



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116793837 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 05

(21) 申请号 202310665945.4

CN 205134394 U, 2016.04.06

(22) 申请日 2023.06.07

KR 101999189 B1, 2019.10.01

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 105259038 A, 2016.01.20

申请公布号 CN 116793837 A

CN 110173008 A, 2019.08.27

(43) 申请公布日 2023.09.22

CN 112683510 A, 2021.04.20

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

CN 113916663 A, 2022.01.11

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 114180483 A, 2022.03.15

CN 115480042 A, 2022.12.16

CN 115541361 A, 2022.12.30

(72) 发明人 师玉敏 汪宁 高福平

JP 2008286679 A, 2008.11.27

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390

雒承才等. 隔水板桩与海底管道下方土体渗透破坏的对比分析. 2008年度海洋工程学术会议. 2008, 全文.

专利代理师 席卷

高福平. 海底管道失稳的流固土耦合机理及预测. 第十四届全国水动力学学术会议暨第二十八届全国水动力学研讨会文集(上册). 2017, 全文. (续)

(51) Int. Cl.

G01N 3/08 (2006.01)

G01N 3/02 (2006.01)

G01N 3/06 (2006.01)

审查员 辛金妮

(56) 对比文件

CN 112986537 A, 2021.06.18

CN 203965784 U, 2014.11.26

权利要求书2页 说明书7页 附图7页

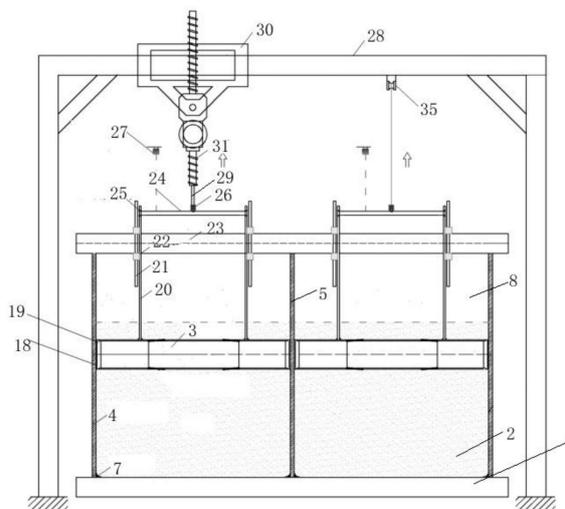
(54) 发明名称

用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置和方法

为管道整体屈曲的分析提供必要的模型及参数取值。

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置和方法, 包括: 土槽模型, 用于容纳海床模型和待测管道; 拉拔压载单元, 用于向位于所述土槽模型中的所述待测管道提供拉拔或压载作用力; 斜向加载单元, 用于将至少部分所述拉拔压载单元上的作用力变向后作用于所述待测管道上; 监测单元, 用于对所述海床模型、所述待测管道、所述拉拔压载单元和所述斜向加载单元中的至少一个的参数进行监控和分析。本发明通过分别模拟竖向及斜向压载和拉拔下, 海底管道压载和拉拔失稳的全过程, 并在此基础上对海床约束力、位移和管道周围土体的破坏模式等进行测量和观察, 进而



CN 116793837 B

[接上页]

(56) 对比文件

fu-ping gao et al. A general slip-line  
field solution for the ultimate bearing

capacity of a pipeline on drained  
soils. ocean engineering. 2015, 全文.

邢静忠 等. 埋设悬跨海底管道的屈曲分析.  
工程力学. 2006, 第23卷 (第02期), 全文.

1. 一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其特征在于,包括:  
土槽模型(1),用于容纳海床模型(2)和待测管道(3);  
拉拔压载单元,用于向位于所述土槽模型(1)中的所述待测管道(3)提供拉拔或压载作用力;  
斜向加载单元,用于将至少部分所述拉拔压载单元上的作用力变向后作用于所述待测管道(3)上;  
监测单元,用于对所述海床模型(2)、所述待测管道(3)、所述拉拔压载单元和所述斜向加载单元中的至少一个的参数进行监控和分析;  
所述拉拔压载单元通过匀速位移实现作用力的加载,和/或,通过恒力实现作用力的加载;  
所述待测管道(3)与两个竖向设置的刚性连接杆(20)相连;所述刚性连接杆(20)与带有第一空气轴承滑块(22)的导轨(21)连接,所述导轨(21)固定于土槽模型(1)上方的土槽横梁(23)上;所述刚性连接杆(20)与管道横梁(24)连接;  
所述管道横梁(24)上连接有一用于施加拉力或压力的机械加载装置;所述机械加载装置上设置有力传感器(26)与激光位移传感器(27);所述激光位移传感器(27)固定在加载架横梁(28)上;  
通过恒力实现作用力的加载模块包括可调配重块(33)、牵引钢索(34)和滑轮组(35);牵引钢索(34)通过滑轮组(35)将可调配重块(33)与待测管道(3)中心连接;荷载定向模块包括用于固定滑轮组(35)的第二空气轴承滑块(36)及其轨道(37),以及调角转盘(38);第二空气轴承滑块(36)使滑轮组(35)沿轨道(37)滑动;  
采用恒力加载方式开展管道的拉拔试验的过程如下:  
将一轨道(37)和一调角转盘(38)固定于加载架横梁(28)之上,将第二空气轴承滑块(36)与滑轮组(35)固定;将牵引钢索(34)与待测管道(3)上的力传感器(26)连接,通过滑轮组(35)与可调配重块(33)连接,转动调角转盘(38)升降轨道(37)的自由端,从而调节拉拔方向与设计载荷方向一致;  
采用恒力加载方式开展管道的压载试验如下:  
一滑轮与一第二空气轴承滑块(36)相连,沿固定于土槽横梁(23)上的一轨道(37)水平滑动;另一轨道(37)两端分别与调角转盘(38)相连,调角转盘(38)先将另一轨道(37)的一端调整至合适的高度,调整另一调角转盘(38)升降另一轨道(37)另一端的高度,使得牵引钢索(34)调整至设计的加载方向。
2. 根据权利要求1所述的一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其特征在于,所述土槽模型(1)分隔形成为至少两个试验腔体(8),且每个所述试验腔体(8)中各自容纳有所述海床模型(2)和所述待测管道(3)。
3. 根据权利要求2所述的一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其特征在于,所述土槽模型(1)的至少一个侧壁采用透明材料。
4. 根据权利要求1或2所述的一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其特征在于,所述土槽模型(1)的其中一个侧壁为形成有排水孔(9)的排水板(10),且所述排水板(10)的外侧形成为排水槽(11),所述排水槽(11)中设置有导排水材料(12)。
5. 根据权利要求4所述的一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其

特征在于,所述排水板(10)的内侧朝向所述土槽模型(1)的内部顺次设置有多孔钢丝网(15)和土工布(14)。

6.根据权利要求1或2所述的一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其特征在于,所述待测管道(3)包括中间管段(16),以及可拆卸地连接于所述中间管段(16)的两端的端部管段,且所述端部管段中背离所述中间管段(16)的一端形成有密封垫层,所述密封垫层用于与所述土槽模型(1)的内壁接触密封。

7.根据权利要求6所述的一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其特征在于,所述中间管段(16)上沿周向方向设置有用以监测孔隙水压力的孔压传感器(17)。

8.根据权利要求6所述的一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其特征在于,所述密封垫层至少包括聚四氟乙烯板(18)和/或橡胶垫(19)。

9.根据权利要求6所述的一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其特征在于,通过匀速位移实现作用力的加载的所述拉拔压载单元包括通过匀速移动结构带动能够靠近或远离所述待测管道(3)的加载杆(29),以及一端连接于所述加载杆(29)上,另一端连接于所述待测管道(3)上的连接架结构;其中,

所述斜向加载单元为设置于所述匀速移动结构上的倾角调节件,所述倾角调节件能够调节所述加载杆(29)的倾斜角度。

10.根据权利要求1或2所述的一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其特征在于,所述监测单元还包括力传感器(26)、激光位移传感器(27)、原位静力触探CPT装置和标尺中的一种或多种。

11.一种用于软黏土海床环境下的海底管道的动态受力模拟方法,其特征在于,采用根据权利要求1-10中任意一项所述的动态受力模拟装置,所述动态受力模拟方法包括:

S100、在土槽模型中布置待测管道和监测单元后,向土槽模型中填充海床模型至预设值;

S200、采用拉拔压载单元对土槽模型中的待测管道施加作用力;

S300、通过监测单元对环境中的参数变化进行记载和分析;其中,

步骤S200中还能通过斜向加载单元对至少部分拉拔压载单元上的作用力方向进行变向后施加于待测管道上。

## 用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置和方法

### 技术领域

[0001] 本发明实施例涉及海底管道在软黏土海床上动态嵌入及上拔失稳全过程的模拟技术领域,具体涉及用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置和方法。

### 背景技术

[0002] 海底长输管道作为一种大跨度的海底工程结构,其安全性面临深远海特殊的油气输运工况、海床土性条件带来的新挑战,其面临的主要问题至少包括:深水区段管道处于高压高温的超常环境;软黏土成为深水区海底的主要沉积物类型。

[0003] 基于此,在高温和高压内流联合作用下,管壁内部将产生轴向附加应力,具体地:当轴向累积压力足够大时,细长管道将发生类似压杆失稳的结构整体屈曲。同时,鉴于深水海底管道往往直接铺设于海床表面,常被认为更易于发生沿海床表面的侧向整体屈曲。然而,管道在软黏土海床上若由于地基承载力不足而产生过度沉陷,则会增加管道发生竖向隆起屈曲的工程风险。而且,当受到铺设过程、船舶运动、底流等影响,管道具有斜向(既有竖向又有侧向)的初始几何缺陷,可能会发生斜向隆起屈曲。

### 发明内容

[0004] 为此,本发明实施例提供一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置和方法,通过分别模拟竖向及斜向压载和拉拔下,海底管道压载和拉拔失稳的全过程,并在此基础上对海床约束力、位移和管道周围土体的破坏模式等进行测量和观察,进而为管道整体屈曲的分析提供必要的模型及参数取值。

[0005] 为了实现上述目的,本发明的实施方式提供如下技术方案:

[0006] 在本发明实施例的一个方面,提供了一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,包括:

[0007] 土槽模型,用于容纳海床模型和待测管道;

[0008] 拉拔压载单元,用于向位于所述土槽模型中的所述待测管道提供拉拔或压载作用力;

[0009] 斜向加载单元,用于将至少部分所述拉拔压载单元上的作用力变向后作用于所述待测管道上;

[0010] 监测单元,用于对所述海床模型、所述待测管道、所述拉拔压载单元和所述斜向加载单元中的至少一个的参数进行监控和分析。

[0011] 作为本发明的一种优选方案,所述土槽模型分隔形成为至少两个试验腔体,且每个所述试验腔体中各自容纳有所述海床模型和所述待测管道。

[0012] 作为本发明的一种优选方案,所述土槽模型的至少一个所述侧壁采用透明材料。

[0013] 作为本发明的一种优选方案,所述土槽模型的其中一个侧壁为形成有排水孔的排水板,且所述排水板的外侧形成为排水槽,所述排水槽中设置有导排水材料。

[0014] 作为本发明的一种优选方案,所述排水板的内侧朝向所述土槽模型的内部顺次设

置有多孔钢丝网和土工布。

[0015] 作为本发明的一种优选方案,所述待测管道包括中间管段,以及可拆卸地连接于所述中间管段的两端的端部管段,且所述端部管段中背离所述中间管段的一端形成有密封垫层,所述密封垫层用于与所述土槽模型的内壁抵触密封。

[0016] 作为本发明的一种优选方案,所述中间管段上沿周向方向设置有用于监测孔隙水压力的孔压传感器。

[0017] 作为本发明的一种优选方案,所述密封垫层至少包括聚四氟乙烯板和/或橡胶垫。

[0018] 作为本发明的一种优选方案,所述拉拔压载单元通过匀速位移实现作用力的加载,和/或,通过恒力实现作用力的加载。

[0019] 作为本发明的一种优选方案,通过匀速位移实现作用力的加载的所述拉拔压载单元包括通过匀速移动结构带动能够靠近或远离所述待测管道的加载杆,以及一端连接于所述加载杆上,另一端连接于所述待测管道上的连接架结构;其中,

[0020] 所述斜向加载单元为设置于所述匀速移动结构上的倾角调节件,所述倾角调节件能够调节所述加载杆的倾斜角度。

[0021] 作为本发明的一种优选方案,通过恒力实现作用力的加载的所述拉拔压载单元包括滑轮组,穿插于所述滑轮组上设置的牵引钢索,以及连接于所述牵引钢索其中一端的配重块,且所述牵引钢索的另一端通过连接件连接于所述待测管道上;其中,

[0022] 所述斜向加载单元能够调节所述滑轮组的延伸方向与水平面之间的倾斜角度。

[0023] 作为本发明的一种优选方案,所述监测单元还包括力传感器、激光位移传感器、原位静力触探CPT装置和标尺中的一种或多种。

[0024] 在本发明实施例的另一个方面,还提供了一种用于软黏土海床环境下的海底管道的动态受力模拟方法,采用根据上述所述的动态受力模拟装置,所述动态受力模拟方法包括:

[0025] S100、在土槽模型中布置待测管道和监测单元后,向土槽模型中填充海床模型至预设值;

[0026] S200、采用拉拔压载单元对土槽模型中的待测管道施加作用力;

[0027] S300、通过监测单元对环境中的参数变化进行记载和分析;其中,

[0028] 步骤S200中还可选择地通过斜向加载单元对至少部分拉拔压载单元上的作用力方向进行变向后施加于待测管道上。

[0029] 本发明的实施方式具有如下优点:

[0030] 本发明的技术方案从竖向和侧向两方面考虑,对两方向上的联合载荷作用下的管土相互作用机理的变化进行了研究和分析。进一步地,本发明能够从海底管道安装过程中的海床承载力和初始沉陷深度方向,以及管道隆起屈曲过程中,管土界面极易产生的负孔隙水压力和粘附力两个角度考虑,基于埋设管道与土体相互作用的研究获得管道上拔过程中的力学响应规律,得到峰值土阻力、残余竖向土阻力、特征位移等关键参数取值,进而为管道整体屈曲的分析提供必要的模型及参数取值。

## 附图说明

[0031] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方

式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0032] 本说明书所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所揭示的内容,以供熟悉此技术的人士了解与阅读,并非用以限定本发明可实施的限定条件,故不具技术上的实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。

[0033] 图1为本发明实施例提供的动态受力模拟装置的侧视图;

[0034] 图2为本发明实施例提供的拉拔状态下的动态受力模拟装置的正视图;

[0035] 图3为本发明实施例提供的压载状态下的动态受力模拟装置的正视图;

[0036] 图4A为本发明实施例提供的拉拔压载单元和斜向加载单元的第一种状态下的示意图;

[0037] 图4B为本发明实施例提供的拉拔压载单元和斜向加载单元的第二种状态下的示意图;

[0038] 图4C为本发明实施例提供的拉拔压载单元和斜向加载单元的第三种状态下的示意图;

[0039] 图5为本发明实施例提供的待测管道的结构示意图;

[0040] 图6为本发明实施例提供的土槽模型的结构示意图;

[0041] 图7为本发明实施例提供的排水板的结构示意图;

[0042] 图8为本发明实施例提供的土槽模型和排水槽的局部剖视图。

[0043] 图中:

[0044] 1-土槽模型;2-海床模型;3-待测管道;4-第一钢化玻璃;5-第二钢化玻璃;6-定位钢槽;7-防水密封胶;8-试验腔体;9-排水孔;10-排水板;11-排水槽;12-导排水材料;13-排水阀门;14-土工布;15-多孔钢丝网;16-中间管段;17-孔压传感器;18-聚四氟乙烯板;19-橡胶垫;20-刚性连接杆;21-导轨;22-第一空气轴承滑块;23-土槽横梁;24-管道横梁;25-六角螺母;26-力传感器;27-激光位移传感器;28-加载架横梁;29-加载杆;30-设备架;31-丝杠;32-箱型减速机;33-配重块;34-牵引钢索;35-滑轮组;36-第二空气轴承滑块;37-轨道;38-调角转盘;39-导线孔;40-扭矩传感器。

## 具体实施方式

[0045] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0046] 以下结合附图对本发明的具体实施例进行详细的说明。

[0047] 本发明提供了一种用于软黏土海床环境下的管道的动态受力模拟装置,其具体包括:

[0048] 可视化的模型试验土槽(即土槽模型1);所述土槽模型1正立面前后分别安装第一钢化玻璃4(即这里需要采用透明材料以实现可视化,优选为采用透明的钢化玻璃),参见图

1;所述土槽模型1侧立面中间位置也可以安装第二钢化玻璃5,所述第二钢化玻璃5卡在固定于土槽模型1底部钢板的定位钢槽6内,参见图6;第一钢化玻璃4和第二钢化玻璃5与土槽模型1底部和侧壁连接处均通过防水密封胶7进行密封,从而构成两个完全独立、尺寸和设置完全相同的两个试验腔体8。即第二钢化玻璃5将土槽模型1分隔形成为两个独立的试验腔体8。

[0049] 如图7所示,所述土槽模型1的一端侧立面采用带有均匀分布排水孔9的排水板10(优选为排水钢板);如图8所示,所述排水钢板一侧制备黏土材质的海床模型2,另一侧为排水槽11。具体地,所述排水槽11内装有导排水材料12(优选为粗颗粒砂土);所述砂土底部侧边安装一排水阀门13;在所述土槽模型1内制备均匀的软黏土材质的海床模型2;所述海床模型2与排水钢板中间依次设置土工布14和多孔钢丝网15。需要进一步说明的是,这里进一步选用粗颗粒砂土作为导排水材料12,在实际操作过程中,由于其孔隙比黏土大,在黏土材质的海床模型2的制备过程中,可以通过在排水槽11中铺设与海床模型2高度基本相同的粗颗粒砂土,从而能够导出海床模型2逐渐固结过程中所排出的水分;同时,由于粗颗粒砂土其自身孔隙较大,吸收的孔隙水能够快速排水到粗砂泥面,能够进一步促进海床模型2的固结过程的快速完成。

[0050] 如图5所示,所述海床模型2上放置一管道模型(即待测管道3);所述管道模型由三个管段组装完成,相邻管段的端部加工锥形变径部位,所述锥形变径部位加工螺纹或凹槽;其中,位于中部的中间管段16安装一周的孔压传感器17测量孔隙水压力。所述管道模型端部设置了聚四氟乙烯板18、橡胶垫19,所述橡胶垫19变形卡紧管道于土槽模型1两侧的钢化玻璃之间(需要说明的是,由于通过第二钢化玻璃5分隔,因此,这里是每个试验腔体8中各自具有一根待测管道3,即每根待测管道3一端与第一钢化玻璃4抵触卡紧,另一端与第二钢化玻璃5抵触卡紧),以保证待测管道3与钢化玻璃紧密贴合。

[0051] 如图1所示,所述管道模型与两个竖向设置的刚性连接杆20采用焊接方式相连;所述刚性连接杆20与带有第一空气轴承滑块22的方形导轨21连接,所述导轨21固定于土槽模型1上方的土槽横梁23上;第一空气轴承滑块22可使连接待测管道3的刚性连接杆20沿导轨21无阻力竖向滑动;所述刚性连接杆20与一个平行于海床表面的管道横梁24通过上下两侧四个六角螺母25连接。

[0052] 所述管道横梁24上连接有一用于施加竖向拉力或压力的机械加载装置;所述机械加载测量装置上设置有力传感器26、与海床垂向的激光位移传感器27。所述激光位移传感器27固定在加载架横梁28(需要说明的是,这里的加载架横梁28相对于土槽模型1位置是固定的,即,其不受机械加载装置的移动而发生位置上的变化)上,自上而下向管道横梁24上发射激光。所述管道横梁24顶面和底面各固定有一个联接螺栓,联接螺栓直接与力传感器26固定。

[0053] 模型试验包括竖向和斜向的拉拔和压载试验,加载方式包括匀速位移加载方式和恒力加载方式两种(如图2和图3所示)。所述匀速位移加载试验装置布置见图1左侧土槽。加载杆29与力传感器26连接,在丝杆升降机和伺服电机的带动下,待测管道3沿加载杆29轴方向匀速运动。所述丝杆减速机固定于设备架30(需要说明的是,这里的设备架30是设置于加载架横梁28上的)上且角度可调(如图4所示),所述设备架30设置于加载架横梁28上且可沿水平方向调整位置。可通过改变伺服电机转速以调整加载速度。当开展斜向加载试验时(见

图3),可通过改变丝杆升降机倾角使加载角度满足设计要求。这里的丝杆升降机结构可以参考本领域技术人员能够理解和使用的的方式,例如,采用丝杠31和丝杆相配合的方式,通过伺服电机和箱型减速机32相配合的方式控制其移动速率;而其斜向的调节,则可参考图4A的设置方式,通过铰接的方式转动至合适的角度,并固定,即可基于丝杆升降机的倾角调节,完成对其上连接的加载杆29的倾角调节。本领域技术人员能够理解和使用的任意合适的方式,在此均可以使用。

[0054] 其中,恒力加载模块包括可调配重块33、牵引钢索34和滑轮组35(具体为定滑轮组)。牵引钢索34通过滑轮组35将可调配重块33与待测管道3轴心连接,可通过改变配重重量以调整荷载大小。荷载定向模块包括用于固定滑轮组35的第二空气轴承滑块36及其轨道37,以及调角转盘38。其中,第二空气轴承滑块36可使滑轮组35沿轨道37无阻力滑动,从而使穿过第二空气轴承滑块36上滑轮组35的牵引钢索34之间的夹角相等(即 $\angle ABC = \angle BCD$ )。试验前,通过旋转调角转盘38升降轨道37的自由端,从而使与管道相连的牵引钢索34中的AB段(如图4B所示)的方向与试验设计荷载方向一致。试验过程中,当待测管道3位移使牵引钢索34方向偏离设计方向时,滑轮组35将沿轨道37滑动,并最终使加载方向回归其设计方向。

[0055] 以下结合具体的几种模拟方法进行进一步的说明。

[0056] 实施例1

[0057] 采用匀速位移加载方式开展管道的拉拔和压载试验。

[0058] (1) 参见图5,给待测管道3一周布置孔压传感器17,保持孔压传感器17测试头与待测管道3外壁齐平,然后将数据线通过导线孔39伸出;将三个管段首尾连接;布置完成后将预留孔洞用盖板封堵,将盖板周边及导线孔39用密封胶密封;

[0059] (2) 参见图1,在刚性连接杆20上安置带第一空气轴承滑块22的导轨21,将导轨21固定在土槽横梁23之上,第一空气轴承滑块22分别位于土槽横梁23上下两侧;将刚性连接杆20穿过管道横梁24,采用六角螺母25拧紧固定;在方管横梁24顶部固定螺栓,在螺栓上联接拉压力传感器,然后吊装放置模型管道系统;

[0060] (3) 参见图2和3,在试验土槽内预先埋置孔压传感器17,将孔压传感器17每隔一定的深度绑定在固定于底板的支架上;在加载架横梁28上安装原位CPT装置;

[0061] (4) 在排水钢板内侧分别铺设多孔钢丝网15和土工布14作为黏土海床的排水路径;然后,向排水钢板外侧的排水槽11中填充粗颗粒的砂土;往土槽内填充搅拌均匀、含水量大于100%的黏土泥浆,直至与模型管道底面齐平;

[0062] (5) 继续注入黏土泥浆直至待测管道3达到设计埋深,即待测管道3顶面到黏土泥面的竖直距离达到待测管道3的设计埋深;

[0063] (6) 监测孔压传感器17测试的孔隙水压力的变化,静置等待泥浆的沉降固结,每隔一段时间,通过原位静力触探CPT装置测试一次不同深度处土体的不排水抗剪强度,待土体达到一定的固结度和强度水平时,开始模型试验;

[0064] (7) 将丝杆减速机固定于设备架上,调整好设计角度。将设备架30固定于设备平台上,沿水平方向调整好位置。将加载杆29与力传感器26连接,使杆轴方向与加载方向一致。加载前改变伺服电机转速以调整好设计的加载速度。当开展斜向加载试验时,由于土阻力方向并非与杆轴方向一致,需在力传感器26的基础上串联一扭矩传感器40(参加图4A)以确

定土阻力的大小的方向；

[0065] (8) 打开数据采集系统,确认拉压力传感器及激光位移传感器27处于正常工作状态,打开CCD32图像采集系统。压载试验时,在伺服电机和带动下丝杆升降机的杆轴开始匀速位移对待测管道3施加压力,直至其下方土体发生破坏,试验完成。拉拔试验时,在伺服电机和带动下丝杆升降机的杆轴开始匀速位移对待测管道3施加拉力,直至其上方土体发生破坏,试验完成；

[0066] (9) 试验过程中读取并记录管道位移以及力传感器的读数,得到不同埋深、不同加载速率下模型管道的载荷位移关系,从而依据力位移曲线确定模型管道的抗压和抗拔承载力。

[0067] 实施例2

[0068] 在实施例1基础上,不同于实施例1,采用恒力加载方式开展管道的拉拔试验,具体地:

[0069] 将轨道37和调角转盘38固定于加载架横梁28之上,将第二空气轴承滑块36与滑轮组35固定。将牵引钢索34与待测管道3上的力传感器26连接,通过滑轮组35与可调配重块33连接,并通过改变配重重量以调整荷载大小。

[0070] 转动调角转盘38升降轨道37的自由端,从而调节牵引钢绳AB的方向与设计载荷方向一致。试验过程中,当待测管道3位移使牵引钢索AB段方向偏离设计方向时,滑轮组35将沿轨道37滑动,并最终使AB倾角回归其设计值,从而实现对荷载方向的实时反馈调节。试验过程中读取并记录待测管道3位移以及力传感器26的读数,得到不同埋深、不同配重块38、不同加载时间下待测管道3的位移和受力的发展,从而获取力位移曲线,以及待测管道3的抗拔承载力。

[0071] 实施例3

[0072] 如图3所示,在实施例1基础上,不同于实施例1和2,采用恒力加载方式开展管道的压载试验。

[0073] 步骤(2)中,在管道横梁24底部固定螺栓,在螺栓上联接拉压力传感器,然后吊装放置模型管道系统。

[0074] 如图3和图4C所示,压载系统包含两个轨道37、三个第二空气轴承滑块36和三个可移动滑轮。其中滑轮D与滑块相连,可沿固定于土槽横梁23上的轨道37自由水平滑动。而定向轨道37两端分别与调角转盘38相连,一端先将轨道37调整至合适的高度。将牵引钢索34与管道横梁24上的力传感器26连接,穿过滑轮组35与可调配重块33连接。然后,调整另一个调角转盘38,升降轨道37另一端的高度使得牵引钢索34调整至设计的加载方向。试验过程中,当管道位移使牵引钢索AB段方向偏离设计方向时,滑轮组35将沿导轨协调滑动,并最终使AB倾角回归其设计值,从而实现对荷载方向的实时反馈调节。

[0075] 试验过程中读取并记录管道位移以及力传感器的读数,得到不同埋深、不同配重块33、不同加载时间下模型管道的位移和受力的发展,从而获取力位移曲线,以及模型管道的抗压承载力。

[0076] 上述技术方案具有如下优点:

[0077] 1、模型土槽中间安装一整块钢化玻璃,参见图6,使得可同时制备两个完全独立、完全相同的两个土槽,分别同时开展不同的对比试验。可用一套模型管道及加载装置完成

管道与土体竖向和斜向相互作用的全过程模拟,包含竖向及斜向的拉拔和压入两种加载模式。

[0078] 2、可实现位移控制加载和力控制加载,当采用匀速位移加载方式时可改变加载速率,从而考虑加载速率对于土体承载力的影响。当采用恒力加载控制时,可分析加载时间对土体承载力的影响,尤其是软黏土海床,可测试土体蠕变的影响。

[0079] 3、管道刚性连接杆上设计了方导轨,在横梁上下对每条导轨各配置两个空气轴承滑块,抑制了模型管道系统在加载过程中出现倾斜和转动失稳,提高试验的成功率和可重复性。

[0080] 4、当采用恒力加载时,通过旋转调角转盘升降导轨的自由端,从而使管道牵引钢索的方向与试验设计荷载方向一致,并且试验过程中,当管道位移使牵引钢索偏离设计方向时,定滑轮组将沿导轨滑动,从而实现荷载方向的实时反馈调节。

[0081] 5、为便于孔压传感器的安装,模型管道设置为由三段管段组装而成,中间管段的接缝处均设置锥形对接坡口,首尾管段的接缝处设置为对应的楔形对接口,变径部位加工成匹配的螺纹,便于管段之间组装连接。

[0082] 6、模型管道端部设计了橡胶垫层、聚四氟乙烯板。模型管道自然长度略大于土槽宽度,进入土槽后橡胶垫压缩卡紧管道于土槽两侧的钢化玻璃之间,从而使得管道侧壁与土槽钢化玻璃侧壁紧密接触以增加端部密封性,可有效的预防管道在黏土海床中上拔过程中端部密封效果差引起的负超静孔隙水压(负压吸力)测量不准确的问题;聚四氟乙烯板与钢化玻璃侧壁之间的摩擦系数很小,可有效消除两侧端部摩擦阻力对于土阻力的影响。

[0083] 7、模型土槽内设置有原位静力触探CPT装置和孔压传感器和标尺,分别测量土体模型在固结过程中的强度变化、超静孔隙水压力消散以及泥面的固结沉降量;管道一周布置的孔压传感器可测量管道运动过程中管土界面超静孔压响应。

[0084] 8、能够在实验过程中通过相机捕捉到管道周围土体颗粒运动的清晰图像,进而通过粒子测速技术(PIV)和数字图像相关技术(DIC)分析得到土体的运动模式和应变场演化规律,管道周围土体的破坏模式进行精确识别。

[0085] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范围。

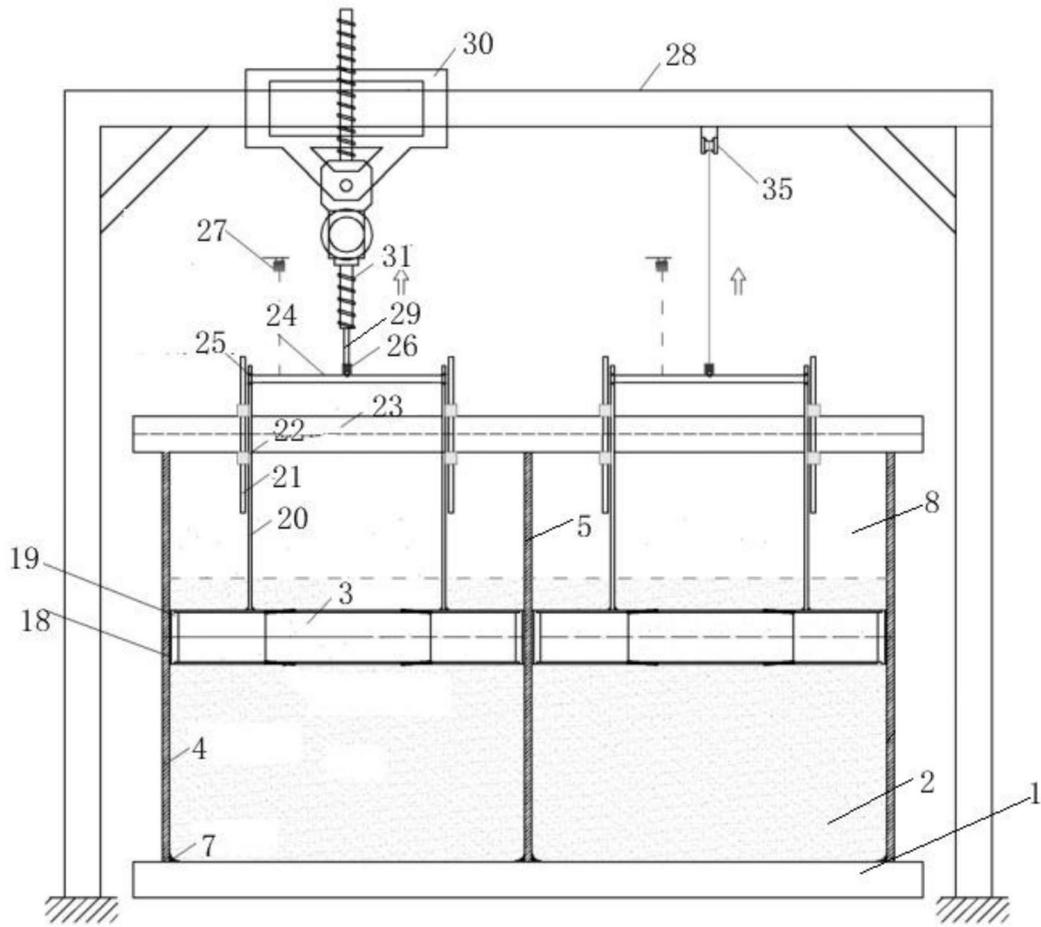


图1

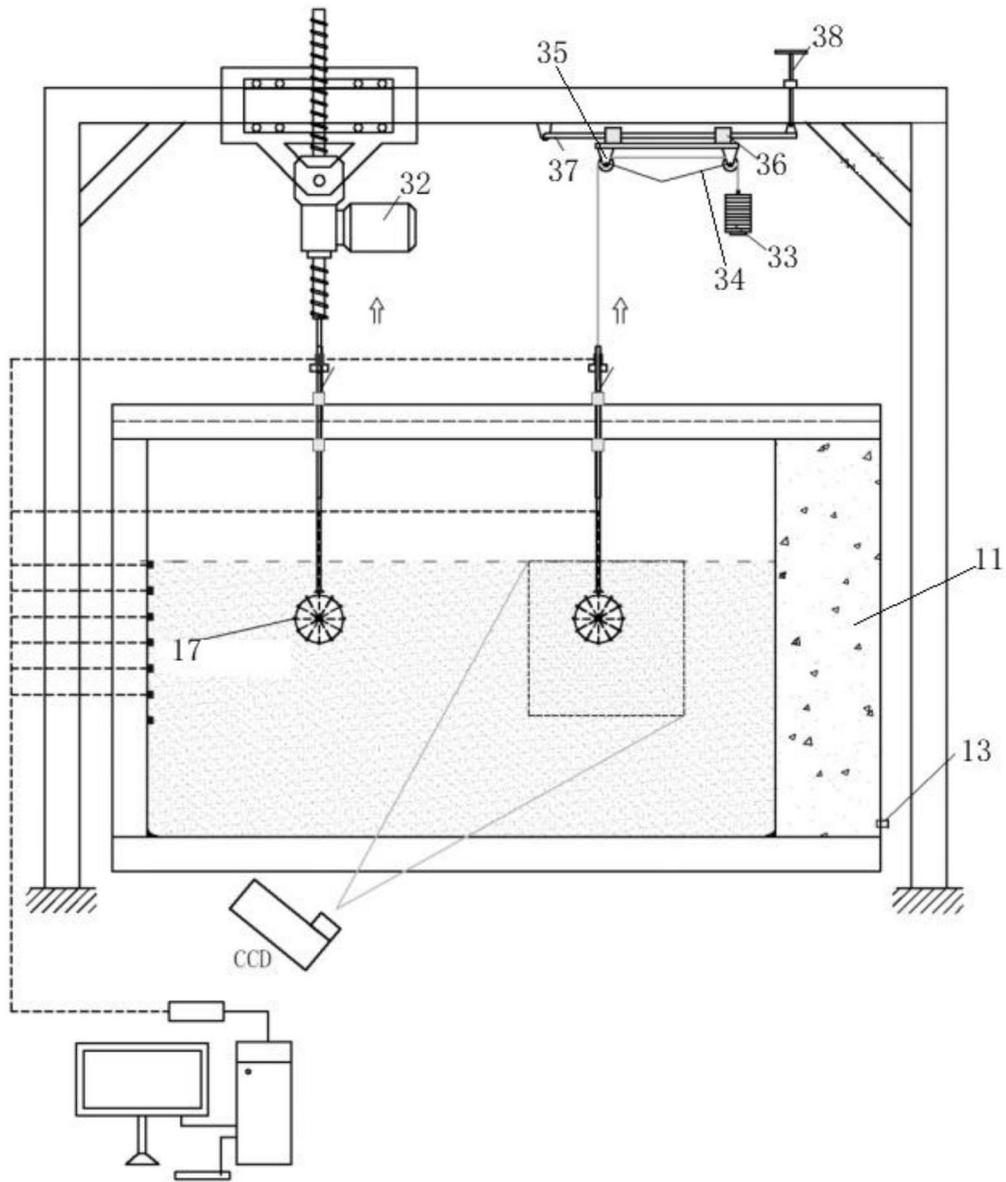


图2

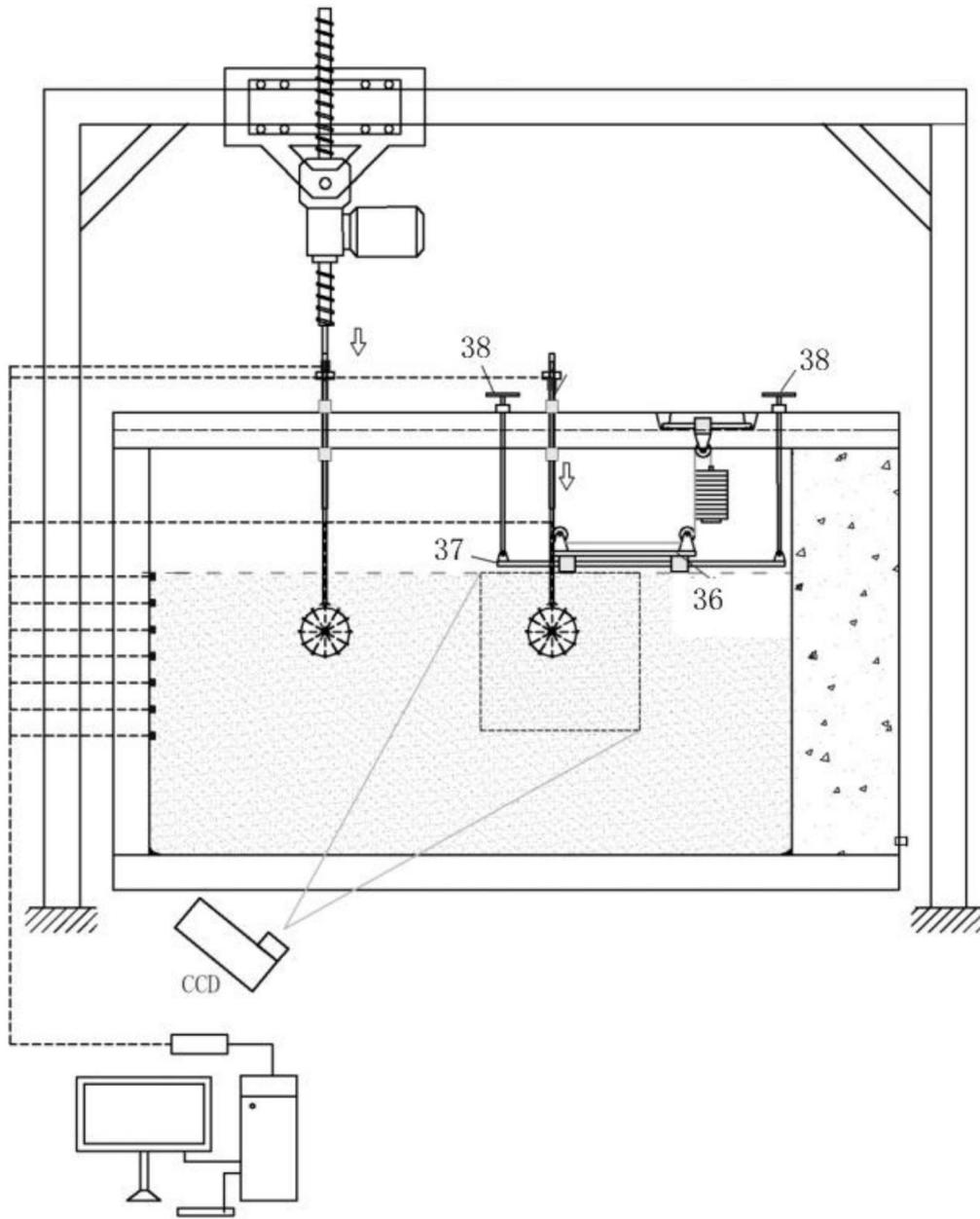


图3

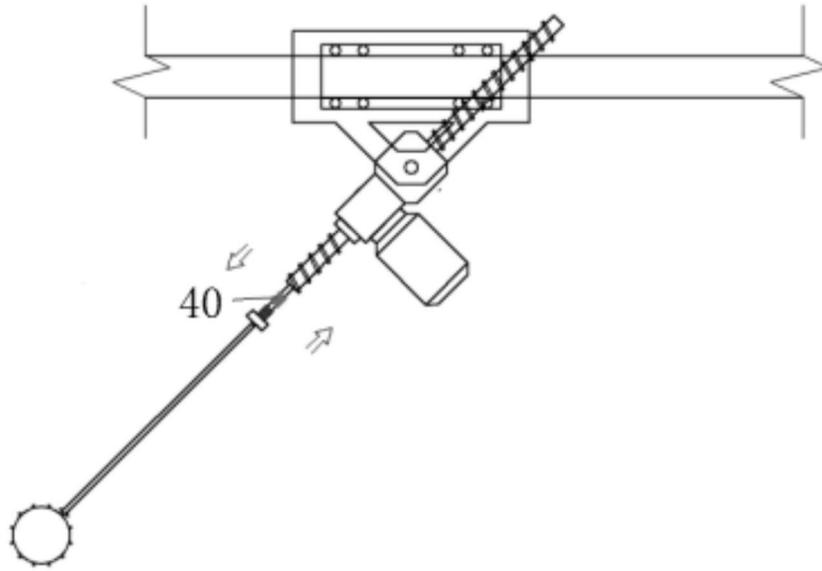


图4A

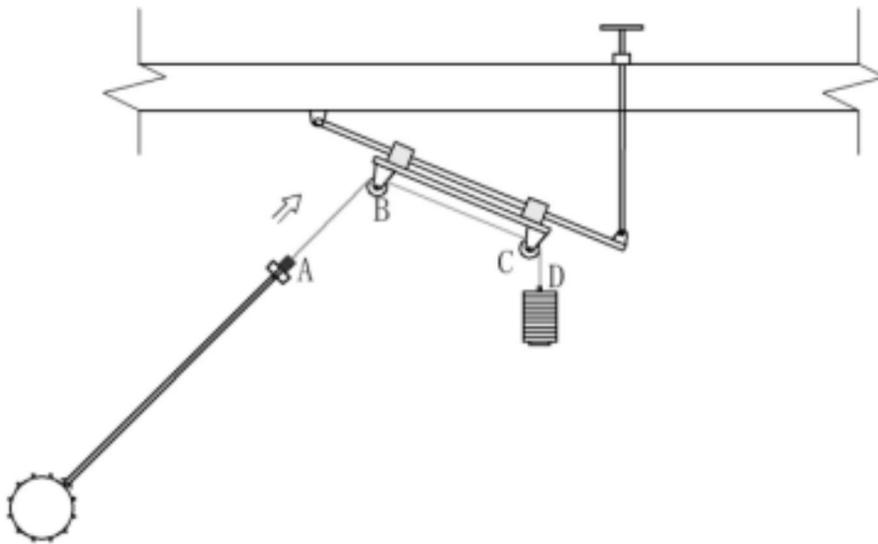


图4B

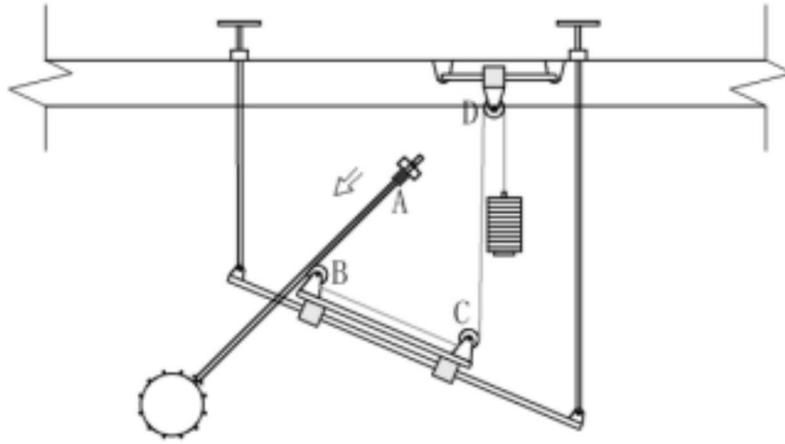


图4C

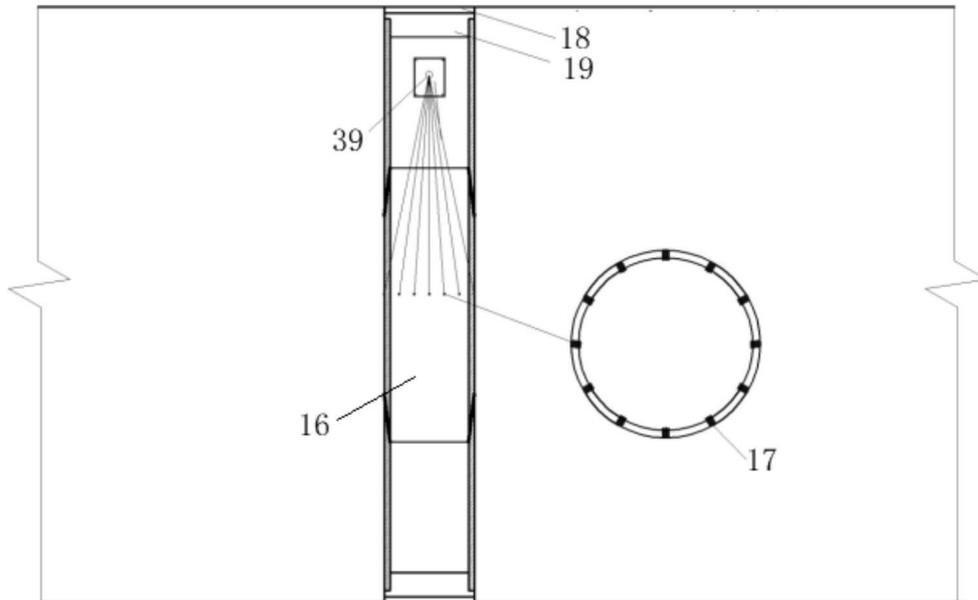


图5

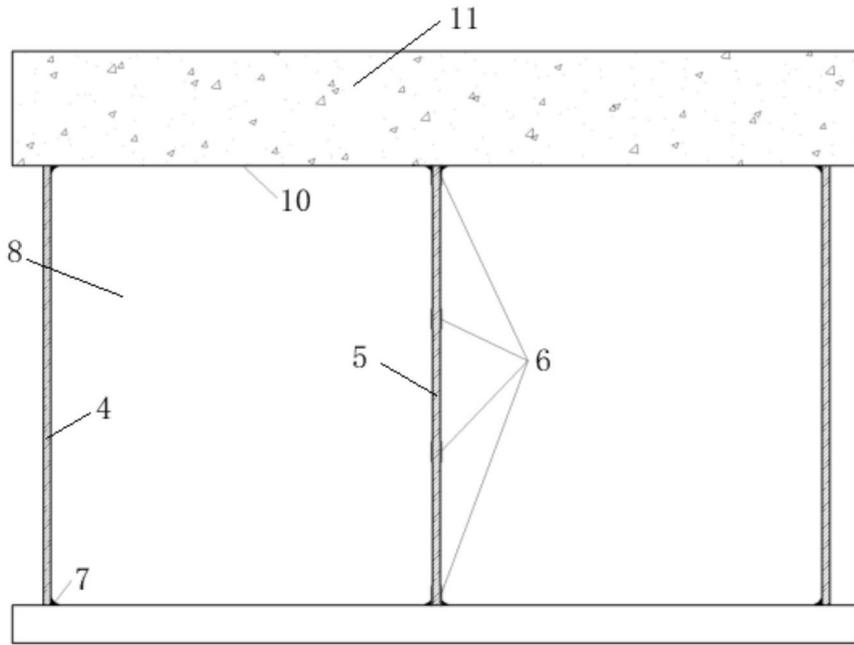


图6

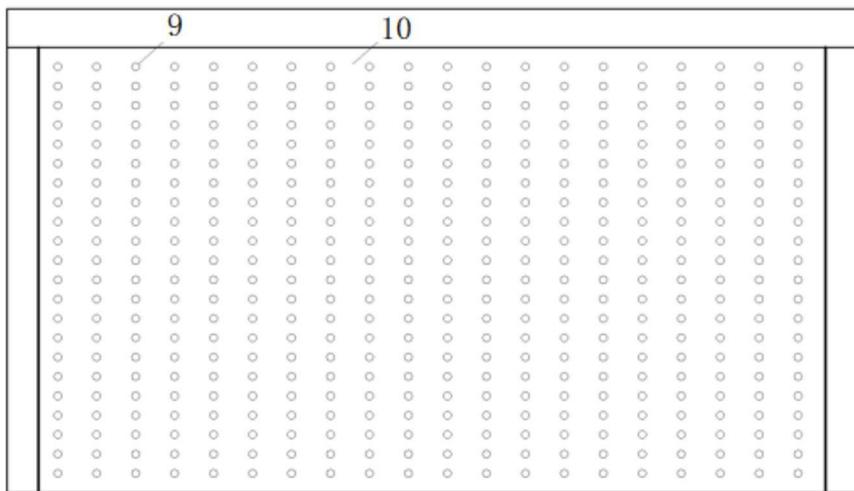


图7

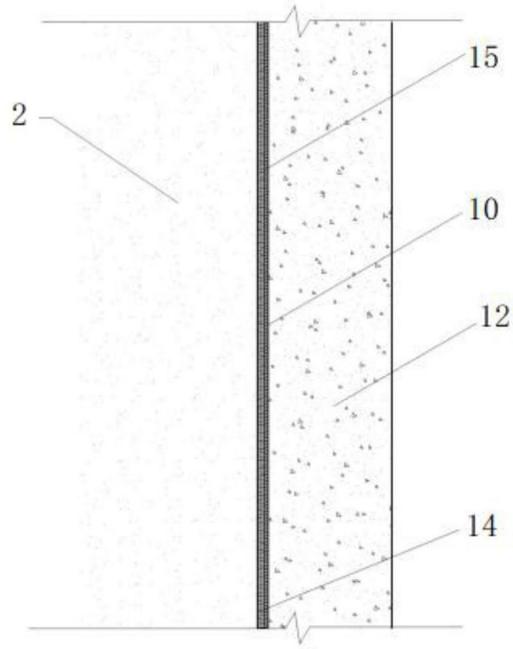


图8