

# 提高 BOG 压缩机运行可靠性的方法

陈功剑 杜文峰 赵顺喜 段秋晓 史 涛

(中海福建天然气有限责任公司, 福建 莆田 351100)

**摘要:** BOG 压缩机是 LNG 接收站的关键设备之一, 提高 BOG 压缩机的运行可靠度对保障 LNG 接收站外输具有重要意义。以接收站进口的立式和卧式压缩机为分析对象, 从压缩机的设备结构出发, 结合接收站的工艺流程, 对 BOG 压缩机的气缸部分、辅助部分、运动部分、机体部分和驱动机构及控制系统进行故障分析, 采用参数法、振声法、油液法等措施来防止 BOG 压缩机出现故障, 使 BOG 压缩机能够安全平稳运行。

**关键词:** BOG 压缩机; 设备可靠性; 液化天然气

**中图分类号:** TE964 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-9446(2011)04-0034-04

## Reliability Method of BOG Compressor Operations

CHEN Gong-jian, DU Wen-feng, ZHAO Shun-xi, DUAN Qiu-xiao, SHI Tao

(CNOOC - FUJIAN LNG CO., LTD, Putian 351100, Fujian, China)

**Abstract:** To advance the reliability of BOG compressor, which was one of the key equipments in LNG terminal, was important for LNG exporting safety. Failure analysis relating to importing vertical and horizontal compressor which focus on BOG compressor cylinder parts, auxiliary parts, moving parts, body parts, drive mechanism and control system were carried out, This was based on combined structure of compressor and process in LNG terminal. It can be concluded that the method of parameters, vibration, and oil can prevent BOG compressor failure. In this way, the BOG compressor can run safe and stable.

**Key words:** BOG compressor; equipment reliability; liquefied natural gas (LNG)

LNG 接收站卸船和非卸船期间都将产生大量的蒸发气(BOG)。BOG 处理系统中无论再冷凝工艺还是直接冷凝工艺, BOG 压缩机均是关键设备<sup>[1-2]</sup>。BOG 压缩机入口 BOG 温度一般在 -100℃ 以下。国内 LNG 接收站使用的均是国外进口的压缩机, 且目前尚无 BOG 压缩机故障分析方面的统计技术资料, BOG 压缩机运行可靠性方面的资料也不是很完善。为了提高 BOG 压缩机运行的可靠性, 借鉴气体压缩机成熟的经验<sup>[3-4]</sup>, 结合 BOG 压缩机自身的独特性能, 即从易燃易爆气体压缩机共性出发, 又结合低温压缩机自身特性, 分析 BOG 压缩机结构特性、压缩机可能出现的故障及故障解决方式, 并找出避免故障出现的可靠性措施。

## 1 BOG 压缩机基本构成及特性分析

图 1 是进口立式和卧式 BOG 压缩机气缸、运动部分及机体部分的结构图。BOG 压缩机系统由以下四大部分构成:

- 1) 气缸部分 包括汽缸、活塞、活塞杆、气阀等, 它们共同组成了 BOG 压缩机气体的可变工作容积。
- 2) 运动部分及机体部分 包括曲轴、连杆、十字头、机身、机体等, 组成了能量的传递机构, 通过安装在机体内的曲轴连杆机构, 把驱动机构的圆周运动转化成活塞在气缸内的往复运动。同时, 机体还为安装气缸和其它零部件提供支座。

收稿日期: 2011-06-26

作者简介: 陈功剑(1982-) 男, 河北武汉人, 中海福建天然气有限责任公司助理工程师, 硕士, 主要从事液化天然气集输工作。

3) 辅助部分 包括润滑系统、管路系统、缓冲罐、冷却系统等,它是保证 BOG 压缩机安全、经济、可靠运行所必需的辅助设备和系统。

4) 驱动机构及控制系统 它是用来驱动并控制压缩机运行的动力设备,驱动机构由交直流电机、内燃机、蒸汽机、涡轮机等及相应的控制系统构成。

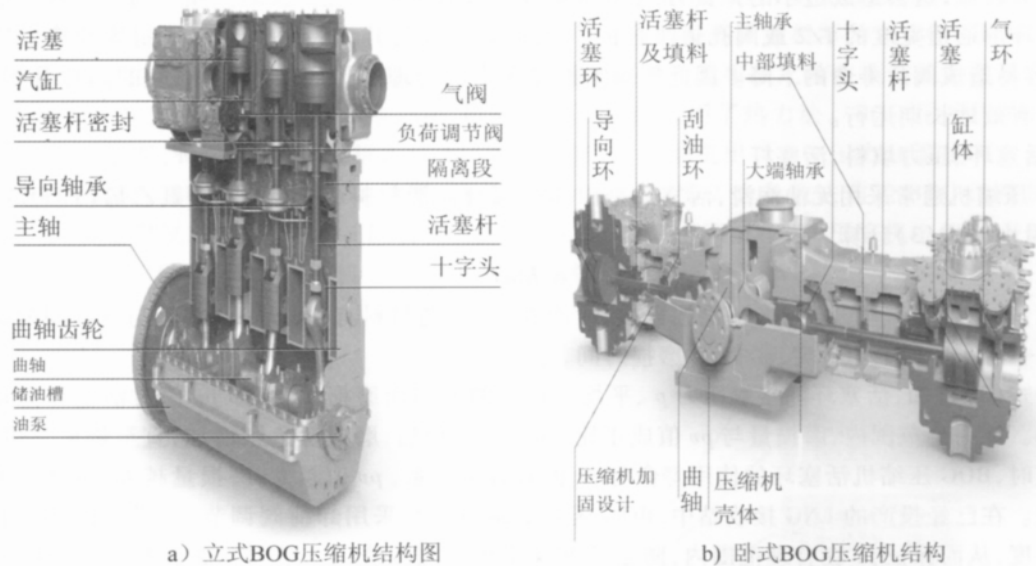


图1 BOG压缩机结构图

## 2 故障分析

以上述 BOG 压缩机的四大部分为分析对象,逐一讨论导致 BOG 压缩机停机的原因。

### 2.1 气缸部分

在日常压缩机运行中,气缸部分导致压缩机停机的机率非常高,某些天然气站场由于气阀引起压缩机停车的比例甚至高达 50% 左右,加强对气缸部分的故障分析是维护 BOG 压缩机安全正常运行的关键之一。

#### 2.1.1 气阀

往复式压缩机运行的可靠性与经济性很大程度上取决于气阀的好坏,这是由于气阀工作的好坏直接影响着压缩机的各种重要性能指标,如排气量、耗电量、运转率等。质量差的气阀的能量损失可以占到压缩机轴功率的 20% 左右。同时,气阀是一种易损件,其使用寿命很短,直接影响到了 BOG 压缩机的运转率。气阀寿命主要受两个参数的影响,即阀隙马赫数  $Ma$  (即阀隙气体平均流速与当地音速之比) 和气阀升程。

阀隙马赫数可由下式进行计算,一般不宜超过 0.2<sup>[5]</sup>。

$$Ma = \frac{V}{a} = \frac{V}{\sqrt{kRTg}} \quad (1)$$

式中:  $R$ —气体常数,  $\text{kg} \cdot \text{m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $V$ —气体通过阀隙的平均流速,  $\mu\text{s}$ ;  $a$ —音速,  $\mu\text{s}$ ;  $k$ —气体等熵指数;  $T$ —当前温度,  $\text{K}$ 。

气体通过气阀的相对压力损失  $\delta$  与阀隙马赫数  $Ma$  有如下关系:

$$\delta = \frac{k\pi}{8} \left( \sin\theta + \lambda \frac{\sin 2\theta}{2} \right)^2 (Ma)^2 \quad (2)$$

式中:  $\lambda$ —曲拐半径与连杆半径长度之比;  $\theta$ —曲柄转角 ( $^\circ$ )。

由公式(1)和(2)分析可知,  $\lambda$ 、 $\theta$ 、 $R$  均可视为定值, 只要保证压缩机入口气体流速在合理范围内, 那么, 压缩机的马赫数稳定, 气体通过气阀的相对压力损失值就能稳定, 从而有效地维护气阀使用寿命。

升程是气阀设计与选用的另一个关键参数。增加升程, 可以减小马赫数、降低能耗。但过高的升程要求弹簧力较低, 这会造成过小的弹簧力, 很难保障阀片在较大的升程内及时关闭。通常升程一般不宜大于阀座环形通道宽度的 1/2 或阀孔道半径的 1/2, 而且过大的升程阀片对升程限制器的撞击速度也较大, 很容易造成阀片寿命的下降。因此气阀维护过程中应合理选择阀门, 设置适宜的阀片升程, 保障气阀安全有效地长期运行。

### 2.1.2 活塞环、压力填料、活塞杆

BOG 压缩机通常采用无油润滑, 活塞环是由非金属自润滑材料(如填充聚四氟乙烯(PTFE))等制造, 磨损量由公式(3)计算<sup>[6]</sup>。

$$h = Kpv t \quad (3)$$

式中:  $h$ —径向磨损量,  $\mu\text{m}$ ;  $K$ —磨损因数,  $\text{m}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ , 与材料有关;  $p$ —活塞环与气缸间的接触压力,  $\text{Pa}$ ;  $v$ —活塞环的平均速度,  $\text{m/s}$ ;  $t$ —磨损时间,  $\text{s}$ 。

由公式(3)可知, 活塞环随接触压力  $p$ 、平均速度  $v$  的增加而磨损加大, 即  $pv$  值对活塞环磨损量影响最直接。在一定范围内, 磨损量与  $pv$  值成正比, 超过一定值后, 磨损量急剧增加, 直至烧损。可见, 当材料一定时, BOG 压缩机活塞环的使用寿命与  $pv$  值有直接关系,  $pv$  值越大, 磨损量越大, 活塞环寿命降低越严重。在已经投产的 LNG 接收站中, BOG 压缩机调节负荷采用卸荷阀调节, 这样就能够控制活塞的运行速度, 从而保证  $pv$  在合理范围内, 防止活塞环出现泄漏或烧结。填料问题也是引起压缩机故障停机的重要原因之一。

## 2.2 辅助部分

辅助部分是保证压缩机安全、经济、可靠运行所必需的辅助设备和系统。监控润滑系统和冷却系统的介质温度和压力, 是保证压缩机本体部分润滑良好、温度适宜的重要措施。

工艺问题引起的压缩机事故停车也是非常重要的因素之一, 应该引起足够的重视。本文将工艺问题归纳到辅助部分进行讨论分析。工艺问题可能产生如下的问题:

- 1) BOG 压缩机入口缓冲罐内 BOG 闪蒸, 导致 BOG 冷凝成 LNG, 或缓冲罐内液位过高, 造成 BOG 压缩机入口温度急剧下降, 气缸内发生液击现象, 发生“当、当、当”的异常声响。
- 2) 曲轴箱内加油过多、压缩机耗油量过大、曲轴箱中润滑油起沫, 导致气缸中产生敲击声。
- 3) 操作人员错误地关闭了润滑、管路、缓冲罐或冷却等系统的阀门, 导致了 BOG 压缩机的异常停车。

## 2.3 运动部分、机体部分、驱动机构及控制系统

曲轴的主要问题是曲轴出现磨损、活塞作用力不平衡、轴系不对中等, 严重情况下出现曲轴弯曲和扭曲变形以及出现裂纹甚至断裂失效。十字头和连杆部分的磨损、受力不平衡及断裂、运动部分之间连接处的螺丝松动等故障, 都会引起 BOG 压缩机剧烈振动而导致停车。

运动部分产生的问题主要是由于运动部件安装维护过程不完善、润滑与冷却系统的故障引起的。运动部分、机体部分和驱动部分故障会导致油压、油温、振动出现异常。因此在 BOG 压缩机控制系统采用了可编程控制器(PLC)系统进行了远程显示、报警或连锁停机。控制系统的检测点选取了 NG 的温度和压力、主轴承和润滑油压力、温度等变量。

## 3 BOG 压缩机故障预防措施分析

从 BOG 压缩机故障分析可以发现, 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。从压缩机原理出发,采取参数法、振声法和油液法来预防BOG压缩机发生故障。

### 3.1 参数法

参数法是将BOG压缩机的各个部分的性能参数值进行处理,然后同基准参数数值进行比较,得到分析结果(如BOG压缩机出口NG温度、压力是否偏高等),从而发现压缩机零件或BOG压缩机整体是否存在故障,并判断故障部分发生故障的原因,在引发停车甚至严重事故之前将压缩机的故障排除。参数设定或获取的方法通常有热力法和电力法,BOG压缩机主要选用了热力法。BOG压缩机的热力参数主要有:润滑油温度、润滑压力、压缩机入口NG压力和温度、压缩机出口NG压力和温度等。通过观察这些参数变化情况,及时发现压缩机的故障,预防事故的发生。图2为参数法监控BOG压缩机正常运行的示意图,从进程仪表、润滑油系统仪表、负荷系统仪表、冷却水系统仪表、压缩机电机仪表等五个方面分别进行监控,以防止BOG压缩机意外停车,保证压缩机安全平稳工作。

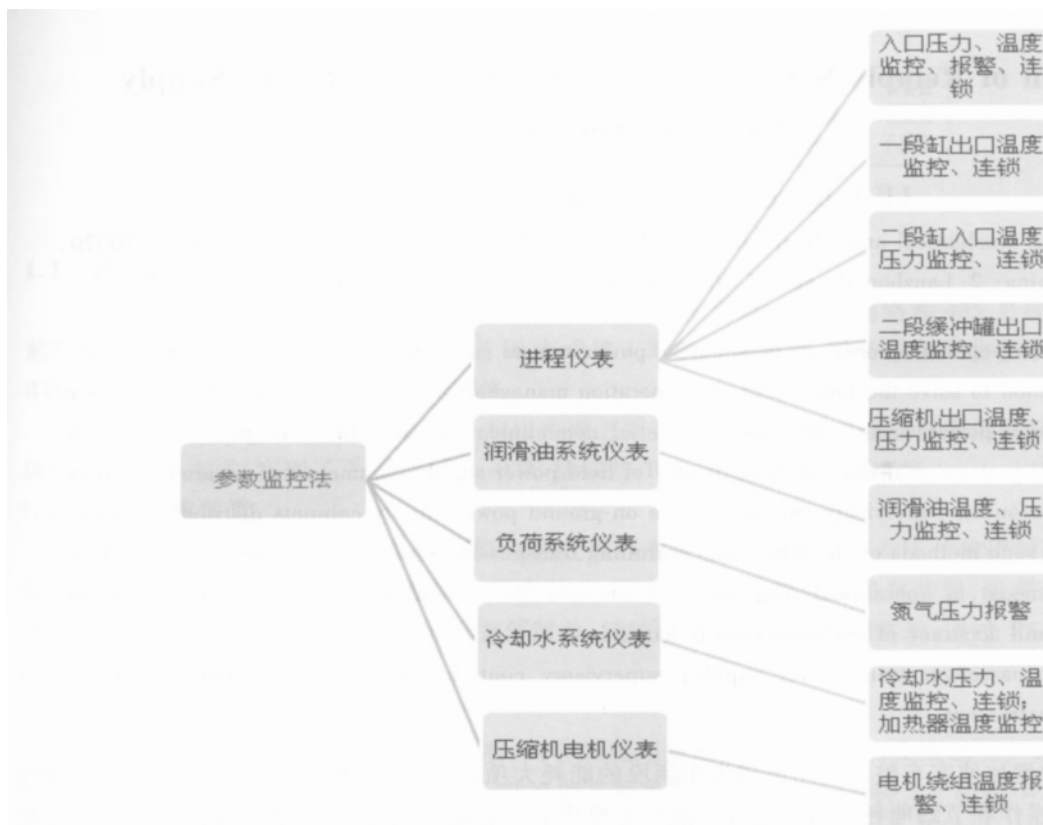


图2 BOG压缩机参数监控法示意图

### 3.2 振声法

压缩机在运行中,由于各种力的作用会产生振动和噪音,当压缩机内部零件或结构出现缺陷时,BOG压缩机的动力学性能就会发生不同程度的变化,因此可以通过对压缩机外部的振动信号、噪音信号的测量分析来监测压缩机内部的状态变化,以此分析判断压缩机的故障原因、部位、程度、性质,并及时对压缩机进行维护保养。BOG压缩机振动的测量点主要选择压缩机驱动机构(电机)的轴承、曲轴等。BOG压缩机振动报警分为普通报警、高报警、高高报警,当中控DCS发现振动报警后,应及时让操作人员到现场确认报警,并采取措施,防止设备故障的进一步发展。

(下转第48页)

#### 参考文献:

- [1] 张颖. 一种抗浮的 PCM 现浇钢筋砼内模施工技术 [P]. 国家专利.
- [2] 全国现浇混凝土空心楼盖结构技术交流会在上海召开 [J]. 工程质量, 2005(09): 42.
- [3] 秦楠. BDF 薄壁管现浇混凝土空心楼板施工质量控制 [J]. 山西建筑, 2010(29): 217 - 218.
- [4] 金晓东. 现浇混凝土空心楼盖施工工艺 [J]. 浙江建筑, 2002(04): 32 - 33.

(上接第 37 页)

### 3.3 油液法

压缩机运行中相接触的摩擦副的相对运动都会产生磨损, 压缩机系统在不同的运行阶段, 润滑油的衰败程度会有所不同。产生的磨损微粒含有丰富的信息, 这些信息包含磨损微粒的数量、尺寸与分布、形貌等, 因此, 润滑油中包含了压缩机设备的重要信息。油液法就是通过采集 BOG 压缩机使用的润滑油为样品, 利用现代分析手段检测样品的性能和样品所携带的磨损微粒, 定性和定量地评价被润滑设备的磨损情况, 并预测分析其发展趋势。油液分析包括润滑油性能衰败分析和磨损微粒分析。该法的实施包括取样、样品制备、获取监测数据、形成诊断结论等步骤。油液法对于检测 BOG 压缩机曲轴箱内运动机构的磨损状况是一种较为理想的辅助手段。

## 4 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, 因此, 只有掌握 BOG 压缩机设计类型、BOG 压缩机的结构、运行中的各个关键环节, 才能保证 BOG 压缩机安全平稳运行, 减少 BOG 的直接放空。提高 BOG 压缩机运行的可靠性不能从单一方面考虑, 而是需要全面的考虑, 尤其当压缩机已经投产, 工艺条件的变化是影响压缩机运行可靠性最大的因素之一, 这就要求工艺人员及时根据参数变化做出操作上的调整, 并结合机、电、仪表人员, 随时发现故障, 随时排除, 保障 BOG 压缩机可靠地运行。

#### 参考文献:

- [1] 刘浩, 金国强. LNG 接收站 BOG 气体处理工艺 [J]. 2006, 16(1): 13 - 16.
- [2] 曹文胜, 鲁雪生, 顾安忠, 等. 液化天然气接收终端及相关技术 [J]. 天然气工业, 2006, 26(1): 112 - 115.
- [3] 乔永乔, 彭晖. 合成气压缩机 PLC 监控系统的技术改造 [J]. 天然气与石油, 2009, 27(2): 48 - 50.
- [4] 姜光武, 范文平. 浅析气压机组停机原因与改进 [J]. 天然气与石油, 2001, 19(1): 42 - 44.
- [5] 郁永章. 容积式压缩机手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [6] 张文祥, 李延斌. 无油润滑压缩机活塞环的设计及计算 [J]. 压缩机技术, 2000(4): 3 - 4.

## 友好往来

校长曹克广率代表团赴台湾进行文化教育交流。应台湾学校行政研究学会的邀请, 12 月 1 日 - 8 日, 校长曹克广率副校长田乃林、学校办公室主任王世震、化工系主任温守东、计算机系副主任袁德利等组成代表团赴台湾进行文化教育交流。代表团在台湾期间考察了一批大学、学院和职业教育研究机构, 就台湾岛内职业教育、高等技术教育、校企合作和企业培训、院校治理等进行了走访和调研, 并与北台湾科技学院就两校今后在学术、科研、师资及学生等各个方面开展交流进行了深入探讨和协商, 并签订了友好学校合作意向书。