用下，样品产生的形变量的数值，单位为毫米(mm)；

$n$ ——一定电压下读得的移动条纹数的数值， $n$  为正整数；

$\lambda$ ——激光波长的数值，单位为毫米(mm)；

$S$ ——一定电压作用下，样品产生形变量  $\Delta l$  时对应的应变量；

$l$ ——样品被测方向上的长度的数值，单位为毫米(mm)。

6.3 电感法

6.3.1 方法原理

利用电感测微仪接触被测样品，被测样品产生形变时将改变测微仪电感探头中的电感量，从而达到

测量形变的目的是。测试原理图见图 2。

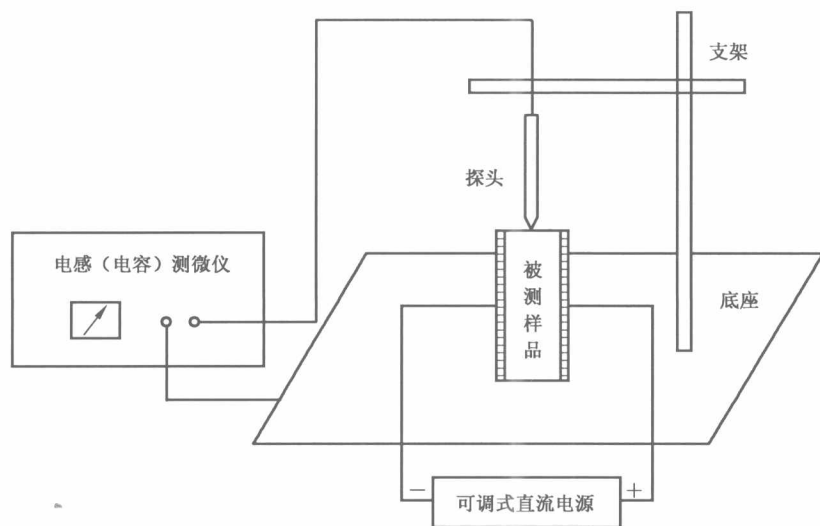


图 2 电感(电容)法测试原理图

### 6.3.2 测试步骤

电感法按下列步骤进行测量：

- 按图 2 所示,安装并连接好仪器设备;
- 调节电感探头位置使之与被测样品表面接触,电感测微仪调零;
- 按照升高、下降,反向升高、下降的顺序,缓慢连续调节可调式直流电源的电压,记录施加电压和相应的形变量。

### 6.3.3 应变量的计算

根据测量的形变量,按公式(2)计算相应的应变变量。

## 6.4 电容法

### 6.4.1 方法原理

利用电容测微仪,使被测样品与该测微仪的探头构成电容的两个极板,当被测样品产生形变时,将改变两极板间的距离,从而达到测量形变的目的。测试原理图见图 2。

### 6.4.2 测试步骤

电容法按下列步骤进行测量：

- 按图 2 所示,安装并连接好仪器设备;
- 调节电容测微仪探头与被测样品表面之间的距离,使其在电容测微仪的有效测量范围内,固定好探头,将电容测微仪调零;
- 按照升高、下降,反向升高、下降的顺序,缓慢连续调节可调式直流电源的电压,记录施加电压和相应的形变量。

### 6.4.3 应变量的计算

根据测量的形变量,按公式(2)计算相应的应变变量。

## 6.5 测试结果的表述

根据记录的数据,作出被测样品的静态应变变量  $S$  与外加直流电场强度  $E_{DC}$  之间的关系曲线;结果也可列表表示。

## 7 动态应变特性测试

### 7.1 一般原则

动态应变特性测试有激光多普勒测振法和贝塞尔函数高频激光干涉法两种方法,其中激光多普勒

测振法为仲裁的测试方法。

## 7.2 激光多普勒测振法

### 7.2.1 方法原理

样品在外加交流电场作用下产生形变(位移),在干涉光路中,由于多普勒效应使合成光产生频偏,由频偏得到样品的振动速度,进而计算出样品的振幅。测试原理图见图3。

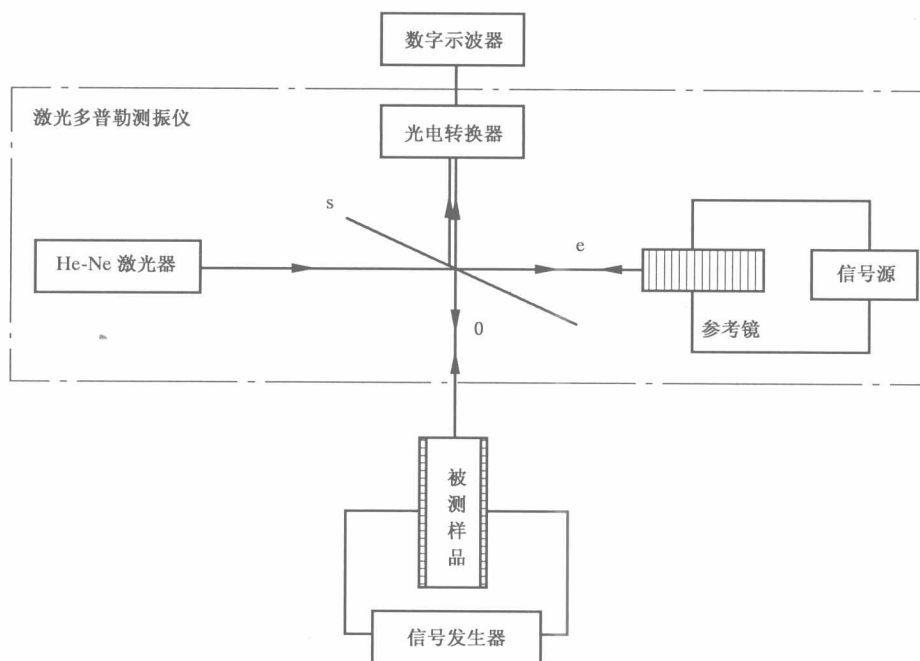


图3 激光多普勒测振法测试原理图

### 7.2.2 测试步骤

激光多普勒测振法按下列步骤进行测量：

- 将样品牢固地安装于专用测试夹具中,应夹持在样品节点处;
- 按图3所示,将夹具上的样品置于激光多普勒测振仪的测量光路中,并连接好仪器设备;
- 调整光路和测试用仪器,使其处于稳定工作状态;
- 开启信号发生器,给样品施加激励电压信号;
- 根据样品振动速度的大小选择合适的激光多普勒测振仪速度档位;
- 在谐振频率附近,改变频率,从数字示波器上观察谐振频率点;
- 固定在谐振频率上改变激励电压,记录谐振频率点上各激励电压和数字示波器上指示的相同激励电压下的光电压。

### 7.2.3 振幅的计算

根据测得的谐振频率下的光电压,按公式(3)和公式(4)计算样品的振动速度和振幅。

$$v = UK \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$A_p = \frac{v}{2\sum f_r} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- $v$ ——样品的振动速度的数值,单位为微米每秒( $\mu\text{m/s}$ );
- $U$ ——一定电压作用下测得的光电压的数值,单位为毫伏( $\text{mV}$ );
- $K$ ——激光多普勒测振仪的速度档位值的数值,单位为毫米每秒伏( $\text{mm/sV}$ );
- $A_p$ ——相应光电压下的样品振幅的数值,单位为纳米( $\text{nm}$ );



$f_r$ ——测得的谐振频率的数值,单位为千赫兹(kHz)。

### 7.3 贝塞尔函数高频激光干涉法

#### 7.3.1 方法原理

在迈克尔逊干涉光路中,合成光强可表示为贝塞尔函数的组合,利用不同阶的贝塞尔函数或者其比值来得到样品振幅。测试原理图见图4。

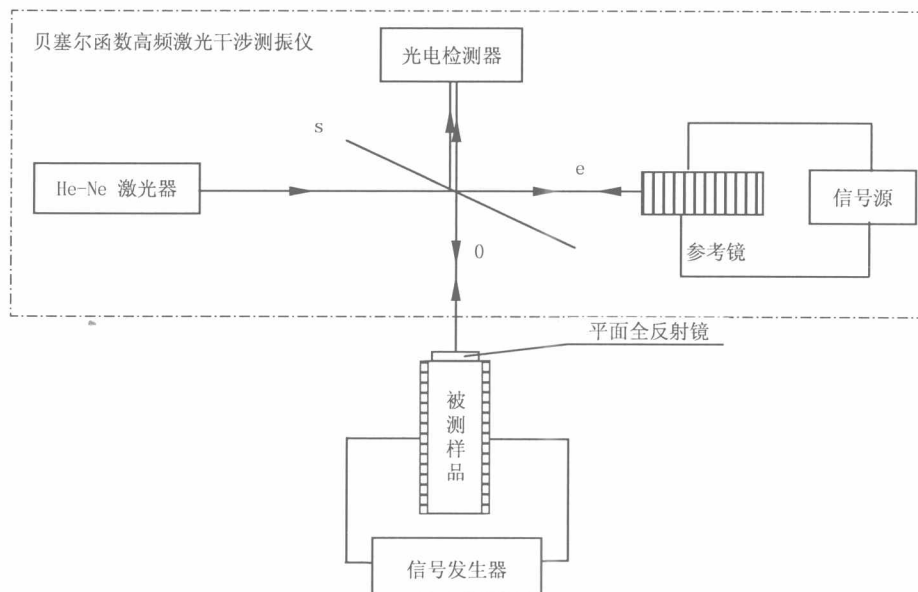


图4 贝塞尔函数高频激光干涉法测试原理图

#### 7.3.2 测试步骤

贝塞尔函数高频激光干涉法按下列步骤进行测量:

- 将样品牢固地安装于专用测试夹具中,应夹持在样品节点处。在样品被测端面上粘贴一块直径不大于 $\phi 5$  mm、厚度约1 mm的平面全反射镜;
- 按图4所示将夹具上的样品置于贝塞尔函数高频激光干涉测振仪的测量光路中,并连接好仪器设备;
- 调整光路和测试用仪器,使其处于稳定工作状态;
- 给样品施加激励电场信号,记录不同阶贝塞尔函数对应的光电压数值 $J_0$ 、 $J_1$ 、 $J_3$ 等,在每次测量时,应快速进行。

#### 7.3.3 振幅的计算

估算样品在不同激励电压下产生的振幅值。当振幅值大于等于 $0.03 \mu\text{m}$ 时,采用一阶与三阶的光电压比值法( $J_1/J_3$ );当振幅值小于 $0.03 \mu\text{m}$ 时,采用一阶光电压最大值法,查贝塞尔函数表,得到被测样品的振幅。

#### 7.4 测试结果的表述

根据记录的数据,作出被测样品在谐振状态下 $f_r$ (基频),振幅 $A_p$ 与外加交流电场强度 $E_{AC}$ 之间的关系曲线;结果也可列表表示。