



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 113117503 A

(43)申请公布日 2021.07.16

(21)申请号 201911418312.3

(22)申请日 2019.12.31

(71)申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街
22号

申请人 中国石油化工股份有限公司大连石
油化工研究院

(72)发明人 孟凡飞 王海波 廖昌建 王昊辰
李遵照 薛倩 王晓霖 樊栓狮

(51)Int.Cl.

B01D 53/78(2006.01)

B01D 53/96(2006.01)

B01D 53/62(2006.01)

B01D 53/72(2006.01)

C01B 3/50(2006.01)

C01B 3/52(2006.01)

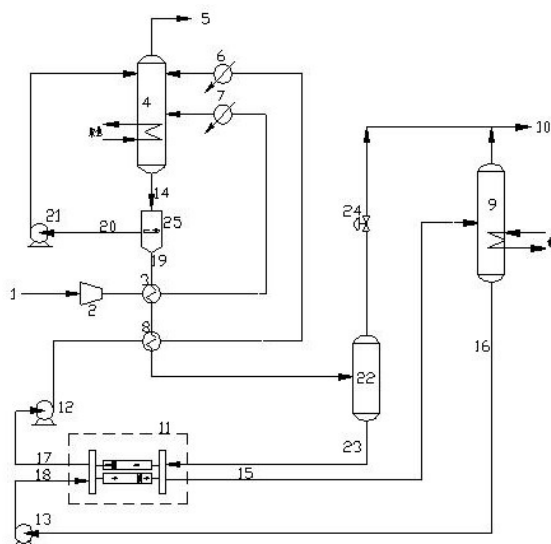
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

一种节能型水合物法分离混合气的系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种节能型水合物法分离混合气的系统。该系统包括压缩机、第一换热器、第二换热器、工作液冷却器、气体冷却器、水合物反应器、固液分离器、气液分离器、水合物分解器、清液循环泵、工作液循环泵、增压泵和能量回收装置；气液分离器液相出口与能量回收装置高压流体入口连接，能量回收装置泄压流体出口与水合物分解器流体入口连接；分解器液相出口经工作液循环泵与能量回收装置低压流体入口连接；能量回收装置增压流体出口依次经过增压泵、第二换热器、工作液冷却器后与反应器液相入口连接。本发明通过设置能量回收装置将高压水合物流体的压力能回收，用于提升分解释放气体后的水合物工作液压力，降低了对再生工作液循环使用进行加压所需的能耗。



1. 一种节能型水合物法分离混合气的系统,所述系统包括压缩机、第一换热器、第二换热器、工作液冷却器、气体冷却器、水合物反应器、固液分离器、气液分离器、水合物分解器、清液循环泵、工作液循环泵、增压泵和能量回收装置;所述压缩机进口与混合气进料管线连接,压缩机出口与第一换热器气相入口连接;

所述第一换热器气相出口经气体冷却器后与水合物反应器气相入口连接;所述水合物反应器气相出口与富集气体管线连接,水合物反应器液相出口与固液分离器入口连接;

所述固液分离器液相出口经清液循环泵与水合物反应器液相入口连接,固液分离器固相出口依次经过第一换热器、第二换热器后与气液分离器流体入口连接;

所述气液分离器气相出口与释放气管线连接,气液分离器液相出口与能量回收装置高压流体入口连接;所述能量回收装置泄压流体出口与水合物分解器流体入口连接;

所述水合物分解器气相出口与释放气管线连接,分解器液相出口经工作液循环泵与能量回收装置低压流体入口连接;

所述能量回收装置增压流体出口依次经过增压泵、第二换热器、工作液冷却器后与水合物反应器液相入口连接。

2. 按照权利要求1所述的系统,其特征在于,所述水合物反应器内部设有冷媒取热设施。

3. 按照权利要求1所述的系统,其特征在于,所述水合物反应器为搅拌式、喷淋式、鼓泡式、管式、射流式、超重力或撞击流式反应器中的一种。

4. 按照权利要求1所述的系统,其特征在于,所述固液分离器为离心式过滤机。

5. 按照权利要求1所述的系统,其特征在于,所述气液分离器气体出口管线上设置压力控制阀门,维持气液分离器内压力。

6. 按照权利要求1所述的系统,其特征在于,所述水合物分解器内部设置有热媒加热设施,用于水合物分解提供热量。

7. 按照权利要求1所述的系统,其特征在于,所述能量回收装置为正位移式能量回收装置。

8. 按照权利要求1或7所述的系统,其特征在于,所述能量回收装置由压力能交换缸、止回阀组、流体切换阀组构成,所述压力能交换缸设置两组或两组以上,所述止回阀组用于控制和切换低压流体和增压流体的进出,所述流体切换阀组用于控制和切换高压流体和泄压流体的进出;所述压力交换缸包括外壳体和内管,所述外壳体两端分别设置低压流体接口、高压流体接口;所述内管将压力交换缸分为内腔体和外腔体,所述外腔体内设置套筒折流板,所述套筒折流板低压流体接口侧端封闭,封闭端面与外腔体侧壁端面留有空隙通道,套筒折流板高压流体接口侧与外腔体侧壁端面留有空隙通道;所述内管中设置活塞,活塞将内腔体分为左右两腔,所述活塞可沿内管自由移动。

9. 一种节能型水合物法分离混合气的方法,其中应用了权利要求1-8任一所述的系统,所述分离方法包括如下步骤:

(1) 混合气经压缩机增压后,依次经过第一换热器、气体冷却器处理后进入水合物反应器,与水合物工作液发生反应,混合气中易于生成水合物的组分与水合物工作液反应进入水合物相形成水合物浆液,不易于生成水合物的组分在气相富集,并排出水合物反应器;

(2) 步骤(1)中得到的水合物浆液进入固液分离器,经分离处理后分为冷清液和富水合

物相, 冷清液返回反应器, 富水合物相依次经过第一换热器、第二换热器换热升温后进入气液分离器, 气液分离器中气相排出, 液相高压流体进入能量回收装置;

(3) 在能量回收装置中, 步骤(2)所述液相高压流体与水合物分解器排出的低压工作液进行压力能交换, 将低压工作液增压为高压工作液, 同时高压流体降压为低压流体, 高压工作液经增压泵进一步增压后, 依次经过第二换热器、工作液冷却器降温处理后进入水合物反应器, 降压后的低压流体进入水合物分解器;

(4) 在水合物化解器内, 步骤(3)所述低压流体水合物分解释放出高浓度被吸收气体, 并排出分解器, 同时得到的再生水合物工作液经循环泵进入能量回收装置, 增压后返回水合物反应器循环使用。

10. 按照权利要求9所述的方法, 其特征在于, 所述水合物反应器的操作条件为: 温度 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$, 压力 $2\text{MPa}\sim 10\text{MPa}$ 。

11. 按照权利要求9所述的方法, 其特征在于, 步骤(1)所述的水合物浆液中, 反应生成水合物占水合物浆液的体积分数为 $20\%\sim 90\%$, 优选 $30\%\sim 70\%$ 。

12. 按照权利要求9所述的方法, 其特征在于, 所述的水合物工作液为水溶液。

13. 按照权利要求9或12所述的方法, 其特征在于, 所述水合物工作液中添加促进剂, 所述促进剂选自十二烷基硫酸钠、十二烷基苯磺酸钠、线性烷基磺酸钠、烷基多苷、四氢呋喃、四氢吡喃、四丁基溴化铵、四丁基氟化铵、环戊烷、丙酮的一种或几种。

14. 按照权利要求9所述的方法, 其特征在于, 步骤(2)所述气液分离器的操作压力与水合物反应器相同。

一种节能型水合物法分离混合气的系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于气体分离领域,涉及一种水合物法分离混合气方法,特别是一种节能型水合物法分离混合气的系统及方法。

背景技术

[0002] 水合物技术是近年来国内外研究的热点,除了作为能源开发利用,气体水合物相关技术衍生出了许多新的应用,用于气体储运、混合气及溶液分离、污水处理、海水淡化、CO₂封存、蓄冷技术等诸多领域。2014年,“第八届国际天然气水合物大会”在北京召开,是该项大会首次在发展中国家举行,表明我国水合物研究水平已得到世界认可,同时也将势必引发国内新一轮能源开发和水合物相关技术研究的热潮。在众多水合物技术应用中,混合气分离技术凭借流程简单、条件温和、操作灵活、绿色无污染等优点受到大量关注。水合物技术分离混合气的原理是不同气体形成水合物的压力相差很大,利用不同气体形成水合物的压力差异,通过控制生成条件,即可实现混合气体组分的分离。目前,水合物分离技术被报道应用于天然气、烟气、煤层气、合成气、炼厂气和沼气等诸多领域气体净化和提纯的研究。

[0003] 利用水合物技术对混合气进行分离需要利用不同气体形成水合物的压力差别,将相平衡压力相对较低的气体形成水合物,而相平衡压力高的气体不形成水合物从而实现混合气分离,但一般情况下,气体水合物的生成压力较高,如温度273K条件下,一些典型气体的相平衡压力如下:CH₄:2.6MPa、CO₂:1.3MPa、O₂:11.1MPa、N₂:14.3MPa、H₂:200MPa,并且随着温度的升高相平衡压力也随之升高,温度278K条件下,CH₄与CO₂相平衡压力分别达到4.5MPa和2.4MPa,O₂、N₂、H₂则更高,气体相平衡压力越高,则生成水合物所需要的能耗越大。此外,要实现混合气分离还需将形成的气体水合物进行降压升温释放,水合形成的低温高压条件和分解释放的高温低压条件的连续气体分离过程中能耗较高,不利于工业应用。目前为了降低气体水合物的相平衡压力,一些大分子被加入到水合物工作液中用以改变相平衡条件,降低水合物生成温度和压力,此类添加剂成为热力学促进剂,主要有四氢呋喃(THF)、四氢吡喃(THP)、四丁基氟化铵(TBAF)、环戊烷(CP)和丙酮等。但热力学促进剂虽然能降低水合物的相平衡压力,但其是通过占据水合物结构中的孔穴实现的,因此储气量及分离效果受到了一定的限制。

[0004] 专利CN105331411A公开了一种节能型天然气水合物的快速合成装置及方法,将高压天然气送至膨胀发电制冷单元,用于回收高压天然气自身的压力能,膨胀发电制冷单元冷凉用于水合物合成制冷,实现了高压天然气的压力能回收并利用冷能快速地合成了天然气水合物,但方法仅适用于高压气源,并且没有考虑液相增压的能耗问题。专利CN103881775A公开了一种煤层气水合物冷却分离及能量回收装置,通过回收尾气排放气中的冷量、未反应煤层气中的冷量和饱和吸收液中的冷量,降低了生产成本,但也仅仅考虑了热量方面的能量回收,煤层气水合-分解过程中的压力能消耗问题未能解决。专利CN101456556A公开了一种水合物法混合气体中CO₂工业化分离提纯系统及方法,设置了水

合物生成和分解热综合利用系统和尾气能量回收系统组成,通过制冷循环过程综合利用水合物生成热与分解热,同时回收尾气压缩功及冷能用于原料气预处理,分离过程的能耗及成本低,该方法虽然回收了气相压力能和优化了热能利用,但液相压力能同样未能高效回收及利用,整个系统仍有很大的能耗降低空间。

[0005] 此外,水合物为一般为结晶形态,流动性较差,容易聚集堵塞,也制约着水合物相关技术的连续性、规模化应用。为解决水合物的流动性问题,日本三井造船株式会社将水合物加工成球状颗粒进行输送,需要进行脱水工序,再利用造粒机对脱水后的水合物进行加工,流程复杂。专利CN103030494A、CN101530719A、CN101554560A、CN1762929A等采用水合物浆液形式,将水合物和未反应生成水合物的溶液一起循环输送来解决流动性问题,但却造成水合物分解时需要对混合浆液整体升温,分解释放气体后再进行整体降温,极大增加了能耗,提高了运行成本。

[0006] 从以上分析可以看出,降低能耗是水合物法分离混合气技术的研究重点,对推进该技术工业化进程意义重大。基于此,有必要针对水合物法分离混合气技术的特点,开发一种确保分离装置能够连续性稳定运行的同时,充分利用及耦合水合物生成-分解工艺过程中热能、压力能等能量的高效混合气分离方法,降低运行能耗。

发明内容

[0007] 本发明针对水合物法分离混合气过程中能耗高的问题,提出一种节能型水合物法分离混合气的系统及方法,能够有效回收高压水合物流体的压力能,高效利用反应流体的冷量、热量,极大的降低了体系能耗,节省运行费用。

[0008] 为实现上述目的,本发明第一方面提供了一种节能型水合物法分离混合气的系统。所述系统包括压缩机、第一换热器、第二换热器、工作液冷却器、气体冷却器、水合物反应器、固液分离器、气液分离器、水合物分解器、清液循环泵、工作液循环泵、增压泵和能量回收装置;

所述压缩机进口与混合气进料管线连接,压缩机出口与第一换热器气相入口连接;

所述第一换热器气相出口经气体冷却器后与水合物反应器气相入口连接;所述水合物反应器气相出口与富集气体管线连接,水合物反应器液相出口与固液分离器入口连接;

所述固液分离器液相出口经清液循环泵与水合物反应器液相入口连接,固液分离器固相出口依次经过第一换热器、第二换热器后与气液分离器流体入口连接;

所述气液分离器气相出口与释放气管线连接,气液分离器液相出口与能量回收装置高压流体入口连接;所述能量回收装置泄压流体出口与水合物分解器流体入口连接;

所述水合物分解器气相出口与释放气管线连接,分解器液相出口经工作液循环泵与能量回收装置低压流体入口连接;

所述能量回收装置增压流体出口依次经过增压泵、第二换热器、工作液冷却器后与水合物反应器液相入口连接。

[0009] 上述分离系统中,所述水合物反应器为利于气液传质且具有良好传热效果的设备,内部设置有冷媒取热设施,反应器形式不限,可以是搅拌式、喷淋式、鼓泡式、管式、射流式、超重力或撞击流式等中的一种。

[0010] 上述分离系统中,所述固液分离器为连续固液分离设备,优选离心式过滤机。

[0011] 上述分离系统中,所述气液分离器气体出口管线上设置压力控制阀门,维持气液分离器内压力。

[0012] 上述分离系统中,所述水合物分解器为气液分离设备,形式不限,内部设置有热媒加热设施,用于水合物分解提供热量。

[0013] 上述分离系统中,所述能量回收装置为离心式或正位移式能量回收装置,优选正位移式能量回收装置。

[0014] 上述分离系统中,所述能量回收装置更优采用具有如下结构:所述能量回收装置由压力能交换缸、止回阀组、流体切换阀组构成,所述压力能交换缸设置两组或两组以上,所述止回阀组用于控制和切换低压流体和增压流体的进出,所述流体切换阀组用于控制和切换高压流体和泄压流体的进出,止回阀组和流体切换阀具体工作原理在具体实施方式中阐述;所述压力交换缸包括外壳体和内管,所述外壳体两端分别设置低压(增压)流体接口、高压(泄压)流体接口,所述内管将压力交换缸分为内腔体和外腔体,所述外腔体内设置套筒折流板,所述套筒折流板低压(增压)流体接口侧端封闭,封闭端面与外腔体侧壁端面留有间隙通道,套筒折流板高压(泄压)流体接口侧与外腔体侧壁端面留有间隙通道,套筒折流板的设置使得低压(增压)流体经过外腔体时呈“S”路径,最终进入内腔体;所述内管中设置活塞,所述活塞将内腔体分为左右两腔,防止两侧不同料液之间混合,所述活塞可以沿内管自由移动。

[0015] 本发明第二方面还提供一种节能型水合物法分离混合气的方法,其中应用了前面所述的系统,所述分离方法包括如下步骤:

(1)混合气经压缩机增压后,依次经过第一换热器、气体冷却器处理后进入水合物反应器,与水合物工作液发生反应,混合气中易于生成水合物的组分与水合物工作液反应进入水合物相形成水合物浆液,不易于生成水合物的组分在气相富集,并排出水合物反应器;

(2)步骤(1)中得到的水合物浆液进入固液分离器,经分离处理后分为冷清液和富水合物相,冷清液返回反应器,富水合物相依次经过第一换热器、第二换热器换热升温后进入气液分离器,气液分离器中气相排出,液相高压流体进入能量回收装置;

(3)在能量回收装置中,步骤(2)所述液相高压流体与水合物分解器排出的低压工作液进行压力能交换,将低压工作液增压为高压工作液,同时高压流体降压为低压流体,高压工作液经增压泵进一步增压后,依次经过第二换热器、工作液冷却器降温处理后进入水合物反应器,降压后的低压流体进入水合物分解器;

(4)在水合物分解器内,步骤(3)所述低压流体水合物分解释放出高浓度被吸收气体,并排出分解器,同时得到的再生水合物工作液经循环泵进入能量回收装置,增压后返回水合物反应器循环使用。

[0016] 上述混合气分离方法中,步骤(1)所述水合物反应器的操作条件为:温度 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$,压力 $2\text{MPa}\sim 10\text{MPa}$,具体操作条件需要针对所处理的混合气体体系进行确定。

[0017] 上述混合气分离方法中,步骤(1)所述水合反应器内,水合物浆液指已形成水合物与未反应生成水合物工作液的混合溶液,反应生成水合物占水合物浆液中的体积分数为 $20\%\sim 90\%$,优选 $30\%\sim 70\%$ 。

[0018] 上述混合气分离方法中,步骤(1)所述混合气经第一换热器、气体冷却器处理后温度与水合物反应器操作温度相匹配。

[0019] 上述混合气分离方法中,步骤(1)所述的水合物工作液可以是水溶液,也可以添加各种促进剂,如十二烷基硫酸钠(SDS)、十二烷基苯磺酸钠(SDBS)、线性烷基磺酸钠(LAB-SA)、烷基多苷(APG)等动力学促进剂或四氢呋喃(THF)、四氢吡喃(THP)、四丁基溴化铵(TBAB)、四丁基氟化铵(TBAF)、环戊烷(CP)、丙酮等热力学促进剂中的一种或几种。

[0020] 上述混合气分离方法中,步骤(2)所述固液分离器为连续固液分离设备,优选离心式过滤机,分离条件与水合物反应器相同。

[0021] 上述混合气分离方法中,步骤(2)所述气液分离器为高压气液分离器,用于将升温后分解的富水合物气液分离,操作压力与水合物反应器相同,通过气体出口管线上的压力控制阀门排放气体维持压力。

[0022] 上述混合气分离方法中,步骤(3)所述能量回收装置是离心式或正位移式能量回收装置,优选活塞式正位移能量回收装置,避免高低压流体的混流,所述正位移式能量回收装置采用的是正位移工作原理,经过“压力能-压力能”转化,具有极高的能量回收效率,压力能回收可达到90%以上。

[0023] 上述混合气分离方法中,步骤(3)所述活塞式正位移能量回收装置优采用具有如下结构:所述能量回收装置由压力能交换缸、止回阀组、流体切换阀组构成,所述压力能交换缸设置两组或两组以上,所述止回阀组用于控制和切换低压流体和增压流体的进出,所述流体切换阀组用于控制和切换高压流体和泄压流体的进出,止回阀组和流体切换阀具体工作原理在具体实施方式中阐述;所述压力交换缸包括外壳体和内管,所述外壳体两端分别设置低压(增压)流体接口、高压(泄压)流体接口,所述内管将压力交换缸分为内腔体和外腔体,所述外腔体内设置套筒折流板,所述套筒折流板低压(增压)流体接口侧端封闭,封闭端面与外腔体侧壁端面留有空隙通道,套筒折流板高压(泄压)流体接口侧与外腔体侧壁端面留有空隙通道,套筒折流板的设置使得低压(增压)流体经过外腔体时呈“S”路径,最终进入内腔体;所述内管中设置活塞,所述活塞将内腔体分为左右两腔,防止两侧不同料液之间混合,所述活塞可以沿内管自由移动。

[0024] 上述能量回收装置中,运行时所述压力能交换缸能够实现水合物反应器排出的高压流体与水合物分解器排出的低压工作液进行压力能交换,将低压工作液增压转化为高压工作液,同时水合物高压流体降压转化为低压流体。

[0025] 上述能量回收装置中,运行时所述低压(增压)流体与高压(泄压)流体通过内管壁进行一定热量传递,防止内腔体富水合物冷流体在内管壁面发生爬壁现象。

[0026] 上述混合气分离方法中,步骤(3)所述增压工作液经第二换热器、工作液冷却器处理后降温至与水合物反应器操作温度相匹配。

[0027] 上述混合气分离方法中,步骤(3)所述增压工作液经增压泵处理后的流体压力与水合物反应器压力匹配。

[0028] 上述混合气分离方法中,步骤(3)所述降压后的低压流体压力与水合物分解器压力匹配。

[0029] 上述混合气分离方法中,步骤(4)所述水合物分解器的操作条件为:压力0.1MPa~2.0MPa,分解温度10~50℃。

[0030] 本发明所述的一种节能型水合物法分离混合气的系统及方法可应用于天然气(CH₄/CO₂)提纯、沼气(CH₄/CO₂)净化、烟气脱碳(N₂/CO₂)、煤层气分离(CH₄/N₂/O₂)、合成气脱

碳(CO₂/H₂)、炼厂气轻烃回收(轻烃/H₂)处理等。

[0031] 与现有技术相比,本发明所述节能型水合物法分离混合气的系统及方法具有如下优点:

1、针对水合物法分离混合气过程中的气体形成水合物与水合物分解两个工序操作条件差异,用能量回收装置将高压水合物流体的压力能回收,用于提升分解释放气体后的水合物工作液压力,高效利用了反应流体的压力能,回收效率可达90%以上,极大降低了对再生工作液循环使用进行加压所需的能耗。

[0032] 2、通过水合物浆液形式进行水合物生成,维持水合物流动性,并通过固液分离设备将水合物浆液分为富水合物结晶相和冷清液相:冷清液相中的水合物含量极低,不必进行升温,可以维持较低的温度回用;富水合物结晶相经与高温进气、高温再生循环工作液换热后进入气液分离器,升温后的富水合物结晶相部分分解再次变为流动性较好的浆液形式,具有较好流动性,同时回收了低温水合物流体的冷量,对进入反应器流体进行了预冷,充分利用了处理过程中的冷、热量,极大的降低了体系能耗,节省运行费用。

[0033] 3、本发明提供的优选能量回收装置通过内腔体和外腔体的结构设计,使得高温、低压再生工作液与低温、高压水合物流体实现压力能交换的同时,通过内管壁进行热量交换,避免内腔体富水合物冷流体在内管壁面发生爬壁现象,维持内腔体的活塞顺畅移动,确保压力能交换缸的正常运行。

附图说明

[0034] 图1为本发明节能型水合物法分离混合气系统示意图。

[0035] 图中,1—混合气,2—压缩机,3—第一换热器,4—水合物反应器,5—富集气体管线,6—工作液冷却器,7—气体冷却器,8—第二换热器,9—水合物分解器,10—分解气管线,11—能量回收装置,12—增压泵,13—工作液循环泵,14—水合物浆液物流,15—泄压流体,16—再生低压工作液,17—再生增压工作液,18—低压流体入口管线,19—富水合物结晶物流,20—冷清液物流,21—清液循环泵,22—气液分离器,23—高压流体,24—压控阀门,25—固液分离器。

[0036] 图2为本发明所述能量回收装置结构及原理示意图。

[0037] 图中,51—止回阀组,52—流体切换阀组,53—压力能交换缸A,54—压力能交换缸B,56—增压流体,57—低压流体,58—高压流体,59—泄压流体。

[0038] 图3为本发明所述能量回收装置中,压力能交换缸结构示意图。

[0039] 图中,81—外壳体,82—内管,83—套筒折流板,84—活塞,85—外腔体,86—内腔体,87—限位构件,88—低压(增压)流体接口,89—高压(泄压)流体接口。

[0040] 图4为实施例1中直管活塞式正位移能量回收装置示意图。

具体实施方式

[0041] 以下结合附图和实施例对本发明一种节能型水合物法分离混合气的系统及方法做详细说明,但并不因此限制本发明。

[0042] 如图1所示,本发明提供一种节能型水合物法分离混合气系统,所述分离系统包括压缩机2、第一换热器3、第二换热器8、工作液冷却器6、气体冷却器7、水合物反应器4、固液

分离器25、气液分离器22、水合物分解器9、清液循环泵21、工作液循环泵13、增压泵12和能量回收装置11。所述压缩机2进口与混合气进料管线1连接,压缩机2出口与第一换热器3气相入口连接;所述第一换热器3气相出口经气体冷却器7后与水合物反应器4气相入口连接;所述水合物反应器4气相出口与富集气体管线5连接,水合物反应器4液相出口与固液分离器25入口连接;所述固液分离器液相出口20经清液循环泵21与水合物反应器4液相入口连接,固液分离器固相出口19依次经过第一换热器3、第二换热器8后与气液分离器22流体入口连接;所述气液分离器22气相出口经压控阀门24与释放气管线10连接,气液分离器22液相出口与能量回收装置高压流体入口23连接;所述能量回收装置泄压流体出口15与水合物分解器9流体入口连接;所述水合物分解器9气相出口与释放气管线10连接,分解器液相出口16经工作液循环泵13与能量回收装置低压流体入口18连接;所述能量回收装置增压流体出口17依次经过增压泵12、第二换热器8、工作液冷却器6后与水合物反应器4液相入口连接。

[0043] 如图2所示,本发明所述能量回收装置结构及工作原理如下:所述能量回收装置包括两组或以上压力能交换缸(图2中选用两组结构,即压力能交换缸A 53、压力能交换缸B 54)、止回阀组51、流体切换阀组52构成。高压水合物流体58通过流体切换阀组52进入到压力能交换缸A53,将压力能传递给先前已经充入交换缸A53中的低压工作液,并驱动增压后的工作液通过止回阀组51排出,此为增压过程;与此同时,低压工作液57通过止回阀组51进入到压力能交换缸B 54中,驱动泄压水合物流体59通过流体切换阀组52排出,此为泄压过程。两支压力能交换缸内的工作冲程完成后,通过流体切换阀组52切换,两支压力能交换缸交换工作冲程。通过两支压力能交换缸内有规律地交替进行增压、泄压过程,实现高压水合物流体58与低压工作液57的能量交换,同时保证能量回收装置连续稳定运行。

[0044] 如图3所示,本发明系统及方法所述能量回收装置中,压力能交换缸包括外壳体81和内管82,所述外壳体81两端分别设置低压(增压)流体接口88、高压(泄压)流体接口89,所述内管82将压力交换缸分为内腔体86和外腔体85,所述外腔体85内设置套筒折流板83,所述套筒折流板低压(增压)流体接口侧端封闭,封闭端面与外腔体侧壁端面留有空隙通道,套筒折流板高压(泄压)流体接口侧与外腔体侧壁端面留有空隙通道,套筒折流板83的设置使得低压(增压)流体经过外腔体85时呈“S”路径,最终进入内腔体86;所述内管82中设置活塞84,所述活塞将内腔体分为左右两腔,防止两侧不同料液之间混合,所述活塞84可以沿内管82自由移动。

[0045] 结合图1、图2、图3,采用本发明提供混合气分离系统及方法分离混合气的工作过程如下:待处理的混合气1经压缩机2增压后,依次经过第一换热器3、气体冷却器7处理后进入水合物反应器4,与水合物工作液发生反应,混合气中易于生成水合物的组分与水合物工作液反应进入水合物相形成水合物浆液,不易于生成水合物的组分在气相富集,并排出水合物反应器4进入富集气体管线5;水合物浆液进入固液分离器25,经分离处理后分为冷清液和富水合物相,冷清液20返回反应器,富水合物相19依次经过第一换热器3、第二换热器8换热升温后进入气液分离器22,气液分离器中气相排出,液相高压流体进入能量回收装置11;在能量回收装置中,高压流体与水合物分解器9排出的低压工作液进行压力能交换,将低压工作液增压为高压工作液,同时高压流体降压为低压流体,高压工作液17经增压泵12进一步增压后,依次经过第二换热器8、工作液冷却器6降温处理后进入水合物反应器4,降

压后的低压流体15进入水合物分解器9,在水合物分解器9内分解释放出高浓度被吸收气体,并排出分解器进入分解气管线10,同时得到的再生水合物工作液经循环泵13进入能量回收装置11,增压后返回水合物反应器4循环使用。

[0046] 实施例1

采用图1所示系统,图4所示压力能回收装置,对炼厂气进行氢气提浓处理。炼厂气组成: H_2 体积含量40%, CH_4 体积含量25%,剩余为轻烃及少量 CO_2 等气体。水合物工作液为含质量分数4%的TBAB和300mg/kg的SDS水溶液。

[0047] 炼厂气增压后进入水合物反应器,水合物反应器条件为:压力7.0MPa、温度5℃,炼厂气中 CH_4 、轻烃及 CO_2 气体与水合物工作液反应进入水合物相形成水合物浆液, H_2 组分不易于生成水合物在气相富集,反应控制水合物生成量占水合物浆液总体积量的50%左右,混合气经处理后排出水合物反应器,气体中 H_2 含量高于80%;将水合物浆液引入固液分离器,得到冷清液和富水合物结晶相,其中冷清液中水合物质量含量小于10%,冷清液进入反应器循环,富水合物结晶相经过第一换热器、第二换热器升温后进入气液分离器,气液分离器维持压力6.5MPa左右,气体由分离器排出,压力6.5MPa水合物浆液进入能量回收装置,与水合物分解器排出的低压工作液进行压力能交换,将低压工作液由0.4MPa增压至6.3MPa,同时水合物浆液降压为0.2MPa的低压流体进入水合物分解器;水合物分解器条件0.2MPa、温度25℃,在此条件下水合物流体分解释放出贫 H_2 尾气。通过上述工艺对炼厂气中 H_2 进行了提浓回收,富 H_2 气体中 H_2 含量高于80%, H_2 回收率高于85%。整个处理过程能够保证装置中水合物良好的流动性,并极大降低了过程能耗:通过设置固液分离器处理水合物浆液,仅针对富水合物结晶进行再生处理,降低了水合物化解能耗30%以上;对高压流体的压力能进行了高效回收利用,高压水合物流体90%以上的压力能得到回收;此外系统还优化了冷、热能量间的转换,整个过程比传统水合物法混合气分离处理的综合能耗降低20%左右,充分实现了节能降耗。

[0048] 本实施例中,采用传统正位移式能量回收装置,低温水合物流体在进行压力能转换过程中,存在水合物在管内壁结晶爬壁风险,可能会导致活塞无法顺畅移动,影响压力能交换缸的正常运行,能量回收装置无法保证连续稳定运行。

[0049] 实施例2

采用图1所示本发明提供的水合物法分离混合气系统,并选用图2、图3所示能量回收装置对炼厂气进行氢气提浓处理,其余与实施例1相同。由于采用图2、图3所示能量回收装置对高压水合物流体进行压力能回收,针对高压流体中的水合物易结晶特点,通过内腔体和外腔体的结构设计,使得高温、低压再生工作液与低温、高压水合物流体实现压力能交换的同时,通过内管壁进行热量交换,使得内腔体富水合物冷流体在内管壁处存在一定的温升,避免了在压力能转换的过程中水合物发生爬壁现象,从而能够确保活塞能够顺畅移动,维持能量回收装置稳定运行。

[0050] 比较例1

与实施例1相同,不同之处在于,不设置能量回收装置。由于未设置能量回收装置,整套系统在混合气的连续分离处理过程中,需要将工作液增压至7.0MPa进行水合反应,气体形成水合物后再将其压力降至0.2MPa,从而实现水合物分解释放气体,然后再次对再生工作液由0.2MPa增压至7.0MPa循环使用,此过程需要高压泵对低压流体增压,极大增加了能耗,

而高压流体泄压时的压力能未能得到利用,浪费了高压流体能量,大大增加了运行成本。

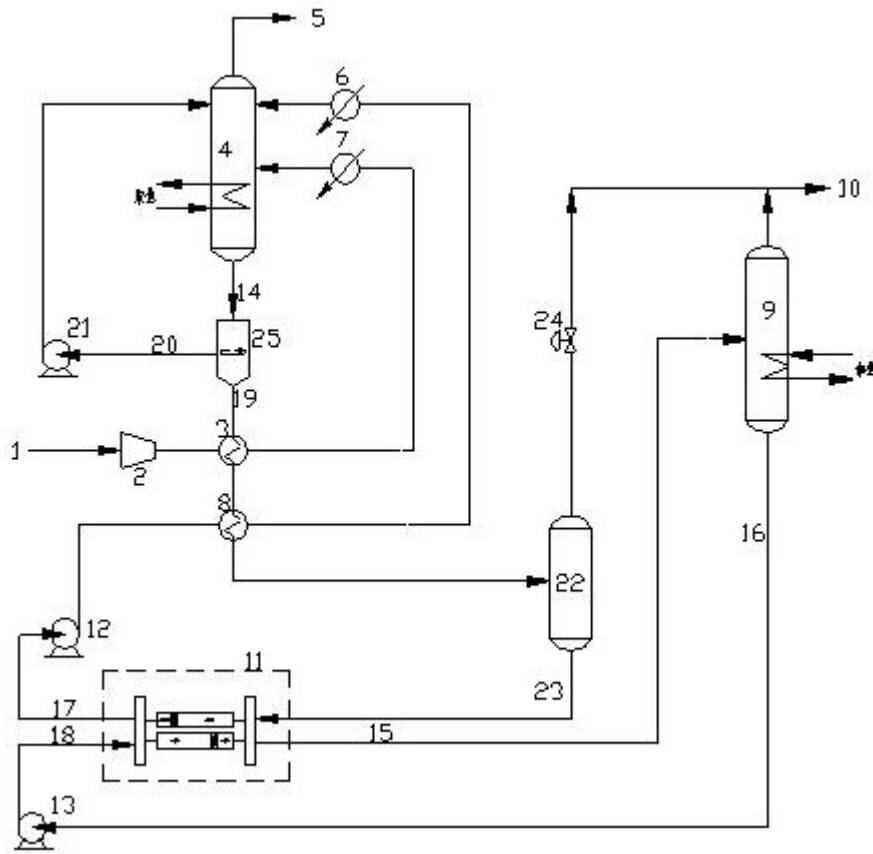


图1

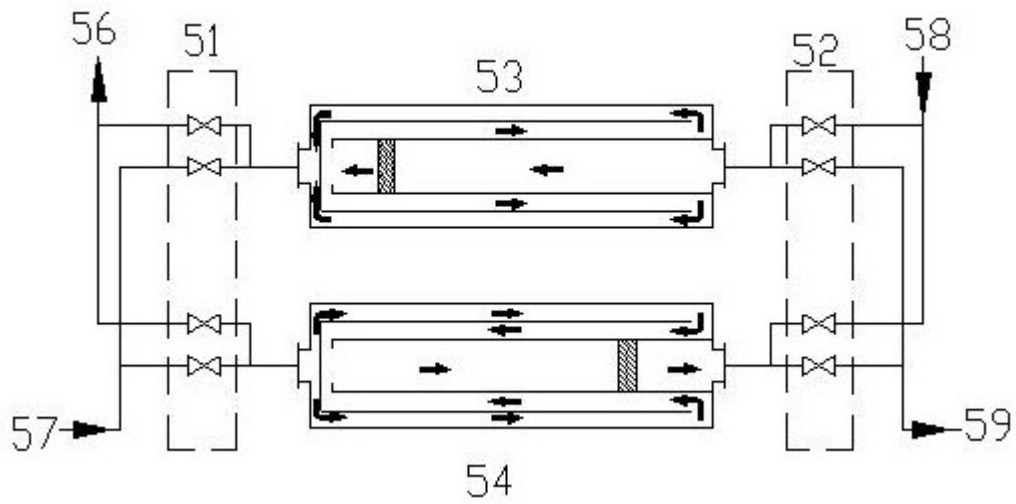


图2

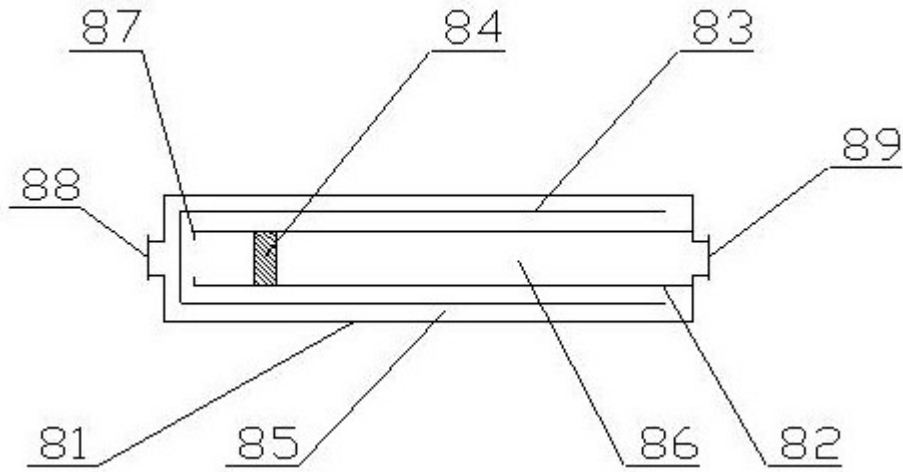


图3

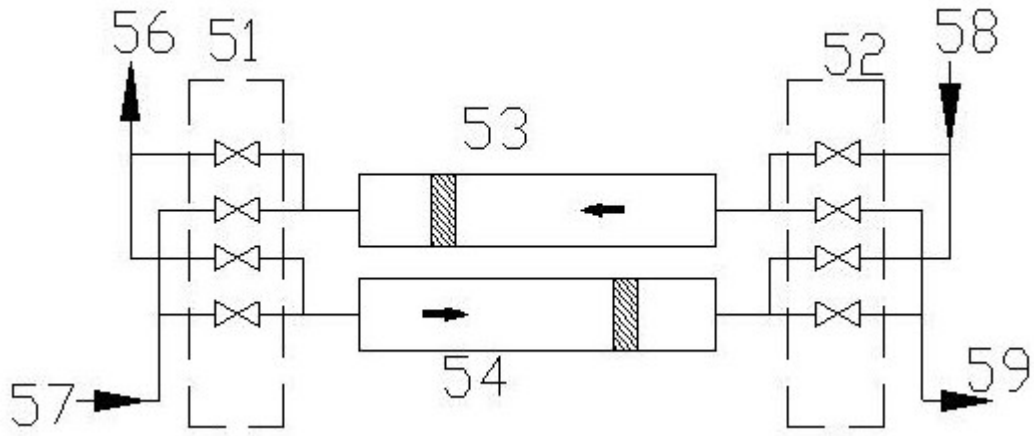


图4