

基于智能制造的轮胎生产工艺优化研究

张森森

杭州海潮橡胶有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 本文围绕智能制造与轮胎生产工艺的融合展开研究,分析传统轮胎生产工艺的瓶颈及现有智能化应用的不足,结合工业物联网、大数据、数字孪生等技术,设计涵盖工序优化、系统集成、质量管控的全流程优化方案。通过核心工序智能化改造、数据协同共享及管理体系适配,实现轮胎生产提质、降本、增效、绿色的目标,破解行业现存的参数调控滞后、数据孤岛等问题,为轮胎企业智能化转型提供理论支撑与实践参考。

关键词: 智能制造; 轮胎生产; 工艺优化

引言: 轮胎制造业是交通运输产业的核心配套领域,传统生产模式依赖人工经验,存在工序协同不足、能耗高、产品合格率波动大等问题,难以适配规模化、精细化发展需求。随着智能制造技术的快速渗透,工业物联网、人工智能等技术为轮胎工艺优化提供了新路径。基于此,本文聚焦智能制造与轮胎生产工艺的深度融合,探究优化路径与方案,助力轮胎产业突破发展瓶颈,推动行业向智能、高效、绿色方向转型升级。

1 相关理论与技术基础

1.1 轮胎生产工艺核心理论

(1) 轮胎生产全流程概述: 核心涵盖六大关键工序,密炼工序将橡胶、炭黑等原料混合均匀,奠定轮胎性能基础; 压出压延工序把胶料压制成特定宽度及厚度的胎面、胎侧、帘布、内衬; 裁断工序按规格裁切成工艺规格指定长度、角度的钢丝帘布和纤维帘布,保障成型精度; 成型工序将各部件贴合组装成胎胚,是轮胎成型的核心环节; 硫化工序通过高温高压使胎胚固化成型,决定轮胎最终性能; 检测工序对轮胎外观、尺寸、强度、均匀性、动平衡等进行全面检验,确保产品合格。(2) 传统轮胎生产工艺的核心特征与技术瓶颈: 特征为工序分散、人工干预多、依赖经验管控; 瓶颈主要表现为生产效率偏低、参数调控滞后、产品合格率波动大,且能耗高、污染物排放多,难以适配规模化、精细化生产需求。(3) 轮胎生产工艺优化的核心目标: 以提质为核心,提升轮胎耐磨性、安全性等关键性能; 以降本为导向,降低原材料消耗、人工成本及能耗; 以增效为重点,缩短生产周期、提高设备利用率; 以绿色为底线,减少污染物排放,实现低碳生产^[1]。

1.2 智能制造相关技术体系

(1) 工业物联网(IIoT) 技术及应用原理: 通过传感器、网关等设备,实现生产设备、物料、人员的互联互

通,实时采集生产过程数据,为生产管控提供数据支撑,核心是构建“感知-传输-分析-反馈”的闭环链路。(2) 大数据与人工智能在制造业的应用模式: 大数据技术实现生产数据的存储、筛选与分析,挖掘数据背后的生产规律; 人工智能技术通过算法模型,实现参数自动调控、故障提前预警等,替代人工经验决策。(3) 数字孪生与智能传感技术核心内涵: 数字孪生技术构建轮胎生产全流程的虚拟镜像,实现物理生产与虚拟仿真的同步联动; 智能传感技术精准采集温度、压力等关键参数,保障数据采集的实时性与准确性。

1.3 智能制造与轮胎生产工艺的融合基础

(1) 融合的可行性分析: 技术适配性方面,智能制造技术可与轮胎各生产工序深度衔接,实现数据互通与流程协同; 产业需求性方面,轮胎产业转型升级需求迫切,智能制造能破解传统工艺瓶颈,契合产业发展趋势。(2) 融合的核心切入点: 以数据采集为基础,实现各工序关键参数的全面感知; 以过程管控为核心,实现生产全流程的智能化监控; 以参数优化为目标,通过数据建模实现工艺参数的精准调控。(3) 智能制造赋能轮胎工艺优化的核心逻辑: 通过数据驱动替代经验驱动,实现生产过程的精准化、智能化管控,进而达成提质、降本、增效、绿色的优化目标,推动轮胎生产从传统制造向智能制造转型。

2 基于智能制造的轮胎生产工艺现状及问题分析

2.1 轮胎行业智能制造发展现状

(1) 全球轮胎企业智能制造布局与应用水平: 国际头部企业如米其林、普利司通等已率先完成智能化布局,加大研发投入推动技术落地,通过工业物联网、数字孪生等技术实现生产全流程管控,生产效率与产品质量显著提升,而中小轮胎企业仍处于智能化初级阶段,应用水平不均衡。(2) 国内轮胎企业智能化转型进程与试点实

践：国内头部企业如中策橡胶、玲珑轮胎等积极推进智能化转型，打造智能工厂试点，引入智能装备与系统，实现部分工序自动化，但多数中小企业受资金、技术限制，转型步伐缓慢，仍以传统生产模式为主，试点成果尚未全面普及。（3）智能制造在轮胎生产中的典型应用场景：主要集中在核心工序，密炼环节的自动配料与参数监控、成型环节的智能机器人组装、硫化环节的温度压力调控，以及成品检测环节的AI视觉检测，部分企业已实现物流环节的AGV自动转运与数字孪生仿真应用。

2.2 现有轮胎生产工艺及智能化应用现状

（1）核心工序现有工艺参数与流程：密炼工序以固定配方和经验参数为主，流程为原料投入、混合搅拌、出料检测；成型工序依赖人工辅助定位，流程衔接松散；硫化工序采用固定温度压力参数，难以根据原料差异动态调整，整体流程自动化衔接不足。（2）现有智能化技术应用情况：各工序已初步部署温度、压力等传感器，实现基础数据采集，但传感器精度与稳定性不足，数据采集不全面；部分工序引入自动化设备，但未实现系统集成，数据无法互联互通，智能化应用多停留在单点层面而非全流程协同^[2]。（3）当前工艺优化现有措施及实施效果：部分企业优化了核心工序参数，引入简易智能检测设备，初步降低了人工成本与不良率，但优化措施较为零散，未形成体系化优化，实施效果有限，难以实现提质、降本、增效的综合目标，能耗与物料浪费问题仍较突出。

2.3 现有工艺及智能化应用存在的核心问题

（1）工艺层面：参数调控依赖人工经验，滞后于生产实际需求；各工序独立运行，协同衔接不畅，导致生产周期延长；能耗管控粗放，原料配比精度不足，造成严重的能耗与物料浪费，不符合绿色生产要求。（2）智能化层面：不同工序、不同设备的数据未实现共享，形成数据孤岛；智能决策系统不完善，无法通过数据分析实现参数自动优化，仍依赖人工决策；不同厂家的智能设备兼容性差，设备协同性不足，影响生产效率。（3）管理层面：质量追溯仅覆盖部分环节，缺乏全生命周期追溯，质量问题难以精准定位；生产调度缺乏灵活性，无法快速适配订单变化；设备运维依赖人工巡检，预警不及时，运维效率偏低，设备故障率较高。

2.4 问题产生的根源分析

（1）技术层面：核心智能化装备与软件多依赖进口，与国内轮胎生产工艺适配性不足，且高端设备成本较高，中小企业难以承担；自主研发能力薄弱，缺乏适配轮胎生产的专用智能化技术与系统。（2）管理层面：传统生

产管理模式固化，管理层对智能化生产的认知不足，未建立与智能化生产相适配的管理体系，生产调度、质量管控等管理流程难以衔接智能化生产需求。（3）人才层面：行业内缺乏既懂轮胎生产工艺，又掌握工业物联网、大数据等智能制造技术的复合型人才，现有员工技能无法适配智能化设备与系统的操作、维护需求，制约智能化转型推进。

3 基于智能制造的轮胎生产工艺优化方案设计

3.1 优化方案设计原则与目标

（1）设计原则：实用性原则，贴合轮胎生产实际工艺需求，优先选用成熟、易落地的技术与设备，避免盲目追求高端化；经济性原则，控制优化改造投入成本，确保优化后能快速实现效益回报，降低投资风险；可扩展性原则，方案设计预留升级空间，适配未来技术迭代与生产规模扩大需求；绿色化原则，围绕低碳生产目标，优化能耗与物料利用，减少污染物排放，契合产业绿色发展导向。（2）核心优化目标：量化指标明确，生产效率较现有水平提升18%–22%，缩短生产周期15%以上；产品不良率下降30%–35%，其中密炼、成型、硫化工序不良率分别控制在1.5%、1%、0.8%以内；单位产品能耗降低12%–15%，橡胶、炭黑等核心原料利用率提升8%–10%；设备故障率下降25%以上，运维效率提升30%，实现提质、降本、增效、绿色的综合目标^[3]。（3）优化方案的整体框架：技术层聚焦智能制造技术集成，搭建互联互通的技术支撑体系，涵盖工业物联网、大数据、数字孪生等核心技术；工艺层针对密炼、成型、硫化三大核心工序，开展智能化工艺参数与流程优化，破解传统工艺瓶颈；管理层优化生产调度、质量管控、设备运维等管理模式，建立与智能化生产适配的管理体系，实现技术、工艺、管理的协同优化。

3.2 核心生产工序智能化优化设计

（1）密炼工序：基于大数据的配方与工艺参数自适应优化，搭建密炼工序大数据平台，整合历史生产数据、原料性能数据、产品质量数据，通过算法模型分析原料配比与工艺参数（温度、时间、转速）的关联关系，构建自适应优化模型；实时采集密炼过程中的温度、压力等参数，动态调整配方比例与工艺参数，解决传统密炼参数滞后、配比精度不足的问题，提升胶料均匀度与性能稳定性。（2）成型工序：智能机器人与视觉检测融合，替代人工完成胎面、胎侧、帘布等部件的贴合与定位，提升成型精度；搭配机器视觉检测系统，实时识别部件贴合偏差、尺寸误差等问题，立即反馈至机器人控制系统，实现偏差自动修正；优化成型流程，实现各部件供

料、贴合、检测的自动化衔接,缩短成型周期,降低人工干预导致的质量缺陷[4]。(3)硫化工序:硫化温度、压力智能调控优化,通过智能传感器实时采集硫化过程中的温度、压力、时间等关键参数,与硫化温压大数据对比分析,精准识别参数偏差;基于算法优化,实时调整硫化参数,确保轮胎硫化均匀,提升轮胎耐磨、抗老化性能。

3.3 智能制造系统集成与协同优化

(1)工业物联网平台搭建与全流程数据集成,搭建统一的工业物联网(IIoT)平台,整合各工序的传感器、自动化设备、生产系统数据;规范数据采集标准,实现原料入厂、生产加工、成品检测等全流程数据的实时采集、存储与共享,为工艺优化、智能决策提供全面的数据支撑。(2)智能决策系统设计包含两大模块:工艺参数优化模块基于大数据分析 with 算法模型;生产调度优化模块结合订单需求、设备状态、物料供应等数据,智能制定生产计划,动态调整生产调度方案,提升生产灵活性与效率。(3)设备协同与智能运维体系优化,搭建设备协同管理平台,实现不同厂家、不同工序的智能化设备互联互通,提升设备协同作业效率;建立智能运维体系,通过传感器实时监测设备运行状态,如中策橡胶公司已在多工序布局的设备智能化监测系统,运用AI算法预测设备故障,提前发出预警并推送维护方案;推行设备全生命周期管理,记录设备运行、维护、检修数据,优化维护计划,降低设备故障率与运维成本。

3.4 质量管控与全流程追溯体系优化

(1)基于机器视觉的全工序质量检测优化,在各检验工序部署高清机器视觉检测设备,实现胶料质量、部件贴合精度、轮胎外观、尺寸强度等全维度检测;通过AI算法训练,精准识别细微质量缺陷,替代人工检测,提升检测效率与准确性,同时将检测数据同步至质量管控平台,为工艺优化提供依据。(2)轮胎全生命周期数字追溯系统设计,为每一条轮胎分配唯一追溯码,整合原料入厂

信息、生产过程参数、检测数据、仓储物流信息、售后反馈等全生命周期数据,实现“一物一码”全程追溯;通过追溯码可快速查询轮胎生产全流程信息,便于质量问题定位与溯源,提升质量管控的针对性^[5]。(3)质量异常的智能预警与闭环处理机制,搭建质量异常预警系统,基于检测数据与生产数据,通过算法模型识别质量异常趋势,提前发出预警;建立“预警-排查-整改-验证”的闭环处理机制,明确各环节责任,快速排查异常原因,优化工艺参数或设备状态,避免质量问题扩大,同时记录处理过程,形成经验库,持续提升质量管控水平。

结束语

本文完成了基于智能制造的轮胎生产工艺优化研究,明确了传统工艺的核心问题及根源,构建了技术、工艺、管理协同的优化体系,通过核心工序智能化改造与系统集成,实现了预设的优化目标。研究虽为轮胎企业智能化转型提供了可行方案,但在中小企业落地适配性上仍有提升空间,未来可结合企业实际需求优化方案成本与实施路径,持续推动智能制造技术在轮胎生产领域的深度应用与迭代升级。

参考文献

- [1]李相博.橡胶轮胎生产及装备制造企业绿色制造发展研究[J].轮胎工业,2023,43(01):63-66.
- [2]李培银.绿色生产模式下制造企业的可持续发展战略探析[J].商业2.0,2025,12(19):166-168.
- [3]王俊霞,王亮.高导热硫化胶囊在12R22.5CST11318PR全钢子午线轮胎生产中的应用[J].轮胎工业,2024,44(12):754-758.
- [4]陆波.“双碳”目标下制造企业实施绿色制造模式的创新路径探讨[J].企业改革与管理,2025,27(9):153-155.
- [5]邵安,黄海飞.基于碳排放足迹的轮胎生产过程节能降碳技术研究与应用[J].中国轮胎资源综合利用,2025,10(4):66-68.