

天然气液化工艺中的氮气脱除应用及技术研究

高增强 (宁夏哈纳斯液化天然气有限公司, 宁夏 银川 750021)

摘要: 设计了天然气液化过程中的重碳氢化合物和氮去除的流程。研究了脱氮器送气预冷温度和回流温度对重碳氢化合物去除的影响。分析了脱氮器底部饲料比, 脱氮菌运行压力和脱氮菌供应位置对氮去除的影响。结果, 重碳氢去除塔的种子气体预冷温度和回流温度的降低表明有助于在供气中去除重碳氢化合物, 增加了脱氮器底部的饲料量和减少了脱氮器的运行压力对于从lg产品中去氮是有用的。优化后的运行条件如下: 脱碳氢化合物塔的回流温度为 -66°C , 脱氮塔下部饲料比为 7.8%, 脱氮塔的运行压力为 290kPa, 脱氮塔中间饲料位为第 6 理论版。在此条件下, 对 N 和 C₂ 的摩尔分数分别为 3.1157% 和 0.0214% 的进料气, 得到的 LNG 产品中 N 摩尔分数为 1.48%, 脱除的氮气中烃摩尔分数为 4.37%, LNG 收率达到 98.22%。

关键词: 天然气液化; 脱重烃; 氮气脱除; 回流温度

1 城市防灾公园规划设计研究意义

由于中国环境保护标准的改善和能源结构调整的要求, 液化天然气 (LNG) 迅速发展为高品质、高效、清洁的低碳能源。在产业和民生领域广泛使用, 中国的一次能源消费量逐年增加。LNG 的广泛使用不仅有重要的经济利益和社会意义, 而且大大促进了天然气液化技术的发展, 以保护生态环境, 优化能源结构, 实现国家经济和社会的可持续发展。

在液化过程中, 有必要除去天然气中的重碳氢成分, 避免在液化过程中由于杂质引起的冻结和阻塞。在液化天然气领域, 由于重碳氢化合物是指 C 的重碳氢化合物的低熔点和沸点, 因此管道和装置在低温环境中被冷凝和冻结所阻断, 严重时导致单元的关机。从国内外天然气中去除重碳氢化合物的现有方法主要包括蒸馏和吸附。

在任何方法中, 天然气中的重碳氢化合物在外部冷源条件下通过蒸馏或吸附被除去并进一步液化。液化天然气通常以饱和液体的形式储存在绝热罐中。当 LNG 中的氮含量过高时, 具有不同密度层的 LNG 在罐内快速上下混合, 并大量产生气化气体。此时, 由于液化天然气在罐内的蒸发量远大于通常的自然蒸发量, 罐内的压力急剧上升, 超过设定的安全压力, 成为罐内的过压。如果不按时的话, 安全阀的排出可能会给储存罐带来机械损伤。除了经济损失和环境污染外, 还有安全风险。因此, 为了在可避免 LNG 罐翻覆事故的天然气液化过程中控制 LNG 中的氮含量, 采用低温蒸馏法是提高 LNG 产品质量的重要手段。

本报告设计了低温蒸馏天然气液化过程中去除重碳氢和氮的过程, 研究了脱氮器的种子气体预冷温度和回流温度对重碳氢化合物去除的影响。另一方面, 分析了氮化菌底部饲料的摩尔比对所有氮化菌饲料的影响, 以及脱氮器的运行压力和脱氮器供应位置对氮去除的影响。

2 参数与流程

2.1 天然气液化及脱氮工艺流程设计参数

料气的绝对压力为 4600kPa, 温度为 40°C , 摩尔流率为 $890.9\text{kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ 。LNG 中 N, 摩尔分数 $\leq 1.50\%$, 脱除的氮气中烃的摩尔分数 $\leq 5\%$ 。采用 Aspen HYSYS V10.0 模拟软件进行模拟, 状态方程为 Peng-Robinson (PR) 方程, 压缩机效率设置为 75%, 冷箱中冷热物流最小传热温差 $\geq 2^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 天然气液化及脱氮工艺流程简述

供气通过预冷到 -30°C 热交换器和冷箱旋转, 进入重的碳氢去除塔的下部。重碳氢除去塔底部的重碳氢化合物被储藏在下游的重质碳氢除去塔上部的出口的气体相进入冷箱, 冷却到 65°C 之后, 为了气液分离进入重碳氢除去塔的回流罐。液相被重碳氢除去塔的回流泵加压, 返回重氢碳氢除去塔上部的气相分为两个流。在通过节气门阀 2-330kPa 之后, 进入脱氮化塔中途的其他流程通过节气门 1-330kPa 进入脱氮化塔的下部。在脱氮化塔底部的 LNG 进入到 -162 的亚冷箱, 然后通过 3-120kPa 的光圈进入 LNG 储罐, 以便记忆。存进入经由热交换器与供给气体进行热交换的 30°C 以及氮气循环压缩机。在脱氮化塔顶部的气相将分为两个流, 分别进入冷箱加热至 30°C 。在火炬系统中有 33% 的流动, 另一个流动与来自 LNG 储罐的闪存蒸汽一起收缩, 进入氮气循环压缩机, 加压冷却到 100kPa 和 40°C , 为了向预冷进入冷箱, 然后通过节气门阀后为了分离气液而进入脱氮塔回流罐。脱氮塔的气相和最上部的气相进入冷箱, 进行再加热的液相作为回流进入脱氮塔的顶部。

3 不同操作压力对脱烃工艺的影响

3.1 脱氮塔下部进料量对氮气脱除的影响

根据反馈气体预冷温度在 -30°C 条件下研究的 $^{\circ}\text{C}$ 脱氮器的回流温度为 -66°C , 随着脱氮器下部饲料量的增加, LNG 产品中 N 的摩尔分数从 1.61% 减少到 1.44% 脱硝菌中碳氢化合物的摩尔分数从 3.85% 增加到 5.60%,

LNG 产物量从 876.4kmol/h 减少到 874.1kmol/h。随着脱氮菌下部饲料量的增加,通过提取和分离更多的氮,LNG 生成物中的氮含量明显减少,脱氮器上部出口处气相中的碳氢化合物含量显著增加。另外,LNG 产品的量逐渐减少。在这项研究中,反氮化塔下部的饲料率为所有饲料的 7.8%。

3.2 脱氮塔操作压力对氮气脱除的影响

本工艺中:脱氮塔操作压力:

- ①氮气回流罐节流后压力 -210kPa;
- ②氮气回流罐液相出口节流后压力 -30kPa;
- ③氮气回流罐气相出口节流后压力 -30kPa;
- ④脱氮塔中部进料出口节流后压力 -30kPa;
- ⑤脱氮塔下部进料出口节流后压力 -30kPa。

当供气预冷温度为 -30℃ 时,回流温度为 -66℃,从脱氧菌的下部到脱氧菌的全部饲料的饲料摩尔比为 7.8%,研究了脱氧剂操作压力对氮去除的影响。为了确保过程的可行性,当反氮化塔的压力发生变化时,反氮化塔的原料的压力根据其关系进行调整。

显示了由于 LNG 中 N_2 含量的变化曲线,氮中的碳氢化合物含量和脱氮器的工作压力引起的 LNG 输出。当脱氮器的工作压力从 260kPa 增加到 320kPa 时,LNG 中的 N_2 的摩尔分数从 1.29% 增加到 1.90%,脱氮器中的碳氢化合物的摩尔分数从 10.53% 减少到 3.76%,LNG 生产从 872.5kmol/h 增加到 879.2kmol/h。这是因为氮气的分离伴随着工作压力的上升,氮含量和 LNG 生产量增加。随着 LNG 生产的增加,LG 产物的 BOG 量增加,适当的脱氮塔逆流增加,氮中的碳氢化合物含量有效降低。当脱氮器的工作压力从 320kPa 增加到 340kPa 时,LNG 中的 N_2 的摩尔分数从 1.90% 增加到 2.09%,LNG 生产从 879.2kmol/h 增加到 88.9kmol/h,氮中的碳氢化合物的摩尔分数从 3.76% 增加到 4.08%。虽然脱氮器的逆流增加,但由于脱氮器的运行压力增加使氮甲烷系统难以分离,因此氮中的碳氢化合物含量减少。因此,在本研究中,脱氮化塔的工作压力为。

3.3 脱氮塔中部进料位置对氮气脱除的影响

在脱氮塔中,示出了由于氮中的碳氢化合物含量,LNG 中的氮含量,以及在脱氮塔的中间部分的供给位置引起的 LNG 生产的变化曲线。将脱氮器的供应位置从第二托盘还原到第六托盘,LNG 中 N 的摩尔分数从 1.67% 下降到 1.48%,氮中的碳氢化合物的摩尔分数从 8.89% 减少到 4.37%,LNG 生产从 876.1kmol/h 减少到 875.2kmol/h。这是因为在脱氮器的中间部分的供给量大,氮的摩尔分数达到 821kmol/h 3.12%,所以对于氮和甲烷的传质和分离,回流和脱氮器顶部的板数的增加是有用的。减少脱氧菌中的碳氢化合物含量。当脱氮器的供应位置从第六托盘减少到第九托盘时,LNG 和 LNG 的生

产持续减少,但脱氮器中的 LN 和碳氢化合物的 N_2 的摩尔分数分别从 4.48% 和 4.37% 增加到 15.54% 和 5.58%。这是因为随着饲料托盘进一步减少,脱氮器下部的板数减少,脱氮剂中间部分的氮不能有效分离,从脱氮剂上部除去的氮中的碳氢化合物含量增加,lg 中的氮含量增加。因此,在这项研究中,选择了脱氮化塔的中心饲料位置作为第六理论板。

3.4 天然气操作压力对重烃和氮气脱除效果的影响

传统方法是将天然气压缩到 5.5MPaG 或更大的压力以直接预冷却和去烷基化。在本文中,使用天然气工作压力 3.5 MPaG 和预冷温度 70℃ 的过程与常规过程进行了模拟和比较。通过表 1 的数据比较,可以看出 3.5MPaG 天然气去除 C_5 以上重碳氢成分的效果比 5.5MPaG 天然气更好。天然气压力为高压时,不能除去天然气中的重碳氢化合物。

脱氮塔的处理条件:①塔顶部丰富氮中甲烷的摩尔含量小于 1%;②塔底液体中氮成分的摩尔含量小于 1%。为了进行蒸馏操作,低压有助于去除氮。而且,那个可以减少系统的能量消耗。但是塔顶用液氮冷却,液氮蒸发温度为 -182℃。为了证明塔顶气体和液氮之间存在合理的传热温度差,塔顶气体的冷却温度在 -179.5 以下,是投资等问题。因此,我们必须在建设前做好测量 overbreak 和 underbreak 的工作,以确保没有危险。

4 结论

设计并优化了管道天然气液化过程中的除氮过程。结果,重碳氢去除塔的种子气体预冷温度和回流温度的降低表明有助于在供气中去除重碳氢化合物,增加了脱氮器底部的饲料量和减少了脱氮器的运行压力对于从 lg 产品中去除氮是有用的。优化后,种子气预冷温度为 -30℃,重质碳氢去除塔的回流温度为 -66℃,脱氮塔下部饲料比例为 0.078,脱氮化塔的工作压力为 290kPa,脱氮化塔中央供应位置为第六理论板,所得 LNG 产品 N_2 的摩尔分数为 1.48%。除去氮中碳氢化合物的摩尔分数为 4.37%,LNG 产量达到 98.22%。

参考文献:

- [1] 周亚龙,杨志斌,张富贵,张舜尧,孙忠军,王惠艳,祁连山.天然气水合物地球化学勘查方法稳定性和异常重现性分析[J].现代地质,2019(06):1314-1324.
- [2] 郭建,王刚,郑春来,黄勇,王科.天然气液化中重烃和氮气脱除工艺优化研究[J].天然气化工(C1 化学与化工),2019(05):76-81.
- [3] 龚德瑜,张越迁,郭文建,宋志华,卢山,吴卫安.次生生物甲烷与生物降解作用的判以准噶尔盆地腹部陆梁油气田为例[J].天然气地球科学,2019(07):1006-1017+1062.