

HRCS 气量无级调节系统在加制氢装置压缩机上的应用及经济效益分析

巴金庆（中海沥青股份有限公司，山东 滨州 256600）

摘要：本文探讨了 HRCS 气量无级调节系统在加制氢装置压缩机上的应用及其带来的显著效益。通过分析传统气量调节方式的局限性，介绍了 HRCS 系统的工作原理和功能，并详细阐述了其在运行装置压缩机上的实际应用效果。从运行结果表明，HRCS 系统不仅实现了气量的精准调节，还提高了操作简便性和生产安全性，在大幅降低了电机功耗的同时节省了电费，降低了生产成本，带来了可观的经济效益。

关键词：HRCS 系统；气量调节；压缩机；节能效益；经济效益

中图分类号：TH45 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 014-0055-03

Application and Economic Benefit Analysis of HRCS Gas Volume Stepless Adjustment System in Hydrogen Production Unit Compressor

Ba Jinqing (Zhonghai Asphalt Co., Ltd., Binzhou Shandong 256600, China)

Abstract: This article explores the application of HRCS gas volume stepless regulation system in hydrogen production unit compressors and the significant benefits it brings. By analyzing the limitations of traditional gas volume regulation methods, this article introduces the working principle and functions of the HRCS system, and elaborates on its practical application effect in operating compressors. The operational results show that the HRCS system not only achieves precise adjustment of gas volume, but also improves operational simplicity and production safety. While significantly reducing motor power consumption, it also saves electricity costs, lowers production costs, and brings considerable economic benefits.

Keywords: HRCS system; Gas volume regulation; compressor; Energy saving benefits; economic benefits

1 项目背景

大型往复式压缩机在石油化工、天然气输送、冶金工业以及气体处理等多个领域中得到广泛应用。由于工艺流程的调整往往会引起气体消耗量的波动，因此对压缩机的气量调节能力提出了更高的要求。而且由于工艺设计前期在选用压缩机时都留有调节余量，因此很多压缩机需要在部分负荷情况下进行运行，这样就需要对压缩机的排气量进行调节，以满足工艺流程的需要。一般情况下，每台压缩机都配置了回流阀（一回一、二回一）实现对流量的调节。

虽然这种方法简单易行，但存在明显的能量浪费问题。以加氢装置新氢压缩机和制氢装置原料气压缩机为例，加氢装置新氢压缩机实际运行流量 18000 ~ 22000Nm³/h，设计流量 37000Nm³/h，实际负荷约 50% ~ 60%；制氢装置原料气压缩机实际运行流量 5000 ~ 6000Nm³/h，设计流量 10871Nm³/h，实际负荷约为 45 ~ 55%。两台压缩机实际运行均在较低负荷下，采用回流阀进行气体流量调节，由于回流的气体介质为经压缩机压缩后的高温高压气体，造成大量的电机功耗白白浪费。系统流量虽然得到了调节，但电机功耗无法同步降低，存在严重的浪费，节能的空间非常巨大。

2 项目改造方案

2.1 往复压缩机的气量调节方式分析

压缩机的气量调节技术主要包括以下几种方式：旁通控制、转速调节、分级调节、固定余隙调整以及部分行程进气阀顶开调节。通过回流阀将多余的高压气体直接连接到低压管路中为旁通调节，它是应用最为广泛的一种气量调节方式，但也是能量浪费最严重的方式。变转速调节的原理是通过改变往复式压缩机的旋转速率以达到调节往复式压缩机最终排气量的目的，对变频电机的要求比较高。变转速调节的缺点是当电机功率大于 200kW·h，电机的价格会非常昂贵；另外，压缩机气阀是针对特定工况和特定转速的压缩机进行设计的，当压缩机转速变化时，气阀的工作效率会降低，并有可能出现震颤现象，很容易导致气阀不能正常工作，甚至损坏。逐级调节一般是指通过膜式气缸（也称卸荷器）将盖侧或者轴侧所有进气阀一直顶开进行气量调节，它一般能够实现三档（0, 50%, 100%）或者五档（0, 25%, 50%, 75%, 100%）调节，它的缺点是不能够实现无级调节，必须配合旁通调节才能够满足工艺流程的需要。固定余隙调节是通过调整压缩机余隙容积的大小，进而使压缩

机的排气量产生变化，它的缺点是，只能在盖侧安装余隙装置，气量的调节范围有限，并且，对于低压比的压缩机，余隙装置的体积过大。通过压缩机气阀的关闭时间延长使无需压缩、生产运行中多余的气量在压缩过程开始之前即返回到压缩机的进气管路中则是部分行程的顶开进气阀气量调节，是目前应用最为广泛的一种压缩机无级气量调节方式，它能够使往复式压缩机在实际生产中得到排气量在 30%~100% 范围内的气量无级调节，根据生产需要压缩机气量调节更加精准，节能效果显著。

经查询压缩机本体资料，收集装置实际生产状况，结合实地查勘装置设备，加制氢装置压缩机改造方案最终采用的就是部分行程顶开进气阀实现气量无级调节的方式，供货方为上海环天压缩机有限公司，产品名称为环瑞 HRCS 气量无级调节系统。

环瑞 HRCS 气量无级调节系统（简称 HRCS 系统）是一种专门用于压缩机排气量调节的独立控制解决方案。该系统配备了用户友好的人机交互界面，操作简单直观，同时以其卓越的稳定性、快速精准的调节性能以及显著的节能效果为主要特点。HRCS 系统通过标准化接口与压缩机现有的 DCS（分布式控制系统）进行数据通信，展现出了卓越的适应性，不仅能够作为独立单元运行，还可与现有 DCS 系统完美整合，保障压缩机在各类工况下均能维持安全、稳定且高效的运转性能。其核心技术在于运用了分段式进气阀开启机制，这使得排气量能够在全量程范围内实现平滑的线性调节。然而，在具体应用过程中需特别关注：当气体回流比例过高时，可能引发压缩腔体温度异常上升，基于此，系统设定了运行限制，严禁设备在 30% 负荷率以下持续工作，以此规避因过热导致的机械故障。系统内置的电气 - 液压驱动装置能够精准响应控制单元发出的指令信号，对进气阀实施精确的开闭操作。通过智能调控进气阀的闭合时间节点，可有效掌控每个压缩周期内的实际气体处理量，进而达成对排气参数的精细化管理。

2017 年 4 ~ 5 月份加氢制氢装置检修期间，利用十五天时间完成了原料气压缩机 A 机和新氢压缩机 A 机两台机组新增的气量无级调节系统改造，严格按照规程装配，一次性通过验收，并顺利运行。

2.2 HRCS 系统的工作原理

该系统的液压执行单元由快速响应电磁阀进行油路切换控制，当接收到外部控制信号时，电磁阀线圈得电，驱动阀芯位移，从而建立液压缸与动力单元之间的高压油路通道。在液压压力作用下，活塞产生轴向位移，通过传动装置强制开启进气阀门；当外部控

制信号消失时，电磁阀失电复位，液压缸与动力单元之间的低压回路随即连通。在复位弹簧的作用下，气阀压叉恢复原位，同时阀片弹簧和气体力共同作用，使进气阀关闭，压缩机气缸内的气体开始进入压缩阶段。

压缩机输出气量的大小取决于进气阀延迟关闭的时长，而这一时长由电磁阀的通电时间控制。在加制氢装置压缩机的无级气量调节改造中，PLC（可编程逻辑控制器）通过输出信号调节电磁阀的通电时间。智能调控 PLC 通过实时监测压缩机排气压力参数（该参数与气体流量及活塞运动行程具有对应关系），生成相应的控制指令并传输至电磁阀执行机构，以此实现气体流量的精确调控功能。

改造后的往复式压缩机具备无级气量调节功能，无级调节功能显著降低了压缩机的循环指示功，与原先压缩机自带气量调节的方式来进行对比的话，的确达成了压缩机能源消耗量的减少，降低了运行装置的生产成本。

2.3 HRCS 系统实现的功能

①在 30 ~ 100% 范围内进行压缩机排气量的气量无级调节；

②随着排气量的减少，压缩机的轴功率也会相应降低，从而显著提升节能效率；

③无级调量系统通过标准接口与压缩机原有的 DCS 实现双向通信，具备良好的兼容性，操作简单便捷。该系统支持压缩机在零负荷状态下启动，并能够实现逐步加载、卸载、切换及停机等功能；

④在调节装置出现异常工况时，系统会立即向分布式控制系统传输故障报警信息。分布式控制系统可根据接收到的异常信号自动断开环瑞 HRCS 装置的运行，同时也支持人工手动干预操作。当该调节系统被切除后，压缩机仍可在原有控制系统的支持下维持正常运行，从而确保整个机组的持续稳定运转不受干扰；

⑤根据双方确定的主控变量（如压力值），实现负荷的自动调节，且控制方式可在手动和自动两种模式自由切换。

3 项目改造后的效果分析

改造 HRCS 系统后的制氢装置原料气压缩机于 2017 年 5 月下旬投用，加氢装置新氢压缩机于 7 月中旬投运。投运前后的使用效果对比如下：

工艺上，两台压缩机实现了气量在 30%~100% 范围内进行无级调节，可以根据工艺的要求自动调整压缩机的工作负荷。

操作上，HRCS 系统可以实现自动调节，且调节精准；设置各级出口压力值后，根据工艺变化需求，

表 1

改造前新氢压缩机 0102-C-102A 运行参数统计表							
统计日期	装置炼量 t/h	新氢流量 Nm ³ /h	额定流量 Nm ³ /h	电机电流 A	电机功耗 kW·h	电机功率 kW	一返一开度 %
2016-5-25	120.00	18100.00	37000.00	152.69	2499.71	3200.00	66.50
2017-3-17	130.00	19653.00	37000.00	154.71	2531.75	3200.00	65.50
2017-3-21	135.00	20632.00	37000.00	155.08	2558.33	3200.00	65.50
2017-3-22	140.00	21700.00	37000.00	155.36	2530.89	3200.00	64.50
改造后新氢压缩机 0102-C-102A 运行参数统计表							
统计日期	装置炼量 t/h	新氢流量 Nm ³ /h	额定流量 Nm ³ /h	电机电流 A	电机功耗 kW·h	电机额定功率 kW	HRCS 一级负荷 %
2017-7-14	130.00	20075.00	37000.00	88.21	1370.00	3200.00	46.00

表 2

改造前原料气压缩机 0103-C-101A 运行参数统计表							
统计日期	装置产量 Nm ³ /h	原料气流量 Nm ³ /h	额定流量 Nm ³ /h	电机电流 A	电机功耗 kW·h	电机功率 kW	一返一开度 %
2016-5-25	18900.00	5800.00	10871.00	62.91	1026.40	1250.00	无
2016-6-23	23000.00	6800.00	10871.00	64.89	1064.74	1250.00	无
2017-3-17	19600.00	5480.00	10871.00	63.66	1008.80	1250.00	无
2017-3-21	20500.00	5770.00	10871.00	65.00	1025.20	1250.00	无
2017-3-22	21079.00	5900.00	10871.00	65.19	1023.60	1250.00	无
改造后原料气压缩机 0103-C-101A 运行参数统计表							
统计日期	装置产量 Nm ³ /h	原料气流量 Nm ³ /h	额定流量 Nm ³ /h	电机电流 A	电机功耗 kW·h	电机额定功率 kW	HRCS 一级负荷 %
2017-5-26	17000.00	5315.00	10871.00	37.40	585.00	1250.00	48.00
2017-6-1	20300.00	6000.00	10871.00	40.81	648.00	1250.00	51.00
2017-7-14	20433.00	6000.00	10871.00	39.63	629.00	1250.00	50.00

HRCS 系统自动对压缩机进行负荷调节，将出口压力稳定在设置值有效范围内，波动值在 $\pm 0.2\text{bar}$ 以内；以往采用回流阀调节时，需要人为判断压力变化并不断调节回流阀开度，对操作工要求较高，且回流阀调节准确度较低。HRCS 系统使压缩机的操作控制变得更简便更精确。

生产安全方面，如果 HRCS 系统出现了故障，压缩机处于满负荷状态，由回流阀继续对压缩机进行控制，因此该系统不会对生产和安全造成影响；同时投运 HRCS 系统后，随着压缩机负荷的降低，活塞杆受力随之下降，一定程度上增加了压缩机运行的平稳性和可靠性。

4 经济效益分析

投运 HRCS 气量无级调节系统前后的电机功耗如表 1、表 2 所示：

根据表 1、表 2 可以得出，在入口和出口压力相近、流量接近的工况下，投运 HRCS 气量无级调节系统后的压缩机电机电流和功耗大幅降低，带来了相当可观的节能收益。

新氢压缩机在加氢装置相同炼量（130t/h）且流量相差不大约为 20000Nm³/h 时为例，投运前电机电流 154.71A，功率 2532kW；投运后电机电流 88.21A，功率 1370kW，每小时节省电能 1160kW，每年按照运行

8000h、0.69 元/度计算，一年可节电 928 万度，折合人民币约 640 万元。

原料气压缩机在流量 6000Nm³/h 时为例，投运前电机电流 65.19A，功率 1024kW；投运后电机电流 40.81A，功率 629kW，每小时节省电能 395kW，每年按照运行 8000h、0.69 元/度计算，一年可节电 316 万度，折合人民币约 218 万元。节能效益明显，按照投资成本计算，连续运行 3 个月即可收回成本。

5 总结

综上所述，加制氢装置内新氢压缩机和原料气压缩机应用 HRCS 气量无级调节系统之后，从有级调节升级至无级调节，压缩机压缩气量得到了较为精准的控制，同时操作方便，并得到了非常可观的经济效益。

参考文献：

- [1] 况成虎,赵全升,付超伟,等.国产气量无级调节系统在重整氢增压机 K202A 上的应用 [J].四川化工,2017,20(1):36-40.
- [2] 魏强虎,张高峰.往复式压缩机顶开吸气阀调节的改造 [J].中国氯碱,2018(8):30-32.
- [3] 何松.HRCS 无级气量调节系统在往复式压缩机上的应用 [J].石油和化工设备,2023,26(2):58-62.
- [4] 蔡云兴.HRCS 气量无级调节系统控制原理解析 [J].化工管理,2021(26):116-117.