



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106768765 B

(45) 授权公告日 2023. 04. 11

(21) 申请号 201710038930.X

(56) 对比文件

(22) 申请日 2017.01.19

CN 104931501 A, 2015.09.23

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 袁鑫伟

申请公布号 CN 106768765 A

(43) 申请公布日 2017.05.31

(73) 专利权人 中国石油大学(华东)

地址 266580 山东省青岛市经济技术开发区
区长江西路66号

(72) 发明人 胡其会 王权 刘昶 王琳
李玉星

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

专利代理师 赵敏玲

(51) Int. Cl.

G01M 7/02 (2006.01)

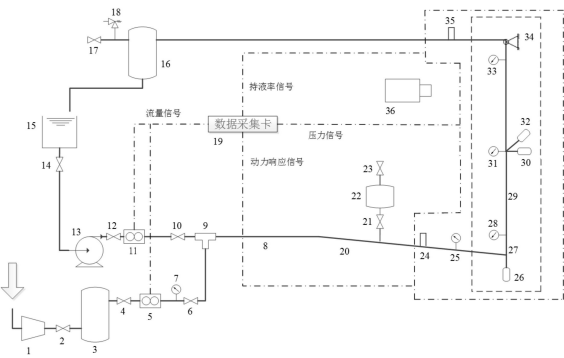
权利要求书3页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置

(57) 摘要

本发明公开了一种用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置,包括供水系统、供气系统、立管系统、数据采集系统和图像摄制监测系统;所述供气系统和供水系统均与气液混合器相连,所述气液混合器之后依次通过水平管段和下倾管段与立管系统相连,所述立管系统顶部设置有与供水系统连通的供水管路;所述数据采集系统用于对各管路上的动态数据信号进行采集,所述图像摄制监测系统用于对各管路上的流型流态进行监测。本发明可用于立管系统中流体与立管耦合振动的研究,对海洋立管系统的疲劳损伤与寿命预测,支承防护,抑振、抗震设计及建造都具有重要意义。



1. 一种用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置的试验方法,其特征是,所述实验装置,包括供水系统、供气系统、立管系统、数据采集系统和图像摄制监测系统;所述供气系统和供水系统均与气液混合器相连,所述气液混合器之后依次通过水平管段和下倾管段与立管系统相连,所述立管系统顶部设置有与供水系统连通的供水管路;所述数据采集系统用于对各管路上的动态数据信号进行采集,所述图像摄制监测系统用于对各管路上的流型流态进行监测;

所述供气系统包括压缩机和供气管路,所述压缩机通过供气管路依次连接有第一气体缓冲罐和气体流量计以及第一压力变送器;

所述供水系统包括储水罐和供水管路,所述储水罐通过供水管路依次连接有离心泵和流体流量计;

所述供气管路和供水管路通过气液混合器汇合成气液混合管路,所述气液混合管包括水平管段和连接水平管段之后的下倾管段,所述下倾管段上依次设置有第二气体缓冲罐、第一双平行电导探针和第二压力变送器,之后所述下倾管段与立管系统连接,所述立管系统上设置有多个压力变送器和多个位移传感器;所述立管系统顶部出口处设置有第二双平行电导探针,且所述立管系统顶部通过供水管路连接有气液分离器,所述气液分离器再通过供水管路与储水罐连通,进而构成供水环路;所述第一双平行电导探针和第二双平行电导探针中每双电导探针相互平行且相距为5mm;

所述数据采集系统包括数据采集卡,所述数据采集卡分别与气体流量计、液体流量计、第一双平行电导探针、第二双平行电导探针、各个压力变送器和各个位移传感器通过线路连接,进而对相应管路上的流量信号、持液率信号、压力信号和动力响应信号进行采集;

所述图像摄制监测系统包括高速摄像机,所述高速摄像机用于在实验过程中对立管系统中流体的流型流态进行观察并记录;

在所述供气系统的供气管路上,所述压缩机与第一气体缓冲罐之间管路上设置有第一阀门,所述第一气体缓冲罐和气体流量计之间管路上设置有第二阀门,所述第一压力变送器和气液混合器之间管路上设置有第三阀门;在所述供水系统的供水管路上,所述储水罐与离心泵之间管路上设置有第六阀门,所述离心泵和流体流量计之间管路上设置有第五阀门,所述流体流量计和气液混合器之间管路上设置有第四阀门;所述第二气体缓冲罐与下倾管段之间的支管路上设置有第八阀门,且所述第二气体缓冲罐还设置有与大气连通的第九阀门;所述气液分离器上设置有与大气连通的第七阀门和安全阀;

试验方法具体包括以下步骤:

步骤一:选用垂直式立管系统进行实验,初始时,整个实验装置的阀门都处于关闭状态,且整个实验装置中充满气体;首先依次开启第四阀门、第五阀门、第六阀门、第七阀门、离心泵、高速摄像机和数据采集卡,数据采集卡监测并记录第二压力变送器、第三压力变送器、第四压力变送器、第五压力变送器、第一位移传感器、第二位移传感器、第三位移传感器、第一双平行电导探针和第二双平行电导探针的信号变化,高速摄像机监测并记录立管系统中流体的流型流态;

所述垂直式立管系统由一个铰支固定,所述垂直式立管系统包括弯管段和通过弯管段与下倾管段连接的垂直式立管段,所述垂直式立管段靠近底部弯管段处设置有第一位移传感器和第三压力变送器,所述垂直式立管段靠近中间位置设置有第二位移传感器和第三位

移传感器以及第四压力变送器,所述第二位移传感器和第三位移传感器相对立管段互相垂直设置,所述垂直式立管段靠近顶部位置设置有第五压力变送器;

步骤二:进行单相流固耦合振动实验时,调节离心泵频率来改变液体流量的大小,在不同液相流量下,进行弯管冲击试验,监测并记录各个压力变送器、位移传感器和双平行电导探针的信号变化,待液体流量稳定后,进行立管流固耦合振动实验,记录压力变送器、位移传感器和双平行电导探针的信号变化;

步骤三:进行气液两相流固耦合振动实验时,首先依次打开第一阀门、第二阀门、第三阀门、压缩机、第八阀门向实验装置中供气,此时立管系统中为气液两相流,通过第一双平行电导探针监测并记录立管上游下倾管段的持液率变化,通过第二双平行电导探针监测并记录立管顶部出口处持液率变化,第二压力变送器、第三压力变送器、第四压力变送器、第五压力变送器分别记录下倾管段靠近垂直式立管底部弯管段、垂直式立管段下部、垂直式立管段中部和垂直式立管段顶部的压力信号,第一位移传感器监测并记录垂直式立管底部竖直方向上的动力响应,第二位移传感器和第三位移传感器监测垂直式立管段中部垂直轴向上的运动;

步骤四:改变气液流量得到不同工况时,垂直式立管段底部弯管段的冲击响应特性,等到垂直式立管段系统中流型较固定后进行立管流固耦合实验,并记录压力、持液率、动力响应数据;调节气液流量得到不同流型时,数据采集卡记录压力信号、持液率信号和动力响应信号;

步骤五:将垂直式立管系统换成自由悬链式立管系统,此时悬链式立管段底部安装的第一位移传感器监测并记录竖直方向的动力响应信号,悬链式立管段中部安装的第二位移传感器和第三位移传感器监测并记录垂直于悬链式立管段轴向的动力响应信号,第三压力变送器、第四压力变送器、第五压力变送器监测并记录压力信号;然后重复步骤一、二、三、四进行自由悬链式立管的单相流固耦合振动试验和气液两相流固耦合振动试验;

所述自由悬链式立管系统由一个铰支固定,所述自由悬链式立管系统包括弯管段和通过弯管段与下倾管段连接的悬链式立管段,所述悬链式立管段靠近底部弯管段处设置有第一位移传感器和第三压力变送器,所述悬链式立管段靠近中间位置设置有第二位移传感器和第三位移传感器以及第四压力变送器,所述第二位移传感器和第三位移传感器相对立管段互相垂直设置,所述悬链式立管段靠近顶部位置设置有第五压力变送器;

步骤六:将自由悬链式立管系统换成S型立管系统,此时S型立管段底部安装的第一位移传感器监测并记录竖直方向的动力响应信号,S型立管段中部安装的第二位移传感器、第三位移传感器、第四位移传感器和第五位移传感器监测并记录垂直于S型立管段轴向的动力响应信号,第三压力变送器、第四压力变送器、第五压力变送器、第六压力变送器和第七压力变送器监测并记录压力信号;然后重复步骤一、二、三、四进行S型立管的单相流固耦合振动试验和气液两相流固耦合振动试验;

所述S型立管系统由第一铰支和第二铰支固定,所述S型立管系统包括弯管段和通过弯管段与下倾管段连接的S型立管段,所述S型立管段靠近底部位置弯管段处设置有第一位移传感器和第三压力变送器,所述S型立管段靠近第一铰支处设置有第五压力变送器,所述S型立管段靠近顶部第二铰支处设置有第七压力变送器,所述S型立管段的底部至第一铰支之间的管段上设置有有第二位移传感器和第三位移传感器以及第四压力变送器,所述第二

位移传感器和第三位移传感器相对立管段互相垂直设置,所述S型立管段的第一铰支至第二铰支之间的管段上还设置有第四位移传感器和第五位移传感器以及第六压力变送器,所述第四位移传感器和第五位移传感器相对立管段互相垂直设置。

2.如权利要求1所述的用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置的试验方法,其特征是,整个实验过程中对选用垂直式立管系统、自由悬链式立管系统和S型立管系统进行实验的先后循序可进行更换。

3.如权利要求1所述的用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置的试验方法,其特征是,整个实验过程中采用的介质为水和空气。

4.如权利要求1所述的用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置的试验方法,其特征是,所述立管系统均采用透明有机玻璃管。

一种用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置

技术领域

[0001] 本发明属于海洋油气开采技术领域,尤其涉及一种用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置。

背景技术

[0002] 随着陆地油气资源日益枯竭,海洋油气资源的开发力度日渐加大。我国南海海域油气储量巨大,属于世界四大海洋油气资源富集区之一,有“第二个波斯湾”之称。海洋俨然变成了我国油气资源开发的重要潜在区域。在海洋石油开采中,海洋立管是浮式生产系统用于向船或平台传送流体的基本装置,海洋立管的功能可以简单地划分为:钻井、完井、生产/注入、输出。海洋立管是最重要的装置,同时也是薄弱、易损的结构之一。

[0003] 流体通过海洋立管系统时,流体密度、压力等参数随时间变化,可能引起管道的参数共振和组合共振;同时随着海洋石油装备技术水平的发展,立管长度越来越长,挠度和柔性大,易于发生振动。管道振动会引起管道及相关设备的疲劳损伤,极易导致生产系统破坏,造成物料泄露,进而造成重大的经济损失,引起严重的环境污染和次生灾害。在此,气液两相流管道的流固耦合作用是非常关键的一个因素,然而流固耦合作用机理非常复杂,很难理论化地描述,这使得流体诱发管道动力响应的特性很难预测,管道破坏的潜在危险难以排除。因此,开展海洋立管系统流固耦合振动特性的研究,对海洋立管系统的疲劳损伤与寿命预测,支承防护,抑振、抗震设计及建造都具有重要意义。

发明内容

[0004] 针对海洋油气开采的过程中立管的振动响应特性,本发明提供了一种用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置。针对常见的海洋立管形式,本实验装置分别设计了垂直式立管、自由悬链式立管和S型立管。针对每种立管形式,分别进行单相流与立管耦合振动和两相流与立管耦合振动的实验,得到不同工况下立管段底部弯管段瞬态冲击动力响应和竖直方向和水平方向的振动特性,为海洋立管的失效进行风险评估提供依据,实现海洋油气的安全、高效开采。

[0005] 为了实现上述功能,本发明采用了如下的技术方案:

[0006] 一种用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置,包括供水系统、供气系统、立管系统、数据采集系统和图像摄制监测系统;所述供气系统和供水系统均与气液混合器相连,所述气液混合器之后依次通过水平管段和下倾管段与立管系统相连,所述立管系统顶部设置有与供水系统连通的供水管路;所述数据采集系统用于对各管路上的动态数据信号进行采集,所述图像摄制监测系统用于对各管路上的流型流态进行监测。

[0007] 进一步地,所述供气系统包括压缩机和供气管路,所述压缩机通过供气管路依次连接有第一气体缓冲罐和气体流量计以及第一压力变送器;

[0008] 所述供水系统包括储水罐和供水管路,所述储水罐通过供水管路依次连接有离心泵和流体流量计;

[0009] 所述供气管路和供水管路通过气液混合器汇合成气液混合管路,所述气液混合管包括水平管段和连接水平管段之后的下倾管段,所述下倾管段上依次设置有第二气体缓冲罐、第一双平行电导探针和第二压力变送器,之后所述下倾管段与立管系统连接,所述立管系统上设置有多个压力变送器和多个位移传感器;所述立管系统顶部出口处设置有第二双平行电导探针,且所述立管系统顶部通过供水管路连接有气液分离器,所述气液分离器再通过供水管路与储水罐连通,进而构成供水环路;所述第一双平行电导探针和第二双平行电导探针中每双电导探针互相平行且相距为5mm;

[0010] 所述数据采集系统包括数据采集卡,所述数据采集卡分别与气体流量计、液体流量计、第一双平行电导探针、第二双平行电导探针、各个压力变送器和各个位移传感器通过线路连接,进而对相应管路上的流量信号、持液率信号、压力信号和动力响应信号进行采集;

[0011] 所述图像摄制监测系统包括高速摄像机,所述高速摄像机用于在实验过程中对立管系统中流体流型流态进行观察并记录。

[0012] 进一步地,所述立管系统为垂直式立管系统,所述垂直式立管系统由一个铰支固定,所述垂直式立管系统包括弯管段和通过弯管段与下倾管段连接的垂直式立管段,所述垂直式立管段靠近底部弯管段处设置有第一位移传感器和第三压力变送器,所述垂直式立管段靠近中间位置设置有第二位移传感器和第三位移传感器以及第四压力变送器,所述第二位移传感器和第三位移传感器相对立管段互相垂直设置,所述垂直式立管段靠近顶部位置设置有第五压力变送器。

[0013] 进一步地,所述立管系统为自由悬链式立管系统,所述自由悬链式立管系统由一个铰支固定,所述自由悬链式立管系统包括弯管段和通过弯管段与下倾管段连接的悬链式立管段,所述悬链式立管段靠近底部弯管段处设置有第一位移传感器和第三压力变送器,所述悬链式立管段靠近中间位置设置有第二位移传感器和第三位移传感器以及第四压力变送器,所述第二位移传感器和第三位移传感器相对立管段互相垂直设置,所述悬链式立管段靠近顶部位置设置有第五压力变送器。

[0014] 进一步地,所述立管系统为S型立管系统,所述S型立管系统由第一铰支和第二铰支固定,所述S型立管系统包括弯管段和通过弯管段与下倾管段连接的S型立管段,所述S型立管段靠近底部位置弯管段处设置有第一位移传感器和第三压力变送器,所述S型立管段靠近第一铰支处设置有第五压力变送器,所述S型立管段靠近顶部第二铰支处设置有第七压力变送器,所述S型立管段的底部至第一铰支之间的管段上设置有有第二位移传感器和第三位移传感器以及第四压力变送器,所述第二位移传感器和第三位移传感器相对立管段互相垂直设置,所述S型立管段的第一铰支至第二铰支之间的管段上还设置有第四位移传感器和第五位移传感器以及第六压力变送器,所述第四位移传感器和第五位移传感器相对立管段互相垂直设置。

[0015] 进一步地,在所述供气系统的供气管路上,所述压缩机与第一气体缓冲罐之间管路上设置有第一阀门,所述第一气体缓冲罐和气体流量计之间管路上设置有第二阀门,所述第一压力变送器和气液混合器之间管路上设置有第三阀门;在所述供水系统的供水管路上,所述储水罐与离心泵之间管路上设置有第六阀门,所述离心泵和流体流量计之间管路上设置有第五阀门,所述流体流量计和气液混合器之间管路上设置有第四阀门;所述第二

气体缓冲罐与下倾管段之间的支管路上设置有第八阀门,且所述第二气体缓冲罐还设置有与大气连通的第九阀门;所述气液分离器上设置有与大气连通的第七阀门和安全阀。

[0016] 进一步地,所述立管系统均采用透明有机玻璃管。

[0017] 一种用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置的试验方法,包括以下步骤:

[0018] 步骤一:选用垂直式立管系统进行实验,初始时,整个实验装置的阀门都处于关闭状态,且整个实验装置中充满气体;首先依次开启第四阀门、第五阀门、第六阀门、第七阀门、离心泵、高速摄像机和数据采集卡,数据采集卡监测并记录第二压力变送器、第三压力变送器、第四压力变送器、第五压力变送器、第一位移传感器、第二位移传感器、第三位移传感器、第一双平行电导探针和第二双平行电导探针的信号变化,高速摄像机监测并记录立管系统中流体的流型流态;

[0019] 步骤二:进行单相流固耦合振动实验时,调节离心泵频率来改变液体流量的大小,在不同液相流量下,进行弯管冲击试验,监测并记录各个压力变送器、位移传感器和双平行电导探针的信号变化,待液体流量稳定后,进行立管流固耦合振动实验,记录压力变送器、位移传感器和双平行电导探针的信号变化;

[0020] 步骤三:进行气液两相流固耦合振动实验时,首先依次打开第一阀门、第二阀门、第三阀门、压缩机、第八阀门向实验装置中供气,此时立管系统中为气液两相流,通过第一双平行电导探针监测并记录立管上游下倾管段的持液率变化,通过第二双平行电导探针监测并记录立管顶部出口处持液率变化,第二压力变送器、第三压力变送器、第四压力变送器、第五压力变送器分别记录下倾管段靠近垂直式立管底部弯管段、垂直式立管段下部、垂直式立管段中部和垂直式立管段顶部的压力信号,第一位移传感器监测并记录垂直式立管底部竖直方向上的动力响应,第二位移传感器和第三位移传感器监测垂直式立管段中部垂直轴向上的运动;

[0021] 步骤四:改变气液流量得到不同工况时,垂直式立管段底部弯管段的冲击响应特性,等到垂直式立管段系统中流型较固定后进行立管流固耦合实验,并记录压力、持液率、动力响应数据;调节气液流量得到不同流型时,数据采集卡记录压力信号、持液率信号和动力响应信号;

[0022] 步骤五:将垂直式立管系统换成自由悬链式立管系统,此时悬链式立管段底部安装的第一位移传感器监测并记录竖直方向的动力响应信号,悬链式立管段中部安装的第二位移传感器和第三位移传感器监测并记录垂直于悬链式立管段轴向的动力响应信号,第三压力变送器、第四压力变送器、第五压力变送器监测并记录压力信号;然后重复步骤一、二、三、四进行自由悬链式立管的单相流固耦合振动试验和气液两相流固耦合振动试验;

[0023] 步骤六:将自由悬链式立管系统换成S型立管系统,此时S型立管段底部安装的第一位移传感器监测并记录竖直方向的动力响应信号,S型立管段中部安装的第二位移传感器、第三位移传感器、第四位移传感器和第五位移传感器监测并记录垂直于S型立管段轴向的动力响应信号,第三压力变送器、第四压力变送器、第五压力变送器、第六压力变送器和第七压力变送器监测并记录压力信号;然后重复步骤一、二、三、四进行S型立管的单相流固耦合振动试验和气液两相流固耦合振动试验。

[0024] 进一步地,整个实验过程中对选用垂直式立管系统、自由悬链式立管系统和S型立

管系统进行实验的先后循序可进行更换。

[0025] 进一步地,整个实验过程中采用的介质为水和空气。

[0026] 本发明的有益效果是:本发明提供的用于研究海洋立管系统流固耦合振动特性的实验装置可用于立管系统中流体与立管耦合振动的研究,对海洋立管系统的疲劳损伤与寿命预测,支承防护,抑振、抗震设计及建造都具有重要意义。根据常见的立管形式,选择了3种立管系统进行研究,分别为:垂直式立管系统、自由悬链式立管系统和S型立管系统。该实验装置可以进行单相耦合振动研究和气液两相流耦合振动研究。在立管段底部的下倾管段和立管段顶部出口处分别安装双平行电导探针用于测试持液率信号;在立管段的上中下部分别安装压力变送器用于测量压力信号;在立管段底部弯管段安装位移传感器用于测量立管竖直方向的定力响应;在立管段中部安装相对立管段互相垂直的2个位移传感器用于测量立管在垂直于轴向的动力响应,其中S型立管设置有两组;通过高速摄像机观察并记录整个立管段中流体的流动;立管段顶部设置铰支,其中S型立管段设置两个铰支;调节气液流量可以得到不同工况下的立管段底部弯管段的瞬态冲击,同时得到立管段内不同流型流态时立管的动力响应特性。

附图说明

[0027] 图1是本发明用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置的原理示意图;

[0028] 图2是本发明垂直式立管系统的示意图;

[0029] 图3是本发明自由悬链式立管系统示意图;

[0030] 图4是本发明S型立管系统示意图;

[0031] 图5是本发明双平行电导探针截面示意图;

[0032] 图6是本发明立管中部位移传感器垂直轴向截面示意图。

[0033] 其中:1-压缩机,2-第一阀门,3-第一气体缓冲罐,4-第二阀门,5-气体流量计,6-第三阀门,7-第一压力变送器,8-水平管段,9-气液混合器,10-第四阀门,11-液体流量计,12-第五阀门,13-离心泵,14-第六阀门,15-储水罐,16-气液分离器,17-第七阀门,18-安全阀,19-数据采集卡,20-下倾管段,21-第八阀门,22-第二气体缓冲罐,23-第九阀门,24-第一双平行电导探针,25-第二压力变送器;

[0034] 26-第一位移传感器,27-弯管段,28-第三压力变送器,29-垂直式立管段,30-第二位移传感器,31-第四压力变送器,32-第三位移传感器,33-第五压力变送器,34-铰支,35-第二双平行电导探针,36-高速摄像机;

[0035] 37-第三压力变送器,38-第一位移传感器,39-弯管段,40-悬链式立管段,41-第二位移传感器,42-第三位移传感器,43-第四压力变送器,44-第五压力变送器,45-铰支;

[0036] 46-第一位移传感器,47-第三压力变送器,48-S型立管段,49-第四压力变送器,50-第二位移传感器,51-第三位移传感器,52-第五压力变送器,53-第一铰支,54-第六压力变送器,55-第四位移传感器,56-第五位移传感器,57-第七压力变送器,58-第二铰支,59-弯管段。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0038] 图1是本发明用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置的原理示意图;图2是本发明垂直式立管系统的示意图;图3是本发明自由悬链式立管系统示意图;图4是本发明S型立管系统示意图;图5是本发明双平行电导探针截面示意图;图6是本发明立管中部位移传感器垂直轴向截面示意图。

[0039] 如图1-6所示,一种用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置,包括供水系统、供气系统、立管系统、数据采集系统和图像摄制监测系统;其中供气系统和供水系统均与气液混合器9相连,气液混合器9之后依次通过水平管段8和下倾管段20与立管系统相连,立管系统顶部设置有与供水系统连通的供水管路,其中数据采集系统用于对各管路上的动态数据信号进行采集,而图像摄制监测系统用于对各管路上的流型流态进行监测。

[0040] 进一步地,供气系统包括压缩机1和供气管路,其中压缩机1通过供气管路依次连接有第一气体缓冲罐3和气体流量计5以及第一压力变送器7;

[0041] 供水系统包括储水罐15和供水管路,其中储水罐15通过供水管路依次连接有离心泵13和流体流量计11;

[0042] 供气管路和供水管路通过气液混合器9汇合成气液混合管路,其中气液混合管包括水平管段8和连接水平管段8之后的下倾管段20,而下倾管段20上依次设置有第二气体缓冲罐22、第一双平行电导探针24和第二压力变送器25,之后下倾管段20与立管系统连接,在此,第二气体缓冲罐22的设置增加了气体空间,从而增加了严重段塞流的发生范围,为重点研究严重段塞流时立管系统流固耦合振动特性提供较宽广的工况范围;而立管系统上设置有多个压力变送器和多个位移传感器;立管系统顶部出口处设置有第二双平行电导探针,且立管系统顶部通过供水管路连接有气液分离器16,气液分离器16再通过供水管路与储水罐15连通,进而构成供水环路,其中气液分离器16用于将从立管系统中携带出的水气混合物进行分离,并使水流回到储水罐15中循环利用;

[0043] 数据采集系统包括数据采集卡19,其中数据采集卡19分别与气体流量计5、液体流量计11、第一双平行电导探针24、第二双平行电导探针35、各个压力变送器和各个位移传感器通过线路连接,进而对相应管路上的流量信号、持液率信号、压力信号和动力响应信号进行采集;

[0044] 图像摄制监测系统包括高速摄像机36,其中高速摄像机36用于在实验过程中对立管系统中流体的动态进行观察并记录。

[0045] 进一步地,第一双平行电导探针24和第二双平行电导探针35每根电导探针相互平行且相距 d 为5mm。

[0046] 进一步地,立管系统为垂直式立管系统,其中垂直式立管系统由一个铰支34固定,其包括弯管段27和通过弯管段27与下倾管段20连接的垂直式立管段29,其中垂直式立管段29靠近底部位置即弯管段27处设置有第一位移传感器26和第三压力变送器28,而垂直式立管段29靠近中间位置设置有第二位移传感器30和第三位移传感器32以及第四压力变送器31,在此第二位移传感器30和第三位移传感器32相对立管段互相垂直设置,而垂直式立管段29靠近顶部位置即铰支34处设置有第五压力变送器33。

[0047] 进一步地,立管系统为自由悬链式立管系统,其中自由悬链式立管系统由一个铰支45固定,其包括弯管段39和通过弯管段39与下倾管段20连接的悬链式立管段40,其中悬链式立管段40靠近底部位置即弯管段39处设置有第一位移传感器38和第三压力变送器37,

而悬链式立管段40靠近中间位置设置有第二位移传感器41和第三位移传感器42以及第四压力变送器43,在此第二位移传感器41和第三位移传感器42相对立管段互相垂直设置,而悬链式立管段40靠近顶部位置即铰支45处设置有第五压力变送器44。

[0048] 进一步地,立管系统为S型立管系统,其中S型立管系统由2个铰支即第一铰支53和第二铰支58固定,其包括弯管段59和通过弯管段59与下倾管段20连接的S型立管段48,其中S型立管段48靠近底部位置即弯管段59处设置有第一位移传感器46和第三压力变送器47,S型立管段48靠近第一铰支53处设置有第五压力变送器52,S型立管段48靠近顶部位置即第二铰支58处设置有第七压力变送器57,其中S型立管段48的底部至第一铰支53之间的管段上设置有第二位移传感器50和第三位移传感器51以及第四压力变送器49,在此第二位移传感器50和第三位移传感器51相对立管段互相垂直设置,而S型立管段48的第一铰支53至第二铰支58之间的管段上还设置有第四位移传感器55和第五位移传感器56以及第六压力变送器54,在此第四位移传感器55和第五位移传感器56相对立管段互相垂直设置。

[0049] 进一步地,在供气系统的供气管路上,压缩机1与第一气体缓冲罐3之间管路上设置有第一阀门2,第一气体缓冲罐3和气体流量计5之间管路上设置有第二阀门4,第一压力变送器7和气液混合器9之间管路上设置有第三阀门6;而在供水系统的供水管路上,储水罐15与离心泵13之间管路上设置有第六阀门14,离心泵13和流体流量计11之间管路上设置有第五阀门12,流体流量计11和气液混合器9之间管路上设置有第四阀门10;而第二气体缓冲罐22与下倾管段20之间的支管路上设置有第八阀门21,且第二气体缓冲罐22还设置有与大气连通的第九阀门23;气液分离器16上设置有与大气连通的第七阀门17和安全阀18。

[0050] 进一步地,整个测试部分即立管系统均采用透明有机玻璃管。

[0051] 本发明提供的用于研究立管系统流固耦合振动特性的实验装置,其实验的具体操作如下:

[0052] 步骤一:选用垂直式立管系统进行实验,初始时,整个实验装置的阀门都处于关闭状态,且整个实验装置中充满气体;首先依次开启第四阀门10、第五阀门12、第六阀门14、第七阀门17、离心泵13、高速摄像机36和数据采集卡19,数据采集卡19监测并记录第二压力变送器25、第三压力变送器28、第四压力变送器31、第五压力变送器33、第一位移传感器26、第二位移传感器30、第三位移传感器32、第一双平行电导探针24和第二双平行电导探针35的信号变化,高速摄像机36监测并记录立管系统中流体的流型流态;

[0053] 步骤二:进行单相流固耦合振动实验时,调节离心泵13频率来改变液体流量的大小,在不同液相流量下,进行弯管冲击试验,监测并记录各个压力变送器、位移传感器和双平行电导探针的信号变化,待液体流量稳定后,进行立管流固耦合振动实验,记录压力变送器、位移传感器和双平行电导探针的信号变化;

[0054] 步骤三:进行气液两相流固耦合振动实验时,首先依次打开第一阀门2、第二阀门4、第三阀门6、压缩机1、第八阀门21向实验装置中供气,此时立管系统中为气液两相流,通过第一双平行电导探针24监测并记录立管上游下倾管段的持液率变化,通过第二双平行电导探针35监测并记录立管顶部出口处持液率变化,第二压力变送器25、第三压力变送器28、第四压力变送器31、第五压力变送器33分别记录下倾管段20靠近垂直式立管底部弯管段、垂直式立管段下部、垂直式立管段中部和垂直式立管段顶部的压力信号,第一位移传感器26监测并记录垂直式立管底部竖直方向上的动力响应,第二位移传感器30和第三位移传感

器32监测垂直式立管段中部垂直轴向的运动;

[0055] 步骤四:改变气液流量可以得到不同工况时,垂直式立管段底部弯管段的冲击响应特性,等到垂直式立管段系统中流型较固定后进行立管流固耦合实验,并记录压力、持液率、动力响应数据;当调节气液流量得到不同流型时,尤其是严重段塞流时,数据采集卡19记录压力信号、持液率信号和动力响应信号;

[0056] 步骤五:将垂直式立管系统换成自由悬链式立管系统,此时悬链式立管段40底部安装的第一位移传感器38监测并记录竖直方向的动力响应信号,悬链式立管段40中部安装的第二位移传感器41和第三位移传感器42监测并记录垂直于悬链式立管段轴向的动力响应信号,第三压力变送器37、第四压力变送器43、第五压力变送器44监测并记录压力信号;然后重复步骤一、二、三、四进行自由悬链式立管的单相流固耦合振动试验和气液两相流固耦合振动试验。

[0057] 步骤六:将自由悬链式立管系统换成S型立管系统,此时S型立管段48底部安装的第一位移传感器46监测并记录竖直方向的动力响应信号,S型立管段48中部安装的第二位移传感器50、第三位移传感器51、第四位移传感器55和第五位移传感器56监测并记录垂直于S型立管段48轴向的动力响应信号,第三压力变送器47、第四压力变送器49、第五压力变送器52、第六压力变送器54和第七压力变送器57监测并记录压力信号;然后重复步骤一、二、三、四进行S型立管的单相流固耦合振动试验和气液两相流固耦合振动试验。

[0058] 进一步地,整个实验过程中对选用垂直式立管系统、自由悬链式立管系统和S型立管系统进行实验的先后循序可进行更换。

[0059] 进一步地,整个实验过程中采用的介质为水和空气。

[0060] 本发明提供的用于研究海洋立管系统流固耦合振动特性的实验装置可用于立管系统中流体与立管耦合振动的研究,对海洋立管系统的疲劳损伤与寿命预测,支承防护,抑振、抗震设计及建造都具有重要意义。根据常见的立管形式,选择了3种立管系统进行研究,分别为:垂直式立管系统、自由悬链式立管系统和S型立管系统。该实验装置可以进行单相耦合振动研究和气液两相流耦合振动研究。在立管段底部的下倾管段和立管段顶部出口处分别安装双平行电导探针用于测试持液率信号;在立管段的上中下部分别安装压力变送器用于测量压力信号;在立管段底部弯管段安装位移传感器用于测量立管竖直方向的定力响应;在立管段中部安装相对立管段互相垂直的2个位移传感器用于测量立管在垂直于轴向的动力响应,其中S型立管设置有两组;通过高速摄像机观察并记录整个立管段中流体的流动;立管段顶部设置铰支,其中S型立管段设置两个铰支;调节气液流量可以得到不同工况下的立管段底部弯管段的瞬态冲击,同时得到立管段内不同流型流态时立管的动力响应特性。

[0061] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“上”、“下”、“中”、“顶”、“底”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0062] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

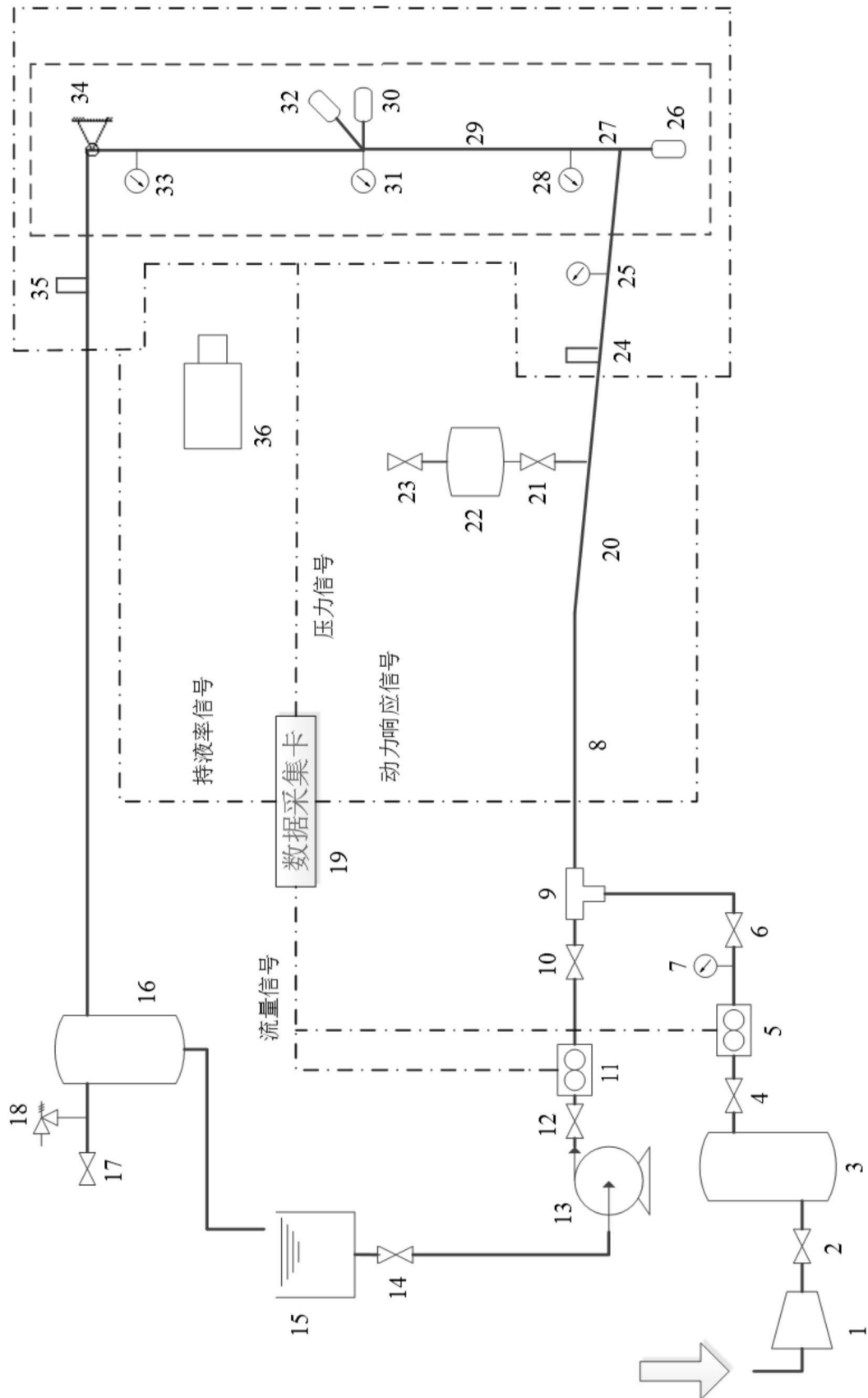


图1

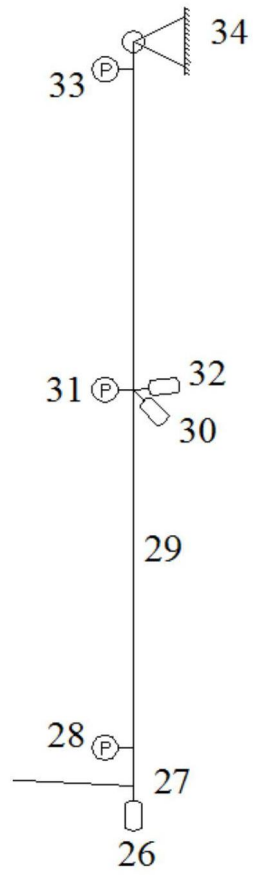


图2

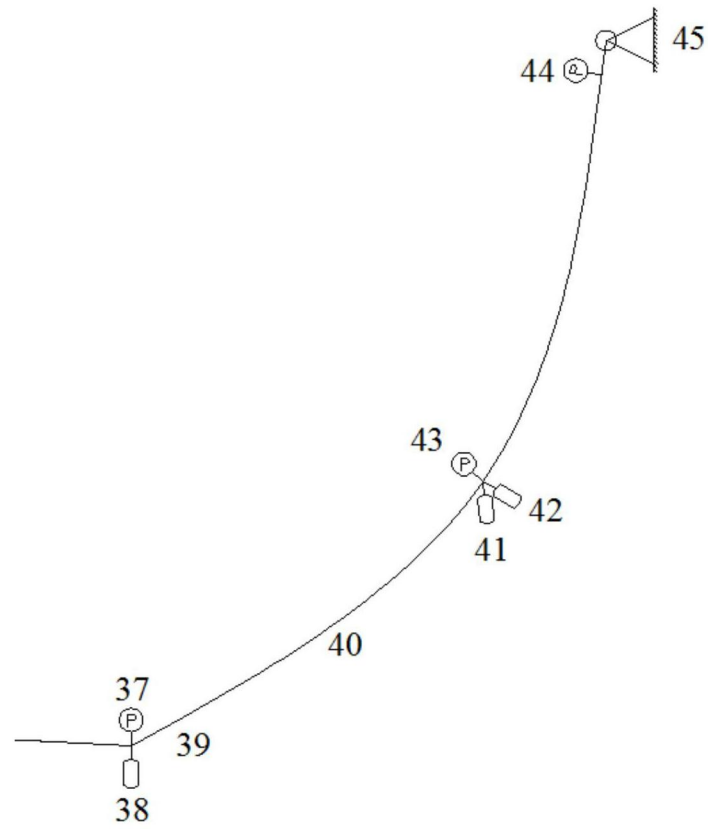


图3

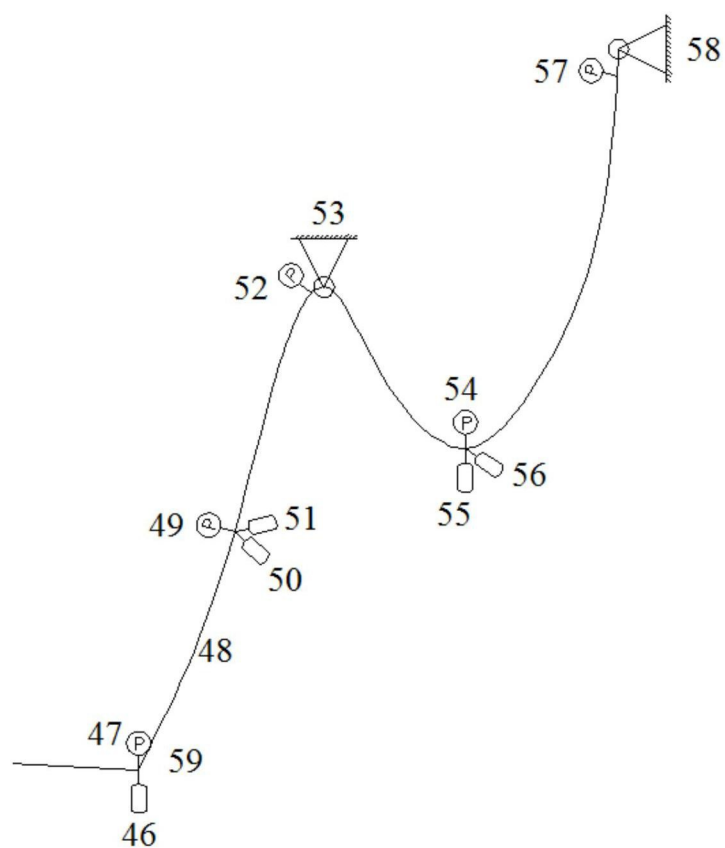


图4

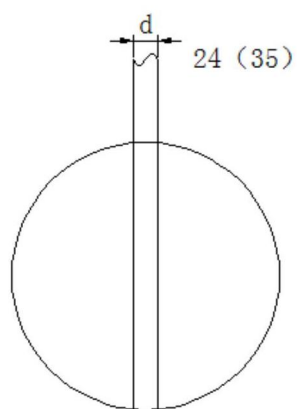


图5

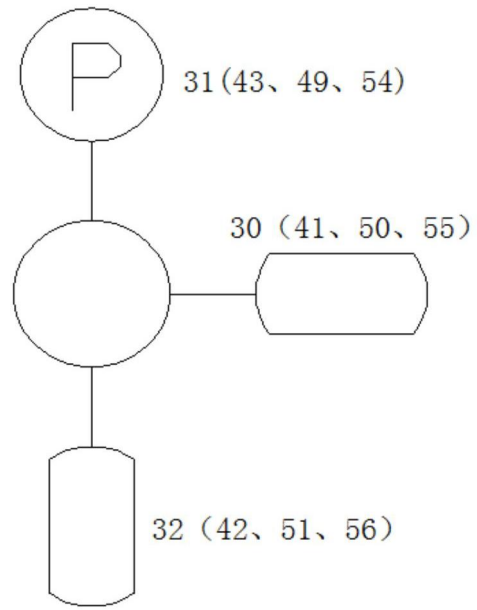


图6