



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104090086 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 08

(21) 申请号 201410337626. 1

(22) 申请日 2014. 07. 15

(71) 申请人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学
路 2 号

(72) 发明人 童立元 王占生 张明飞 郑灿政
刘松玉 吴义阳

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所
(普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51) Int. Cl.

G01N 33/24 (2006. 01)

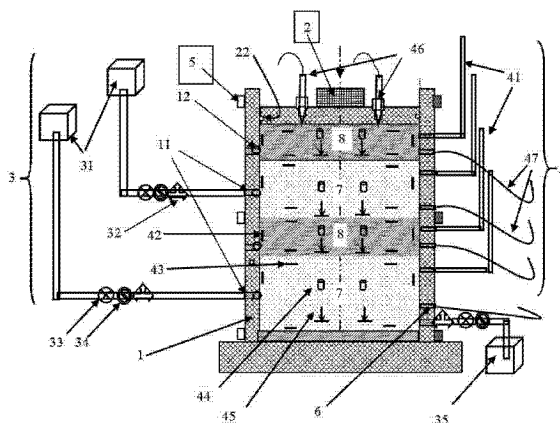
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

地下承压水位动态变化作用下土结构性测试
装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置及方法,测试系统包括标定罐体、加载装置、承压水控制系统、测量系统,还包括相应的数据分析方法;所述标定罐体内分层设置有粘性土层和砂性土层,以模拟形成地下含水结构;所述承压水控制系统,由可自由控制升降的水箱与进排水管联接构成;所述测量系统包括电阻率测试模块、土体变形测试模块、水头测压管、微型孔压计、微型静力触探仪,其中电阻率测试模块由环向和垂向测试电极组成。本发明标定罐作为承载装置,与其他几个系统配合,可以动态测试地下承压水位动态变化复杂工况下土结构性变化,并进而分析对土性影响,为评价复杂工况下地下工程结构性态及健康状况提供基础数据。



1. 一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置,其特征在于:该装置包括标定罐体(1)、设置在所述标定罐体(1)上端的加压活塞(2)、与标定罐体(1)连通的承压水控制系统(3)和安装在标定罐体(1)内部的测量系统(4);

所述标定罐体(1)用于装载受试土体,内侧壁上预埋有环向水管(13),侧壁上设置有连通罐体内外的安装孔(11),所述加压活塞(2)安装在标定罐体(1)的顶端开口处,并能上下自由滑动,所述加压活塞(2)上设置有竖直方向的预留通孔(21);

所述承压水控制系统(3)包括两个可升降高度的水箱(31)、用于连接所述水箱(31)和环向水管(13)的管线、设置在所述管线上的三通阀(32)、流量表(33)和压力表(34),所述的两个水箱(31)各自连接一根环向水管(13),所述环向水管(13)上设置有面向土体的出水口;

所述测量系统(4)包括通过安装孔(11)放置到受试土体中的测压管(41)、环向电阻率测试电极(42)、垂向电阻率测试电极(43)、微型孔压计(44)和微型位移计(45),以及通过预留通孔(21)插入受试土体中的微型静力触探贯入仪(46)。

2. 如权利要求1所述的一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置,其特征在于:所述标定罐体(1)的外侧横向环绕设置有多道环形钢护环(5)。

3. 如权利要求1所述的一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置,其特征在于:所述标定罐体(1)的内侧壁上沿环向设置有环向凹槽(12),所述环向水管(13)置于环向凹槽(12)内。

4. 如权利要求1、2或3所述的一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置,其特征在于:所述标定罐体(1)周向侧壁上对称设置四组安装孔阵列,每组所述安装孔阵列包括8个安装孔(11),所述的各安装孔(11)分别作为安装进水管、排水管 and 测试元件导线的通道。

5. 如权利要求1、2或3所述的一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置,其特征在于:所述加压活塞(2)上沿圆周间隔 45° 角布置8个预留圆孔(6),作为微型静力触探贯入仪(20)的贯入通道。

6. 如权利要求1、2或3所述的一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置,其特征在于:所述测量系统(4)中的环向电阻率测试电极(42)根据土层不同,布置2层或4层,每层包括8个按 45° 角等间隔布置的环向电阻率测试电极(42);所述垂向电阻率测试电极(43)分组设置在每层土的顶部和底部,每组包括8个按 45° 角等间隔布置的垂向电阻率测试电极(43)。

7. 如权利要求1、2或3所述的一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置,其特征在于:所述标定罐体(1)底部通过排水管与设置在罐外的溢流槽(35)连通。

8. 一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试方法,其特征在于,该方法基于权利要求1至7任一权利要求所述的地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置,包括以下步骤:

1) 将受试土体装载到标定罐体(1)中,在标定罐体1的内部从下至上分四层或两层铺设土层,所述四层土层为:砂性土层7+粘性土层8+砂性土层9+粘性土层10;所述两层土层为:砂土层7+黏土层8;

在上述装载受试土体的过程中,将测压管(41)、孔压计(44)、微型位移计(45)、环向电

阻率测试电极 (42) 和垂向电阻率测试电极 (43) 埋设在土层中的设计位置上,然后将上述安装就位的测试元件分别用信号线与外置数据采集仪、电阻率采集仪连接;

2) 受试土体装载完毕后,用水箱 (31) 为砂土层 (7) 加压,其水头通过水箱 (31) 的升降进行控制;完成土层的自重固结后,通过加压活塞 (2) 对土层均匀施加预压力,使其进行进一步固结;

3) 开展不同工况试验:试验开始时,保持砂土层 (7) 的水位高度,对测试元件的各初始测试参数进行读取;保持水位至垂直向变形及孔压测试数据均稳定后,根据试验设计确定的水头升降幅度,通过升降水箱 (31) 来控制不同砂土层 (7) 的水头,并测试各项参数。

地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于土木建筑、交通工程、地下空间工程和环境工程领域,涉及一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置及方法。

背景技术

[0002] 城市地下空间的开发利用是 21 世纪解决城市空间拥挤、交通堵塞、环境恶化、土地资源匮乏等问题的重要途径。近年来,在我国经济最发达的沿江沿海地区,掀起了地下空间开发的热潮,复杂的地下街、地下城、地下轨道交通相结合形成的地下综合体,地下大型供水、能源系统、排水及污水处理系统、地下综合管线廊道(共同沟)等地下市政设施大量兴建,同时,我国沿海、沿江地区地下广泛分布有潜水含水层和多层承压含水层,地下工程结构的大量兴建对其周围地质介质-地下水土环境不可避免的产生影响,如建设过程中的大体量地下水抽取和建成后地下结构对地下水的阻滞效应等都造成了地下水土环境的脆弱敏感;反之,由于工程建设活动或自然活动导致的地下水土环境动态演化对其中地下工程结构物长期性态的发展也起着关键作用。研究认为,工程土体在宏观上所表现出来的非连续、不均匀、各向异性和非确定性等复杂特征,从根本上取决于土体微观结构,因此,地下工程结构长期健康状态的评估涉及到对其周围土体微观结构状态的正确认识,也一直是该领域研究的前沿课题及热点课题。

[0003] 国内外对土体微观结构的测试技术已进行了大量研究,开发了 X 衍射仪、扫描电镜 SEM、CT、压汞仪、数字图像测量仪、光弹实验、TDR 等多种设备。通过上述的各种技术手段所获得的资料主要有两种形式:其一是微结构图象;其二是结构特征的直接或间接数据。但相对于这些先进的测试手段而言,目前在资料处理和解释方法上仍然是落后的,而且多为静态测试,无法对土性发展过程进行动态分析。目前最新的研究成果,比如利用分形理论和图像处理技术确定结构要素与宏观力学性质之间的关系方面却仍然处于未知状态,现在的研究现状是微观更微,与宏观之间的距离越来越远,因此通过某种测试技术对土体结构变化进行间接测试得到一土体参数,进而在土体微观结构与宏观力学性质之间建立过渡“桥梁”,对快速描述土体结构变化并进行工程应用仍是合理的途径。

[0004] 已有实用新型专利“一种固结实验中同步测读电阻率不规则因子测试系统(授权公告号 CN202975167U)”通过改装现有的固结仪,在土样顶底部及侧壁分别布置 2 组电极,实现了对土样压缩固结过程的电阻率动态测试;已有发明专利“垃圾填埋场电阻率不规则因子测试及工程安全预警方法及系统(申请公告号(CN102944748A)”通过设计一种有机玻璃管,测试其中模拟填埋体在不同阶段的电阻率,计算球形因子,并对填埋体内部变形、裂缝、渗透等的结构异常情况进行判断。但这些已申请专利所涉及的装置(或系统)均无法实现对地下承压水头动态变化过程进行观测;受试验载体(固结仪或有机玻璃管)尺寸限制,边界效应不可忽视,测试元件的布设受限,无法很好模拟多层承压水结构;因受试验土层承压水变动影响,各土层结构状态变化不同。

发明内容

[0005] 技术问题：本发明提供一种地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置及方法，解决现有技术无法很好地对地下承压水位变动导致土体结构性变化进行动态测试及可靠分析的技术难题。

[0006] 技术方案：本发明的地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置，包括标定罐体、设置在标定罐体上端的加压活塞、与标定罐体连通的承压水控制系统和安装在标定罐体内部的测量系统。标定罐体用于装载受试土体，内侧壁上预埋有环向水管，侧壁上设置有连通罐体内外的安装孔，加压活塞安装在标定罐体的顶端开口处，并能上下自由滑动，加压活塞上设置有竖直方向的预留通孔；承压水控制系统包括两个可升降高度的水箱、用于连接所述水箱和环向水管的管线、设置在所述管线上的三通阀、流量表和压力表，两个水箱各自连接一根环向水管，环向水管上设置有面向土体的出水口；测量系统包括通过安装孔放置到受试土体中的测压管、环向电阻率测试电极、垂向电阻率测试电极、微型孔压计和微型位移计，以及通过预留通孔插入受试土体中的微型静力触探贯入仪。

[0007] 本发明装置的优选方案中，标定罐体的外侧横向环绕设置有多道环形钢护环。

[0008] 本发明装置的优选方案中，标定罐体的内侧壁上沿环向设置有环向凹槽，所述环向水管置于环向凹槽内。

[0009] 本发明装置的优选方案中，标定罐体周向侧壁上对称设置四组安装孔阵列，每组所述安装孔阵列包括 8 个安装孔，各安装孔分别作为安装进水管、排水管和测试元件导线的通道。

[0010] 本发明装置的优选方案中，加压活塞上沿圆周间隔 45° 角布置 8 个预留圆孔，作为微型静力触探贯入仪的贯入通道。

[0011] 本发明装置的优选方案中，测量系统中的环向电阻率测试电极根据土层不同，布置 2 层或 4 层，每层包括 8 个按 45° 角等间隔布置的环向电阻率测试电极；垂向电阻率测试电极分组设置在每层土的顶部和底部，每组包括 8 个按 45° 角等间隔布置的垂向电阻率测试电极。

[0012] 本发明装置优选方案中，标定罐体底部通过排水管与设置在罐外的溢流槽连通。

[0013] 本发明的地下承压水位动态变化作用下土结构性测试方法，基于上述地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置，包括以下步骤：

[0014] 1) 将受试土体装载到标定罐体中，在标定罐体 1 的内部从下至上分四层或两层铺设土层，所述四层土层为：砂性土层 7+ 粘性土层 8+ 砂性土层 9+ 粘性土层 10；所述两层土层为：砂土层 7+ 黏土层 8；

[0015] 在上述装载受试土体的过程中，将测压管、孔压计、微型位移计、环向电阻率测试电极和垂向电阻率测试电极埋设在土层中的设计位置上，然后将上述安装就位的测试元件分别用信号线与外置数据采集仪、电阻率采集仪连接；

[0016] 2) 受试土体装载完毕后，用水箱为砂土层加压，其水头通过水箱的升降进行控制；完成土层的自重固结后，通过加压活塞对土层均匀施加预压力，使其进行进一步固结；

[0017] 3) 开展不同工况试验：试验开始时，保持砂土层的水位高度，对测试元件的各初始测试参数进行读取；保持水位至垂直向变形及孔压测试数据均稳定后，根据试验设计确定的水头升降幅度，通过升降水箱来控制不同砂土层的水头，并测试各项参数。

[0018] 有益效果：本发明与现有技术相比，具有以下优点：

[0019] 本发明装置通过设置完善的承压水控制系统、测试系统和加载装置，协调工作，可开展土体环向和垂向电阻率测试、水头测试、垂向位移测试、贯入测试，对标定罐体内不同土层在地下承压水变化作用下的性状进行全方位的动态测试，综合分析电阻率、水位变化、位移变化、贯入数据，对土结构性变化进行评价，进而对不同工况下的土性变化进行分析比较，为评价复杂工况下地下工程结构性态及健康状况提供分析数据，对确保地下工程结构长期安全性具有重要作用。

附图说明

[0020] 图 1 为本发明的标定罐体的剖面图；

[0021] 图 2 为本发明环向水管布置示意图；

[0022] 图 3 为本发明环向电极布置示意图；

[0023] 图 4 为本发明垂向电阻率测试电极布置示意图；

[0024] 图 5 为本发明加压活塞预留孔示意图。

[0025] 图中有：1- 标定罐体、2- 加压活塞、3- 承压水控制系统、4- 测量系统、11- 安装孔、12- 环向凹槽、13- 环向水管、21- 预留通孔、22- 密封圈、31- 水箱、32- 三通阀、33- 流量计、34- 压力表、35- 溢流槽、41- 测压管、42- 环向电极、43- 垂向电阻率测试电极、44- 孔压计、45- 位移计、46- 贯入仪、47- 传感器引线、5- 钢护环、6- 预留圆孔、7- 砂土层、8- 黏土层。

具体实施方式

[0026] 下面结合说明书附图和实施例对本发明作更进一步的说明。

[0027] 本发明的地下承压水位动态变化作用下土结构性测试装置及方法，包括标定罐体 1、加压活塞 2、承压水控制系统 3、测量系统 4。如图 1 所示，标定罐体 1 采高强度绝缘塑料制造成圆柱体（ $\Phi 1000\text{mm} \times 1250\text{mm}$ ）；罐体内分层设置有粘性土层和砂性土层（二层 - 四层），以模拟形成地下含水层结构；罐体内侧不同高度设置有环形进（排）水管；罐体外侧有 3 道环形钢护环 5；沿标定罐体 1 的侧壁不同高度开设安装孔 11，安装孔 11 作为标定罐体 1 内外连接的通道，作为测压管、传感器导线联出孔，不用时采用螺母封闭；罐体四周预留安装孔错开布置，以避免单侧面孔洞过多，影响罐体强度。

[0028] 标定罐体 1 的顶部设计有可拆卸的、上下自由滑动的加压活塞 2，所述加载系统对地下含水层结构施加垂向压力；加压活塞 2 与罐体 1 接触处设置 2 道 U 型槽，内嵌有环形密封圈 22；如图 5 所示，加压活塞 2 上开设 8 个预留圆孔 6，环向布置，间隔 45° 角，并且圆孔 6 可根据需要采用密封螺栓密封或使用。

[0029] 如图 2 所示，标定罐体 1 圆周不同区域侧壁 A/B/C/D 分别预留 8 个安装孔 11，总计 32 个安装孔，A/B 区域圆孔作为连接进排水系统、测压管的通道；C/D 区域圆孔作为传感器引线 47 的通道；四个区域安装孔功能亦可互换，根据需要组合使用。

[0030] 如图 1 所示，可根据需要在标定罐体 1 的内部从下至上分层铺设砂性土层 7/ 粘性土层 8/ 砂性土层 7/ 粘性土层 8，厚度分别为 30、20、30、20cm；或按砂土层 7（60cm）+ 黏土层 8（40cm）的方式铺设，亦可根据试验需要调整土层组合。

[0031] 如图 1 所示，所述承压水控制系统 3 由 2 个可升降高度的水箱 31、环向水管 13、三

通阀 32、水压表 33、流量表 34、溢流槽 35 组成,通过升降水箱 31 高度,调整承压砂性土层的水头和压力;水箱 31 刻度的精度达到 1mm,以利于观察水箱 31 内水位的升降情况;标定罐体 1 的内侧壁上设置有环形凹槽 12,用于放置环向水管 13,每道环形凹槽 12 基本位于每层土的中下部位置处;环形凹槽 12 一般设置四个,也可根据罐体大小和实验需要调整数量。每个水箱 31 对应一个环向水管 13,水箱 31 通过连接软管与对应环向水管 13 的进水口相连,连接软管上设置有三通阀 32,并连接流量表 33 和压力表 34,方便对进出水量及压力进行记录;环向水管 13 设置数量多于水箱 31 的数量,如设置四根环向水管 13,多出的环向水管 13 为预留水管,可根据试验需要,调整与水箱 31 连接的环向水管 13。另,为控制砂层中水的流出,可在一侧预设溢流槽 35。

[0032] 如图 2 所示,环向水管 13 采用打孔柔性 HDPE 管制作并外缠土工布滤网,环向水管 13 沿罐体 1 的内侧壁分层布置,分别位于标定罐体 1 侧壁的 4 道环形凹槽 12 内,所述环向水管 13 上设有进水口和出水口,所述出水口设置在环向水管 13 迎土侧。

[0033] 如图 3 所示,所述测量系统 4 包括电阻率测试元件、土体变形测试元件、水头测压管、微型孔压计、微型静力触探仪;所述测试元件设置于标定罐体 1 内外,测试元件实时监测标定罐体 1 内的土性和水位动态变化并将数据传输给外接的数据采集系统;具体的,所述测试元件包括测压管 41、电阻率测试电极 42 和 43、微型孔压计 44、微型位移计 45、微型静力触探贯入仪 46;

[0034] 所述测压管 41 外接在罐体 1 外面,用于测试不同位置水头变化;所述电阻率测试电极 42 和 43,用于测试水位升降过程中土体水平向和垂向电阻率;微型孔压计 44 用于测试试样中不同位置孔隙水压力变化;微型位移计 45 均埋设在土层中不同位置处,用于测试各土层垂向变形;所述微型静力触探贯入仪 46 通过加压活塞 2 上预留圆孔 6 进行贯入试验,用于在试验的不同阶段对试样进行土性参数测试,得到不同试验工况下土体强度、变形、渗透固结等参数。

[0035] 如图 3,试验时电阻率测试电极采取环形布置方式,环向电阻率测试电极 42(长为 10mm,宽为 5mm)沿标定罐体四周不同高度分层布置,可布置 2-4 层,每层 8 个,按 45° 角间隔布置,总计 16-32 个;如图 4 所示,在每层土的顶部和底部分别布设一层垂向电阻率测试电极 43(长为 10mm,宽为 5mm),每层 8 个,按 45° 角间隔布置。测试时,通过垂向布置的电极 43 测试土层垂向电阻率,通过环向电极 42 测试土层横向电阻率;测试时,选择两垂向(或环向)电极施加电压,在其他垂向(或环向)电极上可以得到电势差;通过垂向(或环向)电极两两配对测试,可以对土层中不同部位电阻率变化情况进行测试。

[0036] 本发明中,所述微型静力触探贯入仪 46 (M_{im} CPT) 可以测试在不同试验阶段土层贯入阻力 q_c , 侧壁摩阻力 f_s , 孔压 u 的变化情况,进而对土性变化(强度、变形、渗透固结等指标)情况进行评价,并与电阻率变化之间建立关系;试验时,打开活塞上某一预留孔 6 的密封螺母,匀速贯入 M_{im} CPT, 取得贯入阻力 q_c , 侧壁摩阻力 f_s , 孔压 u 测试指标;试验完成后,试验孔用砂和黏土封孔,顶部仍然采用密封螺母进行密封。

[0037] 本装置的使用方法包括以下步骤:

[0038] 1、试验准备阶段:分层铺设砂土层和砂性土层(2-4 层),同时将微型位移计、孔压计、测压管、电极片埋设在设计位置上,测试元件的导线通过塑料细管集中引出标定罐外,分别与 DataTaker 自动化数据采集仪、电阻率自动采集仪连接。整个铺土过程完成后,用水

箱为砂土层加压,其水头通过水箱的升降进行控制;土层在自重固结完成后,通过在土层顶部采用加压活塞均匀施加预压力对土层进行进一步固结,固结完成后,即可开展不同工况试验,在试验过程中,可用水箱的升降来控制不同砂性土层的水头。

[0039] 2、试验开展阶段:保持砂土层的水位高度在某一固定值,对测试元件的各初始测试参数进行读取;保持水位一定时间,待变形及孔压测试数据稳定后,按一定幅度改变砂土层水位高度,测试各项参数;反复上述流程,开展不同工况试验(承压水位大幅下降、大幅上升、反复升降等)。

[0040] 3、试验结果分析方法:

[0041] (1) 基本原理

[0042] Archie(1942) 率先把土电阻率引入土结构性研究之中,指出土电阻率与孔隙率等结构性指标密切相关,并提出了表征土结构性的结构因子等概念。由于土电阻率法具有方便、连续、快速、经济等优点,通过连续测试土体在水位变化过程中的电阻率可准确反映土体的微结构变形特征,从而实现土的微结构定量评价,并进而建立微观结构与宏观土性之间关系。

[0043] 土的电阻率结构性参数包括:

[0044] 1) 结构因子 F : $F = \rho / \rho_w$, 考虑到土体各向异性,分竖向结构因子和水平向结构因子,计算公式如下

$$[0045] \quad F_v = \rho_v / \rho_w, F_h = \rho_h / \rho_w$$

$$[0046] \quad \text{平均结构因子: } \bar{F} = \frac{F_v + 2F_h}{3}$$

$$[0047] \quad 2) \text{ 各向异性系数 } A: A = \sqrt{\frac{\rho_v / \rho_w}{\rho_h / \rho_w}} = \sqrt{\frac{F_v}{F_h}}$$

$$[0048] \quad 3) \text{ 形状因子 } f: \bar{F} = n^{-f}$$

[0049] 式中, ρ_w - 孔隙水电阻率, ρ_v - 土的竖向电阻率, ρ_h - 土的横向电阻率, F_v - 竖向结构因子, F_h - 水平向结构因子, \bar{F} - 平均结构因子, A - 各向异性系数, f - 平均形状因子, n 孔隙率。

[0050] (2) 分析过程

[0051] 采用前述方法获取不同工况下砂土和粘性土垂向和横向电阻率随时间变化的数据,同时测试土体垂向变形、孔压、水头变化过程,进而分析各测试参数之间的内在联系,建立如下指标之间关系:

[0052] ①结构因子(或各向异性系数、形状因子)~水位变化~时间关系;

[0053] ②土体变形~时间~水位变化~电阻率指标关系;

[0054] ③贯入阻力(或孔压、侧阻力)~水位变化~时间-电阻率指标关系;

[0055] ④土性指标(强度、变形、渗透固结等)~电阻率~时间关系,其中各土性指标可采用基于贯入阻力(孔压、侧阻力)的经验公式进行预测计算。

[0056] 通过分析上述四项内容,进而对地下承压水位动态变化作用下土结构性进行评价,并进一步分析其与水土环境变化之间内在联系。

[0057] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和等同替换,这些对本发明权利要求进行改进和等同替换后的技术方案,均落入本发明的保护范围。

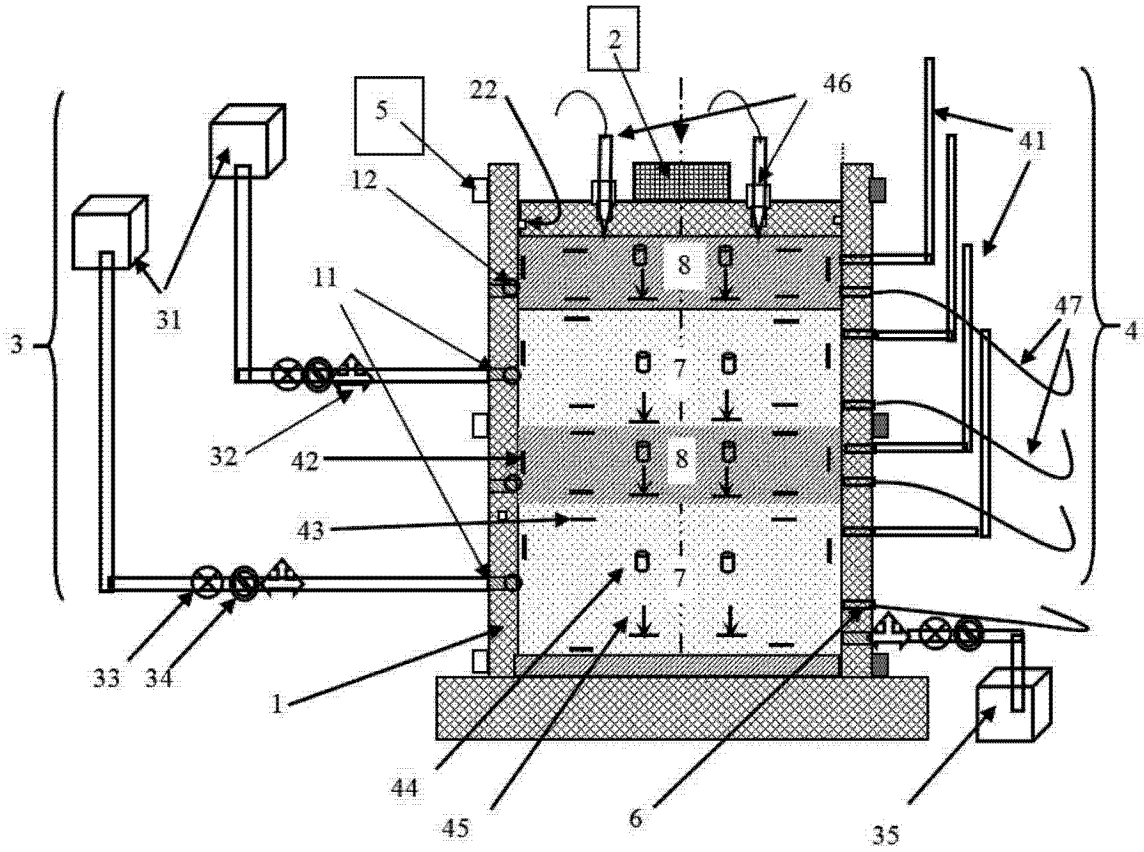


图 1

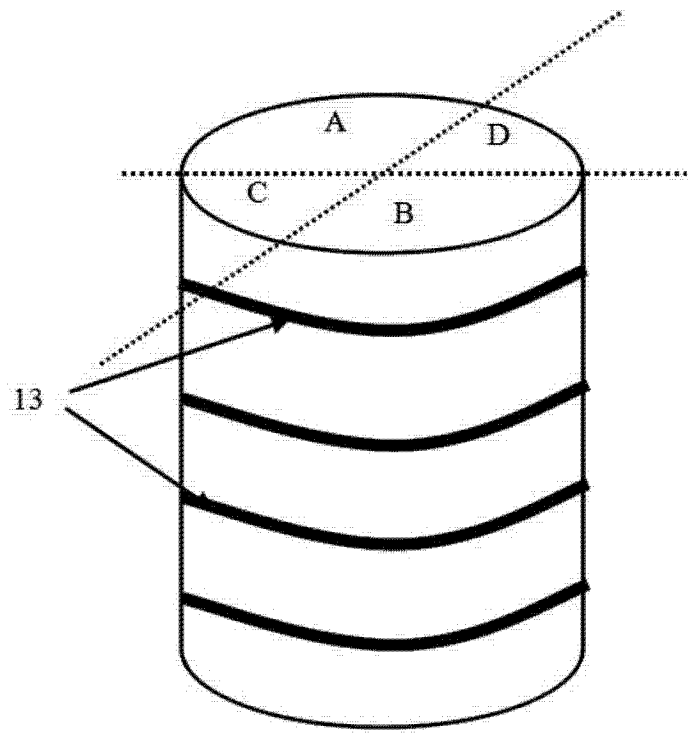


图 2

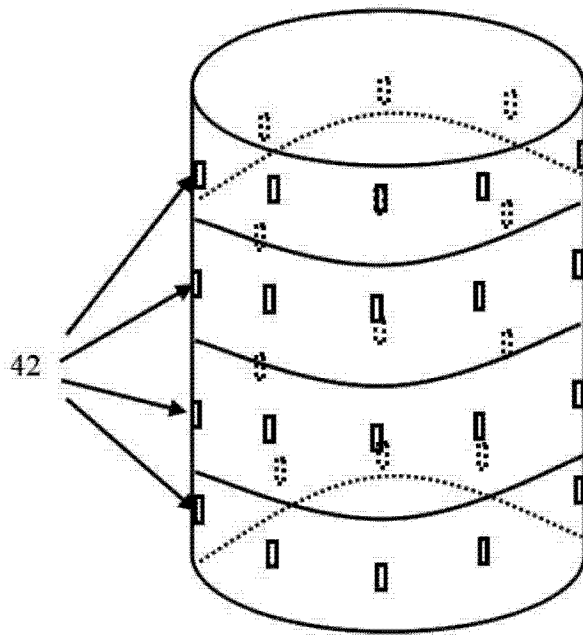


图 3

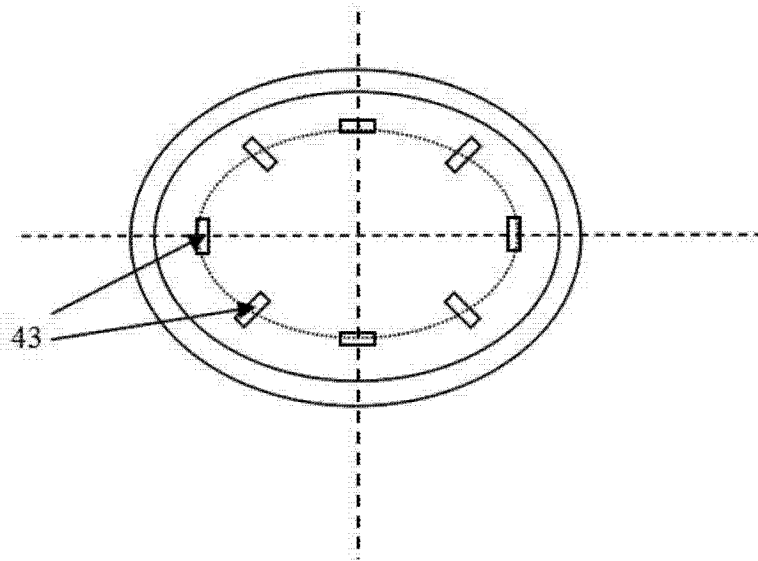


图 4

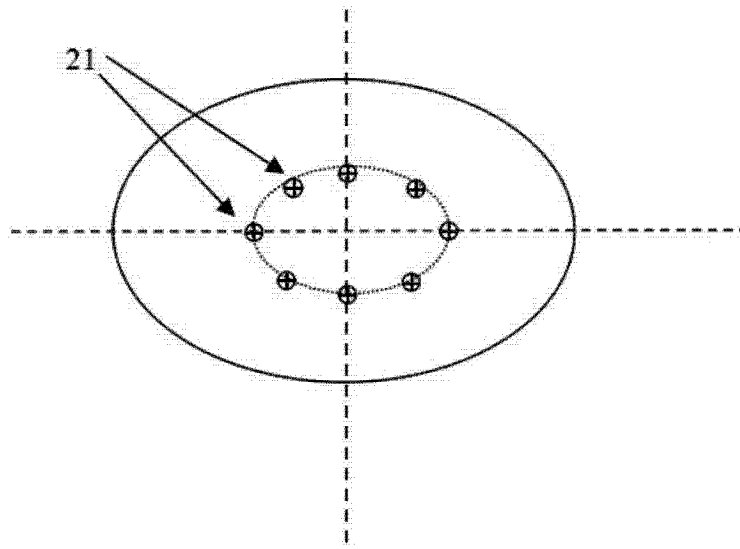


图 5