

智能电驱动系统在机械自动化中的应用研究

胡凌豪 郎新峰 张王锋

天通智能装备有限公司 浙江 海宁 314400

【摘要】：智能电驱动系统作为现代机械自动化领域的关键技术，正在推动制造业朝着高效、智能化方向发展。本文围绕智能电驱动系统在机械自动化中的应用进行探讨，结合相关理论分析其对提升设备灵活性、精度与运行效率的重要作用。研究表明，智能电驱动系统在实时控制、故障自诊断和能耗优化方面具备显著优势，有助于实现机械装备的智能升级和生产流程的自动化。该技术的发展为机械自动化领域创新与产业转型提供了有力支撑，具有积极的现实意义和广阔的发展前景。

【关键词】：智能电驱动系统；机械自动化；实时控制；故障自诊断；能耗优化

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.064

引言

随着制造业升级和“智能制造 2025”等战略推进，机械自动化技术进入新阶段。传统电驱动系统因响应速度和控制精度有限，难以满足当前产业对高度柔性生产和高效运转的需求。近年来我国智能制造装备产值占比上升，电驱动系统智能化成为装备自动化技术革新的核心。智能电驱动系统集成先进传感、控制与通信技术，能精准控制驱动执行机构并反馈信息，在提升自动化装备灵活性、作业精度和能效方面优势显著。相关学者实证分析证实了其在多个功能模块的优越性能。不过，受复杂算法开发等技术瓶颈影响，其标准化及大规模产业化应用有待突破。为此，本文将围绕智能电驱动系统在机械自动化中的实际应用展开研究，提供理论参考和实践路径。

1 智能电驱动系统的发展背景与应用必要性

1.1 研究背景与意义

智能电驱动系统的发展背景与应用必要性，彰显了当代制造业智能化、绿色化转型趋势^[1]。全球工业自动化水平提升，传统电驱动技术难以满足现代机械自动化装备对高效、可靠及智能控制的需求，制造业逐渐摆脱单一技术模式。智能电驱动系统凭借精确控制、灵活适应和能效优化等特性，成为推动机械装备技术革新与生产模式优化的重要动力。

它以无传感器控制、多目标优化算法等创新能力，为机械自动化装备提供高效运行与快速响应支持，降低能耗，契合可持续发展要求。在机械自动化领域，能实时监测与动态调整，优化设备运行，使复杂工业

场景生产更平稳精准，已广泛应用于高端制造等多个领域^[2]。

该技术的应用不仅直接提升了生产装备的灵活性和适应性，还显著缩短了制造周期，并通过提升产品质量和降低能耗促进了行业整体进步。一方面，为设备的智能升级和大型工业系统的集成提供了基础技术支撑；另一方面，加速了产业转型升级的步伐，为实现智能制造的目标奠定了坚实基础。在机械自动化领域，其积极意义和发展潜力不容忽视^[3]。

1.2 智能电驱动系统的核心概念与组成

智能电驱动系统是现代机械自动化领域的重要技术，其核心概念与组成决定了系统性能和应用效果。智能电驱动系统的核心概念基于电能的驱动和控制，通过融合先进的电力电子技术、控制算法和信息处理技术，实现机械设备的高效运行、精准控制及能耗优化。其主要组成包括电动机、电力电子变流器、控制器和传感器系统。电动机负责将电能转化为机械能，是系统的动力输出核心；电力电子变流器作为电能调节的关键设备，可根据运行工况动态优化电能供给与转换；控制器搭载智能算法和实时控制逻辑，对整个系统的运行状态进行精准调节；传感器系统通过实时采集设备运行数据，提供状态监测、故障预警及性能优化的基础支持。这些模块互相协作，使智能电驱动系统具备强大的实时感知能力和自适应控制能力，为机械自动化设备的灵活性提升、运行效率优化以及智能化发展提供技术保障，体现出广泛的应用潜力和发展价值。

1.3 在机械自动化领域的应用现状与前景

智能电驱动系统在机械自动化领域的应用具有重要意义。当前，随着工业技术的迅速发展，智能电驱动系统广泛应用于工业机器人、数控机床、自动化生产线等领域，展现出卓越的控制性能和运行效率。在工业机器人中，其高精度的位置和速度控制能力显著提升了生产作业的灵活性和可靠性；在自动化设备中，其实时监控与动态调节特性有效降低了设备故障率并延长了使用寿命。未来，随着人工智能、大数据、物联网等技术的融合发展，智能电驱动系统将在自感知、自适应、自优化等方面得到进一步的提升，助推产业向智能化、绿色化方向变革，为实现高度柔性化和高效协同的智能制造提供技术支持^[4]。该技术的持续创新将进一步拓宽其在机械自动化领域中的应用深度与广度，推动传统制造业向智能制造升级。

2 智能电驱动系统在机械自动化应用中的关键问题

2.1 复杂工况下的高精度控制与动态响应挑战

复杂工况下的高精度控制与动态响应能力是智能电驱动系统在机械自动化应用中实现高效运行的关键。实际应用中，这一领域面临诸多挑战。高精度控制要求系统能够在复杂工况下维持精确的电机转速与运动轨迹，然而由于机械设备运行环境复杂多变，如温度、振动及外部负载波动等因素，传统驱动技术难以达到精确响应。动态响应能力是评价智能电驱动系统性能的重要指标，它直接关系到设备对突发工况的实时适应力以及生产过程的稳定性^[5]。实践中，外界环境变化和系统参数波动可能导致实时控制算法失效或响应迟滞，继而降低机械的运行质量和效率。

复杂工况下的系统控制还受到软硬件技术瓶颈的限制。高精度伺服控制系统需要依赖先进的高速处理器和计算算法，但部分机械自动化设备的硬件资源有限，致使智能控制策略的实施存在困难。数据传输中的干扰和延迟问题也对动态响应提出了更高要求，尤其是在需要实时调整驱动性能以保证生产连续性的场景中^[6]。针对这一问题，在智能电驱动系统中，为兼顾精度和响应速度的要求，亟需开发适应复杂工况的优化控制算法和先进传感技术，以提升系统控制的鲁棒性和适应性，为机械自动化的高度智能化提供坚实保障。

2.2 系统状态感知薄弱与智能维护能力缺失

系统状态感知能力薄弱与智能维护能力缺失是智能电驱动系统在机械自动化领域应用中亟待解决的关键问题。传统电驱动系统由于传感技术和信息处理能

力的限制，难以实现对运行状态的全面感知，导致系统在突发故障时无法及时响应。这种状况不仅增加了设备的非计划停机时间，也对生产效率和产品质量产生了不良影响。现有系统难以通过分析历史运行数据和实时状态信息预测潜在故障，使得维护过程更多依赖于固定维修周期和人为经验，难以满足现代制造业对可靠性和维护效率的高要求。

缺乏智能感知的核心原因在于传感器部署的局限性及数据采集和处理能力的不足。传感器的种类、精度和可靠性直接决定了状态信息的完整性。传统数据处理方式无法快速提取高价值信息，导致系统难以应对复杂动态环境中的状态变化。这些问题阻碍了系统健康状态的实时监控和精确诊断。

提升系统状态感知能力与智能维护水平，需要优化感知硬件配置与信息处理算法。通过构建高分辨率传感网络及整合机器学习等智能算法，可实现状态信息的深度挖掘^[7]。这为智能电驱动系统的健康管理自主维护提供重要技术基础，推动机械自动化的智能化进程。

2.3 能效管理粗放与系统集成度不高

能效管理粗放与系统集成度不高已成为智能电驱动系统在机械自动化应用中亟待解决的关键问题。传统策略缺乏针对性，导致能耗不合理和设备运行效率低下，系统内各组件间的协同能力不足，阻碍整体性能的提升。在机械自动化场景中，优化能效管理与提高系统集成度对于提升工作效率、降低运行成本及实现资源高效利用具有重要意义。这要求应用更加智能化的技术手段，实现能量流的高效调度与系统内的动态协调，为机械自动化领域创造更高价值^[8]。

3 面向关键问题的智能电驱动系统应用策略

3.1 面向高精度与动态性能提升的智能控制策略

为实现智能电驱动系统在复杂机械自动化场景中的高精度与动态性能提升，智能控制策略成为关键技术方向之一^[9]。高精度与动态性能的要求直接关联于驱动系统的实时响应能力、控制算法的先进性及硬件的兼容性。智能控制策略通过引入先进的算法，如模糊控制、神经网络以及强化学习等方法，能够动态适配复杂且多变的工况^[10]。通过细颗粒度的信号采集与处理技术，该策略实现了实时工况感知，确保动态响应的连续性与准确性。模型预测控制（MPC）技术被广泛应用于智能电驱动系统，能够在短周期内针对复杂任务给出优化的控制方案，从而降低因传统控制误差导致的设备运行偏差。

针对机械自动化场景中的高精度需求,智能控制策略将传感器网络与驱动硬件深度集成,通过优化控制器设计,减少外界扰动对系统运行的干扰。在动态性能提升方面,智能控制着眼于动态特性与控制目标的耦合,通过主动设定负载动态变化条件下的平稳调整参数,实现运行稳定性和控制精度的协同优化。这些策略不仅显著提升了智能电驱动系统的控制质量,亦推动了机械自动化对复杂任务的智能适应能力,赋能制造业的智能化转型升级。

3.2 构建状态全面感知与预测性维护体系

构建状态全面感知与预测性维护体系是智能电驱动系统实现高效运行与可靠维护的关键途径。状态全面感知作为基础环节,依托传感器技术、数据采集系统以及信息融合算法对设备运行状态进行实时监测与准确分析,涵盖参数如电压、电流、温度、振动等,用以全面反映系统运行状态及潜在故障点。高精度的状态监测为预测性维护提供可靠数据支持,通过结合大数据分析、机器学习模型以及故障诊断算法,建立科学的故障预测机制,提前识别异常并采取针对性措施,以最大程度降低设备意外停机的风险。

基于系统联动性与复杂性,智能维护体系可进一步应用数字孪生技术,将物理设备与虚拟模型紧密结合,实现设备状态的全天候跟踪与深度分析。维护策略还需集成自动化调节模块,提高故障处理效率与维护精度。通过优化状态感知与维护机制,智能电驱动系统能够显著提升机械自动化设备的可靠性与稳定性,从而保障生产流程的连续性与设备生命周期的充分利用。该体系建设有助于打造稳定、高效的机械自动化整体生态。

参考文献:

- [1] 杜鹏.智能化技术在机械工程自动化中的应用研究[J].中国设备工程,2021,(21):32-34.
- [2] 范泽民.智能自动化技术在机械设计中的应用研究[J].安防科技,2021,(16):58-58.
- [3] 王泽桐.智能控制策略在机械自动化系统中的应用研究[J].造纸装备及材料,2023,52(09):50-52.
- [4] 向晔.信息自动化在智能机械制造中的应用研究[J].科学与信息化,2023,(20):56-58.
- [5] 陈新伟.智能自动化技术在机械设计制造中的应用研究[J].中国高新科技,2021,(18):60-61.
- [6] 王欢.自动化控制在智能仓储系统中的应用研究[J].电子乐园,2021,(05):0260-0260.
- [7] 孙建宇.机械自动化在机械制造中的应用研究[J].湖北农机化,2021,(04):49-50.
- [8] 冯浩.矿山智能化技术在机械工程自动化中的应用研究[J].世界有色金属,2022,(09):16-18.
- [9] 郑金娣.检测技术在机械自动化制造系统中的应用研究[J].科学与信息化,2022,(13):61-63.
- [10] 王鹏飞.智能技术在电气系统自动化中的应用研究[J].建材与装饰,2021,17(16):232-233.

3.3 实现能效优化与柔性系统集成

实现智能电驱动系统的能效优化与柔性系统集成是提高机械自动化性能的关键方向。能效优化需要通过先进的电力电子技术和控制算法,调整电驱动系统运行参数,以降低能源消耗和实现绿色生产。柔性系统集成要求打破单一功能模块限制,将传感、控制和执行融为一体,增强系统的协作性与适应性。通过引入自适应负载调节和动态资源配置机制,智能电驱动系统能够根据实时工况优化运行状态,减少能源浪费。且柔性集成在实现设备的模块化设计和可重组性方面,有效支持多种工艺需求,提升系统灵活性和综合生产效率。这种技术突破为机械自动化的发展注入了新动能。

4 结语

本文对智能电驱动系统在机械自动化中的应用展开系统研究,通过理论结合实际案例,揭示其在提升装备灵活性、控制精度和运行效率上的显著作用。该系统能实时采集数据并反馈控制,具备故障自诊断和能耗自适应优化功能,可推动生产流程自动化与装备智能升级,支撑制造业转型升级和智能制造体系构建。不过,现阶段其在复杂工况自适应、跨系统兼容及高端传感数据处理等方面有局限,面向特定场景的定制化集成、可靠性增强及与大数据、人工智能融合等问题待深入研究,系统建设与维护管理成本也是推广的现实课题。未来研究可聚焦其与工业互联网、边缘计算等新兴技术融合,强化机器自主决策与动态优化能力,推进标准体系建设,提升通用性与互操作性,引领机械自动化更高水平智能转型。