



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102538391 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 04

(21) 申请号 201210036583. 4

F25J 5/00 (2006. 01)

(22) 申请日 2012. 02. 19

审查员 杜赞玲

(73) 专利权人 中国石油集团工程设计有限责任公司

地址 610017 四川省成都市小关庙后街 25 号

(72) 发明人 刘家洪 龙增兵 宋德琦 汪宏伟  
郭成华 孙林 陆永康 胡益武  
陈运强 冼祥发 蒲黎明 宋光红  
琚宜林 钟志良

(74) 专利代理机构 成都九鼎天元知识产权代理有限公司 51214

代理人 邓世燕

(51) Int. Cl.

F25J 1/02 (2006. 01)

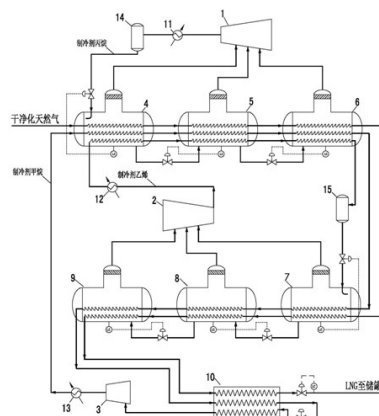
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

### (54) 发明名称

多级单组分制冷天然气液化方法

### (57) 摘要

本发明公开了一种多级单组分制冷天然气液化系统及方法,净化天然气在六个换热器(蒸发器)和一个板翅换热器(天然气过热器)中温度逐渐降低,直至液化;液化过程所需的冷量由丙烷、乙烯、甲烷三个系统提供,该系统调节手段丰富,能够为天然气液化过程提供相匹配的冷量,从而体现出该方法在操作上的灵活性和对原料的适应性。本发明的积极效果是:天然气液化过程能耗低;冷剂压缩机均为单组分压缩机,设计更容易,采购更方便,压缩机运行更稳定,并可采用国产化设备,有效降低了液化厂建设投资;液化过程换热器选择范围大,可采用冷箱结构,也可采用管壳式结构,或两者相结合的结构。



1. 一种多级单组分制冷天然气液化方法,其特征在于:包括如下步骤:

1) 丙烷预冷系统对天然气、甲烷和乙烯制冷剂进行预冷:

天然气、甲烷和乙烯首先经过三级丙烷蒸发器制冷冷却至  $-35^{\circ}\text{C}$  后,进入乙烯液化制冷系统换热冷却;从三级丙烷蒸发器出来的丙烷蒸气经丙烷压缩机增压至  $1.32\text{MPa.g}$  后经过丙烷冷却器水冷至  $40^{\circ}\text{C}$ ,进入丙烷储罐储存;来自丙烷储罐的制冷剂丙烷通过一级 J-T 阀节流,压力降至  $0.735\text{MPa.g}$  后进入高压丙烷蒸发器,对天然气、甲烷和乙烯进行冷却;高压丙烷蒸发器蒸发的气态丙烷回到丙烷压缩机增压,液态丙烷通过二级 J-T 阀节流,压力降至  $0.305\text{MPa.g}$  后进入中压丙烷蒸发器,对天然气、甲烷和乙烯进行冷却;中压丙烷蒸发器蒸发的气态丙烷回到丙烷压缩机增压,液态丙烷通过三级 J-T 阀节流,压力降至  $0.011\text{MPa.g}$  后进入低压丙烷蒸发器,对天然气、甲烷和乙烯进行冷却,低压丙烷蒸发器蒸发的气态丙烷回到丙烷压缩机增压进行循环;

2) 乙烯液化制冷系统将天然气、甲烷冷却至  $-95 \sim -85^{\circ}\text{C}$ ;

乙烯经乙烯压缩机增压至  $1.9\text{MPa.g}$  后经过乙烯冷却器水冷至  $40^{\circ}\text{C}$ ,进入丙烷预冷系统冷却到  $-35^{\circ}\text{C}$  并液化,然后进入乙烯储罐储存;来自乙烯储罐的  $-35^{\circ}\text{C}$  液态乙烯经一级 J-T 阀节流,压力降至  $0.95\text{MPa.g}$  后进入高压乙烯蒸发器,对天然气和甲烷进行冷却;高压乙烯蒸发器蒸发的乙烯回到乙烯压缩机增压,液态乙烯经二级 J-T 阀节流,压力降至  $0.23\text{MPa.g}$  后进入中压乙烯蒸发器,对天然气和甲烷进行冷却;中压乙烯蒸发器蒸发的乙烯回到乙烯压缩机增压,液态乙烯通过三级 J-T 阀节流,压力降至  $0.017\text{MPa.g}$  后进入低压乙烯蒸发器,对天然气和甲烷进行冷却,低压乙烯蒸发器蒸发的乙烯回到乙烯压缩机增压进行循环;

3) 甲烷过冷系统为天然气和甲烷自身过冷提供冷量:

甲烷过冷系统将乙烯液化制冷系统液化的天然气通过天然气过冷器过冷至  $-150^{\circ}\text{C}$ ,过冷后的天然气节流后温度降至  $-162^{\circ}\text{C}$ ,进入 LNG 储罐储存;同时,制冷剂甲烷在这一级中冷却到  $-150^{\circ}\text{C}$  左右,然后通过节流阀降温降压,压力降至  $0.1\text{MPa.g}$ 、温度降至  $-152.9^{\circ}\text{C}$  后再进入天然气过冷器换热,温度升为  $-100^{\circ}\text{C} \sim -120^{\circ}\text{C}$  后再出天然气过冷器,并直接进入甲烷压缩机增压,增压完成后进入丙烷预冷系统循环。

2. 根据权利要求 1 所述的多级单组分制冷天然气液化方法,其特征在于:所述天然气过冷器为板翅式换热器。

## 多级单组分制冷天然气液化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种天然气液化工艺,尤其是涉及一种多级单组分制冷天然气液化系统及方法。

### 背景技术

[0002] 液化天然气(LNG)具有清洁环保的性能,在无天然气管道到达地区的中小城镇城市燃气、工业燃料、城市燃气调峰及事故应急、燃气汽车、高档瓷器加工等诸多应用领域迅速推广。但受到国际原油价格的影响,天然气价格不断攀升,天然气液化厂效益天然气液化工厂原料成本不断增加,从而导致液化工厂利润空间不断下降。近年来国内外天然气液化厂已向大型化、规模化方向发展,目前单套最大液化能力已到达 780 万吨/年。能耗低、建设成本相对较低、又能应用于大规模的液化工艺是未来的我国液化技术的发展方向。

[0003] 目前国内外天然气液化工艺大致可分为以下三种:

[0004] 1) 阶式制冷循环;2) 混合冷剂制冷循环,又细分为带或不带预冷的单级混合冷剂循环和多级混合冷剂循环;3) 膨胀制冷,又细分为带或不带预冷的单级膨胀制冷和多级膨胀制冷。

[0005] 以上工艺因各自的特点而适应于不同处理规模的天然气液化厂。带膨胀制冷循环的天然气液化工艺因装置能耗过高,单套装置处理量小,近年来逐渐被单级混合冷剂制冷循环液化技术替代。单级混合冷剂制冷循环液化工艺是目前国内外  $50 \times 10^4 \text{t/a}$  以下处理规模的液化厂的主流工艺。而带丙烷预冷的混合冷剂制冷循环液化工艺(C3/MRC)及多级混合冷剂制冷液化流程,多用于天然气以上的中大型基本负荷型天然气液化装置。阶式制冷循环液化流程能耗低、适用于  $100 \times 10^4 \text{t/a}$  以上超大型天然气液化装置。

[0006] 从以上分析可以看出,带丙烷预冷的混合冷剂制冷循环液化工艺(C3/MRC)、多级混合冷剂制冷液化流程以及阶式制冷循环液化流程能适用于大型或超大型天然气液化工艺。但受到国外天然气液化技术和关键设备的垄断,我国大型液化厂建设成本无法得到有效地控制。开发一种能适用于大型又能使用我国自主化设备的天然气液化工艺已非常必要。

### 发明内容

[0007] 为了克服现有技术的上述缺点,本发明提供了一种多级单组分制冷天然气液化系统及方法,结合了传统阶式制冷工艺优点,同时从关键设备国产化对传统阶式制冷工艺的技术进行了改进及创新,除具有传统阶式制冷工艺特点外,还具有冷剂压缩机、换热器国产化的特点,方便采购、投资更省。

[0008] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:一种多级单组分制冷天然气液化系统,包括丙烷预冷系统、乙烯液化制冷系统和甲烷过冷系统;所述丙烷预冷系统包括依次连接的丙烷压缩机、丙烷储罐、高压丙烷蒸发器、中压丙烷蒸发器和低压丙烷蒸发器;所述乙烯液化制冷系统包括依次连接的乙烯储罐、高压乙烯蒸发器、中压乙烯蒸发器、低压乙烯蒸

发器和乙烯压缩机；所述甲烷过冷系统包括依次连接的天然气过冷器和甲烷压缩机；所述乙烯储罐与低压丙烷蒸发器连接，所述乙烯压缩机与高压丙烷蒸发器连接，所述甲烷压缩机与高压丙烷蒸发器连接。

[0009] 本发明还提供了一种多级单组分制冷天然气液化方法，包括如下步骤：

[0010] 1) 丙烷预冷系统对天然气、甲烷和乙烯制冷剂进行预冷：

[0011] 天然气、甲烷和乙烯首先经过三级丙烷蒸发器蒸发制冷冷却至  $-35^{\circ}\text{C}$  后，进入乙烯液化制冷系统换热冷却；从三级丙烷蒸发器出来的丙烷蒸气经丙烷压缩机增压至  $1.32\text{MPa.g}$  后经过丙烷冷却器水冷至  $40^{\circ}\text{C}$ ，进入丙烷储罐储存；来自丙烷储罐的制冷剂丙烷通过一级 J-T 阀节流，压力降至  $0.735\text{MPa.g}$  后进入高压丙烷蒸发器，对天然气、甲烷和乙烯进行冷却；高压丙烷蒸发器蒸发的气态丙烷回到丙烷压缩机增压，液态丙烷通过二级 J-T 阀节流，压力降至  $0.305\text{MPa.g}$  后进入中压丙烷蒸发器，对天然气、甲烷和乙烯进行冷却；中压丙烷蒸发器蒸发的气态丙烷回到丙烷压缩机增压，液态丙烷通过三级 J-T 阀节流，压力降至  $0.011\text{MPa.g}$  后进入低压丙烷蒸发器，对天然气、甲烷和乙烯进行冷却，低压丙烷蒸发器蒸发的气态丙烷回到丙烷压缩机增压进行循环；

[0012] 2) 乙烯液化制冷系统将天然气、甲烷冷却至  $-95 \sim -85^{\circ}\text{C}$ ：

[0013] 乙烯经乙烯压缩机增压至  $1.9\text{MPa.g}$  后经过乙烯冷却器水冷至  $40^{\circ}\text{C}$ ，进入丙烷预冷系统冷却到  $-35^{\circ}\text{C}$  并液化，然后进入乙烯储罐储存；来自乙烯储罐的  $-35^{\circ}\text{C}$  液态乙烯经一级 J-T 阀节流，压力降至  $0.95\text{MPa.g}$  后进入高压乙烯蒸发器，对天然气和甲烷进行冷却；高压乙烯蒸发器蒸发的乙烯回到乙烯压缩机增压，液态乙烯经二级 J-T 阀节流，压力降至  $0.23\text{MPa.g}$  后进入中压乙烯蒸发器，对天然气和甲烷进行冷却；中压乙烯蒸发器蒸发的乙烯回到乙烯压缩机增压，液态乙烯通过三级 J-T 阀节流，压力降至  $0.017\text{MPa.g}$  后进入低压乙烯蒸发器，对天然气和甲烷进行冷却，低压乙烯蒸发器蒸发的乙烯回到乙烯压缩机增压进行循环；

[0014] 3) 甲烷过冷系统为天然气和甲烷自身过冷提供冷量：

[0015] 甲烷过冷系统将乙烯液化制冷系统液化的天然气通过天然气过冷器过冷至  $-150^{\circ}\text{C}$ ，过冷后的天然气节流后温度降至  $-162^{\circ}\text{C}$ ，进入 LNG 储罐储存；同时，制冷剂甲烷在这一级中冷却到  $-150^{\circ}\text{C}$  左右，然后通过节流阀降温降压，压力降至  $100\text{KPa}$ 、温度降至  $-152.9^{\circ}\text{C}$  后再进入天然气过冷器换热，温度升为  $-100^{\circ}\text{C} \sim -120^{\circ}\text{C}$  后再出天然气过冷器，并直接进入甲烷压缩机增压，增压完成后进入丙烷预冷系统循环。

[0016] 与现有技术相比，本发明的积极效果是：净化天然气在六个换热器（蒸发器）和一个板翅换热器（天然气过冷器）中温度逐渐降低，直至液化；液化过程所需的冷量由丙烷、乙烯、甲烷三个系统提供，该系统调节手段丰富，能够为天然气液化过程提供相匹配的冷量，从而体现出该方法在操作上的灵活性和对原料的适应性。与现有技术相比，具有以下优点：

[0017] 一、天然气液化过程能耗低。

[0018] 对于天然气液化而言，影响能耗的主要因素为制冷温度和制冷换热过程的换热温差。在相同的制冷温度工况下，换热温差越大，制冷系统的能耗越高。

[0019] 采用本发明的多级单组分进行天然气液化，丙烷、乙烯在 3 个不同的蒸发压力下蒸发，分成 3 个温度等级冷却天然气，各个压力下的蒸发制冷剂进入相应的压缩机压缩。最

后采用甲烷作为过冷剂为天然气和自身的冷却提供冷量。整个换热过程温差较为均匀,无传热瓶颈,有效能损失小,节能明显。比目前普遍使用的 C3/MRC 工艺能耗低约 5%。

[0020] 二、冷剂压缩机均为单组分压缩机,设计更容易,采购更方便,压缩机运行更稳定,并可采用国产化设备,有效降低了液化厂建设投资。

[0021] 冷剂压缩机包括丙烷压缩机,乙烯压缩机,甲烷压缩机,其中丙烷压缩机最低吸气温度为  $-40 \sim -35^{\circ}\text{C}$ ,乙烯压缩机最低吸气温度为  $-101^{\circ}\text{C}$ ,对于丙烷压缩机和乙烯压缩机在国内低温行业已经广泛运用,因此该压缩机很容易采购,实现国产化。在传统的阶式制冷工艺中的甲烷压缩机最低吸气温度为  $-150^{\circ}\text{C}$ ,国产设备无法使用,限制了该工艺的推广。

[0022] 采用本发明的天然气液化工艺,甲烷压缩机的最低吸气温度提高到  $-120^{\circ}\text{C}$ ,采用一级进气,此工况的压缩机在国内低温行业中已有成熟业绩,解决了国内大型 LNG 工厂国产化的瓶颈。

[0023] 三、液化过程换热器选择范围大,可采用冷箱结构,也可采用管壳式结构,或两者相结合的结构。

[0024] 国内外 LNG 工厂的主换热器设备主要是绕管换热器和板翅式换热器,绕管换热器的现有世界生产商只有 APCI 和 LINDE 两家,价格较高,而板翅式换热器在国内的生产厂家较多。国外大型 LNG 工厂中的主换热器都采用的绕管。采用本发明的天然气液化工艺,主换热器采用管壳式结构和板翅式换热器,大型液化工厂国产化不再受主换热器的形式限制。

#### 附图说明

[0025] 本发明将通过例子并参照附图的方式说明,其中:

[0026] 图 1 是本发明的系统原理示意图。

#### 具体实施方式

[0027] 一种多级单组分制冷天然气液化系统,如图 1 所示,包括:丙烷压缩机 1、乙烯压缩机 2、甲烷压缩机 3、高压丙烷蒸发器 4、中压丙烷蒸发器 5、低压丙烷蒸发器 6、高压乙烯蒸发器 7、中压乙烯蒸发器 8、低压乙烯蒸发器 9、天然气过冷器 10、丙烷冷却器 11、乙烯冷却器 12、甲烷冷却器 13、丙烷储罐 14、乙烯储罐 15。其中:

[0028] 丙烷压缩机 1、丙烷冷却器 11、丙烷储罐 14、高压丙烷蒸发器 4、中压丙烷蒸发器 5 和低压丙烷蒸发器 6 依次连接,构成丙烷预冷系统,用于对天然气、甲烷和乙烯制冷剂进行预冷。

[0029] 乙烯储罐 15、高压乙烯蒸发器 7、中压乙烯蒸发器 8、低压乙烯蒸发器 9、乙烯压缩机 2 和乙烯冷却器 12 依次连接,构成乙烯液化制冷系统,用于将天然气、甲烷冷却至  $-95 \sim -85^{\circ}\text{C}$ 。

[0030] 天然气过冷器 10、甲烷压缩机 3 和甲烷冷却器 13 依次连接,构成甲烷过冷系统,用于为天然气和甲烷自身过冷提供冷量。

[0031] 一种多级单组分制冷天然气液化方法,包括如下步骤:

[0032] 1) 丙烷预冷系统对天然气、甲烷和乙烯制冷剂进行预冷:

[0033] 天然气、甲烷和乙烯首先经高压丙烷蒸发器 4、中压丙烷蒸发器 5 和低压丙烷蒸发器 6 三级丙烷蒸发制冷冷却至  $-35^{\circ}\text{C}$  后,进入乙烯液化制冷系统换热冷却。

[0034] 从三级丙烷蒸发器出来的丙烷蒸气经丙烷压缩机 1 增压至 1.32MPa. g 后经过丙烷冷却器 11 水冷至 40℃, 进入丙烷储罐 14 储存; 来自丙烷储罐 14 的制冷剂丙烷通过一级 J-T 阀节流, 压力降至 0.735MPa. g 后进入高压丙烷蒸发器 4, 对天然气、甲烷和乙烯进行冷却; 高压丙烷蒸发器 4 蒸发的丙烷回到丙烷压缩机 1 增压, 部分液态丙烷通过二级 J-T 阀节流, 压力降至 0.305MPa. g 后进入中压丙烷蒸发器 5, 对天然气、甲烷和乙烯进行冷却; 中压丙烷蒸发器 5 蒸发的丙烷回到丙烷压缩机 1 增压, 部分液态丙烷通过三级 J-T 阀节流, 压力降至 0.011MPa. g 后进入低压丙烷蒸发器 6, 对天然气、甲烷和乙烯进行冷却, 低压丙烷蒸发器 6 蒸发的丙烷回到丙烷压缩机 1 增压进行循环。

[0035] 2) 乙烯液化制冷系统将天然气、甲烷冷却至 -95 ~ -85℃:

[0036] 乙烯经乙烯压缩机 2 增压至 1.9MPa. g 后经过乙烯冷却器 12 水冷至 40℃, 进入丙烷预冷系统冷却到 -35℃ 并液化, 进入乙烯储罐 15 储存; 来自乙烯储罐 15 的 -35℃ 液态乙烯经一级 J-T 阀节流, 压力降至 0.95MPa. g 后进入高压乙烯蒸发器 7, 对天然气和甲烷进行冷却; 高压乙烯蒸发器 7 蒸发的乙烯回到乙烯压缩机 2 增压, 部分液态乙烯经二级 J-T 阀节流, 压力降至 0.23MPa. g 后进入中压乙烯蒸发器 8, 对天然气和甲烷进行冷却; 中压乙烯蒸发器 8 蒸发的乙烯回到乙烯压缩机 2 增压, 部分液态乙烯通过三级 J-T 阀节流, 压力降至 0.017MPa. g 后进入低压乙烯蒸发器 9, 对天然气和甲烷进行冷却, 低压乙烯蒸发器 9 蒸发的乙烯回到乙烯压缩机 2 增压进行循环。

[0037] 3) 甲烷过冷系统为天然气和甲烷自身过冷提供冷量:

[0038] 甲烷作为过冷段的制冷剂, 将液化段(乙烯液化制冷系统)已液化的天然气通过天然气过冷器 10 (板翅式换热器) 过冷至 -150℃, 过冷后的天然气节流后温度降至 -162℃, 进入 LNG 储罐储存; 同时, 制冷剂甲烷在这一级中冷却到 -150℃ 左右, 然后通过节流阀降温降压, 压力降至 0.1MPa. g, 温度降至 -152.9℃, 再进入天然气过冷器 10, 为天然气和自身过冷提供冷量。节流后的甲烷出天然气过冷器 10 的温度为 -100℃ ~ -120℃, 该气体直接进入甲烷压缩机 3 增压, 增压完成后通过甲烷冷却器 13 水冷, 然后进入丙烷预冷系统循环。

[0039] 多级单组分制冷天然气液化工艺的基本原理是: 较低温度级的循环将热量转给相邻的较高温度级的循环。第一级丙烷制冷循环为天然气、制冷剂乙烯和制冷剂甲烷提供冷量; 第二级乙烯制冷循环为天然气和制冷剂甲烷提供冷量; 第三级甲烷制冷循环为天然气及自身提供冷量。通过六个换热器(蒸发器 4 至 9) 和一个板翅式换热器(天然气过冷器 10) 冷却, 天然气的温度逐渐降低, 直至液化。

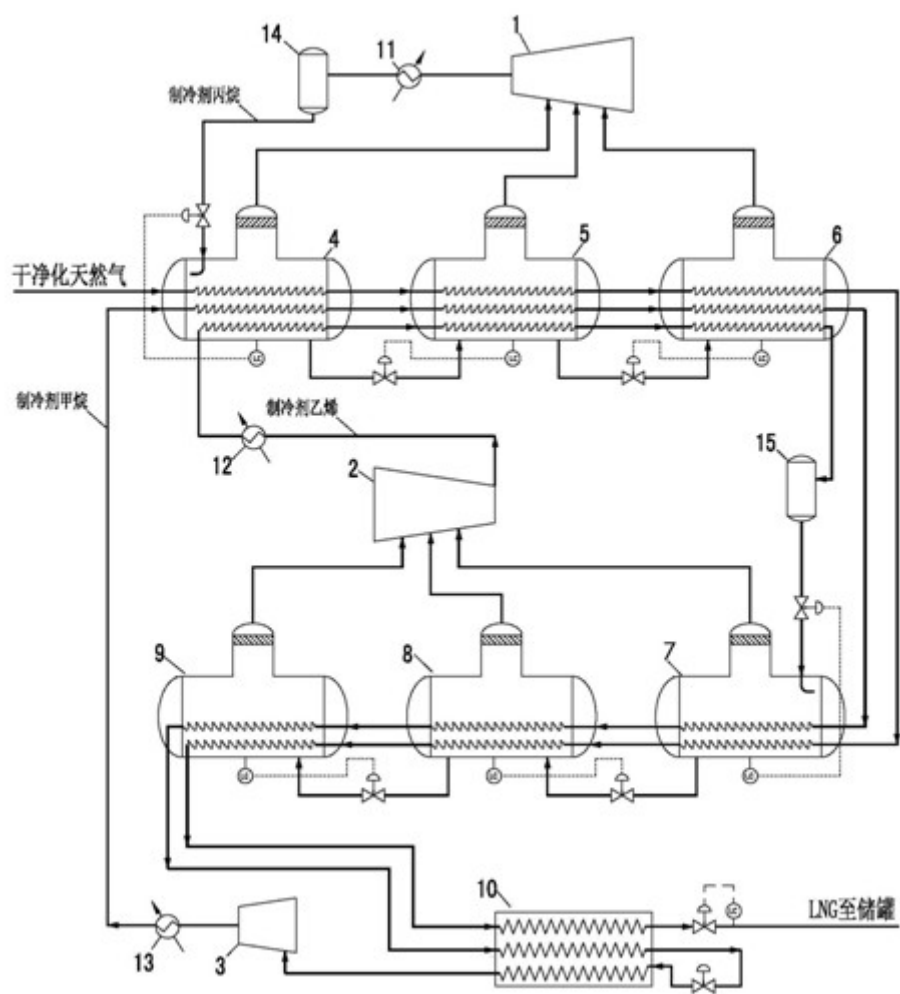


图 1