

机床制造中的精度控制技术研究

常 凯

宁夏小巨人机床有限公司 宁夏 银川 750001

摘要：机床作为现代制造业的核心设备，其加工精度直接决定了最终产品的质量和性能。误差是机床加工过程中不可避免的现象，但其大小与分布直接反映了机床的精度水平。本文将从机床加工中的误差表现与原因入手，深入探讨误差对加工精度的影响，并引出机床制造中的精度控制技术研究，以为提升机床加工精度提供理论依据和技术支持。

关键词：机床制造；误差；精度控制

引言

在机床加工过程中，由于机床、刀具、工件及环境等多种因素的影响，不可避免地会产生各种误差。这些误差不仅影响加工件的尺寸精度、形状精度和位置精度，还可能降低产品的整体性能和使用寿命。因此，深入研究机床加工中的误差表现与原因，并据此开展精度控制技术研究，对于提高机床加工精度具有重要意义。

1 机床制造中的误差表现与原因分析

1.1 误差表现

机床加工中的误差主要表现为尺寸误差、形状误差、位置误差和表面粗糙度误差等。尺寸误差是指加工件的实际尺寸与设计要求之间的差异；形状误差是指加工件的实际形状与理论形状之间的偏差；位置误差是指加工件上各特征位置与设计要求的偏差；表面粗糙度误差则是指加工表面的实际粗糙度与设计要求的差异。

1.2 误差原因

误差产生的原因多种多样，主要包括机床误差、刀具误差、夹具误差、工艺系统受力变形、工艺系统受热变形、调整误差和测量误差等。其中，机床误差是机床制造过程中由于设计、制造、安装和使用等因素引起的误差，包括主轴回转误差、导轨误差和传动链误差等；刀具误差则包括刀具的制造误差、安装误差和使用中的磨损等；夹具误差则主要源于定位基准不准确和定位副制造不准确等；工艺系统受力变形和受热变形则是由切削力、夹紧力、重力及温度变化等因素引起的；调整误差和测量误差则分别源于调整过程中的不精确性和测量过程中的误差^[1]。

2 机床制造中的精度控制技术研究

2.1 高精度元器件技术的应用

2.1.1 高精度滚珠丝杠技术

高精度滚珠丝杠技术作为现代机床制造中的核心组成部分，其在实现高精度运动控制方面发挥着不可替代的作用。近年来，随着制造业对加工精度要求的不断提升，高精度滚珠丝杠技术也取得了显著进展，其精度已突破至微米级乃至亚微米级，为机床的高精度加工奠定了坚实基础。高精度滚珠丝杠采用先进的制造工艺和材料，通过精密加工和热处理等过程，确保了丝杠的几何精度和表面质量。其内部滚珠与丝杠、螺母之间的滚动摩擦接触方式，相比传统滑动摩擦，大幅降低了摩擦阻力和磨损，提高了传动效率和运动精度。此外，高精度滚珠丝杠还具备高刚度、高负载能力和长寿命等特点，能够稳定承受机床加工过程中的各种力和力矩，确保加工过程的稳定性和可靠性。为了实现更高的精度，高精度滚珠丝杠在设计和制造过程中采用了多种先进技术。例如，通过优化滚珠丝杠的螺纹参数和滚珠排列方式，减少了轴向游差和回程差等误差源；采用先进的预紧力调整技术，确保了滚珠丝杠在运行过程中的稳定性和精度；集成智能监测与维护系统，实现对滚珠丝杠状态的实时监控和预测维护，进一步提高了机床的运行效率和可靠性。值得一提的是，随着智能制造和工业互联网的发展，高精度滚珠丝杠技术正逐步向智能化、网络化方向迈进。通过集成传感器、通信模块和智能算法，高精度滚珠丝杠能够实现远程监控、故障诊断和自适应控制等功能，为机床的智能化升级提供了有力支持。

2.1.2 高精度侧向导向技术

高精度侧向导向技术是机床制造中一项至关重要的技术，它通过加强轴承的强度和精度，显著提高了机床加工过程中行程的精度和稳定性。这一技术的出现，为高精度机床、特种机床以及高速铣床等领域的发展注入了新的活力。在传统的机床设计中，侧向导向通常依赖于滑动导轨或简单的滚动元件。然而，这些传统设计

往往难以满足现代加工对高精度和高稳定性的需求。为此,高精度侧向导技术应运而生,它采用了更为先进的设计理念和制造工艺,使得轴承在承受高负载的同时,仍能保持极高的运动精度。为了实现这一目标,高精度侧向导技术采用了多种创新手段。首先,在材料选择上,它采用了具有高刚性和耐磨性的特殊合金或陶瓷材料,以确保轴承在长时间运行下仍能保持稳定的性能。其次,在制造工艺上,它采用了精密加工和热处理技术,以消除材料内部的应力集中和微观缺陷,进一步提高轴承的精度和寿命^[2]。此外,高精度侧向导技术还注重轴承与导轨之间的配合关系。通过优化导轨的几何形状和表面粗糙度,以及采用先进的润滑技术,它实现了轴承与导轨之间的低摩擦、高稳定性运动。这不仅提高了机床的加工精度,还有效延长了机床的使用寿命。在高精度机床、特种机床以及高速铣床等领域,高精度侧向导技术的应用尤为广泛。它使得这些机床能够在高速、高负载的工况下仍能保持极高的加工精度和稳定性,从而满足了航空航天、汽车制造、精密仪器等领域对高精度加工部件的迫切需求。

2.1.3 高质量折射镜技术

高质量折射镜技术是机床制造领域中一项至关重要的技术创新。它采用顶级的光学材料和前沿的光学处理技术,显著提升了机床加工过程中的光学传输效率和精度,为实现高精度的光学加工开辟了新的途径。传统的折射镜在机床加工中往往面临光学传输效率低下和精度不足的问题。为了解决这些问题,高质量折射镜技术应运而生。它选用了具有高透光率、低散射和低吸收特性的光学材料,如优质玻璃或特殊光学晶体,以确保光线在传输过程中的损失最小化,并提高光学系统的整体效率。除了优质的材料选择,高质量折射镜技术还采用了先进的光学处理技术。这些技术包括精密的光学镀膜、高精度的镜面抛光以及先进的光学设计等。通过这些技术,折射镜的表面粗糙度和形状精度得到了显著提升,进一步提高了光学传输的精度和稳定性。高质量折射镜技术的应用为机床加工带来了显著的优势。首先,它提高了光学系统的传输效率,使得更多的光线能够准确地到达加工区域,从而提高了加工的精度和效率。其次,高质量折射镜的优异性能使得光学系统在面对高温、高湿等恶劣环境时仍能保持稳定的性能,从而增强了机床的加工稳定性和可靠性。

2.2 控制系统的新技术应用

2.2.1 智能控制技术

智能控制技术作为现代机床制造中的核心技术之

一,通过高度集成自适应控制、模糊控制、遗传算法等多种先进方法,实现了对机床加工过程的全面而精确的控制。这一技术不仅能够根据工件的材料特性、尺寸大小、形状复杂度以及加工表面的具体要求等因素,进行实时的加工参数调整,还能够通过自我学习和优化,逐步提高加工精度和稳定性,显著降低故障率。在智能控制技术的框架下,自适应控制能够根据加工过程中的实时反馈,动态调整控制策略,以确保加工精度的持续稳定。模糊控制则通过模拟人类专家的决策过程,处理加工中的不确定性和模糊性,进一步提高控制的鲁棒性。而遗传算法等优化方法的应用,则使得智能控制系统能够在不断的学习和进化中,找到最优的加工参数组合,实现加工效率和质量的双重提升^[3]。此外,智能控制技术还能够实现机床加工过程的远程监控和故障诊断,通过实时数据分析,提前预警潜在问题,减少因故障导致的生产中断。

2.2.2 数字化控制技术

数字化控制技术是现代机床制造中的一项关键技术,它以数字信号作为控制的基础,实现了对机床运动轴的高速、精确控制。这一技术通过高精度的数字信号传输和处理,确保了机床加工过程中的每一个动作都能够达到设计要求,从而显著提高了加工的精度和效率。数字化控制技术具备高精度的数据采集和处理功能,能够对加工过程中的各种参数进行实时监测和分析。通过高精度的传感器和编码器,该技术能够实时采集机床运动轴的位置、速度、加速度等关键数据,并进行快速、准确的处理。这使得机床加工过程中的任何微小变化都能够被及时捕捉和响应,从而确保了加工质量的稳定性和一致性。此外,数字化控制技术还能够实时监测机床的状态,包括温度、振动、噪音等,以确保机床运行的可靠性和稳定性。一旦发现任何异常或潜在故障,该技术能够立即发出警报并采取相应的措施,避免故障的发生,减少生产中断和损失。

2.2.3 云计算技术

云计算技术作为信息技术领域的革新,其在机床制造中的精度控制方面亦展现出巨大的潜力。该技术通过实时监测加工过程中的多项关键参数,如温度、压力、电流、转速等,实现了对机床状态的全面感知。借助云计算平台强大的数据处理能力,这些实时数据被迅速分析并转化为对机床运行的精确指导。云计算技术的应用,使得机床的远程监控和调控成为可能。无论机床位于何处,只要连接到互联网,相关人员即可通过云端平台实时查看机床的运行状态,及时发现并解决潜在问

题。这种远程监控能力不仅提高了机床的运行效率和稳定性，还显著降低了因故障导致的生产中断风险。同时，云计算技术为机床的远程维护和管理提供了极大便利。传统的机床维护需要专业人员亲临现场，而云计算技术使得维护人员可以通过云端平台远程访问机床数据，进行故障诊断和修复指导。这不仅节省了维护成本，还提高了维护效率。

2.3 传感器技术的应用

2.3.1 高精度光学测量技术

高精度光学测量技术是传感器技术在机床制造精度控制领域的一项重要应用。该技术利用先进的光学传感器，通过非接触的方式，对加工过程中的工件表面形状、尺寸、位置等关键参数进行高精度测量。光学传感器具有高精度、高灵敏度、高分辨率的特点，能够在微米甚至纳米级别上对工件进行精确测量。这使得机床加工过程中的任何微小变化都能够被及时捕捉和响应，从而确保了加工精度的稳定性和一致性。同时，非接触的测量方式也避免了传统接触式测量可能带来的工件损伤和测量误差。高精度光学测量技术的应用，显著提高了机床加工的精度和效率。它使得机床能够在更短的时间内完成更复杂、更精密的加工任务，为精密加工提供了有力的支持。此外，该技术还能够实时监测加工过程中的工件状态，及时发现并解决潜在问题，进一步提升了加工的可靠性和稳定性。

2.3.2 红外传感器技术

红外传感器技术在机床制造精度控制领域展现出独特的优势。该技术通过测量红外辐射强度，实现对机床加工过程中温度、电压、电流等关键参数的实时监测。红外传感器具有高精度、高灵敏度、非接触式测量等特点，能够在不影响机床正常运行的情况下，准确获取加工过程中的实时数据。在机床加工过程中，温度是一个至关重要的参数。过高的温度可能导致机床部件的热变形，进而影响加工精度。红外传感器技术能够实时监测机床各部件的温度变化，一旦发现温度异常，即可立即采取措施进行调整，从而有效避免热误差的产生^[4]。同时，红外传感器技术还能够监测机床的电压和电流变化。这些参数的变化可能反映机床的运行状态或潜在故障。通过

实时监测，红外传感器技术能够及时发现并解决潜在问题，确保机床的稳定运行，进一步提高加工精度。

2.3.3 超声波传感器技术

超声波传感器技术在机床制造精度控制中扮演着重要角色。该技术利用超声波的反射、散射、吸收等特性，实现了对加工质量的非接触式监测和控制。超声波传感器具有高灵敏度、高分辨率和强抗干扰能力，能够在复杂的加工环境中准确获取工件表面的信息。在机床加工过程中，超声波传感器发射超声波信号，信号在工件表面反射后被传感器接收。通过分析反射信号的时间、幅度和频率等特征，可以精确测量工件表面的形状、尺寸和位置等参数。这种非接触式测量方式避免了传统接触式测量可能带来的工件损伤和测量误差，提高了加工的精度和稳定性。此外，超声波传感器技术还能够实时监测加工过程中的质量变化。当工件表面出现裂纹、凹陷等缺陷时，超声波信号会发生相应的变化，传感器能够立即捕捉到这些变化并发出警报，以便及时采取措施进行调整和修复。

结语

机床加工中的误差表现与原因是多种多样的，但通过对这些误差进行深入分析和研究，并采取相应的精度控制技术措施，可以有效地提高机床加工精度。未来，随着智能制造技术的不断发展和应用，机床制造中的精度控制技术研究将朝着更高精度、更高效率、更强智能的方向发展。同时，机床制造企业应密切关注市场需求和技术发展趋势，不断加大研发投入和技术创新力度，以提升自身竞争力并实现可持续发展。

参考文献

- [1]戴明.大型数控机床再制造技术及精度分析[J].科学技术创新,2021,(30):57-59.
- [2]张鹏飞.数控机床精度检测与误差补偿技术研究[J].自动化应用,2024,65(09):184-189.
- [3]陈佩娜.数控机床定位精度监测及补偿方法的应用研究[J].中国金属通报,2023,(12):156-158.
- [4]陈静.数控机床加工精度异常诊断的处理与预防研讨[J].现代制造技术与装备,2023,59(11):151-153.