



Q/715

中国船舶重工集团公司第七一五研究所企业标准

Q/715 J 55—2021
代替 Q/ 715 J 55—2017

企业标准信息公共服务平台
公开
2021年03月04日 10点40分

压电陶瓷元件

企业标准信息公共服务平台
公开
2021年03月04日 10点40分

2021 - 02 - 05 发布

2021 - 03 - 05 实施

中国船舶重工集团公司第七一五研究所
发布



目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 分类与型号命名	1
4.1 分类	1
4.2 型号命名	1
5 元件尺寸规格	2
5.1 尺寸范围	2
5.2 常用元件尺寸规格	3
6 要求	3
6.1 外观	3
6.1.1 一般要求	3
6.1.2 缺陷	3
6.2 性能	4
6.2.1 机电耦合系数	4
6.2.2 自由相对介电常数	4
6.2.3 压电应变常数	4
6.2.4 弹性柔顺常数	5
6.2.5 频率常数	5
6.2.6 声速	5
6.2.7 强场介电常数	6
6.2.8 十倍时间老化率	6
6.2.9 温度稳定性	6
6.2.10 机械品质因素、密度、居里温度、介电损耗角正切、泊松比	7
6.2.11 电极拉力强度及电极电阻	7
7 试验方法	7
7.1 试验条件	8
7.1.1 试验场所的环境条件	8
7.1.2 试验用仪器设备	8
7.2 外观	8
7.2.1 一般要求	8
7.2.2 缺陷	8
7.3 性能	8
7.3.1 常规参数测量	8



7.3.2	机电耦合系数	8
7.3.3	自由相对介电常数	9
7.3.4	压电应变常数	9
7.3.5	弹性柔顺常数	9
7.3.6	频率常数	10
7.3.7	声速	10
7.3.8	强场介电性能	11
7.3.9	十倍时间老化率	11
7.3.10	温度稳定性	11
7.3.11	机械品质因数、密度、居里温度、介电损耗角正切、泊松比	11
7.3.12	电极拉力强度及电极电阻	11
8	检验规则	12
8.1	检验分类	12
8.2	型式检验	12
8.2.1	型式检验的条件	12
8.2.2	检验项目	12
8.2.3	抽样	12
8.2.4	合格判据	12
8.3	出厂检验	12
8.3.1	检验项目	12
8.3.2	抽样	12
8.3.3	合格判据	12
9	标志和随行文件	12
9.1	标志	12
9.2	随行文件	13
10	包装、运输和贮存	13
10.1	包装	13
10.2	运输	13
10.3	贮存	13



前 言

本文件按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》和GB/T 20001.10—2014《标准编写规则 第10部分：产品标准》的规则起草。

本文件代替Q/715 J 55—2017《压电陶瓷元件》，与Q/715 J 55—2017相比，主要技术变化如下：

- a) 增加了部分规范性引用文件（见第2章）；
- b) 增加了术语和定义（见第3章）；
- c) 更改了型号命名规则及P82的性能，增加了元件型号PSN及性能（见4.2、6.2，2017年版的3.2、5.2）；
- d) 更改了元件尺寸规格（见第5章，2017年版的第4章）。

本文件由中国船舶重工集团公司第七一五研究所提出。

本文件由中国船舶重工集团公司第七一五研究所质量安全处归口。

本文件起草单位：中国船舶重工集团公司第七一五研究所。

本文件主要起草人：盖学周、林煜超。

本文件所代替文件的历次版本发布情况为：

Q/715 J 55—2008；

Q/715 J 55—2013；

Q/715 J 55—2016；

Q/715 J 55—2017。



压电陶瓷元件

1 范围

本文件规定了压电陶瓷元件的分类与型号命名、元件尺寸规格、要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存等。

本文件适用于压电陶瓷元件（以下简称元件）的设计、生产和验收。

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。

- GB/T 2413—1981 压电陶瓷材料体积密度测量方法
- GB/T 2414.1—1998 压电陶瓷材料性能测试方法 圆片径向伸缩振动模式
- GB/T 2414.2—1998 压电陶瓷材料性能测试方法 长条横向长度伸缩振动模式
- GB/T 2828.1—2012 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 2829—2002 周期检验计数抽样程序及表（适用于对过程稳定性的检验）
- GB/T 3388—2002 压电陶瓷材料型号命名方法
- GB/T 3389—2008 压电陶瓷材料性能测试方法 性能参数的测试
- GB/T 3389.1 铁电压电陶瓷词汇
- GB/T 6427—1999 压电陶瓷振子频率温度稳定性的测试方法
- GB/T 11310—1989 压电陶瓷材料性能测试方法 相对自由介电常数温度特性的测试
- GB/T 11311—1989 压电陶瓷材料性能测试方法 泊松比 σ^F 的测试
- GB/T 15750—2008 压电陶瓷材料性能测试方法 老化性能的测试
- CB/T 3794 压电陶瓷材料性能测试方法 电极结合强度的测试
- CB/T 4314—2013 水声实用压电陶瓷元件性能参数的测量与计算方法

3 术语和定义

GB/T 3389.1界定的术语和定义适用于本文件。

4 分类与型号命名

4.1 分类

元件按外形分为圆环、圆管、圆片、圆柱、长条和梯形条六类。

4.2 型号命名



元件型号命名以GB/T 3388—2002中第4章规定的压电陶瓷材料型号命名为基础，具体由元件外形类别代号、材料的主要组份、材料的主要性能特征、材料序号及尺寸组成。元件型号命名形式见图1，元件的材料型号及主要性能特性和用途见表1。×

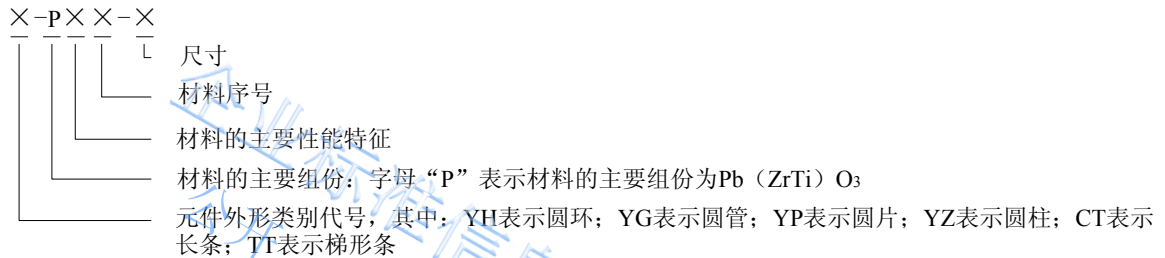


图1 元件型号命名

表1 元件的材料型号及主要性能特性和用途

序号	元件的材料型号	主要性能特性和用途
1	P14	高介电、高压电应变用
2	P42	中功率，发射用
3	P44	中功率，发射用
4	P81	大功率，发射用
5	P82	大功率，发射用
6	P53	高灵敏度，接收用
7	PSN	高灵敏度，接收用
8	P5D	高灵敏度，接收用
9	PLN	高温，高居里温度，收发两用

5 元件尺寸规格

5.1 尺寸范围

各类元件的尺寸范围见下：

- a) 圆环： $\Phi(4\text{ mm}\sim 165\text{ mm})\times\Phi(2\text{ mm}\sim 140\text{ mm})\times t(0.2\text{ mm}\sim 15\text{ mm})$ ；
- b) 圆管： $\Phi(4\text{ mm}\sim 108\text{ mm})\times\Phi(3.5\text{ mm}\sim 102\text{ mm})\times h(0.2\text{ mm}\sim 70\text{ mm})$ ；
- c) 圆片（圆柱）： $\Phi(2\text{ mm}\sim 160\text{ mm})\times t(0.2\text{ mm}\sim 30\text{ mm})$ ；
- d) 长条： $l(10\text{ mm}\sim 220\text{ mm})\times b(4\text{ mm}\sim 66\text{ mm})\times t(0.2\text{ mm}\sim 11\text{ mm})$ ；
- e) 梯形条： $l(10\text{ mm}\sim 220\text{ mm})\times b(4\text{ mm}\sim 66\text{ mm})\times\alpha(0^\circ\sim 15^\circ)\times t(2\text{ mm}\sim 11\text{ mm})$ ，梯形条示意图如图2所示。

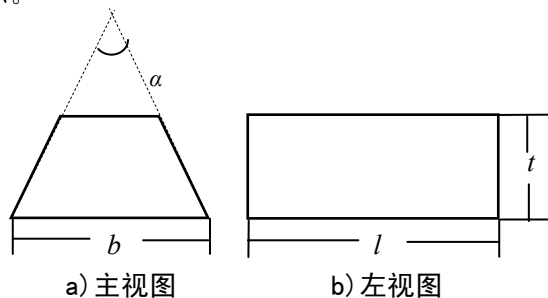




图2 梯形条示意图

5.2 常用元件尺寸规格

常用元件尺寸规格见表2。

表2 常用元件尺寸规格

序号	圆环	圆管	圆片（圆柱）	长条	梯形条
1	$\Phi 4 \times \Phi 2 \times 2.5$	$\Phi 4.1 \times \Phi 3.5 \times 4$	$\Phi 7.7 \times 0.4$	$4.2 \times 1.8 \times 0.2$	$35 \times 4 \times \alpha (0^\circ \sim 15^\circ) \times 4.25$
2	$\Phi 10 \times \Phi 5.3 \times 3.0$	$\Phi 6.4 \times \Phi 5.6 \times 5.8$	$\Phi 2 \times 4.5$	$8 \times 2 \times 0.3$	$40 \times 7.93 \times \alpha (0^\circ \sim 15^\circ) \times 6.1$
3	$\Phi 12 \times \Phi 8 \times 5.5$	$\Phi 10 \times \Phi 9 \times 6$	$\Phi 5 \times 10$	$12 \times 5.5 \times 0.4$	$90 \times 9.9 \times \alpha (0^\circ \sim 15^\circ) \times 8$
4	$\Phi 14 \times \Phi 2 \times 0.4$	$\Phi 10 \times \Phi 8.5 \times 6$	$\Phi 7.8 \times 0.4$	$22.9 \times 5.6 \times 0.4$	$90 \times 26 \times \alpha (0^\circ \sim 15^\circ) \times 8.04$
5	$\Phi 14 \times \Phi 3.5 \times 0.4$	$\Phi 10 \times \Phi 9 \times 3$	$\Phi 9.2 \times 7.4$	$23 \times 5.5 \times 0.4$	$99 \times 12 \times \alpha (0^\circ \sim 15^\circ) \times 8$
6	$\Phi 19 \times \Phi 4 \times 0.4$	$\Phi 12 \times \Phi 10.2 \times 7$	$\Phi 9.2 \times 8.9$	$24 \times 5.5 \times 0.4$	$99 \times 12 \times \alpha (0^\circ \sim 15^\circ) \times 10.5$
7	$\Phi 21 \times \Phi 5 \times 0.4$	$\Phi 14 \times \Phi 11 \times 9$	$\Phi 14.5 \times 0.42$	$24 \times 4 \times 5$	$100 \times 10 \times \alpha (0^\circ \sim 15^\circ) \times 7.2$
8	$\Phi 24 \times \Phi 5 \times 0.4$	$\Phi 15 \times \Phi 12 \times 10$	$\Phi 20 \times 1$	$25 \times 9 \times 4$	$110 \times 8 \times \alpha (0^\circ \sim 15^\circ) \times 7.3$
9	$\Phi 38 \times \Phi 16 \times 5.3$	$\Phi 16 \times \Phi 14.4 \times 10$	$\Phi 22 \times 1$	$29 \times 8 \times 0.4$	$110 \times 12 \times \alpha (0^\circ \sim 15^\circ) \times 8$
10	$\Phi 40 \times \Phi 13 \times 6$	$\Phi 24 \times \Phi 19 \times 20$	$\Phi 25 \times 1$	$30 \times 7 \times 0.4$	—
11	$\Phi 40 \times \Phi 14 \times 5$	$\Phi 26 \times \Phi 23 \times 15$	$\Phi 30 \times 1$	$30 \times 9 \times 4$	—
12	$\Phi 40 \times \Phi 16 \times 5$	$\Phi 36 \times \Phi 33 \times 20$	$\Phi 42.7 \times 10$	$40 \times 10 \times 1$	—
13	$\Phi 44 \times \Phi 24.4 \times 6.5$	$\Phi 40 \times \Phi 35 \times 30$	$\Phi 49 \times 3.2$	$40 \times 13 \times 1$	—
14	$\Phi 46 \times \Phi 27 \times 10$	$\Phi 52 \times \Phi 34 \times 40$	$\Phi 50 \times 2.1$	$70 \times 6 \times 4$	—
15	$\Phi 49 \times \Phi 23 \times 6$	$\Phi 52 \times \Phi 42 \times 30$	$\Phi 50 \times 2.5$	$65 \times 8 \times 8$	—
16	$\Phi 50 \times \Phi 17 \times 5$	$\Phi 62 \times \Phi 50 \times 40$	$\Phi 50 \times 3$	$90 \times 50 \times 5$	—
17	$\Phi 50 \times \Phi 20 \times 6$	$\Phi 69 \times \Phi 63 \times 43$	$\Phi 50 \times 3.2$	$100 \times 80 \times 7.5$	—
18	$\Phi 50 \times \Phi 22 \times 5$	$\Phi 69 \times \Phi 63 \times 45$	$\Phi 51 \times 10.2$	—	—
19	$\Phi 60 \times \Phi 30 \times 10$	$\Phi 75 \times \Phi 69 \times 50$	$\Phi 60 \times 4.8$	—	—
20	$\Phi 60 \times \Phi 41.5 \times 11$	$\Phi 108 \times \Phi 102 \times 30$	$\Phi 52 \times 9.1$	—	—
21	$\Phi 65 \times \Phi 30 \times 10$	—	$\Phi 60 \times 10$	—	—
22	$\Phi 100 \times \Phi 70 \times 7.5$	—	$\Phi 63 \times 2.5$	—	—
23	$\Phi 100 \times \Phi 74 \times 10$	—	$\Phi 80 \times 10$	—	—
24	$\Phi 144 \times \Phi 72 \times 3.5$	—	$\Phi 90 \times 10$	—	—
25	$\Phi 165 \times \Phi 75 \times 4.0$	—	$\Phi 100 \times 10$	—	—

6 要求

6.1 外观

6.1.1 一般要求

元件的外表面应平整、清洁、无明显的机械损伤，标志应清晰、牢固。

6.1.2 缺陷



元件存在的脱边、缺角、崩瓷、气孔等缺陷不应影响元件的性能，以上缺陷每平方厘米内应不超过3处。

6.2 性能

6.2.1 机电耦合系数

元件的机电耦合系数与元件的几何尺寸有关，表3为标准元件机电耦合系数，误差不超过±6.0%，对非标准元件应结合表3和CB/T 4314—2013作相应的修正。

表3 标准元件机电耦合系数

机电耦合系数	不同型号材料的标准元件性能指标								
	P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
k_{pn}	0.64	0.55	0.58	0.65	0.62	0.67	0.53	0.54	0.59
k_{31n}	0.36	0.32	0.33	0.38	0.37	0.37	0.31	0.32	0.28
k_{33n}	0.70	0.63	0.66	0.74	0.74	0.75	0.63	0.63	—
k_{15n}	0.68	0.67	0.65	0.72	0.72	0.70	0.66	0.67	—
k_{tn}	0.49	0.48	0.52	0.50	0.49	0.59	0.47	0.47	—

6.2.2 自由相对介电常数

元件的自由相对介电常数见表4，误差不超过±10%。

表4 元件自由相对介电常数

自由相对介电常数	不同型号材料的元件性能指标								
	P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
ϵ_{r3}^T	3400	1150	1350	2100	1650	2300	1025	1020	1700
ϵ_{r1}^T	3880	1700	1700	2400	—	2520	1400	1400	—

6.2.3 压电应变常数

元件压电应变常数与元件的几何尺寸有关，表5为标准元件压电应变常数，误差不超过±10%，对非标准元件应结合表5和CB/T 4314—2013作相应的修正。

表5 标准元件压电应变常数

压电应变常数 $\times 10^{-12}$ m/V	不同型号材料的标准元件性能指标								
	P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
d_{31n}	-300	-110	-140	-210	-210	-240	-100	-105	-170
d_{33n}	600	260	310	450	450	490	225	250	400
d_{15n}	1010	500	580	710	710	720	450	470	—



6.2.4 弹性柔顺常数

元件弹性柔顺常数与元件的几何尺寸有关，表6为标准元件弹性柔顺常数，误差不超过±10.0%，对非标准元件应结合表6和CB/T 4314—2013作相应的修正。

表6 标准元件弹性柔顺常数

弹性柔顺常数 $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$	不同型号材料的标准元件性能指标								
	P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
S_{11n}^E	16.5	11.5	13.5	16.5	18.1	16.5	11.0	11.2	15.8
S_{33n}^D	9.8	8.0	9.0	9.0	9.0	8.7	8.5	8.0	—
S_{55n}^D	—	21.0	—	22.0	—	24.0	21.0	21.0	—

6.2.5 频率常数

元件频率常数与元件的几何尺寸有关，表7为标准元件频率常数，误差不超过±5.0%，对非标准元件应结合表7和CB/T 4314—2013 作相应的修正。

表7 标准元件频率常数

频率常数 Hz·m	不同型号材料的标准元件性能指标								
	P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
N_{dn}	1950	2300	2150	2000	2050	1960	2300	2330	2190
N_{1n}	1400	1700	1550	1450	1450	1400	1700	1720	1560
N_{3n}	1830	2050	1900	1900	1900	1950	2050	2000	—
N_{5n}	—	1230	—	1200	1200	1170	1230	1250	—
N_{1n}	1950	2050	2000	2000	2000	1970	2050	2300	—

6.2.6 声速

元件声速与元件的几何尺寸有关，表8为标准元件声速，误差不超过±5.0%，对非标准元件应结合表8和CB/T 4314—2013 作相应的修正。

表8 标准元件声速

声速 m/s	不同型号材料的标准元件性能指标								
	P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
V_{dn}^E	2925	3550	3225	3000	3075	2970	3500	3580	3320
V_{1n}^E	2800	3400	3100	2900	2900	2800	3400	3440	3120



表8 标准元件声速 (续)

声速 m/s	不同型号材料的标准元件性能指标								
	P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
V_{3n}^D	3660	4100	3800	3800	3800	3900	4100	4000	—
V_{5n}^D	—	2460	—	2400	2400	2340	2460	2500	—
V_m^D	3900	4100	4000	4000	4000	3940	4100	4600	—

6.2.7 强场介电常数

元件强场介电性能见表9。

表9 元件强场介电性能

性能参数		不同型号材料的元件性能指标								
		P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
400 V/mm 强场 下介电损耗角正 切和自由相对介 电常数的变化率	$\text{tg}\delta$	—	≤ 0.04	≤ 0.011	—	—	≤ 0.20	≤ 0.010	≤ 0.006	—
	$\frac{\Delta\epsilon_{r3}^T}{\epsilon_{r3}^T}$	—	$\leq 20.0\%$	$\leq 24\%$	—	—	$\leq 100\%$	$\leq 6.0\%$	$\leq 4.0\%$	—
600 V/mm 强场 下介电损耗角正 切和自由相对介 电常数的变化率	$\text{tg}\delta$	—	—	—	—	—	—	≤ 0.017	—	—
	$\frac{\Delta\epsilon_{r3}^T}{\epsilon_{r3}^T}$	—	—	—	—	—	—	$\leq 12.0\%$	—	—

6.2.8 十倍时间老化率

元件十倍时间老化率见表10。

表10 元件十倍时间老化率

十倍时间 老化率 %	不同型号材料的元件性能指标								
	P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
N_d	0.35 ± 0.20	1.3 ± 0.8	1.4 ± 0.8	0.35 ± 0.20	0.35 ± 0.20	0.35 ± 0.20	1.3 ± 0.8	1.0 ± 0.5	—
k_p	-0.40 ± 1.0	-2.0 ± 1.0	-2.0 ± 1.1	-0.40 ± 0.20	-0.40 ± 0.20	-0.40 ± 0.20	-2.0 ± 1.0	-1.5 ± 0.5	—
ϵ_{r3}^T	-1.5 ± 2.0	-4.5 ± 2.0	-5.5 ± 2.0	-1.5 ± 1.0	-1.5 ± 1.0	-0.50 ± 0.40	-4.0 ± 1.5	-4.0 ± 1.5	—

6.2.9 温度稳定性

元件频率常数和自由相对介电常数对温度的稳定性见表11。



表11 元件频率常数和自由相对介电常数对温度的稳定性

性能参数 %		不同型号材料的元件性能指标								
		P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
径向频率常数稳定性 (25℃为基准, -10℃~50℃)	$\frac{\Delta N_d}{N_d}$	1.5±1.0	1.5±0.5	1.0±0.5	1.5±1.0	1.5±1.0	0.5±0.5	1.5±0.8	1.0±0.5	0.5±0.5
自由相对介电常数稳定性 (25℃为基准, -10℃~50℃)	$\frac{\Delta \epsilon_{r3}^T}{\epsilon_{r3}^T}$	15±10	9.5±3.0	7±3.0	20±10	20±10	7.0±3.0	9.0±3.0	9.0±3.0	7±3.0

6.2.10 机械品质因素、密度、居里温度、介电损耗角正切、泊松比

元件机械品质因素、密度、居里温度、介电损耗角正切、泊松比见表12。

表12 元件机械品质因素、密度、居里温度、介电损耗角正切、泊松比

性能参数	不同型号材料的元件性能指标								
	P14	P42	P44	P53	P5D	PSN	P81	P82	PLN
机械品质因数 (Q_m)	≤100	≥500	≥800	≤100	≤100	≤100	≥800	≥800	≥70
密度 (ρ) ×10 ³ kg/ m ³	≥7.6	≥7.45	≥7.6	≥7.45	≥7.45	≥7.6	≥7.45	≥7.5	≥7.5
居里温度 (T_c) ℃	≥220	≥300	≥360	≥260	≥260	≥300	≥300	≥310	≥380
介电损耗角正切 ($\text{tg}\delta$)	≤0.025	≤0.006	≤0.005	≤0.02	≤0.02	≤0.02	≤0.004	≤0.004	≤0.013
泊松比 (σ^E)	~0.36	~0.30	~0.36	~0.32	~0.32	~0.33	~0.30	~0.30	~0.44

6.2.11 电极拉力强度及电极电阻

元件金属电极拉力强度应不低于7 MPa或合同规定的要求。对于烧渗银电极在每个电极表面上任何两点（和所有点）之间的电阻应不大于1 Ω；对于化学镀电极，其电阻应不大于3 Ω。

7 试验方法



7.1 试验条件

7.1.1 试验场所的环境条件

除元件的密度 (ρ)、居里温度 (T_c)、泊松比 σ^E 、径向频率常数和介电常数的温度稳定性试验场所的环境条件应分别满足GB/T 2413—1981、GB/T 3389—2008、GB/T 11311—1989、GB/T 6427—1999、GB/T 11310—1989所规定的相应条件外,对元件其余性能参数的测量均应在GB/T 2414.1—1998和GB/T 2414.2—1998所规定的环境条件下进行。

7.1.2 试验用仪器设备

试验用仪器设备应在有效使用期内,其电容的测量误差不超过 $\pm 0.5\%$,介电损耗角正切测量误差 $\leq 10\%$ (读数) $+10^{-4}$,频率精度 $\leq 100 \times 10^{-6}$,阻抗分辨率 $\leq 0.05 \Omega$ 。

7.2 外观

7.2.1 一般要求

目视检查元件的外观,结果应符合6.1.1的要求。

7.2.2 缺陷

目视检查有缺陷的元件,结果应符合6.1.2的要求。

7.3 性能

7.3.1 常规参数测量

元件尺寸不受引用标准中样品尺寸的限制;按GB/T 2414.1—1998、GB/T 2414.2—1998所规定的试验条件和试验方法测量元件的自由电容 (C^T)、介电损耗角正切 ($\text{tg}\delta$)、谐振频率 (f_s)、反谐振频率 (f_p) 和动态电阻 (R_1);按GB/T 3389—2008中5.6和5.7的规定测量元件的 f_{s1} 、 f_{s3} 、 f_{s5} 和 f_{s7} 。

7.3.2 机电耦合系数

7.3.2.1 根据7.3.1测得的 f_s 、 f_p ,按下列规定计算标准元件的机电耦合系数,结果应符合6.2.1的要求:

- 按CB/T 4314—2013中4.2的规定计算厚向极化长条、宽向极化梯形条元件的横向机电耦合系数 k_{31} ,根据元件的几何尺寸修正为标准元件的横向机电耦合系数 k_{31n} ;
- 按CB/T 4314—2013中4.3的规定计算径向极化圆管元件的横向机电耦合系数 k_{31} ,根据元件的几何尺寸修正为标准元件的横向机电耦合系数 k_{31n} ;
- 按CB/T 4314—2013中4.4的规定计算厚向极化中孔薄圆片元件的径向机电耦合系数 k_r ,根据元件的几何尺寸修正为标准元件的平面机电耦合系数 k_{pn} ;
- 按CB/T 4314—2013中4.5的规定计算厚向极化圆片元件的平面机电耦合系数 k_p ,根据元件的几何尺寸修正为标准元件的平面机电耦合系数 k_{pn} ;
- 按CB/T 4314—2013中4.6的规定计算轴向极化圆柱元件的纵向机电耦合系数 k_{33} ,根据元件的几何尺寸修正为标准元件的纵向机电耦合系数 k_{33n} ;
- 按CB/T 4314—2013中4.7的规定计算轴向极化圆管元件的纵向机电耦合系数 k_{33} ,根据元件的几何尺寸修正为标准元件的纵向机电耦合系数 k_{33n} 。

7.3.2.2 根据7.3.1测得的 f_{s1} 、 f_{s3} 、 f_{s5} 和 f_{s7} 按GB/T 3389—2008中5.6和5.7的规定分别计算厚向极化圆片厚度伸缩振动机电耦合系数 k_t 和切向极化长条厚度切变振动机电耦合系数 k_{15} 。



7.3.3 自由相对介电常数

7.3.3.1 根据 7.3.1 测得的 C^T ，按下列规定计算元件的自由相对介电常数，结果应符合 6.2.2 的要求：

- 按 CB/T 4314—2013 中 4.2 的规定计算厚向极化长条、宽向极化梯形条元件的自由相对介电常数 ϵ_{r3}^T ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.3 的规定计算径向极化圆管元件的自由相对介电常数 ϵ_{r3}^T ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.4 的规定计算厚向极化中孔薄圆片元件的自由相对介电常数 ϵ_{r3}^T ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.5 的规定计算厚向极化圆片元件的自由相对介电常数 ϵ_{r3}^T ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.6 的规定计算轴向极化圆柱元件的自由相对介电常数 ϵ_{r3}^T ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.7 的规定计算轴向极化圆管元件的自由相对介电常数 ϵ_{r3}^T ；
- 按 GB/T 3389—2008 中 5.7 的规定计算切向极化长条元件的自由相对介电常数 ϵ_{r3}^T 。

7.3.4 压电应变常数

7.3.4.1 根据 7.3.1 测得的 C^T 、 f_s 、 f_p ，按下列规定计算标准元件的压电应变常数，结果应符合 6.2.3 的要求：

- 按 CB/T 4314—2013 中 4.2 的规定计算厚向极化长条、宽向极化梯形条元件的压电应变常数 d_{31} ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的压电应变常数 d_{31n} ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.3 的规定计算径向极化圆管元件的压电应变常数 d_{31} ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的压电应变常数 d_{31n} ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.4 的规定计算厚向极化中孔薄圆片元件的压电应变常数 d_{31} ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的压电应变常数 d_{31n} ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.5 的规定计算厚向极化圆片元件的压电应变常数 d_{31} ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的压电应变常数 d_{31n} ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.6 的规定计算轴向极化圆柱元件的压电应变常数 d_{33} ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的压电应变常数 d_{33n} ；
- 按 CB/T 4314—2013 中 4.7 的规定计算轴向极化圆管元件的压电应变常数 d_{33} ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的压电应变常数 d_{33n} 。

7.3.4.2 根据 7.3.1 测得的 C^T 、 f_{s1} 、 f_{s3} 、 f_{s5} 和 f_{s7} 按 GB/T 3389—2008 中 5.7 的规定计算切向极化长条元件的切变模压电应变常数 d_{15} 。

7.3.5 弹性柔顺常数

7.3.5.1 根据 7.3.1 测得的 f_s 、 f_p ，按下列规定计算标准元件的弹性柔顺常数，结果应符合 6.2.4 的要求：

- 按 CB/T 4314—2013 中 4.2 的规定计算厚向极化长条、宽向极化梯形条元件的短路弹性柔顺常数 S_{11}^E ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的短路弹性柔顺常数 S_{11n}^E ；



- b) 按 CB/T 4314—2013 中 4.3 的规定计算径向极化圆管元件的短路弹性柔顺常数 S_{11}^E ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的短路弹性柔顺常数 S_{11n}^E ；
- c) 按 CB/T 4314—2013 中 4.4 的规定计算厚向极化中孔薄圆片元件的短路弹性柔顺常数 S_{11}^E ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的短路弹性柔顺常数 S_{11n}^E ；
- d) 按 CB/T 4314—2013 中 4.5 的规定计算厚向极化圆片元件的短路弹性柔顺常数 S_{11}^E ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的短路弹性柔顺常数 S_{11n}^E ；
- e) 按 CB/T 4314—2013 中 4.6 的规定计算轴向极化圆柱元件的开路弹性柔顺常数 S_{33}^D ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的开路弹性柔顺常数 S_{33n}^D ；
- f) 按 CB/T 4314—2013 中 4.7 的规定计算轴向极化圆管元件的开路弹性柔顺常数 S_{33}^D ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的开路弹性柔顺常数 S_{33n}^D ；

7.3.5.2 根据 7.3.1 测得的 f_{s1} 、 f_{s3} 、 f_{s5} 和 f_{s7} 按 GB/T 3389—2008 中 5.7 的规定计算切向极化长条元件的切变开路弹性柔顺常数 S_{55}^D 。

7.3.6 频率常数

7.3.6.1 根据 7.3.1 测得的 f_s 、 f_p ，按下列规定计算标准元件的频率常数，结果应符合 6.2.5 的要求：

- a) 按 CB/T 4314—2013 中 4.2 的规定计算厚向极化长条、宽向极化梯形条元件的横向频率常数 N_1 ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的横向频率常数 N_{1n} ；
- b) 按 CB/T 4314—2013 中 4.3 的规定计算径向极化圆管元件的横向频率常数 N_1 ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的横向频率常数 N_{1n} ；
- c) 按 CB/T 4314—2013 中 4.4 的规定计算厚向极化中孔薄圆片元件的径向频率常数 N_r ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的径向频率常数 N_{dn} ；
- d) 按 CB/T 4314—2013 中 4.5 的规定计算厚向极化圆片元件的径向频率常数 N_d ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的径向频率常数 N_{dn} ；
- e) 按 CB/T 4314—2013 中 4.6 的规定计算轴向极化圆柱元件的纵向频率常数 N_3 ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的纵向频率常数 N_{3n} ；
- f) 按 CB/T 4314—2013 中 4.7 的规定计算轴向极化圆管元件的纵向频率常数 N_3 ，根据元件的几何尺寸修正为标准元件的纵向频率常数 N_{3n} 。

7.3.6.2 根据 7.3.1 测得的 f_{s1} 、 f_{s3} 、 f_{s5} 和 f_{s7} 按 GB/T 3389—2008 中 5.6 和 5.7 的规定分别计算厚向极化圆片元件的厚度伸缩模频率常数 N_t ，切向极化长条元件的厚度切变模频率常数 N_5 。

7.3.7 声速



7.3.7.1 根据 7.3.6 中计算得到的标准元件的频率常数, 分别按照 CB/T 4314—2013 中 4.2、4.3、4.4、4.5、4.6、4.7 的规定计算标准元件的横向声速 V_{ln}^E 、径向声速 V_{dn}^E 、纵向声速 V_{3n}^D , 结果应符合 6.2.6 的要求。

7.3.7.2 根据 7.3.1 测得的 f_{s1} 、 f_{s3} 、 f_{s5} 和 f_{s7} 按 GB/T 3389—2008 中 5.6 和 5.7 的规定分别计算厚向极化圆片元件的厚向声速 V_t^D , 切向极化长条元件的厚度切变声速 V_s^D 。

7.3.8 强场介电性能

按 GB/T 3389—2008 中 5.3 的规定进行强场介电损耗角正切 $\text{tg}\delta$ 和强场自由相对介电常数 $\frac{\Delta\epsilon_{r3}^T}{\epsilon_{r3}^T}$ 变化率试验, 结果应符合 6.2.7 的要求。

7.3.9 十倍时间老化率

按 GB/T 15750—2008 的规定对圆片元件的径向频率常数 N_d 、机电耦合系数 k_p 、自由相对介电常数 ϵ_{33}^T 进行十倍时间老化率的试验, 结果应符合 6.2.8 的要求。

7.3.10 温度稳定性

7.3.10.1 按 GB/T 6427—1999 第 6 章的规定测量径向频率常数 N_d , 以 25 °C 为基准, 温度范围为—

10 °C ~ +50 °C 的最大相对变化率 $\frac{\Delta N_d}{N_d}$, 结果应符合 6.2.9 的要求。

7.3.10.2 按照 GB/T 11310—1989 中第 5 章的规定进行自由相对介电常数 ϵ_{r3}^T 试验, 以 25 °C 为基准,

温度范围为—10 °C ~ +50 °C 的最大相对变化率 $\frac{\Delta\epsilon_{r3}^T}{\epsilon_{r3}^T}$, 结果应符合 6.2.9 的要求。

7.3.11 机械品质因数、密度、居里温度、介电损耗角正切、泊松比

按下列规定进行试验, 结果应符合 6.2.10 的要求:

- 根据测得的 C^T 、 $\text{tg}\delta$ 、 f_s 、 f_p 和 R_1 按 CB/T 4314—2013 中表 1 的公式计算元件的机械品质因数 Q_m ;
- 按 GB/T 2413—1981 中第 3 章、第 4 章的规定检测元件的体积密度 ρ ;
- 按 GB/T 3389—2008 中 5.1 的规定检测元件的居里温度 T_c ;
- 按 GB/T 2414.1—1998 中 6.1 的规定用电容电桥直接测出元件的介电损耗角正切 $\text{tg}\delta$;
- 按 GB/T 11311—1989 中第 4 章的规定检测圆片元件的泊松比 σ^E 。

7.3.12 电极拉力强度及电极电阻

按下列规定进行电极拉力强度及电极电阻的测量, 结果应符合 6.2.11 的要求:

- 按 CB/T 3794 规定的方法进行电极拉力强度试验;
- 用电阻表直接测量元件同一电极面上任意两点之间的电阻。



8 检验规则

8.1 检验分类

检验分为型式检验和出厂检验。

8.2 型式检验

8.2.1 型式检验的条件

有下列情况之一，应进行型式检验：

- a) 新产品投产前；
- b) 在设计、工艺或材料有重大改变时；
- c) 国家质量监督检验机构对产品质量进行监督检验时。

8.2.2 检验项目

型式检验项目包括 C^T 、 $\text{tg}\delta$ 、 f_s 和 f_p 及第6章规定的所有要求。

8.2.3 抽样

按GB/T 2829—2002中规定的判别水平 I 的一次抽样方案进行抽样。

8.2.4 合格判据

根据常规参数测量得出的 C^T 、 $\text{tg}\delta$ 、 f_s 、 f_p 和 R_1 ，按照7.3给出的方法计算得出标准元件的机电性能，计算结果按GB/T 2829—2002规定，取 $RQL=50$ 进行评定。若合格，则型式检验合格；若不合格，可加倍抽样，重新进行试验，若合格仍判型式检验合格；若不合格，则判为型式检验不合格。

8.3 出厂检验

8.3.1 检验项目

检验项目包括 C^T 、 $\text{tg}\delta$ 、 f_s 和 f_p ，其他检验项目可依据合同规定或视具体需要而定。

8.3.2 抽样

对每个检验批按GB/T 2828.1—2012中检验水平II₁的规定进行样品抽取。

8.3.3 合格判据

根据常规参数测量得出的 C^T 、 $\text{tg}\delta$ 、 f_s 、 f_p 和 R_1 ，按照7.3给出的方法计算得出标准元件的机电性能，计算结果按GB/T 2828.1—2012规定，取 $AQL=1.5$ 进行判定。若合格，则判整批元件出厂检验合格；若不合格，则对整批元件进行全数检验，剔除不合格品。

9 标志和随行文件

9.1 标志

9.1.1 产品标志主要是元件极性、编号和型号，元件极性和编号标识在元件正极面上，型号标记在合格证上。



9.1.2 包装标志包括：生产单位名称、地址、联系电话，在显眼处标明“小心轻放”等字样。

9.2 随行文件

包装箱内均应装有货物装箱单等随行文件，并用塑料袋封装放在包装箱内。包装箱内的随行文件应包括：

- a) 装箱清单；
- b) 产品合格证；
- c) 元件常规电性能参数。

10 包装、运输和贮存

10.1 包装

10.1.1 元件可用洁净干燥的纸张、塑料薄膜、泡沫塑料、纸箱、木箱等材料进行包装，产品应有良好的外包装，以防运输过程中损坏。

10.1.2 当产品合同对包装有要求时，应按合同要求进行包装。

10.2 运输

装箱和运输按订货合同规定。

10.3 贮存

10.3.1 产品经包装后，应按型号、规格、日期、分类放置。

10.3.2 产品应贮存于仓库内，库存温度为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于80%，周围空气无酸性、碱性及其他有害物质；搬运时应轻拿轻放，防止日晒及雨雪淋湿。