

防水式压电陶瓷传感器的设计与应用

王泽伟

陕西长岭纺织机电科技有限公司, 陕西 宝鸡 721013)

摘要: 介绍了压电陶瓷传感器的主要性能参数和工作原理,探讨了影响压电陶瓷传感器工作的主要因素,分析相对湿度对压电陶瓷传感器的影响,提出了多种防水方案,并针对其在亚麻紧密纺细纱机断纱检测器上的应用情况,成功解决了其防水问题。

关键词: 压电陶瓷; 传感器; 防水性; 性能; 参数; 原理

中图分类号: TS103.337.6

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044 (2012)03-0057-03

Design and application of anti-water piezo ceramic sensor

WANG Ze-wei

Shaanxi Changling Textile Mechanical & Electronic Technological Co., Ltd., Baoji 721013, China)

Abstract: Main parameters and working principle of piezo ceramic sensor are introduced with major factors effecting the performance of piezo ceramic sensor discussed and influence of relative humidity on piezo ceramic sensor analyzed. Many kinds of waterproof solutions for piezo ceramic sensor are presented and applied to broken yarn detector on flax compact spinning frame to have successfully solved the waterproof.

Key words: piezoelectric ceramic; sensors; water resistance; property; parameter; principle

压电式传感器工作频带宽,灵敏度高,结构简单,体积小,质量轻,工作可靠,在声学、医学、力学、导航领域都得到广泛的应用。

1 压电陶瓷简介

1.1 压电陶瓷材料

常见的压电陶瓷材料有钛酸钡、锆钛酸钡铅、偏铌酸铅、铌酸钾钠、钛酸铅,以及新型的压电高聚物、压电复合材料、玻璃陶瓷、弛豫铁电单晶等。

1.2 压电陶瓷的形状

根据被检测的动态力的大小和方向,压电陶瓷可以被切割成多种形状,然后进行极化,常见的形状和振动模式见图1。

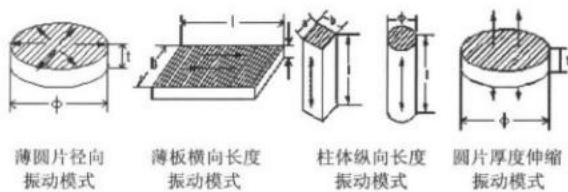


图1 常见的压电陶瓷形状和振动模式

由图1可见,绝大多数压电陶瓷都是薄壁结构或者细长结构,由于压电陶瓷的材质脆,韧性低,极易损坏,所以制造成传感器时,压电陶瓷常常与金属板黏接

在一起或者被保护在壳体内,提高其刚性,避免受损。

1.3 主要性能参数

1) 压电常数: 衡量材料压电效应强弱的参数,与压电输出灵敏度有关; 2) 弹性常数: 压电陶瓷的弹性常数、刚度决定其固有频率和动态特性; 3) 介电常数: 对于一定形状、尺寸的压电陶瓷,其固有电容与介电常数有关; 而固有电容又影响着压电传感器的频率下限; 4) 机械耦合系数: 衡量压电陶瓷的机电能量转换效率,是压电陶瓷的重要参数; 5) 绝缘电阻: 能减少电荷泄漏,从而改善压电传感器的低频特性; 6) 居里温度: 压电陶瓷丧失压电效应的温度; 7) 介质损耗: 电介质在电场作用下,由于电极化弛豫过程和漏电等原因在电介质内所损耗的能量。

1.4 工作原理

压电传感器信号经放大处理后,根据被检测物体的发生频率,经带通滤波器将干扰去掉,然后根据需要输出模拟量,或者与设定值比较后,输出开关量,工作原理示意图见图2。

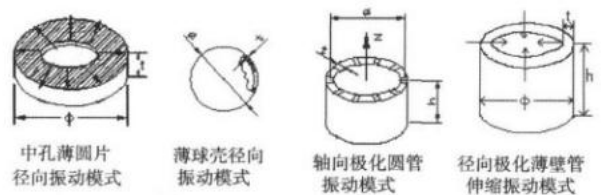


图2 工作原理示意图

收稿日期: 2011-09-13

作者简介: 王泽伟 (1972-),男,工程师,主要从事产品结构与开发工作。

2 影响压电传感器作用的主要因素

2.1 横向灵敏度

压电传感器在纵向(极化方向)和横向都有压电效应,横向压电效应与纵向压电效应的极性相反,故一个好的传感器,其横向灵敏度一般要小于纵向灵敏度的5%。在设计、加工和使用传感器时,应尽量让受力方向与极化方向一致,保证压电陶瓷的安装接触面有较高的平行度、平面度和较低的粗糙度,避免产生横向受力和变形;当不一致时,尽量让传感器受剪切应力,减少横向受力和变形。

2.2 谐振频率

压电传感器安装后的谐振频率不仅取决于压电陶瓷的固有参数,还与压电陶瓷的固定方式、基座的连接方式密切相关。固定方式的选择根据传感器承受驱动力大小和频率的要求而定。固定方式影响被测量的频率响应上限,增加弹性元件后,频率上限会下降;固定方式改变了传感器的弹性系数,影响传感器的频率响应特性。

2.3 噪声

压电陶瓷是高阻抗、小功率元件,极易受外界机械振动和静电的干扰,产生噪声。

2.3.1 环境振动噪声

因压电陶瓷的工作频率较宽,传感器工作环境中的声波、基座振动等机械干扰都能被压电陶瓷接收到,与真正的信号混合进入处理单元。为减弱这些干扰噪声,可以采取下列方法:通过带宽滤波器滤掉干扰产生的噪声;在传感器和基座之间加弹性元件,减弱基座振动的干扰。

2.3.2 电缆噪声

同轴电缆在振动或弯曲变形时电缆屏蔽层、绝缘层和芯线间将引起局部相对滑移摩擦和分离,而在分离层之间产生的静电感应电荷干扰也会混入信号中被放大。减小电缆噪声的方法如下:固定好传感器的引出电缆,防止电缆振动或者变形;选用低噪声同轴电缆。

2.4 环境温度

环境温度对传感器的影响主要表现在以下方面。

2.4.1 压电材料的特性参数

环境温度变化会使压电材料的压电常数、介电常数、电阻率、弹性系数等机电特性参数发生变化,压电常数和弹性系数的变化将影响传感器的灵敏度;介电常数和电阻率的变化会导致时间常数的变化,从而影

响传感器的低频响应。

2.4.2 居里温度

当压电陶瓷的工作温度接近或超过其居里温度(200℃~300℃)时,压电陶瓷会被去极化,失去压电效应,造成传感器永久损坏。一般压电传感器的安全工作温度处于0℃到1/2居里温度之间。

2.4.3 瞬变温度

除引起压电元件热释电效应外,还在传感器内部引起温度梯度,会产生热应力和寄生热电输出。故压电陶瓷传感器一般不用于温度变化幅度较大的工作环境,如确实需要,可以采用降温、冷却装置或者温度补偿的方式,减小温度变化对传感器的影响。

2.5 相对湿度

✓压电传感器工作在高湿或者水下环境中,未采取防水保护,吸潮后对压电陶瓷的介电常数、绝缘电阻、介电损耗产生影响。

①介电常数 ϵ 会降低。压电陶瓷的固有电容 $C = \epsilon S / (4\pi kd)$,因 ϵ 降低而降低,时间常数 $\tau = RC$ 也降低,造成传感器的信号衰减速度增快,压电陶瓷传感器在低频响应时变差,传感器的工作频率下限提高。

②绝缘电阻会明显下降。压电陶瓷变形后,产生的电荷会泄露,造成传感器低频响应时,因时间常数 τ 降低,信号衰减速度加快,响应特性变坏。

③介电损耗会增大。降低了机电耦合系数,降低了压电的转换效率,同时介电损耗转化成热能会使压电陶瓷发热,大功率条件下会损坏压电陶瓷,甚至使压电陶瓷去极化。

由于受上述因素的影响,在高湿度环境中压电式传感器响应特性会变差,甚至失效,所以必须选用高绝缘材料,并采取防水措施,避免压电陶瓷受潮。

3 防水措施

3.1 采用吸水率低的外壳

✓固态纯金属铁、铬、钨、铜、铝及常见的合金均不吸收水;常见的吸水率低的塑料有ABS、增强PC、氯化聚醚、聚四氟乙烯、聚苯醚、聚苯硫醚、酚醛塑料等;常见吸水率低的橡胶有乙丙橡胶、氟橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶、硅橡胶等。可以采用吸水率低的材料制造压电传感器的外壳或者护套,防止水分进入。

3.2 ✓外壳涂覆防水材料

在传感器的外壳表面采用电镀和喷涂工艺涂覆防水材料来提高其防水性能。电镀是在外壳表面镀一层

致密金属,如铬、铜、银、镍等,塑料也可以电镀,但考虑到成本和电镀后的性能,目前能进行电镀的塑料有ABS和ABS+PC;小型传感器的外壳常使用热塑性塑料经注射成型而成,不仅可以选择吸水率低的塑料,还能采取电镀来提高其防水性能。喷涂是在外壳表面喷涂吸水率低的材料来保护,例如铸铁表面热喷涂聚四氟乙烯树脂,既能提高铸铁抗腐蚀能力,又能防水。

3.3 灌注防水材料

灌注绝缘材料将压电陶瓷与水分隔离,以达到防水目的。灌注材料常见形态分为液态和固态,气态灌注材料因能量传递衰减太大的原因,不能使用。压电陶瓷被灌注胶固定在外壳内,灌注胶固化后外壳、压电陶瓷和灌注胶成为一个整体。这种防水方式要求灌注胶固化前流动性好,必要时可以通过加热灌注胶提高其流动性,避免出现气孔;大量灌注时,允许进行多次灌注,避免内外固化不一致形成空腔;灌注胶固化后其吸水率要低,介电强度和绝缘电阻要高。压电陶瓷也可以被浸泡在介电强度和绝缘电阻高的液体中(声纳传感器用蓖麻油),与水分隔开,避免压电陶瓷受潮。

3.4 保护同轴电缆

压电陶瓷通过同轴电缆从其电极上将信号引出到处理单元,当处理单元和压电陶瓷分开时,常用衰减小的同轴电缆连接。如果同轴电缆受潮,电缆绝缘层介电性能降低,漏电流加大,信号衰减增大,降低了压电陶瓷传感器的灵敏度。常见解决方法是给电缆充油、充气,采用多重护套防护等,避免电缆受潮。

3.5 新型压电材料

开发新型的防水压电材料。

4 湿纺亚麻细纱机断纱检测器的防水方案

亚麻纤维从粗纱被牵伸、加捻、卷绕成细纱时,采用独特的湿法纺纱工艺,以获得高密度的细纱。湿法纺纱细纱被拉断后,粗纱仍旧被罗拉持续牵引,缠绕在罗拉上,造成粗纱浪费,为此在湿纺亚麻细纱机上安装了断纱检测器。当细纱被拉断后,触发夹持器切断粗纱,避免粗纱继续被罗拉牵引,而留在罗拉部位的已断纱线被清洁黏辊带走(见图3)。断纱检测器采用压电陶瓷式传感器,传感器不仅要接触被浸湿的细纱,同时还受到清洁水雾的冲刷,周围环境相对湿度大。亚麻细纱机的细纱牵引速度比较低,为8~15 m/min,纱线产生的信号频率较低,如果压电陶瓷传感器受潮,压电

陶瓷的介电参数和绝缘电阻、同轴电缆的绝缘电阻会降低,频率响应特性会下降,甚至失效。采用多种防水措施,成功解决了该压电陶瓷传感器的防水难题,传感器能长期稳定工作在高湿环境中,也可以浸泡在水中。传感器的结构见图3。

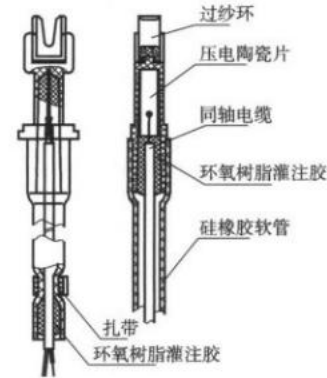


图3 传感器结构示意图

具体措施如下:①外壳采用吸水率低的ABS树脂材料,注射成型,选择电镀级的ABS树脂。

②外壳的外表面电镀一层致密的金属亮铬,厚度大于30 μm,电镀时保护内腔体表面,防止压电陶瓷的电极短路。利用纯金属铬致密的金属层将压电陶瓷与水分隔开。

③压电陶瓷被特殊的环氧灌注胶密封在外壳内。灌注胶的吸水率小于0.05%,介电强度大,绝缘电阻大于 $1.0 \times 10^{12} \Omega$,黏度小于2 000 mPa·s(40℃)。灌注时可以适当提高灌注胶和外壳的温度,提高灌注胶的流动性,避免固化后在内部形成气泡,影响传感器的响应特性。

④传感器的传输同轴电缆采用双重护套的方式防护。同轴电缆的护套采用吸水率低的材料,在电缆的外侧又套了一层硅橡胶软管,一端紧套在外壳上,另一端用灌注胶密封。硅橡胶不仅吸水率低,而且具有耐高低温、耐臭氧、电气绝缘性能好、压缩变形率低等优点,非常适合做电缆护套。

5 结语

随着电子技术、信号处理技术、雷达技术、信息论的发展和新型压电材料、电子计算机的应用,压电技术在各个领域得到广泛的运用。高湿环境和水下工作的压电陶瓷传感器可以通过一系列措施解决防水问题。只有在防水问题解决后,压电陶瓷传感器的优点才可以最大限度地发挥出来。

CSST

☞ (下转第64页)

$$P/P_0 = (n/n_0)^3 \quad \text{③)}$$

式中： n_0 ——基准（额定）转速；

n ——运行转速；

Q_0 —— n_0 时的流量；

H_0 —— n_0 时的扬程；

H —— n 时的扬程；

P_0 —— n_0 时的功率；

P —— n 时的功率。

但是，对于实际的泵负载，通常存在一个与高低差有关的实际扬程，在进行变频调速运行时必须注意。

①)使用变频器以后，水泵电动机工作电流从30A下降到15~25A，电动机温升明显下降，同时减少了机械磨损，维修工作也大大减少。

②)保护功能可靠，可实现循环变频电动机软启动，具有短路保护、过流保护功能，工作稳定可靠，大大延长了水泵电动机设备的使用寿命，确保安全生产。

③)节能效果明显，以一台10 kW的电动机为例，一年可节电2.5万kW·h，节省电费以0.6元/kW·h计，可达1.5万元。

④)按每人每月生活用水3 m³，其中50%的生活用水可以循环利用计算，每人每年可节约用水18 m³。

3 工作原理及性能分析

地下水节能汲取系统管网上装设压力传感器，随时检测压力的变化，并将检测到的模拟信号送入汲水系统，与给定压力比较、处理。当管网中用水量大、管网压力降低时，水压信号传给控制器，变频器立即将频率提高，潜水泵电动机转速加快，水泵流量增大，管网中压力随即升高；用水量较小时电动机低速运转，水泵流量较小；当管网中没有用水或者用水量很小时，管网中水的压力没有变换或者变化较小时，变频电动机停止运转。也就是说系统能根据管网中用水量的大小，变频电动机自动调节转速高低，控制水泵流量大小，以节约电能。

废水循环利用系统主要增加了一个废水接收装

置，废水接收装置纵、横断面剖视图分别见图2、3。

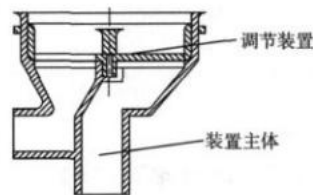


图2 废水接收装置纵剖视图

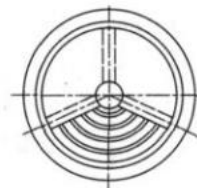


图3 废水接收装置横剖视图

废水接收装置主要由两部分组成，主体部分有两个出水口：一个出水口接废水储水箱，用于储存污染较轻的生活用水，然后接入到冲厕系统；另一个出水口是污染较重的生活用水的出口，废水经该接口流到企业污水处理系统，经处理后流入下水道。废水接收装置的调节装置根据废水污染程度，可以人工旋转，使生活用水流向不同的接口。这样，污染较轻的生活用水可以进行二次应用，从而达到节水的目的。

4 结语

在汲水系统中采用变频调速技术，系统可根据实际设定水压自动调节水泵电动机的转速，使供水管网中压力保持在给定值，并最大限度地节约能源，并且该系统的运行状态可靠，可以节约电能，具有很好的推广应用价值。将废水进行分类，污染较轻的水进行二次应用，可节省水资源。



参考文献：

- [1] 朱开球. 自来水厂变频节能改造分析 [J]. 现代商贸工业, 2009 (23): 277-278.
- [2] 王荣, 刘秀东. 供暖热网变频补水控制系统的应用 [J]. 民营科技, 2010 (2): 17.
- [3] 韩卫杰. PLC和变频器在城市小区恒压供水中的应用 [J]. 科学之友, 2008, (10 (60)): 18-19.

（上接第59页）

参考文献：

- [1] 张福学. 现代压电学上册 [M]. 北京：科学出版社，2001.
- [2] 张福学. 现代压电学下册 [M]. 北京：科学出版社，2002.
- [3] 张福学. 现代压电学下册 [M]. 北京：科学出版社，2002.
- [4] 张传忠. 压电陶瓷的新应用与新工艺 [M]. 北京：国防工业出版

社，2000.

- [5] 张沛霖, 张仲渊. 压电测量 [M]. 北京：国防工业出版社，1983.
- [6] 林声和, 王裕斌. 压电陶瓷 [M]. 北京：国防工业出版社，1980.
- [7] 栾桂冬, 张金铎, 王仁乾. 压电换能器和换能器阵（修订版） [M]. 北京：北京大学出版社，2005.