



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111207862 B

(45) 授权公告日 2021.07.20

(21) 申请号 202010022095.2

(22) 申请日 2020.01.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111207862 A

(43) 申请公布日 2020.05.29

(73) 专利权人 四川省建筑科学研究院有限公司
地址 610000 四川省成都市金牛区一环路
北三段55号

(72) 发明人 熊柱红 刘东 侯伟

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所
(普通合伙) 51220

代理人 李朝虎

(51) Int. Cl.

G01L 1/10 (2006.01)

G01L 1/26 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 109586679 A, 2019.04.05

CN 109141688 A, 2019.01.04

CN 108955970 A, 2018.12.07

CN 108303240 A, 2018.07.20

CN 103728060 A, 2014.04.16

CN 102928132 A, 2013.02.13

CN 101738567 A, 2010.06.16

WO 2008103799 A2, 2008.08.28

CN 103364116 A, 2013.10.23

郑庭丽, 赵卫军, 梁庭, 洪应平, 任重, 李赛男, 熊继军. 《LC谐振式压力传感器的高温关键参数研究》. 《传感技术学报》. 2014,

审查员 魏轩

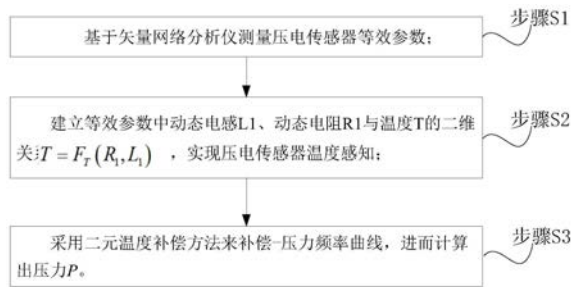
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法

(57) 摘要

本发明公开了一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法, 解决了现有的桥梁压力测量方法误差大、精度不高的问题。本发明提出基于动态电感L1与动态电阻R1的温度二维感知方法, 并结合反谐振频率测量压力; 该方法包括如下步骤: 步骤S1、基于矢量网络分析仪测量压电传感器等效参数; 步骤S2、根据步骤S1测量的压电传感器等效参数, 建立等效参数中动态电感L1、动态电阻R1与温度T的二维关系 $T = F_T(R_1, L_1)$, 实现压电传感器温度感知; 步骤S3、根据步骤S2, 采用二元温度补偿方法来补偿压力-频率曲线, 进而计算出压力P。



1. 一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:

步骤S1、基于矢量网络分析仪测量不同温度下的压电传感器等效参数;

步骤S2、根据步骤S1测量的压电传感器等效参数,建立等效参数中动态电感 L_1 、动态电阻 R_1 与温度 T 的二维关系 $T=F_T(R_1, L_1)$,实现压电传感器温度感知;

步骤S3、根据步骤S2,采用二元温度补偿方法来补偿压力-频率曲线,进而计算出压力 P ;

步骤S2中建立等效参数中动态电感 L_1 、动态电阻 R_1 与温度 T 的二维关系 $T=F_T(R_1, L_1)$,具体地:

$$T = F_T(R_1, L_1) = p00 + p10 \times R_1 + p01 \times L_1 + p11 \times R_1 \times L_1 + p02 \times L_1^2$$

其中, $p00 = -138319.78$, $p10 = -1395.51$, $p01 = 5120.64$, $p11 = 20.27$, $p02 = -45.19$;

步骤S3具体包括如下步骤:

步骤S30:根据步骤S1测量的压电传感器等效参数,建立温度与反谐振频率的关系 $f_{aT} = F_1(T)$,其中, f_{aT} 为反谐振频率, $F_1(T)$ 为温度函数, T 为温度;

步骤S31:建立反谐振频率偏移量与压力的关系 $P = F_2(\Delta f_{ap})$,其中, P 为压力, $F_2(\Delta f_{ap})$ 为反谐振频率偏移量函数, Δf_{ap} 为反谐振频率偏移量;

步骤S32:使用中,根据所测相频曲线,测量等效参数 L_{1x} , R_{1x} 与反谐振频率 f_{ax} ,根据步骤S2中 $T = F_T(R_1, L_1)$ 函数调取此时温度为 $T_x = F_T(R_{1x}, L_{1x})$,根据步骤S30中 $f_{aT} = F_1(T)$ 计算温度 T_x 相对于温度 T_0 的反谐振频率偏移量 $\Delta f_{aT} = F_1(T_x) - F_1(T_0)$;由步骤S31中 $P = F_2(\Delta f_{ax} - \Delta f_{aT})$ 计算出压力;

步骤S30中建立温度与反谐振频率的关系 $f_{aT} = F_1(T)$,具体地:

$$f_{aT} = F_1(T) = 15861655.97 + 13.24T - 0.14T^2 + 0.0019T^3;$$

步骤S31中建立反谐振频率偏移量与压力的关系 $P = F_2(\Delta f_{ap})$,具体地:

$$P = F_2(\Delta f_{ap}) = -0.0674 + 0.1129 \Delta f_{ap}。$$

2. 根据权利要求1所述的一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,其特征在于,步骤S1之前还包括步骤S0、进行压电传感器在桥梁上的布置,其中,所述压电传感器采用压电薄膜传感器;步骤S0具体包括如下:

将压电薄膜传感器设置于桥梁的橡胶垫层与钢板层的边缘,并由压电薄膜传感器的薄膜电极引出导线;每个支座设置4片压电薄膜传感器,并由多路开关通过控制界面选通其中一路。

3. 根据权利要求2所述的一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,其特征在于,所述压电薄膜传感器的压电薄膜采用ZnO薄膜或者AlN薄膜或者PZT薄膜。

一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及桥梁压力测量技术领域,尤其涉及一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法。

背景技术

[0002] 桥梁超载侧翻事故频发,实现桥梁监测全覆盖,尤其是对桥梁受力状况的监测显得尤为重要。对于桥梁受力状况的监测,已知的设备有应变计、振弦式压力传感器、扩散硅式压力传感器、压电式压力传感器等。这些设备要么电路复杂、操作不便,要么稳定性差、误差大,要么受温度、环境影响大,且操作大都只能在监测对象附近进行。找到一种简便、稳定、精准且能满足远距离传输的传感器设备是工程技术人员追求的目标。

[0003] 目前压力传感器数据传输距离有限。例如基恩士压力传感器,其最大传输距离为10米(OP-85502、OP87274)。或者需要额外的数字化传输系统。然而数字化系统提高了成本,并且存在采集失真的可能性。

[0004] 大多数压力传感器采用电容模式传感(Hao,X.C.,Jiang,Y.G.,Takao,H.,Maenaka,K.and Higuchi,K.,An Annular Mechanical Temperature Compensation Structure for Gas-Sealed Capacitive Pressure Sensor,Sensors,2012,12:8026-8038.),即让压电谐振器工作在远低于谐振频率的频段。然而,这样会牺牲传感器的压力感知灵敏度。采用谐振器频率,可以提高压力感应灵敏度。

[0005] 温度补偿可以提高压力传感器的鲁棒性。大多数采用双模进行温度补偿(Thanh Tuong,P.,Zhang,H.,Yenuganti,S.,Kaluvan,S.and Kosinski,J.A.,Design,Modeling, and Experiment of a Piezoelectric Pressure Sensor Based on a Thickness-Shear-Mode Crystal Resonator,Ieee Transactions on Industrial Electronics,2017,64:8484-8491.;Yenuganti,S.,Zhang,H.and Zhang,C.,Langasite crystal based pressure sensor with temperature compensation,Sensors and Actuators a-Physical,2018,281:108-116.)这需要将谐振器工作在两种模态,振荡电路复杂。并且,为了获得较好的线性度,传感器晶片也需要特殊的切割角度。

[0006] 压电谐振器等效参数也随着温度变化而变化。因而也可以作为补偿的输入参数。然而,参数与温度的函数关系不仅是非线性的,并且是非单调的(Dieste,M.I.and Vicente,J.,Measurement and thermal modeling of high-Q piezoelectric resonators,Isa Transactions,2000,39:371-377.)。这需要用多参数融合来实现温度补偿。

发明内容

[0007] 本发明所要解决的技术问题是现有的桥梁压力测量方法误差大、精度不高,没有很好地结合温度补偿实现压力测量的问题,本发明提供了解决上述问题的一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,本发明提出基于动态电感L1与动态电阻R1的温度

二维感知方法,并结合反谐振频率测量压力,本发明方法简便、稳定、精准且能满足远距离传输的传感器设备需求。

[0008] 本发明通过下述技术方案实现:

[0009] 一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,该方法包括如下步骤:

[0010] 步骤S1、基于矢量网络分析仪测量压电传感器等效参数;

[0011] 步骤S2、根据步骤S1测量的压电传感器等效参数,建立等效参数中动态电感 L_1 、动态电阻 R_1 与温度 T 的二维关系 $T=F_T(R_1, L_1)$,实现压电传感器温度感知;

[0012] 步骤S3、根据步骤S2,采用二元温度补偿方法来补偿压力-频率曲线,进而计算出压力 P 。

[0013] 工作原理是:现有的桥梁压力测量方法误差大、精度不高,本发明提出基于动态电感 L_1 与动态电阻 R_1 的温度二维感知方法,并结合反谐振频率测量压力;本发明首先基于矢量网络分析仪测量压电传感器等效参数;然后建立等效参数中动态电感 L_1 、动态电阻 R_1 与温度的二维关系曲面,实现传感器温度感知;再由感知的温度来补偿压力-频率曲线,从而实现传感器温度补偿,并计算出压力。本发明基于压电谐振器参数融合,解决单一参数与温度函数非单调问题,二元温度补偿,拟合的二元曲面中,温度与点 (L_1, R_1) 一一对应,避免 L_1 与温度的非单调函数问题;所感知温度为谐振器本身温度,感知精度高;相对于双模振荡温度补偿,该方法不需要负载的起振电路,它将硬件问题转化为软件问题,提高了方法的适用范围;本方法采用反谐振频率作为压力传感物理量,相对于谐振频率,其具有更高的灵敏度。

[0014] 进一步地,步骤S1之前还包括步骤S0、进行压电传感器在桥梁上的布置,其中,所述压电传感器采用压电薄膜传感器;步骤S0具体包括如下:

[0015] 将压电薄膜传感器设置于桥梁的橡胶垫层与钢板层的边缘,并由压电薄膜传感器的薄膜电极引出导线;每个支座设置4片压电薄膜传感器,并由多路开关通过控制界面选通其中一路。

[0016] 进一步地,所述压电薄膜传感器的压电薄膜采用ZnO薄膜或者AlN薄膜或者PZT薄膜。

[0017] 进一步地,步骤S2中建立等效参数中动态电感 L_1 、动态电阻 R_1 与温度 T 的二维关系 $T=F_T(R_1, L_1)$,具体地:

$$[0018] \quad T = F_T(R_1, L_1) = p00 + p10 \times R_1 + p01 \times L_1 + p11 \times R_1 \times L_1 + p02 \times L_1^2$$

[0019] 其中, $p00 = -138319.78$, $p10 = -1395.51$, $p01 = 5120.64$, $p11 = 20.27$, $p02 = -45.19$ 。

[0020] 进一步地,步骤S3具体包括如下步骤:

[0021] 步骤S30:根据步骤S1测量的压电传感器等效参数,建立温度与反谐振频率的关系 $f_{aT} = F_1(T)$,其中, f_{aT} 为反谐振频率, $F_1(T)$ 为温度函数, T 为温度;

[0022] 步骤S31:建立反谐振频率偏移量与压力的关系 $P = F_2(\Delta f_{ap})$,其中, P 为压力, $F_2(\Delta f_{ap})$ 为反谐振频率偏移量函数, Δf_{ap} 为反谐振频率偏移量;

[0023] 步骤S32:使用中,根据所测相频曲线,测量等效参数 L_{1x}, R_{1x} 与反谐振频率 f_{ax} ,根据步骤S2中 $T = F_T(R_1, L_1)$ 函数调取此时温度为 $T_x = F_T(R_{1x}, L_{1x})$,根据步骤S30中 $f_{aT} = F_1(T)$ 计算

相对于温度 T_0 时的频率温度偏移量 $\Delta f_{aT} = F_1(T_x) - F_1(T_0)$;由步骤S31中 $P = F_2(\Delta f_{ax} - \Delta f_{aT}) = F_2(f_{ax} - f_0 - \Delta f_{aT})$ 计算出压力,其中 f_0 为 0°C 、 0 压力下的频率。

[0024] 进一步地,步骤S30中建立温度与反谐振频率的关系 $f_{aT} = F_1(T)$,具体地:

[0025] $f_{aT} = F_1(T) = 15861655.97 + 13.24T - 0.14T^2 + 0.0019T^3$;

[0026] 步骤S31中建立反谐振频率偏移量与压力的关系 $P = F_2(\Delta f_{ap})$,具体地:

[0027] $P = F_2(\Delta f_{ap}) = -0.0674 + 0.1129 \Delta f_{ap}$ 。

[0028] 本发明与现有技术相比,具有如下的优点和有益效果:

[0029] 1、本发明一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,本发明提出基于动态电感L1与动态电阻R1的温度二维感知方法,并结合反谐振频率测量压力,解决了现有的桥梁压力测量方法误差大、精度不高的问题;

[0030] 2、本发明一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,采用反谐振频率作为压力传感物理量,相对于谐振频率,其具有更高的灵敏度;

[0031] 3、本发明一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,压电传感器所测温度是谐振器本身的温度,比外用温度传感器更加准确;

[0032] 4、本发明一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,采用二元温度补偿,拟合的二元曲面中,温度与点(L1,R1)一一对应,避免L1与温度的非单调函数问题;所感知温度为谐振器本身温度,感知精度高;相对于双模振荡温度补偿,该方法不需要负载的起振电路,它将硬件问题转化为软件问题,提高了方法的适用范围。

附图说明

[0033] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定。在附图中:

[0034] 图1为本发明一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法流程图。

[0035] 图2为本发明等效参数测量系统框图。

[0036] 图3为本发明方法中传感器布置截面图。

[0037] 图4为本发明矢量网络分析仪、晶体谐振器、数据传输模块、控制器与切换开关之间电气原理图。

[0038] 图5为本发明动态电阻R1、动态电感L1与温度T的关系图。

[0039] 图6为本发明动态电阻R1、动态电感L1与温度T的关系曲面图。

[0040] 图7为本发明反谐振频率与温度关系图。

[0041] 图8为本发明反谐振频率变化量 Δf_{ap} 与压力P关系图。

具体实施方式

[0042] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施例和附图,对本发明作进一步的详细说明,本发明的示意性实施方式及其说明仅用于解释本发明,并不作为对本发明的限定。

[0043] 实施例

[0044] 如图1至图8所示,本发明一种应用于桥梁超载与侧翻预警的高精度压力测量方法,该方法包括如下步骤:

[0045] 步骤S1、基于矢量网络分析仪测量压电传感器等效参数；

[0046] 步骤S2、根据步骤S1测量的压电传感器等效参数，建立等效参数中动态电感L1、动态电阻R1与温度T的二维关系 $T=F_T(R_1, L_1)$ ，实现压电传感器温度感知；

[0047] 步骤S3、根据步骤S2，采用二元温度补偿方法来补偿压力-频率曲线，进而计算出压力P。

[0048] 实施本发明方法的详细步骤如下：

[0049] 步骤S0、进行压电传感器在桥梁上的布置，其中，所述压电传感器采用压电薄膜传感器；传感器布置截面图如图3所示，具体包括如下：

[0050] 将压电薄膜传感器设置于桥梁的橡胶垫层与钢板层的边缘，并由压电薄膜传感器的薄膜电极引出导线；每个支座设置4片压电薄膜传感器，并由多路开关通过控制界面选通其中一路。如图4所示，图4为电气原理图，根据此进行矢量网络分析仪、晶体谐振器、数据传输模块、控制器与切换开关之间的控制连接，具体地，控制器与切换开关、矢量网络分析仪、数据传输模块均连接，切换开关连接晶体谐振器，晶体谐振器连接矢量网络分析仪，矢量网络分析仪连接数据传输模块。

[0051] 其中，所述压电薄膜传感器的压电薄膜采用ZnO薄膜或者AlN薄膜或者PZT薄膜。

[0052] 步骤S1、基于矢量网络分析仪测量压电传感器等效参数；用矢量网络分析仪采集各个温度点的相位-频率曲线 $\text{Phase}(S_{21})_{\text{Measured}}$ 。如图2所示，图2为等效参数测量系统框图，依此来进行测量。用中国专利CN201811393865.3方法，或者国际电工委员会标准IEC-60444计算各个温度点等效参数。其中，采用中国专利CN201811393865.3计算，不同温度下的等效参数为表1所示。

[0053] 表1不同温度下的等效参数

| T (deg.) | R1 (Ω) | L1 (mH) | f_a (Hz) |
|----------|-----------------|---------|------------|
| -10 | 57.62 | 70.40 | 15861507.4 |
| 0 | 53.40 | 68.61 | 15861656.4 |
| 10 | 51.83 | 68.50 | 15861775.6 |
| 20 | 50.56 | 67.49 | 15861880.5 |
| 30 | 50.61 | 68.01 | 15861979.1 |

[0055] 步骤S2、根据步骤S1测量的压电传感器等效参数，建立等效参数中动态电感L1、动态电阻R1与温度T的二维关系 $T=F_T(R_1, L_1)$ ，该函数关系即温度感知关系；从而实现压电传感器温度感知；

[0056] 由表1中动态电感L1、动态电阻R1与温度T的关系曲线如图5所示，由图可见，动态电感L1是非单调函数。通过二元拟合，得到的温度T与L1、R1的关系曲面如图6所示。由图6可见，温度点对应唯一的(L1, R1)点，因而不会出现图5中，同一个L1值对应不同的温度点的情况。

[0057] 图6所示的函数关系为：

$$[0058] \quad T = F_T(R_1, L_1) = p00 + p10 \times R_1 + p01 \times L_1 + p11 \times R_1 \times L_1 + p02 \times L_1^2$$

[0059] 其中， $p00 = -138319.78$ ， $p10 = -1395.51$ ， $p01 = 5120.64$ ， $p11 = 20.27$ ， $p02 = -45.19$ 。

[0060] 步骤S3、根据步骤S2和步骤S1,采用二元温度补偿方法来补偿压力-频率曲线,进而计算出压力P。步骤S3包括如下具体步骤:

[0061] 步骤S30:根据步骤S1测量的压电传感器等效参数,建立温度与反谐振频率的关系 $f_{aT}=F_1(T)$,其中, f_{aT} 为反谐振频率, $F_1(T)$ 为温度函数, T 为温度;

[0062] 步骤S31:建立反谐振频率偏移量与压力的关系 $P=F_2(\Delta f_{ap})$,其中, P 为压力, $F_2(\Delta f_{ap})$ 为反谐振频率偏移量函数, Δf_{ap} 为反谐振频率偏移量;

[0063] 步骤S32:使用中,根据所测相频曲线,测量等效参数 L_{1x}, R_{1x} 与反谐振频率 f_{ax} ,根据步骤S2中 $T=F_T(R_1, L_1)$ 函数调取此时温度为 $T_x=F_T(R_{1x}, L_{1x})$,根据步骤S30中 $f_{aT}=F_1(T)$ 计算相对于温度 T_0 时的频率温度偏移量 $\Delta f_{aT}=F_1(T_x)-F_1(T_0)$;由步骤S31中 $P=F_2(\Delta f_{ax}-\Delta f_{aT})$ 计算出压力。

[0064] 具体地:反谐振频率 f_a 与温度的关系如表1所示。其拟合曲线如图7所示。其函数关系为: $f_{aT}=F_1(T)=15861655.97+13.24T-0.14T^2+0.0019T^3$

[0065] 0°C 时,反谐振频率变化量 Δf_{ap} 与压力 P 的关系如图8所示。

[0066] 函数关系为: $P=F_2(\Delta f_{ap})=-0.0674+0.1129\Delta f_{ap}$

[0067] 将上述两个公式装入系统待用。

[0068] 在实际工作条件中,首先获取相频曲线,然后计算等效参数与反谐振频率。此时参数为 L_{1x}, R_{1x} ,反谐振频率为 f_{ax} 。根据 $T=F_T(R_1, L_1)$ 获取此时温度为:

[0069] $T_1 = F_T(R_{1x}, L_{1x}) = p00 + p10 \times R_{1x} + p01 \times L_{1x} + p11 \times R_{1x} \times L_{1x} + p02 \times L_{1x}^2$ 。

[0070] 相对于 0°C 的频率偏移量为:

[0071] $\Delta f_{aT} = f_{aT1} - f_{aT0}$

[0072] $= F_1(T_1) - F_1(T_0)$

[0073] $= 15861655.97 + 13.24T_1 - 0.14T_1^2 + 0.0019T_1^3 - 15861656.4$

[0074] $\approx 13.24T_1 - 0.14T_1^2 + 0.0019T_1^3$

[0075] 则,压力为

[0076] $P = -0.0674 + 0.1129(\Delta f_{ax} - \Delta f_{aT})$

[0077] $= -0.0674 + 0.1129(\Delta f_{ax} - f_0 - \Delta f_{aT})$

[0078] $= -0.0674 + 0.1129[f_{ax} - 15861656.4 - (13.24T_1 - 0.14T_1^2 + 0.0019T_1^3)]$

[0079] 工作原理是:现有的桥梁压力测量方法误差大、精度不高,本发明提出基于动态电感 $L1$ 与动态电阻 $R1$ 的温度二维感知方法,并结合反谐振频率测量压力;本发明首先基于矢量网络分析仪测量压电传感器等效参数;然后建立等效参数中动态电感 $L1$ 、动态电阻 $R1$ 与温度的二维关系曲面,实现传感器温度感知;再由感知的温度来补偿压力-频率曲线,从而实现传感器温度补偿,并计算出压力。本发明基于压电谐振器参数融合,解决单一参数与温度函数非单调问题,二元温度补偿,拟合的二元曲面中,温度与点 $(L1, R1)$ 一一对应,避免 $L1$ 与温度的非单调函数问题;所感知温度为谐振器本身温度,感知精度高,比外用温度传感器更加准确;相对于双模振荡温度补偿,该方法不需要负载的起振电路,它将硬件问题转化为软件问题,提高了方法的适用范围;本方法采用反谐振频率作为压力传感物理量,相对于谐振频率,其具有更高的灵敏度。

[0080] 另外,本发明实现无源无芯片长距离传输。敏感元件端仅为压电晶体,不需要驱动

电路。传输距离可达20米及以上,传输功率可低至-20dBm。压电薄膜传感器与网络传输模块(NB-IoT)结合,可实现超远距离传输,构建物联网在线监控网络。

[0081] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

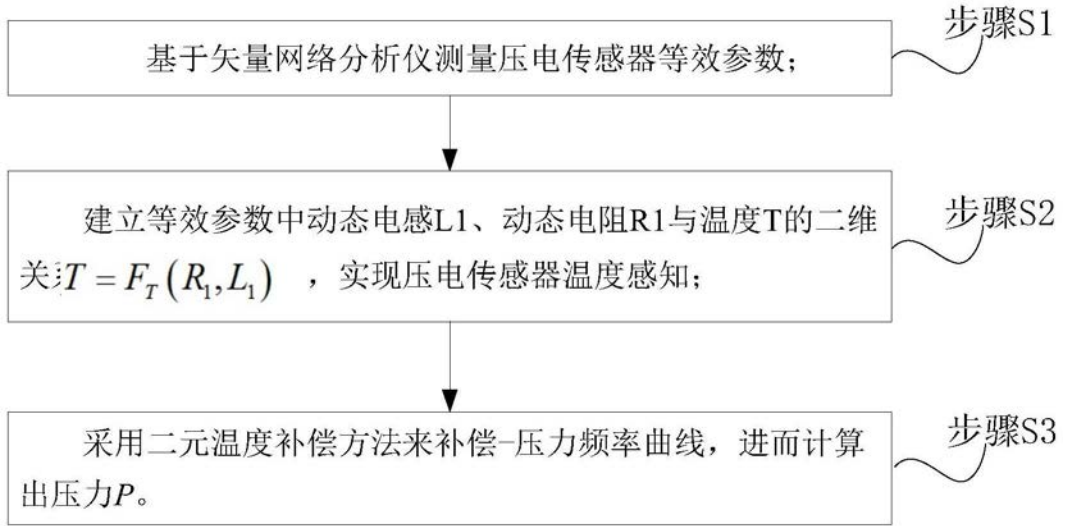


图1

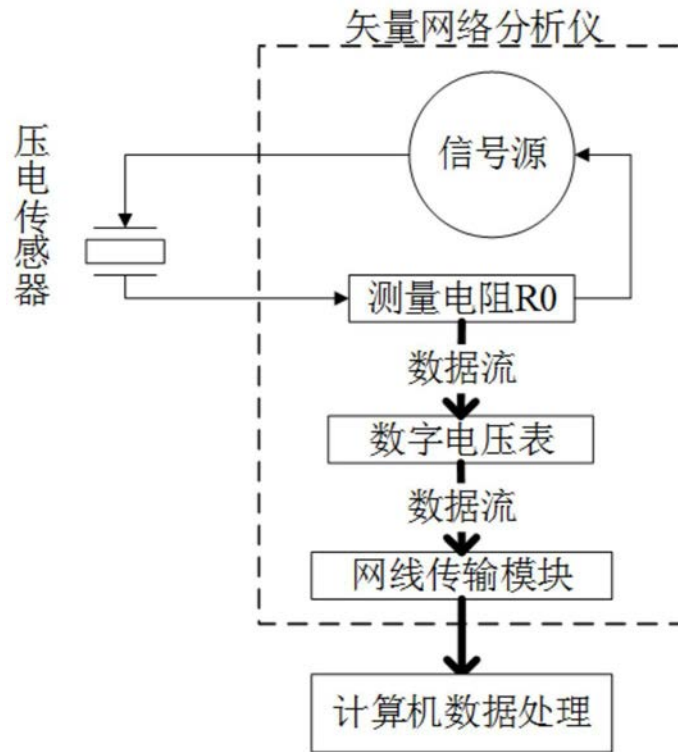


图2

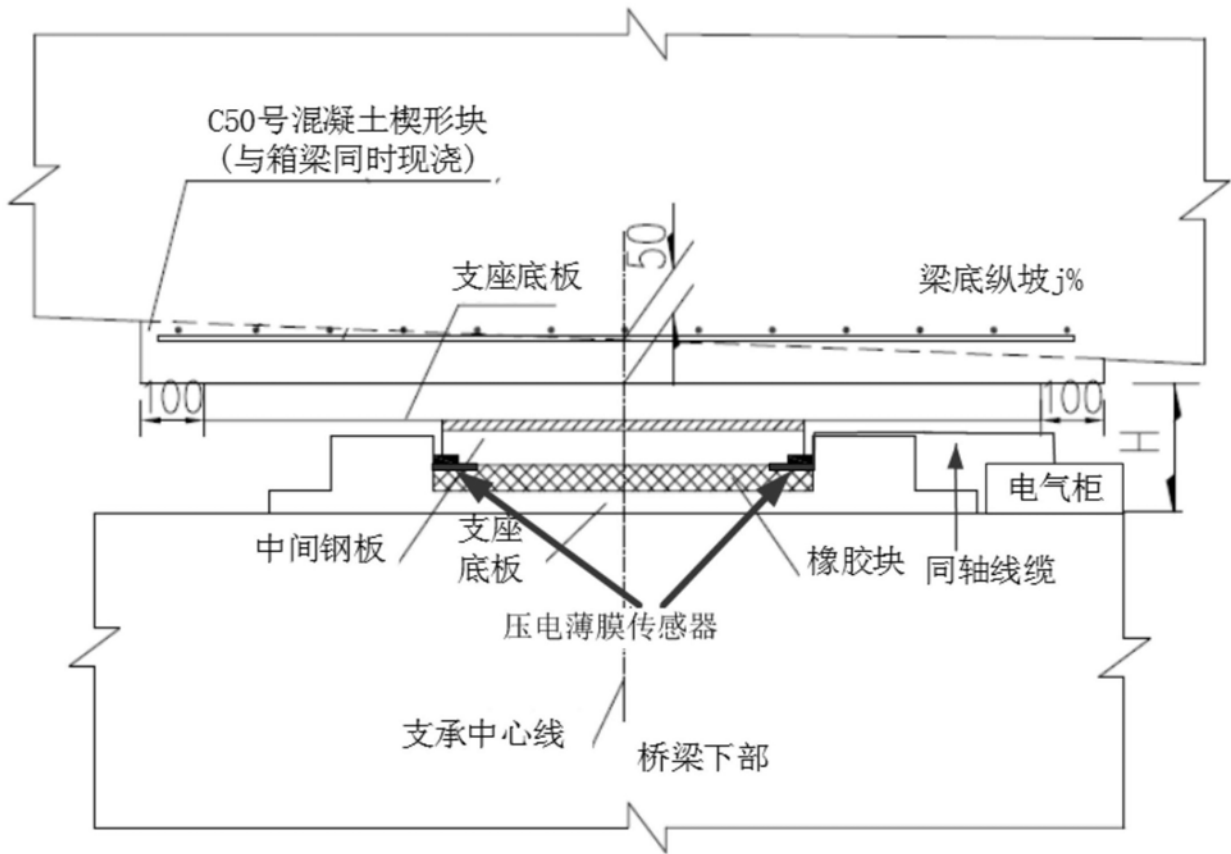


图3

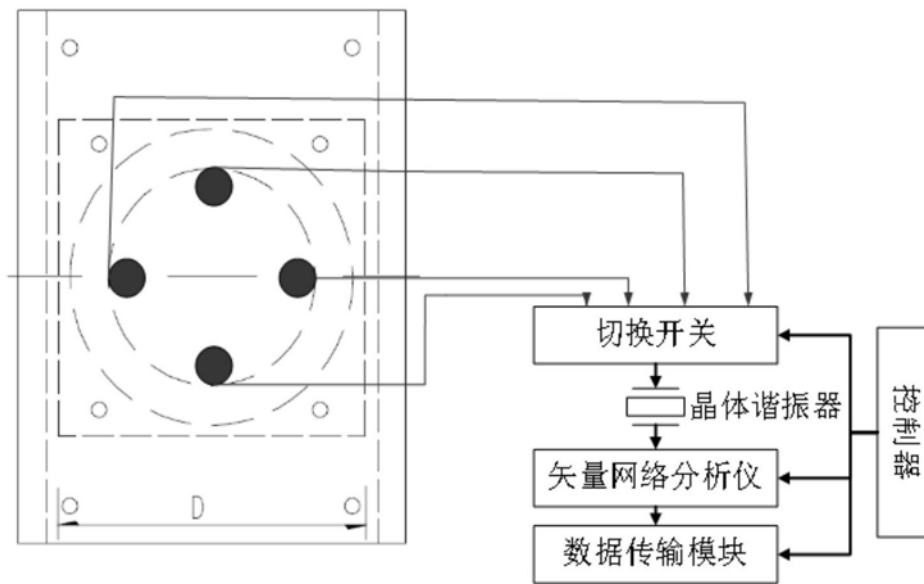


图4

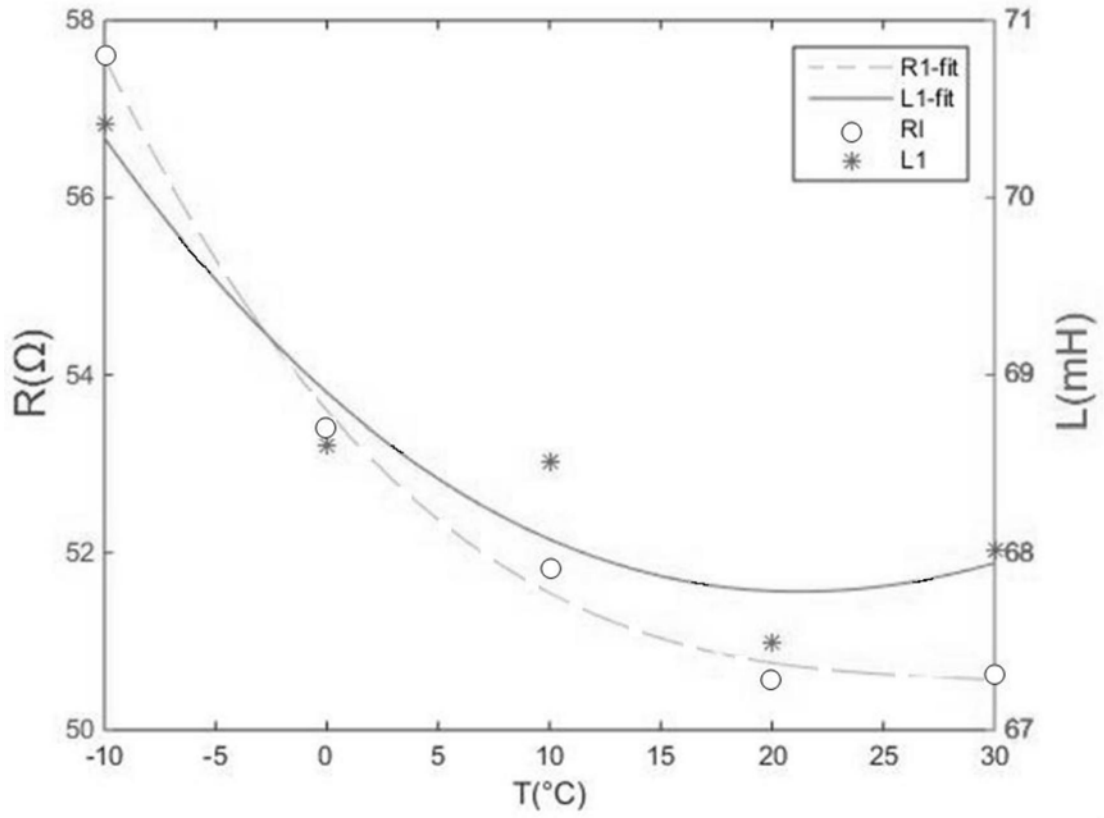


图5

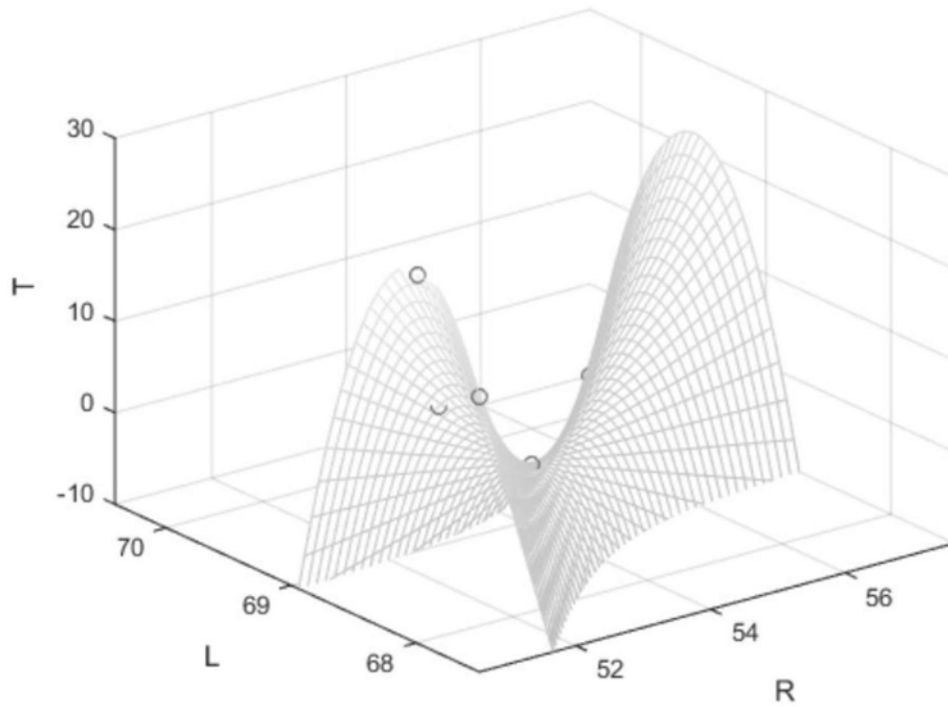


图6

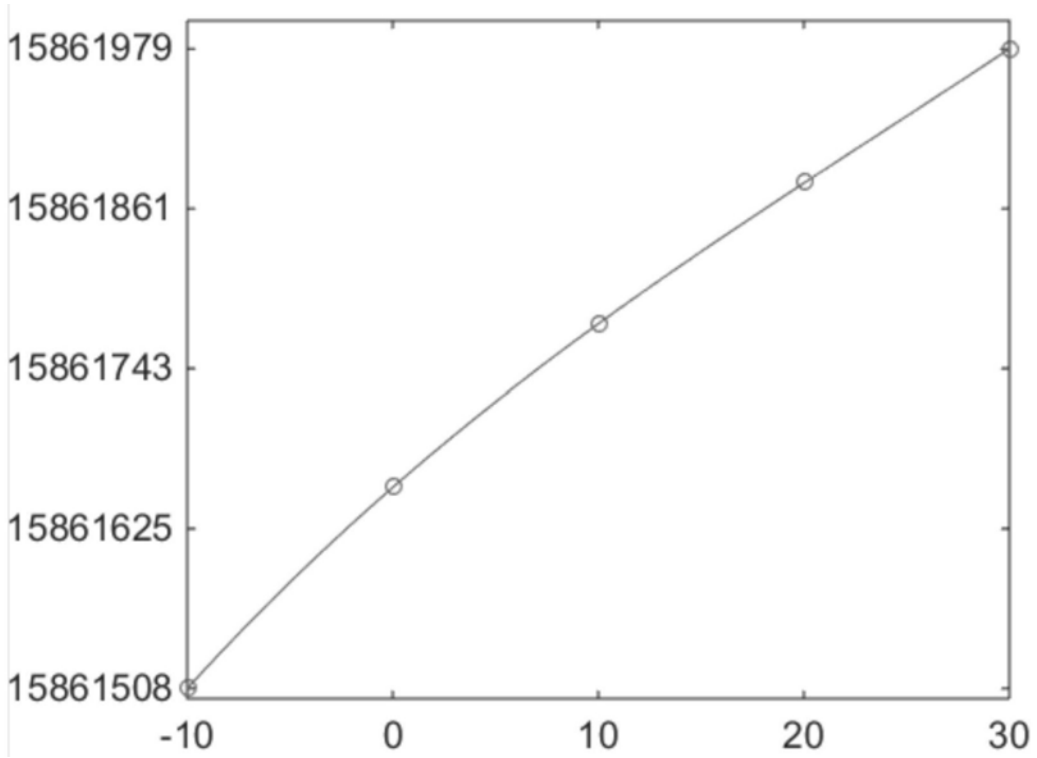


图7

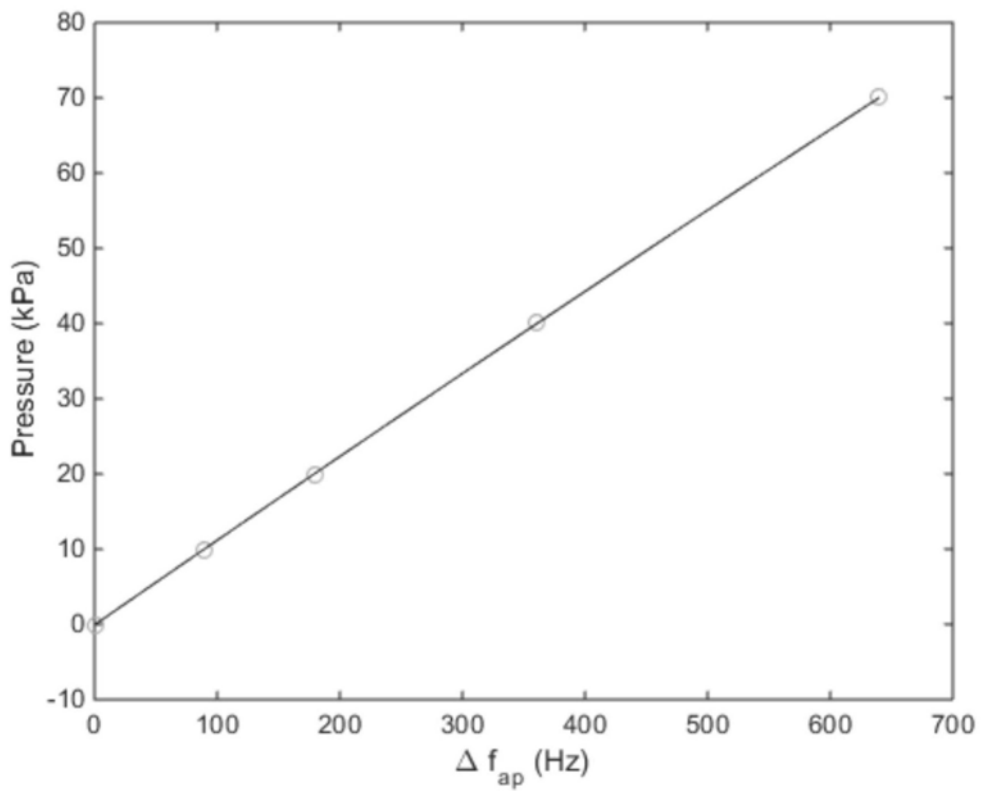


图8