

# High Precision Mechanical Design and Control Strategy in Mechatronic System

Tiankai Xie

Huzhou Renxin Bearing Steel Pipe Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313000, China

## Abstract

As a vital component of modern intelligent manufacturing, mechatronic systems integrate multiple disciplines including mechanical engineering, electronics, and computer technology. With technological advancements and growing industrial demands, high-precision mechanical design and control strategies have become increasingly crucial in mechatronic systems. High-precision mechanical design requires not only extreme dimensional and geometric accuracy but also excellent stability and reliability. To achieve these objectives, the design of control strategies is particularly critical. This paper focuses on exploring the fundamental principles of high-precision mechanical design, optimization methods for control strategies, and their applications in mechatronic systems. It analyzes current technological progress and challenges while proposing potential future research directions.

## Keywords

mechatronics; high-precision mechanical design; control strategy; automation; intelligent manufacturing

## 机电一体化系统中的高精度机械设计与控制策略

谢天凯

湖州人新轴承钢管有限公司, 中国 · 浙江 湖州 313000

## 摘 要

机电一体化系统作为现代智能制造的重要组成部分, 涉及到机械、电子、计算机技术等多学科的融合。随着科技的进步和工业需求的增加, 高精度机械设计与控制策略在机电一体化系统中的应用日益重要。高精度机械设计不仅要求设备在尺寸和形状上达到极高的精度, 而且还要求其具有良好的稳定性和可靠性。为了实现这一目标, 控制策略的设计也显得尤为关键。本文将重点探讨高精度机械设计的基本原理、控制策略的优化方法以及它们在机电一体化系统中的应用, 分析目前技术的进展与挑战, 并提出未来可能的研究方向。

## 关键词

机电一体化; 高精度机械设计; 控制策略; 自动化; 智能制造

## 1 引言

机电一体化系统作为现代制造业的重要技术体系, 其应用涵盖了自动化设备、机器人技术、精密仪器等多个领域。在这些系统中, 高精度机械设计和精确的控制策略是实现精密制造和高效运作的关键。随着工业 4.0 的兴起, 对机电一体化系统提出了更高的要求, 尤其是在精度控制和自动化程度上。高精度机械设计要求机械部件在制造过程中具有极高的尺寸精度和稳定性, 同时需要采用高效的控制策略来保证其在运行中的精确操作。为了实现这些目标, 需要集成先进的传感技术、控制理论以及智能算法。本文将系统地分析高精度机械设计和控制策略在机电一体化系统中的应用, 探讨其技术进展和面临的挑战。

【作者简介】谢天凯 (1991-), 男, 中国浙江湖州人, 本科, 工程师, 从事机械设计制造及自动化研究。

## 2 高精度机械设计的基本原理

### 2.1 精密制造的要求

高精度机械设计必须以精密制造为基础, 其核心内容包括尺寸精度、形状精度以及表面质量等方面的严格控制。在机电一体化系统中, 机械部件往往承担传动、定位与支撑等关键功能, 因此在设计阶段需要充分考虑制造精度对系统性能的影响。精密制造不仅依赖先进加工设备, 还需要结合高精度测量技术与检测手段, 对零部件加工过程进行严格控制。通过合理制定加工工艺流程, 并在关键工序中实施质量检测, 可以有效减少加工误差对系统性能的影响。同时, 精密制造还需要在材料选择、加工参数以及装配精度等方面进行综合考虑, 从而保证机械部件在长期运行中保持稳定性能。高质量的精密制造过程能够为机电一体化系统提供可靠的结构基础, 并为系统实现高精度运行创造良好条件。

### 2.2 精密机械的结构设计

在高精度机械系统中, 结构设计是影响系统性能的重

要因素。合理的结构布局能够降低机械运行过程中产生的误差,并提升设备整体稳定性。在机电一体化系统设计中,机械结构不仅需要满足基本的力学强度要求,还需要综合考虑传动精度、振动抑制以及热变形等因素。若结构设计不合理,可能在长期运行过程中产生变形或振动,从而影响系统精度。因此,在设计阶段通常需要借助优化设计方法与有限元分析技术,对结构受力状态和变形情况进行模拟分析,从而对结构参数进行调整。通过对关键部件进行精细化设计,可以有效减少结构误差对系统运行的影响,使机械系统在复杂工作条件下仍然保持稳定的运行状态。

### 2.3 高精度材料的选择与应用

材料性能在高精度机械设计中具有重要作用,不同材料的物理与机械特性直接影响机械部件的精度保持能力和使用寿命。对于机电一体化系统中的关键部件,在材料选择过程中需要综合考虑强度、刚度、耐磨性以及热膨胀特性等因素。近年来,随着材料科学的发展,一些新型高性能材料逐渐应用于精密机械制造领域,例如高强度合金材料、陶瓷材料以及复合材料等。这些材料在稳定性、耐磨性以及热稳定性方面表现出较好性能,有助于减少温度变化和摩擦磨损对机械精度的影响。通过合理应用高性能材料,可以显著提高机械部件的结构稳定性与耐久性,从而提升机电一体化系统的整体运行精度与可靠性 [1]。

## 3 高精度控制策略的优化

### 3.1 反馈控制与前馈控制

在机电一体化系统中,控制策略的合理设计对系统精度和稳定性具有重要影响。反馈控制与前馈控制是常见且应用广泛的两种控制方法。反馈控制通过对系统输出状态进行实时检测,并与设定目标值进行比较,根据偏差调整控制输入,使系统逐渐趋近于期望状态,从而保证运行精度。该方法能够在系统运行过程中不断修正误差,具有较强的稳定性。前馈控制则侧重于对系统输入和外部扰动进行提前分析,在系统运行前根据预测结果对控制量进行调整,以减少可能产生的误差。将反馈控制与前馈控制结合应用,可以在不同运行条件下提高系统响应速度,并减少误差积累,从而使机电一体化系统在复杂工况下仍保持较高的控制精度。

### 3.2 自适应控制策略

随着机电一体化系统应用环境的不断变化,传统固定参数控制方法在复杂条件下可能难以保持稳定性能,因此自适应控制策略逐渐受到重视。自适应控制能够根据系统运行状态的变化自动调整控制参数,使控制系统能够在不同环境条件下保持良好的运行效果。在实际应用中,系统通过实时监测运行数据并进行分析,根据变化情况对控制模型进行调整,从而提高系统的稳定性与控制精度。近年来,随着人工智能技术的发展,自适应控制逐渐与数据分析和机器学习方法相结合,使系统能够通过持续学习不断优化控制策略。在

机器人系统和自动化设备中,这种控制方式能够有效提升系统对复杂环境的适应能力,并提高设备运行效率 [2]。

### 3.3 智能控制算法的应用

智能控制算法在机电一体化系统中的应用为高精度控制提供了新的技术路径。通过引入深度学习、强化学习等算法,控制系统能够对大量运行数据进行分析,并在复杂环境中形成更加准确的控制决策。智能控制算法能够处理传统控制方法难以解决的非线性问题,使系统在面对复杂动态条件时仍能保持稳定运行。例如,通过神经网络模型可以对系统行为进行预测,并对控制参数进行优化,从而减少系统运行误差。强化学习方法能够通过不断试验和反馈逐步改进控制策略,使系统在未知环境中形成更加有效的控制方案。随着算法性能的不断提升,智能控制技术将在机电一体化系统中发挥更加重要的作用,为高精度设备的稳定运行提供有力支持。

## 4 机电一体化系统中的应用实例

### 4.1 高精度数控机床

数控机床是机电一体化技术在现代制造业中的典型应用,其加工精度直接影响产品质量与生产效率。在高精度数控机床系统中,机械结构设计与控制策略相互配合,共同保障加工过程的稳定性。通过采用高精度传动机构与高刚性结构材料,可以有效降低机械振动与结构变形对加工精度的影响。同时,先进的控制算法在机床运行过程中发挥着重要作用,通过闭环反馈控制系统对加工状态进行实时监测与调整,使加工过程能够保持稳定。部分数控系统还引入自适应控制技术,对加工参数进行动态优化,从而提高设备在复杂工况下的加工能力。高精度机械设计与控制策略的协同应用,使数控机床能够在高速加工条件下保持良好的精度稳定性,从而满足现代制造业对高精度加工的需求 [3]。

### 4.2 机器人控制系统

工业机器人是机电一体化系统的重要组成部分,在现代工业生产中承担着装配、搬运及精密操作等多种任务。机器人在执行高精度操作时,需要依赖精密机械结构与高效控制系统的协同作用。在机械设计方面,机器人关节通常采用高刚性材料与低摩擦传动机构,以减少运动过程中的误差并提高运动稳定性。同时,通过高精度传感器对机器人运动状态进行实时监测,可以为控制系统提供可靠数据支持。在控制策略方面,机器人系统通常结合位置控制、力控制以及智能控制算法,使机器人在复杂作业环境中仍能保持稳定运行。通过对运动轨迹和执行力进行精确控制,机器人能够完成多种精细操作任务,从而在工业自动化生产中发挥重要作用。

### 4.3 自动化生产线

自动化生产线是机电一体化技术综合应用的重要体现,其运行效率与产品质量在很大程度上依赖于机械系统精度

与控制系统性能。通过将高精度机械部件与智能化控制系统进行集成,可以实现生产过程的连续化与高效化。在自动化生产线中,物料输送系统、装配设备以及检测设备等环节都需要保持较高的运行精度。例如,输送装置需要保证稳定的运行速度,以维持生产节奏;自动装配设备则需要具备较高定位精度,以确保装配质量。与此同时,控制系统通过实时监测生产数据,对生产节奏与设备状态进行动态调整,使各生产环节保持协调运行。高精度机械设计与先进控制策略的结合,使自动化生产线能够在持续运行条件下保持稳定性能,从而显著提升生产效率与产品一致性[4]。

## 5 面临的挑战与发展趋势

### 5.1 技术集成的复杂性

在机电一体化系统的发展过程中,高精度机械设计与控制技术的融合不断深化,但技术集成所带来的复杂性仍然是制约系统性能提升的重要因素。机电一体化系统通常涉及机械结构设计、电子控制技术、传感技术以及计算机算法等多个领域,不同技术之间在工作原理、接口标准及运行方式上存在差异。当这些技术被整合到同一系统中时,系统结构的复杂程度随之增加,对整体设计与实施提出更高要求。若各子系统之间缺乏良好的协同机制,可能导致系统运行稳定性下降或控制精度受到影响。因此,在系统设计阶段需要进行整体规划,通过优化结构设计、统一接口标准并加强信息交互,使不同技术模块能够形成稳定协同关系。如何在保证系统高精度运行的同时实现高效集成,已成为机电一体化技术发展过程中需要重点解决的问题。

### 5.2 智能化水平的提升

随着信息技术和人工智能技术的不断进步,机电一体化系统正逐渐向智能化方向发展。传统控制方式多依赖固定参数和预设模型,在复杂环境下难以实现灵活调节,而智能控制技术能够通过数据分析与学习算法对系统状态进行动态调整。通过引入大数据分析 with 深度学习技术,系统可以对运行过程中的大量数据进行处理,从而识别设备运行规律并优化控制策略。在这一过程中,自适应控制技术逐渐成为重要研究方向,其能够根据环境变化自动调整控制参数,使系统在不同工况下保持稳定运行。智能化水平的提升不仅能够提高系统控制精度,还能够增强设备的自诊断与故障预测能力。随着相关技术不断发展,机电一体化系统将在生产效率、

运行可靠性以及自动化水平等方面实现进一步提升[5]。

### 5.3 多尺度精度控制

在复杂机电一体化系统中,不同部件往往具有不同的精度要求,小到微观结构,大到整体设备运行,均需要在统一系统中实现协同工作。因此,多尺度精度控制逐渐成为机电系统研究的重要方向。不同尺度之间的精度控制涉及结构设计、传动机构以及控制算法等多个方面,需要在系统整体框架下进行综合优化。例如,高精度传动机构能够保证机械运动的稳定性,而精确的控制算法则能够对微小误差进行实时修正。与此同时,传感技术的应用能够对设备运行状态进行实时监测,为精度控制提供数据支持。在复杂运行环境中,如何通过协同控制机制使不同尺度的部件保持稳定精度,是当前技术研究的重要内容。通过不断完善多尺度控制理论与技术手段,可以进一步提升机电一体化系统的整体性能与应用水平。

## 6 结语

高精度机械设计与控制策略是机电一体化系统的重要基础,对系统性能和运行稳定性具有决定性影响。随着信息技术与制造技术的不断发展,机电一体化系统在工业生产中的应用范围不断扩大,并逐渐成为智能制造与自动化生产的重要支撑。通过优化机械结构与控制算法,可以显著提升系统运行精度和工作效率,使设备在复杂环境中保持稳定性能。与此同时,系统集成复杂性、智能化控制水平以及多尺度精度协调等问题仍然是当前研究的重要方向。随着人工智能技术、先进传感技术以及数据分析方法的持续发展,机电一体化系统将在精密制造、智能装备以及自动化生产等领域展现更广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] 解亚辉.基于自适应控制算法的机电一体化机器人高精度定位技术研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(01):216-219.
- [2] 孙春旺.面向机电一体化关节的高精度伺服系统关键技术研究[D].哈尔滨工业大学,2022.
- [3] 郭志冬.高精度称重系统中机电一体化技术的应用分析[J].中国设备工程,2018,(10):167-169.
- [4] 杨再华.基于光机电一体化的卫星高精度装调与检测系统.北京市,北京卫星环境工程研究所,2017-10-20.
- [5] 机电一体化高精度自清洗过滤器.辽宁省,丹东北方环保工程有限公司,2003-01-01.