

工程机械工艺装备自动化非标设计的关键技术研究与应用实践

廖延辉

徐州徐工矿业机械有限公司 江苏 徐州 221004

摘要：在全球制造业智能化转型浪潮下，工程机械行业正经历深刻变革。本文聚焦于工程机械工艺装备自动化非标设计的关键技术研究与应用实践。先阐述了其设计概述，详细剖析了先进的设计理念与方法、智能化控制技术、高精度传动技术以及传感器技术与数据采集处理等关键技术。接着介绍了在生产加工、装配、物流与仓储、质量检测等环节的应用，为提升工程机械工艺装备自动化水平及相关企业发展提供参考。

关键词：工程机械；工艺装备；自动化非标；设计关键技术；研究；应用实践

引言：随着工程机械行业的迅猛发展，对工艺装备的自动化和非标化要求日益提升。自动化非标设计能更好地满足多样化生产需求，提高生产效率与质量。先进技术的应用是实现这一目标的关键。目前，工程机械工艺装备在自动化方面虽取得一定进展，但仍面临诸多挑战。本文深入研究工程机械工艺装备自动化非标设计的关键技术，并探讨其在实际生产各环节的应用实践，以推动该领域技术进步和行业发展。

1 工程机械工艺装备自动化非标设计概述

工程机械工艺装备自动化非标设计，是依据工程机械产品的独特生产工艺与技术要求，进行非标准、定制化的自动化装备设计。其核心在于突破传统标准设备的局限性，针对工程机械生产过程中复杂、多样化的生产需求，打造契合特定生产场景的工艺装备。在工程机械制造领域，产品类型丰富、结构复杂，不同型号产品在零部件加工、装配流程等方面存在显著差异，标准化设备难以满足个性化生产需求。自动化非标设计通过深度分析生产工艺，将机械、电气、控制等多学科技术融合，设计出适配性高的工艺装备。该设计以提高生产效率、保障产品质量、降低劳动强度为目标^[1]。

2 工程机械工艺装备自动化非标设计的关键技术

2.1 先进的设计理念与方法

2.1.1 模块化设计：模块化设计是工程机械工艺装备自动化非标设计的重要理念。它将复杂的工艺装备拆解为功能相对独立的模块，每个模块可单独设计、制造与调试。各模块间通过标准化接口进行连接与组合，这不仅简化了设计流程，缩短了研发周期，还方便后续维护与升级。当生产需求发生变化时，可快速更换或添加模块，灵活调整装备功能，极大提升了工艺装备的通用性

和适应性，满足工程机械多样化的生产要求。

2.1.2 基于仿真的设计优化：基于仿真的设计优化借助计算机仿真技术，在设计阶段模拟工艺装备的运行状态与性能表现。通过构建虚拟模型，对装备的机械运动、受力情况、控制逻辑等进行全面分析，提前发现潜在的设计缺陷与性能瓶颈。例如，可模拟机械结构的应力分布，优化其强度与稳定性；仿真自动化控制系统的运行逻辑，提升控制精度。该技术有效减少了物理样机的制作次数，降低研发成本，加速设计迭代，助力打造更高效、可靠的工程机械工艺装备。

2.2 智能化控制技术

2.2.1 工业机器人应用：在工程机械工艺装备自动化非标设计中，工业机器人的应用是智能化控制的关键一环。工业机器人具备高精度、高重复性和持续作业能力，能够替代人工完成焊接、装配、搬运等复杂且高强度的工作。在焊接环节，机器人可凭借精准的轨迹控制，保证焊缝质量的稳定性；在装配作业中，其灵活的机械臂能精准抓取和安装零部件。通过编程设定不同的工作模式和任务，工业机器人可快速适应多种生产场景，显著提升生产效率，同时减少人为因素导致的质量波动。

2.2.2 自动化控制系统集成：自动化控制系统集成是将传感器、控制器、执行机构等硬件设备与控制软件深度融合，构建起完整、高效的智能化控制体系。该系统能够实时采集工艺装备运行中的各类数据，如位置、速度、温度等，经控制器分析处理后，精准调控执行机构动作。在工程机械生产中，通过集成自动化控制系统，可实现生产线各环节的协同运作，对生产流程进行动态优化。

2.3 高精度传动技术

2.3.1 精密滚珠丝杠与直线导轨：精密滚珠丝杠与直线导轨是实现高精度直线运动的核心部件。精密滚珠丝杠通过滚珠在丝杠与螺母间的滚动，将旋转运动转化为直线运动，显著降低了摩擦阻力，提高传动效率和精度，重复定位精度可达微米级。直线导轨则为运动部件提供精准的导向，其高刚性结构能够承受较大的载荷，保证运动的平稳性和可靠性。在工程机械工艺装备自动化非标设计中，二者配合使用，为加工、装配等环节提供精确的直线定位和运动控制，有效提升了产品的加工精度和生产质量^[2]。

2.3.2 谐波传动与行星齿轮传动：谐波传动与行星齿轮传动在高精度传动领域发挥着重要作用。谐波传动利用柔性元件的弹性变形来传递运动和动力，具有结构紧凑、传动比大、运动精度高、无回程间隙等特点，能够实现微小角度的精确传动。行星齿轮传动则通过多个齿轮间的啮合，实现大传动比、高承载能力和高效率的传动，其运动平稳性和可靠性良好。在工程机械自动化非标设计中，这两种传动技术可满足不同工况下对高精度、大扭矩传动的需求，广泛应用于机器人关节、精密进给机构等关键部位，为工艺装备的高效稳定运行提供保障。

2.4 传感器技术与数据采集处理

2.4.1 各类传感器的应用：在工程机械工艺装备自动化非标设计中，各类传感器是获取生产信息的关键元件。位移传感器用于监测机械部件的位置变化，保障加工精度；压力传感器实时检测系统压力，防止过载损坏设备；温度传感器可监控关键部位温度，避免因过热引发故障；视觉传感器则赋予装备“视觉”能力，用于零部件识别、尺寸检测与装配定位。这些传感器各司其职，将物理量转化为电信号或数字信号，为自动化控制提供精准数据，使工艺装备能及时感知生产状态，实现自适应调整与优化。

2.4.2 数据采集与分析系统：数据采集与分析系统是传感器数据价值转化的枢纽。它将各类传感器采集的海量数据进行快速收集、存储与预处理，去除噪声干扰，确保数据准确性。通过先进的数据分析算法，对生产数据进行深度挖掘，不仅能实时监控工艺装备运行状态，还可预测设备故障、优化生产参数。该系统助力实现从数据感知到智能决策的跨越，推动工程机械制造向数字化、智能化迈进。

3 工程机械工艺装备自动化非标设计应用

3.1 生产加工环节

3.1.1 自动化生产线：在工程机械生产加工环节，自动化生产线整合了先进的非标设计理念与技术，将各生产工序有序衔接。通过模块化设备布局、智能化控制系统，实现零部件从毛坯到成品的连续化、无人化加工。生产线可根据产品型号快速切换生产模式，减少人工干预，提高生产效率与加工精度，同时降低劳动强度和生产成本，满足工程机械多品种、大批量的生产需求。

3.1.2 焊接自动化：焊接自动化是工程机械生产加工的关键。利用工业机器人搭载高精度焊接设备，配合视觉传感器与自动化控制系统，可精准完成复杂结构件的焊接任务。自动化焊接不仅提高了焊缝质量和一致性，还能避免人工焊接存在的安全隐患与质量波动问题，大幅提升焊接效率，满足工程机械产品对焊接强度和可靠性的严格要求。

3.1.3 涂装自动化：涂装自动化采用非标设计的喷涂设备与输送系统，结合自动化控制技术，实现对工程机械零部件的均匀喷涂。通过精确控制涂料流量、喷涂压力和喷涂轨迹，有效提升涂装质量，减少涂料浪费和环境污染。同时，自动化涂装可根据产品尺寸和形状自动调整喷涂参数，保证涂装效果的一致性和美观性^[3]。

3.2 装配环节

3.2.1 自动化装配线：自动化装配线是工程机械装配环节的高效生产载体，通过非标化定制设计，精准适配不同型号产品的装配需求。该装配线以精密输送设备为纽带，串联起各个自动化装配工位，搭载工业机器人、高精度拧紧工具等装备，实现零部件的自动抓取、定位与装配。各工位之间的衔接经过优化设计，确保装配流程流畅高效。例如，在挖掘机回转平台装配中，自动化装配线可快速完成减速器、液压泵等部件的精准安装，相比人工装配，大幅提升了装配效率，降低了劳动强度，同时凭借稳定的操作精度，有效保证了装配质量的一致性，满足工程机械大规模生产需求。

3.2.2 智能装配系统：智能装配系统深度融合物联网、大数据与人工智能技术，为工程机械装配赋予智慧属性。系统借助传感器实时采集装配过程中的扭矩、位移、温度等数据，结合预设工艺标准与历史数据，通过人工智能算法进行分析决策。当装配出现偏差时，系统可自动调整设备参数或发出预警，确保装配精度。此外，智能装配系统具备自学习能力，能在持续生产中不断优化装配工艺。在驾驶室装配场景中，智能装配系统可根据不同批次零部件的微小差异，自适应调整装配策略，同时与企业管理系统互通，实现生产进度实时监控与资源智能调配，显著提升装配环节的柔性化与智能化

水平。

3.2.3 产品智能化装配与平台系统：在装配工序中，通过智能化设备与系统集成实现高效生产管理。利用智能化拧紧设备、加注设备、分拣机械手及RFID识别技术，完成物料自动识别与协同化分拣配料，结合WMS等系统保障物料精准配送，提升柔性生产效率。其中，RFID识别器自动读取物料信息，实现工时计算与缺漏件检测，并将数据反馈至MES系统；搭载视觉识别的桁架机械手配合立体库，提升物料分拣精度；物料信息回传WMS与MES系统后，实现库存匹配与数据可视化展示，拉动配送；AGV依据MES计划和WMS库存信息，协同完成物料及时配送，优化生产流程。如图1所示。



图1 产品智能化装配与平台系统

3.3 物流与仓储环节

3.3.1 自动化物流系统：在工程机械的物流与仓储环节，自动化物流系统通过非标设计，打破传统物流模式的局限。该系统集成了自动导引车（AGV）、堆垛机、输送线等设备，结合先进的路径规划算法与调度系统，实现物料的高效搬运与流转。AGV能够依据预设路线或实时指令，精准地将零部件或成品运输至指定位置，减少人工搬运的时间与人力成本；堆垛机配合立体货架，充分利用垂直空间，提升仓储密度与空间利用率。此外，自动化物流系统与生产环节紧密衔接，可根据生产进度动态调整物流计划，确保物料及时供应，避免因物流延迟影响生产效率，为工程机械制造的连续性与流畅性提供有力支撑。

3.3.2 仓储管理系统：仓储管理系统是工程机械物流与仓储环节的核心中枢，依托非标化的软件设计与硬件集成，实现仓储的智能化、精细化管理。该系统利用条码、RFID等技术对货物进行标识与追踪，结合传感器实时采集仓库内温湿度、货物存储状态等数据，通过信息管理平台进行数据整合与分析。管理人员可通过系统实时掌握库存数量、货物位置、出入库记录等信息，精准制定仓储策略，优化库存布局。同时，仓储管理系统具备自动预警功能，当库存不足或货物存储异常时，及时

发出警报，辅助企业进行库存调控与风险防范。

3.4 质量检测环节

3.4.1 自动化检测设备：在工程机械质量检测环节，自动化检测设备凭借非标化定制设计，实现对产品全方位、高精度的检测。该设备集成了多种先进检测技术，如利用视觉检测设备对零部件外观、尺寸进行快速扫描与比对，借助超声波、X射线等无损检测技术检测内部缺陷，通过压力传感器、位移传感器等对机械性能进行测试。这些设备能够模拟实际工况，对产品进行动态检测，克服了人工检测效率低、主观性强、精度不足等问题。自动化检测设备还具备快速数据处理能力，可实时输出检测结果，为产品质量评估提供准确依据，有效保障工程机械产品的可靠性与安全性，减少因质量问题导致的生产损失。

3.4.2 在线检测系统：在线检测系统是保障工程机械生产质量的关键防线，它将检测过程无缝嵌入生产流程，实现对产品的实时、动态监测。该系统通过部署在生产线上的各类传感器与检测装置，对生产过程中的关键参数与产品质量特性进行持续采集，如加工尺寸变化、装配精度、焊接质量等。采集的数据实时传输至控制系统，经算法分析后，与预设标准进行对比，一旦发现异常立即触发警报，并自动调整生产参数或停机纠错。在线检测系统还能生成质量数据报表，为生产工艺优化提供数据支撑，帮助企业及时发现质量隐患，预防批量性质量问题的发生，提高生产过程的稳定性与产品合格率，推动工程机械质量管控从事后检测向事前预防转变^[4]。

结束语

综上所述，工程机械工艺装备自动化非标设计通过先进设计理念、智能化控制、高精度传动及传感器技术等关键技术的创新应用，在生产加工、装配、物流仓储与质量检测等环节展现出显著优势，有效提升了生产效率、产品质量与企业竞争力。

参考文献

- [1]高坚业.非标自动化设备的结构选择与安全研究[J].今日自动化.2021,134-135
- [2]梁子坚,黄腾辉,杨银花,等.非标自动化机械设备的创新设计[J].南方农机.2020,(15)178-179
- [3]吕旭东,柳玉玲,高铭.非标自动化机械设备的创新设计探讨[J].中国设备工程.2021,110-111
- [4]陈先.非标自动化机械设备的创新设计探讨[J].科学与信息化.2020,(24)165-167