



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104727354 B

(45) 授权公告日 2016. 06. 08

(21) 申请号 201510086665. 3

(22) 申请日 2015. 02. 25

(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 胡存 高福平 汪宁

(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 胡剑辉

(51) Int. Cl.

E02D 33/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 104155190 A, 2014. 11. 19, 全文.

KR 10-1207199 B1, 2012. 12. 03, 全文.

CN 201707197 U, 2011. 01. 12, 全文.

CN 104075866 A, 2014. 10. 01, 全文.

审查员 余海娇

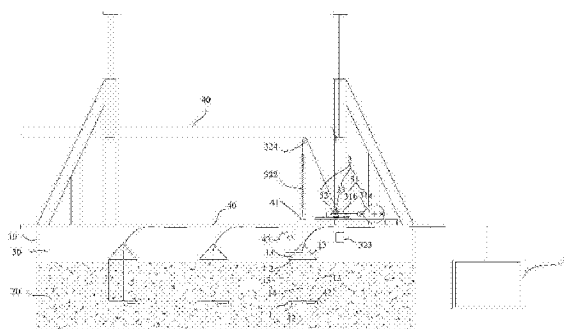
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统

(57) 摘要

本发明提供一种模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,包括:板锚模型、用于将板锚模型的锚脰限定为垂直于床面移动的十字支撑架、循环载荷加载装置和测量装置;循环载荷加载装置用于向锚脰施加循环载荷,包括将电机输入的匀速转动转换为模拟正弦的往复转动的传动装置、将往复转动转化为指定常荷载与模拟正弦荷载叠加的循环荷载位移荷载转化装置和用于根据板锚模型的位移调整绳索的长度,使循环载荷的幅值不因多周期的累积板锚模型位移而发生衰减的位移修正装置。本方案能有效控制循环载荷的幅值、获得循环拉拔过程中板锚周围土体的孔隙水压,直接观测板锚及其周围土体的破坏过程,对循环载荷下板锚的极限承载性能进行合理评估。



1. 一种模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,其特征在于,包括:

板锚模型,包括上面板、下面板、锚脰,其中所述上面板与下面板之间可拆卸连接;所述上面板和下面板埋设于床面下;

用于将所述板锚模型限定为垂直于所述床面移动的十字支撑架,固定在土槽上,所述锚脰连接上面板与所述十字支撑架;

循环载荷加载装置,用于向露出所述床面上方的水面的所述锚脰施加循环载荷,包括:传动装置,将电机输入的匀速转动转换为模拟正弦的往复转动;输入端与电机主轴连接,输出端与位移载荷转化装置连接;

所述位移载荷转化装置,将上述往复转动转化为指定常荷载与模拟正弦荷载叠加的循环荷载;包括线筒、加载弹簧以及配重块;所述线筒中心轴与所述传动装置输出端连接;所述配重块通过绳索绕设在线筒上;所述加载弹簧一端通过绳索绕设在所述线筒上,另一端连接在所述锚脰上;

位移修正装置,用于根据所述板锚模型的位移调整绳索的长度,使得循环载荷不因多周期的累积板锚模型位移而发生衰减;包括单向轴承,所述线筒包括所述线筒中心轴和套设于所述线筒中心轴上的外筒,所述单向轴承设置在所述线筒中心轴与外筒之间;

测量装置,包括用于测量施加在所述板锚模型上循环载荷拉力的拉力传感器、用于测量所述板锚模型在垂直床面方向位移的激光位移传感器、用于测量所述板锚模型在循环载荷下上面板与下面板之间孔隙压力变化的孔压传感器和用于对上述传感器的工作进行同步触发和采集传输的多通道数据同步采集系统。

2. 根据权利要求1所述的模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,其特征在于,所述传动装置包括第一传动装置和第二传动装置,其中,所述第一传动装置将输入的匀速转动转换为往复平动;第二传动装置将输入的往复平动转换为往复转动。

3. 根据权利要求2所述的模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,其特征在于:

所述第一传动装置包括曲柄盘、连杆和滑块;

所述曲柄盘中心与所述电机主轴固定连接;

所述曲柄盘上设置有至少一个轴孔;

所述连杆一端与所述第二传动装置输入端铰接,另一端与所述轴孔铰接;

所述滑块固定在所述第二传动装置输入端;

在固定于土槽的机架上设有水平直线导轨,所述滑块能在所述水平直线导轨上滑动。

4. 根据权利要求3所述的模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,其特征在于:

所述第二传动装置包括齿条和齿轮;

所述齿条一端与所述连杆一端连接,所述齿条与所述齿轮啮合;

所述齿轮的中心轴与所述线筒中心轴传动连接或固定连接;

所述滑块底部具有与所述水平直线导轨配合的滑槽,所述滑块顶部与所述齿条底部连接。

5. 根据权利要求4所述的模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,其特征在于:连接在所述线筒与加载弹簧之间的绳索缠绕在至少一个定滑轮上。

6. 根据权利要求5所述的模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,其特征在于:所述拉力传感器设置在连接所述加载弹簧与板锚之间的绳索上;

所述激光位移传感器设置在所述土槽上；

所述孔压传感器设置在所述上面板与下面板之间。

7. 根据权利要求1-6任一所述的模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,其特征在于:

还包括供所述传感器穿线的引线柱;引线柱设置在所述上面板上;

所述十字支撑架包括立管和呈十字交叉设置在所述立管周围的十字架,所述引线柱设于所述立管内,且与所述立管之间具有间隙;

所述锚脰穿过所述上面板的四个角分别与所述十字架的四个端点连接后均连接在所述循环载荷加载装置上。

模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统

技术领域

[0001] 本发明涉及海洋工程技术、海洋土力学及海洋基础工程技术,尤其是一种模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统。

背景技术

[0002] 板锚作为一种新型深海工程结构的系泊基础(包括拖曳式板锚、新型法向承力锚、吸力贯入式板锚),需嵌入海床土中一定深度以提供抗拔承载性能。其承载力可以达到锚自身重量的100倍以上,同时具有材料省、易操作、易存储、可回收和重复使用等优点,在大型浮式海洋平台、浮式海上风电场等的系泊定位上受到广泛关注。

[0003] 由于处于海洋环境条件极其复杂和恶劣的海域,板锚及其周围的海洋土不可避免地会直接或间接地受到由风、浪、流等导致的循环拉拔作用。海洋土在循环载荷作用下,其动力特性将会产生一系列的演变,势必会引起板锚的承载性能的巨大变化。因此,板锚在循环载荷下的极限承载性能将决定着板锚的设计及其整个寿命过程。

[0004] 对循环载荷下极限承载性能的合理评估,需要对板锚的循环拉拔过程进行合理模拟,以期获得板锚及其周围海洋土的动力响应。目前针对板锚循环承载特性的试验研究,仅有少量常规模型试验和离心机试验,且存在以下关键性问题:(1)循环载荷的幅值难以维持恒定;(2)难以获得循环拉拔过程中板锚周围土体的孔隙水压;(3)板锚及其周围土体的破坏过程无法直接观测等。

发明内容

[0005] 本发明提供一种模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,用于克服现有技术中的缺陷,有效控制循环载荷的幅值、获得循环拉拔过程中板锚周围土体的孔隙水压,直接观测板锚及其周围土体的破坏过程,对循环载荷下板锚的极限承载性能进行合理评估。

[0006] 本发明提供一种模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,包括:

[0007] 板锚模型,包括上面板、下面板、锚脰,其中所述上面板与下面板之间可拆卸连接;所述上面板和下面板埋设于床面下;

[0008] 用于将所述板锚模型的锚脰限定为垂直于所述床面移动的十字支撑架,固定在土槽上,所述锚脰连接上面板与所述十字支撑架;

[0009] 循环载荷加载装置,用于向露出所述床面上方的水面的所述锚脰施加循环载荷,包括:

[0010] 传动装置,将电机输入的匀速转动转换为模拟正弦的往复转动;输入端与电机主轴连接,输出端与位移载荷转化装置连接;

[0011] 所述位移载荷转化装置,将上述往复转动转化为指定常荷载与模拟正弦荷载叠加的循环荷载;包括线筒、加载弹簧以及配重块;所述线筒中心轴与所述传动装置输出端连接;所述配重块通过绳索绕设在线筒上;所述加载弹簧一端通过绳索绕设在所述线筒上,另一端连接在所述锚脰上;

[0012] 位移修正装置,用于根据所述板锚模型的位移调整绳索的长度,使得循环载荷不因多周期的累积板锚模型位移而发生衰减;包括单向轴承,所述线筒包括所述线筒中心轴和套设于所述线筒中心轴上的外筒,所述单向轴承设置在所述线筒中心轴与外筒之间;

[0013] 测量装置,包括用于测量施加在所述板锚模型上循环载荷拉力的拉力传感器、用于测量所述板锚模型在垂直床面方向位移的激光位移传感器、用于测量所述板锚模型在循环载荷下上面板与下面板之间孔隙压力变化的孔压传感器和用于对上述传感器的工作进行同步触发和采集传输的多通道数据同步采集系统。

[0014] 其中,所述传动装置包括第一传动装置和第二传动装置,其中,所述第一传动装置将输入的匀速转动转换为往复平动;第二传动装置将输入的往复平动转换为往复转动。

[0015] 进一步地:

[0016] 所述第一传动装置包括曲柄盘、连杆和滑块;

[0017] 所述曲柄盘中心与所述电机主轴固定连接;

[0018] 所述曲柄盘上设置有至少一个轴孔;

[0019] 所述连杆一端与所述第二传动装置输入端铰接,另一端与所述轴孔铰接;

[0020] 所述滑块固定在所述第二传动装置输入端;

[0021] 在固定于土槽的机架上设有水平直线导轨,所述滑块能在所述水平直线导轨上滑动。

[0022] 更进一步地:

[0023] 所述第二传动装置包括齿条和齿轮;

[0024] 所述齿条一端与所述连杆一端连接,所述齿条与所述齿轮啮合;

[0025] 所述齿轮的中心轴与所述线筒中心轴传动连接或固定连接;

[0026] 所述滑块底部具有与所述水平直线导轨配合的滑槽,所述滑块顶部与所述齿条底部连接。

[0027] 特别是:

[0028] 连接在所述线筒与加载弹簧之间的绳索缠绕在至少一个定滑轮上。

[0029] 其中:

[0030] 所述拉力传感器设置在连接所述加载弹簧与板锚之间的绳索上;

[0031] 所述激光位移传感器设置在所述土槽上;

[0032] 所述孔压传感器设置在所述上面板与下面板之间。

[0033] 特别是:

[0034] 还包括供所述传感器穿线的引线柱;引线柱设置在所述上面板上;

[0035] 所述十字支撑架包括立管和呈十字交叉设置在所述立管周围的十字架,所述引线柱设于所述立管内,且与所述立管之间具有间隙;

[0036] 所述锚脰穿过所述上面板的四个角分别与所述十字架的四个端点连接后均连接在所述循环载荷加载装置上。

[0037] 本发明提供的模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,通过循环载荷加载装置可实现对给定埋深的板锚模型,施加给定大小预张力以及可控载荷幅值和频率的循环加载,模拟循环拉拔过程中的板锚与土体动力相互作用并确定板锚的动极限承载力,相对于现有技术,能有效控制循环载荷的幅值、获得循环拉拔过程中板锚周围土体的孔隙水压,

便于直接观测板锚及其周围土体的破坏过程,对循环载荷下板锚的极限承载性能进行合理评估。

附图说明

[0038] 图1为本发明实施例的模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统的主视图;

[0039] 图2为图1的俯视图;

[0040] 图3为本发明实施例中循环载荷加载装置的主视图;

[0041] 图4为图3的俯视图;

[0042] 图5为本发明实施例中板锚模型的剖视图;

[0043] 图6为本发明实施例中上面板的俯视图;

[0044] 图7为图6中沿A-A向剖视图;

[0045] 图8为本发明实施例中下面板的俯视图;

[0046] 图9为图6中沿B-B向剖视图。

具体实施方式

[0047] 如图1-9所示,本发明实施例提供一种模拟循环载荷下板锚极限动承载力的测试系统,包括:板锚模型1、用于将板锚模型的锚脰限定为垂直于床面移动的十字支撑架2、循环载荷加载装置3和测量装置;

[0048] 参见图5-9,板锚模型1,包括上面板11、下面板12、锚脰13,其中上面板11与下面板12之间可拆卸连接;上面板11和下面板12埋设于床面20下;

[0049] 参见图1、图2,用于将板锚模型限定为垂直于床面20移动的十字支撑架2,固定在土槽10上,锚脰13连接上面板11与十字支撑架2;

[0050] 参见图3、图4,循环载荷加载装置3,用于向露出床面20上方的水面30的锚脰13施加循环载荷,包括传动装置31、位移载荷转化装置32和位移修正装置33;

[0051] 传动装置31,将电机31c输入的匀速转动转换为模拟正弦的往复转动;输入端与电机31c主轴连接,输出端与位移载荷转化装置32连接;包括能实现将匀速转动转换为直线往复运动的所有机械机构;

[0052] 传动装置31包括第一传动装置31a和第二传动装置31b,其中,第一传动装置31a将输入的匀速转动转换为往复平动;第二传动装置31b将输入的往复平动转换为往复转动;例如连接机构;第二传动装置将输入的恒定周期的往复平动转换为恒定周期的往复转动;

[0053] 作为第一传动装置的优选方案,第一传动装置31a包括曲柄盘311a、连杆312a和滑块313a;曲柄盘中心E与电机31c主轴固定连接;曲柄盘311a上设置有至少一个轴孔311b;连杆312a一端与第二传动装置31b输入端铰接,另一端与轴孔311b铰接;滑块313a固定在第二传动装置31b输入端;在固定于土槽10的机架40上设有水平直线导轨50,滑块313a能在水平直线导轨50上滑动。

[0054] 作为第二传动装置的优选方案,第二传动装置31b包括齿条311c和齿轮312b;齿条311c一端与连杆312a一端连接,齿条311c与齿轮312b啮合;齿轮312b的中心轴与线筒321中心轴传动连接或固定连接;滑块313a底部具有与水平直线导轨50配合的滑槽,滑块313a顶部与齿条311c底部连接;连杆312a通过一连接件313与齿条311c连接,连接件313一端与连

杆312a铰接,另一端与齿条311c固定连接;

[0055] 电机31c为可调速步进电机,提供可调频率的动力载荷为整个加载系统提供动力。第一传动装置构成曲柄滑块机构,可将电机31c的匀速转动转化为恒定周期的往复平动。第二传动装置为齿轮齿条机构,将往复平动转化为往复转动。工作中,电机31c的转动周期与循环载荷周期相等,可实现对循环加载周期的定量调节。曲柄盘311a含多个轴孔311b,与连杆312a连接,通过孔心距调节往复运动的行程。传动部件在连接部分安装转动轴承以减小传动损耗,轴与轴承非过盈配合以方便拆装,可迅速更换曲柄盘的轴孔。水平直线导轨50与齿条311c固定,用于约束齿条311c的转动与竖直方向上的位移,同时使齿条311c沿水平方向无阻力滑动。

[0056] 位移载荷转化装置32,将上述往复转动转化为指定常荷载与模拟正弦荷载叠加的循环荷载;包括线筒321、加载弹簧322以及配重块323;线筒321中心轴与传动装置输出端(这里是齿轮312b的中心轴)连接;配重块323通过绳索绕设在线筒321上;加载弹簧322一端通过绳索绕设在线筒321上,另一端连接在锚脰13上;

[0057] 第二传动装置31b将曲柄盘311a的匀速转动通过连杆312a和水平直线导轨50转换为齿条311c的正弦式的往复平动;该往复平动则通过齿轮312b转化为与齿轮312b中心轴传动连接的线筒321的往复转动;线筒321经由系缆连接加载弹簧322,实现对板锚模型的循环加载。齿条311c的运动行程的调节可通过改变曲柄盘311a与连杆312a的连接轴孔311b孔位予以实现,每一次往复运动实现了对板锚的一个加载循环;

[0058] 位移修正装置33,用于根据板锚模型1的位移调整绳索的长度,使得循环荷载不因多周期的累积板锚模型位移而发生衰减;包括单向轴承331,线筒中心轴与齿轮中心轴在本实施例中为一体设置;线筒321包括线筒中心轴321a和套设于线筒中心轴321a上的外筒321b,单向轴承331设置在线筒中心轴321a与321b外筒之间;作为连接方式的扩展,线筒中心轴与齿轮中心轴可以固定连接,还可以通过键或其它配件传动连接,在此均不做限定,只要满足能将齿轮的转动转矩传递给线筒即可。

[0059] 线筒内、外轴的设计可对模型管道沿加载方向产生的位移进行自动修正,以消除多次循环后可能产生的弹簧松弛问题。

[0060] 线筒外轴即外筒321b上缠绕两股绳索,分别连接加载弹簧322和配重块323。加/卸载过程中,线筒中心轴带动外筒321b往复转动。进一步的,外筒321b带动加载弹簧322,将往复转动通过加载弹簧322的张弛转化为循环荷载,并作用在加载对象板锚模型1上。通过改变配重块323可定量调整常荷载分量的大小;通过改变加载弹簧322的劲度系数,可定量调整正弦荷载分量的幅值;

[0061] 如图3所示,线筒中心轴与齿轮固定,工作中随齿轮作往复转动。根据线筒内外轴的传动特点,当板锚模型沿加载方向出现位移时,在卸载过程刚开始状态,外筒跟随线筒中心轴转动,并在随后的一时刻停止转动,该机构将在配重块的作用下自动回收与该位移相等长度的牵引索,以防止该位移造成的加载弹簧的松弛累积到下一循环。在单向轴承的作用下,外筒只能相对线筒中心轴顺时针转动,反方向即逆时针方向则制动。

[0062] 位移载荷转化装置将线筒的往复转动转化为指定常荷载与近似正弦荷载叠加的循环荷载,并输出给加载对象。利用配重块自身重力平衡消除板锚在循环加载过程中产生的位移,维持循环荷载幅值的恒定。

[0063] 测量装置,包括用于测量施加在板锚模型1上循环载荷拉力的拉力传感器41、用于测量板锚模型在垂直床面20方向位移的激光位移传感器42、用于测量板锚模型1在循环载荷下上面板11与下面板12之间孔隙压力变化的孔压传感器43和用于对上述传感器的工作进行同步触发和采集传输的多通道数据同步采集系统44;拉力传感器41设置在连接加载弹簧322与板锚模型1之间的绳索上;激光位移传感器42设置在固定于土槽的机架40上;孔压传感器43设置在上面板11与下面板12之间。

[0064] 上面板11上设置有供传感器(包括拉力传感器41、激光位移传感器42和孔压传感器43)穿线的引线柱14;十字支撑架2包括立管22和呈十字交叉设置在立管22周围的十字架21,引线柱14穿设于立管22内,且与立管22之间具有间隙;锚脰13穿过上面板11的四个角分别与十字架21的四个端点连接后汇聚于一起连接在循环载荷加载装置3上;

[0065] 连接在线筒321与加载弹簧322之间的绳索缠绕在至少一个定滑轮324上。定滑轮324固定在机架40上,通过定滑轮324向锚脰13施加垂向载荷,循环载荷加载装置可设置的位置较低。

[0066] 本发明提供的模拟循环载荷下板锚极限动承载力的加载系统,加载过程如下:

[0067] 可调速步进电机为整个加载系统提供动力,带动与电机主轴传动连接的曲柄盘匀速转动,经由连杆带动水平直线导轨往复运动,水平直线导轨与齿条连接,经由齿轮带动线筒周期性往复转动。往复转动的线筒通过系泊缆绳与加载弹簧连接实现对实验板锚模型的等幅值的力控制循环加载。

[0068] 循环加载过程中,载荷频率的变化可通过调节步进电机予以实现;载荷幅值的变化通过调节曲柄盘上的不同轴孔的孔位与连杆连接予以实现;同时,对于力控制的循环加载,其幅值的调节还可通过加载弹簧的刚度予以实现;配重块与线筒连接,当系泊缆绳松弛时,配重块则会被启动;各传动部件通过轴和轴承连接,减小传动的损耗,轴与轴承非过盈配合,方便拆装,提高工作效率。为了模拟板锚在循环载荷之前存在的预加载,可通过调节配重块的重力予以实现。

[0069] 板锚模型将被埋置于海床土中,循环拉拔过程中,其上下表面将会产生不同孔隙水压,而孔隙水压的生成与消散直接影响板锚的承载性能。为了准确模拟及测量到孔隙水压,模型板锚采用分体式设计,上、下板面可拆分与组装,便于埋置孔压传感器;为了减小锚脰带来的端阻力,从而精确测量到循环拉拔过程中模型板锚的受力情况,锚脰将竖直向上经过穿出土面后再与系缆相连。

[0070] 模型板锚上板面与下板面通过沉头螺钉相连,埋置于土槽系统中;锚脰连接板锚模型上板面并竖直向上穿过海床土,与系缆连接;孔压传感器埋置于板锚上板面和下面板之间,其信号线通过引线柱引出后与同步采集系统连接,从而避免与土体直接接触而造成循环拉拔过程中传感器的磨损以致失效。

[0071] 试验土槽主要由不锈钢制成,并配置试验段玻璃槽壁,土槽内铺设砂子用于模拟土床,砂子上有水层,用于模拟海流;土槽是整个试验装置的坐落平台,该平台主体由不锈钢制成。试验段侧壁由钢化玻璃制成,便于观察和记录板锚在循环拉拔过程中,其周围土体的变形破坏及失效模式。该部分要实现板锚循环拉拔过程中的动力响应予以测量及采集。包括板锚竖向位移,所受循环载荷及其周围模拟海床土体孔隙水压的实时同步测量。

[0072] 土槽主体为不锈钢材质,加载系统坐落在土槽主体上,钢化玻璃侧壁位于试验段。

工字钢支撑梁由槽钢柱支撑,位于土槽上方,用以直接承受由板锚循环拉拔过程中产生的竖向载荷。孔压传感器随模型板锚埋置于土中一定深度,其信号线通过引线柱引出,测量板锚循环拉拔过程中海床土在板锚上下表面产生的孔隙水压响应;水拉力传感器沿系缆连接加载弹簧,测量施加在板锚上的循环载荷;激光位移传感器固定于土槽上,用以测定板锚在循环拉拔过程中产生的竖向位移;十字支撑架固定于机架上,立管垂直于床面,引线柱随板锚模型的锚脰沿着竖直方向上穿出床面;各个感应元件信号线接头与多通道同步采集系统连接,实现包括孔压、位移、拉力等动力响应的同步测量。

[0073] 操作步骤如下:

[0074] 1. 调试循环加载系统:

[0075] (1) 根据板锚模型的大小及埋深,确定循环载荷的幅值大小。

[0076] (2) 在曲柄盘上选择合适的孔位连杆。

[0077] (3) 根据板锚模型大小和弹簧往复行程,选择合适刚度的加载弹簧。

[0078] (4) 根据实验所需常载荷大小,调整配重块。

[0079] 2. 制备海床及安装板锚模型:

[0080] (1) 组装板锚模型,并埋置孔压传感器。

[0081] (2) 由实验要求的埋深,埋置板锚模型,并整平床面。

[0082] (3) 根据板锚模型埋深、加载弹簧长度,调节支撑梁的高度。

[0083] (4) 在板锚模型埋置位置的正上方横梁固定定滑轮,将由加载系统引出的系缆绕过定滑轮,依次安装拉力传感器、加载弹簧,连接锚脰。

[0084] (5) 待土体完成固结。

[0085] 3. 板锚极限动承载力测定过程:

[0086] (1) 启动循环加载系统。打开步进电机,开始对板锚模型实施循环加载,并同时打开多通道采集系统。

[0087] (2) 根据实验要求(加载周次、频率等),持续循环拉拔过程直至实验结束,关闭步进电机和采集系统。

[0088] (3) 回收板锚模型,依次断开与系泊缆绳、加载弹簧、拉力传感器等的连接,完成该次试验。

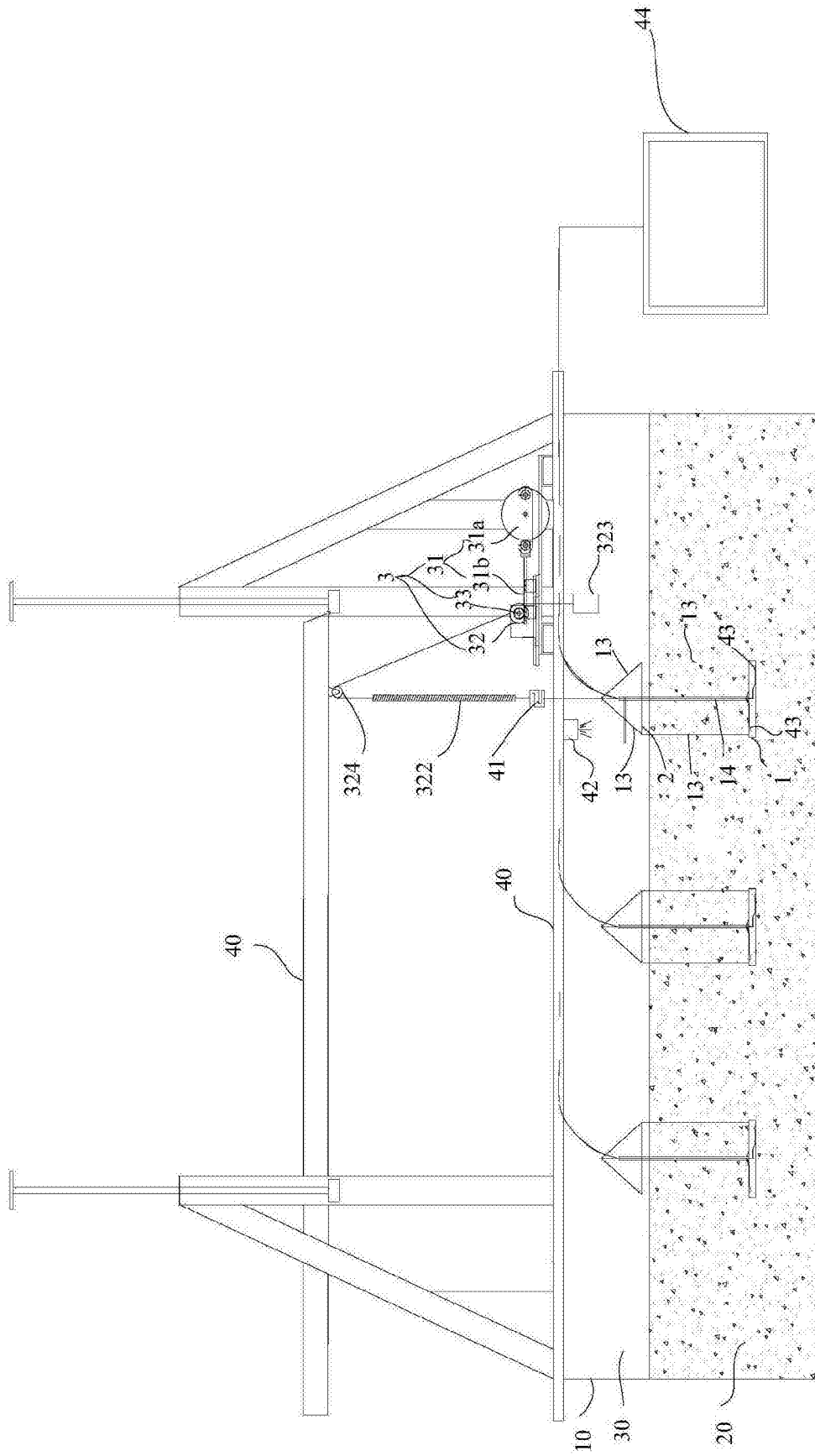


图1

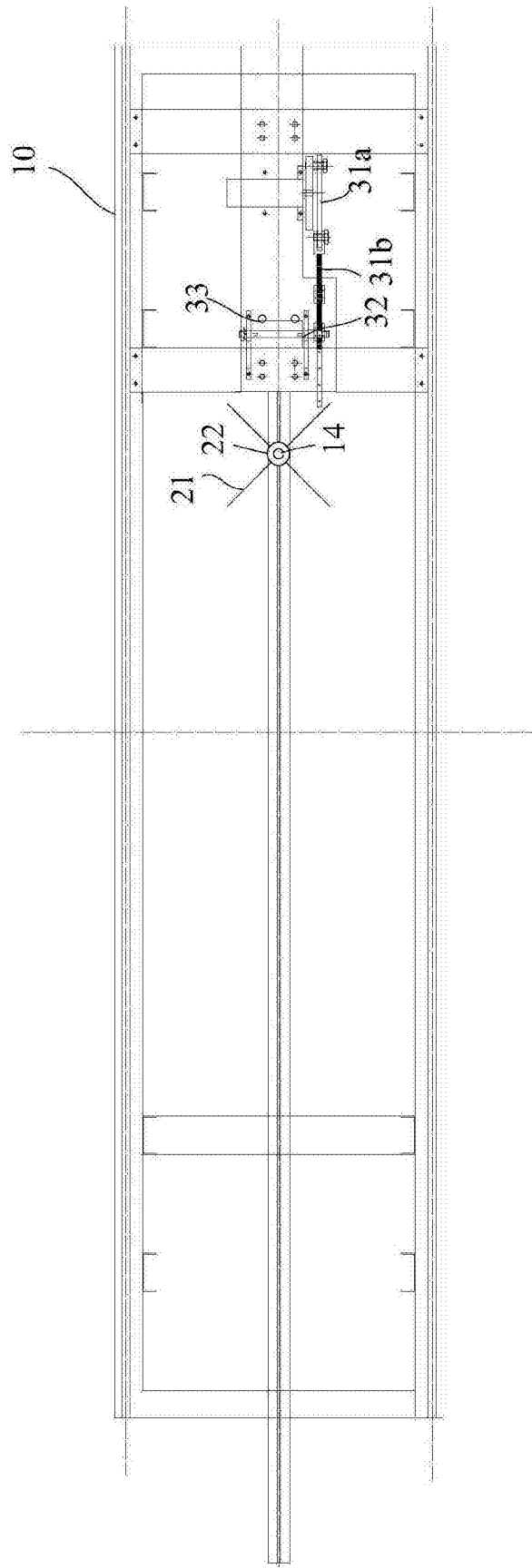


图2

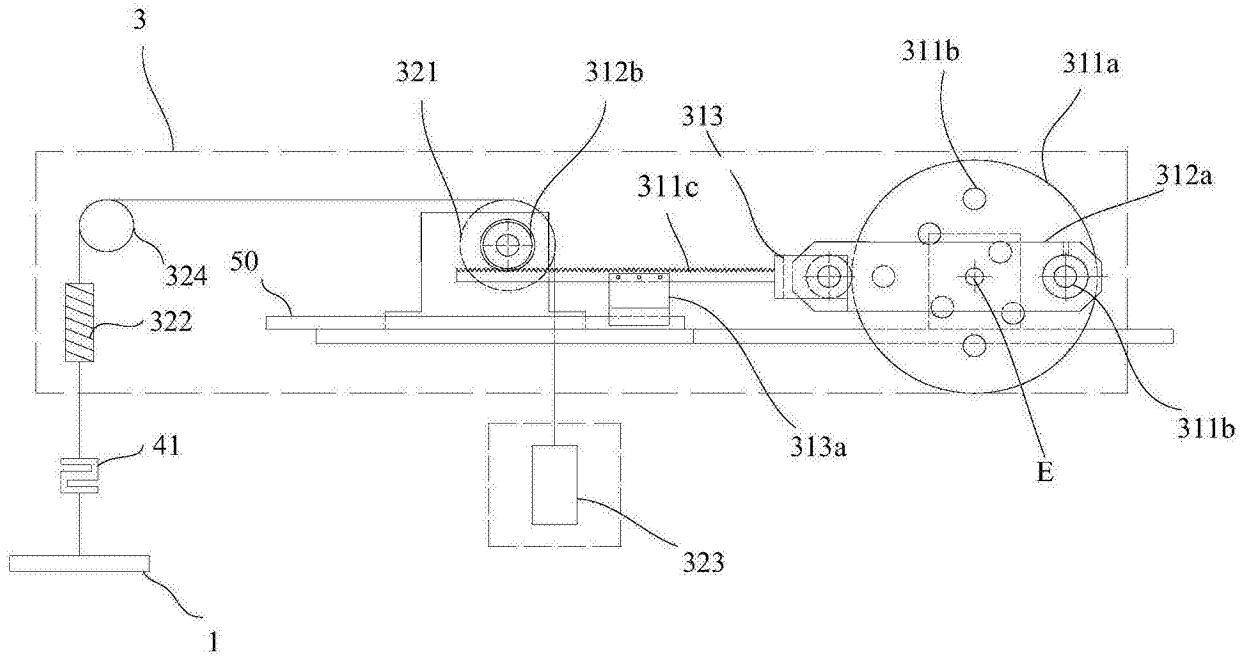


图3

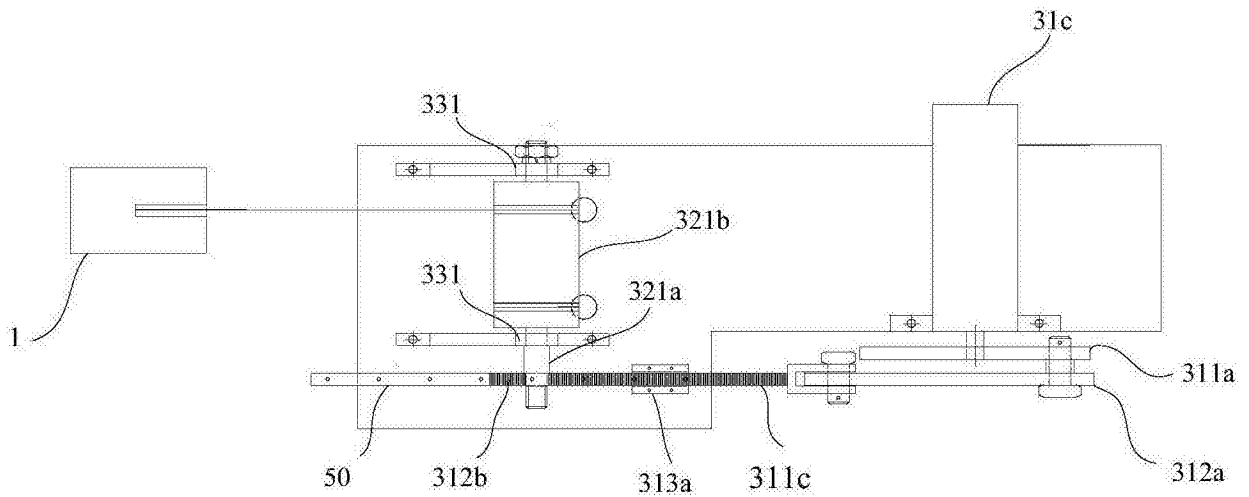


图4

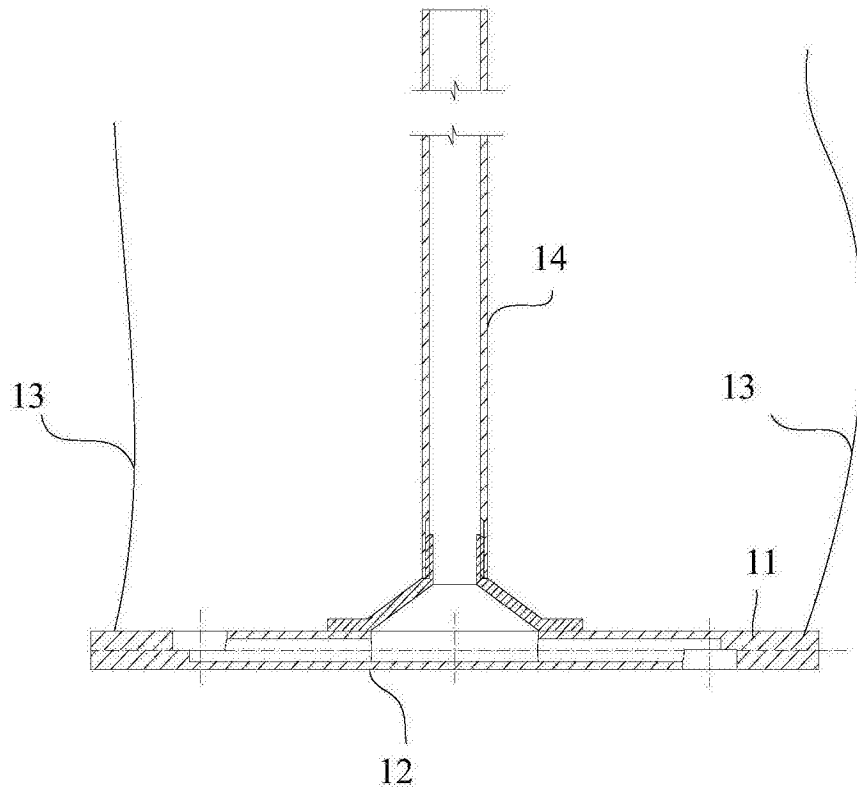


图5

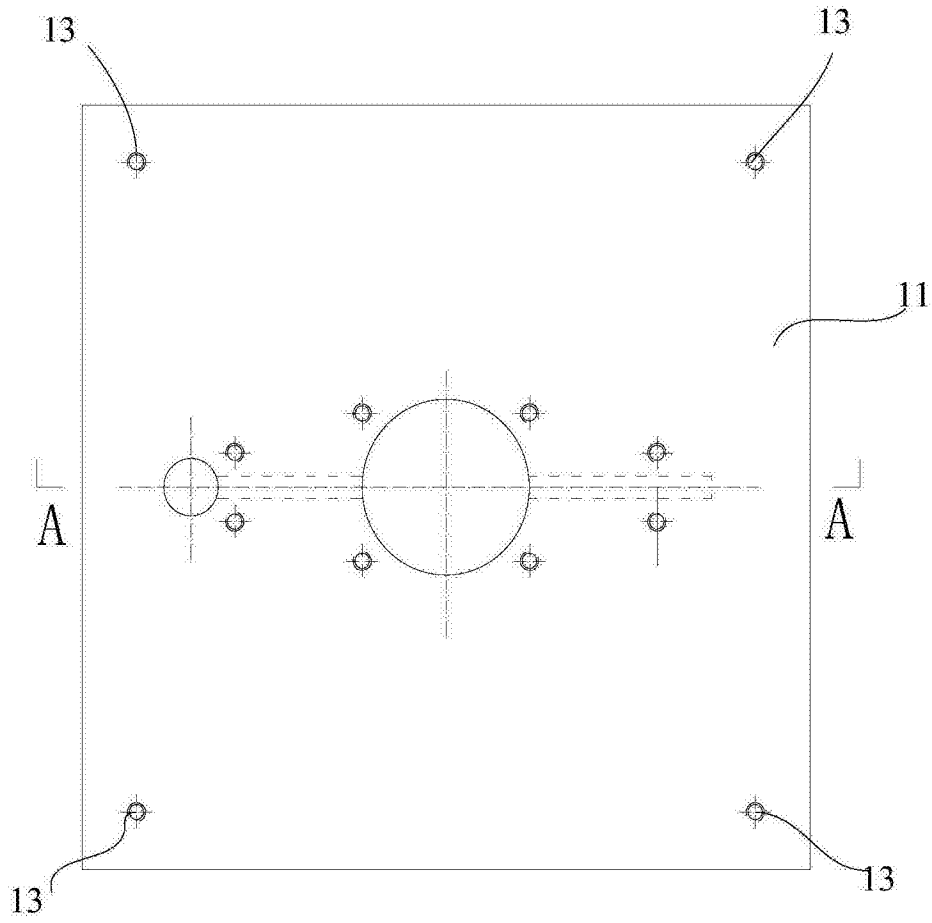


图6

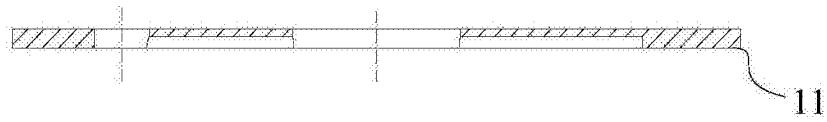


图7

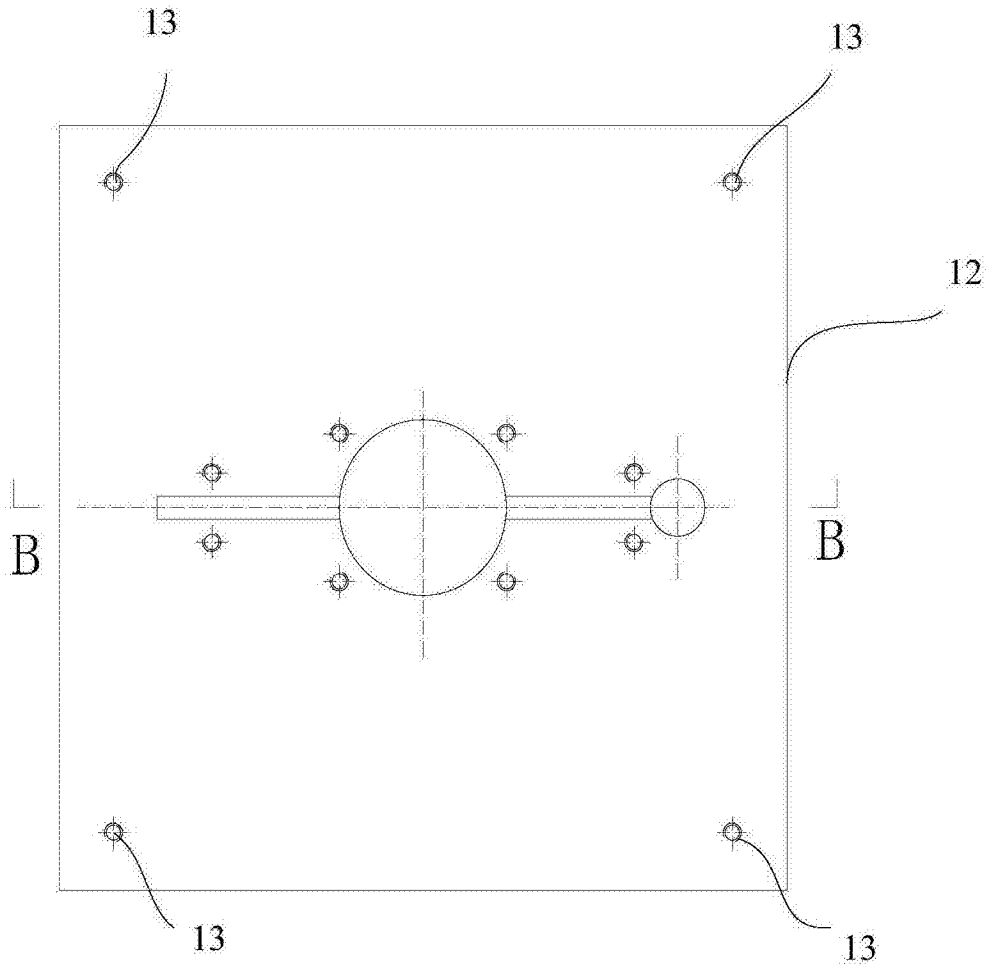


图8

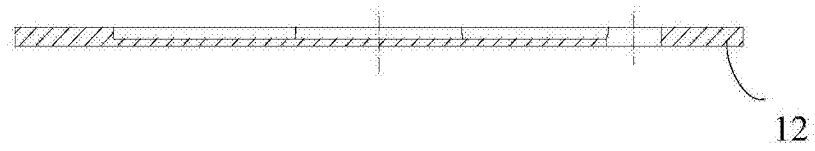


图9