(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110485363 B
(45)授权公告日 2020.11.20

(21)申请号 201910820133.6
(22)申请日 2019.08.31
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110485363 A
(43)申请公布日 2019.11.22
(73)专利权人 华北水利水电大学
地址 450000 河南省郑州市金水区北环路36号
(72)发明人 杨晨 刘颖 张先起 梁士奎 陈志强 韩继平
(74)专利代理机构 郑州豫开专利代理事务所(普通合伙) 41131
代理人 王金
(51)Int.Cl.
E02B 1/02(2006.01)
G01B 11/06(2006.01)
G01M 10/00(2006.01)
审查员 徐天杰

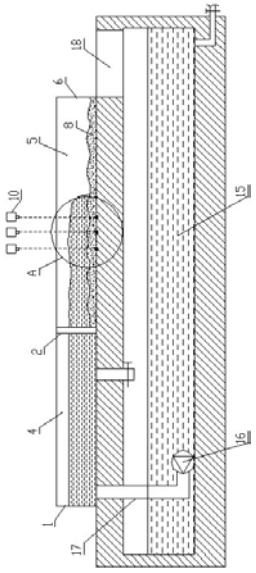
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

洪水作用下河床动态变化的模拟装置及多点实时监测方法

(57)摘要

本发明公开了一种洪水作用下河床动态变化的模拟装置,包括河道模拟槽,槽内设有坝体,坝体上设有电动闸门;坝体上下游的河道模拟槽分别为蓄水区和洪水模拟区,洪水模拟区的底部铺设有砂层,砂层下方的河道模拟槽的底壁上安装有若干高频压力传感器;各高频压力传感器的正上方一一对应设有激光装置;电控装置根据砂层实时厚度计算公式计算出对应砂层的实时厚度。本发明还公开了使用上述洪水作用下河床动态变化的模拟装置进行的多点实时监测方法。本发明对水体及砂层均不造成干扰,且不要求水槽的边壁透明,可实现多点测量,在需要的监测点的河道模拟槽的底壁上安装高频压力传感器并对应设置激光装置,测量结果较为精确。



CN 110485363 B

1.洪水作用下河床动态变化的模拟装置，包括河道模拟槽，河道模拟槽内设有坝体，坝体上设有电动闸门；坝体上游侧的河道模拟槽形成蓄水区，坝体下游侧的河道模拟槽形成洪水模拟区，洪水模拟区的下游端设有出水口，电动闸门连接有电控装置并通过电控装置控制电动闸门的启闭；

其特征在于：

洪水模拟区的底部铺设有与模拟河段河床砂的硬度相同的砂层，砂层下方的河道模拟槽的底壁上设有若干安装孔，各安装孔内分别安装有一个高频压力传感器，高频压力传感器的信号线紧贴河道模拟槽的底壁铺设并在引出河道模拟槽后与电控装置相连接；

各高频压力传感器的正上方一一对应设有激光装置，各激光装置均高于预定的洪水水位并分别与电控装置相连接；电控装置接收激光装置从发射激光到接收到返回激光的时间差信息，根据下述砂层实时厚度计算公式计算出各激光装置所对应的模拟河床的砂层的实时厚度：

$$H3=H-\left(T\times v1\div 2-\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}\times v1\div v2\right)-\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}$$

；

H3为高频压力传感器处模拟河床的砂层的实时厚度，单位为米；

H为激光装置与其对应的高频压力传感器之间的距离，单位为米；

T为激光装置测量的从发射激光到接收到返回激光的时间差，单位为秒；

v1是激光在空气中传播速度299792458米/秒；

v2是激光在水中的传播速度225000000米/秒；

d2为水的密度1000千克/立方米；

d3为砂层的密度，单位为千克/立方米；

P为高频压力传感器监测到的压强值，单位为帕斯卡；

g为重力常数，为9.8N/kg；

所述激光装置发射激光的频率与高频压力传感器的测量频率相同并均大于100Hz。

2.根据权利要求1所述的洪水作用下河床动态变化的模拟装置，其特征在于：所述各高频压力传感器在同一水平面内呈矩阵式分布。

3.根据权利要求1或2所述的洪水作用下河床动态变化的模拟装置，其特征在于：激光装置包括激光发射模块、激光接收模块、计时模块和控制模块，控制模块连接激光发射模块、激光接收模块和计时模块；控制模块通过线路与电控装置相连接。

4.使用权利要求3中的洪水作用下河床动态变化的模拟装置进行的多点实时监测方法，其特征在于依次按以下步骤进行：

第一步骤是准备步骤：安装好洪水作用下河床动态变化的模拟装置，安装时精确控制并记录激光装置与高频压力传感器之间的距离H；使用比重杯测量砂层的实际密度作为d3的值；

第二步骤是蓄水步骤，在蓄水区内蓄水至实验预定水位；

第三步骤是泄洪模拟及测量步骤；

通过电控装置打开各激光装置，电控装置持续接收各激光装置返回的激光由发出至返回的时间差信息；

通过电控装置控制电动闸门打开，模拟泄洪；洪水的水头通过洪水模拟区时冲刷模拟河床的砂层，使砂层厚度发生动态变化；在此过程中，电控装置根据砂层实时厚度计算公式计算出各激光装置所对应的模拟河床的砂层的实时厚度H3并予以存储，实现在洪水作用下实时地对河床动态变化进行多点同时测量。

5.根据权利要求4所述的多点实时监测方法，其特征在于：在第二步骤结束之后、第三步骤开始之前，进行润湿作业；

润湿作业是指向砂层注水以使砂层湿润，使水淹没砂层以模拟洪水到来前河道中具有一定水位情况。

洪水作用下河床动态变化的模拟装置及多点实时监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及水利工程技术领域，尤其涉及一种洪水作用下河床动态变化的模拟装置及多点实时监测方法。

背景技术

[0002] 洪水是水利界术语，是指暴雨、急骤融冰化雪、风暴潮、溃坝等因素引起的江河湖海水量迅速增加或水位迅猛上涨的水流现象。洪水流速快，前端水头差大，对下游河床冲刷快速且剧烈，随之会引起各种地质灾害。因此，有必要对洪水作用下河床动态变化规律开展实验研究。但由于洪水具有汹涌湍急的特点，使得河床冲刷过程极为迅速、剧烈且难以实时、无干扰地进行监测。

[0003] 传统的对洪水作用下地形变化的测量多是在洪水流过且地形稳定以后，对最终的河床高程进行测量，常用的有探测锤、探测杆等，但是不能做到对行洪过程中的地形变化情况进行实时测量。

[0004] 有研究者提出在河床中的固定深度预先埋置冲刷传感器，不同的传感器与不同的特定深度一一对应，待某一深度的传感器被冲出并最终浮出水面，则认为已经冲刷到了该深度。这种方法需要在河床不同深度预埋传感器，会对河床进行干扰，使得与真实冲刷情况存在差异；而且受水流影响，传感器从被冲刷出来到浮出水面的时间差异较大，不易精确计量。

[0005] 还有研究者提出利用激光板影像测量技术对溃坝洪水引起的均匀沙河道进行实时的地形测量，该方法利用激光透过水槽的透明边壁对河流断面的变化进行实时成像，可以实现非接触测量。但是要求水槽的边壁必须是透明的，而且只能测量一维流动(即一条线上的地形变化相同)，无法实现三维流动的多点同时测量。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种洪水作用下河床动态变化的模拟装置，可以在洪水作用下实时、无干扰地对河床动态变化进行三维流动的多点同时测量。

[0007] 为实现上述目的，本发明的洪水作用下河床动态变化的模拟装置包括河道模拟槽，河道模拟槽内设有坝体，坝体上设有电动闸门；坝体上游侧的河道模拟槽形成蓄水区，坝体下游侧的河道模拟槽形成洪水模拟区，洪水模拟区的下游端设有出水口，电动闸门连接有电控装置并通过电控装置控制电动闸门的启闭；

[0008] 洪水模拟区的底部铺设有与模拟河段河床砂的硬度相同的砂层，砂层下方的河道模拟槽的底壁上设有若干安装孔，各安装孔内分别安装有一个高频压力传感器，高频压力传感器的信号线紧贴河道模拟槽的底壁铺设并在引出河道模拟槽后与电控装置相连接；

[0009] 各高频压力传感器的正上方一一对应设有激光装置，各激光装置均高于预定的洪水水位并分别与电控装置相连接；电控装置接收激光装置从发射激光到接收到返回激光的时间差信息，根据下述砂层实时厚度计算公式计算出各激光装置所对应的模拟河床的砂层

的实时厚度：

[0010] $$H3=H-\left(T\times v1\div 2-\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}\times v1\div v2\right)-\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}$$；

[0011] H3为高频压力传感器处模拟河床的砂层的实时厚度，单位为米；

[0012] H为激光装置与其对应的高频压力传感器之间的距离，单位为米；

[0013] T为激光装置测量的从发射激光到接收到返回激光的时间差，单位为秒；

[0014] v1是激光在空气中传播速度299792458米/秒；

[0015] v2是激光在水中的传播速度225000000米/秒；

[0016] d2为水的密度1000千克/立方米；

[0017] d3为砂层的密度，单位为千克/立方米；

[0018] P为高频压力传感器监测到的压强值，单位为帕斯卡；

[0019] g为重力常数，为9.8N/kg；

[0020] 所述激光装置发射激光的频率与高频压力传感器的测量频率相同并均大于100Hz。

[0021] 所述各高频压力传感器在同一水平面内呈矩阵式分布。

[0022] 激光装置包括激光发射模块、激光接收模块、计时模块和控制模块，控制模块连接激光发射模块、激光接收模块和计时模块；控制模块通过线路与电控装置相连接。

[0023] 本发明还提供了一种使用上述洪水作用下河床动态变化的模拟装置进行的多点实时监测方法，依次按以下步骤进行：

[0024] 第一步骤是准备步骤：安装好洪水作用下河床动态变化的模拟装置，安装时精确控制并记录激光装置与高频压力传感器之间的距离H；使用比重杯测量砂层的实际密度作为d3的值；

[0025] 第二步骤是蓄水步骤，在蓄水区内蓄水至实验预定水位；

[0026] 第三步骤是泄洪模拟及测量步骤；

[0027] 通过电控装置打开各激光装置，电控装置持续接收各激光装置返回的激光由发出至返回的时间差信息；

[0028] 通过电控装置控制电动闸门打开，模拟泄洪；洪水的水头通过洪水模拟区时冲刷模拟河床的砂层，使砂层厚度发生动态变化；在此过程中，电控装置根据砂层实时厚度计算公式计算出各激光装置所对应的模拟河床的砂层的实时厚度H3并予以存储，实现在洪水作用下实时地对河床动态变化进行多点同时测量。

[0029] 在第二步骤结束之后、第三步骤开始之前，进行润湿作业；

[0030] 润湿作业是指向砂层注水以使砂层湿润，使水淹没砂层以模拟洪水到来前河道中具有一定水位情况。

[0031] 本发明的目的还在于提供一种使用上述洪水作用下河床动态变化的模拟装置进行的多点实时监测方法。

[0032] 本发明具有如下的优点：

[0033] 由于本发明测量砂层的时实厚度时是由上向下测量，因此无须河道模拟槽边壁透明，也不会因在砂层的不同深度埋设传感器并监测传感器浮出水面的信号而对实验带来干

扰，并提高测量的精确度。

[0034] 本发明不再采用传统的探测锤、探测杆等，通过激光装置和高频压力传感器实现洪水发生时的实时测量。

[0035] 洪水作用下河床地形演变非常快速，激光装置发射激光的频率与高频压力传感器的测量频率相同并均大于100Hz，一方面能够对快速演变的河床进行充分的实时测量、避免测量频率较低造成测量出的河床地形演变过于粗糙，使得根据测量结果绘制的三维演化图线条更加平滑，不会出现某处河床厚度跳升跳降的现象；另一方面激光装置和高频压力传感器同频工作，也增强了测量工作的同步性和准确性，并且避免频率不同步造成高频件的无谓能耗。

[0036] 干砂河床与湿砂河床在洪水冲刷作用下的演进规律有所不同，进行润湿可以避免干湿不同(干砂可能固结)带来的实验误差。水淹没砂层能够更逼真地模拟洪水到来前的河道中具有一定水位的情况，增强这一情况下实验的准确度。

[0037] 总之，本发明对水体及砂层均不造成干扰，且不要求水槽的边壁透明，可实现多点测量，想监测哪一点就在哪一点的河道模拟槽的底壁上安装高频压力传感器，正上方设置激光装置，即可实时监测该点的河床地形演变，可以对三维洪水的工况进行监测，测量结果较为精确。

附图说明

[0038] 图1是本发明的结构示意图；

[0039] 图2是图1中A处的放大图；

[0040] 图3是图1中坝体的右视图；

[0041] 图4是本发明的控制原理图；

[0042] 图5是电控装置与激光装置相连接的原理图。

具体实施方式

[0043] 如图1至图5所示，本发明的洪水作用下河床动态变化的模拟装置包括河道模拟槽1，河道模拟槽1内设有坝体2，坝体2上设有电动闸门3；电动闸门3可以设置1个较大的泄洪用电动闸门，也可以设置多个较小的泄洪用电动闸门。

[0044] 坝体2上游侧的河道模拟槽1形成蓄水区4，坝体2下游侧的河道模拟槽1形成洪水模拟区5，洪水模拟区5的下游端设有出水口6，电动闸门3连接有电控装置7并通过电控装置7控制电动闸门3的启闭，如电控装置7通过电动推杆推开电动闸门3；电控装置打开电动闸门为常规技术，不再详述；

[0045] 洪水模拟区5的底部铺设有与模拟河段河床砂的硬度相同的砂层8，砂层8下方的河道模拟槽1的底壁上设有若干安装孔，各安装孔内分别安装有一个高频压力传感器9，高频压力传感器9的信号线紧贴河道模拟槽1的底壁铺设并在引出河道模拟槽1后与电控装置7相连接；

[0046] 各高频压力传感器9的正上方一一对应设有激光装置10，各激光装置10均高于预定的洪水水位并分别与电控装置7相连接；电控装置7接收激光装置10从发射激光到接收到返回激光的时间差信息，根据下述砂层8实时厚度计算公式计算出各激光装置10所对应的

模拟河床的砂层8的实时厚度：

[0047] $$H3=H-\left(T\times v1\div 2-\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}\times v1\div v2\right)-\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}$$ ；

[0048] H3为高频压力传感器9处模拟河床的砂层8的实时厚度，单位为米，为待计算量；

[0049] H为激光装置10与其对应的高频压力传感器9之间的距离，单位为米，为安装本发明的洪水作用下河床动态变化的模拟装置时已经固定的已知量；

[0050] T为激光装置10测量的从发射激光到接收到返回激光的时间差，单位为秒，为测量获得的已知量；

[0051] v1是激光在空气中传播速度299792458米/秒；

[0052] v2是激光在水中的传播速度225000000米/秒；

[0053] d2为水的密度1000千克/立方米；

[0054] d3为砂层8的密度，单位为千克/立方米；d3为测量得到的已知量；

[0055] P为高频压力传感器9监测到的压强值，单位为帕斯卡(牛顿/平方米)；

[0056] g为重力常数，为9.8N/kg(牛顿/千克)；

[0057] 所述激光装置10发射激光的频率与高频压力传感器9的测量频率相同并均大于100Hz。

[0058] 电控装置7优选采用台式计算机或笔记本电脑，也可以采用连接有显示屏的单片机或集成电路。

[0059] 所述各高频压力传感器9在同一水平面内呈矩阵式分布。

[0060] 激光装置10包括激光发射模块11、激光接收模块12、计时模块13和控制模块14，控制模块14连接激光发射模块11、激光接收模块12和计时模块13；控制模块14通过线路与电控装置7相连接。

[0061] 本发明还公开了使用上述洪水作用下河床动态变化的模拟装置进行的多点实时监测方法，依次按以下步骤进行：

[0062] 第一步骤是准备步骤：安装好洪水作用下河床动态变化的模拟装置，安装时精确控制并记录激光装置10与高频压力传感器9之间的距离H(也可以在洪水模拟区5铺设砂层8前通过激光装置10得出精确的H值)；使用比重杯测量砂层8的实际密度作为d3的值；使用比重杯测量物质的密度为常规技术，具体操作不再详述。

[0063] 第二步骤是蓄水步骤，在蓄水区4内蓄水至实验预定水位；图1中标号15为设置在河道模拟槽下方的水源，标号16为潜水泵，标号17为进水管，标号18为回水孔。打开潜水泵16即可将水源中的水送入蓄水区4进行蓄水。模拟洪水时，洪水最终经出水口6并通过回水孔18回流入水源。

[0064] 第三步骤是泄洪模拟及测量步骤；

[0065] 通过电控装置7打开各激光装置10，电控装置7持续接收各激光装置10返回的激光由发出至返回的时间差信息；

[0066] 通过电控装置7控制电动闸门3打开，模拟泄洪；洪水的水头(即洪水向前流动的前端)通过洪水模拟区5时冲刷模拟河床的砂层8，使砂层8厚度发生动态变化；在此过程中，电控装置7根据砂层8实时厚度计算公式计算出各激光装置10所对应的模拟河床的砂层8的实

时厚度H3并予以存储，实现在洪水作用下实时地对河床动态变化进行多点同时测量。得到河床在洪水作用下的三维动态变化的基础数据。

[0067] 由于本发明测量砂层8的时实厚度时是由上向下测量，因此无须河道模拟槽1边壁透明，也不会因在砂层8的不同深度埋设传感器并监测传感器浮出水面的信号而对实验带来干扰，并提高测量的精确度。

[0068] 本发明不再采用传统的探测锤、探测杆等，通过激光装置10和高频压力传感器9实现洪水发生时的实时测量。

[0069] 洪水作用下河床地形演变非常快速，激光装置10发射激光的频率与高频压力传感器9的测量频率相同并均大于100Hz，一方面能够对快速演变的河床进行充分的实时测量、避免测量频率较低造成测量出的河床地形演变过于粗糙，使得根据测量结果绘制的三维演化图线条更加平滑，不会出现某处河床厚度跳升跳降的现象；另一方面激光装置10和高频压力传感器9同频工作，也增强了测量工作的同步性和准确性，并且避免频率不同步造成高频件的无谓能耗。

[0070] 在第二步骤结束之后、第三步骤开始之前，进行润湿作业；

[0071] 润湿作业是指向砂层8注水以使砂层8湿润，使水淹没砂层8以模拟洪水到来前河道中具有一定水位情况。

[0072] 干砂河床与湿砂河床在洪水冲刷作用下的演进规律有所不同，进行润湿可以避免干湿不同带来的实验误差(干砂可能固结)。水淹没砂层8能够更逼真地模拟洪水到来前的河道中具有一定水位的情况，增强这一情况下实验的准确度。

[0073] 洪水发生时水流湍急，此时不便于普通人员进行观察。河床由于冲刷搅起的砂粒会被快速的带向下游，不会对上部的水体造成干扰，即使有小部分砂停留在水体里，但总体依然透明，不影响激光对水体的穿透性，这是本发明的设计基础，虽然原理简单，但是克服了普通人员对洪水清浊程度的误解。

[0074] 洪水水头通过河段后或者越过河道进入农田村镇后，水流趋于平缓，此时便于普通人员进行观察，新闻报道中的画面也是此时的画面。由于水流趋于平缓，因此会有砂粒或者杂物进入上部水体，使水体变得混浊，不适宜使用激光进行测量。因此在普通人的认识中，洪水多是混浊的，不适宜使用激光进行测量，这也造成了以往没有一项专利使用激光来测量洪水发生时的河床，最多使用激光来测量水位(测量水位不需要穿透洪水)。

[0075] 砂层实时厚度计算公式的推导过程：

[0076] 式①$\mathbf{T=2(\frac{H1}{v1}+\frac{H2}{v2})}$；$\frac{H1}{v1}$是激光通过激光装置10与水面之间的距离时所需要的时间，$\frac{H2}{v2}$是激光通过水面与高频压力传感器9之间的水体所需要的时间；因为激光需要往返，因此时间加倍。H1是激光装置10与水面之间的实时距离即空气厚度，H2是水面至砂层8之间的实时距离即水体厚度。

[0077] 由式①推出：式②$\mathbf{H1=\frac{T\times v1\times v2\div 2-H2\times v1}{v2}}$。

[0078] 式③H=H1＋H2＋H3；H为激光装置10到其对应的高频压力传感器9之间的总距离。H3为高频压力传感器9处模拟河床的砂层8的实时厚度，即砂层8厚度。

[0079] 由式③推出式④:H3＝H－H1－H2;

[0080] 式⑤$P = d2 \times g \times H2 + d3 \times g \times H3$;d2和g等参数前文已定义;密度×重力常数×高度(厚度)是流体的压强计算公式,此公式也适用于均匀的固体小颗粒。

[0081] 将式④代入式⑤得式⑥:$P=d2\times g\times H2+d3\times g\times\{H-\frac{T\times v1\times v2\div 2-H2\times v1}{v2}-H2\}$;

[0082] 由式⑥得式⑦$H2=\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}$

[0083] 将式⑦代入式②得式⑧$H1=T\times v1\div 2-\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}\times v1\div v2$;

[0084] 将式⑦和式⑧代入式③得:

[0085] $$H3=H-\left(T\times v1\div 2-\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}\times v1\div v2\right)-\frac{Pv2+d3\times g\times T\times v1\times v2\div 2-d3\times g\times H\times v2}{d2\times g\times v2+d3\times g\times v1-d3\times g\times v2}$$ 。

[0086] 以上实施例仅用以说明而非限制本发明的技术方案,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明进行修改或者等同替换,而不脱离本发明的精神和范围的任何修改或局部替换,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

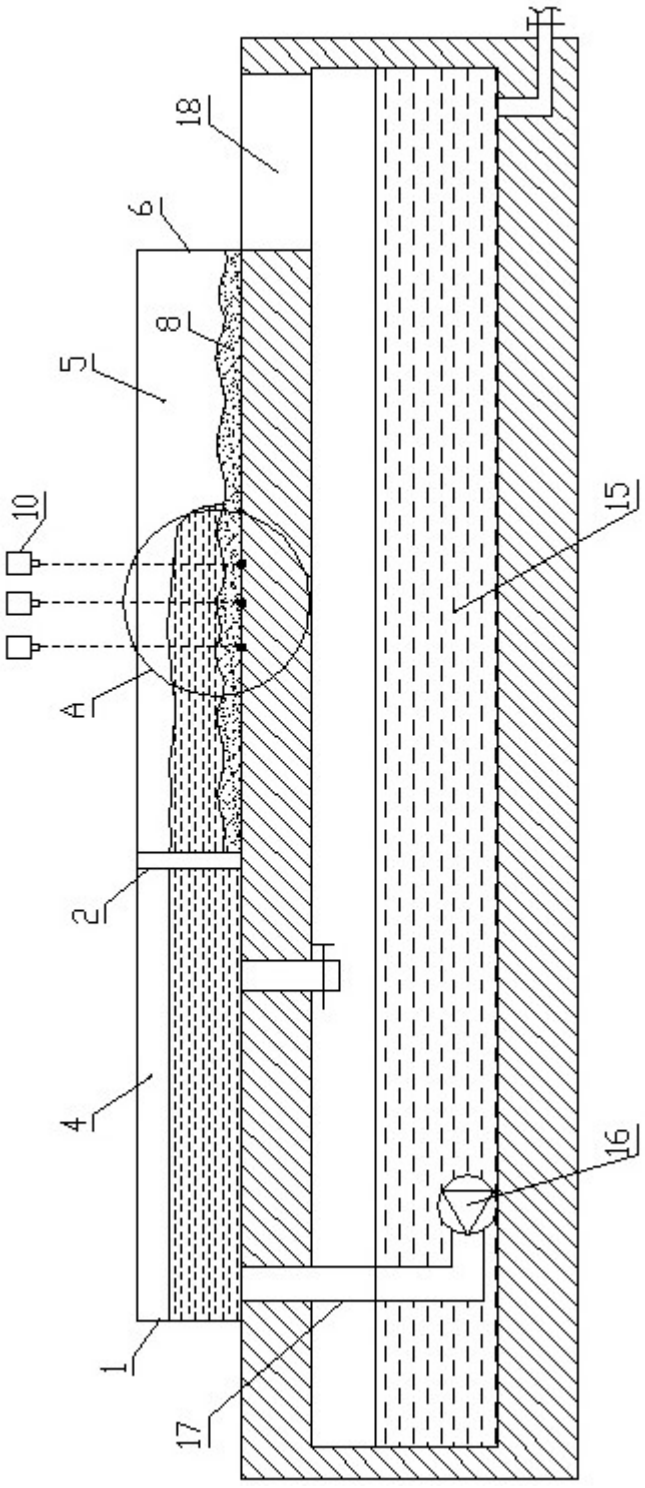


图 1

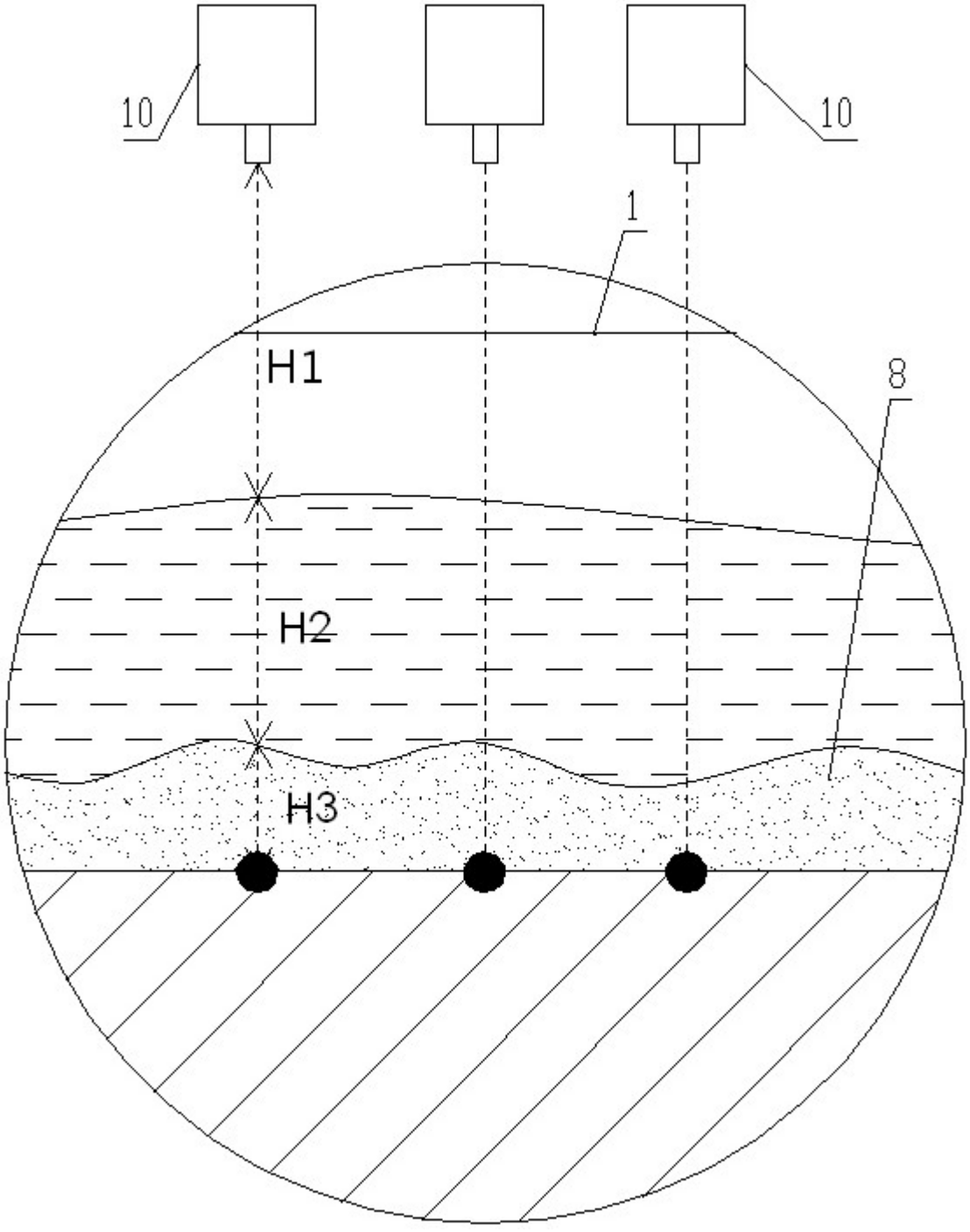


图 2

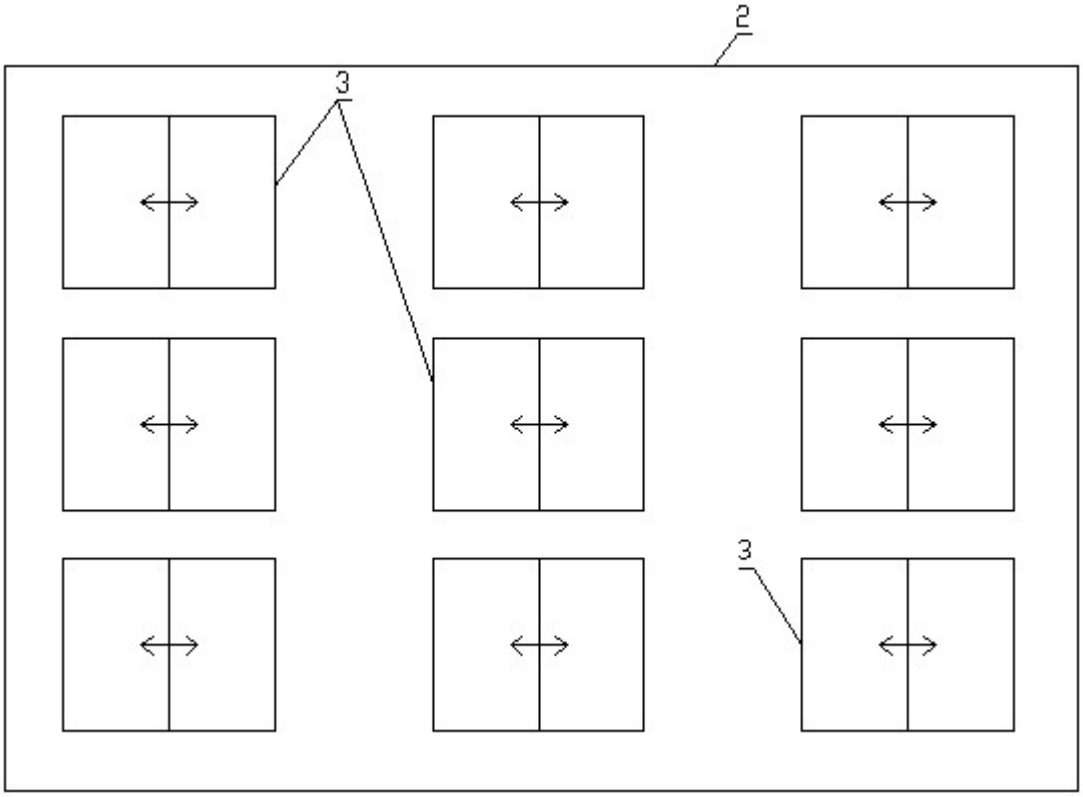


图 3

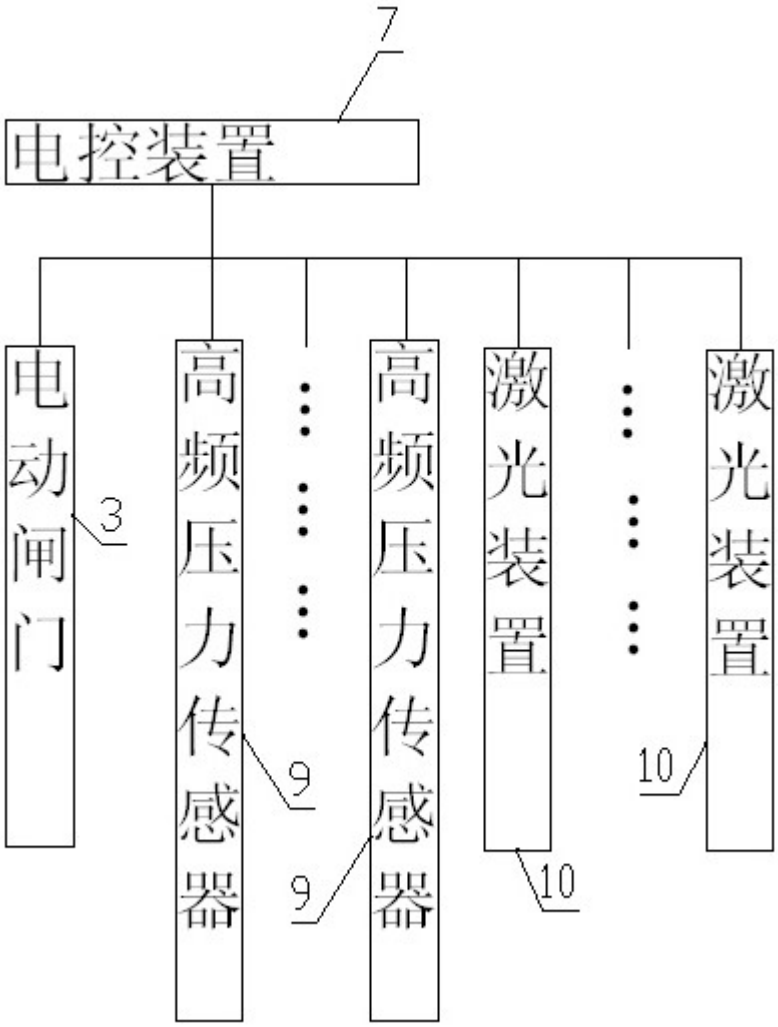


图 4

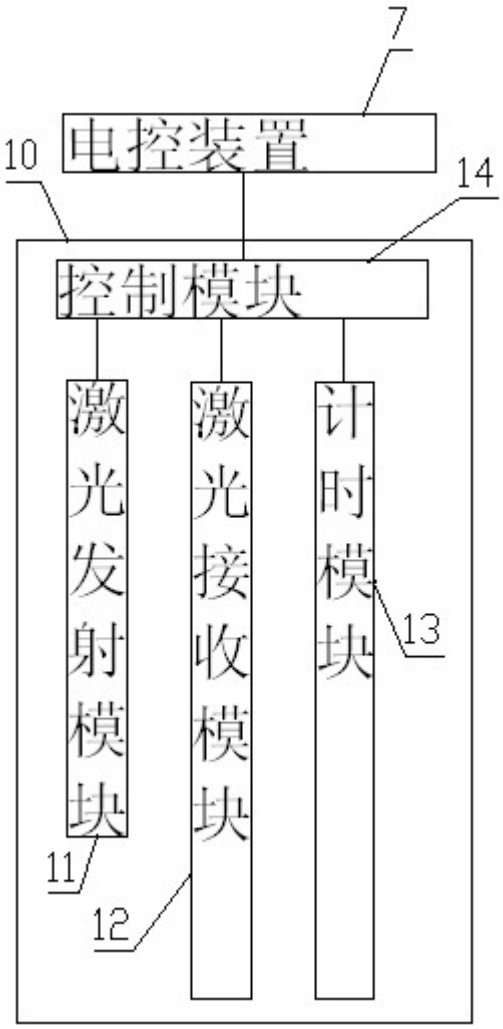


图 5