

低外输量工况下 LNG 接收站 BOG 再冷凝工艺的探讨

李长友

海南泓信源项目管理有限公司 海南海口 570100

摘要: BOG 再冷凝技术是 LNG 接收站生产过程中的一个重要环节。目前 BOG 再冷凝工艺的能源消耗比较大, 采用预冷却方法对原有的工艺进行了优化。通过一个 LNG 接收站的实例, 对 BOG 在低外输条件下的控制要点进行了分析, 并对其进行了改进。

关键词: LNG 接收站; 低外输工况; 再冷凝器

Discussion on BOG recondensing process of LNG receiving station under low export volume

Changyou Li

Hainan Hongxingyuan Project Management Co. Ltd. Haikou, Hainan 570100

Abstract: BOG (Boil-off gas) recondensation technology is an important process in LNG (Liquefied Natural Gas) receiving terminals. Currently, the energy consumption of BOG recondensation process is relatively high. To optimize the existing process, a pre-cooling method has been adopted. Through a case study of an LNG receiving terminal, the control points of BOG under low external conditions were analyzed, and improvements were made to the process.

Keywords: LNG receiving station; Low external transport condition; recondenser

一、BOG 的产生及处理工艺

LNG 作为一种在常压、低温条件下贮存、输送的液化产品, 其与周围环境温度存在很大的差异。所以, 由于储罐的漏热、外界温度和系统工作过程中的热量都会被低温介质所吸收, 从而使 LNG 罐中 BOG 含量高。图 1 中的直接压缩过程和图 2 中的再冷凝过程是两个 BOG 在 LNG 储罐中的处理方法。

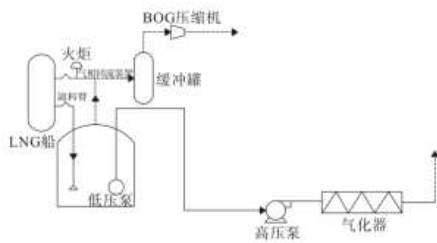


图 1 直接压缩工艺流程
Fig.1 Direct compression process

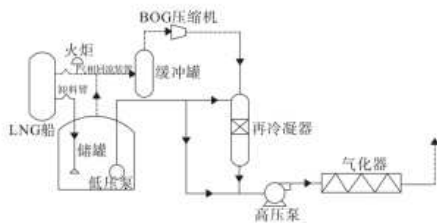


图 2 现有再冷凝工艺流程
Fig.2 Existing recondensation process

直接压缩技术是将 BOG 压缩到外部输送压力, 然后输送到天然气管道; 而再冷凝处理是将低压汽化气体(典型地为 0.7 MPa)与由低压泵送的液化天然气进行混合的过程。LNG 在经过低压泵的增压后进入过冷状态, 能够将 BOG 凝结成 LNG。两种气体经过混合后送入 LNG 的高压泵进行增压, 然后进行汽化和外输。在降低 BOG 压缩机能耗的前提下, 采用再冷凝技术可以提高 LNG 的冷能。当 BOG 没有完全凝结时, 剩下的 BOG 会被火炬燃烧和安全阀排放到空气中。LNG 接收站通常根据现场实际, 采用直接压缩工艺作为主要流程, 采用直接压缩工艺作为辅助流程。但是, 再冷凝技术仍存在着能源消耗高、需要进一步优化的问题。

二、BOG 再冷凝工艺的控制关键

再冷凝技术的核心设备是再冷凝器, 它的上半部分起到 BOG 凝结作用, 而在下半部分起到了一个缓冲作用。在再冷凝过程中, 要使其运行平稳, 必须保证其液面和压力的稳定, 并能使其达到高压泵的进口温度, 从而防止其产生空化。在此基础上, 对再冷凝过程的控制主要是: 再冷凝器液位、高压泵吸入口的饱和蒸汽压力差、凝结 BOG 所需要的 LNG-BOG 的质量比例等。

$$L = \frac{(P_2 - P_1) \times 10^6}{\rho g}$$

2.1 再冷凝器的液位

再冷凝器液位主要由其顶部压力、底部压力及 LNG 的密度决定。当顶部与底部的压力差增大, 进入再冷凝器的 LNG 密度减小时, 液位升高, 反之则降低, 计算公式如下^[2]:

在方程式中, L 是再冷凝器的液面, m; P₂ 是再冷凝器底压, MPa; P₁ 是再冷凝器顶压, MPa; ρ 是液化天然气 (kg·m⁻³) 的密度; g 是 N·kg⁻¹ 的重力常量。从上述公式可知, 如果 (P₂-P₁) 增加, 则再冷凝器的液面 L 会升高, 反之, 则会降低; 随着液化天然气浓度的增加, 凝汽机的液面降低, 而液化气罐的液面升高。

2.2 再冷凝器的压力

在此基础上, 再冷凝器的底部压力, 与其顶部的气相空间压力相加, 其底部的压力即为高压泵的进口压力, 因此, 要防止高压泵的汽蚀, 就需要确保其底部的压力与流入该高压泵的饱和蒸汽之间的压差, 达到最小的要求。由于饱和水压差过小, 导致高压泵产生振动、汽蚀等问题, 从而影响到外输的正常工作。主要是通过上层凝结的 LNG 的控制来达到再冷凝器的顶压 P₁。当进入再冷凝器的 BOG 量发生变化时, 可适当调节上部 FV 阀的开度, 控制再冷凝器的压力维持在 0.68~0.72MPa 之间。控制再冷凝器的出口压力 P₂, 就是调节高压泵吸入口的饱和蒸汽压差, 目的是防止高压泵出现汽蚀而导致损伤。饱和蒸汽压差的计算公式如下:

$$PT = \frac{0.003673 \times T^3 + 2.0259 \times T^2 + 375.38 \times T + 23369}{1000} - 0.101325$$

$$PDI = P_2 - PT$$

式中, T 是 LNG 在高压泵进口时的温度, °C; PT 是在 T 温度下的饱和蒸汽压力, MPa; P₂ 是再冷凝器底压, MPa; PDI 为压力泵进口饱和水汽压力, MPa。从上面的计算公式可知, 高压泵进口 LNG 的温度及凝汽器的底部压力对 PDI 的影响较大。由于再冷凝器出口 LNG 的温度、流量、冷凝器底部的液面压力、液面压力和液面压力等因素决定了压力的大小。

2.3 冷凝 BOG 所需的 LNG 与 BOG 的质量比

BOG 再冷凝过程中, 对 LNG 和 BOG 的质量比例的控制是保证其稳定运行的先决条件, 而 BOG 流量、压力、温度等工艺参数是影响其稳定运行的重要因素。BOG 的流量是通过 BOG 的负载来确定的。当 BOG 压缩机负载增加时, BOG 进入再冷凝器的流量增加, 而过冷 LNG 进入再冷凝器时, 其流量会增加, 反之会降低。BOG 压强是 BOG 压气机的入口压力。当压气机出口压力增加时, BOG 凝结温度增加, 再冷凝需要的供冷量增加, 凝结后的 LNG 原料比例也随之增加。

三、外输量较小时再冷凝工艺的控制难点

3.1 高压泵入口温度的控制

以某 LNG 接收站为例, 其高压泵进口压力通常为 0.73 MPa。由不同组份 LNG 的 P-T 曲线可以看出, 在 0.73 MPa 的压力下, 贫液 LNG 的临界温度是 -131°C, 为确

保安全起见, 应保留 5°C 左右的工作裕度, 也就是在高压泵进口压力 0.73 MPa 时, 应保持在 -136°C 以内, 以确保高压泵不会出现气蚀。LNG 从低压泵中流出, 通常在 -158°C 左右, 然后进入再冷凝器, 经过 BOG 的传热, 通常是 -130°C。在实际应用中, 在外输量不大的情况下, BOG 压缩机为保证油罐的压力, 基本上是 100% 的满载状态, 这时需要外输的 LNG 主要来自于凝汽器的上层, 而 LNG 流经再凝器的底部只有少量的 LNG, 因此, 高压泵进口的温度通常都在 -136 摄氏度以上, 容易引起高压泵的汽蚀。

3.2 影响 BOG 再冷凝的 LNG 量

以某 LNG 接收站为例, 非卸船期间, 为维持储罐压力稳定, BOG 压缩机一般以 100% 的负荷运行, 此时 -140°C 左右的 BOG 进入压缩机增压后, 温度升至 10°C 左右, 经再冷凝后温度降至 -130°C 左右。BOG 再冷凝时, LNG 不仅要为 BOG 从气态到液态的相变提供冷量, 还要为其降温过程提供冷量。

表 1 为实际运行时 BOG 再冷凝工艺的数据, 此时 BOG 量为 9t·h⁻¹。

从表 1 可以看出, 当 BOG 压力一定时, 进入再冷凝器的 BOG 温度越低, 冷凝所需的 BOG 量越少; 当 BOG 温度一定时, BOG 的压力越高, 其临界温度越高, 越易液化, 将 BOG 再冷凝所需的冷量就越少。当 BOG 的压力和温度都不变时, 接收站产生的 BOG 量越少, 冷凝 BOG 所需的 LNG 量就越少, 因此影响 BOG 再冷凝用 LNG 量的主要因素, 是需要处理的 BOG 量和温度。

压力 /MPa	温度 /°C	LNG 与 BOG 的质量比	LNG 量 t·h ⁻¹
0.72	15	8.31	75.04
	20	9.95	80.45
0.67	15	8.13	72.97
	20	9.52	86.23

表 1 BOG 的压力、温度对冷凝所需 LNG 量的影响

3.3 工况的调整

BOG 压缩机的负荷不同, 其处理能力也有很大差异, 调整后的 BOG 流量将会有很大的改变, 从而对凝汽器的压力有很大的影响。此外, 再冷凝器上的进液控制阀 FV 阀存在一定的延迟, 如果调节了压缩机的负载, 就会造成过剩的 BOG 不能被及时冷却, 从而造成压力过大, 如果不加以控制, 则会造成压缩机的出口压力过大, 造成连锁跳车, 或者由于 BOG 的过量凝结, 造成再冷凝器的压力下降, 从而造成高压泵的进口压力下降。多台车辆在同一时间进行装载, 交叉加速、减速都会使低压输出管内的压力出现较大的波动, 从而对凝汽器底部的压力和 LNG 的流量产生一定的影响, 从而使凝汽器的液面和压力发生变化。

四、改进措施

4.1 提高再冷凝器的操作压力

在 LNG 接收站, 其工作压力在 0.68~0.72 MPa 之间。

在最小外输状态下,在保证压缩机正常工作的情况下,将再冷凝器的压力控制在 0.7 MPa 左右,这时可以通过对再冷凝器调节阀 FV03001 进行控制,从而调整凝汽器的压力。

4.2 调整再冷凝器的气液比

液化天然气接收站的气液比例一般为 8-10。在最小外输状态下,可按 BOG 值调节相应的 LNG 用量。若压缩机在运转过程中负载改变,则要对 LNG 冷凝液位 FV-03001 进行人工调整,使其滞后效应最小化,保证压力和液面的稳定。

4.3 合理调节装车量

当槽车在加速度或减速时,会引起低压输出总管的波动,从而对再冷凝器的底部压力和 LNG 的流量产生一定的影响,特别是在最小外输状态下,如果出现加速或减速,则会造成液位和压力的波动。故在装车时,应尽量避免所有车辆在同一时间提速或减速,可视装车撬

数量而定,减慢速度减半,也就是在装车速度减半时,另一车减慢速度。

五、结论

在低压输油条件下,对再冷凝器的稳定控制是保证 LNG 接收站安全、稳定的重要因素。针对 LNG 接收站在低外输条件下的 BOG 再冷凝技术的控制难题,提出了在不改变原有工艺和设备的情况下,采取的一些措施,既能保证液位和压力的稳定,又能有效地控制凝汽器的出口温度,防止高压泵的空化。

参考文献:

- [1] 刘浩,金国强.LNG接收站BOG气体处理工艺[J].化工设计,2006,16(1):13-16.
- [2] 杨志国,李亚军.液化天然气接收站蒸发气体再冷凝工艺的优化[J].化工学报,2009(11):2876-2881.