

模具行业国产数控装备发展对策

■ 中国重汽集团济南桥箱有限公司高级工程师 刘胜勇

摘要：从模具加工精细化、全程运行自动化、响应用户信息化要求及机电液气模块一体化4个方面，给出了“新常态”发展阶段模具行业国产数控装备的发展对策及相关案例。



数控装备是以计算机数控（CNC）阶段的国内外各类型的数控系统为平台，通过微处理器（CPU）、可程序控制器（PLC/PMC）和外围电路等装置的彼此交互，经数字化电信号对工作母机的运行过程进行自动控制的装备。它是以工业革命4.0后第7代数控技术为代表的新技术装备，是现有制造产业和新兴产业相互渗透而形成的机电一体化产品即所谓的数字化装备，其特点如图1所示。

在以创新突破和供给侧改革为特征的“新常态”时期，

我国正处于由数控化模具生产大国快步向模具制造强国迈进的征程中。众多模具企业直面改革，追踪政策利好，把握发展机遇，在互联网平台下营建“平台+创客”的企业协同制造模式，在“精、专、强”路线下扩大产业规模效应。同时也在不断加大资金投入，全面普及模具CAD/CAM/CAE技术（如SINOvation、Moldflow Advisers、Mould Design等软件），全面应用快速经济模具制造技术（如激光快速成形技术、精密成形技术、超精密加工技术、叠层式热流道模具技术及无模多点成形技术等），实施智能化制造并构建模具智能工厂。模

具行业这种“加快信息驱动、提高制造柔性，促进系统化集成”的发展趋势，对行业内国产数控装备的研制和应用提出了新的发展要求：一是做到模具加工精细化；二是力求全程运行自动化；三是响应用户信息化要求；四是采取机械、电气、液压和气动等模块的一体化设计与装配。

1. 数控装备要做到模具加工精细化

模具用户已不仅仅要求其表面质量和尺寸精度，更追求制件成形结果的安全稳定性以及成形曲线危险区和安全区的直观分析。基于三维设计的深入普及，现代模具的型腔更多地采用一模几百腔或上千腔结构，型腔工作面曲线趋于更加复杂平滑，分型面的优化设计更加合理，模具精度更多的是微米级精密化要求、个别的已接近于亚微米级甚至深亚微米级的精密化，模具推陈出新的设计周期愈来愈短，模具数控加工仿真拟贴合度越来越接近真实化。所以说，模具用数控装备只有装用强大运算能力的高性能数控系统，并积极采用主轴高

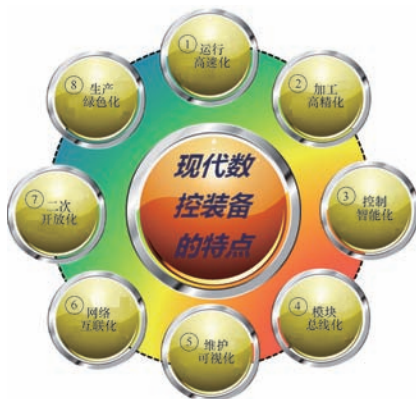


图1 现代数控装备的特点

速、位置检测高分辨率及误差补偿全方位等技术手段,才能达到对现代模具3D曲面的高精度、高速度和高稳定性加工。

(1) 装用高性能数控系统。

数控系统是现代数控装备的神经中枢,其运算能力通常与直线插补、PLC/PMC处理、辅助程序调出、宏运算和辅助功能等指标有着密切关系(见图2)。这就要求模具装备的数控系统不仅要配置高性能极快运算速度的32位甚至64位多核微处理器(CPU),还要通过加减速控制技术获得高速平稳状态下最优的控制性能。例如,FANUC 31i等系统在最小设

定单位 $1\mu\text{m}$ 下的最高快速进给速度达 240m/min ,其一个程序段的处理时间可缩短至 0.5ms ,在连续 1mm 微小程序段的移动指令下的最大进给速度达 120m/min 。

(2) 采用内装式主轴电机实现主轴高速化。在模具装备高速化进程中,提高主轴转速占有重要地位。主轴高速化的手段是采用内装式电主轴(见图3),使主轴驱动不必通过变速箱,而是直接把电动机与主轴连接成一体后装入主轴部件。例如,FANUC公司 $\beta\text{iI-B}$ 型内装主轴电动机转速达 $30\,000\text{r/min}$,SIEMENS公司2SP120型电主轴转速达 $120\,000\text{r/min}$ 。

(3) 采用直线电动机缩短传动链为零。数控装备进给部分的几何精度、传动精度、灵敏性和稳定性等因素,直接关系着模具工件的轮廓形状精度和加工质量。鉴于间接获得直线运动的滚珠丝杠副传动和齿轮齿条副传动不能满足超高速、超精密数控装备的精度要求,进给部分宜采用直线电动机进行磁悬浮列车般无接触式直接传递,以取消易磨损且运行不平稳的滚珠丝杠、联轴器或传动带等中间机械变换部件,使进给传动链缩短至零,从而获得很高的动态性能和极高的控制精度。例如,SIEMENS公司1FN1系列直线电动机的最大速度达 96m/min ,1FN3系列直线电动机的最大速度达 370m/min ,1FN6系列自冷型直线电动机与水冷型直线电动机的最大速度分别为 $1\,280\text{m/min}$ 和 852m/min ,如图4所示。

(4) 采用高分辨率的位置检测装置提高全闭环控制精度。位置检测装置是保证数控装备实现精确定位和高精度加工的前提条件。在全闭环控制策略下,电动机内装型编码器作为第1测量系统,用以测量速度和识别转子位置;直线光栅尺作为第2测量系统,用以测量工作台的直线位移。目前,日本产内装型编码器的检测精度达到 $0.01\mu\text{m}/\text{脉冲}$,德国HEIDENHAIN公司LIP型直线光栅尺的检测精度达到 $\pm 0.5\mu\text{m}$,个别型号的已达 $\pm 1\text{nm}$ 。

2. 数控装备要力求全程运行自动化

对于现代模具,高精度加工

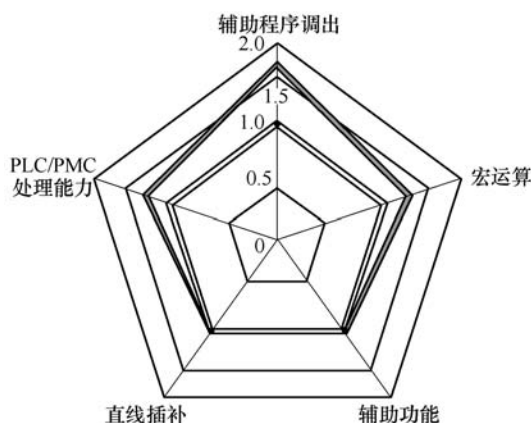


图2 CNC运算能力的5个指标

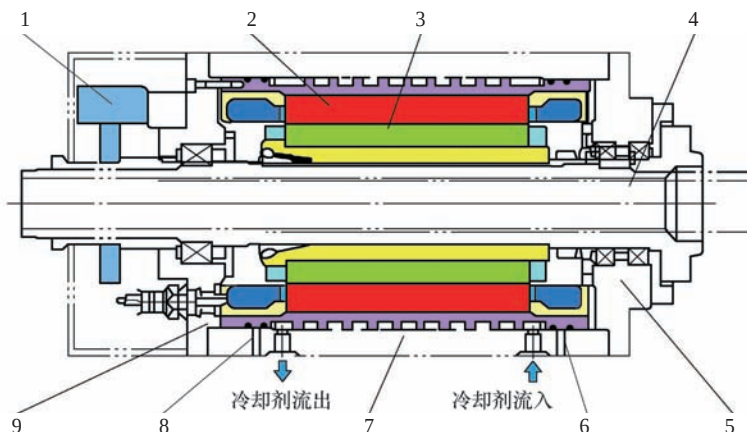


图3 某数控磨床上内装式电主轴单元结构

1.空心轴测量系统 2.带冷却罩的定子 3.带轴套的永磁转子 4.装轴承的机床主轴
5.后轴承盖 6.泄漏孔 7.主轴壳体 8.前轴承盖 9.前轴盖

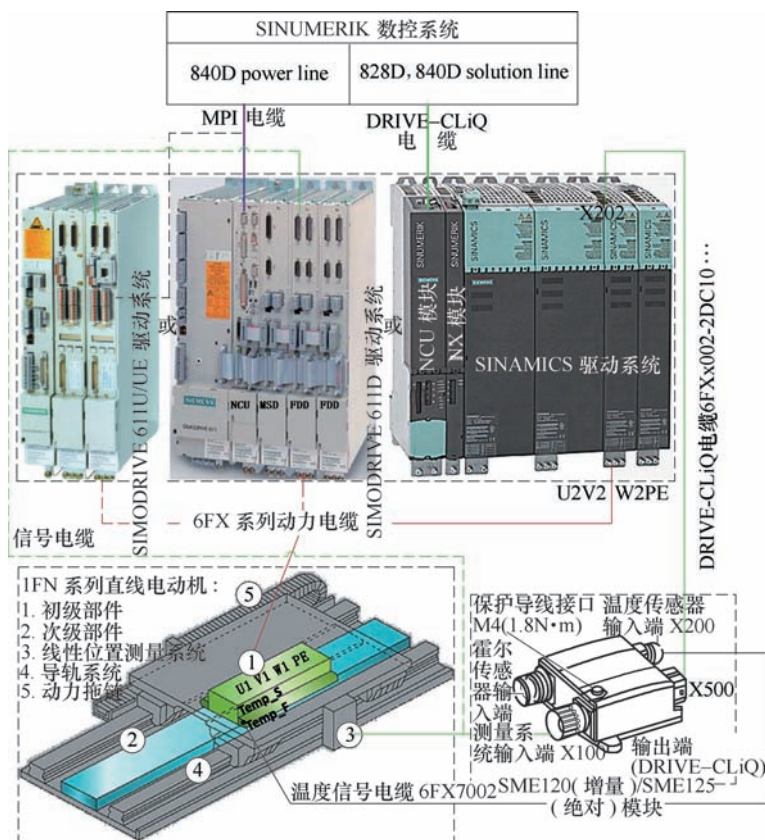


图4 1FN1/1FN3/1FN6系列直线电动机与SIMODRIVE 611和SINAMICS S120的连接示意图

离不开工序的集成复合化，高速度加工离不开上/下料、切削和测量等功能的集成自动化，高稳定性加工离不开刀具、夹具、辅具和装备的高端化。因此，模具用数控装备一是集合车削、铣削、钻削和镗削等工序，实现单机一次装夹下孔、面、槽等多部位的切削加工；二是增强数控系统的

联动轴数和总控制轴数，实现单机的多轴、多路径控制（见图5）；三是配置大容量的自动化刀库或多个主轴头，实现单机加工程序下目标刀具的自动切换，并可根据刀具的磨损和温升自我补偿（如Oerlikon B27磨刀机上金刚石砂轮的磨损经Marposs气电转换装置进行实时补偿）；四是配

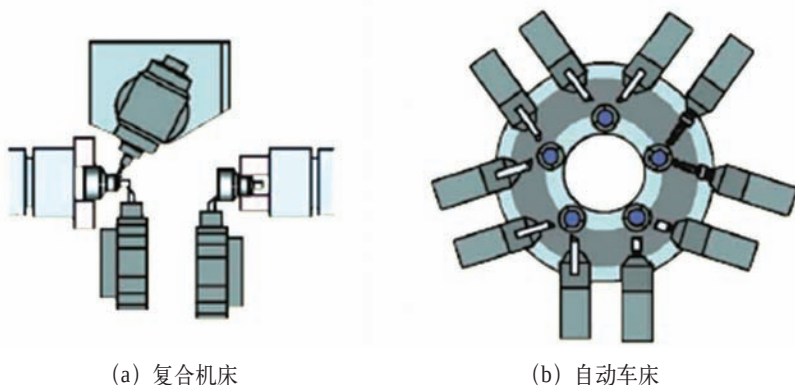


图5 FANUC 30i多轴多路径控制示意图

置悬臂机械手或智能机器人，实现单机的自动上/下料乃至柔性制造线中机群的装/卸料控制；五是研制应用智能机床，使机床具备振动防止控制、热位移控制、干涉防止、润滑油量自动调节及信息智能判断等机能，以对机床运用一段时间后变化的几何精度或关键零部件的位移偏移自行修正等。

3. 数控装备要响应用户信息化要求

随着模具制造全程数字化的推进，在未来的模具智能工厂中，总控平台接收用户平台反馈的需求信息后，既会根据个性化订单向设计平台下达设计指令，也会根据普遍性订单向仓库平台传送模具出库指令，还会根据仓库平台反馈信息向制造平台下达生产命令。设计平台下的创客会运用CAD/CAM/CAE技术，对模具进行三维设计、仿真分析及CNC程序生成等，并将样模数据和程序传至制造平台。仓库平台下的创客既会归集库内模具的规格、数量、材质和需求者，也会统计标准件和原料、辅料的出入库信息，还会反馈物料数据给财务平台。生产平台会分解出模具制造计划、坯料和刀辅具等供应详单，会根据各生产子平台反馈的设备运行状态、生产进度等自动做出决定。生产平台会分解出模具制造计划。

这就要求数控装备具有双向、更高速的联网通信功能，以保证信息流在部门间畅通无阻，进而使得机床、加工程序、刀具夹具、生产计划表及CAM厂家协作等信息共享，经软件实现企业

的实时管理；数控装备的二次开发具有方便性和开放性，便于模具厂家新产品的加工设计，并通过网络导入模具三维设计的仿真程序。FANUC 5轴加工机床的硬件链路如图6所示。

4. 数控装备要机电液气模块一体化

日益发展的机电一体化技术对数控装备的发展提出了模块化、小型化和集成化的要求，以便将机械、电气、液压和气动等装置揉为一体。这样既能适应不同用户的快速需求，又可节省装备制造厂家的制造成本；既能满足柔性制造线有限空间内的随意布置，又可提高整机装配的效率和精度；既能增强用户维护保养的集中性，又可增强装备运行的稳定可靠性。目前，机电液气模块一体化的主要措施是计算机参数化设计平台下独立的功能单元实施模块化设计。也就是在对数控装备进行市场预测和功能分析的基础上，先划分并设计出一系列通用的功能模块，再根据用户需求，对这些模块进行选择 and 组合，以构成不同功能、或功能相同但性能和规格不同的产品。

(1) 某公司立式加工中心可划分为10个机械模块，如表1所示。

(2) 某公司数控车床的PLC程序可划分为8个模块，如表2所示。

参考文献：

- [1] 刘胜勇. 新常态下国产数控系统的发展对策及案例[J]. 金属加工（冷加工），2017，779（6）：VIII-6.
- [2] 刘胜勇. 供给侧改革下模具产业的智慧化发展（上）[J]. 金属



图6 FANUC 5轴加工机床的硬件链路示意图

表1 某公司立式加工中心的10个机械模块

序号	模块名称	所含组件
1	传动模块	滚珠丝杠副、联轴器、伺服电动机架、轴承端盖、轴承架
2	支承连接模块	导轨、滑块
3	工作台模块	工作台底盘、工作台托盘
4	主轴箱模块	主轴箱体、主轴
5	刀库模块	刀库、换刀机械手
6	防护模块	丝杠防护罩、整机防护罩
7	辅助模块	气动装置、液压装置、排屑装置、冷却装置、润滑装置、降温装置、电气控制装置
8	床身模块	床身
9	立柱模块	立柱
10	滑板模块	滑板

表2 某公司数控车床用PLC程序的8个模块

序号	模块名称	模块内容
1	公共信号模块	处理PLC与CNC之间的接口信号
2	基本控制模块	处理紧急停止、液压、润滑、冷却、方式选择、手动进给、速率修调和程序启停等信号
3	刀架模块	对转塔刀架的选刀、定位等进行逻辑控制，据逻辑控制的异同性，此模块细分为编码式刀架模块和计数式刀架模块，每种模块又包括电动刀架和液压刀架两种控制逻辑
4	主轴模块	对主轴正反转、主轴定向及主轴变速等动作进行控制，此模块细分为伺服主轴和变频主轴两种逻辑控制
5	卡盘尾座模块	对机床的卡盘、尾座体和尾座套筒等功能部件进行逻辑控制
6	选择功能模块	对机床的选择性功能部件进行逻辑控制，如液压中心架、对刀仪、自动门、排屑器、工件计数和三色指示灯
7	报警模块	对机床故障、误操作等状态进行检测并触发相应的报警文本信息，产生各种安全互锁信号
8	扩展功能模块	满足用户特殊需求的机床功能扩展，如远程控制、上/下料机械手、棒料输送装置等

加工（冷加工），2016，771（22）：40-43.

加工（冷加工），2016，772（23）：44-47.

- [3] 刘胜勇. 供给侧改革下模具产业的智慧化发展（下）[J]. 金属

MW（收稿日期：20170419）