



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116559956 B

(45) 授权公告日 2024.04.16

(21) 申请号 202310492771.6

(22) 申请日 2023.04.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116559956 A

(43) 申请公布日 2023.08.08

(73) 专利权人 上海勘测设计研究院有限公司
地址 200434 上海市虹口区逸仙路388号

(72) 发明人 田野 刘恒祥 陈波 王浩
孟永旭 许凯凯 丁晓庆 范胜华
纪海亮 郭根发 宋亚锋 顾庙元
杨靖晖 荣欣 许来香 吴鹏冠

(74) 专利代理机构 上海光华专利事务所(普通
合伙) 31219
专利代理师 侯冻

(51) Int. Cl.
G01V 1/30 (2006.01)
G01V 1/38 (2006.01)
G01N 3/00 (2006.01)
G01N 3/06 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 102817345 A, 2012.12.12
- CN 108678726 A, 2018.10.19
- CN 212983962 U, 2021.04.16
- CN 215801614 U, 2022.02.11
- GB 1444014 A, 1976.07.28
- US 2005102105 A1, 2005.05.12
- CN 204676517 U, 2015.09.30
- CN 201567576 U, 2010.09.01
- CN 111638269 A, 2020.09.08
- CN 101520340 A, 2009.09.02
- CN 104818735 A, 2015.08.05
- CN 114217045 A, 2022.03.22
- CN 110702205 A, 2020.01.17
- CN 114839678 A, 2022.08.02
- CN 207032194 U, 2018.02.23
- CN 208110059 U, 2018.11.16
- JP 2010059670 A, 2010.03.18
- US 2020080270 A1, 2020.03.12
- US 2022342099 A1, 2022.10.27
- CN 101126755 A, 2008.02.20

审查员 陈蕤

权利要求书2页 说明书12页 附图8页

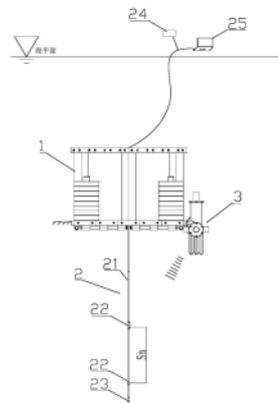
(54) 发明名称

一种海底地震波测试设备及方法

(57) 摘要

本发明涉及一种海底地震波测试设备及方法,包括基座、探测机构、贯入机构、激振机构、以及控制系统,基座放置于海床上,探测机构包括探杆、静力触探探头、数据采集记录仪、波速测试仪、以及多个检波器,检波器为圆柱形且同轴地安装在探杆中,多个检波器分别安装在探杆的不同高度位置处,检波器与波速测试仪通讯连接,静力触探探头同轴地安装在探杆底端,并与数据采集记录仪通讯连接,波速测试仪和数据采集记录仪都与控制系统通讯相连;贯入机构安装于基座,能够将探杆贯入到海床土体中;激振机构固定安装在基座上并与海床土体接触,激振机构能

够在海床土体中产生剪切波和压缩波;所述控制系统分别与贯入机构和激振机构都控制相连。



CN 116559956 B

1. 一种海底地震波测试设备,用于在海床(9)上进行探测,其特征在于:包括基座(1)、探测机构(2)、贯入机构、激振机构、以及控制系统,所述基座(1)放置于海床(9)上,所述探测机构(2)包括探杆(21)、静力触探探头(23)、数据采集记录仪(25)、波速测试仪(24)、以及多个检波器(22),所述检波器(22)为圆柱形且同轴地安装在探杆(21)中,多个检波器(22)分别安装在探杆(21)的不同高度位置处,所述检波器(22)与波速测试仪(24)通讯连接,所述静力触探探头(23)同轴地安装在探杆(21)底端,并与数据采集记录仪(25)通讯连接,所述波速测试仪(24)和数据采集记录仪(25)都与控制系统通讯相连;所述贯入机构安装于基座(1),能够将探杆(21)贯入到海床(9)土体中,且探杆(21)贯入海床(9)土体中时检波器(22)都与孔壁土体接触;所述激振机构固定安装在基座(1)上并与海床(9)土体接触,所述激振机构能够在海床(9)土体中产生剪切波和压缩波;所述控制系统分别与贯入机构和激振机构都控制相连;所述激振机构包括激振器(3),所述激振器(3)包括支架(4)、砧板(5)、触发杆(6)、以及振动锤(7),所述支架(4)固定安装在基座(1)上,所述砧板(5)安装在支架(4)上,并且能够在水平方向和竖向上直线移动,所述砧板(5)位于海床(9)土体表面上,所述触发杆(6)为多个,所述触发杆(6)安装在砧板(5)上且插入到海床(9)土体中,所述振动锤(7)安装在支架(4)上,所述砧板(5)的上侧设有一个能够对砧板(5)施加竖向锤击的振动锤(7),所述砧板(5)的水平方向相对的两侧分别设有一个振动锤(7),且两个振动锤(7)能够对砧板(5)施加沿其水平直线移动方向的锤击。

2. 根据权利要求1所述的海底地震波测试设备,其特征在于:所述检波器(22)至少为3个。

3. 根据权利要求1所述的海底地震波测试设备,其特征在于:所述检波器(22)的直径大于探杆(21)的直径。

4. 根据权利要求1所述的海底地震波测试设备,其特征在于:相邻检波器(22)中位于上方的检波器(22)的直径尺寸大于位于下方的检波器(22)的直径。

5. 根据权利要求1所述的海底地震波测试设备,其特征在于:相邻检波器(22)之间在竖向方向上的间距为1.0m~2.0m。

6. 根据权利要求1所述的海底地震波测试设备,其特征在于:所述振动锤(7)包括外壳(72)、锤击头(71)、重锤体(73)、弹性触发结构(76)、球卡机构(75)、以及伸缩动力缸(74),所述外壳(72)中设有密封的容置内腔(721),所述锤击头(71)安装在外壳(72)的第一端,且一部分位于容置内腔(721)中一部分位于外壳(72)外,所述锤击头(71)能够相对外壳(72)直线运动且其运动方向为锤击方向,所述伸缩动力缸(74)固定在外壳(72)与第一端相对的第二端,且其活塞杆(741)沿着锤击方向伸入到容置内腔(721)中,所述弹性触发结构(76)和重锤体(73)都安装于容置内腔(721)中,所述重锤体(73)能够沿着锤击方向移动,且重锤体(73)远离锤击头(71)时会使弹性触发结构(76)处于弹性储能状态并对重锤体(73)施加朝向锤击头(71)方向的弹力;所述球卡机构(75)包括定位杆(751)、卡座(752)、球座(753)、球套(754)、第一卡球(755)、第二卡球(756)和复位弹簧(757),所述定位杆(751)安装在容置内腔(721)中且其轴线沿着锤击方向,所述定位杆(751)包括靠近第一端的粗杆段(751a)和靠近第二端的细杆段(751b),且粗杆段(751a)和细杆段(751b)的表面之间平滑过度,所述球座(753)套装于定位杆(751)上并与活塞杆(741)固定连接,且球座(753)能够在粗杆段(751a)上移动,所述球座(753)中设有第一径向通孔(753a),所述第一卡球(755)位于第一

径向通孔(753a)中,所述球座(753)上还设有限位挡部(753b),所述球套(754)装于球座(753)上,且球套(754)能够相对球座(753)沿锤击方向移动并周向锁死,所述球套(754)中设有第二径向通孔(754a),所述第二卡球(756)位于第二径向通孔(754a)中,所述复位弹簧(757)对球套(754)施加朝向第一端的弹性力使球套(754)抵靠限位挡部(753b),且第二径向通孔(754a)与第一径向通孔(753a)的轴线重合;所述卡座(752)固定连接在重锤体(73)上,且卡座(752)上设有卡接部(752a),所述卡接部(752a)在朝向定位杆(751)的端部为卡接内侧端(752d),所述球座(753)和球套(754)移动时能够从卡接内侧端(752d)和定位杆(751)之间通过,所述卡接内侧端(752d)两侧分别设有朝向第一端的第一引导斜面(752b)和朝向第二端的第二引导斜面(752c),所述卡接内侧端(752d)到沿定位杆(751)径向到粗杆段(751a)和细杆段(751b)的距离分别为 H_1 和 H_2 ,所述第一卡球(755)和第二卡球(756)的直径为分别 D_1 和 D_2 , $H_1 < D_1 + D_2 \leq H_2$;所述激振机构还包括驱动伸缩动力缸(74)伸缩运动的动力部,所述控制系统与动力部控制连接。

7. 根据权利要求6所述的海底地震波测试设备,其特征在于:所述外壳(72)的容置内腔(721)位于重锤体(73)两侧的部分相连通。

8. 一种海底地震波测试方法,其特征在于:采用如权利要求1至7任一所述的海底地震波测试设备进行,包括以下步骤:

S1、静力触探试验:贯入机构驱动探杆(21)贯入到海床(9)土体中,静力触探探头(23)进行实施测量,数据采集记录仪(25)采集静力触探试验测量数据,并传输给控制系统;

S2、地震波测试:根据静力触探试验测量数据,判断地层土的情况,并根据地层土的情况,通过步骤S21或者S22进行地震波测试;

S21、间断贯入模式:控制贯入机构暂停,使探杆(21)停止在指定孔深位置;根据地层土的情况,控制激振机构工作,在海床(9)土层中产生一定频率和幅度的剪切波或压缩波,选择两个检波器(22)获取波的初至时间点,并根据这两个检波器(22)的距离,计算波速;

S22、连续贯入模式:控制贯入机构持续工作,使探杆(21)持续贯入,根据地层土的情况,控制激振机构工作,在海床(9)土层中产生一定频率和幅度的剪切波或压缩波,选择两个检波器(22)获取波的初至时间点,并根据这两个检波器(22)的距离,计算波速。

9. 根据权利要求8所述的海底地震波测试方法,其特征在于:所述步骤S21和步骤S22,当进行剪切波速度测试时,控制激振机构激发交替地产生相位相反的剪切波。

一种海底地震波测试设备及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及工程勘测和施工技术领域,具体涉及一种海底地震波测试设备及方法。

背景技术

[0002] 在海洋、江河、湖泊等水域工程地质勘察中,准确获取水域土层的土体剪切波速度及土体纵波速度,计算岩土小应变的动弹性模量、动剪切模量和动泊松比,对准确判定场地类别、土类别等具有重要意义。

[0003] 波速测试适用于测试各类岩土体的压缩波、剪切波或瑞利波的波速,采用单孔法、跨孔法或面波法测试。单孔测试法有两种地震波激发方式,一种是孔口激发孔内接收,另一种是孔内激发孔内接收。孔口激发孔内接收是通过在地面产生剪切波,在钻孔内不同深度处分别接收经土层向下传播的剪切波,从而获得剪切波波速;通过在地面产生的压缩波,压缩波经土层向下传播,从而获得压缩波波速;孔内激发孔内接收是激振机构与接收检波器间距相对固定,激振机构与接收检波器沿孔壁同步上下移动,获得压缩波或剪切波波速;孔口激发孔内接收,激发机构不受孔内空间限制,可以实现大能量和多种形式激发,易于获取剪切波波形,提高剪切波的分辨和识别。

[0004] 现有单孔法测试在水域应用时,存在以下缺陷:(1) 钻孔成孔后,在有淤泥、流沙、松散的填土等地层或破碎、不稳定孔段,进行单孔法地震波测试时,为防止塌孔及缩径现象出现,不仅需要在检测前采用套管或泥浆护壁,还需要在地面增加配重等辅助措施,测试工作难度加大甚至无法进行测试;(2) 在完成的钻孔中安置检波器时,难以保证检波器与孔壁紧密接触,孔径过大接触不紧密,孔径小则难以将检波器放入;(3) 探测的不同地层土的塑性状态或密实度变化较大时,难以根据不同地层的实际情况对检波器间距等进行灵活调整;(4) 单孔地震波测试时,特别是在土层存在互层、夹层、夹薄层较多的孔段,常规地面锤击法很难得到相对稳定、一致、可叠加的波形,影响测试结果和精度。

发明内容

[0005] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明要解决的技术问题在于提供一种海底地震波测试设备及方法,能够独立或者同时完成静力触探试验和地震波波速的测试采集,节约钻孔施工时间和费用,提高作业效率,并且能够根据地层的不同状况选择合适的地震波检测参数,提高测试准确度。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供一种海底地震波测试设备,用于在海床上进行探测,包括基座、探测机构、贯入机构、激振机构、以及控制系统,所述基座放置于海床上,所述探测机构包括探杆、静力触探探头、数据采集记录仪、波速测试仪、以及多个检波器,所述检波器为圆柱形且同轴地安装在探杆中,多个检波器分别安装在探杆的不同高度位置处,所述检波器与波速测试仪通讯连接,所述静力触探探头同轴地安装在探杆底端,并与数据采集记录仪通讯连接,所述波速测试仪和数据采集记录仪都与控制系统通讯相连;所述贯入机

构安装于基座,能够将探杆贯入到海床土体中,且探杆贯入海床土体中时检波器都与孔壁土体接触;所述激振机构固定安装在基座上并与海床土体接触,所述激振机构能够在海床土体中产生剪切波和压缩波;所述控制系统分别与贯入机构和激振机构都控制相连。

[0007] 进一步地,所述检波器至少为3个。

[0008] 进一步地,所述检波器的直径大于探杆的直径。

[0009] 进一步地,相邻检波器中位于上方的检波器的直径尺寸大于位于下方的检波器的直径。

[0010] 进一步地,相邻检波器之间在竖向方向上的间距为1.0m~2.0m。

[0011] 进一步地,所述激振机构包括激振器,所述激振器包括支架、砧板、触发杆、以及振动锤,所述支架固定安装在基座上,所述砧板安装在支架上,并且能够在水平方向和竖向上直线移动,所述砧板位于海床土体表面上,所述触发杆为多个,所述触发杆安装在砧板上且插入到海床土体中,所述振动锤安装在支架上,所述砧板的上侧设有一个能够对砧板施加竖向锤击的振动锤,所述砧板的水平方向相对的两侧分别设有一个振动锤,且两个振动锤能够对砧板施加沿其水平直线移动方向的锤击。

[0012] 进一步地,所述振动锤包括外壳、锤击头、重锤体、弹性触发结构、球卡机构、以及伸缩动力缸,所述外壳中设有密封的容置内腔,所述锤击头安装在外壳的第一端,且一部分位于容置内腔中一部分位于外壳外,所述锤击头能够相对外壳直线运动且其运动方向为锤击方向,所述伸缩动力缸固定在外壳与第一端相对的第二端,且其活塞杆沿着锤击方向伸入到容置内腔中,所述弹性触发结构和重锤体都安装于容置内腔中,所述重锤体能够沿着锤击方向移动,且重锤体远离锤击头时会使弹性触发结构处于弹性储能状态并对重锤体施加朝向锤击头方向的弹力;所述球卡机构包括定位杆、卡座、球座、球套、第一卡球、第二卡球和复位弹簧,所述定位杆安装在容置内腔中且其轴线沿着锤击方向,所述定位杆包括靠近第一端的粗杆段和靠近第二端的细杆段,且粗杆段和细杆段的表面之间平滑过度,所述球座套装于定位杆上并与活塞杆固定连接,且球座能够在粗杆段上移动,所述球座中设有第一径向通孔,所述第一卡球位于第一径向通孔中,所述球座上还设有限位挡部,所述球套装于球座上,且球套能够相对球座沿锤击方向移动并周向锁死,所述球套中设有第二径向通孔,所述第二卡球位于第二径向通孔中,所述复位弹簧对球套施加朝向第一端的弹性力使球套抵靠限位挡部,且第二径向通孔与第一径向通孔相对准;所述卡座固定连接在重锤体上,且卡座上设有卡接部,所述卡接部在朝向定位杆的端部为卡接内侧端,所述球座和球套移动时能够从卡接内侧端和定位杆之间通过,所述卡接内侧端两侧分别设有朝向第一端的第一引导斜面 and 朝向第二端的第二引导斜面,所述卡接内侧端到沿定位杆径向到粗杆段和细杆段的距离分别为 H_1 和 H_2 ,所述第一卡球和第二卡球的直径为分别 D_1 和 D_2 , $H_1 < D_1 + D_2 \leq H_2$;所述激振机构还包括驱动伸缩动力缸伸缩运动的动力部,所述控制系统与动力部控制连接。

[0013] 进一步地,所述外壳的容置内腔位于重锤体两侧的部分相连通。

[0014] 本发明还提供一种海底地震波测试方法,采用上述的海底地震波测试设备进行,包括以下步骤:

[0015] S1、静力触探试验:贯入机构驱动探杆贯入到海床土体中,静力触探探头进行实施测量,数据采集记录仪采集静力测量数据,并传输给控制系统;

[0016] S2、地震波测试:根据静力触探试验测量数据,判断地层土的情况,并根据地层土的情况,通过步骤S21或者S22进行地震波测试;

[0017] S21、间断贯入模式:控制贯入机构暂停,使探杆停止在指定孔深位置;根据土层的地质情况,控制激振机构工作,在海床土地中产生一定频率和幅度的剪切波或压缩波,选择两个检波器的获取波初至时间点,并根据这两个检波器的距离,计算波速;

[0018] S22、连续贯入模式:控制贯入机构持续工作,使探杆持续贯入;根据土层的地质情况,控制激振机构工作,在海床土地中产生一定频率和幅度的剪切波或压缩波,选择两个检波器的获取波初至时间点,并根据这两个检波器的距离,计算波速。

[0019] 进一步地,所述步骤S21和步骤S22,当进行剪切波速度测试时,控制激振机构激发交替地产生相位相反的剪切波。

[0020] 如上所述,本发明涉及的海底地震波测试设备及方法,具有以下有益效果:

[0021] 1、将静力触探试验系统与海底地震波测试二者有机结合在一起,既能够单独也能够同时完成静力触探试验和地震波测试,测试试验灵活方便,能够省去钻孔施工时间和费用,测试试验高效、经济,检波器22与土体贴合紧密,测试数据试验可靠,

[0022] 2、在进行地震波测试时时,可以根据地层的地质情况,选择合适的地震波和检波器22,针对性好,能够有效地提升测试准确度。

[0023] 3、激振器3中的振动锤产生的动能大小固定,产生的波形重复性好,具有波形可迭加性;激振器3能够得到两组相位相反的剪切波波形,能够更好地通过波速测试仪24进行筛选,提升测试结果的精确度。

[0024] 4、既可以对土的塑性状态或密实度变化不大的地层进行连续贯入模式波速测试,也可以对土的塑性状态或密实度变化较大的地层进行间断贯入模式波速测试,两种模式选择通过系统自动判别,不需要人工干预。

[0025] 5、自动生成试验测试成果资料,可被工程地质勘察软件读取使用,无需人工录入试验成果数据,使试验测试工作实现数字化、智能化、自动化。

附图说明

[0026] 图1为本发明的海底地震波测试设备的结构示意图。

[0027] 图2为本发明中的激振器的结构示意图。

[0028] 图3为图2的前视图。

[0029] 图4为图2的俯视图。

[0030] 图5为图2的左视图。

[0031] 图6为本发明中的振动锤处于状态一的结构示意图。

[0032] 图7为本发明中的球卡机构的结构示意图。

[0033] 图8为图7中的A圈放大图。

[0034] 图9为本发明中的振动锤处于状态二的结构示意图。

[0035] 图10为本发明中的振动锤处于状态三的结构示意图。

[0036] 图11为本发明中的振动锤处于状态四的结构示意图。

[0037] 图12为本发明中的振动锤处于状态五的结构示意图。

[0038] 图13为图12中的B-B向剖视图。

- [0039] 图14为图12中的C-C向剖视图。
- [0040] 图15为本发明中的振动锤处于状态六的结构示意图。
- [0041] 附图标号说明
- | | | |
|--------|------|---------|
| [0042] | 1 | 基座 |
| [0043] | 2 | 探测机构 |
| [0044] | 21 | 探杆 |
| [0045] | 22 | 检波器 |
| [0046] | 23 | 静力触探探头 |
| [0047] | 24 | 波速测试仪 |
| [0048] | 25 | 数据采集记录仪 |
| [0049] | 3 | 激振器 |
| [0050] | 4 | 支架 |
| [0051] | 41 | 导向柱 |
| [0052] | 42 | 滑动筋板 |
| [0053] | 43 | 连接板 |
| [0054] | 44 | 连接导杆 |
| [0055] | 45 | 固定筋板 |
| [0056] | 46 | 法兰盘 |
| [0057] | 5 | 砧板 |
| [0058] | 6 | 触发杆 |
| [0059] | 61 | 圆管 |
| [0060] | 62 | 竖条板 |
| [0061] | 7 | 振动锤 |
| [0062] | 71 | 锤击头 |
| [0063] | 711 | 外击板 |
| [0064] | 712 | 内受击头 |
| [0065] | 713 | 中间杆 |
| [0066] | 72 | 外壳 |
| [0067] | 721 | 容置内腔 |
| [0068] | 73 | 重锤体 |
| [0069] | 73a | 通风孔 |
| [0070] | 74 | 伸缩动力缸 |
| [0071] | 741 | 活塞杆 |
| [0072] | 741a | 避让内孔 |
| [0073] | 75 | 球卡机构 |
| [0074] | 751 | 定位杆 |
| [0075] | 751a | 粗杆段 |
| [0076] | 751b | 细杆段 |
| [0077] | 752 | 卡座 |

[0078]	752a	卡接部
[0079]	752b	第一引导斜面
[0080]	752c	第二引导斜面
[0081]	752d	卡接内侧端
[0082]	753	球座
[0083]	753a	第一径向通孔
[0084]	753b	限位挡部
[0085]	754	球套
[0086]	754a	第二径向通孔
[0087]	755	第一卡球
[0088]	756	第二卡球
[0089]	757	复位弹簧
[0090]	758	导向杆
[0091]	76	弹性触发结构
[0092]	8	信号缆
[0093]	9	海床

具体实施方式

[0094] 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。

[0095] 须知,本说明书附图所绘的结构、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能涵盖的范围内。同时,本说明书中所引用的如“上”、“下”、“左”、“右”、“中间”等的用语,亦仅为便于叙述明了,而非用以限定本发明可实施的范围,其相对关系的改变或调整,在无实质变更技术内容下,当亦视为本发明可实施的范畴。

[0096] 参见图1至图15,本发明提供了一种海底地震波测试设备,用于在海床9上进行探测,包括基座1、探测机构2、贯入机构(附图中未示出)、激振机构、以及控制系统(附图中未示出),基座1放置于海床9上,探测机构2包括探杆21、静力触探探头23、数据采集记录仪25、波速测试仪24、以及多个检波器22,检波器22为圆柱形且同轴地安装在探杆21中,多个检波器22分别安装在探杆21的不同高度位置处,检波器22采用信号缆8与波速测试仪24通讯连接,静力触探探头23同轴地安装在探杆21底端,并采用信号缆8与数据采集记录仪25通讯连接,波速测试仪24和数据采集记录仪25都与控制系统通讯相连;贯入机构安装于基座1,能够将探杆21贯入到海床9土体中,且探杆21贯入海床9土体中时检波器22都与孔壁土体接触;激振机构固定安装在基座1上并与海床9土体接触,激振机构能够在海床9土体中产生剪切波和压缩波;控制系统分别与贯入机构和激振机构都控制相连,来控制贯入机构和激振机构的工作。

[0097] 本发明涉及的海底地震波测试设备的基本工作原理为:基座1具有一定重量,沉在

海底,放置于海床9上时能够紧压在海床9上保持稳定,作为探测机构2、贯入机构、激振机构等的安装基础,基座1的压力传递给激振机构,使激振机构与海床9紧密接触。贯入机构用于将探杆21贯入到海床9土体中,探杆21在钻孔过程中,探杆21中间的检波器22与探杆21在土中所形成的孔壁接触,同时探杆21底部的静力触探探头23获得侧壁摩阻力、锥尖阻力等参数,并实时将静力触探探头23测得的数据传输到数据采集记录仪25中,并传输到控制系统中进行存储、计算分析,完成静力触探试验。根据这些参数,可以确定地层的地质参数,不同地层土的塑性状态或密实度不同,因此,针对不同的地层的状况和技术要求,来确定地震波测试时波的频率幅度等参数,然后通过控制系统控制激振机构工作,在海床9土体中产生一定频率和幅度的地震波,包括剪切波(横波)和压缩波(纵波),并被各个检波器22接收,其中检波器22可测三个分量,分别是三维空间立体坐标轴的竖直z轴方向,水平面上x轴和y轴方向,波速测试仪24为现有成熟仪器,内含波形处理软件,将检波器22检测的地震波信号通过信号缆8同步接收,并经过带通滤波、时频滤波、初至自动拾取、初至校正等处理后,生成波形初至走时数据文件,传递存贮在相关介质上。选择两个检波器22的获取波的时间点,并根据这两个检波器22的距离,计算波速,特别地,在检波器22为三个及以上时,可根据土层情况和地震波参数,选择其中两个检波器22,使两者间距在合理范围内,能够更好地计算波速。

[0098] 本发明的海底地震波测试设备,能够独立或者同时完成静力触探试验和地震波波速的测试采集,省去钻孔施工时间和费用,提高作业效率,并且能够根据地层的地质情况选择合适的地震波检测参数,提升测量准确度。

[0099] 参见图1至图15,以下以一个具体实施例对本发明的海底地震波测试设备做进一步说明:

[0100] 在本实施例中,作为优选设计,检波器22至少为3个,针对不同的地层状况和技术要求,特别是地层土的塑性状态或密实度发生较大变化时,在计算波速时可以灵活选择合适的两个检波器22,使两者的间距、以及获取波的初至时间差在合适范围内,提升计算精确度,使用灵活。同时,还能够测量不同地层中的地震波速度情况。相邻检波器22的间距,根据地层土的塑性状态或密实度变化程度等情况确定,优选地,相邻检波器22之间在竖向方向上的间距为1.0m~2.0m。

[0101] 在本实施例中,参见图1,作为优选设计,检波器22的直径大于探杆21的直径,也即约凸出于探杆21周面,具体可采用大于42mm直径的检波器22,并且相邻检波器中位于上方的检波器22的直径尺寸大于位于下方的检波器22的直径,这样确保每件检波器22都与孔壁均紧密贴合,可有效接收土体传导的地震波。优选地,各道检波器22之间固有频率相差小于10%,灵敏度相差小于10%,相位差小于1ms;检波器22绝缘电阻 $\geq 10M\Omega$,并具有良好的防水性能,能够在海底稳定使用。

[0102] 在本实施例中,控制系统包括PLC控制器、触摸屏、交换机等仪器,PLC控制器与静力触探探头23和检波器22相连,传输交换数据信号,并且按照编写好的程序控制、驱动贯入机构和激振机构的启停和各项工作。PLC控制器也与触摸屏、交换机、电脑等进行传输交换数据信号,在触摸屏和计算机上设有交互界面,可以输入本次试验及测试的一些信息,例如项目名称、测试孔编号、坐标、检波器22编号、静力触探探头23编号、地震波参数等信息。静力触探探头23、检波器22采集的数据、故障等信号实时传输,在触摸屏、电脑上显示并存贮。

控制系统设置在海平面以上,与水下部分通过信号缆8进行通讯,海面以上的数据传输和通讯,可以采用有线或者无线方式进行。

[0103] 在本实施例中,参见图1、图2和图3,作为优选设计,激振机构包括激振器3,激振器3包括支架4、砧板5、触发杆6、以及振动锤7,支架4固定安装在基座1上,砧板5安装在支架4上,并且能够在水平方向上和竖向上直线移动,砧板5压紧在海床9土体表面上,触发杆6为多个,触发杆6安装在砧板5上且插入到海床9土体中,振动锤7安装在支架4上,砧板5的上侧设有一个能够对砧板5施加竖向锤击的振动锤7,且上侧的振动锤7能够对砧板5施加竖向的锤击,砧板5的水平方向相对的两侧分别设有一个振动锤7,且两个振动锤7能够对砧板5施加沿其水平直线移动方向的锤击。

[0104] 参见图2、图3和图4,进一步地,本实施例中的激振机构的支架4包括导向柱41、滑动筋板42、连接板43、连接导杆44、固定筋板45和法兰盘46,在本实施例中,为了方便说明,以砧板5的水平直线移动方向为左右方向,导向柱41的长度方向沿着左右方向,砧板5的左右两侧分别设置有一个振动锤7。三个振动锤7分别都固定连接在固定于导向柱41上的固定筋板45上,固定筋板45上固接有一个法兰盘46,法兰盘46通过螺栓连接在基座1上。滑动筋板42通过其上的导向孔安装在导向柱41上,能够沿着导向柱41左右直线移动,滑动筋板42下端固接连接板43,砧板5位于连接板43下方,连接导杆44为多个,连接导杆44竖向地穿过连接板43上的导向孔,其下端与砧板5固定连接,这样砧板5通过连接导杆44和连接板43上的导向孔之间的间隙配合,能够相对连接板43上下直线移动,连接导杆44上端螺接有螺母来限制砧板5相对连接板43上下移动的距离空间,并防止砧板5脱离连接板43。砧板5左侧和右侧受锤击时,能够通过连接板43和滑动筋板42沿着导向柱41左右直线移动。砧板5上表面受锤击时,能够通过连接导杆44竖向移动。在本实施例中,连接板43为两个,位于上侧的振动锤7的左右两侧,连接板43与砧板5通过多个连接导杆44连接,确保安装稳定性、以及砧板5上下移动的稳定性的。其中,导向柱41截面形状为方形,能够避免砧板5左右移动时产生前后方向的摆动晃动。

[0105] 在本实施例中,参见图2、图3和图5,砧板5下方固定连接有多个触发杆6,触发杆6具有合适长度,插入到海床9土体中深度适当,当砧板5被锤击产生左右振动时,通过触发杆6将振动力传递到土体中,能够带动土体振动产生剪切波。优选地,触发杆6包括一个圆管61、以及两个焊接在圆管61前后两侧的竖条板62,竖条板62能够增加与土体的接触面积,更加有效地将振动力传递给土体。

[0106] 在本实施例中,砧板5的材质和尺寸大小、以及触发杆6的布置间距和长度等参数,根据海床9土地的软硬、密实程度等情况确定,确保土体在激振器3的作用下有效振动。其中,砧板5为长方形,可采用木板、钢板、尼龙板等制作。

[0107] 在本实施例中,参见图6、图7和图8,作为优选设计,振动锤7包括外壳72、锤击头71、重锤体73、弹性触发结构76、球卡机构75、以及伸缩动力缸74,外壳72中设有密封的容置内腔721,避免海水进入,优选地,外壳72为圆柱形结构,沿轴线的两侧端分别记为第一端和第二端。

[0108] 参见图6,锤击头71安装在外壳72的第一端的端面板上,且一部分位于容置内腔721中一部分位于外壳72外,锤击头71能够相对外壳72直线运动且其运动方向为锤击方向。优选地,锤击头71包括位于外壳72外的外击板711、位于容置内腔721中的内受击头712、以

及连接外击板711和内受击头712的中间杆713,外击板711用于在砧板5上下浮动时使外击板711与砧板5保持有效接触面积,确保锤击效果稳定,内受击头712用于承受来自重锤体73的锤击力,中间杆713穿过外壳72并且与外壳72之间通过密封圈密封接触,中间杆713能够移动同时保证容置内腔721中的密封性。中间杆713的轴线方向为锤击方向,在本实施例中,位于圆柱形的外壳72的轴线上,当然,在其他实施例中,也可以不在外壳72的轴线上。

[0109] 参见图6,伸缩动力缸74固定在外壳72与第一端相对的第二端的端面板上,且其活塞杆741沿着锤击方向伸入到容置内腔721中,活塞杆741与圆柱形的外壳72同轴。

[0110] 参见图6,弹性触发结构76和重锤体73都安装于容置内腔721中,重锤体73能够沿着锤击方向移动,且重锤体73远离锤击头71时会使弹性触发结构76处于弹性储能状态并对重锤体73施加朝向锤击头71方向的弹力,优选地,在本实施例中,弹性触发结构76采用一个压簧,设置在容置内腔721靠近第二端处,重锤体73向第二端移动时将压簧压缩。重锤体73为圆柱形,与外壳72中圆柱形的容置内腔721同轴,且间隙配合,重锤体73沿着轴线方向移动。容置内腔721位于重锤体73两侧的部分保持连通,具体地,参见图14,在重锤体73上开设有多个沿轴线贯通的通风孔73a,这样重锤体73在移动时两侧空间的气体能够顺利流通,确保重锤体73能够自由移动,减少动能损耗。

[0111] 参见图6、图7和图8,球卡机构75用于实现活塞杆741和重锤体73的连接和断开,包括定位杆751、卡座752、球座753、球套754、第一卡球755、第二卡球756和复位弹簧757,定位杆751安装在容置内腔721且其轴线沿着锤击方向,具体与重锤体73和活塞杆741同轴,定位杆751包括靠近第一端的粗杆段751a和靠近第二端的细杆段751b,且粗杆段751a和细杆段751b的表面之间平滑过度,优选地,在活塞杆741中设有避让内孔741a,用于细杆段751b的插入,避免碰撞干涉,定位杆751朝向外壳72第一端的端部可与锤击头71连接保持固定。球座753套装于定位杆751上并与活塞杆741固定连接,且球座753能够在粗杆段751a上移动,球座753中设有第一径向通孔753a,第一卡球755位于第一径向通孔753a中,球座753上还设有有限位挡部753b,球套754装于球座753上,且球套754能够相对球座753沿锤击方向移动并周向锁死,也即球套754只能直线移动不能周向转动,球套754中设有第二径向通孔754a,第二卡球756位于第二径向通孔754a中,复位弹簧757对球套754施加朝向第一端的弹性力使球套754抵靠限位挡部753b,且第二径向通孔754a与第一径向通孔753a相对准,也即两者孔轴线重合,具体地,复位弹簧757为压簧,设置在球套754朝向外壳72第二端的一侧,两端分别伸入到球套754和活塞杆741中,复位弹簧757使球套754抵靠限位挡部753b。保证在无外力下第二径向通孔754a与第一径向通孔753a相对准。卡座752固定连接在重锤体73上,且卡座752上设有卡接部752a,卡接部752a在朝向定位杆751的端部为卡接内侧端752d,卡接内侧端752d与定位杆751表面之间具有适当间隙,允许球座753和球套754移动时能够从卡接内侧端752d和定位杆751之间通过,卡接内侧端752d两侧分别设有朝向第一端的第一引导斜面752b和朝向第二端的第二引导斜面752c,卡接内侧端752d到沿定位杆751径向到粗杆段751a和细杆段751b的距离分别为H1和H2,第一卡球755和第二卡球756的直径为分别D1和D2, $H1 < D1 + D2 \leq H2$;在本实施例中,第一径向通孔753a朝向外壳72内壁的外侧口半径小于第一卡球755的半径,第一卡球755能够凸出第一径向通孔753a一部分,又不会完全脱离出去。第一卡球755和第二卡球756优选都为钢球。

[0112] 激振机构还包括驱动伸缩动力缸74伸缩运动的动力部,控制系统与动力部控制连

接,在本实施例中,伸缩动力缸74采用油缸,此时动力部向油缸提供液压油,方便在水下工作,动力部包括泵站、液压电磁换向阀、管路等结构,动力部安装在基座1上。当然伸缩动力缸74也可以为气缸,此时动力部向气缸提供压缩气体。

[0113] 本实施例中的振动锤7的工作原理如下:在未进行锤击动作时,即初始状态下,参见图6,伸缩动力缸74处于收缩状态,球座753随活塞杆741靠近第二端,在复位弹簧757作用下,第一径向通孔753a和第二径向通孔754a对准,第一卡球755和第二卡球756位于同一直线,此时第一卡球755位于定位杆751的细杆段751b处。当需要进行锤击动作时,伸缩动力缸74的活塞杆741伸出,带动球座753和球套754向第一端移动,球座753达到粗杆段751a处,第一卡球755位于粗杆段751a表面,由于第一卡球755和第二卡球756的直径之和 $D1+D2$ 大于卡接内侧端752d到粗杆段751a表面的径向距离 $H1$,第二卡球756伸出于球套754外周面,并且会与第二引导斜面752c接触,参见图9所示状态。然后活塞杆741进一步伸出,由于卡座752随重锤体73不再向第一端移动,第二引导斜面752c对第二卡球756施加压力,该压力沿轴线朝向第二端的分力会驱使球套754克服复位弹簧757的压力而向第二端移动,参见图10所示状态,第二卡球756和第一卡球755错开,第二卡球756缩入到第二径向通孔754a中,这样球座753和球套754能够跨过卡接部752a的卡接内侧端752d,进入到第一引导斜面752b所在侧,参见图11所示状态;然后在复位弹簧757下,球套754复位到与限位部抵靠,第二卡球756回到会第一卡球755共线的位置,伸出于第二径向通孔754a,并与第一引导斜面752b抵接,参见图12所示状态,此时通过球卡机构75,活塞杆741与重锤体73建立了连接。然后伸缩动力缸74的活塞杆741收缩,带动球座753和球套754向第二端移动,第二卡球756作用于第一引导斜面752b,并且被第一卡球755限制不会向内缩,从而会对第一引导斜面752b施加推力,带动卡座752和重锤体73向第二端直线移动,弹性触发结构76(压簧)被压缩,储存能量,直到第一卡球755位于洗杆段表面处时,由于第一卡球755和第二卡球756的直径之和 $D1+D2$ 小于等于卡接内侧端752d到细杆段751b的径向距离 $H2$,因此,第二卡球756会沿着第一引导斜面752b朝向定位杆751移动,第二卡球756和第一卡球755向内缩入,第一卡球755接触细杆段751b表面,第二卡球756与第一引导斜面752b脱离,参见图15所示状态,卡座752不再受到第一卡球755的压力,此时弹性触发结构76储存了足够的弹性能,其弹力会推动卡座752和重锤体73快速向第一端移动,重锤体73对锤击头71进行击打,从而使锤击头71向外移动,实现锤击,一次锤击动作完成后,回到初始状态,参见图6所示状态。本实施例中的振动锤7,能够很好地在海水中进行工作,不受海水影响,每次锤击的力度足够且稳定,能够自动控制锤击动作。

[0114] 参见图6、图12和图13,本实施例的振动锤7中,球座753和球套754之间与多个导向杆758相配合,导向杆758固定连接在活塞杆741上,并与活塞杆741平行,球座753和球套754通过其中的导向通孔套在导向杆758上,球套754能够通过导向杆758相对球座753直线移动,同时导向杆758限制了球套754不会相对球座753周向转动,从而确保第一径向通孔753a和第二径向通孔754a不会周向错开。

[0115] 参见图12和图13,在本实施例的振动锤7中,球座753的第一径向通孔753a和球套754上的第二径向通孔754a都为三个,第一卡球755和第二卡球756也都为三个,两两一组构成三组,分别设置在一个第一径向通孔753a和第二径向通孔754a,通过三个第二卡球756,能够更好地带动卡座752和重锤体73移动。

[0116] 在本实施例的激振器3中,参见图2、图3和图4,位于砧板5左右两侧的振动锤7的锤击方向沿着左右方向,位于砧板5上侧的振动锤7的锤击方向沿着竖直方向。3个振动锤7的锤击头71与砧板5之间的间距适当。由于左右两侧的振动锤7结构相同,可以保证每次锤击的动能相同,产生的波形重复性好,在进行剪切波测量时,通过左右两侧的振动锤7交替锤击砧板5,每次锤击的时间间隔相同,能够得到两组相位相反的剪切波波形,由于产生剪切波时会混杂其他的波,通过两组相位相反的剪切波波形,能够更好地通过波速测试仪24进行筛选,确保计算是直接采用剪切波进行计算,提升测试结果的精确度。

[0117] 本发明还提供了一种海底地震波测试方法,采用上述的海底地震波测试设备进行,包括以步骤:

[0118] S1、静力触探试验:贯入机构驱动探杆21贯入到海床9土体中,静力触探探头23进行实施测量,数据采集记录仪25采集静力触探试验测量数据,并传输给控制系统。其中,静力触探探头23优选以2cm/s的速率贯入地层中。

[0119] S2、地震波测试:根据静力测量数据,判断土层土的情况,包括土地层土的塑性状态或密实度、强度等地质情况,并根据土层的情况,通过步骤S21或者S22进行地震波测试:

[0120] S21、间断贯入模式:控制贯入机构停止,使探杆21暂停在指定孔深位置;根据土层的情况,控制激振机构工作,在海床9土体中产生一定频率和幅度的剪切波或压缩波,选择两个检波器22获取波的初至时间点,并根据这两个检波器22的距离,计算波速。由于海床9土体随着深度增加,针对不同塑性状态或密实度的土层,为提高复杂地层波速测试的分辨率,特别是土层的塑性状态或密实度发生较大变化时,确保测试结果的准确性,采用间断贯入模式进行地震波测试。采用该模式进行工作时,完成一次地震波测试工作后,继续进行静力触探试验,静力触探探头开始接续贯入,然后再进行地震波测试,静力触探试验和地震波测试交替进行,直至达到设计孔深或结束标准。

[0121] S22、连续贯入模式:控制贯入机构持续工作,使探杆21持续贯入;根据土层土的情况,控制激振机构工作,在海床9土体中产生一定频率和幅度的剪切波或压缩波,选择两个检波器22获取波的时间点,并根据这两个检波器22的距离,计算波速。该模式用于试验测试地层简单、单一的情况,工作简单高效。

[0122] 针对不同的地层状况和技术要求,特别是地层土的状态或密实度发生较大变化时,检波器22所处位置、以及地震波的频率幅度都会影响到检测效果,因此,根据土层的情况,针对性地选择两个间距合适的检波器22,以及控制激振机构产生合适的地震波,能够有效地提升地震波测试的准确度。

[0123] 在上述步骤S21和S22中,地震波的测试包括剪切波和压缩波的测试,进行剪切波测试时,控制激振机构激发交替地产生频率相同相位相反的剪切波,具体地,参见图2和图3,控制砧板5水平方向左右两侧的振动锤7交替锤击砧板5,且每次锤击的时间间隔相同,得到两组相位相反的剪切波波形,能够更好地通过波速测试仪24进行筛选,确保计算是直接采用剪切波进行计算,提升测试结果的精确度。进行压缩波测试时,控制砧板5上侧的振动锤7安装一定频率锤击砧板5,产生压缩波。

[0124] 本发明的海底地震波测试方法,可通过设计好相应的控制程序,通过控制系统控制整个工作的自动运行,间断贯入模式和连续贯入模式的判断条件在控制系统中设置好,控制系统依据传来的静力触探试验测量数据,自动判别进入间断贯入模式或连续贯入模

式,使贯入机构持续工作或者暂停工作,并控制激振机构产生相应参数的地震波。地震波测试的相关波速计算也在控制系统中自动进行。

[0125] 本发明中,地震波测试的相关波速参数计算如下:

[0126] (1) 剪切波波速计算公式:

$$[0127] \quad v_s = \frac{S_1}{(T_{x1} - T_{x2})}$$

[0128] 式中: v_s 为剪切波(横波)波速(km/s); S_n 为两个检波器22之间距离(m); T_{x1} 和 T_{x2} 分别为两个检波器22拾取剪切波(横波)波形初至时间(ms)。

[0129] (2) 纵波波速计算公式:

$$[0130] \quad v_p = \frac{S_n}{(T_{z1} - T_{z2})}$$

[0131] 式中: v_p 为压缩波(纵波)波速(km/s); S_n 为两个检波器22之间距离(m);

[0132] T_{z1} 和 T_{z2} 分别为两个检波器22拾取压缩波(纵波)波形初至时间(ms)。

[0133] (3) 动泊松比 μ_d 计算公式:

$$[0134] \quad \mu_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

[0135] 式中: v_p 为压缩波(纵波)波速(km/s), v_s 为剪切波(横波)波速(km/s)。

[0136] (3) 动剪切模量 G_d 计算公式:

$$[0137] \quad G_d = \rho V_s^2$$

[0138] 式中: v_s 为岩土体剪切波(横波)波速(km/s), ρ 为岩土体密度(kg/m³), G_d 为剪切模量(MPa)。

[0139] (5) 动弹模量 E_d 计算公式:

$$[0140] \quad E_d = V_p^2 \cdot \rho \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu}$$

$$[0141] \quad E_d = 2(1+\mu)\rho V_s^2$$

[0142] 式中: E_d 为动弹模量(MPa); v_p 为压缩波(纵波)波速(km/s); v_s 为剪切波(横波)波速(km/s); ρ 为岩土体密度(kg/m³); μ 为泊松比。

[0143] (6) 动体变模量 T_d 计算公式:

$$[0144] \quad T_d = \rho(V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2)$$

[0145] 式中: v_p 为压缩波(纵波)波速(km/s), v_s 为剪切波(横)波速(km/s); T_d 为动体变模量(MPa), ρ 为岩土体密度(kg/m³)。

[0146] 在静力触探试验和地震波测试过程中,探测机构2将每一回次试验测试的数据实时记录并存储于单回次文件中,单回次文件名随试验深度增加而自动增加序号,全孔测试完成后,单回次文件经软件处理后生成全孔的静力触探试验成果文件和地震波测试成果文件,可被工程地质勘察软件读取并自动绘制在试验测试孔柱状图、地质剖面图中。在本发明中,贯入机构可以采用现有合适结构,能够探杆21贯入到土体中即可,优选地,还可以使探杆21移动到不同位置处,再进行贯入操作。

[0147] 本发明的海底地震波测试设备及方法,具有以下有益效果:

[0148] 1、将静力触探试验系统与海底地震波测试二者有机结合在一起,既能够单独也能够同时完成静力触探试验和地震波测试,测试试验灵活方便,能够节约钻孔施工时间和费用,测试试验高效、经济,检波器22与土体贴合紧密,测试数据试验可靠。

[0149] 2、在进行地震波测试时时,可以根据地层情况,选择合适的地震波和检波器22,针对性好,能够有效地提升测试准确度。

[0150] 3、激振器3中的振动锤产生的动能大小固定,产生的波形重复性好,具有波形可选加性;激振器3能够得到两组相位相反的剪切波波形,能够更好地通过波速测试仪24进行筛选,提升测试结果的精确度。

[0151] 4、既可以对状态或密实度变化不大的地层进行连续贯入模式波速测试,也可以对状态或密实度变化较大的地层进行间断贯入模式波速测试,两种模式选择通过系统自动判别,不需要人工干预。

[0152] 5、自动生成试验测试成果资料,可被工程地质勘察软件读取使用,无需人工录入试验成果数据,使试验测试工作实现数字化、智能化、自动化。

[0153] 综上所述,本发明有效克服了现有技术中的种种缺点而具有高度产业利用价值。

[0154] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

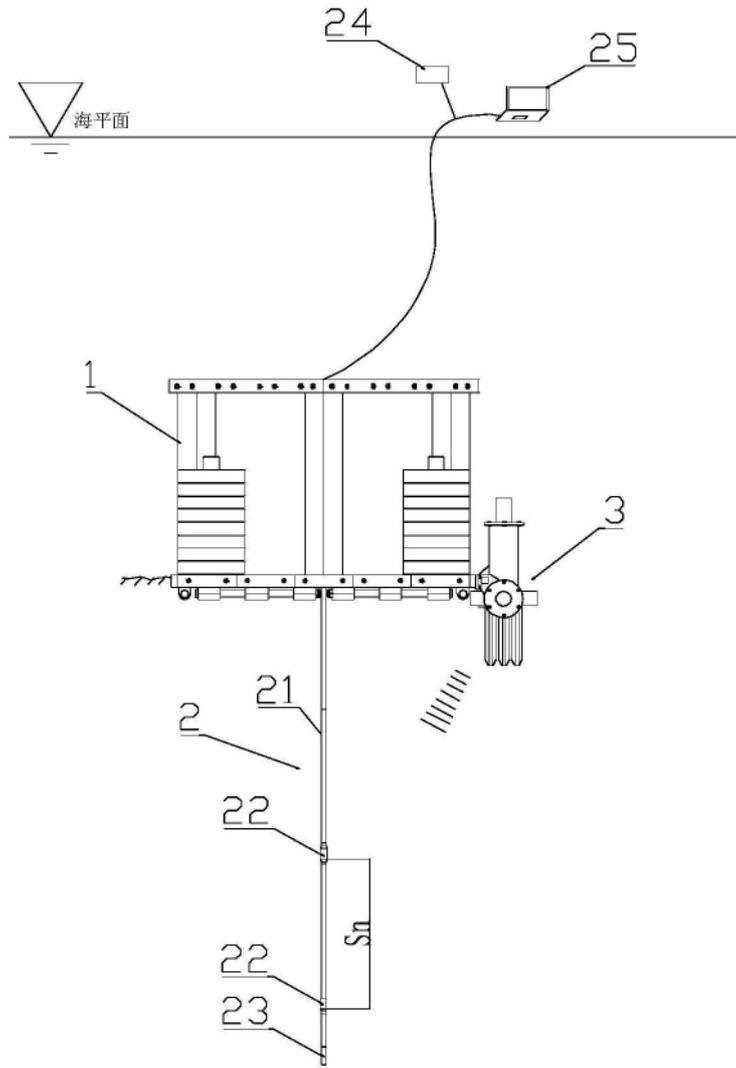


图1

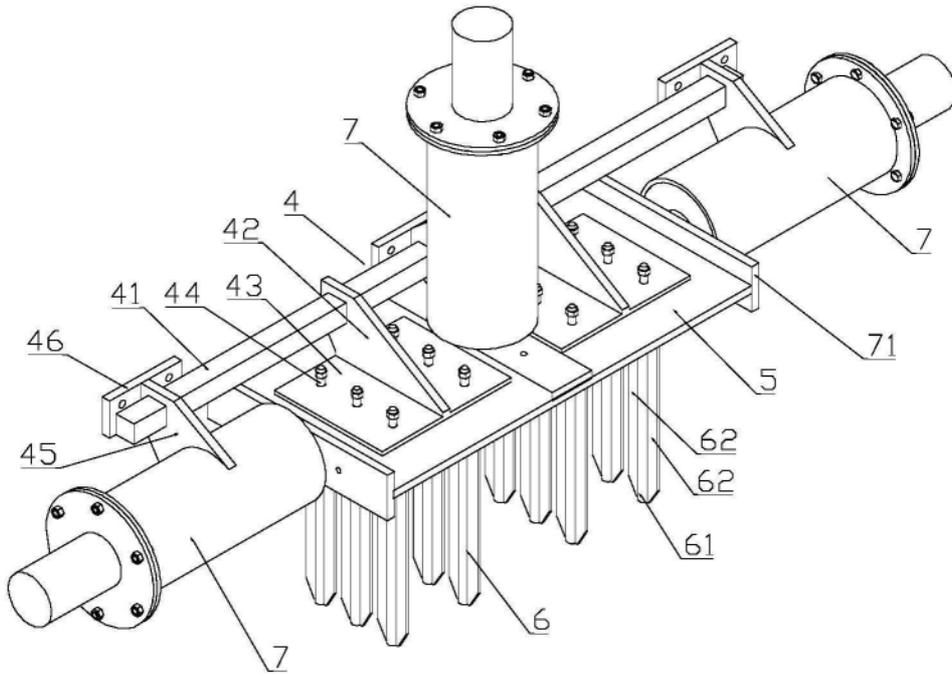


图2

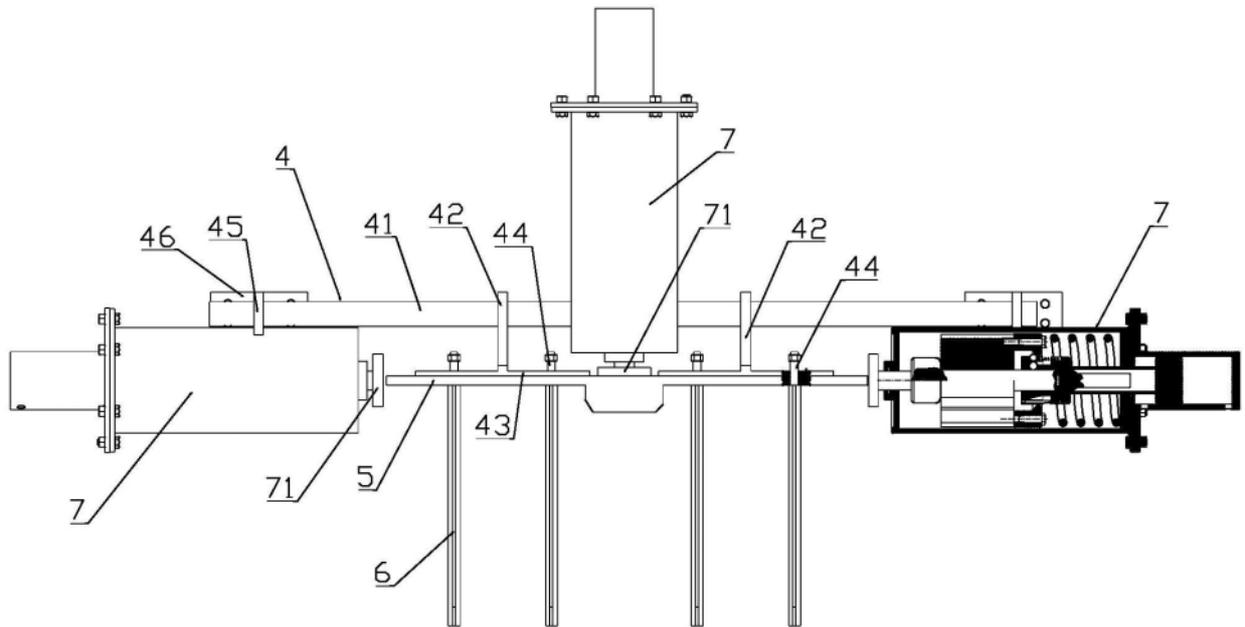


图3

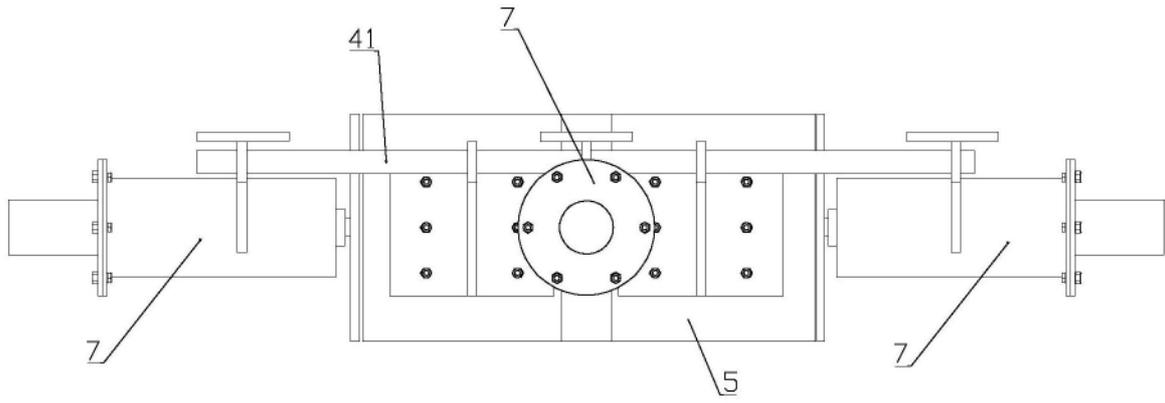


图4

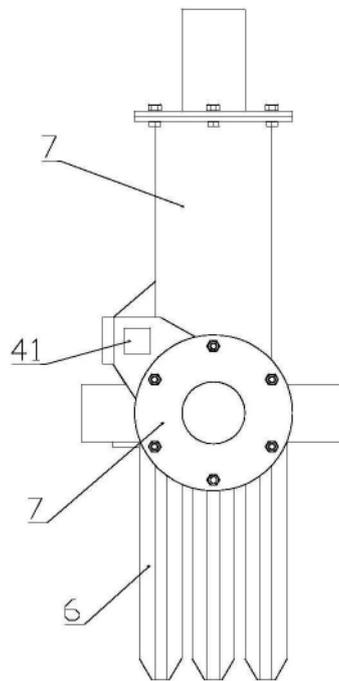


图5

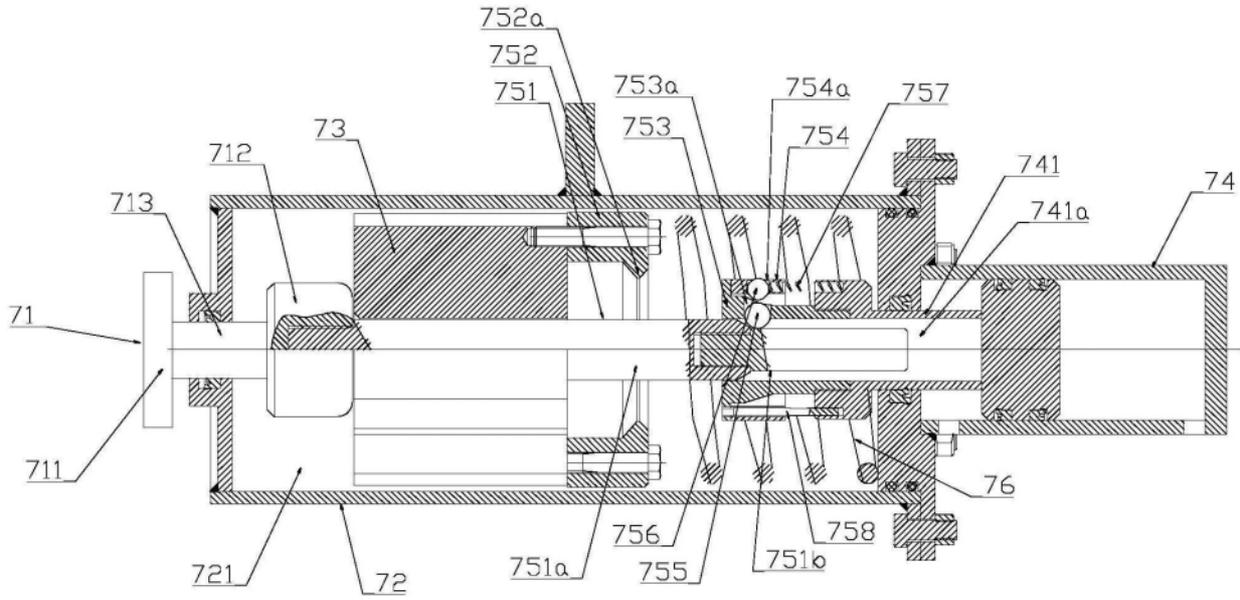


图6

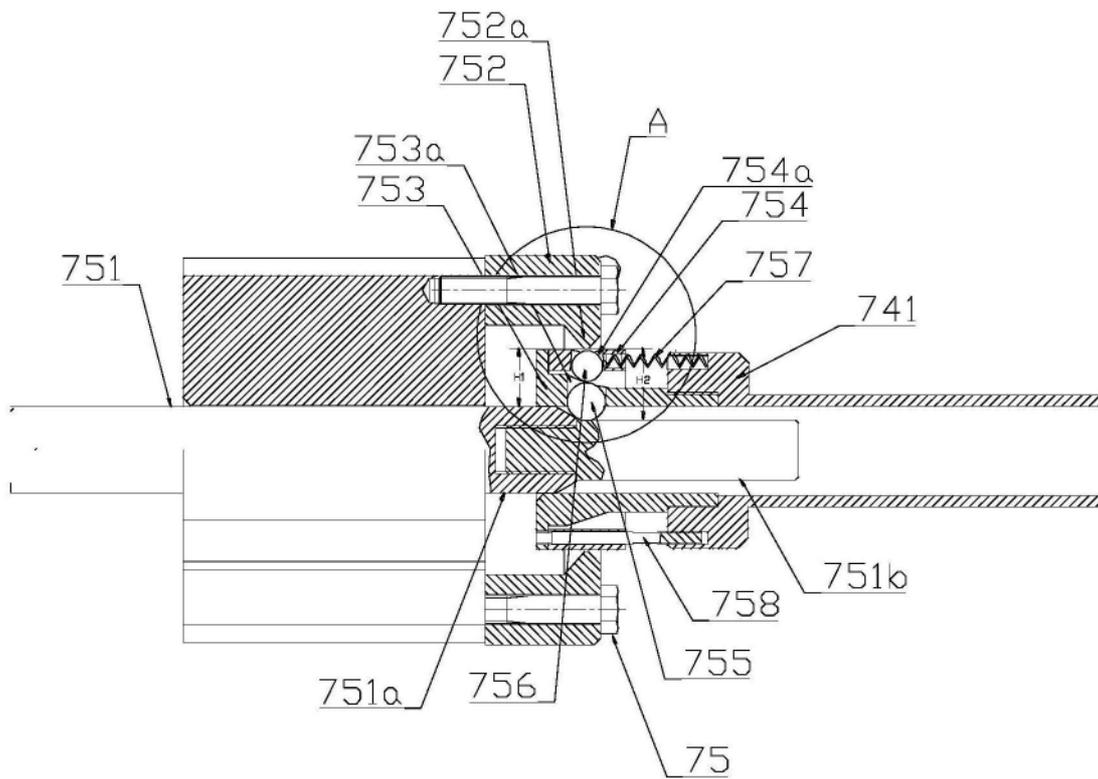


图7

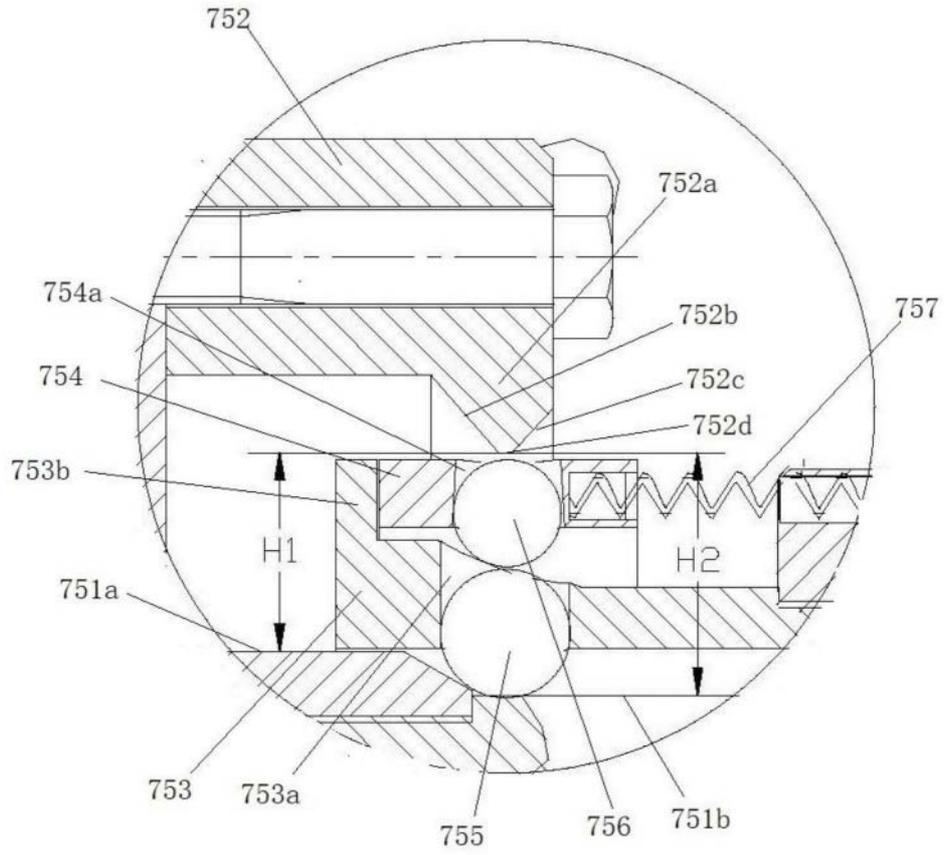


图8

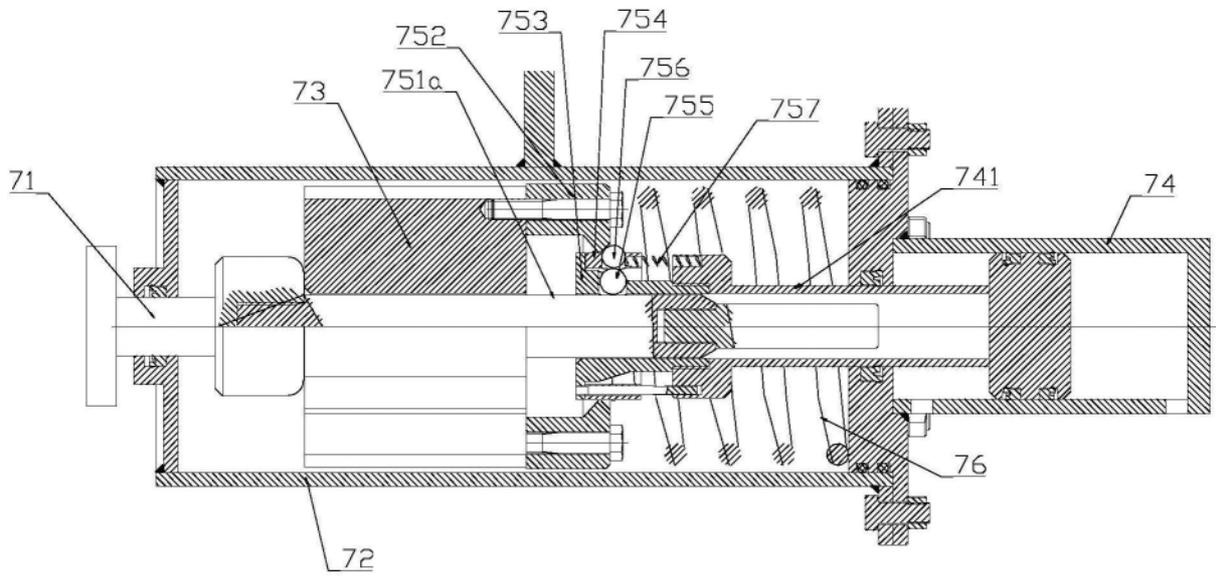


图9

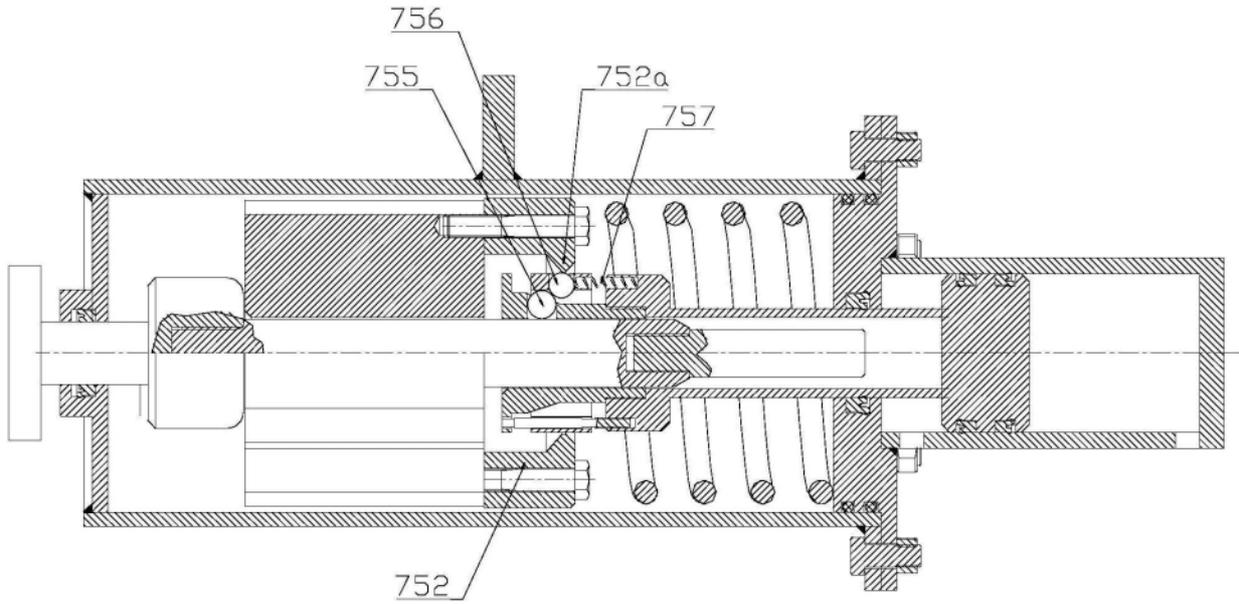


图10

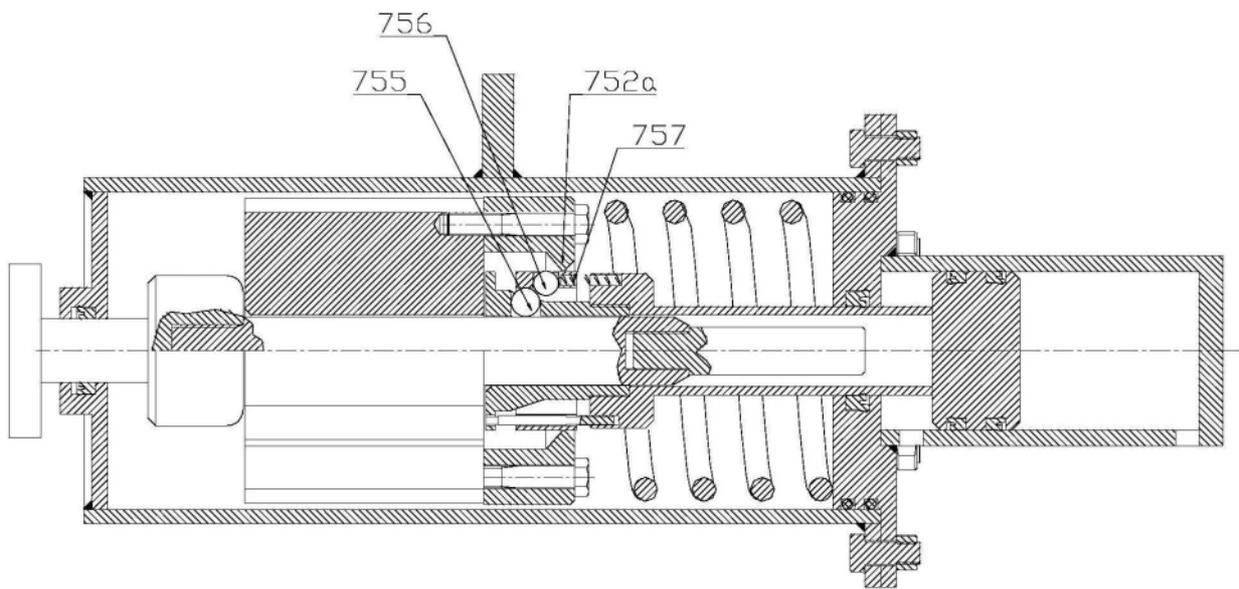


图11

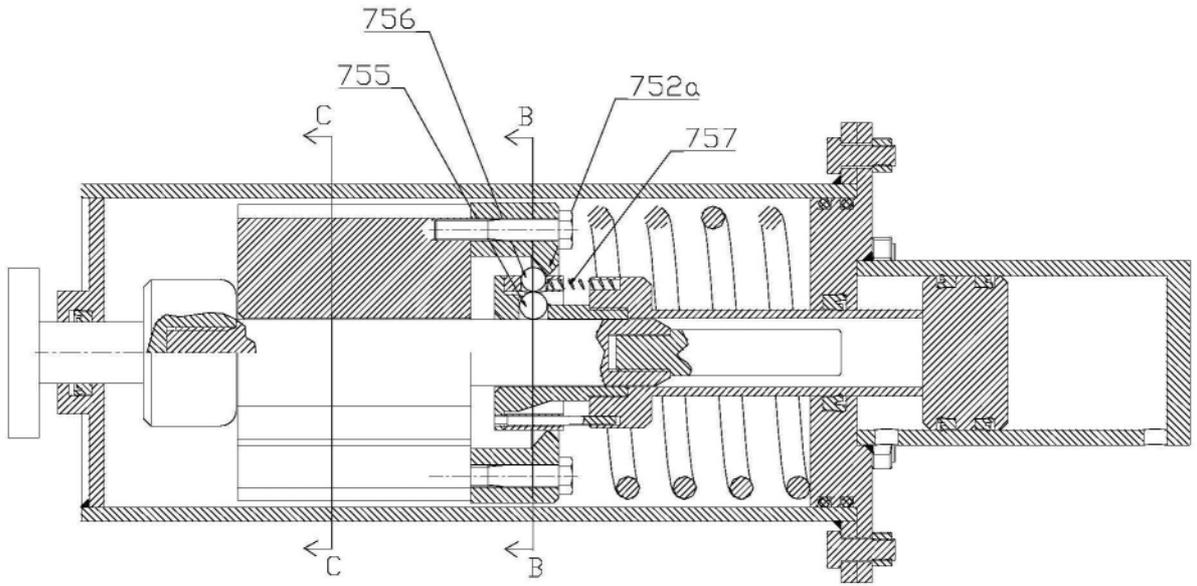


图12

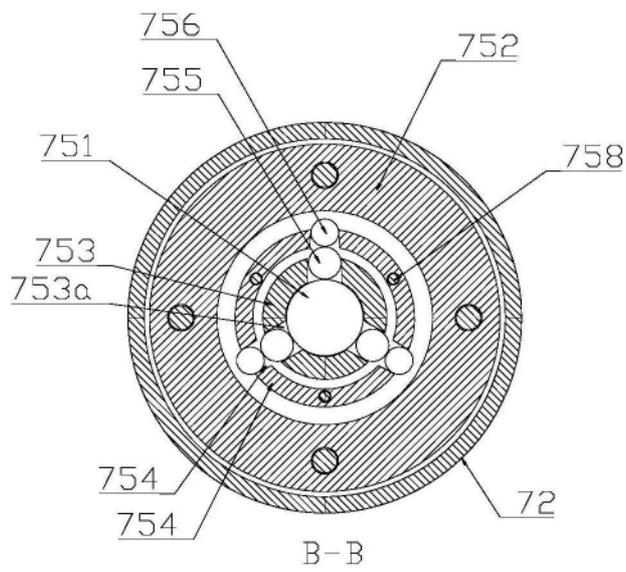


图13

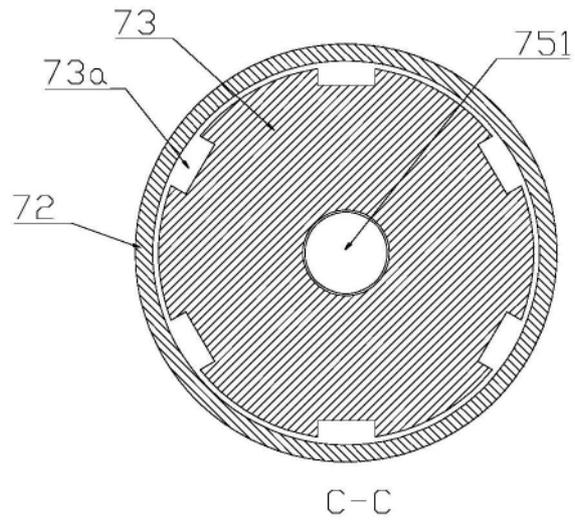


图14

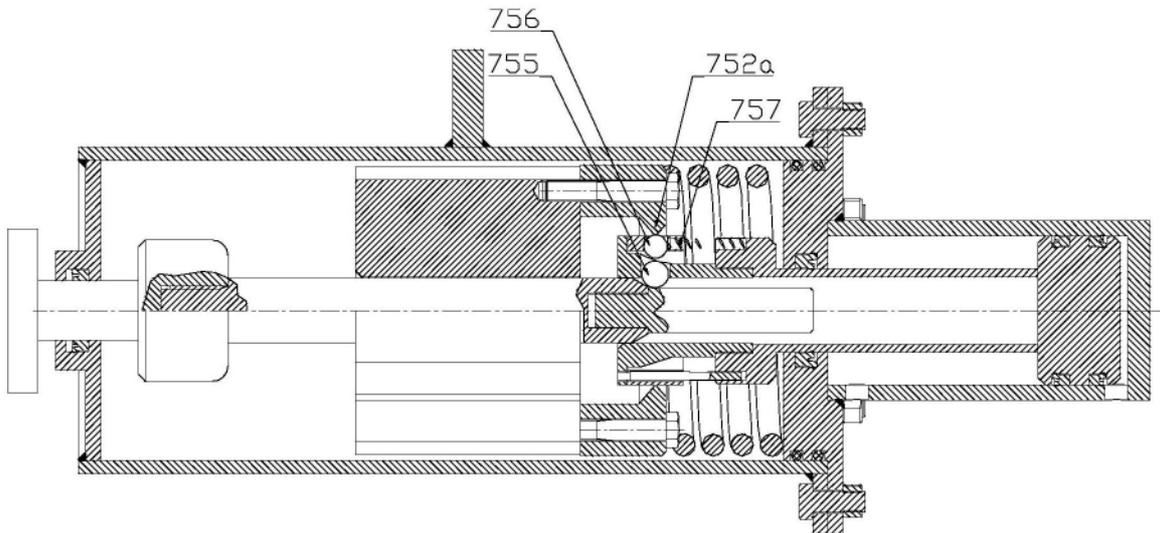


图15