



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103439130 A

(43) 申请公布日 2013. 12. 11

(21) 申请号 201310339182. 0

(22) 申请日 2013. 08. 06

(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 高福平 姜海洋 臧志鹏 漆文刚

(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 王艺

(51) Int. Cl.

G01M 99/00 (2011. 01)

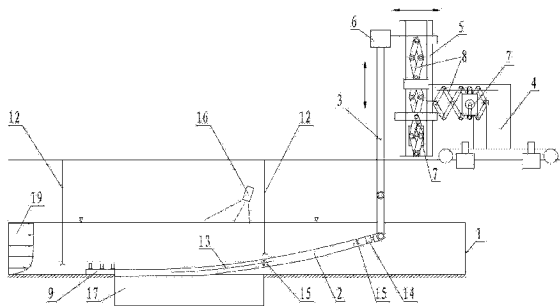
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置及方法

(57) 摘要

本发明公开一种模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的方法及装置,其采用截断模拟方法,即截取立管靠近海床段,将其与模拟海流覆盖下的模拟海床连接,再用运动加载装置模拟浮式平台对立管近床段的影响,从而得以较为接近实际地模拟立管近床段与海流、海床的相互作用,并测得立管近床段与海床、海流的动力耦合参数;本发明的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置可控性较强,且有多种可选方案,因而可以实现多种工况下立管与海床动力耦合的模拟,如利用两种立管-海床结合器可模拟立管近床段下端刚接和铰接的端部条件;改变立管-海床结合器的垫板厚度,可模拟立管铺设后其近床段的不同初始埋深。



1. 一种模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的方法,其特征在于包括如下过程:(1)截取立管靠近海床部分,即立管近床段;在一水槽试验段内模拟出海床;将立管近床段下端与海床连接;(2)在水槽内模拟出海流;(3)用位移控制的加载装置模拟浮式平台运动引起的立管近床段上端随时间的运动位移;(4)同步测量立管近床段与海床、海流的动力耦合参数。

2. 一种模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其特征在于:其包括水槽、循环水流控制系统、立管-海床结合模型、模拟浮式平台对立管近床段上端施加影响的加载装置、立管近床段的流固土耦合参数测量系统,所述循环水流控制系统用于在水槽内产生不同流速和流向的水流,以模拟海流,所述立管-海床结合模型设于水槽内,所述立管-海床结合模型包括立管近床段、海床、立管-海床结合器,所述立管近床段的下端通过立管-海床结合器与海床连接。

3. 根据权利要求2所述的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其特征在于:所述加载装置包括连杆、水平和竖直双向往复运动装置、运动控制装置,所述连杆的下端与立管近床段的上端连接,连杆的上端与水平和竖直双向往复运动装置连接,所述运动控制装置用于控制水平和竖直双向往复运动装置的水平和竖直双向往复运动。

4. 根据权利要求3所述的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其特征在于:水平和竖直双向往复运动装置包括水平安装架、水平往复运动机构、竖直安装架和竖直往复运动机构,所述水平往复运动机构安装在水平安装架上,其执行端与竖直安装架连接,所述竖直往复运动机构安装在竖直安装架上,其执行端与连杆连接。

5. 根据权利要求4所述的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其特征在于:所述水平往复运动机构或/和竖直往复运动机构包括步进电机和平行四边形伸缩机构,所述平行四边形伸缩机构由步进电机驱动伸缩。

6. 根据权利要求2所述的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其特征在于:所述立管-海床结合器包括接头、垫板和固定螺栓,所述接头包括一连管段和一垫板段,所述接头的连管段呈圆柱形,其插入立管近床段下端内,与立管近床段下端连接,接头的垫板段搭在垫板上,垫板放置在海床上,固定螺栓穿过接头的垫板段和垫板并固定在海床上。

7. 根据权利要求2所述的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其特征在于:所述立管近床段的流固土耦合参数测量系统包括超声多普勒流速仪、光纤布拉格光栅应变传感器、拉力传感器,所述超声多普勒流速仪用于测量水槽内的水流场速度,所述光纤布拉格光栅应变传感器轴向设置在立管近床段表面,用于测量立管近床段应变,所述拉力传感器设置在立管近床段的上端与连杆的下端间,用于测量立管近床段所受的轴向力。

8. 根据权利要求2所述的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其特征在于:所述立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统还包括用于测量立管近床段运动位移的六自由度运动测量仪和发光二极管标志,所述发光二极管标志设置在立管近床段表面,以辅助六自由度运动测量仪进行测量。

9. 根据权利要求2所述的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其特征在于:所述立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统还包括用于测量海床冲刷变形的光学成像地形测量仪。

10. 根据权利要求2所述的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其特征在于:还

包括砂雨法海床制备系统,所述海床由砂雨法海床制备系统生成。

模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的主要技术领域为深水海洋工程、海洋土力学、流固土耦合、海底管道工程等。

背景技术

[0002] 立管是连接海上浮式结构与海底油气生产系统的关键结构,钢悬链线立管(SCR)是深水立管的主要形式。在海洋工程环境中,钢悬链线立管通常与海床土体存在着复杂的动力耦合作用,是影响立管安全的主要因素。立管与海床的动力耦合作用主要涉及(1)波浪载荷下浮式平台升沉运动诱导的立管与海床土体间的拍击作用;(2)海底近床面海流载荷作用下,SCR近床段管道往复运动与土体局部冲刷的流固土耦合效应。由此可引起立管局部应力放大,在长期往复运动下容易引起结构疲劳破坏等。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提出一种模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的方法及装置,以研究钢悬链线立管与海床的动力耦合作用,为立管的设计、安装及维护提供科学依据。

[0004] 为了实现上述目的,本发明的技术方案如下:

[0005] 一种模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的方法,其包括如下过程:

[0006] (1) 截取立管靠近海床段,即立管近床段;在一水槽内模拟出海床;将立管近床段的下端与海床连接;

[0007] (2) 在水槽内模拟出海流;

[0008] (3) 用位移控制的加载装置模拟浮式平台运动引起的立管近床段上端随时间的运动位移;

[0009] (4) 同步测量立管近床段与海床、海流的动力耦合参数。

[0010] 一种模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置,其包括水槽、循环水流控制系统、立管-海床结合模型、模拟浮式平台对立管近床段上端施加影响的加载装置、立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统,所述循环水流控制系统用于在水槽内产生不同流速和流向的水流,以模拟海流,所述立管-海床结合模型设于水槽内,所述立管-海床结合模型包括立管近床段、海床、立管-海床结合器,所述立管近床段的下端通过立管-海床结合器与海床连接。

[0011] 优选地,所述模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置还包括砂雨法海床制备系统,所述海床由砂雨法海床制备系统生成。

[0012] 优选地,所述加载装置包括连杆、水平和竖直双向往复运动装置、运动控制装置,所述连杆的下端与立管近床段的上端连接,连杆的上端与水平和竖直双向往复运动装置连接,所述运动控制装置用于控制水平和竖直双向往复运动装置的水平 and 竖直双向往复运动。

[0013] 优选地,水平和竖直双向往复运动装置包括水平安装架、水平往复运动机构、竖直

安装架和竖直往复运动机构,所述水平往复运动机构安装在水平安装架上,其执行端与竖直安装架连接,所述竖直往复运动机构安装在竖直安装架上,其执行端与连杆连接。

[0014] 优选地,所述水平往复运动机构或 / 和竖直往复运动机构包括步进电机和平行四边形伸缩机构,所述平行四边形伸缩机构由步进电机驱动伸缩。

[0015] 优选地,所述立管 - 海床结合器包括接头、垫板和固定螺栓,所述接头包括一连管段和一垫板段,所述接头的连管段呈圆柱形,其插入立管近床段下端内,与立管近床段下端连接,接头的垫板段搭在垫板上,垫板放置在海床上,固定螺栓穿过接头的垫板段和垫板,并固定在海床上。

[0016] 优选地,所述立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统包括超声多普勒流速仪、光纤布拉格光栅应变传感器、拉力传感器,所述超声多普勒流速仪用于测量水槽内的流场速度,所述光纤布拉格光栅应变传感器轴向设置在立管近床段表面,用于测量立管近床段应变,所述拉力传感器设置在立管近床段的上端与连杆的下端间,用于测量立管近床段所受的轴向力。

[0017] 优选地,所述立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统还包括用于测量立管近床段运动位移的六自由度运动测量仪和发光二极管标志,所述发光二极管标志设置在立管近床段表面,以辅助六自由度运动测量仪进行测量。

[0018] 优选地,所述立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统还包括用于测量海床冲刷变形的光学成像地形测量仪。

[0019] 可选地,所述水平往复运动机构或 / 和竖直往复运动机构为电动推拉杆。

[0020] 可选地,所述水平往复运动机构或 / 和竖直往复运动机构为步进电机直接驱动的丝杠螺母副。

[0021] 可选地,所述接头的连管段和垫板段通过万向节连接。

[0022] 可选地,所述接头的连管段和垫板段为一体结构。

[0023] 可选地,所述连杆由三段杆件通过两个铰接接头串接而成。

[0024] 可选地,所述连杆由两段杆件通过一固接接头连接而成,且两段杆件的夹角可调。

[0025] 由于实际的钢悬链线立管长径比较大,在实验室条件下无法进行等比尺模拟,故采用截断模拟方法,即截取立管靠近海床段,将其与模拟海流覆盖下的模拟海床连接,再用运动加载装置模拟浮式平台对立管近床段的影响,从而得以较为接近实际地模拟立管靠近海床段与海流、海床的相互作用,并测得立管近床段与海床、海流的动力耦合参数。

[0026] 本发明的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置可控性较强,且有多种可选方案,因而可以实现多种工况下立管与海床动力耦合的模拟。利用运动加载装置对立管近床段的上端施加可调周期和振幅的载荷,可模拟浮式平台升沉运动(即垂荡)或横荡对立管近床段的影响;利用两种立管 - 海床结合器可分别模拟立管近床段下端刚接和铰接条件;改变立管 - 海床结合器的垫板厚度,可模拟立管近床段铺设后的不同初始埋深;利用循环水流控制系统可模拟静水条件或不同流速、流向的水流荷载以及循环往复流动。

附图说明

[0027] 图 1 是本发明实施例的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置的总体结构示意图;

[0028] 图 2 和图 3 是立管近床段与连杆的两种连接示意图；

[0029] 图 4 和图 5 是立管近床段与海床的两种连接示意图。

[0030] 图中：1、水槽；2、立管近床段；3、连杆；31、杆件；32、铰接接头；33、固接接头；4、水平安装架；5、竖直安装架；6、夹持装置；7、步进电机；8、平行四边形伸缩机构；9、接头；91、连管段；92、垫板段；10、垫板；11、固定螺栓；12、超声多普勒流速仪；13、光纤布拉格光栅应变传感器；14、拉力传感器；15、发光二极管标志；16、光学成像地形测量仪；17、海床；18、土体表面；19、水流。

具体实施方式

[0031] 下文将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0032] 本实施例的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的方法包括如下过程：(1) 截取立管靠近海床段，即立管近床段 2；在水槽 1 内模拟出海床 17；将立管近床段 2 的下端与海床 17 连接；(2) 在水槽 1 内模拟出海流；(3) 用位移控制的加载装置模拟浮式平台运动引起的立管近床段 2 上端随时间的运动位移；(4) 同步测量立管近床段 2 与海床 17、海流的动力耦合参数。

[0033] 与上述模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的方法对应，本实施例的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置如图 1 所示，其包括水槽 1、循环水流控制系统、立管-海床结合模型、模拟浮式平台对立管近床段 2 上端施加影响的加载装置、立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统，所述循环水流控制系统用于在水槽 1 内产生不同流速和流向的水流，以模拟海流，所述立管-海床结合模型设于水槽 1 内，所述立管-海床结合模型包括立管近床段 2、海床 17、立管-海床结合器，立管近床段 2 沿水流方向布置，其下端通过立管-海床结合器与海床 17 连接。

[0034] 优选地，所述模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置还包括砂雨法海床制备系统，海床 17 由砂雨法海床制备系统生成。

[0035] 优选地，所述加载装置包括连杆 3、水平和竖直双向往复运动装置、运动控制装置、连杆 3 的下端与立管近床段 2 的上端连接，连杆 3 的上端与水平和竖直双向往复运动装置连接，所述运动控制装置用于控制水平和竖直双向往复运动装置的水平和竖直双向往复运动。

[0036] 可选地，连杆 3 由三段杆件 31 通过两个铰接接头 32 串接而成，如图 2 所示。当采用这种形式的连杆与立管近床段的上端连接时，表明模拟实验只考虑了立管近床段上端处的运动位移，未考虑该处弯矩。

[0037] 可选地，连杆 3 由两段杆件 31 通过一固接接头 33 连接而成，且两段杆件 31 的夹角可调，如图 3 所示。当采用这种形式的连杆与立管近床段的上端连接时，则需计算出立管近床段上端理论弯矩值，并根据计算结果相应改变立管近床段与竖向杆件的夹角，然后再用这种形式的连杆施加相应弯矩。

[0038] 上述两种形式的连杆在使用时都对立管近床段施加了张力，尽量还原了实际，并使立管-海床结合器不至于承受过大荷载。

[0039] 优选地，水平和竖直双向往复运动装置包括水平安装架 4、水平往复运动机构、竖

直安装架 5 和竖直往复运动机构,所述水平往复运动机构安装在水平安装架 4 上,其执行端与竖直安装架 5 连接,所述竖直往复运动机构安装在竖直安装架 5 上,其执行端与连杆 3 连接,如在执行端上设置一夹持装置 6,利用夹持装置 6 与连杆 3 连接。通过控制水平和竖直双向往复运动装置进行水平和竖直方向的运动,从而实现立管近床段处的等效运动。

[0040] 优选地,所述水平往复运动机构或 / 和竖直往复运动机构包括步进电机 7 和平行四边形伸缩机构 8,平行四边形伸缩机构 8 由步进电机 7 驱动伸缩。

[0041] 可选地,所述水平往复运动机构或 / 和竖直往复运动机构为电动推拉杆。

[0042] 可选地,所述水平往复运动机构或 / 和竖直往复运动机构为步进电机直接驱动的丝杠螺母副。

[0043] 优选地,所述立管-海床结合器包括接头 9、垫板 10 和固定螺栓 11,接头 9 包括一连管段 91 和一垫板段 92,接头 9 的连管段 91 呈圆柱形,其插入立管近床段 2 下端内,与立管近床段 2 下端连接,接头 9 的垫板段 92 搭在垫板 10 上,垫板 10 放置在海床 17 上,固定螺栓 11 穿过接头 9 的垫板段 92 和垫板 10,将接头 9 的垫板段 92 和垫板 10 固定在海床 17 上。

[0044] 改变垫板 10 厚度,即可调整立管近床段 2 预埋深度(即立管近床段 2 下侧距土体表面 18 的距离),从而得以模拟立管近床段 2 铺设后的不同初始埋深。

[0045] 可选地,接头 9 的连管段 91 和垫板段 92 为一体结构,如图 4 所示。当采用此种接头时,可模拟立管近床段的刚接端部条件。

[0046] 可选地,接头 9 的连管段 91 和垫板段 92 通过万向节连接,如图 5 所示。当采用此种接头时,可模拟立管近床段的铰接端部条件。

[0047] 优选地,所述立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统包括超声多普勒流速仪 12、光纤布拉格光栅应变传感器 13、拉力传感器 14,超声多普勒流速仪 12 用于测量水槽 1 内的水流速度,可采用线缆式超声多普勒流速仪及剖面超声多普勒流速仪对关键部位速度场进行测量,以及对边界层内的流速进行测量,以计算剪切应力;光纤布拉格光栅应变传感器 13 设置在立管近床段 2 表面轴向方向,用于测量立管近床段 2 的应变,进而求得相应的应力变化;拉力传感器 14 设置在立管近床段 2 的上端与连杆 3 的下端间,用于测量立管近床段 2 所受的轴向力。

[0048] 优选地,所述立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统还包括用于测量立管近床段 2 运动位移的六自由度运动测量仪和发光二极管(LED)标志 15,发光二极管标志 15 设置在立管近床段 2 表面,以辅助六自由度运动测量仪进行测量。

[0049] 优选地,所述立管近床段结构的流固土耦合参数测量系统还包括用于测量海床 17 冲刷变形的光学成像地形测量仪 16。

[0050] 依据上述方法和装置,下面列举两个具体的实验方案。

[0051] 方案一:立管近床段 2 上端与铰接形式的连杆 3(如图 2 所示)连接时的运动耦合。

[0052] 步骤 1:用砂雨法在水槽 1 中模拟出海床 17。

[0053] 步骤 2:选择垫板 10 厚度,以实现立管近床段 2 在海床 17 中的不同初始埋深;将立管近床段 2 下端通过立管-海床结合器与海床 17 连接;将水平和竖直双向往复运动装置移至适当位置并固定;将铰接形式的连杆 3 的一端连接夹持装置 6,另一端连接立管近床段 2 上端的拉力传感器 14;整平床面。

[0054] 步骤3:在水槽1中生成不同流速的水流,模拟海底不同水流状态;并使水平和竖直双向往复运动装置产生不同振幅、周期的水平或/和竖直往复运动,模拟立管近床段2上端处不同运动状态。

[0055] 步骤4:进行多物理参数(立管近床段2的应变、所受的轴向力、运动位移;水槽1内的水流速度;海床冲刷变形)同步测量。

[0056] 方案二:立管近床段2上端与固接形式的连杆3(如图3所示)连接时的运动耦合

[0057] 步骤1:用砂雨法在水槽1中模拟出海床17。

[0058] 步骤2:选择垫板10厚度,以实现立管近床段2在海床17中的不同初始埋深;将立管近床段2下端通过立管-海床结合器与海床17连接;将水平和竖直双向往复运动装置移至适当位置并固定。

[0059] 步骤3:通过解析法或数值计算,获得立管近床段2上端管道与竖向杆件的夹角;将固接形式的连杆3的一端连接夹持装置6,另一端连接立管近床段2上端的拉力传感器14;调整固接接头33处两杆件31夹角及双向往复运动机械加载装置位置,使立管近床段上端管道与竖向杆件的夹角与计算结果相符;整平床面。

[0060] 步骤4:在水槽1中生成不同流速的水流,模拟海底不同水流状态;并使水平和竖直双向往复运动装置产生不同振幅、周期的水平或/和竖直往复运动,模拟立管近床段2上端处不同运动状态。

[0061] 步骤5:进行多物理参数(立管近床段2的应变、所受的轴向力、运动位移;水槽1内的水流速度;海床冲刷变形)同步测量。

[0062] 本发明的模拟钢悬链线立管与海床动力耦合的装置可控性较强,且有多种可选方案,因而可以实现多种工况下立管与海床动力耦合的模拟。利用运动加载装置对立管近床段的上端施加可调周期和振幅的载荷,可模拟浮式平台升沉运动(即垂荡)或横荡对立管近床段的影响;利用两种立管-海床结合器可模拟立管近床段下端刚接和铰接的端部条件;改变立管-海床结合器的垫板厚度,可模拟立管近床段铺设后的不同初始埋深;利用循环水流控制系统可模拟静水条件或不同流速、流向的水流荷载以及循环往复流动。

[0063] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

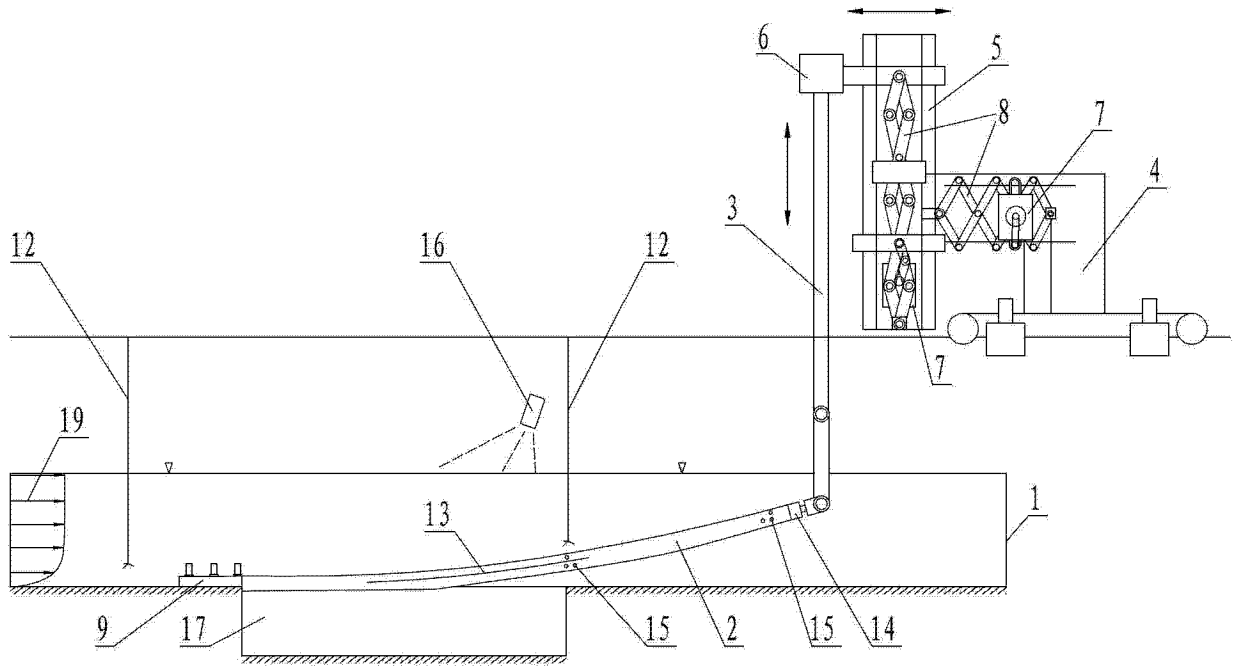


图 1

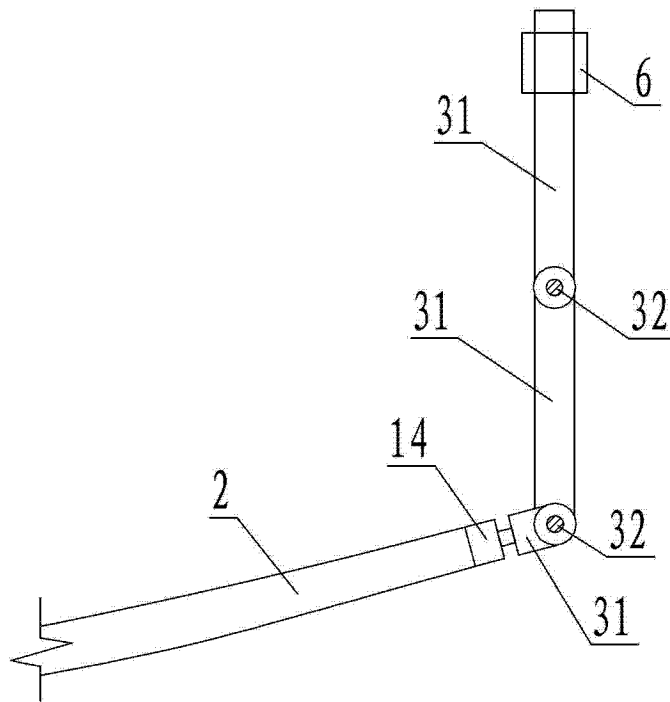


图 2

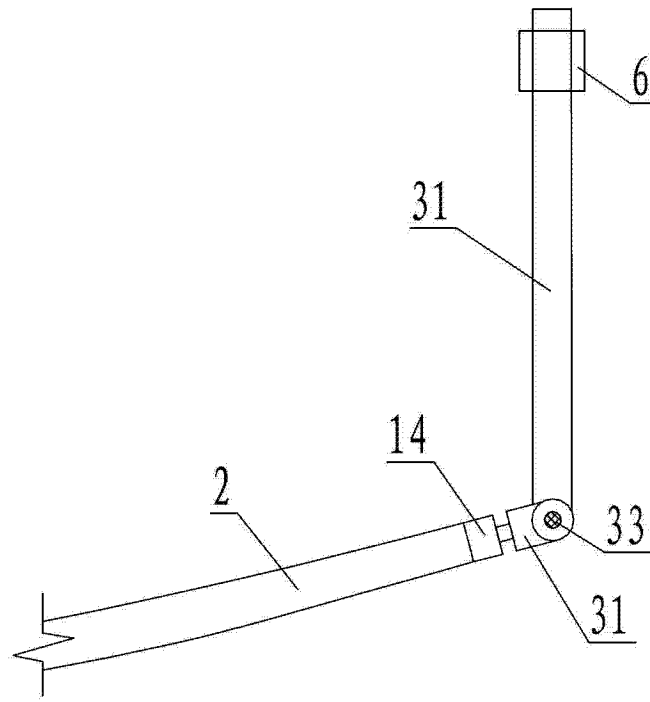


图 3

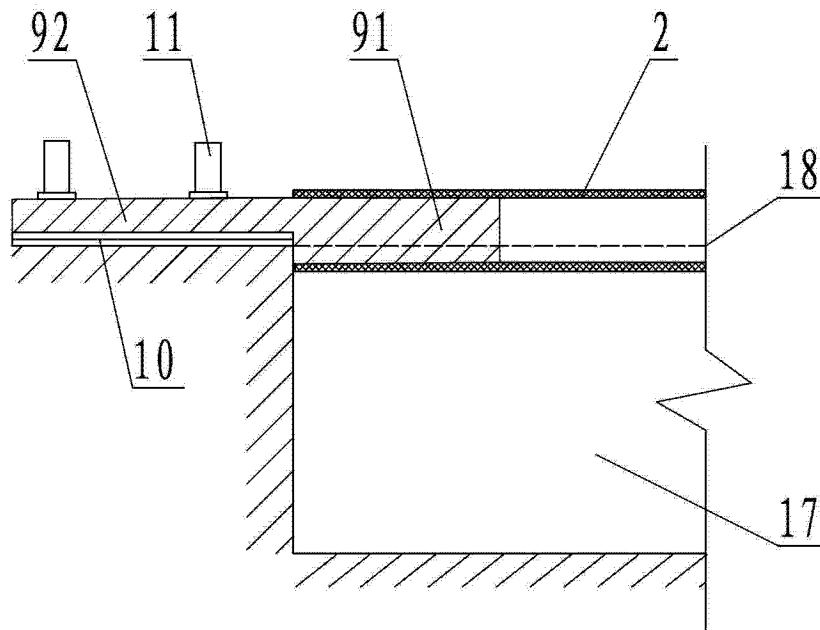


图 4

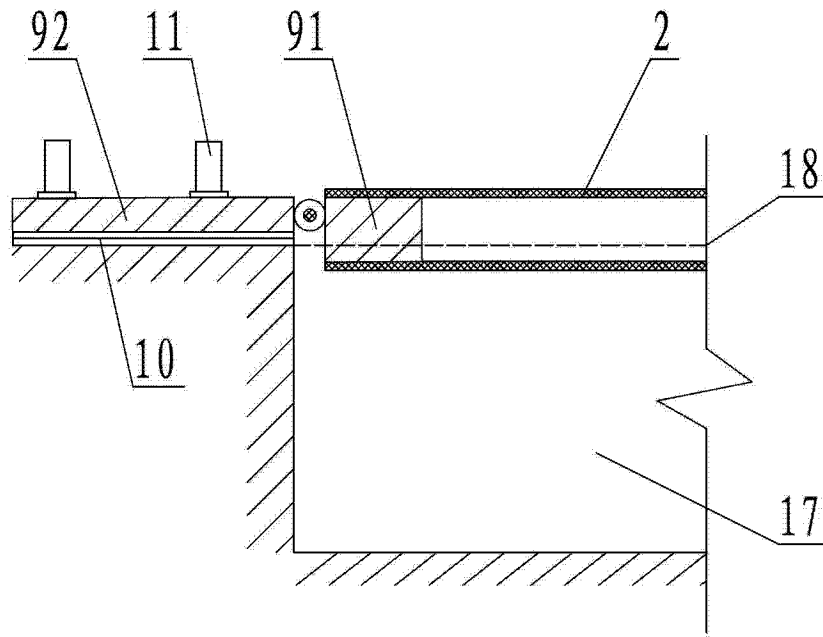


图 5