

# 机电一体化系统对炼钢浇次效率的影响分析

刘翔宇

首钢京唐钢铁联合有限责任公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19238

**[摘要]** 炼钢浇次效率关乎钢铁企业产能与效益,机电一体化系统是炼钢智能化升级核心支撑,其应用质量对提升浇次效率至关重要。本文明确该系统构成与特性,从浇铸准备、过程控制、设备运维三维度,剖析其对炼钢浇次效率的影响机理。结合某大型钢铁企业转炉炼钢车间实证,对比系统应用前后关键指标变化,验证提升效果。针对协同性、数据利用等问题提出优化策略。研究表明,系统能显著提升浇次效率,为企业发展提供技术参考。

**[关键词]** 机电一体化; 炼钢; 浇次效率; 过程控制; 智能化

中图分类号: TF341 文献标识码: A

## Analysis of the Impact of Mechatronics System on Steelmaking Casting Efficiency

Xiangyu Liu

Shougang Jingtang United Iron and Steel Co., Ltd.

**[Abstract]** Steelmaking casting efficiency is related to the production capacity and economic benefits of iron and steel enterprises. The mechatronics system is the core support for the intelligent upgrading of steelmaking, and its application quality is crucial for improving casting efficiency. This paper clarifies the composition and characteristics of the system, and analyzes its impact mechanism on steelmaking casting efficiency from three dimensions: casting preparation, process control, and equipment operation and maintenance. Based on empirical evidence from the converter steelmaking workshop of a large iron and steel enterprise, key indicator changes before and after system application are compared to verify the improvement effect. Optimization strategies are proposed to address issues such as coordination and data utilization. Research shows that the system can significantly improve casting efficiency, providing technical reference for enterprise development.

**[Key words]** mechatronics; steelmaking; casting efficiency; process control; intelligence

### 引言

钢铁工业是国民经济支柱,炼钢是钢铁生产核心工序,其效率影响企业竞争力。浇次效率是衡量炼钢水平的关键指标,受设备、控制、操作等因素制约。机电一体化系统融合多技术,实现设备自动化与智能化协同,是破解传统瓶颈的有效途径。钢铁企业智能化转型加速,但该系统在炼钢浇铸环节仍存适配问题,分析其影响及优化方向意义重大。

### 1 机电一体化系统核心构成与炼钢浇次效率内涵

#### 1.1 机电一体化系统核心构成与技术特性

炼钢领域的机电一体化系统旨在提升生产效率与稳定性,其核心由机械执行、电子感知、信息处理、控制决策四大模块构成,各模块协同实现炼钢全流程自动化与智能化。机械执行模块包含连铸机等核心设备,经机械结构优化提升运行精度与可靠性;电子感知模块由多种传感器组成,能实时采集钢水温度、液位等关键数据;信息处理模块借助工业控制器与数据传输网

络,整合、分析、存储多源数据;控制决策模块依据预设算法与生产需求,输出精准指令,达成设备与生产过程的闭环控制。该系统技术特性显著,集成性实现多技术、设备深度融合;精准性将关键参数波动控制在极小范围;协同性让各生产环节与设备同步联动;智能化依托数据分析与算法具备故障预警等功能<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 炼钢浇次效率核心内涵与评价指标

炼钢浇次是指从钢水注入结晶器开始,到本次浇铸结束的完整生产周期,浇次效率核心是衡量该周期内生产流程的顺畅性、设备利用率与产出效率的综合指标。其核心评价指标体系包括四类:一是浇铸周期指标,涵盖单炉浇铸时间、浇次总时长,直接反映浇铸流程的紧凑度;二是作业效率指标,包括浇铸作业率(有效浇铸时间占总时间比例)、连浇炉数,连浇炉数越多,说明流程衔接与设备稳定性越好;三是质量关联指标,如铸坯合格率,浇次效率提升需以质量稳定为前提,避免因追求速度导致质

量问题;四是成本效率指标,包括单位浇次能耗、设备运维成本,高效浇次需实现效率与成本的平衡。传统浇次效率提升多聚焦于缩短单一环节时间,而现代炼钢更强调全流程协同优化,通过各环节高效衔接实现整体效率提升,这与机电一体化系统的协同控制特性高度契合。

## 2 机电一体化系统对炼钢浇次效率的影响机理

### 2.1 浇铸准备阶段: 缩短准备时间, 提升流程衔接效率

浇铸准备阶段作为炼钢浇次的基础环节,其效率关乎浇次启动速度与整体节奏。机电一体化系统凭借自动化控制,能大幅缩短准备时间、提升衔接效率。在设备调试方面,传统方式靠人工调整结晶器锥度、校准拉矫机参数等,耗时久且精度欠佳。机电一体化系统利用电子感知模块采集设备基准数据,控制决策模块自动生成调试指令,机械执行模块精准调整参数,调试时间较传统缩短超30%。钢水准备环节,系统借助温度传感器实时监测钢水温度,依浇铸需求自动调节保温时间,防止因温度问题致浇铸延迟;还通过智能调度算法优化钢水运输路径与顺序,实现设备精准衔接,减少钢水等待时间<sup>[2]</sup>。另外,系统可预判准备环节潜在问题,提前预警并启动应急预案,避免准备阶段中断。

### 2.2 浇铸过程阶段: 精准控制参数, 提升作业稳定性与连续性

浇铸过程是决定浇次效率的核心环节,机电一体化系统通过多维度精准控制,显著提升作业稳定性与连续性,减少中断次数与处理时间。在钢水浇铸控制方面,系统通过液位传感器实时监测结晶器内钢水液位,控制决策模块自动调节水口流量,将液位波动控制在±3mm以内,避免因液位波动导致的漏钢、夹渣等问题,减少浇铸中断风险。在铸坯质量控制方面,系统实时采集结晶器水温、拉矫速度、钢水成分等数据,通过算法模型预测铸坯质量,自动调整拉矫速度、冷却水量等参数,提升铸坯合格率,避免因质量问题导致的浇铸中断与返工。在设备协同控制方面,系统实现连铸机、结晶器、切割设备等的同步联动,根据钢水浇铸速度自动调整拉矫速度与切割节奏,避免各设备之间出现节奏错位,提升浇铸连续性。

### 2.3 设备运维阶段: 提前预警故障, 降低停机损失

炼钢设备的稳定运行是保障浇次连续进行的关键,机电一体化系统通过状态监测与故障预警,实现设备运维从“事后维修”向“预测性维护”转变,大幅降低停机损失。传统设备运维依赖人工定期巡检,难以发现设备内部的潜在故障,往往在故障发生后才进行维修,导致停机时间长,严重影响浇次效率。机电一体化系统通过振动传感器、温度传感器等实时采集设备运行数据,如轴承温度、电机电流、设备振动频率等,信息处理模块对数据进行分析,构建设备健康状态评估模型。当数据超出正常阈值时,系统自动发出故障预警,明确故障位置与严重程度,运维人员可提前安排维修,避免故障扩大导致的长时间停机。同时,系统记录设备运行数据,通过大数据分析优化运维周期与方案,减少不必要的运维时间与成本<sup>[3]</sup>。例如,针对连铸

机辊道故障,系统可提前2-3天发出预警,维修时间较传统故障抢修缩短60%。

## 3 实证分析: 以某大型钢铁企业转炉炼钢车间为例

### 3.1 案例背景与数据来源

本次选取一家大型钢铁企业转炉炼钢车间作为实证对象,该车间主营碳素结构钢与低合金钢生产,配备3座300t转炉、4台板坯连铸机。传统生产模式下,车间存在浇铸准备耗时久、过程中断频繁、连浇炉数偏少等问题,浇次效率提升空间较大。2022年,车间引入机电一体化控制系统,涵盖浇铸过程自动控制、设备状态监测、智能调度等核心模块,2025年1月完成全系统调试并常态化运行。实证数据源自车间生产报表与系统运行日志,选取系统应用前(2022年1-6月)与应用后(2025年1-6月)的关键指标对比分析,确保数据真实可比,核心指标包括浇铸准备时间、单浇次总时长、连浇炉数、浇铸作业率、铸坯合格率及设备停机时间等。

### 3.2 机电一体化系统应用前后浇次效率指标对比

对比分析显示,机电一体化系统对浇次效率提升效果显著。浇铸准备时间方面,应用前单浇次平均48分钟,应用后缩短至43分钟,降幅10.4%,核心得益于设备调试与钢水准备的自动化协同。单浇次总时长从应用前210分钟降至165分钟,降幅21.4%,主要因过程控制精度提升、中断次数减少。连浇炉数从8炉/浇次提升至13炉/浇次,增幅62.5%,凸显系统对浇铸连续性的改善作用。浇铸作业率由72%升至89%,源于设备故障停机减少与流程衔接优化。铸坯合格率从90%提高至95%,证明系统可同步保障效率与质量。设备单月平均停机时间从120小时降至45小时,降幅62.5%,体现预测性维护的突出价值。

### 3.3 系统应用的核心价值与存在问题

从实际效益看,系统应用带来显著经济价值。按车间年产钢800万吨测算,浇次效率提升21.4%可年增产能约64.2万吨;铸坯合格率提升2.3%,年减废品损失约1200万元;设备停机时间减少62.5%,年省运维成本约800万元。同时,系统降低人工依赖,减少人工成本与操作失误风险,实现效率、质量与成本协同优化。但应用中仍存不足:一是子系统协同性欠缺,转炉与连铸机控制系统接口不统一,形成信息壁垒,影响调度效率;二是数据利用深度不足,采集的生产数据仅用于实时控制,未充分挖掘其在流程优化、工艺改进中的价值;三是部分运维人员技术能力有限,对系统故障判断与处理能力不足,影响系统稳定运行。

## 4 提升机电一体化系统对炼钢浇次效率赋能效果的优化策略

### 4.1 构建统一数据平台, 强化子系统协同

针对各子系统协同性不足的问题,需构建统一的工业互联网数据平台,打破“信息孤岛”。首先,规范各子系统的接口标准,实现转炉、精炼炉、连铸机等设备控制系统的数据互联互通,确保生产数据实时共享。其次,基于统一平台构建智能调度模块,整合钢水生产、设备状态、浇铸进度等多源数据,通过算法模型优化生产计划与调度方案,实现炼钢全流程的协同

联动。最后,建立跨部门协同机制,明确生产、运维、技术等各部门在系统应用中的职责,加强沟通对接,确保系统调度指令高效落地。通过数据协同与管理协同,进一步提升浇次效率的整体优化空间<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 深化数据挖掘应用,推动流程优化

为充分挖掘数据价值,需加强数据挖掘与分析能力建设。一方面,引入大数据分析技术与人工智能算法,基于系统积累的生产数据构建浇次效率优化模型,精准识别影响浇次效率的关键因素,如钢水温度波动、设备参数偏差等,自动输出优化方案。另一方面,利用数据开展工艺改进,通过分析不同钢种、不同浇铸条件下的生产数据,优化钢水成分、浇铸速度、冷却制度等工艺参数,提升浇铸稳定性与效率。基于数据构建浇次效率预测模型,提前预判浇铸过程中可能出现的问题,提前调整生产策略,进一步提升浇次效率的可控性。

#### 4.3 强化人才培养,提升运维保障能力

针对运维人员技术能力不足的问题,需构建多层次人才培养体系。开展定制化技术培训,邀请系统供应商与行业专家,针对系统架构、操作流程、故障诊断等内容开展专项培训,提升运维人员的技术水平;建立“理论+实践”的培养模式,安排运维人员参与系统调试与故障处理实践,积累实战经验。同时,鼓励技术人员与高校、科研机构合作,开展技术攻关,提升自主创新能力;建立人才激励机制,对在系统优化、故障预警等方面表现突出的人员给予奖励,激发员工积极性。通过人才队伍建设,为系统稳定运行提供坚实保障。

#### 4.4 优化系统硬件配置,提升适配性

结合炼钢生产的恶劣环境与复杂需求,优化系统硬件配置,提升系统适配性与可靠性。一方面,选用耐高温、抗振动、抗电磁干扰的高精度传感器与执行部件,确保在高温、多尘、强电磁干扰的炼钢环境中稳定运行;定期对硬件设备进行校准与维护,保障数据采集与控制的精度。另一方面,根据车间生产规模与产能提升需求,升级工业控制器与数据存储设备,提升系统的数据处理能力与响应速度。此外,增加硬件冗余设计,在关键设备与控制模块上设置备用部件,避免因单一硬件故障导致的浇铸中断,进一步提升系统运行稳定性。

### 5 机电一体化系统在炼钢领域的发展趋势

未来,随着工业4.0技术的持续渗透,机电一体化系统在炼钢领域将呈现更智能化、更集成化、更绿色化的发展趋势。在智能化方面,系统将深度融合人工智能、数字孪生技术,构建炼钢浇铸数字孪生体,实现生产过程的虚拟仿真与全流程可视化管控;通过机器学习算法自主优化控制参数,实现自适应生产,进一步提升浇次效率与质量。在集成化方面,系统将实现炼钢、连铸、轧钢全流程的一体化控制,打破工序壁垒,实现从钢水到成品全流程协同优化;同时,与企业ERP、MES等管理系统深度融合,实现生产、管理、销售的全链条数据贯通。在绿色化方面,系统将增加能耗监测与优化模块,实时采集生产过程中的能耗数据,通过算法优化生产流程与参数,降低单位钢水能耗与碳排放;同时,通过精准控制减少废品产生,提升资源利用率,助力钢铁企业实现绿色低碳发展。

### 6 结束语

机电一体化系统通过融合多学科技术,从浇铸准备、过程控制到设备运维全流程赋能炼钢生产,显著提升浇次效率,实现产能、质量与成本的协同优化。实证分析表明,应用机电一体化系统后,炼钢浇铸准备时间、单浇次总时长大幅缩短,连浇炉数与作业率显著提升,为钢铁企业带来显著的经济价值。随着智能化技术的持续升级,机电一体化系统将在炼钢领域实现更深度的应用,为钢铁企业智能化转型与高质量发展提供更强有力的支撑。钢铁企业应积极拥抱技术变革,持续推进机电一体化系统的优化与升级,不断提升核心竞争力。

#### [参考文献]

- [1]杨建平,高攀,姚柳洁,等.基于流程仿真的炼钢-连铸区段运行效率分析[J].钢铁,2024,59(10):141-152,163.
- [2]林路,肖超平,曾加庆,等.炼钢区段工艺路径优化与快节奏运行研究与实践[J].中国冶金,2025,35(6):16-23,35.
- [3]刘再澄.机电一体化系统虚拟调试技术的设计[J].设备监理,2025(3):51-54.
- [4]刘新亮.机电一体化系统中的节能与环保技术分析[J].消费电子,2025(6):197-199.