



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112362452 B

(45) 授权公告日 2021.08.31

(21) 申请号 202011292029.3

审查员 褚为静

(22) 申请日 2020.11.18

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112362452 A

(43) 申请公布日 2021.02.12

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 汪宁 师玉敏 高福平

(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

代理人 焦海峰

(51) Int.Cl.

G01N 3/02 (2006.01)

G01N 3/08 (2006.01)

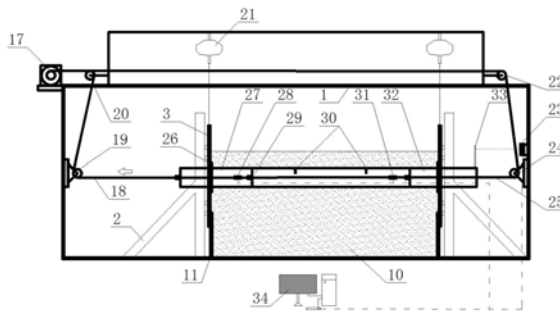
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置和方法

(57) 摘要

本发明涉及海洋油气工程、海洋土力学、海底管道工程等技术领域,为了克服现有设计缺陷造成的模拟埋管轴向管土相互作用过程、测量轴向土阻力工作的误差,本发明公开了一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置和方法,利用负压对泥浆状黏土进行预压,加速其固结过程,并通过对超静孔压和固结沉降的监测掌握并控制固结程度,以达到实验要求。相应的实验装置包括实验土槽、模型管道、轴向加载复位装置、测量装置以及数据同步采集系统。模型管道两端穿过测试段并在电机牵引下实现轴向运动,管道内部的拉力传感器和管道尾部的激光位移传感器可对运动过程中测试管段的轴向土阻力和轴向位移进行实时同步测量。



1. 一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其特征在于,包括实验土槽、模型管道、轴向加载复位装置和测量装置,

所述实验土槽内填充有实验土体,模型管道的全部或部分呈水平横置贯穿嵌设在实验土体中;

所述模型管道设置为管头、测试管段、管尾三段结构,通过内部贯穿管轴的加载钢索和复位钢索彼此间接连接;

所述轴向加载复位装置包括驱动电机、加载钢索和复位钢索,加载钢索和复位钢索的一端通过驱动电机牵引,另一端沿着管轴线方向贯穿嵌设在模型管道内,模型管道内部钢索向加载方向引出加载钢索,模型管道内部钢索向加载方向反向引出复位钢索;

所述测量装置包括设置在模型管道内部的拉力传感器,以及设置在模型管道尾部的反光板和激光位移传感器,通过测量装置对运动过程中测试管段的轴向土阻力和轴向位移进行实时同步测量;

所述实验土槽的底部对称架设支撑架,支撑架的内侧壁自下而上设置有固定挡板和可动挡板,所述可动挡板通过恒力吊架悬挂,恒力吊架设置为重锤式或弹簧式结构,恒力吊架固定安装在实验土槽的顶端,在可动挡板解除锁定时,可动挡板随土体固结发生沉降,可动挡板和固定挡板接缝处设置有三角型密封带a和三角型密封带b,三角型密封带a与固定挡板顶面固定,在黏土土体和孔隙水压作用下与可动挡板贴合,完成对接缝的密封;三角型密封带b与可动挡板底部固定,在真空固结过程中受外界大气压作用与固定挡板贴合,完成对接缝的密封;

还设置有预压固结装置,所述预压固结装置包括负压加载装置和反滤层,反滤层铺设在实验土体上方,负压加载装置通过压力管道与反滤层连接,在实验土体上表面形成负压,并将实验土体排水抽离实验土槽。

2. 根据权利要求1所述一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其特征在于,通过调节可动挡板相对于固定挡板的高度位置后进行锁定,挡板之间形成实验土体容纳空腔,实验土体填充于实验土体容纳空腔内;实验土槽一侧设置有透明观察窗,并沿竖向设置标尺。

3. 根据权利要求1所述一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其特征在于,所述反滤层自上而下依次设置有密封布、中砂、多孔钢板、双层细钢丝网、土工布。

4. 根据权利要求1所述一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其特征在于,所述负压加载装置包括负压泵、压力管道,压力管道一端与负压泵连接,压力管道的另一端与反滤层连接,压力管道上设置有压力表和阀门,通过压力表检测压力值,通过阀门控制负压泵启闭。

5. 根据权利要求1所述一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其特征在于,所述模型管道的管头、测试管段和管尾接缝处均设置锥形对接坡口,锥形对接坡口内嵌设有三角型密封圈a,接缝外侧设置楔形环槽,通过楔形环槽安装三角型密封圈a,在土体压力作用下,三角型密封圈a压紧楔形环槽,完成对接缝的密封;在模型管道的隔断处设置有通水孔,通过通水孔将水注入或排出各管段。

6. 根据权利要求1所述一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其

特征在于,所述模型管道的具体安装结构如下:

在可动挡板上预设直径略大于模型管道外径的洞口,模型管道的大部分长度嵌设于实验土体内,模型管道的两端通过洞口延伸出到测试段外,与轴向加载复位装置连接;

所述模型管道和可动挡板之间设置有法兰密封装置,法兰密封装置包括螺栓、法兰盘和三角型密封圈b,法兰盘套设在模型管道的外侧,法兰盘内侧位于可动挡板一侧加工形成锥形空间,在锥形空间内嵌设三角型密封圈b,可动挡板与法兰通孔相对设置有螺纹通孔,通过螺栓将法兰盘固定在可动挡板上。

7.根据权利要求1所述一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其特征在于,还设置有固结监测系统,固结监测系统包括沿深度方向布置的孔压传感器a及其同步采集装置,通过孔压传感器a测量管土界面上剪切带内土体的超静孔压响应;同时,沿着模型管道外侧布置孔压传感器b,通过孔压传感器b测量模型管道轴向运动过程中管土界面上的孔压变化特征。

8.一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验方法,采用权利要求1-7任意一项所述一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其特征在于,具体包括如下步骤:

(1)估算固结度:

通过实验土槽一侧的透明观察窗,以及沿竖向设置的标尺,在黏土固结过程中利用标尺观察床面固结沉降量并间接估算固结度;

(2)预压固结:

预压固结采用荷载可调范围大、荷载均匀的真空预压法,在实验土体上表面形成负压,并将土体排水抽离土槽;

(3)固结监测系统:

通过在土体侧壁沿深度方向布置孔压传感器a及其同步采集装置,测量固结过程中土体内超静孔隙压力的变化,估算当前黏土的固结状态;

(4)轴向加载/复位:

模型管道内部钢索向加载方向引出加载钢索,管道内部钢索向加载方向反向引出复位钢索,加载钢索和复位钢索始终与管轴重合;

(5)轴向土阻力的测量:

在加载过程中,拉力传感器a位于模型管道的管头与测试管段之间,测量测试管段和管尾受到的轴向阻力;拉力传感器b位于测试管段与管尾之间,测量管尾受到的轴向阻力;

(6)轴向位移的测量:

通过激光位移传感器测量其与反射板之间的距离变化,获得模型管道在加载过程中的轴向位移;

(7)管土界面上孔隙水压的测量:

通过沿模型管道外侧布置的孔压传感器b,测量模型管道轴向运动过程中管土界面上的孔压变化特征。

## 一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置和方法

### 技术领域

[0001] 该发明涉及海洋油气工程、海洋土力学、海底管道工程等技术领域,具体涉及一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置和方法。

### 背景技术

[0002] 我国海洋工程实践正从近海浅水迈向远海深水海域。对于深海油气管道而言,流动保障使得其在工作过程中常处于高温高压的超常环境。为保证安全运行,深海管道每年要经历数次停产检修,每次开井-关井的循环过程均会引起管道沿轴向的非均匀升温膨胀和均匀冷却收缩,进而导致管道的轴向走管问题尤为突出。“走管”并非管道结构的极限状态,但却可能导致相连跨接管道端部的过度位移、钢悬链线立管张力的丧失、管道整体屈曲段内的过应力等,甚至引起上述结构的破坏。

[0003] 海床土体提供的轴向土阻力决定了管道内轴向力的沿程分布,进一步影响管道轴向走管的触发条件、轴向走动量等。当海床提供轴向土阻力较小时,轴向应力容易得到释放,管道会更容易发生走管现象。可见,轴向管土相互作用机理和极限土阻力对于预测管道轴向走管至关重要。深海海床土体类型以软黏土为主,软黏土地基承载力的不足常导致管道发生沉陷而处于埋设状态。由于深海软黏土海床的实验室制备较为复杂,软黏土中管道与土体相互作用的模型实验较为缺乏。

[0004] 与砂土不同,黏土由于颗粒细小,对埋入实验设备的密封性较高;且黏土床面在制备过程中往往因排水固结过程而发生明显的压缩和沉降。目前既有的模拟管道轴向管土相互作用的实验设备中,有适用于非埋管道在砂质床面的轴向加载设备(专利号CN 201410145543),其密封性不适合针对黏土床面上的实验,且加载手段也无法应用于全埋管道的测试。而对于全埋管道,既有实验设备中管道模型的竖向位移往往受到约束,在土体发生固结沉降时会对周边(尤其是管道正下方)土体的固结过程造成干扰,难以真实模拟管土界面附近土体的力学特征。此外,有限的实验空间也会使土槽两端的土体产生三维效应,并间接对轴向土阻力的发挥构成干扰。上述设计缺陷造成了模拟埋管轴向管土相互作用过程、测量轴向土阻力工作的误差。因此,如何研发一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置及方法,对于预测管道轴向走管,具有重要的现实意义。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的问题,本发明的目的在于提供本发明提供了一种水平黏性土床面制备方法以及模拟软黏土海床中浅层全埋或半埋管道与海床土体之间轴向土相互作用的实验装置和方法。

[0006] 本发明采取的技术方案为:

[0007] 模拟海底管道与海床土体轴向土相互作用的装置,包括实验土槽、模型管道、轴向加载复位装置和测量装置,

[0008] 所述实验土槽内填充有实验土体,所述模型管道呈水平横置、贯穿并全部或部分嵌设在实验土体中;

[0009] 所述轴向加载复位装置包括驱动电机、加载钢索和复位钢索,加载钢索和复位钢索的一端通过驱动电机牵引,另一端沿着管轴线方向贯穿嵌设在模型管道内,模型管道内部钢索向加载方向引出加载钢索,模型管道内部钢索向加载方向反向引出复位钢索;

[0010] 所述测量装置包括设置在模型管道内部的拉力传感器,以及设置在模型管道尾部的反光板和激光位移传感器,通过测量装置对运动过程中测试管段的轴向土阻力和轴向位移进行实时同步测量。

[0011] 进一步的,所述实验土槽的底部对称架设支撑架,支撑架的内侧壁自下而上设置有固定挡板和可动挡板,通过调节可动挡板相对于固定挡板的高度位置后进行锁定,挡板之间形成实验土体容纳空腔,实验土体填充于实验土体容纳空腔内;实验土槽一侧设置有透明观察窗,并沿竖向设置标尺。

[0012] 在黏土固结过程中可利用标尺观察床面固结沉降量并间接估算固结度。

[0013] 更进一步的,所述可动挡板通过恒力吊架悬挂,恒力吊架设置为重锤式或弹簧式结构,恒力吊架固定安装在实验土槽的顶端,在可动挡板解除锁定时,可动挡板随土体固结发生沉降,可动挡板和固定挡板接缝处设置有三角型密封带a和三角型密封带b,三角型密封带a与固定挡板顶面固定,在黏土土体和孔隙水压作用下与可动挡板贴合,完成对接缝的密封,以防止黏土土体通过接缝向外泄漏;三角型密封带b与可动挡板底部固定,在真空固结过程中受外界大气压作用与固定挡板贴合,完成对接缝的密封,以防止外界气体通过接缝进入土体。

[0014] 进一步的,还设置有预压固结装置,所述预压固结装置包括负压加载装置和反滤层,反滤层铺设在实验土体上方,负压加载装置通过压力管道与反滤层连接,在实验土体上表面形成负压,并将实验土体排水抽离实验土槽。

[0015] 更进一步的,所述反滤层自上而下依次设置有密封布、中砂、多孔钢板、双层细钢丝网、土工布。

[0016] 更进一步的,所述负压加载装置包括负压泵、压力管道,压力管道一端与负压泵连接,压力管道的另一端与反滤层连接,压力管道上设置有压力表和阀门,通过压力表检测压力值,通过阀门控制负压泵启闭。

[0017] 其主要原理为利用负压对泥浆状黏土进行预压,加速其固结过程,并通过对超静孔压和固结沉降的监测掌握并控制固结程度,以达到实验要求。

[0018] 进一步的,所述模型管道设置为管头、测试管段、管尾三段结构,通过内部贯穿管轴的加载钢索和复位钢索彼此间接连接。

[0019] 更进一步的,所述模型管道的管头、测试管段和管尾接缝处均设置锥形对接坡口,锥形对接坡口内嵌设有三角型密封圈a,接缝外侧设置楔形环槽,通过楔形环槽安装三角型密封圈a,在土体压力作用下,三角型密封圈a压紧楔形环槽,完成对接缝的密封;在模型管道的隔断处设置有通水孔,通过通水孔将水注入或排出各管段,密封设计可防止管段间沿侧向发生错动。当有局部渗水时,设置在管道隔断的通水孔可将积水排出模型管道,防止渗水导致管道重量发生变化。

[0020] 更进一步的,所述模型管道的具体安装结构如下:

[0021] 在可动挡板上预设直径略大于模型管道外径的洞口,模型管道的大部分长度嵌设于实验土体内,模型管道的两端通过洞口延伸出到测试段外,与轴向加载复位装置连接;

[0022] 所述模型管道和可动挡板之间设置有法兰密封装置,法兰密封装置包括螺栓、法兰盘和三角型密封圈b,法兰盘套设在模型管道的外侧,法兰盘内侧位于可动挡板一侧加工形成锥形空间,在锥形空间内嵌设三角型密封圈b,可动挡板与法兰通孔相对设置有螺纹通孔,通过螺栓将法兰盘固定在可动挡板上。

[0023] 旋紧螺栓控制法兰盘和可动挡板贴合,三角型密封圈b向模型管道一侧挤压,完成对法兰盘、模型管道和可动挡板之间空隙的密封。法兰盘通过三角型密封圈b密封,可防止加载过程中测试段内土体通过孔洞向外泄露。

[0024] 进一步的,还设置有固结监测系统,固结监测系统包括沿深度方向布置的孔压传感器a及其同步采集装置,通过孔压传感器a测量管土界面上剪切带内土体的超静孔压响应;同时,沿着模型管道外侧布置孔压传感器b,通过孔压传感器b测量模型管道轴向运动过程中管土界面上的孔压变化特征。

[0025] 测量固结过程中实验土体内超静孔隙压力的变化,以估算当前黏土的固结状态。

[0026] 模拟海底管道与海床土体轴向土相互作用的方法,采用所述一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其特征不在于,具体包括如下步骤:

[0027] (1) 估算固结度:

[0028] 通过实验土槽一侧的透明观察窗,以及沿竖向设置的标尺,在黏土固结过程中利用标尺观察床面固结沉降量并间接估算固结度;

[0029] (2) 预压固结:

[0030] 预压固结采用荷载可调范围大、荷载均匀的真空预压法,在实验土体上表面形成负压,并将土体排水抽离土槽;

[0031] (3) 固结监测系统:

[0032] 通过在土体侧壁沿深度方向布置孔压传感器a及其同步采集装置,测量固结过程中土体内超静孔隙压力的变化,估算当前黏土的固结状态。

[0033] (4) 轴向加载/复位:

[0034] 模型管道内部钢索向加载方向引出加载钢索,管道内部钢索向加载方向反向引出复位钢索,加载钢索和复位钢索始终与管轴重合;

[0035] (5) 轴向土阻力的测量:

[0036] 在加载过程中,拉力传感器a位于模型管道的管头与测试管段之间,测量测试管段和管尾受到的轴向阻力;拉力传感器b位于测试管段与管尾之间,测量管尾受到的轴向阻力。

[0037] (6) 轴向位移的测量:

[0038] 通过激光位移传感器测量其与反射板之间的距离变化,获得模型管道在加载过程中的轴向位移;

[0039] (7) 管土界面上孔隙水压的测量:

[0040] 通过沿模型管道外侧布置的孔压传感器b,测量模型管道轴向运动过程中管土界面上的孔压变化特征。

[0041] 本发明的有益效果为:

[0042] (1) 在实验室模拟现场海洋地质条件,制备土样特性均匀,与原状软黏土性质相似的软黏土海床。

[0043] (2) 在海床制备之前便将各模型管道便已就位,消除传统方法管道安装掩埋过程中对土体的二次扰动。

[0044] (3) 允许管道在黏土固结过程中随土体压缩沿竖向运动,降低管道几何形状对周边土体固结过程的干扰。

[0045] (4) 管道模型两端位于实验土体以外,消除端部阻力对测量结果的干扰。

[0046] (5) 拉力传感器位于管道模型内部,消除边界土体压缩或张拉对测量结果的干扰。

[0047] (6) 设置孔压传感器a测量测量固结过程中土体内超静孔隙压力的变化,估算当前黏土的固结状态;设置孔压传感器b测量管土界面上剪切带内土体的超静孔压响应。

## 附图说明

[0048] 图1为本发明中黏性土床面制备装置示意图;

[0049] 图2为本发明中软黏土海床中管道轴向管土相互作用模拟装置示意图;

[0050] 图3为本发明中软黏土海床中部分嵌入管道的轴向管土相互作用模拟装置示意图;

[0051] 图4为本发明中反滤层结构示意图;

[0052] 图5为本发明中法兰密封装置半剖视图;

[0053] 图6为本发明中可动挡板与固定挡板间的密封示意图;

[0054] 图7为本发明中管段间的密封设计-半剖视图;

[0055] 其中,1、实验土槽;2、支撑架;3、可动挡板;4、观察窗;5、反滤层;6、压力表;7、阀门;8、负压泵;9、孔压传感器a及其同步采集装置;10、实验土体;11、固定挡板;12、密封布;13、中砂;14、多孔钢板;15、双层细钢丝网;16、土工布;17、驱动电机;18、加载钢索;19、加载滑轮a;20、加载滑轮b;21、恒力吊架;22、复位滑轮b;23、激光位移传感器;24、复位滑轮a;25、复位钢索;26、法兰密封圈;27、管头;28、拉力传感器a;29、测试管段;30、孔压传感器b;31、拉力传感器b;32、管尾;33、反射板;34、数据采集系统;35、三角型密封带a;36、三角型密封带b;37、三角型密封圈a;38、法兰盘;39、法兰通孔;40、螺纹通孔;41、三角型密封圈b;42、通水孔;43、钢索固定器。

## 具体实施方式

[0056] 下面结合附图进一步说明本发明中一种水平黏性土床面制备方法以及模拟软黏土海床中浅埋或半埋管道与海床土体之间轴向土相互作用的实验装置及方法。

[0057] 实施例1

[0058] 如图1所示,一种水平黏性土床面制备装置,黏性土水平床面制备装置主要包括实验土槽1、反滤层5、负压加载装置以及固结相关参数的测量装置。实验土槽1的底部对称架设支撑架2,支撑架2的内侧壁自下而上设置有固定挡板11和可动挡板3,通过调节可动挡板3相对于固定挡板11的高度位置后进行锁定,挡板之间形成实验土体10容纳空腔,实验土体10填充于实验土体10容纳空腔内;实验土槽1一侧设置有透明观察窗4,并沿竖向设置标尺,在黏土固结过程中可利用标尺观察床面固结沉降量并间接估算固结度。

[0059] 负压加载装置包括负压泵8、压力管道,压力管道一端与负压泵8连接,压力管道的另一端与反滤层5连接,压力管道上设置有压力表6和阀门7,通过压力表6检测压力值,通过阀门7控制负压泵8启闭。

[0060] 还设置有孔压传感器a及其同步采集装置9,所述孔压传感器a沿实验土体10的深度方向布置设置,通过孔压传感器a测量管土界面上剪切带内土体的超静孔压响应,进一步的,通过孔压传感器a及其同步采集装置9对信息进行采集处理。

[0061] 其主要原理为利用负压对泥浆状黏土进行预压,加速其固结过程,并通过对超静孔压和固结沉降的监测掌握并控制固结程度,以达到实验要求。

[0062] 实施例2

[0063] 在实施例1的基础上,不同于实施例1,如图1和图2所示,还设置有预压固结装置,预压固结装置中预压固结采用荷载可调范围大、荷载均匀的真空预压法,所述预压固结装置包括负压加载装置和反滤层5,反滤层5铺设在实验土体10上方,负压加载装置通过压力管道与反滤层5连接,在实验土体10上表面形成负压,并将实验土体10排水抽离实验土槽1。

[0064] 反滤层5自上而下依次设置有密封布12、中砂13、多孔钢板14、双层细钢丝网15、土工布16。

[0065] 其中,土工布16位于实验土体10的黏土上表面,允许孔隙水向上排出,并阻止黏土颗粒通过;双层细钢丝网15位于土工布16上层,防止负压作用下土工布16穿入多孔钢板14;多孔钢板14位于双层细钢丝网15上层,增加反滤层5刚度,减少黏土固结过程不均匀性造成的床面几何形态的改变,必要时可在上表面加装肋板;中砂13层位于多孔钢板14上层,可使负压沿水平面均匀分布;密封布12位于中砂13层上方,以隔绝内外压力,保持反滤层5内的负压。

[0066] 实施例3

[0067] 在实施例1和实施例2的基础上,不同于实施例1和实施例2,如图3所示,一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,包括实验土槽1、模型管道、轴向加载复位装置、测量装置以及数据采集系统34。

[0068] 所述实验土槽1内填充有实验土体10,所述模型管道的全部呈水平横置贯穿嵌设在实验土体10中;

[0069] 所述轴向加载复位装置包括驱动电机17、加载钢索18和复位钢索25,加载钢索18和复位钢索25的一端通过驱动电机17牵引,另一端沿着管轴线方向贯穿嵌设在模型管道内,模型管道内部钢索向加载方向引出加载钢索18,模型管道内部钢索向加载方向反向引出复位钢索25;

[0070] 所述测量装置包括设置在模型管道内部的拉力传感器,以及设置在模型管道尾部的反光板和激光位移传感器23,通过测量装置对运动过程中测试管段29的轴向土阻力和轴向位移进行实时同步测量。

[0071] 还设置有数据采集系统34,通过数据采集系统34的电脑采集运动过程中测试管段29的轴向土阻力和轴向位移的同步测量信息。

[0072] 轴向位移的测量:通过激光位移传感器23测量其与反射板33之间的距离变化,从而获得管道在加载过程中的轴向位移。

[0073] 更为具体的是,所述模型管道全部嵌设在实验土体10中,管道模型两端位于实验



土体10以外,所述轴向加载复位装置包括:驱动电机17、加载滑轮a19、加载滑轮b20、复位滑轮a24、复位滑轮b22、加载钢索18、复位钢索25,模型管道内部钢索向加载方向引出加载钢索18,加载钢索18通过加载滑轮a19、加载滑轮b20与驱动电机17相连,通过加载滑轮a19控制加载钢索18始终与管轴重合;模型管道内部钢索向加载方向反向引出复位钢索25,复位钢索25通过复位滑轮a24、复位滑轮b22与驱动电机17相连,通过复位滑轮a24控制复位钢索25始终与管轴重合。

[0074] 更为具体的是,所述测量装置包括拉力传感器a28和拉力传感器b31,拉力传感器a28、拉力传感器b31分别串联在内部钢索上,即在模型管道的隔断处设置有钢索固定器43,通过钢索固定器43固定钢索,在加载过程中,拉力传感器a28位于模型管道的管头27与测试管段29之间,通过拉力传感器a28测量测试管段29和管尾32受到的轴向阻力;拉力传感器b31位于模型管道的测试管段29与管尾32之间,测量管尾32受到的轴向阻力。

[0075] 主要工作原理为在实验土槽1中隔离出一段盛放土体的测试段,模型管道两端穿过测试段并在电机牵引下实现轴向运动,管道内部的拉力传感器和管道尾部的激光位移传感器23可对运动过程中测试管段29的轴向土阻力和轴向位移进行实时同步测量。

[0076] 实施例4

[0077] 在实施例1和实施例2的基础上,不同于实施例1和实施例2,如图4所示,一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,包括实验土槽1、模型管道、轴向加载复位装置、测量装置以及数据采集系统34。

[0078] 所述实验土槽1内填充有实验土体10,所述模型管道的部分呈水平横置贯穿嵌设在实验土体10中;

[0079] 更为具体的是,所述模型管道部分嵌设在实验土体10中,管道模型两端位于实验土体10以内或以外,所述轴向加载复位装置包括:驱动电机17、加载滑轮a19、加载滑轮b20、加载钢索18,模型管道内部钢索向加载方向引出加载钢索18,加载钢索18通过加载滑轮a19、加载滑轮b20与驱动电机17相连,通过加载滑轮a19控制加载钢索18始终与管轴重合;

[0080] 更为具体的是,所述测量装置包括拉力传感器a28和拉力传感器b31,拉力传感器a28、拉力传感器b31分别串联在内部钢索上,即在模型管道的隔断处设置有钢索固定器43,通过钢索固定器43固定钢索,在加载过程中,拉力传感器a28位于模型管道的管头27与测试管段29之间,通过拉力传感器a28测量测试管段29和管尾32受到的轴向阻力;拉力传感器b31位于模型管道的测试管段29与管尾32之间,测量管尾32受到的轴向阻力。

[0081] 实施例5

[0082] 在实施例3和实施例4的基础上,不同于实施例3和实施例4,如图3和图4所示,还设置有固结监测系统,固结监测系统包括孔压传感器a及其同步采集装置9,测量固结过程中实验土体10内超静孔隙压力的变化,以估算当前黏土的固结状态。

[0083] 另外,沿着模型管道外侧布置孔压传感器b30,通过孔压传感器b30测量模型管道轴向运动过程中管土界面上的孔压变化特征。

[0084] 实施例6

[0085] 在实施例3和实施例4的基础上,不同于实施例3和实施例4,如图3和图5所示,管道竖向位移设计:

[0086] 为防止管道埋入过程对土体的扰动,模型管道在黏土土体制备固结过程中就已经

存在。因此应允许管道在土体固结压缩过程中随附近土体一同发生沉降位移,从而避免管道对其正下方土体固结过程的妨碍。相关设计说明如下:分别位于模型管道首尾的可动挡板3通过竖向导轨-滑块机构与支撑架2连接,可沿竖向自由滑动。根据实验管道直径,当挡板宽度较大时,可沿横向设置肋板提高其抗弯刚度。

[0087] 可动挡板3通过恒力吊架21悬挂,恒力吊架21设置为重锤式或弹簧式结构,提供相当于可动挡板3自重的支持力。

[0088] 恒力吊架21固定安装在实验土槽1的顶端,可动挡板3和固定挡板11接缝处设置有三角型密封带a35和三角型密封带b36,三角型密封带a35与固定挡板11顶面固定,在黏土土体和孔隙水压作用下与可动挡板3贴合,完成对接缝的密封,以防止黏土土体通过接缝向外泄漏;三角型密封带b36与可动挡板3底部固定,在真空固结过程中受外界大气压作用与固定挡板11贴合,完成对接缝的密封,以防止外界气体通过接缝进入土体。

[0089] 实施例7

[0090] 在实施例1至实施例6的基础上,不同于在实施例1至实施例6,轴向土阻力的测量:

[0091] 在轴向加载过程中,模型管道将在管土界面上对附近土体施加沿加载方向的剪切力。该剪切力在土体测试段两端可能分别造成沿管轴方向受压和受拉的荷载,产生的边界效应可能对土体测试段边界附近的轴向土阻力造成干扰。此外,来自管道与可动挡板3密封处的阻力也会对测量结果造成系统误差。

[0092] 为削弱上述干扰因素对轴向土阻力测量结果的影响,如图3、图4所示,模型管道采用管头27、测试管段29和管尾32三段式结构设计,三段模型管道分别与贯通模型管道轴线的内部钢索固定,即通过内部贯穿管轴的加载钢索18和复位钢索25彼此间接连接。

[0093] 在模型管道的隔断处设置有钢索固定器43,通过钢索固定器43固定钢索。

[0094] 拉力传感器a28、拉力传感器b31分别串联在内部钢索上。在加载过程中,拉力传感器a28位于管头27与测试管段29之间,测量测试管段29和管尾32受到的轴向阻力;拉力传感器b31位于测试管段29与管尾32之间,测量管尾32受到的轴向阻力。

[0095] 如图6所示,为防止实验土体10在外压下进入模型管道内部对实验过程造成干扰,对管头27、测试管段29和管尾32接缝处进行密封设计。模型管道的管头27、测试管段29和管尾32接缝处均设置锥形对接坡口,可防止管段间沿侧向发生错动。锥形对接坡口内嵌设有三角型密封圈a37,接缝外侧设置楔形环槽,通过楔形环槽安装三角型密封圈a37,在土体压力作用下,三角型密封圈a37压紧楔形环槽,完成对接缝的密封;在模型管道的隔断处设置有通水孔42,当有局部渗水时,设置在管道隔断的通水孔42可将积水排出模型管道,防止渗水导致管道重量发生变化。

[0096] 实施例8

[0097] 在实施例1至实施例7的基础上,不同于在实施例1至实施例7,管道布置与端部密封:

[0098] 如图3所示,所述模型管道的具体安装结构如下:

[0099] 在可动挡板3上预设直径略大于模型管道外径的洞口,模型管道的大部分长度嵌设于实验土体10内,模型管道的两端通过洞口延伸出到测试段外,与轴向加载复位装置连接;

[0100] 如图7所示,为防止加载过程中测试段内土体通过孔洞向外泄漏,在模型管道和可

动挡板3之间设置有法兰密封装置,法兰密封装置包括螺栓、法兰盘38和三角型密封圈a37,法兰盘38套设在模型管道的外侧,法兰盘38内侧位于可动挡板3一侧加工形成锥形空间,在锥形空间内嵌设三角型密封圈a37,可动挡板3与法兰通孔39相对设置有螺纹通孔40,通过螺栓将法兰盘38固定在可动挡板3上。

[0101] 旋紧螺栓控制法兰盘38和可动挡板3贴合,三角型密封圈b41向模型管道一侧挤压,完成对法兰盘38、模型管道和可动挡板3之间空隙的密封。法兰盘38通过三角型密封圈b41密封,可防止加载过程中测试段内土体通过孔洞向外泄露。

[0102] 实施例9

[0103] 在实施例1至实施例8的基础上,不同于在实施例1至实施例8,水平黏性土床面制备和轴向管土相互作用模拟装置安装操作方法,具体包括如下步骤:

[0104] (1) 在模型实验土槽1中安装固定挡板11、支撑架2、可动挡板3和恒力吊架21;

[0105] (2) 根据管道埋深要求,调整可动挡板3的圆孔高度,然后锁死恒力吊架21;

[0106] (3) 将模型管道安装到可动挡板3上,组装模型管道、内部钢索和拉力传感器,并完成管段接缝处的密封;

[0107] (4) 在模型管道和可动挡板3接缝处安装法兰密封圈26;

[0108] (5) 将制备好的泥浆状饱和黏土注入土槽中,布置反滤层5,开启负压开始真空固结;

[0109] (6) 等待饱和黏土具有一定强度和承载能力后,将恒力吊架21解锁,使模型管道在后续固结过程中随实验土体10一同沉降;

[0110] (7) 通过土体上表面沉降观测以及土体内孔隙水压力测量结果判断土体固结完成后,在模型管道内部安装配重,根据管道高度安装加载和复位滑轮组、钢索;

[0111] (8) 将加载钢索18连接到驱动电机17,启动孔压传感器a及其同步采集装置9,启动驱动电机17,使模型管道沿轴向发生一定位移后停止驱动电机17和孔压传感器a及其同步采集装置9,完成一次加载实验;

[0112] (9) 将加载钢索18与驱动电机17断开,反转驱动电机17,将复位钢索25连接到驱动电机17,启动驱动电机17,控制管道沿轴向恢复到初始位置;

[0113] (10) 重复第(8)和第(9)步,完成多次轴向加载实验。

[0114] 一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验方法,采用所述一种模拟海底管道在软黏土海床浅层轴向走管的实验装置,其特征在于,具体包括如下步骤:

[0115] (1) 估算固结度:

[0116] 通过实验土槽1一侧的透明观察窗4,以及沿竖向设置的标尺,在黏土固结过程中利用标尺观察床面固结沉降量并间接估算固结度;

[0117] (2) 预压固结:

[0118] 预压固结采用荷载可调范围大、荷载均匀的真空预压法,在实验土体上表面形成负压,并将土体排水抽离土槽;

[0119] (3) 固结监测系统:

[0120] 通过在土体侧壁沿深度方向布置孔压传感器a及其同步采集装置9,通过孔压传感器a测量固结过程中土体内超静孔隙压力的变化,估算当前黏土的固结状态。

[0121] (4) 轴向加载/复位:

[0122] 模型管道内部钢索向加载方向引出加载钢索18,管道内部钢索向加载方向反向引出复位钢索25,加载钢索18和复位钢索25始终与管轴重合;

[0123] (5) 轴向土阻力的测量:

[0124] 在加载过程中,拉力传感器a28位于模型管道的管头27与测试管段29之间,测量测试管段29和管尾32受到的轴向阻力;拉力传感器b31位于测试管段29与管尾32之间,测量管尾32受到的轴向阻力。

[0125] (6) 轴向位移的测量:

[0126] 通过激光位移传感器23测量其与反射板33之间的距离变化,获得模型管道在加载过程中的轴向位移。

[0127] (7) 管土界面上孔隙水压的测量:

[0128] 通过沿模型管道外侧布置的孔压传感器b30,以测量模型管道轴向运动过程中管土界面上的孔压变化特征。

[0129] 以上所述并非是对本发明的限制,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明实质范围的前提下,还可以做出若干变化、改型、添加或替换,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

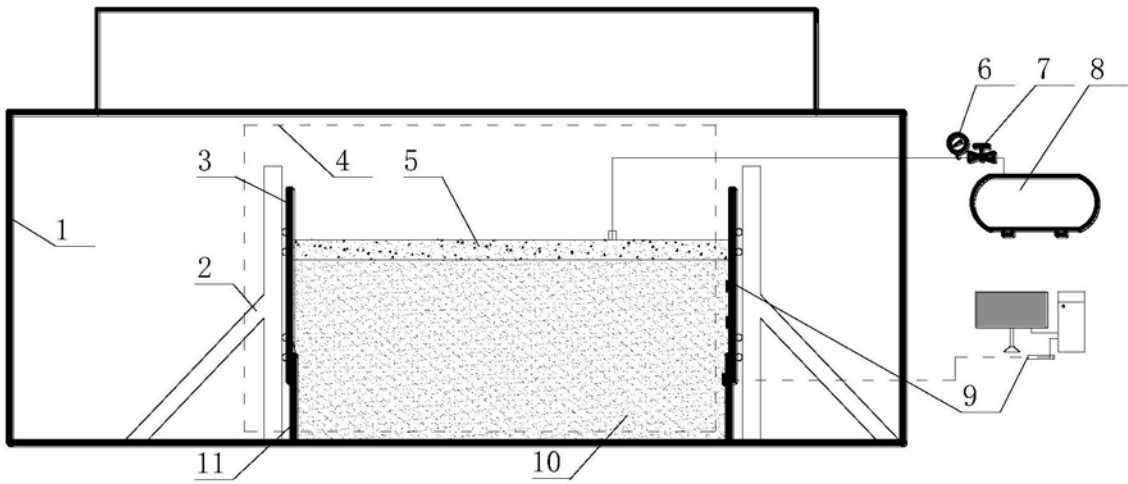


图1

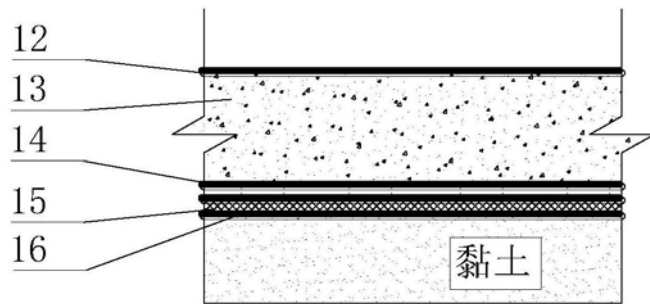


图2

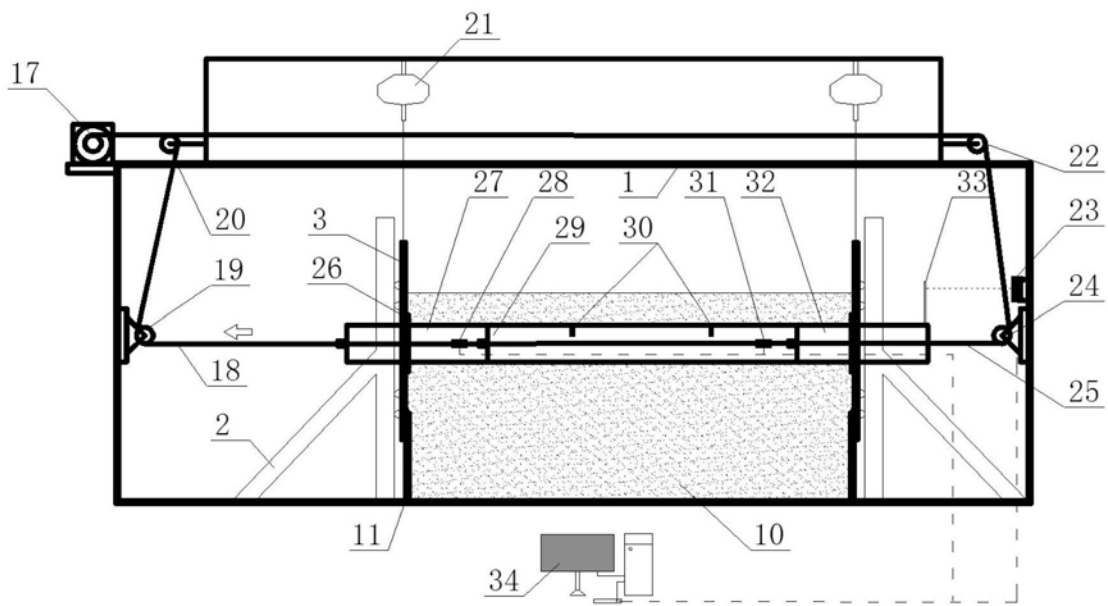


图3

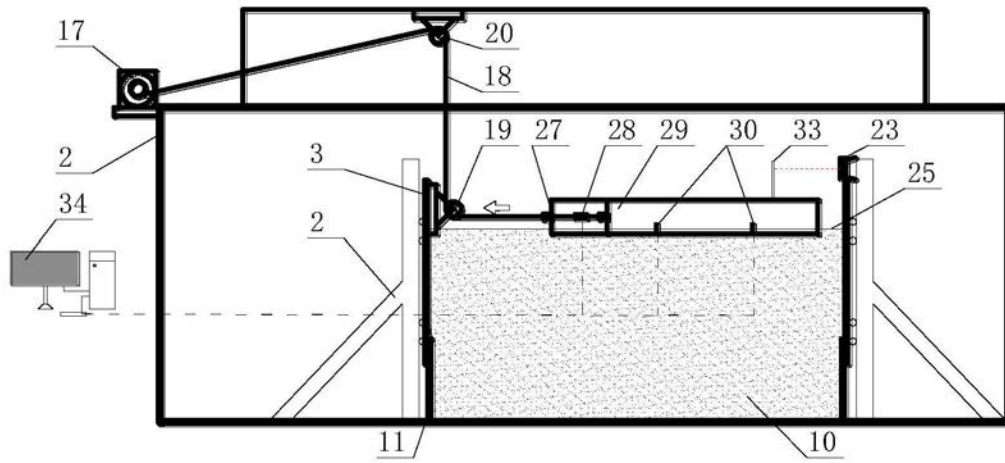


图4

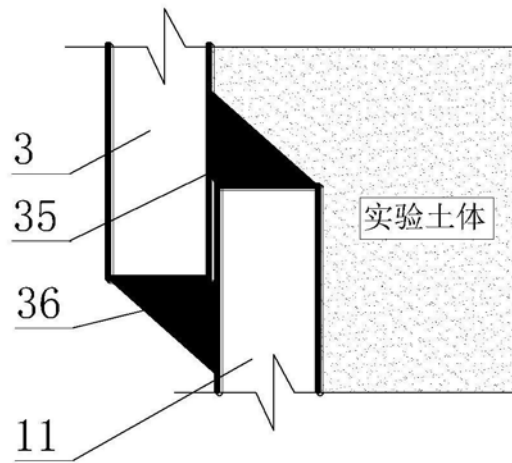


图5

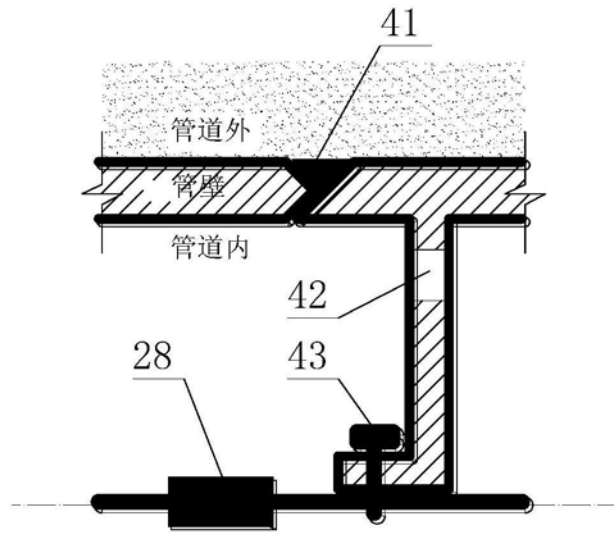


图6

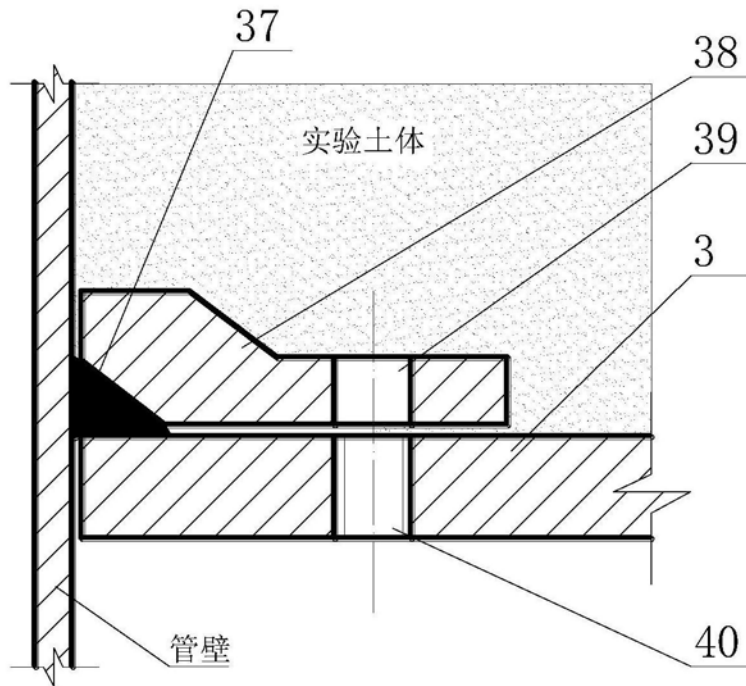


图7