

工程机械自动化装配工艺发展研究

柴佳雄 聂豪 任少飞

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西西安 710089

DOI: 10.12238/ems.v7i8.14656

[摘要] 研究旨在探讨工程机械自动化装配工艺的发展现状及其技术应用。分析了工程机械装配工艺的基本概念,强调了自动化装配在提高生产效率和产品质量方面的重要性。介绍了机器人技术、传感器技术、计算机视觉和物联网等关键技术如何推动自动化装配的实现。讨论了装配线布局与流程设计的重要性,以及如何通过优化工艺参数来提升生产效率。

[关键词] 工程机械; 自动化装配; 工艺发展

引言:

随着技术进步和市场需求的提升,工程机械产品日益趋向大型化、复杂化,对装配工艺的要求也不断提高。传统的人工装配方式因劳动强度大、效率低且难以保证一致的装配质量,已难以满足现代制造业的高标准和高效率需求。自动化装配逐渐成为推动工程机械制造升级转型的关键动力。本研究旨在系统分析工程机械自动化装配工艺的发展现状,探讨关键技术的应用和工艺优化路径,评估装配效率提升策略,进而为相关企业和研究机构提供理论指导和实践参考,促进工程机械制造的智能化进程。

1. 工程机械装配工艺概述

工程机械装配工艺是将各种部件和系统整合为成品的过程。工艺涉及机械、液压、电气等多种系统的装配,以及质量控制、流程管理和效率优化等多个方面。工程机械通常具有复杂的结构和功能,装配过程的精确性和效率会影响到其性能和使用寿命。传统的装配方式多依赖人工操作,虽然在某些情况下能够保持灵活性,但效率低下、易出错、劳动强度大等问题也日益凸显。随着市场对工程机械产品质量和生产效率的要求不断提高,自动化装配工艺的引入成为必然趋势。自动化装配通过采用先进的技术和设备,能够大幅度提高装配精度和生产效率,同时降低人力成本^[1]。如今,工程机械的装配工艺不仅在提升产品质量方面发挥着重要作用,还在响应市场需求、缩短交货周期等方面提供了解决方案。

2. 自动化装配技术的发展历程

自动化装配技术的发展经历了几个重要阶段。最初,自动化装配的概念是在20世纪中期提出的,主要应用于汽车制造业。随着工业化进程的推进,企业开始逐步引入简单的机械化装置,利用传送带和机械手臂提高装配线的效率。进入80年代,随着计算机技术的迅猛发展,自动化装配技术逐渐向智能化方向迈进。机器人技术的引入使得装配过程中的灵

活性和精确性得到了显著提升,尤其是在重复性高、劳动强度大的装配环节,机器人能够更有效地替代人工。90年代以来,随着信息技术、物联网和人工智能的飞速发展,自动化装配系统变得更加智能化和互联化。如今,现代自动化装配技术不仅包括机器人的自动化操作,还结合了传感器、计算机视觉、数据分析等多项先进技术,实现了实时监控和智能反馈。这一进程推动了工程机械行业的生产方式变革,使得装配过程更加高效、精确与智能化。

3. 自动化装配工艺的技术

3.1 机器人技术

3.1.1 机械手臂在装配中的具体应用

机械手臂具备灵活的运动能力和高重复定位精度,广泛应用于零部件的抓取、搬运、定位和安装等装配环节,能够替代人工完成螺栓紧固、焊接、涂胶等重复性强且劳动强度大的任务。通过编程和传感器的配合,机械手臂能够精准地执行装配动作,确保装配零件的尺寸和位置符合设计要求。机械手臂在适应不同工件变化的同时,实现了多样化产品的灵活装配,大幅度减少了因人为操作失误导致的质量波动^[2]。先进的机械手臂配备了末端工具,如扭矩扳手和焊枪等,满足了不同装配工序的专业需求,极大地提升了自动化装配的整体水平。(如图1所示)



图1 机械手臂

3.1.2 多机器人协同作业

多机器人协同作业指多台机器人在同一装配线或装配区域内协同完成复杂装配任务，其依托统一的控制系统和通信协议，使机器人之间能够实现信息共享和动作协调，从而避免作业冲突并提升装配效率。协同机器人在装配过程中分工明确，例如一台机器人负责零件搬运，另一台负责精密安装，第三台负责检测和修正，这种分工实现了流水线上的高效协同操作。多机器人系统具备较强的柔性和扩展能力，适应多品种、小批量的生产需求，显著缩短了装配周期，降低了人工依赖，推动了生产自动化和智能化的进一步发展。

3.2 传感器技术

3.2.1 力觉传感器、位置传感器的作用

力觉传感器能够准确检测机械手臂或装配设备在装配过程中施加的力大小和方向。装配系统利用力觉传感器提供的实时反馈，能够动态调整操作力度，避免因力过大导致零件变形或损坏，也能防止力不足造成装配不紧密。装配过程中，力觉传感器实现了柔性控制，使机械手臂能够更好地适应不同规格和材质的零部件，保证装配的精度和安全。位置传感器则负责监测零部件和机械手的具体位置和运动轨迹，确保机械手臂按照预定路径准确执行装配任务。位置传感器为系统提供精确的定位信息，支持动态误差校正，提高零件配合的准确性，确保最终装配结构的稳定性和耐久性。

3.2.2 装配质量实时监控

装配质量的实时监控依赖于多种传感器技术的综合应用，系统通过采集力觉、位置及视觉传感器的数据，实时跟踪装配过程中的关键参数变化。装配监控系统能够及时识别装配过程中出现的异常情况，如零件错位、装配力异常或缺陷生成，迅速发出警报并自动调整作业参数，避免不合格产品进入后续流程。监控系统还能够积累装配数据，分析质量波动的根本原因，为生产工艺优化提供科学依据。实时监控的实施不仅提高了装配的合格率，还缩短了生产周期，减少了返工和废品率，降低了企业生产成本。装配质量实时监控为实现智能制造奠定了基础，推动工程机械装配工艺向更加高效、智能和精准的方向发展。

3.3 计算机视觉技术

3.3.1 视觉定位与缺陷检测

计算机视觉系统通过摄像头或3D扫描设备采集装配现场的图像数据，对装配零件的位置和状态进行精准识别和定位。视觉定位技术能够帮助机械手臂准确识别零部件的空间

位置和姿态，确保装配动作的精准执行，减少定位误差，提高装配精度。与此同时，计算机视觉系统具备缺陷检测功能，可以自动识别零部件表面是否存在裂纹、划痕、变形等质量问题^[3]。视觉缺陷检测利用图像处理和模式识别技术，将不合格品及时剔除，避免质量隐患流入下一生产环节。视觉定位与缺陷检测的结合使装配过程更加智能和高效，显著提升产品的整体质量水平。

3.2.2 机器人视觉引导系统

机器人视觉引导系统整合了计算机视觉与机器人控制技术，使机械手臂具备自适应感知环境和动态调整操作的能力。视觉引导系统通过实时获取装配现场图像，分析零件位置和装配环境变化，动态调整机械手臂的动作路径和装配姿态，保证装配的灵活性和准确性。该系统能应对零件微小位置偏差，还能适应多品种、小批量的柔性生产需求，提升自动化装配线的适应能力和生产效率。机器人视觉引导系统极大地减少了对人工调试的依赖，增强了装配过程的自动化水平，有助于实现智能制造的目标。

3.4 物联网技术

3.4.1 设备联网与数据采集

工程机械装配生产线中应用物联网技术后，装配设备能够实现网络互联，各种关键装配环节的操作参数、运行状态和环境信息都可以被实时采集与上传。通过部署温度传感器、压力传感器、震动监测模块等多种智能终端，系统能够全面获取装配过程中涉及的各类数据^[4]。这些数据涵盖了设备工作状态、材料使用情况、装配速度与精度等多个维度，为后续的数据分析、质量追溯和流程优化提供了坚实的数据基础。设备联网打破了传统孤立运行的局限，使装配系统成为一个有机协同的整体，大幅度提高了信息的透明度和操作的可控性。

3.4.2 装配过程智能监控与分析

在物联网环境下，装配过程中的各项数据被实时传送到云平台或本地数据中心，系统通过数据模型和分析算法对装配过程进行智能监控。技术人员可借助可视化界面查看实时装配状态，及时发现潜在故障或效率瓶颈，并快速做出调整决策。同时，系统能够基于历史数据进行趋势预测，判断设备维护周期、装配异常频次与原因，从而实现预测性维护和流程优化。智能分析还可以支持装配质量的动态评估和产品一致性控制，提升整体产品的稳定性与可靠性。物联网技术的集成让装配过程从“被动反应”转变为“主动

感知”和“智能决策”，推动工程机械装配进入高度自动化与智能化的新阶段。

4. 自动化装配工艺的设计与优化

4.1 装配线布局与流程设计

4.1.1 流线型布局与模块化设计

在自动化装配系统中，采用流线型布局能够最大限度地减少物料搬运时间与路线冗余。按照装配顺序排列各工位，使物料和零部件在传输过程中顺畅衔接，提升生产效率。模块化设计思想被广泛引入装配线构建之中，将复杂的装配过程划分为若干功能明确的模块单元，每个模块可独立设计、测试与运行。这种模块化结构使得装配系统在后期改造和扩展中更具灵活性和兼容性。当企业面临新产品导入或工艺调整需求时，模块之间可快速更换或重新组合，缩短设备调整周期，提升生产系统的响应速度与可重构能力^[5]。

4.1.2 柔性装配线的应用

柔性装配线通过引入智能化控制技术和可重构工位设备，使装配系统具备应对多品种、小批量、定制化生产的能力。每个装配工位配备可调节夹具、自动识别系统和可编程控制器，能够根据产品型号自动调整装配流程和操作方式。柔性装配线打破了传统固定节拍的局限，使得产品切换更加便捷，无需频繁更换大量设备，从而大幅提升生产的灵活性与适应能力。柔性系统能实现资源按需调配，在高峰期快速响应市场订单需求，在淡季维持低负荷运转，提升整体资源利用效率。

4.2 工艺参数优化

4.2.1 工装夹具设计与定位精度

在自动化装配工艺中，工装夹具的设计与其定位精度对装配质量具有决定性作用。夹具不仅起到固定和约束零部件的位置作用，还关系到装配流程是否顺畅、安全。在工程机械中，由于零件体积较大、形状复杂，夹具设计需兼顾结构强度与操作便捷性。为了保证零部件的正确安装，夹具应具备高重复定位精度，误差控制在毫米甚至微米级。采用高精度导轨、可调定位销和快速锁紧装置，有助于提升夹具的稳定性和效率。在自动化装配系统中，许多夹具还集成了传感器模块，能够实现位置监测与误差自动修正。模块化夹具设计可适应多种产品型号，节省更换时间，提升柔性生产能力。

4.2.2 装配节拍与节奏控制

装配节拍是指各工序单位时间内完成的标准操作节奏，是衡量生产效率和流程衔接度的重要参数。在工程机械自动

化装配中，装配节拍的设计必须与设备能力、人员操作速度及物料供应节奏精准匹配。若节拍过快，可能导致工位拥堵、装配质量下降；若节拍过慢，则资源利用率降低、成本上升。为了优化节拍控制，自动化系统可结合 PLC 程序控制与传感器反馈，实时监测各工位运行状态，并动态调整作业节奏。

4.3 效率评估与提升策略

4.3.1 MES 与 ERP 系统集成

MES 主要负责车间层的生产调度、过程控制和数据采集，而 ERP 则覆盖生产计划、物料管理和成本控制。二者协同工作，能够实现从计划制定到实际执行的无缝衔接，提升整体生产透明度。通过数据实时共享，企业可根据市场需求变化快速调整装配计划，优化资源配置。MES 还能提供装配线各节点的实时状态信息，辅助企业进行产能评估与异常预警，进一步推动生产流程的信息化和精细化管理。

4.3.2 生产调度与执行控制

在工程机械自动化装配过程中，调度系统可根据订单优先级、工序工时及设备状态进行任务分配，避免因瓶颈环节导致产线停滞。同时，执行控制系统通过传感器、PLC 等技术，实时监测各工序进展，确保装配任务按预定节拍推进。一旦发现异常，可立即启动响应机制，调整工位顺序或切换备用设备。

5. 结论

本研究探讨了工程机械自动化装配工艺的发展现状与未来趋势，强调了自动化技术在提升装配效率和产品质量方面的重要性。机器人技术、传感器技术、计算机视觉和物联网等先进技术的应用，为自动化装配提供了强有力的支持，推动了生产过程的智能化和高效化。

[参考文献]

- [1] 李晟莅. 工程机械自动化装配工艺发展研究[J]. 中国设备工程, 2020 (4): 163-164.
- [2] 田旭. 工程机械自动化装配工艺发展研究[J]. 商品与质量, 2021 (16): 19.
- [3] 张涣林. 工程机械自动化装配工艺发展研究[J]. 商品与质量, 2020 (11): 69.
- [4] 彭湃. 自动化化工工程与工艺的发展趋势研究[J]. 化工设计通讯, 2020, 46 (10): 51+90.
- [5] 林玮. 基于自动化发展的化学工程与工艺分析[J]. 当代化工研究, 2020, (15): 128-129.