



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105004646 A

(43) 申请公布日 2015. 10. 28

(21) 申请号 201510141215. X

(22) 申请日 2015. 03. 27

(71) 申请人 南京林业大学

地址 210037 江苏省南京市玄武区龙蟠路
159号

(72) 发明人 赵曜 孙红亮 王大明 赵尘

(74) 专利代理机构 沈阳亚泰专利商标代理有限公司 21107

代理人 韩辉

(51) Int. Cl.

G01N 15/06(2006. 01)

G01N 33/24(2006. 01)

B05B 9/04(2006. 01)

B05B 12/10(2006. 01)

B05B 12/12(2006. 01)

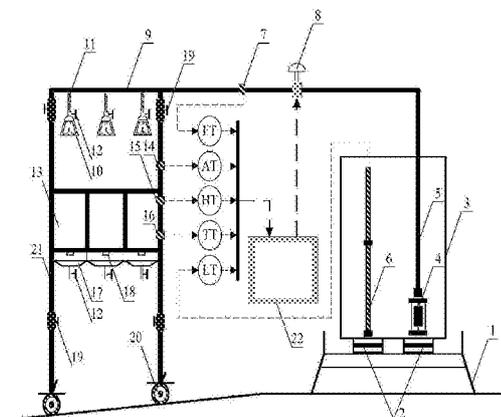
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种室内人工模拟降雨试验系统

(57) 摘要

一种室内人工模拟降雨试验系统, 主要由供水系统、模拟降雨器、试验箱和水样采集装置四部分组成, 其中: 所述的供水系统主要由人工雨水储存水箱、流量传感器、潜水泵、气动薄膜调节阀、输水管组成; 所述的模拟降雨器主要由降雨支架、微喷头和万向管组成; 所述的试验箱由试验箱箱体、湿度传感器、气压传感器、温度传感器和不锈钢排水管组成; 所述的水样采集器由不锈钢排水管、漏斗型液体收集器和手动水阀组成。本发明用于室内降雨模拟, 可针对不同地域的气象和降雨特点, 通过芝加哥暴雨过程线模型和不同喷头组合形式以实现降雨强度在时间和空间上的控制与变化, 并可实时记录降雨强度。



1. 一种室内人工模拟降雨试验系统,其特征主要在于主要由供水系统、模拟降雨器、试验箱和水样采集装置四部分组成,其中:

所述的供水系统主要由人工雨水储存水箱、流量传感器、潜水泵、气动薄膜调节阀、输水管组成,人工雨水在潜水泵的作用下由储存水箱经输水管进入模拟降雨器,流量传感器通过串口连接上位机实时记录雨水流量变化,控制系统通过控制气动薄膜调节阀的开度从而控制人工雨水流量的大小;

所述的模拟降雨器主要由降雨支架、微喷头和万向管组成,微喷头由降雨支架支持,安装在样本试验箱正上方;喷头经万向管连接输水管,可以任意调整喷头角度和喷头组合方式;

所述的试验箱由试验箱箱体、湿度传感器、气压传感器、温度传感器和不锈钢排水管组成,湿度传感器、气压传感器和温度传感器分别通过串口与上位机连接以测量模拟降雨系统中模拟环境的大气湿度、气压和温度,整个试验箱由平行三组每组三个且尺寸相同的可拆卸模具组合而成,箱体由钢化玻璃板制作而成;

所述的水样采集器由不锈钢排水管、漏斗型液体收集器和手动水阀组成。不锈钢排水管在试验箱底垂直于试验箱水平面安装,不锈钢排水管的一头与漏斗型液体收集器相连接,不锈钢排水管的另一头外接手动水阀,开启水阀即可进行水样采集。

2. 根据权利要求1所述的室内人工模拟降雨试验系统,其特征主要在于每个喷头的设计工作压力为0.25MPa,流量和喷洒范可调,模拟降雨系统的降雨均匀度为0.956,喷头全部开启时平均喷洒强度为49.38mm/h。

3. 根据权利要求1所述的室内人工模拟降雨试验系统,其特征主要在于箱体制作成侧面四个方向均封闭、上下两侧为开口的结构型式,尺寸(长×宽×高)为300mm×300mm×700mm,不锈钢排水管位于箱体底部垂直于试验箱底部安装。

4. 根据权利要求1所述的室内人工模拟降雨试验系统,其特征主要在于不锈钢排水管内径19mm,外径22mm。

一种室内人工模拟降雨试验系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种人工模拟降雨试验系统,特别是涉及一种新型室内人工模拟降雨试验系统,属于道路工程与环境科研仪器设备领域。本发明给出的试验系统可用于室内降雨模拟,可针对不同地域的气象和降雨特点,通过芝加哥暴雨过程线模型和不同喷头组合形式以实现降雨强度在时间和空间上的控制与变化,并可实时记录降雨强度。

技术背景

[0002] 室内人工模拟降雨试验系统是一种在人为控制的条件下模拟自然降雨过程的试验系统,它可以在室内条件下用于透水路面的透水性能、污染物在路面结构内部的迁移、透水路面结构优化、路基土水分和养分变化等研究,是道路工程学、生态学、环境学和土壤学等学科重要的科学试验设备。采用室内人工模拟降雨试验系统进行模拟降雨试验,不仅可以针对具体地区的气象和降雨特点,实现模拟不同降雨重现期、降雨历时的自然降雨过程,且试验过程受人为控制,试验周期大大缩短,同时通过严格控制试验条件来研究不同因素之间的相互作用。

[0003] 根据产生雨滴的方式的不同,人工模拟降雨装置可分为:喷头式、针头式、悬线式、喷洒式。而目前用以室内人工模拟降雨的试验装置主要有两种:一种是用喷头作为雨滴发生器,这也是使用最为广泛的一种;另一种是用医用针头作为雨滴发生器。

[0004] 由于自然降雨强度与被研究对象之间往往存在着多变量、强耦合和非线性的特点,使得降雨强度与被研究对象之间的机理分析存在很大的难度。目前人工模拟降雨装置的假设性强,往往难以真实地模拟降雨强度的时间、空间上的变化,故得出的试验结论往往存在着通用性差、难以推广等缺点。为此,本发明提出一种基于芝加哥暴雨过程线模型的室内人工降雨试验系统,从时间和空间上最大程度模拟自然降雨过程。

发明内容

[0005] 本发明的目的就在于解决现有技术存在的上述问题,针对目前人工模拟降雨装置无法真实地模拟自然降雨在时间、空间上的变化,且适用性不广的现状,本发明提供一种基于芝加哥暴雨过程线模型的室内人工模拟降雨试验系统,可针对给定地域的气象和降雨特点,通过芝加哥暴雨过程线模型对设计降雨重现期和降雨历时下的设计降雨量进行时间上的分配,控制每个时间节点的降雨强度,以在室内实现对典型降雨情景的还原;同时,本发明采用组合式微型喷头作为雨滴发生器,通过设定微喷头的组合形式,实现不同降雨面积;此外,该系统还可对降雨强度进行实时记录,方便后期数据处理和分析。该室内人工模拟降雨试验系统可为道路工程学、环境学、生态学和土壤学等学科的科学研究与试验提供一套切实可行的试验系统,具有模拟精度高、使用方便、成本低廉、适用性广等优点。

[0006] 根据试验需要,室内人工模拟降雨试验系统应满足以下要求:

[0007] (1) 试验装置必须要有足够的强度、刚度和稳定性,以承受(路面结构)模型的重力;

- [0008] (2) 模拟降雨的均匀度应满足试验要求；
- [0009] (3) 通过调整试验系统的相关参数,以实现降雨强度在空间和时间上的变化与控制；
- [0010] (4) 试验装置应有良好的组合性和移动性,便于自动化控制。
- [0011] 为实现上述目的,该发明采用如下技术方案：
- [0012] 一种室内人工模拟降雨试验系统,其特点是主要由供水系统、模拟降雨器、试验箱和水样采集装置四部分组成,采用潜水泵输水,使用组合式微型喷头作为模拟降雨器,通过调节供水系统输水管道的流量和供水压力,同时改变喷头的组合形式,以实现不同降雨强度、降雨历时和降雨面积的降雨过程的人工模拟。采用流量计实时记录输水管道的流量,从水样采集装置排水口排出的雨水由人工收集,作为试验样本。
- [0013] 供水系统主要由人工雨水储存水箱、流量传感器、潜水泵、气动薄膜调节阀、输水管组成。人工雨水在潜水泵的作用下由储存水箱经输水管进入模拟降雨器,流量传感器通过串口连接上位机实时记录雨水流量变化,控制系统通过控制气动薄膜调节阀的开度从而控制人工雨水流量的大小。
- [0014] 模拟降雨器主要由降雨支架、微喷头和万向管组成。喷头由降雨支架支持,安装在样本试验箱正上方。喷头经万向管连接输水管,以达到可以任意调整喷头角度和喷头组合方式的目的。每个喷头的设计工作压力为 0.25MPa,流量和喷洒范可调。模拟降雨系统的降雨均匀度为 0.956,喷头全部开启时平均喷洒强度为 49.38mm/h。
- [0015] 试验箱由试验箱箱体、湿度传感器、气压传感器、温度传感器和不锈钢排水管组成。湿度传感器、气压传感器和温度传感器分别通过串口与上位机连接以测量模拟降雨系统中模拟环境的大气湿度、气压和温度。整个试验箱由平行三组每组三个且尺寸相同的可拆卸模具组合而成,箱体由钢化玻璃板制作而成,以尽可能模拟实际研究对象的原则,箱体制作成侧面四个方向均封闭、上下两侧为开口的结构型式,尺寸(长×宽×高)为 300mm×300mm×700mm。不锈钢排水管位于箱体底部垂直于试验箱底部安装。
- [0016] 水样采集器由不锈钢排水管、漏斗型液体收集器和手动水阀组成。不锈钢排水管在验箱底垂直于试验箱水平面安装,一头接漏斗型液体收集器,另一头外接手动水阀,开启水阀即可进行水样采集。排水管内径 19mm,外径 22mm。
- [0017] 本发明所设计的室内人工模拟降雨试验系统可连续模拟多次自然降雨过程。为保证降雨强度在整个模拟过程中稳定变化,降雨时间间隔自动设定为 5min,降雨强度在每个降雨时间间隔内保持不变。
- [0018] 与现有技术相比,本发明的有益效果是：
- [0019] 本发明能适应复杂的试验环境,方便安装、使用与转移,成本低廉;基于芝加哥暴雨过程线模型和不同喷头组合形式以实现降雨强度真实地模拟自然降雨在时间、空间上的变化;可调节降雨高度、降雨面积的大小;能够实时记录模拟环境中气压、湿度、温度数据,有助于研究和控制相关变量对试验结果的影响;能够通过流量传感器实时记录雨量大小,方便数据处理。

附图说明

- [0020] 图 1 是本发明的整体结构示意图,其中 1 是水箱支架;2 是微型平整支座,其可调

范围在 0.1mm ~ 10.0mm 之间 ;3 是水箱 ;4 是潜水泵 (新为诚 ASP2015) ;5 是输水管 ;6 是数字液位传感器 ;7 是流量传感器 ;8 是气动薄膜调节阀 ;9 是喷头支架,上面排列有 9 个相同型号的 4 分折射式微喷头 10 ;10 是 4 分折射式微喷头 (杰罗 GYRORNET 64000-024900),通过控制水量可得到不同大小的雨滴,这使得降雨器能够模拟不同的降雨过程 ;11 是万向连接管,内套聚乙烯软管 23 ;12 是手动阀门 ;13 是试验箱箱体 ;14 是气压传感器 ;15 是湿度传感器 ;16 是温度传感器 ;17 是漏斗型液体收集器 ;18 是不锈钢排水管 ;19 是可伸缩角钢 ;20 是带制动轮子,方便降雨装置转移和固定 ;21 是模拟降雨器支架,由可伸缩角钢制成,其高度可以较大范围调节,以使模拟降雨器试验系统能够适应更大范围的坡度 ;22 是上位机 (中央控制系统),通过设定参数,实现降雨时程的分配,实时记录流量传感器 7、气压传感器 14、湿度传感器 15、温度传感器 16 和数字液位传感器 6 的数据 ;23 是聚乙烯软管。

[0021] 图 2 是喷头支架 9 的平面图,可连接固定万向连接管 11。

[0022] 图 3 是试验箱箱体 13,不锈钢排水管 18 位于箱体底部垂直于试验箱底部安装。

[0023] 图 4 是万向连接管 11 内套聚乙烯软管 23 连接手动阀 12 和 4 分折射式微喷头 10。

具体实施方式

[0024] 实施例

[0025] (一) 工作原理

[0026] 本室内人工模拟降雨试验系统之所以能够实现降雨强度在空间和时间上变化的控制,在于以下几个主要的方面:

[0027] (1) 雨量设计

[0028] 芝加哥降雨过程线模型以统计的暴雨强度公式为基础设计典型降雨过程。在我国城市排水管网设计中,各地暴雨强度公式一般采用式 (1):

$$[0029] \quad i = \frac{167A_1(1+C \lg P)}{(t_d + b)^c} \quad (1)$$

[0030] 式中, i 为平均暴雨强度 (mm/min) ; A_1 为降雨重现期为 1 年的设计降雨的雨量 ; C 为雨量变动参数,是反映设计降雨各历时不同降雨重现期的强度变化程度的参数之一 ; P 为降雨重现期 (a) ; t_d 为暴雨历时 (min) ; b 、 c 为常数,用以描述特定降雨重现期下的设计降雨强度随降雨历时延长而递减变化的过程。

[0031] (2) 雨型设计

[0032] 采用芝加哥暴雨过程线模型对选定暴雨公式做出符合实际的时程分配,计算出每个降雨时间间隔内的降雨强度,通过控制系统调节气动薄膜调节阀的开度,从而达到对降雨强度在时间上的控制。由于芝加哥暴雨过程线模型引入参数雨峰系数 r ($0 < r$ 大于 1) 来描述雨峰值发生的时间,则降雨的时间序列分为峰前时间序列 $i(t_a)$ 和峰后时间序列 $i(t_b)$:

$$[0033] \quad i(t_b) = \frac{a \left[\frac{(1-c)t_b}{r} + b \right]}{\left[\frac{t_b}{r} + b \right]^{1+c}} \quad (2)$$

$$[0034] \quad i(t_a) = \frac{a \left[\frac{(1-c)t_a}{1-r} + b \right]}{\left[\frac{t_a}{1-r} + b \right]^{1+c}} \quad (3)$$

[0035] 式中, $i(t_b)$ 为芝加哥暴雨过程线模型的峰前瞬时降雨强度 (mm/min); $i(t_a)$ 为芝加哥暴雨过程线模型的峰后瞬时降雨强度 (mm/min); a 为芝加哥暴雨过程线模型参数, $a = 167A_1(1+C \lg P)$; b 、 c 含义同上; r 为雨峰系数, 一般取 $0.35 \sim 0.45$ 。

[0036] 通过式 (2) 和式 (3) 求得的即为对指定降雨重现期和降雨历时下的设计雨量进行时程分配的结果。

[0037] (3) 降雨强度控制

[0038] 通过控制系统对气动薄膜调节阀的开度进行控制, 从而实现对降雨强度的控制, 同时通过流量计对实际模拟降雨强度进行在线测量。

[0039] (4) 降雨面积控制

[0040] 为适应不同试验规模, 通过调节微喷头的组合方式控制降雨区域的面积。

[0041] (二) 结构设计

[0042] 参见说明书附图 1- 附图 4, 本室内人工模拟降雨系统主要由供水系统、模拟降雨器、试验箱和水样采集装置共四部分组成。

[0043] (1) 供水系统

[0044] 供水系统主要由水箱支架 1, 微型平整支座 2 (可调范围在 $0.1\text{mm} \sim 10.0\text{mm}$ 之间)、水箱 3、潜水泵 4、输水管 5、数字液位传感器 6、流量传感器 7、气动薄膜调节阀 8 组成。试验雨水在潜水泵 4 的作用下由水箱 3 经输水管 5 进入模拟降雨器, 流量传感器 7 通过串口连接上位机 22 实时记录雨水流量变化; 控制系统通过控制气动薄膜调节阀 8 的开度从而控制人工雨水流量的大小; 数字液位传感器 6 通过串口连接上位机 22 实时记录水箱 3 液位变化。

[0045] 水箱采用大容量带盖聚乙烯水箱 ($50\text{L} \sim 100\text{L}$), 用于储存试验雨水。

[0046] 供水系统主要包括如下常规仪表和监测装置:

[0047] 一个潜水泵 4 (新为诚 ASP2015)。潜水泵为降雨发生器提供动力水源, 其工作环境是为人工合成雨水或收集的天然雨水。为此, 普通潜水泵均满足要求, 选择潜水泵主要考虑流量和扬程两个因素。潜水泵的流量选择以单位降雨时程中最大用水量为主要参考。根据装置的结构和潜水泵的安装位置, 结合供水的需求量, 要求潜水泵的吸水高度不小于 1m 、压程不小于 2m , 即潜水泵的扬程不小于 3m 。

[0048] 一个流量计 7 (春辉 LW JY-LWGY)。流量传感器通过串口连接上位机 22 实时记录雨水流量变化。

[0049] 一个气动薄膜调节阀 8 (帆扬 ZJHP-16P)。通过控制系统 22 用以调整人工雨水量, 从而实现降雨强度的控制。

[0050] 输水管选择聚乙烯管材。

[0051] (2) 模拟降雨器

[0052] 模拟降雨器主要由喷头支架 9、4 分折射式微喷头 10、万向连接管 11、手动阀门 12、聚乙烯软管 23、可伸缩角钢带 19、制动轮子 20 和模拟降雨器降雨支架 21 组成。

[0053] 九个4分折射式微喷头10(杰罗GYRORNET 64000-024900)。微喷头由降雨支架9支持,安装在试验箱正上方。折射式微喷头10经万向连接管11内套聚乙烯管23相连接,以达到可以任意调整喷头角度的目的。每个喷头的设计工作压力为0.25MPa,流量 $0.04\text{m}^3/\text{h}$ (约合 $0.01\text{L}/\text{s}$),喷头喷洒范围可调。模拟降雨系统的降雨均匀度约为0.956,喷头全部开启时平均喷洒强度为49.38mm/h。

[0054] 万向连接管11内套聚乙烯23。

[0055] (3) 试验箱

[0056] 试验箱由试验箱箱体13、气压传感器14、湿度传感器15、温度传感器16和不锈钢排水管18组成。气压传感器14、湿度传感器15和温度传感器16分别通过串口与上位机22连接以测量模拟降雨系统中模拟环境的大气气压、湿度和温度。整个试验箱箱体13由平行三组每组三个且尺寸相同的可拆卸模具组合而成,试验箱箱体13由钢化玻璃板制作而成,以尽可能模拟实际研究对象的原则,箱体制作成侧面四个方向均封闭、上下两侧为开口的结构型式,尺寸(长×宽×高)为 $300\text{mm}\times 300\text{mm}\times 700\text{mm}$ 。

[0057] 试验箱主要包括如下常规测量仪表:

[0058] 一个气压传感器14(GY-68BMP180),用于在线监测人工模拟降雨试验系统中的气压。

[0059] 一个湿度传感器15(Risym DHT11),用于在线监测人工模拟降雨试验系统中的环境相对湿度。

[0060] 一个温度传感器16(DS18B20),用于在线监测人工模拟降雨试验系统中的环境温度。

[0061] (4) 水样采集装置

[0062] 水样采集器由不锈钢排水管、漏斗型液体收集器和手动水阀组成。不锈钢排水管在试验箱底垂直于试验箱水平面安装,一头接漏斗型液体收集器,另一头外接手动水阀,开启水阀即可进行水样采集。排水管内径19mm,外径22mm。

[0063] 试验箱主要包括如下常规测量仪表:

[0064] 九个外接水阀(JOMOO 7411/4411-108),用于水样采集。

[0065] (三) 系统使用方法

[0066] 1、将设计降雨量和降雨时间输入控制系统,控制系统按照芝加哥暴雨过程线模型计算出对应每个时间间隔内气动薄膜调节阀的阀门开度;

[0067] 2、将符合试验要求的试验雨水倒入水箱至液位达到要求位置;

[0068] 3、启动阀门控制系统后,启动水泵。

[0069] 4、水流由输水管进入降雨强度控制装置实现降雨强度的控制;

[0070] 5、水流经过模拟降雨器在重力和水压作用下,由微喷头喷出,使雨水均匀喷洒在试验样本表面;

[0071] 6、雨水在渗入试验样本表面后逐层渗透进入雨水收集装置,完成水样采集,从而完成室内人工模拟降雨试验过程。

[0072] 上述是本发明专利的实施方式,可以理解的是,以上关于本发明专利的具体描述,仅用于说明本发明专利而并非受限于本发明实施例所描述的技术方案,本领域的普通技术人员应当理解,仍然可以对本发明进行修改或等同替换,以达到相同的技术效果;只要满足

使用需要,都在本发明的保护范围之内。

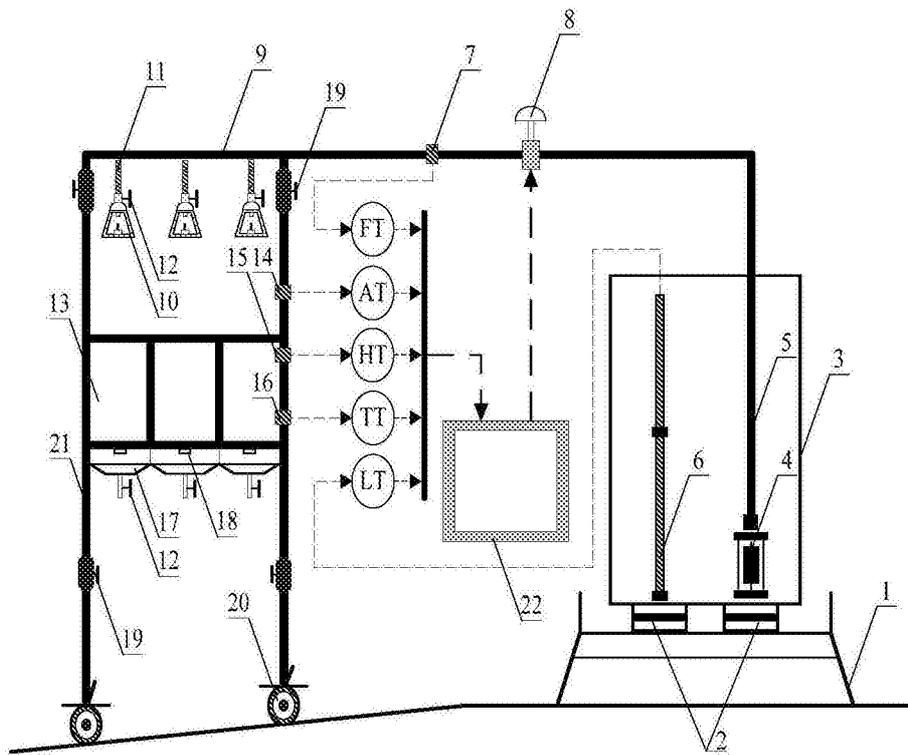


图 1

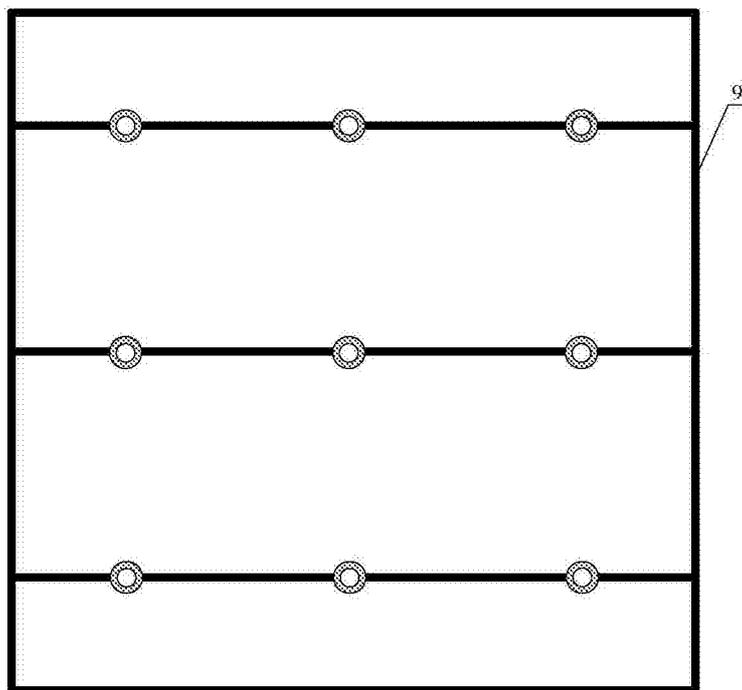


图 2

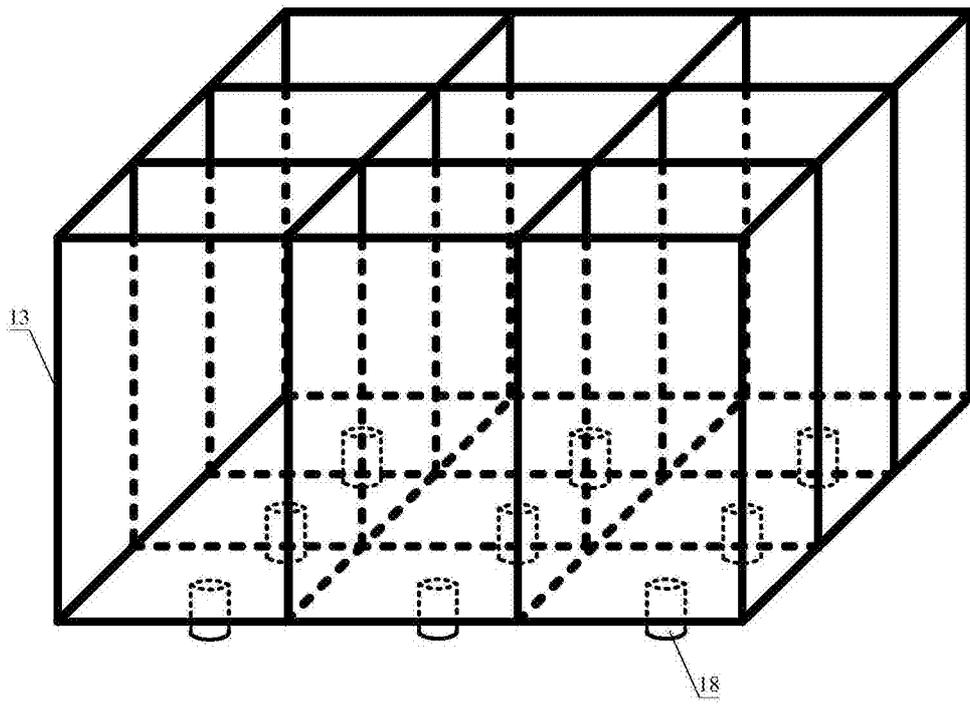


图 3

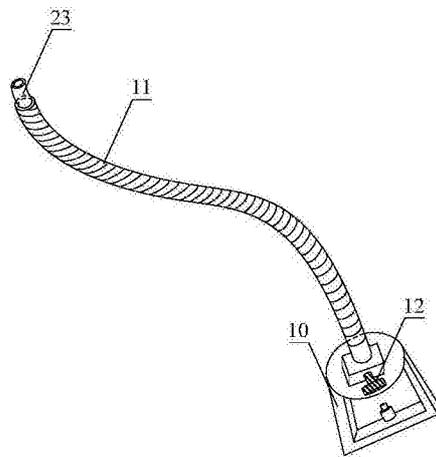


图 4