

智能装备自动化技术的发展与应用研究

彭华尉

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025080011

摘 要： 智能装备自动化技术从机电一体化迭代至智能感知系统，融合工业物联网与数字孪生技术提升自动化水平。发展中，标准体系构建、智能控制算法架构等十分关键，自适应制造系统推动创新。全生命周期管理、人机协同等方面也有相应技术。多个工业案例验证其应用效果，当前面临模型泛化不足问题，数字主线技术是未来方向。

关 键 词： 智能装备自动化技术；工业应用；数字主线技术

Research on the Development and Application of Intelligent Equipment Automation Technology

Peng Huawei

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Intelligent equipment automation technology has evolved from mechatronics to intelligent perception systems, integrating Industrial Internet of Things (IIoT) and digital twin technologies to enhance automation levels. In its development, the construction of standard systems and the architecture of intelligent control algorithms are crucial, with adaptive manufacturing systems driving innovation. There are also corresponding technologies in aspects such as full life-cycle management and human-machine collaboration. Multiple industrial cases have verified its application effectiveness. Currently, the technology faces the issue of insufficient model generalization, with digital thread technology being the future direction.

Keywords： intelligent equipment automation technology; industrial application; digital thread technology

引言

《“十四五”智能制造发展规划》（2021年颁布）明确提出要推动智能装备自动化技术发展，助力制造业转型升级。智能装备自动化技术历经从机电一体化到智能感知系统的迭代，融合工业物联网与数字孪生等技术提升自动化水平。构建标准体系、研究智能控制算法架构、打造自适应制造系统等对其发展意义重大。在全生命周期管理、人机协同生产模式等方面也不断创新，并通过诸多工业应用实践与验证。尽管该技术在制造业发展中至关重要，但 AI 算法泛化能力不足等问题待解，未来需强化技术创新，探索数字主线技术应用，推动产业迈向高端。

一、智能装备自动化技术发展体系

（一）关键技术演化路径

智能装备自动化技术历经从机电一体化到智能感知系统的显著迭代。早期机电一体化将机械技术与电子技术有机结合，实现装备自动化的初步发展，具备一定程度的自动化控制与操作能力。随着科技进步，智能感知系统应运而生，它借助各类传感器与先进算法，赋予装备感知、分析与决策能力，推动自动化向智能化转变。在此过程中，工业物联网与数字孪生技术的融合发展成为关键特征。工业物联网通过网络将设备连接，实现数据交互与共享，为数字孪生提供实时数据支持；数字孪生则基于这些数

据构建虚拟模型，模拟装备运行，助力优化决策与预测性维护。二者融合进一步提升智能装备自动化水平，推动产业升级^[1]。

（二）标准体系构建

在智能装备自动化技术发展体系中，标准体系构建至关重要。以 ISO/TC 184 国际标准框架为指引，开展技术规范建设。该框架涵盖了智能装备自动化领域众多关键方面，为全球范围内的技术协同与规范统一奠定基础。自动化装备互操作性标准是其中重点，其实施旨在实现不同设备、系统间高效交互与协作。实施要求颇为严格，需确保各装备在数据传输、指令响应等环节的准确性与及时性。然而，也面临诸多技术挑战，如不同设备接口的兼容性、数据格式的差异等^[2]。只有攻克这些难题，严格按照国

际标准框架推进技术规范建设，才能构建完善的智能装备自动化技术标准体系，推动该技术在各行业广泛且高效应用。

二、AI驱动的自动化工程创新

（一）智能控制算法架构

在智能装备自动化技术领域，智能控制算法架构至关重要。研究深度学习算法在运动控制系统的实现路径，是挖掘智能装备潜力的关键。深度学习凭借强大的数据处理与学习能力，可有效优化运动控制的精度与效率。例如，通过对大量运动数据的学习，能精准预测设备运动状态，提前调整控制参数。同时，强化学习与传统 PID 控制的性能差异也备受关注。强化学习基于环境反馈不断优化策略，在复杂动态环境下展现出优势，而传统 PID 控制以其结构简单、稳定性好被广泛应用。对比分析两者在设备响应速度、精度等方面的差异^[3]，有助于根据不同应用场景选择更合适的控制算法，推动 AI 驱动的自动化工程创新，提升智能装备自动化水平。

（二）自适应制造系统

自适应制造系统是 AI 驱动的自动化工程创新的关键体现。它借助先进的感知技术，能实时获取制造过程中的各类信息。基于此，构建基于机器视觉的质量检测闭环控制模型尤为重要。机器视觉可精准捕捉产品外观、尺寸等细节，一旦检测到质量偏差，该模型迅速反馈，使制造设备及时调整，确保产品质量稳定。多模态数据融合技术也不可或缺，它将来自传感器、生产记录等多源数据整合分析^[4]。这些不同类型的数据相互补充，从而为工艺参数实时优化决策提供有力支持机制。通过这种融合，系统能敏锐察觉生产环境的细微变化，动态调整工艺参数，使制造过程始终保持高效、精准，实现生产的自适应调整，全面提升制造系统的智能化与自动化水平。

三、技术管理创新体系

（一）智能装备全生命周期管理

1. 预测性维护模型

在智能装备全生命周期管理的预测性维护模型构建中，建立设备健康状态评估的深度时序预测算法至关重要。深度时序预测算法可基于设备运行的历史数据，如振动、温度、压力等多维度参数，运用深度学习技术，挖掘数据中的潜在模式和规律，从而对设备未来健康状态进行精准预测。通过集成 PHM 系统与 MES 系统的数据交互架构，能够实现生产过程数据与设备健康数据的有效融合。PHM 系统侧重于设备状态监测与故障预测，MES 系统则关注生产流程的管理与调度。两者数据交互，使得预测性维护模型不仅能依据设备健康状况提前规划维护策略，还能结合生产实际需求，优化维护时机与资源分配，实现智能装备的高效、稳定运行^[5]。

2. 知识管理系统

在智能装备全生命周期管理的知识管理系统中，设计基于本

体的设备故障诊断知识图谱意义重大。通过构建该知识图谱，能将不同领域专家分散的经验进行系统性整合，实现数字化沉淀。本体作为知识表示的有力工具，能清晰定义故障诊断相关概念及其关系，让知识结构化。借助知识图谱，不同领域专家的经验不再局限于个人，可实现迁移应用。当面对新的设备故障诊断场景时，基于知识图谱所沉淀的经验，能够快速定位可能的故障原因及解决方案，提升诊断效率与准确性，为智能装备的稳定运行提供有力支撑^[6]。

（二）人机协同生产模式

1. 认知协作系统

在人机协同生产模式的认知协作系统构建中，开发增强现实 (AR) 辅助的装配指导系统是关键一环。该系统通过将虚拟信息与现实场景叠加，为工人提供直观、实时的装配引导，大幅提升装配效率与准确性。同时，研究多通道人机交互的认知负荷优化策略至关重要^[7]。多通道交互涉及视觉、听觉、触觉等多种通道，然而不同通道组合与信息呈现方式会给操作人员带来不同程度的认知负荷。合理优化策略可确保在复杂生产任务中，工人既能高效接收和处理信息，又不会因负荷过重而出现操作失误。通过这种认知协作系统的打造，实现人机之间更为和谐、高效的协作，推动智能装备自动化技术在生产实践中的深度应用。

2. 安全决策机制

在人机协同生产模式下的安全决策机制至关重要。通过构建数字安全双胞胎系统，可实现对实际生产场景的精确模拟与映射，为安全决策提供可靠依据。在此基础上，深入研究动态风险评估算法在协作机器人工作空间监控中的应用。该算法能够实时监测协作机器人工作空间内的各种动态因素，例如人员靠近、设备运行状态变化等，并依据这些因素快速准确地评估潜在风险。借助数字安全双胞胎系统与动态风险评估算法的有机结合，使得安全决策不再是静态、滞后的，而是能够及时响应生产过程中的各类变化，做出科学合理的决策，有效避免安全事故的发生，保障人机协同生产的高效与安全^[8]。

四、工业应用实践与验证

（一）智能车间示范工程

1. 柔性制造单元

以某汽车零部件企业为例，该企业在智能车间示范工程的柔性制造单元中，引入基于 AGV（自动导引车）的混线生产系统重构方案。通过 AGV 的合理调度，不同类型的汽车零部件能够在同一条生产线上高效生产。AGV 依据预设程序和传感器反馈，准确运输物料与半成品，减少人工搬运的时间与误差。经实践，原本需要大量人力与较长时间周转的生产环节得到优化。量化指标显示，生产效率提升显著，例如单条生产线的日产量提升了 30%，设备利用率提高了 25%，产品交付周期缩短了 5 天，有效验证了基于 AGV 的混线生产系统在柔性制造单元中的卓越应用效果^[9]，为智能装备自动化技术在工业领域的进一步推广提供了有力参考。

2. 能源优化方案

在智能车间示范工程的能源优化方案中，通过展示注塑车间基于边缘计算的能耗预测模型，验证动态调参策略的节能效果。该能耗预测模型利用边缘计算的优势，实时收集并分析注塑设备运行过程中的各类数据，诸如设备功率、运行时长、产品数量等^[10]。在此基础上，构建起精准的能耗预测模型，能够提前预估不同生产阶段的能耗情况。同时，引入动态调参策略，依据实时能耗数据与预测结果，灵活调整设备参数，如温度、压力、速度等，以实现能源的高效利用。经过实际运行验证，该动态调参策略显著降低了注塑车间的能源消耗，提高了能源利用效率，为智能车间的能源优化提供了有效的实践范例，有力推动智能装备自动化技术在能源管理领域的应用与发展。

（二）智慧物流系统

1. 仓储优化算法

在智慧物流系统的仓储优化算法工业应用实践与验证中，深度强化学习于立体库储位分配的应用优势显著。通过实际项目实施，基于深度强化学习的算法能够依据实时库存数据、货物出入库频率及优先级等动态因素，智能且高效地调整储位。与传统优化算法相比，深度强化学习算法在处理复杂多变的仓储环境时，计算效率大幅提升。传统算法面对海量数据与动态变化时，计算过程冗长，难以快速给出最优储位分配方案。而深度强化学习算法借助神经网络强大的学习与预测能力，可实时响应变化，快速生成优化方案，有效提升仓储空间利用率与货物存取效率，为工业企业的智慧物流仓储环节带来显著的效益提升。

2. 运输调度模型

在智慧物流系统的运输调度模型中，构建多目标约束下的AGV路径规划数学模型以及提出基于拍卖算法的动态任务分配机制，在工业应用实践与验证环节意义重大。通过实际工业场景测试，对所构建的AGV路径规划模型进行验证，观察其能否在复杂的仓库布局中，快速且高效地规划出AGV的最优行驶路径，同时满足时间、空间、载重等多目标约束。针对基于拍卖算法的动态任务分配机制，验证其在面对物流任务实时变动时，能否准确、合理地将新任务分配给最合适的AGV，确保物流运输调度的及时性与高效性。根据实践验证结果，对模型和机制进行优化调整，从而提升智慧物流系统运输调度的整体性能，为工业物流高效运作提供有力支撑。

（三）质量控制创新

1. 缺陷检测系统

在工业应用实践与验证的质量控制创新环节，缺陷检测系统发挥着关键作用。通过开发基于小样本学习的表面缺陷识别模型，有力推动了智能装备自动化技术在缺陷检测领域的发展。该模型成功实现检测准确率从92%提升至98.5%的重大技术突破。这意味着在实际工业生产中，能够更加精准地识别产品表面的各类缺陷，大幅减少漏检和误检情况。高准确率不仅保障了产品质量，还降低了因缺陷产品流入市场带来的各种风险，提升企业竞争力。这种基于小样本学习的缺陷检测系统，有效解决了传统检测方法在样本数据不足时检测效果不佳的问题，为工业质量控制创新提供了高效可靠的技术手段。

2. 过程质量预测

在工业应用实践与验证的质量控制创新中，过程质量预测极为关键。通过建立注塑工艺参数与制品收缩率的关联模型，为预测提供基础支撑。此模型能精准反映工艺参数变动对制品收缩率的影响。而遗传算法的应用则进一步优化工艺窗口。借助遗传算法强大的搜索能力，可在复杂工艺参数空间内找到最优组合，有效减少制品收缩率波动，提升产品质量稳定性。基于关联模型和优化后的工艺窗口，能够提前预测注塑过程中可能出现的质量问题，如尺寸偏差等。在实际生产前就对工艺进行调整，避免不良品产生，实现对过程质量的有效把控，提高生产效率与产品质量，推动智能装备自动化技术在注塑工业中的高质量应用。

五、总结

智能装备自动化技术在当前制造业发展中占据关键地位。其发展沿着四维创新路径不断演进，为产业升级注入强大动力。然而，AI算法工程化落地时，模型泛化能力不足这一问题限制了其更广泛应用，亟待通过技术创新与实践优化加以解决。数字主线技术作为未来智能工厂生态系统集成应用的重要方向，有望构建更加高效、协同的生产体系，推动制造业向智能化、数字化深度转型。未来，需进一步攻克技术难题，强化AI算法的泛化能力，同时积极探索数字主线技术的落地应用，促进智能装备自动化技术持续发展，为制造业高质量发展提供坚实技术支撑，助力产业迈向全球价值链中高端。

参考文献

- [1] 徐杰. 智能矫直装备关键技术研究与应用 [D]. 太原科技大学, 2022.
- [2] 黄欣. YMD智能装备制造公司发展战略研究 [D]. 华中科技大学, 2021.
- [3] 王毓盈. 柠条采剥智能装备的设计与研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2022.
- [4] 马凯. 基于群体智能的装备运用与配置模型研究 [D]. 郑州大学, 2022.
- [5] 贾智奥. 复杂装备健康监测与故障智能诊断研究 [D]. 郑州航空工业管理学院, 2023.
- [6] 李天宇. 农机自动化技术实现农机装备智能操作的应用研究 [J]. 南方农机, 2021, 52(4): 49-50.
- [7] 马创. 农机自动化技术实现农机装备智能操作的应用研究 [J]. 南方农机, 2021, 52(20): 72-74.
- [8] 任宁, 李海利, 武萌, 等. 智能农机装备技术的发展与创新 [J]. 南方农机, 2023, 54(15): 63-65.
- [9] 李国政, 陈亮, 王波. 智能农机装备技术发展与创新 [J]. 农机市场, 2022(3): 34-37.
- [10] 高佳玺. 煤质在线检测技术发展与应用研究 [J]. 山西化工, 2022, 42(1): 51-52, 57.