



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108759781 A

(43)申请公布日 2018. 11. 06

(21)申请号 201810595480.9

(22)申请日 2018.06.11

(71)申请人 武汉二航路桥特种工程有限责任公
司

地址 430061 湖北省武汉市武昌区小洪山
东区湖北省科技创业大厦A座A单元21
层2101-2104号

(72)发明人 朱世峰 朱慈祥 周志祥 马小云
赵顺清 陈泽 胡先朋 邱业亮
陈亮 吴楚钢

(74)专利代理机构 北京远大卓悦知识产权代理
事务所(普通合伙) 11369

代理人 胡茵梦

(51) Int. Cl.

G01C 5/04(2006.01)

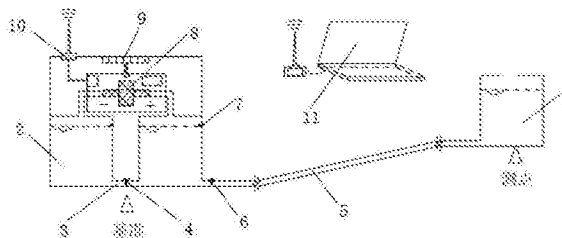
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

初始大高差结构的竖向位移监测装置和方法

(57)摘要

本发明公开了初始大高差结构的竖向位移监测装置和方法,装置包括:测点储液罐,其内灌装有液体;一对测试端储液罐,其上部相同高度处分别对应设置有贯通外部的通孔,一对测试端储液罐底部通过第一连通管连通为一体式结构,所述第一连通管上设置有第一阀门,其中一测试端储液罐底部还与所述测点储液罐通过第二连通管连通,一对测试端储液罐上表面均具有相同的开口;差压传感器,其负极端和正极端分别通过管道密封连通一对测试端储液罐的开口。本发明的装置以及利用装置进行测量的方法成功消除了初始高差对亚毫米级竖向位移自动化监测的影响,也有效避免了温度和大气压对监测结果的影响。



1. 初始大高差结构的竖向位移监测装置,其特征在于,包括:

测点储液罐,其内灌装有液体;

一对测试端储液罐,其上部相同高度处分别对应设置有贯通外部的通孔,一对测试端储液罐底部通过第一连通管连通为一体式结构,所述第一连通管上设置有第一阀门,其中一测试端储液罐底部还与所述测点储液罐通过第二连通管连通,一对测试端储液罐上表面均具有相同的开口;

差压传感器,其负极端和正极端分别通过连接管道密封连通一对测试端储液罐的开口。

2. 如权利要求1所述的初始大高差结构的竖向位移监测装置,其特征在于,所述第二连通管上也设置有第二阀门。

3. 如权利要求1所述的初始大高差结构的竖向位移监测装置,其特征在于,所述通孔处均设置有密封通孔的控制螺栓。

4. 如权利要求1所述的初始大高差结构的竖向位移监测装置,其特征在于,所述差压传感器为液体差压传感器或气体差压传感器。

5. 如权利要求1所述的初始大高差结构的竖向位移监测装置,其特征在于,所述差压传感器电连接数字显示器。

6. 如权利要求1所述的初始大高差结构的竖向位移监测装置,其特征在于,所述差压传感器电连接数据传输模块,所述数据传输模块有线连接或者无线连接数据接收与存储处理设备。

7. 如权利要求1所述的初始大高差结构的竖向位移监测装置,其特征在于,所述通孔为从测试端储液罐内壁向外壁逐渐向外扩展延伸的弧形开口,所述测试端储液罐外壁还设置有封闭机构,其包括:

密封件,其包括连接板和密封块,所述连接板上端铰接于通孔正上方的测试端储液罐外壁上,所述密封块固定于所述连接板一侧面上且下端与连接板的下端平齐,所述密封块形状与所述通孔的形状相匹配且所述密封块的顶面向外延伸形成延伸块;

U型管,其一侧为低开口并固定于测试端储液罐的外壁上且低开口上端与通孔下端平齐,U型管另一侧为高开口并位于通孔上方,所述高开口下方靠近通孔一侧的壁上具有贯通的孔洞且孔洞内固定有销轴;

顶推件,其包括转动杆和铰接杆,所述转动杆套设于销轴上使其一端位于高开口内、另一端位于高开口外,所述铰接杆一端铰接于转动杆位于外侧的另一端上、另一端铰接于连接板上;

浮力杆,其位于高开口内且上端铰接于转动杆上,下端固定有浮力球并竖直向下靠近U型管底部。

8. 初始大高差结构的竖向位移监测方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一:第一阀门和第二阀门均打开,同时通孔也打开,提升测点储液罐的高度使得测点储液罐内的液体流进一对测试端储液罐内,直至液体从一对测试端储液罐的通孔内流出,将测点储液罐和一对测试端储液罐置于相同的高度,然后封闭通孔;

步骤二:将测点储液罐或一对测试端储液罐固定于测点上,相应的一对测试端储液罐或测点储液罐位于竖向位移不变的基准点上,并关闭第一阀门;

步骤三：监测并进行数据采集。

9. 如权利要求8所述的初始大高差结构的竖向位移监测方法，其特征在于，步骤三进行数据采集前先进行系统标定，具体为：将测点上的储液罐竖向位移变化置为一定值，然后观察此时差压传感器对应的压差变化值，求得两者的比例，作为标准比例；然后进行步骤三数据的采集，将采集到的实际压差变化值乘以标准比例即为测点竖向位移变化值。

初始大高差结构的竖向位移监测装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及土木工程技术领域。更具体地说,本发明涉及初始大高差结构的竖向位移监测装置和方法。

背景技术

[0002] 由于压力传感器的量程是有限的,一般仍可满足结构竖向位移的相对变化的测量。但工程实践过程中,存在一些结构,其各构造部分的初始高差达到几米、数十米甚至百米以上,但竖向位移相对变化值很小,有的仅为毫米级甚至亚毫米级的情况,即初始大高差结构的小变形监测问题,此类问题包括诸如拱桥主拱结构的竖向变形问题、房建结构屋顶主梁竖向变形问题及桥墩沉降监测问题等。此种情况下的测量既要求测量仪器量程足够大以适应结构各部位的初始较大高度差,又要求仪器精度足够高以实现对其竖向微小变形值的高精度测量,多数情况下还要求实现在线、远程及自动化监测。

[0003] 目前的既有技术及相关设备,如精密水准仪、全站仪、光电挠度仪及GPS等均难以达到此要求:(1)百(千)分表等位移计法,水准仪、全站仪等光学仪器测量法,均属于短期、人工测量,存在耗费时间和人力、实时性不强、测点附近需要固定点等缺点。(2)倾角仪法、激光图像法、GPS、惯性测量法、光电液位连通管法、压力变送器法、张力线法等均可实现自动测量,但均存在不足,如倾角仪法要求的轴线与桥轴线平行安装不易实现;图像法受大气能见度影响较严重,在雨、雾、霾等能见度差的天气难以正常工作;GPS在竖向位移方向精度较低,且易受构件遮挡,目前仅适用于大跨径结构的竖向位移监测;惯性测量法对低频位移存在失真现象且不能测量竖向静态位移;光电液位连通管法属于开放式连通管,液面震荡、液体蒸发、管道摩阻力、具有时变特性的大气场等降低了其测试精度和长期稳定性,且很难考虑温度变化的影响、设备成本较高,其难以满足具有初始大高差特性结构的小变形测试所需的超大量程和高精度,且对施工安装垂直度要求很高即环境适应性较弱;张力线法的精度较低,测试过程需进行复杂的运算,同时构造复杂、成本较高,且难以布设与满足有效监测该类结构竖向位移。

发明内容

[0004] 本发明的一个目的是提供初始大高差结构的竖向位移监测装置和方法,成功消除了初始高差对亚毫米级竖向位移自动化监测的影响,也有效避免了温度和大气压对监测结果的影响。

[0005] 为了实现根据本发明的这些目的和其它优点,提供了一种初始大高差结构的竖向位移监测装置,包括:测点储液罐,其内灌装有液体;一对测试端储液罐,其上部相同高度处分别对应设置有贯通外部的通孔,一对测试端储液罐底部通过第一连通管连通为一体式结构,所述第一连通管上设置有第一阀门,其中一测试端储液罐底部还与所述测点储液罐通过第二连通管连通,一对测试端储液罐上表面均具有相同的开口;差压传感器,其负极端和正极端分别通过连接管道密封连通一对测试端储液罐的开口。

- [0006] 优选的是,所述第二连通管上也设置有第二阀门。
- [0007] 优选的是,所述通孔处均设置有密封通孔的控制螺栓。
- [0008] 优选的是,所述差压传感器为液体差压传感器或气体差压传感器。
- [0009] 优选的是,所述差压传感器电连接数字显示器。
- [0010] 优选的是,所述差压传感器电连接数据传输模块,所述数据传输模块有线连接或者无线连接数据接收与存储处理设备。
- [0011] 优选的是,所述通孔为从测试端储液罐内壁向外壁逐渐向外扩展延伸的弧形开口,所述测试端储液罐外壁还设置有封闭机构,其包括:密封件,其包括连接板和密封块,所述连接板上端铰接于通孔正上方的测试端储液罐外壁上,所述密封块固定于所述连接板一侧面上且下端与连接板的下端平齐,所述密封块形状与所述通孔的形状相匹配且所述密封块的顶面向外延伸形成延伸块;U型管,其一侧为低开口并固定于测试端储液罐的外壁上且低开口上端与通孔下端面平齐,U型管另一侧为高开口并位于通孔上方,所述高开口下方靠近通孔一侧的壁上具有贯通的孔洞且孔洞内固定有销轴;顶推件,其包括转动杆和铰接杆,所述转动杆套设于销轴上使其一端位于高开口内、另一端位于高开口外,所述铰接杆一端铰接于转动杆位于外侧的另一端上、另一端铰接于连接板上;浮力杆,其位于高开口内且上端铰接于转动杆上,下端固定有浮力球并竖直向下靠近U型管底部。
- [0012] 本发明还提供一种初始大高差结构的竖向位移监测方法,包括如下步骤:
- [0013] 步骤一:第一阀门和第二阀门均打开,同时通孔也打开,提升测点储液罐的高度使得测点储液罐内的液体流进一对测试端储液罐内,直至液体从一对测试端储液罐的通孔内流出,将测点储液罐和一对测试端储液罐置于相同的高度,然后封闭通孔;
- [0014] 步骤二:将测点储液罐或一对测试端储液罐固定于测点上,相应的一对测试端储液罐或测点储液罐位于竖向位移不变的基准点上,并关闭第一阀门;
- [0015] 步骤三:监测并进行数据采集。
- [0016] 优选的是,步骤三进行数据采集前先进行系统标定,具体为:将测点上的储液罐竖向位移变化置为一定值,然后观察此时差压传感器对应的压差变化值,求得两者的比例,作为标准比例;然后进行步骤三数据的采集,将采集到的实际压差变化值乘以标准比例即为测点竖向位移变化值。
- [0017] 本发明至少包括以下有益效果:
- [0018] 1、本发明的装置和方法既适用于短期的该类结构竖向位移测量,又适用于该类结构的竖向位移长期自动化监测,适用于桥梁、隧道及高层建筑等结构的竖向位移(挠度、沉降和平整度等)自动化监测。
- [0019] 2、本发明采用的对称封闭式压力测量不受温度变化导致的封闭气体气压变化和液体密度变化的影响,对测试现场的大风、雨、雾、霾等气候条件和河面、山谷等地形条件均具有良好的适用性。
- [0020] 3、本发明采用的差压传感测量方法,消除了结构的初始大高差特性对亚毫米级竖向位移(如挠度、沉降和平整度等)的准确、自动化、远程实时监测。
- [0021] 4、本方法和装置的使用不受气候条件、地形和结构形式等的限制,无论测试现场是否有大风、雨、雾、霾等;无论结构下方是否为河面或山谷,此方法和装置都能监测,解决了无法在河上固定测量仪器的问题;无论是上承式、中承式或下承式拱结构还是高墩、房建

结构,此方法和装置均能实现结构的任一截面位置的竖向位移监测,解决了具有初始大高差特性结构的竖向位移自动化监测难题。

[0022] 5、本测试方法和装置可推广应用于所有具有初始高差特性结构的竖向位移、平整度等监测中。

[0023] 本发明的其它优点、目标和特征将部分通过下面的说明体现,部分还将通过对本发明的研究和实践而为本领域的技术人员所理解。

附图说明

[0024] 图1为本发明装置的结构示意图;

[0025] 图2为本发明差压-位移转换原理的示意图;

[0026] 图3为本发明消除环境温度影响的示意图;

[0027] 图4为本发明封闭机构初始状态结构示意图;

[0028] 图5为本发明封闭机构封闭状态结构示意图。

[0029] 附图标记说明:

[0030] 1、测点储液罐,2、测试端储液罐,3、第一连通管,4、第一阀门,5、第二连通管,6、第二阀门,7、控制螺栓,8、差压传感器,9、数字显示器,10、数据传输模块,11、数据接收与存储处理设备,21、通孔,22、连接板,23、密封块,24、U型管,25、转动杆,26、铰接杆,27、浮力杆,28、浮力球。

具体实施方式

[0031] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明,以令本领域技术人员参照说明书文字能够据以实施。

[0032] 需要说明的是,下述实施方案中所述实验方法,如无特殊说明,均为常规方法,所述试剂和材料,如无特殊说明,均可从商业途径获得;在本发明的描述中,术语“横向”、“纵向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,并不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0033] 如图1所示,本发明提供一种初始大高差结构的竖向位移监测装置,包括:测点储液罐1,其内灌装有液体;一对测试端储液罐2,其上部相同高度处分别对应设置有贯通外部的通孔,一对测试端储液罐2底部通过第一连通管3连通为一体式结构,所述第一连通管3上设置有第一阀门4,其中一测试端储液罐2底部还与所述测点储液罐1通过第二连通管5连通,一对测试端储液罐2上表面均具有相同的开口;差压传感器8,其负极端和正极端分别通过管道密封连通一对测试端储液罐2的开口。

[0034] 在上述技术方案中,差压传感器8的正(+)和负(-)极可不受限制的一一对应连接一对测试端储液罐2,测点储液罐1也是不受限制的通过第二连通管5密封连接任一测试端储液罐2。一对测试端储液罐2几何尺寸参数相同,控制测试端储液罐2水位的通孔分别距离其相应测试端储液罐2内顶面的高度相同,以保证测试时的封闭空间有相同体积,即可有效避免环境温度对差压传感器8的“+”、“-”两端气压差变化的影响。

[0035] 在一种实施例中,差压传感器8对应为气压型差压传感芯片,对气压的测试精度为0.01mbar即可满足工程实际需求,其对应的竖向位移测量精度为0.1mm,一对测试端储液罐2为对称封闭式双储液罐,底部通过第一阀门4控制的第一连通管3连通。以图1所示的方位为例,右边的测试端储液罐2连通测点储液罐1,其上端连接差压传感器8正极,而左边的测试端储液罐2连接差压传感器8负极,一对测试端储液罐2内的液面均是到达通孔的位置,且通孔密封,一对测试端储液罐2通过第一阀门4隔绝,同时均与差压传感器8是密封状态,而测点储液罐1固定于初始大高差结构的测点处,测试时,当测点储液罐1竖向位移发生变化时,测点储液罐1与一对测试端储液罐2的液面高度差发生变化,从而右边的测试端储液罐2液压和气压都发生变化,进而在差压传感器8内反应为压差数据的变化。

[0036] 本发明的原理为:将本发明的装置安装在测点上后,当测点位置发生竖向位移时,固定在该测点处的测点储液罐1将随着该结构发生相应的高程变化,此时测点储液罐1液面相对于压力传感器的“+”测试端储液罐2的液面高程发生改变,由连通管原理可知其将引起测试端储液罐2内压力改变,而“-”测试端储液罐2内压力不变,使得压力差改变为差压传感器8捕获,将使得差压传感器8正(+)、负(-)极间压力差由 Δp_1 变化为 Δp_2 ,通过差压传感器8

测出的差压变化量,根据 $\Delta h = \frac{\Delta p_1 - \Delta p_2}{\rho g}$ 便可得到测点处竖向位移变化量。

[0037] 在另一种技术方案中,所述第二连通管5上也设置有第二阀门6。

[0038] 在另一种技术方案中,所述通孔处均设置有密封通孔的控制螺栓7。

[0039] 在另一种技术方案中,所述差压传感器8为液体差压传感器或气体差压传感器。差压传感器8可以是测量气压的差压传感器,也可以是测量液压的差压传感器。

[0040] 在另一种技术方案中,所述差压传感器8电连接数字显示器9。

[0041] 在另一种技术方案中,所述差压传感器8还电连接数据传输模块10,所述数据传输模块10有线连接或者无线连接数据接收与存储处理设备11。

[0042] 在上述技术方案中,差压传感器8获得的测量或监测数据既可以通过液晶数字显示器9直接读取并手工记录,也可以经无线或者数据总线的方式直接传输到PC进行数据存储与分析,还可以先行存储到数据存储卡,再经PC读出进行数据的处理运算。通过有线传输方式(RS-485或Can等总线技术)或无线传输方式(RF或GPRS等)将监测测试数据传输至数据存储于分析设备(如:计算机等),在获取该变形值时不再受制于气候、地理环境和空间距离,避免了由于观测者的观测方法和经验不同带来的人为观测误差。

[0043] 在另一种技术方案中,如附图4和附图5所示,所述通孔21为从测试端储液罐2内壁向外壁逐渐向外扩展延伸的弧形开口,所述测试端储液罐2外壁还设置有封闭机构,其包括:密封件,其包括连接板22和密封块23,所述连接板22上端铰接于通孔21正上方的测试端储液罐2外壁上,所述密封块23固定于所述连接板22一侧面上且下端与连接板22的下端平齐,所述密封块23形状与所述通孔21的形状相匹配且所述密封块23的顶面向外延伸形成延伸块;U型管24,其一侧为低开口并固定于测试端储液罐2的外壁上且低开口上端与通孔21下端平齐,U型管24另一侧为高开口并位于通孔21上方,所述高开口下方靠近通孔21一侧的壁上具有贯通的孔洞且孔洞内固定有销轴;顶推件,其包括转动杆25和铰接杆26,所述转动杆25套设于销轴上使其一端位于高开口内、另一端位于高开口外,所述铰接杆26一端铰接于转动杆25位于外侧的另一端上、另一端铰接于连接板22上;浮力杆27,其位于高开口内

且上端铰接于转动杆25上,下端固定有浮力球28并竖直向下靠近U型管24底部。

[0044] 在上述技术方案中,在测试端储液罐2内灌注液体时,液体灌注完成是以液体从通孔21中流出为依据,此时液体流出的判断需要有专门的工人在此处监测,大大降低了效率;同时液体的流出需要专门拿容器进行收集,非常不方便,如果直接外溢,也不合适;另外通孔21进行密封时也需要专门进行密封,除了效率低以外,还不能实现自动化操作,因此本发明还设计了封闭机构。

[0045] 在进行液体灌注时,由于浮力杆27自重和密封件自重的配合作用下,密封件让出了通孔21的空间,如图4所示的状态,此时转动杆25恰好为水平状态;当液体灌注完成后,液体会从通孔21中流出到U型管24内,此时浮力球28由于浮力的作用会向上浮动,从而带动浮力杆27向上将转动杆25的右端向上顶起,转动杆25绕着销轴转动,从而通过铰接杆26带动连接板22向左转动,随着液体的灌注,连接板22持续向左转动直至转动为竖直状态,而密封块23恰好密封住通孔21,如图5所示状态。密封块23上的延伸块比测试端储液罐2内壁上的开口大小略大,一方面可引导密封块23进入通孔21中实现密封,另一方面密封性能更好;通孔21设置为内小外大的弧形结构,方便密封块23的密封;而密封块23下端与连接板22下端平齐,转动密封时不与U型管24相干涉;浮力球28浮力大小的设置完全能将密封块23顶入到通孔21中实现自动密封。此密封机构的设置可实现收集灌注液体并通过灌注液体的特性实现密封块23对通孔21的自动密封,监测时不需要专门的人员进行监看。

[0046] 本发明还提供一种初始大高差结构的竖向位移监测方法,包括如下步骤:

[0047] 步骤一:第一阀门4和第二阀门6均打开,同时通孔也打开,待灌注液体首先灌满测点储液罐1,再提升待灌注液体和测点储液罐1的高度使得待灌注液体通过测点储液罐1内的液体流进一对测试端储液罐2内,直至液体从一对测试端储液罐2的通孔内流出,将测点储液罐1和一对测试端储液罐2置于相同的高度,然后通过控制螺栓7或封闭机构封闭通孔,关闭第二阀门,防止气体进入到第二连通管5,完成液体灌注;

[0048] 步骤二:将测点储液罐1或一对测试端储液罐2固定于测点上,相应的一对测试端储液罐2或测点储液罐1位于竖向位移不变的基准点上,打开第二阀门6,并关闭第一阀门4;根据现场条件及对测量的要求,测点储液罐1与一对测试端储液罐2在测量布置时位置可互换,不影响测量结果;

[0049] 步骤三:接通差压传感器8的电源,使其处于工作状态,然后监测并进行数据采集,数据采集时可选择数据传输模块10的工作方式,可以为有线式(RS485或Can总线),也可以为无线式(RF或GPRS等)。

[0050] 在另一种技术方案中,步骤三进行数据采集前先进行系统标定,具体为:将测点上的储液罐竖向位移变化置为一定值,然后观察此时差压传感器8对应的压差变化值,求得两者的比例,作为标准比例;然后进行步骤三数据的采集,将采集到的实际压差变化值乘以标准比例即为测点竖向位移变化值。

[0051] 在上述技术方案中,液体密度、重力加速度值等参数在不同的地理环境以及不同的时间条件下会有一定的差异,因此液体密度、重力加速度值等参数既可以通过软件预输入的方式进行自动计入以消除其影响,也可通过上述测量之前的系统标定方式以消除其影响。例如先人为将测点处的储液罐竖向位移升高5毫米,然后记录此时差压传感器8的压力差测量值,位移变化与压力差的比值即为标准比例,实际进行测量时,根据标准比例结合实

际压力差测量值即可得到测点处竖向位移变化值。

[0052] 如图2所示,使用上述方法和装置时的差压-位移转换原理为:

[0053] 附图2中的差压传感器的“-”极端的密闭气体压强初始值为当地大气压,简化后的计算图示如附图2所示,当为检测性等短期测量时,且测量多在晚间的工程实际情况,其封闭气体在测试过程中可视为等温过程。设 p_0 为大气压强, p_1 为未发生竖向位移时测点处封闭气体压强, p_2 为发生竖向位移 u 后测点处封闭气体压强, A_1 为封闭端容器横截面积, A_2 为差压传感器连接管横截面积, A_3 为开放端容器横截面积, l_1 为液面至连接管的高度, l_2 为差压传感器连接管长度, Δl_1 为发生竖向位移后测点处封闭气体变化高度。

[0054] 当初始状态,连通管即第二连通管两端液面高度相等时,有 $p_1 = p_0 + \rho gh'$ 。

[0055] 结构发生竖向位移 u 时,由理想气体状态方程可得:

$$[0056] \quad p_1 = p_2 \left(1 - \frac{\Delta v_1}{v_1} \right) \quad (1)$$

[0057] 其中: $v_1 = A_1 l_1 + A_2 l_2$ 为 p_1 对应的气体体积、 v_2 为 p_2 对应的气体体积,体积变化量 $\Delta v_1 = v_1 - v_2 = A_1 \Delta l_1$,令 $\Delta p = p_2 - p_1$,则式(1)可写为:

$$[0058] \quad \frac{\Delta p}{\Delta l_1} = \frac{(p_1 + \Delta p) A_1}{A_1 l_1 + A_2 l_2} \quad (2)$$

[0059] 根据液体连续性方程可知:

$$[0060] \quad \Delta p = \rho g \Delta h = \rho g \left[u + h' - \left(1 + \frac{A_1}{A_3} \right) \Delta l_1 \right] \quad (3)$$

[0061] 联立式(2)、式(3),得:

$$[0062] \quad u = \frac{\Delta p}{\rho g} \left[1 + \frac{\rho g}{(p_0 + \rho gh' + \Delta p)} \left(l_1 + \frac{A_2}{A_1} l_2 \right) \left(1 + \frac{A_1}{A_3} \right) \right] - h' \quad (4)$$

[0063] 式(4)表明,结构测点处的竖向位移值 u 与差压 ΔP 存在一定的对应关系,因此,实际应用时,只要测出结构测点处发生竖向位移前、后的连通管封闭端差压值,即可得到结构在该测点处的竖向位移值。

[0064] 1) 当基准点和测试点处容器截面积相等即 $A_1 = A_3$ 时,有:

$$[0065] \quad u = \frac{\Delta p}{\rho g} \left[1 + \frac{2\rho g}{(p_0 + \rho gh' + \Delta p)} \left(l_1 + \frac{A_2}{A_1} l_2 \right) \right] - h' \quad (5)$$

[0066] 其中: ρ 、 g 分别为连通管内液体的密度及测试地点的重力加速度。

[0067] 令 $\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g}$ 、 $h_0 = \frac{p_0}{\rho g}$,则式(5)改写为:

$$[0068] \quad \Delta h^2 + \left[2 \left(l_1 + \frac{A_2}{A_1} l_2 \right) + (h_0 + h') - (u + h') \right] \Delta h - (u + h')(h_0 + h') = 0 \quad (6)$$

[0069] 当连通管内液体为纯净水时,有 $h_0 = \frac{p_0}{\rho g} = \frac{1.013 \times 10^5}{1.0 \times 10^3 \times 9.8} \approx 10336.73 \text{mm}$

[0070] 结合操作的便捷性,结构设计时,可令 $l_1=5\text{mm}$, $l_2=50\text{mm}$, $A_1=\pi\left(\frac{60}{2}\right)^2\text{mm}^2$,

$A_2=\pi\left(\frac{3}{2}\right)^2\text{mm}^2$, $A_3=\pi\left(\frac{60}{2}\right)^2\text{mm}^2$,则有 $\frac{A_2}{A_1}l_2=\frac{1}{400}\times 50=0.125\text{mm}$,测量前很容易保证两

端初始液面等高,即 $h'=0$ 。此时,当挠度 $u=1000\text{mm}$ 时,计算式(6)中的系数后,方程化简为: $\Delta h^2+9346.98\cdot\Delta h-10336730=0$,解得 $\Delta h\approx 999.097\text{mm}$, $\Delta l_1=0.4515\text{mm}$ 。同理:当挠度 $u=100\text{mm}$ 时, $\Delta h\approx 99.902\text{mm}$, $\Delta l_1=0.049\text{mm}$;当挠度 $u=1\text{mm}$ 时, $\Delta h\approx 0.999\text{mm}$, $\Delta l_1=0.0005\text{mm}$ 。

[0071] 由此可知,实际竖向位移值分别为 1000mm 、 100mm 、 1mm 时,式(6)取等号右边第一项的线性部分进行计算,造成的非线性项舍去误差值分别为 $\delta=0.903\text{mm}$ 、 0.098mm 和 0.001mm ,该误差所占测试值的比重分别为 0.0903% 、 0.098% 和 0.1% 。

[0072] 故可以舍去其非线性项,而舍去误差 $\leq 0.1\%$,可忽略。即:

$$[0073] \quad u \approx \Delta h \quad (7)$$

[0074] 即:结构测点位移值与差压变化值对应的液柱高度值相等。因此,在实际工程中的位移测量过程中,只要读取并记录位移发生前后的连通管两端差压变化值 ΔP ,其对应的液柱高度 Δh 值即等于要测量的位移 u 的值。

[0075] 2) 当基准点容器截面积远大于测试点处容器截面积,封闭端容器横截面积远大于传感器连接软管横截面积时,即 $A_2 \ll A_1 \ll A_3$ 时,有: $\frac{A_1}{A_3} \rightarrow 0$ 、 $\frac{A_2}{A_1} \rightarrow 0$,此时式(4)改写为:

$$[0076] \quad u = \Delta h \left[1 + \frac{l_1}{(h_0 + h' + \Delta h)} \right] - h' \quad (8)$$

[0077] 其中: ρ 、 g 分别为连通管内液体的密度及测试地点的重力加速度, $\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g}$,

$$h_0 = \frac{p_0}{\rho g}。$$

[0078] 令 $h'=0$,且当连通管内液体为纯净水时,有:

$$[0079] \quad h_0 = \frac{p_0}{\rho g} = \frac{1.013 \times 10^5}{1.0 \times 10^3 \times 9.8} \approx 10336.73\text{mm}, \text{而 } l_1 \text{ 仅为毫米级,故而 } \frac{l_1}{(h_0 + \Delta h)} \rightarrow 0$$

[0080] 所以, $u \approx \Delta h$ 成立,且计算误差随着 A_3 相对于 A_1 越大、 A_1 相对于 A_2 越大将急剧减小。

[0081] 同时,根据连续性方程可知:

$$[0082] \quad A_1 \Delta l_1 = A \Delta l \quad (9)$$

[0083] 其中 A 、 Δl 分别为连通管截面积和在测试过程中液体沿管路流动的距离。

[0084] 连通管选用 $A=4\text{mm}$ 的PU管,则当 $u=1000\text{mm}$ 时,有 $\Delta l = \frac{A_1 \Delta l_1}{A} = 180.6\text{mm}$;当 $u=$

100mm 时,有 $\Delta l = \frac{A_1 \Delta l_1}{A} = 19.6\text{mm}$;当 $u=1\text{mm}$ 时,有 $\Delta l = \frac{A_1 \Delta l_1}{A} = 0.2\text{mm}$ 。即在位移变化值分别为

1000mm 、 100mm 、 1mm 时的液体流动减少至常规开放式连通管液体流动的 18.06% 、 19.6% 、 20% ,使得摩擦阻力造成的能量损失大大降低,有利于测量精确度的提高。

[0085] 如附图3所示,使用上述方法和装置时消除环境温度影响的方法,该方法为:

[0086] 当竖向位移监测时间段内温度变化较大时,需要考虑系统内部封闭气体压强变化对测量结果带来的影响,为获得高精度的测量结果应对其进行消除或温度修正。一对测试端储液罐分别为2-1容器和2-2容器。

[0087] 依据附图3, P_0 为大气压; h' 为液面初始高差; Δh 为温度变化后的液面高差。当环境温度升高 ΔT 时,有:

[0088] 第一步:温度变化时,容器2-1中密闭气体的温度效应计算。

[0089] 根据理想气体状态方程,有:

$$[0090] \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{(P_1 + \rho g \Delta h)(V_1 + \Delta V)}{T_1 + \Delta T} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (10)$$

[0091] 由液体连续性方程可得:

$$[0092] \quad \Delta l_3 = \frac{A_1}{A_3} \Delta l_1 \quad (11)$$

[0093] 由图3中几何关系可知:

$$[0094] \quad \Delta h = \Delta l_1 + \Delta l_3 = \left(\frac{A_1}{A_3} + 1 \right) \Delta l_1 \quad (12)$$

$$[0095] \quad \Delta V = A_1 \Delta l_1. \quad (13)$$

[0096] 由(10)~(13)式可得:

$$[0097] \quad \frac{1}{\left(\frac{P_0}{\rho g} + h' \right) \left(l_1 + \frac{A_2}{A_1} l_2 \right) \left(\frac{A_1}{A_3} + 1 \right)} \Delta h^2 + \left(\frac{1}{\left(l_1 + \frac{A_2}{A_1} l_2 \right) \left(\frac{A_1}{A_3} + 1 \right)} + \frac{1}{\frac{P_0}{\rho g} + h'} \right) \Delta h - \frac{\Delta T}{T_1} = 0 \quad (14)$$

[0098] 解得:

[0099]

$$\Delta h = \frac{- \left(\frac{1}{\left(l_1 + \frac{A_2}{A_1} l_2 \right) \left(\frac{A_1}{A_3} + 1 \right)} + \frac{1}{\frac{P_0}{\rho g} + h'} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{\left(l_1 + \frac{A_2}{A_1} l_2 \right) \left(\frac{A_1}{A_3} + 1 \right)} + \frac{1}{\frac{P_0}{\rho g} + h'} \right)^2 + \frac{4}{\left(\frac{P_0}{\rho g} + h' \right) \left(l_1 + \frac{A_2}{A_1} l_2 \right) \left(\frac{A_1}{A_3} + 1 \right)} \frac{\Delta T}{T_1}}{2 \left(\frac{P_0}{\rho g} + h' \right) \left(l_1 + \frac{A_2}{A_1} l_2 \right) \left(\frac{A_1}{A_3} + 1 \right)} \quad (15)$$

[0100] 由此可得温度变化后的容器2-1中密闭气体的压强值为:

$$[0101] \quad P_2 = P_1 + \rho g \Delta h$$

[0102] 第二步:温度变化时,容器2-2中密闭气体的温度效应计算。

[0103] 温度变化时,容器2-2中密闭气体为等容变化,其温度变化后的密闭气体压强为:

$$[0104] \quad P_2' = P_1 \left(1 + \frac{\Delta T}{T_1}\right)$$

[0105] 第三步:温度变化后,只要满足 $P_2' = P_2$,即可消除温度变化的影响。

[0106] 第四步:根据第一步至第三步分析结果,设计容器2-1和2-2封闭气体体积。

[0107] 第五步:构造设计时选取 $A_2 \ll A_1 = A_3$,则有 $\Delta l_3 = \Delta l_1$,有利于构造设计的简化。

[0108] 尽管本发明的实施方案已公开如上,但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用,它完全可以被适用于各种适合本发明的领域,对于熟悉本领域的人员而言,可容易地实现另外的修改,因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下,本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的图例。

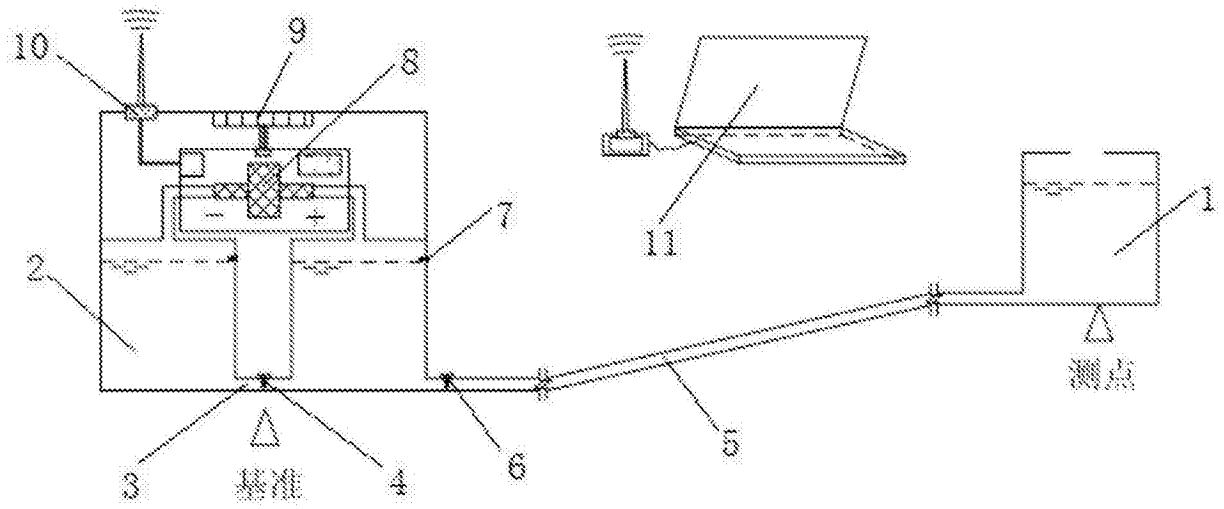


图1

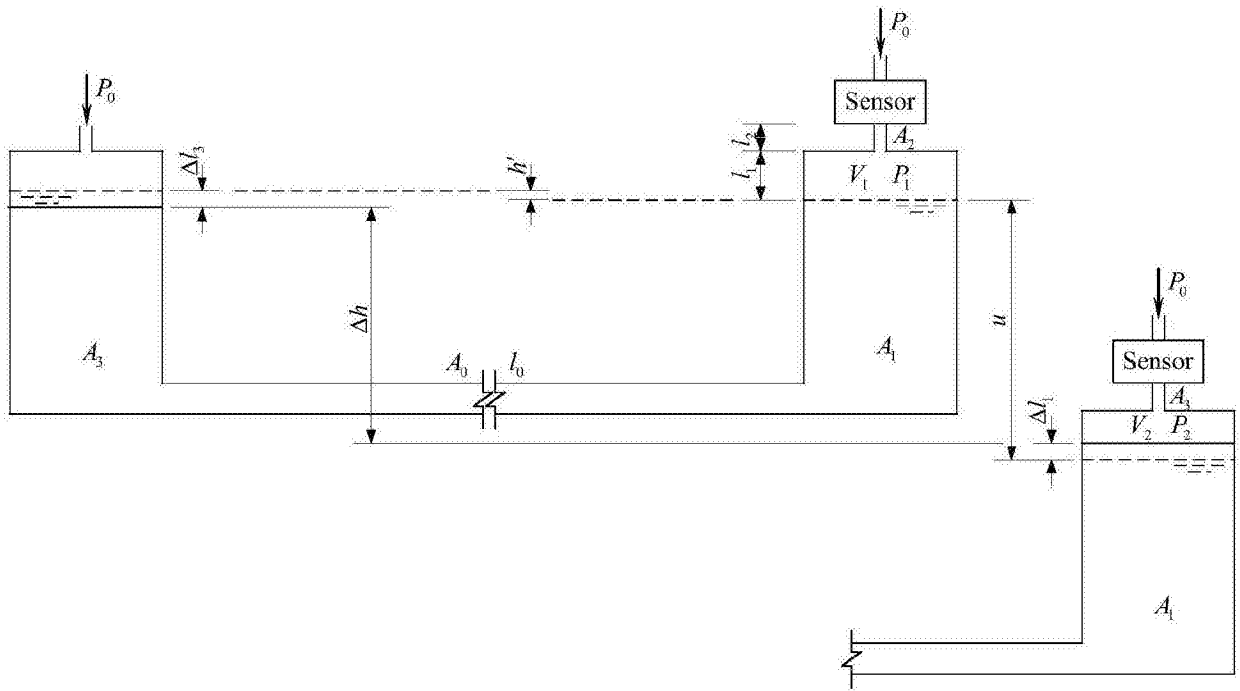


图2

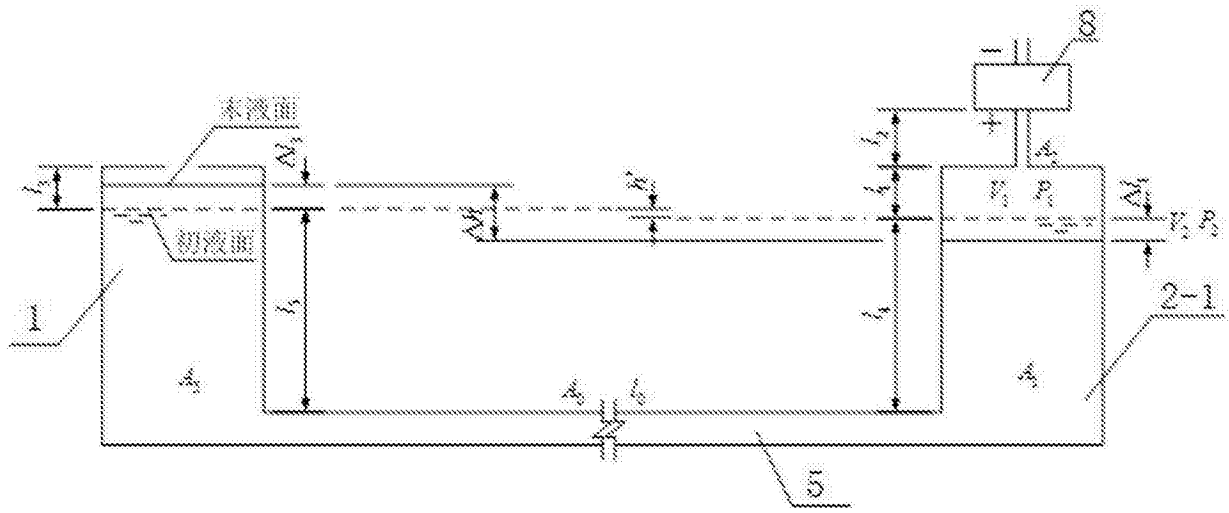


图3

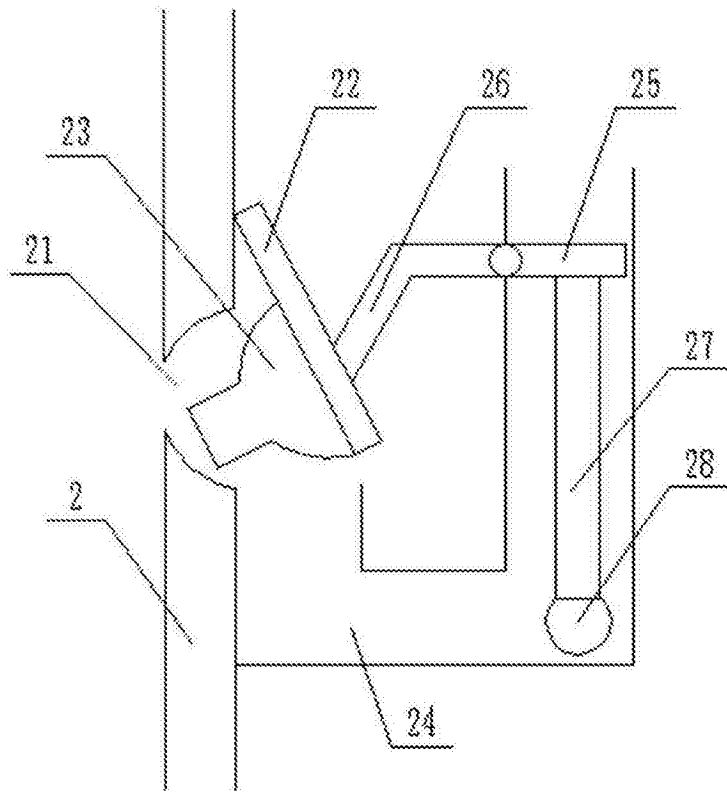


图4

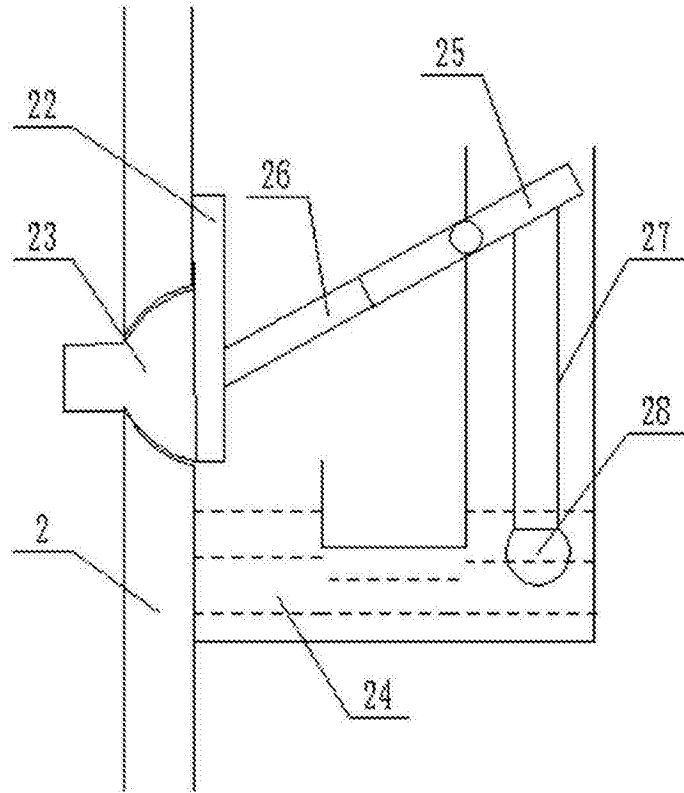


图5