

轧钢加热炉智能化监控系统的开发与应用

鲍小光

(内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁轧钢厂, 内蒙古 包头 014010)

摘要:在钢铁工业迈向高质量发展的进程中,轧钢加热炉作为核心生产设备,其运行效率与能源消耗直接影响企业竞争力。传统监控方式依赖人工巡检与经验判断,存在温度控制滞后、燃烧效率低下、数据孤岛等问题,难以满足现代工业对精准化、智能化生产的要求。文章围绕轧钢加热炉智能化监控系统进行深入研究,阐述了轧钢加热炉智能化监控系统开发的背景与意义,分析传统监控方式存在的不足。基于先进的传感器技术、物联网、大数据分析及人工智能算法,构建轧钢加热炉智能化监控系统架构,详细介绍了系统的硬件组成、软件功能模块。通过实际应用案例,展示该系统在提高加热炉温度控制精度、优化燃烧效率、降低能耗、保障生产安全等方面的显著成效,同时探讨系统在实际应用过程中面临的挑战及未来发展方向,为轧钢行业智能化升级提供理论与实践参考。

关键词:轧钢加热炉;智能化监控系统;传感器;物联网

中图分类号: TG307

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2025)03-0066-05

Development and Applications of Intelligent Monitoring System for Steel Rolling Heating Furnace

Bao Xiaoguang

(Rail and Beam Rolling Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In the process of moving toward high-quality development for iron and steel industry, operating efficiency and energy consumption of steel rolling heating furnace, the core production equipment, could directly affect enterprise competitiveness. The traditional monitor mode relied on manual inspections and experience judgment so that there are such problems as lagged temperature control, low combustion efficiency and isolated data island, which could not meet the requirements of precise and intelligent productions for modern industry. In this paper, the intelligent monitoring system for steel rolling heating furnace are deeply studied, background and significances of developing the system are elaborated as well as deficiencies of traditional monitor mode are analyzed. The framework of intelligent monitoring system for steel rolling heating furnace is established based on advanced sensor technology, the Internet of things, big data analytics and artificial intelligence algorithm as well as hardware structure and software function modules of the system are introduced in detail. The remarkable effects on improving precision of temperature control for heating furnace, optimizing combustion efficiency, reducing energy consumption and ensuring production safety of the system are demonstrated through practical application cases as well as the challenges faced in process of applying the system and future development directions are discussed, which could provide the theoretical and practical references for intelligent upgrade of steel rolling industry.

Key words: steel rolling heating furnace; intelligent monitoring system; sensor; Internet of things

收稿日期: 2025-03-01

作者简介: 鲍小光(1987-),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事生产管理等工作。

轧钢是钢铁生产的重要环节,而加热炉作为轧钢生产线上的关键设备,其运行状态直接影响钢材的质量、生产效率以及能源消耗。目前,钢铁行业竞争日益激烈,提高轧钢生产的智能化水平成为企业增强竞争力的关键。传统的轧钢加热炉监控主要依赖人工操作和简单的仪表监测,存在监控实时性差、数据处理能力弱、控制精度低等问题,难以满足现代钢铁生产对高效、节能、高质量的要求^[1]。

物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展为轧钢加热炉监控系统的智能化升级提供了技术支撑。将先进技术与轧钢加热炉监控相结合,开发智能化监控系统,能够对加热炉运行状态进行实时、精准监控,及时发现并处理潜在问题,优化生产过程,提高生产效率。因此,开展轧钢加热炉智能化监控系统的开发与应用研究具有重要的现实意义^[2]。

本文旨在开发一套适用于轧钢加热炉的智能化监控系统,通过对加热炉运行数据的实时采集、传输、分析与处理,实现对加热炉温度、压力、流量等关键参数的精准控制,优化加热炉燃烧过程,降低能源消耗,提高钢坯加热质量和生产效率,保障生产安全。

该研究成果对轧钢行业具有重要意义。在经济效益方面,智能化监控系统可通过优化加热炉燃烧过程降低燃料消耗,降低生产成本;在产品质量方面,精准的温度控制能保证钢坯加热均匀,提高钢材质量;在安全生产方面,实时监测加热炉设备状态,及时预警潜在故障,避免安全事故发生;在行业发展方面,为轧钢行业智能化转型提供技术范例,推动整个行业的技术进步。

1 技术基础

1.1 传感器技术

传感器是智能化监控系统获取数据的关键设备,在轧钢加热炉监控中发挥着重要作用。温度传感器用于测量加热炉内不同区域的温度,常见的有热电偶、热电阻等。热电偶具有测温范围广、响应速度快的特点,能够满足加热炉高温环境下的测温要求;热电阻则在中低温测量中具有较高的精度^[3]。压力传感器用于监测加热炉内的压力,防止压力过高或过低影响加热炉正常运行及引发安全事故。流量传感器可对燃料、助燃空气等介质的流量进行实时测量,为燃烧过程的优化控制提供数据支持。气体成分传感器能够监测加热炉内废气中氧气、一氧

化碳等气体的浓度,以便调整燃烧参数,提高燃烧效率,减少污染物排放。

1.2 物联网

物联网实现了设备之间的互联互通,是轧钢加热炉智能化监控系统的重要支撑。通过在加热炉及相关设备上部署物联网模块,将传感器采集的数据实时传输至监控中心^[4]。可根据实际应用场景选择合适的通信协议,如Wi-Fi、蓝牙、ZigBee、5G等。例如,对于距离监控中心较近的设备,可采用Wi-Fi或蓝牙进行短距离通信;对于需要长距离、高速传输数据的场景,5G技术则具有明显优势。物联网使分散的设备组成一个有机整体,实现数据共享与协同处理。

1.3 大数据分析技术

轧钢加热炉在运行过程中会产生大量的数据,包括温度、压力、流量以及设备运行状态等。大数据分析技术能够对这些海量、复杂的数据进行高效处理和分析。通过数据清洗、集成、转换等预处理操作去除噪声数据,将不同来源的数据整合在一起,为后续分析提供高质量的数据。利用统计分析、机器学习算法等对数据进行深入挖掘,可发现数据的潜在规律和趋势。例如,通过分析温度与钢坯加热质量的关系建立数学模型,实现对加热过程的优化控制;通过对设备运行数据的分析,预测设备故障,提前进行维护,减少停机时间。

1.4 人工智能算法

人工智能算法在轧钢加热炉智能化监控系统中发挥着核心作用。在温度控制方面,采用神经网络算法,可根据历史温度、钢材规格、生产工艺等因素,建立精确的温度预测模型,提前调整加热策略,实现温度的精准控制^[5]。在故障诊断方面,利用机器学习中的分类算法,如支持向量机、随机森林等,对设备运行数据进行分类学习,判断设备是否存在故障以及故障类型,提高故障诊断的准确性和及时性。此外,强化学习算法可应用于燃烧过程的优化,通过不断与环境交互,学习最优的燃烧参数控制策略,提高燃烧效率。

2 系统设计

2.1 系统总体架构

轧钢加热炉智能化监控系统采用分层架构设计,主要包括数据采集层、网络传输层、数据处理层和应用管理层。

数据采集层由各类传感器组成,负责实时采集加热炉运行过程中的温度、压力、流量、气体成分等数据以及设备的运行状态信息,如电机转速、阀门开度等,见图 1。网络传输层利用物联网技术,将数据采集层获取的数据通过有线或无线通信网络传输至数据处理层。数据处理层基于大数据分析平台和人工智能算法,对接收的数据进行存储、处理和分析,挖掘数据价值,为决策提供支持。应用管理层则面向操作人员和管理人员,提供可视化的监控界面、数据分析报表、控制指令下达等,实现对加热炉的智能化监控与管理。

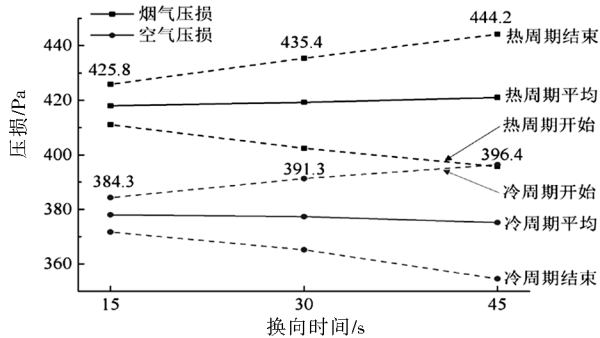


图 1 烟气压损和空气压损在线感知分析

2.2 硬件系统

(1) 传感器节点。根据加热炉的结构和监测需求,合理布置温度、压力、流量等传感器节点。在加热炉炉膛内,沿长度、宽度和高度方向均匀布置温度传感器,确保能够全面监测炉内温度场;在燃料管道、助燃空气管道上安装流量传感器和压力传感器,实时监测介质流量和压力。

(2) 数据采集与传输设备。采用数据采集模块将传感器输出的模拟信号转换为数字信号,并进行初步的数据处理和存储。通过物联网通信模块,如工业级无线路由器、5G 通信终端等,将采集的数据传输至监控中心。

(3) 监控中心设备。监控中心配备服务器,用于存储和处理大量的监测数据。配置高性能计算

机,运行智能化监控系统软件,实现数据的实时显示、分析和控制指令的下达,同时设置大屏幕显示系统,直观展示加热炉的运行状态和关键参数。

2.3 软件系统

(1) 数据采集与通信模块。该模块负责与数据采集设备进行通信,按照约定的通信协议接收传感器数据,并对数据进行校验和解析,确保数据的准确性和完整性。同时,将处理后的数据存储到数据库中,以便后续分析和查询。

(2) 数据分析与处理模块。基于大数据分析技术和人工智能算法,对采集的数据进行深度分析。包括温度趋势分析、燃烧效率评估、设备故障诊断等。通过建立数学模型和算法,挖掘数据之间的内在联系,为优化控制提供依据。

(3) 监控与控制模块。提供直观的监控界面,实时显示加热炉的运行状态、关键参数以及设备布局。操作人员可通过该模块远程控制加热炉的燃烧系统、温度调节系统等设备,根据生产要求调整运行参数。同时,系统具备报警功能。当监测到异常数据或设备故障时,及时发出声光报警,并推送报警信息至相关人员。图 2 为智能集控中心。



图 2 智能集控中心

(4) 报表与统计模块。根据用户需求生成各类报表,如生产日报、能耗报表、设备运行报表等。通过对历史数据的统计分析,展示生产过程中的各项指标变化趋势,为管理人员提供决策支持,便于制定生产计划和优化管理策略。图 3 为系统能耗分析图。

■ 总体能耗趋势分析(近一年)

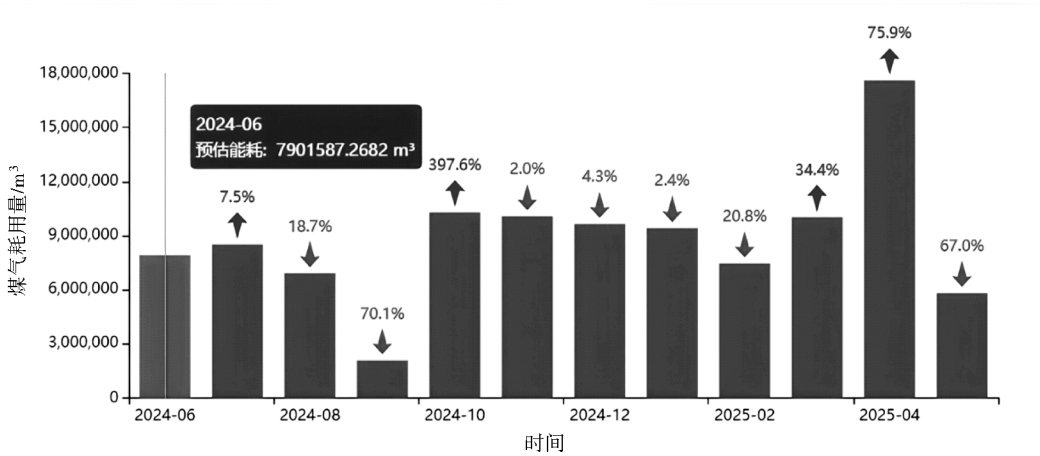


图3 系统能耗分析

3 应用实践

3.1 应用案例简介

某大型钢铁企业在其轧钢生产线中引入了本文开发的智能化监控系统。该企业的轧钢加热炉为步进式连续加热炉,主要用于加热钢坯,生产规模较大,对加热炉的运行效率和产品质量要求较高。

在系统实施过程中,首先根据加热炉的结构和生产工艺,合理布置了温度、压力、流量等传感器,确保能够全面、准确地采集加热炉运行数据。然后,搭建了物联网通信网络,实现了数据的实时传输。在监控中心,部署了高性能服务器和智能化监控系统软件,对采集的数据进行实时分析和处理。智能识别系统通过传感器检测辊道上有钢时,进行强制照核,匹配数据,准确解码钢坯长度、宽度、板坯号和铸坯异常等信息,并将数据传送给生产控制系统。操作人员根据炉内各坯料的位置分布映像、坯料信息、炉膛实时温度以及模型计算的燃控设定值,调整下发炉温设定值,实现成品对应及质量闭环控制,问题追溯。

3.2 应用效果分析

(1)温度控制精度提高。通过智能化监控系统的应用,加热炉内温度控制精度得到显著提高。系统能够根据钢坯规格、生产节奏等因素,自动调整加热策略,使炉内温度波动范围控制在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,相比传统监控方式,温度控制精度提高了30%以上。这保证了钢坯加热均匀,有效减少了因温度不均导致的钢材质量缺陷,如过热、过烧等问题,提高了钢

材的成材率。

(2)燃烧效率优化。利用大数据分析和人工智能算法对燃烧过程进行优化,实时调整燃料和助燃空气的比例,使燃烧效率提高了15%左右。通过监测废气中氧气、一氧化碳等气体的含量,及时调整燃烧参数,减少了燃料的浪费,降低了生产成本。同时,燃烧效率的提高也减少了污染物的排放,符合环保要求。

(3)能耗降低。智能化监控系统通过优化加热过程和燃烧效率,使加热炉的能耗明显降低。与传统监控方式相比,吨钢能耗降低了12%,每年可为企业节省大量的能源。该企业每年生产钢材100万t,按照当前能源价格计算,每年可节省能源费用数千万元。

(4)生产安全保障。系统实时监测加热炉设备的运行状态,通过故障诊断算法及时发现设备潜在故障,并发出预警信息。在应用过程中,成功预测并避免了多次因设备故障导致的停机事故,保障了生产的连续性和稳定性。同时,通过对加热炉内压力等关键参数的实时监控,避免了压力异常引发的安全事故,提高了生产安全性。

4 轧钢加热炉智能化监控系统面临的挑战与发展方向

4.1 面临的挑战

(1)数据质量问题。传感器采集的数据可能受到环境因素、设备老化等影响,存在噪声、误差等问题。这些低质量的数据会影响大数据分析和人工智能算法的准确性,导致监控和控制结果偏差。此外,

不同类型传感器采集的数据融合难度较大,如何将多源异构数据进行有效整合,提高数据的可用性是需要解决的问题。

(2)系统可靠性与稳定性。轧钢加热炉生产环境恶劣,高温、高粉尘、强电磁干扰等因素会影响系统硬件设备的正常运行,导致设备故障。同时,软件系统在长时间运行过程中,可能会出现程序漏洞、数据处理延迟等问题,影响系统的可靠性和稳定性,需要采取有效的措施,提高系统的抗干扰能力和容错能力。

(3)技术人才短缺。轧钢加热炉智能化监控系统涉及传感器技术、物联网、大数据分析、人工智能等多个领域的知识,对技术人员的专业素质要求较高。目前,既懂钢铁生产工艺又熟悉智能化技术的复合型人才短缺,限制了系统的推广应用和后期维护升级。

(4)安全与隐私问题。随着系统的智能化和网络化程度不断提高,数据在传输和存储过程中面临着安全威胁,如数据泄露、黑客攻击等。同时,涉及企业生产数据和商业机密的隐私保护问题也日益突出,如何保障系统的信息安全和数据隐私是需要重视的问题。

4.2 发展方向

(1)提高数据质量。研发更先进的传感器技术,提高传感器的精度、稳定性和抗干扰能力。采用数据清洗、滤波、融合等技术,对采集的数据进行预处理,提高数据质量。同时,建立数据质量评估体系,实时监测数据质量,及时发现和解决数据问题。

(2)增强系统可靠性与稳定性。选用耐高温、防尘、抗电磁干扰的硬件设备,优化硬件架构设计,提高系统的环境适应性。加强软件系统的测试和优化,采用冗余设计、容错技术提高软件的可靠性和稳定性。建立系统运行监测和故障预警机制,及时发现和处理系统故障。

(3)加强人才培养。企业与高校、科研机构合作,开展相关专业人才培养,培养既懂钢铁生产工艺又掌握智能化技术的复合型人才。加强企业内部员工培训,提高员工对智能化监控系统的操作和维护能力,为系统的应用和发展提供人才保障。

(4)保障安全与隐私。采用加密技术、访问控制技术等技术保障数据在传输和存储过程中的安全。建立完善的信息安全管理体系,加强对系统用户的身份认证和权限管理,防止数据泄露和非法访问。同时,遵守相关法律法规,保护企业生产数据和商业机密。

5 结束语

本文对轧钢加热炉智能化监控系统的开发与应用进行了全面研究。通过分析轧钢加热炉监控的现状和需求,基于传感器技术、物联网、大数据分析和人工智能等技术,设计并开发了一套完整的智能化监控系统,包括硬件系统和软件系统。实际应用案例表明,该系统在提高温度控制精度、优化燃烧效率、降低能耗、保障生产安全等方面取得了显著成效。轧钢加热炉智能化监控系统在应用过程中仍面临数据质量、系统可靠性、技术人才短缺、安全与隐私等挑战。未来,需要在提高数据质量、增强系统可靠性与稳定性、加强人才培养、保障数据安全与隐私等方面不断探索和创新,推动轧钢加热炉智能化监控系统的进一步发展和完善,为轧钢行业的智能化转型和可持续发展提供有力支持。

参 考 文 献

- [1] 韦华兴,梁海涛,蒙政,等. 轧钢加热炉低氮排放技术实际应用[J]. 工业炉,2025,47(2): 57-60.
- [2] 许亮. 轧钢加热炉煤气燃烧效率提升的PID控制设计[J]. 冶金与材料,2025,45(3): 52-54.
- [3] 赵胤强,吴朝齐. 新型保温材料在轧钢加热炉炉顶的应用[J]. 工业加热,2025,54(2): 60-64.
- [4] 李永生,李义,熊涛. 基于智能制造的轧钢加热炉远程集控实践[J]. 今日制造与升级,2025(1):106-108.
- [5] 贾伟腾. 轧钢加热炉烧钢优化燃烧控制技术及节能减排措施探讨[J]. 山西冶金,2024,47(12):227-229.