

LNG 工厂冷剂压缩机运行方案优化经验

罗 斐

昆仑能源湖北黄冈液化天然气有限公司, 湖北 黄冈 438011

摘 要:为了研究压缩机组开车失败的原因及其影响因素,结合某厂3台压缩机组多次现场开车记录,对开车方案、电力、工艺、设备、仪表等各方面现场情况进行综合对比和节点分析。在问题汇总的基础上提出建议,取得了压缩机一次开车成功的依据。研究得出,影响压缩机组开车失败的原因众多,其中振动控制是关键。在找到温度与振动平衡点后,合理控制温度让机体温度下降、出口温度上升,振动下降,形成良性循环。最后把握好升速时机,平稳操作,使启机成功。

关键词:LNG;压缩机;振动;开车;情况分析

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2016.04.008

0 前言

某厂设计处理气体量为 $5\,000\,000\text{ m}^3/\text{d}$,产量为 $3\,408\text{ t/d}$ 。该工程从设计工艺到设备制造全部实现国产化,是我国首个全国产化LNG工厂。该工程设置有3台离心式冷剂压缩机,整套设备的正常运行对我国大型压缩机及其驱动装置制造业发展具有指导意义和代表作用。

压缩机组是将低压气体提升为高压气体的一种从动式流体机械^[1],是整个生产装置的核心设备。压缩机组的选型、运转、维护直接影响到LNG工厂的生产。大型LNG工厂具有设备本体大、投资高、仪表设备复杂、操作精度高等特点,所以要求生产过程中压缩机组得到及时维护,保证平稳运转。目前在流体机械领域中关于压缩机组性能优化、喘振控制、节能等方面的研究较活跃^[2],但对于如何确保压缩机组一次开车成功,平稳越过临界区,最大限度减小机组负荷,保证变频设备安全等问题,尚未见到标准化论述。本文基于某厂实际,对压缩机组开车投运实例进行探讨,总结出适合于LNG工厂的开车办法^[3-6]。

1 开车方案

某厂液化装置为三级制冷循环,采用变频调速启

动。其中1台甲烷压缩机为筒形,丙烯、乙烯压缩机为水平剖分式,设计液化能力为日处理量 $500\times 10^4\text{ m}^3$ (体积基准为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 、 101.325 kPa.a),装置的设计负荷为 $50\%\sim 110\%$ 。预处理合格后的天然气进入液化装置,由丙烯制冷系统进行预冷,然后由乙烯制冷系统进行液化,再由甲烷制冷系统进行过冷^[7-8]。

3机组开车前要确保前端流程畅通,开工线循环正常,物料装配完毕,系统干燥合格,公用工程、干气密封、润滑油系统运行正常^[6]。在系统湿气置换完成,压力达标后,依次开启丙烯、乙烯、甲烷压缩机,最后引入天然气,切换为正常流程。为保证压缩机组顺利开车,应严格执行本开车方案。

1.1 丙烯压缩机开车

为越过丙烯压缩机各临界转速,升速严格按照 800 r/min (26.4%)、 $1\,900\text{ r/min}$ (62.6%)、 $2\,700\text{ r/min}$ (89.0%)、 $3\,033\text{ r/min}$ (100%)升速曲线进行;在 800 r/min 运转 30 min ,检查轴位移、油温、振动等是否正常; $1\,900\text{ r/min}$ 运转 30 min ,检查轴位移、油温、振动等是否正常; $2\,700\text{ r/min}$ 达到可调转速,可以开始调整喘振阀。若启机前一级密封使用的氮气,则需在提转速后切换密封气为工艺气。受干气密封的影响,无论何种情

收稿日期:2016-01-20

基金项目:长江大学发展基金(2011025);长江大学科研发展基金(0709001)

作者简介:罗 斐(1989-),男,湖南邵阳人,助理工程师,学士,主要从事LNG工厂设备管理工作。

况时机组都应避免在 400 r/min 以下长时间运行,以防干气密封被磨损^[9]。丙烯压缩机组升速临界曲线见图 1。

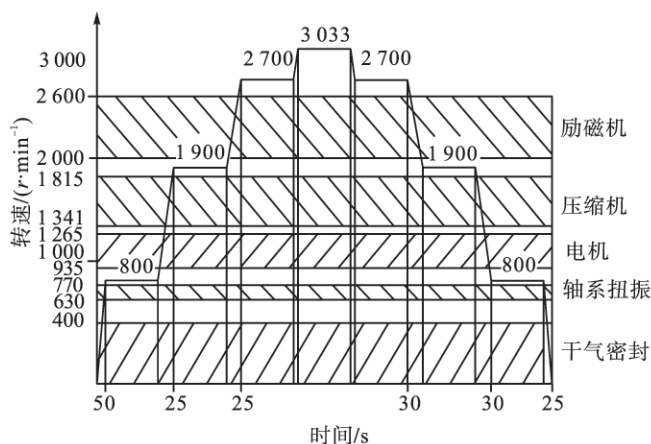


图 1 丙烯压缩机组升速临界曲线

1.2 乙烯压缩机开车

为越过乙烯压缩机各临界转速,升速严格按照 800 r/min (20.6%)、2 200 r/min (56.6%)、3 100 r/min (79.8%)、3 886 r/min (100%) 升速曲线进行;在 800 r/min 运转 30 min,检查轴位移、油温、振动等是否正常,适当收小各级喘振阀,减小压缩机电流;升速到 2 200 r/min 后,检查轴位移、油温、振动等是否正常;无问题后继续升速到 3 100 r/min,观察振动、位移是否正常,无问题后升速达到 3 400 r/min 可调转速,根据工况,可继续升速到 3 886 r/min。若启机前一级密封使用的氮气,需在提转速后切换密封气为工艺气^[10]。乙烯压缩机组升速临界曲线见图 2。

1.3 甲烷压缩机开车

为越过甲烷压缩机各临界转速,升速严格按照 1 000 r/min (16%)、2 600 r/min (42.9%)、4 400 r/min (72.7%)、6 050 r/min (100%) 升速曲线进行;在 1 000 r/min 运转 30 min 以上,检查轴位移、油温、振动等是否正常;2 600 r/min 运转 30 min,检查轴位移、油温、振动等是否正常^[11-13];4 400 r/min 达到可调转速,若启机前一级密封使用的氮气,需在提转速后切换密封气为工艺气。甲烷压缩机组升速临界曲线见图 3。

2 启机失败情况汇总

开车过程中由于三级制冷循环工艺设计影响,3 机组的负荷由大到小依次为丙烯、乙烯、甲烷压缩机。所以一次性开启丙烯、乙烯压缩机一直是难点。若多次反复启机,不仅浪费冷剂,而且会损耗机体及相关设备,还加重了工作人员体力劳动,诱发不安全因素^[14]。启机失败情况汇总见表 1。

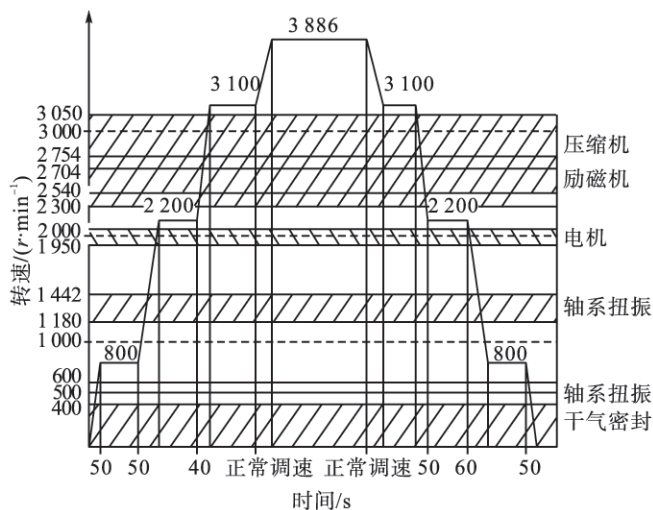


图 2 乙烯压缩机组升速临界曲线

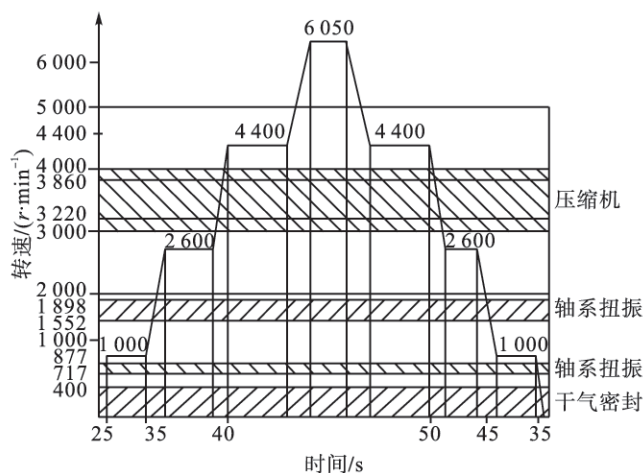


图 3 甲烷压缩机组升速临界曲线

由表 1 可见,振动连锁是开车失败的主要诱因,引起振动过高的因素众多,现以乙烯压缩机组为例针对近期启机情况进行问题分析。

3 问题分析

乙烯压缩机组现场启机记录见表 2。

由表 2 可见,振动是此次启机失败的主要原因,机体未全部冷透是关键问题。后几次尝试由于排淋液引起的机体局部应力变形而导致机体不平衡最终导致一阶段临界区下滑^[15-17]。最终启机成功的突破口在于找到了温度与振动平衡点,合理控制温度让机体温度下降,出口温度上升,振动下降,形成良性循环,最后把握好升速的最佳时机使启机成功。但多次尝试的弊端大,不确定因素多。若能一次性开车成功不仅能有效减少变频及其相关设备损耗,而且能节约冷剂,减少因二次启机泄压造成的物料泄放损失^[18-19]。

表 1 启机失败情况汇总

诱因	节点分析	建议	事件机体	发生概率/(%)
振动联锁	压缩机入口有小液滴进入,导致轴冷热不均	入口管线排凝并适当加快升速时间	乙烯压缩机	80
	施工或长时间停机等特殊工况导致动平衡失效	依次调整励磁机,电机配重	3 机组均有	
	入口温度压力达到泡点以至于出液,导致机体内部冷热不均	合理把握各升速区间运行时间,严控温度、压力	3 机组均有	
	首次开机,机体处于热状态,机体未全部冷透,主轴未甩开	首次启机尽量冷却机体,降低各部分振动	3 机组均有	
电流超高联锁	一、二段喘振阀关闭反应过慢	检查相应阀位,同时加强人员操作	丙烯压缩机	5
变频器超载	喘振阀收放不及时,未及时降负荷	找出升速与变频器的平衡点,合理把握升速时间点	3 机组均有	10
仪表故障	振动、温度、压力等仪表探头损坏	加强巡检	3 机组均有	2
干气密封失效	低速运转和不稳定操作引起的密封件损坏	避免压缩机 400 r/min 以下长时间低速旋转,避免低压启机	甲烷压缩机	3

表 2 乙烯压缩机组现场启机记录

启机次数	现场描述	节点分析	解决方案
1	升速至 2 200 r/min 时开急冷降温,机体电机端振动过高,下阶段升速越不过,手动停机	首次启机,机体处于热状态	系统泄压至 0.6 MPa,一、二、三段入口排淋液,利用 D 1602、D 1603 冷量充分冷却机体
2	升速至 2 362 r/min 时低压缸振动联锁	二段流量波动大,怀疑由雾化凝液引起	排二段淋液,下次操作时快速关二段喘振阀
3	升速至 2 010 r/min 时二段喘振阀关太快以至于流量过大(二段 > 一段)最终导致机体不平衡,振动停机	怀疑升速一阶段临界区下滑	调整升速
4	升速至 2 200 r/min 时低压缸振动联锁	一段进口温度与振动成反比,需为此在一平衡点振动才会得到控制(平衡点为 -30 ℃)	合理控制温度:机体温度下降,出口温度上升,振动才会下降。形成良性循环
5	升速至 2 200 r/min 时系统负荷增加,振动控制不住,手动停机	800 ~ 2 200 r/min 时间过长,负荷过大,振动控制不住	把握升速最佳时机
6	启机成功		

4 结论与思考

冷剂压缩机组是 LNG 工程正常生产的核心冷量提供设备,它能否安全运行将直接影响整个 LNG 工厂的生产。针对某厂冷剂压缩机组试车情况提出通用指导性经验:

1) 电力方面,变频设计规定 3 机组单机启机 24 h 内只能尝试 3 次。若负荷过大、次数过多可能导致变频器模块过热烧毁。

2) 工艺方面,若启机失败则需系统泄压到预定值,检查变频设备后才可进行下次尝试,每次泄压需看当时情况,需要时间 1 ~ 5 h 不等。冷剂为易挥发介质,长时间及多次泄压会浪费大量冷剂,造成机体复热,引起压缩机轴部应力变形,产生振动,影响下次启机。

3) 设备方面,启机首先应保证干气密封正常运行,反复启机引起的压缩机轴低速旋转(400 r/min 以下)或反转会导致密封件受损。每次失败泄压会引起系统压力过低导致干气密封平衡管低压报警。

4) 仪表方面,注意喘振阀日常维护与检修,防止因阀门开关不灵活而引起喘振或电流超高导致开车失败。

注意各测点探头校对,防止因数据传输和探头损坏而引起联锁停车。

结合某厂实际和自身机体经验规律,针对乙烯冷剂单价贵、易挥发、难回收的特点和因某厂工艺设计而导致乙烯压缩机开车难的实际情况提出针对性思考:

1) 针对乙烯冷剂易挥发、停车后系统升压快等因素,建议采用气相法开车,此法和传统开车方法相比能在开车失败后快速放空泄压,同时避免乙烯挥发,节约乙烯。但此方法对操作人员要求较高,存在因压缩机各段进气量不足而引起喘振的风险。

2) 冷态开车时中压乙烯吸入罐及乙烯压缩机二级入口管线会有凝液出现,所以启机前应适当排凝,适当延长 800 r/min 时运转时间,带走余下凝液。

3) 低压开车,一般可以将系统泄压至 0.6 MPa(丙烯、乙烯压缩机),便于启机时负荷控制。

4) 由于材料、温度、工况等原因,压缩机各临界转速会出现偏移,现已验证乙烯压缩机组一阶段临界转速下滑。建议适当调整升速,合理越过临界区。

参考文献:

- [1] 先智伟, 谢 箴. 世界 LNG 装置现状及发展[J]. 天然气与石油, 2005, 23(2): 6-9.
Xian Zhiwei, Xie Zhen. World LNG Industry and Its Development [J]. Natural Gas and Oil, 2005, 23 (2): 6-9.
- [2] 杜 勇. 我国启动大型 LNG 装置国产化研发[J]. 气体分离, 2012, 29(1): 35.
Du Yong. Research and Development of Large LNG Devices Localization in China [J]. Gas Separation, 2012, 29 (1): 35.
- [3] 曹文胜. 我国 LNG 工厂的生产流程介绍[J]. 天然气工业, 2005, 25(5): 100-102.
Cao Wensheng. Work Flow of LNG Plants in China [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25 (5): 100-102.
- [4] 方子严, 石予丰. 化工机器[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1986: 325.
Fang Ziyang, Shi Yufeng. Chemical Engineering Machine [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1986: 325.
- [5] 王保庆. 天然气液化工艺技术比较分析[J]. 天然气工业, 2009, 29(1): 111-113.
Wang Baoqing. LNG Processing Technologies and Comparison Analysis [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29 (1): 111-113.
- [6] 陈赓良. 天然气液化流程的发展及其有效能分析[J]. 天然气与石油, 2013, 31(1): 27-32.
Chen Gengliang. Development of Natural Gas Liquefaction Process and Its Available Energy Analysis [J]. Natural Gas and Oil, 2013, 31 (1): 27-32.
- [7] 周凤山. 高压往复压缩机运行质量分析研究[J]. 石油工业技术监督, 2008, 24(11): 193-195.
Zhou Fengshan. An Analysis and Study on the Operating Quality of Reciprocating Compressors with High Compression Ratio [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2008, 24 (11): 193-195.
- [8] 郭海燕, 张炜森. 珠海 LNG 装置技术分析与运行情况[J]. 石油与天然气化工, 2012, 41(1): 43-47.
Guo Haiyan, Zhang Weisen. Technical Analysis and Operation of Zhuhai LNG Device [J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2012, 41 (1): 43-47.
- [9] 宋昕海, 蔡宪和. 燃气轮机作为天然气液化工厂制冷压缩机驱动设备的评述[J]. 化学工程与装备, 2012, (1): 122-123.
Song Xinhai, Cai Xianhe. Review of Gas Turbine as a Driven Equipment of Refrigeration Compressor in LNG Plant [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2012, (1): 122-123.
- [10] 陈赓良. 天然气液化流程的发展及其有效能分析[J]. 天然气与石油, 2013, 31(1): 27-32.
Chen Gengliang. Development of Natural Gas Liquefaction Process and Its Available Energy Analysis [J]. Natural Gas and Oil, 2013, 31 (1): 27-32.
- [11] 胡建洲. 国产大型 LNG 循环冷剂压缩机试运行浅析[J]. 天然气与石油, 2014, 12(6): 107-108.
Hu Jianzhou. Analyses on Commissioning of Domestic Large Power LNG Refrigerant Recycle Compressor [J]. Natural Gas and Oil, 2014, 12 (6): 107-108.
- [12] 戴成阳, 黑剑平, 马 路, 等. 新疆广汇 LNG 装置试车运行技术分析及改进[J]. 石油与天然气化工, 2009, 38(3): 193-195.
Dai Chengyang, Hei Jianping, Ma Lu, et al. Technical Analysis and Improvement on Commissioning / Operation in Xinjiang Guanghui LNG Plant [J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2009, 38 (3): 193-195.
- [13] 张金权, 畅云峰, 邢子文. 直线冰箱压缩机活塞位移的模糊控制[J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(1): 121-122.
Zhang Jinquan, Chang Yunfeng, Xing Ziwen. Fuzzy Control of Piston Displacement of a Linear Refrigerator Compressor [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2009, 43 (1): 121-122.
- [14] 尚恩清, 董 友. 离心压缩机的振动分析及解决措施[J]. 风机技术, 2011, 23(4): 21-22.
Shang Enqing, Dong You. Vibration Analysis and Solutions of Centrifugal Compressor [J]. Compressor, Blower & Fan Technology, 2011, 23 (4): 21-22.
- [15] 唐忠顺. 一次风机主轴断裂原因分析及处理[J]. 风机技术, 2011, 35(4): 107-109.
Tang Zhongshun. Cause Analysis and Treatment of the Main Reasons for the Failure of the Main Shaft of the Wind Turbine [J]. Compressor, Blower & Fan Technology, 2011, 35 (4): 107-109.
- [16] 刘传乐, 楚武利, 张皓光. 周向槽机匣对压缩机稳定性的影响[J]. 风机技术, 2011, 11(2): 45-46.
Liu Chuanle, Chu Wuli, Zhang Haoguang. The Influence of Circumferential Groove Casing Treatment on Compressor Stability [J]. Compressor, Blower & Fan Technology, 2011, 11 (2): 45-46.
- [17] 徐文渊. 利用输气压差能量开发小型 LNG 生产装置[J]. 天然气技术, 2007, 8(1): 89-91.
Xu Wen yuan. The Development of Small LNG Production Equipment Using the Pressure Difference Energy [J]. Natural Gas Technology, 2007, 8 (1): 89-91.
- [18] 黄志光, 汪荣顺, 石玉美, 等. 小型天然气液化装置的研制现状与前景[J]. 低温工程, 2002, 51(6): 143-144.
Huang Zhiguang, Wang Rongshun, Shi Yumei, et al. Review of Mini-Natural Gas Liquefier [J]. Cryogenics, 2002, 51 (6): 143-144.
- [19] 郑洪涛, 孟 劲. 日本地震对世界和我国液化天然气产业的影响[J]. 中国能源, 2011, 33(6): 116-117.
Zheng Hongtao, Meng Meng. Impact of Japan's Earthquake on the World and Chinese LNG Industry [J]. Energy of China, 2011, 33 (6): 116-117.