

Key Technology and Application Analysis of the Automatic Control System of High-strength Wire Rod

Bo Ruan

Jiangsu Shagang Group Co., Ltd., Zhangjiagang, Jiangsu, 215625, China

Abstract

With the rapid development of manufacturing industry, the demand for high-strength wire rod in aviation, automobile, construction and other fields is increasing, and the accuracy and efficiency of its production process has become an important factor affecting the competitiveness of enterprises. Traditional wire production faces challenges with low efficiency and unstable quality, and the application of automatic control system provides a new way to solve these problems. This study focuses on the automatic control system in the production of high strength wire, and discusses its key technologies and application practices. By analyzing the architecture design of the control system, key algorithms, sensor applications, and intelligent fault diagnosis and feedback control technologies, the system demonstrates the important role of these technologies in improving production efficiency and ensuring product quality.

Keywords

high-strength wire rod; automatic control system; intelligent manufacturing; sensor technology; industrial automation

高强度线材自动化控制系统关键技术与应用分析

阮勃

江苏沙钢集团有限公司，中国·江苏 张家港 215625

摘要

随着制造业的高速发展，高强度线材在航空、汽车、建筑等领域的需求不断增长，其生产过程的精确性和高效性成为影响企业竞争力的重要因素。传统的线材生产面临着效率低、质量不稳定等挑战，而自动化控制系统的应用为解决这些问题提供了新的路径。本研究聚焦于高强度线材生产过程中的自动化控制系统，探讨其关键技术和应用实践。通过分析控制系统的架构设计、关键算法、传感器应用，以及智能化故障诊断与反馈控制技术，系统展示了这些技术在提升生产效率和保证产品质量中的重要作用。

关键词

高强度线材；自动化控制系统；智能制造；传感器技术；工业自动化

1 引言

高强度线材是一类广泛应用的关键材料，其具备高强度、耐腐蚀、耐疲劳等优异性能。这些材料不仅能满足复杂环境中的高性能要求，还在新兴领域中发挥着日益重要的作用，如新能源设备、轨道交通以及精密仪器制造。本研究旨在分析高强度线材自动化控制系统的关键技术，构建一套高效、稳定的控制体系，提升生产过程的自动化水平与产品质量。通过本研究，希望为高强度线材生产企业提供理论与实践相结合的解决方案，推动行业的技术进步与智能化转型。

2 高强度线材自动化控制系统的构建与技术基础

2.1 系统架构设计

高强度线材自动化控制系统的总体架构包括数据采集层、控制执行层、系统管理层以及监控反馈层四个模块。数据采集层利用传感器和数据采集模块，实时监测张力、温度和位移等关键参数，为系统提供高精度的生产数据支持。控制执行层由 PLC 和工控计算机组成，它们负责接收采集的数据并发出控制指令，驱动执行机构（如电机、液压装置）完成生产操作。系统管理层基于制造执行系统（MES），实现对生产流程的整体管理与协调，确保各个环节的紧密衔接与高效运行^[1]。监控反馈层通过智能监控系统进行实时数据监控与报警反馈，并与云平台连接，实现远程监控和操作管理。数据采集通过传感器完成，并实时传输至 PLC 或工控机进行初步处理。整个控制流程采用闭环反馈机制，将采

【作者简介】阮勃（1972-），男，中国陕西商南人，本科，高级工程师，从事电气自动化研究。

集到的生产参数与设定值进行实时比较，并根据产生的偏差自动调整控制信号，确保生产过程的稳定性和高精度控制。同时，系统还通过数据库或 MES 平台记录生产过程中的关键数据，实现历史数据查询与分析，为故障诊断和系统优化提供数据支持。通过这套架构和控制流程，系统能够提升生产效率、确保产品质量，并减少生产过程中的人为干预和操作误差。

高强度线材自动化控制系统层级说明表见表 1。

2.2 控制算法与智能优化技术

PID 控制算法（比例—积分—微分控制）广泛应用于自动化系统中，以确保关键参数（如张力和温度）在设定值范围内保持稳定。但在高强度线材生产中，传统 PID 控制在应对复杂的非线性系统时存在局限性，因此需要进行算法优化。常见的优化方法包括增量 PID 算法和自整定 PID 控制。

增量 PID 算法通过逐步调整控制信号，降低系统响应中的抖动，提高控制的精度与稳定性^[2]。自整定 PID 控制则使系统能够根据不同的工况变化，自动调整控制参数，适应多样化的生产需求。且预测控制和自适应控制技术在高强度线材生产中的应用进一步增强了系统的灵活性与智能化水平。预测控制基于数学模型，提前预测未来系统的状态，并提前调整控制参数，以确保系统在动态环境中的稳定性和控制效果。自适应控制则使系统具备动态学习和优化能力，根据生产环境和工况的实时变化，自动调整控制策略，确保在复杂生产条件下依然保持高效稳定的运行。这些智能优化技术不仅有效提升了系统的应变能力，还减少了人为干预的必要性，提高了生产过程的自动化水平。

控制算法优化流程图见图 1。

表 1 高强度线材自动化控制系统层级说明表

层级	主要功能	涉及技术
系统管理层	管理生产流程，确保各环节高效衔接；支持数据分析与优化	MES 平台、数据可视化界面
监控反馈层	实时监控与报警，支持历史数据分析，连接云平台实现远程监控	SCADA 系统、云计算平台
控制执行层	接收数据并发出控制指令，驱动执行机构进行操作；基于反馈调整控制信号	PLC、工控计算机、闭环反馈控制系统
数据采集层	采集并传输张力、温度、位移等参数，初步处理后传送给控制系统	力矩传感器、位移传感器、温度传感器

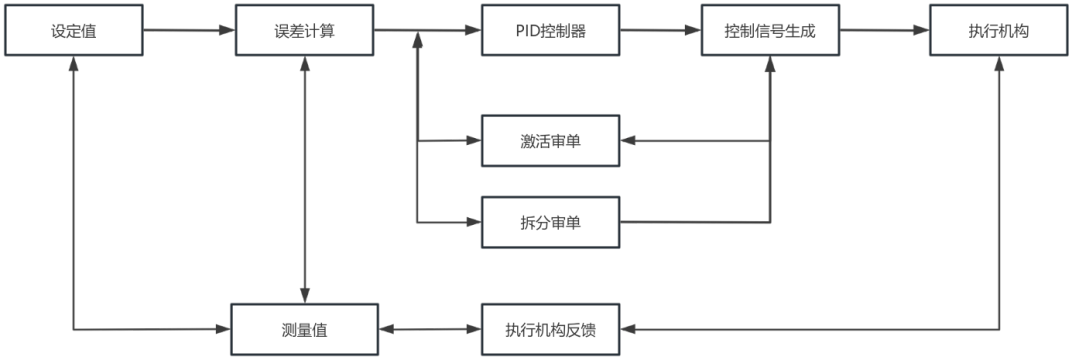


图 1 控制算法优化流程图

2.3 关键设备与传感器技术

在强度线材自动化控制系统中，关键设备和传感器的选择至关重要。力矩传感器用于测量设备传动过程中产生的扭矩，确保动力传输的平稳性，以防止传动过程中因扭矩波动影响生产稳定性。位移传感器用于监测线材的位移与位置变化，实现对线材移动过程的精准控制和动态调整，保证产品的尺寸精度。温度传感器用于控制生产过程中各阶段的温度变化，避免因温度不当导致线材性能下降或材料变形。这些传感器的合理选择与应用是保障生产稳定性和产品质量的重要基础。多种传感器通过总线系统（如 Modbus、CAN 等）集成至控制平台，确保数据传输的高效性与准确性。传感器数据集成平台实时采集并分析各类传感器反馈的数据，为控制系统提供精确的参数支持和实时反馈，提升系统的响应速度与控制精度^[3]。为提高系统的互操作性，系统

采用 OPC UA 协议进行数据交换，实现各模块之间的无缝连接与协同工作。通过这种高效的数据集成与互联方案，系统能够实现对生产全过程的智能监控和优化控制，确保高强度线材的生产质量和运行效率。

3 系统应用中的关键技术

3.1 实时监测与反馈控制技术

在强度线材的生产过程中，实时监测与反馈控制是确保生产效率和产品质量的关键环节。生产过程中涉及的张力、温度、位移和速度等关键参数需要以毫秒级精度进行采集与处理，以保证系统能够及时响应变化并保持稳定运行。实时数据采集系统利用力矩传感器、位移传感器和温度传感器等设备，通过 Modbus、CAN 总线等工业通信协议与 PLC（可编程逻辑控制器）或工控计算机连接，实现高速数据传输和处理。系统需具备高采样频率，并采用滤波算法去除噪

声,确保数据的准确性。采用闭环反馈控制机制后,系统将采集到的实时参数与设定值进行比较,计算出误差信号,并根据该信号发出指令,调整电机、液压装置等执行机构,确保生产参数快速回归正常状态^[4]。这种反馈机制可在生产过程中应对张力或温度的变化,如张力传感器检测到异常时,系统会立即调整卷绕设备速度恢复平衡。在温控环节,系统能够通过减少加热功率避免材料性能受损。通过这一技术,企业能够降低生产成本、提高产品质量,并满足复杂工况下的多样化需求。

3.2 高精度张力控制与均匀性保障

在高强度线材生产过程中,张力控制的稳定性直接决定了产品的质量和性能。张力不稳定容易导致线材在生产过程中发生断裂、弯曲、尺寸不均匀等问题,进而影响产品的使用寿命和性能。因此,系统需配备张力自动调整技术,保证线材在不同生产阶段的张力保持一致。为了实现这一目标,系统采用多级传感器实时检测张力数据,包括在线力矩传感器和速度传感器等,用于监测卷绕、放线和牵引过程中张力的变化。传感器将采集的数据通过工业总线传输至控制系统,系统结合预设的张力标准值,通过闭环反馈控制算法实现动态调整。精度控制是张力管理的关键挑战。在不同工况下,线材张力可能受到设备速度变化、摩擦力变化和环境温度等因素的影响,导致系统的控制难度增加^[5]。基于此类情况,系统引入了自适应PID控制算法,通过实时调整控制参数来应对生产中的非线性问题。当传感器检测到张力偏离设定值时,系统会自动调整卷绕电机的速度或牵引设备的力度,确保张力迅速恢复至目标范围内。自适应PID算法能够根据环境和设备状态的变化,自动优化控制策略,减少系统响应时间,提高控制精度。

系统还采用张力分级控制策略,针对不同工序设定多级张力控制目标,如卷绕和放线阶段的张力要求不同。在每个工序中,传感器反馈的实时数据与预设值进行对比,系统根据误差大小自动进行动态调整。这种多级控制策略保证了线材在整个生产流程中的张力均匀性,避免了不同环节之间因张力变化导致的质量问题。通过高精度张力控制技术,系统不仅保障了线材的尺寸一致性和结构稳定性,还大幅降低了废品率,提升了生产效率。此外,系统还支持数据记录与分析,结合MES平台的数据追踪功能,为后续的工艺优化和产品性能提升提供数据支持。总体而言,高精度张力控制技术的应用,确保了高强度线材产品在复杂生产条件下的高质量输出,并满足了高性能应用领域对尺寸精度和材料性能的一致性要求。

3.3 故障诊断与自动化维修技术

在复杂的自动化生产系统中,故障诊断与维修能力对确保生产效率和设备稳定性至关重要。为了解决高强度线材生产过程中设备复杂、故障频发的问题,系统结合了故障诊断模型与大数据分析技术,从大量历史数据中挖掘故障模式和潜在的风险点,实现设备的智能化管理。通过传感器实时

采集关键参数(如设备的运行速度、扭矩、温度等),并结合历史数据建立预测模型。当系统检测到设备参数异常或某些变量的趋势偏离正常范围时,立即启动预警机制,并分析可能的故障原因。例如,某卷绕电机的历史数据表明其在运行1000小时后,扭矩波动增加,同时伴随温度异常升高,故障检测系统通过这些趋势数据预测到电机故障概率达到了15%。类似的,液压系统在超过1200小时的运行过程中,虽然故障发生频率较低,但系统通过数据积累分析出每600小时可能发生一次故障,概率为10%。根据这些数据,系统能够提前做出维护建议,避免生产的意外中断。这种智能化的故障诊断和维护技术不仅提高了设备的使用寿命,减少了维护时间,还优化了企业的生产效率,降低了运营成本,保障了高强度线材生产的稳定性和连续性。

3.4 温控与材料性能控制技术

温度控制在高强度线材的生产过程中对产品质量起着至关重要的作用。不同的生产阶段对温度有着不同的需求,科学的温控策略能够保证生产的顺利进行,同时确保线材在各个工序中保持优良的力学性能。在拉伸工艺中,保持恒定的温度可以防止材料的脆化或延展性不足,从而确保线材在承受高应力时不出现断裂或形变。系统通过温度传感器实时采集生产线上的温度数据,并通过闭环控制系统进行自动化调节。当传感器检测到温度偏离设定的理想值时,系统会立即调整加热器或冷却设备的功率,以快速将温度恢复到最佳范围。该闭环控制机制确保了生产过程中的温度稳定性,从而避免了因温度波动导致的材料性能不稳定问题。温度控制不仅影响生产的稳定性,还对线材的最终力学性能产生直接影响。

4 结论

本研究围绕高强度线材生产过程中的自动化控制系统展开,分析了系统的构建及关键技术在提升生产效率和产品质量方面的应用价值。通过本次研究,我们不仅为企业提供了理论支持和实践指导,还为高强度线材生产系统的未来优化提供了重要的参考。智能化控制技术与自动化系统的深度结合,将持续推动制造业的转型升级,为航空、汽车、建筑及其他高性能需求领域提供更加优质的产品和服务。

参考文献

- [1] 韩延伟.线材自动挂牌机器人系统构建与视觉识别[D].秦皇岛:燕山大学,2023.
- [2] 刘传鑫.用于熔融沉积成型的载药线材的制备与打印性能研究[J].长沙:湖南大学,2023.
- [3] 陆文君.聚乳酸基木塑复合3D打印线材制备及其成型研究[D].苏州:苏州大学,2019.
- [4] 姜岳良.基于图像识别的线材测径系统设计[J].辽宁科技大学,2021(5).
- [5] 叶顺强.基于机器视觉的线材直径和椭圆度实时检测系统研究[D].合肥:安徽大学,2023.