

数控加工技术在机械加工制造中的应用

陈科锋

西安皓森精铸股份有限公司 陕西 西安 710089

摘要：数控加工技术作为现代机械制造的核心，显著提升了加工精度与效率。在机械加工制造中，数控技术广泛应用于传统设备改造、复杂零件加工、自动化生产线集成及质量检测控制等环节。通过精确控制机床运动，实现高效、灵活、自动化的加工过程，降低了人力成本，提高了生产安全性。数控技术的不断创新与优化，正推动机械制造业向更高质量、更高效率的方向快速发展。

关键词：数控加工技术；机械加工制造；应用

引言：随着科技的飞速进步，数控加工技术已成为现代机械加工制造领域不可或缺的重要组成部分。它以计算机为核心，通过预设程序精确控制机床，实现零件的高效、高精度加工。数控加工技术的广泛应用，不仅提高了生产效率与产品质量，还降低了制造成本，增强了企业的市场竞争力。本文旨在探讨数控加工技术在机械加工制造中的具体应用及其带来的变革，以期为推动制造业的转型升级提供有益参考。

1 数控加工技术概述

1.1 数控加工技术的基本原理

数控加工技术，作为现代制造技术的重要组成部分，其基本原理建立在数字控制技术的基础之上。数字控制技术通过预设的程序，精确控制机床的各运动部件，使其按照规定的轨迹和参数进行自动加工。（1）数字控制技术基础：数字控制技术以计算机为核心，通过编程将加工零件的设计信息转化为机床可以识别的指令代码。这些指令代码包含了机床各运动轴的运动方向、速度、切削深度等关键参数，确保加工过程的高精度和高效率。（2）数控系统的构成与功能：数控系统主要由输入装置、数控装置（CNC）、伺服系统和机床本体等组成。输入装置用于输入加工程序；数控装置负责解析和执行程序指令，控制机床的运动；伺服系统则根据数控装置的指令，驱动机床进行精确加工；机床本体则是实现加工任务的实体。

1.2 数控加工技术的特点与优势

数控加工技术以其独特的特点和优势，在现代制造业中发挥着越来越重要的作用。（1）高效性：提高加工速度与精度：数控加工技术通过优化刀具路径和切削参数，可以显著提高加工速度和精度，满足高精度零件的加工需求。（2）灵活性：适应多品种、小批量生产：数控加工技术具有极高的灵活性，只需重新编程即可快速

适应不同零件的加工需求，非常适合多品种、小批量的生产模式。（3）自动化：减少人力成本，提高生产安全性：数控加工技术的自动化特点显著减少了人力成本，同时提高了生产安全性。操作人员只需监控加工过程，无需直接参与加工操作，降低了工伤风险^[1]。

2 数控加工技术在机械加工制造中的应用

2.1 在传统机械加工设备中的应用

数控加工技术在传统机械加工设备的应用中成效显著。以铣削加工为例，据行业统计，采用数控机床进行铣削加工，相比传统铣床，加工效率平均提升40%-60%，加工精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$ 。在某汽车零部件制造企业，使用五轴联动数控铣床加工发动机缸盖，通过精确的刀具路径规划，原本需8小时的加工周期缩短至3.5小时，且表面粗糙度Ra值从 $3.2\mu\text{m}$ 降低到 $0.8\mu\text{m}$ 。从技术原理分析，数控机床依靠CNC控制系统，通过G代码编程实现刀具路径的精确控制。在车削加工中，高精度电主轴的回转精度可达 $0.5\mu\text{m}$ 以内，配合直线电机驱动的进给系统，可实现微米级的位移控制，确保回转体零件的尺寸精度。在钻削加工时，多轴联动功能结合光栅尺反馈，能使孔位精度控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ ，相比传统钻床提升近3倍。数控系统还可根据实时监测的切削力、振动等参数，自动调整主轴转速、进给速度等工艺参数，避免人工干预导致的误差，显著提升设备稳定性与加工质量^[2]。

2.2 在复杂零件加工中的应用

数控加工技术在复杂零件加工领域展现出强大优势。如下图1所示产品，若采用传统加工技术，需要复杂的工序，同时多次装夹将导致加工精度降低。若采用四轴方式加工，则可缩短工序，提高加工精度，确保产品质量；在航空航天领域，以飞机发动机叶片加工为例，其型面复杂且精度要求极高。采用五轴联动数控加

工中心,通过CAM软件生成螺旋铣削刀具路径,可将叶片型面误差控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内,表面粗糙度Ra值达到 $0.4\mu\text{m}$ 。相较于传统加工方式,废品率从12%降至3%以下,极大降低了生产成本。从专业技术角度,针对钛合金、高温合金等难加工材料,数控加工通过优化切削参数,采用高速铣削、微量润滑等工艺,有效解决了切削热、刀具磨损等问题。在精密零件加工中,数控机床的纳米级定位精度与热变形补偿技术,可实现镜面加工效果。例如,加工精密模具时,数控电火花加工(EDM)技术结合精密伺服系统,能加工出 $R0.01\text{mm}$ 的微小圆角,满足电子产品外壳等精密零件的成型需求,其加工精度远超传统加工工艺。

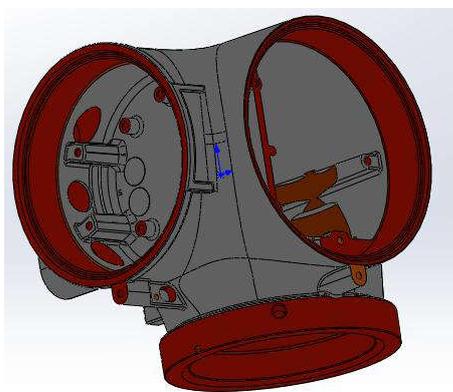


图1 某电子壳体类产品示例

2.3 在自动化生产线中的应用

数控加工技术与自动化生产线的集成大幅提升了生产效能。在3C产品自动化生产线上,通过数控机床与工业机器人、AGV小车、视觉检测系统的协同作业,实现了手机外壳从毛坯到成品的全自动化生产。数据显示,某企业引入数控自动化生产线后,生产效率提升70%,人工成本降低55%,产品不良率从5%降至1.2%。从技术集成角度,数控机床通过OPCUA、Modbus等工业通信协议,与生产线其他设备实现数据交互。其内置的PLC控制系统可根据生产计划自动调度加工任务,柔性生产线可在10分钟内完成不同产品的工艺切换。此外,借助数字孪生技术,可在虚拟环境中对生产线进行仿真优化,提前验证加工工艺与设备布局。数控机床的远程监控系统通过采集主轴负载、进给速度等实时数据,利用AI算法预测设备故障,将平均故障间隔时间(MTBF)延长40%,显著提升生产线稳定性与生产效率^[1]。

在自动线加工中,采用数控技术,不但可以提升产品的品质,还可以有效降低制造成本,如下图2所示产品,通过法兰面装夹定位,可实现产品自动上下料、一次装夹,实现红色区域的全工序加工,方便、快捷、高效。

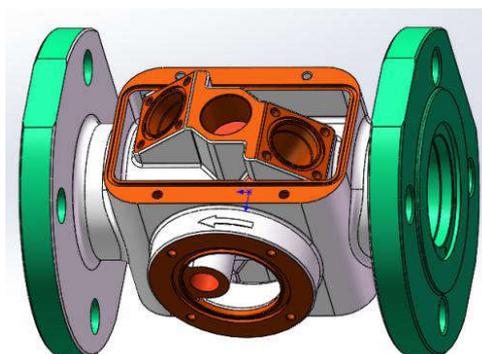


图2 某流量计类产品示例

2.4 在质量检测与控制中的应用

数控加工技术在质量检测与控制环节发挥着关键作用。以汽车发动机缸体加工为例(见下图3),在线检测系统通过激光干涉仪、三坐标测量机(CMM)实时监测加工尺寸。当孔径尺寸偏差超过 $\pm 0.015\text{mm}$ 时,系统自动调整刀具补偿值,并修正切削参数。统计表明,引入数控在线检测技术后,缸体加工合格率从88%提升至98.5%。从技术原理剖析,数控机床集成的触发式测头与非接触式激光测头,可实现微米级的尺寸测量。在表面质量检测方面,白光干涉仪结合图像处理算法,能快速获取零件表面形貌数据,对Ra、Rz等粗糙度参数进行精确分析。数控检测系统还可将检测数据与CAD模型进行比对,生成偏差云图,指导工艺优化。通过建立SPC(统计过程控制)模型,对加工过程进行实时监控与预测,实现质量问题的提前预警,确保产品质量的稳定性与一致性,有效提升企业的质量管控水平^[4]。



图3 在线检测

3 数控加工技术在实际应用中的问题与优化策略研究

3.1 数控加工技术面临的技术难题与突破路径

3.1.1 高精度与稳定性挑战的量化分析

根据中国机床工具工业协会2024年度报告显示,我国高端数控机床的加工精度稳定性仅为国际先进水平的

78%，平均无故障运行时间（MTBF）为2000小时，比德国、日本同类产品低约30%。温度变化对加工精度的影响呈非线性增长趋势：当环境温度波动超过±2℃时，加工

误差会呈指数级上升，特别是在精密模具加工领域，温度每升高1℃，直线轴定位精度将下降0.005mm/m。

表1 不同环境条件下数控机床精度变化实测数据

干扰因素	精度变化范围	影响程度	典型应对措施
机械震动 (> 0.5G)	±0.01-0.05mm	高	主动减震系统
温度波动 (±3℃)	±0.005-0.02mm	中高	恒温车间
电磁干扰	随机误差增加30%	中	电磁屏蔽

3.1.2 复杂零件加工的技术突破

五轴联动加工技术已成为航空航天领域复杂曲面加工的主流方案。波音787机翼梁采用五轴加工后，加工时间从传统方法的68小时缩短至22小时，材料利用率提高40%。但编程复杂度也随之增加，根据西门子工业软件统计，一个典型的航空结构件CAM编程时间约占整个生产周期的25%，且需要至少5年经验的工程师操作。

案例研究：上海某航天设备制造厂引入AI辅助编程系统后，复杂叶轮的刀具路径规划时间从8小时缩短至1.5小时，加工效率提升35%，刀具寿命延长20%。这印证了智能化技术在解决复杂编程问题上的巨大潜力。

3.2 成本结构的深度解析与优化策略

3.2.1 全生命周期成本模型分析

基于德国弗劳恩霍夫研究所的LCC模型，一台价值200万元的五轴加工中心，10年总拥有成本（TCO）约为初始购置价的2.8倍，其中能源消耗占18%，维护保养占23%，刀具消耗占31%。采用预测性维护技术可将维护成本降低40%，通过刀具管理系统可优化15%的刀具支出。

表2 不同规模企业数控设备投资回报周期对比

企业类型	平均投资额（万元）	回收期（年）	产能提升率
大型国企	5,800	4.2	120%
中型民企	1,200	5.8	80%
小微企业	300	> 7	50%

3.2.2 设备利用率提升的实证研究

深圳某精密模具企业通过MES系统实现设备联网监控后，机床利用率从58%提升至82%。其关键措施包括：智能排产算法减少设备闲置时间；实时监控优化换刀策略；预防性维护减少非计划停机。

3.3 人才培养体系的创新构建

3.3.1 技能缺口与薪酬趋势

中国智能制造发展报告显示，2024年数控高级技师

缺口达48万人，平均月薪较2020年上涨65%，达到1.8-3.5万元。具备多轴编程和工艺优化能力的复合型人才薪酬溢价高达40%。

3.3.2 校企协同培养模式创新

青岛某装备制造集团与当地职业技术学院共建“数字工匠学院”，采用“双导师制”培养方案，学生毕业即达到中级技工水平。其课程体系包含：基础模块：数控原理与编程（320学时）；进阶模块：多轴加工技术（240学时）；实践模块：企业真实项目实训（600学时）

毕业生就业率连续三年保持100%，起薪高于行业平均水平25%。

结束语

综上所述，数控加工技术在机械加工制造领域的应用展现出强大的生命力与广阔的发展前景。它不仅显著提升了加工精度与效率，还推动了自动化、智能化生产线的建设，为现代制造业的转型升级注入了强劲动力。未来，随着技术的不断创新与突破，数控加工技术将进一步拓宽应用范围，深化与智能制造、物联网等领域的融合，共同构建更加高效、绿色、智能的制造体系，助力全球制造业迈向更高水平。

参考文献

- [1]施文文.数控加工技术在机械加工制造中的应用[J].新技术新工艺,2022,(08):74-75.
- [2]肖琳娜.数控加工技术在机械加工制造中的应用[J].内燃机与配件,2022,(15):166-167.
- [3]胡军宝,李宁,杨赫.数控加工技术在机械加工制造中的应用[J].造纸装备及材料,2023,(09):113-114.
- [4]王凯,白永明.数控加工技术在机械加工制造中的应用[J].石河子科技,2023,(04):28-29.