

Modular mechanical structure design and its application in intelligent manufacturing

Shuang Liu

Hangzhou Xiaoshan Technician College, Hangzhou, Zhejiang, 311201, China

Abstract

With the rapid development of intelligent manufacturing technology, modular mechanical structure design, as a new design method, has gradually become the key technology to improve production efficiency, reduce cost and flexible strain. Based on the theory and practice of modular design, this paper discusses the design principles of modular mechanical structure and its application in intelligent manufacturing. The paper first reviews the basic concept and development process of modular mechanical structure, and analyzes the feasibility and advantages of its implementation in intelligent manufacturing. Through case analysis, this paper discusses the wide application of modular mechanical structure in automatic production line, robot and intelligent equipment, finally summarizes the driving role of modular design in intelligent manufacturing industry, and prospects the development trend of modular mechanical structure design in the future.

Keywords

modular design; mechanical structure; intelligent manufacturing; automatic production line; robot

模块化机械结构设计及其在智能制造中的应用

刘爽

杭州萧山技师学院, 中国·浙江 杭州 311201

摘要

随着智能制造技术的迅速发展, 模块化机械结构设计作为一种新型的设计方法, 逐渐成为提升生产效率、降低成本及灵活应变的关键技术。本文基于模块化设计的理论与实践, 探讨了模块化机械结构的设计原则、实现方法以及在智能制造中的应用。文章首先回顾了模块化机械结构的基本概念与发展历程, 分析了其在智能制造中实施的可行性和优势。通过案例分析, 本文探讨了模块化机械结构在自动化生产线、机器人及智能装备中的广泛应用, 最终总结了模块化设计对智能制造产业的推动作用, 并展望了未来模块化机械结构设计的发展趋势。

关键词

模块化设计; 机械结构; 智能制造; 自动化生产线; 机器人

1 概述

1.1 研究背景

随着全球制造业的转型升级, 智能制造成为工业发展的新趋势。智能制造系统集成了信息技术、自动化技术、数据分析及人工智能等多项先进技术, 旨在通过优化生产过程、提高生产效率及灵活性来应对市场日益变化的需求。模块化机械结构设计作为智能制造系统中一个重要的组成部分, 凭借其灵活性、可扩展性和高效性, 成为提升系统性能和生产力的有效手段。

模块化设计的概念源于 20 世纪初的工业产品设计, 它强调通过将复杂的系统拆分为多个功能模块, 使得各模块可以独立设计、生产、装配和维护, 从而在降低成本的同时,

提高产品的适应性和可定制性。近年来, 随着制造业需求的多样化和个性化, 模块化机械结构逐渐被应用到更多的领域, 尤其是在智能制造、自动化生产线和机器人等应用中, 展现出了强大的竞争力和发展潜力。

1.2 问题现状

虽然模块化机械结构设计已经被广泛应用于多种行业, 但其在智能制造领域的应用仍面临一些挑战。例如, 模块化设计要求设计者能够精准地把握各模块的功能与接口关系, 这对设计和制造精度提出了更高的要求。同时, 如何在保证模块互换性和兼容性的同时, 降低设计复杂度和系统集成难度, 仍然是业内需要解决的难题。

1.3 研究目的与意义

本研究旨在探讨模块化机械结构设计的基本原理与方法, 分析其在智能制造中的应用前景及实际效果。通过对模块化设计的深入分析, 本文希望为相关领域的研究者提供理

【作者简介】刘爽(1985-), 女, 中国吉林辽源人, 硕士, 讲师, 从事机械设计研究。

论支持，并为企业在智能制造过程中采用模块化设计提供可行的技术方案。同时，研究还将关注模块化机械结构设计如何推动智能制造向更高效、更灵活、更可持续的方向发展。

2 模块化机械结构设计的基本原理

2.1 模块化设计的定义与特征

模块化设计是一种通过将产品或系统拆分为多个标准化、功能独立的模块来进行设计、生产和维护的方法。每个模块通常都具有相对独立的功能，可以根据需求进行组装和替换。模块化设计的核心特点包括：

标准化：模块的接口和尺寸是标准化的，便于模块之间的互换与兼容。

独立性：每个模块具有独立的功能和性能，不同模块之间的耦合度低，易于维护和升级。

可扩展性：通过添加或替换模块，可以轻松扩展系统的功能和性能，满足不同的需求。

灵活性：模块化设计能够快速适应市场需求变化，实现产品的定制化生产。

2.2 模块化设计的实现方法

模块化设计的实现方法通常包括以下几个步骤：

功能分析：对整个系统进行功能分析，识别出系统中的核心功能，并将其拆分成若干独立的模块。

模块划分：根据功能分析的结果，合理划分各个模块，确保每个模块能够独立完成特定任务，同时与其他模块通过标准化接口进行连接。

接口设计：为每个模块设计标准化接口，保证模块之间能够无缝连接和协调工作。

优化设计：在模块划分的基础上进行性能优化，确保各模块的协同工作效率最优，并降低系统的整体复杂性。

2.3 模块化设计的优势与挑战

模块化设计相比传统设计方法有着显著的优势。首先，它能够大大降低产品开发和成本，提高生产效率；其次，由于各模块之间的独立性，系统的维护和升级变得更加简单；最后，模块化设计能够根据市场需求变化快速调整生产线，提高产品的定制化能力。

然而，模块化设计也面临着一些挑战。首先，如何平衡模块的独立性和系统整体的性能是设计过程中需要重点考虑的问题；其次，如何确保模块之间的兼容性与互换性，避免因接口设计不当导致系统不稳定，也是模块化设计的难点所在。

3 模块化机械结构在智能制造中的应用

3.1 模块化设计在自动化生产线中的应用

自动化生产线在智能制造中扮演着至关重要的角色，是现代工业体系的重要组成部分。传统的自动化生产线通常依赖于固定的设计和流程，这导致了系统缺乏灵活性与可扩展性，且在面对多变的生产需求时响应不够快速。随着制造

需求的不断变化，生产线必须能够迅速调整，以应对不同的产品、工艺要求以及市场波动。模块化设计为此提供了一个理想的解决方案。通过将生产线划分为多个功能模块，如机械手臂、传送带、检测设备、动力系统等，生产线不仅能够在模块级别进行独立的修改和替换，还能通过组合不同的模块，迅速实现不同生产任务的切换。

模块化设计的引入有效提高了生产线的灵活性和可维护性。例如，当某一模块发生故障时，操作人员可以迅速定位并替换问题模块，而不必停机检修整个生产线，极大地缩短了停机时间并提高了生产效率。此外，模块化设计还使得生产线的扩展变得更加容易，企业可以根据不同产品的生产需求，灵活地增加或减少相关模块，优化生产资源配置。通过模块化设计，企业能够在确保生产效率的同时，降低了初期投资和长期运营成本。

3.2 模块化机械结构在机器人中的应用

智能制造中的机器人通常承担着搬运、装配、焊接、喷涂、包装等繁重的工作任务。在传统的机器人设计中，系统的功能往往固定，难以适应不同工作环境和任务需求。而模块化机械结构的应用为机器人系统提供了更加灵活的功能配置和定制化的生产解决方案。通过模块化设计，机器人可以根据任务的不同需求，快速配置所需的模块，从而改变机器人的结构、功能甚至工作模式。

具体而言，机器人可以根据应用场景的不同，调整其机械臂的长度、关节数量、末端执行器等模块。例如，搬运任务所需的机械手臂长度与焊接任务所需的机械手臂结构可能完全不同，模块化设计使得机器人能够根据具体任务进行优化调整。此外，机器人还可以通过模块化的升级与扩展，不断提升其性能。随着技术的进步，新的模块和功能可以通过模块的替换和更新来实现机器人系统的升级，而无需重新设计和重建整个系统，降低了系统升级的成本。

此外，模块化设计也使得机器人在维护和检修方面变得更加便捷。机器人系统中的各个模块独立性强，故障发生时，操作人员可以快速更换故障模块，不仅提高了系统的可用性，还大大减少了维修周期。随着机器人智能化的不断提高，模块化设计不仅提供了灵活的硬件配置，还为未来机器人系统的自适应控制和智能化升级提供了有力支持。

3.3 模块化设计在智能装备中的应用

智能装备是智能制造中的核心组成部分，包括自动化装配线、精密加工设备、检测系统等。模块化设计在智能装备中的应用，不仅提高了设备的功能性和适应性，还极大地推动了装备的智能化和定制化进程。通过将智能装备分为多个功能模块，如传感器模块、控制模块、执行模块等，可以根据不同的生产任务灵活组合这些模块，实现多种功能的快速切换和优化。

在智能检测设备中，模块化设计尤为重要。现代生产过程中对产品质量的要求越来越高，而智能检测系统通常需

要针对不同的产品和工艺进行定制化设计。模块化设计使得在不改变整个系统的前提下,可以灵活调整图像采集模块、数据处理模块和控制模块的配置,以适应不同检测需求。例如,对于不同尺寸或材质的产品,检测系统可以通过更换图像处理模块或传感器模块,快速实现适配,从而提高生产效率和检测精度。

此外,模块化设计还能够缩短智能装备的开发周期。由于各模块的标准化设计,制造商可以提前生产多个模块,并根据需求进行组合,避免了从零开始设计的过程,显著提升了生产线的响应速度和产品的上市速度。与此同时,模块化设计也使得智能装备在生命周期中的维护和升级变得更加便捷,设备的使用寿命和效能得到了进一步提升。

4 模块化机械结构设计面临的挑战与发展趋势

4.1 模块化设计面临的挑战

尽管模块化设计为智能制造提供了诸多优势,但在实际应用中,仍然面临一些技术和管理上的挑战。首先,由于模块化设计要求多个模块之间有着高度的兼容性与互换性,如何确保不同模块之间能够无缝协作,避免系统性能的不稳定,仍然是一个亟待解决的问题。模块之间的接口设计必须考虑到标准化、灵活性和易用性,而这一过程的复杂性也导致了模块化设计实施难度的增加。

模块化设计对制造商的技术能力提出了更高要求。模块化设计要求各模块具有高度的精确性和可重复性,因此生产过程中,对精度控制和质量管理的要求更为严格。制造商需要投入更多的资源进行模块的研发、生产和质量检验,确保模块在长期使用中的可靠性和稳定性。此外,在实现模块化设计的标准化生产过程中,如何平衡标准化与定制化之间的关系,也是制造商在设计过程中必须克服的一大挑战。

4.2 模块化设计的未来发展趋势

随着智能制造的不断发展,模块化机械结构设计也在不断发展和创新,呈现出更高效、更智能和更灵活的趋势。未来,模块化设计将在多个方面表现出其独特的优势,推动制造业向更加精细化和个性化的方向发展。

首先,模块化设计将更加注重智能化和自适应能力的提升。通过引入人工智能、大数据和机器学习技术,模块化

系统将能够根据实时生产需求进行自我调整和优化。例如,生产线中的模块可以通过智能化的控制系统,根据生产环境和任务要求,动态地调整模块配置,以提高生产效率和灵活性。此外,随着3D打印技术和柔性制造技术的发展,模块化设计将进一步提升制造过程的灵活性和可定制性。企业能够根据需求打印出所需的模块,实现快速生产和定制化服务。

其次,模块化设计将更加注重绿色制造和可持续发展。随着环保法规的逐渐严格,企业越来越重视生产过程中的能源消耗和资源利用效率。模块化设计的应用能够有效减少材料浪费、降低能源消耗,并提高生产过程的资源利用率,有助于实现绿色制造和可持续发展目标。

5 结语

模块化机械结构设计在智能制造中的广泛应用,极大地提升了生产系统的灵活性、可扩展性和维护性。通过模块化设计,企业不仅能够应对不断变化的市场需求,还能提高生产效率,降低成本,进而增强市场竞争力。模块化设计使得生产线能够灵活地进行调整和重组,从而适应个性化和定制化生产要求,减少了停产时间,提升了生产线的利用率。此外,模块化系统的维护成本相对较低,模块故障可迅速定位并替换,大大提高了生产过程的稳定性。未来,随着人工智能、3D打印和柔性制造技术的进一步发展,模块化设计将不断创新,并在智能制造领域发挥越来越重要的作用,推动制造业向更高效、更智能、更环保的方向发展。通过更精细的设计和 optimization,模块化系统将在智能制造中为企业带来更大的生产灵活性和经济效益。

参考文献

- [1] 岑周琦.基于智能制造的汽车发动机零部件高效加工策略分析[J].汽车知识,2025,25(02):74-76.
- [2] 李新康,吕泉,王聪.模块化设计在我国轨道交通产品中的应用与展望[J].铁道车辆,2024,62(04):1-4.
- [3] 刘小娟,郑浩枫,彭紫萍,等.基于模块化设计的高性能五轴联动机床的设计[J].机电工程技术,2024,53(11):148-152.
- [4] 左锦荣,梅碧舟,张松,等.铝合金轴制造技术及其在多元化领域的应用[J].模具制造,2024,24(12):43-45.