

机械加工数控技术精度提升的创新策略研究

杜少昊 李鑫 张锋 吴锦涛 姜豪

摘要: 本文围绕机械加工数控技术精度提升问题,深入剖析影响数控加工精度的机械系统、控制系统、工艺参数及环境干扰等误差源,从硬件、软件与算法、工艺优化、智能化控制四个层面提出创新策略,旨在为提升我国数控加工精度、推动制造业高质量发展提供理论支持与实践参考。

关键词: 机械加工; 数控技术; 加工精度; 创新策略

引言

在制造业迈向高端化、智能化、绿色化的进程中,机械加工数控技术作为核心支撑,其加工精度直接决定着产品的质量、性能与可靠性。高精度数控加工不仅能满足航空航天、精密仪器、汽车制造等高端领域对零部件的严苛要求,更是提升国家制造业整体竞争力、实现产业升级的关键所在。然而,当前我国数控加工精度与发达国家相比仍存在一定差距,制约了高端制造业的发展。因此,深入探究数控加工精度的影响因素,并提出切实可行的创新策略,具有重要的现实意义。

一、数控加工精度影响因素分析

(一) 机械系统误差源

机械系统误差源是影响数控加工精度的关键因素。机床制造精度和结构设计直接关乎加工精度,即便采用高精度滚珠丝杠、精密导轨等部件提升静态与动态稳定性,导轨的不均匀磨损和安装质量问题仍会引发导轨误差,改变机床运动和定位基准,致使工件加工尺寸偏差。车床系统刚度不足时,切削力波动会造成尺寸误差,系

统刚度耦合不佳会使切削力变化直接影响加工精度。刀具磨损也是重要误差源,长时间使用后切削刃磨损,会改变加工尺寸。此外,设备本身的波动、稳定性问题以及机床结构不足等会导致设备误差,而材料的密度、弹性模量、变形模量等因素也会对加工精度产生影响。

(二) 控制系统误差源

控制系统误差源是影响数控加工精度的重要方面。执行器的执行误差源于传动装置的摩擦、机械杂质、电力波动等,这些因素会使输出的力、位移或流量与控制要求出现偏差,影响加工的精确性。控制器采用数字计算方法实现控制算法,然而计算机性能和精度的限制会导致计算误差,使得对机床运动的控制不够精准。传感器作为感知被控对象状态的关键组件,其测量精度直接影响控制系统准确性,传感器本身特性及外部环境干扰会造成输出数据误差,像温度传感器受温度波动、噪声影响,测量结果会偏离实际值。机电控制系统中,元件不完善,如静摩擦、间隙、放大器零点漂移、元件老化变质等会造成静差。控制系统的稳态误差还源于部分组件的非线性特性,如齿轮间隙、电机输入电压低于阈值不动作等,这些误差源综合作用,对数控加工精度产生复杂而深刻的影响。

(三) 工艺参数误差源

工艺参数误差源在数控加工精度的影响因素中占据重要地位。切削速度、进给量和切削深度等工艺参数的选择,直接关联着加工精度。当切削速度过高时,刀具会因与工件的剧烈摩擦而快速升温,加剧刀具的磨损,使刀具的切削刃形状发生改变,进而影响工件的加工尺寸精度;若进给量过大,会导致切削力增大,引起工件和刀具的振动,不仅会使工件表面粗糙度增加,还可能造成加工尺寸的偏差;而切削深度选择不当,过大会使

作者简介:

1. 杜少昊(1991.03——)男,汉族,本科学历,高级工,主要从事机械加工相关工作。
2. 李鑫(1992.08——)女,汉族,本科学历,高级工,主要从事机械检验方面的研究工作。
3. 张锋(1992.04——)男,汉族,本科学历,高级工,主要从事机械加工相关工作。
4. 吴锦涛(1998.10——)男,汉族,本科学历,高级工,主要从事机械加工相关工作。
5. 姜豪(1991.02——)男,汉族,本科学历,高级工,主要从事机械装配相关工作。

切削力急剧上升，对机床和刀具造成较大的负荷，影响加工精度，过小则会降低加工效率，并且可能无法达到预期的加工质量。

工件的装夹方式和定位精度同样是关键因素。装夹不牢固时，在切削力的作用下，工件会发生位移，导致加工位置出现偏差，使得加工尺寸与设计要求不符。定位不准确，会使工件在机床上的位置与理论位置存在差异，进而影响加工精度，可能出现形状误差、位置误差等问题。此外，刀具的几何参数、冷却液的使用等工艺参数也会对加工精度产生影响。刀具的前角、后角等几何参数不合适，会影响切削性能，产生加工误差；冷却液的流量、压力不足或冷却液质量不佳，不能有效降低切削温度和减少刀具磨损，也会对加工精度造成不利影响。

（四）环境干扰因素

环境干扰因素复杂多样，对数控加工精度影响显著。温度是高精度加工需重视的关键环境因素，加工中机床和工件产热升温会引发热变形，导致加工尺寸变化。湿度也不容忽视，较高湿度会使机床电气元件受潮，影响其正常工作，进而干扰加工精度。振动同样会对加工精度造成不利影响，外界振动传递到机床，会干扰其正常运动，破坏加工的稳定性和准确性。

从生态环境角度看，干扰可分为物理、化学和生物干扰。物理干扰如森林退化致局部气候变化、土地覆被减少引发土壤侵蚀和沙漠化；化学干扰包括土地、水体和大气污染产生的酸雨等；生物干扰主要是病虫害爆发和外来种入侵造成的生态失衡。在数控加工环境里，这些干扰虽表现形式不同，但都会不同程度地影响加工精度，需采取相应措施加以应对和控制。

二、数控技术精度提升的创新策略

（一）硬件层面创新

硬件层面创新是提升数控技术精度的关键。从部件角度看，高精度部件的采用至关重要。先进的高精度滚珠丝杠能更精确地传递运动，减少传动误差，精密导轨可保证机床运动的直线度和垂直度，提高定位精度，从而降低机械系统误差对加工精度的影响。

在机床结构设计上，优化设计可提高整体刚度。合理的结构能有效减少切削力波动对加工精度的干扰，增强机床的抗振性能，比如采用箱形结构或加强筋等方式，让机床在加工过程中更为稳定。

刀具材料的创新也不容忽视。新型刀具材料和涂层技术的发展为提高精度带来可能。硬质合金、陶瓷刀具

以及多层涂层技术的应用，可延长刀具寿命，减少刀具磨损引起的加工误差。高性能刀具能在高切削速度下保持良好的切削性能，虽然成本有所增加，但长远来看，刀具寿命提升和加工质量保证能带来经济效益。

此外，随着硬件技术的进步，边缘计算设备小型化和集成化趋势明显，智能硬件朝着轻量化、嵌入式方向发展，专用AI处理器在功耗和成本控制方面取得进展，这些都为数控技术硬件层面创新提供了新的思路 and 方向，有助于进一步提升数控加工精度。



图1 数控机床常用刀片

（二）软件与算法层面创新

软件与算法层面创新是提升数控技术精度的核心驱动力。在算法理论方面，深度强化学习、模型强化学习和无模型强化学习等理论不断完善，为解决复杂决策问题提供新思路，如在数控加工路径规划中，可借助这些理论实现更优路径选择，提高加工效率和精度。

算法优化技术也发挥着重要作用。贝叶斯优化、进化算法和梯度强化学习等优化技术的应用，有效提升了强化学习算法的收敛速度和稳定性，使数控系统能更快地响应指令，降低能耗。

在软件模拟加法器领域，RAG-N算法通过减少加法器数量优化滤波器结构，在多级滤波器结构中优化操作，减少硬件资源消耗，提升信号处理速度和整体性能。同时，通过算法优化实现精确度与效率的平衡，如使用更高效算法、减少不必要计算或采用特定数据结构存储中间结果。

对于数控技术而言，智能化加工算法可实现更复杂加工工艺，提高加工质量；优化算法能提高数控系统响应速度和加工精度；大数据分析则可对机床运行数据进行分析，预测故障，实现预防性维护，降低生产成本。

（三）工艺优化策略

工艺优化策略是提升数控加工精度的重要途径。在工艺参数方面，要对温度、压力、时间、浓度等进行系统分析，通过实验和数据分析确定最佳参数范围，也可应用响应面法等统计方法研究多个工艺参数的交互影响，结合人工智能算法对工艺参数进行预测和优化，提高智能化水平。调整反应条件、配料比例和选择合适催化剂，能提高反应速率、产品质量和选择性，降低能耗。

设备优化也不容忽视，改进设备设计、优化操作规程可提高设备利用率，加强维护保养降低设备故障率，及时淘汰落后设备、引进先进设备可提高生产效率。

材料优化可选用优质原材料确保产品质量，通过改变材料结构提高性能，合理选用材料降低成本。

环境优化方面，采用节能设备、优化操作工艺节能减排，加强废弃物回收利用可实现资源化处理，采用环保材料、优化生产流程可实现绿色生产。

还可利用物联网技术实现生产设备和工艺参数的实时监测与远程控制，通过人工智能算法智能调整工艺参数，优化生产流程，提高生产效率和企业竞争力。

（四）智能化控制策略

智能化控制策略在提升数控加工精度方面发挥着关键作用，按照控制策略可分为自适应控制、模糊控制、神经网络控制等。自适应控制能根据系统动态调整控制参数，采用自适应律调整控制器参数，实现自学习和自调整，提高控制系统对环境变化的适应能力，不过对系统模型要求较高，实际应用需大量数据支持^[1]。

模糊控制运用模糊逻辑处理不确定性和非线性问题，适用于复杂加工系统，通过模糊规则库和隶属度函数实现控制，具有较好鲁棒性，但对专家经验依赖高，规则

调整和优化困难。

神经网络控制利用神经网络强大的非线性映射能力，通过训练学习自动提取特征并优化控制策略，可实现复杂控制任务，不过训练过程复杂，需大量数据和时间，泛化能力受限于训练数据。预测控制基于系统未来状态预测，提前规划控制动作，采用优化算法如LQR实现控制参数最优调整，但对模型精度要求高，计算量大，实时性受影响。

混合控制结合多种控制策略优点，根据不同工况选择合适策略提高系统综合性能，但需要复杂的控制器设计和参数优化，实现难度较大。基于大数据的控制策略利用大数据分析技术挖掘系统运行数据规律和模式，通过数据驱动实现自适应和智能化控制。

结论

机械加工数控技术精度的提升是一项系统工程，受多方面因素制约。机械系统误差、控制系统误差、工艺参数误差和环境干扰等因素相互交织，影响着加工精度。为提升精度，需从硬件、软件与算法、工艺优化和智能化控制等层面采取创新策略。硬件上采用高精度部件、优化结构和引入新型刀具；软件与算法方面优化控制算法、引入数字孪生等技术；工艺上合理选参数、优化装夹和引入复合工艺；智能化控制则通过实时监测、预测维护和人工智能辅助加工实现。随着科技发展，数控技术精度提升空间广阔。持续研究创新这些策略，能满足高端制造需求，推动机械加工行业向高质量、高精度方向发展，提升企业竞争力和行业整体水平。

参考文献

- [1] 张晓磊.机械数控加工技术水平提升的策略分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2023.
- [2] 李花.机械数控加工技术应用现状及提升策略[J].造纸装备及材料, 2023, 52(1): 123-125.
- [3] 张剑利.数控机床机械加工率提升策略研究[J].中国机械, 2023(12).
- [4] 李厚信.数控技术在现代机械加工中的应用探讨[J].区域治理, 2024(27): 0229-0231.
- [5] 俞圣江.数控仿真系统在机械加工误差虚拟测量中的应用[J].2025.