

自动化装配系统在大型装备制造中的应用与性能提升研究

朱 洲 司晨飞

杭州艾美依航空制造装备有限公司 浙江杭州 310000

摘 要：在全球制造业智能化转型浪潮中，大型装备制造亟需突破传统装配模式的局限。自动化装配系统以其高精度、高效率特性，成为提升装备制造质量与效率的核心力量。深入研究其在大型装备制造中的应用路径、现存问题及性能提升策略，不仅能有效降低生产成本、提高生产效率，更有助于我国大型装备制造企业在国际竞争中占据优势地位，推动行业向智能化、高端化方向迈进，为国家制造业高质量发展提供坚实支撑。

关键词：自动化装配系统；大型装备制造；系统应用；性能提升；智能制造

引言

大型装备制造业作为国家工业体系的基石，在能源开发、交通运输、国防建设等领域发挥着不可替代的作用。当前，全球制造业竞争日趋激烈，产品更新换代速度加快，客户对大型装备的精度、可靠性和交付周期提出了更高要求。传统人工装配模式受限于工人技能差异、劳动强度大等因素，存在效率低下、装配质量不稳定等问题，难以满足现代大型装备制造的需求。自动化装配系统凭借先进的传感技术、智能控制算法和精密机械结构，能够实现装配过程的自动化、精准化和高效化，逐渐成为大型装备制造企业提升竞争力的关键手段。然而，在实际应用中，系统的适应性、集成度以及性能优化等方面仍面临诸多挑战，因此，研究自动化装配系统在大型装备制造中的应用与性能提升具有重要的现实意义。

一、自动化装配系统在大型装备制造中应用的背景与意义

（一）大型装备制造行业发展现状与趋势

当前，全球大型装备制造行业呈现出智能化、绿色化、服务化的发展趋势。在智能化方面，工业发达国家已广泛应用自动化生产线、机器人和数字孪生技术，实现了生产过程的高度自动化和智能化管理。我国大型装

备制造业虽取得显著进步，但整体水平与国际先进水平仍存在差距，部分核心技术和高端装备依赖进口。在绿色化方面，随着环保要求日益严格，企业更加注重节能减排和资源循环利用，研发和应用绿色制造技术成为行业发展的必然选择。服务化趋势下，大型装备制造企业从单纯的产品生产向“产品+服务”模式转变，通过提供设备维护、远程监控和技术支持等增值服务，提升客户满意度和企业竞争力。

（二）自动化装配系统应用的必要性与价值

自动化装配系统在大型装备制造中的应用具有必要性和重要价值。从生产效率角度看，人工装配受工人工作时间和体力限制，难以实现连续高效生产，而自动化装配系统可24小时不间断运行，大幅缩短产品装配周期，提高生产效率。在装配质量方面，人工装配易受工人技能水平和情绪影响，导致装配精度不稳定，自动化装配系统凭借高精度的传感器和执行机构，能够确保装配过程的一致性和准确性，提升产品质量。从成本控制角度，虽然自动化装配系统前期投入较大，但长期来看，可减少人工成本、降低废品率，提高企业经济效益。

（三）研究对行业技术升级的推动作用

开展自动化装配系统在大型装备制造中的应用研究，对推动行业技术升级具有重要作用。一方面，研究过程中需要解决自动化装配系统与大型装备制造工艺的融合问题，这将促进机械设计、自动控制、信息技术等多学科的交叉融合，推动相关技术的创新发展。例如，为实现大型装备复杂部件的精准装配，需要研发更先进的视觉识别技术和运动控制算法。另一方面，研究成果的应用将带动整个产业链的技术升级，促使上游零部件供应

作者简介：

朱洲：男，汉族，江西上饶人，本科，机械设计师，研究方向：自动化；

司晨飞：男，汉族，河北石家庄人，本科，研究方向：自动化。

商提高产品精度和质量,推动下游装备使用企业优化生产流程和管理模式。同时,研究还将培养一批掌握自动化装配技术的专业人才,为行业发展提供智力支持,助力我国大型装备制造行业向高端化、智能化方向迈进。

二、自动化装配系统在大型装备制造应用中的典型问题

(一) 技术适配性不足

大型装备制造涉及航空航天、能源设备等多个领域,各领域产品结构、装配工艺差异显著,导致自动化装配系统的技术适配性问题突出。在航空发动机装配中,零部件精度要求达到微米级,现有自动化装配系统的定位精度和运动稳定性难以满足需求;能源设备装配则需应对超大尺寸、超重部件的搬运与安装,普通机械臂和输送装置无法胜任。此外,部分装备制造企业仍采用传统生产工艺,与自动化装配系统的数字化、智能化要求不匹配,导致系统无法充分发挥效能。不同品牌设备的通信协议、数据接口标准不统一,也增加了系统集成的难度,使得自动化装配系统难以快速适配多样化的生产场景。

(二) 系统集成复杂

自动化装配系统集成涵盖机械、电气、软件等多个子系统,其复杂性在大型装备制造中尤为凸显。在系统搭建阶段,机械结构的设计需综合考虑设备空间布局、装配流程以及零部件重量等因素,任何环节设计不合理都可能影响整体运行效率。电气系统布线与硬件连接需要确保信号传输稳定,避免电磁干扰。软件系统集成不仅要实现各功能模块的协同控制,还要与企业现有信息系统对接。然而,企业内部不同系统间的数据格式、通信协议差异大,集成过程中常出现数据丢失、传输延迟等问题。

(三) 成本与人才双重制约

自动化装配系统在大型装备制造中的应用面临成本与人才的双重制约。从成本角度看,系统的硬件设备,如高精度机械臂、智能传感器和工业计算机等,采购成本高昂;软件系统的开发与定制也需要大量资金投入。此外,系统运行过程中的能耗、维护费用以及定期的设备升级成本,进一步加重了企业负担。在人才方面,企业缺乏既懂自动化装配技术,又熟悉大型装备制造工艺的复合型人才。操作人员对自动化装配系统的操作、维护技能不足,导致设备故障排除不及时,影响生产效率;技术人员难以根据企业实际需求对系统进行优化升级。

三、自动化装配系统在大型装备制造中的应用分析

(一) 自动化装配系统的功能模块与架构设计

自动化装配系统通常由多个功能模块组成,包括物料输送模块、装配执行模块、质量检测模块和控制系统模块。物料输送模块负责将零部件准确输送至装配工位,常见的输送方式有皮带输送、链条输送和AGV(自动导引车)输送等,其设计需考虑零部件的尺寸、重量和装配顺序。装配执行模块是系统的核心,由机械臂、专用装配工具和定位装置等组成,通过精确的运动控制实现零部件的组装,其性能直接影响装配质量和效率。质量检测模块利用传感器、机器视觉等技术对装配过程和产品质量进行实时监测,及时发现并纠正装配缺陷。

(二) 系统在大型装备制造不同环节的应用方式

在大型装备制造的不同环节,自动化装配系统有着不同的应用方式。在零部件预装配环节,利用自动化装配系统可对小型零部件进行快速组装,形成标准化组件,提高装配效率和质量一致性。例如,在发动机制造中,自动化装配系统可将活塞、连杆等零部件组装成活塞连杆组件。在主体结构装配环节,针对大型、重型部件的装配,自动化装配系统通过高负载机械臂和精确的定位系统,实现部件的精准对接和紧固。如在风电设备制造中,自动化装配系统可完成塔筒、叶片等大型部件的安装。在系统集成与调试环节,自动化装配系统可协助进行电气系统、液压系统等安装和测试,通过自动化检测设备快速识别和排除故障,缩短调试周期。

(三) 自动化装配系统与制造企业现有生产体系的融合要点

实现自动化装配系统与制造企业现有生产体系的有效融合,需把握以下要点。首先是生产流程的优化与整合,企业需对原有的生产流程进行梳理,分析哪些环节适合引入自动化装配系统,哪些环节需要调整,以确保自动化装配系统与现有生产流程无缝衔接。其次是数据信息的共享与交互,自动化装配系统需要与企业的生产管理系统(如MES)、物料管理系统(如ERP)进行数据对接,实现生产计划、物料需求、质量检测等信息的实时共享,以便企业进行统一的生产调度和管理。再者是人员培训与组织架构调整,引入自动化装配系统后,企业员工的工作内容和技能要求发生变化,需要对员工进行针对性的培训,使其掌握自动化装配系统的操作和维护技能。

四、自动化装配系统在大型装备制造中的性能提升策略

（一）基于智能化技术的系统性能优化方向

基于智能化技术优化自动化装配系统性能，可从多个方向展开。首先是引入人工智能技术，利用机器学习算法对装配过程中的大量数据进行分析，预测设备故障和装配质量问题，实现预防性维护和质量预控。例如，通过分析传感器采集的设备运行数据，提前发现机械部件的磨损情况，及时进行更换，避免设备故障影响生产。其次是应用数字孪生技术，构建自动化装配系统的虚拟模型，对实际装配过程进行实时映射和仿真分析，通过在虚拟环境中模拟不同的装配方案和参数设置，优化装配工艺和系统运行参数，提高装配效率和质量。

（二）机械结构与硬件配置的升级策略

升级机械结构与硬件配置是提升自动化装配系统性能的重要途径。在机械结构方面，优化机械臂的设计，采用高强度、轻量化材料，提高机械臂的负载能力和运动速度，同时改进机械臂的关节结构和传动方式，提升其运动精度和稳定性。对于输送装置，采用高精度的直线导轨和滚珠丝杠，减少运动过程中的摩擦和误差，提高零部件输送的准确性和可靠性。在硬件配置上，选用高性能的传感器，如高精度的激光位移传感器、视觉传感器和力传感器，提高系统对装配过程的感知能力。升级控制系统硬件，采用运算速度更快、存储容量更大的工业计算机和PLC，确保系统能够快速处理大量数据，实现对各执行机构的精准控制。

（三）软件系统与控制算法的改进措施

软件系统与控制算法的改进对提升自动化装配系统性能至关重要。在软件系统方面，开发更加人性化、功能强大的控制软件，优化用户界面设计，提高操作的便捷性和直观性。增加软件的功能模块，如生产数据分析模块、故障诊断模块和远程监控模块，实现对装配过程的全面管理和控制。在控制算法方面，改进运动控制算

法，采用先进的轨迹规划算法和PID控制算法的优化版本，提高机械臂的运动精度和响应速度，减少装配过程中的振动和冲击。

结论

自动化装配系统在大型装备制造中的应用与性能提升研究，对推动行业技术进步和企业竞争力提升具有重要意义。通过分析大型装备制造行业的发展现状与趋势，明确了自动化装配系统应用的必要性和价值，探讨了系统在不同制造环节的应用方式、现存典型问题以及与现有生产体系的融合要点，并提出了基于智能化技术、机械结构升级和软件算法改进的性能提升策略。尽管在应用和提升过程中面临技术适配性不足、系统集成复杂、成本与人才双重制约等挑战，但随着智能制造技术的不断发展和国家政策的大力支持，自动化装配系统将在大型装备制造领域得到更广泛的应用和更深入的发展。未来，通过持续创新与实践，自动化装配系统将助力我国大型装备制造行业实现从制造大国向制造强国的跨越，在全球高端装备制造市场中占据更加重要的地位，为国家制造业高质量发展提供核心技术支撑。

参考文献

- [1] 刘毅. 面向大型航天器总装的精密调姿装备创新设计与研发[D]. 燕山大学, 2023.
- [2] 王皓, 陈根良. 机器人型装备在航空装配中的应用现状与研究展望[J]. 航空学报, 2022, 43(05): 49-71.
- [3] 李博文. 大型工业机器人自动化装配定位误差标定与补偿[D]. 中国科学院大学(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所), 2021.
- [4] 王向东, 陈勇, 陈志华. 大型筒体自动化装配对接装备总体设计[J]. 成都信息工程大学学报, 2019, 34(06): 610-614.