轨梁厂冷区集控智能化关键技术应用与实践

彭 波,杜佳乐,白 凯,丁 倩,王 瑞

(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:冷区工序是重轨、型钢生产的关键环节,其运行效率与智能化水平直接影响最终产品质量与生产成本。随着国家制造业高端化、智能化发展战略的深入实施,提高产线自动化与智能化水平已成为钢铁企业增强核心竞争力的必然选择。文章以工业视觉识别、动态钢坯激光精确测长、智能语音报警以及基于 AI 的智能预弯模型等关键技术的集成应用为核心内容,阐述其实现方式与应用效果,为行业内同类型产线的智能化改造提供技术应用层面的实践参考。

关键词:冷区集控;智能制造;电气自动化;智能化

中图分类号:TF089 **文献标识码**:B **文章编号**:1009 - 5438(2026)01 - 0087 - 04

Applications and Practices on Key Technologies of Intelligence for Centralized Control in Cold Area of Rail and Beam Rolling Plant

Peng Bo, *Du Jiale*, *Bai Kai*, *Ding Qian*, *Wang Rui*

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

Abstract: The cold area process is the key link in production of heavy rail and section steel, its operating efficiency and level of intelligence directly affect the quality and production cost of final products. With deep implementation of the national development strategy for high - end and intelligent manufacturing industry, it has become the inevitable choice for steel enterprises to enhance their core competitiveness to improve the levels of automation and intelligence of production lines. In the article, the integrated applications of such key technologies as industrial visual recognition, precise length measurement of dynamic steel billets with laser, intelligent voice alarm and intelligent die for first - forming based on AI (artificial intelligence) are the core content as well as their implement methods and application effects are elaborated, which could provide the practical references of technology applications for intelligent transformation of the same type of production lines in the industry.

Key words: centralized control in cold area; intelligent manufacturing; electrical automation; intelligence

钢铁行业作为国民经济的关键基础产业,其产品质量与生产效率对下游应用至关重要[1],特别是在重轨、型钢的生产中,热轧后的冷区工序直接决定了最终产品的性能与交付能力。在现有的重轨、型钢生产线中,冷区普遍面临工艺流程复杂多样、关键设备精度与稳定性要求严苛,以及高度依赖人工操

收稿日期:2025 - 10 - 24

作者简介:彭 波(1972 -),男,内蒙古包头市人,高级工程师,特级技师,现从电气设备升级改造工作。

作带来的效率瓶颈与质量波动风险等技术难题。为突破这些瓶颈,推动重轨、型钢生产向智能制造转型,包钢(集团)公司决定在轨梁厂启动冷区智能化升级改造项目。该项目旨在通过引入先进的自动化、数字化及智能化技术,优化复杂生产流程,提高设备运行精度与稳定性,降低人工干预,从而显著提高生产效率、产品一致性与作业安全性。此项改造不仅是包钢自身产业升级的关键举措,更承担着为集团内推广智能制造积累经验、探索路径的先期试点任务。项目的实施不仅是包钢自身产业升级的关键举措,也契合国家《"十四五"智能制造发展规划》中关于推动钢铁行业数字化转型的战略要求,为行业技术进步提供了实践参考。本文将重点介绍在冷区智能化升级改造过程中,所应用的一系列关键智能化技术。

1 冷区智能化升级中的技术需求背景

为实现智能制造目标,包钢股份轨梁厂在智能化升级改造前对现有生产环节的技术瓶颈进行了深入梳理与诊断。冷区在自动化、信息化、智能化方面的诸多不足,成为了制约效率提高和质量稳定的主要因素,其中尤为凸显的几个方面亟需创新技术予以解决。

1.1 钢坯位置检测问题

重轨冷区生产流程中,对钢坯状态进行精确、可靠的识别是实现高效自动化运行的基础,然而传统方法在此方面面临显著技术瓶颈。现场多个关键节点,如冷床出口的精确取钢定位、剖分锯和冷锯区域钢坯头部的精确撞齐、码垛区域的准确计数等,依赖光电、声呐、接近开关等传统传感器或人工观察判断。这些方法在恶劣环境工况下,处理不规则排列的钢坯时,往往精度不足、鲁棒性差且易受环境干扰,导致误测、效率低,进而制约了冷区自动化水平和生产效率的提高。

1.2 钢坯长度测量精度问题

精确的钢坯长度信息是冷区优化排产、高效锯切及减少物料损耗的关键。在冷床入口,热轧后的钢坯温度高且可能存在一定弯曲,传统的接触式测量方式存在磨损、精度衰减快等问题;而基于固定点的非接触测量则难以适应钢坯的动态弯曲形态,无法获取准确的全长信息。在剖分锯和冷锯区域,根据生产计划进行定尺或特定位置高精度锯切时,传统依赖操作人员目视定位或编码器反馈的方式,其精度无法满足现代精细化锯切的要求,直接影响了成品尺寸精度和材料利用率,因此迫切需要一种能够适应复杂工况、实现动态高精度非接触测长的装置。

1.3 故障预警系统问题

冷区复杂的生产线和设备系统会产生高频次、多维度的报警信息。传统的报警系统通常采用单一的声光提示或控制界面列表显示,缺乏对报警信息的智能分类、优先级排序和差异化呈现能力。由此导致的问题是,大量冗余及同质化的报警信息容易使操作人员产生"报警疲劳",难以快速从大量的信息中提取关键点。在多任务操作或紧急情况下,重要的异常信号可能被忽略,从而增加了现场作业的潜在安全风险,影响生产作业的连续性。因此,迫切需要一种能够提高报警信息传递效率、降低操作人员负担、确保关键信息及时准确触发并达到报警效果的智能报警机制。

1.4 预弯工艺对产品平直度一致性的影响

钢轨预弯是钢轨冷却前对其进行一个与自然冷却预弯方向相反的弯曲过程[2],通过预弯曲来补偿钢轨冷却过程形成的应力弯曲,其控制精度直接影响重轨产品的最终平直度。该工序位于冷床区域,紧随热锯之后,承担着在自动化流程中对重轨进行初步弯曲调整的功能。传统预弯控制主要依赖于存储在数据库中的预设参数表,这是一种典型的开环控制模式,无法实时感知来料钢轨的实际温度,也无法对设备状态变化进行自适应调整。其控制参数的优化和调整往往需要操作人员在后续矫直完成后,观察最终平直度效果,凭借自身经验进行人工微调。这种高度依赖人工经验和静态参数的模式,不仅难以保证不同规格、不同批次钢轨产品平直度的高度一致性,且对操作人员技能要求极高,已成为制约提高产品质量稳定性和自动化控制水平的关键瓶颈。

2 关键智能化技术的应用实践

在当前自动化与网络结构基础上,本次升级的核心在于集成了多项先进电气自动化技术,旨在赋予冷区生产过程更强的感知能力、更精准的控制能力和更智能的决策支持能力。这些关键技术的应用与深度融合,是实现冷区智能化升级、体现智能制造内涵的关键所在。

2.1 工业视觉识别技术在钢坯状态感知中的应用

针对传统人工目视检测在钢坯位置识别、对齐

状态判断、表面缺陷检测及数量统计方面存在的效率低、精度差、易疲劳等问题，项目引入了工业视觉识别技术。该技术通过部署工业相机，定制化光源并搭建视觉服务器，结合先进的图像处理软件，构建了实时钢坯图像捕捉系统。系统基于预训练的 AI 模型，实现了对多根钢坯是否精确对齐的判断、钢坯表面缺陷标志的识别以及检测钢坯支数等功能。工业视觉检测系统工作原理如图 1 所示。

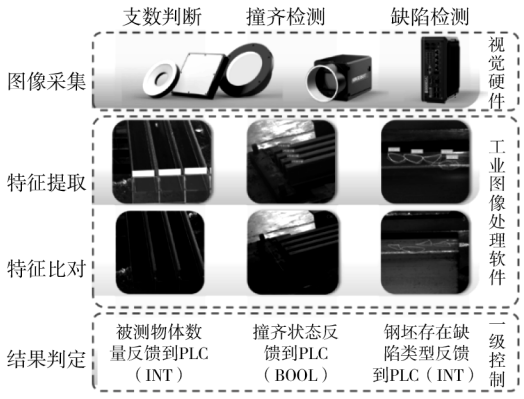


图 1　工业视觉检测系统工作原理图

视觉系统实时提取钢坯的位置、状态及尺寸数据，直接传输至集控系统，参与闭环控制，替代了大量重复性劳动，显著提高了检测的稳定性和可靠性，为后续工序的自动化和质量控制提供了关键的输入信息[3]。

2.2　激光多普勒测长技术在动态热轧钢坯长度测量中的应用

针对热轧钢坯在冷却过程中会发生不同程度弯曲导致传统测量方式难以准确获取其真实全长的问题，项目采用了基于双激光多普勒原理的动态精确测长技术，多普勒测长随动系统结构如图 2 所示。

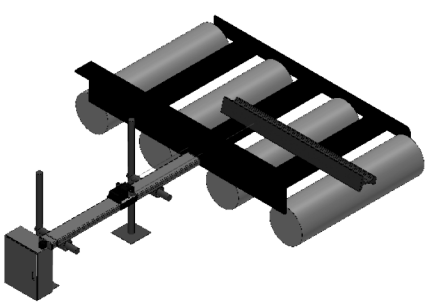


图 2　多普勒测长随动系统立体示意图

该系统在钢坯输送线上部署两套激光多普勒测速传感器，通过非接触方式实时测量钢坯表面的运动速度。其特殊之处在于，传感器的部署方式能够动态跟随钢坯的弯曲形态，完成钢坯实际长度的精确测量。测量结果实时传输给控制系统，使冷床入口能够实现全自动的精确定位，热锯也能够实现全自动锯切、取样等功能。对于冷锯或剖分锯区域，通过获取高精度的动态长度数据，控制系统能够根据需求自动优化锯切策略，在保障定尺精度的前提下，将锯切余量控制在最小范围内，从而有效减少切头切尾的金属损耗，显著提高了材料利用率。

2.3　智能语音报警系统在故障处理及事故预警中的应用

针对传统集控室声光报警信息量大、辨识度低、易造成操作员信息过载和报警疲劳的问题，项目对报警系统进行了智能化升级。新的智能语音报警系统不再是简单的报警点播报，而是构建了一套基于规则引擎的智能处理逻辑。系统能够整合来自 PLC、视觉、设备等各子系统的报警信息，根据预设规则进行报警优先级判定，并过滤掉冗余、抖动的非关键报警。随后，系统生成结构化、情景化的语音信息，并根据报警级别和区域，进行定向、清晰的语音播报。智能语音报警系统显著优化了人机交互体验，将原始的报警数据转化为易于理解和响应的“智能信息”，提高了报警的有效性和针对性，减轻了操作员的认知负担，加快了异常情况的处理速度，从而保障了生产安全，是提高系统整体运行智能化的重要环节。

2.4　AI 算法钢轨智能预弯模型的应用

针对传统预弯工艺高度依赖经验参数和开环控制导致的产品平直度一致性差、矫直难度高的问题，项目创新性地引入了人工智能（AI）技术，构建了钢轨智能预弯模型。该模型通过采集大量的历史生产数据，利用机器学习算法进行训练，旨在学习和预测钢轨在自然冷却过程中的弯曲趋势。在实际生产中，系统获取待预弯钢坯的温度、钢种等关键参数，并将其作为输入。AI 模型根据这些实时数据，动态推算出当前条件下最优的反向预弯曲线参数，并直接输出指令给预弯小车执行，实现了预弯量的自适应、精确控制。AI 智能预弯模型的应用，实现了预弯控制从传统的“经验驱动”向“数据驱动”和“模型预测”转变，有效解决了复杂冷却变形的动态补偿问题。这显著提高了矫直前钢轨的平直度，降低了

矫直难度和能耗,同时有助于减小最终产品的残余应力,全面提高了产品质量的稳定性和一致性。

3 技术应用初步成效

包钢股份轨梁厂冷区集控中心智能化升级项目的成功实施,并非仅仅是技术的堆砌,其最终价值体现在对生产效率、产品质量以及整体运营水平的实质性提高上。通过对项目运行数据的统计分析,本次升级带来的成效显著。应用激光多普勒测长与工业视觉技术后,钢坯长度测量精度由原来的±3 cm提高至±10 mm以内,冷床区域的自动跟踪识别率达到99.5%以上,基本消除了人工核对环节。通过引入AI智能预弯模型后,矫直前的钢轨平直度显著改善,一次矫直合格率从升级前的85%提高至92%,矫直能耗降低了约10%。得益于精准的动态锯切控制,钢轨切损率降低,综合材料利用率提高了0.3%,同时,智能语音报警系统将报警响应时间平均缩短了30%,设备故障停机时间同比下降了15%,有效保障了生产的连续性。

4 结束语

包钢股份轨梁厂冷区智能化升级项目的成功实施,不仅是公司迈向智能制造的坚实一步,也为整个钢铁行业提供了有益的实践与探索。该项目以解决实际生产痛点为出发点,通过系统集成应用新兴电气自动化技术,取得了显著成效。它不仅显著提高了轨梁厂冷区的生产运营水平和核心竞争力,促进新质生产力发展,更重要的是,为包钢在更大范围内推广智能制造积累了宝贵经验,提供了可复制的技术方案。该项目通过将工业视觉、激光测长与AI算法集成于统一的基础自动化与网络平台之上,验证了多源异构技术深度融合对于解决复杂工业场景问题的关键作用。同时,它也提醒我们,智能制造是一个持续迭代、不断优化的过程,会面临传感器稳定性、数据集成、AI适应性及人员接受度等挑战。展望未来,冷区智能化之路将继续深化数据挖掘、数字孪生和与上层系统的融合。

参 考 文 献

[1] 何宁. 智能制造技术在钢铁工业转型升级中的应用[J]. 工程技术研究,2020,5(19):36-37.

[2] 侯爱华,李哲. 钢轨平直度控制关键环节的探讨[J]. 山西冶金,2021,44(6):237-239.

[3] 刘国庆. 冶金电气系统的自动化控制与智能化管理[J]. 冶金与材料,2023,43(10):16-18.

(上接第78页)

[6] RAY L E, LEVER J H, STREETER A D, et al. Design and power management of a solar-powered "Cool Robot" for polar instrument networks[J]. Journal of Field Robotics, 2007,24(7):58-599.

[7] 王军,孙帅. 基于可拓创新法和TRIZ理论的营地手推车折叠机构设计[J]. 图学学报,2021,42(5):866-872.

[8] 付敏,刘威,李萌,等. 基于技术系统进化及物场变换的功能裁剪方法[J/OL]. 计算机集成制造系统:1-23[2021-07-04]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.tp.20210210.1347.019.html.

[9] 王德兰. 基于TRIZ的割草机器人功能设计方法研究[J]. 农机化研究,2022,44(2):74-78,84.

[10] 陈亮,窦昊,魏煌,等. 基于质量功能展开、发明问题解决理论和仿生学的产品创新设计[J]. 中国机械工程,2020,31(11):1285-1295.

[11] 孙永伟,谢尔盖·伊克万科. TRIZ:打开创新之门的金钥匙[M]. 北京:科学出版社,2015.