

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2014.05.002

BOG压缩机在LNG接收站的运用探讨

□ 广东珠海金湾液化天然气有限公司 (519000) 黎喜坤

□ 中海油研究总院 (100027) 高晓蕾

□ 中国石油集团工程设计有限责任公司北京分公司 董 恒

摘 要: 本文对BOG在LNG接收站产生的原因、BOG压缩机的机型选择、运行维护及管理等方面的问题分别进行分析阐述, 举例说明卧式对置平衡式压缩机在珠海LNG接收站应用现状, 以便于指导进一步改善和提高其应用效果。

关 键 词: BOG 压缩机 LNG接收站 卧式对置平衡式 珠海LNG

1 引言

天然气因清洁无污染以及能量利用率高等优点, 已成为越来越重要的世界性能源。LNG 在中国是新兴的能源应用领域, 发展前景广阔。近年来液化天然气项目快速发展^[1], 国内已经运营广东大鹏、大连、福建等大批的LNG接收站项目^[2-4], 其中BOG处理系统是LNG接收站的核心, BOG压缩机作为BOG处理系统的重要组成部分, 被称为LNG接收站的“心脏”, 同时也是LNG接收站节能减排的关键设备^[5]。LNG接收站的主要功能是接收、储存和气化LNG, 并通过天然气管道向燃气电厂和城市用户供气。常压下, LNG的储存温度低至-160℃左右, 在储存和运输LNG过程中虽然具有良好的绝热措施, 仍不可避免的会有漏热造成LNG的蒸发, 所以BOG的处理系统直接影响到LNG接收站生产运营的安全性、经济性和环保性。

目前在LNG接收站BOG的处理工艺大致可分为直接加压至高压输气管网和BOG再液化两种^[6]。两种工艺并无本质上的区别, 仅在BOG的处理上有所不同。目前世界上大部分气源型LNG接收站普遍采用再冷凝器液化工艺回收BOG, 即将压缩后的BOG和LNG送入

再冷凝器进行直接换热, 利用LNG的冷能将BOG再液化回收^[7]。

2 BOG处理系统

2.1 BOG产生的原因分析

BOG产生主要是外界能量的输入造成, 如泵运转、外界热量传入、大气压变化、环境的影响及LNG送入储罐时造成的罐内LNG体积的变化等因素, 对LNG接收站产生BOG的原因分析归纳如下: (1) 在卸料的过程中, 由于LNG船内的蒸气压高而导致的储罐LNG闪蒸; (2) 在卸料的过程中, 由于外界环境温度漏热引起BOG的产生; (3) LNG储罐冷损产生的BOG量; (4) LNG低压泵和高压泵运行产生的BOG的量; (5) 管道冷损产生的BOG量; (6) 天然气最小外输时产生的BOG量; (7) LNG装槽车产生的BOG量。

2.2 BOG处理方法

BOG的主要成分是甲烷, 需要进行有效地利用。对于BOG的利用, 一般采取两种方式: 在日常运行式的接收站, BOG被压缩机加压后进入再冷凝器,

被由储罐来的LNG冷却成液体后由高压泵输出，去汽化器；在调峰式的接收站，BOG被压缩机加压后直接进入外输管网^[8]。目前，大部分LNG接收站主要以再冷凝BOG的方式最常见。以珠海LNG为例，优先处理LNG蒸气的办法^[9]如下：（1）蒸气返回LNG船舶（如果正在进行卸料操作）；（2）BOG再冷凝器（通过BOG压缩机）；（3）通往火炬（通过PV-0601）；（4）火炬检修时，LNG储罐上的火炬备用PV阀（PV-0210A/B/C）；（5）放空（LNG储罐上的安全阀PSV-0201A/B/C，PSV-0202A/B/C，PSV-0203A/B/C和PSV-0204ABC）。

2.3 BOG处理系统

BOG压缩机是BOG处理的关键设备，其作用是处理过量的蒸发气。以珠海LNG为例，BOG处理系统主要由BOG压缩机（BGC-0301A/B/C）、再冷凝器（PV-0303）、BOG压缩机入口分液罐（PV-0301）、BOG压缩机入口积液罐（PV-0302）、BOG压缩机入口减温器（PV-0304）及相连的管线组成。

来自LNG储罐的BOG与压缩机的回流管线上

的BOG，在经过BOG压缩机入口减温器降温控制在 -140°C 后，进入BOG压缩机入口分液罐，防止蒸发气夹带LNG液体进入压缩机，BOG进入压缩机，经过两级压缩后，进入再冷凝器，被LNG低压总管输送来的过冷的LNG冷凝成LNG同低压外输总管LNG一起送入高压泵进行外输，BOG处理系统见图1。

3 BOG压缩机的机型选择

3.1 LNG接收站对BOG压缩机的要求

由于LNG接收站的介质和工艺流程的特殊原因，因此对BOG压缩机要求需达到以下几点：

- （1）压缩的气体是烃类气体（主要为甲烷），属易燃、易爆气体；
- （2）进口温度低约 -160°C ，每一压缩级的出口温度要限制；
- （3）进出口压差大需采用多级压缩实现较大的压力比；
- （4）采用无油润滑经验证明，对气缸采用过多

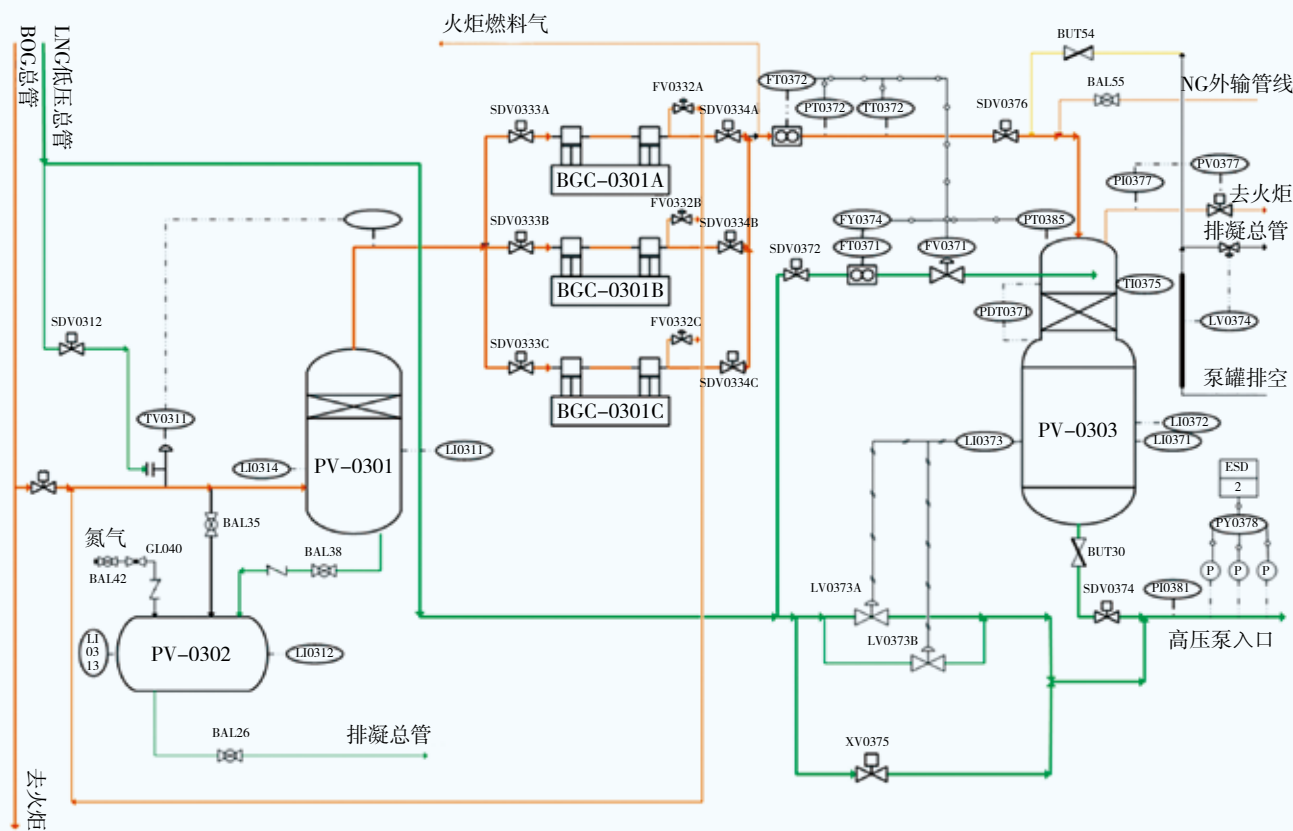


图1 BOG处理系统流程图

的润滑与润滑不充分相比，对可靠性的危害更大；

（5）控制活塞平均速度，较高的活塞速度可能由较高的转数或行程长度造成，则对应着较频繁的气阀的开闭次数以及往复运动部件较大的惯性力，同时对活塞环及支撑环亦造成较大的磨损，从安全角度要求，要限制其活塞平均速度；

（6）高稳定性，以满足连续运行的需要。

3.2 立式迷宫密封式和卧式对置平衡式的对比

目前，LNG接收站最常用的BOG压缩机一般采用立式迷宫密封式或是卧式对置平衡式。表1为两种LNG接收站常用压缩机对比。

立式迷宫密封活塞无油压缩机的迷宫密封属于非接触密封，它利用活塞与气缸间迷宫槽的流阻来实现密封。由于迷宫密封的采用，没有了摩阻，气缸与活塞等关键部件的材料选择更加灵活，压缩机在环境温度下可以直接启动而不需要预冷。气缸与活塞不直接接触，工作表面也就没有磨损，压缩机可以选择在较高的速度下运行。

卧式对置平衡式无油压缩机为活塞式，利用特殊材料的活塞环实现密封和无油润滑。卧式对置平衡式无油压缩机气缸与活塞支撑环和活塞环直接接触，为尽量减少磨损，压缩机一般在较低的运转速度下运行，但其动力平衡性能较好。

由表1得出，卧式对置平衡式压缩机与立式迷宫

密封式压缩机各有优缺点，目前卧式对置平衡式压缩机市场占有率较高，约为90%；而立式迷宫密封式压缩机市场占有率较低，约为10%。实际选型时，除满足工艺参数（进气压力、排气压力、进气温度、排气温度、排气量和介质等）外，还需要综合考虑效率、可靠性、价格等因素，运行成本也是需要考虑的因素之一^[10]。

3.3 往复式卧式BOG压缩机的特点

卧式压缩机具有操作、维修方便的特点。对于工艺用压缩机、其优点尤为突出，而且附属设备和管路布置方便，使巡检通道畅通。虽然卧式压缩机占地面积比较大，但对于卧式平衡型压缩机，有条件实施优良的惯性力平衡，提高转速，故占地面积不是很大。工艺用对称平衡性压缩机通常采用撬装式的模块化结构，节省基建费和安装时间。

通过分析往复式卧式压缩机的特点，对比往复式卧式压缩机与立式迷宫压缩机等多方面考虑，珠海LNG接收站使用的BOG压缩机是进口的32SB-2N-CM型往复式卧式压缩机，有4个容量控制级（25%、50%、75%和100%），处理能力可达9.3t/h，设计进气温度-140℃，设计吸入压力0.35MPa，操作吸入压力为5kPa~29kPa，轴功率为691kW。通过计算得出珠海LNG接收站的BOG产生量见表2。

珠海LNG接收站选项用的单台压缩机的处理能力

表1 两种LNG接收站常用压缩机对比

	立式迷宫压缩机	卧式对置平衡式压缩机
维护	操作和维护较难，特别是汽缸维护，需要高位维修平台。汽缸和活塞对中比较难，需要制造商专家做且对时间较长。	由于汽缸卧式布置，操作简单，维修时，所有部件容易拆卸。
平衡	平衡力很不好，所以需要更大的基础。由于震动大所以主电机转速必须低，而且运动件和易损件的寿命比较短。	由于惯性力得到很好的对称平衡，所以可提高压缩机的转速，同时运动件和易损件的寿命比较长。
管线布置	由于汽缸位置较低，所以管线布置难，如果支撑不结实会产生较大的震动问题。	由于管线位置低，较方便布置。管线支撑容易且更结实。震动较小，从而压缩机运转平稳。
效率	由于活塞和汽缸有间隙造成较大的气体泄漏损失，效率降低。所以压缩机只适用少数工况。	由于活塞环压缩机汽缸内有摩擦损失，但气体的泄漏量少，所以压缩机的总效率会更高。
材料	汽缸材料为球墨铸铁，活塞材料也是球墨铸铁。	汽缸材料为不锈钢，活塞材料为铝合金。
维修	压缩机曲轴箱，机身，中间接筒为整体铸造，检修和更换不很方便，如需更换部件，需要整体更换。	压缩机分为曲轴箱、机身，每个汽缸分为两个中间接筒和汽缸体等很多部件，每个部分都是可以分开的。以后维修和更换会是很方便，如需更换，只需更换损害的那一小部分。
车间厂房要求	占地面积小，但是对车间高度要求高。	占地面积大，但是高度要求不高。

为10t/h，通过计算 $25\% \times 10\text{t/h} = 2.5\text{t/h} < 3.9\text{t/h}$ ，满足珠海LNG接收站最小BOG处理量。如有卸料时，需要同时开启两台BOG压缩机^[1]。

4 BOG压缩机的运行

4.1 BOG压缩机的联锁停机

在BOG压缩机运行过程中，应实时监控BOG压缩机的联锁报警值，以避免跳车或是对接收站正常运行造成不必要的影响，以珠海LNG为例，BOG压缩机的

联锁停机数值见表3。

4.2 BOG压缩机的运行

为保证BOG压缩机性能良好、安全的运行，杜绝违规操作所引起的不必要损失，现将BOG压缩机运行中注意的问题列举见表4。

5 BOG压缩机的维护与管理

5.1 往复式压缩机的日常维护与检修

故障的查找和解决可以通过记录、识别、发现、

表2 珠海LNG各期BOG量

	最小的BOG量 (正常操作) (t/h)	正常的BOG量 (正常操作+大气压变化2.7HPA/H) (t/h)	最大BOG量 (卸料操作) (t/h)
一期	3.9~6.7	7.5~10.1	18.5
二期(以16万m ³ 储罐为依据)	5.1~10.2	11.1~15.9	27.9

表3 BOG压缩机的联锁停机数值表

位置	描述	DCS显示	操作响应
BOG压缩机一级出口温度	温度高	TAL0333A ~ C 150℃	确认BOG压缩机是否跳车
	温度高	TAL0334A ~ C 150℃	确认BOG压缩机是否跳车
BOG压缩机一级吸入口压力	压力低	PAL0340 A ~ C 0.5 kPa	确认BOG压缩机是否跳车
BOG压缩机的润滑油压力	压力低	PALL0335 A ~ C 0.15MPa	确认BOG压缩机是否跳车；处理油泵或油过滤器

表4 BOG压缩机运行监控重点

序号	描述	原因分析	响应措施
1	LNG组分的不同(贫气与富气之分)	由于乙烷的热化潜热较大，因此LNG中乙烷含量越少，单位时间内产生的BOG越多	接收贫气时需要将BOG压缩机的负荷增加或多启一台压缩机
2	储罐压力的升高	在环境因素一定的情况下，随着储罐的压力升高，产生的BOG量会增加	BOG压缩机调整的负荷将需要提高
3	氮气含量的变化	由于LNG中氮气含量的增加，泡点温度会变低，甲烷难于气化出来，因此LNG中氮气含量增加，单位时间内产生的BOG量越少	当LNG管道或是LNG储罐中氮气含量不断增加时，需要将BOG压缩的负荷降低或是关停一台压缩机
4	BOG压缩机入口分液罐	通过气液分离，避免带有液态LNG进入压缩机，引起入口过滤器压力过高触发停车	通过监控BOG压缩机入口分液罐的出口温度，密切压缩机的入口过滤器压力值
5	BOG压缩机的入口温度	由于压缩机做功引起机体温度上升非常大，因此控制好BOG压缩机的入口温度，才能维护好压缩机的运行	通过BOG的减温器，引入少量LNG对BOG进行减温，控制好温度在-140度以下

解决的基本步骤来实现^[12]。基本步骤如下: (1) 定时巡检, 并做好记录; (2) 定时检查各部轴承及摩擦副部位的温度, 应符合规定; (3) 定时检查油温、油压、油位、油过滤器压差, 并定期对润滑油化验分析或更新; (4) 定时检查气缸、填料等部位冷却水出口温度; (5) 定时检查压缩机各段进出口压力、温度、流量及各气阀温度; (6) 定时检查各级密封的泄漏及活塞杆的位移; (7) 定时监测机组的振动, 包括基础、压缩机本体以及管路系统; (8) 定时检查各运动件有异常响声, 各部紧固螺栓是否松动或断裂; (9) 检查辅助油泵电源指示, 并确保开关在“自启动”位置。润滑系统备用油泵应定期进行自启动试验; (10) 保持机组洁净, 清除机体表面、油系统, 基础表面及周围地面的油污或积水。

5.2 BOG 压缩机故障预防措施分析

通过分析BOG压缩机故障可以发现, BOG压缩机各个故障之间并不是单一的, 而是相互影响的, 如气阀故障发现不及时或处理不当会引起BOG压缩机出口压力不稳定, 导致出口管路系统的振动, 管路压力的振动又进一步加剧气阀的振动, 气阀继续振动导致气阀失效, 引发压缩机停车。因此需要重点观察BOG压缩机易发生故障部件的运行情况, 又需要密切关注BOG压缩机各个部分之间的相互联系^[13]。

6 结论

BOG压缩机是LNG接收站的核心设备, 通过BOG压缩机不断将储罐中的BOG回收压缩后, 输送到再冷凝器与深冷LNG混合, 从而回收BOG, 并使储罐的压力控制在合理的范围之内。只有把握好BOG压缩机运行的特点及运行维护各个环节, 才能保证BOG压缩机的运行稳定, 从而避免BOG放空到火炬燃烧, 达到节能减排、降本增效的作用。

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
- 5 叶忠志, 张园星. 液化天然气BOG压缩机选型分析[J]. 石油和化工设备, 2013; 16(3): 61-63
- 6 刘浩, 金国强. LNG接收站BOG气体处理工艺[J]. 化工设计, 2006; (1): 13-16
- 7 Querol E, Gonzalez-Reguerual B, Gar J, et al. Boil off gas (BOG) management in Spanish liquid natural gas (LNG) terminals[J]. Applied Energy, 2010; 87(11): 3384-3392
- 8 姚峰. LNG接收站BOG压缩机运行控制方式的选择[J]. 上海煤气, 2010; 14-19
- 9 珠海LNG操作手册文件ZHLNG-5A-TS-CAL-PR-0304 第二版[R]. 2012
- 10 尹清党. BOG压缩机在LNG接收站的应用[J]. 压缩机技术, 2009; 06: 35-39
- 11 中国成达工程有限公司. 广东珠海LNG项目一期工程可行性研究—接收站工程分报告[R]. 2009; 6
- 12 天然气压缩机组基础知识与运行维护编委会. 天然气压缩机组基础知识与运行维护[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011; 12
- 13 陈功剑, 杜文峰. 提高BOG压缩机运行可靠性的方法[J]. 2011; 13-4

欢迎使用《城市燃气》投稿系统

简单
方便

在“燃气在线”(www.gas800.com)
网站首页, 点击《城市燃气》在线投
稿图标即可。

专为作者设计的“稿件查询”系统,
让作者可以随时查询到所投稿件的审
核状态。

投稿系统网址: www.gas800.com