



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109142521 A

(43)申请公布日 2019.01.04

(21)申请号 201810842598.7

(22)申请日 2018.07.27

(71)申请人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号

(72)发明人 姚波 刘云峰 王思其 郭鹏成  
李木子

(74)专利代理机构 南京理工大学专利中心  
32203

代理人 毛晓翔

(51) Int. Cl.

G01N 29/04(2006.01)

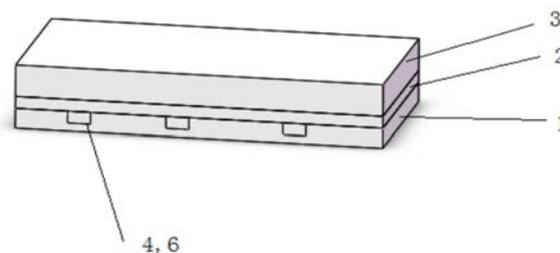
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

### (54)发明名称

基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测装置及方法

### (57)摘要

本发明公开了一种基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测装置,包括:钢桥面板(1)、防水粘结层(2)、混凝土铺装层(3),其特征在于还包括凹槽(4)、压电驱动器(5)、压电传感器(6)、信号发生器(7)、数据处理模块(10)。在钢桥面板(1)上依次铺设防水粘结层(2)和混凝土铺装层(3),凹槽(4)预置在钢桥面板(1)上,压电传感器(6)放置在凹槽(4)内,压电驱动器(5)粘贴在防水粘结层(2)的上表面。信号发生器(7)生成信号激励压电驱动器(5)振动,在防水粘结层中产生应力波,压电传感器(6)检测到应力波后产生电压信号,传输给数据处理模块(10),实现原位、实时、在线监测防水粘结层的损伤状况。



1. 一种基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测装置,包括:钢桥面板(1)、防水粘结层(2)、混凝土铺装层(3),其特征在于还包括凹槽(4)、压电驱动器(5)、压电传感器(6)、信号发生器(7)、功率放大器(8)、数据采集仪(9)、数据处理模块(10)、信号线(11)、信号线(12);在所述钢桥面板(1)之上,依次铺设防水粘结层(2)和混凝土铺装层(3),凹槽(4)预置在钢桥面板(1)之上,压电传感器(6)放置在凹槽(4)内,压电驱动器(5)粘贴在防水粘结层(2)的上表面,与压电传感器(6)在水平方向间隔1米以内,再由混凝土铺装层(3)浇筑覆盖固定;信号发生器(7)通过信号线(11)依次与功率放大器(8)和压电驱动器(5)连接,压电传感器(6)通过信号线(12)依次连接数据采集仪(9)和数据处理模块(10)。

2. 如权利要求1所述的钢桥面防水粘结层监测装置,其特征在于压电驱动器(5)与压电传感器(6)在水平方向间隔为0.4至0.8米。

3. 一种基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测单元,包括:钢桥面板(1)、防水粘结层(2)、混凝土铺装层(3),其特征在于还包括凹槽(4)、信号发生器(7)、功率放大器(8)、数据采集仪(9)、数据处理模块(10)、信号线(11)、信号线(12)、2-5个压电驱动传感监测模块(13),其中压电驱动传感监测模块(13)由一个压电传感器(6)和一个压电驱动器(5)构成;

在所述钢桥面板(1)之上,依次铺设防水粘结层(2)和混凝土铺装层(3),在钢桥面板之上预置2-5个凹槽(4),任意两个凹槽之间的间距保持在2米以上,设置与凹槽(4)数量相同的压电驱动传感监测模块(13),其中各个压电驱动传感监测模块(13)中的压电传感器(6)分别放置在凹槽(4)内,压电驱动传感监测模块(13)中的压电驱动器(5)粘贴在防水粘结层(2)的上表面,与同一模块的压电传感器(6)在水平方向间隔为0.4至0.8米,再由混凝土铺装层(3)浇筑覆盖固定;

信号发生器(7)通过信号线(11)与功率放大器(8)连接,再与各压电驱动传感监测模块(13)中的压电驱动器(5)分别连接,各压电驱动传感监测模块(13)中的压电传感器(6)通过信号线(12)依次连接数据采集仪(9)和数据处理模块(10)。

4. 如权利要求1所述防水粘结层监测装置的监测方法,其步骤为:

第一步:信号发生器(7)发出高斯脉冲信号 $E_1$ ,经功率放大器(8)放大为 $E_2$ ;

第二步:压电驱动器(5)接受到 $E_2$ 后,根据压电效应发出应力波,通过防水粘结层(2)传至压电传感器(6);

第三步:压电传感器(6)在时间 $t_i$ 时刻检测到应力波后发出原始信号 $S_i$ ,经数据采集仪(9)采集储存后,将信号 $S_i$ 发送给数据处理模块(10),数据处理模块(10)对 $S_i$ 进行 $n$ 层小波包分解,共产生 $2^n$ 个子集,即 $\{S_{i,1}, S_{i,2}, \dots, S_{i,2^{n-1}}, S_{i,2^n}\}$ 。定义 $S_{i,j}$ 为原始信号 $S_i$ 经 $n$ 层小波包分解后第 $j$ 频带上的子信号,它可表示成第 $j$ 频带所有高低频子带向量的形式: $S_{i,j} = [x_{i,j,1}, x_{i,j,2}, \dots, S_{i,j,m-1}, S_{i,j,m}]$ ,其中 $i$ 表示获取信号的时间, $j$ 表示频带( $j=1, 2, \dots, 2^{n-1}, 2^n$ ), $m$ 表示第 $j$ 层的采样数。采用 $E_{i,j}$ 表示分解后信号 $S_{i,j}$ 的能量,其计算公式为:

$$E_{i,j} = ||S_{i,j}||_2^2 = x_{i,j,1}^2 + x_{i,j,2}^2 + \dots + x_{i,j,m-1}^2 + x_{i,j,m}^2, \text{则时间 } t_i \text{ 时信号 } S_i \text{ 的能量向量 } E_i \text{ 为:}$$

$$E_i = [E_{i,1}, E_{i,2}, \dots, E_{i,2^{n-1}}, E_{i,2^n}];$$

定义防水粘结层(2)完好时信号向量为 $E_0$ ,  $E_0 = [E_{0,1}, E_{0,2}, \dots, E_{0,2^{n-1}}, E_{0,2^n}]$ ;以防水粘结层完好时信号能量 $E_0$ 为基准,定义时间 $i$ 时防水粘结层(2)的损伤指数 $I$ 为:

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{2^n} (E_{i,j} - E_{0,j})^2}{\sum_{j=1}^{2^n} E_{0,j}^2}};$$

第四步:根据损伤指数I的定义,当防水粘结层(2)保持良好时, $E_{i,j}$ 接近于 $E_{0,j}$ ,损伤指数I接近0;当防水粘结层(2)处于破坏状态时,压电传感器(6)接收到的信号能量很低, $E_{i,j}$ 接近于0,此时损伤指数I接近1;因此,损伤指数I是一个处于0-1区间的数,可用于表征防水粘结层2的损伤状况。

5.如权利要求1所述的钢桥面防水粘结层监测装置,其特征在于所述压电驱动器5可以选用尺寸为15mm×15mm×15mm的压电智能骨料驱动器,其封装工艺为:

第一步:将引线15的一端焊接在PZT压电陶瓷片12的上下两面上,另一端向外伸出,便于与信号线11连接;

第二步:在PZT压电陶瓷片12的上下表面上分别均匀涂抹快固环氧树脂粘结剂涂层16;

第三步:用两块尺寸为15mm×15mm×7mm的玄武岩石块13分别压紧在PZT压电陶瓷片12上下表面,依靠快固环氧树脂粘结剂涂层16实现对PZT压电陶瓷片12的整体密封。

## 基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于钢桥面铺装结构的监测技术领域,具体是基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测装置及方法。

### 背景技术

[0002] 钢桥面铺装结构是指铺设在钢桥面板上供车辆行驶的单层或多层混凝土结构,混凝土和钢桥面板之间通过防水粘结层结合为整体,防水粘结层还起到防止路面积水渗透至钢桥面板致使其腐蚀的作用。因此,防水粘结层的力学特性和损伤状况对铺装结构整体将产生重要影响。由于钢与混凝土在物理和力学性能上存在较大差异,同时,钢桥面板表面十分光滑,在日常使用中,防水粘结层往往成为铺装结构中的薄弱环节,在车辆荷载的反复作用下产生剪切破坏,严重地影响钢桥面铺装结构的使用寿命。如何及时发现并修复防水粘结层的损伤是影响铺装结构耐久性的关键问题。

[0003] 由于防水粘结层处在铺装完成的混凝土和钢桥面板之间,无法直接观察其工作状态,检测和修复难度非常大。现有的监测方法主要包括:振动识别方法,非破坏性检测方法等,其中非破坏性检测法(NDT)应用较为广泛,它包括超声发射技术、超声波技术、阻抗法、红外热像法、脉冲雷达法和X射线等。

[0004] 在CN 106092880A专利中采用了一种现场检测桥面铺装层间粘结拉拔强度的装置和检测方法。首先,在选定的检测断面,用取芯机钻入铺装层基体,然后将检测断面清洗干净,待其干燥后,将专用的粘结拉拔强度检测装置的下表面或监测面上涂覆粘贴物质,然后将拉拔头安放到待测断面,确保底座与拉拔杆的中轴线重合,最后均匀缓慢地拉动拉拔杆,直至检测断面被拉断开,读取此时的读数,并根据断面面积,测定粘贴拉拔强度。该方法解决了对防水粘结层粘结强度的检测问题,但是整个过程需要人力现场操作,且有损检测对路面的整体性造成一定的破坏,被测点有限,检测结果缺乏代表性。另外在特殊条件下(高温等),不易操作。

[0005] 在长安大学韩延波的硕士论文《钢桥面板与铺装层间粘结强度无损检测试验研究》中,采用了超声检测对粘结强度进行了探索,方案是使用探头发发出超声波,在钢板一侧进行测试,利用超声波在不同界面上的波形转换,包括产生反射波和折射波等,进行钢-空气,钢-水,钢-土三种缺陷界面试验,与室内连接良好的界面对比,采用界面的回波总数、波高、相邻声压的比值作为初步定性检测粘结强度的物理量,通过超声回波波峰的包络线与坐标轴之间的包络面积及包络曲线的衰减指数来判断界面的粘结质量。该方法利用超声检测,做到了无损检测,不会对路面整体性造成破坏,操作过程简单易行,可行性较强。然而,影响超声的因素较多,诸如钢桥面板本身以及耦合状况等,需要大量针对性很强的实验来确认粘结良好界面的回波特性。其次,部分超声波探头价格昂贵,给使用带来不便。最重要的是:这种监测方案无法做到实时检测,需要人为使用探头或者借助机器人逐区域探测,操作相对繁琐。

[0006] 目前,以锆钛酸铅(PZT)材料为代表的压电材料被广泛应用于建筑材料监测领域,

它具有易加工、质量轻、不受外界环境影响、成本低廉以及适合实时监测等特点。天津大学高志玉的研究生论文《基于压电陶瓷传感器的混凝土内部钢筋锈蚀监测及其粘结滑移性能研究》中,对变形钢筋进行基于PZT波传播法的试验监测和数值模拟,通过对比分析,得出应力波在变形钢筋中的幅值变化随激励中心频率以及传播距离的影响规律,为混凝土内部钢筋锈蚀监测试验提供依据。针对电化学锈蚀后的钢筋混凝土试件进行压电监测,对比不同锈蚀率下的信号幅值变化情况,得出在钢筋锈蚀率较低的情况下,传感器接收到的信号随着锈蚀率的增高呈逐渐降低趋势。但是随着电化学锈蚀的进行,钢筋的锈蚀到一定程度后,接收到的信号将开始增大,两者之间是二次函数的关系。同样是通过传感器反应出的电信号的变化,得出钢筋的变形和锈蚀情况。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的是针对现有防水粘结层监测设备操作繁琐、难以实现时时监测和快速响应等问题,提供一种基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测装置与及方法。技术方案为:由预置在防水粘结层上的压电驱动器根据信号发生器发出的电信号产生振动,处于防水粘结层下的压电传感器感知到该振动在粘结层中传递所产生的应力波后,发出相应的电压信号并时时传输给数据采集仪和处理模块,数据处理模块对电压信号进行分析比对后,即可得出防水粘结层的工作状态,判断其是否出现破损情况。本发明充分利用电信号时时、准确,以及压电驱动器和传感器成本低、响应快等优点,可以有效解决防水粘结层设备难以实现时时监测和快速响应等问题。

[0008] 本发明是一种基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测装置与及方法,装置包括钢桥面板1、防水粘结层2、混凝土铺装层3、凹槽4、压电驱动器5、压电传感器6、信号发生器7、功率放大器8、数据采集仪9、数据处理模块10、信号线11、信号线12。在所述钢桥面板1之上,依次铺设防水粘结层2和混凝土铺装层3,形成自上而下为:混凝土铺装层3、防水粘结层2和钢桥面板1的一体化结构。凹槽4预置在钢桥面板之上,压电传感器6放置在凹槽4内。压电驱动器5粘贴在防水粘结层2的上表面,与压电传感器6在水平方向间隔1米以内,再由混凝土铺装层3浇筑覆盖固定。信号发生器7通过信号线11依次与功率放大器8和压电驱动器5连接,由信号发生器7生成监测信号,功率放大器2将监测信号放大并传输给压电驱动器5,激励压电驱动器5产生振动,从而在防水粘结层中产生应力波。压电传感器6检测到应力波后产生电压信号,经信号线12传输给数据采集仪9储存,再由数据处理模块10运用损伤识别算法对信号进行分析比对,获取防水粘结层的损伤信息,从而实现原位、实时、在线监测防水粘结层的工作状态和损伤状况。

[0009] 相比现有的防水粘结层监测装置,本发明的优点为:

[0010] 1.通过通信信号和电压信号之间的转换,实现对防水粘结层工作状态的检测,克服了现有技术方案不能时时稳定检测的缺陷,同时,本方案采用的压电驱动器和压电传感器具有体积小、质量轻、成本低和响应快等优点,安装工艺与防水粘结层铺设同步,十分简单方便,可以根据桥面长度和宽度进行多组配置,不但可用于新建钢桥铺装结构的长期快速监测,也可用于旧桥铺装修复加固的监测,具有良好的工程应用前景。

[0011] 2.本发明的测试原理是基于应力波传播信号的变化,结合损伤识别算法获取防水粘结层的损伤信息,可以在使用中原位、实时、在线监测防水粘结层的工作状态和损伤状

况,实现防水粘结层损伤的智能化定位与诊断,弥补现有监测技术的缺失,为制定有效的养护修复策略提供依据,相比一些已有技术需要进行破坏性试验进行监测,本发明无需中断交通,降低了维修费用,提高经济和社会效益。

### 附图说明

[0012] 图1监测装置布局主视图

[0013] 图2监测装置布局侧视图

[0014] 图3包含三个监测单元的监测装置布局图

[0015] 图4压电智能骨料驱动器结构示意图

[0016] 附图标记及其所代表的组成部分为:1—钢桥面板,2—防水粘结层,3—混凝土铺装层,4—凹槽,5—压电驱动器,6—压电传感器,7—信号发生器,8—功率放大器,9—数据采集仪,10—数据处理模块,11—信号线,12—信号线,13—玄武岩石块,14—PZT压电陶瓷片,15—引线、16—快固环氧树脂粘结剂涂层。

### 具体实施方式

[0017] 实施例一:

[0018] 本发明是一种基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测装置,包括:钢桥面板1、防水粘结层2、混凝土铺装层3、凹槽4、压电驱动器5、压电传感器6、信号发生器7、功率放大器8、数据采集仪9、数据处理模块10、信号线11、信号线12。

[0019] 结合图1和图2,在所述钢桥面板1之上,依次铺设防水粘结层2和混凝土铺装层3。凹槽4预置在钢桥面板之上,压电传感器6放置在凹槽4内。压电驱动器5粘贴在防水粘结层2的上表面,与压电传感器6在水平方向间隔为0.4至0.8米,再由混凝土铺装层3浇筑覆盖固定。

[0020] 结合图1和图2,信号发生器7通过信号线11依次与功率放大器8和压电驱动器5连接,由信号发生器7生成监测信号,功率放大器2将监测信号放大并传输给压电驱动器5,激励压电驱动器5产生振动,从而在防水粘结层中产生应力波。压电传感器6检测到经由防水粘结层传播而来的应力波后,随即生成相应的电压信号,经信号线12传输给数据采集仪9储存,再由数据处理模块10运用损伤识别算法对信号进行比对分析,获取防水粘结层的损伤信息,从而实现原位、实时、在线监测防水粘结层的工作状态和损伤状况。

[0021] 实施例二:

[0022] 结合图3,一种基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测单元,包括:钢桥面板1、防水粘结层2、混凝土铺装层3、凹槽4、信号发生器7、功率放大器8、数据采集仪9、数据处理模块10、信号线11、信号线12、压电驱动传感监测模块13。其中压电驱动传感监测模块13由一个压电传感器6和一个压电驱动器5构成。

[0023] 在所述钢桥面板1之上,依次铺设防水粘结层2和混凝土铺装层3。在钢桥面板之上预置2-5个凹槽4,任意两个凹槽之间的间距保持在2米以上,设置与凹槽4数量相同的压电驱动传感监测模块13,其中压电传感器6放置在凹槽4内。压电驱动传感监测模块13中的压电驱动器5粘贴在防水粘结层2的上表面,与同一模块的压电传感器6在水平方向间隔为0.4至0.8米,再由混凝土铺装层3浇筑覆盖固定。

[0024] 信号发生器7通过信号线11与功率放大器8连接,再与各个压电驱动传感监测模块13中的压电驱动器5分别连接,由信号发生器7生成监测信号,功率放大器2将监测信号放大并同步传输给各压电驱动器5,激励各压电驱动器5产生振动,从而在防水粘结层中产生应力波。各压电驱动传感监测模块中的压电传感器6检测到同模块的压电驱动器产生并经由防水粘结层传播而来的应力波后,随即生成相应的电压信号,经信号线12传输给数据采集仪9储存,再由数据处理模块10运用损伤识别算法对信号进行比对分析,获取各个压电驱动传感监测模块13相应位置的防水粘结层损伤信息,从而对防水粘结层在这一区域内的损伤位置和程度进行定位与诊断。在实际操作中,可根据桥面长度和宽度实际情况,设置2个以上的监测单元,实现对整个桥面防水粘结层的全覆盖、时时监测。

[0025] 结合图1和图2,基于压电传感器的钢桥面防水粘结层监测方法如下:

[0026] (1) 信号发生器7发出高斯脉冲信号 $E_1$ ,经功率放大器8放大为 $E_2$ ;

[0027] (2) 压电驱动器5接受到 $E_2$ 后,根据压电效应发出应力波,通过防水粘结层2传至压电传感器6。

[0028] (3) 压电传感器6在时间 $t_i$ 时刻检测到应力波后发出原始信号 $S_i$ ,经数据采集仪9采集储存后,将信号 $S_i$ 发送给数据处理模块10,数据处理模块10对 $S_i$ 进行 $n$ 层小波包分解,共产生 $2^n$ 个子集,即 $\{S_{i,1}, S_{i,2}, L, S_{i,2^{n-1}}, S_{i,2^n}\}$ 。定义 $S_{i,j}$ 为原始信号 $S_i$ 经 $n$ 层小波包分解后第 $j$ 频带上的子信号,它可表示成第 $j$ 频带所有高低频子带向量的形式: $S_{i,j} = [x_{i,j,1}, x_{i,j,2}, L, x_{i,j,m-1}, x_{i,j,m}]$ ,其中 $i$ 表示获取信号的时间, $j$ 表示频带( $j=1, 2, L, 2^{n-1}, 2^n$ ), $m$ 表示第 $j$ 层的采样数。采用 $E_{i,j}$ 表示分解后信号 $S_{i,j}$ 的能量,其计算公式为:

[0029]  $E_{i,j} = ||S_{i,j}||^2 = x_{i,j,1}^2 + x_{i,j,2}^2 + L + x_{i,j,m-1}^2 + x_{i,j,m}^2$ ,则时间 $t_i$ 时信号 $S_i$ 的能量向量 $E_i$ 为: $E_i = [E_{i,1}, E_{i,2}, L, E_{i,2^{n-1}}, E_{i,2^n}]$ 。

[0030] 定义防水粘结层2完好时信号向量为 $E_0$ ,  $E_0 = [E_{0,1}, E_{0,2}, L, E_{0,2^{n-1}}, E_{0,2^n}]$ ;以防水粘结层完好时信号能量 $E_0$ 为基准,定义时间 $i$ 时防水粘结层2的损伤指数 $I$ 为:

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{2^n} (E_{i,j} - E_{0,j})^2}{\sum_{j=1}^{2^n} E_{0,j}^2}}$$

[0031] (4) 根据损伤指数 $I$ 的定义,当防水粘结层2保持良好时, $E_{i,j}$ 接近于 $E_{0,j}$ ,损伤指数 $I$ 接近0;当防水粘结层2处于破坏状态时,压电传感器6接收到的信号能量很低, $E_{i,j}$ 接近于0,此时损伤指数 $I$ 接近1。因此,损伤指数 $I$ 是一个处于0-1区间的数,可用于表征防水粘结层2的损伤状况。

[0032] 结合图4,所述压电驱动器5可以选用尺寸为 $15\text{mm} \times 15\text{mm} \times 15\text{mm}$ 的压电智能骨料驱动器,其封装工艺为:

[0033] (1) 将引线15的一端焊接在PZT压电陶瓷片12的上下两面上,另一端向外伸出,便于与信号线11连接;

[0034] (2) 在PZT压电陶瓷片12的上下表面上分别均匀涂抹快固环氧树脂粘结剂涂层16;

[0035] (3) 用两块尺寸为 $15\text{mm} \times 15\text{mm} \times 7\text{mm}$ 的玄武岩石块13分别压紧在PZT压电陶瓷片12

上下表面,依靠快固环氧树脂粘结剂涂层16实现对PZT压电陶瓷片12的整体密封。

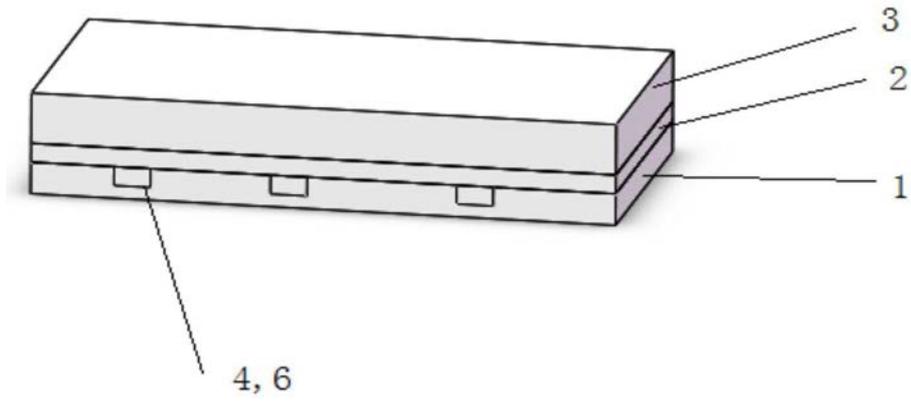


图1

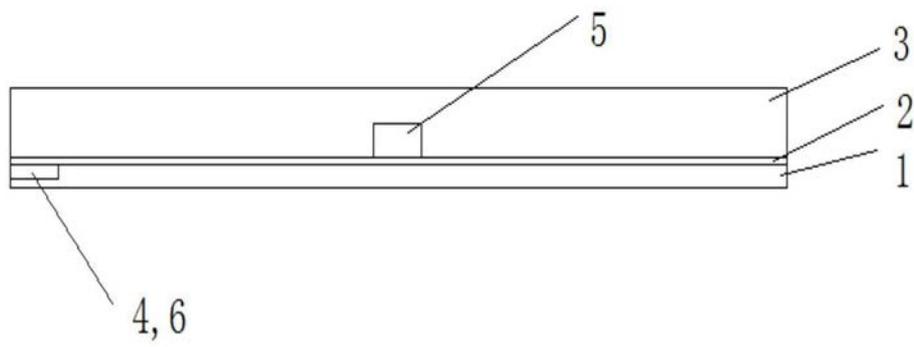


图2

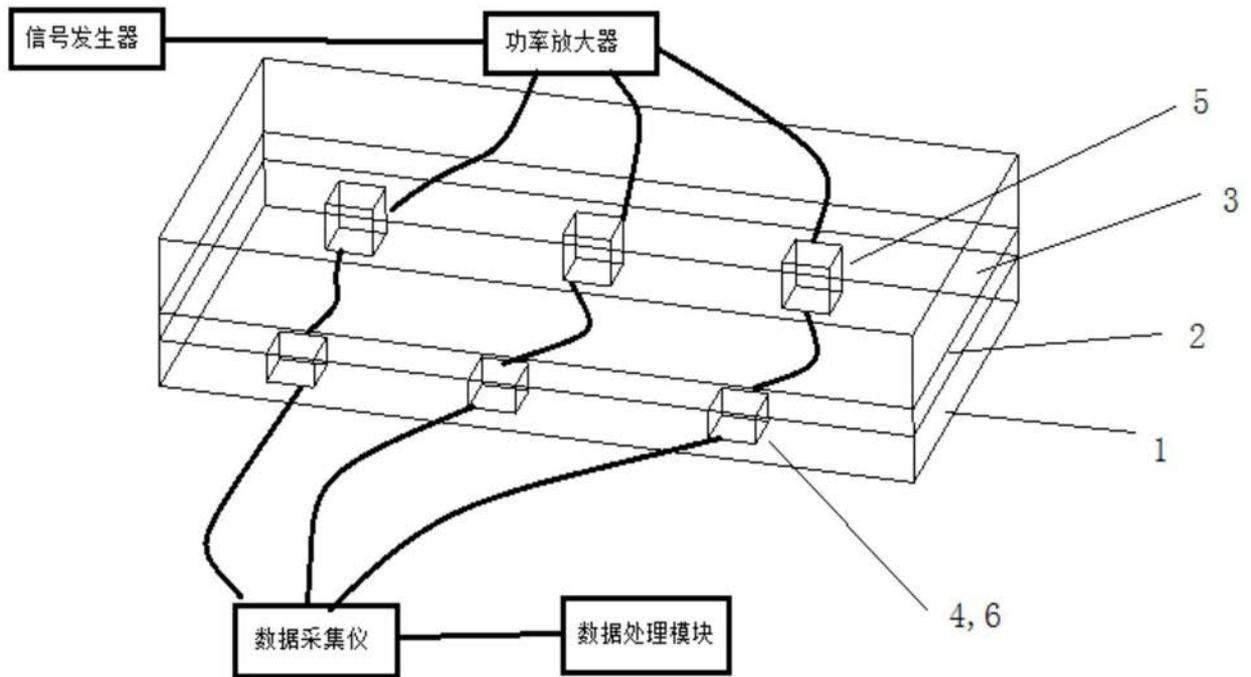


图3

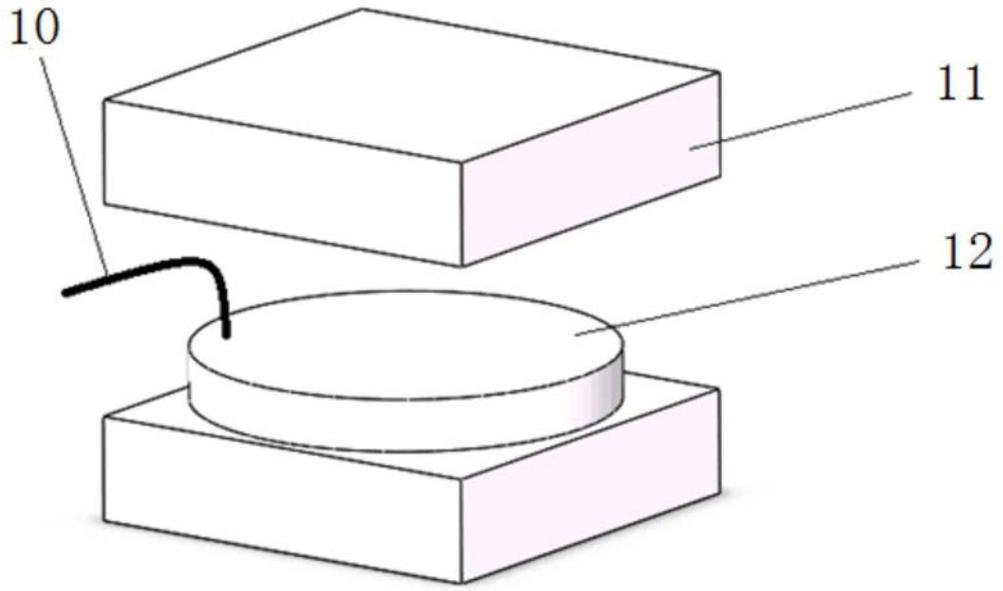


图4