

# 机床新技术及未来发展

New Technology and Future Development of Machine Tool

本刊记者 晓霏 晓立

[编者按] 随着各种新技术的不断应用,机床的性能快速提高。未来机床的性能特点成为业内广受关注的问题。本期“未来机床”论坛我们特别邀请了同济大学教授张曙、北京机床研究所研究员盛伯浩、昌飞公司副总工艺师林东、济南二机床集团有限公司数控机床公司总工程师贾会述,他们将分别从专家、用户、厂商的角度,解读未来机床的发展趋势,并给出了行业发展的建议。



张 曙

同济大学教授、博士生导师、现代制造技术研究所名誉所长,哈尔滨工业大学管理学院兼职教授,香港理工大学客座教授,中国机械工程学会荣誉理事,如皋市人民政府顾问,张曙科教基金董事长。

致力于先进制造技术及其发展战略的研究。先后获得原国防科工委的《光华科技基金一等奖》、中国机械工程学会的《科技成就奖》、上海市人民政府的《上海市科技功臣》、中国科学技术协会的《全国优秀科技工作者》、香港《蒋氏科技成就奖》以及香港理工大学《杰出中国访问学人》等重要奖励和荣誉。

“ 我认为,在未来的3~5年,各国机床制造商和研发机构将在虚拟机床、绿色机床、聪明机床和e机床等领域争夺制高点。 ”

当前数控机床的新产品热点集中在高速、高精、复合加工和五轴联动上。如何发挥这些高端机床的性能,真正产生经济效益,是我们面临的严峻挑战。

我认为,在未来的3~5年,各国机床制造商和研发机构将在虚拟机床、绿色机床、聪明机床和e-机床等领域争夺制高点。

## 1 虚拟机床

研发机电一体化的、硬件和软件集成的仿真技术,提高数控机床的设计水平和使用绩效。复合加工和五轴联动加工是复杂的空间运动,机床运动部件、刀具和夹具发生干涉的可能性较大,需要在加工前进行仿真。

这就需要机床制造商提供与机床实际加工完全一致的仿真环境,而非仅仅模拟刀具的运动轨迹。例如德马吉公司最新产品已经具有这项功能。

## 2 绿色机床

主要指节能减排,力求使生产系统的环境负荷最小化。统计表明,切削加工过程仅仅消耗机床总功率的25%左右,其他都是各种损耗和辅助装置的消耗。欧盟最近投入大量经费开展这方面的研究,包括机床运动部件的轻量化,新型滚动元件、干切削、数控系统和驱动装置的优化等。

## 3 聪明机床

聪明机床的实质是机床的智能化,以提高生产系统的可靠性、加工

精度和机床的综合性能。包括主轴的振动和轴向位移的检测和补偿、机床热变形的检测、控制和补偿、机床加工参数的优化、人机移动通信等。例如,米克朗的高速加工中心就具备以上的功能。

#### 4 e- 机床

复合加工使一个复杂零件可以在一台设备上加工完毕,一台机床就相当于一个“工段”。那么,提高生产系统的独立自主性以及与管理者和使用者的交互能力就提到日程上

来,使机床不仅是一台加工设备,而且是企业管理网络中的一个节点。机床将具有加工过程仿真、作业计划、生产数据管理和刀具寿命管理等功能。例如马扎克的 e 系列复合加工中心。



盛伯浩

现任北京机床研究所副总工程师,教授级高级工程师、浙江大学博士研究生导师,国家有突出贡献专家。主要研究方向为机床基础理论、数控技术、柔性制造工程和计算机辅助设计与制造。曾先后负责国家重点科技攻关、国家 863 计划 CIMS 主题、国家自然科学基金和机械工业技术发展基金等课题 30 余项。发表论文 80 余篇,主编手册和专著 9 部。

提起未来机床,大家对几个方面发展趋势的认识还是比较一致的,那就是:高精度、高效率、复合化、智能化等。

#### 1 数控机床发展趋势

##### (1) 高精度。

从 1952 年第一台数控机床问世以来,新技术的不断出现为复杂形面的精确加工和加工精度一致性的提高提供了新的途径,使高精度成为机床行业追求的一个主要目标。数控机床的高精化是市场需求和技术发展的必然结果。统计数据表明,从上个世纪 50 年代到 2000 年,机床的精度每 8 ~ 10 年就会提高一倍。

目前机床加工的尺寸精度已经

“ 数控机床的高精化是市场需求和技术发展的必然结果。统计数据表明,从上个世纪 50 年代到 2000 年,机床的精度每 8 ~ 10 年就会提高一倍。 ”

达到  $\mu\text{m}$  级,加工的形位精度甚至达到了亚微米级和深亚微米级。机床行业对精度的追求应该说是无止境的,如集成电路的晶片、光刻的透镜以及大型望远镜的光学镜片已经提出纳米级轮廓精度的要求,将来可能发展到  $\text{\AA}$  级,达到原子尺寸水平的精度。但是要实现那个级别的精度还是非常难的,从加工方法和测量方法的原理与技术上均要有大的突破才行。

另外一方面,机床精度的提高不只体现在加工精度数量级上,高精度的概念也得到了拓展和延伸。现在提到高精度,包括表面粗糙度、形位精度和尺寸精度间的相互协调,例如尺寸精度在  $\mu\text{m}$  级,形位精度为亚微米级,则表面精度在  $\text{nm}$  级左右,同时还要保障工件表层结构品质。

近两年,微纳机床广受行业关注。实际上,微纳机床的概念有两个方面:一是机床本身的精度很高,可以实现微纳米级的加工精度;另一方面,是指机床加工的零件尺寸非常小或者是加工出的工件具有微结构形状的表面。

##### (2) 高效率。

机床的生产率在 1950 年 ~

2000 年半个世纪的时间内约提高了 5 倍,主要借助于全面高速化提高金属切除率和数字化制造技术等途径。在刀具材料和结构发展的支持下,切削速度不断地提高。高速化加工另一个特点是大多从单一的高速切削发展至全面高速化,并在柔性制造技术和信息化生产管理技术的支持下,不仅缩短切削时间,同时,也降低辅助时间和技术准备时间。在提高生产率方面,高速高效切削技术约占 40%,快速运动和过程自动化约占 45%,生产准备时间压缩约占 15%。

要实现高速、高效化,有一个前提,那就是要保证加工精度。加工精度不仅仅指静态精度,还要保证动态加工精度的稳定性。高速切削可减少切削力和表面粗糙度,有利于提高加工精度,但由于高速运动会导致数控跟踪误差和振动增大,需要数控系统具有速度前瞻和抑制振动等先进动态控制功能。

##### (3) 复合化。

随着数控机床的发展,工艺规划由工序分散发展到工序集中。尤其是大型机床发展了自动换刀和换头的功能,使工序集中效果更明显。一方面,机床效率的提高减少了工件

在机床间转移的在制品的等待时间；另一方面，一次装夹完成全部加工，提高了机床加工的精度。

电主轴、多通道的数控系统、并行加工控制技术、新型刀具技术等出现，使得传动机构简化，复合加工机床得以快速发展。

复合化机床为实际加工带来很多便利，尤其是对小批量试制加工而言。但并不是越“复合”越好，还是要结合实际的加工对象，仍然要从经济效益出发，以适度为好。

选择复合加工机床的类型，要在对主要加工对象有深刻认识的基础之上。一般情况下，加工盘类、轴类零件，选择铣车中心；对于箱体、畸形类零件，以铣加工为主往往选择车铣中心为好。

#### (4) 可重构机床。

可重构机床，不仅仅是模块化的问题。模块化，主要是对机床制造厂而言，如何实现批量定制生产；可重构，则是从用户角度来考虑，如何根据加工对象的工艺变化来实现对机床的重构，并在硬件及软件方面进行升级和重组，以保持其高效性。

在大批量生产条件下，例如汽车生产线，当加工的产品由于市场需求的变化要作较大的调整时，往往既费时又耗费资金。在可重构制造技

术的支持下，构建具有适应大批量高效生产的柔性化制造系统已成为现实，即可根据加工对象的变化方便地进行结构的调整。

为了构建这种批量生产条件下使用的可重构生产线，需要配置一些可重构机床，目前欧洲一些机床制造厂已研制出几种既高效，又有柔性更换结构功能的新型机床。

#### (5) 智能化。

数控机床的智能化主要是随着传感器技术和数控技术的发展而发展起来的。20世纪60年代，美国率先提出数控机床采用适应控制方式，它强调加工过程的最优化，但因为技术难度大而无法实用。而后发展起来的约束控制方法则是指控制主要参数：包括最大力矩、主轴转速等。通过控制这些主要的因素，实现高效切削，防止过载或恒速度切削等目标。马扎克公司推出的智能机床是通过约束控制的进一步发展，选择多个控制因子，如对振动、热误差、防碰撞等的自主决策控制，来实现性能优化。

目前的智能机床的决策是基于“专家系统”的，主要依靠人工经验的积累和优选。真正实现机床能自学习、自适应的“智能化”，还有一段较长的路要走。

## 2 我国机床行业发展建议

作为引领技术发展及重大工程关键加工装备的高档数控机床已由国家列为制造装备重大专项之一，需要集中力量去攻克。此外我主要有两方面的建议：

#### (1) 加快发展中档机床。

中档(普及型)机床将是市场需求的主体。统计数据表明，我国中档机床的产值占到机床总产值的一大半，未来市场需求仍将集中在中档领域。所以我国应该加快发展中高档机床，不断提高机床的性能水平，使其在技术和可靠性上能与国外同类产品有较好的竞争力。同时要加强对用户需求的售前和售后服务。

#### (2) 重视提升经济型机床。

目前，中国市场对经济型机床的需求还是比较大的，约占数控机床生产量的60%。在满足需求的基础上，我国企业还要重视经济型机床的节能、效率、寿命等性能水平的提高。而不仅限于数量和价格上的竞争，使1台机床能发挥出更大的功效，从而可以减少数量，节约材料等资源。

美国哈斯公司不但有中高档机床，也生产相对的“经济”型机床，而且其经济型机床的性能水平也很高，具有较高切削能力和加工精度，在很多方面，值得我们学习和借鉴。



林东  
昌飞公司副总工艺师。

“随着传感技术应用水平的提升，机床对自身的健康状况的掌控会越来越好。未来机床不仅能够预知机床各项报警，而且能够提前自行解决。”

### 1 未来机床的性能特点

#### (1) 未来机床是一名“专家”。

根据零件的结构特点，能够建议工艺方案；根据零件的材料特性，能够建议切削参数。高端数控系统均

有人机对话的编程模块，这事实上就是建议工艺方案的初级专家，例如，给出零件的典型结构特征，数控系统会提供若干走刀线路。知名品牌的刀具厂商在提供刀具的同时均会建

议切削参数,这些切削参数一般要通过刀具厂商、机床厂商、数控系统厂商三方联合来研发,将其嵌入数控系统中,会给机床使用者带来极大的便利。

(2) 未来机床是一名“医生”。

现代的数控机床大多采用了自动润滑技术,当机床感应到某部位缺少润滑时,能够实现自动加注;高精密的数控机床大多采用了热补偿技术,当环境温度有变化时,能够自动实现精度补偿;越来越多的高速机床采用了主轴动平衡监测系统,当刀具动平衡不能满足要求时,主轴拒绝运转。随着传感技术应用水平的提升,机床对自身健康状况的掌控会越来越好。未来机床不仅能够预知机床各项报警,而且能够提前自行解决。

## 2 机床新技术

(1) 自适应技术。

该技术已经逐渐用于数控机床,使得数控机床具备一定的智能性。具体表现就是,当切削余量大时,进

给速度会自动减慢;当切削余量小时,进给速度会自动增快;带来的好处是,不仅提质增效,而且保护机床。原理其实很简单, 在主轴电机上安装电流侦测传感器,将侦测信号实时反馈给数控系统,由数控系统依据电流状况实时决定驱动轴速度的快慢。

(2) 机床故障诊断修复向导技术。

某些机床厂商采用该技术并推出相关产品,以瑞士米克朗机床为例,其新近推出的机床就有此选项,该技术为机床维修人员提供了巨大的便利。过去,机床出现故障后,提供故障代码、故障部位及修复措施要靠维修人员翻手册、查资料;有了此项技术后,维修人员可以在显示屏上直观地看到故障部位,而且机床会一步一步地教给维修人员如何处理故障,直至故障排除。

## 3 我国数控机床发展建议

近几年来,由于制造业的需求,刺激了我国机床企业的快速进步,目

前我国不少机床厂家已经研制生产出了包括五轴高速数控机床在内的高技术含量的高档数控机床。这些高档数控机床基本上能够实现应有的加工功能,但与发达国家相比,机床的稳定性和可靠性尚有较大差距。造成这些差距的主要原因有:研发水平不高,制造水平有限,服务意识较弱。

我国机床企业目前存在两个问题,一是对自己机床的缺陷不清楚,或了解但不够深入,主要原因是企业与机床用户沟通不够;二是对自己机床的缺陷清楚,但不愿意去改进或改进不及时不彻底,造成这个问题的主要原因是精品意识不强。

我国机床企业要实现快速发展可以从面向用户开始着手,首先加强服务意识,从用户处了解机床的缺陷,其次寻求造成机床缺陷的原因,弄清楚是工艺问题还是设计问题,最后有针对性地制定措施进行彻底的改进。



贾会述  
济南二机床集团有限公司  
数控机床公司总工程师。

“ 将来的机床可能更像网络上的一个节点,操作者只需在机房内的服务器上指挥监控就可以了。 ”

有以下特点:

(1) 多功能化。

近两年流行的车铣复合加工,只是把车削跟铣削的功能集成在一起。目前在立车上已经出现了磨削,所以磨削很快就会被集成进来;铣齿(滚齿、磨齿),随后还有高频淬火、测量,越来越多的功能会被集成在一台机床上。

(2) 全数字化。

将来的机床可能更像网络上的节点,操作者只须在机房内的服务器上指挥监控就可以了;温度、流量、

湿度、震动等传感器会越来越多地用在未来机床上。

(3) 占地面积尽量小。

地价的成本越来越高,将来地价成本会要求我们的机床向高处发展,由“平房”变成“塔楼”。

(4) 噪声降到 60dB 以下。

环保是未来机床的一项重要指标。将来的法律要求我们的机床必须安静。将来的部件及整机噪声可能会像汽车尾气一样被治理。

但是,在大批量生产的场合,例如汽车行业,则会是另外一个极端,

未来机床的发展将呈现以下特点:

### 1 多功能化与专机化并存

在小批量生产的场合,经常需要更换产品的种类,机床的柔性化就变得很重要,而且尽可能地在一次装夹后完成所有的工序,这就要求机床具

机床的种类会越分越细,就像人类的社会分工一样;这种大批量的生产方式讲究的是分工与同步,分得越细,单件节拍就会越短,效率就越高。

比如曲轴的端部加工,现在一般采用的一台卧式加工中心做以下工序:①换端面铣刀,铣端面;②换中心孔钻,打中心孔;③换小钻头,打孔;④换大钻头,扩孔;⑤换丝锥,攻丝。完成上述工序经历了5次换刀,换刀时间6s。将来可能将此工序继续细分,让曲轴依次流经以下机床:端铣机→中心孔机→钻孔机→扩孔机→攻丝机,各机床的刀具跟随曲轴流动方向加工,曲轴在加工过程中不停顿,中间没有换刀过程。



## 2 高精度、高速度与中庸实用化并行

我们理想中的机床可能是这样的:定位精度 0.002mm;主轴最高转速 30000r/min;主轴扭矩 500N·m;快速移动速度 120m/min;切削速度 20m/min。按照目前的技术水平,制造出这样一台机床成本太高。

但是,现实生活中没有人不需要考虑成本,而且绝大多数应用也没有必要购买这种高指标的机床。例如,针对黑色金属加工,购买者经过权衡过后的选择可能会是以下参数:定位精度 0.010mm;主轴最高转速 8000r/min;主轴扭矩 250N·m;快速移动速度 20m/min;切削速度

7m/min。而成本只是原来的 1/3~1/5。

未来的社会文化会更实际,成本产出比会计算得更精确,根据需求采购相应水平的机床是肯定的。

## 3 数控化趋势不可逆转

现在手动机床所占的比例已经变得越来越小,下一代产业工人可能已不习惯去手摇机床,按钮会取代手柄,操作更轻便、安全、文明。另外,伺服电机的成本会低于传动齿轮箱的成本,机床的结构变得更轻巧、更省金属材料。而电脑的成本越来越低,人力的成本却越来越高。因此,数控化的比例将不可逆转地越来越大。

## 4 机床结构件材料的预测

铸铁依然是机床结构部件的主流,但焊接技术的发展已经让钢板焊接床身成熟起来。大理石床身已经在高精度机床上得到应用,但由于成本原因,没有得到普及。桥式龙门铣的两面侧墙已经有人采用钢筋水泥结构。预想一下:一种介于天然大理石与钢筋水泥之间的中间结构是否可行呢?人造大理石能否在成本上胜过铸铁呢?钛合金是否会被用于机床移动部件呢?这些问题还有待进一步研究。

## 5 机床部件的发展

电主轴、直线电机、力矩电机是

机床部件方面大家讨论的热点,但很多年过去了,在实际应用中并没有成为热点,也许将来可以实现。

(1) 电主轴不会完全取代机械主轴。

电主轴的转速高,传动的平稳性也要优于机械主轴。另外,体积紧凑,在卧式加工中心、机器人等场合是很有优势的。电主轴有很多不可替代的应用场合,机械主轴在重切削方面有自身优势,电主轴无法完全取代机械主轴。

从成本角度考虑,电主轴无论怎样批量生产,都很难达到机械主轴的价格水平。在 1000N·m 以上的场合,电主轴的成本会远远大于机械主轴。

(2) 近一段时间直线电机的市场比例不会超过滚珠丝杠。

滚珠丝杠是市场化最彻底的传动部件之一,成本已经降到非常合理的水平,而且性能稳定,速度水平已经很高,非常耐用,实难被超越。

直线电机驱动的成本一般是滚珠丝杠传动成本的 2~3 倍以上,直线电机驱动由于其自身的优势,应用越来越广。所以直线电机的市场比例不会超过滚珠丝杠。

(3) 力矩电机会超越蜗轮副。

还是因为成本问题,目前国内 500N·m 力矩电机的价格可以做到 30000 元人民币以内。虽然跟相同精度的蜗轮副的价格还没法比,但一台机床可能只需要一只或两只力矩电机,30000~60000 元的成本对整台机床的成本来讲已不占很大比例,考虑到力矩电机在精度、速度上的绝对优势,将来必定会在旋转传动方面超过蜗轮副结构,成为旋转传动部件的主流。

(4) 直线导轨占应用越来越广。

目前,静压导轨统治重型机床,滑动导轨占据中低精度机床,直线导轨则统治绝大多数应用,因为从成本上精度上直线导轨都占据着绝对的优势。(责编 金卯)