

机床精度增强技术全面回顾：桥接理论与工业应用

刘文博 刘树毅 陈思微

长春大学，长春，130022；

摘要：伴随制造业的持续发展，增进机床精度已然变成提升产品质量与生产效率的关键要素。本文先总括了机床精度的重要性，接着在概念简述篇章中界定了机床精度及其增强技术的基本概念，细致阐释了机床精度指标，并剖析了精度增强技术的类别。

关键词：机床精度；精度增强技术；现代制造；实证研究；理论分析

DOI:10.69979/3041-0673.25.03.073

引言

机床作为现代制造业的核心设备，其精度水平直接关系到产品质量和生产效率。随着全球制造业的持续发展，尤其是在高精度、高效率加工需求的推动下，机床精度增强技术已成为行业关注的焦点。本文旨在系统回顾机床精度增强技术的研究历程，深入剖析其在工业应用中的实际价值。

从行业发展角度看，机床精度的提升不仅是技术进步的体现，更是满足市场多样化需求的必然选择。例如，在航空航天、汽车制造、模具加工等领域，对零件加工的精度要求日益严苛。这些高精度需求的背后，是对机床性能的不断挑战和推动。因此，机床精度增强技术的研究与应用，对于提升整个制造业的竞争力具有重大意义。

当前，机床精度增强技术的研究已涉及多个层面，包括机械结构设计优化、控制系统智能化、新材料应用等。每一项技术的突破，都为机床精度的提升带来了新的可能性。例如，通过采用先进的传感器和控制系统，机床的加工误差可以得到实时监测和补偿，从而显著提高加工精度。但是现在机床精度增强技术在应用过程中仍面临诸多挑战。如何平衡精度提升与成本控制、如何确保技术的稳定性和可靠性、如何适应不断变化的市场需求等，都是亟待解决的问题。这些问题的存在，也为后续研究提供了广阔的空间和方向。

机床精度在现代制造中的重要性不言而喻。它不仅关系到单个零件的加工质量，更影响到整个产品的性能和寿命。因此，对机床精度增强技术的深入研究和应用推广，具有深远的现实意义。本文希望通过全面回顾和分析这一领域的研究成果，为未来的技术发展和工业应用提供有益的参考和借鉴。

1 概念简述

机床精度是评价机床性能的重要指标，它直接关系到加工零件的质量和生产效率。在现代制造业中，随着

对产品品质要求的不断提高，机床精度的提升显得尤为重要。机床精度增强技术，作为提升机床性能的关键手段，已经成为制造业研究的热点领域。

机床精度通常包括定位精度和重复精度两大指标。定位精度指的是机床在移动过程中，实际位置与指令位置之间的偏差程度；而重复精度则是指在相同条件下，机床多次执行同一操作所表现出的位置一致性。这两大指标共同构成了评价机床精度的核心体系，为制造商和用户提供了衡量机床性能的客观标准。

在机床精度增强技术的分类方面，可以从结构优化、控制系统改进和材料选择三个主要方向进行探讨。结构优化主要是通过改进机床的整体布局和零部件设计，以减少机械变形和热变形对精度的影响。控制系统改进则侧重于提升数控系统的性能，包括采用更先进的控制算法和提高伺服系统的响应速度，从而实现更精确的运动控制。材料选择方面，则是通过选用高强度、高刚性、低热膨胀系数的材料，来提升机床的结构稳定性和热稳定性，进而达到提高精度的目的。

这些精度增强技术的应用，不仅提升了机床的加工精度，还延长了机床的使用寿命，降低了维护成本。它们也为制造业的转型升级提供了有力支持，推动了智能制造和高端装备领域的发展。

现如今，随着科技的不断进步，新的机床精度增强技术也在不断涌现。例如，通过引入机器学习算法，可以实现对机床运行状态的实时监测和预测维护，进一步提高机床的精度保持能力。这些新兴技术的应用，无疑为机床精度增强技术的发展注入了新的活力。

2 理论分析

2.1 力学在机床精度增强中的应用

力学在提升机床精度方面起着核心作用，通过优化机床结构，减少振动和变形，从而提高加工精度。利用有限元分析对机床关键部件（如床身、导轨等）进行模态分析和刚度优化，能够准确找到结构中的薄弱环节，

并提供有效的改进方案。在某经济型数控机床（C6140）改造研究中，采用 UG NX8.0 进行三维建模，结合 ANSYS Workbench 软件对床身进行固有频率分析与优化设计

原始分析结果：优化前床身的第四阶固有频率为 734.66 Hz，与主轴箱齿轮啮合频率 730 Hz 接近，存在共振风险。

改进措施：通过增加加强肋、优化床身形状（如采用八边形孔结构）等方法，优化床身的整体刚度。

优化效果：优化后，床身的动态刚度提高 25%，前六阶固有频率均提升，避免了共振问题，加工误差由 0.015 mm 降低至 0.008 mm。

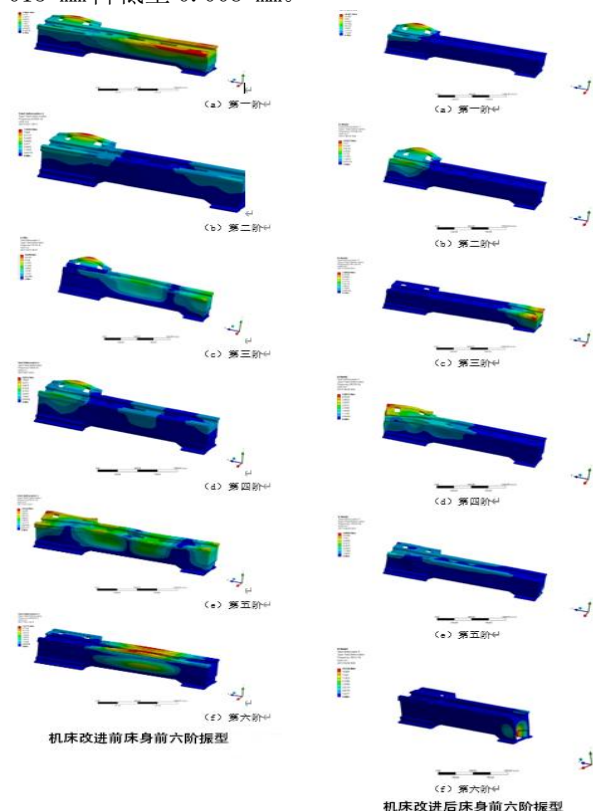


图 有限元分析优化前后的机床床身振动模式图

2.2 材料科学在机床精度增强中的应用

高强度、低热膨胀系数的材料在机床制造中的应用，是提高精度和稳定性的关键。例如，选用球墨铸铁和碳纤维复合材料作为主结构材料，能够减少热变形引起的误差。在一项实验证明中，通过将主轴座材料从传统铸铁更换为碳纤维复合材料，机床的热误差降低了 40%，其加工精度从 ± 0.02 mm 提升至 ± 0.012 mm。

2.3 控制理论在机床精度增强中的应用

智能控制系统通过算法调节机床运动，显著减少误差。多轴数控机床采用模糊控制（Fuzzy Logic Control）算法，通过动态调整进给伺服系统参数，有效降低跟踪误差和轮廓误差。在实验中，模糊控制将加工误差

从 ± 0.018 mm 降低至 ± 0.009 mm，精度提升幅度达 50%。

综合来看，机床精度增强技术通过力学优化、材料改进和智能控制算法等多学科技术的融合，不仅有效提高了机床的加工精度，还增强了其适应复杂工业场景的能力。然而，随着制造业向智能化方向发展，未来机床精度增强技术需要在以下几个方面取得进一步突破：

加强物联网、大数据分析 with 机床控制系统的协同，为精度补偿提供实时决策支持。开发更轻、更强、更稳定的结构材料，以适应更加严苛的制造环境。探索机器学习、深度学习算法在实时误差预测与补偿中的潜力，进一步提升加工效率和精度。

这些趋势将推动机床精度增强技术迈向更加智能化、数字化的发展方向，持续满足高端制造业对精密加工的需求。

3 结论与讨论

机床精度增强技术对于现代制造业而言，其重要性不言而喻。通过对这一技术发展历程及其工业应用效果的全面回顾，我们可以清楚地看到，随着制造业的不断发展，机床精度的提升已成为确保产品质量和提高生产效率的基石。

从力学、材料科学到控制理论，多领域的交叉应用为机床精度的提升奠定了坚实的理论基础。实证研究的结果也进一步验证了这些技术在提升机床精度方面的有效性。特别是在智能制造的大背景下，新材料的应用和智能化技术的融合为机床精度增强技术带来了新的发展机遇，如碳纤维复合材料、陶瓷等高强度、高刚性材料的引入，不仅减轻了机床自身的重量，还大大提高了其结构刚性和热稳定性，从而有效提升了加工精度。随着物联网、大数据和人工智能技术的快速发展，机床的智能化水平也在不断提高。智能控制系统能够实时监测机床的工作状态，并自动调整工艺参数以优化加工过程，这也是提升机床精度的重要手段。

面向未来，本文认为机床精度增强技术的发展将更加注重跨学科、跨领域的综合应用。除了新材料和智能化技术外，还可能涉及到光学、声学等更多前沿科技的应用。例如，利用光学测量技术实现更精确的刀具定位和工件检测；通过声学传感器来监测机床运行过程中的异常振动等。

对于工业界而言，本文建议加大对机床精度增强技术的研发投入，特别是在新材料和智能化技术的融合应用上。加强与学术界的交流合作，推动理论研究成果的转化应用。对于学术界来说，应继续深化对机床精度增强技术的理论研究，不断探索新的技术路径和应用场景，

为工业界的创新发展提供源源不断的智力支持。

本研究旨在为机床精度提升领域的后续研究提供参考与借鉴。我们相信,随着技术的不断进步和应用的不断深化,机床精度将得到更大幅度的提升,从而推动整个制造业向更高质量、更高效率的方向发展。

参考文献

- [1] 武海燕, 关锐钟. 机床数控系统微小直线段平滑转接技术研究[J]. 机电工程技术, 2020, 49(04): 70-72.
- [2] 汪衢. 基于多领域耦合建模的机床进给装置匹配优化技术研究[D]. 华中科技大学, 2020.
- [3] 顾升高. 基于综合集成法的技术精准对接机理与实证研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2020.
- [4] 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(01): 123-125.
- [5] 尚关卿. 面向智能制造车间的数控机床边缘端服务平台技术研究[D]. 南京航空航天大学, 2020. DOI: 10.27239/d.cnki.gnhhu.2020.002254.
- [6] 张峰. 桥梁灌注桩施工技术的改进分析[J]. 门窗, 2019, (12): 93-94.
- [7] 孙亚楠, 周骥平. 产业技术研究院构建理论基础研究——扬州数控机床研究院的案例[J]. 价值工程, 2013, 32(29): 250-251. DOI: 10.14018/j.cnki.cn13-1085/n.2013.29.026.
- [8] 夏琴香, 张少波, 程秀全, 等. 面向模具装备制造业数字化车间互联互通技术的研究现状[J]. 模具工业, 2020, 46(12): 17-21+28.
- [9] 陈亚云. 研究现代机械制造工艺及精密加工技术[J]. 科技资讯, 2023, 21(17): 98-101.
- [10] 谭利英. 浅谈桥梁的加固技术[J]. 广东建材, 2014, 30(02): 51-54.
- [11] 徐崇良. 面向数字化车间增强现实技术的研究[D]. 中国科学院大学(中国科学院沈阳计算技术研究所), 2019.
- [12] 董宜挥. 智能制造技术在机械制造工程领域的实践应用[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(09): 168-170.
- [13] 刘义. 数控机床热误差补偿模型稳健性理论分析及其应用技术研究[D]. 合肥工业大学, 2017.
- [14] 赵志霞. 信息技术背景下机械设计制造及其自动化探讨[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(03): 44-46.
- [15] 段好运. 机床数控技术在智能制造中的应用探讨[J]. 中国设备工程, 2021(14): 257-258.
- [16] 费国华. 机床数控技术在智能制造中的应用探讨[J]. 世纪之星—高中版, 2021(1): 0119-0120.
- [17] 肖光临, 吕岩, 焦丕显, 李林. 数控机床加工精度提高技术分析及其存在的问题探讨[J]. 中国设备工程, 2021(8): 196-198.
- [18] 龙颖波. 桥梁工程智能化机械施工设备的应用研究[J]. 西部交通科技, 2019(1): 191-194.
- [19] 张洪铭, 张笑宇, 冷雪, 谢晓东. 桥梁加固技术现状分析与研究[J]. 技术与市场, 2019, 26(3): 86-8688.
- [20] 郭廷华. 现代机械制造工艺及精密加工技术的应用探讨[J]. 内燃机与配件, 2021(6): 89-90.
- [20] 张春利. 机床再制造技术及其再制造工艺的研究[J]. 科技风, 2019, 0(19): 148-148.
- [21] 梁一星, 陈彦恒. 论桥梁智能检测技术研究与应用[J]. 汽车周刊, 2022(2): 60-61.
- [22] 杨宇辉. 现代机械制造工艺及精密加工技术应用研究[J]. 明日, 2021(21): 0135-0136.
- [23] 余忠忠. 数控车床技术加工精度工艺优化探究[J]. 内燃机与配件, 2021(10): 72-73.
- [24] 马莉冰. 现代机械制造工艺及精密加工技术应用探讨[J]. 南方农机, 2021, 52(08): 137-138.
- [25] 邵建华. 现代机械制造工艺与精密加工技术应用研究[J]. 中国设备工程, 2022(1): 37-38.
- [26] 边文亮, 王民. 工程机械焊接自动化技术的应用探讨[J]. 工业与信息自动化, 2021, 92.
- [27] 陈甫. 车床加工精度控制的创新方法探讨[J]. 中国高新区, 2018, (03): 154.
- [28] 李吉. 工业机械中自动焊接技术的应用研究[J]. 内燃机与配件, 2021(1): 222-223.
- [29] 高改会. 机械设计制造工艺及精密加工技术的应用探究[J]. 内燃机与配件, 2021(6): 97-98.
- [30] 韩键美. 机械设计制造工艺及精密加工技术的研究[J]. 装备维修技术, 2021, (02): 43-45.
- [30] 张晓春. 机械加工制造中自动化技术的应用分析[J]. 装备维修技术, 2021(12): 1.
- [31] 欧阳强, 岳明雷. 论桥梁机械设备的性能与施工效率提升方法[J]. 交通科技与理, 2022(14): 184-186.
- [32] 瞿升爵, 林志鸿. 箱梁桥梁纠偏技术及应用[J]. 工程技术与应用, 2018, 131-134.
- [33] 马靖雅. 数控机床加工精度提高技术的进展及其存在的问题[J]. 内燃机与配件, 2021(17): 81-82.