

# 机械设计制造及其自动化中人工智能驱动的工艺参数优化研究

刘旭东<sup>1</sup> 李春鹏<sup>2</sup> 喻亮<sup>3</sup>

1 辽宁一视智造科技有限公司, 辽宁 朝阳 122000

2 安达北大荒米高农业科技有限公司, 黑龙江 绥化 151400

3 天津卓越天成科技发展有限公司, 天津 301600

**摘要:**随着智能制造与人工智能技术的快速发展,机械设计制造及其自动化领域迎来了深刻变革。传统工艺参数确定过程存在依赖经验、调整周期长、效率低等问题,已无法满足现代制造对高精度、高效率、低成本的需求。本文系统分析了人工智能在工艺参数优化中的应用现状,探讨了典型算法与优化路径,总结了智能优化在实际制造流程中的成效与挑战,并提出未来的发展方向。旨在为推进机械制造智能化、精细化提供理论支持与实践指导。

**关键词:** 机械设计制造; 工艺参数优化; 人工智能; 智能制造; 自动化控制

## 引言

机械设计制造及其自动化作为现代工业基础支撑,承担着提高效率、降低能耗、保障质量的重要使命。传统工艺参数优化依赖经验与试错,难以应对复杂工况与高端制造需求,效率低、成本高。人工智能技术,尤其是机器学习、深度学习和智能优化算法,凭借强大的数据处理与预测能力,为工艺参数优化提供了新思路。通过建立数据驱动模型,挖掘工艺参数与加工质量、能耗、成本之间的复杂关系,人工智能实现了工艺推演与最优参数动态优化。本文将系统探讨其技术机理、应用模式与未来发展趋势,推动制造业迈向智能化、精细化。

## 1 传统工艺参数优化的局限性与发展需求

### 1.1 传统经验法优化的不足与挑战

在传统机械制造流程中,工艺参数如切削速度、进给量、刀具路径和冷却方式的确定,主要依赖工程师经验和标准工艺手册指导。虽

然这种方法在标准化生产阶段具有一定适用性,但随着制造对象复杂性增加和定制化需求提升,传统经验法逐渐显现出局限。首先,人工经验很难精准覆盖复杂零件加工中的多变量耦合关系,导致工艺参数设置往往难以达到最优状态。其次,试验验证周期长,资源浪费严重,加工稳定性和一致性难以保证,特别是在高端装备制造、航空航天、精密仪器等领域,传统工艺优化方法已无法满足对高精度和高效率的双重要求。

此外,传统方法在应对环境变化、设备状态波动及材料性能波动时响应能力不足,需要频繁人为干预调整,缺乏自主学习与动态适应能力。随着制造系统复杂性和柔性化程度提高,传统以单一工序优化为主的方法难以应对多工序、多目标综合优化的需求,制约了整体制造水平的提升。正因如此,机械设计制造领域迫切需要一种能够自动学习、快速推理、持续优化的智能化工艺参数优化手段,以支撑复杂制造系统的高质量发展。

### 1.2 面向智能制造的工艺优化新需求

在智能制造背景下,机械制造过程对工艺参数优化提出了更高要求。一方面,制造系统希望实现柔性化、自适应调整工艺,以应对小批量、多品种生产模式下频繁切换的需求。工艺参数不仅要在初始设置时最优,还需能在加工过程中实时根据环境变化、自身状态调整优化,确保加工质量与能耗成本始终处于最优状态。另一方面,随着物联网、大数据、人工智能技术的融合发展,制造现场产生的实时数据量急剧增加,传统经验法已无法有效利用这些数据资源,亟需通过智能算法提取有价值信息,指导工艺优化决策<sup>[1]</sup>。

此外,智能制造强调制造全生命周期的协同优化,从工艺规划、过程监控到后期质量评估,都需要工艺参数作为核心控制变量进行系统性管理。工艺参数不仅影响单次加工效果,还关联设备磨损、能效消耗、环境排放等多重目标,需要在多指标、多约束条件下综合优化。面对这些新挑战,人工智能驱动的工艺参数优化方法因其自学习、自适应与预测优化能力,成为破解制造智能化转型瓶颈的关键技术路径,也是机械制造行业实现高质量发展的重要支撑。

## 2 人工智能在工艺参数优化中的应用模式

### 2.1 机器学习方法在参数优化中的典型应用

机器学习作为人工智能的重要分支,在机械制造工艺参数优化中展现出强大能力。通过监督学习、无监督学习与强化学习等模式,机器学习可以基于历史加工数据训练预测模型,建立工艺参数与加工质量、加工效率之间的映射关系。常用的回归算法如支持向量机(SVM)、决策树、随机森林等,可以精准预测在不同参数组合下的加工结果,为参数优化提供科学依据。特别是在多变量复杂耦合、非线性强的制造场景中,机器学习模型能够捕捉传统方法难以描述的隐性关系,实现更高水平的工艺决策

支持。

以切削过程为例,基于加工表面粗糙度、刀具磨损、能耗等历史数据,构建多目标优化模型,通过机器学习自动寻找切削速度、进给量与切削深度的最优组合,大幅减少试验成本和时间消耗。此外,结合特征工程与模型集成技术,可以进一步提升预测精度与模型泛化能力,使优化结果在实际制造环境中具有更强的适应性和可靠性。这种数据驱动的优化方式,突破了传统经验法的局限,为工艺优化智能化奠定了基础<sup>[2]</sup>。

### 2.2 深度学习与智能优化算法的结合应用

深度学习以其强大的特征自动提取与高维数据建模能力,在工艺参数优化中也得到广泛应用。卷积神经网络(CNN)、递归神经网络(RNN)、自编码器(AE)等深度学习模型能够从复杂加工数据中自动挖掘高阶特征,提升工艺参数预测与优化的精度。特别是在高维输入、样本量大且噪声多的实际制造数据场景下,深度学习展现出优异的学习与推理能力,能够辅助实现更加精准和动态的工艺控制。

与此同时,遗传算法(GA)、粒子群优化(PSO)、蚁群算法(ACO)等智能优化算法常与深度学习结合使用,通过智能搜索与自适应调整实现最优工艺参数的快速寻优。深度学习提供复杂系统建模与预测支持,优化算法则用于高效探索参数空间、规避局部最优陷阱,两者协同形成了端到端的智能优化框架。未来,随着强化学习、元学习等新兴技术在制造领域的深入应用,工艺参数优化将进一步向着自主决策、实时优化与自适应演进,推动机械制造向智能化、柔性化新阶段迈进<sup>[3]</sup>。

## 3 人工智能驱动的工艺参数优化关键技术分析

### 3.1 数据采集与特征工程的重要性

在人工智能驱动的工艺参数优化过程中,

高质量的数据采集与合理的特征工程是模型效果的基础保障。制造过程中的原始数据来源广泛，包括机床控制参数、传感器监测数据、产品质量检测数据以及环境因素记录等，这些数据不仅量大，而且格式复杂、噪声多。因此，如何构建标准化、完整性强的数据采集体系，确保数据准确、实时、可溯源，是成功应用人工智能优化技术的首要前提<sup>[4]</sup>。

特征工程作为连接原始数据与学习模型的桥梁，决定了模型对工艺过程的理解能力。通过特征选择、特征提取与特征降维等方法，可以从复杂、多维的数据中提炼出与工艺参数变化密切相关的关键变量，剔除冗余信息，降低数据维度，提升模型训练效率与预测精度。例如，在切削工艺优化中，表面粗糙度变化可能不仅与进给速度有关，还与机床振动频率、刀具温度等隐含特征密切相关。系统化的特征工程处理，有助于揭示这些深层关系，为后续智能优化打下坚实基础。

### 3.2 建模方法与优化策略的协同设计

在数据准备充分的基础上，合理选择建模方法与优化策略，是实现高效工艺参数优化的关键环节。针对不同制造工艺与优化目标，需灵活选用回归分析、分类预测、多目标优化等不同建模路径，确保模型能够准确描述工艺参数与性能指标之间的复杂非线性关系。单一模型往往存在局限性，因此在实际应用中，集成学习（如随机森林、梯度提升树）与混合建模（如物理模型+数据驱动模型）逐渐成为主流趋势，兼顾了模型的准确性与泛化能力。

在优化策略方面，需要结合问题特点合理设计搜索算法与评价机制。例如，对于单一目标（如最小化表面粗糙度），可采用遗传算法或粒子群优化算法进行全局搜索；对于多目标优化（如同时优化质量与成本），可引入 Pareto 优化理论，寻找最优折衷解。动态优化与在线学习机制也越来越受到重视，即模型能在制造过程中根据实时反馈调整工艺参数，不断自我

优化。这种建模与优化策略协同演进的设计思路，显著提升了人工智能在复杂制造环境中应用的可靠性与实效性<sup>[5]</sup>。

## 4 人工智能工艺参数优化在机械制造中的应用实践

### 4.1 典型制造场景中的应用案例分析

在实际机械制造过程中，人工智能驱动的工艺参数优化已经在多个典型场景中得到成功应用。以数控机床加工为例，通过收集大量加工过程数据，如主轴转速、切削力、刀具磨损状态与工件表面质量，利用机器学习模型进行分析与预测，可以在初期设定最优工艺参数，确保加工过程中表面粗糙度、尺寸精度和能耗达到最优平衡。某些高端制造企业通过部署智能优化系统，实现了切削效率提升 15%、废品率下降 20% 的显著效果，大幅降低了试切成本和生产周期。

在增材制造（3D 打印）领域，工艺参数如激光功率、扫描速度、层厚度直接决定成形质量与力学性能。传统方法需大量试验寻找合适参数，而基于深度学习的工艺参数优化系统，可以快速预测成形缺陷风险，推荐最优成形路径，实现打印过程的自适应调整与优化。尤其在航空航天零件、复杂结构组件制造中，人工智能优化显著提高了成形精度与材料利用率，推动增材制造工艺从实验室走向批量生产。

### 4.2 制造系统智能化转型中的作用与挑战

人工智能在工艺参数优化中的应用，成为制造系统智能化转型的重要推动力量。通过将智能优化系统嵌入 CNC 机床、机器人控制系统与 MES（制造执行系统）平台，制造企业能够实现从工艺规划、过程监控到质量追溯的全链条智能优化，极大提升了生产线的自主决策能力与动态响应速度。这种转型不仅提高了制造过程的柔性和稳定性，也为企业在复杂市场环境

境下保持竞争力提供了坚实保障。

但在实际应用过程中，仍面临诸多挑战。首先，数据孤岛现象普遍存在，不同设备、工序之间数据标准不统一，限制了智能系统的整体优化能力。其次，智能优化系统的部署与维护成本较高，对中小制造企业形成一定门槛。此外，部分智能模型在极端工况、异常状态下稳定性不足，容易引发误判或决策失误。为此，未来需加强标准化建设、数据互联互通，提升模型鲁棒性与可解释性，同时降低系统部署与应用门槛，推动人工智能在机械制造行业更广泛深入地应用。

## 5 人工智能驱动工艺参数优化的未来发展趋势与对策

### 5.1 面向实时优化与自主决策系统的演进

未来，工艺参数优化将不仅仅停留在离线建模与初步参数推荐阶段，而是朝着实时优化与自主决策系统方向加速演进。通过集成传感器网络、边缘计算与智能控制技术，制造系统能够实时采集加工过程中的状态数据，如振动、温度、切削力变化等，结合人工智能模型即时分析，并动态调整工艺参数，以适应材料性能变化、设备老化及环境波动等不确定因素。实现从“预设参数”到“动态自适应”的转变，将大大提升加工过程的稳定性、产品一致性与资源利用效率。

在自主决策方面，基于强化学习、元学习等先进技术的工艺优化系统正逐步成型。此类系统能够通过不断自我试错、环境反馈与经验积累，实现对新材料、新工艺环境下的快速适应与最优参数学习。随着智能制造体系不断完善，未来车间级、工厂级甚至跨工厂的工艺参数智能协同优化也将成为可能，推动制造系统向更加智能化、弹性化、自组织化方向发展，

进一步释放制造业的创新潜能与竞争优势。

### 5.2 多目标协同优化与绿色制造的融合趋势

随着可持续发展理念深入人心，未来工艺参数优化不仅要追求加工质量与效率最大化，还必须兼顾能耗控制、碳排放降低与资源高效利用，实现多目标协同优化。人工智能技术能够同时建模和优化多个互相制约的指标，通过智能决策寻找最优平衡点。例如，在切削过程中，同时最小化加工时间、表面粗糙度与能耗，通过构建多目标优化框架，指导制造过程向绿色、高效、低碳方向发展。

此外，绿色制造需求推动工艺参数优化系统融入全生命周期管理理念，从设计阶段就考虑能效指标与环境影响，并在加工、检测、维修等各环节持续优化工艺参数。结合大数据分析 with 生命周期评价（LCA）模型，人工智能可以实现制造过程环境影响的动态评估与实时调整，助力制造企业实现双碳目标。未来，随着政策引导与市场需求变化，基于人工智能的绿色工艺参数优化技术将成为机械制造可持续转型的关键引擎，推动行业迈向更加智能、绿色和高质量发展的新阶段。

## 结论

人工智能在机械设计制造及其自动化中工艺参数优化的应用，有效提升了制造精度、效率与柔性水平。通过机器学习、深度学习与智能优化算法，实现了工艺决策的智能化、动态化与绿色化。尽管仍存在数据处理、系统稳定性与部署成本等挑战，未来随着实时优化、多目标协同与绿色制造理念融合，人工智能驱动的工艺参数优化将在制造业转型升级中发挥更大作用，助力行业迈向智能高效与可持续发展新阶段。

### 参考文献

- [1] 冯梦龙, 林路, 史亚彤, 等. 铁水预脱磷技术及其自动化模型研究进展[J/OL]. 中国冶金, 1-15[2025-04-28].
- [2] 彭飞, 张彦彬, 崔歆, 等. 基于磨削机理的表面形貌和粗糙度预测模型研究进展[J/OL]. 机械工程学报, 1-33[2025-04-28].
- [3] 马玉山, 史彦军, 宁诗铎, 等. 离散制造系统生产异常管控决策研究进展[J]. 中国科学: 技术科学, 2025, 55(03): 397-422.
- [4] 宋美琪, 陈富坤, 刘晓晶. 面向核反应堆数字孪生的数据融合方法综述[J]. 核动力工程, 2025, 46(02): 14-37.
- [5] 李仲仁, 民用建筑外墙外保温系统检验标准. 青海省, 青海省建筑建材科学研究院有限责任公司, 2018-07-30.