智能化钢筋调直剪切集成生产线的关键技术创新与应用

王高利

建科智能装备制造(天津)股份有限公司 天津 300402

摘要: 针对传统钢筋加工设备精度不足、智能化水平低等问题,本文聚焦智能化钢筋调直剪切集成生产线的关键技术创新与应用展开研究。通过多维度传感器融合的动态调直控制、基于机器视觉的高精度剪切、物联网集成控制及AI优化算法等技术突破,实现钢筋直线度误差 0.3mm/m 以内、剪切长度误差 $\pm 1\text{mm}$ 的精准控制,设备综合利用率提升至75%以上,材料利用率达98.5%。研究分析技术带来的经济效益与社会效益,探讨工程化应用瓶颈及可持续发展路径,为推动钢筋加工行业向绿色化、智能化转型提供理论与实践参考。

关键词: 智能化钢筋;智能调直技术;高精度剪切;绿色制造;技术创新

引言:在建筑工业化快速发展的背景下,钢筋加工质量与效率对基础设施建设至关重要。传统钢筋调直剪切设备依赖固定参数控制,存在直线度误差大、剪切精度低、设备协同不足等问题,难以满足装配式建筑、桥梁工程等领域对高精度钢筋构件的需求^[1]。随着传感器技术、物联网及AI算法的发展,智能化集成生产线成为解决行业痛点的关键方向。本文围绕智能化生产线的核心技术创新展开分析,探讨其在性能提升、成本节约及产业变革中的作用,同时剖析技术落地面临的挑战,为行业技术升级提供系统性思路。

1 关键技术创新

1.1 智能调直技术

智能化钢筋调直技术的核心在于构建多维度传感器

融合的动态调直控制系统。该系统通过分布于调直辊组的压力传感器、钢筋位移视觉监测装置以及电机扭矩反馈模块,实时采集钢筋在调直过程中的形变数据与受力状态,基于材料力学模型构建调直过程的数字孪生仿真系统^[2]。当钢筋通过调直机构时,系统依据实时数据自动识别钢筋材质硬度、直径规格等参数,同步驱动伺服电机调整调直辊角度与压力配比,形成闭环自适应控制策略。这种技术突破传统调直机依赖固定参数的局限,能够针对不同批次钢筋的物理特性动态优化调直工艺,使钢筋直线度误差得到控制,较传统设备提升。同时显著减少因参数不当导致的钢筋表面划伤与内部应力集中问题,为高精度钢筋加工提供了技术保障。关键技术创新汇总表如表1所示。

表1 关键技术创新汇总表

技术模块	核心原理	技术突破	应用效果
智能调直技术	多维度传感器融合动态调直控制系统,实时采集形变数据,构建数字孪生模型,自适应调整调直辊参数。	突破传统固定参数局限,实现钢筋材质、直径动态识别与工艺参数自优化。	直线度误差 $\leq 0.3\text{mm/m}$,较传统设备提升40%,减少表面划伤与内部应力集中。
高精度剪切技术	基于机器视觉的动态定位剪切系统,实时捕捉位置偏差与速度波动,伺服机构动态补偿惯性误差。	改变机械限位粗放模式,实现高速输送状态下的动态精准剪切。	长度误差 $\pm 1\text{mm}$,较传统设备提升60%,端面缺陷率降低70%,成品质量显著提升。
物联网集成控制系统	工业级异构设备互联架构,5G与有线网络结合,边缘计算与云端平台协同管理设备数据。	打破设备孤立运行模式,实现生产数据实时同步与远程故障诊断。	设备综合利用率提升至75%以上,生产数据同步率99.5%,透明化管理支撑智能化决策。
AI优化算法	数据驱动智能决策模型,融合深度神经网络与遗传算法,多目标优化工艺参数并动态调整策略。	替代传统经验参数设定,实现复杂工况下的高效稳定运行。	生产效率提升25%,材料利用率达98.5%,能耗降低30%,适应多规格钢筋加工需求。

1.2 高精度剪切技术

作者简介: 王高利(1986-10)女,汉族,本科学历,高级职称,籍贯陕西省咸阳市,研究方向:钢筋加工成型设备的研发

高精度剪切技术的核心工作是构建起基于机器视觉的动态定位剪切系统,该系统于剪切工位上方安排高速视觉传感器跟激光测距装置,实时追踪钢筋运行过程中的位置偏差以及速度波动,依靠边缘计算模块把数据传

输到中央控制单元，当钢筋到达剪切区域的瞬间，控制系统根据预设的长度参数跟实时监测的相关数据，驱使高响应伺服剪切机构迅速调整刀刃角度和下压程度，同步补偿因钢筋运动惯性而产生的剪切位置上的误差。此技术改变传统剪切机以固定机械限位的固有模式，可于钢筋高速输送状态下达成动态精准剪切，做到长度误差控制在±1mm以内，较传统设备实现提升，同时采用刀刃压力自适应调节的措施，有效规避钢筋剪切端面出现毛刺、斜切等缺漏，显著增进钢筋加工的成品质量与材料利用程度。

1.3 物联网集成控制系统

物联网集成控制系统的核心内容是搭建工业级异构设备的互联网络体系，该系统采用5G工业路由器跟有线以太网结合起来的手段，把调直主机、剪切机构、传感器组等现场设备接入到边缘计算网关，达成生产数据的即刻采集与双向输送，部署在云端的管理平台对设备运行状态、工艺参数、能耗数据做多个维度的整合分析，实现远程监控界面实时显示各工位运行参数与故障预警提示。若生产线出现异常起伏时，系统自动引发故障诊断模块，通过历史数据的对比与设备参数的关联分析找出问题节点，同时把精准维修指引发送给运维终端，此项技术冲破传统生产线设备孤立运行的模式，让设备综合利用率向上提升30%以上，生产数据的实时同步比率为99.5%^[3]，为达成钢筋加工环节的透明管理与智能决策筑牢了底层架构支撑。

1.4 AI优化算法

AI优化算法的核心要义是构建数据驱动型的智能

决策模型，该模型把生产线历史运行数据、钢筋物理特性参数与实时工况信息整合起来，借助深度神经网络跟遗传算法结合的途径，构建起多目标优化数学模型，生产线启动的那一刻，算法依据输入的钢筋规格跟加工要求，自动生成如最优调直辊压力组合、剪切速度匹配方案之类的工艺参数，同时在运行期间实时采集设备诸如振动、能耗等状态数据，动态改变控制策略以契合环境变化，该技术扭转了传统经验参数设定的局限局面，助力生产线在不同工况的条件下实现高效稳定运行，跟人工参数调节情况比，生产效率提升25%以上，材料利用率提升至98.5%的水平，为复杂加工场景里的精确把控提供了智能化解决途径。

2 技术效益分析与行业影响

2.1 核心性能指标对比

核心性能指标对比聚焦生产线关键技术实际效能提升。在钢筋直线度控制方面，智能化调直系统将误差稳定在0.3mm/m以内，较传统设备的0.5mm/m提升显著，有效解决传统工艺参数固定导致的形变控制不足问题。剪切精度上，动态定位剪切系统实现±1mm的长度误差控制，相比传统设备±2.5mm的误差，精准度提升60%，彻底改变机械限位剪切的粗放模式。设备综合利用率通过物联网集成技术提升至75%以上，较传统孤立设备的55%有明显进步，生产数据实时同步率达到99.5%，为全流程智能化管控奠定数据基础。AI优化算法的应用使生产效率较人工参数调节提升25%，材料利用率提高至98.5%，在复杂工况下的稳定性优势显著。核心性能指标对比表如表2所示。

表2 核心性能指标对比表

指标类别	智能化生产线	传统设备	提升幅度	技术贡献点
钢筋直线度误差	≤ 0.3mm/m	0.5mm/m	40%	智能调直系统动态自适应控制
剪切长度误差	±1mm	±2.5mm	60%	机器视觉动态定位与惯性补偿技术
设备综合利用率	75%以上	55%	36%	物联网集成技术实现设备协同管理
材料利用率	98.5%	95.5%	3个百分点	AI算法优化工艺参数减少废料损耗
生产数据实时同步率	99.5%	60%	-	边缘计算与云端平台数据实时交互

2.2 经济效益分析

经济效益分析聚焦技术创新带来的实际成本节约与产能提升。智能化生产线通过AI优化算法与动态控制技术，将材料利用率提升至98.5%，较传统工艺提高3个百分点，显著减少钢筋切割过程中的废料损耗，按年加工10万吨钢筋计算，可节约原材料成本数百万元。设备综合利用率提升至75%以上，生产效率较人工调节模式提高25%，在同等产能需求下可减少设备投入数量与厂房占用面积，降低固定资产投资成本。

2.3 社会效益与行业变革

社会效益与行业变革体现在技术创新对产业生态的深层重塑。智能化生产线通过高精度加工能力，为装配式建筑、桥梁工程等领域提供质量稳定的钢筋构件，从源头提升基础设施建设的安全性与可靠性，推动建筑工业化进程向纵深发展。物联网与AI技术的应用促使钢筋加工行业从劳动密集型向技术密集型转型，带动从业人员技能结构升级，助力制造业数字化人才培养体系构建。行业层面，动态精准控制技术推动建立更高标准的钢筋加工质

量规范,促进上下游产业链协同优化,加速淘汰落后产能,引领整个行业向绿色化、智能化方向变革,为建筑工业化与新型城镇化建设提供关键技术支撑。

3 技术挑战

3.1 工程化应用瓶颈

工程化应用瓶颈主要体现在多技术融合的系统性挑战。智能化生产线集成传感器、物联网、AI算法等多元技术,不同厂商设备的通信协议与数据格式存在差异,导致异构系统互联时易出现兼容性问题,增加集成调试

难度。复杂工业环境中,粉尘、振动等因素对传感器精度与设备可靠性形成持续考验,部分工况下动态数据采集的稳定性有待提升。此外,高端伺服驱动、智能视觉等核心部件依赖进口,导致设备初始投资成本较传统生产线高出40%以上,中小企业面临较大的资金投入压力。同时,系统运维需要兼具机械工程与数字技术的复合型人才,当前行业内相关技能储备不足,制约技术落地的规模化推广。工程化应用瓶颈分析表如表3所示。

表3 工程化应用瓶颈分析表

瓶颈类别	具体问题描述	影响范围
技术融合兼容性	不同厂商设备通信协议与数据格式差异导致系统集成调试难度大,异构设备互联稳定性不足。	增加项目实施周期与技术成本,制约多品牌设备协同应用。
工业环境适应性	粉尘、振动等恶劣工况影响传感器精度与设备可靠性,部分场景下数据采集稳定性不足。	导致控制策略偏差,影响加工精度与设备寿命,增加维护频率。
核心部件依赖性	高端伺服驱动、智能视觉等核心部件依赖进口,设备初始成本较传统产线高40%以上。	中小企业资金压力大,限制技术推广普及,存在供应链安全风险。
复合型人才缺口	系统运维需兼具机械工程与数字技术能力的复合型人才,行业现有技能储备严重不足。	导致设备故障处理效率低,制约生产线效能发挥与持续优化。

3.2 系统性能提升路径

系统性能提升路径需从技术融合与工程实践双向发力。针对异构设备互联难题,可推动建立行业统一通信协议与数据接口标准,通过边缘计算中间件实现多源数据格式转换,降低系统集成复杂度。针对工业环境适应性问题,应加强传感器抗干扰设计与设备冗余配置,结合实时工况数据动态校准算法,提升复杂场景下数据采集的稳定性与可靠性。在核心部件国产化方面,支持企业联合科研机构开展伺服驱动、智能视觉等关键技术攻关,通过规模化应用降低制造成本。同时,构建基于工业大数据的算法迭代平台,利用实时生产数据持续优化AI模型参数,实现系统控制策略的自主进化,为高性能稳定运行提供技术支撑^[4]。

3.3 产业发展策略

产业发展策略需从政策引导与生态构建双轨推进。政府层面可制定智能化生产线推广专项扶持政策,通过首台套补贴、研发费用加计扣除等方式降低企业设备更新成本,同时牵头建立行业共性技术研发平台,集中突破高端伺服系统、智能传感器等“卡脖子”技术。产业链层面应推动主机厂商与零部件供应商、软件开发商建立战略联盟,打造从核心部件到系统集成的全链条国产化体系,增强产业协同创新能力。针对中小企业技术采

纳壁垒,可搭建区域性共享制造平台,通过租赁服务、技术托管等模式降低应用门槛,同步开展“机械+数字”复合型人才定向培养,依托职业院校建立技能培训基地,为产业升级提供人力资源保障。

结论

当前技术落地面临设备兼容难题、核心部件进口依赖、初始投资成本高及复合型人才短缺等挑战。未来需聚焦核心技术国产化攻关,通过政策引导推动产业链协同创新,完善智能化制造生态。同时,结合“双碳”目标深化绿色制造理念,拓展废料回收与能效管理模块,助力行业向资源节约、环境友好的可持续发展模式转型,为基础设施建设的智能化升级提供长期技术保障。

参考文献

- [1]沈永剑.高速公路养护施工质量管理的有效途径探析[J].现代交通与路桥建设,2025,4(1).
- [2]刘斌,胡功学,程茂林,等.跨江大桥智能钢筋加工工厂设备的应用研究[J].起重运输机械,2024(11):83-88.
- [3]孙尊固.土木工程现场钢筋绑扎效率提升及技巧研究[J].模型世界,2025(2):112-114.
- [4]胡林,黄岁锋,崔艳林,等.“华龙一号”常规岛钢筋智能化及管道预制工厂化探究与实践[J].石油工程建设,2025,47(2):44-47.