

机械设计系统控制模型优化研究

祝建彬 李文波

杭州艾美依航空制造装备有限公司 浙江 杭州 310020

摘要: 本文聚焦机械设计系统控制模型优化研究, 基于机械设计系统多学科交叉特性及控制模型理论基础, 剖析传统与现代控制模型特点及发展。通过数学优化、仿真优化及智能优化等方法, 结合传感器与执行器、数据采集处理等关键技术, 实现控制模型优化。研究表明, 优化成果在工业、汽车等多领域实践中显著提升机械系统性能与可靠性, 为机械工程领域发展提供重要支撑。

关键词: 机械设计; 系统控制; 模型优化

1 机械设计系统控制模型基础理论

1.1 机械设计系统概述

机械设计系统是一个复杂且多元的工程系统, 它涵盖了从产品概念构思、方案设计、详细设计, 到制造工艺规划、装配调试等一系列环节。机械设计系统具有多学科交叉融合的特点, 涉及机械工程、材料科学、力学、电子技术、计算机科学等多个领域。另外, 机械设计系统还需遵循一定的设计原则和流程。设计原则包括功能性、可靠性、经济性、安全性、可维护性等, 这些原则相互关联、相互制约, 需要在设计过程中进行综合权衡。设计流程一般包括需求分析、概念设计、详细设计、设计验证与改进等阶段, 每个阶段都有其特定的任务和目标, 各阶段之间紧密相连, 共同构成一个完整的设计体系。

1.2 控制模型理论基础

控制模型是对机械设计系统进行有效控制和优化的重要工具, 其理论基础涉及多个学科领域。控制理论作为控制模型的核心, 主要包括经典控制理论和现代控制理论。经典控制理论以传递函数为数学模型, 基于频率特性和根轨迹等方法对系统进行分析和设计, 适用于单输入单输出的线性定常系统。它在早期的机械控制系统设计中发挥了重要作用^[1]。现代控制理论则以状态空间法为基础, 适用于多输入多输出、非线性、时变系统的分析与设计。它能够更深入地揭示系统的内部结构和动态特性, 为复杂机械系统的精确控制提供了有力的理论支持。除了控制理论, 数学建模、信号处理等理论也是控制模型的重要基础。数学建模通过建立机械系统的数学模型, 将实际的物理系统转化为可分析和计算的数学表达式, 为控制模型的设计提供了基础。信号处理技术则用于对机械系统中各种信号(如传感器采集的位移、速度、力等信号)进行处理和分析, 提取有用信息, 为控

制决策提供依据。

2 机械设计系统控制模型现状分析

2.1 传统控制模型的特点

传统控制模型在机械设计系统发展的早期阶段发挥了重要作用, 具有一些显著的特点。首先, 传统控制模型结构相对简单, 设计思路直观。它通常基于经典控制理论, 采用比例-积分-微分(PID)控制器等简单的控制结构, 通过调整控制器的参数来实现对系统的控制。这种简单的结构使得传统控制模型易于理解和实现, 在一些对控制精度要求不高、系统结构相对简单的机械系统中得到了广泛应用。其次, 传统控制模型对系统的建模要求相对较低, 由于其基于线性定常系统的假设, 在处理一些近似线性的机械系统时, 不需要过于精确的数学模型就能实现一定程度的控制效果。传统控制模型也存在明显的局限性。它对非线性、时变、强耦合等复杂系统的控制效果不佳, 难以满足现代高精度、高性能机械系统的控制需求。而且, 传统控制模型的参数调整往往依赖于工程师的经验, 缺乏有效的优化方法, 导致系统的控制性能难以达到最优。

2.2 现代控制模型的发展

随着科技的不断进步和机械系统复杂性的增加, 现代控制模型得到了迅速发展。现代控制模型引入了许多先进的理论和技术, 如自适应控制、鲁棒控制、智能控制等, 以应对复杂机械系统的控制挑战^[2]。自适应控制能够根据系统参数和外部环境的变化自动调整控制器的参数, 使系统始终保持良好的性能。鲁棒控制则着重于提高系统对不确定性因素(如模型误差、外部干扰等)的抵抗能力, 确保系统在各种不利条件下仍能稳定运行。智能控制是现代控制模型发展的重要方向, 它融合了人工智能、神经网络、模糊逻辑等技术, 使控制系统具有学习、推理和决策能力。现代控制模型的发展极大地提

高了机械设计系统的控制精度和性能，推动了机械工程领域的进步。

3 机械设计系统控制模型优化方法

3.1 数学优化方法

数学优化方法是对机械设计系统控制模型进行优化的重要手段。线性规划是一种经典的数学优化方法，它在满足一定线性约束条件下，求解线性目标函数的最大值或最小值。在机械设计系统中，线性规划可用于优化资源分配、成本控制等问题。遗传算法是一种基于生物进化理论的优化算法，它模拟生物进化过程中的自然选择、交叉和变异等操作，对优化问题进行搜索和求解。遗传算法具有全局搜索能力强、对问题的适应性好等优点，适用于求解复杂的非线性优化问题。在机械设计系统控制模型优化中，遗传算法可以用于优化控制器的参数，通过不断进化，找到最优的参数组合，提高系统的控制性能。例如，在设计一个复杂的机械振动控制系统时，利用遗传算法对控制器的参数进行优化，能够有效抑制机械振动，提高系统的稳定性。

3.2 仿真优化技术

仿真优化技术通过建立机械系统的仿真模型，对系统在不同条件下的运行情况进行模拟和分析，从而实现了对控制模型的优化。ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) 是一款广泛应用的机械系统动力学仿真软件，它能够对机械系统的运动学、动力学特性进行精确建模和仿真分析。在机械设计系统控制模型优化中，利用ADAMS软件可以建立机械系统的三维模型，并添加各种约束和力的作用，模拟系统在实际工作中的运行情况。通过改变控制模型的参数，观察系统在仿真过程中的响应，从而找到最优的控制参数。例如，在汽车悬挂系统的设计中，使用ADAMS软件对悬挂系统进行动力学仿真，通过调整悬挂系统的控制参数，优化悬挂系统的性能，提高汽车的舒适性和操纵稳定性。ADAMS软件还可以与其他软件（如MATLAB）进行联合仿真，将控制算法与机械系统模型相结合，实现更全面的优化。

3.3 智能优化算法

智能优化算法为机械设计系统控制模型的优化提供了新的思路和方法。神经网络是一种模拟生物神经元结构和功能的计算模型，它具有强大的非线性映射能力和自学习能力。在机械设计系统控制模型优化中，神经网络可以用于建立系统的非线性模型，通过对大量输入输出数据的学习，自动调整网络的权重和阈值，实现对系统的精确控制。模糊控制则基于模糊集合和模糊逻辑，能够处理不精确和不确定的信息。在机械设计系统控制

模型优化中，模糊控制可以根据专家经验和实际操作数据，制定模糊控制规则，实现对系统的智能控制。例如，在空调系统的温度控制中，模糊控制可以根据室内外温度、人员数量等模糊信息，自动调整空调的制冷或制热功率，使室内温度保持在舒适的范围内。智能优化算法的应用，使得机械设计系统控制模型能够更好地适应复杂多变的工作环境，提高系统的控制性能和智能化水平。

4 机械设计系统控制模型优化的关键技术

4.1 传感器与执行器技术

传感器与执行器技术是机械设计系统控制模型优化的关键支撑技术。传感器作为系统的“眼睛”，能够实时感知机械系统的各种状态信息，如位移、速度、加速度、力、温度等。高精度、高可靠性的传感器是实现精确控制的前提条件。例如，在数控机床的加工过程中，通过安装高精度的位移传感器，可以实时监测机床工作台的位置，为控制系统提供准确的反馈信息，从而实现精确的位置控制。随着传感器技术的不断发展，新型传感器如光纤传感器、MEMS（微机电系统）传感器等不断涌现，这些传感器具有体积小、精度高、响应快等优点，为机械设计系统的精确控制提供了更好的选择^[3]。执行器则是机械设计系统控制模型的“手脚”，它根据控制系统的指令，对机械系统进行操作和调节。常见的执行器包括电机、液压缸、气动元件等。高性能的执行器能够快速、准确地执行控制指令，实现对机械系统的精确控制。传感器与执行器技术的不断进步，为机械设计系统控制模型的优化提供了有力的硬件保障。

4.2 数据采集与处理技术

数据采集是获取机械系统运行状态信息的过程，它通过传感器将物理量转换为电信号，并进行放大、滤波等预处理后，传输给数据采集设备。现代数据采集设备具有高速、高精度、多通道等特点，能够实时采集大量的机械系统运行数据。数据处理则是对采集到的数据进行分析、挖掘和处理，提取有用信息，为控制决策提供依据。数据处理技术包括数字信号处理、数据滤波、特征提取、模式识别等。随着大数据和人工智能技术的发展，数据处理技术也得到了进一步的提升，能够更有效地处理海量的机械系统数据，发现数据背后的规律和潜在问题，为机械设计系统控制模型的优化提供更准确、更全面的信息支持。

4.3 控制算法与策略

控制算法与策略是机械设计系统控制模型优化的核心。先进的控制算法和策略能够充分发挥传感器、执行

器和数据处理技术的优势,实现对机械系统的精确控制和优化。除了前面提到的经典控制算法、现代控制算法和智能控制算法外,还有许多新型的控制算法不断涌现,如模型预测控制、迭代学习控制等。模型预测控制是一种基于模型的滚动时域优化控制策略,它通过建立系统的预测模型,预测系统未来的输出,并在每个采样时刻求解一个有限时域的优化问题,得到当前时刻的最优控制输入。模型预测控制具有处理约束条件能力强、能够实现多变量优化控制等优点,在复杂工业过程控制和机械系统控制中得到了广泛应用。迭代学习控制则适用于具有重复运动特性的机械系统,它通过对系统多次重复运动过程的学习,不断调整控制输入,使系统的输出逐渐逼近期望的轨迹。控制算法与策略的不断创新和发展,为机械设计系统控制模型的优化提供了更多的手段和方法,推动了机械系统控制性能的提升。

5 机械设计系统控制模型优化的实践应用

5.1 工业机械优化设计

在工业机械领域,机械设计系统控制模型优化具有广泛的应用。以工业机器人为例,通过对其控制模型进行优化,可以提高机器人的运动精度、工作效率和稳定性。利用智能优化算法对机器人的轨迹规划和控制算法进行优化,能够使机器人在复杂的工作环境中快速、准确地完成任务。优化机器人的传感器配置和数据处理算法,可以实现对机器人工作状态的实时监测和故障诊断,提高机器人的可靠性和可维护性。在数控机床的优化设计中,控制模型优化可以显著提高机床的加工精度和表面质量。通过采用先进的控制算法和仿真优化技术,对机床的伺服控制系统、刀具路径规划等进行优化,能够减少加工误差,提高加工效率。优化机床的传感器布置和数据采集处理系统,可以实现对机床运行状态的实时监控和预测性维护,降低机床的故障率,提高生产效率。

5.2 汽车机械优化设计

汽车机械设计系统控制模型优化对于提高汽车的性能和安全性具有重要意义。在汽车动力系统中,通过优化发动机的控制模型,可以提高发动机的燃油经济性和动力性能。利用自适应控制和智能控制算法,根据不同的驾驶工况和环境条件,自动调整发动机的工作参数,实现发动机的最优运行。在汽车底盘系统中,优化悬挂

系统和转向系统的控制模型,可以提高汽车的舒适性和操纵稳定性。另外,汽车的安全控制系统也是控制模型优化的重点领域^[4]。防抱死制动系统(ABS)、电子稳定程序(ESP)等安全系统通过精确的控制模型,能够在紧急情况下及时调整车辆的制动和动力输出,防止车辆失控,提高行车安全性。通过不断优化这些安全系统的控制模型和算法,汽车的主动安全性得到了不断提升。

5.3 其他机械设计领域的优化应用

除了工业机械和汽车机械领域,机械设计系统控制模型优化在其他领域也有着广泛的应用。在航空航天领域,对飞行器的控制系统进行优化设计,能够提高飞行器的飞行性能和可靠性。通过采用先进的控制算法和优化方法,对飞行器的姿态控制、导航系统等进行优化,确保飞行器在复杂的飞行环境中安全、稳定地飞行。在医疗器械领域,机械设计系统控制模型优化可以提高医疗器械的精度和安全性。在农业机械领域,通过优化农业机械的控制模型,如联合收割机的脱粒控制系统、播种机的播种量控制系统等,可以提高农业生产的效率和质量。机械设计系统控制模型优化在各个领域的应用,不断推动着相关行业的技术进步和发展。

结束语

机械设计系统控制模型优化对提升机械系统性能、推动行业发展意义重大。从传统到现代控制模型的演进,以及多种优化方法和关键技术的应用,有效解决了复杂系统控制难题。随着科技持续进步,人工智能、大数据等技术将深度融合,未来控制模型优化将朝着智能化、精准化方向发展,为机械设计领域带来更多创新与突破。

参考文献

- [1]王浩舟,胡茶根.现代化智能制造背景下机械自动化控制系统的设计应用研究[J].电子元器件与信息技术,2023,7(05):95-98.
- [2]杨琴文,吴勇,牛婷等.智能制造在机械设计技术中的应用[J].集成电路应用,2022,39(05):232-233.
- [3]张伟强.智能机械设计及其控制策略优化研究[J].机械工程与自动化,2023(5):88-92.
- [4]李华芳.分布式控制系统在智能制造中的应用探索[J].控制工程与应用,2022(3):155-160.