

# 机电系统优化设计在工业自动化中的应用

胡民辉

宝银核电管材(广州)有限公司 广东 广州 510000

**摘要:** 机电系统优化设计是工业自动化领域提升综合效能的核心技术,其通过多学科融合与算法创新,实现对生产流程的精准调控。本文聚焦机电系统优化设计在工业自动化中的应用,分析其在提高生产效率、产品质量、降低成本及增强系统可靠性等方面的重要性,探讨其在自动化生产线运动控制、工业机器人、自动化生产线中的具体实践。同时,针对多学科融合难度大、优化算法局限性、系统复杂性及成本时间限制等挑战,展望了智能化设计、多学科协同、绿色优化及大数据驱动等未来发展趋势,为工业自动化领域的技术升级提供理论参考与实践路径。

**关键词:** 机电系统; 优化设计; 工业自动化; 应用

引言: 在科技飞速发展的当下,工业自动化已成为现代工业发展的核心趋势。机电系统作为工业自动化的重要组成部分,其性能优劣直接影响工业生产的效率、质量与效益。优化设计机电系统,能够有效整合机械、电子、控制等多学科知识,挖掘系统潜力,解决传统机电系统存在的能耗高、精度低等问题。然而,随着工业自动化向智能化、复杂化方向迈进,机电系统优化设计也面临诸多新挑战。因此,深入研究机电系统优化设计在工业自动化中的应用,剖析其现状、挑战与趋势,对推动工业自动化持续发展具有重要意义。

## 1 机电系统优化设计的重要性

### 1.1 提高生产效率

机电系统优化设计是提升工业生产的核心驱动力。通过对机械结构、传动系统及控制系统的优化,可大幅缩短设备加工周期。例如,在数控机床中,优化伺服系统能加快刀具响应速度,减少非加工时间;自动化生产线经输送系统优化后,物料传输效率显著提升。此外,智能监控与故障预警功能可降低设备停机率,保障生产连续性,从而使企业在单位时间内产出更多产品,抢占市场先机。

### 1.2 提升产品质量

产品质量是企业竞争力的关键,机电系统优化设计为此提供坚实保障。优化机械结构精度,可减少加工误差,确保零部件尺寸符合高标准;工业机器人经运动学优化后,轨迹精准度提升,能避免焊接、喷涂等工艺的缺陷。同时,先进检测系统经优化后灵敏度增强,可实时监测生产参数,及时纠正偏差,从源头把控产品质量,助力企业打造高品质产品,赢得客户信赖。

### 1.3 降低成本

成本控制关乎企业生存发展,机电系统优化设计是

有效的降本手段。优化设计减少设备冗余结构,降低采购成本;节能设计降低运行能耗,减少电费支出。例如,电机节能优化可显著降低电力消耗。此外,系统可靠性提升减少维护频率与维修成本,延长设备使用寿命,降低更新换代投入;自动化装配系统优化减少人工依赖,综合降低企业运营成本,提升经济效益。

### 1.4 增强系统可靠性

可靠的机电系统是工业生产稳定运行的基石。优化设计通过强化机械结构强度、改进防护设计,提升系统抗环境干扰能力。如化工设备经密封优化后,可抵御腐蚀性介质侵蚀。同时,智能化故障诊断系统实时监测运行状态,提前发现潜在隐患并预警,避免突发故障。这不仅保障生产连续性,还减少因设备损坏导致的安全风险,为企业安全生产保驾护航<sup>[1]</sup>。

## 2 机电系统优化设计在工业自动化中的具体应用

### 2.1 在自动化生产线运动控制中的应用

#### 2.1.1 机械传动结构优化

自动化生产线的机械传动结构直接影响设备运行的稳定性与可靠性。通过机电系统优化设计,可实现传动结构的高效化与精密化。运用有限元分析技术对传动部件进行力学仿真,优化皮带、链条等传动组件的张力分配与结构布局,减少因摩擦损耗导致的能量浪费与传动误差。例如,采用模块化、轻量化的桁架结构设计,能有效降低运动部件的惯性,同时增强整体刚性;合理设计导轨与滑块的配合方式,可提升运动部件的导向精度和承载能力,确保生产线在高速运行时仍能保持平稳,为精确的运动控制奠定基础。

#### 2.1.2 伺服驱动系统优化

伺服驱动系统是自动化生产线实现精准运动控制的核心。对其进行优化设计,可显著提升设备的动态响应

与定位精度。通过选用高扭矩密度的伺服电机，并优化电机与负载的参数匹配，如惯量比、速度特性等，能够实现电机快速启停与平稳运行。同时，改进伺服驱动器的控制算法，采用自适应控制、预测控制等先进技术，实时调整电机输出，减少系统跟踪误差与超调量。在实际生产中，优化后的伺服驱动系统可使生产线在频繁启停和复杂路径规划下，仍能精准执行指令，完成物料搬运、定位装配等任务，提高生产效率与产品质量。

### 2.1.3 运动控制系统优化

运动控制系统的性能决定了自动化生产线的运行效率与精度。机电系统优化设计通过多方面改进提升其整体效能。在硬件层面，选用高精度的编码器、光栅尺等位置反馈元件，并优化其安装布局，构建全闭环控制系统，实现对运动部件位置的实时精确监测；在软件层面，开发智能化的运动控制算法，结合生产线的实际情况，对运动轨迹进行动态规划与优化，减少空行程与加减速时间。此外，通过建立运动控制系统的故障诊断模型，利用传感器数据实时分析系统状态，提前预警潜在故障，确保生产线持续稳定运行，满足自动化生产的高精度、高效率需求。

## 2.2 在工业机器人中的应用

### 2.2.1 运动学优化

工业机器人的运动学性能直接影响其工作效率与操作精度。运动学优化旨在通过改进机器人的关节配置、连杆尺寸和运动轨迹规划，提升其运动灵活性与准确性。在关节配置方面，采用优化的机械结构设计，合理布局关节角度与运动范围，可减少运动干涉，扩大机器人的工作空间。同时，运用先进的运动学算法，如逆运动学求解优化，能够根据目标位置和姿态，快速、准确地计算出各关节的运动参数，使机器人以最优路径完成作业任务。在轨迹规划上，采用平滑曲线规划代替传统直线或折线轨迹，可降低运动冲击，提高运动平稳性，尤其适用于焊接、喷涂等对轨迹精度要求高的作业场景，有效提升作业质量和效率。

### 2.2.2 动力学优化

动力学性能决定了工业机器人在高速、重载工况下的运行稳定性与能耗水平。动力学优化通过对机器人的质量分布、惯性参数和驱动系统进行优化设计，改善其动态响应特性。在机械结构上，采用轻量化材料和优化的结构设计，降低机器人运动部件的质量和转动惯量，减少驱动系统的负载需求，从而降低能耗。同时，优化驱动电机与传动机构的匹配关系，根据机器人的工作负载和运动要求，合理选择电机功率、扭矩和传动比，提

高能量传递效率。此外，运用动力学仿真技术对机器人的运动过程进行模拟分析，优化关节驱动力矩的分配，减少振动和冲击，使机器人在高速运动或快速启停时仍能保持稳定运行，延长设备使用寿命。

### 2.2.3 控制系统优化

控制系统是工业机器人实现精准控制和智能化作业的核心。控制系统优化通过引入先进的控制算法和智能控制技术，提升机器人的控制精度和自适应能力。采用自适应控制、鲁棒控制等算法，能够根据机器人的运行状态和工作环境变化，实时调整控制参数，补偿因负载变化、摩擦等因素引起的误差，确保机器人的运动精度。同时，融合传感器技术与人工智能算法，构建多传感器信息融合的智能控制系统，使机器人能够感知周围环境信息，实现自主决策与路径规划，完成复杂任务。

## 2.3 在自动化生产线中的应用

### 2.3.1 输送系统优化

在自动化生产线中，输送系统是保障物料高效流转的关键。通过机电系统优化设计，可显著提升输送系统的灵活性与可靠性。一方面，优化输送设备的机械结构，采用模块化设计理念，使传送带、链板等部件便于拆卸与更换，降低维护难度；同时，引入变频调速技术，依据生产节奏实时调整输送速度，避免物料堆积或空转现象。另一方面，运用智能传感器与PLC控制系统，实现对输送过程的动态监控，当检测到物料堵塞或设备故障时，系统自动报警并暂停运行，减少停机损失。

### 2.3.2 装配系统优化

装配系统的优化直接影响产品生产的精度与效率。机电系统优化设计从机械结构和控制策略两方面入手，提升装配系统性能。在机械结构上，采用高精度的定位夹具和柔性装配单元，确保零部件在装配过程中定位准确，减少人为误差；通过优化机械臂的运动轨迹与抓取力度，使其能够适应不同规格产品的装配需求。在控制策略方面，引入机器视觉技术，实时获取零部件的位置和姿态信息，结合自适应控制算法，自动调整装配参数，实现高精度的自动化装配。

### 2.3.3 检测系统优化

检测系统是保障产品质量的重要防线，机电系统优化设计能够大幅提升其检测精度与效率。通过升级检测设备的硬件配置，采用高分辨率的图像传感器和高精度的传感器阵列，增强对产品尺寸、外观缺陷等参数的检测能力；优化检测机械结构，设计自动化的上料、翻面和分拣装置，实现产品的全方位检测。在软件层面，运用深度学习算法对检测数据进行分析处理，提高缺陷识

别的准确率；建立实时监测与反馈机制，当检测到不合格产品时，系统立即发出警报，并将不合格产品自动分拣剔除，同时将检测数据上传至生产管理系统，为生产工艺改进提供依据，确保产品质量的稳定可靠<sup>[2]</sup>。

### 3 机电系统优化设计在工业自动化中面临的挑战

#### 3.1 多学科融合难度大

机电系统优化设计涉及机械、电子、控制、材料等多学科知识，各学科理论体系与研究方法差异显著。不同学科专家在沟通时存在知识壁垒，难以有效整合技术需求与解决方案。例如机械设计追求结构强度，电子控制侧重信号处理，二者在系统集成时易出现设计冲突，导致优化方案难以兼顾多方要求，阻碍系统性能的整体提升。

#### 3.2 优化算法的局限性

现有优化算法难以满足复杂机电系统的需求。传统算法如遗传算法、粒子群算法存在收敛速度慢、易陷入局部最优解的问题，难以在海量参数组合中找到全局最优解。新兴智能算法虽有突破，但对数据样本和计算资源要求极高，在工业现场实时优化时，受硬件条件制约，无法充分发挥算法优势，限制优化效果。

#### 3.3 系统复杂性和不确定性

工业自动化中的机电系统结构复杂，运行时受环境干扰、设备磨损、工况变化等不确定因素影响。这些因素相互耦合，导致系统行为难以精准预测。例如温度波动会影响机械部件尺寸和电子元件性能，使得基于理想模型的优化设计难以应对实际运行中的复杂状况，降低优化方案的有效性和适用性。

#### 3.4 成本和时间限制

企业在进行机电系统优化设计时，需平衡成本与时间投入。优化过程涉及大量仿真分析、试验验证，购置高精度检测设备、聘请专业技术人员，都会增加资金成本；反复迭代优化方案，延长研发周期，可能错过市场机遇。中小企业常因资金和时间压力，无法充分实施优化设计，影响系统性能提升。

### 4 机电系统优化设计在工业自动化中的发展趋势

#### 4.1 智能化优化设计

智能化成为机电系统优化设计的核心趋势。借助人工智能算法，如深度学习、强化学习，可实现设计过程的自主决策与动态优化。在工业机器人领域，智能算法能根据实时工况自动调整运动参数，提升作业精度与效率；通过构建数字孪生模型，对机电系统进行虚拟仿真

与预测性维护，提前规避故障风险。智能化设计不仅降低人工干预成本，还能快速适应复杂多变的工业场景，推动工业自动化向更高水平迈进。

#### 4.2 多学科协同优化

为突破多学科融合难题，多学科协同优化将成为主流。通过搭建集成化设计平台，整合机械、电子、控制等多学科知识，打破学科壁垒，实现设计信息的实时共享与交互。运用协同仿真技术，对系统各部分进行联合分析，提前发现潜在冲突，优化整体性能。例如在数控机床设计中，协同优化机械结构与伺服系统，可显著提升加工精度与稳定性，促进机电系统优化设计的全面发展。

#### 4.3 绿色优化设计

随着环保意识增强，绿色优化设计备受瞩目。在机电系统设计中，采用环保材料、优化能源利用效率成为关键。通过轻量化设计减少材料消耗，运用节能驱动技术降低系统能耗，同时优化产品回收设计，提高零部件的可重复利用率。例如自动化生产线中，优化输送系统的能耗管理，可大幅降低工业生产对环境的影响，实现经济效益与生态效益的双赢。

#### 4.4 基于大数据的优化设计

大数据技术为机电系统优化提供新路径。通过采集和分析工业现场海量运行数据，挖掘系统潜在优化点。利用机器学习算法对数据建模，预测设备性能变化趋势，制定针对性优化方案。在检测系统中，基于大数据分析能更精准识别产品缺陷，优化检测参数；在自动化生产线中，通过数据分析优化生产节拍，提升整体效率，推动机电系统优化设计迈向数据驱动新阶段<sup>[3]</sup>。

### 结束语

综上所述，机电系统优化设计已成为工业自动化发展的核心引擎。它通过提升生产效率、保障产品质量、削减成本开支与增强系统可靠性，全方位推动工业生产迈向新高度。在数控机床、工业机器人及自动化生产线等应用场景中，优化设计的技术成果显著改善了工业生产的各环节。

### 参考文献

- [1]侯洁,杜鹏,闫明蔚.智能机电系统设计在工业自动化中的应用[J].电气技术与经济,2025,(03):184-186.
- [2]邓玉平.智能机电系统设计在工业自动化中的应用[J].江苏通信,2025,41(01):111-115
- [3]毕仕昌,简皓亮,杨传鑫.智能机电系统设计在工业自动化中的应用[J].运输经理世界,2024,(27):124-126.