(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 105717271 A
(43)申请公布日 2016.06.29

(21)申请号 201610139992.5

(22)申请日 2016.03.11

(71)申请人 西南石油大学
地址 610500 四川省成都市新都区新都大道8号

(72)发明人 刘艳军 江磊磊 董孟阳 王恺钊 田培均 黄志强 赵金洲

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司 11246
代理人 裴娜

(51)Int.Cl.
G01N 33/22(2006.01)

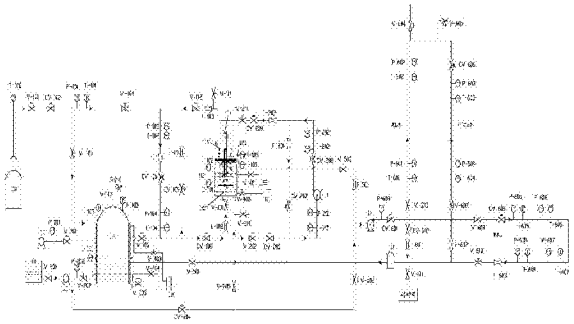
权利要求书2页 说明书13页 附图1页

(54)发明名称

一种海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统

(57)摘要

本发明提供一种海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，包括：天然气水合物样品大量快速制备模块、天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块、天然气水合物浆体管输特性实验模块、数据采集与监测及安全控制模块4个模块。本发明提供的天然气水合物实验回路装置，可用于天然气水合物的合成、分解、储气率、相平衡研究及管输流动阻力、传热特性研究，对于解决天然气管输过程中的堵塞问题，天然气水合物储运，海洋天然气水合物固态流化开采及其管输实验模拟具有重要意义。



CN 105717271 A

1.一种海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，包括：天然气水合物样品大量快速制备模块、天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块、天然气水合物浆体管输特性实验模块、数据采集与监测及安全控制模块4个模块；其中，

所述天然气水合物样品大量快速制备模块包括：气体输送管路、液体输送管路、喷淋装置、鼓泡装置、搅拌装置；

其中，所述气体输送管路用于将气瓶(118)中的气体输送至反应釜(115)中；该管路由气瓶(118)的出口通过管路与反应釜(115)底部的气体入口a连通；

所述液体输送管路用于将水箱(113)的水输送至反应釜(115)内；该液体输送管路由水箱(113)的出口通过管路与反应釜液相入口c连通，该在连通管路上设置有柱塞泵(112)；

所述喷淋装置包括：在反应釜的顶部设置有喷淋器(1151)，该喷淋器(1151)通过管路与反应釜液相入口c连通，在该连通的管路上设置有液体循环泵(114)；

所述鼓泡装置包括在反应釜(115)内的底部设置有鼓泡器(122)；

所述搅拌装置在所述反应釜(115)内安装有搅拌器(119)，该搅拌器(119)的搅拌粉碎桨采用推进桨叶形式，且在桨叶下方安装有破碎牙锥；

所述天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块包括：包括天然气水合物混合相保真运移管路和水路两部分；其中，所述天然气水合物混合相保真运移管路由反应釜混合相出口i通过管路与循环泵(121)的入口连通；所述水路由水箱(113)通过管路与循环泵(121)的入口连通，该两部分通过循环泵(121)进一步混合后与天然气水合物浆体管输特性实验模块连接；

所述天然气水合物浆体管输特性实验模块包括垂直管输回路、水平管输回路；

所述垂直管输回路包括与循环泵(121)的出口连通设置的垂直管路；所述水平管输回路包括与循环泵(121)的出口连通设置的水平管路；在所述垂直管输回路、水平管输回路上均设置有在线粒度测量仪、管道加热器及高压透明可视管；

所述数据采集与监测及安全控制模块包括计算机，以及与计算机连接的电阻率测量点C、压力测量点P、温度测量点T、液位测量点L，单相、多相流体流量计量测量点F、电机参数测量点M。

2.根据权利要求1所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，所述气体输送管路包括用于将反应釜(115)中未反应的气体从反应釜上部的气体出口b通过气体循环泵(111)泵出并循环泵入反应釜(115)底部的气体入口a的气体旁路调节循环回路。

3.根据权利要求2所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，所述气体旁路调节循环回路设置有一路用于保护气体循环泵的气体保护循环回路，该气体保护循环回路由以下部件依次连接构成：气体循环泵(111)出口、第二调节阀(CV-105)、第四压力指示器(P-104)、第四温度指示器(T-104)、第四调节阀(CV-109)、第一气体流量计(F-101)、第二压力指示器(P-102)、第二温度指示器(T-102)、气体循环泵(111)入口。

4.根据权利要求1所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，所述喷淋装置包括一路用于保护液体循环泵(114)的保护循环回路，该保护循环回路具体由以下部件依次连接构成：液体循环泵(114)出口、第七调节阀(CV-208)、第七温度指示器(T-202)、第十七压力指示器(P-202)、第一液体流量计(F-201)、第九调节阀(CV-207)、第六

温度指示器(T-201)、第十六压力指示器(P-201)、液体循环泵(114)入口。

5.根据权利要求1所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，所述天然气水合物样品大量快速制备模块包括用于使反应釜(115)内部的压力处于恒定或者处于所需的压力条件下的稳压管路；该稳压管路由液相管路和气相管路2部分构成；

其中，液相管路由水箱(113)、柱塞泵(112)、稳压缓冲罐(117)底部的液相入口d、液相出口h、第二排水阀(V-203)通过管路依次连接构成；

所述气相管路由气瓶(118)的出口、稳压缓冲罐(117)上部的气相入口f、稳压缓冲罐(117)的气相出口g、反应釜(115)底部的气体入口a通过管路依次连接构成。

6.根据权利要求5所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，在所述稳压缓冲罐(117)上还连接有真空泵(116)。

7.根据权利要求1所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，所述天然气水合物混合相保真运移管路还包括设置在反应釜混合相出口i的滤网(1152)。

8.根据权利要求1所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块还包括一路压力平衡检测管路，该管路用于保证在天然气水合物混合相与水在混合之前，天然气水合物混合相保真运移管路和水路内管道压力保持一致；

该压力平衡检测管路由稳压缓冲罐(117)的出口e与天然气水合物混合相保真运移管路和水路的交叉连接点连通构成。

9.根据权利要求1所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，所述天然气水合物浆体管输特性实验模块还包括一路用于保护垂直管输回路和水平管输回路的保护管路，该管路由以下部件依次连接构成：

循环泵(121)出口、第十九压力指示器(P-609)、第十三调节阀(CV-601)、第十一调节阀(CV-602)、第三液体流量计(F-601)、调压器(124)、循环泵(121)入口。

10.根据权利要求1所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，其特征在于，在所述水平管输回路与垂直管输回路的交叉点上还连接有三相分离器。

一种海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统

技术领域

[0001] 本发明涉及天然气水合物开采及其利用技术领域，尤其涉及一种海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统。

背景技术

[0002] 天然气水合物是一种非化学计量的超分子笼状化合物，1m^{3}水合物可储存160～180m^{3}的天然气，具有分布范围广、成藏规模大、储能密度高的特点，被公认为是21世纪重要的替代能源。目前，基于传统的注热、降压、注剂等开采方法的室内模拟在全世界范围内展开。但天然气水合物开采基本理论、潜在的安全风险、环境风险和成本风险尚未解决，技术瓶颈仍无根本突破。因此，研究天然气水合物在管道中的流动和传热特性，对海洋天然气水合物的开采具有战略意义。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于针对上述问题，提供一种海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统。

[0004] 一种海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，包括：天然气水合物样品大量快速制备模块、天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块、天然气水合物浆体管输特性实验模块、数据采集与监测及安全控制模块4个模块；其中，

[0005] 所述天然气水合物样品大量快速制备模块包括：气体输送管路、液体输送管路、喷淋装置、鼓泡装置、搅拌装置；

[0006] 其中，所述气体输送管路用于将气瓶中的气体输送至反应釜中；该管路由气瓶的出口通过管路与反应釜底部的气体入口a连通；

[0007] 所述液体输送管路用于将水箱的水输送至反应釜内；该液体输送管路由水箱的出口通过管路与反应釜液相入口c连通，该在连通管路上设置有柱塞泵；

[0008] 所述喷淋装置包括：在反应釜的顶部设置有喷淋器，该喷淋器通过管路与反 应釜液相入口c连通，在该连通的管路上设置有液体循环泵；

[0009] 所述鼓泡装置包括在反应釜内的底部设置有鼓泡器；

[0010] 所述搅拌装置在所述反应釜内安装有搅拌器，该搅拌器的搅拌粉碎桨采用推进桨叶形式，且在桨叶下方安装有破碎牙锥；

[0011] 所述天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块包括：包括天然气水合物混合相保真运移管路和水路两部分；其中，所述天然气水合物混合相保真运移管路由反应釜混合相出口i通过管路与循环泵的入口连通；所述所述水路由水箱通过管路与循环泵的入口连通，该两部分通过循环泵进一步混合后与天然气水合物浆体管输特性实验模块连接；

[0012] 所述天然气水合物浆体管输特性实验模块包括垂直管输回路、水平管输回路及高压透明可视管；

[0013] 所述垂直管输回路包括与循环泵的出口连通设置的垂直管路；所述水平管输回路

包括与循环泵的出口连通设置的水平管路；在所述垂直管输回路、水平管输回路上均设置有在线粒度测量仪、管道加热器及高压透明可视管；

[0014] 所述数据采集与监测及安全控制模块包括计算机，以及与计算机连接的电阻率测量点C、压力测量点P、温度测量点T、液位测量点L，单相、多相流体流量计量测量点F、电机参数测量点M。

[0015] 进一步地，如上所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，所述气体输送管路包括用于将反应釜中未反应的气体从反应釜上部的气体出口b通过气体循环泵泵出并循环泵入反应釜底部的气体入口a的气体旁路调节循环回路。

[0016] 进一步地，如上所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，所述气体旁路调节循环回路设置有一路用于保护气体循环泵的气体保护循环回路，该体保护循环回路由以下部件依次连接构成：气体循环泵出口、第二调节阀、第四压力指示器、第四温度指示器、第四调节阀、第一气体流量计、第二压力指示器、第二温度指示器、气体循环泵入口。

[0017] 进一步地，如上所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，所述喷淋装置包括一路用于保护液体循环泵的保护循环回路，该保护循环回路具体由 以下部件依次连接构成：液体循环泵出口、第七调节阀、第七温度指示器、第十七压力指示器、第一液体流量计、第九调节阀、第六温度指示器、第十六压力指示器、液体循环泵入口。

[0018] 进一步地，如上所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，所述天然气水合物样品大量快速制备模块包括用于使反应釜内部的压力处于恒定或者处于所需的压力条件下的稳压管路；该稳压管路由液相管路和气相管路2部分构成；

[0019] 其中，液相管路由水箱、柱塞泵、稳压缓冲罐底部的液相入口d、液相出口e、第二排水阀通过管路依次连接构成；

[0020] 所述气相管路由气瓶的出口、稳压缓冲罐上部的气相入口f、稳压缓冲罐的气相出口g、反应釜底部的气体入口a通过管路依次连接构成。

[0021] 进一步地，如上所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，在所述稳压缓冲罐上还连接有真空泵。

[0022] 进一步地，如上所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，所述天然气水合物混合相保真运移管路还包括设置在反应釜混合相出口i的滤网。

[0023] 进一步地，如上所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块还包括一路压力平衡检测管路，该管路用于保证在天然气水合物混合相与水在混合之前，天然气水合物混合相保真运移管路、天然气水合物浆体管输管路和反应釜内天然气水合物大量快速制备后的压力保持一致；

[0024] 该压力平衡检测管路由稳压缓冲罐的出口e与天然气水合物混合相保真运移管路和水路的交叉连接点连通构成。

[0025] 进一步地，如上所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，所述天然气水合物浆体管输特性实验模块还包括一路用于保护垂直管输回路和水平管输回路的保护管路，该管路由以下部件依次连接构成：

[0026] 循环泵出口、第十九压力指示器、第十三调节阀、第十一调节阀、第三液体流量计、调压器、循环入口。

[0027] 进一步地，如上所述的海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，在所述水

平管输回路与垂直管输回路的交叉点上还连接有三相分离器。

[0028] 本发明用于对天然气水合物合成、分解、储气率、相平衡特性及其在管道中的流动阻力和传热特性进行研究，探索天然气水合物大规模开采、储运的方案，解决当前海洋天然气水合物开采过程中理论缺乏，为海洋天然气水合物的开采与运输提供技术与理论支持，从而推进海洋天然气水合物开采的工业化进程

附图说明

[0029] 图1为本发明海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统结构图；

[0030] 图2本发明数据采集与监测及安全控制模块结构图。

具体实施方式

[0031] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0032] 如图1及图2所示，本发明提供了一种海洋天然气水合物固态流化开采实验回路系统，该系统包括天然气水合物样品大量快速制备模块、天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块、天然气水合物浆体管输特性实验模块、数据采集与监测及安全控制模块4大模块，其中：

[0033] 天然气水合物样品大量快速制备模块包括气瓶118、反应釜115、水箱113、稳压缓冲罐117、气体循环泵111、液体循环泵114、反应釜制冷机组123、稳压缓冲罐制冷机组120、液位计及多个截止阀、调节阀、流量计(气、液)、温度指示器、压力指示器；所述反应釜115底部设有鼓泡器122，其下部开设有气相入口a通过气体循环泵111与气瓶118连接，反应釜115上部设有喷淋器1151并通过液体循环泵114及液体循环管路与水箱113连接，其反应釜115内部还设有搅拌器119，反应釜115上部还设有气相出口b与气体循环泵111和气体循环管路连接；所述稳压缓冲罐117下部开设液相入口d通过柱塞泵112与水箱113连接，稳压缓冲罐117上部开设气相入口f、气相出口g，分别与气瓶118、反应釜底部的气相入口连接，其中，稳压缓冲罐117还连有真空泵116；特别地，反应釜与稳压缓冲罐外壁设有电加热装置、冷却水夹套并与制冷机组相连接。

[0034] 具体地，所述天然气水合物样品大量快速制备模块包括气体输送管路、气体旁路调节循环回路、液体输送管路、旁路喷淋循环回路、稳压管路5个部分；

[0035] 其中，所述气体输送管路用于将气瓶118中的气体输送至反应釜115中；该管路由以下部件依次连接构成：气瓶118、第六压力指示器P-106、第一截止阀V-101、第一调节阀CV-102、第一压力指示器P-101、第一温度指示器T-101、第四截止阀V-104、第二压力指示器P-102、第二温度指示器T-102、气体循环泵111、第二调节阀CV-105、第四压力指示器P-104、第四温度指示器T-104、第三调节阀CV-108、第二气体流量计F-102、第六截止阀V-110、反应釜115底部的气体入口a；

[0036] 所述气体旁路调节循环回路用于将反应釜115中未反应的气体从反应釜上部的气体出口b通过气体循环泵111泵出并循环泵入反应釜115底部的气体入口a；该气体循环回路

具体由以下部件依次连接构成:反应釜上部的气体出口b、第三气体流量计F-103、第五截止阀V-112、第二压力指示器P-102、第二温度指示器T-102、气体循环泵111、第二调节阀CV-105、第四压力指示器P-104、第四温度指示器T-104、第三调节阀CV-108、第二气体流量计F-102、第六截止阀V-110、反应釜115底部的气体入口a;

[0037] 优选地,为了保证气体循环泵111能够正常安全地运行,本发明还为气体循环泵111设置了一路用于保护气体循环泵的气体保护循环回路;该气体保护循环回路由以下部件依次连接构成:气体循环泵111出口、第二调节阀CV-105、第四压力指示器P-104、第四温度指示器T-104、第四调节阀CV-109、第一气体流量计F-101、第二压力指示器P-102、第二温度指示器T-102、气体循环泵111入口。

[0038] 所述液体输送管路用于将水箱113的水输送至反应釜115内;该液体输送管路具体由以下部件依次连接构成:水箱113、第七截止阀V-201、柱塞泵112、第五调节阀CV-204、第八截止阀V-205、反应釜液相入口c;

[0039] 进一步地,为了加大液体与气体的反应面积,本发明还在反应釜的顶部设置了喷淋装置,通过旁路喷淋循环回路来加快天然水合物的合成;所述旁路喷淋循环回路具体由以下部件依次连接构成:反应釜液相入口c、第九截止阀V-212、第六调节阀CV-206、第六温度指示器T-201、第十六压力指示器P-201、液体循环泵114、第七调节阀CV-208、第七温度指示器T-202、第十七压力指示器P-202、第二液体流量计F-202、第八调节阀CV-209、第十截止阀V-211、反应釜115上部的喷淋器1151。

[0040] 优选地,为了保证所述液体循环泵114的安全正常运行,本发明还为液体循环泵114设计了一路保护循环回路,该保护循环回路具体由以下部件依次连接构成:液体循环泵114出口、第七调节阀CV-208、第七温度指示器T-202、第十七压力指示器P-202、第一液体流量计F-201、第九调节阀CV-207、第六温度指示器T-201、第十六压力指示器P-201、液体循环泵114入口。

[0041] 所述稳压管路用于使反应釜内部的压力处于恒定或者处于所需的压力条件下;该稳压管路包括液相管路和气相管路2部分;其中液相管路由以下部件依次连接构成:水箱113、第七截止阀V-201、柱塞泵112、第十八压力指示器P-203、第十一截止阀V-202、稳压缓冲罐117底部的液相入口d、液相出口h、第二排水阀V-203;所述气相管路由以下部件依次连接构成:气瓶118、第六压力指示器P-106、第一截止阀V-101、第一调节阀CV-102、第三截止阀V-103、稳压缓冲罐117上部的气相入口f、稳压缓冲罐117的气相出口g、第六截止阀V-106、第三调节阀CV-108、第二气体流量计F-102、第六截止阀V-110、反应釜115底部的气体入口a;该稳压管路的液相管路用于给稳压缓冲罐内注入液体,气相管路用于给稳压缓冲罐内注入气体,然后当液体液位逐渐升高,同时随着罐内气体的增加,罐体的气体在液位逐渐上升的趋势下,其内部的压力逐渐增大;当反应釜内部的压力不足时,就可以通过稳压缓冲罐气相出口g为反应釜提供一定的气体;或者通过柱塞泵112从水箱113向稳压缓冲罐内泵入水,以增加稳压缓冲罐117和反应釜115的压力;当反应釜内的压力充足时,就可以通过第二排水阀V-203将稳压缓冲罐内部的水排出,从而降低罐内的压力;或者通过真空泵116来减小稳压缓冲罐内的压力。

[0042] 本发明还在所述稳压缓冲罐117上设置有第三温度指示器T-103、第二安全阀V-107、第三压力指示器P-103、第一液位指示器L-101。

[0043] 进一步地，本发明在所述稳压缓冲罐117上设置有稳压缓冲罐制冷机组120，该制冷机组120两端分别与稳压缓冲罐117的外围连接用于为其制冷；在该制冷机组120和稳压缓冲罐117之间管道上分别设置有第二十二截止阀V-403、第二十三截止阀V-404。

[0044] 进一步的，在所述稳压缓冲罐117上还连接有真空泵116，在真空泵116与稳压缓冲罐117之间的管路上设置有第七压力指示器P-301、第十八截止阀V-301。

[0045] 进一步地，在所述反应釜115内安装有搅拌器119，该搅拌器119的搅拌粉碎桨采用推进桨叶形式，其目的是用于增大气体与液体的接触面积，从而加速天然气水合物的合成，且在桨叶下方安装有破碎牙锥，用以在天然气水合物多尺度破碎过程中将天然气水合物破碎成浆体保真转移时所需粒径的天然气水合物固体块状物。

[0046] 进一步地，在反应釜115内的底部设置有鼓泡器122，该鼓泡器122用于增大气体与液体的接触面积，从而加速天然气水合物的合成。

[0047] 基于以上，本发明在制备合成天然气水合物时，不仅仅通过气体从反应釜的底部通入来与其内部的液体进行反应来合成天然气水合物，而且为了加快合成天然气水合物的效率，本发明通过搅拌、鼓泡、以及喷淋的方式来增大气体与液体的接触面积，从而加速天然气水合物的合成。

[0048] 进一步地，在反应釜115上还设置有第二液位指示器L-102、电阻率指示器C-101、第五温度指示器T-105、第五压力指示器P-105来测量反应釜的实时状态。

[0049] 进一步地，在反应釜115的混合相出口i处设有滤网1152，该滤网1152用于过滤未达到天然气水合物保真运移及管输需求粒径的天然气水合物固体块状物，并进行二次破碎，直到达到满足天然气水合物保真运移及管输所需粒径大小为止，并且达到防止堵塞管路的目的。

[0050] 进一步地，在反应釜115上设置有反应釜制冷机组123，该反应釜制冷机组123的两端分别与反应釜115的外围连接，在该反应釜制冷机组123与反应釜115 之间的管道上分别设置有第二十四截止阀V-401、第二十五截止阀V-402。

[0051] 进一步的，在反应釜液相入口c的连接管路上设置有第一排水阀V-210；在反应釜气相出口b的连接管路上设置有排空阀V-111。

[0052] 所述天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块包括水箱113、反应釜115、稳压缓冲罐117、滤网1152、及多个截止阀、调节阀、流量计(气、液、固多相)、温度指示器、压力指示器；其中，保真运移管路通过滤网1152、柱塞泵112分别与反应釜115、稳压缓冲罐117连接；反应釜破碎搅拌后的天然气水合物混合相经保真运移管路与来自水箱的水进一步混合后通过循环泵121(采用多台单螺杆泵并联)与天然气水合物管输特性试验平台连接；特别地，反应釜中的水合物粉碎搅拌桨选择推进桨叶形式，并在桨叶下方安装破碎牙锥。

[0053] 具体地，所述天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块包括天然气水合物混合相保真运移管路和水路两部分；其中，所述天然气水合物混合相保真运移管路由以下部件依次连接构成：滤网1152、反应釜混合相出口i、第十九截止阀V-503、第四液体流量计F-501、循环泵121的入口；所述水路由以下部件依次连接构成：水箱113、第七截止阀V-201、柱塞泵112、第五调节阀CV-204、第十二截止阀V-502、循环泵121的入口。该两部分通过循环泵121进一步混合后与天然气水合物浆体管输特性实验模块连接。

[0054] 优选地，该天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移模块还包括一路压力平衡检

测管路，该管路用于保证在天然气水合物混合相与水在混合之前，天然气水合物混合相保真运移管路和水路内管道的压力是一致的。具体地，该压力平衡检测管路由稳压缓冲罐117的出口e与天然气水合物混合相保真运移管路和水路的交叉连接点连通构成，在该连通的管路上设置有第十三截止阀V-501。在天然气水合物混合相与水进一步混合之前，首先打开第十一截止阀V-202与第十三截止阀V-501，使天然气水合物混合相保真运移管路和水路的压力保持一致，然后关闭第十一截止阀V-202与第十三截止阀V-501；再进行天然气水合物混合相与水的进一步混合。

[0055] 所述天然气水合物浆体管输特性实验模块包括循环泵121(采用多台单螺杆泵 并联)、垂直管输回路、水平管输回路、在线粒度测量仪、管道加热器、高压透明可视管及多个截止阀、调节阀、温度指示器、压力指示器；所述天然气水合物浆体管输回路通过循环泵121(采用多个单螺杆泵)与保真转移管路连接，所述垂直管段顶部设有排空阀V-604及第一安全阀V-605，其底部设有三相分离器，所述水平管段连有调压器124；特别地，所述垂直管输回路及水平管输回路均设有在线力度检测仪、管道加热器、高压透明可视管，并在管输回路的不同部位设有温度指示器、压力指示器及流量计。

[0056] 具体地，所述垂直管输回路由以下部件依次连接构成：第十四截止阀V-603、第八温度指示器T-601、第八压力指示器P-601、第九温度指示器T-602、第九压力指示器P-602、排空阀V-604、第一安全阀V-605、第十调节阀CV-606第十调节阀CV-606、第十压力指示器P-603、第十温度指示器T-603、第十一压力指示器P-604、第十一温度指示器T-604、第十五截止阀V-607、第五液体流量计F-602、第三液体流量计F-601、第十一调节阀CV-602。

[0057] 所述水平管输回路由以下部件依次连接构成：第十一调节阀CV-602、第十六截止阀V-608、第十二调节阀CV-609、第十二压力指示器P-605、第十二温度指示器T-605、第十三压力指示器P-606、第十三温度指示器T-606、第十四温度指示器T-607、第十四压力指示器P-607、第十五温度指示器T-608、第十五压力指示器P-608、第六液体流量计F-603、第十七截止阀V-610、第三液体流量计F-601。

[0058] 优选地，该天然气水合物浆体管输特性实验模块还包括一路用于保护垂直管输回路和水平管输回路的保护管路，该管路由以下部件依次连接构成：

[0059] 循环泵121出口、第十九压力指示器P-609、第十三调节阀CV-601、第十一调节阀CV-602、第三液体流量计F-601、调压器124、循环泵121入口。

[0060] 进一步地，在所述水平管输回路与垂直管输回路的交叉点上还连接有三相分离器，在所述三相分离器与所述交叉点的连接管路上设置有第二十一截止阀V-611。

[0061] 数据采集与监测及安全控制模块包括环境模拟控制单元、压力控制单元、流量计量单元、破碎参数控制单元，用于控制、监测实验过程中的压力、温度、破碎扭矩、破碎深度、推进压力、转速等，在线计量天然气水合物实验过程中流体 流量(气体、液体、天然气水合物固体混合物)，在线监测天然气水合物粒径大小的在线粒度测量仪，模拟天然气水合物开采后举升过程中海水温度梯度变化的管道加热器和用于控制实验回路压力恒定的稳压缓冲罐及调压器，所述反应釜和稳压缓冲罐利用制冷机组的制冷循环保持实验过程中的实验温度恒定，所述垂直管段顶部设有排空阀V-604及第一安全阀V-605，所述稳压缓冲装置底部设有排水阀，且其顶部设有安全阀。

[0062] 所述数据采集与监测及安全控制模块的输出端包括：电阻率测量点C、压力测量点

P、温度测量点T、液位测量点L，单相、多相流体流量计量测量点F、电机参数测量点M；

[0063] 其中，电阻率测量点C用于通过电阻率来通过测量反应釜内天然气水合物的电阻率，从而来分析判断海洋天然气水合物的合成效果，根据采集的电阻率曲线进行比较及参考，通过曲线实时显示水合物的生成过程；

[0064] 所述压力测量点P用于测量稳压缓冲罐、反应釜内部以及各个管道上的压力，通过该测量结果来做实时监测整个实验回路系统的压力，保证天然气水合物大量快速制备及天然气水合物多尺度破碎及浆体保真运移过程中实验回路系统压力的恒定，并且通过反应釜内部压降变化情况及压力变化曲线判断反应釜内天然气水合物的生成情况、相平衡状态；并且通过天然气水合物浆体管输实验回路中压力的测量，可对混合相流体管输(水平、垂直)回路的流体流动阻力特性进行研究；

[0065] 所述温度测量点T用于测量稳压缓冲罐、反应釜内部以及各个管道上的温度，通过该测量结果来保证天然气水合物大量快速制备及天然气水合物多尺度破碎及浆体保真运移过程中实验回路系统温度的恒定；并且通过反应釜内部温度变化情况及温度变化曲线判断反应釜内天然气水合物的生成情况、相平衡状态；并且通过天然气水合物浆体管输实验回路中温度的测量，监测模拟实验天然气水合物开采后举升过程中海水温度梯度变化情况，以达到研究海洋天然气水合物开采后举升过程的流动传热特性；

[0066] 所述液位测量点L用于测量稳压缓冲罐、反应釜内部液体的高度状态，通过该测量结果来作为实验过程中反应釜内的注水量及生成水合物之后的水合物量多少 的判断指标；

[0067] 所述单相、多相流体流量计量测量点F用于测量通过相应管路中的流体(气体、液体、混合相)的实时流量，并通过该测量结果来判断计算天然气和水的消耗量，研究天然气水合物的储气量；

[0068] 所述电机参数测量点M用于测量反应釜中搅拌器的搅拌参数(如：转速)、破碎参数(如：破碎转速、破碎扭矩、推进压力、破碎深度、破碎压力)喷淋器参数(如：喷淋角度、喷淋速率、液滴大小)及鼓泡器参数(如：鼓泡速率、鼓泡大小)，并通过该测量结果来测得的数据可作为控制破碎搅拌器的搅拌参数、破碎参数、喷淋器参数、鼓泡器参数的依据，据此实验人员可采用鼓泡法、喷淋法、搅拌法三者相结合的方式，也可利用其中某一或某两个方法强化天然气水合物的快速生成，或者通过对搅拌参数、破碎参数、喷淋器参数、鼓泡器参数的控制，研究某一参数对天然气气水合物大量快速制备速率的影响；

[0069] 1、水合物样品制备

[0070] 1.1水合物制备准备

[0071] (1)水位校准作业：封闭反应釜上封头，调节阀门，使第二排水阀V-203、第六截止阀V-106、第十八截止阀V-301、第一排水阀V-210、第五截止阀V-112处于关闭状态，使第七截止阀V-201、第十一截止阀V-202、第五调节阀CV-204、第八截止阀V-205、排空阀V-111处于开启状态，启动柱塞泵112将稳压缓冲罐17和反应釜115排空并灌满水，建立标准水位并关闭第四截止阀V-104、第十一截止阀V-202、第八截止阀V-205；

[0072] (2)抽真空作业：使V-101处于关闭状态，同时关闭排空阀V-111，第七截止阀V-201及第二排水阀V-203，使其他阀门处于开启状态，启动真空泵116抽真空，当达到一定的真空度(通过第七压力指示器P-301测量)时，关闭第十八截止阀V-301，关闭真空泵116。开启第

一截止阀V-101，向实验回路充注气体，充注完成后关闭第一截止阀V-101，再次启动真空泵116进行抽真空操作，如此反复几次，减少回路中空气量。

[0073] (3)注气作业：水合物合成实验过程中，将保真运移回路与浆体管输特性测 试回路关闭，即关闭第十三截止阀V-501、第十二截止阀V-502、第十九截止阀V-503。打开第一截止阀V-101，第一调节阀CV-102控制甲烷气注入压力(防止甲烷气体高压直流带来安全隐患)，使回路系统充满一定压力的天然气。

[0074] (4)水位调节作业：调节第五截止阀V-112和第一排水阀V-210，通过天然气将反应釜水位压低至合适水位，关闭第一排水阀V-210；调节第三截止阀V-103和第二排水阀V-203，通过天然气将稳压缓冲罐117内水位压低至合适水位，关闭第二排水阀V-203。

[0075] (5)补水增压作业：待回路压力不再提升时，关闭第一截止阀V-101，开启第七截止阀V-201、第十一截止阀V-202，启动柱塞泵112，向稳压缓冲罐117补水增压，当稳压缓冲罐117达到实验压力(通过第三压力指示器P-103测量)时，关闭柱塞泵112，关闭第七截止阀V-201、第十一截止阀V-202。

[0076] 1.2水合物合成实验操作

[0077] (1)制冷作业：启动反应釜制冷机组123进行水浴制冷，设定为恒定的水合物生成实验要求温度。

[0078] (2)气循环作业：启动气体循环泵111，调节第二调节阀CV-105和第三调节阀CV-108或第四调节阀CV-109，即通过气体主路循环与旁路调节，使通过反应釜115的天然气流量满足实验需求，气体从反应釜115釜底注入，以鼓泡的方式进入反应釜115内，从上端盖流出进行循环。

[0079] (3)搅拌作业：启动搅拌器119，转速设定为适宜水合物生成，又不能破坏水合物的聚集的实验要求(无级调速范围100～400r/min)。

[0080] (4)喷淋作业：启动液体循环泵114，调节第六调节阀CV-206、第九调节阀CV-207或第八调节阀CV-209，通过液体主路循环与旁路循环，使通过上端盖喷嘴的进液量满足实验要求。

[0081] (5)稳压作业：打开第七截止阀V-201、第十一截止阀V-202、第六截止阀V-106，启动柱塞泵112向稳压缓冲罐117注水使回路系统增压，或打开第六截止阀V-106、第二排水阀V-203排水使系统降压，回路系统压力由第二压力指示器P-102、第四压力指示器P-104及第五压力指示器P-105测得，通过增压降压操作 使系统压力保持稳定。

[0082] (6)流量测量：第二气体流量计F-102、第三气体流量计F-103分别计量循环的进出口甲烷气体累计流量，通过累计计量值来计算水合物生成的耗气量(物料平衡计算法)。

[0083] (7)电阻测量作业：在反应釜115四周设有4个点电阻测点C-101，通过测量的电阻率来分析判断海洋天然气水合物的合成效果；根据采集的电阻率曲线进行比较及参考，通过曲线实时显示水合物的生成过程。

[0084] (8)温压测量作业：在反应釜115四周设有第五温度指示器T-105、第五压力指示器P-105，通过测量的温压曲线来分析判断海洋天然气水合物的合成效果。

[0085] (9)结束作业：当海洋天然气水合物制备的样品满足实验需求时，关闭气体循环泵111(增压机)，关闭第六截止阀V-110、第五截止阀V-112，关闭液体循环泵114，关闭第九截止阀V-212、第十截止阀V-211，海洋天然气水合物快速制备实验结束。

[0086] (10)在海洋天然气水合物破碎及保真运移之前直至保真转运结束，制备釜水浴制冷必须运转保持制备过程的恒定温度。

[0087] 2、海洋天然气水合物破碎及保真运移流程

[0088] 2.1回路补水排气及预冷

[0089] (1)预冷稳压缓冲罐作业：向稳压缓冲罐117内注入配置水，并保证注水量满足管道水用量，运行稳压缓冲罐制冷机组120，预冷稳压缓冲罐117的温度至实验所需温度；

[0090] (2)设备及仪器仪表检查作业：关闭第一截止阀V-101、第三截止阀V-103、第六截止阀V-106、第十一截止阀V-202、第八截止阀V-205、第十八截止阀V-301、第十三截止阀V-501、第十九截止阀V-503、第二十截止阀V-604、第一安全阀V-605及第二十一截止阀V-611；开启第七截止阀V-201、第五调节阀CV-204、第十二截止阀V-502、第十三调节阀CV-601、第十一调节阀CV-602、第十四截止阀V-603、第十调节阀CV-606第十第十调节阀CV-606、第十五截止阀V-607、第十六截止阀V-608、第十二调节阀CV-609及第十七截止阀V-610，并确认处于开启状态；启动 柱塞泵112，向回路系统注水，调节调压器124，当系统中的压力达到一定值时(通过第十九压力指示器P-609测量)，关闭柱塞泵112和第七截止阀V-201、第十一截止阀V-202，检查回路系统管道、设备及仪器仪表是否正常工作；

[0091] (3)回路补水排气及预冷循环管路作业：确认回路系统中的管道、设备及仪器仪表均正常工作后，打开第十一截止阀V-202、第十三截止阀V-501、排空阀V-604，启动柱塞泵112，打开第七截止阀V-201，继续向回路系统中注水，使管道中的空气从排空阀V-604中排出(排空阀V-604设置在循环管道系统的顶端最高处)，并通过排空阀V-604、第一安全阀V-605将受热后的水排出，使管道温度降低至预定值，然后关闭排空阀V-604、第一安全阀V-605；

[0092] (4)稳压作业：打开第七截止阀V-201、第十一截止阀V-202、第十三截止阀V-501，启动柱塞泵112向稳压缓冲罐117中注水使回路系统增压，当达到实验所需压力后通过调节第二排水阀V-203保持回路系统中压力稳定(通过第十九压力指示器P-609测量)；

[0093] (5)循环预冷作业：开启液体循环泵114，使冷水在回路系统中及稳压缓冲罐117中循环预冷，并达到实验所需温度，从而达到回路系统预冷均匀的目的。

[0094] 2.2海洋天然气水合物破碎及保真运移

[0095] (1)电机设置在反应釜115的内部，并固定于反应釜115的上封头，电机直接与天然气水合物的破碎装置(搅拌器119)连接，天然气水合物破碎装置上安装有软毛刷；反应釜中的破碎搅拌形式采用锚式和推进式相结合，其中，本装置采用变频电机、无极调速器实现搅拌粉碎桨的旋转，利用两级液压油缸实现搅拌桨的上下移动。

[0096] (2)破碎作业：启动电机，使天然气水合物破碎装置在惯性作用下高速转动起来，将反应釜中直接生成的固体水合物破碎，当固体水合物破碎到实验所需颗粒的粒度大小和浓度范围后，关闭电机停止破碎；

[0097] (3)注水作业：调节阀门，使第十一截止阀V-202、第十三截止阀V-501、第十二截止阀V-502、第十九截止阀V-503处于关闭状态，使第五调节阀CV-204、第八截止阀V-205处于开启状态；启动柱塞泵112向反应釜115中注水(注水过程 中，反应釜压力会有很有的升高)；当反应釜115中的混合物达到一定液位(利用第二液位指示器L-102，也即雷达液位计读取液位)时，关闭柱塞泵112，并关闭第七截止阀V-201、第五调节阀CV-204、第八截止阀V-

205；

[0098] (4)搅拌混合作业：调整电机，使天然气水合物破碎装置低速转动，达到天然气水合物固体颗粒与水充分混合的目的；

[0099] (5)形成保真运移通道作业：关闭阀门第十三截止阀V-501、排空阀V-111，开启阀门第三截止阀V-103、第四截止阀V-104、第五截止阀V-112、第十一截止阀V-202、第五调节阀CV-204、第十二截止阀V-502、第十九截止阀V-503，接通反应釜115与循环管道、稳压缓冲罐，充分混合的海洋天然气水合物两相流体与管路预压的保真水路对接，形成保真运移通道(由于反应釜中压力高于回路系统的压力，所以，天然气水合物两相流体与自由水能够充分混合并且直接进入回路系统)；

[0100] (6)保真运移回路稳压作业：调节第十九截止阀V-503开度，同时启动循环泵121，使海洋天然气水合物两相流体在循环回路系统中保真运移，此时，预压冷水进入稳压缓冲罐，而稳压缓冲罐上部的气体进入反应釜，从而形成恒压保真运移回路；

[0101] (7)计量作业：流量计F-501计量流入循环管道浆体量，第二液位指示器L-102测试反应釜液位，计算转入循环管道的水合物量(或者通过设在反应釜四周的电阻测量装置来判断天然气水合物的转运量)，当判定水合物两相流输送完成后关闭第五调节阀CV-204、第十二截止阀V-502、第十九截止阀V-503；

[0102] (8)保真运移回路调压作业：打开第七截止阀V-201、第十一截止阀V-202，启动柱塞泵112向稳压缓冲罐117注水使回路系统增压，或打开第二排水阀V-203放水使系统降压，来保持回路系统压力稳定(通过第十九压力指示器P-609测量)；至此，海洋天然气水合物保真运移结束，循环泵运转进入下一流程：海洋天然气水合物浆体管输特性实验。

[0103] 3、海洋天然气水合物管输特性实验

[0104] 3.1垂直管输回路实验流程

[0105] (1)关闭第十六截止阀V-608、第十七截止阀V-610、第二十一截止阀V-611，开启第十三调节阀CV-601、第十一调节阀CV-602、第十四截止阀V-603、第十调节阀CV-606第十第十调节阀CV-606、第十五截止阀V-607；

[0106] (2)流量调节作业：启动循环泵121，使天然气水合物两相流体在回路系统中循环；配合使用第十三调节阀CV-601、第十一调节阀CV-602的开度，调节进入垂直管输回路的天然气水合物浆体流量，使通过竖直可视段的两相流体的流量参数满足实验需求；

[0107] (3)调压作业：调节调压器124，可使循环管路逐级进行不同压力段水合物浆体管输特性实验；

[0108] (4)温压测量作业：通过观测第八压力指示器P-601、第九压力指示器P-602和第八温度指示器T-601、第九温度指示器T-602，可对两相流体在竖直管内向上流动的阻力特性进行研究；

[0109] (5)温压测量作业：通过观测第十压力指示器P-603、第十一压力指示器P-604和第十温度指示器T-603、第十一温度指示器T-604，可对两相流体在竖直管内向下流动的阻力特性进行研究；

[0110] (6)在线粒度检测作业：利用垂直管路上的在线粒度测量仪(可采用无源超声波技术，如：SanQ^{TM})在线监测天然气水合物粒径大小，以研究不同天然气水合物粒径在管输流动过程中的流动阻力特性；

[0111] (7)管道加热作业:利用垂直管路上的管道加热器模拟天然气水合物开采后举升过程中海水温度梯度变化,以研究海洋天然气水合物开采后举升过程中的流动传热特性;

[0112] (8)应急处理作业:垂直管道顶部设置了第一安全阀V-605,作为实验循环管路安全的应急防范措施,保证循环管路的实验安全。

[0113] 3.2水平管输回路实验流程

[0114] (1)关闭第十一调节阀CV-602、第十四截止阀V-603、第十五截止阀V-607,开启第十三调节阀CV-601、第十六截止阀V-608、第十二调节阀CV-609、第十七截止阀V-610;

[0115] (2)流量调节作业:启动循环泵121,使天然气水合物两相流体在回路系统中循环;配合使用第十三调节阀CV-601、第十二调节阀CV-609调节进入水平管输回路的天然气水合物浆体流量,使通过水平可视段的两相流体的流量参数满足实验需求;

[0116] (3)调压作业:通过观测第十二压力指示器P-605、第十三压力指示器P-606、第十四压力指示器P-607和第十五压力指示器P-608,可对两相流体在水平管内流动的阻力特性进行研究;

[0117] (4)温压测量作业:通过观测第十二压力指示器P-605、第十三压力指示器P-606、第十四压力指示器P-607、第十五压力指示器P-608和第十二温度指示器T-605、第十三温度指示器T-606、第十四温度指示器T-607、第十五温度指示器T-608,可对两相流体的粘度进行测试;

[0118] (5)在线粒度检测作业:利用水平管路上的在线粒度测量仪(可采用无源超声波技术,如:SanQ™)在线监测天然气水合物粒径大小,以研究不同天然气水合物粒径在管输流动过程中的流动阻力特性;

[0119] (6)管道加热作业:利用水平管路上的管道加热器模拟天然气水合物开采后举升过程中海水温度梯度变化,以研究海洋天然气水合物开采后举升过程中的流动传热特性。

[0120] 1、天然气水合物制备系统强化天然气水合物生成的物理方法采用鼓泡法、喷淋法、搅拌法三者相结合的方式,也可利用其中某一或某两个方法强化天然气水合物的快速生成;

[0121] 2、所述反应釜气相出b依次连接排空阀V-111、第三气体流量计F-103、第五截止阀V-112、第二压力指示器P-102、第二温度指示器T-102、气体循环泵111、第二调节阀CV-105、第四压力指示器P-104、第四温度指示器T-104、第三调节阀CV-108、第二气体流量计F-102、第六截止阀V-110、气相入口a;依次连接的所述气体循环泵111、第二调节阀CV-105、第四压力指示器P-104、第四温度指示器T-104、第四调节阀CV-109、第一气体流量计F-101形成气体循环管路;并且通过第一气体流量计F-101计量监测气体循环管路111的天然气的流量,通过第四调节阀 CV-109的配合使用,以控制通过气体循环泵111的气体流量,从而使气体循环泵111处于一个安全运行的状态;

[0122] 3、所述水箱113依次连接第七截止阀V-201、柱塞泵112、第五调节阀CV-204、第八截止阀V-205、反应釜液相入口c构成一个向反应釜供液的管路;所述反应釜液相入口c依次连接第九截止阀V-212、第六调节阀CV-206、第六温度指示器T-201、第十六压力指示器P-201、液体循环泵114、第七调节阀CV-208、第七温度指示器T-202、第十七压力指示器P-202、第二液体流量计F-202、第八调节阀CV-209、第十截止阀V-211、反应釜喷淋器1151构成一个液体喷淋循环管路;所述第八截止阀V-205通过三通分别与反应釜液相入口c和第九截止阀

V-212连接；

[0123] 所述第一液体流量计F-201、F-202计量监测液体循环管路的液体的流量；

[0124] 为了进一步保证所述液体循环泵114的安全使用，本发明在为所述液体循环泵114设计了一个液体循环管路，该液体循环泵的循环管路为：依次连接的液体循环泵114的出口、第七调节阀CV-208、第七温度指示器T-202、第十七压力指示器P-202、第一液体流量计F-201、第九调节阀CV-207、第六温度指示器T-201、第十六压力指示器P-201、液体循环泵114的入口，该液体循环管路通过第九调节阀CV-207的配合使用，以控制通过液体循环泵114的液体流量。

[0125] 4、反应釜搅拌器的搅拌参数(如：转速)、破碎参数(如：破碎转速、破碎扭矩、推进压力、破碎深度、破碎压力)、喷淋器参数(如：喷淋角度、喷淋速率、液滴大小)及鼓泡器参数(如：鼓泡速率)可控；

[0126] 5、天然气水合物的制备反应釜的制备搅拌粉碎桨选择推进桨叶形式，并且在桨叶下方安装破碎牙锥，模拟海底采矿车的形式，以达到水合物破碎的目的；天然气水合物反应釜中的搅拌器采用变频电机、无极减速器实现搅拌粉碎桨的旋转，两级液压油缸实现搅拌桨的上下移动；

[0127] 6、在所述反应釜上设置有第二液位指示器L-102，由于高压反应釜内实验物料使用量、生成量、生成水合物的量无法实现直接测量，所以选用可以非接触式测量的物位测量计(如：雷达液位计)进行测量。

[0128] 7、在反应釜四周设有4个点电阻测点C-101，通过测量的电阻率来分析判断 海洋天然气水合物的合成效果，根据采集的电阻率曲线进行比较及参考，通过曲线实时显示水合物的生成过程；在反应釜四周设有温度、压力测量元件，通过测量的温压曲线来分析判断海洋天然气水合物的合成效果。

[0129] 8、通过稳压缓冲罐的液位计L-101计量天然气水合物合成过程中的气体补气量；通过第二气体流量计F-102计量天然气水合物合成前的反应釜中的补气量；通过第二液体流量计F-202计量天然气水合物合成前液体的流量，根据所测得的流量数据可综合计算天然气水合物的储气量；

[0130] 9、通过稳压缓冲罐第二排水阀V-203的排水阀，可实现天然气水合物大量快速制备过程中及天然气水合物多尺度破碎及浆体保真转移过程中实验回路系统压力的稳定和调节；

[0131] (1)当实验气体循环回路中气体压力过高时，则需降低其回路的压力，需关闭第一截止阀V-101，打开第三截止阀V-103第十八截止阀V-301，并打开真空泵116，将稳压缓冲罐117中的气体缓慢抽出，使充气回路压力逐渐降低，当回路中压力达到实验所需压力时，依次关闭第十八截止阀V-301、真空泵116，达到降低气体循环回路压力的目的，此时，第七压力指示器P-301显示真空泵的压力值，第三压力指示器P-103、第三温度指示器T-103显示稳压缓冲罐117的压力值和温度值；同时，稳压缓冲罐117顶部开设的第二安全阀V-107起到实验过程中回路压力过载保护的作用；在实验气体循环回路中气体压力过高的情况下，还可通过开设在稳压缓冲罐底部的第二排水阀V-203将稳压缓冲罐内过量的水排出，达到降低气体循环回路压力的目的；

[0132] (2)当实验气体循环回路中气体压力过低时，此时气瓶的压力低于实验所需压力，

为稳定气体循环回路中的压力，需打开第三截止阀V-103、第十一截止阀V-202、第七截止阀V-201，然后打开柱塞泵112，将水箱中的水泵入稳压缓冲罐117，利用气体的可压缩性将气体循环回路中的气体压缩，使回路中的压力随着柱塞泵112泵入的液体量的逐渐增加而逐渐升高；当达到实验所需压力时，依次关闭第七截止阀V-201、柱塞泵112以及第十一截止阀V-202，达到稳定气体循环回路压力的目的，此时，第十八压力指示器P-203显示柱塞泵的压力值，第三压力 指示器P-103、第三温度指示器T-103显示出稳压缓冲罐的压力值和温度值；

[0133] 10、实验过程中为反应釜与稳压缓冲罐提供制冷效果的制冷机组具备制冷、制热两种功能；

[0134] 11、反应釜的混合相出口i直径大于管道直径，保证了天然气水合物浆体保真转移的畅通，并且在混合相出口i处设有滤网1152，过滤未达到天然气水合物保真运移及管输需求粒径的天然气水合物固体块状物，并进行二次破碎，直到达到满足天然气水合物保真运移及管输所需粒径大小为止，并且达到防止堵塞管路的目的；

[0135] 12、天然气水合物浆体管输特性实验管路设有调压器124，调节天然气水合物浆体管输过程中的实验压力；

[0136] 13、天然气水合物浆体管输特性实验管路(水平管段、垂直管段)设有高压可视管(采用透明石英玻璃管)，还设有在线粒度测量仪及管道加热器，分别用来在线监测天然气水合物粒径大小，模拟天然气水合物开采后举升过程中海水温度梯度变化；

[0137] 14、天然气水合物浆体管输特性实验管路垂直管段顶部设有排空阀V-604，用于实验前的准备阶段排空管路中的气体，垂直管段顶部还设有第一安全阀V-605，用于实验过程中紧急情况的应急处理。

[0138] 最后应说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

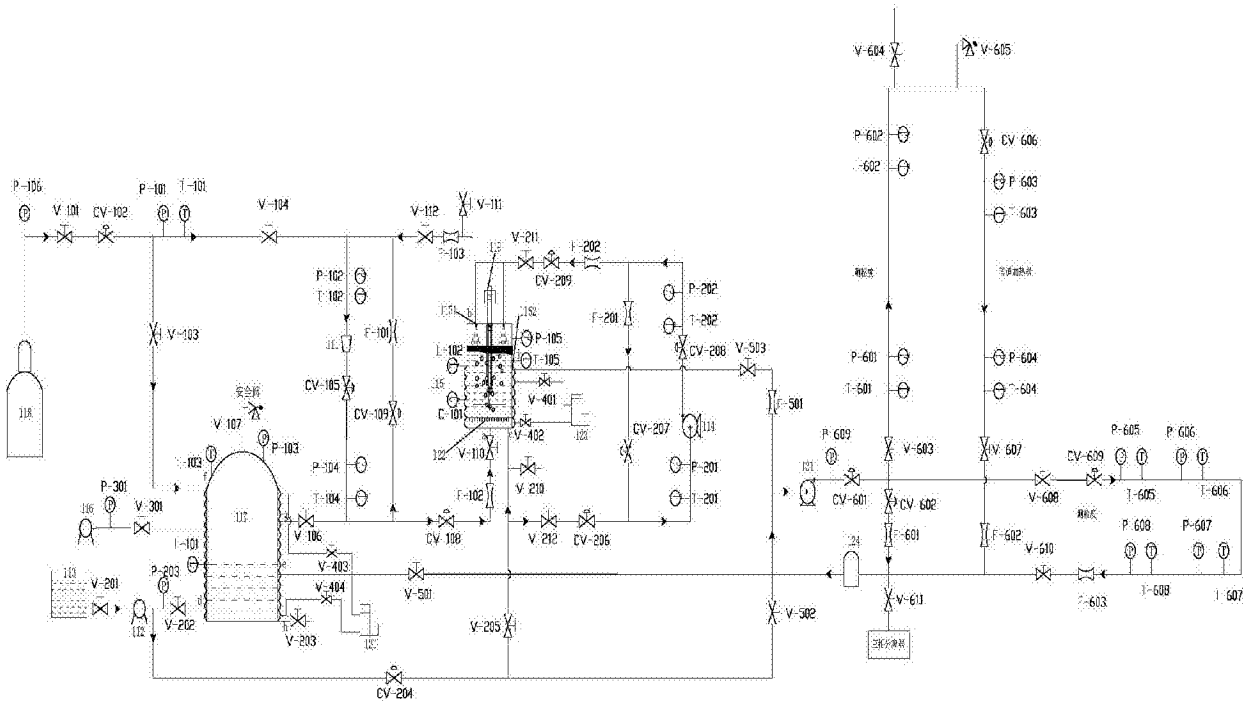


图1

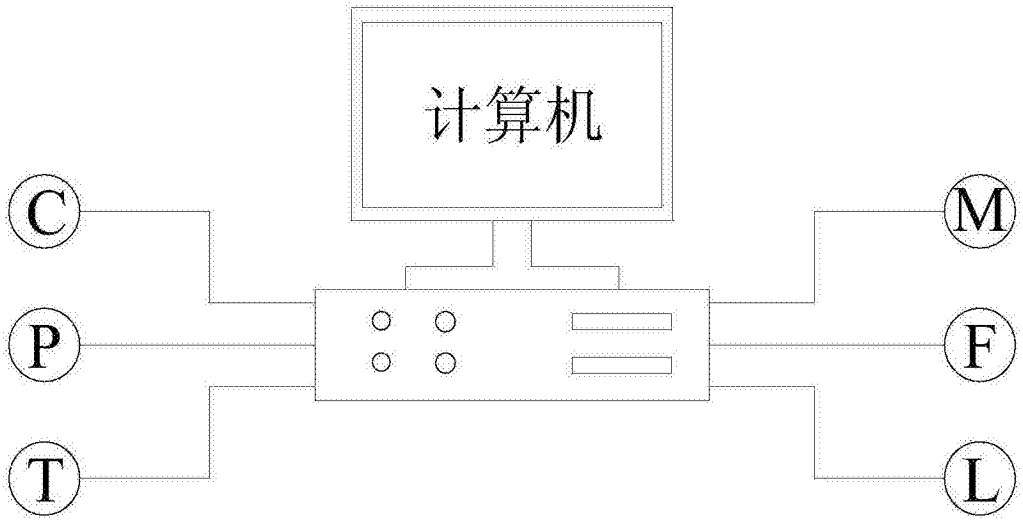


图2