

转炉炼钢的自动化控制技术分析

张洪来

石横特钢集团有限公司, 山东 泰安 271612

DOI:10.61369/ME.2025050033

摘要：钢是工业生产和工程建设中必不可少的重要产品，为全面提升钢产品质量，优化钢产品生产工艺，炼钢企业需要格外重视生产工艺产品生产质量的控制。随着先进信息技术对炼钢行业的影响逐渐深入，提高转炉炼钢的自动化控制水平至关重要。本文将结合转炉炼钢实现自动化控制的现实意义，讨论转炉炼钢自动化控制技术，希望有所帮助。

关键词：转炉炼钢；自动化控制；现实意义；控制技术

Analysis of Automatic Control Technology for Converter Steelmaking

Zhang Honglai

Shiheng Special Steel Group Co., Ltd., Tai'an, Shandong 271612

Abstract : Steel is an indispensable and important product in industrial production and engineering construction. To comprehensively enhance the quality of steel products and optimize their production processes, steelmaking enterprises need to place particular emphasis on controlling the production quality of their processes and products. With the gradual and profound influence of advanced information technology on the steelmaking industry, it is crucial to improve the automation control level of converter steelmaking. This article will discuss the automation control technology for converter steelmaking in conjunction with the practical significance of achieving automation control in this field, hoping to provide some assistance.

Keywords : converter steelmaking; automation control; practical significance; control technology

一、转炉炼钢实现自动化控制的现实意义

首先，自动化控制可实现生产效率的提升。转炉炼钢自动化控制系统能够对各项参数进行调节与监控，使整个工艺流程保证稳定性，避免影响工艺流程的进行，实现生产效率的提升。实践中，自动化控制系统能够对氧枪位置和炉内温度进行监测，同时能够对氧气给送时间和量进行精准控制，保证各项参数符合转炉炼钢要求。此外，自动化控制系统也可以控制添加剂和原材料配比等，实现对炼钢工艺的优化^[1]。

其次，转炉炼钢自动化控制能够减少环境污染，符合工艺生产节能减排要求。随着国家和人民对环保的重视程度逐步加深，炼钢行业也应当将污染物排放控制，作为工艺生产技术优化的主要方向。此外，节能减排生产目的的实现，还有助于有效降低炼钢企业生产成本，令企业原料采购成本进一步下降，增强企业竞争力。

最后，转炉炼钢自动化控制技术的应用，也符合炼钢企业未来可持续发展要求。伴随工业4.0时代的来临，各类工艺生产的自动化水平，相较于过去有了明显提升，不主动更新自动化控制技术的企业，逐渐体现出对新工艺生产要求不适应的现象，因此，炼钢企业也需要主动认识到自动化控制技术的价值，通过自动化控制技术的应用，保障企业可持续发展^[2]。

二、转炉炼钢自动化控制技术

(一) 系统结构

转炉炼钢自动化控制系统，可分成基础自动化、过程自动化与管理自动化等不同层结构。具体而言，基础自动化层结构可看作整体系统实现功能的底层逻辑，主要通过执行器、传感器等硬件设备收集并处理数据，实现对设备的控制。过程自动化层结构是基础自动化层的上层结构，是通过 FSSS、LCS 和 DAS 等系统，实现对参数的实时监测，同时能够进一步优化参数，使生产过程符合要求^[3]。另外，过程自动化层结构还能够通过软件，对问题进行诊断，并基于数据分析结果，实时进行控制。管理自动化层结构，顾名思义，能够对不同层级功能进行优化与协调，同时收集来自其他层结构的信息，由管理层实现资源管理、成本核算、生产调度等功能。上述不同层次之间配合，就能够进一步精准控制炼钢生产过程，实现产品质量和生产效率提升的同时，也有助于成本控制，减少对环境的破坏。

(二) 控制算法

控制算法是实现转炉炼钢自动化控制的核心，具体而言，通常包括以下模型。

第一，基于模型预测控制氧枪控制。基于模型预测控制能够精准控制转炉中的原料成分配比和反应温度，这种控制方法可以

基于数学模型，对生产过程进行预测，同时基于优化算法功能，明确氧枪操作参数，使生产过程符合预期生产要求。一般情况下，基于模型预测控制涵盖静态模型与动态模型，静态模型包括神经网络模型、线性回归模型等，动态模型包括动力学模型与热力学模型等，上述模型能够对转炉中的反应和有关参数关系进行量化描述^[4]。

第二，多变量协调控制技术。转炉炼钢从过程整体分析，可看作典型多变量耦合反应，不同变量之间会互相影响，仅控制单一变量，难以达到理想工艺要求，因此需要通过多变量协调控制技术，对不同关键变量进行协同控制，进而实现整体优化。多变量协调控制的方法，一般包括滑模控制、模糊逻辑控制、解耦控制等达到效果。

第三，基于自适应控制的供料系统优化。自适应控制的实质，是对炼钢工业集中的参数变化进行监测，基于参数实时情况对控制器参数进行自动调整，一般在时变特性与非线性控制系统中应用较多。转炉炼钢工艺加工阶段，受到炼钢采用的工艺，以及原料配比、质量等各类因素的影响，供料系统运行状态也并非一成不变，这也是基于自适应控制的供料系统的重要性，可以对控制器参数进行校正，保证系统随时处于最佳性能，使系统处于稳定运行状态^[5]。

第四，系统集成和信息管理。转炉炼钢自动化控制系统功能的实现，需要各类软件和硬件功能共同实现，不同模块应保持信息畅通，从而满足系统管控要求。这就需要系统集成，令系统整体稳定性进一步提升，最大程度避免故障发生。信息管理则可以保证第一时间发现并沟通故障信息，进而满足生产质量与效率要求。

第五，基于人工智能与专家系统的决策支持。近年来，人工智能作为前沿信息技术，对各行各业均产生了巨大影响。基于深度学习的人工智能技术，能够自主学习并更新自动化控制技术，使控制技术随时能够适应转炉炼钢技术要求，对炼钢生产过程存在的安全隐患，同样能够精准预测。专家系统则可以依照数据分析结果，精准给予决策支持，辅助工作人员做出更科学的决策，减少生产风险^[6]。

（三）模型构建

建立并应用模型，是转炉炼钢自动化控制功能实现的核心，可以预测并模拟计算炼钢工艺过程涉及的反应，进而实现对生产阶段的精准控制。转炉炼钢自动化控制模型，大致可分成动力学和热力学模型。动力学模型的建立，可以监测转炉炼钢工艺中的反应速率。相关公式说明，反应原料温度、浓度和反应压力，都会对反应速率产生影响，监控上述参数，并完成建模，就能得到炼钢工艺动力学模型，从而实现对炼钢工艺的优化。基于对动力学模型，工作人员可以对反应速度变化规律进行预测和分析，即使反应条件和环境不同，预测结果也不会受到影响。实践中，动力学模型一般在脱磷、脱硫和脱碳等工艺过程中应用较多，对成分控制、反应终点温度和反应时间等，都可以实现精准调控，进而实现钢产品质量和产量的双重提升^[7]。

热力学模型的建立，是因为炼钢工艺中化学反应较多，且需

要理想的反应温度，因此，如何精准控制动力学因素，保证整个反应过程的平衡，就是热力学模型建立的重要意义。热力学模型本质是数学模型，能够阐明物质、压力和温度等参数之间的关系，模型建立的底层逻辑是能量守恒与熵增原理定律，一般可通过吉布斯自由能最小化原则，求得最终结果。实践中，铁水预处理、给氧、生铁冶炼等不同工艺阶段，都会用到热力学模型，可最大程度减少能源消耗，达到降本增效的生产目的。

除了热力学和动力学模型，还包括工艺流程模型。工艺流程模型，顾名思义，能够对整体模拟炼钢工艺，可以说，转炉炼钢各道工序，都可以用到工艺流程模型。该模型的使用，需要将设备性能、能量传递和原料流动等不同因素纳入考量范畴中，保证动态系统的完整性。除了转炉炼钢生产阶段，工艺故障诊断、参数优化、炼钢设备检修与保养等，也可以使用工艺流程模型。在能源与物料消耗、生产污染等因素的监测上，以及设备投资和生产计划的确定上，工艺流程模型也能实现定量评估，从而为企业提供量化数据，保证决策的科学性^[8]。

随着人工智能技术在炼钢行业应用不断推广，基于人工智能也能够建立相应模型。人工智能模型的建立，一般会用到模糊逻辑、遗传算法和神经网络等技术，能够加强模型的智能化和精准化程度。此外，人工智能模型自适应能力较强，可结合炉内实时反应环境情况，对模型参数进行自动调整，且能够对不确定性、非线性等问题进行处理，令模型预测精度进一步提升。工艺实践中，人工智能模型可控制温度与原料配比及成分等，提高炼钢的精细化与智能化水平。

（四）数据采集

转炉炼钢自动化控制技术，需要涉及大量数据采集，这就需要传感器元件的参与。磁力计、超声波探伤仪、红外线测温仪和热电偶等传感器，能够收集炉中原料成分、反应压力和反应温度等参数，通过电信号输出，可以对反应阶段实时参数进行监测，进而实时监控转炉炼钢工艺生产过程。实践中，一般可通过现场总线技术、高速数字信号处理器等达到数据采集的目的。现场总线技术能够保证通信的实时性，进而实现远程监控，保障系统稳定性。高速数字信号处理器则可以保障数据处理的高效性和精准性。人工智能模型还能够最大程度发挥大数据、云计算等技术优势，深度挖掘数据，并加强数据的智能分析，从而彰显数据的价值^[9]。

（五）故障诊断

故障诊断可以对转炉炼钢工艺过程各项参数进行监测，结合正常工艺生产要求进行比对，判断机器是否发生故障，工艺生产是否有异常表现，还可以明确问题发生的位置与原因。故障诊断功能实现的基础是数据采集，一般会通过气体检测器、压力传感器和温度传感器等达到目的，上述传感器收集数据之后，可实时向控制系统发送，分析并处理数据之后，可以由控制系统发出指令。控制系统一般会结合传感器传输的数据，以及预设算法等，对炼钢设备状态进行自动调节，避免生产阶段稳定性受到影响^[10]。专家系统作为辅助系统的一种，可提供确切数据，帮助诊断故障。专家系统可基于历史数据和经验，通过模型的建立，对

生产过程进行模拟。系统一旦发现异常情况，专家系统可结合模型完成推理，辅助工作人员对问题进行定位。故障诊断可令转炉炼钢质量与效率进一步提升，对问题的快速定位，可避免炼钢设备长时间停机，减少工作人员维修的时间和人力成本。故障诊断同样可实现生产流程的优化，保证钢产品质量达到预期。

（六）系统集成

自动化控制系统，可监控并调节软件与硬件，一般可分成数据采集、处理、控制、决策等不同模块，各模块可对炼钢阶段数据进行采集，并在之后的工序中，完成处理与分析数据的任务。执行机构和传动装置，能够依照控制质量，对设备状态进行调整，使生产符合预期要求。欲保证自动化控制运行的效率，应当注意以下要素的控制^[11]。首先，系统设计上，应将炼钢工艺流程作为整体考虑要素，保证系统之间工作的协同性，对资源分配进

行优化。技术选择上，应以标准化通信协议，以及先进软件和硬件为主，保证系统可靠性与稳定性达到要求。系统同时需要加强管理维护，通过维护体系的持续完善，由专人每隔一段时间对设备进行检查，防止发生故障^[12]。

三、结束语

综上所述，转炉炼钢自动化控制技术的应用，对企业产品质量提升，节能减排有重要意义。实践中，企业应从系统结构、控制算法、模型构建、数据采集、故障诊断和系统集成等方面入手，提高控制系统的自动化水平，保证转炉炼钢工艺的稳定性。

参考文献

- [1]范毛毛,吕亚,王小平,张志明.100 t转炉炉衬维护的工艺优化与生产实践 [J].河南冶金,2022,30(4):30-32.
- [2]王杰,曾加庆,杨利彬,汪成义.转炉炼钢过程的精细化控制及协同优化 [J].钢铁,2022,57(5):55-63.
- [3]吴钦鑫,甘菲芳.转炉用镁碳质耐火材料的应用技术及发展趋势 [J].武汉工程职业技术学院学报,2022,34(3):30-34.
- [4]刘爱军,杨小明.转炉钢渣一次处理现状及发展趋势 [J].冶金标准化与质量,2022,60(4):43-47.
- [5]王念欣,董德明,田超,陈万福,李海峰.SPHC钢种转炉冶炼的生产实践 [J].山东冶金,2022,44(3):9-10.
- [6]薛瑞,张燕超,张彩军,王重君,刘志远.转炉底吹供气方式对熔池混匀效果的数值模拟 [J].中国冶金,2020(3):13-20.
- [7]王嘉,富志生,杨新龙,杨军.转炉冶炼高碳钢高拉碳深脱磷工艺优化 [J].甘肃冶金,2023,45(4):52-55.
- [8]段兴亚,万庆明,黄伟,耿明山.不同钢材和耐材在转炉烟道内的应用性能对比分析 [J].冶金能源,2023,42(3):40-43.
- [9]包向军,陈凯,郦秀萍,杨筱静,刘晓,陈光.基于深度学习的转炉煤气发生量预测模型 [J].钢铁,2024,59(1):67-74.
- [10]张弛,李晓刚,李毅挺,王燕伟,李亚男.唐钢新区转炉智能出钢系统的研究与应用 [J].冶金自动化,2024,48(2):125-130.
- [11]王昊,包向军,周剑波,汪晶,张超.基于差分进化算法的热轧板坯工艺参数优化 [J].冶金能源,2024,43(4):48-53.
- [12]周军,潘军,赵滨,沈思宝,张文英.活炉底转炉炉衬砖高效拆除的生产实践 [J].宽厚板,2024,30(5):18-22.