

HydroCOM无级调量系统在齐鲁炼厂的应用

王智, 韩高喜

(中国石化齐鲁分公司, 山东 淄博 255408)

摘要 往复式压缩机的电耗在炼油能耗中占有较大比例, 降低往复式压缩机的电耗是降低炼油能耗的主要手段之一。HydroCOM系统是一种适用于往复式压缩机的高效气量调节技术, 可以实现对压缩机出口压力的自动控制, 实现20%~100%负荷的自动无级调节。介绍了其基本原理、系统组成和控制。2006年至2011年, 齐鲁炼厂在临氢装置增设了6套HydroCOM无级调量系统, 6台压缩机的入口压力最低为0.23MPa, 最高为2.1MPa, 出口压力最低为2.5MPa, 最高为19.3MPa, 压缩机气缸的压比最低为1.7, 最高为3.5; HydroCOM系统投用率平均达到90.5%, 节电效果明显。在HydroCOM无级调量系统应用过程中, 成功解决了气阀存在的问题, 进一步优化了HydroCOM系统的控制方案; 针对压缩机最低负荷设定偏低、压缩机停运时启用同步按钮易造成气阀超温的问题, 采取相应措施, 确保了HydroCOM系统的正常运行。工业应用表明, 该技术可最大限度地实现压缩机的节能, 且操作简单, 便于维护。

关键词 HydroCOM 往复式压缩机 气量调量 临氢装置 工业应用 节能

1 前言

能耗费用在炼油现金操作费用中占有很大比例, 其控制的好坏直接影响炼厂现金操作费用的高低。不断降低炼油综合能耗, 是降低炼厂可控费用的主要手段之一。据统计, 临氢二次加工装置的能源消耗占齐鲁炼油能耗的35%以上, 而电耗在临氢二次加工装置中的占比为24%~52%, 其中往复式压缩机的电耗占比较大, 如高压加氢装置往复式压缩机的电耗占装置电耗的一半以上^[1], 因此, 降低压缩机的电量消耗是降低炼油能耗的有效措施。

HydroCOM系统是贺尔碧格公司专门为往复式压缩机开发的液压式无级气量调节系统, 可有效实现往复式压缩机的节能。为有效降低电量消耗, 从2006年开始, 齐鲁炼厂每年增上一套HydroCOM无级调量系统, 到2011年6月一套制氢装置原料压缩机K701 HydroCOM系统投用时, 齐鲁炼厂共有6套HydroCOM无级调量系统在用, 投用率平均达到90.5%, 取得较好的节电效果。

2 HydroCOM系统原理和控制

2.1 基本原理

往复式压缩机是通过活塞往复运动来实现气体压缩升压的, 主要由气缸、活塞杆、曲轴、吸气阀、排气阀等组成。当电机旋转时, 通过曲轴和活塞杆

将旋转运动变为往复直线运动, 曲轴每转一周, 活塞在气缸中往复运动一次, 压缩机完成膨胀、吸气、压缩、排气四个过程^[2]。由于压缩机的排量一般大于工艺所需流量, 因此其出口流量或压力一般通过旁路调节, 或外力顶开进气阀进行调节^[3,4]。

往复式压缩机一个正常工作循环如图1中的A-B-C-D曲线:

① 余隙容积中残留高压气体的膨胀过程, 如A-B曲线, 此时压缩机进气阀和排气阀均处于正常的关闭状态;

② 进气过程, 如B-C曲线, 此时进气阀在气缸内外压差的作用下开启, 进气管线中的气体通过进气阀进入气缸, 至C点完成相当于气缸100%容积流量的进气量, 进气阀关闭;

③ C-D为压缩曲线, 气缸内的气体在活塞作用下压缩, 达到排气压力;

④ D-A曲线为排气过程, 排气阀打开, 被压缩的气体经排气阀进入下一个循环^[5]。

作者简介: 王智, 高级工程师, 1988年毕业于中国石油大学(华东)石油加工专业, 现就职于齐鲁石化公司科学技术部, 主要从事节能管理工作, 已发表论文20多篇。

Email: wangzhi.qlsh@sinopec.com.

HydroCOM系统的主要工作原理,是计算机即时处理压缩机运行过程中的状态数据,并将信号反馈至执行机构内的电子模块,通过液压执行机构,控制进气阀的开启与关闭时间,实现压缩机排气量20%~100%全行程范围无级调节。投用 HydroCOM系统后,如图1所示,当进气过程达到C点后,由于进气阀在执行机构作用下仍被强制保持开启状态,压缩过程并不是沿原压缩曲线由位置C到达位置D,而是先由位置C到达位置 C_r ,此时,原吸入气缸中的部分气体通过被顶开的进气阀回流到进气管而不被压缩;待活塞运动到特定的位置 C_r (对应所要求的气量)时,执行机构使顶开进气阀片的强制外力消失,进气阀片回落到阀座上而关闭,气缸内剩余的气体开始被压缩。压缩过程开始沿位置 C_r 到达位置 D_r 。气体达到额定排气压力后从排气阀排出,容积流量减少。这种方法的优点,是压缩机的指示功消耗与实际容积流量成正比,是一种简单高效的压缩机流量调节方式。

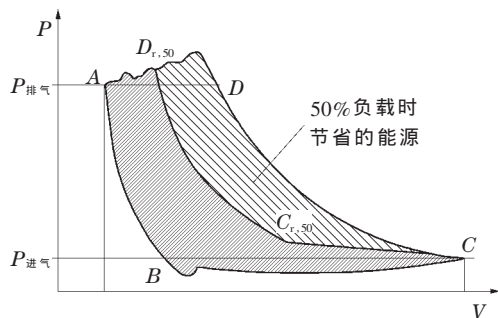


图1 压缩机的一个工作循环过程

2.2 系统组成及控制

HydroCOM系统由中间接口单元 CIU、智能执行机构 HA、液压电站 HU 以及气阀等组件构成,如图2所示。中间接口单元 CIU 起到连接 HydroCOM系统和 DCS 的作用;液压执行机构 HA 是一组通过卸荷器对气阀产生作用的部件总和,它由阀室、密封室和电气室3部分组成,由液压电站 HU 提供实现该动作功能所需的液压动力,CIU 进行实时控制,EPS 提供 48V 直流电压。压缩机的每个进气阀均需安装一个液压执行器。上死点传感器 TDC 传递活塞在气缸中的即时位置,在 TDC 和 CIU 之间的电脉冲由隔离放大器隔离和传递。TDC 信号传入 CIU 进行处理后,与从 DCS 来的控制器信号进行计算,然后由现场总线传于执行器,以控制吸气阀的

实际启闭时间。

HydroCOM系统的控制任务完全由 DCS 系统完成,根据实际生产需要为该变量进行设定。压缩机的每一级均配置比例积分(PI)控制器,来自 DCS 的各级实际压力与控制器内的设定值比较后,运算输出相当于 0~100%排气量信号的 4~20mA 的电流控制信号,传递到 HydroCOM 压缩机接口单元。电流控制信号经控制接口单元处理后,通过现场总线送到各级执行机构,由执行机构完成最终的进气阀开启或关闭的控制任务。

气量调节系统能实现如下功能:对压缩机出口压力进行自动控制,并能实现 20%~100%负荷自动无级调节;对级间压力可以分别调节,使级间压力稳定且使之趋于设定值;能够实现自动加载和手动加载两种调节方式;保持零负荷开机,并能在此工况下运行 5min;具有自保联锁功能,当机组自停时,该系统自动切除;当该系统自身故障时,该系统自行切除,且自动切换到机组 100%负荷运行。

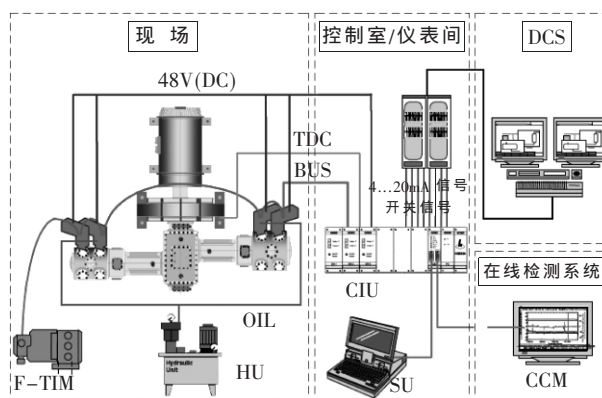


图2 HydroCOM系统的组成示意图

3 HydroCOM系统在齐鲁炼厂的应用

从 2006 年开始,齐鲁石化炼油厂每年增上一套 HydroCOM 无级调量系统,到 2011 年 6 月,一套制氢装置原料压缩机 K701 HydroCOM 系统投用时,共有 6 套在用,投用率平均达到 90.5%。6 台压缩机的入口压力最低为 0.23MPa,最高为 2.1MPa,出口压力最低为 2.5MPa,最高为 19.3MPa,压缩机气缸的压比最低为 1.7,最高为 3.5。表 1 列出了 2010 年 5 套 HydroCOM 无级调量系统每个月的投用情况,其中一套加氢装置的新氢机刚刚投用,仅运转了 2 个月;加氢裂化、一套加氢装置的新氢机则各有 1 个月的时间检修,未投用无级调量系统。

表2列出了5套HydroCOM无级调量系统2010年的实际运转时间与装置运转时间的对比以及投用率情况,5套HydroCOM无级调量系统的平均投用率为90.5%。表3列出了5套HydroCOM无级调量系统2010年节电量的计算结果,由于部分无级调量系统的运转工况与投用初期发生了变化,因此其对应的节电量也相应变化。如加氢裂化装置无级调

量系统投用初期,装置进料量为150t/h,而2010年装置进料量平均为160t/h,因此新氢机压缩的新氢量相应增大;连续重整装置无级调量系统投用初期,装置进料量为60t/h,而2010年装置进料量平均为68.3t/h,同时,为增产氢气,提高了反应温度。套加氢装置、SSOT装置2010年的运转条件与无级调量系统投用初期基本相当。

表1 2010年HydroCOM无级调量系统月运行时间

h

| 序号 | 所属装置 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 套加氢 | | | | | | | | | | | 720 | 710 |
| 2 | 加氢裂化 | 672 | 528 | 0 | 720 | 744 | 720 | 672 | 700 | 702 | 228 | 588 | 432 |
| 3 | 连续重整 | 624 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 554 | 554 | 720 | 720 | 720 | 744 |
| 4 | 套加氢 | 720 | 504 | 0 | 720 | 744 | 720 | 744 | 532 | 576 | 528 | 600 | 552 |
| 5 | SSOT | 744 | 672 | 744 | 720 | 576 | 192 | 587 | 731 | 508 | 744 | 720 | 744 |

表2 2010年HydroCOM无级调量系统投用率统计

| 序号 | 所属装置 | 压缩机运转时间/h | 装置运行时间/h | 投用率,% |
|----|------|-----------|----------|-------|
| 1 | 连续重整 | 8236 | 8760 | 94.0 |
| 2 | SSOT | 7682 | 8160 | 94.1 |
| 3 | 套加氢 | 6940 | 8088 | 85.8 |
| 4 | 加氢裂化 | 6706 | 8280 | 81.0 |
| 5 | 套加氢 | 1430 | 1464 | 97.7 |

表3 2010年HydroCOM无级调量系统实际节电量计算

| 装置 | 投用初期标定小时节电量/(kW·h) | 实际小时节电量/(kW·h) | 全年实际节电量/(10 ⁴ kW·h) |
|------|--------------------|----------------|--------------------------------|
| 套加氢 | 468 | 468 | 67 |
| 加氢裂化 | 842 | 486 | 326 |
| 连续重整 | 1507 | 707 | 582 |
| 套加氢 | 565 | 565 | 392 |
| SSOT | 717 | 717 | 551 |
| 合计 | | | 1918 |

2010年,增上了无级调量系统的5台压缩机,共实现节电1918×10⁴kW·h,占炼油部分总节电量的54.2%,取得较好的节电效果。

4 无级调量系统应用过程中存在问题与对策

4.1 气阀存在的问题及解决方案

4.1.1 三级缸吸气阀片多次断裂

加氢裂化装置K401C无级调量系统投运1个半月内,三级吸气阀片8次出现断裂,平均使用寿命6.5d,最短寿命仅为3h。三级吸气阀的多次断裂、超温,严重影响了机组的长周期安全平稳运转。经对气阀解体并与一、二级缸对比检查发现,一、二级吸气阀没有缓冲片,而三级吸气阀采用了带缓冲

片的型式。分析认为,引起三级吸气阀片断裂而出现气阀超温的因素主要有:

① 三级入口压力为7.0MPa,压力较高,造成介质内的部分轻组分凝缩呈液态;

② 新氢中含有少量活塞润滑油,凝缩形成液态物,附着在阀片及缓冲片上,气阀在吸气时阀片接触到缓冲片,由于凝缩油在阀片与缓冲片之间产生较大的黏着力,当吸气结束时吸气阀不能及时关闭,气体压力继续升高,使吸气阀片在外力的强制作用下被迅速冲击到阀座上,如此反复撞击,最终导致吸气阀片碎裂。

经研究分析,对三级吸气阀进行如下改进:

① 减小三级吸气阀的升程。由于升程越大,吸气阀片关闭结束的末速度越大,则其所受的气体冲击力也较大;适当减小升程,可有效减小吸气阀片所受的冲击力,从而延长气阀的使用寿命;

② 取消三级吸气阀缓冲片。取消了缓冲片,液态附着物则不会对阀片产生黏着力,从而解决了阀片受黏着力影响,使冲击力增大的问题;

③ 改用先进的阀片材质HP,延长气阀寿命;

④ 加厚阀片厚度,增强阀片本身的抗冲击力。

改进后的三级吸气阀投入运行后,基本解决了阀片断裂问题,为装置的平稳运行消除了隐患。

4.1.2 三级吸缸吸气阀阀体密封面漏气

加氢裂化装置K401C更换改进后的三级吸气阀后,吸气阀的使用时间相对延长,平均约为60d。但气阀依然存在超温现象,而且60d的使用寿命显

然不能满足长周期安全运行的需要。通过对 3 只吸气阀解体研究,发现阀片、阀垫、阀座均无泄漏痕迹,而阀体密封端面有径向凹坑。分析原因,可能是阀体密封面过宽所致。如阀体密封面的压力小于三级排气压力,当气体被压缩时,高压气流会沿阀体密封面回窜至吸入腔,导致三级吸气阀温度升高,并对阀体密封面造成冲刷,而产生凹坑。如此反复冲刷,则阀体密封面的泄漏量不断增大,直至影响到机组的平稳运行。

对该密封面进行如下改进:研磨阀体密封端面,提高其精度,阻止高压气体回窜冲刷密封面。

4.1.3 三级吸气阀垫多次断裂

经第二次设计改进阀体密封面的三级吸气阀,在加氢裂化装置 K401C 安装投用后,吸气阀超温情况仍未改善。在 1 个半月运行时间里,有 8 只阀垫更换。经过拆检,发现阀体外表面接近阀垫处有向上的灰色痕迹(气流上进下出)。分析认为,该向上的灰色痕迹是气体回窜痕迹,吸气阀垫导致吸气温度高是主要因素。之前所使用的气阀垫为铜质材料,经过淬火处理虽然改善了其脆性,但热变形过大。由于系统压力波动较大,气阀在做功过程中,各级吸/排气温度变化幅度较大,当三级吸气温度升高时,受热膨胀影响,铜质材料容易膨胀,铜垫受热膨胀后被气阀压罩顶紧,阀垫被挤压变形,只能向四周延展,当压力波动而温度恢复后,延展了的铜垫不能完全恢复,使气阀垫与气阀之间产生间隙配合,导致高压气流沿吸气阀垫回窜至吸入腔,引起吸气阀温度上升。

经过分析阀体及阀座材质,考虑到温度变化等因素影响,确定将吸气阀垫改为不锈钢材质,解决了因阀垫受热延伸变形导致温度上升的问题。

4.2 HydroCOM 系统控制方案改进

加氢裂化装置 K401C HydroCOM 系统投用之初,其控制方案为:当压缩机入口压力波动时,为避免各级缸负荷失衡,由室内操作员手动输入一、二级出口压力的设定值,来控制压缩机各级缸的负荷;由于压缩机入口压力波动比较频繁,操作员维护工作量较大,一名室内操作员需要监控 14 台大机组的运行情况,不利于安全生产。

经过攻关,成功实现了无级气量调节系统的全

自动过程控制,即通过系统自动跟踪一级入口压力的波动,计算出一、二级出口的设定压力值,从而解决了由人工频繁输入一、二级设定压力值的难题。自投用全自动控制方案以来,各级缸压比和负荷均比较理想,且投用率明显提高。

4.3 最低负荷设定偏低的问题

第三柴油加氢装置新氢机无级气量调节系统投用之初,压缩机最低负荷设定为 20%,但在试运行期间,发现当压缩机在 20% 负荷运行时,进气阀温升过快,温升速率达到 20℃/min。在正常操作工况下,压缩机负荷一般不低于 40%。因此,将最低负荷值修改为 30%。同时,在操作规程中标明,严禁新氢机在 30% 负荷以下长时间运行。

4.4 压缩机停运时启用同步按钮易造成气阀超温

第二加氢装置新氢机、第二制氢装置原料气压缩机投用无机调量系统后,当压缩机停机时,打到同步按钮,一、二、三级负荷同时降到 50% 以下时,二级排气压力超标。因此,停机时不使用同步按钮,对各级控制器进行手动控制。

5 结论

① HydroCOM 无级调量系统在齐鲁炼厂 6 台压缩机的应用表明,该系统是一种高效的气量调节技术,能够最大限度地实现节约能源;

② 能够更精确地控制压缩机的各级工艺参数,使各级气缸做功合理;

③ HydroCOM 无级调量系统操作简单,且便于维护。

参考文献:

- [1] 王智.齐鲁分公司炼油能耗状况分析与建议[J].化工进展,2009,28(增):87-88.
- [2] 中国机械工程学会设备与维修工程分会.压缩机维修问答[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [3] 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(137):245-246.
- [4] 赖通荣,游碧龙.炼油装置往复压缩机余隙容积自动无级调节及节能改造[J].石油化工设备技术,2010,31(6):41-43.
- [5] 过程装备与控制工程专业教学指导分委员会.过程装备与控制工程[M].北京:化学工业出版社,2009.

(编辑 刘燕)

Application of HydroCOM System in Sinopec Qilu Company

Wang Zhi, Han Gaoxi

(SINOPEC Qilu Company, Zibo Shandong 255408)

[Abstract] The reciprocating compressor's power consumption accounts for a large proportion of the energy consumption by a refinery. Reducing the power consumption of the reciprocating compressor is one of the main means of reducing refineries' energy consumption. The HydroCOM system is an efficient air flow regulating technology suitable for reciprocating compressors and can be used to control the pressure at the outlet of the compressors automatically, achieving an automatic infinitely variable control of 20%–100% load. This article describes the system's working principle, components and operation. From 2006 to 2010, Sinopec Qilu Company's refinery added six HydroCOM systems to its units in direct contact with hydrogen. The minimum inlet pressure of six compressors is 0.23MPa and the maximum pressure is 2.1MPa. The minimum outlet pressure is 2.5MPa and the maximum is 19.3MPa. The minimum cylinder compression ratio of the compressors is 1.7 and the maximum ratio is 3.5. An average 90.5% of the HydroCOM systems have been put into use and a large amount of electricity has been saved. In applying the HydroCOM system, technicians addressed the problems with air valves and optimized the control for the HydroCOM system. To the problems that the minimum compressor load was set too low and that enabling the sync button when the compressors stop often causes overheat of air valves, they also came up with solutions to ensure the normal operation of the HydroCOM system. Industrial application shows that this technology can maximize the energy savings on compressors and is easy to use and maintain.

[Keywords] HydroCOM; reciprocating compressor; air flow regulation; units in direct contact with hydrogen; industrial application; energy saving

·能源知识·

德班世界气候大会

德班世界气候大会全称为《联合国气候变化框架公约》第十七次缔约方大会暨《京都议定书》第七次缔约方会议。大会原定于2011年11月28日~12月9日在南非港口城市德班举行。但由于各方对部分焦点问题分歧严重,争执不下,最后将谈判拖入“加时赛”。约200个国家和机构的代表参加的南非德班气候大会于当地时间12月11日凌晨在南非德班宣布闭幕。这是2012年联合国应对气候变化的官方文件《京都议定书》第一承诺期到期前召开的最后一届气候大会。

大会主要议题:①确定发达国家在《京都议定书》第二承诺期的量化减排指标;②明确非公约发达国家在公约下承担与其他发达国家可比的减排承诺;③落实有关资金、技术转让方面的安排;④细化《坎昆协议》中有关“三合”和透明度的具体安排。

经过近两周“马拉松式”的谈判,最终会议通过决议,建立德班增强行动平台特设工作组,决定实施《京都议定书》第二承诺期(从2013年开始实施),并启动绿色气候基金。就本次会议的结果而言,中方认为:一是坚持了公约、议定书和“巴厘路线图”授权,坚持了双轨谈判机制,坚持了“共同但有区别的责任”原则;二是就发展中国家最为关心的京都议定书第二承诺期问题作出了安排;三是在资金问题上取得了重要进展,启动了绿色气候基金;四是在坎昆协议基础上进一步明确和细化了适应、技术、能力建设和透明度的机制安排;五是深入讨论了2020年后进一步加强公约实施的安排,并明确了相关进程,向国际社会发出积极信号。

从长远来看,这次会议因为涉及对未来气候谈判进程的安排而非常重要。

(供稿 舟 丹)