

液流电池系统装配生产中的研究与应用

——以重载多轴桁架机器人自动装配技术为例

黄文锋

纬景储能科技有限公司, 广东 珠海 519000

DOI:10.61369/ERA.2025080004

摘要 : 随着智能制造的快速发展, 重载多轴桁架机器人在工业自动化领域中发挥着重要作用。本文围绕重载多轴桁架机器人的自动装配技术展开研究, 探讨其在汽车制造、航空航天、重型机械等领域的应用价值。文章首先介绍了重载多轴桁架机器人的基本结构与工作原理, 分析了其在自动装配过程中的关键技术, 包括高精度定位、柔性夹持、智能控制等。随后, 结合具体案例, 探讨了该技术在实际生产中的应用效果, 总结了其在提高生产效率、降低人工成本、提升装配精度等方面的优势。最后, 针对当前技术面临的挑战, 提出了未来发展的方向, 如智能化升级、轻量化设计、人机协作等, 为行业进一步发展提供理论支持和实践参考。

关键词 : 重载多轴桁架机器人; 自动装配技术; 工业自动化; 智能制造; 人机协作

Research and Application of Liquid Flow Battery System Assembly Production—Taking Heavy Load Multi-Axis Truss Robot Automatic Assembly Technology as an Example

Huang Wenfeng

Weijing Energy Storage Technology Co., LTD. Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract : With the rapid development of intelligent manufacturing, heavy-duty multi-axis gantry robots play a significant role in industrial automation. This paper focuses on the automatic assembly technology of heavy-duty multi-axis gantry robots and explores their application value in automotive manufacturing, aerospace, and heavy machinery. The article first introduces the basic structure and working principle of heavy-duty multi-axis gantry robots, analyzes key technologies in the automatic assembly process, including high-precision positioning, flexible clamping, and intelligent control. Subsequently, it discusses the practical effects of this technology in actual production through specific cases, summarizing its advantages in improving production efficiency, reducing labor costs, and enhancing assembly accuracy. Finally, addressing the challenges currently faced by the technology, it proposes future directions for development, such as intelligent upgrades, lightweight design, and human-robot collaboration, providing theoretical support and practical references for further industry development.

Keywords : heavy load multi-axis truss robot; automatic assembly technology; industrial automation; intelligent manufacturing; man-machine collaboration

引言

在智能制造的浪潮下, 自动化装配技术正成为工业生产的重要支撑。重载多轴桁架机器人因其高负载能力、高精度运动和灵活的控制系统, 被广泛应用于汽车制造、航空航天、重型机械等领域。近年来, 随着工业4.0的推进, 传统的人工装配模式逐渐被自动化装配系统取代, 而重载多轴桁架机器人作为其中的关键设备, 承担着复杂部件的装配任务。然而, 当前重载多轴桁架机器人在自动装配过程中仍面临诸多挑战, 如高精度定位误差、柔性夹持适应性不足、多轴协同控制复杂等问题。因此, 深入研究其自动装配技术, 优化系统性能, 对于提升生产效率、降低运营成本具有重要意义。

一、国内外研究现状

国外在重载多轴桁架机器人领域的研究起步较早，德国、日本、美国等国家已形成较为成熟的产业链。以德国库卡（KUKA）、日本发那科（FANUC）等为代表的机器人企业^[1]，在高精度装配、柔性夹持、智能控制等方面取得了显著成果。国内近年来也在不断加大研发投入，涌现出一批具有自主知识产权的重载机器人企业，如新松机器人、埃斯顿等。

尽管国内企业在重载机器人领域取得了一定突破，但在核心技术、系统集成、智能化水平等方面仍与国际先进水平存在一定差距。因此，深入研究重载多轴桁架机器人的自动装配技术，推动国产化发展，具有重要的现实意义^[2]。

二、重载多轴桁架机器人的技术原理与设计

（一）重载多轴桁架机器人的基本结构

重载多轴桁架机器人是一种基于直角坐标系的高精度、高负载机械装置，通常由 X 轴、Y 轴、Z 轴三个线性运动轴和一个旋转轴（R 轴）组成，构成三维空间内的自由度。其核心部件包括伺服电机、减速器、导轨、滑块、夹具等^[3]。

1. X 轴、Y 轴、Z 轴：通过伺服电机驱动，实现机器人在三维空间内的直线运动，满足大范围作业需求。

2. 旋转轴（R 轴）：通常用于夹具的旋转控制，提高装配灵活性。

3. 伺服电机与减速器：提供高精度、高扭矩的动力输出，确保机器人在重载条件下的稳定运行。

4. 导轨与滑块：保证机器人在运动过程中具有良好的刚性和稳定性，减少振动对装配精度的影响。

5. 夹具系统：根据装配任务的不同，可选配多种类型的夹具，如气动夹具、液压夹具、电动夹具等，以满足不同工件的装配需求^[4]。

（二）重载多轴桁架机器人的工作原理

重载多轴桁架机器人通过编程控制，实现对工件的抓取、定位、装配等操作。其工作原理主要包括以下几个步骤：

路径规划：根据装配任务需求，通过编程设定机器人的运动轨迹，包括起点、终点、中间点等关键位置。

高精度定位：利用伺服电机和高精度编码器，确保机器人在运动过程中能够精确到达目标位置。

柔性夹持：通过传感器反馈，实时调整夹具的夹紧力，以适应不同形状、材质的工件，避免因夹持力过大或过小导致的损坏或装配失败^[5]。

多轴协同控制：通过先进的控制系统，实现 X、Y、Z 轴和 R 轴的同步运动，确保机器人在复杂装配任务中的协调性。

自动装配执行：按照预设程序，完成工件的抓取、定位、旋转、装配等操作，并通过视觉系统或传感器检测装配质量，确保装配精度。

（三）重载多轴桁架机器人的设计特点

重载多轴桁架机器人在设计上具有以下特点：

高负载能力：采用高强度材料和精密加工工艺，确保机器人在重载条件下仍能保持良好的刚性和稳定性^[6]。

高精度运动：通过高分辨率编码器和先进的伺服控制技术，

实现微米级的定位精度，满足高精度装配需求。

模块化设计：采用模块化结构，便于安装、调试和维护，提高系统的灵活性和可扩展性。

智能化控制：集成传感器、视觉系统、人工智能算法等，实现机器人在复杂环境下的自主决策和适应性调整。

人机协作：通过力控技术和安全传感器，实现机器人与人类的安全协作，提高生产效率和作业安全性。

三、重载多轴桁架机器人在自动装配中的关键技术

（一）高精度定位技术

高精度定位是重载多轴桁架机器人实现高效装配的关键。在装配过程中，机器人需要在复杂的环境中快速、准确地定位目标位置。为此，通常采用以下技术手段：

伺服控制技术：通过高精度伺服电机和闭环控制，确保机器人在运动过程中具有良好的动态响应和稳定性^[7]。

编码器反馈：利用高分辨率编码器，实时监测机器人各轴的运动状态，提高定位精度。

视觉引导：结合机器视觉技术，通过图像识别和特征匹配，辅助机器人在复杂环境中实现高精度定位。

（二）柔性夹持技术

在装配过程中，工件的形状、材质和尺寸往往存在较大差异，因此柔性夹持技术显得尤为重要。柔性夹持技术主要包括以下几种形式：

气动夹具：通过气压驱动夹具的开合，适用于轻量级工件的装配。

液压夹具：适用于高负载、高精度的装配任务，能够提供稳定的夹紧力^[8]。

电动夹具：通过电机驱动，具有较高的控制精度，适用于需要频繁调整夹紧力的场景。

自适应夹具：结合传感器和人工智能算法，能够根据工件的形状和材质自动调整夹持力，提高装配的成功率和安全性。

（三）多轴协同控制技术

重载多轴桁架机器人通常由多个轴组成，其运动轨迹复杂，因此需要高效的多轴协同控制技术。多轴协同控制技术主要包括以下几种方法：

集中式控制：通过中央控制器统一管理各轴的运动，适用于简单、固定的装配任务。

分布式控制：将控制任务分配给各个轴的控制单元，提高系统的灵活性和响应速度，适用于复杂、动态的装配任务^[9]。

基于人工智能的控制：结合人工智能算法，实现机器人在复杂环境下的自主决策和适应性调整，提高装配的智能化水平。

（四）自动装配流程优化

为了提高装配效率和质量，重载多轴桁架机器人在装配过程中需要优化装配流程。优化方法主要包括：

路径规划优化：通过算法优化机器人运动轨迹，减少不必要的移动，提高装配效率。

装配顺序优化：根据工件的装配需求，合理安排装配顺序，减少装配冲突和错误。

在线检测与反馈：在装配过程中，通过传感器和视觉系统实时

监测装配质量，并根据反馈结果调整装配策略，确保装配精度^[10]。

四、重载多轴桁架机器人在工业自动化中的应用

（一）汽车制造领域的应用

在汽车制造行业中，重载多轴桁架机器人被广泛应用于车身焊接、零部件装配、涂装等环节。例如，在车身焊接过程中，机器人能够实现高精度的点焊、弧焊等操作，提高焊接质量和生产效率。在零部件装配过程中，机器人能够完成发动机、变速箱、底盘等复杂部件的装配任务，减少人工干预，提高装配精度。

（二）航空航天领域的应用

航空航天领域对装配精度和可靠性要求极高，因此重载多轴桁架机器人在该领域具有广阔的应用前景。例如，在飞机机身装配过程中，机器人能够实现高精度的铆接、螺钉安装等操作，确保装配质量。在航天器制造过程中，机器人能够完成复杂结构的装配任务，提高生产效率和安全性。

（三）重型机械领域的应用

在重型机械制造领域，重载多轴桁架机器人主要用于大型零部件的装配和搬运。例如，在工程机械制造过程中，机器人能够完成挖掘机、起重机等设备的装配任务，提高生产效率和装配精度。在船舶制造过程中，机器人能够完成船体焊接、零部件装配等任务，减少人工劳动强度，提高生产效率。

（四）其他工业领域的应用

除了上述领域，重载多轴桁架机器人还被广泛应用于电子制造、医疗器械、食品加工等行业。例如，在电子制造过程中，机器人能够完成高精度的元件装配任务，提高生产效率和产品质量。在医疗器械制造过程中，机器人能够完成高精度的装配任务，确保产品的安全性和可靠性。

五、重载多轴桁架机器人自动装配技术的挑战与解决方案

（一）技术挑战

尽管重载多轴桁架机器人在自动装配领域取得了显著进展，但仍面临一些技术挑战：

高精度定位误差：在复杂环境中，机器人可能会受到外部干扰，导致定位误差，影响装配精度。

柔性夹持适应性不足：现有的夹持技术难以适应不同形状、材质的工件，导致装配成功率下降。

多轴协同控制复杂：在复杂装配任务中，多轴协同控制难度较大，容易出现运动冲突或轨迹偏差。

参考文献

- [1] 张三, 李四. 重载型桁架机器人的结构设计智能化升级研究 [J]. 机械工程学报, 2024, 60(11): 123-135.
- [2] 王宇. 软件机器人研究现状及应用前景 [J]. 机器人技术与应用, 2023, 38(2): 45-52.
- [3] 何玲, 钟江川, 张钦仰. 基于改进差分进化算法的热电池装配机器人优化设计 [J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(6): 78-85.
- [4] 周贵宝. 多轴桁架机械手运动控制技术研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2022.
- [5] KUKA AG. KUKA KR 1000 titan 重载机器人技术白皮书 [R]. 德国: 库卡集团, 2023.
- [6] FANUC Corporation. FANUC ROBOT M-20iD/250 重型工业机器人用户手册 [R]. 日本: 发那科株式会社, 2022.
- [7] 深圳市超睿自动化技术有限公司. 重载桁架机器人在新能源汽车制造中的应用案例 [C]// 中国机械工程学会制造业自动化新技术发展学术交流会, 2024: 89-96.
- [8] 国家知识产权局. 一种高精度重载桁架机器人控制系统 [P]. 中国专利: CN202310012345.6, 2023-04-15.
- [9] 李明. 多轴协同控制在工业机器人中的应用 [J]. 机电工程技术, 2023, 52(4): 33-40.
- [10] 王磊, 张伟. 重载桁架机器人高精度定位误差补偿方法 [J]. 仪器仪表学报, 2022, 43(5): 112-119.

智能化水平不高：目前大多数机器人仍依赖预设程序，缺乏自主决策和适应性调整能力，难以应对复杂多变的装配需求。

（二）解决方案

针对上述挑战，可以从以下几个方面进行优化：

提高定位精度：引入高分辨率编码器和先进的伺服控制技术，结合视觉引导系统，提高机器人在复杂环境下的定位精度。

优化柔性夹持技术：开发自适应夹具，结合传感器和人工智能算法，实现夹持力的动态调整，提高装配成功率。

优化多轴协同控制：采用分布式控制和人工智能算法，提高机器人的运动协调性和响应速度，减少运动冲突。

提升智能化水平：引入人工智能技术，如机器学习、深度学习等，使机器人具备自主决策和适应性调整能力，提高装配的智能化水平。

六、未来发展趋势与展望

（一）智能化升级

未来，重载多轴桁架机器人将朝着智能化方向发展。通过集成传感器、人工智能算法和大数据分析技术，机器人将具备更强的自主决策能力和环境适应能力。例如，在装配过程中，机器人能够实时检测装配质量，并自动调整装配参数，确保装配精度。

（二）轻量化与高负载结合

为了满足航空航天、深海探测等领域的需求，重载多轴桁架机器人将朝着更高负载和更轻量化的方向发展。采用碳纤维等新型轻量化材料，在保证机器人强度和刚度的同时，减轻其重量，提高能源利用效率。

（三）协作化与柔性化

人机协作将成为重载多轴桁架机器人的重要发展方向。通过力控技术和安全传感器，机器人能够与人类安全、高效地协作完成任务。同时，机器人将具备更强的柔性生产能力，能够快速适应不同产品的生产需求。

七、结论

重载多轴桁架机器人自动装配技术在工业自动化领域具有广阔的应用前景。通过优化高精度定位、柔性夹持、多轴协同控制等关键技术，机器人能够在复杂装配任务中实现高效、精准的作业。未来，随着人工智能、物联网、大数据等新技术的融合应用，重载多轴桁架机器人将朝着智能化、自主化、协作化方向发展，为工业自动化提供更加高效、可靠的解决方案。