CS 31.140
CCS L21

团　　体　　标　　准

T/CECA XXX-202X

球形压电陶瓷换能器

Spherical piezoelectric ceramic transducers

（报批稿）

20XX—XX—XX 发布　　20XX—XX—XX 实施

中 国 电 子 元 件 行 业 协 会　　发 布

目　　次

前　　言 II
引　　言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 分类及型号命名方法 2
5 试验条件 3
6 技术要求和试验方法 3
7 检验规则 9
8 环境有害物质限量要求 11
9 标志、包装、储存和运输 11

中电元协团体标准报批公示稿

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。

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这些专利的责任。

本文件由中国电子元件行业协会电子陶瓷及器件分会提出。

本文件由中国电子元件行业协会电子陶瓷及器件分会归口。

本文件起草单位：淄博宇海电子陶瓷有限公司、中国电子科技集团公司第二十六研究所、中国船舶重工集团公司第七一五研究所、广州凯立达电子股份有限公司、苏州攀特电陶科技股份有限公司、浙江嘉康电子股份有限公司、广东奥迪威传感科技股份有限公司、广东思威特智能科技股份有限公司、宁波百声特电子有限公司、广东捷成科创电子股份有限公司、无锡海鹰企业集团有限责任公司压电器件分公司、江苏联能电子技术有限公司、山东寿光市飞田电子有限公司、无锡市通超电子有限公司、济南大学、北京信息科技大学、淄博高新技术产业开发区先进陶瓷研究院。

本文件主要起草人：孙兆海、罗平、胡望峰、朱惠祥、潘栋超、张火荣、张喆斯、严红光、徐锦生、姜知水、张晖、杨明、袁燕飞、温清武、黄世峰、秦雷、孙华君。

中电元协团体标准报批公示稿

引　　言

球形压电陶瓷换能器具有空间对称性的特点，具有水平无指向性和垂直开角大于 180° 指向性，波束宽度随频率变化小，结构坚固，耐高静水压和发射声功率高的特点，已作为三维全向水声换能器和超声波清洗换能器得到应用推广。

本文件供各成员单位自愿采用。提请各使用单位注意，采用本文件时，应根据各自产品特点，确认本文件的适用性。

中电元协团体标准报批公示稿

球形压电陶瓷换能器

1 范围

本文件规定了球形压电陶瓷换能器的定义、分类、技术要求和试验方法、检验规则、包装、标志、储存和运输。

本文件适用于空心压电陶瓷球形压电陶瓷换能器。

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 191 包装储运图示标志

GB/T 2421-2020 环境试验概述和指南

GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A： 低温

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 3223-1994 声学 水声换能器自由场校准方法

GB/T 3389.1-1996 铁电压电陶瓷词汇

GB/T 7965-2002 声学 水声换能器测量

GB/T 7967-2002 声学 水声换能器的大功率特性和测量

GB/T 15156-2015 压电陶瓷换能元件总规范

GB/T 26572 电子电气产品中限用物质的限量要求

JJF 1861-2020 1kHz～200kHz 水声换能器校准规范

3 术语和定义

GB/T 3389.1-1996 和 JJF 1861-2020 界定的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

球形压电陶瓷换能器 spherical piezoelectric ceramic transducers

利用空心压电陶瓷球壳的径向振动（呼吸振动）或厚度振动实现电声转换的换能器。

3.2

水平（径向）发射指向性图 horizontal(radial) emission pattern

球形压电陶瓷换能器绕其垂直轴心线（Z 轴）水平旋转 360° 对应的发射响应角坐标图，如图 1 所示。

中电元协团体标准报批公示稿

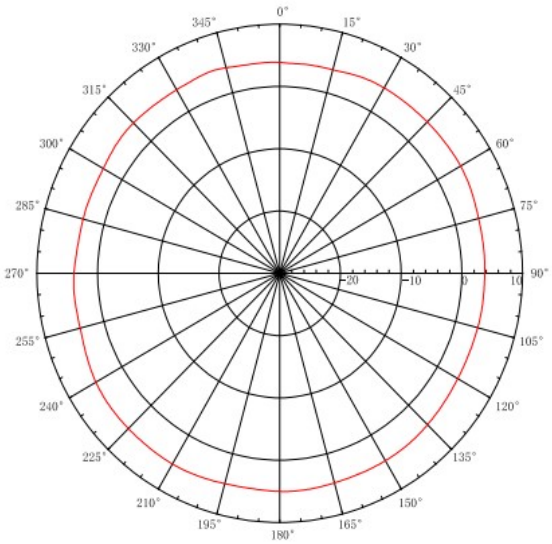


图 1　球形压电陶瓷换能器水平发射指向性示意图

3.3

垂直（轴向）发射指向性图 vertica（axial）emission pattern

球形压电陶瓷换能器绕其水平轴心线垂直旋转 360° 对应的发射响应角坐标图，如图 2 所示。

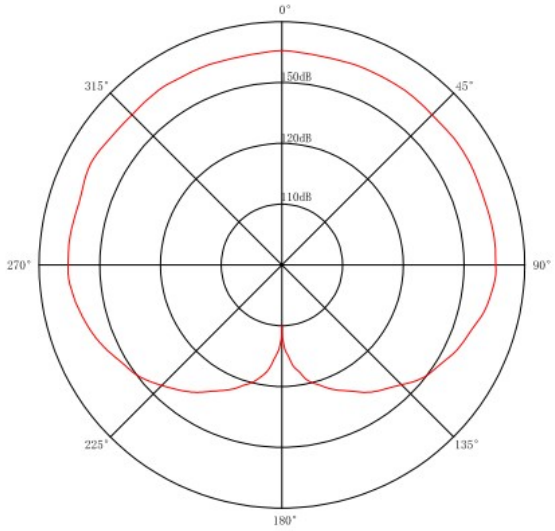


图 2　球形压电陶瓷换能器垂直发射指向性示意图

4　分类及型号命名方法

4.1 分类

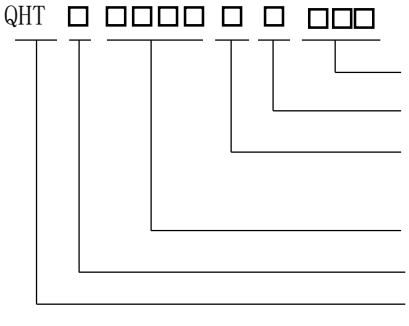
根据应用领域分类为：

a) 球形压电陶瓷水声换能器（S 类）；

b) 球形压电陶瓷超声波换能器(C 类)。

4.2 型号命名

按 GB/T 15156-2015 中 4.2 的规定,球形压电陶瓷换能器命名方法为：



示例：QHTS0330PT160 表示谐振频率为 330kHz,直径为 160mm 的复合材料拼镶形球形压电陶瓷水声换能器。

5 试验条件

5.1 空气中试验条件

除另有规定外，所有试验都应在 GB/T 2421-2020 中 4.3 规定的测量和试验用标准大气条件下进行。

5.2 水中试验条件

除另有规定外，所有试验都应在 GB/T 2421-2020 中 4.3 和下述细则规定的测量和试验用标准大气条件下进行。

a) 环境温度： 5℃～35℃；

b) 环境相对湿度： ≤90%；

c) 水温：5℃～30℃；

d) 应在满足自由声场的消声水池或天然水域里进行声学特性的测量。

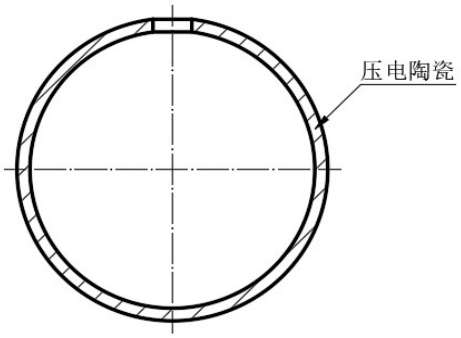
6 技术要求和试验方法

6.1 外形尺寸

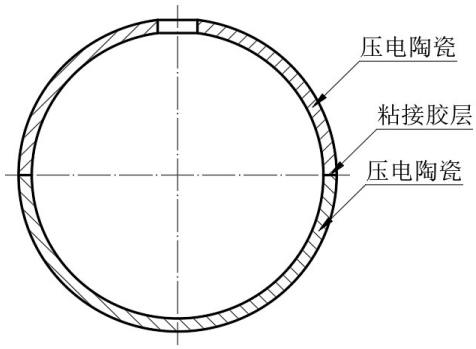
6.1.1 外形及结构

球形压电陶瓷换能器是由压电陶瓷空心球壳、内衬（可选）、预紧力夹紧层（可选）、水密透声包封层、支撑件和水密插座（可选）及电缆等组成的电声转换器。其中：压电陶瓷空心球包括整体球和拼镶球，拼镶球包含两个半球压电陶瓷拼镶球或三片以上多边形小球面压电陶瓷片拼镶球两类；后者又分为密排型和间隙填充复合材料型两种。压电陶瓷空心球结构示意图如图 3 所示。

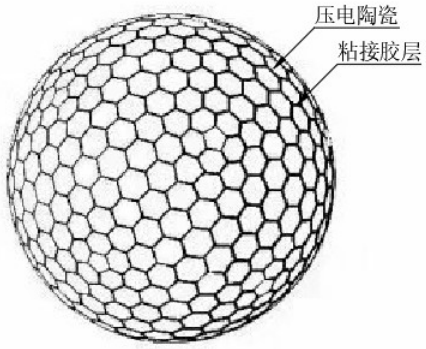
电子版团体标准报批公示稿



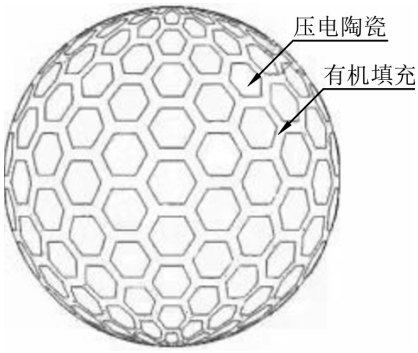
a） 整体空心球



b）两个压电陶瓷半球壳拼镶球



c）多个压电陶瓷球面片密排拼镶球



d）多个压电陶瓷球面片间隙填充复合材料拼镶球

图 3　压电陶瓷空心球结构示意图

球形压电陶瓷换能器的外形结构如图 4 所示。

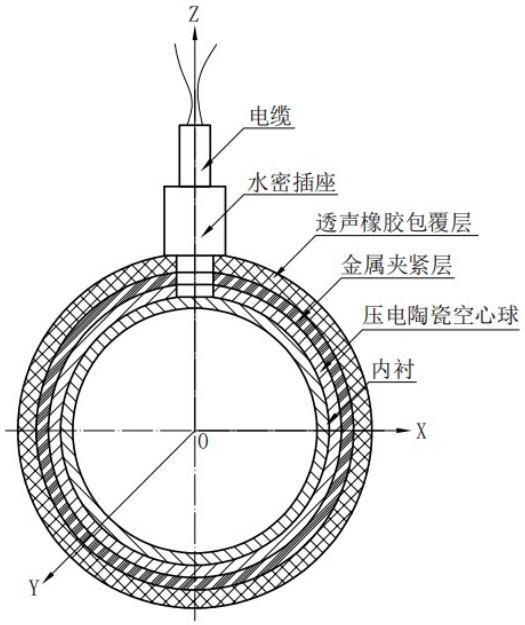


图 4　球形压电陶瓷换能器外形结构图

6.1.2　技术要求

外形尺寸及电缆尺寸应按照供需双方确认的图纸要求执行。

包封后的透声橡胶表面的球形度应满足以下要求：

a)　≤0.5mm（产品直径小于 100mm）；

b)　≤1.0mm（产品直径不小于 100mm）。

6.1.3　试验方法

用精度不低于 0.01mm, 爪长满足相应产品尺寸的游标卡尺测量不低于 3 个轴向的直径，所有测量值的算术平均值，即为产品的直径；所有测量值中的最大值和最小值的差值即为球形度。

6.2　外观

6.2.1　技术要求

球形压电陶瓷换能器包封层应表面光滑、颜色均匀，球体无缺损、凹坑和气泡，电缆与球体连接部位应无裂缝，电缆无裂纹和损伤。

6.2.2　试验方法

应在正常室内照明、自然光或日光下目检。

6.3　重量

6.3.1　技术要求

重量应符合详细规范要求。

6.3.2　试验方法

用精度不低于 1g，量程满足要求的电子秤称量。

6.4　绝缘电阻

6.4.1 技术要求

绝缘电阻应符合详细规范的规定。

6.4.2 试验方法

除另有规定外，绝缘电阻应在 100V±10V 直流电压下进行测量，测量时间为 60s，若读数稳定，则可小于 60s。

有水密插座时，电压施加在插座正负极插孔之间，插座正负极插孔与水密包覆层之间；

无水密插座时，电压施加在电缆正负极芯线之间，电缆正负极芯线与电缆屏蔽之间，电缆正负极芯线与水密包覆层之间，电缆屏蔽与水密包覆层之间。

6.5 电容

6.5.1 技术要求

输出电缆正负极间的电容（包含电缆电容）应符合详细规范的规定。

6.5.2 试验方法

用电容测量误差不大于±0.5%的电桥或 LCR 测试仪，设置频率为详细规范规定的值，电压为 1V，将球形压电陶瓷换能器的电缆输出端的正负极接入仪器测试夹，直接测试其电容值。

6.6 介电强度

6.6.1 技术要求

按表 1 规定的试验电压试验，应不击穿。

表 1 介电强度试验电压

单位为伏特

工作电压 U	试验电压 Us
U≤60	540
60<U≤120	900
120<U≤240	1200
240<U≤480	1500
U≥480	2U+1000
注：试验电压类型一般与工作电压相同，当用直流电压进行试验时，试验电压按 $Us=\sqrt{2}U$ 换算。	

6.6.2 试验方法

将球形压电陶瓷换能器正负极引线接到试验设备相对应的电压输出正负端，试验电压从零开始逐渐增加到试验值，保持 60s±5s，然后均匀下降到零，最后切断电源。

6.7 耐静水压力

6.7.1 技术要求

试验后绝缘电阻应符合 6.4.1 的规定。

6.7.2 试验条件

按照球形压电陶瓷换能器最大工作水深度压力的 1.5 倍来确定耐静水压力，具体压力值和保压时间按产品详细规范规定执行。

6.7.3 试验方法

将球形压电陶瓷换能器置于装有普通淡水的静水压试验装置中，电缆应从试验设备中引出，引出电缆要尽量短。盖上密封盖，充满水后，开始缓慢加压力到详细规范的规定压力值（压力表精度为 1.5 级），按照详细规范规定的保持时间进行保压，试验结束后，去除压力，取出换能器，进行绝缘电阻的检测。

6.8 谐振频率

6.8.1 技术要求

中国无线团体标准报批公示稿

球形压电陶瓷换能器径向谐振频率和厚度谐振频率范围应符合详细规范要求。

6.8.2 试验方法

按照 GB/T 7965-2002 中 13.1 规定的测量方法分别测试球形压电陶瓷换能器在空气中和水中（@常压或静水压下）的特性曲线。

读取导纳最大点（或阻抗最小点）的频率，即为空气中和水中的谐振频率。

6.9 等效阻抗和导纳

6.9.1 技术要求

谐振频率点或谐振频率附近，空气中和常压水中的阻抗特性应符合详细规范要求；对于深水中使用的球形压电陶瓷换能器，阻抗特性随静水压力变化也应符合详细规范要求。

6.9.2 试验方法

按照 GB/T 7965-2002 中 13.1 规定的测量方法。分别测试球形压电陶瓷换能器在空气中和水中（@常压或静水压下）的 G/B-f 特性曲线。

6.10 发射电压响应（级）

6.10.1 技术要求

在径向（低频）或厚度（高频）振动模态谐振频率附近，发射电压响应（级）应符合详细规范的规定。

6.10.2 试验方法

按照 GB /T 3223-1994 中 5.3 的规定进行试验。

6.11 发射电流响应（级）

6.11.1 技术要求

在径向（低频）或厚度（高频）振动模态谐振频率附近，发射电流响应（级）应符合详细规范的规定。

6.11.2 试验方法

按照 GB /T 3223-1994 中 5.2 的规定进行试验。

6.12 发射电功率响应（级）

6.12.1 技术要求

发射电功率响应（级）应符合详细规范的要求。

6.12.2 试验方法

按照 GB/T 7967-2002 第 9 章的规定进行试验。

6.13 额定功率

6.13.1 技术要求

额定功率应符合详细规范的要求。

6.13.2 试验方法

按照 GB/T 7967-2002 第 15 章的规定进行试验。

6.14 电功率连续工作时间

6.14.1 技术要求

电功率连续工作时间是指球形压电陶瓷换能器在水中额定电功率下的连续工作时间，符合详细规范的要求。

6.14.2 试验方法

按详细规范规定的额定功率值及信号波形等试验条件下进行试验。

中电元协团体标准报批公示稿

将球形压电陶瓷换能器样品放入水里，电缆露出水面，将电缆接入功率源的输出端口，调好信号波形和功率，启动功率源开关给样品加电功率。同时记时，达到连续工作时间后，关断功率源，取出样品，测试绝缘电阻。

6.15 发射电压响应指向性

6.15.1 技术要求

球形压电陶瓷换能器属于无指向性换能器，在水平 360° 范围内，发射响应起伏应不大于 3dB, 垂直指向性应大于 180° 。

6.15.2 试验方法

按 GB/T 7965-2002 中第 10.2 的规定和第 11 章的规定进行试验。

6.16 自由场电压灵敏度（级）

6.16.1 技术要求

自由场电压灵敏度（级）应符合详细规范的规定。

6.16.2 试验方法

按照 GB/T 3223-1994 中 5.1 的规定进行试验。

6.17 环境试验

6.17.1 低温贮存

6.17.1.1 技术要求

试验后，绝缘电阻应符合 6.4.1 的规定，电容应符合 6.5.1 的规定，谐振频率应符合 6.8.1 的规定。

6.17.1.2 试验方法

按照 GB/T 2423.1-2008 试验 Ab 进行试验。

将球形压电陶瓷换能器放入低温箱内，使温度以不大于 1℃/min 的速度降温到-40℃，保持 24h，温度恢复到常温后，取出产品。恢复 4h 后,按照 6.4.2 测量绝缘电阻、按照 6.5.2 测量电容，按照 6.8.2 测量谐振频率。

6.17.2 温度突变

6.17.2.1 技术要求

试验后，绝缘电阻应符合 6.4.1 的规定。

6.17.2.2 试验方法

6.17.2.2.1 试验条件

试验条件按以下细则执行：

a) 试验温度：

1) 低温：-30℃±3℃；

2) 高温：60℃±2℃；

3) 水温：10℃±5℃；

b) 除另有规定外，循环次数不少于 2 次；

c) 试验箱（室）应能保持试验所规定的温度；

d) 水箱容积应不小于被试换能器体积的 5 倍，水温能控制在 10℃±5℃内。

6.17.2.2.2 试验程序

试验程序如下：

a) 初始测试：按 6.4 和 6.5 的规定测量被试换能器的绝缘电阻和电容；

b) 将换能器从室温放入 10℃±5℃的水箱中，使换能器温度达到稳定，稳定时间 30min；

中电元协团体标准报批公示稿

c) 从水中取出换能器，擦干水后，立即放入-30℃±3℃的低温箱中，使换能器温度达到稳定，稳定时间 30min；

d) 从低温箱中取出换能器，立即放入 10℃±5℃的水箱中，使换能器温度达到稳定，稳定时间 30min；

e） 从水中取出换能器，擦干水后，立即放入 60℃±2℃的高温箱中，使换能器温度达到稳定，稳定时间 30min；

f） 从高温箱中取出换能器，立即放入 10℃±5℃的水箱中，使换能器温度达到稳定，稳定时间 30min；

g) 以上 c）~f）构成一次温度突变循环，继续再重复一次循环后，将换能器置于正常大气条件下自然恢复，按照 6.4.2 测量绝缘电阻。

6.17.3 振动

6.17.3.1 技术要求

试验后，绝缘电阻应符合 6.4.1 的要求，谐振频率应符合 6.8.1 的要求。

6.17.3.2 试验条件

除另有规定外，按以下振动试验条件进行试验：

a) 频率范围：10Hz~55Hz；

b）位移幅值：0.75mm；

c）持续时间：每方向 2h，X、Y、Z 三方向共 6h。

6.17.3.3 试验方法

6.17.3.3.1 对试验设备的要求

试验设备基本运动应为时间的正弦函数，试验样品各固定点基本同相和沿平行直线运动；横向运动最大幅值应不大于振动方向规定幅值的 50%；加速度波形失真应不大于 25%；位移幅值容差应不超出±10%；频率容差应不超出±0.5Hz。

6.17.3.3.2 试验程序

试验程序如下：

a) 将试验样品刚性安装于振动台上，电缆也应适当固定。

b) 将位移幅值调到 0.75mm，然后在 10Hz~55Hz~10Hz 频率范围内连续来回定位移动。在 X、Y、Z 三个互相垂直方向的每一方向上试验 2h，三方向共 6h。

c) 扫描速率：

1） 线性扫描：10Hz~55Hz~10Hz，来回一次 1min；

2） 对数扫描：10ct/min。

d) 扫描过程中是否加电负载由详细规范规定。

6.17.4 浸泡淡水

6.17.4.1 技术要求

试验后，绝缘电阻应符合 9.4.1 的要求。

6.17.4.2 试验方法

将球形压电陶瓷换能器水密接头或电缆输出端露出的正负极作水密封处理后，浸泡在水中，浸泡时间按照详细规范的规定执行。

7 检验规则

7.1 检验批

中电元协团体标准报批公示稿

一个检验批应由在同样条件下生产、同一时间内交验、同一型号的产品组成。

7.2 检验分类

产品检验分为逐批检验和周期检验。

7.3 逐批检验

7.3.1 逐批检验程序

逐批检验应由表 2 所规定的检验项目组成，并按表 2 规定的顺序进行。

表 2 逐批检验一览表

分组	序号	检验项目	技术要求章条号	检验方法章条号	抽样要求	
					IL	AQL
1 组	1	外观	6.2.1	6.2.2	I	1.0
	2	外形尺寸	6.1.2	6.1.3		
	3	重量	6.3.1	6.3.2		
	4	绝缘电阻	6.4.1	6.4.2		
	5	电容	6.5.1	6.5.2		
	6	谐振频率	6.8.1	6.8.2		
	7	等效阻抗和导纳	6.9.1	6.9.2		
2 组	8	发射电压响应（级）	6.10.1	6.10.2	7.3.2	
	9	发射电压响应指向性图	6.15.1	6.15.2		
	10	自由场电压灵敏度（级）[a]	6.16.1	6.16.2		
3 组	11	额定功率	6.13.1	6.13.2	7.3.2	
	12	介电强度	6.6.1	6.6.2		
4 组	13	耐静水压 [a]	6.7.1	6.7.2	7.3.2	
[a] C 类产品不做此项检验。						

7.3.2 抽样方案

检查水平(IL)和接收质量限（AQL）在 GB/T 2829－2002 中选取，并按表 2 的规定。在完成 1 组检验的样品中抽 3 只，分别用于 2，3 和 4 组检验各 1 只。

7.3.3 合格判据

逐批检验中任一分组中有一项或一项以上试验不合格，则该分组检验不合格，并按 7.3.4 处理。

7.3.4 不合格处理

如果 2、3、4 组检验不合格，承制方可将该批返工后再次提交检验；如果 1 组检验不合格，承制方可将该批返工或分选，剔除不合格后再次提交检验。再次提交批应采用加严检验，且与其他批分开，并应作复检标志。

7.3.5 样品处理

所有通过 1 组和 2 组检验的产品，可以按合同或订单交货。除另有规定外，经过破坏性检验的 3、4 组试验样本不应作为产品交付。

7.4 周期检验

7.4.1 周期检验时机

正常生产时至少每 12 个月进行一次周期检验。

有下列情况之一也应进行周期检验：

a) 新产品或老产品转厂生产的试制；

b) 正常生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；

c) 产品停产超过 12 个月，恢复生产时；

d) 逐批检验结果与上次周期检验有较大差异时；

e) 国家质量监督机构提出周期检验的要求。

7.4.2 周期检验程序

周期检验应由表 3 所规定的检验项目组成，并按表 3 规定进行。样品数为 3 只，完成 1 组检验后的样品，分别用于 2、3 和 4 组检验各 1 只。

表 3 周期检验一览表

分组	序号	检验项目	要求章条号	检验方法章条号	样品数（接收判定数）
1 组	1	外观	6.2.1	6.2.2	3（0）
	2	外形尺寸	6.1.2	6.1.3	
	3	重量	6.3.1	6.3.2	
	4	绝缘电阻	6.4.1	6.4.2	
	5	电容	6.5.1	6.5.2	
	6	谐振频率	6.8.1	6.8.2	
	7	等效阻抗和导纳	6.9.1	6.9.2	
2 组	8	发射电压响应（级）	6.10.1	6.10.2	1（0）
	9	发射电流响应（级）[a]	6.11.1	6.11.2	
	10	发射电功率响应（级）[a]	6.12.1	6.12.2	
	11	发射电压响应指向性	6.15.1	6.15.2	
	12	自由场电压灵敏度（级）[a]	6.16.1	6.16.2	
	13	额定功率	6.13.1	6.13.2	
	14	电功率连续工作[a]	6.14.1	6.14.2	
	15	介电强度	6.6.1	6.6.2	
3 组	16	低温贮存	6.17.1.1	6.17.1.2	1（0）
	17	温度突变[a]	6.17.2.1	6.17.2.2	
	18	振动	6.17.3.1	6.17.3.2	
4 组	19	耐静水压[a]	6.7.1	6.7.2	1（0）
	20	浸泡淡水[a]	6.17.4.1	6.17.4.2	
[a] C 类产品不做此项检验。					

7.4.3 合格判据

周期检验中任一分组中有一项或一项以上试验不合格，则周期检验不合格，并按 7.4.5 处理。

7.4.4 样本的处理

除另有规定外，通过 3 组和 4 组检验后样品不应按合同或订单交货。

7.4.5 不合格的处理

当周期检验判定不合格，应立即追溯本检验周期内所生产产品的相关信息，评估产品质量风险和影响程度，并采取相应纠正措施后，再次经周期检验合格，才能重新开始逐批检验。必要时通知客户。

8 环境有害物质限量要求

球形压电陶瓷换能器所有零部件中环境有害物质含量应满足 GB/T 26572 的限量要求，如有属于豁免的范围，按照豁免条款执行。

9 标志、包装、储存和运输

9.1 标志

中电元协团体标准报批公示稿

球形压电陶瓷换能器上应清晰标明 X 轴基准指向标志，制造厂商标、型号和生产日期，还应有引出端正负极识别标志。产品内包装应按 9.2.1 的规定进行标志，产品外包装应按 9.2.2 的规定进行标志。

9.2 包装

9.2.1 内包装

球形压电陶瓷换能器内包装盒应采用专用的防震泡沫容器，避免强力碰撞、受压而造成内部空心陶瓷球的损坏。内包装容器内应放上产品合格证，并贴有标志，除非另有规定，内包装盒上应标明：

a) 执行标准；
b) 名称；
c) 规格；
d) 生产日期（或批号）；
e) 数量；
f) 制造厂名称及地址。

9.2.2 外包装

外包装应符合防护要求，箱体内空尺寸与内包装外形尺寸匹配。箱内应放置装箱单。外包装应按 GB/T 191 的规定进行图示标志，至少应标明以下内容：

a) 产品名称；
b) 规格；
c) 数量；
d) 毛重；
e) 箱体尺寸；
f) 制造厂名称及地址；
g) 易碎和向上标识。

9.3 储存

包装的球形压电陶瓷换能器应储存在温度为－10℃～＋40℃，相对湿度不大于 75%，周围空气无酸、碱性及其它有害杂质的库房中。

9.4 运输

装有球形压电陶瓷换能器包装箱向上放置，允许用任何方式运输，但应避免雨雪的直接淋袭和机械损伤。

中电元协团体标准报批公示稿