

CNG 压缩机节能技术与试验分析

梁 政¹ 李双双¹ 田家林¹ 朱小华² 梅庆刚² 张力文¹

1. 石油天然气装备教育部重点实验室·西南石油大学 2. 中国石油西南油气田公司销售分公司

梁政等. CNG 压缩机节能技术与试验分析. 天然气工业, 2013, 33(2): 95-98.

摘 要 压缩机是 CNG 加气站的主要耗能单元, 但目前我国 CNG 技术起步较晚, 研究不够深入, 导致 CNG 加气站工艺流程不尽合理、CNG 压缩机整体性能不够优良, 系统运行能耗高、效率低。为此, 针对 CNG 压缩机效率低、能耗高的问题, 开展了压缩机能耗影响关键参数分析和节能技术研究。结合 CNG 压缩机工艺提出了对压缩缸级间回气进行冷却、分离的节能技术改造方案, 完成了 L-12/5-250 型 CNG 压缩机第二、四级级间回气管线加装冷却器的节能技术改造, 并进行了系统的现场能耗测试。在不改变冷却系统和 CNG 压缩机系统其他设备及参数的条件下, 对比测试了原料气进气压力分别为 0.35、0.38、0.40 MPa 时关闭和开启第二、四级级间冷却器工况下压缩机的运行参数和能耗数据, 得到对应节能比分别为 3.87%、4.04%、3.96%, 节能效果良好, 验证了该节能改造技术的可行性。

关键词 CNG 压缩机 能耗 节能技术改造 级间冷却 可行性

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2013.02.019

An experimental study of technical measures for energy saving of CNG compressors

Liang Zheng¹, Li Shuangshuang¹, Tian Jialin¹, Zhu Xiaohua², Mei Qinggang², Zhang Liwen¹

(1. Key Laboratory of Oil and Gas Equipment of Ministry of Education // Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China; 2. Natural Gas Sales Division of Southwest Oil & Gasfield Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan 610017, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 2, pp.95-98, 2/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: For lack of intensive studies and advanced techniques, unreasonable flow process and poor performance of CNG compressors have resulted in high energy consumption and low working efficiency, which have restricted the development of CNG filling stations in China. In view of this, this paper aims to study how to improve the efficiency and reduce the energy consumption of a CNG compressor, which is the most energy consumption unit of a CNG filling station. Thus, a study was made on what key parameters have impact on the efficiency of a compressor and what technical measures should be taken. Based on the compressing process, the transformation schemes were presented of cooling and separating the return gas between the stages of pipe loops. In a pilot test performed on an L-12/5-250 compressor, a cooler was installed in the intersage line between the second and the fourth pipe loops and the evaluation test was also made subsequently on the energy saving effect. Only when the intake pressure of inlet feed gas was adjusted at 0.35, 0.38, 0.40 MPa respectively and with no any other changes ever done on the same compressor, the operating parameters and energy consumption data were recorded and compared between two working conditions when the installed cooler was on and off. As a result, the energy consumption of the compressor with the cooler on was saved by 3.87%, 4.04%, 3.96% accordingly, which verifies the feasibility of the above transformation schemes.

Key words: CNG, compressor, energy consumption, energy saving, interstage cooling

基金项目:四川省教育厅成果转化重大培育项目“压缩天然气站高效运行关键基础技术研究”(编号:12ZZ003),石油天然气装备教育部重点实验室资助项目(编号:2010STS005)。

作者简介:梁政, 1960年生, 教授, 博士生导师, 现从事石油天然气装备方面的教学、科研及管理工作。地址: (610500) 四川省成都市新都区西南石油大学。电话: (028) 83037201。E-mail: liangz_2242@126.com

CNG 是一种理想的车用替代燃料,具有成本低、效益高、无污染、使用安全便捷等特点^[1]。由于我国 CNG 技术起步较晚、研究不够深入,导致 CNG 加气站工艺流程不尽合理、CNG 压缩机整体性能不够优良,系统运行能耗高、效率低^[2]。根据 CNG 压缩机工艺流程,分析了影响能耗的关键参数,提出了对压缩缸级间回气冷却、分离的节能技术。同时,结合现场条件完成了 L-12/5-250 型压缩机第二、四级级间回气管线加装冷却器的节能技术改造试验。试验结果表明:①降低了各级压缩缸的进出口温度;②不同原料气进气压力下,CNG 压缩机单耗都有所下降,在 0.35 MPa 的进气压力下得到了 3.87% 的节能效果。试验结果验证了该节能技术的可行性,对 CNG 加气站的节能降耗具有指导意义。

1 CNG 压缩机工艺分析

CNG 加气站一般由天然气预处理、压缩、储存、控制以及 CNG 售气等 5 个系统组成^[3]。CNG 压缩机是压缩系统的核心部分,一般为多级压缩,采用中间冷却与分离方式降温、脱液^[4]。某加气站采用 2 台 L-12/5-250 型压缩机,为 2 列四级压缩(一、三级在竖直列,二、四级在水平列),中间冷却,有油润滑,气缸和中间冷却器为水冷结构,具有运转平稳、排气量大、适用范围广、维护费用低等优势^[5-6]。由于采用了级差式压缩缸结构,同列压缩缸压力差别较大,气体作用力差别较大,为了改善活塞杆的受力状态和减小电机的负荷,在同列压缩缸中间设有平衡腔来平衡活塞力^[7]。L-12/5-250 型压缩机结构如图 1 所示,其额定功率为 126 kW,排气量为 12 m³/min,进气压力为 0.5 MPa,排气压力为 25 MPa^[8]。

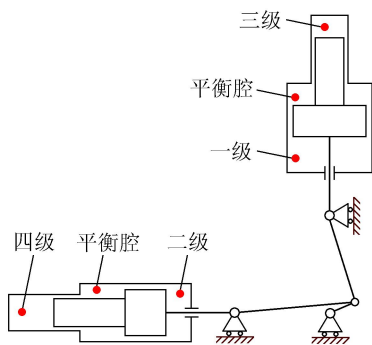


图 1 L-12/5-250 型压缩机结构图

L-12/5-250 型压缩机的工艺流程为:原料气经过预处理,除去气体中的硫和游离水,经 CNG 压缩机逐级压缩,级间压缩气体经过中间冷却器冷却和油水分

离器分离出凝液和润滑油,最终将天然气压缩到 25 MPa,随后进入下一处理环节^[9]。同时,由于 L 型四级压缩机结构布局的关系,为回收平衡腔漏失的天然气,把二、四级压缩缸的第二、四级级间回气(平衡腔漏失的天然气)直接返回到第一级压缩缸再次压缩^[10]。

L-12/5-250 型压缩机第二、四级级间回气未经过冷却和分离而直接与原料气混合后进入一级压缩缸压缩,由于第二、四级级间回气温度高,接近压缩缸出口温度,与原料气混合后必然提高一级进气温度,而且第二、四级级间回气所含的凝液和润滑油等进入一级压缩缸,减少了原料气的吸入量,恶化了各级压缩缸的工况,增加了各级冷却器、分离器的负荷,必然降低压缩机组的效率。

2 CNG 压缩机节能技术

根据压缩机热力学,多级压缩中各级每一理论工作循环的多变压缩功为^[11]:

$$W = Z_1 R_g T_1 = \frac{n}{n-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \frac{Z_1 + Z_2}{2}$$

式中 W 为单位质量天然气的理论压缩功, kJ/kg; Z_1 、 Z_2 为进、排气压力下的气体压缩性系数; R_g 为气体常数, kJ/(kg·K); T_1 为压缩缸进气温度, K; n 为压缩过程多变指数; p_1 、 p_2 为压缩缸进、排气压力, MPa。

由上式可见,压缩机的理论压缩功正比于压缩缸进气温度 T_1 和气体常数 R_g , 这表明进气温度越低, 进气气质越好, 压缩功耗越低^[12]。因此, 提高各级冷却器的冷却效果以降低压缩机各级进气温度、提高各级分离器的分离效果以降低各级压缩缸进气的含液率, 均可达到降低压缩机能耗的目的。

针对 L-12/5-250 型压缩机压缩工艺, 在不改变系统其他条件的前提下, 提出对第二、四级级间回气进行冷却、分离的节能技术(图 2)。此节能技术具有以下优点: ①降低一级压缩缸进气温度, 改善压缩缸的工况; ②降低压缩机进气的含液量, 提高原料气的吸入量

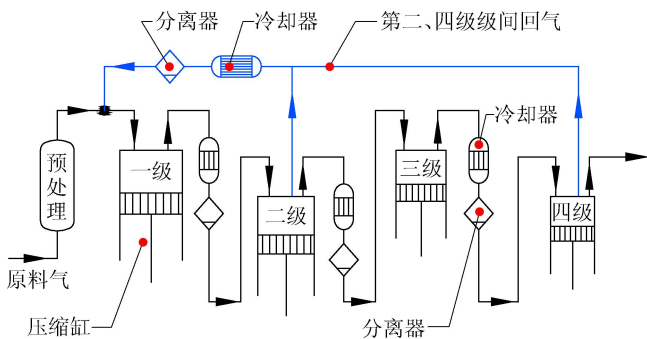


图 2 L-12/5-250 型压缩机节能技术工艺流程图

量,提高压缩缸的工作效率;③提高压缩系统的效率,降低压缩机组的能耗,达到压缩机节能运行的目的。

3 节能技术效果分析

基于上述的节能技术原理,由于现场条件的限制,本次改造仅仅在 L-12/5-250 型压缩机第二、四级级间回气管线上加装了一套冷却器,冷却器换热面积为 1.5,改造前后现场如图 3 所示。为了系统分析节能改造的节能效果,在不改变冷却系统和压缩机系统其他设备参数的条件下,通过系统原有压力、温度、气量、电耗等记录仪表,分别测试了原料气进气压力为 0.35、0.38、0.40 MPa 下关闭和开启冷却器时压缩机的运行参数和能耗,相关数据见表 1、2。

从表 2 的数据可看出,当进气压力为 0.35 MPa 时开启冷却器后压缩机一级进气温度由 35℃降低到 28℃,温度下降了 7℃,其他参数对比分析如图 4 所

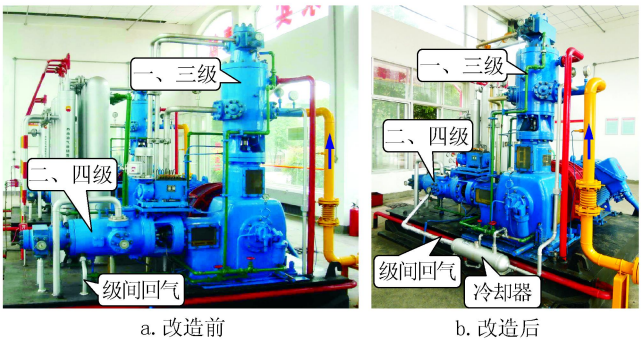


图 3 L-12/5-250 型压缩机节能技术改造前后现场对比图

表 1 测试仪表及精度等级表

设备	电能表	流量计	压力表	温度计
型号	DT862 型	FC-1 型智能 体积修正仪	YN 系列耐震 压力表	双金属 温度计
精度等级	2.0	1.5	1.5	1.5

表 2 压缩机的运行参数和能耗数据表

冷却器状态	压力/MPa		进气温度/℃				电耗/(kW·h)	处理气量/m ³
	原料气	四级排气	一级进气	二级进气	三级进气	四级进气		
关闭	0.35	22.31	35	33	39	33	2 535	11 201
	0.38	22.66	34	32	38	32	2 601	11 544
	0.40	23.01	34	32	40	33	2 448	10 922
开启	0.35	22.27	28	30	34	30	2 785	12 801
	0.38	22.57	29	29	34	31	2 488	11 508
	0.40	22.98	28	29	33	29	2 427	11 275

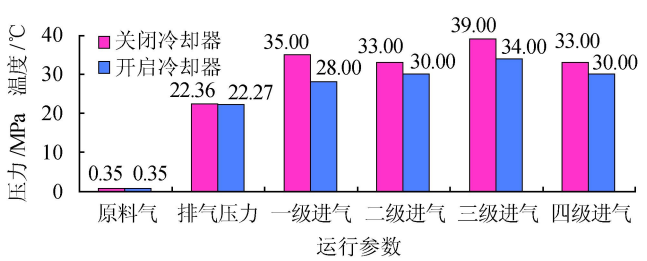


图 4 进气压力为 0.35 MPa 时压缩机工况参数图

示。总之,在不同进气压力下,开启冷却器后压缩机各

级进气温度都有所下降,对第二、四级级间回气的冷却取得了降低压缩机进气温度的效果。

节能考核指标为压缩机压缩单位体积的天然气所需的能耗,即单耗。通过以上能耗数据对比分析得出关闭和开启冷却器时压缩机组在不同进气压力下的单耗,分析该节能技术的节能效果。在原料气进气压力为 0.35、0.38、0.40 MPa 时,分别取得了节能比为 3.87%、4.04%、3.96% 的节能效果。相关工况的节能效果分析结果见表 3,改造前后压缩机单耗对比分析如图 5 所示。

表 3 L-12/5-250 型压缩机不同工况下节能效果分析结果表

原料气压力/MPa	冷却器状态	电耗/(kW·h)	处理气量/m ³	单耗/[$(\text{kW}\cdot\text{h})\cdot(10^4\text{ m}^3)^{-1}$]	节能比
0.35	关闭	2 535	11 201	2 263.19	3.87%
	开启	2 785	12 801	2 175.61	
0.38	关闭	2 601	11 544	2 253.12	4.04%
	开启	2 488	11 508	2 161.97	
0.4	关闭	2 448	10 922	2 241.35	3.96%
	开启	2 427	11 275	2 152.55	

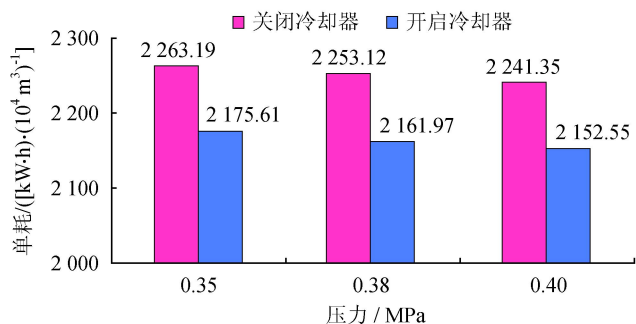


图5 不同进气压力下关闭、开启冷却器 L-12/5-250 型压缩机单耗示意图

4 结论

1)在分析现有 CNG 压缩机工艺与理论的基础上,提出了通过降低压缩机级间温度与含液量来提高压缩机效率,达到了节能降耗的目的。

2)结合现场条件,对 L-12/5-250 型压缩机第二、四级级间回气管上加装冷却器后,在 0.35、0.38、0.40 MPa 3 种进气压力下取得的对应节能比分别为 3.87%、4.04%、3.96%,验证了该节能技术的可行性。

3)如果能够通过技术改造,在不增加循环水量的前提下,进一步改善冷却器的冷却效果、提高各级分离器分离效率,降低压缩机各级进气温度和各级气体的含液率,对提高压缩机效率、降低压缩机能耗、实现压缩机节能经济运行具有重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 中国工业气体工业协会.中国工业气体大全[M].大连:大连理工大学出版社,2008.
China Industrial Gases Industry Association. Encyclopedia of China Industrial Gases[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2008.
- [2] 朱小华,王龙龙.CNG 压缩机的能耗与节能分析[J].天然气技术,2008,2(4):56-58.
ZHU Xiaohua, WANG Longlong. Energy consumption and saving analysis of CNG compressor[J]. Natural Gas Technology, 2008, 2(4): 56-58.
- [3] 康荣学,吴宗之,桑海泉,等.CNG 加气站危险性分析及事故预防措施研究[J].中国安全生产科学技术,2009,5(4):19-22.
KANG Rongxue, WU Zongzhi, SANG Haiquan, et al. Hazard analysis and accident prevention measure study on CNG filling station[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(4): 19-22.
- [4] 张学学.热工基础[M].北京:高等教育出版社,2006:66-67.
ZHANG Xuexue. Basis of thermal [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 66-67.
- [5] 王飞鹰,陈本刚,王劲松,等.DF-5.1/2.5-250 型压缩机平衡管漏失天然气回收技术改造研究[J].压缩机技术,2010(4):42-45.
WANG Feiying, CHEN Bengang, WANG Jinsong, et al. Research on reconstructed technique of recycling natural gas leaking from balancing pipe of DF-5.1/2.5-250 type compressor[J]. Compressor Technology, 2010(4): 42-45.
- [6] 祖因希,祖建国.汽车加油加气站安全技术与管理[M].北京:化学工业出版社,2005:281.
ZU Yinxi, ZU Jianguo. Gas station security technology and management[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 281.
- [7] 姬小林,朱迪有,赵东升,等.5L-16/50 型空压机的技术改造[J].压缩机技术,2004(3):32-33.
JI Xiaolin, ZHU Diyou, ZHAO Dongsheng, et al. Reconstructed technique of 5L-16/50 type air compressor[J]. Compressor Technology, 2004(3): 32-33.
- [8] 郁永章,高其烈.天然气汽车加气站设备与运行[M].北京:中国石化出版社,2006:83.
YU Yongzhang, GAO Qilie. Natural gas vehicles gas station equipment and operation [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2006: 83.
- [9] 石宝珩.天然气汽车技术[M].北京:石油工业出版社,2000:36-37.
SHI Baoheng. Natural gas vehicles technique[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 36-37.
- [10] 王义官,靳锡光,钟萃玲.一种用于压缩机的级差式活塞:中国,200920176409.3[P].2010-05-19.
WANG Yiguan, JIN Xiguang, Zhong Cuiling. One differential piston used in compressor: Chinese Patent, CN 200920176409.3[P]. 2010-05-19.
- [11] 陈全树.压缩机级间冷却对能耗及脱水效果的影响[J].煤气与热力,2010,30(7):B01-B03.
CHEN Quanshu. Influence of compressor interstage cooling on energy consumption and dehydration efficiency[J]. Gas & Heat, 2010, 30(7): B01-B03.
- [12] 王玮,曲晓杰.天然气往复压缩机节能运行分析[J].压缩机技术,2011(6):35-36.
WANG Wei, QU Xiaojie. Analysis of energy-saving operation of natural gas reciprocating compressor[J]. Compressor Technology, 2011(6): 35-36.