

LNG 工厂天然气管道预处理

过程中脱重烃和 LPG 回收工艺方案分析

王美豪 (新疆博瑞能源有限公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 为探讨 LNG 工厂天然气管道预处理过程中脱重烃和 LPG 回收工艺方案, 采用理论结合实践的方法, 立足脱重烃和 LPG 回收的目的, 分析了常用的脱重烃和 LPG 回收常用的工艺以及优缺点, 并结合实践案例, 分析了脱重烃和 LPG 回收工艺方案的应用要点。分析结果表明, LNG 工厂天然气管道预处理具有很强的复杂性, 且影响因素比较多, 任何一个细节把控不当, 都会影响到最终脱重烃和 LPG 回收效果, 需要充分结合现存的问题, 选择科学有效的工艺和改进方法, 才能获得脱重烃和 LPG 回收效果。

关键词: LNG; 天然气管道; 预处理; 脱重烃; LPG

0 引言

脱重烃和 LPG 回收是 LNG 工厂天然气管道预处理的核心内容, 主要作用是去除天然气中 C6 以上比较重的组分, 以免在低温下, 因为结晶发生管道堵塞问题。LPG 回收可将天然气中丙烷以上的组分和甲烷以及乙烷进行分离, 从而得到更高品质的 PLG 产品。虽然脱重烃和 LPG 回收的作用和目的存在一定的差距, 但都是在一个工艺中完成的。为提升 LNG 工厂天然气管道预处理是中脱重烃和 LPG 回收的效率, 需要结合 LNG 工厂天然气管道预处理的特点以及现有的设备, 选择有效、有针对性的工艺方案。

1 脱重烃和 LPG 回收的目的

天然气是一种由烃类和非烃类共同组成的混合物, 天然气的形成原因比较复杂, 经常会和原油混合到一起, 从组成成分和成因的角度来看, 天然气属于是石油的一种, 可看作是石油的气态形式, 以甲烷为主, 同时混有乙烷、丙烷、丁烷等, 以及一些少量的氮气、二氧化碳、硫化氢等。和其他燃料相比, 天然气具有明显的优点, 如易燃烧、发热量大、清洁、无灰渣、方便使用等。此外, 天然气也可以作为化工原料使用。从天然气中分离出来的乙烷, 甚至可以代替石油作为乙烯生产的原材料。很多发达国家甚至通过天然气分离得到丙烷、丁烷等, 进一步加工后能很好地应用在有机化工产品生产中。这是国际权威人士, 将本世纪称为天然气世纪的主要原因。虽然天然气拥有很多优点, 但是天然气的液烃无论是市场价格, 还是以发热值为基准, 都远远高于天然气的价值。切实做好脱重烃和 LPG 回收工作, 可有效降低油气损耗,

提升资源的综合利用率, 同时减少大气污染, 在提升天然气整体经济效益方面具有非常重要的意义。

2 脱重烃和 LPG 回收常用的工艺以及优缺点

虽然脱重烃和 LPG 回收的目的不同, 但采用的工艺却是同一个工艺, 常用的工艺包括: 冷却法、膨胀制冷法、丙烷辅冷的膨胀制冷法、冷油吸收法。

2.1 冷却法

LNG 工厂天然气管道预处理中天然气通过制冷剂进行冷却处理, 实现气液分离, 液体天然气通过脱乙烷塔分离轻组分后, 在塔底就能得到液态天然气。此种脱重烃和 LPG 回收工艺, 最大的优势是工艺简单, 设备结构简单, 成本低, 但丙烷的回收率比较低。使用高压天然气组分时, 脱乙烷塔需要在较低的压力操作, 因此, 脱乙烷塔形成的不凝气体难以重新返回到高压天然气组分, 需要进行压缩后才能循环使用, 或者直接作为燃料气进行使用。

2.2 膨胀制冷法

膨胀制冷法的机理是天然气通过冷箱冷却之后会实现气液分离, 其中气体会进入到膨胀机中完成膨胀制冷。液体则在冷箱中回收冷量后进入到脱乙烷塔, 膨胀机出口位置的气液两相会重新进入到重接触塔中, 并和来自塔顶的低温凝液接触, 经过气液平衡之后的塔顶气就是回收轻烃的干气组分, 回收冷量后出装置, 重接触塔底的液体会进入到脱乙烷塔中, 在脱乙烷塔底就能得到天然气凝液, 而脱乙烷塔顶的气体, 经过冷却箱中, 被冷却后, 液体天然气会通过泵升压打回到重接触塔中, 气体回收冷量后出装置^[1]。此种脱重烃和 LPG 回收工艺比较适用于较贫天然气组分脱重

烃和 LPG 回收处理中, 由于天然气需要通过膨胀和降压方法进行制冷, 因此, 原料气必须有较高的压力, 并且此工艺具有很高的丙烷回收率, 应用得当丙烷的回收率能够达到 90% 以上, 具有良好的经济性。

2.3 丙烷辅冷的膨胀制冷法

此种脱重烃和 LPG 回收工艺和原理和膨胀制冷法基本相同, 不同之处在于冷箱中会有一股丙烷液体, 在冷箱中蒸发制冷。

2.4 冷油吸收法

天然气经过冷箱冷却处理后就能实现气液分离, 分离后的气体在进入脱乙烷塔中部, 液体回收冷量之后, 会进入到脱乙烷塔的下部。在脱乙烷塔的顶部, 设有经丙烷冷却后的循环吸收剂, 脱乙烷塔顶得到的气体主要来自脱丁烷塔底冷却后的循环吸收剂。在脱乙烷塔底的凝液去脱丁烷塔, 在脱丁烷塔塔顶就能得到了 LPG 产品, 塔底就能得到 C_5 以上凝液一部分作为产品外输。大部分经过水冷后就会和脱乙烷塔顶的气体混合, 再通过丙烷冷却器冷却后, 进行气液分离, 气体经回收冷量后出装置, 液体则去脱乙烷塔顶作为吸收剂。此种脱重烃和 LPG 回收工艺可有效适用于各种组分的天然气, 并且 LPG 的回收率非常高, 但并不适用于高压天然组分脱重烃和 LPG 回收中^[2]。主要原因是脱乙烷塔系统需要在较低的压力操作, 并且由于凝液吸收剂的循环量比较大, 脱乙烷塔和脱丁烷塔系统热负荷非常大, 冷油吸收法通常应用在天然气处理后外输的工艺, 不适用于 LPG 回收后天然气需要液化的工艺。

3 脱重烃和 LPG 回收工艺方案的应用要点

3.1 案例分析

某天然气股份有限公司现有 LNG 工厂 7 座, 产能为 5000t/d, 就目前生产运行现状而言, 输气组分不够稳定, 尤其苯、环乙烷的含量比较高, 对 LNG 工厂的稳定运行造成了严重影响。在设计阶段并未充分考虑气源变化的弹性范围, 自投产以来, 都出现了不同程度后的同一问题(脱重烃不彻底和 LPG 回收率不高), 生产装置只能维持较低负荷生产甚至的停车, 严重影响了生产的安全性和稳定性, 针对这些问题的存在, 需要对脱重烃和 LPG 回收工艺进行优化处理和升级改造。

3.2 现存问题和原因

目前我国 LNG 管输气重烃的体积分数通常则在 800×10^{-6} 以内, 但波动范围比较大, 其主要原因是部

分井口气中 LPG 的总含量比较低, 远远达不到投资净收益的要求, 尤其是在冬季缺气时, 经常出现大量未处理的井口气直接进入到管网中, 使得气源中重烃的含量波动范围比较大。就案例天然气工程而言, 脱重烃和 LPG 回收中采用的是单循环混合冷剂制冷循环技术, 原材料天然气通过脱碳、脱硫、干燥等净化处理后, 再进行液化、脱重烃处理。从主换热器中间引出低温气液混合物, 在中重烃分离器中脱除液态重烃。若重烃的脱离不够彻底, 就会被带入到冷箱的深冷, 从而增大发生重烃冻结的概率, 引起设备堵塞^[3]。

当冷箱中部重烃分离罐顶部的气相苯体积分数低于 10×10^{-6} 时, 冷箱深冷通道中气压低于 10kPa 时, 并不会影响到 LNG 生产装置稳定运行。若使用分子筛或者是或者是活性氧化物进行脱水时, 重烃只能完成部分脱除。天然气在气化过程中, 经常将天然气预冷达到重烃组分冷凝点, 再通过气液分离器来回收液相中的重烃。若原料气中重烃的含量比较高, 在实际处理中主要是通过降低中间引出点的压力和调节温度的方法来控制脱除重烃的精度。此种方法, 会增加冷剂压缩机的能耗, 增加闪蒸气流量, 降低生产装置的液化效率。若天然气中丙烷和乙烷的含量比较高, 采用此种方法将会产生大量的闪蒸气, 部分闪蒸气别增压后, 循环回到生产装置前端, 从而增大能耗, 而且容易发生冷冻组分子系统中不断累积的问题, 从而引起冷箱堵塞。为有效解决这一问题, 需采用增压后再外输的方法。但由于下游用气单位对气源组分的要求比较严格, 提升了处理的难度。

3.3 脱重烃和 LPG 回收工艺方案比选

我国天然气净化预处理具有成熟的技术体系, 常用的脱重烃和 LPG 回收工艺可概况为低温分离、固体吸附、溶剂吸收。就案例 LNG 生产企业而言采用的脱重烃和 LPG 回收工艺为低温气液分离法, 液相分离出的重烃会进入到重烃储存罐中, 气相则进入到冷箱中继续深冷分离出 LNG 产品^[4]。溶剂吸收的主要原理是“相似相溶”。因此, 在脱重烃和 LPG 回收中可选择产品 LNG 或者产生的重烃作为吸收剂, 而固体吸附法则主要是利用是分子筛、活性炭等微孔材料作为吸附剂, 来吸附原料气中的重烃。

针对目前案例 LNG 生产厂采用的脱重烃和 LPG 回收工艺存在能耗大、液化率低、闪蒸气量大等一系列问题, 适用的解决方案有两种, 方案一为低温分离 + 固定吸附法, 在脱水装置后新增一个变温吸附单元;

方案二为低温分离+溶剂吸收法,在原重烃分离器的后方增加一个洗涤塔装置。

方案一:采用了双塔脱重烃和 LPG 回收流程,一塔负责,另一塔负责再生,天然气经过脱碳、干燥、脱汞等处理后,进入到吸附床上,将天然气中重烃的体积分数吸收到 50×10^{-6} 以内,吸附再生后的再生器被冷凝,液相送到重烃储存罐中,气相作为前端分子筛再生气。此种脱重烃和 LPG 回收工艺的主要优点是固体吸附剂技术比较成熟,吸附弹性比较大,再生气冷却重组分回收作为重烃产品,无需外排。

方案二:通过增加重烃洗涤塔,再结合原有的重烃分离罐,天然气可从吸收洗涤塔底部进入,并在塔内按照从下到上的方向流动,并和从塔顶部进入的吸收剂逆流接触,对天然气进行洗涤,经洗涤后的天然气再进入到冷箱中,去除天然气中的重烃,再进入到重烃储存罐中。此种脱重烃和 LPG 回收工艺最大的优势是具有很强的适应性,对天然气中的重烃含量没有限制,若原料气中重烃含量变化不小,液体吸收剂和处理气流量比较稳定,操作过程也比较简单。

综合对比两种方案,方案一改造程度小,设备投资小,而且运行稳定性比较高。结合目前管道输气中乙烷摩尔分数大约为 2%, C_6 重烃体积分数为 800×10^{-6} 以下,变化的频率比较快^[5]。而方案二,增加了一个洗涤塔,需要不停地变化调节吸收剂循环量,以适应原材料气中重烃含量的变化,增加了操作运行的不稳定性和难度,需要选用高效吸附剂。综合对比,综合对比运行情况和成本,方案一更加契合案例 LNG 生产要求。

3.4 关键技术指标的选择

案例 LNG 工厂液化装置规模以及技术指标为液化规模和关键技术指标如表 1 是所示:

表 1 LNG 工厂液化装置规模以及技术指标

关键技术指标	主要参数
液化规模 / (万 $t \cdot a^{-1}$)	300t/a
年运行时间 / d	330
液化单元液化率 / %	≥ 95
工艺装置设计寿命 / a	≥ 20
工艺装置操作弹性范围 / %	50~100

3.5 入口原料气条件及组分

在正常操作条件下,气源温度为 50%,气源压力为 7.5MPa,案例库 LNG 的天然气组分和 7.5MPa 进装置压力下,进料压力的升高,仅凭冷却法来脱重烃具有很大的局限性。主要原因是冷却法脱烃工艺在高压状态

下操作时,当天然气的压力超过天然气的临界压力(临界压力大约为 6.2MPa,临界温度大约为 $-65^{\circ}C$)。在 LNG 工厂天然气管道预处理过程中,若在低温状态下进行气液分离,难以准确计算出相态和气液分离情况,若进行减压操作,则会增大处理成本^[6]。低温分离+固定吸附法比较适用于高压的天然气组分,而且此种工艺能够达到很高的 LPG 回收率,可有效提升经济效益。在相同的入口条件下,也就是在 $45^{\circ}C$, 7.2MPa 的生产运行条件下和天然气出口压力 4.5MPa 的条件下,加入适量的丙烷作为辅助冷却剂,整个系统在运行中压缩功耗会增加 1174kW,但与此同时 LPG 的产量增加了 2088kg/h,从经济的角度来看,能够有效提升经济效益。但由于系统内本身就含有丙烷制冷系统,这就使得在 LPG 回收部分增加丙烷辅助冷并不会导致整个系统复杂性增加,效果显著,值得推广。

4 结束语

综上所述,结合理论和实践,分析了 LNG 工厂天然气管道预处理过程中脱重烃和 LPG 回收工艺方案,分析结果表明, LNG 工厂天然气管道预处理具有很强的复杂性,且影响处理效果的因素比较多,在实际生产中需要充分结合现有的工艺设备和装置,进行有针对性的优化升级,才能提升脱重烃和 LPG 回收效率,进而获得更大的经济效益。采用低温分离+固定吸附法脱重烃和 LPG 回收工艺,具有良好的应用效果,值得大范围推广。

参考文献:

- [1] 王玮健,王涛,王君如,刘博.海上油田伴生气凝液回收工艺方案分析与优化[J].石油和化工设备,2022,25(05):5-8.
- [2] 孙金丽,郭志芳,吴志星,赵山泉,吴松平.LPG 回收系统工艺模块的一体化建造[J].中国海洋平台,2021,36(04):82-84+88.
- [3] 行洁.LNG 脱重烃工艺技术研究[J].化工管理,2021(22):158-159.
- [4] 王立陈,王国富,杜国强,张紫臻,邵艳红.基于船型 FPSO 小型 LPG 回收外输装置布置设计[J].石油工程建设,2021,47(03):42-45.
- [5] 刘培林,孙伯娜,陈文峰,于成龙,潘大新.简易轻烃回收工艺在浮式装置上的应用[J].盐科学与化工,2021,50(04):29-31.
- [6] 张林,付晗阳.节流脱重烃工艺在膜脱碳系统中的应用[J].化工管理,2021(10):166-167.