

智能制造背景下装备加工工艺优化研究

芦学成

天津滨海概念人力信息科技有限公司, 天津 300457

DOI:10.61369/ME.2026050008

摘 要 : 装备制造以及智能制造技术紧密地结合在一起, 传统工艺主要是依靠人工经验来开展。这种模式没办法满足当代生产方面的多个要求, 也就是精度、效率、能源消耗以及生产灵活性, 工艺设计得以固化, 资源管理效率处于偏低状态, 同时存在参数匹配方面的不足以及管控滞后等现实困境。基于智能制造的现实基础, 开展装备加工领域突破生产瓶颈的探讨工作, 引入数字孪生技术以及数据驱动方法, 并且结合智能算法体系前沿技术把多维度体系引入到装备加工工艺的整个过程当中。装备工艺规划借助这个体系来开展优化工作, 加工参数也会跟着进行调整。工序流程在这个体系的操控之下变得更加有序, 质量控制以及能耗管控也凭借前沿技术来得以精准地实施。

关 键 词 : 智能制造; 装备加工; 工艺优化; 数字孪生; 数据驱动; 精益生产

Research on Optimization of Equipment Processing Technology in the Context of Intelligent Manufacturing

Lu Xuecheng

Tianjin Binhai Concept Human Resources Information Technology Co., Ltd., Tianjin 300457

Abstract : The equipment manufacturing industry is closely integrated with intelligent manufacturing technology, while traditional processes primarily rely on manual experience. This approach fails to meet multiple contemporary production requirements, including precision, efficiency, energy consumption, and production flexibility. Process design becomes rigid, resource management efficiency remains low, and there are practical challenges such as inadequate parameter matching and delayed control. Building on the foundation of intelligent manufacturing, this study explores ways to break through production bottlenecks in equipment processing. It introduces digital twin technology and data-driven methods, and integrates cutting-edge intelligent algorithm systems to apply a multidimensional framework throughout the entire equipment processing technology process. With this system, equipment process planning is optimized, and processing parameters are adjusted accordingly. The process flow becomes more orderly under the system's control, and quality control and energy consumption management are precisely implemented through advanced technologies.

Keywords : intelligent manufacturing; equipment processing; process optimization; digital twin; data-driven; lean production

引言

装备制造业是国民经济的支柱产业, 它承担着高端制造以及智能制造的基础性工作, 它的工艺水平直接关系到产品质量、生产效率以及行业竞争力, 全球制造业不知不觉进入了数字、智能以及绿色相互交织的新纪元, 智能技术深入地对传统装备加工模式以及它的底层逻辑进行了重构, 这对于工艺稳定性, 在当下的产业环境当中, 生产灵活性、资源利用效率以及环保制造水平都会面临着更为严格的挑战。工艺方案的制定在极大程度上倚靠资深技师所积累的经验, 国内多数装备制造企业在过去很长时间内都沿用了传统工艺设计模式。工艺参数以及生产流程通常要经过多次试错之后才能得以最终确定, 这样就使得工艺标准化程度处于比较低的水平工序冗余、参数适配性差、过程监控缺失等问题。复杂精密装备以及定制化装备的生产环节当中, 传统工艺模式经常会面临加工精度波动、生产周期拖沓、能源消耗偏大以及质量稳定性欠佳等挑战。这些问题显著地阻碍了智能制造生产线的顺利开展以及精细化推进。

一、智能制造下装备加工工艺发展现状与核心问题

（一）行业发展现状

在智能制造模式当中，装备加工的生产过程呈现出了数字化以及柔性化的发展趋势，工业生产当中，各类新工具，比如网络化机器、感知器件以及模拟系统等，马上就可以开展信息的记录和处理工作，能够实时采集并监测加工过程中的关键参数，如温度、压力、速度、振动等，为控制系统提供数据输入。^[1]进而改变以往封闭的运行方式。国内顶尖的设备制造厂家正在朝着工艺设计数字化的方向开展演变工作，同时也在同步推行加工环节的实时监控，像质量信息可追溯这类基础智能应用也已经得以铺开，这样就告别了过去完全依靠人工操作来开展的生产方式。对工艺优化的探讨正从单一参数的精细调整开展扩展工作，扩展到对多个目标间协同作用进行全面审视，这样就使得对加工精度、生产效率、能耗成本以及环境效益等多重指标开展均衡考量工作成为可能，精益化与智能化的优化理念越来越多地渗透到实践当中。智能化算法的运用以及仿真模拟技术在工艺方案的迭代当中扮演着关键角色，极大程度上提高了工艺设计方面的科学性以及合理性，进而为装备加工工艺的升级提供了坚实的技术支撑。智能控制系统由触摸屏、PLC及控制箱构成监控系统。^[2]

（二）现存核心问题

在这个工艺设计当中，经验总结以及规范制定方面是存在不足的，工艺设计流程在普遍情况下依靠个体经验，还需要建立起系统化的数字知识体系。操作人员所产生的方案有显著分歧，工序安排以及加工路线的选择带有主观倾向，工艺规范存在参差不齐、多种多样的情况，在标准化产线当中，智能化流程要契合起来会比较困难。在进行工艺规划的时候，在复杂的装备零件加工过程当中，资源浪费以及工期延误通常是由试错型方法引发的。工艺参数的配比出现不当情况，系统开展动态适应工作的能力不足，传统工艺方面，参数设定通常是依靠固定阈值来开展的，这些阈值是鉴于日常生产条件预先设定而成的，传统生产模式把预设参数当作参数来使用，不适宜柔性加工场景的变化。设备振动会随之增强，刀头会加速消耗，部件尺寸会出现波动。这样成品不合格现象就会频发。三是工序流程冗余、协同效率偏低，旧式生产流程的环节非常繁杂，由于反复进行定位以及开展不必要的工序，使得各个环节之间的衔接不顺畅，从而降低了设备以及物料的流转效率。工艺规划、设备运转、质量检验以及管控这些方面的环节出现了脱节的状况，这就使得调整动作开展得慢于产线状态的转变，最终造成全流程的节奏变得无序。加工过程的监管方面存在了延迟的现象，质量控制的完整循环还没有得以建立，传统工艺所采用的事后检测以及问题整改模式，容易致使监管出现迟滞情况。全流程实时监测体系还没有完善，异常预判以及动态调控功能存在缺失。微小变量，像加工温度、设备振动以及刀具磨损这些，经常会被忽视；质量控制方面大多是在后

端来开展实施工作，工艺优化存在着迟滞性。真正的前置管控以及循环优化目前还难以得以实现。

二、智能制造背景下装备加工工艺优化核心技术体系

（一）数据采集与大数据分析技术

一体化数控系统是为了解决传统云架构数控系统在云端数据传输实时性不高的问题，难以满足设备在加工控制的相关需求和智能化需求。^[3]数据是智能制造工艺优化的核心基础，传感器被安装在关键点位上，来开展采集设备运行过程当中实时信息的工作，加工条件所囊括的方面有工序参数的设置、装置运转读数、部件品质记录、能源消耗统计以及周边信息的采集等。搭建起统一的工艺信息库，开展多类异质资料的提纯、排序、整合以及归档工作，去除不合规记录、填补空白信息，进而形成有序且可察的工艺资料集合，通过大数据分析来开展挖掘工艺参数同加工精度、生产效率以及能耗损耗之间的内在联系的工作。这种分析能够为工艺方案优化以及参数动态调整提供数据支持。这种途径让工艺设计不再全部依靠人工经验。在数字化环境下，数字量信息伴随着原材料流动、设备运转和制造活动成为产品制造过程中产生、处理、存储和使用的关键资源之一。^[4]

（二）数字孪生仿真优化技术

借助数字孪生，来开展装备制造的虚实映射的建构工作。这个模型会把车间状态、工艺路线以及环境因子纳入到仿真当中。这样，整个加工链就都进入了虚拟空间，工艺方案可以在虚拟孪生环境当中预先开展模拟验证工作，涵盖了工序排布、路径优化以及参数调校等方面。在实体设备处于闲置状态的时候，潜在的缺陷与风险就能提前得以识别。

（三）智能算法多目标优化技术

针对装备加工方面多目标优化的需求，开展优化模型构建工作需要智能算法给予支持。像遗传算法、强化学习以及粒子群算法都被选用进来，来实现达到最高加工精度以及最优生产效率的目标对加工能耗以及设备损耗开展优化工作，可借助设定工艺参数边界来实现。针对关键变量，像切削速率、进给量化、切削深度以及加工温度，进行全面调优，从而聚焦于实现核心目标。智能算法能够带来多参数协同优化的效果，从而适宜各类工况。这些方法可以去筛选高效工艺，以此来满足不同工件的加工需求，传统方案当中，参数是恒定不变的，这就阻碍了进行广泛适配，这样的局限马上需要得以突破。

（四）全流程闭环智能管控技术

智能制造管控体系开展监测、预警、调控、追溯以及迭代等工作，来实现流程闭环。这个体系凭借平台开展动态运作，持续进行工艺的完善，开展采集加工过程数据的工作，把这些数据和最优阈值进行比对，能够自动预警加工偏差、设备异常、能耗超标等方面的问题，并且联动控制系统来实现工艺参数补偿以及工

序调整。每件产品从生产直至检验，把独一无二标识当作串联数据的工具来使用，这样能让工序改进更聚焦于问题的本质，使生产过程能够持续地开展精炼深化工作。利用先进的计算机控制系统，实现机械加工工具的精确操作；利用新型传感器技术、智能元器件集成、自动传导输送和数学模型集成管理等技术，实现物流系统 和信息集成的管理和控制。^[5]

三、智能制造下装备加工工艺优化实施策略

（一）标准化工艺体系构建

凭借海量数据分析得出的成果，开展企业内部成熟工艺资源的聚合作，把行业技术规范以及智能制造需求进行融合，来构建系统化、组件化的机械加工工艺知识体系，鉴于设备样式、原料特性、作业精度、运作场景等方面，把行之有效的加工手段、理想参数配置、工序编排准则开展系统化的归整工作，这样来实现工艺方式的数字化存档这个技术方案马上就得以启用，并且还智慧地开展了调配工作。预处理环节的作用在于通过建立数据空间的规范映射关系，提升数据的 物理表征一致性、信息密度和可分析性。^[6]

（二）关键工艺参数动态优化

鉴于算法智能化的应用以及数据的马上监测，工艺参数可以得以实现动态适应性的优化，这样就突破了传统加工模式当中参数固定的局限，在核心装备加工工序当中，把关系到加工质量以及效率的诸多关键参数识别了出来。以解决企业生产管理和经营管理的实际问题为出发点，实现关键轧制设备、控制技术的升级、突破；随着企业的战略演进、管理理念和生产组织模式的不断优化^[7]针对这些参数，构建了能够开展动态优化的对应模型。依赖运行数据以及刀具磨损、温湿度和工件加工状态等方面的信息，来动态地开展切削参数、转速以及冷却设置的变更工作。

（三）工序流程精简与协同优化

鉴于价值流图的整体思路来开展对常规装备生产工序的梳理工作，能够揭示生产过程当中各类冗余环节以及潜在阻塞问题，同时配合智能化产线规划可以实现整体流程的优化，借助把流程简化以及重新开展工作步骤的组织。在分项工程大面积施工前，先样板施工，待样板检查验收后再按照样板要求展开大范围作业。^[8]加工环节当中的冗余操作被开展了整合工作，无效步骤被进行了剔除；工序之间的衔接顺序得到了调整，工件的流转路径也就跟着缩短了；设备的闲置时间以及工序的等候时段同时减少了。

（四）质量与能耗双控闭环优化

在质量提升以及成本节约这双重任务当中，开展构筑闭环优化框架的工作是非常重要的，凭借在线监测技术来开展加工过程当中微小偏差的实时捕捉以及动态补偿工作，使得质量管控从事后整改向过程预防的前移得以实现，极大程度上降低了次品率。

自动化数控机床技术特点是自动化程度高、加工精度高、加工质量稳定可靠、生产效率高，可以改善劳动条件，减少人工作业，利于生产管理。^[9]开展了工艺能耗的测算模型的建立工作，优化方面涉及到加工时序、设备启停逻辑以及切削参数。这样的过程把无效能耗以及设备自身损耗进行了缩减，最终让加工精度、生产效率以及绿色能耗得以实现协同优化。这一创新省去了传统设备中所需的蒸汽喷射泵和间接蒸汽加热装置，大大减少了蒸汽用量，从而降低了企业的生产成本。^[10]

四、工程实例验证与结果分析

（一）实例概况

聚焦开展传动机构壳体加工工作，这个工作的关键部件有着复杂的构型以及高规格的精确需求。鉴于原有制造流程存在多步骤循环的情况，出品质量的一致性难以得到保障生产过程所耗费的时间久，并且会消耗大量的能源，这是工业界所面临的突出难点。企业原来的工艺是依据固定参数以及人工经验来开展制定工作的，生产过程管控相对较弱，这就致使产品首次合格率只有92.3%，单批次生产所耗时间为12.5小时，设备综合使用率达78.2%，综合生产能力还有待于提高。借助智能生产制造技术体系，来开展对该工件加工流程的全面革新优化工作。

（二）优化实施过程

部署多种类型的智能传感器，来开展搭建工件加工数据采集系统的工作，从而采集加工全流程的数据，这样构建出专属工艺数据库。该数据库得以实现工艺参数以及加工质量之间的关联分析能耗的关联规律。借助数字孪生架构，来构建加工过程的仿真框架。得以实现工序序列的重组、加工轨迹的调优以及工艺设计的模拟预演，去处理削减三条不必要工序环节的工作，并且改进了工序间的衔接逻辑。

（三）优化结果分析

优化完成后，对工件加工核心指标进行对比检测，优化效果显著，具体指标对比见表1。

评价指标	优化前	优化后	优化提升效果
产品一次合格率	92.3%	98.6%	提升6.3%
单批次生产周期	12.5h	9.2h	缩短26.4%
设备综合利用率	78.2%	91.5%	提升13.3%
单位产品能耗	18.6kW · h	14.2kW · h	降低23.7%

工艺优化方案的实际数据显示，它有针对性地去处理了原有加工方式的关键问题，开展工艺流程的重构工作、进行智能参数的校准工作以及对加工环节开展精简与封闭管理工作，带来了品质、产出效能以及设备运转率的协同改善，使得生产耗能显著下降，智能制造技术在开展装备工艺的优化方面，已经显现出它的应用价值，能够为各类精密加工的情境提供可推广的实践方案。

五、结束语

鉴于装备制造过程当中的工艺智能化改进还处于持续不断演进的状态,可以考虑从多个方面来推动后续工作的开展,科技创新把自动化以及智能化工艺优化推向了新高度,借助机器学习以及人工智能来构建一体化系统,得以实现工艺方案的自主设计、

智能决策和迭代;高端制造方面开展零件多态加工工作,定制化智能工艺可以适配像航空、精密模具这类复杂的应用场景;向绿色智能工艺这个方面开展多维深化推进工作,把碳排放、刀具磨损、制造成本等系列综合指标进行整合,搭建了一项融合多方位的绿色智能工艺模型,这样对于装备制造领域发展高品质进程会起到促进作用可持续发展。

参考文献

- [1] 郑楠. 基于深度生成模型的智能装备加工过程异常检测方法研究 [D]. 合肥工业大学, 2024. DOI: 10.27101/d.cnki.ghfgu.2024.000791.
- [2] 葛存峰, 刘凯, 刘佳勇, 等. 关于粮油加工智能装备控制系统的实现 [J]. 粮食与食品工业, 2015, 22(5): 89-92.
- [3] 邢彩虹. 面向云制造的智能加工单元一体化数控系统架构及关键技术研究 [D]. 四川大学, 2023. DOI: 10.27342/d.cnki.gscedu.2023.000712.
- [4] 王焱, 王湘念. 智能制造的基础、组成及发展途径 [J]. 航空制造技术, 2015, (13): 32-37. DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2015.13.032.
- [5] 曹宏. 智能装备制造, 制造智能装备 [J]. 电气时代, 2019, (5): 36-38.
- [6] 刘海波, 邓平, 迟庆宇, 等. 智能加工中数据使能技术与应用 [J]. 机械工程学报, 2026, 62(2): 407-444.
- [7] 有色金属行业智能加工工厂建设指南 (试行) [N]. 中国有色金属报, 2020-05-09(005). DOI: 10.38265/n.cnki.nysjs.2020.000193.
- [8] 天津发文鼓励积极选用建筑机器人及智能装备加速推动智能建造技术应用 [J]. 工程质量, 2025, 43(10): 24.
- [9] 黄燊, 沈益国, 李坦. 全流程模板智能加工技术研究和应用 [J]. 福建建设科技, 2024, (4): 89-92.
- [10] 袁媛. 应用油脂加工智能装备创新技术推动油料加工实现提质降耗 [J]. 中国粮食经济, 2025, (10): 25-27.