

# 余隙无级调节气量节能技术在重整装置循环氢压缩机上的应用

李嘉骊<sup>1</sup>, 王旭忠<sup>1</sup>, 顾兴坤<sup>2\*</sup>

(1. 山东滨化滨阳燃化有限公司, 山东 滨州 251800;

2. 山东易阳石化节能装备有限公司, 山东 济南 250101)

**摘要:**针对某重整装置的关键设备往复循环氢压缩机 C-201A/B, 采用余隙无级调节气量节能技术进行了节能改造, 获得了较好的节能效果, 在余隙负荷为 65% 的情况下, 两机年节约用电成本 104 万元左右、两机年节能折合 507.7 t 标煤、二氧化碳减排量达 1 340.4 t。

**关键词:**循环氢压缩机; 余隙无级调节系统; 节能技术

中图分类号: TE08

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2019)03-0206-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2019.03.047

## Clearance stepless regulating energy-saving technology for circulating hydrogen compressor in reforming unit

LI Jia-li<sup>1</sup>, WANG Xu-zhong<sup>1</sup>, GU Xing-kun<sup>2\*</sup>

(1. Shandong Bin Yang Gasification Co., Ltd., Binzhou 251800, China;

2. Shandong Yiyang Petrochemical Energy-saving Equipment Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** The clearance stepless regulating gas flow energy-saving technology system is applied to renovate C-201A/B that are two circulating hydrogen compressors, key equipment in a certain reforming unit. The renovated compressors achieve good energy-saving effects through the practical operation. Under 65% of clearance load, the annual cost of electricity is saved by RMB 1.04 million, translating to cutting down 507.7 TCE annually, or reducing CO<sub>2</sub> emission by 1 340.4 tons per year.

**Key words:** circulating hydrogen compressor; clearance stepless regulating system; energy-saving technology

目前石油化工行业平均能效与国际先进水平相比, 普遍存在 10%~30% 的差距, 节能潜力巨大。往复式压缩机是过程装置的关键设备, 在石化行业有着广泛应用, 承担压缩并输送工艺介质的任务, 需消耗大量的电能, 约占整个装置耗电量的 30% 以上。装置对气量的需求随着工艺参数的变化而变化, 因此要求压缩机的排气量能在较大范围内实现无级连续调节<sup>[1-2]</sup>。

往复式压缩机排气量的调节手段直接影响压缩机的功耗。传统较常用的气量调节方式主要有旁路回流调节、卸荷调节以及固定余隙调节等方法。旁路回流调节是使多余气体经旁路返回压缩机进气腔, 目前国内石油化工装置的往复式压缩机普遍采用此方法, 该方法操作简单, 但压缩机仍满负荷工作, 不但不节能而且还需要消耗大量的循环冷却水。卸荷调节是使气缸进气阀处于卸荷状态, 从而实现流量调节, 如已有一定市场规模的部分行程顶开进

气阀调节系统, 可以实现气量 10%~100% 范围内的无级调节<sup>[2-3]</sup>, 但该系统仍有 5% 左右的气体阻力损失, 因此节能效率在 95% 以下, 且该系统极为复杂、控制精度要求高、操作复杂、气阀维修更换频繁、后期运行和维护费用大、造价高、投资回收期长等。而固定余隙调节装置是粗放型的调节方式, 调节范围较窄、效率低下、调节成本高、节能效果一般<sup>[4-6]</sup>。

在应用中, 往复式压缩机实际生产负荷很少低于设计负荷值 60%。山东易阳石化节能装备有限公司为山东滨化滨阳燃化有限公司重整装置循环氢压缩机 C-201A/B 开发的余隙无级调节气量节能装备系统 YY-EEA-ACCV2.0, 是利用余隙容积腔内气体膨胀和被压缩原理, 改变气缸的余隙容积, 从而改变压缩机的吸气量, 进而实现节能降耗的目的, 实现了压缩机排气量在较大范围内的无级连续调节, 无级调节范围达到了 50%~100%, 实现了压缩机排气量与压缩机功耗的正比例关系, 节能效果显著, 操

收稿日期: 2018-08-10; 修回日期: 2019-01-08

作者简介: 李嘉骊 (1972-), 男, 本科, 工程师, 主要从事石油炼制及化学工程等相关工作, 0543-2206006, bhlijiali@126.com; 顾兴坤 (1964-), 男, 本科, 工程师, 主要从事往复式压缩机余隙无级调节气量节能技术的研究与开发工作, 通讯联系人, yiyang01@yiyangshihua.com。

控简单易行,运行和维护成本极低,工作稳定可靠,安全性高,降低了压缩机原有振动和噪音,投资低、回收期短,可实现自动实时控制,达到了降低运行成本、节能降耗改造目的<sup>[7-8]</sup>。

## 1 循环氢压缩机 C-201A/B 节能改造背景

循环氢压缩机 C-201A/B(型号 2D12-65.4/0.2-6.5)是山东滨化滨阳燃化有限公司重整装置的关键设备,作用是把装置所需氢气通过循环增压的方式输送到氢气管网中。该装置循环氢压缩机共 3 台,分别是 C-201A/B/C,正常以开二备一的方式运行。如果开 1 台,用氢量不够;如果开 2 台,用氢量就富裕很多,压缩机无用功较高,能耗浪费严重。另外,开二备一时,因 2 台压缩机并网运行,而后续装置需气量又远低于 2 台压缩机的排气量,导致管网中氢气压力控制难度加大,平衡管网压力调整过程中也易引起压缩机的振动和噪音波动,系统安全生产受到影响。压缩机这种实际做功与实际所需负荷的不匹配降低了压缩机的实际效率,增加了能耗和运行成本。为保证装置生产既安全平稳运行又节能降耗,在循环氢压缩机 C-201A/B 上采用山东易阳石化节能装备有限公司的余隙无级调节气量节能技术进行了节能改造,即对压缩机机 C-201A 和 C-201B 各自增加 1 套余隙无级调节气量节能系统,实现气量 50%~100%的无级连续调节<sup>[8-9]</sup>。

循环氢压缩机 C-201A 和 C-201B 节能改造前后的主要工艺参数见表 1 和表 2。

表 1 循环氢压缩机 C201A 主要工艺参数

项目	设计参数	节能改造前 运行参数	节能改造后 运行参数
入口压力/MPa	1.2	1.19	1.19
出口压力/MPa	1.8	1.6	1.6
入口流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	51	51	51
轴功率/kW	540	449	327
返回量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )		10000	0

表 2 循环氢压缩机 C1001B 主要工艺参数

项目	设计参数	节能改造前 运行参数	节能改造后 运行参数
入口压力/MPa	1.2	1.2	1.2
出口压力/MPa	1.8	1.52	1.52
入口流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	51	51	51
轴功率/kW	540	377	236
返回量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )		14000	0

## 2 余隙无级调节气量节能系统构成

往复式压缩机余隙无级调节气量节能装备系统 YY-EEA-ACCV2.0 是将原始固定余隙改变成连续无级可调的余隙容积,主要改造措施是将压缩机气缸盖更换为余隙无级调节气量节能系统的执行机构,执行机构的可调余隙缸体与压缩机气缸直接相通并形成可调余隙容积腔,该余隙容积腔不但气体

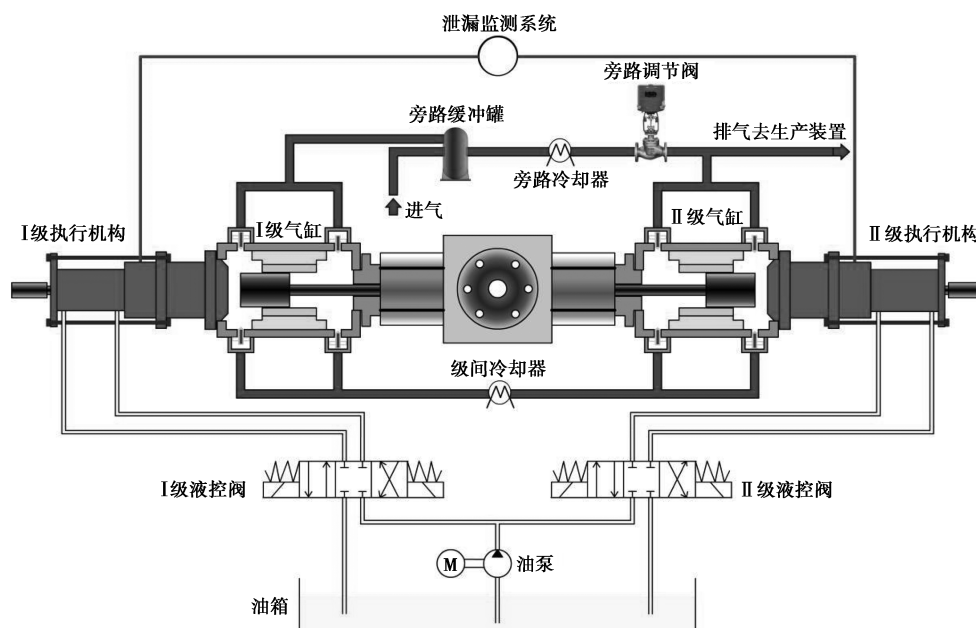


图 1 余隙无级调节气量节能系统局部示意图

阻力损失小,而且还改善了压缩机往复件的运行环境,降低了压缩机活塞力。该节能系统主要包括 4 个子系统,分别是执行系统、液控系统、电仪自控系统和泄漏监测系统(如图 1 所示)<sup>[9-10]</sup>。

执行系统采用液压驱动方式,包括余隙腔、液压驱动腔、泄漏监测腔和冷却腔等,其中余隙腔由余隙活塞、余隙缸筒、活塞杆等组成;液压驱动腔由油活塞、液压缸筒、油缸端盖和中间端盖等组成;泄漏监测腔由余隙缸筒、余隙活塞和监测腔筒等组成;冷却腔由中间端盖、余隙缸筒、监测腔筒和余隙活塞等组成<sup>[11-12]</sup>。

液控系统主要由油箱、油泵、储能器、电机、换向阀组、电磁阀组等组成<sup>[13-14]</sup>。

电仪自控系统由西门子 S7-200 可编程逻辑控制器、AD/DA 模块、位移传感器、控制逻辑程序和电控箱、仪控箱等组成。它可以根据主控变量或通过手动给定参数调节控制液压油压力,进而调节余隙活塞位置,即调节余隙容积大小,最终实现压缩机排气量的无级连续控制<sup>[15-16]</sup>。

泄漏监测系统的功能是监测余隙活塞密封组件是否失效,以确保压缩机整套系统安全可靠地运行,其组成包括泄漏监测腔、泄漏监测装置和低压瓦斯排放罐等<sup>[17]</sup>。

### 3 余隙无级调节气量系统节能效果

为验证该系统的节能效果,专门针对所改造的余隙无级调节气量节能系统进行了节能效果标定和验证。

#### 3.1 节能效果标定

在装置进料量、反应条件和全系统压力稳定的情况下,将循环氢压缩机 C-201A 和 C-201B 的排气量负荷分别按照节能改造前 A 机和 B 机均为 100% 满负荷运行,以标定各机日用电量,节能标定时间为 7 d,标定参数见表 3;节能改造后 A 机排气量负荷调减至 70%,B 机排气量负荷调减至 80% 运行,以标定各机日用电量,节能标定时间为 7 d,标定参数见表 4;为保证节能标定数据的合理性和准确性,在两机循环氢量相同情况下,将两机排气量负荷均调减至 65% 再进行为期 7 d 的节能数据标定,标定参数见表 5。在标定期间,同时考察机组各运行参数变化、机组振动和噪音变化、余隙无级调节系统的稳定性和操控性,并与部分行程压开进气阀系统的使用性能进行对比。

表 3 循环氢压缩机 C-201A/B 节能改造前的标定参数

日期	处理量/ (t·h <sup>-1</sup> )	循环氢量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	A 机日用电量/ kWh	B 机日用电量/ kWh
7 月 1 日	25	34000	9609.00	7947.50
7 月 2 日	25	34000	9839.00	8180.00
7 月 3 日	25	34000	9746.00	8088.50
7 月 4 日	25	34000	9902.00	8236.00
7 月 5 日	25	34000	9949.00	8270.80
7 月 6 日	25	34000	9711.20	8420.20
7 月 7 日	25	34000	9061.90	8336.00
平均值			9688.30	8211.29

注:A 机负荷 100%,B 机负荷 100%。

表 4 循环氢压缩机 C-201A/B 余隙无级调节气量节能改造后的标定参数(一)

日期	处理量/ (t·h <sup>-1</sup> )	循环氢量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	A 机日用电量/ kWh	B 机日用电量/ kWh
7 月 11 日	25	30000	8486.00	6236.00
7 月 12 日	25	30000	8733.00	6198.00
7 月 13 日	25	30000	9157.00	6197.00
7 月 14 日	25	30000	8773.00	6230.00
7 月 15 日	25	30000	8672.00	6264.00
7 月 16 日	25	30000	8756.00	6285.00
7 月 17 日	25	30000	9169.00	6277.00
平均值			8820.86	6241.00

注:A 机负荷 70%,B 机负荷 80%。

表 5 循环氢压缩机 C-201A/B 余隙无级调节气量节能改造后的标定参数(二)

日期	处理量/ (t·h <sup>-1</sup> )	循环氢量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	A 机日用电量/ kWh	B 机日用电量/ kWh
9 月 24 日	30	28000	6725.00	6895.00
9 月 25 日	30	28000	6518.00	6910.70
9 月 26 日	30	28000	6473.00	6845.30
9 月 27 日	30	28000	6448.00	6907.50
9 月 28 日	30	28000	6477.00	6917.00
9 月 29 日	30	28000	6562.00	6834.00
9 月 30 日	30	28000	6498.00	6926.50
平均值			6528.71	6890.86

注:A 机负荷 65%,B 机负荷 65%。

#### 3.2 节能效益和社会效益计算

根据表 3 和表 5 标定数据,重整循环氢压缩机 C-201A/B 余隙无级调节气量节能改造后的年节电量(A 机负荷 65%,B 机负荷 65%,年运行 8 000 h,电费 0.7 元/kWh)等的计算如下:C-201A 压缩机

年节电量 1 053 196.67 kWh; C-201B 压缩机年节电量 440 143.33 kWh; A、B 两机年节电量合计 1 493 340 kWh; A、B 两机年节省电费合计 104 万元; A、B 两机年节能量合计 507.7 t 标煤; A、B 两机年二氧化碳减排量合计 1 340.4 t。

从以上计算数据看,重整循环氢压缩机 C-201A/B 进行余隙无级调节气量系统改造后,节能效果明显,经济价值可观,社会效益突出。当两机排气量负荷均为 65% 时,两机年节电量合计 149.334 万 kWh,按照年运行 8 000 h、电费 0.7 元/kWh 计算,两机年节约电费 104 万元左右;两机年节能量约 507.7 t 标煤,两机年二氧化碳减排量达 1 340.4 t。

#### 4 节能技术性能特点

该节能技术在重整循环氢压缩机 C-201A/B 上 3 年多的应用实践中体现出的主要性能特点有:①压缩机负荷调节范围适宜,可在 50%~100% 负荷范围内实现无级连续调节,气量调节灵活可靠;②节能效果显著,经济效益可观,节能减排的社会效益贡献突出;③自身能耗远低于部分行程压开进气阀调节技术;④节能效率高于部分行程压开进气阀调节技术 5%;⑤系统投用以来,压缩机运行稳定,原有振动和噪音得到了较好的控制和改善并有明显下降;⑥优化了压缩机往复件的工作环境,减轻了磨损程度,延长了压缩机和主电机的使用寿命,降低了维护费用;⑦年运行维护费用极低,材料维护费用每年不到 1 万元,近于免维护,远低于部分行程压开进气阀调节技术;⑧压缩机的启停、加载、减载或切机均平稳、无冲击;⑨多种操作模式控制技术实现了不停机维修余隙调节系统,好于部分行程压开进气阀调节技术;⑩余隙无级调节系统参数设置灵活、操控简单、高效;⑪结构简单、安装施工简便、安全可靠性强;⑫性价比高、投资回收期较短。

#### 5 结论

余隙无级调节气量节能技术系统投用后,循环氢压缩机 C-201A/B 负荷可以在 50%~100% 之间实现无级连续调节,避免了原系统频繁调整旁路调节阀带来的管网压力波动大、输出气量不稳定等弊端,优化了系统操作,对于压缩机排气量的控制更趋合理,实现了压缩机的增、减负荷和启、停的平稳操作或切换,降低了压缩机原有的振动和噪音,输出气量稳定,改善了压缩机运行环境,降低了压缩机往复件的摩擦力,延长了往复件的使用寿命,减少了运行

和维护费用等,经标定各项状态参数更稳定。

余隙无级调节气量节能技术在循环氢压缩机 C-201A/B 上的应用,节能效果显著,社会效益突出,估算两机年节约电费约 104 万元,两机年节能量约 507.7 t 标煤,两机年二氧化碳减排量达 1 340.4 t。该技术同时可降低级间冷却器的负荷,节约大量冷却水的消耗,达到了技术改造的预期目标和要求。该技术具有较好的发展前景,应予积极推广。

#### 参考文献

- [1] 李寿生.深入实施能源节约和低碳发展战略 加快形成石油和化工行业绿色发展方式[J].化工管理,2016,(25):17-21.
- [2] 吴荣仁,金江明,洪伟荣.往复式压缩机气量无级调节系统的工业应用[EB/OL].北京:中国科技论文在线.[2007-12-19].http://www.paper.edu.cn.
- [3] Steinmck F, Ottitseh A Oberhuber. Better reciprocating compressor capacity control[J].Hydrocarbon Processing,1997,(2):79-83.
- [4] 郁永章,姜培正,孙嗣莹.压缩机工程手册[M].北京:中国石化出版社,2012.
- [5] Paul C Hanlon.压缩机手册[M].郝点,魏统胜,胡丹梅,等,译.北京:中国石化出版社,2003.
- [6] Dwayne A Hickman, John Slupsky. Development, field testing and implementation of automated hydraulically controlled, variable volume loading systems for reciprocating compressors[C]. Alberta: Proceeding of the 2002 International Pipe Conference,2002.
- [7] 李书璞,顾兴坤,岳建华,等.往复式压缩机余隙调节技术应用[J].石油化工设备,2016,45(5):60-65.
- [8] 山东滨化滨阳燃化有限公司.重整循环氢压缩机 C-201A、B 增产节能装备系统即余隙无级气量调节系统使用报告[R].2015.
- [9] 山东易阳石化节能装备有限公司.往复式压缩机余隙无级调节气量系统[J].济南节能,2018,27(2):18-30.
- [10] 顾兴坤.往复式压缩机余隙无级调节气量系统[C].泰安:山东省石油化工设备管理协会第七届会员代表大会会议专刊,2018:49-57.
- [11] 顾兴坤,顾晓伟,顾姝靓.一种往复压缩机的本质安全型余隙无级气量调节执行机构:CN,201420448693.6[P].2014-12-03.
- [12] 顾兴坤,顾晓伟,顾姝靓.内冷式压缩机余隙气量调节系统执行机构:CN,201620095894.1[P].2016-06-22.
- [13] 顾姝靓,顾兴坤,顾晓伟,等.一种自加热和双重压力保护的电液控制装置:CN,201420044975.X[P].2014-07-02.
- [14] 秦大同,谢里阳.现代机械设计手册-液压传动与控制设计[M].北京:化学工业出版社,2013.
- [15] 山东易阳石化节能装备有限公司.易阳两级两缸往复式压缩机节能装备系统控制软件 YY-EEA-ACCV2.0[Z].2017SR205985.2017-05-25.
- [16] 张兴刚.余隙调节实现压缩机气量自控[N].中国化工报,2018-6-20(3).
- [17] 顾兴坤,顾晓伟,顾姝靓,等.压缩机余隙气量调节系统执行机构的多作用泄漏监测系统:CN,201610069061.2[P].2017-08-25.■