

余隙调节系统在加氢往复式压缩机上的应用

杨传山（中国石化青岛石油化工有限公司炼油三部，山东 青岛 266043）

摘要：本文介绍了往复式压缩机常用气量调节方法，通过对比优劣选定采用余隙无级调节方式应用于催化汽油选择性加氢装置往复式压缩机节能改造。通过实际应用表明，该方法操作简便，系统稳定可靠，实现了压缩机负荷在 60%~95% 的无级调节，取得了明显的节能效果和可观的经济效益，同时改善了压缩机运行环境，降低了机组负荷，延长了机组的运行周期。

关键词：往复式压缩机；余隙无级调节；节能

1 引言

加氢装置循环氢压缩机富裕氢气过多，不但造成了压缩机能耗的巨大浪费，而且易造成机组运行声音大，进出口管线振动大等问题，甚至易造成反应加热炉炉膛超温，给整个装置的工艺操作及处理量提升带来严重影响。为解决上述问题，2015 年 10 月，我公司决定在 K19201A 上选用沈阳远大压缩机股份有限公司的余隙无级调节系统进行改造。该系统是根据往复压缩机余隙调节的原理、利用电液控制技术和压缩机余隙无级调节执行机构专利技术（专利号 ZL2010 2 0630620.0）开发的，简称 ACCV2/2 系统。采用 ACCV2/2 系统，可以实现压缩机气量 60%~95% 的无级调节。

2 循环氢压缩机简介

汽油选择性加氢装置循环氢压缩机 K19201AB 为 2D32-49/15-27 型固定对称平衡型、二列一级往复式压缩机，增安型三相异步电动机直联驱动，采用一级压缩，主要性能参数见表 1。由于该机组未设置旁路调节系统，日常开停机时气量调节仅能采用卸荷器调节。对于二列一级压缩双作用气缸布置的压缩机，卸荷器调节能够实现 0、25%、50%、75%、100% 五级调节。为达到节能需要，我公司曾对压缩机 K19201B 尝试过采用 75% 负荷运行，但双作用气缸单侧卸荷，活塞杆长时间处于单向受力状态，造成十字头销润滑不良，加速磨损；而 50% 负荷调节的流量又不能满足工艺要求，故最终放弃采用卸荷器调节气量方式。

3 往复式压缩机常用气量调节方法

3.1 气量调节的需求

炼化化工装置加工工艺所需往复式压缩机的气量一般根据装置最大所需气量或近期装置可能扩容所需的流量来选择压缩机，同时据 API618 要求，往复式压缩机设计时气量还要按正偏差（3%~5%）来确定，再加上装置负荷变化、入口条件改变等因素，往复式压缩机气量大都有较大的富余量，为了满足生产需要都要进行气量调节。

3.2 传统的气量调节方法

传统的气量调节方法有旁路调节、固定余隙调节以及压开气阀调节。（见图 1）

通过对压缩机的标定发现，旁路调节是耗能调节，

不但将多余气体的全部压缩功都损耗掉，而且回流的气体是被压缩后的高温气体，还要用冷却水冷却。

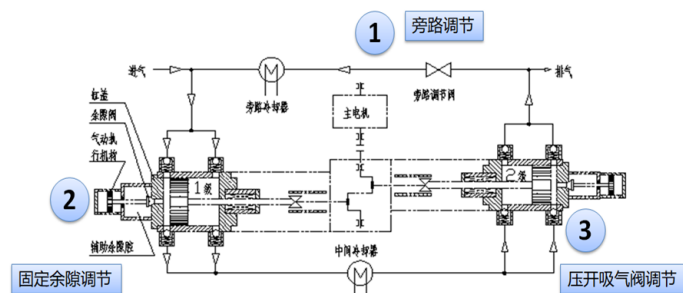


图 1 传统的气量调节方法

固定余隙调节对耗功没有达到减少排气量与减少能耗成正比的变化，降耗不明显。原因是余隙阀的有效面积小，流经阀口的气流的流速高，功耗大，造成气流温升增加，所以节能效果不佳。

压开吸气阀调节和固定余隙调节是有级调节，一般需要配合旁路调节。部分行程压开吸气阀调节是通过控制压缩过程中吸气阀的关闭时刻，控制返回进气管道气量的多少，从而实现排气量的连续调节，虽然气流进出吸气阀会有 5% 左右的阻力损失，由于指示功几乎与排气量成正比，所以有很高的运行经济性。此种方式可以实现气量 20~100% 的无级调节，但由于压开吸气阀的时间有精确要求，执行机构是高速运动部件，所以对控制和执行机构要求高、投资很高，一般需要使用专用气阀。

上述传统的气量调节方法，不能实现压缩机排量与指示功成正比，压缩机运行的能耗大。

3.3 转速调节

转速调节即通过改变压缩机的转速来调节排气量，一般适用在驱动机为内燃机或汽轮机的机组上。电动机驱动一般采用变频技术，大功率、高压变频器价格昂贵，目前很少采用。此外，变转速调节易造成机组润滑不充分、部件磨损加剧、振动增加等不良影响。

3.4 余隙无级调节

余隙无级调节是在固定余隙调节的基础上，将固定余隙改变成余隙容积连续可调的调节方法，将固定余隙改变成余隙容积连续可调的调节方法，取消固定余隙调节控制辅助余隙腔与气缸之间连接的余隙阀，可调余隙

缸与气缸外侧直接相通,进出余隙缸的气体几乎没有阻力损失,是变频调节以外最节能的调节方式。

此种方式可以实现气量 60~100% 的无级调节,可以满足绝大部分炼厂对气量调节的要求。余隙无级调节执行机构相当于调节阀,在不改变压缩机气量时不动作,无高速运行部件,使用寿命长;控制系统采用成熟的电液控制系统,控制精度高/投资低;不改变原有压开气阀和旁路调节;无需改变原有气阀。

4 余隙无级调节系统使用分析

4.1 往复式压缩机余隙容积与排气量、功率的关系

图 2 为压缩机存在余隙 V_c 的示意图和理想气体示功图。图中,横坐标 V 表示气缸容积变化,纵坐标 P 表示气缸压力变化, P_1 、 P_2 分别是进、排气压力。

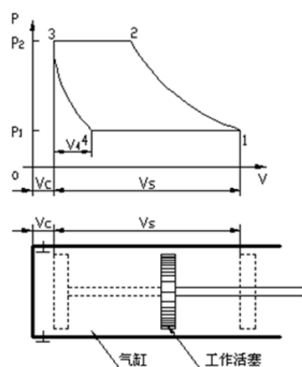


图 2 存在余隙 V_c 的示意图和示功图

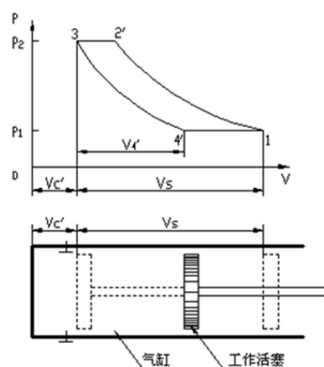


图 3 存在余隙 $V_{c'}$ 的示意图和示功图

在图 2 中,1-2-3-4 表示存在余隙容积 V_c 时全排气量的循环图。由于有余隙容积 V_c 的存在,使工作活塞在右行之初,因留存在余隙容积 V_c 内的气体压力大于进气管道的压力而不能吸入气体,直到活塞右行到位置 4 时,气缸内气体体积由 V_c 膨胀到 V_4 、压力由 P_2 下降到 P_1 时才开始进气。进气量相应的线段长度为 4-1,压缩过程为 1-2,排气过程为 2-3,膨胀过程为 3-4。1-2-3-4-1 包围的面积即为一个往复行程需要的功。

如果在余隙容积 V_c 基础上再增加余隙容积到 $V_{c'}$,示功图如图 3 示意。排气量和所需要的能耗均减小。通过调节余隙容积的大小,可以达到调节气量和减少功耗的目地。

4.2 余隙无级调节系统的工作原理

在主机箱油泵控制开关处于自动位置时(正常工作时必须处于此位置),油泵的启动/停止是由系统油压和油箱的温度决定的。当安装在油箱内液位/温度传感器检测到油温低于设定值或压力传感器检测到压力低于设定值时,油泵启动;当油温高于设定值和油压高于设定值时,油泵停止;当油温低于设定值和油压高于设定值时,油泵继续运行,液压油经过溢流阀回油箱,直到油箱内的液压油温度上升到设定值时油泵才停止。

当油泵工作时,油箱内液压油经过安装在油箱内的粗过滤器过滤后进入齿轮油泵,经过油泵升压后分为两路,一路经过溢流阀回油箱,另一路经过精密过滤器、

单向阀后分为三路:一路进入蓄能器,一路进入二位四通电磁阀,一路经过截止阀进入手动换向阀。

进入蓄能器的液压油,在油泵停止后作为液压系统的辅助能源。

当压缩机需要调节气量时,二位四通电磁阀得电;当压缩机不需要调节气量或三位四通电磁阀故障时,二位四通电磁阀失电。

当压缩机需要增加排气量时(俗称加载,以一级执行机构增加排气量为例),二位四通电磁阀得电,液压油经过三位四通电磁阀——液控单向阀——可调节流阀——常开阀——控制油 A 口进入油缸,调节活塞向减小余隙方向运动。

当压缩机需要减少排气量时(俗称减载,以一级执行机构增加排气量为例),二位四通电磁阀得电,液压油经过三位四通电磁阀顶开液控单向阀——油缸内液压油在执行机构的余隙活塞的活塞力作用下回流,经过可调节流阀——液控单向阀——三位四通电磁阀回油箱,调节活塞向增大余隙方向运动。

当调节到位或不需要调节时,三位四通电磁阀处于中间位置,二位四通电磁阀失电,液控单向阀内的控制油流回油箱,液控单向阀关闭,油缸处于锁定状态。

与三位四通电磁阀并联的是三位四通手动换向阀,它的作用是当三位四通电磁阀或控制系统出现故障时,手动操作压缩机加载或减载。

通过调节可调节流阀,可以调节加载或减载的速度。

当电液控制系统出现故障时,可以通过关闭控制油管路上的常开阀锁定余隙活塞的位置。

4.3 余隙无级调节系统的硬件组成

往复式压缩机的余隙无级调节系统,主要由执行机构(包括余隙缸、余隙活塞和液压缸)、电液控制柜、泄漏检测系统等部分组成。

执行机构由厂家新设计制造的余隙缸、余隙活塞和液压缸等组成,取代机组原来的气缸端盖。余隙无级调节由智能控制系统控制,实现对气量自动实时的控制。可调余隙调节执行机构示意图见图 4。

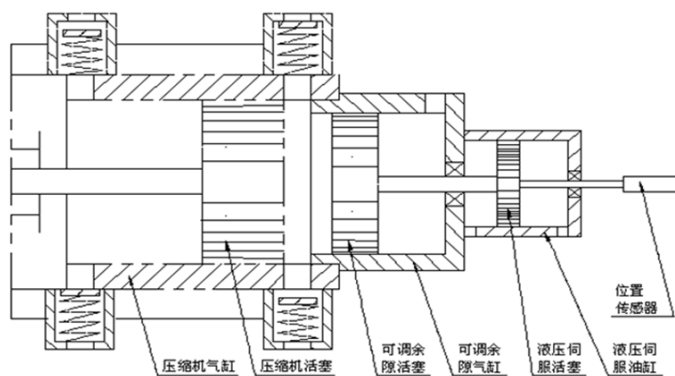


图 4 可调余隙调节执行机构示意图

新增加的电液控制系统可以根据主控变量或通过手动给定参数,通过可编程控制器 PLC 或用户 DCS、电磁阀、位置传感器、伺服油缸组成的电液控制系统,使余

隙缸活塞按输入信号作直线位移,从而实现各级余隙容积变化的伺服控制,最终实现压缩机排气量和级间压缩比的控制。

泄漏检测系统通过限流孔板、压力变送器、限压排放单向阀组成泄漏检测系统,在线检测执行机构泄漏状况。也可通过现场操作就地排放阀直观检测泄漏。

4.4 余隙无级调节系统设计基本原则和计算参数

4.4.1 设计基本原则

①不改变压缩机原主体结构,仅对压缩机缸盖(含余隙阀)进行改造;②基本不改变机组原控制系统。仅取消原固定余隙调节;③可调余隙容积采用电液控制方式,使得排气量在60%~95%内进行无级调节或按实际需要设计调节范围;④安全第一。气体侧、液压油侧各2道密封,保证密封的可靠性;⑤泄漏的气体和液压油将通过管道进入压缩机污油罐;⑥设置有实时泄漏检测装置,泄漏超标将发出报警或自保停止油泵;⑦核算压缩机综合活塞力和活塞杆反向角,确保压缩机长周期安全运行。

4.4.2 技术参数

表1 余隙无级调节系统技术参数

序号	项目	技术参数
1	调节范围	60%-95%
2	液压系统电磁阀及用电元件控制电压	DC24V
3	液压油	46# 抗磨液压油
4	液压系统清洁度要求	NAS 9 级
5	电控系统 PLC	西门子 S7
6	显示系统	维纶通 MT 系列触摸屏
7	总装机功率	3.5kW
8	电机功率	3kW

5 改造后的变化与节能效果

2015年10月,利用装置大检修时间选用了沈阳远大压缩机股份有限公司研发的余隙无级调节系统,对其中的一台机组 K19201A 进行了技术改造,可以实现压缩机气量 65%~95% 的无级调节。

经过设备工程部专家、作业部技术人员和厂家技术指导人员相互配合、精心调试,余隙无级调节系统投入后运行平稳。运行一段时间后,我们对机组的运行情况进行了标定,主要参数见表2。

表2 机组标定参数

余隙调节系统	余隙开度 %	流量 Nm^3/h	电机电流 /A
--------	--------	---------------------------	---------

改造前	100	56700	100
改造后	90	55100	95
改造后	80	53800	91
改造后	70	52500	88
改造后	65	50900	86
改造后	60	48600	84

节能效果计算如下:

根据三相有功功率的计算公式:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \Phi$$

未投用余隙调节系统时电机功率:

$$P_1 = 1.732 \cdot 6\text{kV} \cdot 100\text{A} \cdot 0.73 = 758.62\text{kW}$$

改造后负荷设为 65% 时电机功率:

$$P_2 = 1.732 \cdot 6\text{kV} \cdot 84\text{A} \cdot 0.73 = 637.24\text{kW}$$

功率下降量:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 759\text{kW} - 652\text{kW} = 121.38\text{kW}$$

年节约电量(按全年运行计算):

$$W = 121.38\text{kW} \cdot 8400\text{h} = 1019592\text{kW} \cdot \text{h}$$

年节约电费:

$$1019592\text{kW} \cdot \text{h} \cdot 0.65 \text{ 元/kW} \cdot \text{h} = 66.27 \text{ 万元}$$

相对于不到 50 万的整体投资额度,压缩机运行一年即可收回投资成本,节能效果明显。运行情况表明,改造后系统稳定、输出气量稳定性高、参数设置灵活,可根据生产需要内操人员随时从 DCS 画面中调节负荷,外操人员也可通过现场控制柜 PLC 调节,无需另外增加硬件设施,没有特殊设计制造的易损件。通过实际应用表明,投用余隙调节系统后,节能效果显著,可以取得良好的经济效益。

6 结语

实践证明,余隙无级调节系统具有输出气量稳定性高、参数设置灵活、投资及维护费用低、节能效果好、系统可靠等特点,特别适合往复式压缩机需要减少流量的调节。汽油选择性加氢装置往复压缩机采用余隙无级调节系统后,机组能耗显著降低,机组的振动、声音都明显下降,进一步确保了机组的长周期运行。

参考文献:

- [1] 顾兆林,等.基于脉冲信号概念的往复压缩机流量调节方法分析[J].科学通报,2011,56(15):1169-1176.
- [2] 金江明,洪伟荣,梁萌,等.往复压缩机气量调节方法的研究进展[J].压缩机技术,2007,204(4):28-31.
- [3] 赖通荣,等.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
- [4] 顾兴坤,顾晓伟,顾妹靓.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:中国,CN201420448693.6[P].2014-12-03.