

(19) 中华人民共和国国家知识产权局



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104729843 A

(43) 申请公布日 2015.06.24

(21) 申请号 201510087484.2

(22) 申请日 2015.02.25

(71) 申请人 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 高福平 胡存

(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.

G01M 13/00(2006. 01)

G01N 3/36(2006. 01)

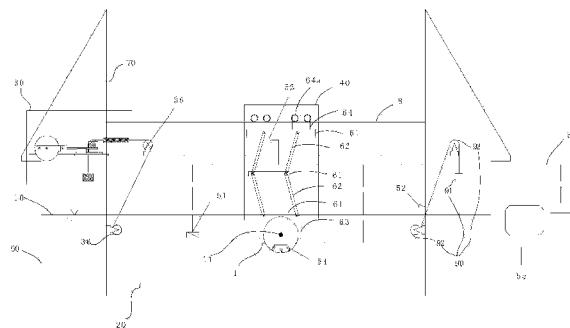
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统

(57) 摘要

本发明公开一种模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统，包括模拟海流向管道施加循环载荷的加载装置和测量管道位移的测量装置，其中加载装置包括将输入的匀速转动转换为往复转动的传动装置、将往复转动转化为指定常荷载与正弦荷载叠加的位移载荷转化装置和根据所述管道的位移调整绳索的长度，使得循环载荷不因多周期的累积管道位移而发生衰减的位移修正装置。通过加载装置生成循环载荷，对管道加载，从而模拟波流等动力载荷对部分嵌入土体海底管道的循环作用；加载方向、大小、周期、幅值均可调节，可实现对模型管道所受外载荷、管道位移、管道邻近土体孔压变化的实时同步测量，结构更为简单、制作成本也相对较低。



1. 一种模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统,其特征在于,包括:

循环载荷加载装置,用于向置于床面上的管道两端的中心轴施加循环载荷,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、加载弹簧以及第一配重块;所述线筒中心轴与所述传动装置输出端连接;所述第一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,另一端连接在所述管道中心轴上;

位移修正装置,用于根据所述管道的位移调整绳索的长度,使得循环载荷不因多周期的累积管道位移而发生衰减;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,用于实时测量所述管道所受加载力变化、沿床面的水平位移、垂直床面方向的嵌入深度以及所述管道邻近土体在循环载荷下的孔压变化;包括用于测量施加在所述管道上循环载荷拉力的拉力传感器、用于测量所述管道沿床面水平位移的激光位移传感器、用于测量所述管道垂直床面方向嵌入深度的激光位移传感器、用于测量所述管道邻近土体在循环载荷下孔压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 所述的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统,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 所述的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统,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 所述的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统,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 所述的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统,其特征在于:

连接在所述管道的中心轴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 1-5 任一所述的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统, 其特征在于 :

该加载系统还包括 :

常量载荷加载装置, 用于向所述管道两端的中心轴施加常量载荷。

7. 根据权利要求 6 所述的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统, 其特征在于 :

所述常量载荷加载装置包括第二配重块和至少一个定滑轮, 所述第二配重块通过缠绕在所述定滑轮上的绳索连接在所述管道的中心轴上。

8. 根据权利要求 7 所述的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统, 其特征在于 :

所述加载系统还包括约束装置, 用于限定所述管道的转动, 使得所述管道在床面上平动;

所述约束装置包括至少一个平行四边形框架;

所述平行四边形框架包括两水平边框和两斜边框, 所述斜边框的两端均铰接在所述水平边框上;

位于下方的所述水平边框通过支架与所述管道固定连接, 位于上方的另一所述水平边框连接在能水平移动的小车上。

9. 根据权利要求 8 所述的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统, 其特征在于 :

所述土槽上设置有一位于所述管道上方的水平轨道, 所述小车上设置有至少一个滚轮, 所述滚轮设置在所述水平轨道上。

10. 根据权利要求 9 所述的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统, 其特征在于 :

所述拉力传感器设置在连接所述加载弹簧与管道中心轴之间的绳索上;

所述垂直位移激光位移传感器设置在小车上;

所述水平激光位移传感器设置在一架体上, 该架体与所述土槽固定连接;

所述孔压传感器设置在管道与床面接触的部分上。

模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统

技术领域

[0001] 本发明涉及海底管道工程、海洋土力学及海洋基础工程技术，尤其是一种模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统。

背景技术

[0002] 海底油气管道、海底电缆、光缆等海底管系结构作为有效的海底运输与通讯手段，已在全球海洋工程中被广泛应用。对于缺乏填埋、加固措施的深海管道，海底管系结构在海洋波流环境下工作，易受到循环载荷的影响而发生地基土体承载能力降低、管系结构附加嵌入等现象，严重时可能发生管系结构失稳破坏，造成巨大的经济损失和环境灾害。

[0003] 在海洋环境中，单向海流沿侧向流经床面上非埋管道时，受到粘滞力、绕流压力差，绕流尾涡脉动的影响，管道的侧向受力可以简化为一个与床面成一定角度、由较大的常荷载和幅值较小的正弦载荷相叠加的循环载荷。而当海底管道路径出现弯曲时（常见于水下长输管道），季节性水温变化、运输物质速度波动等因素也将在管系结构侧向产生循环载荷。循环载荷来源复杂，周期、幅值跨度大，对地基土体的影响也因此较为复杂；一方面，排水能力较弱的地基在高频率大幅度的循环载荷作用下，可能由于孔压消散不及造成土体液化而促使结构失稳破坏；另一方面，循环载荷也可能增大海底管道埋深，从而提高管系结构侧向、轴向稳定性。因此，研究侧向周期荷载下海底管系结构与床面土体相互作用的特征和机理，对未来深海工程中确保海底管道稳定性而言非常重要。

[0004] 目前，针对海底管系结构在静载荷下的极限承载能力的研究已经日趋完善，同时可生成常荷载的加载装置也较为成熟。参见：

[0005] ^{【1】}Gao, F. P. , Yan, S. M. , Yang, B. , Luo, C. C. , 2011. Steady flow-induced instability of a partially embedded pipeline:pipe - soil interaction mechanism.

[0006] ^{【2】}Wagner, D. A. , Murff, J. D. , Brennoddern, H. , Sveggen, O. , 1989. Pipe - soil interaction model. Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering 115(2), 205 – 220.

[0007] 然而，在循环载荷下管土动力作用的问题尚存在较大的研究空间；现在普遍使用的液压伺服循环加载设备也存在技术复杂、研制成本高等不足。

发明内容

[0008] 本发明提供一种模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统，用于克服现有加载方法的不足，实现简化设备构造，并达到降低设备成本的目的。

[0009] 本发明提供一种模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统，包括循环载荷加载装置、约束装置以及测量装置；其中：

[0010] 循环载荷加载装置，用于向置于床面上的管道两端的中心轴施加循环载荷，包括：

[0011] 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

轴传动连接,输出端与位移载荷转化装置连接;

[0012] 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、加载弹簧以及第一配重块;所述线筒中心轴与所述传动装置输出端连接;所述第一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,另一端连接在所述管道中心轴上;

[0013] 位移修正装置,用于根据所述管道的位移调整绳索的长度,使得循环载荷不因多周期的累积管道位移而发生衰减;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;

[0014] 测量装置,用于实时测量所述管道沿床面的水平位移、垂直床面方向的嵌入深度以及所述管道以及管道周围土体在循环载荷下孔压;包括用于测量施加在所述管道上循环载荷拉力的拉力传感器、用于测量所述管道沿床面水平位移的水平激光位移传感器、用于测量所述管道垂直床面方向的嵌入深度的垂直激光位移传感器、用于测量所述管道邻近土体在循环载荷下孔压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。

[0015] 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,所述第一传动装置用于将输入的匀速转动转换为往复平动;第二传动装置用于将输入的往复平动转换为往复转动。

[0016] 进一步地,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,所述第二传动装置包括齿条和齿轮;

[0023] 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;

[0024] 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;

[0025] 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。

[0026] 特别是,连接在所述管道的中心轴与加载弹簧之间的绳索缠绕在至少一个定滑轮上。

[0027] 其中,该加载系统还包括:

[0028] 常量载荷加载装置,用于向所述管道两端的中心轴施加常量载荷。

[0029] 进一步地,所述常量载荷加载装置包括第二配重块和至少一个定滑轮,所述第二配重块通过缠绕在所述定滑轮上的绳索连接在所述管道的中心轴上。

[0030] 其中,所述加载装置还包括约束装置,用于限定所述管道的转动,使得所述管道在床面上平动;

[0031] 所述约束装置包括至少一个平行四边形框架;

[0032] 所述平行四边形框架包括两水平边框和两斜边框,所述斜边框的两端均铰接在所

述水平边框上；

[0033] 位于下方的所述水平边框通过支架与所述管道固定连接，位于上方的另一所述水平边框连接在能水平移动的小车上。

[0034] 进一步地，所述土槽上设置有一位于所述管道上方的水平轨道，所述小车上设置有至少一个滚轮，所述滚轮设置在所述水平轨道上。

[0035] 其中，所述拉力传感器设置在连接所述加载弹簧与管道中心轴之间的绳索上；

[0036] 所述垂直激光位移传感器设置在所述小车上；

[0037] 所述水平激光位移传感器设置在一架体上，该架体与所述土槽固定连接；

[0038] 所述孔压传感器设置在管道与床面接触的部分上。

[0039] 本发明提供的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统，通过循环载荷加载装置可生成一循环载荷，并沿侧向对模型管道加载，用以模拟波流等动力载荷对部分嵌入土体海底管道的循环（脉动）作用；其中，加载方向，大小，荷载的周期、幅值，均可调节，通过测量装置可实现对模型管道所受外载荷、管道位移、管道邻近土体孔压变化的实时同步测量，同时允许在实验过程中对管土作用的动力学过程进行实时观测；相对于现有循环加载手段，本方案中的循环载荷加载装置结构更为简单、制作成本也相对较低。

附图说明

[0040] 图 1 为本发明提供的加载系统的实施例一的主视图；

[0041] 图 2 为本发明提供的加载系统的实施例一中循环载荷加载装置及常量载荷加载装置的结构示意图；

[0042] 图 3 为图 2 的俯视图；

[0043] 图 4 为本发明提供的加载系统中传动装置的结构示意图；

[0044] 图 5 为图 4 中连杆的运行状态参考示意图一；

[0045] 图 6 为图 5 中连杆的运行状态参考示意图二；

[0046] 图 7 为本发明提供的加载系统的实施例二的主视图。

具体实施方式

[0047] 实施例一

[0048] 参见图 1，管道 1 置于实验槽中水面 10 下的床面 20 上；用于模拟海流载荷下的模型管道，本发明实施例提供一种模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统，包括循环载荷加载装置 30、约束装置 40、测量装置 50 和常量载荷加载装置 90。用于模拟循环载荷与床面平行时的加载，例如因季节性温度变化或运输物质速度脉动产生的循环载荷。

[0049] 循环载荷加载装置 30 用于向管道 1 两端的中心轴 11 施加循环载荷，循环载荷加载装置 30 包括传动装置、位移载荷转化装置和位移修正装置；参见图 3；

[0050] 传动装置将电机 21 输入的匀速转动转换为模拟正弦的往复转动，本实施例中为近似的正弦往复转动；输入端与电机主轴 21a 传动连接，输出端与位移载荷转化装置 3 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；

[0051] 传动装置包括第一传动装置和第二传动装置，其中，第一传动装置将输入的匀速转动转换为恒定周期的往复平动；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；

[0052] 作为第一传动装置的优选方案，参见图 2-6，传动装置 2 包括曲柄盘 22、连杆 23 和滑块 72，连杆 23 与第二传动装置输入端之间通过连接件 24 连接；曲柄盘中心轴 22a 与电机主轴 21a 固定连接；曲柄盘 22 上设置有至少一个轴孔 22b；连杆 23 一端 D 与连接件 24 铰接，连接件 24 与第二传动装置输入端连接，连杆 23 另一端 F 与轴孔 22b 铰接，E 点与曲柄盘中心轴 22a 固定连接或传动连接；

[0053] 作为第二传动装置的优选方案，参见图 2、图 3，包括齿条 31、齿轮 32，齿条 31 一端与第一传动装置的输出端即连杆 23 一端 D 铰接，齿条 31 与齿轮 32 喷合；本实施例中，齿条 31 通过连接件 24 与连杆 23 一端 D 铰接；滑块 72 固定设置在齿条 31 上，机架 70 上设有水平直线导轨 71，滑块 72 能在水平直线导轨 71 上滑动。滑块 72 底部具有与水平直线导轨 71 配合的滑槽，滑块 72 顶部与齿条 31 底部连接；滑块 72 与水平直线导轨 71 的配合用于保证齿条 31 始终沿水平直线方向移动。机架 70 固定在土槽 60 上。

[0054] 电机 21 为可调速步进电机，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 21 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。

[0055] 工作中，电机 21 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 22 含多个轴孔 22b，与连杆 23 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。

[0056] 水平直线导轨 71 与齿条 31 固定，用于约束齿条 31 的转动与竖直方向上的位移，同时使齿条 31 沿水平方向无阻力滑动。

[0057] 参见图 2、图 3，位移载荷转化装置用于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；这里的模拟正弦载荷是近似正弦载荷，包括线筒 33、加载弹簧 34 以及第一配重块 35；线筒中心轴 33a 与齿轮中心轴 32a 在本实施例中为一体设置；第一配重块 35 通过绳索绕设在线筒 33 上；加载弹簧 34 一端通过绳索绕设在线筒 33 上，另一端连接在管道中心轴 11 上；作为连接方式的扩展，线筒中心轴 33a 与齿轮中心轴 32a 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，只要能满足能将齿轮 32 的转动力矩传递给线筒 33 即可。

[0058] 位移载荷转化装置将线筒 33 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。通过调整第一配重块 35 的重量可定量调节常荷载大小，通过调整加载弹簧 34 的弹性系数可定量调节正弦荷载幅值。

[0059] 为了增加循环载荷的施加在管道上的灵活性，根据需要改变施加在管道上的循环载荷方向，连接在管道中心轴 11 与加载弹簧 34 之间的绳索缠绕在至少一个第一定滑轮 36 上。参见图 1，本实施例中通过两个第一定滑轮 36 使得循环载荷的加载方向与床面平行；

[0060] 参见图 3，位移修正装置根据管道 1 的位移调整绳索的长度，使得循环载荷不随多周期管道累积位移发生衰减；包括单向轴承 41，线筒 33 包括线筒中心轴 33a 和套设于线筒中心轴上的外筒 33b，单向轴承 41 设置在线筒中心轴 33a 与外筒 33b 之间；

[0061] 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。

[0062] 线筒外轴即外筒 33b 上缠绕两股绳索, 分别连接加载弹簧 34 和第一配重块 35。加 / 卸载过程中, 线筒中心轴 33a 带动外筒 33b 往复转动。进一步的, 外筒 33b 带动加载弹簧 34, 将往复转动通过加载弹簧 34 的张弛转化为循环荷载, 并作用在加载对象管道 1 上。根据加载需要, 第二配重块 92 可不安装, 牵引方向也可变。通过改变第一配重块 35、第二配重块 92, 可定量调整常荷载分量的大小; 通过改变加载弹簧 34 的劲度系数, 可定量调整正弦荷载分量的幅值。

[0063] 如图 3 所示, 线筒中心轴 33a 与齿轮 32 固定, 工作中随齿轮 32 作往复转动。根据线筒内外轴的传动特点, 当模型管道沿加载方向出现位移时, 在卸载过程刚开始状态, 参见图 5, 外筒 33b 跟随线筒中心轴 33a 转动, 并在随后的一时刻停止转动, 该机构将在第一配重块 35 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 34 的松弛累积到下一循环。在单向轴承 41 的作用下, 外筒 33b 只能相对线筒中心轴 33a 顺时针转动, 反方向即逆时针方向则制动。

[0064] 参见图 1、图 3, 常量载荷加载装置 90 用于向管道两端的中心轴 11 施加常量载荷。常量载荷加载装置包括第二配重块 91 和至少一个第二定滑轮 92, 第二配重块 91 通过缠绕在第二定滑轮 92 上的绳索连接在管道中心轴 11 上。本实施例中通过两个第二定滑轮 92 使得常量载荷的加载方向与床面平行;

[0065] 参见图 1, 约束装置 40, 用于限定管道 1 的转动, 使得管道 1 只能在床面 20 上平动; 禁止管道滚动的情况下, 可采用此装置; 允许管道滚动的情况下, 可不用此装置。

[0066] 作为约束装置的优选方案, 约束装置 40 包括至少一个平行四边形框架; 平行四边形框架包括两水平边框 61 和两斜边框 62, 斜边框 62 的两端均铰接在水平边框 61 上; 共同围设呈一平行四边形; 位于下方的水平边框通 61 过支架 63 与管道 1 固定连接, 位于上方的另一水平边框 61 连接在能水平移动的第一滑动小车 64 上。其中, 土槽 60 上设置有一位子管道 1 上方的水平轨道 8, 第一滑动小车 64 上设置有至少一个滚轮 64a, 滚轮 64a 设置在水平轨道 8 上。

[0067] 为进一步增加约束装置 40 的灵活性, 图 1 中的约束装置 40 包括两个沿垂直于河床 20 方向排列的平行四边形框架。位于上方的平行四边形框架与位于下方的平行四边形框架共用一个水平边框 61, 共包含上、中、下三个位置的水平边框 61 和四个斜边框 62, 其中位于中间位置的水平边框 61 为共用的, 当管道在床面上平动时, 两个平行四边形框架能够随管道在垂直方向上移动而任意调节, 相对一个平行四边形框架灵活性更高, 并且, 垂直方向位移的调节量更大。

[0068] 参见图 1, 测量装置 50, 用于实时测量管道 1 沿床面的水平位移、垂直床面方向的嵌入深度、施加在管道 1 上加载力的大小和管道 1 邻近土体在循环载荷下的孔压; 测量装置包括用于测量施加在管道 1 上循环载荷拉力的拉力传感器 51、用于测量管道沿床面水平位移的水平激光位移传感器 52、用于测量管道垂直床面方向的嵌入深度的垂直激光位移传感器 53、用于测量管道 1 以及管道 1 周围土体在循环载荷下孔压的孔压传感器 54 和用于采集上述传感器读数并将读数传给电脑保存的多通道数据同步采集系统 55。

[0069] 如图 1 所示, 水平位移激光传感器 52 和垂直位移激光传感器 53 均可实现非接触测量; 拉力传感器 51 沿连接在加载弹簧 34 与管道 1 之间的绳索布置, 测量作为模型的管道 1 所受的循环载荷。垂向激光位移传感器布置在约束装置 40 顶部, 测量模型管道垂直床面

方向的位移。水平向激光位移传感器布置在实验土槽内侧,测量模型管道沿水平床面方向的位移。孔压传感器 54 为多个,嵌入并固定于模型管道外表面,测量模型管道相邻的土体在循环载荷下的孔压响应。上述传感器(包括拉力传感器 51、水平激光位移传感器 52、垂直激光位移传感器 53 和孔压传感器 54)所测数据传输至多通道数据同步采集系统 55,以完成对实验物理参数的同步测量与记录。多通道数据同步采集系统 55 为多通道数据同步采集卡。

[0070] 本发明提供的模拟海流载荷下管土动力相互作用的加载系统,加载过程如下:

[0071] 启动电机 21,电机主轴 21a 带动曲柄盘 22 转动,曲柄盘 22 带动连杆 23 转动,连杆 23 的 F 端绕曲柄盘中心 E 点转动,进而带动连杆 23 的 D 端平动,由于连杆 23a 的 D 端通过连接件 24 与齿条 31 连接,齿条 31 受滑块 72 约束只能沿水平直线导轨 71 滑动,因此 D 端只能水平移动,由此,曲柄盘 22 和连杆将电机 21 的匀速转动转化为连杆 23 的 D 端的往复平动;

[0072] 连杆 23 的 D 端借助连接件 24 与齿条 31 连接,并将往复移动输入给齿条 31,由于齿条 31 仅能沿直线导轨 71 滑动,齿条 31 在滑动过程中将往复平动通过与其啮合的齿轮 32 转化为齿轮 32 的往复转动;

[0073] 齿轮 32 与线筒 33 中心轴 33a 固定连接或传动连接,线筒中心轴 33a 带动线筒的外筒 33b 往复转动,外筒 33b 在往复转动过程中借助缠绕于其两侧的第一配重块 35 和加载弹簧 34 生成循环载荷,并施加于管道 1 上;本实施例中齿轮 32 中心轴与线筒 33 中心轴 33a 同轴设置。

[0074] 通过调整曲柄盘 22 上与连杆 23 的 F 端连接的轴孔 22b 到曲柄盘 22 中心的距离可定量调节往复运动的行程,通过调整电机 21 转速可调整循环载荷的周期,在工作中,一次往复运动对应一个加-卸载循环,加载过程加载弹簧 34 受拉力逐渐增大,外筒 33b 顺时针转动,齿条 31 向左移动,至连杆 23 移动到最左端时,与连杆 23 与曲柄盘上连接 E 点的曲柄盘中心轴与连接 F 端的轴孔的连线之间呈 180 度夹角,加载结束,参见图 6;卸载过程中加载弹簧 34 受拉力逐渐减小,外筒 33b 逆时针转动,齿条 31 向右移动,至连杆 23 移动到最右端时,连杆 23 与曲柄盘上连接 E 点的曲柄盘中心轴与连接 F 端的轴孔的连线重叠,参见图 5,往复行程越大,一个周期内结构物位移对加载力的影响越小;

[0075] 通过循环载荷加载装置可生成一循环载荷,并沿侧向对管道加载,用以模拟波流等动力载荷对部分嵌入土体海底管道的循环(脉动)作用;其中,加载方向可通过第一定滑轮 36 以及绳索绕设调节,载荷大小可通过第一配重块 35 的重量、第二配重块 35 的重量和加载弹簧 34 的弹性系数以及曲柄盘上轴孔到电机主轴的距离进行调节,荷载的周期可通过电机的转速进行调节,载荷的幅值可通过加载弹簧 34 的弹性系数进行调节,通过测量装置可实现对模型管道所受外载荷、管道位移、管道邻近土体孔压变化的实时同步测量,同时允许在实验过程中对管土作用的动力学过程进行实时观测;相对于现有加载手段,本方案中的循环载荷加载装置结构更为简单、制作成本也相对较低。

[0076] 拉力传感器 51 设置在连接加载弹簧 34 与管道中心轴 11 之间的绳索上;垂直激光位移传感器 53 设置在平行四边形边框中的位于上方的水平边框 64 上;水平激光位移传感器与土槽 60 固定连接;孔压传感器设置在管道 1 与床面 20 接触的部分上。

[0077] 管道 1 在循环载荷的作用下仅能在床面 20 上做水平运动或在垂直于床面方向出

现少量嵌入,施加的循环载荷的大小通过拉力传感器 51 测量,管道水平方向的位移通过水平激光位移传感器 52 测量,垂直于床面方向的嵌入深度通过垂直激光位移传感器 53 测量,管道 1 以及管道 1 周围土体在循环载荷下的孔压通过孔压传感器 54 测量。

[0078] 实施例二

[0079] 参见图 7,实现循环载荷和常载荷与床面成一定夹角时的加载模拟,例如床面管道在水平来流下所受到的脉动载荷;与实施例一不同之处在于循环载荷的方向以及常载荷的方向不同,实施例一中的循环载荷和常载荷方向均平行于床面,且方向相反;本实施例中循环载荷与常载荷均与床面呈一锐角;本实施例中,第一定滑轮 36 固定在水平轨道 8 上,并通过在水平轨道上设置的第二滑动小车 65 进一步改变循环载荷加载方向,此外,第二滑动小车 65 还可以在实验过程让循环载荷方向随管道水平位移相对不变。

[0080] 实验过程中,上述加载装置的操作步骤如下

[0081] 1. 实验准备:

[0082] 加载装置:

[0083] (1) 确定所需荷载,预估 1 次循环内结构物的位移与方向。在曲柄盘 22 上选择合适的轴孔 22b 位安装连杆 23,根据结构物位移的预估值校核 B 点往复运动行程。

[0084] (2) 根据 B 点位移选择加载弹簧 34,使正弦荷载幅值达到实验所需值。

[0085] (3) 选择第一配重块 35 和第二配重块 92,使常荷载大小达到实验所需值。

[0086] (4) 确认曲柄盘 22 轴心、连杆 23、齿条 41 共线并处于图 5 所示的状态。连接 A、B、C 处的绳索,使加载弹簧 34 在第一配重块 35 牵引下自然伸长。

[0087] 其余装置:

[0088] (1) 制备平整床面。

[0089] (2) 在模型管道 1 上安装孔压传感器 54。

[0090] (3) 根据实验需要,增减模型管道 1 内的配重块以调整其水下重量。

[0091] (4) 在模型管道 1 上安装约束装置 40。安装激光位移传感器。

[0092] (5) 将模型管道 1 缓慢下降至床面,过程中通过垂向激光位移传感器记录模型管道 1 的初始嵌入深度。

[0093] (6) 安装拉力传感器 51。

[0094] (7) 根据所模拟的循环载荷类型,选择适当的布置方案,通过牵引索将模型管道 1 与加载系统连接。

[0095] 2. 循环加载:

[0096] (1) 开启电动机 21,开始加载。同时打开多通道数据同步采集系统 55。

[0097] (2) 系统对管道模型 1 进行侧向多循环加载,直至完成实验后停止加载,同时关闭多通道数据同步采集系统 55。

[0098] 3. 设备复位:

[0099] 加载装置:

[0100] (1) 继续开动电机,使装置完全回复到图 5 所示的状态。

[0101] (2) 断开 A、B、C 三处绳索,卸下加载弹簧 34、第一配重块 35。

[0102] (3) 转动外筒 33b,直至线筒与绳索回复到加载前状态。

[0103] 其余装置:

[0104] (1) 断开加载弹簧 34 与管道 1 之间的绳索。依次拆除拉力传感器 51、垂向激光位移传感器、水平激光位移传感器。

[0105] (2) 将模型管道 1 吊离床面后，拆除管道约束装置 40。

[0106] (3) 将模型管道 1 完全移出实验土槽。

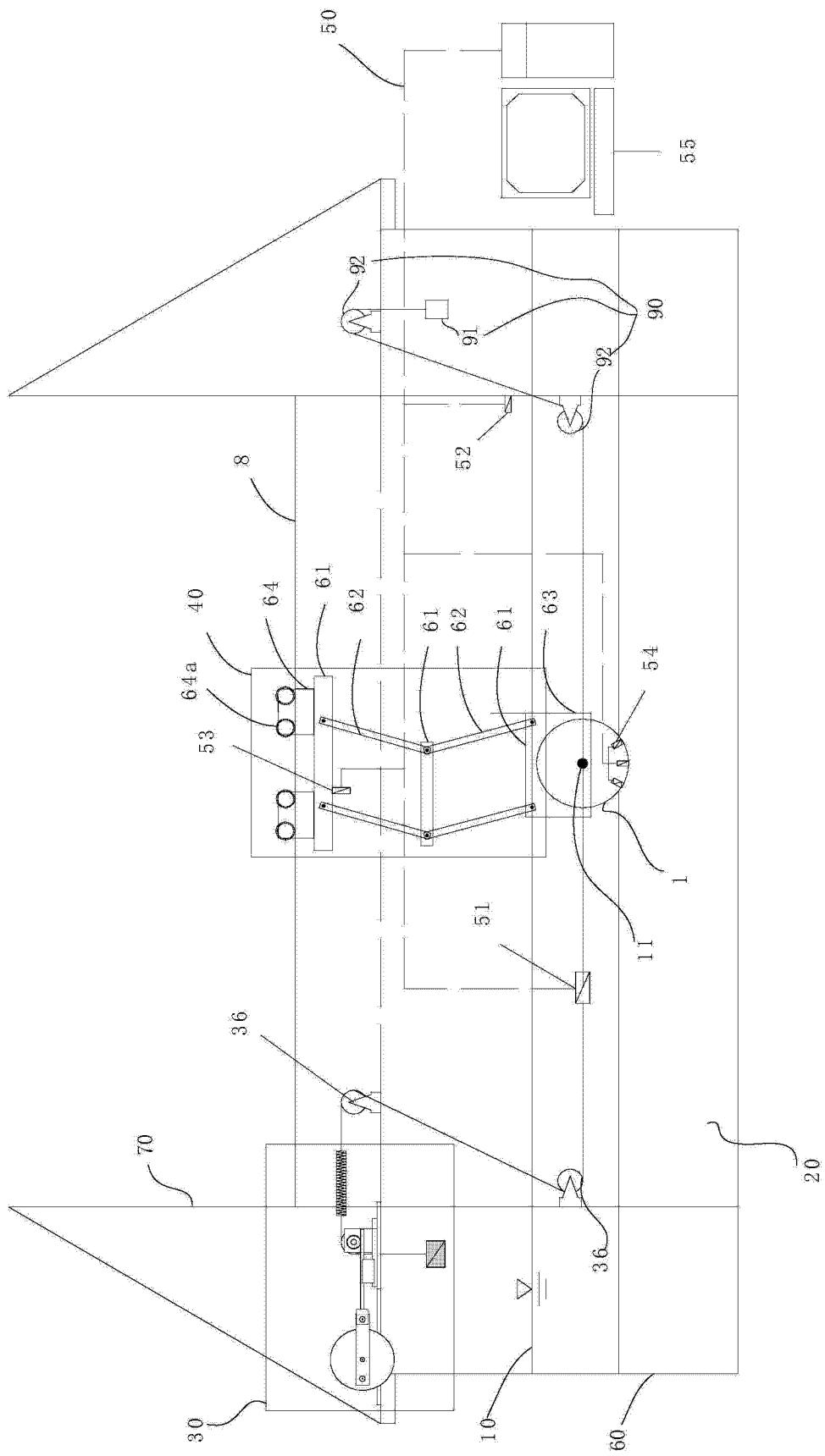


图 1

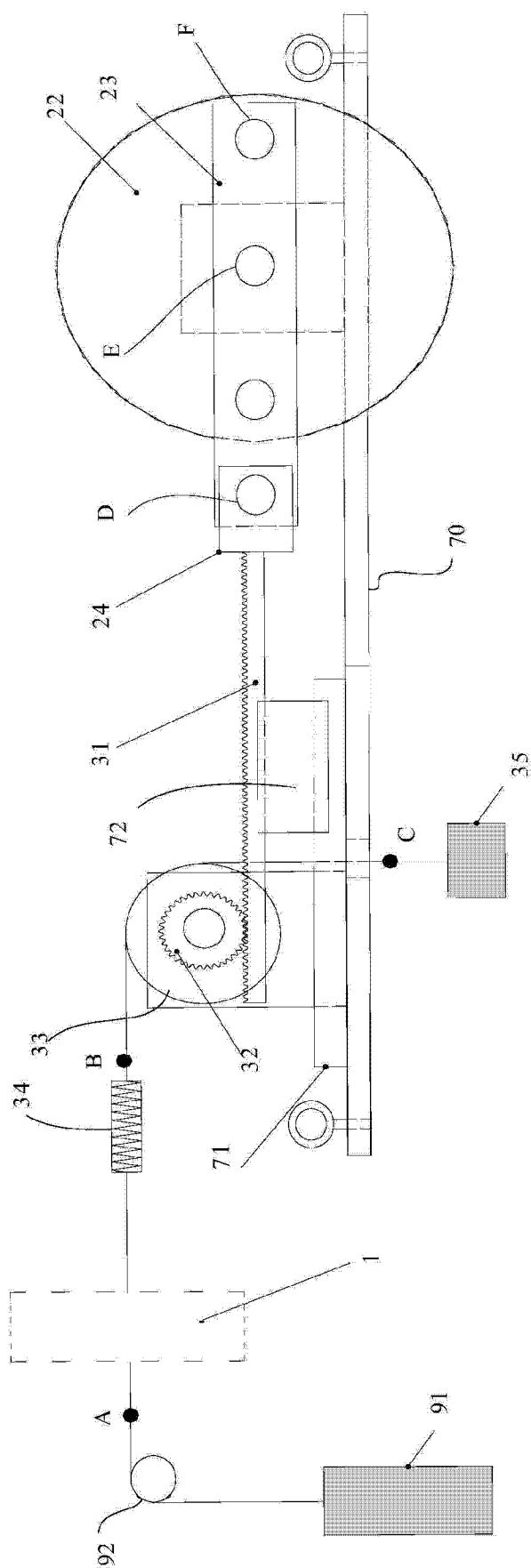


图 2

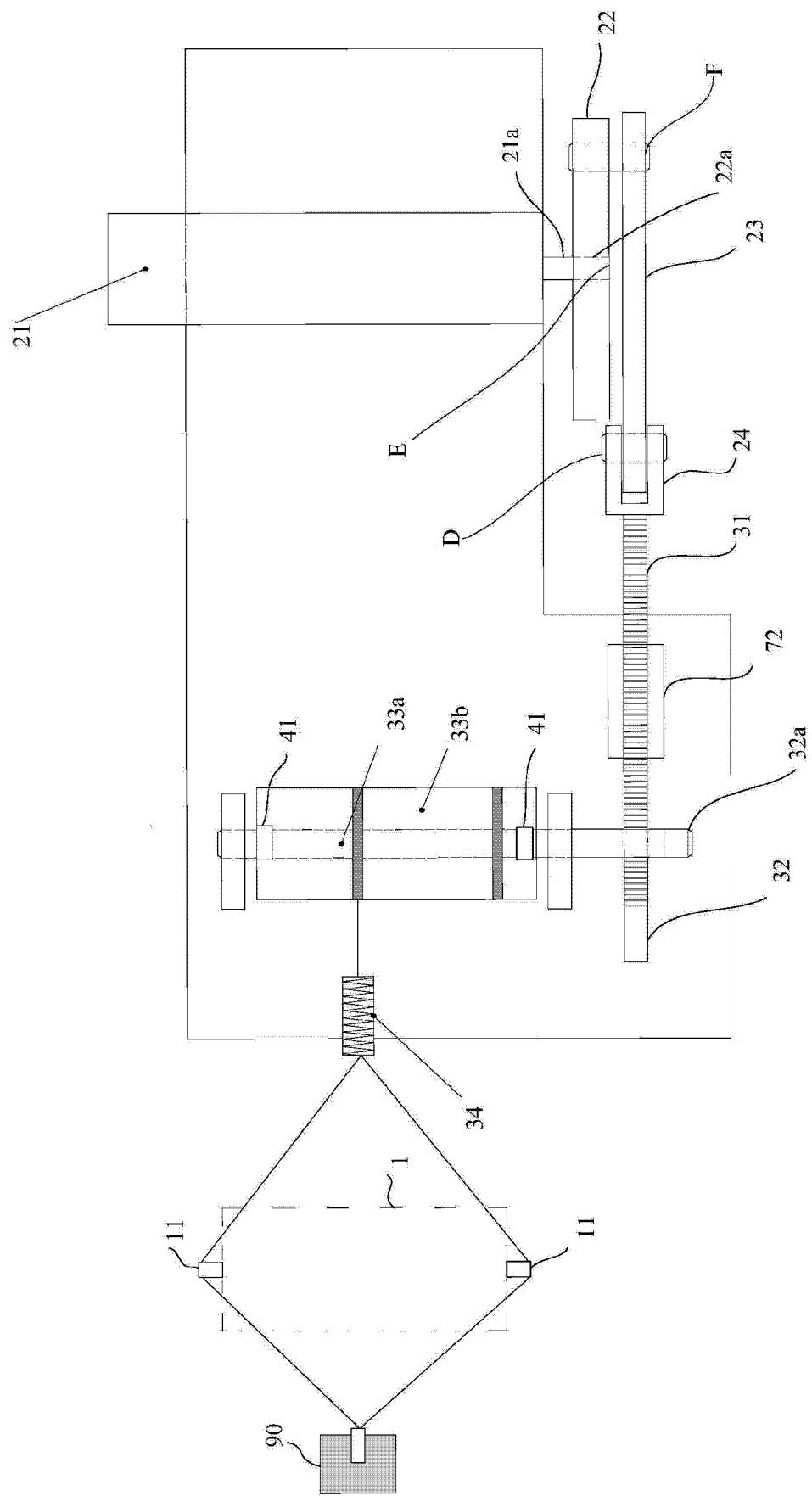


图 3

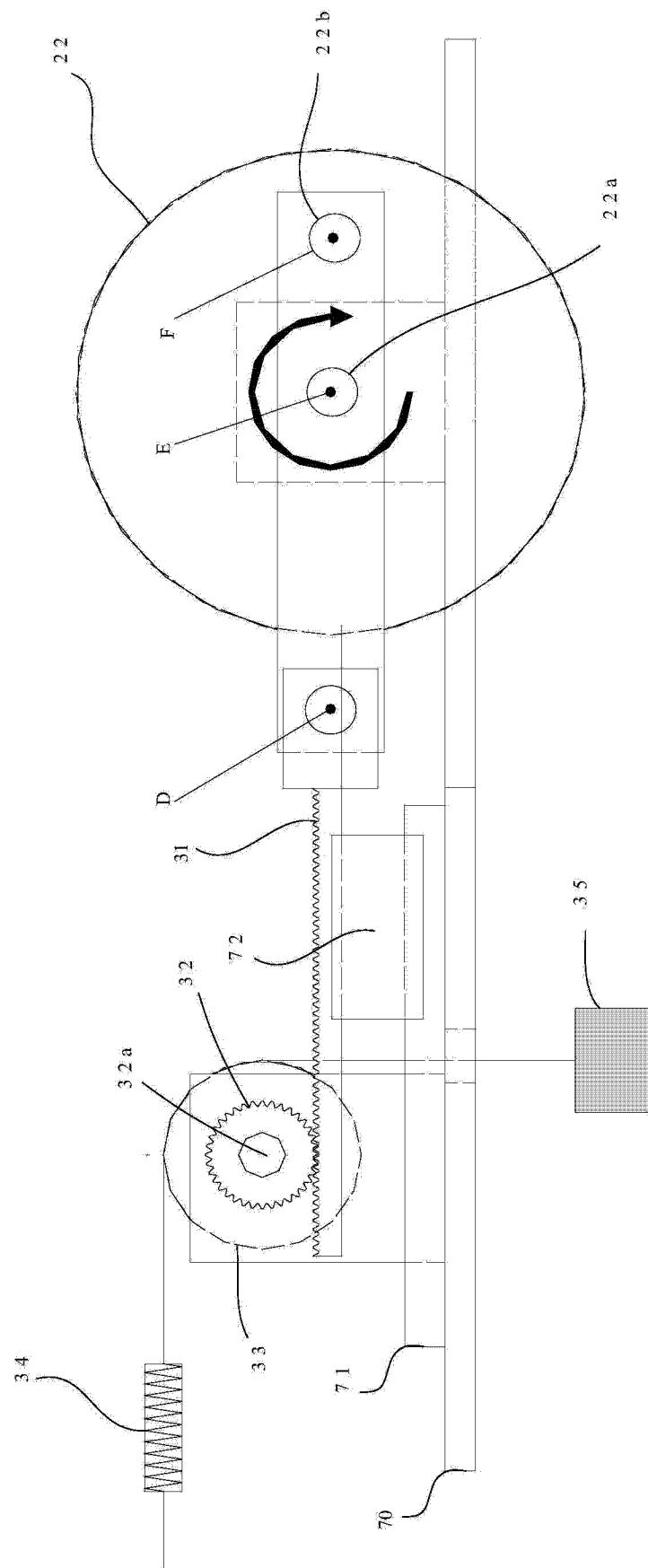


图 4

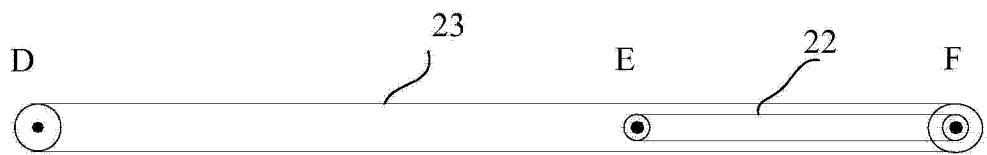


图 5

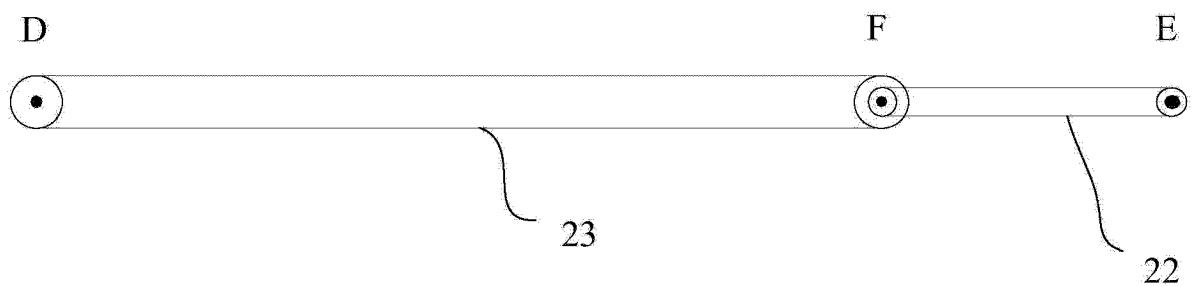


图 6

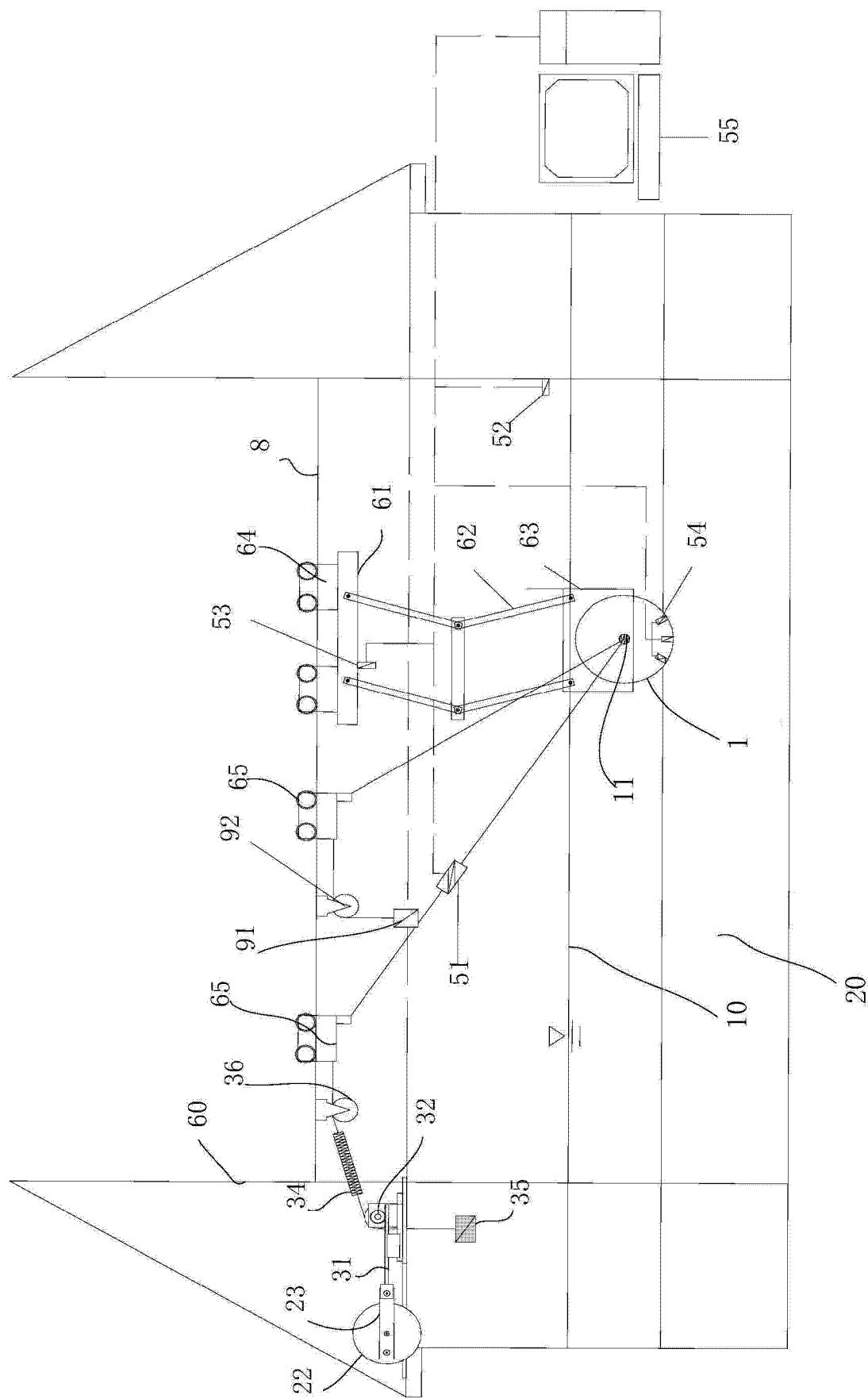


图 7