

智能高效加工技术

智能化数控机床的关键技术研究

沈阳机床（集团）有限责任公司设计研究院 （辽宁 110142） 张明洋 化春雷 徐兆成

智能化数控机床就是对制造过程能够做出决定的数控机床，其可以计算出所使用的切削刀具、主轴、轴承和导轨的剩余寿命，让使用者清楚其剩余使用时间和替换时间。此外，智能化数控机床可以了解制造的整个过程，能够监控、诊断和修正在生产过程中出现的各类偏差，并且能为生产的最优化提供方案。

智能机床的特征

智能机床至少应具备以下特征：

（1）知晓自身的加工能力/条件，并且能与操作人员交流，共享这些信息。

（2）能够自动监测和优化自身的运行状况。

（3）可以评定产品/输出的质量。

（4）具备自学习与提高的能力。

（5）符合通用的标准，机器之间能够无障碍地进行交流。

与普通数控机床或加工中心的主要区别在于，智能机床除了具有数控加工功能外，还具有感知、推理、决策及学习等智能功能。

智能机床关键技术

智能机床的出现为未来装备制造业实现全盘生产自动化创造了条件。各国机床制造厂家竞相开展该领域的研究，并在实用化方面取得了长足的进步。目前，国际上智能机发展的典型代表主要有瑞士阿奇夏米尔集团生产的配置智能加工系统的Mikron HSM系列高速铣削加工中心，日本山崎马扎克的e系列智能机床，日本大隈的thinc智能数字控制系统等。在智能机床的研制与发展过程中，加工过程的智能监控以及远距离故障诊断一直是人们关注的重点，主要涉及温度、振动等方面的监控与相应的补偿方法。

1. 热变形误差补偿功能

（1）热变形误差补偿的目的 在机械加工过程中，各种热源的影响常会产生复杂的变形，破坏了机床各系统间的相对位置精度，造成了加工误差。据统计，在某些精密加工中，由于热变形引起的加工误差约占总加工误差的40%～70%。热变形不仅降低了系统的加工精度，而且还影响了加工效率的提高。因此，高精度机床要求在规定的恒温条件下使用，普通环境下使用的数控机床为保证较高定位精度和加工精度，须使用温度补偿功能来消除附加误差，温度补偿控制器需具备热测量、热变形建模、补偿与反馈功能。各种热变形主要包括：机床热变形、工件热变形以及刀具热变形。

（2）热变形误差补偿的实现方法 在机床靠近丝杠处安装Pt100 型热电阻传感器，型号为WZP－035，测量范围0～300℃，完全符合机床使用温度在 5～45℃ 区间的要求，以此进行机床温度的测量，在PLC上外扩一个双通道的12位A/D转换模块，将热传感器输入的模拟热信号转换成数字信号后送至NC－PLC接口。PLC定时采样此温度值，计算出温度补偿系数，然后送到系统的NCK中刷新温度补偿参数实现温度误差的实时补偿功能。具体的硬件连接图如图1所示。

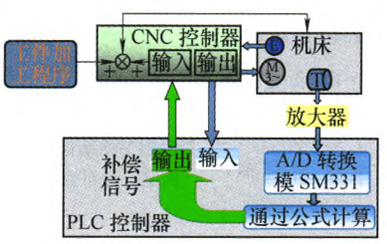


图1 为热变形补偿系统的硬件设计示意图

2. 主轴振动自抑制功能

（1）主轴抑振的目的 切削振动的产生不仅恶化零件的加工表面质量，降低机床、刀具的使用寿命，还会产生危害操作人员的噪声，严重时使切削加工无法进行。为了避免产生振动或减小振动的强度，有时不得不降低切削用量，致使机床、刀具的性能得不到充分的发挥，限制了机床切削效率的提

高。切削振动是影响机械产品加工质量和机床切削效率的关键技术问题之一，同时也是自动化生产的严重障碍，因此切削振动问题的研究一直受到国内外学者的广泛重视。由于振动的有效控制是切削振动研究的最终目标，因此，深入研究机床切削稳定性变化规律并提出有效的抑振方法，对于提高机械产品的加工质量和机床的切削效率具有重要意义。

（2）主轴抑振机理　切削过程产生振动与否取决于机床结构的动态特性和切削过程的动态特性，相应地切削振动控制方法应从调整机床结构的动态特性和切削过程的动态特性入手。但是机床结构的动态特性调整起来比较困难，通常要给机床增加附加结构或者改进机床结构的设计，不利于推广。切削过程动态特性的调整相对比较容易，也是控制切削振动最积极的方法。机床主轴转速的调整会使切削过程的动态特性发生变化，同时机床主轴转速同切削过程的稳定性有着密切的关系，图2是熟知的机床切削稳定性变化规律示意图。“耳垂线”上方的阴影区域为不稳定区，下方为稳定区。如果切削过程处于*A*点所在的不稳定区，则会产生振动现象；反之，如果切削过程在*B*点，则不会产生振动。也就是说，如果切削过程工作在不稳定区而产生了振动，则可按照一定规律调整机床主轴转速把切削过程调整到稳定区，就可以消除切削振动。

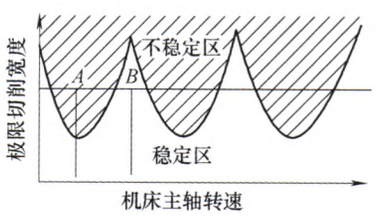


图2　机床切削稳定性变化规律示意图

3.智能刀具监控技术

（1）刀具磨损状态过程分析　刀具磨损过程如图3所示可分为三个阶段：初始磨损阶段、正常磨损阶段和急剧磨损阶段。

正常磨损达到图中极限*C*点后,切削力和切削温度不断升高，刀具磨损量不断加大，刀具磨损率急剧上升进入剧烈磨损阶段。这时刀具切削能力降低，容易使工件报废，机床振动加剧影响机床性能，并引发安全事故。因此进入这一阶段*C*点时必须及时检出，及时更换刀具。

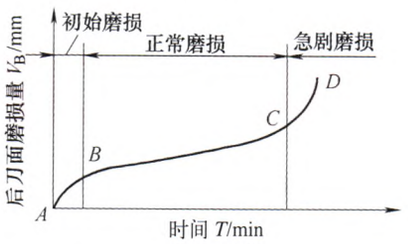


图3　刀具磨损曲线

（2）刀具状态监测基本构成　刀具磨损量监测过程就是一个模式状态识别过程，一个刀具监测系统由研究对象、传感器检测、数据采集与处理、特征提取与分类及诊断决策基本模块构成，如图4所示：①是研究对象，如钻头、铣刀等通过刀具的切削进行状态监测，将传感器装在机床主要监测位置，即可以对机床、刀具及毛坯等状态进行监控。②是传感器监测，刀具状态监测系统中的传感器主要用于拾取切削过程中发出的各种信号，如切削力、振动、功率、声发射及电流信号等。③是数据采集与处理，把传感器获取的信号进行采集、A/D转换、放大、滤波及消除噪声等预处理，然后在时域、频域、幅域等用不同方法进行分析。④是诊断决策，利用人工智能技术建立信号特征和刀具磨损之间的数学模型，实现对刀具状态的分类或刀具磨损量的精确计算。

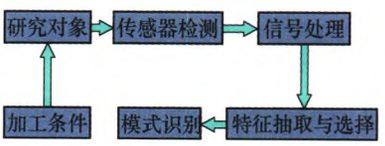


图4　刀具磨损在线检测原理框图

结语

数控机床智能化的发展前景非常广阔。它是世界制造技术进一步提高效率、自动化、智能化、网络化及集成化的努力目标，也是在今天数字控制机床技术基础上向更高阶段发展的努力方向。预计在21世纪前半期，有可能在现有机床技术上实现单台机床的“适应控制”，并逐步向制造系统发展；在后半期，有可能建立不同程度智能化技术水平的CIM、CIMS，其发展时间的快慢，将取决于人类的努力和科学技术水平的提高。**MW**

（收稿日期：20130228）