

# 往复压缩机无级负荷调节系统无法投用分析

高松林

中国石油四川石化有限责任公司, 四川 彭州 611930

**摘 要:**为使渣油加氢装置新氢往复压缩机 K-4001 A 减少电量消耗,最大限度节约能源,降低压缩机运行的总费用,有必要分析影响渣油加氢装置新氢往复压缩机 K-4001 A 无级负荷无法投用的原因并解决存在的问题。通过对照无级负荷调节系统设计资料及其他装置无级负荷调节系统分析发现因低选器选值不正确、分程控制器发生作用的逻辑不正确、压缩机系统设计缺陷导致渣油加氢装置新氢往复压缩机二、三级无级负荷调节无法实现是影响 K-4001 A 无级负荷系统无法投用的原因。在消除影响新氢往复压缩机无级负荷无法投用的因素后,K-4001 A 无级负荷使用正常,降低了 K-4001 A 的电能消耗,同时对设备的长周期运行起到重要作用。

**关键词:**往复压缩机;无级负荷;无法投用;分析

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2016.01.020

## 0 前言

某  $300 \times 10^4$  t/a 渣油加氢装置有 3 台新氢往复压缩机(K-4001 A、K-4001 B 和 K-4001 C),由美国德莱赛兰公司制造,型号 3 HHE-VL-3,进口压力 2.0 MPa、出口压力 20.61 MPa、额定流量  $569.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 、电机额定电压 6 000 V、额定电流 406.5 A。3 台新氢往复压缩机两用一备,当 K-4001 A 与 K-4001 B 或 K-4001 C 组合使用时,K-4001 B、K-4001 C 负荷为 100% 运行且没有无级负荷调节,为节约能耗,新氢往复压缩机 K-4001 A 采用无级负荷调节。

无级负荷调节是通过控制系统实时监控处理压缩机运行状态数据,并将 4~20 mA 电流信号作用至现场执行机构,通过液压执行机构控制进气阀的开启与关闭时间,实现新氢往复压缩机排气量 0%~100% 无级负荷调节,在压缩过程中延迟关闭进气阀,使多余气体不经压缩而重返进气总管,只压缩实际需要的气量,从而节省压缩机的电量消耗,最大限度节约能源,降低压缩机运行总费用<sup>[1-4]</sup>。

在实际运行中,K-4001 A 的无级负荷调节系统不

能正常工作,导致能耗增加,未起到节约能源的作用。

## 1 新氢往复压缩机控制系统

新氢往复压缩机控制系统见图 1,由图 1 可知,K-4001 A 与 K-4001 B 或 K-4001 C 同时运行时,出口总压力(PT 4003)是通过低选器(PY 4003)值作用于中间接口单元(CIU)<sup>[5-12]</sup>,实现 K-4001 A 无级负荷调节及旁路阀(PV 4003)开度。最终实现 K-4001 A 负荷满足出口总压力需求,同时 PV 4003 全关以保证不做无用功。

新氢往复压缩机出口总压力经调节器(PC 4003)输出控制值在 PY 4003 与新氢往复压缩机入口压力(PT 4002)输出控制值进行比较,由于 PT 4002 为新氢压力低保护,设定值为允许最低工作压力,测量值高于设定值,调节器(PC 4002)电流信号值为 20 mA,因此正常操作时由 PC 4003 对新氢往复压缩机无级负荷调节系统进行控制,来调节压力。

K-4001 A 采用 HydroCOM 气量无级调节和监控系统,当 K-4001 A 与 K-4001 B 或 K-4001 C 同时运行时,若新氢往复压缩机出口总压力下降,PC 4003 输出值

增大,控制新氢往复压缩机旁路阀 PV 4003 开度减小至完全关闭,之后通过无级负荷调节系统增大新氢往复压缩机负荷,使出口总压力上升;若出口总压力增大,PC 4003 输出值减小,通过无级负荷调节系统控制新氢往复压缩机负荷降低,当新氢往复压缩机负荷下降至 20 % 时,出口总压力仍然大的情况下,逐渐增大旁路阀 PV 4003 开度,使出口总压力下降;当 K-4001 B 与 K-4001 C 同时运行时,PC 4003 通过调节 PV 4003 的开度来控制出口总压力。

非正常状况下,PT 4002 过低时,则其输出值减小,用 PY 4003 替代 PC 4003 控制新氢往复压缩机负荷及旁通阀来调节新氢往复压缩机入口压力。无级负荷调节系统运行时,新氢往复压缩机负荷及旁通阀调节控制方式见图 2。

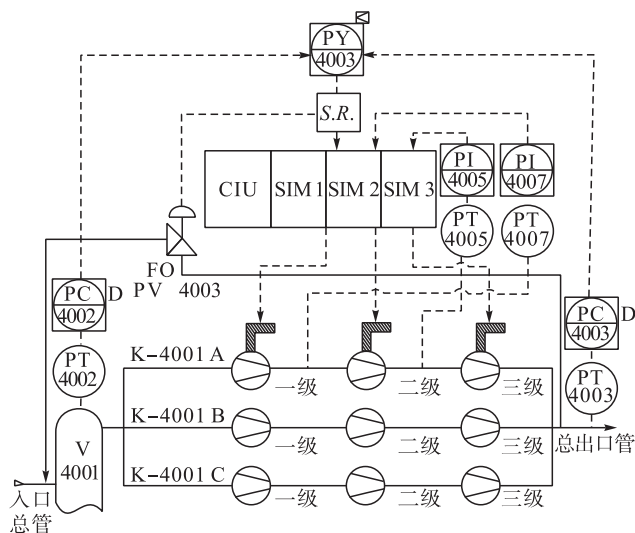


图 1 新氢往复压缩机控制系统

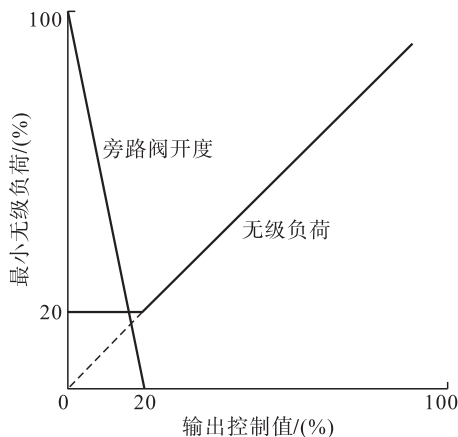


图 2 无级负荷控制

## 2 HydroCOM 系统

HydroCOM 系统主要由中接口单元(CIU)、液压油站(HU)、液压执行器(HA)、TDC 传感器及相关附件等组成<sup>[13-16]</sup>。

HydroCOM 系统只对实际需要的气量进行压缩,余下气体在压缩行程的开始阶段,回流到进气腔内。只压

缩所需气量,节省能耗。

HydroCOM 系统和返回线控制属于分程控制。正常情况下,PY 4003 的输出信号至 CIU 实现一级气缸负荷的控制,二级、三级则采用级间压力作为控制变量,经 CIU 处理后通过现场总线送到各级执行机构,由各级执行机构完成最终进气阀开启或关闭的控制任务。CIU 是一个接口设备,本身没有压力控制器,它接收来自 DCS 或其他控制器的二进制“Enable”信号和“4 ~ 20 mA”的模拟控制信号。

由图 1~2 可知,当输出控制值为 0 %~20 % 时,K-4001 A 运行最小无级负荷为 20 %,随着负荷增大,PV 4003 的开度由 100 逐渐关至 0,PV 4003 开度与负荷的关系为  $100 - 5X$ 。输出控制值在 20 %~100 % 时,PV 4003 开度为 0,即旁路阀呈关闭状态且开度不随负荷的增大而增大,K-4001 A 的负荷随输出控制值成线性关系,负荷值与输出控制值大小在数值上相等。

HydroCOM 系统功能特点:

- 1) HydroCOM 系统能对新氢往复压缩机出口总压力在 20 %~100 % 负荷时实现无级调节。
- 2) 可以对新氢往复压缩机各级压力分别调节,使各级压力稳定并趋于设定值。
- 3) 能够实现自动加载和手动加载两种调节方式。
- 4) 保持 0 负荷开机,并能在此工况下运行 5 min。
- 5) 具有自保联锁功能。当机组自停时,系统自动切断;当系统自身故障时,系统自动切断并切换到机组 100 % 负荷运行。无级负荷调节系统若不投用,K-4001 A 可以手动给定负荷调节。

## 3 渣油无级负荷调节分析

由图 2 和新氢往复压缩机控制系统分析并可以得出:

1) 若出口总压力降低,PC 4003 输出控制值增大,旁路阀开度逐渐关至 0,此时若出口总压力仍然低于设定值,无级调节负荷从 20 % 逐渐增加,出口总压力上升,系统恢复稳定。在正常生产运行中旁路阀全关,出口总压力低靠增加压缩机负荷来实现。

2) 若出口总压力上升,PC 4003 输出控制值减小,无级调节负荷逐渐降低至 20 %,此时出口总压力仍高于设定值,旁路阀逐渐开启,出口总压力下降,系统恢复稳定。

3) 以上两种情况满足的前提是 PT 4002 实际测量值高于设定值,根据 PY 4003 低选比较的结果由 PC 4003 接管控制系统。

4) 若 PT 4002 低于设定值时电流信号值 4 mA,根据 PY 4003 选择结果无级负荷调节系统由 PC 4002 控制,PC 4002 输出减小,旁路阀逐渐开启,PT 4002 逐渐恢复,系统趋于稳定。压力恢复正常操作压力 PC 4002 电流信

号值 20 mA,此时系统根据低选由 PC 4003 进行控制。

5)由图 2 知 PV 4003 在输出控制值 0%~20% 时,无级调节系统最低负荷 20%,对应的 PV 4003 开度由 100 逐渐变化至 0,且开度与输出控制值满足  $100-5X$  关系。输出控制值在 20%~100% 时,由于无级调节负荷值与输出控制值呈线性关系,此时 K-4001 A 的无级调节负荷值等于输出值。

## 4 无级负荷无法投用原因及解决措施

### 4.1 低选器选值不正确

根据设计,低选器比较 PC 4002 和 PC 4003 输出值后,选择其中低值者来控制系统。PY 4003 选择的低选值是电流值,同时前提是 PT 4002 的设定值为最低压力,远低于新氢管网压力,这样 PC 4002 电流信号值为 20 mA,除非 PT 4002 的实际测量值低于设定值,这时 PC 4002 电流信号值为 4 mA。无级调节负荷系统就能根据 PY 4003 比较的结果,正确选择用 PC 4002 或 PC 4003 来控制系统。

在实际集散控制系统(DCS)逻辑中,PC 4002 及 PC 4003 低选值是控制阀的阀开度值,与设计电流值不符,在实际运行不能准确判断系统由谁控制,投用后系统波动很大,虽然后期调整为高选,但选择比较的结果仍然是阀开度值,而不是两者的电流值,只能改手动控制,无级负荷调节系统则停用。另外操作要求 PT 4002 的给定值为压缩机入口最低允许压力值,此值远低于新氢来管网压力值,同时要求 PT 4002 实际压力测量值高于压力给定值时输出电流 20 mA,实际压力测量值低于压力给定值则输出电流 4 mA。无级负荷调节系统就能满足设计的要求,能准确判断系统由 PC 4002 或 PC 4003 控制。

### 4.2 分程控制器发生作用的逻辑不正确

由渣油无级负荷调节分析及图 2 可知,PC 4003 接管系统,阀开度值在 20%~100% 时,无级负荷系统调节值与阀开度值相等,旁路阀开度全关。0%~20% 时,新氢往复压缩机 K-4001 A 无级负荷调节值 20% 保持不变,出口总压力由旁路阀开度调节且阀开度满足  $100-5X$  关系。

运行中一般由 PC 4003 控制新氢往复压缩机 K-4001 A 一级负荷及旁通阀开度,当新氢往复压缩机入口氢气中断则用 PC 4002 来控制。实际运行中压缩机给定负荷不满足上述设计要求,因此无法实现自动无级负荷调节。

### 4.3 压缩机系统设计缺陷

HydroCOM 系统和返回线控制属于分程控制,特点是一个调节器的输出同时控制几个工作范围不同的调节阀<sup>[17]</sup>。实际上一级、二级通过采用级间压力为控制变量,经 CIU 处理后通过现场总线送到各级执行机构,由

各级执行机构完成最终进气阀开启或关闭的控制任务。由于新氢往复压缩机二级、三级负荷控制缺少控制阀门,缺少一回一和二回一气量调节控制阀门及工艺管线,多余的气体留在上一级造成压缩机十字头销磨损,十字头瓦烧毁。K-4001 A 运行过程中曾在一级负荷 80% 左右、二级负荷略低、三级负荷接近 5% 时压缩机十字头销磨损,十字头瓦烧毁的情况。分析造成的原因为三级只需用到 5% 的气量,绝大多数留到二级出口,造成二级出口压力高,二级在压缩气体克服阻力的过程中造成十字头销和十字头瓦的损坏<sup>[18-20]</sup>。

实践证明一回一线、二回一返回且返回线上若设有控制阀,通过分程控制将多余气体返回,则不会发生压缩机的损坏。

## 5 结论

渣油加氢装置中新氢无级负荷调节系统无法投用的原因有:

1)无级负荷调节系统低选器因低选值错误,造成低选器不能正确选择控制方案。

2)PC 4003 分程控制发生作用的逻辑不正确,新氢往复压缩机无级负荷调节与返回线旁路阀开度不能按图 2 的要求实现。PC 4002 控制情况少见,但也需检查逻辑是否符合设计要求。

3)二、三级无级调节负荷的控制逻辑无法满足生产需求,在不改变管线的前提下可以将二、三级的负荷值在 DCS 逻辑上实现与一级负荷一致。

通过修改无级负荷调节器低选值为电流信号值和 PC 4003 分程控制逻辑存在的错误以及二、三级的负荷值在 DCS 逻辑上与一级负荷一致,K-4001 A 实现了在 20%~100% 负荷下的自动控制且运行效果良好。

将上述影响压缩机无级负荷调节正常投用的因素排除后,新氢往复压缩机无级负荷调节系统发挥作用,对新氢往复压缩机的节能降耗及长周期平稳运行起到重要作用。

### 参考文献:

- [1] 王 智,韩高喜. HydroCOM 无级调量系统在齐鲁炼厂的应用[J]. 中外能源,2011,16(12):78-81.  
Wang Zhi, Han Gaoxi. Application of HydroCOM System in Sinopec Qilu Company [J]. Sino-Global Energy, 2011, 16(12): 78-81.
- [2] 钱广华. 重整装置往复压缩机气量无级调节节能效果分析[J]. 石油石化节能与减排,2011,1(3):90-93.  
Qian Guanghua. Energy-saving Analysis of Hydrocom Steplless

- Capacity Control System in Reciprocal Compressor for Reformer [J]. Energy Conservation and Emission Reduction in Petroleum and Petrochemical Industry, 2011, 1 (3): 90-93.
- [3] 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): 562-569.
- Wang Qingfeng, Li Guoan, Guo Zhen. Energy Conservation Ways of Reciprocating Compressor [J]. Energy Conservation Technology, 2005, 23 (6): 562-569.
- [4] 陈睿. 气量无级调节系统的原理及应用[J]. 广州化工, 2012, 40(14): 181-182.
- Chen Rui. Principle and Application of HydroCOM Stepless Speed Adjustment System [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40 (14): 181-182.
- [5] 莫少明, 孟剑, 王军营. HydroCOM 在炼油企业往复压缩机上的应用[J]. 压缩机技术, 2010, (1): 18-20.
- Mo Shaoming, Meng Jian, Wang Junying. Application of HydroCOM Installed to Reciprocating Compressor of in Refinery Plant [J]. Compressor Technology, 2010, (1): 18-20.
- [6] 贾志清, 罗炜. HydroCOM 控制系统原理及在往复压缩机上的应用[J]. 甘肃科技, 2011, 27(17): 90-93.
- Jia Zhiqing, Luo Wei. HydroCOM Principle of Control System and Its Application in Reciprocating Compressor [J]. Gansu Science and Technology, 2011, 27 (17): 90-93.
- [7] 王健, 曹蕊蕊. HydroCOM 气量无级调节系统在重整压缩机上的应用[J]. 广州化工, 2011, 39(18): 124-126.
- Wang Jian, Cao Ruirui. Application of HydroCOM Stepless Speed Adjustment System in Re-compressor [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2011, 39 (18): 124-126.
- [8] 高巧凤. Hydrocom 系统在加氢裂化装置 DCS 中的应用[J]. 石油化工设备, 2009, 38(增刊): 64-66.
- Gao Qiaofeng. Application of Hydrocom System in Hydrocracking Unit DCS [J]. Petro-chemical Equipment, 2009, 38 (Suppl): 64-66.
- [9] 王应来, 张利平, 尤磊. 变频调速技术在往复压缩机上的应用[J]. 煤气与热力, 2000, 20(6): 426-427.
- Wang Yinglai, Zhang Liping, You Lei. Application of Frequency Converting in Reciprocating Compressors [J]. Gas & Heat, 2000, 20 (6): 426-427.
- [10] 王灵德, 计洪旭, 袁伟, 等. 国产气量无级调节系统在新氢压缩机装置中的应用[J]. 压缩机技术, 2011, (3): 18-24.
- Wang Lingde, Ji Hongxu, Yuan Wei, et al. The Application of Domestic Volume Stepless Speed Regulation System in the Hydrogen Compressor Equipment [J]. Compressor Technology, 2011, (3): 18-24.
- [11] 宋健, 洪伟荣, 吴荣仁. 活塞式压缩机排气量的全量程无级调节[J]. 机械工程师, 2006, (9): 85-87.
- Song Jian, Hong Weirong, Wu Rongren. Stepless Capacity Regulation in Reciprocating Compressor [J]. Mechanical Engineer, 2006, (9): 85-87.
- [12] 高霞. 无级量调节在压缩机中的应用[J]. 石油化工自动化, 2008, (5): 86-88.
- Gao Xia. Application of Stepless Speed Adjustment in Compressor [J]. Automation in Petro-chemical Industry, 2008, (5): 86-88.
- [13] 何文丰, 沈永森. 气量无级调节系统在往复压缩机上的应用[J]. 化工设备与管道, 2008, 45(5): 36-39.
- He Wenfeng, Shen Yongmiao. Application of HydroCOM Stepless Speed Adjustment System in Reciprocating Machine [J]. Process Equipment & Pipng, 2008, 45 (5): 36-39.
- [14] 田刚. HydroCOM 气量调节系统在往复式氢压机上的应用[J]. 广州化工, 2009, 37(2): 190-192.
- Tian Gang. Application of HydroCOM Capacity Control System in Reciprocating H<sub>2</sub> Compressor of Hydrofining Plant [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2009, 37 (2): 190-192.
- [15] 赵庆林. 气量无级调节系统与 DCS 及 CCS 集成控制的实现[J]. 石油化工自动化, 2012, 48(4): 37-40.
- Zhao Qinglin. Realization of Integrated Control of Gas Capacity Stepless Regulation System with DCS and CCS [J]. Auomstion in Petro-chemical Industry, 2012, 48 (4): 37-40.
- [16] 周小平. 连续重整装置压缩机气量调节系统节能改造[J]. 中外能源, 2011, 16(2): 107-110.
- Zhou Xiaoping. Revamping Air Flow Regulating System of Compressor of Continuous Reformer to Save Energy [J]. Sino-Global Energy, 2011, 16 (2): 107-110.
- [17] 史开洪, 艾中秋. 加氢精制装置技术问答[M]. 2版. 北京: 中国石化出版社, 2014: 423-424.
- Shi Kaihong, Ai Zhongqiu. Technical Questions and Answers for the Hydrogenation Unit [M]. 2nd ed. Beijing: China Petrochemical Press, 2014: 423-424.
- [18] 纪经纬. 往复式压缩机十字头故障分析与处理[J]. 广东化工, 2009, 36(11): 164-165.
- Ji Jingwei. Crosshead Malfunction Analysis & Maintaining for Reciprocating Compressor [J]. Guangdong Chemical Industry, 2009, 36 (11): 164-165.
- [19] 贾振卿. 往复压缩机的运行与维护[J]. 通用机械, 2002, (11): 50-52.
- Jia Zhenqin. Ireciprocating Compress Operation & Maintenance [J]. General Machinery, 2002, (11): 50-52.
- [20] 郭磊. 影响往复压缩机长周期运行的原因分析与解决措施[J]. 压缩机技术, 2013, (5): 69-73.
- Guo Lei. Reason Analysis of Influencing Long-term Operation of Reciprocating Compressors and Solution Measures [J]. Compressor Technology, 2013, (5): 69-73.