

# 智能化技术在数控机床上的 开发应用\*

## Development and Application of Intelligent Technology on NC Machine Tool

中航工业北京航空制造工程研究所 邓凌  
中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 乔永忠



邓凌

高级工程师,毕业于南京航空航天大学,现在北京航空制造工程研究所工作,主要从事数控电气技术方面的研究工作。

数控装备作为先进制造技术的载体,已成为国内制造业发展的重要基础,其发展水平对我国航空工业的发展具有举足轻重的作用。国家《高档数控机床与基础制造装备》科技重大专项把航空制造装备列为重

国家《高档数控机床与基础制造装备》科技重大专项把航空制造装备列为重点支持对象,根据航空零件结构件的特点,对数控机床的加工效率、加工精度、可靠性等方面都提出了新的要求。

点支持对象,根据航空零件结构件的特点,对数控机床的加工效率、加工精度、可靠性等方面都提出了新的要求。本文介绍了在自主研发航空数控机床过程中智能化技术的研究和应用。

### 数控机床智能化技术简介

自1952年第一台数控机床问世以来,数控机床一直伴随着航空工业的发展。数控机床的发展已有60年历史,随着航空零件结构件中新材料和新结构的应用,航空数控机床的发展正朝着精密化、智能化、专业化、网络化和绿色环保等方向发展,智能化技术在航空数控机床上应用越来越多。

20世纪80年代,美国国家标

准技术研究所制造工程实验室开展了智能机床的研究,2004年3月推出智能加工平台计划(SMPI),根据SMPI的定义,认为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<sup>[1]</sup>。

根据这些特征,智能化数控机床不仅具有知晓自身工作状态与加工过程功能,还具有根据机床状态进行

\* “高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项(2010ZX04015-011)资助。

自学习和控制等功能。目前,智能化技术在数控机床领域的应用研究也已逐渐受到国产数控机床设计和制造单位的重视。

## 数控机床智能化技术研究内容

作为航空先进制造技术的载体,航空数控装备的智能化技术要根据航空零件加工特点和高速、高效、高精度、低故障率等要求进行开发和应用,主要体现在以下几个方面:

### 1 配置开放式数控系统

开放式数控系统针对不同软硬件平台,具有可移植性、功能模块的可替代性和功能模块间的互操作性,具有模块化组织结构,允许用户对功能模块进行选配、更改和扩展,以满足不同的应用需求,同时,开放式数控系统具有很强的数据处理能力和动态响应能力,能够满足数控机床状态信息的实时采集、监控和故障诊断功能,系统开放式接口能满足用户不同需求的智能化人机界面的开发和定制,是智能化技术在数控机床上得以应用的基础条件。

### 2 加工过程自适应控制技术

加工过程中的自适应技术是指在加工过程中,机床控制系统根据采集到的电机扭矩、主轴振动等机床运行状态信息,进行机床的自我调整和控制,以此保证机床的正常加工和运行,保持机床以最佳动态性能加工零件,既提高了设备生产效率,又保证了加工精度。自适应控制的关键技术包括过程监控、刀具监控和自动诊断。

### 3 智能化故障诊断技术

智能化故障诊断技术包括机床信号数据采集和监控、数据传输和智能化人机界面设计开发等内容。根据数控机床故障机理分析,选择能反映机床特征的信号,通过在机床关键部件安装不同类型传感器,进行机床特征信号的采集,经处理后进行可视

化界面监控。

### 4 智能化实时补偿技术

智能化实时补偿技术是通过外接传感器,采集主轴在轴向和径向的热膨胀伸长误差,通过对这些误差数据分析处理,进行实时补偿,提高机床加工精度。

### 5 无线测量技术

航空零件多为大尺寸难加工零件,航空数控机床在加工零件时,由于加工时间长,造成刀具磨损严重,加工过程中需要更换刀具,而且每道工序间的准备时间长,机床配备无线测头系统来实现对加工工件的在线测量功能,可大幅减少原来使用人工完成的工件定位、试切、刀具磨损/破损检测所耗费的机床准备时间,有效提高机床的加工效率。刀具自动测量功能可快速、准确地测量出刀具尺寸,测量值自动记录在系统的刀具表中,避免了人为误差。

### 6 安全集成技术

安全技术的应用是为保证加工过程中数控机床和操作者的安全性,智能化安全集成技术则能够实现机床加工过程中的防碰撞、临界安全速

度监控等功能。

## 数控机床智能化技术开发应用实例

本文借助在自主研发航空数控装备上智能化技术的开发应用实例,介绍数控机床智能化控制技术。

### 1 配置开放式控制系统

数控系统是数控机床的“大脑”,智能化数控机床需要配置开放式数控系统,因其具有更快的运算速度和更高动态响应能力,具有现场总线、以太网技术,并提供接口,方便用户根据实际需求进行二次开发,组成智能诊断的人机接口。以 SIEMENS 840D s1 系统为例,图 1 为智能化数控机床控制系统组态图。系统各组态模块间以工业以太网相连,机床辅助功能通过 PROFIBUS 现场总线与数控系统通讯,从机床底层采集到的信号通过现场总线传输到智能诊断系统,响应速度快,能够实时反映机床的状态。

### 2 加工过程自适应控制技术

用于航空领域难加工材料零件加工的数控机床,对加工效率和加工

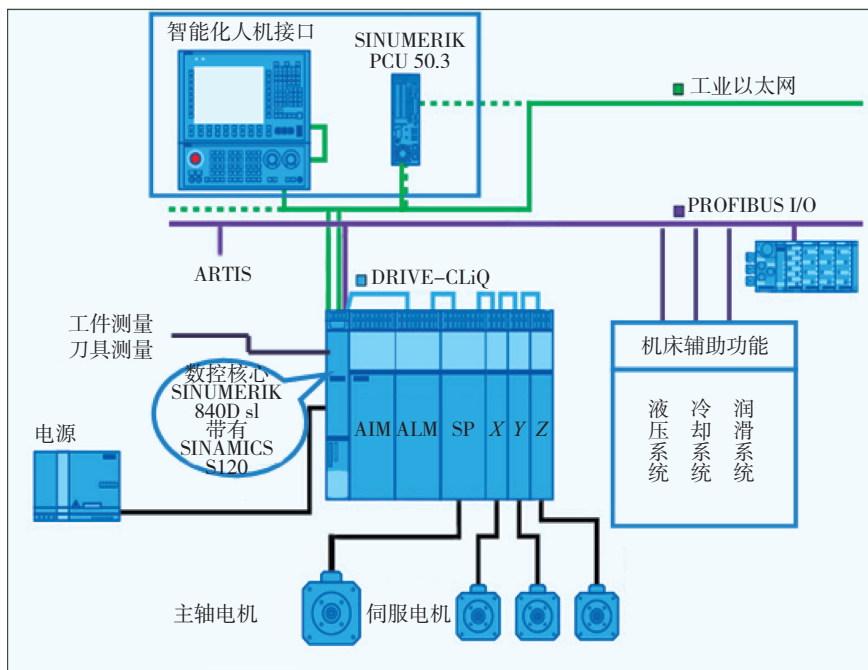


图1 智能化数控机床控制系统组态图

质量要求很高,而在加工中因各种原因发生的刀具磨损、刀具断裂、主轴碰撞等故障都会对正在加工的零件甚至机床本身造成损坏,因此对数控机床进行刀具和运行状态的实时监控,根据切削条件的变化自动调节加工参数,使加工过程中机床保持最佳工作状态,得到较高加工精度和较小的表面粗糙度值,同时也提高了刀具的使用寿命和设备的生产效率。

加工过程自适应控制是通过底层传感器硬件连接,配合进行相关软件设计,实现根据监控信号的特征值,对钻、铣、攻丝等加工过程中的断刀、缺刀、刀具磨损、碰撞、加工过载、刀具不平衡等进行实时监控,监控结果可记录在日志文件中,也可在机床数控系统的人机界面上显示。

自适应控制包括过程监控、刀具监控、自动诊断等功能。

### (1) 过程监控。

过程监控是通过现场总线采集电机扭矩信号,对机床状况进行监控。根据零件正常加工状态确定学习曲线,并根据机床加工工况设定上限进给速度和下限进给速度,以主轴为例,设主轴正常扭矩信号为参考值  $P_{Ref}$ ,在加工过程中,通过现场总线随时读取主轴扭矩值  $P$ ,和参考值  $P_{Ref}$  进行比较,在机床控制程序中通过编程自动控制坐标进给倍率,从而控制坐标进给速度:

- 当  $P > P_{Ref}$  时,降低进给速度到设定进给速度下限值;
- 当  $P < P_{Ref}$  时,提高进给速度到设定进给速度上限值;
- 当  $P = P_{Ref}$  时,进给速度等于编程速度的 100%。

加工过程监控使机床具有一定智能性,切削余量大时,电机扭矩增大,进给速度自动减慢;切削余量小时,电机扭矩减小,进给速度自动增快。这样能够有效调整机床负载,提高机床加工效率,减少空运行时间<sup>[2]</sup>。

### (2) 刀具监控。

刀具监控功能是根据用户实际使用要求,分别对机床加工过程中的缺刀、刀具磨损、断刀几种情况进行实时监控,设定不同保护限制值,由机床控制程序针对这些情况控制机床运动。刀具监控和过程监控结合使用,可以在保证刀具不受损坏的前提下提高加工效率。

### (3) 自动诊断。

为了方便机床维护和操作人员对机床出现的故障进行诊断和维护,设计开发了报警记录功能和对机床运行有效时段进行过程监控的功能。

#### • 报警记录

当机床在加工监控过程出现扭矩过大、碰撞、断刀等故障,系统会自动对出现报警时的监控曲线画面进行硬拷贝,以图片格式存储在硬盘特定目录下,方便用户追溯机床出现故障时的状态。

键核心部件的故障机理研究,确定能够反映其运行状态、故障萌发的各种运行参数信号,实现这些信号的采集。

数控机床通常由数控系统、驱动系统、机械系统、外围设备(包括润滑、液压等)等几大系统组成,关键部件状态信号分为驱动数据、数控系统控制数据和外围设备的输入/输出数据。

机床数控系统内部数据由数控系统内置 PLC 系统通过双口存储器读取系统内部的驱动数据和控制数据,机床外围状态数据通过 PLC 系统的输入/输出地址采集。采集和读取到的机床状态数据通过数据处理,一方面通过现场总线或以网通讯,提供到智能故障诊断系统数据库;另一方面,通过在数控系统提供的开放接口上进行二次开发,设计智能化人机界面。如图 2 所示。

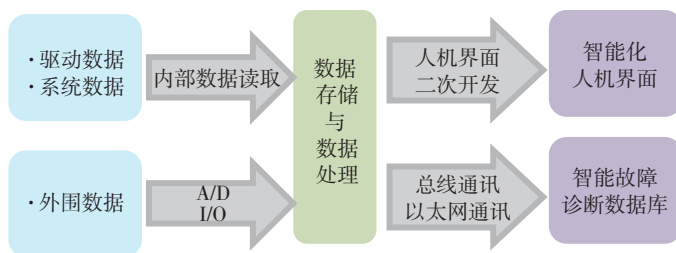


图 2 机床特征信号处理图

### • 对机床运行有效时段进行过程监控

通过软件设计,对机床加工零件过程中的非正常加工状态停止过程监控,避免一些无效的监控曲线和图形。

### 3 智能化故障诊断技术

智能化故障诊断技术包括机床特征信号提取、机床关键部件信息采集和监控、数据传输和智能化人机界面设计开发等内容。

#### 3.1 机床特征信号提取

数控机床上能够真实、有效、高敏感度反映机床状态的信号被称为机床特征信号。通过对数控机床关

#### 3.2 机床关键部件信息采集和监控

加工过程中的机床状态实时监测和故障诊断是航空数控装备用户最关心的问题,对于故障率出现较高的机床关键部件,可以采用加装不同类型传感器的方法来对机床状态进行实时监控。采集到的机床关键部件信号通过现场总线传输到控制系统,在机床控制程序中对出现的各种故障进行处理,在人机界面进行实时监控和处理,实现故障的智能诊断。

根据机床故障机理分析研究,在机床关键部件,如机械主轴、滚珠丝杠副、导轨副等传动部件加装不同类型传感器,这些传感器信号通过数据

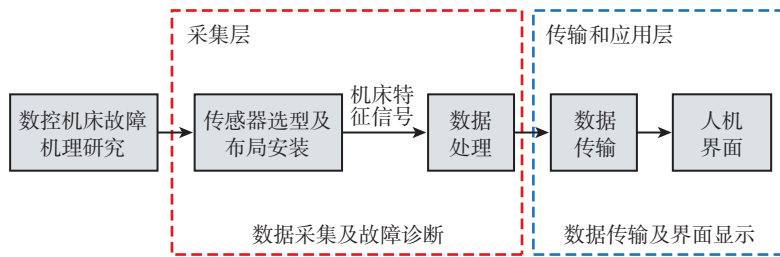


图3 机床关键部件信息采集处理图

处理后,经现场总线传输到控制系统。通过数控系统的网络功能将数控机床的实时工作状态、加工信息等数据资源存储到智能诊断数据库中。如图3所示。

### 3.3 人机界面设计。

人机界面是用户与机床间信息传递和处理的窗口,现有数控系统自带的是通用人机界面,能够实现通用操作,但由于航空数控机床零件加工的复杂性,用户经常会提出一些针对不同结构机床和不同零件加工的人机界面特殊需求,要求人机界面具备更加人性化和智能诊断功能,而通用数控系统人机界面已不能满足用户要求,因此根据机床结构和加工零件的不同,通过对数控系统提供接口的二次开发,定制设计不同的智能化人机界面,既方便用户操作,又能满足用户的特殊需求。

在智能化人机界面中,根据用户需求,设计内容丰富、针对性强的各种功能界面和诊断界面:

- (1) 机床输入输出信号状态显示;
- (2) 主轴和坐标电机功率、扭矩、温度等实时显示和诊断;
- (3) 主轴振动实时显示和预警;
- (4) 主轴轴承温度实时显示和预警;
- (5) 机械主轴换挡状态显示;
- (6) 驱动测量系统一键式转换功能;
- (7) 机床运行时间和加工时间统计显示;
- (8) 机床故障信息一键式帮助文件在线显示;

(9) 机床液压、润滑等辅助功能状态显示和故障诊断;

(10) 机床维护用手册在线帮助等。

图4为自主开发的几个诊断用智能化界面。

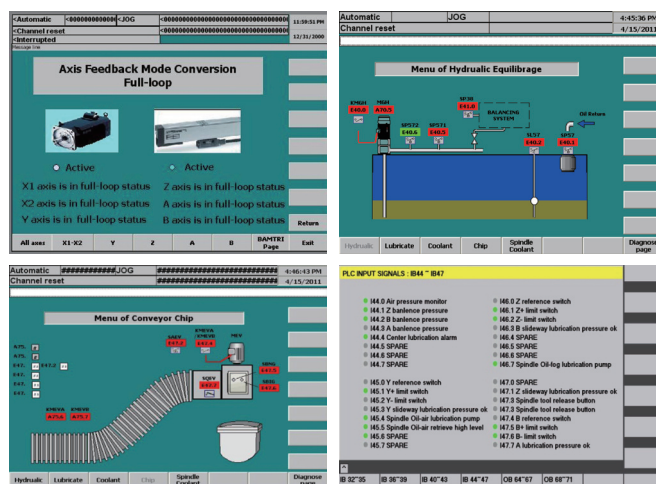


图4 智能化人机诊断界面

## 4 智能化实时补偿技术

数控机床加工过程中,主轴旋转后的温升会引起主轴轴向和径向的热膨胀,这种膨胀伸长会影响到加工零件的表面切削精度。为使主轴热膨胀达到稳定值,通常采用机床预热等方式,但这种方法直接影响到生产效率<sup>[1]</sup>。

采用智能化实时补偿技术可以有效解决主轴热膨胀问题。在主轴中安装位移传感器,对主轴伸长量进行实时检测,检测得到的位移变化值通过现场总线传输到系统,根据实际位移与主轴热膨胀伸长量之间的关系,建立对应的数学模型,在机床控制程序中,根据数学模型计算出刀具

法向补偿值,并实时补偿到各个坐标的位移值中。

智能化实时补偿技术有效减小了主轴热膨胀伸长对零件加工的影响。

## 结束语

机床状态的实时监控、加工过程自适应控制、智能化故障诊断等智能化技术在某型号五坐标数控龙门铣床、五坐标加工中心、三坐标强力铣床等航空数控机床上得到应用,并在“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项课题“国产高档数控机

床在典型飞机结构件加工中的示范应用”中进行了推广,解决了数控机床在航空零件加工过程中存在的一些实际问题,提高了工件加工质量和加工效率,有效提高了机床精度和可靠性。开发适用于数控

机床的智能化技术,能够进一步完善自主研发数控机床的功能,提升国产航空数控机床的制造和应用水平。智能化技术已成为航空数控装备发展的必然趋势,如何进一步推广和标准化这些技术,将是进一步要做的工作。

## 参考文献

- [1] 吴宝海,张莹,罗明,等. 现代数控机床的智能化发展及应用. 航空制造技术, 2008(17): 52-56.
- [2] 邓凌,许翠芳,乔永忠. ARTIS 刀具监控系统在数控机床上的开发应用. 制造技术与机床, 2013(2): 121-124.
- [3] 石敏,高诚,毛显军. 主轴伸长量补偿在高速数控机床上的应用. 航空制造技术, 2010(22): 108-110. (责编 夏宛)