



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118345886 A

(43) 申请公布日 2024. 07. 16

(21) 申请号 202410572346.2

G01N 1/28 (2006.01)

(22) 申请日 2024.05.10

(71) 申请人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工
路2号(72) 发明人 刘瑜 冯凯旋 宋永臣 葛阳
王磊 沈实 李清平(74) 专利代理机构 大连星河彩舟专利代理事务
所(普通合伙) 21263

专利代理师 孙晓婷

(51) Int. Cl.

E02D 33/00 (2006.01)

E02D 1/00 (2006.01)

E02D 1/02 (2006.01)

G01N 1/08 (2006.01)

权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于室内静力触探试验的深海沉积物
力学特性评价方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,属于岩土工程勘察领域。本发明基于室内静力触探装置获得最佳土样尺寸、探头直径、最佳贯入深度和最佳贯入速率,并在此基础上开展室内静力触探试验和三轴试验,将室内静力触探试验数据与三轴试验数据结合,得到天然气水合物储层及其上覆土层的多项力学特性参数,建立一套深海沉积物力学特性评价方法。该方法具有快速便捷、采集数据量大、干扰小及费用低廉等特点以及可重复、试样均匀性、应用已知/受控边界条件以及应用特定应力历史的能力。通过室内静力触探校核试验,建立深海各地区沉积物的物理力学特性与贯入数据之间的对应经验关系,反演出土体强度、渗流和变形等特性。



1.一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,该方法基于一种室内静力触探装置实现,该装置包括轴向加载系统、基座、试样移动台、标定罐、温压控制模块和程序控制系统;

所述试样移动台连接在基座侧面,试样移动台与基座表面在同一水平面上,且二者上表面安装有移动导轨;

所述标定罐安装在移动导轨上,可以沿着移动导轨移动;

所述轴向加载系统包括上加载组件、荷载架、下加载组件和探头;其中,上加载组件通过荷载架安装在基座上方,探头安装在上加载组件上、且位于标定罐上方,通过上加载组件驱动探头贯入标定罐内的土样中,完成贯入土体试验;下加载组件安装在基座下部,通过驱动下加载组件调整标定罐内土样的位置;

所述温压控制模块为标定罐内试验土样提供温度压力环境;

所述程序控制系统与上加载组件、下加载组件、温压控制模块及探头连接,实现对试验过程的实时监测和控制;

所述的深海沉积物力学特性评价方法包括以下步骤:

S1:对不同直径尺寸的探头进行标定;

S2:在标定罐中制备不同尺寸的土样,包括多种直径且每种直径下对应多种高度的土样;将探头安装在上加载组件上并连接温压控制模块的管路;

S3:确定最佳贯入速率;

选取S1中直径尺寸最小的探头,以及S2中制备的最大直径且对应最大高度的土样,在同一工况下做不同贯入速率的静力触探试验,探头贯入深度为土样高度的三分之二,得到锥尖阻力及侧壁摩阻;将得到的锥尖阻力及侧壁摩阻与已知土样的锥尖阻力及侧壁摩阻结果对比,结果一致的静力触探试验所对应的贯入速率则为最佳贯入速率;

S4:确定最佳直径比;

所述最佳直径比为土样直径与探头直径的比值,确定最佳直径比是模拟原位真实土体无限大边界环境的前提条件,具体方法如下:

在S3确定的最佳贯入速率和同工况下,将S2制得的最大高度下不同直径的试验土样采用S1中标定的不同直径的探头依次进行静力触探试验;将不同直径比从低到高排列,对比试验结果,选取不受边界效应影响的最小直径比作为最佳直径比;

S5:确定最佳土样高度;

在采用最佳直径比所对应的土样直径和对应的探头以及最佳贯入速率的前提下,采用不同高度的试验土样在同一个工况下开展静力触探试验,试验过程中探头贯入土样高度的三分之二,观察锥尖阻力和侧壁摩阻数据是否能趋于稳定,且稳定的距离大于30cm;选取满足要求的最小土样高度即为最佳土样高度,确定最佳土样高度后最佳土样尺寸也就确定了;

S6:确定最佳贯入深度;

在采用最佳土样尺寸、最佳直径比对应的探头和最佳贯入速率的前提下,在同一工况下进行静力触探试验;随着探头贯入深度的增加,锥尖阻力会受底部刚性边界的影响,锥尖阻力将不再趋于稳定会产生一个变化趋势,锥尖阻力数据开始变化趋势的拐点所对应的贯入深度即为最佳贯入深度;

S7:在最佳土样尺寸、探头直径、最佳贯入深度、最佳贯入速率的基础上,对深海沉积物样本开展不同工况条件下的室内静力触探测试,得到孔隙压力、锥尖阻力和侧壁摩阻数据;

S8:更换装置的试样帽,相同工况下对深海沉积物土样开展三轴试验,获取样本的各项力学特性参数以及应力应变曲线、强度特性、刚度特性和强度准则,所述力学特性参数包括轴向应变、偏应力、孔隙水压和有效平均主应力;

S9:建立基于静力触探的深海沉积物力学特性评价公式;

将室内静力触探试验数据与三轴试验数据结合,建立静力触探试验数据与三轴试验数据之间的关系。

2.根据权利要求1所述的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,所述标定罐包括标定罐底座、标定罐壳体、试样底座、土样、试样帽和橡皮膜;其中,标定罐底座为顶部设有凹槽的圆柱结构,其安装在移动导轨上;标定罐壳体为底部开口的圆柱壳体结构,其与标定罐底座连接,使二者之间形成一个空腔;土样通过橡皮模包裹,同时通过橡皮模将土样上下两端分别与试样帽及试样底座连接为一个整体,一同置于所述空腔中;所述标定罐壳体顶部中心处设有导向孔,土样上移过程中,试样帽的凸起嵌入导向孔中,保证土样准确无误地升起;所述试样帽中心开有圆柱形孔,探头通过圆柱形孔贯入土样;所述标定罐底座底部中心设有通孔,便于下加载组件作用在试样底座上。

3.根据权利要求2所述的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,所述下加载组件包括下伺服电机、下减速机、下同步带轮、下同步带、下滚珠丝杠、下加载横梁、下横梁和下加载杆;其中,下减速机安装在下横梁上,且下减速机与下伺服电机连接;下横梁底部安装有三个下同步带轮,下同步带轮之间安装下同步带;其中一下同步带轮与下减速机连接,另两个下同步带轮分别与位于下横梁上方的两个下滚珠丝杠一端连接;下滚珠丝杠另一端通过轴承安装在基座上;下加载横梁通过螺纹连接在两下滚珠丝杠上,下加载横梁中心处设有下加载杆;下减速机在下伺服电机的驱动下控制下同步带轮转动,并通过下同步带传动驱动下滚珠丝杠转动,进而带动下加载横梁上下移动,使下加载杆推动土样位于合适的位置;

所述上加载组件包括上同步带轮、上同步带、上减速机、上伺服电机、上滚珠丝杠、上横梁和上加载横梁;其中,上横梁通过减速机安装板安装上减速机;两上同步带轮分别对称安装在上横梁两端,另一上同步带轮安装在减速机安装板上,并与上减速机连接,所述上减速机同时与上伺服电机连接;所述上同步带安装在三个上同步带轮之间;两上滚珠丝杠对称设于上横梁下方,一端分别与上横梁上的两上同步带轮连接,另一端通过轴承安装在荷载架上;上加载横梁通过螺纹连接在两上滚珠丝杠上,上加载横梁中心处安装探头;上减速机在上伺服电机的驱动下控制上同步带轮转动,并通过上同步带传动驱动上滚珠丝杠转动,进而带动上加载横梁上下移动,将探头贯入土样中。

4.根据权利要求3所述的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,所述荷载架由支撑臂和轴环组成;其中,两支撑臂分别对称固定在基座上表面两端,轴环两端分别与上横梁及支撑臂连接,确保试验过程中各部件的相对位置保持稳定。

5.根据权利要求3或4所述的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,所述标定罐壳体上部带有吊耳,与上加载横梁上连接的吊栓及吊母配合

连接,通过上加载组件将标定罐壳体提升,方便土样的安装和拆卸;所述标定罐壳体顶部开有注水孔,通过注水孔向被包裹橡皮膜的土样周围注水,节省围压泵的可用体积。

6.根据权利要求5所述的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,所述标定罐底座上设有预留接口;所述试样底座和试样帽侧边均开有进水孔和排水孔,进水孔和排水孔通过管路与标定罐底座上的预留接口连接。

7.根据权利要求6所述的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,所述温压控制模块由一台循环水泵和三台分别控制孔压、反压和围压的压力泵组成;其中,循环水泵接于标定罐壳体外部,或者接于标定罐底座的预留接口处;压力泵通过管路与标定罐底座的预留接口连接。

8.根据权利要求7所述的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,所述S2中制作土样的过程如下:通过上加载组件将标定罐壳体提升起来,将标定罐底座沿着移动导轨推至试样移动台处开始制作土样;制作土样时,先将试样底座安装到标定罐底座中,再将模具固定在试样底座中,土样在套有匹配尺寸橡皮模的模具中通过击实法制作而成;土样制作完后,将试样帽放到土样上,将标定罐底座推至基座上,再将标定罐壳体降到与标定罐底座连接的位置处进行连接。

9.根据权利要求8所述的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,所述S8中,三轴试验所用的试样帽中心没有开圆柱形孔;三轴试验只需要用下加载组件驱动下加载杆推动试样底座向上运动,对土样进行压缩剪切,其余操作步骤与静力触探试验一致。

10.根据权利要求9所述的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,其特征在于,所述S1中,分别将不同直径尺寸的探头安装于标定架上,分别对探头的侧壁和锥尖施加一组已知大小的力,将已知大小的力与未标定前测得的锥尖阻力及侧壁摩阻拟合成关系式,得到一个系数和偏差,将测得的锥尖阻力和侧壁摩阻校正为准确的值。

一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法

技术领域

[0001] 本发明属于岩土工程勘察技术领域,具体涉及一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法。

背景技术

[0002] 全球的重大油气发现一多半都来自深海,深海将成为油气资源的重要接替区之一。水合物开采过程会引起储层结构破坏,承载力降低,进而可能造成水合物储层及其上覆土层变形沉降,最终诱发井筒失稳、海底滑坡等工程地质灾害。因此在实现天然气水合物资源商业化开采之前,必须对储层的种类、土层的边界和各种物理力学参数进行深入的分析 and 评估,充分了解天然气水合物储层及其上覆土层的力学特性。保障开采安全,是深海资源开发的先决条件。而且随着海洋资源的开发利用,海上构筑物越来越多,为保证海上构筑物的安全稳定,必须确定构筑物地基-海洋土的工程性质。

[0003] 静力触探(CPT)是一种原位勘探技术,通过将装有传感器的圆锥探头均速压入土中,获取土体不同位置的锥尖阻力、侧壁摩阻及孔压等数据。经数据分析后,能准确分析深海沉积物和水合物储层的土类、土层界限以及各类物理力学指标,具有快速便捷、无需取样、采集大量数据、数据连续、再现性好、干扰小和低成本等优势。室内静力触探具有可重复、保证试样均匀性、应用已知/受控边界条件以及特定应力历史的能力。CPT数据不仅可用于土层划分、土类判分(依据摩阻比划分),还可用于估算粘性土的不排水抗剪强度、超固结比、灵敏度、砂土的相对密度、内摩擦角、土的压缩模量、变形模量、饱和粘土不排水模量、砂土初始切线弹性模量和初始切线剪切模量、地基承载力、单桩承载力以及砂土液化判别等。研究表明,CPT技术在深海土体测试上具有显著优势,在国内外海洋工程领域的使用越来越广泛,对工程地质调查起到重要作用。

[0004] 目前我国静力触探在深海沉积物应用案例较少,且基于静力触探的储层的土层判定标准以及储层力学特性推测的经验公式相关研究在国内也少有发表,具有极高的科研价值及工程应用价值。但由于CPT技术是以电测技术为基础,CPT资料的解释分析方法是建立在经验的基础上,用于解释的经验关系有地区局限性,现有的各种经验公式和判定标准都有局限性,不能广泛适用于各类型、各地区的土壤,只有不断地对测试数据的解释方法进行探讨和研究,结合钻探资料使解释方法进一步得以验证并不断改进,才能总结得出适合我国海洋土质特性的地区经验值。想要利用CPT进行沉积物力学特性分析,需要通过试验建立CPT数据与试样力学试验数据之间的关系;因此,面向深海静力触探(CPT)原位测试数据解释难题,本发明采用一套室内静力触探装置开展深海沉积物室内静力触探测试方法优化工作。本发明可以采用不同尺寸的土样和探头进行静力触探试验,并基于室内试验数据对深海沉积物室内CPT测试方法及装备进行优化;同时可以进行三轴试验,建立深海各地区沉积物的各项物理力学特性与CPT贯入数据之间的对应经验关系,总结一套基于静力触探的深海沉积物力学特性解释方法,以此为我国深海资源开发重大需求提供技术支撑。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术中的上述问题,本发明提供一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,保障深海资源的安全开发。

[0006] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0007] 一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,该方法基于一种室内静力触探装置实现,该装置包括轴向加载系统、基座、试样移动台、标定罐、温压控制模块和程序控制系统。

[0008] 所述试样移动台连接在基座侧面,试样移动台与基座表面在同一水平面上,且二者上表面安装有移动导轨。

[0009] 所述标定罐承温范围大且耐高压,可以模拟不同地层条件下的压力和温度情况,还原土体原位状态;标定罐安装在移动导轨上,可以沿着移动导轨移动,便于安装及拆卸试验土样。

[0010] 所述轴向加载系统包括上加载组件、荷载架、下加载组件和探头;其中,上加载组件通过荷载架安装在基座上方,探头安装在上加载组件上、且位于标定罐上方,通过上加载组件驱动探头贯入标定罐内的土样中,完成贯入土体试验;下加载组件安装在基座下部,通过驱动下加载组件调整标定罐内土样的位置。

[0011] 所述温压控制模块为标定罐内试验土样提供温度压力环境。

[0012] 所述程序控制系统与上加载组件、下加载组件、温压控制模块及探头连接,实现对试验过程的实时监测和控制,可以根据触探数据实时调整加载参数,并提供数据记录,以优化试验过程并提高数据准确性。

[0013] 所述下加载组件包括下伺服电机、下减速机、下同步带轮、下同步带、下滚珠丝杠、下加载横梁、下横梁和下加载杆。其中,下减速机安装在下横梁上,且下减速机与下伺服电机连接;下横梁底部安装有三个下同步带轮,下同步带轮之间安装下同步带;其中一下同步带轮与下减速机连接,另两个下同步带轮分别与位于下横梁上方的两个下滚珠丝杠一端连接;下滚珠丝杠另一端通过轴承安装在基座上;下加载横梁通过螺纹连接在两下滚珠丝杠上,下加载横梁中心处设有下加载杆;下减速机在下伺服电机的驱动下控制下同步带轮转动,并通过下同步带传动驱动下滚珠丝杠转动,进而带动下加载横梁上下移动,使下加载杆推动土样位于合适的位置。

[0014] 所述上加载组件包括上同步带轮、上同步带、上减速机、上伺服电机、上滚珠丝杠、上横梁和上加载横梁。其中,上横梁通过减速机安装板上安装减速机;两上同步带轮分别对称安装在上横梁两端,另一上同步带轮安装在减速机安装板上,并与上减速机连接,所述上减速机同时与上伺服电机连接;所述上同步带安装在三个上同步带轮之间;两上滚珠丝杠对称设于上横梁下方,一端分别与上横梁上的两上同步带轮连接,另一端通过轴承安装在荷载架上。上加载横梁通过螺纹连接在两上滚珠丝杠上,上加载横梁中心处安装探头;上减速机在上伺服电机的驱动下控制上同步带轮转动,并通过上同步带传动驱动上滚珠丝杠转动,进而带动上加载横梁上下移动,将探头贯入土样中。

[0015] 所述荷载架由支撑臂和轴环组成;其中,两支撑臂分别对称固定在基座上表面两端,轴环两端分别与上横梁及支撑臂连接,轴环确保试验过程中各部件的相对位置保持稳定。

[0016] 所述标定罐包括标定罐底座、标定罐壳体、试样底座、土样、试样帽和橡皮膜。其中,标定罐底座为顶部设有凹槽的圆柱结构,其安装在移动导轨上;标定罐壳体为底部开口的圆柱壳体结构,其与标定罐底座连接,使二者之间形成一个空腔;土样通过橡皮模包裹,同时通过橡皮模将土样上下两端分别与试样帽及试样底座连接为一个整体,一同置于所述空腔中。所述标定罐壳体顶部中心处设有导向孔,土样上移过程中,试样帽的凸起嵌入导向孔中,保证土样准确无误地升起。所述试样帽中心开有圆柱形孔,探头通过圆柱形孔贯入土样。所述标定罐底座底部中心设有通孔,便于下加载组件作用在试样底座上。

[0017] 所述标定罐壳体上部带有吊耳,与上加载横梁上连接的吊栓及吊母配合连接,通过上加载组件将标定罐壳体提升,方便土样的安装和拆卸。

[0018] 所述标定罐壳体顶部还开有注水孔,通过注水孔向被包裹橡皮膜的土样周围注水,节省围压泵的可用体积。

[0019] 所述标定罐底座上设有预留接口,用于完成更多试验。

[0020] 所述试样底座和试样帽侧边均开有进水孔和排水孔,进水孔和排水孔通过不锈钢管路与标定罐底座上的预留接口连接,通过进水孔和排水孔对土样进行水饱和和固结排水试验。

[0021] 所述温压控制模块由一台循环水泵和三台分别控制孔压、反压和围压的压力泵组成,以模拟不同条件下的土体力学行为。其中,循环水泵接于标定罐壳体外部,或者接于标定罐底座的预留接口处;压力泵通过管路与标定罐底座的预留接口连接。

[0022] 所述探头采用压缩式设计的探头结构,内置两组称重传感器;可以独立测量锥尖阻力和侧壁摩阻,互不干扰,且无需考虑密封圈的摩擦问题;所述探头的直径与试样帽上圆柱形孔的直径一致。

[0023] 所述的深海沉积物力学特性评价方法包括以下步骤:

[0024] S1:标定探头;

[0025] 分别将不同直径尺寸的探头安装于标定架上,分别对探头的侧壁和锥尖施加一组已知大小的力,将已知大小的力与未标定前测得的锥尖阻力及侧壁摩阻拟合成关系式,得到一个系数和偏差,将测得的锥尖阻力和侧壁摩阻校正为准确的值。

[0026] S2:优化深海沉积物室内静力触探测试方法前的准备工作;

[0027] 通过上加载组件将标定罐壳体提升起来,将标定罐底座沿着移动导轨推至试样移动台处开始制作土样;制作土样时,先将试样底座安装到标定罐底座中,再将模具固定在试样底座中,土样在套有匹配尺寸橡皮模的模具中通过击实法制作而成;重复上述操作制备不同尺寸的土样,包括多种直径且每种直径下对应多种高度的土样;土样制作完后,将试样帽放到土样上,将标定罐底座推至基座上,再将标定罐壳体降到与标定罐底座连接的位置处;安装探头并连接温压控制模块的管路,试验前准备工作已经完成。

[0028] S3:确定最佳贯入速率;

[0029] 选取S1中直径尺寸最小的探头,以及S2中制备的最大直径所对应最大高度的土样,在同一工况下做不同贯入速率的静力触探试验,探头贯入深度为土样高度的三分之二,得到锥尖阻力及侧壁摩阻;将得到的锥尖阻力及侧壁摩阻与已知土样的锥尖阻力及侧壁摩阻结果对比,结果一致的静力触探试验所对应的贯入速率则为最佳贯入速率。其中,选取最大土样尺寸和最小探头尺寸是为了排除边界效应,贯入土样高度的三分之二是为了避免底

部刚性边界的影响。

[0030] S4:确定最佳直径比;

[0031] 所述最佳直径比为土样直径与探头直径的比值,确定最佳直径比是模拟原位真实土体无限大边界环境的前提条件,具体方法如下:

[0032] 在S3确定的最佳贯入速率和同工况下,将S2制得的最大高度下不同直径的试验土样采用S1中标定的不同直径的探头依次进行静力触探试验;将不同直径比从低到高排列,对比试验结果,直径比小的会受边界效应的影响,当直径比超过临界直径比后就会不受边界效应的影响,选取不受边界效应影响的最小直径比作为最佳直径比。采用最佳直径比所对应的土样直径和对应的探头进行试验,可以减少制样时间,提高效率。

[0033] S5:确定最佳土样高度;

[0034] 所述确定最佳土样高度是决定土样尺寸的关键之一,在采用最佳直径比所对应的土样直径和对应的探头以及最佳贯入速率的前提下,采用不同高度的试验土样在同一个工况下开展静力触探试验,试验过程中探头贯入土样高度的三分之二,观察锥尖阻力和侧壁摩阻数据是否能趋于稳定,且稳定的距离大于30cm,选取满足要求的最小土样高度即为最佳土样高度,确定最佳土样高度后最佳土样尺寸也就确定了。

[0035] S6:确定最佳贯入深度;

[0036] 所述确定最佳贯入深度是为了获取更多的有效数据,在采用最佳土样尺寸、最佳直径比对应的探头和最佳贯入速率的前提下,在同一工况下进行静力触探试验;由于土样底部是刚性边界,随着探头贯入深度的增加,锥尖阻力会受底部刚性边界的影响,锥尖阻力将不再趋于稳定会产生一个变化趋势,观察锥尖阻力数据开始变化趋势的拐点所对应的贯入深度即为临界贯入深度,即最佳贯入深度。

[0037] S7:在最佳土样尺寸、探头直径、最佳贯入深度、最佳贯入速率的基础上,对深海沉积物样本开展不同工况条件下的室内静力触探测试,使得所得数据准确可靠,试验流程更加高效。

[0038] S8:更换装置的试样帽,相同工况下对深海沉积物土样开展三轴试验,获取样本的各项力学特性参数,包括轴向应变、偏应力、孔隙水压和有效平均主应力;

[0039] 所述三轴试验所用的试样帽与静力触探试验所用的试样帽有所区别,三轴试验所用的试样帽中心没有开圆柱形孔,保证了试验过程的密封性;三轴试验只需要用下加载组件驱动下加载杆推动试样底座向上运动,对土样进行压缩剪切,其余操作步骤与静力触探试验一致;三轴试验可以得到应力应变曲线、强度特性、刚度特性和强度准则。

[0040] S9:建立基于静力触探的深海沉积物力学特性评价公式;

[0041] 将室内静力触探试验数据与三轴试验数据结合,建立静力触探试验数据与三轴试验数据之间的关系,如利用CPT得到锥尖阻力并作为横坐标,利用三轴试验得到试样的不排水抗剪强度作为纵坐标,绘制拟合关系,也可以根据以往的经验公式或自主拟合一套公式对深海沉积物力学特性进行评价。

[0042] 本发明的有益效果:本发明通过标定探头和优化深海沉积物室内静力触探测试方法后,在获得的最佳土样尺寸、探头直径、最佳贯入深度和最佳贯入速率的基础上开展室内静力触探试验,并基于室内静力触探装置进行三轴试验,将室内静力触探试验数据与三轴试验数据结合,得到天然气水合物储层及其上覆土层的多项力学特性参数,建立一套深海

沉积物力学特性评价方法。该方法具有快速便捷、采集数据量大、干扰小及费用低廉等特点以及可重复、试样均匀性、应用已知/受控边界条件以及应用特定应力历史的能力,本发明采用大尺寸的土样,使得进行室内静力触探试验和三轴试验时的土样接近真实的原位状态,得到的数据更加真实、准确。利用CPT进行沉积物力学特性分析,通过大量的室内CPT校核试验,建立深海各地区沉积物的各项物理力学特性与CPT贯入数据之间的对应经验关系,从而更加准确地反演出土体的强度、渗流和变形等特性,为我国深海资源开发重大需求提供技术支撑。

附图说明

[0043] 图1为本发明实施例中的一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法的流程示意图。

[0044] 图2为本发明的室内静力触探装置的结构示意图。

[0045] 图3为本发明的贯入系统整体结构示意图。

[0046] 图4为本发明的下加载组件结构示意图。

[0047] 图5为本发明的标定罐剖面图。

[0048] 其中:1上减速机;2吊栓;3吊母;4上伺服电机;5标定罐壳体;6支撑臂;7标定罐底座;8上同步带;9上横梁;10上加载横梁;11轴环;12上滚珠丝杠;13探头;14基座;15循环水泵;16压力泵;17程序控制系统;18减速机安装板;19上同步带轮;20吊耳;21注水孔;22内六角圆柱头螺钉;23移动导轨;24垫块;25置物台;26下伺服电机;27下减速机;28下同步带轮;29下加载杆;30下滚珠丝杠;31下加载横梁;32下横梁;33下同步带;34导向孔;35试样帽;36土样;37预留接口;38橡皮模;39试样底座。

具体实施方式

[0049] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,下面将结合附图,对本发明的具体实施方式进行详细的描述。

[0050] 本发明提供了一种基于室内静力触探试验的深海沉积物力学特性评价方法,该方法基于一种室内静力触探装置实现,该装置包括轴向加载系统、基座14、试样移动台、标定罐、温压控制模块和程序控制系统17。

[0051] 所述基座14为框架结构,用于支撑和固定整个轴向加载系统,确保装置在使用过程中的稳定性和安全性。

[0052] 所述试样移动台连接在基座14侧面,试样移动台与基座14表面在同一水平面上,且二者上表面安装有移动导轨23;移动导轨23两端设有垫块24;试样移动台上设有多层置物台25,其由抽拉的形式置于试样移动台的支架中,便于存放试验工具。

[0053] 所述标定罐包括标定罐底座7、标定罐壳体5、试样底座39、土样36、试样帽35和橡皮膜38。其中,标定罐底座7为顶部设有凹槽的圆柱结构,其安装在移动导轨23上;标定罐壳体5为底部开口的圆柱壳体结构,其与标定罐底座7通过内六角圆柱头螺钉22连接并通过O型圈密封,使二者之间形成一个空腔;土样36通过橡皮模38包裹,同时通过橡皮模38将土样36上下两端分别与试样帽35及试样底座39连接为一个整体,一同置于所述空腔中。所述标定罐壳体5顶部中心处设有导向孔34,土样上移过程中,试样帽35的凸起嵌入导向孔34中,

保证土样准确无误地升起。

[0054] 所述轴向加载系统包括下加载组件、荷载架、上加载组件和探头13。其中,下加载组件和上加载组件工作原理一样,上加载组件最大加载力为200KN,贯入位移精度为0.001mm/s;下加载组件最大加载力为150KN,可还原土样原位应力条件;其中上加载组件驱动探头贯入标定罐内的土样中,完成贯入土体试验,通过驱动下加载组件调整标定罐内土样的位置,也可通过下加载组件完成三轴剪切试验。

[0055] 如图4所示,下加载组件包括下同步带轮28、下同步带33、下减速机27、下伺服电机26、下滚珠丝杠30、下加载横梁31、下横梁32和下加载杆29。其中,下减速机27安装在下横梁32上,下减速机27同时与下伺服电机26连接;下横梁32底部安装有三个下同步带轮28,下同步带轮28之间安装下同步带33;其中一下同步带轮28与下减速机27连接,另两个下同步带轮28分别与位于下横梁32上方的两个下滚珠丝杠30一端连接;下滚珠丝杠30另一端通过轴承安装在基座14上;下加载横梁31通过螺纹连接在两下滚珠丝杠30上,下加载横梁31中心处设有下加载杆29;下减速机27在下伺服电机26的驱动下控制下同步带轮28转动,并通过下同步带传动驱动下滚珠丝杠30转动,进而带动下加载横梁31上下移动,使下加载杆29穿过标定罐底座7中心的通孔作用在试样底座39上,推动试样底座39上的整个土样向上运动,使试样帽35进入到标定罐壳体5的导向孔34中,使得整个土样在合适的位置。

[0056] 如图2和图3所示,上加载组件包括上同步带轮19、上同步带8、上减速机1、上伺服电机4、上滚珠丝杠12、上横梁9和上加载横梁10。其中,上横梁9通过减速机安装板18安装上减速机1;两上同步带轮19分别对称安装在上横梁9两端,另一上同步带轮19安装在减速机安装板18上,并与上减速机1连接,所述上减速机1同时与上伺服电机4连接;所述上同步带8安装在三个上同步带轮19之间;两上滚珠丝杠12对称设于上横梁9下方,一端分别与上横梁9上的两上同步带轮19连接,另一端通过轴承安装在荷载架上。上加载横梁10通过螺纹连接在两上滚珠丝杠12上,上加载横梁10中心处开有凹槽,凹槽中通过螺钉固定探头13;上减速机1在上伺服电机4的驱动下控制上同步带轮19转动,并通过上同步带传动驱动上滚珠丝杠12转动,进而带动下加载横梁10上下移动,推动探头13从试样帽35中心的圆柱形孔中穿过并贯入土样。

[0057] 如图3所示,荷载架由两根支撑臂6和四根轴环11组成;其中,两支撑臂6通过紧锁螺母分别连接在基座14上表面的两端;支撑臂6上端开有两个孔,用于连接轴环,轴环11通过紧锁螺母固定于支撑臂6和上横梁9之间,每侧的两根轴环确保试验过程中各部件的相对位置保持稳定。

[0058] 所述探头13采用压缩式设计的探头结构,内置两组称重传感器;可以独立测量锥尖阻力和侧壁摩阻,互不干扰,且无需考虑密封圈的摩擦问题;利用三种直径分别为6mm、16mm、25mm的CPT探头进行静力触探试验。

[0059] 所述温压控制模块用于完成不同工况的试验,包括一台循环水泵15和三台分别控制孔压、反压和围压的压力泵16;其中,循环水泵15接于标定罐壳体外部,可提供高温和低温;压力泵16通过不锈钢管路与标定罐底座上的预留接口连接,可提供高达25MPa的压力。

[0060] 所述程序控制系统采用Labview模块化设计,其与上加载组件的上伺服电机4、下加载组件的下伺服电机26、温压控制模块及探头13连接,可以控制上加载组件和下加载组件的加载速度,自定义贯入深度,以及实时记录试验过程中的孔压、围压、反压、侧壁摩阻和

锥尖阻力数据。

[0061] 所述的深海沉积物力学特性评价方法包括以下步骤：

[0062] S1:标定探头；

[0063] 分别将三种直径(6mm、16mm、25mm)的探头安装于标定架上,分别对探头的侧壁和锥尖施加一组已知大小的力,未标定前测得的锥尖阻力和侧壁摩阻与真实的锥尖阻力和侧壁摩阻之间存在一定的偏差,将已知大小的力与未标定前测得的锥尖阻力及侧壁摩阻拟合成关系式,得到一个系数和偏差,将测得的锥尖阻力和侧壁摩阻校正为准确的值,通过标定探头以确保测量的准确性和可靠性。

[0064] S2:优化深海沉积物室内静力触探测试方法前的准备工作；

[0065] 优化深海沉积物室内静力触探测试方法是还原土样的真实原位环境,在避免边界效应和尺寸效应的前提下,高效地完成试验,并获取最准确的测量数据。试验前,将吊栓2拧到上加载横梁10上,上加载横梁10向下移动,使吊栓2进入到吊耳20中,再将吊母3拧到吊栓2上,把标定罐壳体5和标定罐底座7连接的内六角圆柱头螺钉22全部拧下来,提升上加载横梁10,将标定罐壳体5升起,将标定罐底座7沿着移动导轨23推至试样移动台处开始制作土样;制作土样时,先将试样底座39安装到标定罐底座7中,再将模具通过不锈钢钢轧带固定在试样底座39中,其中有直径分别为100mm、200mm、300mm且每种直径包括200mm、400mm、600mm三种高度,共9种模具可供使用;土样8在套有匹配尺寸橡皮模38的模具中通过击实法制作而成;土样制作完后,将试样帽35放到土样上,将标定罐底座7推至基座14上,将标定罐壳体5降到与标定罐底座7连接的位置,安装探头并连接温压控制模块的管路,试验前准备工作已经完成。一组试验完成后先通过上加载组件把探头13从土样8中拔出,再将标定罐壳体5升起,将带有土样的标定罐底座7推至试样移动台上进行土样的卸载和下一组土样的制作,在优化深海沉积物室内静力触探测试方法时要确保每次土样的孔隙度一致。

[0066] S3:确定最佳贯入速率；

[0067] 确定最佳贯入速率需要考虑多个因素,包括土壤类型、试验目的、设备性能等,不同类型的土壤对贯入速度的敏感程度不同,最佳贯入速率是在最大土样直径300mm、最大土样高度600mm和最小探头直径6mm下,将探头13贯入土样高度的三分之二,在同一工况下做不同贯入速率的静力触探试验,将得到的锥尖阻力及侧壁摩阻与已知土样的锥尖阻力及侧壁摩阻结果对比,结果一致的静力触探试验所对应的贯入速率则为最佳贯入速率。

[0068] S4:确定最佳直径比；

[0069] 所述最佳直径比为土样直径与探头直径的比值,确定最佳直径比是模拟原位真实土体无限大边界环境的前提条件,具体方法如下：

[0070] 在S3确定的最佳贯入速率,以及最大土样高度600mm和同工况下,对S2中制备的三种直径(100mm、200mm、300mm)的土样均采用三种直径(6mm、16mm、25mm)的探头依次进行静力触探试验;将不同直径比从低到高排列,对比试验结果,直径比小的会受边界效应的影响,当直径比超过临界直径比后就会不受边界效应的影响,选取不受边界效应影响的最小直径比作为最佳直径比。

[0071] S5:确定最佳土样高度；

[0072] 在采用最佳直径比所对应的土样直径和对应的探头以及最佳贯入速率的前提下,采用三种高度(200mm、400mm、600mm)的试验土样在同一个工况下开展静力触探试验,试验

过程中将探头贯入土样高度的三分之二,观察锥尖阻力和侧壁摩阻数据是否能趋于稳定,且稳定的距离大于30cm,选取满足要求的最小土样高度即为最佳土样高度,最佳土样高度确定后最佳土样尺寸也就确定了。

[0073] S6:确定最佳贯入深度;

[0074] 在采用最佳土样尺寸、最佳直径比对应的探头直径和最佳贯入速率的前提下,在同一工况下进行静力触探试验,由于土样底部是刚性边界,随着探头贯入深度的增加,锥尖阻力会受底部刚性边界的影响,锥尖阻力将不再趋于稳定会产生一个变化趋势,观察锥尖阻力数据开始有变化趋势的拐点所对应的贯入深度即为临界贯入深度,作为最佳贯入深度。

[0075] S7:在最佳样本尺寸、探头直径、最佳贯入深度、最佳贯入速率的基础上,对深海沉积物土样开展不同工况条件下的室内静力触探测试,使得所得数据准确可靠,试验流程更加高效,通过静力触探试验可得到孔隙压力、锥尖阻力和侧壁摩阻数据。

[0076] S8:更换装置的试样帽,相同工况下对深海沉积物土样开展三轴试验,获取土样的各项力学特性参数;

[0077] 在相同工况情况下对深海沉积物土样开展三轴试验也是基于此装置,通过更换标定罐中的试样帽即可开展三轴试验,获取样本的各项力学特性参数(轴向应变、偏应力、孔隙水压、有效平均主应力)以及应力应变曲线、强度特性、刚度特性和强度准则;通过应力应变曲线,当应力应变曲线未出现峰值时,取轴向应变15%时的强度为土样的不排水抗剪强度;其中三轴试验所用的试样帽与静力触探试验所用的试样帽有所区别,三轴试验所用的试样帽中心没有开圆柱形孔,保证了试验过程的密封性;三轴试验只需要用下加载组件驱动下加载杆29推动试样底座39向上运动,对土样进行压缩剪切,其余操作步骤与静力触探试验一致。

[0078] S9:建立基于静力触探的深海沉积物力学特性评价公式

[0079] 将室内静力触探试验数据(锥尖阻力、侧壁摩阻、孔隙压力)与三轴试验数据(轴向应变、偏应力、孔隙水压、有效平均主应力)结合,建立静力触探试验数据与三轴试验数据之间的关系;如:根据经验公式确定经验系数 N_c 和 N_s :

$$[0080] \quad S_u = (q_c - \sigma_{\text{mean}}) / N_c$$

$$[0081] \quad S_t = N_s / R_f$$

[0082] 式中: S_u 为土样的不排水抗剪强度, S_t 为土体的灵敏度, q_c 为锥尖阻力, σ_{mean} 为平均有效应力, R_f 为摩阻比(侧壁摩阻 f_s 与锥尖阻力 q_c 的比值)。

[0083] 选取深海沉积物含水率、密度、孔隙比作为自变量,锥尖阻力作为因变量,进行多变量回归分析,得到经验公式:

$$[0084] \quad q_c = a\omega + b\rho + ce + d$$

[0085] 其中, ω 为含水率, ρ 为密度, e 为孔隙比, a 、 b 、 c 、 d 为修正系数。

[0086] 根据沉积物含水率、密度与孔隙比能较好地预测锥尖阻力,根据锥尖阻力推算出土体的不排水抗剪强度。还可以利用CPT得到的锥尖阻力并作为横坐标,利用三轴试验得到试样的不排水抗剪强度作为纵坐标,绘制拟合关系,也可以根据以往的经验公式或自主拟合一套公式对深海沉积物力学特性进行评价。所得数据不仅可用于土层划分、土类判分(依据摩阻比划分),还可用于估算粘性土的不排水抗剪强度、超固结比、灵敏度、砂土的相对密

度、内摩擦角、土的压缩模量、变形模量、饱和粘土不排水模量、砂土初始切线弹性模量和初始切线模量、地基承载力、单桩承载力以及砂土液化判别等,从而更加准确地反演出土体的强度、渗流和变形等特性,为我国深海资源开发重大需求提供技术支撑。

[0087] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明权利要求所限定的范围。

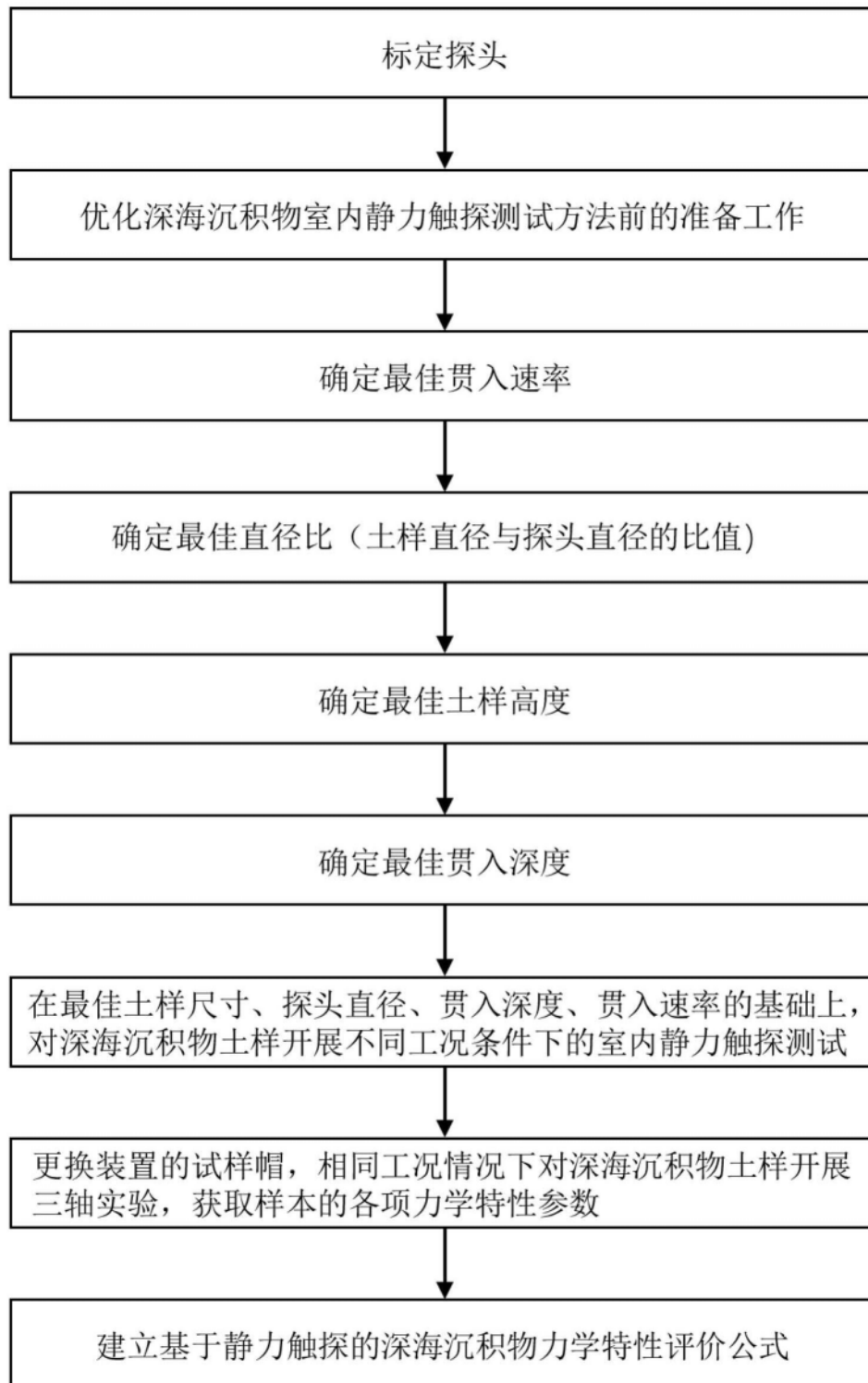


图1

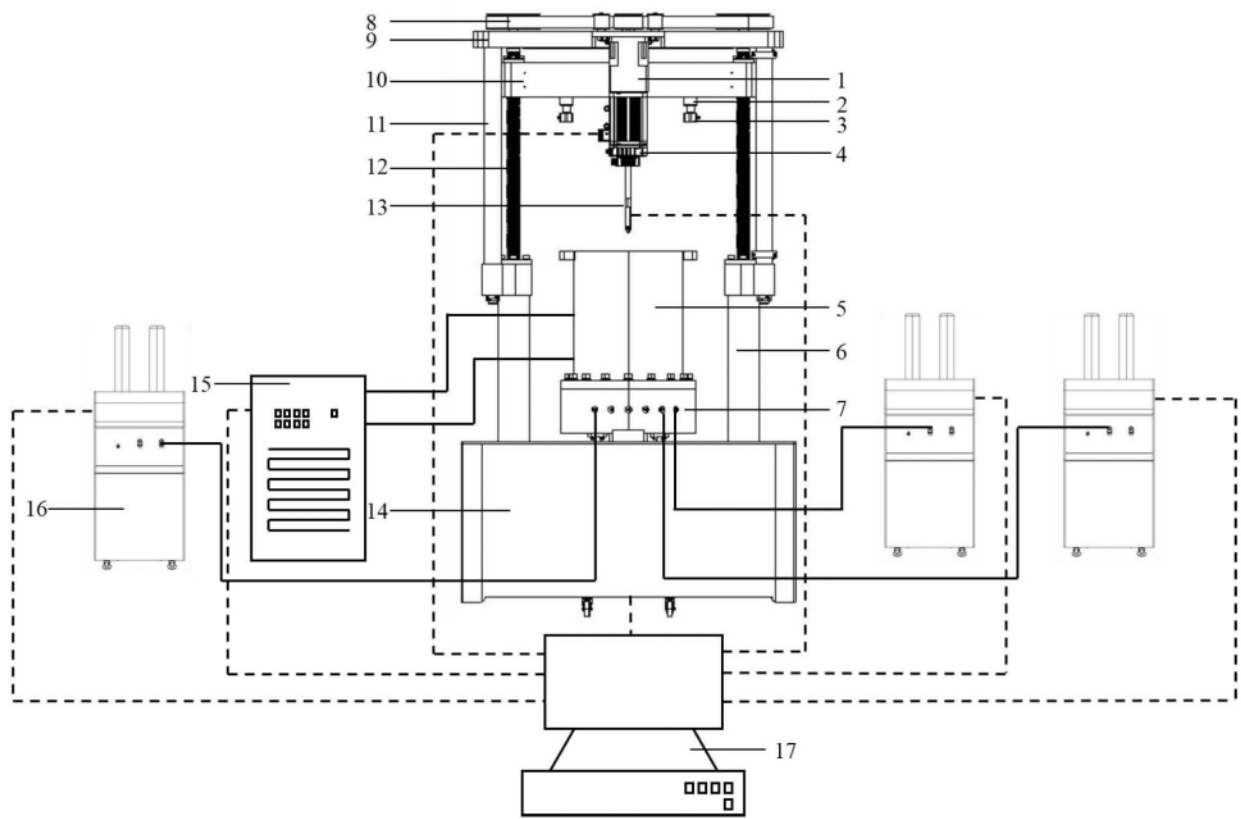


图2

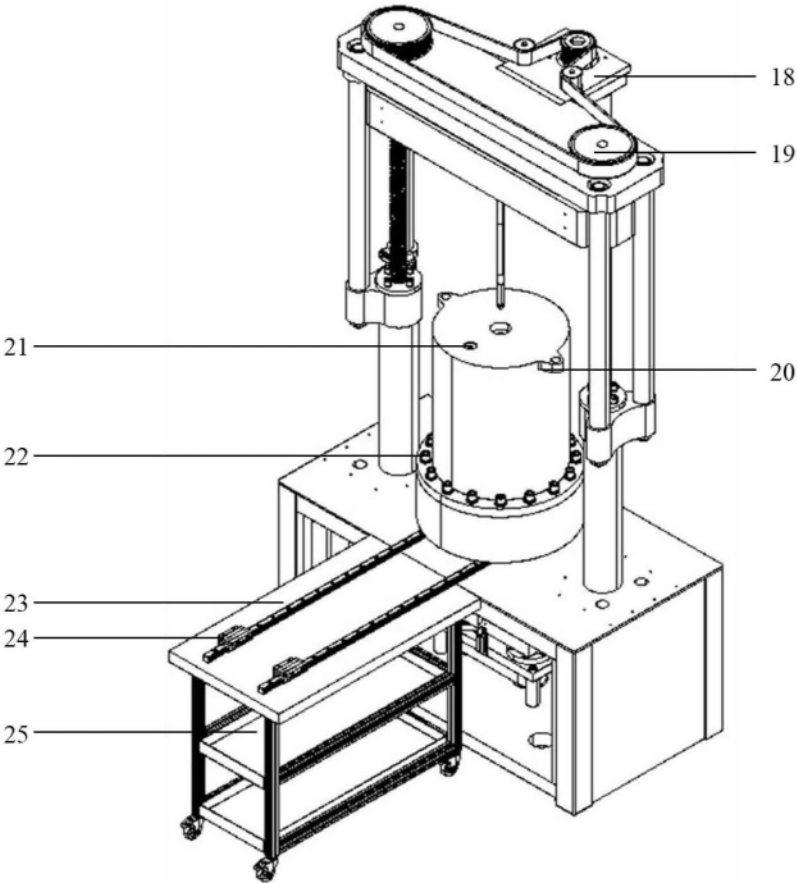


图3

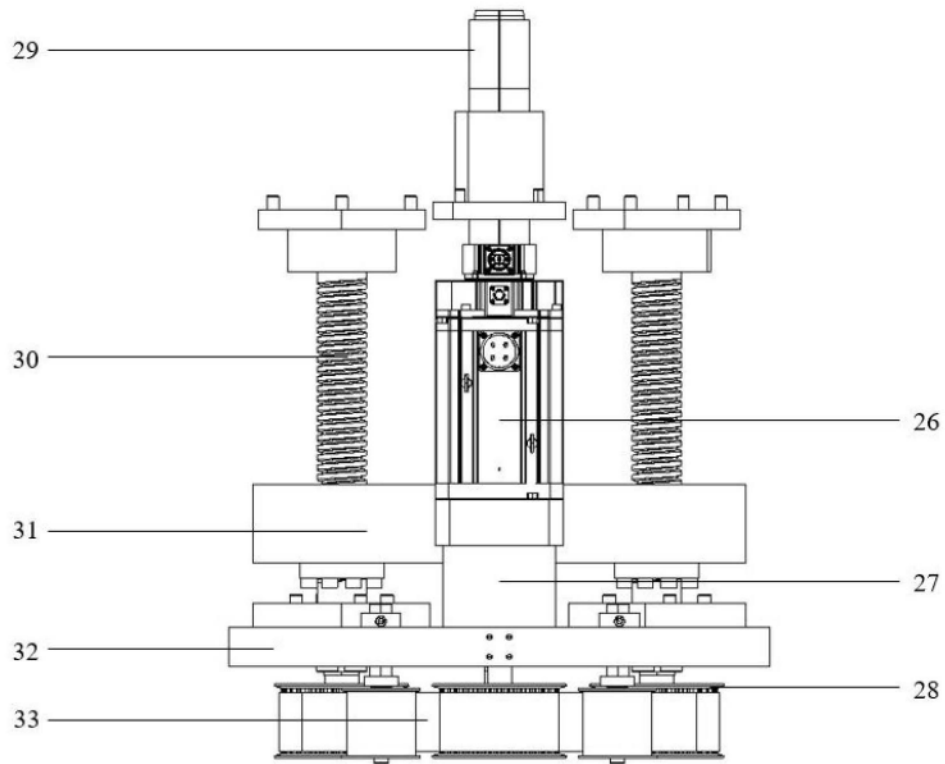


图4

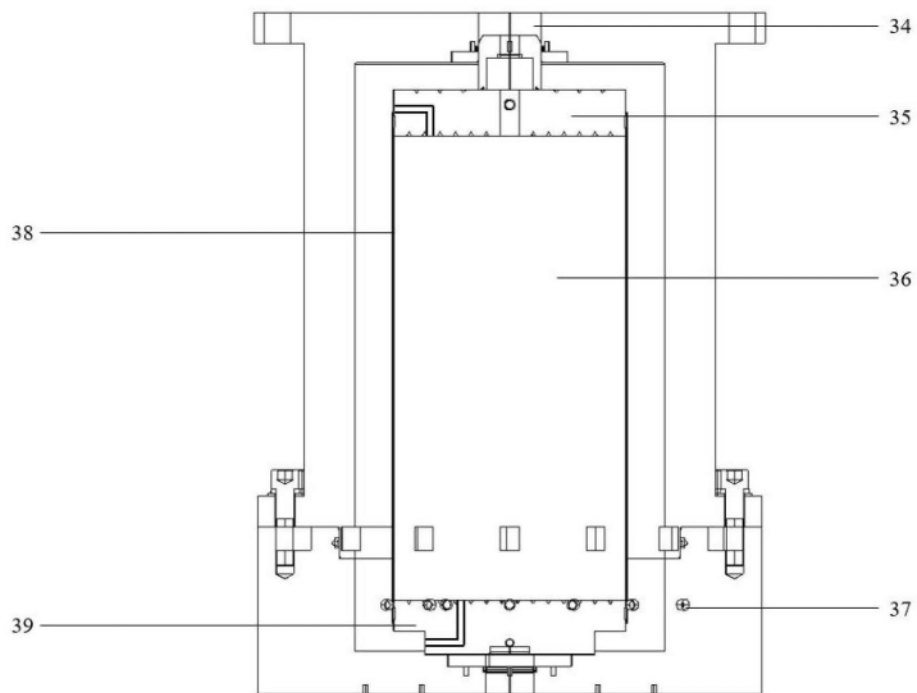


图5