



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108387611 B

(45)授权公告日 2020.04.07

(21)申请号 201810094302.8

审查员 于晓琳

(22)申请日 2018.01.31

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108387611 A

(43)申请公布日 2018.08.10

(73)专利权人 济南大学

地址 250022 山东省济南市市中区南辛庄
西路336号

(72)发明人 徐东宇 耿波 伊善玲 程新

(74)专利代理机构 济南泉城专利商标事务所

37218

代理人 贾波

(51)Int.Cl.

G01N 27/00(2006.01)

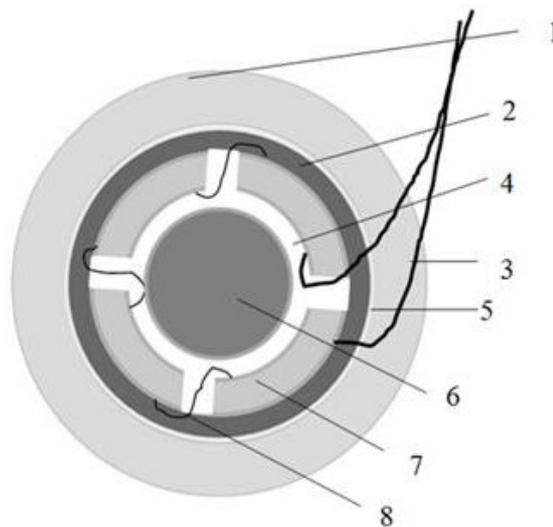
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种监测钢筋锈蚀的环形传感器及其制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种监测钢筋锈蚀的环形传感器及其制备方法,该传感器包括环形压电元件和匹配层,所述环形压电元件由至少两个弧形块组成,所述弧形块内外表面均设有电极,各弧形块通过电极引线依次串联;所述匹配层位于环形压电元件内表面并延伸到各弧形块之间将它们粘合成环。本发明传感器结构新颖、制备方便、生产成本低、阻抗值大、抗干扰能力强、信噪比大、使用寿命长,可以直接套在钢筋表面进行使用,与钢筋接触面积大,安装简便,性能稳定,可长久埋于混凝土内不会发生脱落、形变,适合各种类型的钢筋,尤其是可对较长钢筋进行长期时时锈蚀监测,应用前景广阔。



1. 一种监测钢筋锈蚀的环形传感器,包括环形压电元件和匹配层,其特征是:所述环形压电元件由至少两个弧形块组成,所述弧形块内外表面均设有电极,各弧形块通过电极引线依次串联;所述匹配层位于环形压电元件内表面并延伸到各弧形块之间将它们粘合成环;环形压电元件的外表面设有绝缘层,绝缘层外表面为电磁屏蔽层,电磁屏蔽层外表面为封装层。

2. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:弧形块的个数为 n , n 为2-6的整数。

3. 根据权利要求2所述的环形传感器,其特征是: $n=4-6$ 。

4. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:所述环形压电元件的正极和负极均不连续;所述电极为烧银电极。

5. 根据权利要求1-4中任一项所述的环形传感器,其特征是:从第一个弧形块未连接电极引线的电极上和第 n 个弧形块未连接电极引线的电极上引出正电极线和负电极线;所述正电极线和负电极线分别与屏蔽线相连。

6. 根据权利要求1或2所述的环形传感器,其特征是:各弧形块之间的间隔为2-5mm;各弧形块大小、形状相同,弧形块截面为扇形。

7. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:所述环形压电元件的极化方向沿内径方向;所述环形压电元件的长度不低于12mm。

8. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:在环形压电元件内表面的匹配层为环形;匹配层内表面的直径大于钢筋直径。

9. 根据权利要求8所述的环形传感器,其特征是:匹配层环形部分的厚度为0.8-1.5mm。

10. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:所述弧形块的材质为压电陶瓷或压电复合材料;所述匹配层为环氧树脂与水泥的混合物。

11. 根据权利要求10所述的环形传感器,其特征是:所述匹配层为质量比为1:1-1.5的环氧树脂与水泥的混合物。

12. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:绝缘层、电磁屏蔽层和封装层均为与环形压电元件同轴的环形。

13. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:绝缘层为硅胶与水泥的混合物。

14. 根据权利要求13所述的环形传感器,其特征是:绝缘层中,硅胶与水泥的质量比为1:0.5。

15. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:所述电磁屏蔽层为铜或铁。

16. 根据权利要求15所述的环形传感器,其特征是:所述电磁屏蔽层为铜网。

17. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:所述封装层为环氧树脂、水泥和钨粉的混合物。

18. 根据权利要求17所述的环形传感器,其特征是:封装层中,环氧树脂、水泥和钨粉的质量比为1:1-2:0.3-0.6。

19. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:所述绝缘层的厚度为0.4-0.6mm。

20. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:所述电磁屏蔽层的厚度为0.2-0.4mm。

21. 根据权利要求1所述的环形传感器,其特征是:所述封装层的厚度为5-6mm。

22. 一种监测钢筋锈蚀的环形传感器的制备方法,其特征是包括以下步骤:

(1) 取一内外表面带电极的环形压电陶瓷,将其沿高度方向进行切割,得到多个相同的弧形块;

(2) 取 n 个弧形块,将各弧形块摆成环形,从第一个弧形块开始至第 n 个弧形块为止各相邻弧形块依次用电极引线进行串联连接,最后从第一个弧形块和第 n 个弧形块未连接电极引线的电极上分别引出正电极线和负电极线,将正电极线和负电极线分别与双绞屏蔽线相连;

(3) 在各弧形块的间隔和内表面浇注匹配层,使各弧形块粘结形成环形压电元件;

(4) 在环形压电元件外表面粘贴环形绝缘层,在环形绝缘层表面包覆环形电磁屏蔽层,在环形电磁屏蔽层外表面浇注环形封装层,得监测钢筋锈蚀的环形传感器。

一种监测钢筋锈蚀的环形传感器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于监测钢筋锈蚀的传感器,具体涉及一种使用方便、灵敏度高的监测钢筋锈蚀的环形传感器及其制备方法,属于混凝土结构无损监测技术领域。

背景技术

[0002] 对混凝土结构中钢筋锈蚀的正确监测和评价可以对构件的安全剩余使用寿命提供十分重要的数据和建议。超声监测技术具有定位准确,监测成本低,使用方便等特点,近几年被广泛应用于无损监测技术领域。超声波在物体中传播时,遇到不同介质界面将发生反射、折射及绕射等现象,其接收波波形、主频以及声速等声学参数会发生变化。在钢筋锈蚀过程中,随着锈蚀产物的产生以及增多,混凝土内部结构发生变化,通过对比测量钢筋锈蚀后超声波的声学参数与未锈蚀时的声学参数,既可以实现钢筋锈蚀监测。

[0003] 目前,市面上没有专门应用于监测钢筋锈蚀的超声传感器,某些科研机构制作的应用于监测钢筋锈蚀的超声传感器一类是直接贴在钢筋表面,这类传感器与钢筋的接触面积小,灵敏度低,容易脱落,而且受锈蚀方位影响大。哈尔滨工业大学蒋恒强发表了名为“钢筋锈蚀的主动波动监测方法研究”的硕士学位论文,该文章通过在钢筋表面粘贴压电陶瓷片的方法探讨了钢筋锈蚀问题,但其没有解决传感器安装牢固程度以及安装角度位置、传感器信噪比的问题。

[0004] 另一类传感器则是直接贴在钢筋的端部(截面处),此类传感器虽然有较好的使用性能,但其只能应用在长度较短的钢筋上,如若钢筋长度增加,传感器就会接收不到超声信号。大连理工大学元军会在硕士学位论文“钢筋腐蚀损伤超声导波检测技术”以及济南大学仲倩倩在“基于压电传感器的钢筋锈蚀超声监测研究”中都采用传感器安装在钢筋截面处的方式,他们都没有对监测距离以及传感器接收的各类波做详细解释。

[0005] 因此,发明一种可以与钢筋接触面积大、灵敏度高、安装方便、不易脱落、又可对较长钢筋进行锈蚀监测的超声传感器具有重要意义。

发明内容

[0006] 针对现有技术中存在的不足,本发明提供了一种监测钢筋锈蚀的环形传感器,该环形传感器可以直接套在钢筋上使用,与钢筋接触面积大,安装简便,性能稳定,可长久埋于混凝土内不会发生脱落、灵敏度高,生产成本低,又可对较长钢筋进行锈蚀监测,具有很好的应用前景。

[0007] 本发明还公开了上述监测钢筋锈蚀的环形传感器的制备方法,本发明方法操作简单、易于实施,便于工业化生产。

[0008] 本发明具体技术方案如下:

[0009] 一种监测钢筋锈蚀的环形传感器,包括环形压电组件和匹配层,所述环形压电元件由至少两个弧形块组成,所述弧形块内外表面均设有电极,各弧形块通过电极引线依次串联;所述匹配层位于环形压电元件内表面并延伸到各弧形块之间将它们粘合成环。

[0010] 进一步的,本发明弧形块的个数对阻抗性能有影响,所述弧形块的个数记为 n , n 为2-6的整数,例如2个、3个、4个、5个、6个,优选为4-6个。

[0011] 进一步的,本发明环形传感器的环形压电组件由多个弧形块粘合而成,弧形块自身内表面和外表面带有电极,而粘合的匹配层处不带有电极,因此所述环形压电组件的正极和负极均是不连续的。弧形块上的电极可以是现有技术中公开的常用电极,例如烧银电极。

[0012] 进一步的,本发明上述弧形块大小、形状相同,截面为扇形。弧形块的内表面为正极时外表面为负极,内表面为负极时外表面为正极。各弧形块之间的间隔为2mm-5mm。

[0013] 进一步的,本发明通过将压电元件拼合、将弧形块电极串联连接的方式提高了传感器的灵敏度,各弧形块依次串联连接。研究发现当采用完整的压电元件、连续的压电元件电极或者弧形块并联连接的方式时,所得传感器的抗干扰能力差,灵敏度低,影响使用。本发明将完整的压电元件拆分成多个相同的弧形块,彼此之间通过匹配层粘结,然后将各弧形块通过电极引线串联连接,各弧形块沿着圆环的方向顺序编号,分别为1、2、…… n 。当 $n=2$ 时,将第一弧形块和第二弧形块通过电极引线串联,然后从第一弧形块和第二弧形块未连接电极引线的电极上分别引出正电极线和负电极线。当 $n>2$ 时,第一个弧形块和第 n 个弧形块相邻但彼此不通过电极引线连接,其他弧形块依次串联,即弧形块的正极与相邻弧形块的负极连接,弧形块的负极与相邻弧形块的正极连接,依次串联,例如,第一个弧形块的正极与第二个弧形块的负极相连,第二个弧形块的正极与第三个弧形块的负极相连,以此类推,第 $n-1$ 个弧形块的正极与第 n 个弧形块的负极相连,然后从第一个弧形块的负极和第 n 个弧形块的正极引出正电极线和负电极线。

[0014] 进一步的,本发明上述环形传感器中,从第一个弧形块未连接电极引线的电极上和第 n 个弧形块未连接电极引线的电极上引出正电极线和负电极线。

[0015] 进一步的,本发明所述环形压电元件的极化方向沿内径方向。环形压电元件的长度不低于12mm。

[0016] 进一步的,在环形压电元件内表面的匹配层为环形,匹配层环形部分的厚度为0.8-1.5mm。因为该传感器要套在钢筋表面使用,所以匹配层内环的直径要大于钢筋直径,以使传感器能顺利套在钢筋上。

[0017] 进一步的,环形压电元件上的正电极线和负电极线与屏蔽线相连。所述屏蔽线优选为抗干扰能力强的双绞屏蔽线。

[0018] 进一步的,所述弧形块的材质为压电陶瓷或压电复合材料。所述匹配层为环氧树脂与水泥的混合物,优选的,环氧树脂与水泥的质量比为1:1-1.5。其中,环氧树脂粘度不宜大于100cP,以便于搅拌和浇注。

[0019] 进一步的,所述环形传感器还包括绝缘层、电磁屏蔽层和封装层。所述环形压电元件的外表面设有绝缘层,绝缘层外表面为电磁屏蔽层,电磁屏蔽层外表面为封装层,绝缘层、电磁屏蔽层和封装层均为与环形压电元件同轴的环形。

[0020] 进一步的,所述环形传感器的顶面和底面也被封装层封装,即环形传感器的内侧面为匹配层,外侧面、顶面和底面为封装层。

[0021] 进一步的,所述绝缘层为硅胶与水泥的混合物,硅胶与水泥的质量比优选为1:0.5,该绝缘层不仅绝缘还能吸声。所述电磁屏蔽层可选择铜、铁或其他铁磁材料,例如铜

网、铁片,优选为100目以上的铜网。所述封装层为环氧树脂、水泥和钨粉的混合物,环氧树脂、水泥和钨粉的质量比优选为1:1-2:0.3-0.6。

[0022] 进一步的,所述绝缘层的厚度为0.4-0.6mm左右;电磁屏蔽层的厚度为0.2-0.4mm;封装层的厚度为5-6mm。

[0023] 本发明还提供了上述监测钢筋锈蚀的环形传感器的制备方法,该方法包括以下步骤:

[0024] (1)取一内外表面带电极的环形压电陶瓷,将其沿高度方向进行切割,得到多个相同的弧形块;

[0025] (2)取n个弧形块,将各弧形块摆成环形,从第一个弧形块开始至第n个弧形块为止各相邻弧形块依次用电极引线进行串联连接,最后从第一个弧形块和第n个弧形块未连接电极引线的电极上分别引出正电极线和负电极线,将正负电极线与屏蔽线相连;

[0026] (3)在各弧形块的间隔和内表面浇注匹配层,使各弧形块粘结形成环形压电元件;

[0027] (4)在环形压电元件外表面粘贴环形绝缘层,在环形绝缘层表面包覆环形电磁屏蔽层,在环形电磁屏蔽层外表面浇注环形封装层,得监测钢筋锈蚀的环形传感器。

[0028] 本发明提供了一种环形超声传感器,该传感器结构新颖、制备方便、生产成本低、阻抗值大、抗干扰能力强、信噪比大、使用寿命长,可以直接套在钢筋表面进行使用,与钢筋接触面积大,安装简便,性能稳定,可长久埋于混凝土内不会发生脱落、形变,适合各种类型的钢筋,尤其是可对较长钢筋进行长期时时锈蚀监测,应用前景广阔。

附图说明

[0029] 图1为本发明监测钢筋锈蚀的环形传感器的结构示意图,其中,1、封装层;2、绝缘层;3、屏蔽线;4、匹配层;5、电磁屏蔽层;6、钢筋;7、弧形块;8、电极引线。

[0030] 图2为本发明弧形块为2块时的串联连接方式的结构示意图,其中,3、屏蔽线,7、弧形块;8、电极引线。

[0031] 图3为本发明监测钢筋锈蚀的环形传感器的使用示意图,其中,9、本发明监测钢筋锈蚀的环形传感器;6、钢筋;3、屏蔽线。

[0032] 图4为对比例2弧形块并联连接方式的结构示意图,其中,3、屏蔽线,7、弧形块;8、电极引线。

[0033] 图5为对比例1环形传感器的频率阻抗谱图;

[0034] 图6为实施例1环形传感器的频率阻抗谱图;

[0035] 图7为对比例2环形传感器的频率阻抗谱图;

[0036] 图8为实施例1、对比例1和对比例2的环形传感器接收超声信号的时域图。

[0037] 图9为本发明监测钢筋锈蚀的环形传感器接收超声信号的时域图。

具体实施方式

[0038] 下面结合具体实施例和附图对本发明进行进一步说明和阐述,以便本领域技术人员更好的理解本发明。但下述实施例仅为示例性,并不对其保护范围进行限定。

[0039] 实施例1

[0040] 图1示出了本发明监测钢筋锈蚀的环形传感器的结构示意图。本发明环形传感器

包括环形压电元件、匹配层4、绝缘层2、电磁屏蔽层5和封装层1。其中,环形压电元件由n个弧形块7组成,各弧形块之间存在间隔,间隔距离为2-5mm,弧形块间隔之间填充匹配层,各弧形块通过匹配层粘合在一起形成环形压电元件。如图所示,电极仅存在于弧形块上,整个环形压电元件的正极和负极因为弧形块的间隔而呈不连续状态。此外,在环形压电元件的内表面也设有匹配层,该匹配层为环形,该环形匹配层的内环直径要大于钢筋直径,以使传感器能顺利套在钢筋上。

[0041] 进一步的,弧形块的个数大于1,可以为2块、3块、4块、5块、6块。所述弧形块内外表面均设有电极,按照圆周方向将弧形块从1至n进行编号,各弧形块的电极通过电极引线依次串联。图1为n=4的情况,弧形块依次串联,方式可以为:第一个弧形块的正极与第二个弧形块的负极通过电极引线相连,第二个弧形块的正极与第三个弧形块的负极通过电极引线相连,以此类推,第n-1个弧形块的正极与第n个弧形块的负极通过电极引线相连,最后从第一个弧形块的负极和第n个弧形块的正极引出正电极线和负电极线,正负电极线与屏蔽线3的两根导线相连。所述屏蔽线优选为双绞屏蔽线。图2为n=2的情况,由两块弧形块形成环形压电元件,其中这两块弧形块通过电极引线串联,然后从这两块弧形块上引出正负电极线,与屏蔽线的两根导线相连。

[0042] 进一步的,每个弧形块大小、形状相同,横截面为扇形,长度不低于12mm。弧形块的内外表面设有电极。所述电极为烧银电极或其他可用于传感器的电极。所述弧形块的材质为纯的压电陶瓷或压电复合材料,所述压电复合材料可以是水泥/压电陶瓷复合材料、聚合物/压电陶瓷复合材料或水泥/聚合物/压电陶瓷复合材料。弧形块形成的环形压电元件的极化方向沿内径方向。

[0043] 进一步的,所述匹配层为环氧树脂与水泥的混合物,优选为质量比为1:1-1.5的环氧树脂与水泥的混合物。匹配层环形部分的厚度为0.8-1.5mm。

[0044] 进一步的,环形压电元件的外表面为绝缘层,绝缘层外表面为电磁屏蔽层,电磁屏蔽层外表面为封装层,绝缘层、电磁屏蔽层和封装层均为与环形压电元件同轴的环形。

[0045] 进一步的,所述绝缘层的厚度为0.4-0.6mm;绝缘层为硅胶与水泥的混合物,硅胶与水泥的质量比优选为1:0.5。所述电磁屏蔽层的厚度为0.2-0.4mm;电磁屏蔽层可选择铜、铁或其他铁磁材料,例如铜网、铁片,优选为100目以上的铜网。所述封装层的厚度为5-6mm;封装层为环氧树脂、水泥和钨粉的混合物,环氧树脂、水泥和钨粉的质量比优选为1:1-2:0.3-0.6。

[0046] 上述所示结构的环形传感器的制备方法如下:

[0047] (1)取一沿径向极化的、内外表面带电极的环形压电陶瓷或环形压电复合材料,将其沿高度方向进行均分切割,得到多个相同的弧形块;

[0048] (2)取n个弧形块,将各弧形块摆成环形,沿圆周方向从第一个弧形块开始至第n个弧形块为止各相邻弧形块依次用电极引线进行串联连接,最后从第一个弧形块和第n个弧形块未连接电极引线的电极上分别引出正电极线和负电极线,将正负电极线与屏蔽线相连;

[0049] (3)在各弧形块的间隔和内表面浇注匹配层,使各弧形块粘结形成环形压电元件;

[0050] (4)在环形压电元件外表面粘贴环形绝缘层,在环形绝缘层表面包覆环形电磁屏蔽层,在环形电磁屏蔽层外表面浇注环形封装层,得监测钢筋锈蚀的环形传感器。

[0051] 该环形传感器在使用使直接套在钢筋表面即可,如图3所示。

[0052] 实施例2

[0053] 环形传感器结构如实施例1所示,其中弧形块材质为压电陶瓷PZT-5,长度为12mm,块数为4块;各弧形块之间的间隔为3mm;环形匹配层的厚度为1mm,由质量比为1:1的环氧树脂(粘度小于100cP)与硅酸盐水泥的混合物制成;绝缘层的厚度为0.5mm,由质量比为1:0.5的硅胶与硅酸盐水泥的混合物制成;电磁屏蔽层的厚度为0.3mm,由100目的铜网叠加而成;封装层的厚度为5mm,由质量比为1:1:0.5的环氧树脂、硅酸盐水泥和钨粉制成。

[0054] 传感器制备方法如下:

[0055] (1)PZT-5压电陶瓷环采用切割机沿着高度方向均匀切割为六份,切割旋转角度为 60° ,得到6块相同的弧形块。

[0056] (2)取4块切割好的弧形块,按照图1的串联方式焊接电极引线(锡焊),焊接点直径大小控制在1mm以下,最后从第一弧形块和第4弧形块上引出正负电极线,正负电极线分别接双绞屏蔽线的两根导线,外网屏蔽线暂留几根。

[0057] (3)使用双面胶带将焊接后的陶瓷块按照环形样子,粘贴在环形的纸环内侧,将粘有脱模剂的光滑聚四氟乙烯棒(直径与钢筋相同)插在中间,棒表面与陶瓷块的距离控制在1mm。

[0058] (4)用200目筛子将硅酸盐水泥过筛,去除大颗粒,按照环氧树脂:硅酸盐水泥=1:1的质量比充分混合,搅拌均匀后抽真空10min。

[0059] (5)将抽真空处理的上述步骤(4)的混合物沿着棒的面,倒入模具内,使混合物填入弧形块间隔和弧形块内侧,尽量不要一次性倒完,要保证匀速没有气泡产生。随后室温固化24h(冬天需要时间更长一些),不宜加热。

[0060] (6)固化完成,去掉模具,多余聚合物切除。将硅胶与水泥按照1:0.5的质量比混合,所得混合物均匀涂在环形压电元件外表面,保持厚度均匀为0.5mm左右;固化后,绝缘层处理完成。

[0061] (7)按照外环尺寸,裁剪铜网,铜网裹在外环,做到密实不留空隙;将双绞屏蔽线预留的外网屏蔽线焊接在铜网表面。

[0062] (8)最后,将样品放入环形模具内,将环氧树脂、硅酸盐水泥、钨粉按照1:1:0.5的质量比混合均匀,搅拌抽真空10min,均匀缓慢倒入模具中,固化24h,得封装层。

[0063] (9)脱模,打磨抛光表面。

[0064] 实施例3

[0065] 环形传感器结构如实施例2所示,不同的是,弧形块个数为3块。其中弧形块材质为压电陶瓷PZT-5,长度为12mm,块数为3块;环形匹配层的厚度为1mm,由质量比为1:1的环氧树脂(粘度小于100cP)与硅酸盐水泥的混合物制成;绝缘层的厚度为0.5mm,由质量比为1:0.5的硅胶与硅酸盐水泥的混合物制成;电磁屏蔽层的厚度为0.3mm,由100目的铜网叠加而成;封装层的厚度为5mm,由质量比为1:1:0.5的环氧树脂、硅酸盐水泥和钨粉制成。具体制备过程如实施例2中所述。

[0066] 实施例4

[0067] 环形传感器结构如实施例2所示,不同的是,弧形块个数为5块。其中弧形块材质为压电陶瓷PZT-5,长度为12mm,块数为5块;环形匹配层的厚度为1mm,由质量比为1:1的环氧

树脂(粘度小于100cP)与硅酸盐水泥的混合物制成;绝缘层的厚度为0.5mm,由质量比为1:0.5的硅胶与硅酸盐水泥的混合物制成;电磁屏蔽层的厚度为0.3mm,由100目的铜网叠加而成;封装层的厚度为5mm,由质量比为1:1:0.5的环氧树脂、硅酸盐水泥和钨粉制成。具体制备过程如实施例2中所述。

[0068] 实施例5

[0069] 环形传感器结构如实施例2所示,不同的是,弧形块个数为4块。其中弧形块材质为1-3型水泥基压电复合材料,长度为12mm,块数为4块;各弧形块之间的间隔为2mm;环形匹配层的厚度为1mm,由质量比为1:1.5的环氧树脂(粘度小于100cP)与硅酸盐水泥的混合物制成;绝缘层的厚度为0.5mm,由质量比为1:0.5的硅胶与硅酸盐水泥的混合物制成;电磁屏蔽层的厚度为0.3mm,由100目的铜网叠加而成;封装层的厚度为5mm,由质量比为1:2:0.3的环氧树脂、硅酸盐水泥和钨粉制成。制备方法同实施例2。

[0070] 对比例1

[0071] 环形传感器的结构和制备方法同实施例2,不同的是:环形压电元件为完整的压电陶瓷环,压电陶瓷环内外表面设有连续的电极。所述压电陶瓷环为压电陶瓷PZT-5,长度为12mm;环形匹配层的厚度为1mm,由质量比为1:1的环氧树脂(粘度小于100cP)与硅酸盐水泥的混合物制成;绝缘层的厚度为0.5mm,由质量比为1:0.5的硅胶与硅酸盐水泥的混合物制成;电磁屏蔽层的厚度为0.3mm,由100目的铜网叠加而成;封装层的厚度为5mm,由质量比为1:1:0.5的环氧树脂、硅酸盐水泥和钨粉制成。

[0072] 对比例2

[0073] 环形传感器的结构和制备方法同实施例2,不同的是:各弧形块按照并联方式通过电极引线连接,弧形块连接方式如图4所示。弧形块材质为压电陶瓷PZT-5,长度为12mm,块数为4块;各弧形块之间的间隔为3mm;环形匹配层的厚度为1mm,由质量比为1:1的环氧树脂(粘度小于100cP)与硅酸盐水泥的混合物制成;绝缘层的厚度为0.5mm,由质量比为1:0.5的硅胶与硅酸盐水泥的混合物制成;电磁屏蔽层的厚度为0.3mm,由100目的铜网叠加而成;封装层的厚度为5mm,由质量比为1:1:0.5的环氧树脂、硅酸盐水泥和钨粉制成。

[0074] 应用例1

[0075] 以实施例2和对比例1、2的环形传感器为例,采用安捷伦4294A阻抗分析仪对各传感器的阻抗性能进行测试,结果如图5-7所示。从图5-7的对比可以看出,实施例1和对比例1、2的传感器相比,谐振峰个数减少变得单一。实施例1的传感器和对比例1、2的传感器相比谐振峰频减小。实施例1的传感器谐振峰处阻抗最大。

[0076] 从图6可以看出,实施例1的传感器谐振峰频率在100kHz左右,说明传感器最佳工作频率在100kHz,与对比例1相比谐振频率减小。实施例1谐振峰单一,说明压电元件振动模式单一,此时受其他频率的波的干扰就小。

[0077] 采用信号发生器与示波器进行信噪比的测试。方法为:将实施例1和对比例1的传感器分别直接与发射换能器对接,使用凡士林做耦合剂,发射换能器激发声波频率为100kHz,幅值8V的方波,经过对时域波形图的对比计算得到如下表1所示的数据。

表 1

[0078]

类型	信号有效值 /V	噪声有效值 /10 ⁻³ V	衰减时间 /us	灵敏度 /dB	信噪比 /dB
对比例 1	2.32	4.92	197.37	-10.75	53.47
实施例 1	2.78	1.29	159.02	-9.18	66.67

[0079] 从上表数据可以看出,实施例1的串联传感器信号有效值要大于对比例1的环传感器,这与串联阻抗值增加有关;从灵敏度值来看,实施例1的串联传感器灵敏度要高;从信噪比看,实施例1的串联传感器信噪比提升,信噪比能达到66.67dB,这远远超过传感器信噪比需大于18dB的应用标准。

[0080] 应用例2

[0081] 以实施例1和对比例1、2的环形传感器为例,对传感器的接收性能进行测试。方法为:将实施例1和对比例1、2的环形传感器分别套在三根相同钢筋的一端,使用环氧树脂粘贴,钢筋长度为15cm,直径12mm。采用电化学工作站对钢筋加速锈蚀,锈蚀量根据电荷平衡计算,施加113mA直流电,通电21h,锈蚀量2%,继续通电31.5h,锈蚀量5%。

[0082] 信号发生器在钢筋另一端部激励100kHz,电压8V的方波,示波器接收环形传感器接收到的信号,结果如图8所示。从图8可以看出,随着锈蚀量增加,超声波峰幅值逐渐减小,这是因为钢筋锈蚀后,对声波的阻碍作用增加。相同锈蚀量下,串联传感器(实施例1)接收到的超声波幅值最大,这与其阻抗值增加有关。随着锈蚀量的增加,环传感器(对比例1)与并联传感器(对比例2)波形均发生偏移,环传感器(对比例1)偏移量最大,继续锈蚀将监测不到超声波,不再符合使用要求,而实施例1的串联传感器波形基本无偏移,可满足使用要求。

[0083] 应用例3

[0084] 以实施例1的传感器为例,对传感器进行实际应用测试。方法为:将实施例1的传感器套在钢筋一端,使用环氧树脂粘贴,钢筋长度为1m,直径12mm。采用电化学工作站对钢筋加速锈蚀,模拟钢筋自然状态下的锈蚀。锈蚀量根据电荷平衡计算,施加754mA直流电,通电10.5h,锈蚀量1%,继续通电21h,锈蚀量3%;继续通电31.5h,锈蚀量5%;继续通电21h,锈蚀量7%。

[0085] 信号发生器在钢筋另一端部激励100kHz的方波,示波器接收传感器接收到的信号,结果如图9所示。随着锈蚀量增加,超声波主波峰值降低,波形变化不明显,纵波(L)以及弯曲波(F)的端面回波逐渐消失,没有复杂的端面回波。经过计算,可以得到不同锈蚀量下纵波(L)以及弯曲波(F)的波速变化情况,如下表2所示。

表 2

锈蚀量 /%	F 波速 /(m·s ⁻¹)	L 波速 /(m·s ⁻¹)	F 波幅值 /mV	L 波幅值 /mV	F 波端面回波幅值 /mV	钢筋直径 /mm
1	5291.2	3265.1	530.4	132.9	116.6	11.8
3	5286.0	3257.3	508.8	97.6	107.3	11.5
5	5235.6	3249.1	474.4	82.5	92.3	11.3
7	5230.3	3231.8	429.6	79.8	77.2	11.0

[0086]

[0087] 从表2可以看出,随着锈蚀量增加,纵波(L)以及弯曲波(F)这两类波的波速有所减小,幅值以及钢筋直径减小。均匀锈蚀之所以没有复杂的端面回波,主要是由于均匀锈蚀下,钢筋表面电离的Fe²⁺离子随着盐溶液的离子运动而离开钢筋表面,这可以从钢筋的直径的变化得出;铁离子没有在钢筋表面过多的附着,内层钢筋表面处于无损伤状态,因此超声波能够继续沿着钢筋以及内表面传播,从而没有复杂的端面回波。在实际应用中,完全可以根据声波变化的特性,判断钢筋锈蚀情况,该传感器能够有效监测钢筋在不同锈蚀质量损失下的状况,检测结果准确性高,具有实际应用价值。

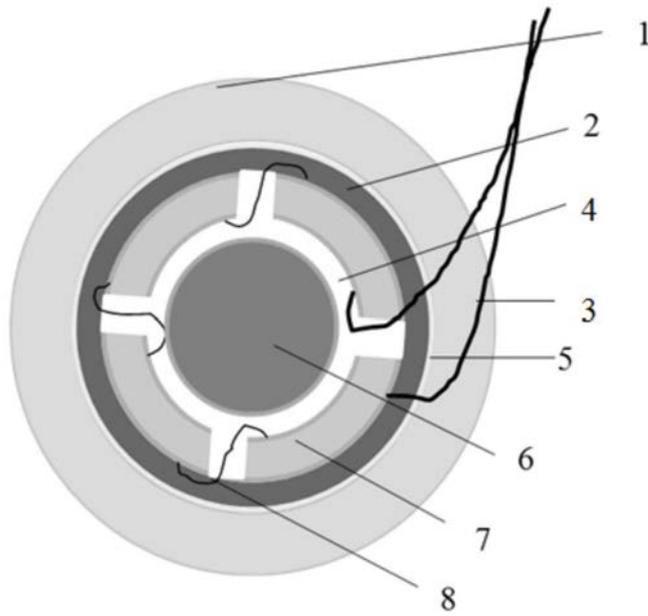


图1

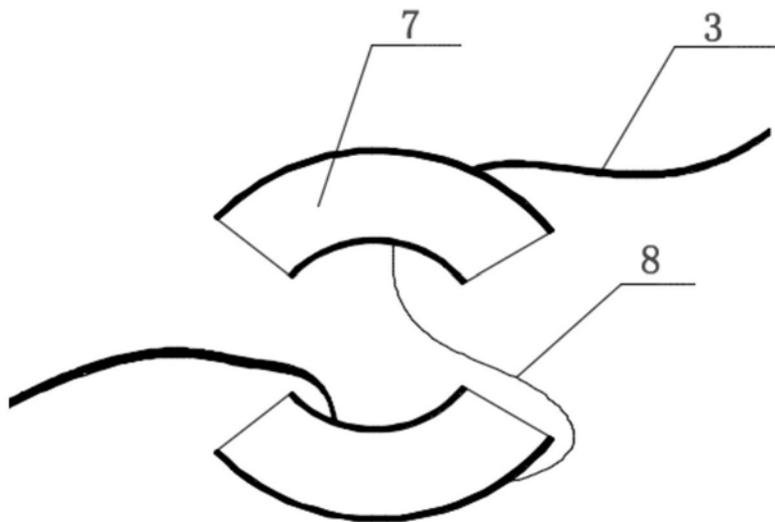


图2

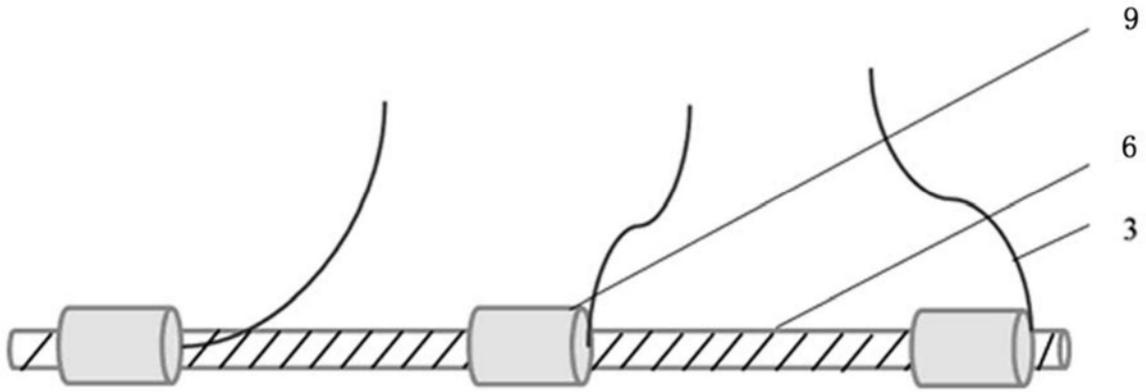


图3

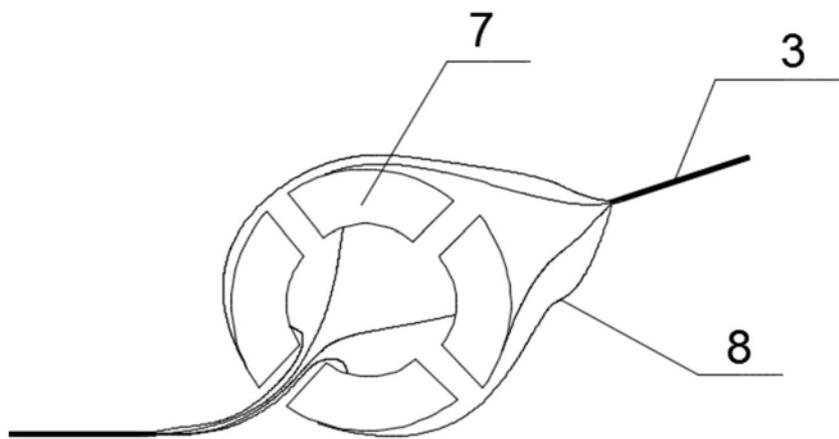


图4

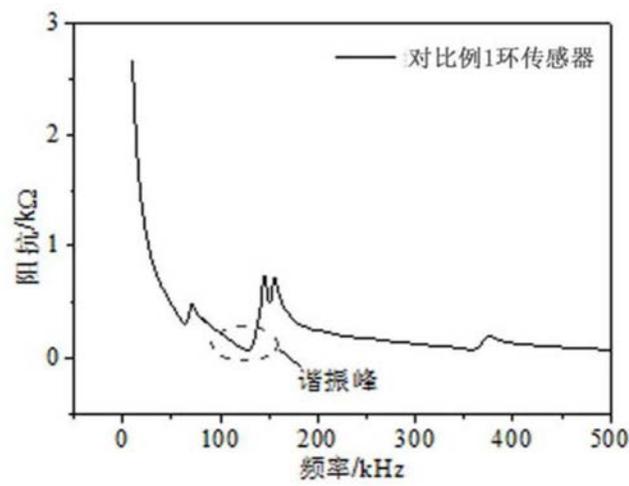


图5

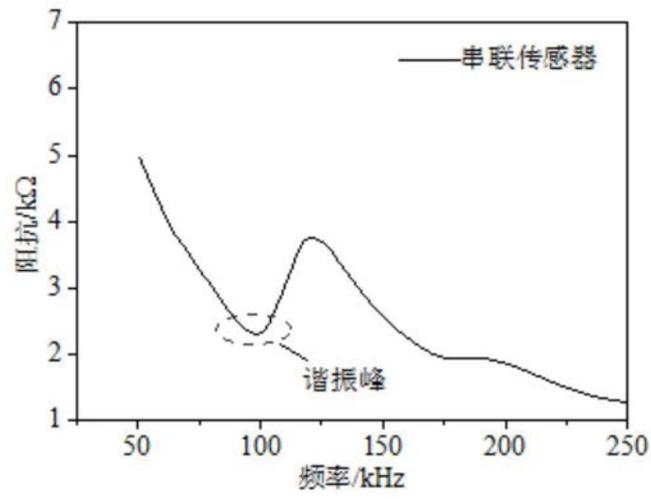


图6

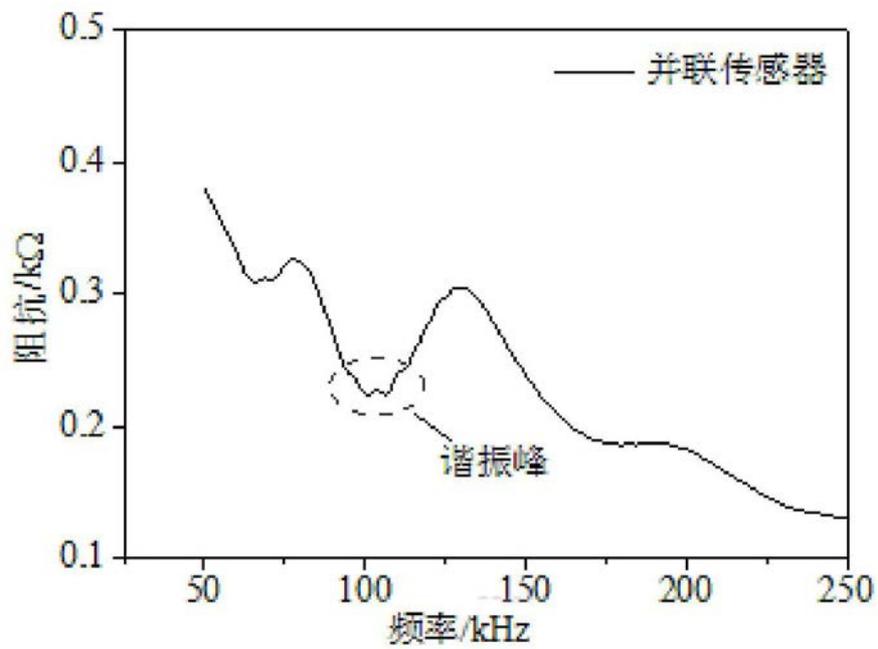


图7

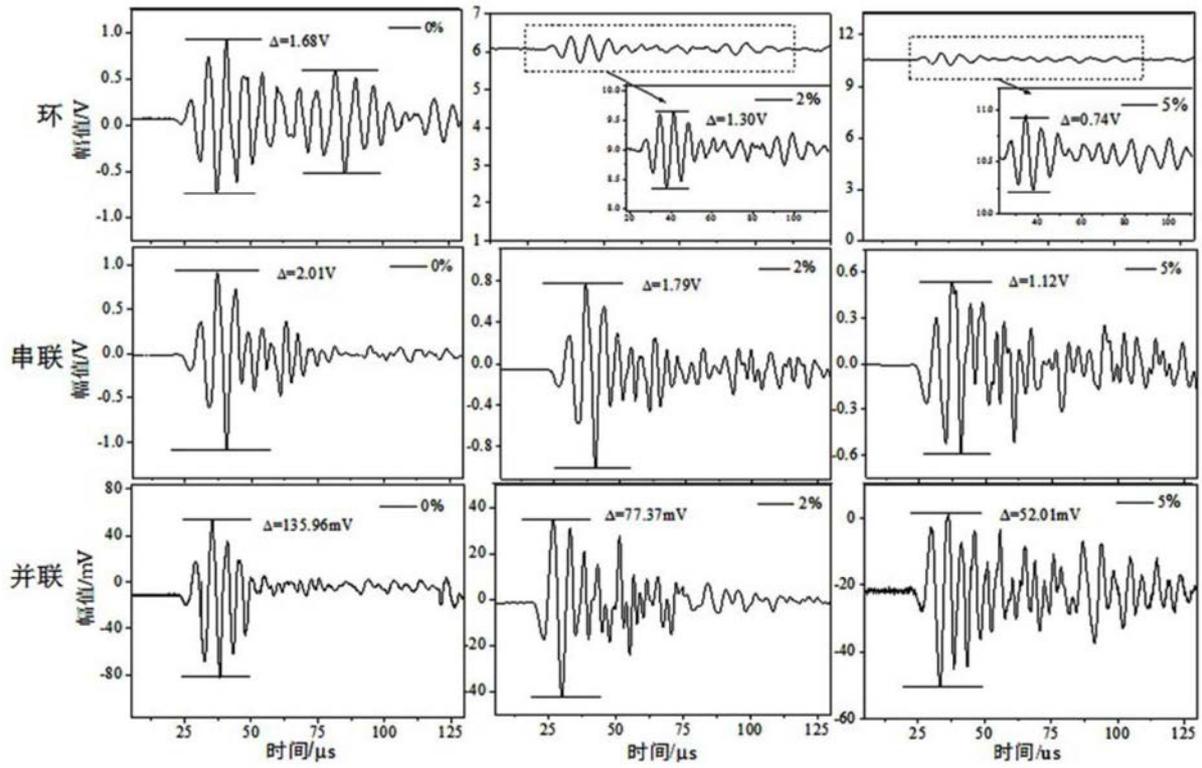


图8

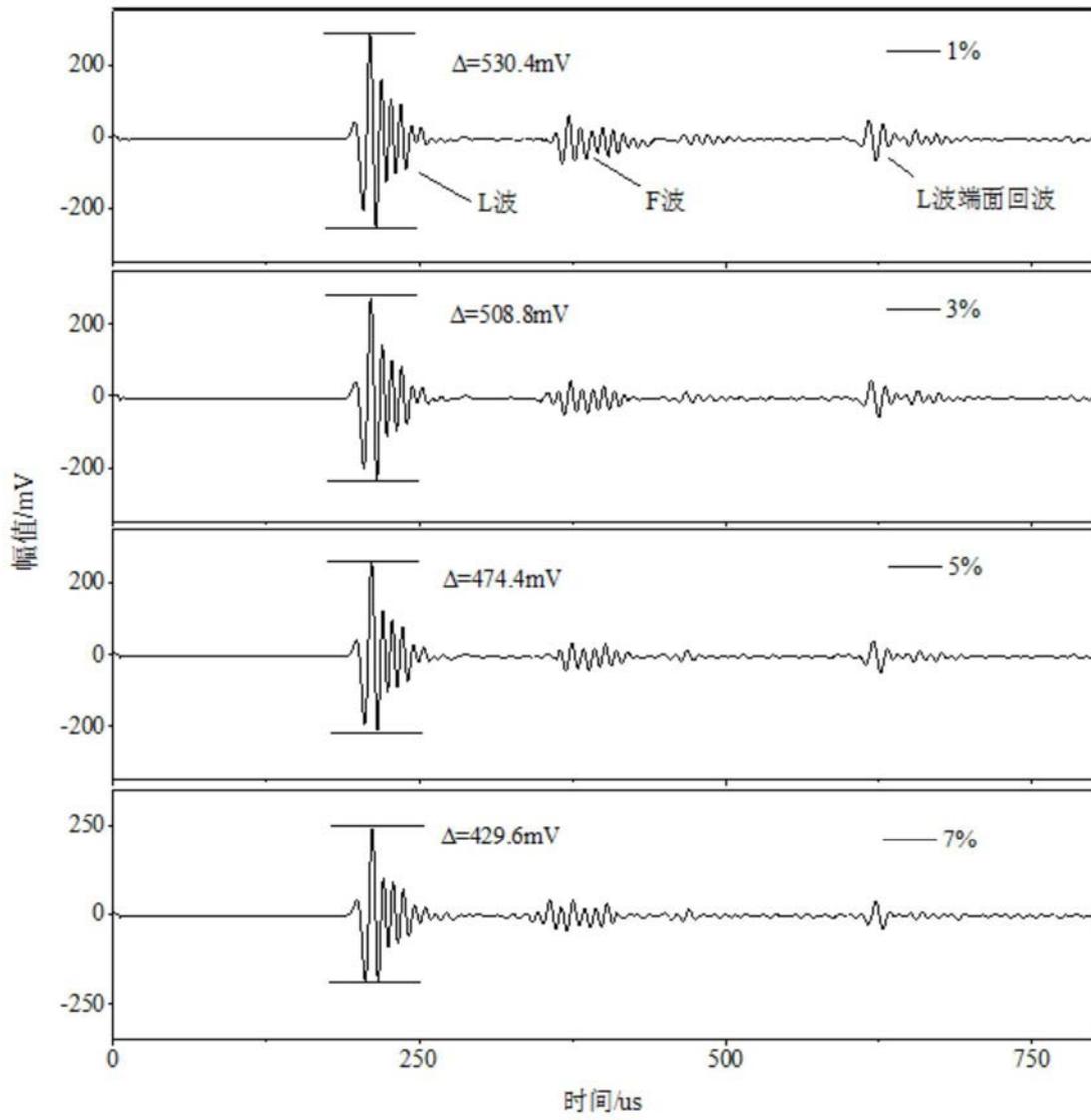


图9