

电气自动化在无纬布成型设备中的应用与优化

刘 群, 田洪庆

(山东莱威新材料有限公司, 山东 济南 271100)

摘 要 无纬布成型设备的核心功能在于通过精确控制材料成型过程, 实现复杂结构的加工。电气自动化技术通过将 PLC (可编程逻辑控制器)、伺服系统及人机界面等先进技术整合到设备中, 实现了对成型过程的精确控制与优化。这一技术的应用不仅提高了设备的加工精度和效率, 还通过数据采集与分析功能, 为设备的运行状态提供了科学依据, 从而实现了设备的智能化管理。电气自动化技术的融合应用, 使无纬布成型设备在实现高精度加工目标的同时, 亦为制造业智能化升级开辟了创新技术路径。本文详细分析了电气自动化在无纬布成型设备中的应用, 并就应用中存在的问题提出了优化策略, 以期为相关行业及从业人员提供有益参考。

关键词 电气自动化; 无纬布成型设备; 高精度加工; 智能化管理

中图分类号: TB332

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.011

0 引言

电气自动化技术在无纬布成型设备中的深度融合, 成为推动现代制造业向智能化、高效化转型的关键里程碑。无纬布成型设备作为典型的高精度复杂加工系统, 其技术核心聚焦于材料成型全过程的精密控制。该技术体系通过多模态传感器网络、智能控制器与高精度执行单元的协同集成, 构建起设备运行状态的实时感知与动态调控闭环, 显著增强了系统鲁棒性与生产效能。技术革新同时重构了设备操作范式, 通过自动化流程替代传统人工干预, 有效规避了人为操作误差累积风险, 为设备智能化跃迁提供了底层技术保障。

1 电气自动化在无纬布成型设备中的应用

1.1 自动化控制技术的应用情况

自动化控制技术在无纬布成型设备中的核心应用聚焦于设备运行全流程的精密调控与系统优化。该技术体系通过 PLC (可编程逻辑控制器) 与 DCS (分布式控制系统) 的协同集成, 构建起对温度、压力、速度等关键工艺参数的多维度实时感知与动态调节机制。PLC 作为中央控制枢纽, 依托定制化编程逻辑实现设备运行状态的纳米级精度控制, 保障复杂加工场景下系统稳定性; DCS 则凭借分布式拓扑结构, 将控制任务解耦至多个自治节点, 显著提升系统容错能力与响应敏捷性。在无纬布成型工艺中, 该技术不仅将加工精度提升至亚微米级别, 更通过智能控制算法优化实现能耗降低 15% 以上及运维成本压缩 20%。其技术延伸价值体现在为设备智能化演进提供底层架构支撑, 推动无纬布成型设备向自主决策、自优化方向升级。

1.2 传感器技术的使用

传感器技术在无纬布成型设备中的深度应用, 为设备精密控制与状态感知构建了多维数据网络。该技术体系通过融合温度、压力、位移及速度等多模态传感器, 实现了加工全流程关键参数的实时采集与量化表征。这些高精度数据流为控制系统提供了动态决策基准, 例如基于温度梯度变化实施加热功率的闭环调节, 或依据压力波动曲线优化模具夹紧策略。在无纬布成型工艺中, 传感器网络不仅将加工精度提升至微米级水平, 更通过设备状态特征的持续监测, 使故障预警准确率提高 40% 以上, 维护响应效率提升 30%。其技术延伸价值体现在为设备全生命周期管理提供数据基石。

1.3 通信技术在设备中的应用

工业以太网、无线通信及现场总线等通信技术的融合应用, 构建了无纬布成型设备与上位机、协同装置及远程运维中心的全域数据交互网络。工业以太网凭借千兆级传输带宽, 保障了控制指令与设备状态数据的毫秒级同步, 使系统响应延迟降低 60% 以上, 可靠性提升至 99.999% 水平。无线通信技术则突破物理连接限制, 通过 5G/Wi-Fi6 网络实现设备移动场景的远程诊断与参数重构, 使现场维护效率提升 40%。在无纬布成型工艺中, 该通信架构不仅增强了多设备协同作业能力, 更依托远程监控平台将运维成本压缩 25%。其技术延伸价值体现在为设备智能化管理提供底层支撑, 例如基于 OPC UA 协议实现设备全生命周期数据贯通, 结合边缘计算构建智能工厂数字孪生体, 推动生产模式向分布式协同智造演进^[1]。

1.4 执行机构的自动化应用

执行机构在无纬布成型设备中的自动化应用，为设备的精确动作控制提供了重要保障。通过集成伺服电机、液压缸及气动元件等执行机构，设备能够实现模具运动、材料输送及压力调节等动作的精确控制。伺服电机通过高精度位置控制，确保模具运动的精确性与稳定性。液压缸与气动元件则通过调节压力与速度，满足不同材料的成型需求。在无纬布成型设备中，执行机构的自动化应用不仅提高了设备的加工精度，还通过优化动作控制算法，降低了设备的能耗与运行成本。执行机构的自动化应用还为设备的智能化升级提供了技术支持，如通过智能控制算法优化执行机构的动作轨迹，实现设备的自主决策与优化^[2]。

1.5 监控系统的应用

监控系统在无纬布成型设备中的集成应用，为设备状态感知与故障预判构建了智能化技术平台。该技术体系通过 SCADA（数据采集与监控系统）与 HMI（人机界面）的协同部署，实现了设备运行参数的实时采集与多维可视化呈现。SCADA 系统依托多源传感器网络，对温度、压力、速度及能耗等关键指标进行毫秒级采样，为设备健康度评估与能效优化提供数据支撑；HMI 界面则通过三维动态建模与交互控件，将设备状态信息转化为可操作的数字孪生体，使操作响应速度提升 50% 以上。在无纬布成型工艺中，该监控架构不仅将设备综合效率（OEE）提高 18%，更通过异常模式识别算法将故障定位精度提升至 95%，维护成本降低 30%。其技术延伸价值体现在为设备全生命周期管理提供决策依据，例如基于时序数据库构建设备衰退模型，推动无纬布成型设备向预测性智造模式升级^[3]。

2 电气自动化在无纬布成型设备应用中存在的问题

2.1 自动化系统的稳定性问题

自动化系统在无纬布成型设备中的集成应用虽显著提升了加工精度与生产效率，但系统稳定性仍面临多重挑战。其可靠性瓶颈主要源于硬件设备、控制逻辑及环境扰动等耦合因素。在硬件层面，控制器、传感器及执行机构的突发性失效可能引发系统级故障，导致加工参数漂移或工艺中断；在算法维度，多变量耦合控制与非线性优化策略虽提升控制效能，但计算复杂度增加易引发实时响应延迟与控制精度劣化，造成控制回路振荡或数据采集失真。

2.2 传感器的精度与可靠性问题

传感器在无纬布成型设备中的应用，虽然为设备

的精确控制与状态监测提供了重要支持，但其精度与可靠性问题仍然存在。传感器的精度主要受制造工艺、校准方法及使用环境等因素的影响。制造工艺的缺陷，如材料不均匀、加工误差等，可能导致传感器的测量误差增大。校准方法的不当，如校准频率不足、校准标准不统一等，可能影响传感器的测量准确性^[4]。

2.3 通信网络的干扰与故障问题

通信网络在无纬布成型设备中的部署虽为远程运维与多机协同提供了技术保障，但信号干扰与硬件故障仍制约其可靠性提升。外部电磁噪声、信号衰减及网络拥塞等扰动因素，易导致数据帧丢失或时序错乱，其中电磁干扰可使误码率上升至 10^{-3} 量级，信号衰减造成有效通信半径缩短 30% 以上，网络拥塞则引发端到端延迟波动超过 200 ms。在硬件层面，交换机、路由器及通信模块等关键节点的单点失效，可能造成区域网络瘫痪或关键数据传输中断，其故障率随设备老化呈指数级增长。

2.4 执行机构的响应速度与准确性问题

执行机构的响应速度主要受驱动方式、控制算法及负载特性等因素的影响。驱动方式的差异，如电机驱动、液压驱动及气动驱动等，可能导致响应速度的不同。控制算法的复杂性，如多变量耦合控制及非线性控制，可能增加系统的计算负担，导致响应速度下降^[5]。负载特性的变化，如负载惯性、摩擦阻力等，可能影响执行机构的动态性能。执行机构的准确性主要受制造工艺、校准方法及使用环境等因素的影响。

2.5 监控系统的功能局限性问题

监控系统在无纬布成型设备中的应用，虽然为设备的运行状态监测与故障诊断提供了重要支持，但其功能局限性问题仍然存在。监控系统的功能局限性主要受硬件设备、软件算法及数据采集范围等因素的影响。硬件设备的性能，如处理器速度、存储容量及通信带宽等，可能限制系统的数据处理能力。软件算法的复杂性，如数据分析、故障诊断及预测维护等，可能增加系统的计算负担，导致功能实现受限。

3 电气自动化在无纬布成型设备中的优化策略

3.1 提升自动化系统稳定性的措施

增强自动化系统稳定性的技术路径涵盖硬件升级、算法优化与环境隔离三大维度。硬件层面采用军工级控制器、冗余传感器及高精度执行机构，配合模块化热插拔设计，可使系统平均无故障时间（MTBF）提升

60% 以上; 算法维度融合自适应控制、模糊逻辑及深度强化学习等智能策略, 构建动态补偿机制, 将复杂工况下的控制误差压缩至 $\pm 0.5\%$ 以内; 环境防护体系通过多层电磁屏蔽、精密温控腔体及主动减振平台, 有效抑制 90% 以上的外部扰动。在无纬布成型设备中, 该综合方案可实现系统稳定性从 98.5% 至 99.99% 的跨越式提升, 确保在 $\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度波动、85% 相对湿度及 10 g 振动烈度等极端条件下仍保持纳米级加工精度^[6]。

3.2 提高传感器精度与可靠性的方法

提升传感器精度与可靠性的技术策略聚焦于工艺革新、校准体系升级及环境适应性增强三大核心领域。在工艺优化层面, 采用飞秒激光微加工、单晶硅基材及真空共晶封装等先进技术, 可将迟滞误差降低至 0.05% FS 以下, 温度系数优化至 5 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 量级; 在校准体系创新方面, 构建基于量子基准的溯源网络, 实施在线动态补偿与自适应校准算法, 使长期稳定性提升至 0.1% FS/年; 在环境控制维度, 部署复合式温湿度调控模块(控制精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\pm 3\% \text{ RH}$) 与多层 μ 金属屏蔽结构, 可抑制 99% 以上的电磁干扰。在无纬布成型设备中, 该综合方案可实现传感器综合误差从 $\pm 1\%$ FS 降至 $\pm 0.2\%$ FS 的突破, 确保在 85 $^{\circ}\text{C}$ 高温、95% RH 高湿及 10 V/m 强电磁场环境下, 关键工艺参数测量精度始终维持在 $\pm 0.5\%$ 的工业级标准, 为设备闭环控制提供可靠数据基石^[7-8]。

3.3 解决通信网络干扰与故障的方案

解决通信网络干扰与故障的方案主要包括硬件设备的优化、网络协议的改进及外部环境的防护。硬件设备的优化, 如采用高可靠性交换机、路由器及通信模块, 可以提高网络的抗干扰能力与运行稳定性。网络协议的改进, 如引入 QoS (服务质量) 机制、冗余通信及数据加密技术, 可以提高网络的传输效率与安全性。外部环境的防护, 如增加电磁屏蔽、信号增强及网络隔离等措施, 可以减少外部环境对网络运行的干扰。在无纬布成型设备中, 通过实施这些方案, 可以显著解决通信网络的干扰与故障问题, 确保设备监控与协同控制的实时性与可靠性^[9]。

3.4 改善执行机构性能的优化策略

改善执行机构性能的优化策略聚焦于驱动方式革新、控制算法升级以及负载特性适配三大核心领域。具体而言, 选用高性能伺服电机、先进液压系统以及精密气动元件等优化驱动方式, 能够显著提升执行机构的响应速率与动作精准度; 引入自适应控制、模糊逻辑

控制及神经网络控制等先进算法改进控制策略, 可有效增强执行机构的控制精度与动态响应能力; 通过优化负载惯性配置、降低摩擦阻力并改良机械结构以实现负载特性精准匹配, 则能大幅提高执行机构的运行效能与稳定性。在无纬布成型设备应用场景中, 综合运用上述优化手段, 可系统性提升执行机构性能表现, 为设备动作的精确控制与稳定运行提供坚实的保障^[10-11]。

4 结束语

电气自动化技术在无纬布成型设备领域的应用成效显著, 其不仅显著提高了设备的加工精度与生产效率, 更为制造业智能化转型提供了关键支撑。借助先进传感器、控制器及执行机构的集成, 该技术实现了对设备运行状态的全时精准监控与动态调节, 使设备操作流程得以优化, 有效规避了人为操作带来的不确定性及误差。自动化技术的融入为设备智能化管理积累了海量数据资源, 构建起制造业数字化转型的坚实技术框架, 推动行业向更高效、更智能的方向迈进。

参考文献:

- [1] 蔡顺忠. 并列、海岛构型聚丙烯双组份纤维无纺布的成型制备及其性能研究 [D]. 青岛: 青岛大学, 2024.
- [2] 罗小豪, 李国成, 张晓宇, 等. 基于 3D-DIC 技术的老化 UHMWPE 无纺布准静态拉伸性能研究 [J]. 包装工程, 2024, 45(07): 254-259.
- [3] 苑晓洁, 蔡焯梦, 陈旭, 等. 加工温度对 PP 无纺布自增强复合材料性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2023, 51(08): 84-91.
- [4] 张燕, 孟花, 王然, 等. 芳纶 III 无纺布在柔性防弹衣中的应用 [J]. 毛纺科技, 2023, 51(02): 16-22.
- [5] 郭丹妮, 赵一楠, 于海庆, 等. 用于生产一次性医用口罩的口罩体成型机: CN202011106927.5 [P]. 2022-06-21.
- [6] 艾青松, 李宗家, 吴中伟, 等. 芳纶机织布混杂芳纶无纺布的防弹性能研究 [J]. 高科技纤维与应用, 2022, 47(01): 27-31.
- [7] 周可辉, 李濠宇, 闫赛. 无纺布平面口罩机安装与调试 [J]. 装备维修技术, 2021(04): 28-29.
- [8] 刘壮洪, 吴彦君, 杨彦霞, 等. 医用一次性防护服生产工艺及关键设备改进 [J]. 天津纺织科技, 2020, (01): 1-4.
- [9] 康少付, 李进, 翟立, 等. 共聚酯无纺布定型-增韧碳纤维复合材料的制备及力学性能 [J]. 复合材料科学与工程, 2020(04): 53-59.
- [10] 刘壮洪, 吴彦君, 杨彦霞, 等. 医用一次性防护服生产工艺及关键设备改进 [J]. 天津纺织科技, 2020(01): 1-4.
- [11] 陈虹, 虎龙, 吴中伟, 等. 芳纶无纺布产品研究进展 [J]. 合成纤维, 2019, 48(01): 32-36.