

中厚板生产表面缺陷智能视频识别技术应用

李杨旭

中冶京诚工程技术有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19194

[摘要] 中厚板板坯表面缺陷直接影响成品质量与使用安全,传统人工检测存在效率低、漏检率高、劳动强度大等痛点。本文聚焦基于YouOnlyLookOnce(YOLO)算法的智能视频识别技术,选取重庆钢铁板坯检测项目作为实际案例,详细阐述该技术的原理、系统架构及应用实践情况。研究结果显示,这一技术可将板坯缺陷检测准确率提升至98.15%,漏检率降至2%以下,检测效率较人工检测提升5倍,有效降低人工成本和安全风险,为生产工艺的优化给予有力的数据支持,推动中厚板生产从传统“事后质检”模式转变为“事前预防”模式。

[关键词] 中厚板; 板坯; 表面缺陷; 智能视频识别; YOLOv8算法; 工业智能化

中图分类号: TG335.5 **文献标识码:** A

Application of Intelligent Video Recognition Technology for Surface Defects in Medium and Heavy Plate Production

Yangxu Li

MCC Capital Engineering & Research Incorporation Co., Ltd.

[Abstract] Surface defects on medium and heavy plate slabs directly affect product quality and operational safety. Traditional manual inspection suffers from low efficiency, high missed detection rates, and significant labor intensity. This paper focuses on intelligent video recognition technology based on the You Only Look Once (YOLO) algorithm, selecting the slab inspection project at Chongqing Iron and Steel as a practical case to elaborate on the technology's principles, system architecture, and application practices. The research results show that this technology can improve slab defect detection accuracy to 98.15%, reduce the missed detection rate to below 2%, and increase detection efficiency by five times compared to manual inspection. It effectively lowers labor costs and safety risks, provides strong data support for optimizing production processes, and facilitates the transformation of medium and heavy plate production from a traditional "post-process quality inspection" model to a "pre-process prevention" model.

[Key words] medium and heavy plate; slab; surface defects; intelligent video recognition; YOLOv8 algorithm; industrial intelligence

引言

中厚板在机械制造、建筑工程等诸多领域中,扮演着核心原材料的重要角色,而板坯作为生产过程中的关键中间产品,其表面在浇铸、转运等环节易产生裂纹、夹杂等缺陷,若未及时检测,这些缺陷就会在后续的轧制过程中不断扩大,进而引发质量安全隐患。传统的人工检测方式主要依靠目视抽检来进行,检测人员需要在高温且高粉尘的环境中开展作业,该检测方式存在效率低下、漏检率高、检测标准难以统一等问题,很难满足现代化生产线的需求。随着智能制造浪潮的推进,智能视频识别技术以其非接触式的检测方式、高精度的识别能力以及可追溯性的显著优势,逐渐成为解决传统检测难题的优选方案。本文选取重庆

钢铁板坯智能检测项目作为典型案例,深入剖析该技术在实际应用中的具体表现及核心改善点,旨在为行业的技术升级提供有益的参考。

1 板坯表面缺陷智能视频识别技术原理与系统架构

1.1 核心技术原理

板坯表面缺陷智能视频识别技术,围绕“图像采集-预处理-特征提取-缺陷识别-结果输出”核心流程展开,将YOLOv8深度学习算法与机器视觉技术深度融合,可适配板坯在高温、高反光及缺陷形态复杂场景下的检测需求。在图像采集的阶段,采用“CCD相机与红外热成像设备相结合”的组合方案。面对温度约1000℃的热态板坯,运用红外热成像技术,通过红外热成像

技术穿透高温辐射, 精准捕捉温度差异形成的缺陷特征; 而对于处于常温状态的板坯, 则借助高分辨率的CCD相机, 并搭配上LED补光系统, 有效消除环境光及反光干扰, 获取到高清晰度的表面图像。设备经合理部署, 实现板坯上下表面全方位覆盖, 不存在任何检测盲区。在图像预处理这一环节, 采用多算法协同优化图像质量。运用自适应非局部均值滤波技术去除图像中的粉尘与噪声干扰, 通过CLAHE均衡化处理解决光照分布不均问题, 再通过边缘增强技术与Z-score归一化方法, 突出缺陷的轮廓与纹理特征, 为后续的特征提取与缺陷识别打下坚实基础。特征提取与缺陷识别是核心。该项目选用了YOLOv8算法, 借助卷积神经网络自动学习缺陷特征, 无需人工干预。对于板坯上存在的6类典型缺陷, 即裂纹、夹杂、氧化皮压入、气泡、划痕以及斑块, 通过2760张标注图像完成模型训练, 改进锚框设计以适配不同尺度缺陷, 还引入了注意力机制来增强对低对比度缺陷的识别能力, 最终实现精准分类与定位。

1.2 工业检测领域应用

钢铁板坯表面存在的缺陷, 其智能视频识别系统运用了“硬件层-算法层-应用层”这样三层架构模式, 构建闭环管理体系: 硬件层作为整个系统的基础支撑部分, 涵盖了图像采集模块(配备8台CCD相机及4台红外热成像仪)、数据传输模块(采用工业以太网与5G通信相结合的方式)、数据处理模块(由边缘计算网关和GPU服务器组成)还有执行模块(包含报警装置和分拣设备), 保障图像采集的全面性、数据传输的稳定性及处理的高效性。算法层包含了图像预处理算法、缺陷识别YOLOv8算法、分类算法, 还有数据统计分析算法, 是系统实现精准检测的核心, 通过模型持续优化, 提升缺陷识别精度与速度。应用层由实时监控平台、数据管理系统及工艺反馈模块构成, 可实现检测结果可视化呈现、历史数据追溯及生产参数优化建议, 形成“检测-分析-反馈-优化”的完整闭环流程。

2 重庆钢铁板坯表面缺陷智能视频识别技术应用案例

2.1 项目背景

重庆钢铁作为国内颇具规模的大型钢铁企业, 每年生产中厚板超300万吨, 板坯产量达400万吨, 板坯表面缺陷检测是保障产品质量的关键环节。传统人工检测与仪表检测在生产中发挥了基础保障作用, 其中仪表检测在定量数据采集方面具备固有优势, 但在板坯表面缺陷的可视化识别、复杂缺陷形态判断等场景中存在局限。人工检测受限于肉眼分辨能力与生理特性, 对微小裂纹、隐性夹杂等缺陷的识别效果有限, 漏检率达18%, 导致部分不合格板坯流入后续工序造成轧制浪费; 同时人工每小时仅能检测20块板坯, 难以匹配连铸机每小时30块的产出节奏, 形成生产瓶颈; 且检测人员需在高温、高粉尘环境中作业, 安全风险高、人员流动率达25%, 检测标准也易受主观因素影响。为进一步完善检测体系、提升检测效能, 该企业于2024年引入基于YOLOv8算法的板坯表面缺陷智能视频识别系统, 部署于连铸机出口、加热炉入口等关键工序, 与传统检测方式互补协同, 全面

覆盖热态与常温板坯的表面缺陷检测场景。

2.2 系统部署与调试

系统部署阶段, 在连铸机出口辊道上方及两侧安装4台红外热成像仪和6台CCD相机, 全面覆盖热态板坯上下表面; 同时, 在加热炉入口辊道区域, 也安装了2台CCD相机, 补充常温板坯检测。设备安装时, 采用防尘、耐高温设计, 以适应车间恶劣工作环境。调试阶段重点完成模型优化与参数校准。采集重庆钢铁板坯生产的实际缺陷图像, 将数据集扩充到了3200张, 重新训练YOLOv8模型, 优化算法参数以适配企业特定缺陷特征, 使其能更好地适配企业特定的缺陷特征; 同时, 对图像采集设备的焦距和曝光时间进行了校准, 确保不同温度、速度下的图像清晰度; 最后, 完成系统与企业ERP、MES系统的数据对接, 实现检测结果实时同步。

2.3 应用成效

系统投用后, 经6个月实际运行验证, 取得显著应用成效, 检测精度大幅提升。经系统投用后的实际运行验证, 板坯表面缺陷检测准确率提升, 从原先人工检测的72%提高到了98.15%, 同时漏检率也从18%大幅下降至1.85%, 其中裂纹、夹杂等关键缺陷识别准确率达99.2%, 有效避免不合格板坯流入后续生产工序。检测效率显著提高。单块板坯检测时间由人工检测的3分钟缩短至30秒, 检测效率实现了5倍的提升, 每小时可完成60块板坯检测, 与连铸机生产节奏完美契合, 彻底解决检测环节的生产瓶颈。生产成本有效降低, 每条生产线质检人员从8名减至2名, 年节省人工成本约180万元; 而且, 通过提前将缺陷板坯剔除, 减少轧制过程中的原材料浪费, 年降低钢材损耗成本超300万元; 此外, 检测数据还能为工艺优化提供有力支撑, 使板坯缺陷发生率降低了12%, 进一步提升整体生产效益。安全风险显著降低。检测人员无需在高温、高粉尘区域作业, 通过监控平台完成设备运维与结果审核, 作业环境大幅改善, 安全事故发生率降至零。质量追溯能力增强, 系统自动、详细记录每块板坯的检测数据, 构建完整的质量追溯链条, 可快速、精准定位缺陷成因, 为责任划分及工艺优化提供坚实可靠的依据。

3 智能视频识别技术的核心改善点

3.1 检测精度与稳定性突破传统局限

传统人工检测受检测人员专业经验水平、生理疲劳状态等主观因素影响显著, 导致检测结果一致性较差, 漏检风险居高不下, 尤其难以精准识别微小裂纹、隐性夹杂等隐蔽缺陷, 无法满足现代化生产线对质量管控的严苛要求。智能视频识别技术通过工业级高分辨率图像采集设备, 结合YOLOv8深度学习算法实现缺陷精准识别, 针对板坯表面6类典型缺陷(裂纹、夹杂、氧化皮压入、气泡、划痕、斑块)制定专项识别方案, 其中裂纹、夹杂等关键缺陷识别准确率达99.2%, 检测分辨率可达0.02毫米, 能够有效捕捉人工肉眼难以察觉的细微缺陷特征。该技术支持24小时连续不间断作业, 性能稳定性突出, 检测过程不受车间温度波动、粉尘干扰及人员状态变化等外部因素影响, 不仅大幅降低了人为误差, 还通过算法的标准化分析流程, 显著提升了缺陷

检测的精准度与结果一致性,为后续生产工艺优化提供了可靠的数据支撑。

项目团队为验证技术稳定性,开展为期3个月的持续运行测试,覆盖高温暴雨、设备检修、生产负荷波动等复杂工况。测试期间系统日均检测板坯1200块,累计完成10.8万块检测任务,缺陷识别准确率稳定维持在97.5%以上,未出现设备故障或算法漂移导致的检测失效情况。针对传统人工检测“人员标准不一”的痛点,智能视频识别系统通过算法标准化实现检测结果高度一致,同一批次缺陷板坯重复检测偏差率仅0.3%,显著低于人工检测的8%。系统具备缺陷等级智能判定功能,依据缺陷尺寸、深度及分布范围,自动划分为轻微、一般、严重三级,对长度超50mm裂纹等严重缺陷自动触发最高级预警,确保关键质量隐患及时处置。该功能既简化了质检流程,又助力生产管理人员精准锁定高风险板坯,实现差异化管控,大幅提升质量管控的针对性与效率。

3.2 检测效率适配现代化生产节奏

传统人工检测依赖人工目视筛查与手动记录,检测效率受人员操作熟练度、生理极限等因素限制,单块板坯检测需耗时3分钟以上,每小时仅能完成20块左右检测任务。这一效率水平与连铸机每小时30块以上的产出节奏严重不匹配,导致检测环节成为制约生产流程的关键瓶颈,易造成板坯积压、生产线降速等问题,影响整体生产效能。智能视频识别系统通过自动化图像采集与YOLOv8算法快速分析,将单块板坯检测时间缩减至30秒,检测效率较传统人工提升5倍,每小时可完成60块板坯检测。该系统实现了板坯生产与检测的同步推进,有效消除了检测环节对生产流程的制约,确保生产线按设计产能连续稳定运行,同时避免因检测滞后导致的缺陷扩大,为企业提升生产效率、降低流程损耗提供坚实技术保障。

系统采用边缘计算架构,80%以上的图像分析任务在本地边缘节点完成,仅上传检测结果与关键数据,数据传输延迟控制在50ms内,确保生产控制系统即时接收缺陷预警并快速响应。针对板坯连续生产特性,系统采用“边检测、边传输、边处理”流水线作业模式,板坯未完全离开检测区域时,缺陷初步识别结果已同步至生产终端,为后续分拣、处理工序预留充足时间。同时具备自适应产能调整能力,当连铸机产能提升至每小时35块时,通过动态分配GPU计算资源,单块板坯检测时间可缩短至25秒,每小时检测能力达72块,适配高产工况需求。系统与生产节奏高度协同,使检测环节从“生产瓶颈”转变为“质量保障加速器”,为企业扩产提能提供关键技术支撑。

3.3 实现成本与安全的双重优化

传统人工检测需配置大量质检人员,在高温、高粉尘、强辐射的恶劣车间环境中持续作业,不仅导致人工成本长期居高不下,还存在人员中暑、粉尘吸入、机械伤害等多重安全风险,给企业安全生产管理带来较大压力。智能视频识别系统通过自动化检测替代人工目视筛查,大幅精简质检人员配置,使每条生产线质检人员从8名减至2名,人工成本降低30%-60%,年节省人工

成本约180万元。同时,该系统实现非接触式检测,人员无需进入恶劣作业区域,仅通过监控平台完成设备运维与结果审核,劳动条件显著改善,既降低了安全事故发生概率,又通过提前剔除缺陷板坯减少轧制浪费,年降低钢材损耗成本超300万元,实现了经济效益与安全效益的双重提升。成本优化既包括人工与原材料损耗的降低,也涵盖设备运维成本的精准管控。智能视频识别系统内置设备健康监测模块,实时监控相机、红外热成像仪等核心设备运行状态,通过分析设备功耗、图像采集成功率等参数,提前预判故障风险。

3.4 推动质量管控从“事后”向“事前”转型

传统检测方式停留在“事后质检”的阶段,简单地判断产品是否达到合格标准,很难对生产过程进行干预,无法从源头控制缺陷产生。智能视频识别技术借助实时检测,迅速反馈裂纹、氧化皮压入等缺陷数据,与生产控制系统紧密联动,及时发现生产工艺里出现的浇铸速度异常、结晶器磨损等问题,发出参数调整建议,完成对缺陷的“事中控制”;而且,通过持续积累不同缺陷类型的发生频率、分布位置等数据,深入挖掘成因规律,为优化浇铸工艺、改进板坯转运方式等提供有力支撑,助力质量管控朝着“事前预防”方向转变,使板坯缺陷发生率降低。项目团队依托系统积累的缺陷数据,构建多维度工艺优化模型,深化“事前预防”机制。通过关联分析不同生产批次缺陷数据与浇铸温度、钢水纯净度、辊道转速等12项工艺参数,精准定位板坯质量关键控制点。模型监测到“浇铸温度超1530℃时,裂纹缺陷发生率提升2.3倍”后,立即向炼钢车间推送温度调控建议,将浇铸温度稳定在1500-1520℃区间,使裂纹缺陷发生率再降8%。同时建立缺陷溯源快速响应机制,某批次板坯出现集中缺陷时,系统10分钟内即可完成从检测数据到生产参数的全链条追溯,精准锁定问题工序与责任环节,为工艺调整提供靶向指引。

3.5 提升质量追溯与数据支撑能力

传统人工记录缺陷数据多依赖纸质台账或零散电子表格,数据缺乏标准化整理,易出现信息遗漏、记录误差等问题,难以构建完整的质量追溯链条,无法为缺陷成因分析与工艺优化提供有效支撑。智能视频识别系统可自动存储每块板坯的全量检测数据,涵盖6类缺陷的位置、类型、尺寸、检测时间、设备参数等关键信息,形成结构化质量数据库。通过对数据的汇总分析,能够快速定位裂纹、夹杂等缺陷产生的具体工序与根本原因,为生产工艺优化、质量责任认定提供精准数据支持,助力企业搭建精细化、可追溯的质量管理体系,提升质量管控的系统性与针对性,进一步保障中厚板成品的使用安全。

系统搭建的可视化数据分析平台,聚焦检测数据应用价值挖掘,支持按生产批次、缺陷类型、时间周期等多维度开展统计与趋势分析,自动生成日报、周报及月报,直观呈现现阶段缺陷发生规律。例如月度数据分析显示,每月上旬夹杂缺陷发生率较下旬高出12%,经排查确认为原料批次更换适配问题,技术团队据此优化原料预处理工艺,使该类缺陷发生率趋于平稳。平台数据接口可与企业质量追溯平台无缝对接,消费者通过产品溯源

码即可查询板坯缺陷检测结果、质量等级评定等关键信息,提升产品质量透明度与市场信任度。

4 技术应用中的优化方向

4.1 现存问题

尽管系统在实际应用中取得了颇为显著的成效,可还是存在一些有待优化的地方:首先,当处于板坯表面氧化皮过厚且严重反光的极端状况时,系统对缺陷的识别精度会出现些许下降;其次,对于部分较为罕见的缺陷,像微小气泡聚集这类,系统的识别能力有所欠缺,这是由于样本数据量较少,使得模型的适配性受到一定限制;最后,系统的运维工作需要专业技术人员来开展,企业内部运维团队在这方面的能力还有待进一步提高。

4.2 优化建议

针对前面提到的问题,给出下面这些优化建议:首先,对图像采集设备与算法进行升级,运用激光扫描和视觉检测相融合的技术,以此提高在极端场景里对缺陷的识别能力;其次,搭建企业缺陷样本共享库,不断丰富罕见缺陷的数据,借助迁移学习来优化YOLOv8模型,进而提升对特殊缺陷的识别精准度;最后,强化企业和技术供应商之间的合作,开展运维培训活动,提升内部团队在设备维护以及模型优化方面的能力。

5 结论

本文选取重庆钢铁板坯检测项目作为具体案例,深入且细

致地探讨了依托YOLOv8算法的智能视频识别技术,在中厚板生产表面缺陷检测方面的实际应用情况。实际案例显示,这项技术依靠“图像采集-预处理-特征提取-缺陷识别-结果输出”这一关键流程,成功解决了传统人工检测中存在的精度不足、效率低下以及安全风险较大等问题。该技术投入应用后,检测准确率得到提升,漏检率下降,检测效率大幅提升,降低了生产成本和安全风险,推动质量管控从传统的“事后质检”模式顺利向“事前预防”模式转型,为中厚板生产企业的智能化升级开拓出了一条切实可行的路径。

[参考文献]

- [1]王磊,张建军.基于YOLOv8+PyQt5的钢材表面缺陷检测系统[J].工业控制计算机,2026,39(1):45-48.
- [2]刘敏,李强.深度学习在钢材表面缺陷检测中的应用研究进展[J].材料导报,2024,38(12):1-8.
- [3]张伟,陈明.中厚板表面缺陷检测技术的发展现状与趋势[J].钢铁,2023,58(7):160-168.
- [4]王海峰,赵亮.机器视觉技术在板坯质量检测中的应用实践[J].冶金自动化,2023,47(3):78-83.
- [5]黄明,刘洋.YOLOv8算法在工业缺陷检测中的优化与应用[J].计算机工程与应用,2024,60(8):210-216.