

压缩机的节能控制策略

祝雪妹¹, 邵 威², 朱 旭³, 魏建华³

(1 南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042

2 浙江大学 城市学院, 浙江 杭州 310015

3 浙江大学 机械能源工程学院, 浙江 杭州 310027)

[摘要] 随着人们对节能降耗的日益关注, 压缩机的节能控制技术研究成了一个热点. 在回顾了压缩机控制方法的基础上, 针对大型活塞式压缩机, 提出了时间主动配流控制系统的压缩机节能控制方法, 并进一步提出了实现该控制方法的硬件关键技术和控制理论的关键问题及解决方法, 最后给出了该方法的试验运行效果.

[关键词] 压缩机, 节能, 时间主动, 控制策略

[中图分类号] TH 45 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2009)02-0001-04

An Energy Saving Control Strategy for Compressors

Zhu Xuemei¹, Shao Wei², Zhu Xu³, Wei Jianhua³

(1 School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China

2 City College, Zhejiang University, Hangzhou 310015, China

3 College of Mechanical and Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract With people's increasing attention to energy saving and cost reducing, the energy saving control of compressors has become a hot topic of research. In this paper, the time initiative flow distribution energy saving control strategy is proposed for the large scale piston compressor based on the survey of the control methods of compressors. Furthermore, the implementations of the key techniques in hardware and control theory are presented. The test results are given in the end.

Key words compressor, energy saving, time initiative, control strategy

大型压缩机广泛应用于冶金、重型机械、矿山、石油化工等各个领域, 是企业重要生产设备, 在企业的生产经营活动中扮演着重要的角色, 同时它又是高能耗设备. 在我国工业能源的消耗结构中, 大型压缩机是一个重要组成部分, 而且随着国民经济的快速发展, 其年能源消耗量还在快速增加. 据统计, “十五”期间, 我国仅在石油和化肥行业就增加氢压缩机、富气压缩机等大功率压缩机约 650 台, 且要求每年更新 160 台. 因此, 有关压缩机的运行、控制、故障诊断以及控制的研究得到了广泛关注. 通过技术改造和创新, 提高压缩机运行的可靠、安全、平稳和节能降耗是压缩机研究的热点.

赵远扬等^[1]综述了压缩机技术的发展现状及其趋势, 指出了在石化领域往复式压缩机主要是向大容量、高压、低噪声、高效率、高可靠性等方向发展; 不断开发在变工况条件下运行的新型气阀, 提高气阀寿命; 在产品设计上, 应用热力学、动力学理论, 通过综合模拟预测压缩机在实际工况下的性能; 强化压缩机的机电一体化, 采用计算机自动控制, 实现优化节能运行和联机运行. 这方面的工作也得到了很多企业的重视, 左华等^[2,3]实现了 PLC 在大型活塞式压缩机中的控制和节能的应用. 郑家俊^[4]进行了压缩机节电节能的理论分析. 文献 [5-7] 介绍了压缩机节能的各种方法.

通常压缩机用户是根据最大耗气量来选用压缩机, 然后在实际的使用过程中, 由于工艺流程的变化, 原料种类的变更以及市场需求的变化, 用户对耗气量的需求是变化的. 在现今市场经济的大背景下, 若能

收稿日期: 2008-12-08

基金项目: 国家自然科学基金 (50575201) 和留学回国人员科技活动项目择优资助项目.

通讯联系人: 祝雪妹, 教授, 博士, 研究方向: 先进控制理论及其在流程工业中的应用. E-mail: zhuxuemei@njnu.edu.cn

根据用户对用气量的需要,对这些大功率的压缩机实现流量的无级连续调节,将可以产生十分巨大的节能效果和经济效益。

在压缩机领域,传统输出流量调节方法有:变频调速调节、旁通调节、多缸分级调节等,它们各有如下特点^[8-9]:

(a)变频调速调节是通过改变压缩机的转速来调节压缩机输出流量,这种调节方式的优点是输出流量可以连续调节,比功率消耗小,而且有很宽的调节范围。但由于大功率、高压变频器、变频电机价格昂贵,且需要大量的维护、维修工作,同时压缩机在低速运行时,会产生较大的流量脉动,因此限制其只能应用于中小功率、转速较高的场合。此外,变频调速调节在调速过程中由于主轴转速的变化可能会使压缩机在工作时产生系统共振,导致阀门颤振、部件磨损大等问题。

(b)旁通调节实际上是一种溢流调节方式,这种调节方式结构简单,配上自动控制系统也可以达到较高调节精度。但由于多余流量的压缩功全部被浪费掉了,所以这种调节方式实际不能起到节能效果,经济性较差,只能适用于偶尔调节或调节幅度小的场合。

(c)多缸分级调节是把压缩机的每个压缩缸都通过进气控制阀与输入管路相连,当控制阀打开时,该阀所在的缸直接与输入管路相通,因此当活塞压缩行程,流体都返回到输入管路中,此时这个压缩缸的输出流量为 Q 。当进气控制阀关闭时,这个缸可以输出 100% 的流量。这样通过调节这些控制阀门开关,可以控制有效工作缸的数量,达到输出流量分级可调的效果,但只能应用于输出流量调节精度不高的场合。

由于上述几种传统的流量调节方法均存在着一些缺点,因此,人们提出了新的高效、可靠的压缩机节能控制方法,例如:时间主动型流量可控系统。该方法的特点是根据用气量的多少延迟吸气阀关闭时间,使气缸中的部分气体返回到进气管,既达到了气量调节目的,又大大地降低了能耗。若这些大功率压缩机上实现流量输出无级可调,将产生十分巨大的节能效益。同时,随着我国社会的发展,对柴油机、汽油机等各类发动机的需求也在迅速增大,提高内燃机的工作效率、减小污染排放可以产生非常巨大的节能效益和环保效益。

从上个世纪 90 年代国内外开始研究此类的无级气量调节方法^[10-13],目前国内与国外差距较大。若能在此领域开展研究,不仅可以丰富和发展国内关于发动机控制技术的研究成果,同时可创造巨大的经济效益。

本文将介绍时间配流控制系统在活塞式压缩机节能操作中的应用以及实现这样的流量无级调节所涉及的控制方面需要考虑的问题,最后给出时间主动配流控制策略的节能试验结果。

1 时间配流控制系统

配流系统是压缩机、泵、发动机等各种需要输入流量快速可控的机械装置的核心。这类机械在运行过程中都需要通过进气控制阀定时把工作介质(气体、燃料等)输入工作缸中。因此进气控制阀开关动作时刻的变化对该类机械装置的节能与环保性能有着决定性的影响。

在发动机领域,传统的四冲程发动机配流系统的进气控制阀的开关时刻是固定的。实际上在不同的运行条件下,发动机对其要求是不同的,固定的开关时刻是对这些要求的一种折衷。随着对低能耗和低排放要求的提高,人们开始考虑改进其配流方法。20 世纪 80 年代末,大量以改进凸轮轴为基础的配流方案被提出。在发动机的某些运行工况下,这些方案优化了发动机的性能,但机械装置的不可调节性限制了这种机械凸轮配流系统不可能随着发动机工况的变化无级可调。若能使配流系统的进气控制阀开关动作时刻无级可调,就可以实现发动机降低能耗、增加扭矩、提高输出功率和怠速稳定性、减少磨损和冲击噪声,同时也可以简化发动机结构,降低发动机的加工成本和重量,实现发动机的制动性能。

在多缸分级调节的基础上,若能使配流系统的进气控制阀开关动作时刻无级可调,如图 1 所示。压缩机在吸气时,进气门打开,气体被吸入压缩缸。进入压缩阶段后,进气阀继续保持打开状态,吸入的气体返回到进气管路,到一定的压缩行程后,配流系统根据负载需要发出的压缩机的流量指令关闭进气门,进入有效压缩行程。通过调节进气门的关闭时间,可以控制有效得压缩行程,从而调节压缩机的输出流量。采用这种调节方式,既可以实现压缩机每个压缩缸输出流量的无级可调,又可以避免变频调速调节的系统共振、低转速流量脉动严重等问题,同时使压缩机实现根据输出流量大小作有效压缩功的节能效果。

由以上的分析可知,配流系统进气控制阀开关动作时刻的变化对压缩机、泵、发动机这些机械装置的节能与环保性能有着决定性的影响.

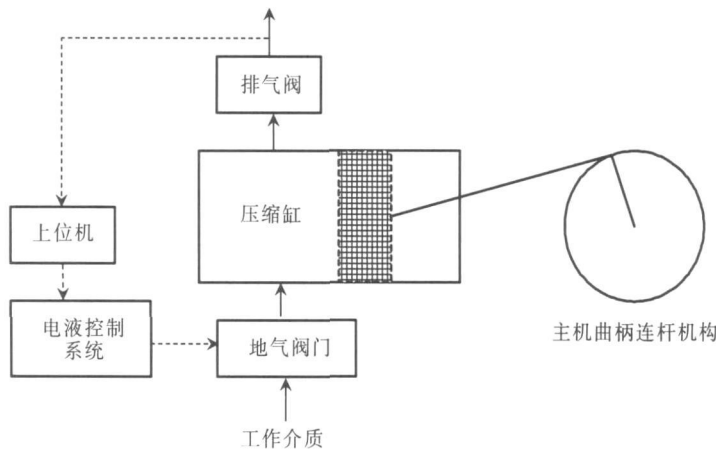


图 1 配流控制系统图

Fig.1 Flow distribution control system

1. 1 配流控制系统的实现

要实现这样的压缩机调节方法,必须解决控制进气阀动作的电液执行器和与之相配套的相关控制技术.利用先进控制理论,优化控制进气阀的关闭延迟时间大小、进气阀动作滞后的补偿等,从控制理论的角度来更好地实现无级气量调节的问题,以及与这样的调节方法相配套的故障检测和诊断系统.这些研究在国内几乎是空白.需进行如下几方面的研究工作:

(1) 进气阀延迟关闭时间的在线计算

根据工艺要求,在线实时给出压缩机进气阀的延迟关闭时间.

(2)进气阀动作滞后时间的估计和补偿

由于执行器存在动作滞后,而且动作滞后时间会随着操作条件和主机的工况信号(主轴转速、气缸压力,油温)等情况的变化而变化,必须根据主机的各种工况,精确估计动作滞后时间,并且根据滞后时间大小进行补偿.

(3)故障检测和诊断系统

该控制系统需要长期连续工作,整个系统直接影响工业过程的正常生产,因此除了高可靠性的执行系统以外,同时必须要求在系统出现异常情况或故障时,能及时地诊断出故障原因,并且发出报警信号.

1. 2 系统的节能效果

为了考核本节能控制系统的效果,在某压缩机上进行节能试验运行,在基本保持压缩机进、出口压力稳定的情况下,改变压缩机排气量的大小,表 1 为试验运行的测试结果.

表 1 时间配流系统的节能效果测试结果

Table 1 Energy saving test results of time initiative flow distribution system

一级进气压力 /kg(G)	二级排气压力 /kg(G)	排气量 /(NM ³ /h)	电流 /A	排气量下降率 %	电流下降率 %
0.87	6.97	146.89	55	100	100
0.87	6.99	128.52	45	87.49	81.81
0.87	6.97	124.47	43	84.73	78.18
0.87	6.99	68.23	38	46.45	69.09
0.87	7.01	53.08	34	35.32	61.82

从表 1 中可以看出:压缩机排气量降低的同时,电动机的耗电量也同时下降,充分体现了它的节能效果.

2 结 语

随着对节能降耗的重视,压缩机这样高耗能设备的节能操作和控制必将得到广泛关注,本文给出时间主动配流系统的压缩机节能控制方式,试验验证了方法的有效性.

[参考文献] (References)

- [1] 赵远扬, 李连生, 束鹏程. 压缩机的技术现状及其发展趋势 [J]. 通用机械, 2005(9): 36-37.
Zhao Yuanyang Li Liansheng Shu Pengcheng Technical situation and development trend of compressor [J]. General Machinery, 2005(9): 36-37. (in Chinese)
- [2] 左华, 孙晓霞. PLC 在大型活塞式空气压缩机中的应用 [J]. 压缩机技术, 2005(3): 44-46
Zuo Hua Sun Xiaoxia Application of PLC to large scale piston compressors [J]. Compressor Technology, 2005(3): 44-46 (in Chinese)
- [3] 冯毅萍. PLC 应用于大功率活塞压缩机的节能改造 [J]. 自动化技术及应用, 2001(2): 22-23
Feng Yiping Application of PLC to high power piston compressor for energy saving [J]. Techniques of Automation and Applications, 2001(2): 22-23 (in Chinese)
- [4] 郑家俊. 活塞式压缩机运行的节电理论与实践 [J]. 节能, 1999(3): 17-19
Zhen Jiajun Electricity saving theory and practice for piston compressor operation [J]. Energy Conservation, 1999(3): 17-19 (in Chinese)
- [5] 赵国山, 仇性启, 宋世伟. 活塞式压缩机节能研究概述 [J]. 通用机械, 2006(11): 72-76
Zhao Guoshan Qiu Xingqi Song Shiwei A brief introduction of piston compressor energy saving [J]. General Machinery, 2006(11): 72-76 (in Chinese)
- [6] 王庆丰, 李国安, 郭振. 关于往复压缩机节能途径的探讨 [J]. 节能技术, 2005, 23(6): 562-564
Wang Qingfeng Li Guoan Guo Zhen Energy conservation ways of reciprocating compressor [J]. Energy Conservation Technology, 2005, 23(6): 562-564 (in Chinese)
- [7] 樊县圃. 大型压缩机节能智能控制 [J]. 云南化工, 2000, 27(5): 31-33
Fan Xianpu Intellect control of energy-saving in large scale compressor [J]. Yunnan Chemical Technology, 2000, 27(5): 31-33 (in Chinese)
- [8] 郁永章. 活塞压缩机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1982
Yu Yongzhang Piston Compressor [M]. Beijing: China Machine Press, 1982 (in Chinese)
- [9] Leonessa A, Haddad W M, Li Hua. Globally stabilizing switching controllers for a centrifugal compressor model with spool dynamics [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2000, 8(3): 474-482
- [10] 刘建忠, 程晓燕, 赵保兴. HydroCOM 系统在往复压缩机上的应用 [J]. 节能技术, 2006, 24(3): 245-247.
Liu Jianzhong Cheng Xiaoyan Zhao Baoxing Application of HydroCOM system in reciprocating compressor [J]. Energy Conservation Technology, 2006, 24(3): 245-247. (in Chinese)
- [11] 唐汇云, 任智. HydroCOM 调节系统在新氢压缩机上的应用 [J]. 石油化工设备技术, 2006, 27(1): 36-44
Tang Huiyun Ren Zhi Application of HydroCOM regulation system in fresh Hydrogen booster [J]. Petro-Chemical Equipment Technology, 2006, 27(1): 36-44 (in Chinese)
- [12] 吴荣仁, 牛卫飞. 活塞式压缩机顶开吸气阀调节排气量的分析 [J]. 流体机械, 2003, 31(7): 12-15
Wu Rongren Niu Weifei Analysis on air-regulation for reciprocating compressor with pressing-off inlet valve [J]. Fluid Machinery, 2003, 31(7): 12-15. (in Chinese)
- [13] 牛卫飞. 活塞式压缩机气量无级调节系统的设计与研究 [D]. 杭州: 浙江大学材料与化学工程学院, 2003
Niu Weifei Research and design for stepless air-regulating system of a piston compressor [D]. Hangzhou: College of Materials Science and Chemical Engineering, Zhejiang University, 2003. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]