

SCPR 单炭化室压力调节系统在宣钢焦化厂焦炉的应用与运行效果分析

钱贵东

河北钢铁集团宣钢公司焦化厂，河北张家口，075100；

摘要：针对传统焦炉集气管压力控制精度不足导致生产波动和环保问题突出的现状，以河钢宣钢焦化厂1#、2#焦炉为对象，实施SCPR单炭化室压力调节系统技术改造。介绍了系统的构成及工作原理，分析了系统运行前后的现场数据。结果表明，SCPR系统运行后，首先1#、2#焦炉各个炭化室底部压力在结焦末期均值 $\geq 5\text{Pa}$ ，实现结焦末期炭化室底部不负压要求，同时单炭化室压力波动幅度降低至 $\pm 5\text{Pa}$ 以内，焦炭灰分含量降低0.9个百分点，焦炭机械强度提高2.7个百分点，吨焦能耗下降5%以上，无组织烟尘排放浓度降低超过20%。研究成果对类似企业焦炉的技术改造和绿色转型具有较高的借鉴和推广价值。

关键词：SCPR系统；单炭化室；压力控制；焦炉；节能减排；技术改造

DOI：10.69979/3060-8767.25.04.012

引言

焦炉炭化室压力的精准控制直接影响焦炭产品质量、生产能耗和环境保护效果。传统焦炉压力控制通常采用集气管压力统一调节方式，整体调控全部炭化室压力，这种方式易引起单个炭化室的压力波动，无法精确响应不同炭化室的生产差异，严重影响焦炉运行稳定性和经济性。近年来，随着自动化控制技术的发展，国外部分先进企业已初步开展了单炭化室精准控制技术的应用研究，但国内相关技术研究与实际应用仍处于起步阶段，缺乏系统的实践经验与成效分析^[1]。为解决焦炉单炭化室压力精准控制问题，提升焦化生产稳定性，河钢宣钢焦化厂1#、2#焦炉引入了SCPR单炭化室压力调节系统，通过对每个炭化室实施独立精准控制，有效降低了压力波动幅度，显著改善焦炉运行稳定性和焦炭质量，具有明显的技术创新优势。本文以实际工程应用为基础，深入分析了SCPR系统在焦炉生产中的应用过程和运行效果，明确其在压力精确调节、节能降耗和环保效益方面的优势，为国内同行业焦化企业的技术升级和智能化改造提供了有价值的参考与借鉴。

1 SCPR 单炭化室压力调节系统的原理与技术特点

1.1 系统构成与运行原理

SCPR单炭化室压力调节系统主要由压力传感器、智能调控单元和执行机构三大模块组成。系统工作时，高精度压力传感器实时采集每个炭化室内部的压力数值，

并以高速通信方式将数据传输给智能调控单元。智能调控单元内部集成了先进的PID控制算法及自适应反馈技术，能够对实时压力数据进行准确解析，并与预设的目标压力值进行快速对比，计算出相应的调节指令^[2]。随后，该调节指令通过控制信号实时发送至执行机构，快速精确地驱动上升管上的气动蝶阀作出相应动作，以动态调整炭化室气流通道的开度，实现对每个单独炭化室压力的精准调节与平衡控制。该闭环反馈调节机制有效避免了传统集中控制方式中多个炭化室压力相互干扰导致的波动幅度大的问题，大幅提升了焦炉运行工艺的稳定性、响应速度及控制精准性^[3]。

1.2 技术特点与创新之处

SCPR系统技术上具备压力控制精度高、响应速度快及自动化程度高等突出特点。具体而言，系统选用高灵敏度压力传感器，能够实现 $\pm 5\text{Pa}$ 以内的高精度压力监测，显著优于传统集中式压力控制技术 $\pm 15\text{Pa}$ 的控制精度；通过先进的PID智能控制算法，系统压力调节响应时间稳定在5秒以内，远低于传统系统的响应延迟，显著提高了炭化室压力调节效率。同时，系统采用高度智能化的闭环自动运行模式，实现了长周期、无人值守的自动化操作，明显降低了人为操作造成的工艺误差和劳动强度^[4]。

此外，与传统整体压力控制技术的统一调节方式相比，SCPR技术创新性地实现了单炭化室的独立、精准控制，有效消除了因炭化室之间装煤量、煤气析出速率等差异造成的压力波动问题，极大地改善了焦炉生产的稳

定性和工艺适应性，并在提高焦炭质量、降低生产能耗、减少污染物排放等方面体现出明显的技术优势^[5]。同时，该系统还集成了实时数据监控与智能预警功能，能够自动识别和提前预警异常压力波动，有效避免焦炉生产事

故的发生，进一步提高了焦炉运行的安全性与可靠性。此外，通过模块化设计和冗余控制策略，系统能够在单个元件失效时自动切换至备用模式，确保焦炉长期稳定运行，进一步体现出较高的工程应用价值^[6]。

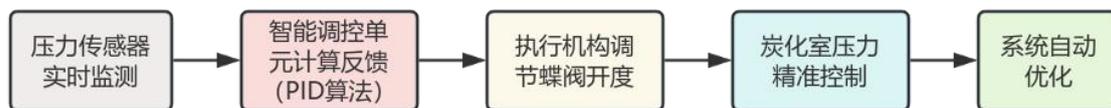


图1 SCPR单炭化室压力调节系统工作流程与控制原理图

2 SCPR系统在河钢集团宣钢焦化厂1#、2#焦炉的应用与实践

2.1 焦化厂焦炉工艺概况

河钢宣钢焦化厂1#、2#焦炉型号为YJL6045-I型顶装焦炉，每座焦炉有43个炭化室，年生产冶金焦约90万吨。焦炉采用传统的集气管集中压力调节模式，通过放散管上的翻板阀，统一调节炭化室压力。然而，这种传统方式无法精细化控制各炭化室的压力差异，对煤料性质不均、装煤量波动以及煤气析出速率差异的响应能力较差。实际生产数据显示，在传统控制方式下，各炭化室压力波动幅度普遍达±20~30 Pa，导致焦炭质量波动明显、影响焦炉正常加热以及废气排放指标难以稳定控制，严重影响焦化生产的稳定性和环保效益。因此，企业迫切需要引入更精确、智能化的单炭化室压力调控技术，以全面提升焦炉运行水平。

2.2 SCPR系统安装与实施过程

河钢宣钢焦化厂在1#、2#焦炉上升管顶部安装了SCPR单炭化室压力调节系统，配备高精度压力传感器（测量精度达±2 Pa）和耐高温气动蝶阀执行机构，并构建了高效数据传输与反馈控制网络。施工阶段包括上升管结构适配改造，选用高温法兰与特种密封材料保障蝶阀与上升管的可靠连接和气密性；传感器与执行机构则采

用热屏蔽与隔热措施，以抵御焦炉工况下的高温及热辐射干扰^[7]。系统调试阶段，通过对历史运行数据与实时监测数据的分析优化，采用PID智能控制算法，最终实现结焦末期炭化室压力≥5Pa要求，蝶阀动作响应时间保持在5 s以内，大幅提高了压力调控的准确性与实时性，显著提升了焦炉整体工艺适应性。

2.3 系统运行管理与维护策略

SCPR系统正式运行后，宣钢焦化厂搭建了数字化运行监控平台，实现对每个炭化室压力变化趋势的实时监测、分析和故障诊断，形成可追溯的数据记录与分析日志，辅助决策和异常预警。为确保系统长期稳定运行，宣钢焦化厂制定严格的周期性维护策略，具体包括每周定期对压力传感器及蝶阀执行机构开展巡查与清洁维护，每季度对传感器精度进行一次标定与系统运行参数校准，每年进行一次系统全面检修维护^[8]。此外，平台配置了自动诊断与紧急处理功能，一旦单炭化室压力超出±15 Pa控制阈值，系统立即自动触发执行机构进行紧急干预或切换至安全保护模式，避免运行事故扩散。这种精细化、系统化的管理与维护模式，有效提高了焦炉运行的工艺稳定性、安全性以及长期经济效益，为同类型企业实施单炭化室智能压力控制提供了宝贵的实践经验与借鉴价值^[9]。

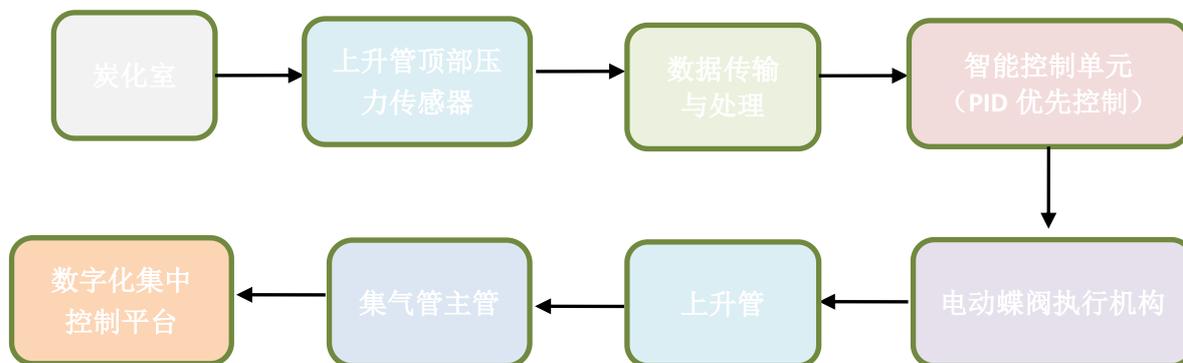


图2 SCPR系统在焦炉的安装位置与布局示意图

3 SCPR 系统运行效果分析与评估

3.1 压力控制精度与稳定性评估

基于河钢宣钢焦化厂 1#、2#焦炉连续 6 个月的实际运行数据，对 SCPR 系统应用前后的单炭化室压力控制情况进行了详细的对比分析。系统实施前焦炉炭化室压力波动幅度普遍达 $\pm 25\sim 30$ Pa，标准差平均为 12.5 Pa，存在显著的工艺控制不稳定风险；而在系统实施后，炭化室压力波动幅度显著降低，稳定在 ± 5 Pa 范围以内，压力波动标准差降至约 3.0 Pa 以内，压力控制精准性提升达 76% 以上。通过对长期连续压力监测趋势的分析，也进一步证明 SCPR 系统有效改善了压力控制曲线的平稳性与稳定性，极大提高了焦炉生产的整体稳定性与工艺响应能力，为稳定生产高品质焦炭提供了可靠的技术保障。

3.2 焦炉生产效率与环保效益分析

选取 SCPR 系统运行前后连续 12 个月的焦炭质量、能耗及环境排放指标进行全面对比分析发现：系统实施后焦炭灰分含量从 13.5% 降低至 12.6%，下降近 0.9 个百分点；焦炭机械强度指标 (M40) 由 87.2% 显著提高至 89.9%，提升了 2.7 个百分点；焦炉煤气回收利用率提高超过 4%。以标准煤计量的单吨焦炭生产能耗从 128 kg 标煤下降至 121 kg 标煤，节能降耗幅度超过 5.4%。此外，结合环保部门连续监测的数据显示，系统实施后焦炉无组织烟尘排放浓度同比下降 22.4%，污染物排放水平呈现明显下降趋势。综合以上评估结果，SCPR 系统在显著提升焦炉生产稳定性和产品质量的同时，也实现了明显的能源节约和环境污染控制，体现出良好的社会效益和经济效益。详见表 1。

3.3 经济效益及技术优势分析

依据系统连续运行一年后的经济效益分析结果，应用 SCPR 系统所产生的年均综合经济效益超过 260 万元，其中，节能降耗的直接经济贡献占比超过 60%。SCPR 技术的核心优势体现在其压力控制精度高、动态响应速度快，能有效降低人为干预次数和设备异常维护成本，与传统集中式压力控制技术相比，单炭化室精准控制模式的优势尤为突出。此外，系统高度自动化的运行模式明显减少了人工值守需求，降低了人为误操作风险。然而，在长期运行监测过程中发现，压力传感器存在一定程度的信号漂移现象，主要是受焦炉高温环境的持续影响^[10]。

因此，建议后续加强对压力传感器的定期校准和执行机构密封部件的预防性维护管理，以进一步提升系统长期运行的可靠性和经济性能。

表 1 系统运行前后炭化室压力、焦炭质量及能耗指标对比分析

指标	系统实施前	系统实施后
压力波动范围 (Pa)	$\pm 25\sim 30$	± 5
压力波动标准差 (Pa)	12.5	3.0
焦炭灰分含量 (%)	13.5	12.6
焦炭机械强度 M40 (%)	87.2	89.9
单吨焦炭能耗 (kg 标煤)	128	121

4 结论与展望

4.1 研究结论

河钢宣钢焦化厂应用 SCPR 单炭化室压力调节系统后，焦炉压力控制精度显著提升，压力波动范围由实施前的 $\pm 25\sim 30$ Pa 降至 ± 5 Pa 以内，压力稳定性提高近 80%，炭化室底部压力末期均值 ≥ 5 Pa，实现结焦末期炭化室底部负压要求。同时，焦炭产品灰分含量降低 0.9 个百分点，机械强度指标 M40 提升 2.7 个百分点，吨焦能耗降低 5% 以上，无组织污染物排放减少超过 20%。研究证实，SCPR 技术显著改善了焦炉生产工艺稳定性和环保效益，研究成果可为同类型焦化企业的技术改造提供有效参考和实践依据。

4.2 技术展望与推广建议

未来 SCPR 技术可进一步优化传感器抗高温干扰性能、提高执行机构耐用性，以确保系统长期高效运行。建议深化压力实时在线诊断技术和智能预警功能的研发，提升系统自动化管理水平。此外，未来可考虑将 SCPR 系统与工业互联网技术深度融合，建立远程智能诊断与集中管控平台，进一步提升系统的运行管理效率和数据分析能力，拓宽技术在焦化领域的应用前景。通过大数据分析平台的构建，可实现多焦炉、多厂区之间的数据共享与协同控制，有助于开展跨区域的工艺优化与故障诊断，形成更加完善的焦炉生产智能管理体系。鉴于本研究在焦炉生产中已表现出良好的适应性与明显的综合效益，建议在国内焦化企业中进行更广泛的示范推广，推动焦化产业智能化、绿色化发展。为提高技术应用效果，相关企业可结合具体工况需求进行差异化、定制化实施，最大程度发挥 SCPR 技术的综合优势。

参考文献

- [1]徐廷万.单炭化室压力调节系统在7.0m焦炉上的应用实践[J].四川化工,2022,25(04):52-54.
- [2]祁大鹏,张森.7.63 m焦炉炭化室煤线测量技术探讨[J].山西冶金,2021,44(04):278-280.
- [3]吕望纯.焦炉集气管压力系统控制策略的研究[D].辽宁科技大学,2023.
- [4]史瑛迪,洪志勇,周春蛟,等.对现有焦炉实现炭化室压力单独调节技术的改造分析[J].燃料与化工,2020,51(04):21-23.
- [5]李昌胤,赵锋,郭天胜,等.新焦炉集气管压力控制系统在鞍钢的应用[J].鞍钢技术,2020,(06):35-38.
- [6]史瑛迪,洪志勇,周春蛟,等.对现有焦炉实现炭化室压力单独调节技术的改造分析[J].燃料与化工,2020,51(04):21-23.
- [7]纪清宇.焦炉集气管压力系统深度强化学习控制方法研究[D].东北大学,2021.
- [8]杨卫彪,邵永成.焦炉集气管压力控制系统优化升级[J].甘肃冶金,2022,44(01):103-105.
- [9]朱英韬,胡运胜.焦炉集气管压力的模糊预测控制[J].现代电子技术,2022,45(13):83-86.
- [10]西安交通大学.一种基于MATLAB的离心风机系统动态仿真方法和系统:202111668246.2[P].2022-04-05.