

浅析 LNG 接收站 BOG 处理技术优化

张 超 (江西省鄱阳湖液化天然气有限公司, 江西 九江 332500)

摘 要: LNG 接收站 BOG 处理工艺分再冷凝和高压压缩两种, 均有其不足。就再冷凝工艺而言, 接收站无外输时 BOG 只能采取放空或火炬燃烧等措施进行处理; 就高压压缩工艺而言, 接收站外输期时无法回收 LNG 的冷能。为此, 分别采用静态模型、动态模型等计算方法分别计算无外输期和有外输期间最大 BOG 产生量, 弄清各种工况下 BOG 的产生量。在此基础上, 从 BOG 产生的机理出发, 分析降低接收站产生 BOG 的措施。结果表明, 优化 BOG 压缩机组合可有效回收产生的 BOG。建议在接收站设计、建设过程中, 应综合考虑再冷凝工艺和直接压缩机工艺, 采取措施降低 BOG 的产生, 实现 BOG 的有效回收利用。

关键词: 再冷凝; BOG 处理; LNG 接收站; 安全管理; 压缩机

0 前言

LNG 接收站的功能是用于对 LNG 的接收、存储, 并且利用天然气管道来为城市用户与燃气电厂供应气化的 LNG, 并且可以利用 LNG 来完成槽车得到安装, 并且为客户提供直接的 LNG。当前的 LNG 工艺所带有的问题主要是表现在对 LNG 进行存储、运输的过程中会产生大量的 BOG。这是因为机泵运转带来的热量与装载气体运输时所产生的压力差而导致的。会造成 LNG 接收站的接受罐和线路管道中所带有的 BOG, 即气化液体。如果不能对 BOG 进行回收与利用, 将会导致 LNG 接收站的工作负荷增加, 让现有的管理、运输成本被增加。同时, 这样的因素存在, 也会对环境造成不良影响, 为此在对 BOG 进行处理的时候, 所能选择的接收站工艺需要科学对待与选择。

1 BOG 处理系统工况分析

1.1 BOG 的产生

为便于计算 BOG 的产生量, 可将 BOG 产生的原因分

为: 由于储罐及管路系统吸收外部热量产生的 BOG, 体积置换产生的 BOG (如卸料期间), 卸船时 LNG 注入储罐产生的 BOG 及泵循环时产生的 BOG。

1.2 BOG 工况分析

根据 LNG 储罐液位将 BOG 产生的情况分为有外输和无外输两种。有外输情况下常采用再冷凝工艺回收 BOG, 再冷凝工艺能有效回收 BOG; 无外输情况下, 再冷凝工艺无法回收产生的 BOG, BOG 的处理采用直接放空、火炬燃烧, 或采用高压压缩机进行压缩后直接输送到高压管网进行回收。结合 LNG 接收站卸料和非卸料情况, 将接收站 BOG 分为 8 种工况, 具体见表 1。

表 1 未考虑储罐液位高报警情况, 只考虑储罐正常和紧急低液位的情况。液位紧急低的情况是指储罐液位低于 2100mm 高于 793mm, 该工况可根据全厂及 LNG 船的情况, 综合考虑是否外输。从表 1 中可看到, 接收站 BOG 工况可细分为 8 种, 在储罐正常液位条件下,

表 1 接收站 BOG 工况

储罐液位正常				储罐液位紧急低			
卸料期间		非卸料期间		卸料期间		非卸料期间	
正常外输	无外输	正常外输	无外输	无外输 (站内保冷)	无外输 (站内无保冷)	无外输 (站内保冷)	无外输 (站内无保冷)
1	2	3	4	5	6	7	8

表 2 某接收站 BOG 产生量的计算结果

项目	BOG 产生量 / (t · h ⁻¹)	
	卸船工况	非卸船工况
外界热量输入	6.180	6.630
流体置换	9.600	0.732
泵循环热量输入	0.076	0.076
大气压力变化	1.570	1.680
卸船工况下的回气	1.700	0
卸船闪蒸	1.380	0
外输气体的负置换	—	—
总计	20.506	9.118

有2种工况无法外输；在储罐液位紧急低时，也有2种工况无法外输。无法外输的工况有4种，此时，再冷凝工艺无法回收储罐及接收站管线中产生的BOG。

1.3 BOG产生量计算

BOG产生量还没通用的计算方法，目前主要有静态模型、LNG储罐内BOG动态模拟、LNG接收站蒸发气系统动态设计模型和工程设计估算等计算方法。

1.3.1 无外输工况下BOG产生量

采用工程设计估算法计算接收站无外输工况下BOG的产生量。LNG接收站无外输工况下，BOG主要来自储罐的自然蒸发、启动罐内泵和循环保冷管线漏热产生的BOG。

1.3.1.1 LNG储罐蒸发的BOG产生量

LNG静态蒸发率一般为0.05%。以LNG组分密度 456kg/m^3 为例，在储罐液位紧急低（该液位下启罐内泵将发生气蚀）和储罐满液2种工况下计算储罐在静态条件下的BOG产生量。在液位紧急低时，根据国外总承包商CB&I提供的罐容计算表，储罐内的液相重量为4392.235t。那么，某LNG接收站4台 160000m^3 储罐，BOG产生量为：

储罐液位紧急低情况下： $W_t = \text{储罐罐容} \times \text{蒸发率} / 24 = 366\text{kg/h}$ ；

储罐满液情况下： $W_t = \text{储罐罐容} \times \text{蒸发率} / 24 = 5000\text{kg/h}$ 。

即储罐静态情况下BOG产生量在0.366~5t/h之间，最大的BOG产生量为5t/h。

1.3.1.2 启动罐内泵保冷循环的BOG产生量

在接收站无外输工况下，启动LNG储罐罐内泵对接收站进行全厂保冷，使接收站的管道和设备保持冷态，在下次外输时能快速启动，恢复生产。

LNG储罐启动1台罐内泵即可满足全厂的保冷要求，LNG储罐罐内泵流量为 $370\text{m}^3/\text{h}$ ，罐内泵的效率为73%，扬程为220m，那么转化为热能为145kW。合计产生BOG约999kg/h，即0.999t/h。

1.3.1.3 循环保冷管线漏热的BOG产生量

经过计算，某LNG接收站保冷循环管线面积为 7330m^2 ，管道保冷层采用厚度为150mmPUR，最大的漏热系数约为 25W/m^2 ，那么计算BOG的产生量为：

$W_p = \text{管道面积} \times \text{漏热系数} = 1263\text{kg/h} = 1.263\text{t/h}$

1.3.2 接收站正常外输工况下的BOG产生量

接收站正常外输工况下，BOG产生量计算采用静态模型算法。相关数据如下：LNG常压下沸点温度

-162℃，密度为 456kg/m^3 ，汽化潜热为 514kJ/kg ，蒸发气密度（标况）为 0.6693kg/m^3 ，BOG操作温度为-140℃，LNG船舱操作压力为10kPa，循环管线最大热量输入速率为 25W/m^2 ，环境大气压力变化速率为 5.6Pa/h ，卸船流速度为 $13200\text{m}^3/\text{h}$ ，槽车装车速度为 $600\text{m}^3/\text{h}$ ，槽车操作压力为100kPa。根据这些参数，计算出接收站的BOG产生量。结合表2和上述分析，在卸船期时BOG最大产生量为20.506t/h；在非卸船时BOG最大产生量为9.118t/h，储罐无外输时BOG最大产生量为7.262t/h。

2 工艺的选择

2.1 BOG再冷凝工艺的原理与优劣势分析

LNG接收站针对于BOG再冷凝工艺的选择是一个完整的系统，如：LNG储罐、气体压缩机、再冷凝器、高压泵机、气化机器等等。LNG储罐中的BOG气体温度维持在-140℃，它的压力为110kPa。通过BOG压缩机完成压缩之后，使得气体的气压维持在1.0MPa，之后，LNG气压罐的温度将会达到温度为-162℃，而气体将会在冷凝器中成为混合状态。因为，LNG增压之后，将会处于过冷状态这个时候可以利用LNG的冷功能来让BOG完成再冷凝。再冷凝之后将会让高压泵加压到10MPa，然后将其气体送入气化器。气化器使得LNG气化让天然气成为气态，最后经过输气管网来完成向外运输。BOG再冷凝工艺的优势在于：LNG接收站在正常工作的状态下，能够对BOG气体实现全部回收。同时，选择再冷凝工艺会比选择高压压缩工艺来回收BOG更为经济、节能，所以LNG接收站更加愿意使用BOG再冷凝工艺，正是因为这样的情况存在，在对压缩机的功率进行缩减的时候，会出现的这几种故障导致BOG无法完成再冷凝工艺的状况如下：①LNG接收站在进行预冷的时候，所产生的全部BOG气体都会被接收；②LNG接收站在进行对外运输的时候，所产生的少了BOG气体溢出。

2.2 BOG高压压缩工艺及其优劣势的分析

LNG接收站的BOG高压压缩工艺所需的工艺依靠的是：LNG储罐、BOG压缩机、高压压缩机、气化器等设备。通过LNG储罐将BOG的气体控制在-140℃，压力保持在110kPa，通过BOG压缩机来将气体进行压缩，使其能够维持在1.0MPa，然后借助于高压压缩机将气体压缩到10MPa后，将气体送进输气管网。LNF储罐内的低压泵将会把送出的LNG直接经过气化后送到气化器中进行气化，它会让气体被加压到

10MPa,完成气化之后气体也会进入到输气管网之中进行传输,这个时候所输出的 LNG,其温度为 -162°C ,压力为 1.0MPa。通过高压压缩所回收的 BOG 气体为:

① LNG 接收站进行正常外输时所产生的 BOG 气体;
② LNG 接收站在进行预冷的时候所产生的一些 BOG 气体;
③ LNG 接收站在进行零外运输的时候所产生的 BOG 气体。但是通过这样的方式所产生的气体能耗比再冷凝工艺所产生的能耗高出许多。

3 BOG 处理工艺的优化运用

组织进行长距离运输的时候,向运外输所出现的压力值较大,再冷凝工艺与直接压缩工艺进行对比可以发现再冷凝工艺所产生的能耗更少。另外可能对接站能耗产生影响的因素包括了:高压泵的进口压力、管外网络运输压力的存在以及 BOG 的产生量等因素。冷凝器与 BOH 压缩是完成整个再冷凝工艺的设备保障。通过运用再冷凝工艺来对 BOG 的压力进行调整,将会让冷却产生的量得以被更好控制。所以,为了让 BOG 压缩机能够在完成压缩操作的同时,达到降低能耗的目的,需要在维持 LNG 量不变的基础上,让冷缩后的 BOG 通过压缩加压后,达到预定温度,以此来达到减少能耗的目的。

3.1 直接压缩工艺的科学运用

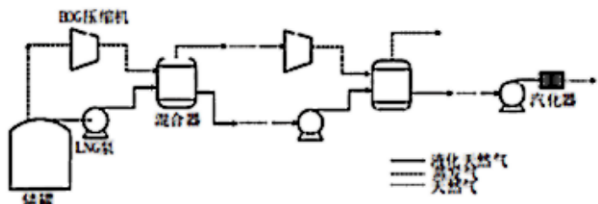


图1 BOG 冷凝多阶压缩示意

BOG 直接压缩工艺改变以往单阶压缩的方式,通过改用多阶压缩的方式,来对压缩过后的过冷 LNG 进行混合互换,确保不同阶段的 BOG 压缩机出口压力能够与 LNG 泵的压力维持一致。然后,在对混合器进行加热处理,其中一部分的 BOG 在完成冷却处理之后,将气液分离,使得 LNG 液体得以进入到泵中(如图1所示)。在一般情况下,一定单位质量的液体通过加压会比同质量的气体更容易运输。所以,会产生能耗输出更低,而选择没有进行冷凝的 BOG 与 LNG 进行混合之后来进行压缩机压缩,结果使得压缩机气体的计入温度减低,继而降低能耗的产生。选择多阶压缩之后,阶数的变化会产生节能效果的变化,但是当阶数达到一定值之后,节能的效果也会发生变化,所以需要结合成本投资与实际的节能成效,以此

来确定合适的阶数。

3.2 BOG 回收工艺的综合化运用

通过化工软件的模拟分析,发现选择不同类型的压缩工艺。分别对二者的适用范围进行对比计算。虽然,再冷凝工艺更为节能,但是其也带有不足之处,这指的是整个冷凝工艺需要不断的冷源,所以,选择再冷凝工艺需要在一个大型的气源接收站之中,直接压缩工艺往往更加适用于小型的调峰型接收站之中。为此,选择新的工艺来推动 BOG 冷凝技术的运用是十分必要的。这将会避免外输压力较大时,所会导致的能耗增加。

3.3 直接充装 CNG 工艺

直接充装 CNG(Compressed Natural Gas 压缩天然气)工艺是将来自 BOG 总管的 BOG 先经过低压压缩机压缩后,送往高压压缩机机组继续增压,之后输入到 CNG 储存单元,根据需要通过 CNG 罐车加注装置装车,实现 CNG 的外输。该工艺适用于无法进行管网外输时,且具有单独销售 CNG 产品需求时。考虑到该工艺需要的压力高,耗能也高,在选用时需要统筹考虑业务范围和市场需求。

4 结论

①接收站 BOG 处理工艺应综合考虑储罐数量及各种不同工况下产生的 BOG,尤其在特殊情况下如自然因素、设备大修、事故及其他不可抗力因素造成无法使用再冷凝工艺回收 BOG 的情况。鉴于 BOG 放空的成本及安全因素,在储罐数量满足配置多台 BOG 压缩机时,可优先考虑再冷凝和高压压缩工艺结合的方式进行 BOG 处理;② BOG 处理可采用再冷凝或高压压缩工艺,同时应考虑采取相应的措施降低 BOG 的产生量。减少 BOG 的产生应从系统的漏热、回储罐的 LNG 闪蒸、储罐置换产生的 BOG 等几个方面综合考虑,优化 BOG 处理技术。

参考文献:

- [1] 钱伯章,朱建芳.世界液化天然气的现状及展望[J].天然气与石油,2008,26(4):34-38.
- [2] 梁永宽.中国多种气源天然气区域市场特点与定价原则[J].天然气工业,2011,31(3):1-3.
- [3] 邢云.中海油 LNG 产业链的形成及发展[J].天然气工业,2011,30(7):103-106.
- [4] 陈功剑,宋峰彬,王丽丽,等.天然气调压器设计原理及影响因素分析[J].天然气与石油,2011,29(3):67-72.