

展览会信息 Exhibition

- 19 CCMT2010——相聚南京
- 23 展示自主创新成果 推动产业振兴升级
- 24 CCMT2010展会高层论坛锁定创新发展
- 25 从CMT2009看机床功能部件及配套件的发展
- 29 CMT2009特种加工机床评述(1)
- 36 危机中看CMT2009展 群星荟萃话复合机床
- 40 CMT2009展览会量具量仪展品评述

论坛 Forum

- 45 数控高效放电铣加工技术
CNC efficient EDM milling technology
- 50 适于高速高精度机床的测量和数控系统的最新发展
Development of measurement and NC system for high performance machine tools
- 57 工程陶瓷的高速深切磨削
High speed and deep grinding of engineering ceramics

专题 Special Report

- 64 中国机床工业六十年发展中的主要经验教训

经贸要闻 Economic Focus

- 68 China, Peru sign free trade agreement
中国秘鲁签署自由贸易协定
- 69 China, Indonesia sign currency swaps agreement
中国和印度尼西亚签署货币互换协议
- 69 Foreign retailing chains achieve steady sales growth
外资连锁企业在华销售稳步提升
- 69 CDB signs memorandum of understanding on cooperation with IDB
中国国家开发银行与美洲开发银行签署合作备忘录
- 70 Central China city issues policies on further opening to outside world
中国中心城市武汉出台系列政策扩大开放
- 71 China's import and export with major European countries during January - May, 2009
2009年1-5月中国对欧洲主要国家进出口统计

产销市场 Production & Marketing

- 72 2009年世界机床行业运行情况综述
- 76 进口下滑收窄 出口跌势减缓
- 78 2009年1-6月份机床工具行业固定资产投资及其资金来源分析

企业风云 Enterprise Features

- 83 北京第一机床厂立志成为具有全球竞争力的机床制造与服务供应商
- 85 四川长征机床加强技术创新能力建设

制造业信息化

- 87 机床制造企业ERP的应用与实施

相关产业 Correlative Industries

- 90 自动铺带机/铺丝机(ATL/AFP)——现代大型飞机制造的关键设备(2)
The ATL/AFP - The key machine for manufacturing of modern large airplane(B)

产品与技术 Products & Technology

- 96 追踪先进技术,提升自我产品竞争力
- 98 微水刀激光加工技术及应用
Laser microjet technology and its application
- 100 高精加工中的刀具夹持技术
Tool holding technologies for high-precision machining

欧洲生产工程 EPE

- 106 福伊特驱动的端面齿联轴器
Voith Turbo-Company Profile Hirth Couplings
- 107 铰刀模块化及其优点
Modularity an added bonus

业界动态

- 23 哈斯中国第17个HFO落户泉城济南
- 49 济南二机床集团连续七年入选“中国机械500强”企业
- 82 2009年SKF技术日在天津举行
- 84 重庆机床核心技术再获国家发明专利
- 86 汉川机床高档数控镗铣加工中心受市场青睐
- 89 中国国际装备制造业博览会在沈阳举办
- 95 航天“双雄”参观齐二机床

-
- 104 广告客户索引

展示自 CCMT 2010 —— 相聚南京

中国机床工具工业协会主办的“中国国际机床展（CMT）”的姊妹展“中国数控机床展（CCMT2010）”将于2010年4月12日至16日在南京国际博览中心举办。

“江南佳丽地，金陵帝王州”。中国的四大古都之一的南京不仅是中国江苏省的省会，更是有着近2500年的建城史的著名的历史文化名城。自公元三世纪以来，先后有东吴、东晋和南朝的宋、齐、梁、陈，以及南唐、明、太平天国、中华民国10个朝代和政权在此建都立国，素有“六朝古都”、“十朝都城”之称。

改革开放30年来，南京以其稳固的工业基础，独特的地理位置从一个区域性中心城市，迅速向外向型经济发展，每年有大批跨国公司在该市设立生产基地或销售网点，其制造业正在快步向长三角先进制造业中心的目标迈进。

南京——长三角的重要工业城市

长江三角洲城市群位于中国沿江沿海“T”字带，是中国最大的城市群，它由沿江城市带和杭州湾城市群构成，以上海市为中心，包含江苏的南京、扬州、常州、泰州、镇江、无锡、南通、苏州八个城市、浙江的杭州、嘉兴、湖州、绍兴、宁波、舟山、台州七个城市。该城市群目前形成以上海为核心，以南京、杭州、宁波、苏州等为中心的“一核心、多中心”的空间格局。

据统计，2007年长三角地区16城市共实现地区生产总值（GDP）占全国经济总量的18.9%；平均增幅达到15.2%。进出口总额、财政收入、消费品零售总额均居全国第一。

从长三角16城市工业经济结构看，都是以制造业为主，制造业占其全部工业的比重均在85%以上。南京工业也是以制造业为主，其占全部工业的比重为97.5%，高于长三角平均水平，处于16市中第五位。制造业占工业内部比重较大的现状，决定了制造业对全市工业经济发展的地位与作用。



展览会信息 Exhibition



南京的交通优势

南京地处长江三角洲，距入海口 380km，是我国东西水运大动脉—长江与南北陆运大动脉——京沪铁路的交汇点，素有“东南门户，南北咽喉”之称。目前，已基本形成“铁路、公路、水路、空运、管道运输”综合配套的交通运输体系，省内外交通联片成网。

南京位于“长三角”中心地区，毗邻上海，交通十分便捷。

公路

从南京有 60 多条国道和省道连接中国其他区域。以南京为中心，有沪宁、宁合、宁杭、宁通、宁连、宁高（淳）、宁洛（阳）等多条高速公路向外辐射。

铁路

南京站是我国华东铁路枢纽的主要客运站之一，素有江苏省和南京市陆上大门和窗口之称。每天，从南京至上海往返“动车组”列车达 40 趟，平均每小时有 2 至 3 趟列车，全程仅需 2 小时。而每天中途停靠南京站的列车多达 200 趟。

空运

南京禄口国际机场是国内重要的民用干线机场，华东地区主要的货运机场，现有国内外航线 67 条，可起降目前世界上所有的大型客机。从南京禄口国际机场到南京国际展览中心车程仅需 30 分钟。

海运

南京港是亚洲内河第一大港，我国南北交通和江海运输、水陆换装、水水中转的重要枢纽。长江横穿东

西 400 多公里，南京以下江面可通航 5 万吨级海轮。京杭大运河纵贯南北 690 多公里，江苏境内全部通航。南京港年货物吞吐量 6000 万吨以上，现已沟通了 76 个国家和地区的 160 多个港口。

市内交通

南京市内现有公路里程 230 公里，密度为 $3.38\text{km}/\text{km}^2$ 。南京市拥有较为便捷的公交网络，截止 2007 年共有南京市公共交通总公司、中北巴士、雅高巴士、新城巴士和宁浦巴士等五家公司，共有 170 多条公交线路。

南京地铁 1 号线一期工程南起奥体中心，北至迈皋桥，形成南京主城区中轴线的快速交通走廊。线路全长 21.72km ，其中地下线 14.33km ，地面线 7.49km 。一号地铁途径博览中心，交通便捷。

南京国际博览中心基本情况

南京国际博览中心坐落于南京河西新城的中心位置，是美国 TVS 公司集合中西方建筑设计精髓之力作。博览中心拥有展览和会议两大功能，分为展馆、会议中心和配套服务设施三个部分，其总占地 54 公顷，融汇世界最新理念和南京地域特色形成“虎踞龙盘”独特建筑风格，气势磅礴，规模宏大。

南京国际博览中心工程分两期实施，一期工程用地 34 公顷，总建筑面积为 18万 m^2 ，于 2008 年 9 月竣工交付。一期工程展览部分为六个单层展馆和一个多功能展厅，建筑面积为 12.6万 m^2 ，会议中心建筑面积为 4.6万 m^2 。其他配套设施 8000 m^2 。其中六座同为 $20,000\text{ m}^2$ 的展馆沿着主轴连廊分为三组，两座展馆间 $2,000\text{ m}^2$ 的登陆厅可作为展会的开、闭幕式举办场所，每座展馆既可以单独灵活用于小型展览，也可以与其他展馆相连用于大型展览。每座展馆为 $72\text{m}\times 162\text{m}$ 的展示空间，无柱大跨度净高为 $14\text{--}22\text{m}$ ，地面承载力为 $3\text{--}5\text{T}/\text{m}^2$ ，并设置开启式展位沟，配备上下水、强弱电，并预留压缩空气管线。每个展馆内都设有会议室、餐饮区、

储藏室等服务设施。大型入口广场面向中央公园，设有 1 号、2 号线地铁换乘站出入口。

南京国际博览中心及其周边的商务设施

会议中心建筑面积为 4.6万 m^2 。其他配套设施 8000 m^2 。其中六座同为 $20,000\text{ m}^2$ 的展馆沿着主轴连廊分为三组，两座展馆间 $2,000\text{ m}^2$ 的登陆厅可作为展会的开、闭幕式举办场所，每座展馆既可以单独灵活用于小型展览，也可以与其他展馆相连用于大型展览。每座展馆为 $72\text{m}\times 162\text{m}$ 的展示空间，无柱大跨度净高为 $14\text{--}22\text{m}$ ，地面承载力为 $3\text{--}5\text{t}/\text{m}^2$ ，并设置开启式展位沟，配备上下水、强弱电，并预留压缩空气管线。



展览会信息 Exhibition

每个展馆内都设有会议室、餐饮区、储藏室等服务设施。大型入口广场面向中央公园，设有 1 号、2 号线地铁换乘站出入口。

会议中心地下一层，地上四层，一层以一座 800 人报告厅为中心，两侧设有贵宾接待、商务中心、零售店和西餐厅等，同时报告厅两侧还分布有十几间 80m²–200 m² 的会议室。另设有大、中宴会厅及各类包间十多个，其中大宴会厅可容纳 600–700 人同时赴宴。5000 m² 的多功能厅内净高 10–12m，可容纳 3000 人，也可以用活动墙分为两个区，厅内设置了 5.6m×23.0m 的进口 LED 显示屏，满足各种展览、集会、产品发布和大型宴会等活动。

南京国际展览中心周边酒店介绍



南京周边地区的主要工业

南京地处华东中心地带，辐射范围广阔，东至上海，西到安徽、湖北，南抵浙江、江西、福建、广东，北达山东、河南、河北。在这一片广阔的地域中，人口稠密，集聚了大量的制造业企业，如工程机械领域有山东山推、上海弘然、上海一达；船舶工业有江南造船，中船重工，中船底 9 规划设计院，沪东重机，中船总公司，中船集团南京绿洲机床厂，淄博柴油机总公司，青岛北海船舶重工，中船重工第 703、704、711、723、724 研究所等；能源领域有上海核电集团、南高齿等著名企业；华东地区更是汽车及汽车零部件的生产地，模具行业非常发达；还有中国兵器工业集团及下属的各个公司，中国电子科技集团及下属的各公司，冶金、煤炭、铁路、交通、石化、轻工等行业的企业也星罗棋布。这些企

业都是机床工具行业的用户。

南京地处华东工业发达地区的中心地带，交通便捷，人口稠密，周边地区制造业企业星罗棋布，具有良好的办展资源；南京国际博览中心现代化展馆，具有功能完善的配套设施和商务设备；中国机床工具工业协会在机床工具行业领域丰富的办展能力，强大的凝聚力和号召力，相信于 2010 年 4 月在南京举办的 2010 中国数控机床展览会 (CCMT2010) 又将会取得巨大成功，成为促进我国机床工具行业开拓创新，实现产业升级的一次盛会。

展示自主创新成果 推动产业振兴升级

中国机床工具工业协会主办的展览会历来不同于一般的商业展会，其每一届展会都具有鲜明的主题和丰富的配套活动。其品牌展会之一的中国数控机床展览会（CCMT）更是以提高中国数控机床产品的市场竞争力，促进国产数控机床产业迅速发展为战略目标和努力方向。

2010年4月，机床协会主办的第六届中国数控机床展览会（CCMT2010）将在南京拉开帷幕，其时正值“装备制造业调整振兴规划2009-2011”（以下简称“3年规划”）公布实施一周年，是国家科技重大专项《高档数控机床与基础制造装备》实施方案及其技术改造和首台首套项目、国家4万亿内需拉动等政策措施颁布实施后能够看到初步成果的时期，同时也是中国机床工具行业经过全球金融危机洗礼，企业运行基本走出困境、有条件实现新的跨越式增长的重要时期。

政府出台的种种政策措施是否被有效落实，并改善了机床工具行业的现状？企业是否抓住了难得的历史机遇，加速自主创新，推动产品结构调整，开发了更加满足用户需求的产品，促进了产业优化升级？这些都是全行业乃至众多用户行业最为关注的大事。由此，CCMT2010展会也自然成为政府、行业 and 用户对机床工具企业各项政策落实进行集中检阅的平台。

在这样的历史背景条件下，第六届中国数控机床展览会（CCMT2010）要肩负更多的社会责任，借此平台，集中展示各项政策措施落实情况和企业自主创新，调整发展的成果，从而进一步推动产业振兴和优化升级，给政府和用户交出满意答卷。因此，CCMT2010主办方中国机床工具工业协会为该展会确定了“展示自主创新成果 推动产业振兴升级”的主题。

实践证明，加快自主创新，积极开发高质量、高附加值的创新产品和创新品牌，完善以企业为主体，市场为导向，产学研相结合的技术创新体系，是全面提升企业核心竞争力，保持经济平稳较快发展的重要途径。

这些年，机床工具行业的企业为此付出了艰苦的努力。令人可喜的是，努力取得了很好的效果。集中体现在行业创新能力有所提高，加快了自主创新成果的产业化进程；一批具有先进水平的首台套新产品投入研制，填补了国家空白；一大批适销对路的新产品形成能力，满足国家重点工程急需。

“展示自主创新成果 推动产业振兴升级”展会主题的确定，为展会定下了基调，也为企业参展确定了目标和任务。届时，中国机床工具行业的整体实力和企业发展状况将得到充分验证。

2010年的中国数控机床展览会，定会是亮点频现，新品倍出。让我们翘首期待！

• 业界动态 •

哈斯中国第17个HFO落户泉城济南

2009年8月26日，哈斯在中国的第17家HFO在山东省省会泉城济南正式开业。众多哈斯本地用户和潜在用户以及部分行业媒体受邀参加济南HFO的开业典礼。

哈斯全球首席财务官 John Gwyun 先生代表哈斯在开幕典礼上致词。他在致词中说：“哈斯的HFO在向更多的客户展示哈斯产品的高可靠性和真正的价值，每一家新的HFO的出现都会给我们的理念带来更多客户的声音，同时也保证了哈斯的产品和服务以最快的速度送往全球各地。以全球的眼光看世界，以

当地的模式来经营，哈斯这个理念正以HFO的形式得到更加深入地实现。感谢每一位客户对哈斯的支持，正是客户对产品性能上的要求教会了我们如何来改变产品，提高服务，以此来面向客户的需求。”

哈斯济南HFO的开业，与青岛HFO相呼应，完善了从胶东半岛到鲁西南地区，贯穿山东省全境的哈斯机床销售和服务体系。而济南HFO将着力为济南及周边地区的客户提供国际化的快捷、完备和专业化的备件供应、维修、培训、加工演示、工艺方案制定以及信息共享等服务。

(上接第 28 页)



图 14 首钢-莫托曼机器人工作图

已经做为产品推向市场。多个著名企业都展出了类似展品。图 12 为 FANUC 公司参展的机器人单元正在给机床装夹工件，图 13 为四川长征机床展出的机器人单元，图 14 为首钢-莫托曼机器人有限公司推出的机器人工作图。利用机器人操作机床，不仅仅

能完成搬运、装卸任务，新一代的机器人已具有视觉和触觉功能，能完成操作工人具有感觉功能的操作要求。采用智能机器人制造系统不仅减少了操作工人，还节省了大量的工装、卡具，取消了立体拖板库，也因此大大缩小了作业面积。而且机器人可以长时间从事作业，也可以胜任各种恶劣的生产环境。

相信，在不久的将来，机器人一定会得到更广泛应用，最终取代人工，带来生产力的又一次飞跃。

6. 结束

通过 CIMT2009，我们可喜的看到了机床工具行业的快速发展，更清楚感受到了当前产品竞争的激烈。应该刻苦钻研新技术，努力提高自主创新水平，推动我国机械制造业的技术进步和机床工具行业的迅速发展。□

从 CIMA2009 看机床功能部件及配套件的发展

桂林机床股份有限公司 梁世伟

告别 2008 年精彩纷呈的北京奥运会，我们迎来了属于我们机床行业自己的一场盛会。

现代机床的发展在此次展览会上可以说展现得淋漓尽致，新结构、新技术不断呈现，看得让人心情振奋，在这些高技术高质量的产品面前，我们不难发现，产品的创新与发展与其配套的功能部件的发展是密不可分的，各大功能部件在这次展会中也成了机床产品的关键亮点所在。数控装置、主轴、附件铣头、滚珠丝杠副、导轨副、数控转台、数控刀架、刀库与机械手、防护装置等在此次展览会上大放异彩。

1. 滚动功能部件

滚珠丝杠、直线导轨副是机床的运动功能部件，也是关键的基础元件。它是向着数控机床高精、高速、环保方向不断发展的。国内外生产厂商众多，此次参展的主要生产厂家有南京工艺、汉江机床、山东博特、凯特精机、西北机器、台湾上银、德国亿孚、THK、SCHNEEBERGER 等。随着高速机床的不断推广应用，高速机床运行进给速度要求均达到了 40m/min 以上。据了解，国内滚动丝杠的驱动速度一般为 30m/min，最高为 60m/min，而国外产品一般为 40m/min 最高也达到了 90m/min，高了一个档次。同时，国内机床用户对国外进口线轨和丝杠仍具有很大的偏向性，国内各大主要机床厂对进口丝杠、线轨的采购使用率也达到 60%以上。由此可见国产化高档数控机床要想征服世界，我们国内自己的滚动功能部件还需努力追赶世界先进水平。

如今，国外研制直线电机，驱动速度可以达到 120m/min。如 THK 的直线电机，最高移动速度 12m/s，加速度 10g，采用单定子高速直线电机时最大推力 2000N，双定子时 4000N。目前国内采用该项技术还不多。

展览会期间，上海原创精密机床主轴有限公司展出的静压丝杠螺母和静压直线导轨，吸引了不少观众的眼光，其陈列展品上均表示有“中国首创”醒目标题。用油压来取代滚珠，确实是个不小的突

破创新。以下为该公司产品简介，仅供大家参考。

(1) 静压丝杠螺母 (图 1)

静压丝杠螺母与丝杠间隙中充满高刚度的油膜。油膜具有吸振作用和均化丝杠螺母本身加工误差的作用，因此能实现无间隙的正、反传动，定位精度高，传动精度高，抗振性好，传动平稳，即使在极低的转速下也无爬行现象，传动效率高，寿命长等一系列优点。

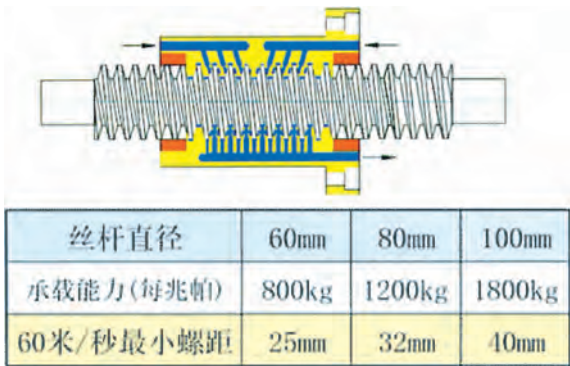


图 1 静压丝杠螺母

(2) 静压直线导轨 (图 2)

工作原理与静压轴承相同，将具有一定压力的润滑油，经节流器输入到导轨面上的油腔，即可形成承载油膜，使导轨面之间处于纯液体摩擦状态。

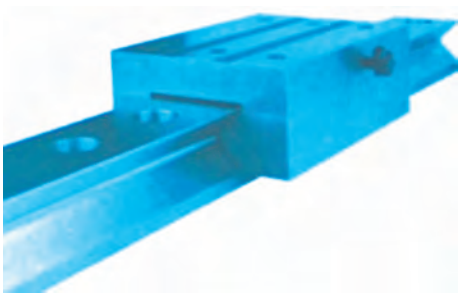


图 2 静压直线导轨

优点：导轨运动速度的变化对油膜厚度的影响很小；载荷的变化对油膜厚度的影响很小；液体摩擦，摩擦系数仅为 0.005 左右，承载能力大，抗振性好，极低速度不爬行、不磨损。导轨截面有圆形、矩形、双 V 型等多种形式。

2. 主轴与附件铣头

(1) 主轴是直接参与切削的功能部件，其各项参数的好坏对机床产品来说至关重要，正朝着高精、高速、大功率、大扭矩方向发展。

目前传统机械主轴国内各大机床厂家都能够自行生产，但随着专业技术的不断发展，涌现了不少专业厂家，尤其以台湾企业知名度较高，其中参展的有普森精密主轴（图3）、日绅精密主轴及惟隆精密主轴等，得到了各大机床厂的认可和采用，最高转速达到了12000r/min以上。

电主轴也得到了更大的发展，已经广泛应用于各大产品中。

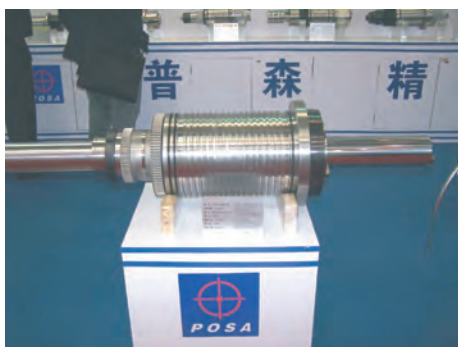


图3 普森精密主轴

(2) 附件铣头作为主轴头的延伸和拓展，扩大了机床的加工范围，提高了机床的可用性。如图4所示，加工一件发电机组中的主轴箱体，在同一台机床上，通过使用不同的附件铣头，可以实现工件一次装夹加工完成，节约了加工时间，大大提高了生产效率。在展会上，各种各样的配套的附件铣头，也成了各大机床厂家展品中的一大亮点。



图4 各种铣头加工示意图

图5为Horma北京正科科技有限公司展出的丰富精美的附件铣头。其展品中的手动和自动铣头已

被沈阳中捷、齐重数控装备股份有限公司采购，同时也得到了国内各大机床厂和机床用户采用和认可。

图6为北京第一机床厂展出的B/C机械式摆角头。采用分离式结构，即滑枕箱体与齿轮变速箱体分离结构，在滑枕箱体和齿轮减速箱体之间设置通有恒温冷却油的隔板，使变速箱中齿轮、轴承产生的热量不会影响到滑枕的热变形。摆角头主运动为齿轮传动，主轴为机械主轴，主运动通过滑枕镗铣主轴端面键将主轴的主运动及动力传递给摆角头的输入轴，该运动通过摆角头内的两对直齿轮及等高螺旋伞齿轮传动给摆角头的主轴。B轴最大进给速度2160°/min；B轴最大输出扭矩7500Nm；摆角头主轴最高转速3000r/min；摆角头主轴最大输出功率40kW。



图5 北京正科附件
铣头展品



图6 北一的B/C
机械式摆角头

(3) 主轴头及功能铣头的发展

1) 虚拟主轴的发展

如图7所示，该类型主轴无单独完成A、C摆角的机械动作，由三条均布相隔120°的高精度传动直臂支持主轴头，完成空间任意摆角及Z轴运动，克服了A、C轴回摆的极值问题。采用此类虚拟主轴的机床加工精度高、效率高、可达到超高速加工范围。

由沈阳机床（集团）有限责任公司展出的三自由度并联主轴头（图8），能够实现A/B轴和Z轴方



图7 虚拟主轴

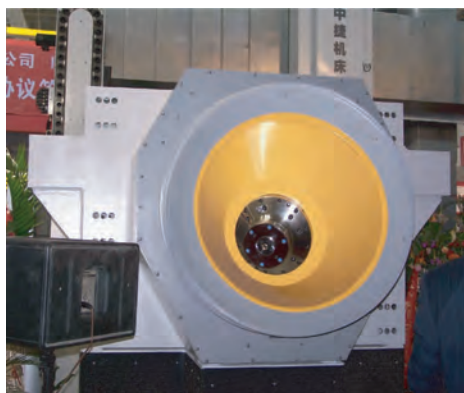


图8 沈阳机床的三自由度并联主轴头

向平动，动作灵活，定位准确，Z轴（主轴）行程670mm，B轴转动范围 $\pm 40^\circ$ ，主轴最大转速24000r/min；Z轴快移速度50000mm/min，A/B轴快移速度 $1''/80^\circ$ ，Z轴加速度1g；主轴功率75kW；Z轴定位精度0.01mm，A/B轴0.004mm/ $^\circ$ ；Z轴重复定位精度0.008mm，A/B轴0.003 $^\circ$ 。采用并联闭环静定或非静定杆系结构，在准静态情况下，传动构件有手拉压载荷的二力杆，传动机构的单位具有很高的承载能力。该三自由度并联主轴头由三个相互独立的支路驱动平台，全闭环控制，确保了主轴头的定位精度及精度的稳定性，进而带动电主轴实现灵活、快速的A、B轴的摆动和Z轴的平动；适合复杂零件加工。

2) 三轴铣头

大连机床集团旗下兹默曼公司（F. Zimmermann GmbH）在展会上展示了配备弧形导轨的三轴铣头M3 ABC（图9）。

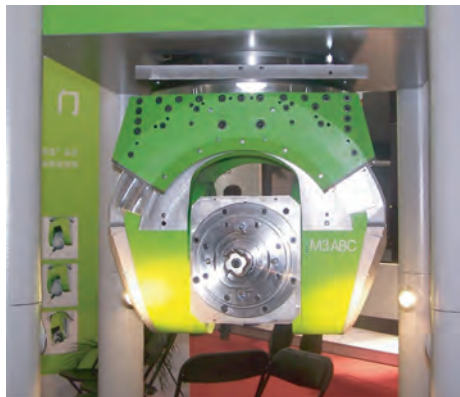


图9 三轴铣头 M3 ABC

据介绍，M3 ABC 铣头是迄今为止第一个结合了其它铣头全部优点的铣头。增加的弧形导轨将现有的所有优势理念结合在一起，并为5轴联动加工方式增添了新的维度。大幅度的摆角足以应对各种加

工要求，同时极点问题得到完全解决。

配备弧形导轨的3轴铣头M3 ABC在加工一些独特工件拐角处时能够保持较高的进给速度，因此能够大幅度提高生产效率。此外，由于加工拐角时总能保持较高进给速度，刀具的磨损大幅度减小。通过优化的加工条件（合适的高速进给）可达到更好的工件表面品质，并且在三个旋转轴方向都可达到大幅度的旋转范围。

兹默曼独家专利的三轴旋转铣头M3 ABC是专门为航空、汽车和模具工业的特殊应用而设计。

3. 数控回转台

数控回转台的应用相当广泛，是一种成熟的技术。通过使用数控回转台我们可以使机床实现了多轴联动加工，在现代机床高速、高精度的发展趋势下，这要求回转台必须具备很高的回转精度和转动速度及很高的可靠性。传统的回转工作台采用蜗杆蜗轮和传动，减速比为几十比一，后通过伺服电机带动运作，虽然现在蜗杆蜗轮的加工精度及整个回转台机构都得到了保障和提高，但始终没办法解决系列问题，如：受减速比影响，回转速度不快；受蜗杆蜗轮机构影响，反向间隙依然存在，对精度保持性并不长。在这种情况下，一种新的技术和理念诞生了——那就是直驱技术，采用力矩电机驱动，取代普通机械传动，力矩电机直接驱动技术、具有高加速、高动态响应特性、无背隙、无磨损、精度保持性好等优势。

日本著名厂家森精机就率先研发了这一技术，并很好的进行应用推广。其展出的MN5000DCG五轴高精度立式加工中心，就采用了直接驱动回转台，在简化了机床结构的同时，实现了高速旋转和高精度定位，提高了机床的性能。北京机床研究院展出的多台五轴叶片铣床也应用了此项直驱回转台技术，产品性能也有很大提高。

但目前国内能够投入生产应用的厂家并不多。图10为北伊贝格技术有限公司提供的直驱工作台图样，该公司也是专注于该项技术产品的生产研制工作，各种转台种类丰富齐全。

大连光洋科技工程股份有限公司也推出了该项技术产品——直驱式双轴转台DDTR-400。工作台台面直径400mm，A轴额定扭矩330~990Nm，C轴额定扭矩175~525Nm，最高转速60r/min，A轴定位精

展览会信息 Exhibition

度 $\pm 3''$ ，C轴定位精度 $\pm 2''$ ，A轴摆角范围 $\pm 95^\circ$ ，C轴 $\pm 360^\circ$ 。此外台湾潭兴在会上打出了台湾首创直接式高速回转工作台的旗帜。

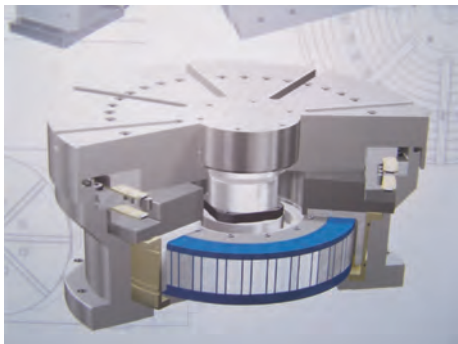


图 10 直驱工作台示意图

相信不多久之后会有更多的厂商投入该项技术研究生产，也会生产研制出有更多更好更先进的回转台产品来装备我们日益强大的机床行业。

4. 辅机、刀库

随着机床应用技术的不断发展和完善、功能日益强大，各类辅助机械也有改进和发展，机床防护罩、排屑器等、液压站等，更趋于专业化和完善，它们装备着我们的机床，使我们的机床日益完美。知名的有烟台博森机床辅机有限公司、三门峡威杰机械设备有限责任公司等，及众多大小配件公司。细微之处显真章，德国 DMG 公司在个细节处做出了大文章，在切削输送装置、控制柜、操作站等都有人性化设计，产品让人看起来有数不尽美感和享受，引来阵阵好评。反观我们国内产品，确实要多下功夫，跟上档次。

小小辅机也可以使机床产生质的改变。如无锡市协清机械制造有限公司为我们提供的 XQ-自动平衡系统（图 11），运用在立式床身铣床中，取消了传统的配重块和链条结构，利用蓄能器原理，平衡主轴头之重量，利用平衡缸配合主轴头之伺服电机上升下降，以达到高速度、高精度加工。其主要优点有：无需外动力设备，节省能源、成本；快速响应特性好，机床运行快速平稳，无噪音；减小微振动，在加工过程中可使加工精度和表面质量大幅提升，并延长螺杆和电机使用寿命；安装简单，便于维护。此外平衡装置在大型机床，高速机床上的应用将会越来越广泛。

刀库做为机床的一个重要功能设备，大大提高



图 11 XQ-自动平衡系统的应用

了机床的自动化水平，其发展也是随着机床的高速化发展的，主要体现在与更快的换刀时间，及更大的刀库容量。其结构形式长期以来主要有圆盘式和链板式两种。但在这次展览会上，我们看到了一种新型的刀库应用形式——仓储式刀库。牧野机床展出的一加工中心上，刀库设在机床边的封闭“仓库”内，各刀具在刀架上按序排列，机械手臂在仓库中通过导轨上下左右移动，按指令存取相应的刀具。据了解，该形式的刀库，容量大，刀具分类分明，可存放各种各样的刀具，由于是封闭仓库对刀具的保护保存较好，也体现了机床更好的整体性和高自动化。但是制造成本略显昂贵。

5. 机器人单元

历届 CIMA 展览会上，机器人的出现总会吸引广大观众的眼球。本次展览会也不例外，我们不得不承认机器人和机床的联系变得越来越紧密了。智能化机器人制造系统被称作为第三代柔性制造系统，



图 12 FANUC
机器人演示



图 13 四川长征机床的
机器人演示

（下转第 24 页）

CIMT2009 特种加工机床评述 (一)

CIMT2009 特种加工机床评述专家组*

摘要: 通过对第十一届中国国际机床展览会 (CIMT2009) 展出的各类特种加工机床的调研, 对国内外电火花加工机床、激光加工机床、快速成形机床等相关产品的技术性能进行比较深入和系统的评述; 对发展趋势及市场动态进行报道及分析。

关键词: 特种加工机床; 电火花成形机床; 电火花线切割机床; 专用电火花加工机床; 激光加工机床; 快速成形机床

第十一届中国国际机床展览会 (CIMT2009) 于 2009 年 4 月 6-11 日在北京举行, 展出面积达 10 万 m^2 , 来自 28 个国家和地区的 1 200 多台机床参加展出。CIMT2009 特种加工机床国内外参展厂商有 49 家, 展出机床共有 99 台。国内参展厂商 34 家, 展出机床 69 台, 电火花加工机床 (EDM) 数量最多, 展出 47 台, 其中数控电火花成形机床 (NCSEDM) 12 台, 低速 (单向) 走丝电火花线切割机床 (LSWEDM) 7 台, 高速 (往复) 走丝电火花线切割机床 (HSWEDM) 19 台, 其他 EDM 9 台, 其次是激光切割机床 12 台, 水切割机床 3 台, 快速成形机床 4 台, 其他特种加工机床 3 台; 国外参展厂商 15 家, 展出机床 30 台, 同样是 EDM 最多, 展出 18 台, 其中 NCSEDM 7 台, LSWEDM 11 台, 其次是激光切割机床 10 台, 等离子弧切割机床 1 台, 水切割机床 1 台。下面就 CIMT2009 展出的特种加工机床进行评述。

1. 电火花成形机床 (SEDM)

本届展会上, 国外参展商展出的 SEDM 与上届基本类似。国内参展的 12 台 SEDM 基本上为 NCSEDM。例如, 北京市电加工研究所的 A35 五轴五联动的 NCSEDM 等; 台湾展品中未见 SEDM。本届展会的 SEDM 从技术来说没有实质性的创新产品, 主要是在原有的基础上实现技术升级, 使实际加工效果有了较大提升, 加工工艺有一些新的突破。本次展会上还可以看到, SEDM 的应用领域以及与高速铣的关系的界定更加明确了。下面就 SEDM 的技术升级的几个主要方面以及应用领域等进行介绍。

1.1 SEDM 的“精度”是一项系统工程

SEDM 的总体精度要求应涉及多个领域, 本来就是一项系统工程, 但在这项系统工程中, 往往重视

机床的精度, 而经常忽视脉冲电源及工艺数据库的“精度”, 也就是说忽视对脉冲电源、工艺数据库参数稳定性和精准度的研究。即使有高精度的机床, 但如果脉冲电源的参数有较大的离散性, 采用工艺数据库 (专家系统) 进行加工, 很有可能无法达到预期的工艺目标, 而且在同样条件下可能无法重复同样的工艺指标, 这实际上是降低了专家系统的应用价值。正是由于 SEDM 的加工工艺相当复杂, 例如要得到 $Ra\ 0.1\ \mu\text{m}$ 的镜面加工, 需要十几档归准转换, 还要输入大量的数据, 人工操作比较困难, 这就需要稳定、精准的专家系统, 说明 SEDM 实现高精度加工, 不但要有高精的机床, 还要有高精度的脉冲电源及工艺数据库, 而后二者的关键是脉冲电源的精度问题。

从这次展览会上可以看出, 在脉冲电源的高精度方面已有很大的进步, 一些有品牌的企业, 在这方面采取了相应的措施。例如, 在元器件的选用方面, 重视保证质量, 并在设计上要求保证性能参数有足够的冗余, 以保证在一定条件下的参数稳定性; 由于脉冲电源大功率管的技术进步, 设计上要求采用大功率管替代多个小功率管的并联, 并由于取消了限流电阻, 再加上采用数字变压技术, 先进的信息控制技术等, 简化了主回路, 简化了电气箱结构, 保证了脉冲电源性能的稳定性; 主回路限流电阻的取消, 使主回路的能耗和箱内发热量大幅度下降, 这样电气箱可以在相关标准的基础上进一步提高密封等级, 并采取间接风冷等恒温措施, 使脉冲电源在合适的温度和清洁的环境下长期运行, 以保证脉冲电源的“精度”; 在精加工方面, 设计采用单独的线路板 (电源), 安装在非常接近火花间隙的地方, 以防止传输线路过长, 影响高频传输时精加工电源参数的稳定性; 还有如脉冲电源各级电压的精度也

展览会信息 Exhibition

都有较高的要求。所有这些都提高了脉冲电源参数的稳定性和精准度。

如果把脉冲电源比作金切机床的刀具，那么刀具有一系列标准，而脉冲电源基本上没有标准。实际上一些知名品牌的公司为了保住他们的品牌，在企业内制定严格得多的企业标准。

1.2 高速信息流的脉冲控制技术

SEDM 在粗加工到粗中加工时，伺服系统还能控制集中放电，到中、精加工特别是精加工时，就很难控制了，这就是常说的伺服系统时间常数问题。例如伺服系统的加速度达到 0.1 g ，间隙扩大 $10\text{ }\mu\text{m}$ ，需要 4.5 ms ，若达到 1.0 g 为 1.4 ms ，若达到 2 g （很不容易），还需要 1.4 ms ，这就是无论多么先进的伺服系统，以毫秒级的反应速度，去控制微秒级甚至毫微秒级的脉冲放电几乎是不可能的。

因此，要解决精加工的稳定性和加工质量问题，首先要解决火花间隙与主机之间的高速信息流问题，关键是实时的信息收集和处理。在信息收集方面，做到每个脉冲都检测，包括电流、电压、电流上升沿、放电电压的波动等，所以我们这次看到各家都在开发专用高速芯片，如现场可编程门阵列（FPGA），可以达到 30 MIPS ，也即在 33.3 ns 内运算一条指令，但关键是实时处理的对策一定要简单有效。处理的对策：输出的调节参数一定要针对解决集中放电这种渐进的恶化趋势，由于检测速度的大幅度提高，可以在稍有恶化就介入处理，把恶化趋势扭转过来，同时还能维持放电的连续性。现代脉冲电源是用数字电压调节方式，可以迅速调节脉冲能量，还可与功率管改变内阻的方式相结合，可形成快速而又平滑的脉冲功率调节。有了这样一个高速信息流的脉冲控制技术，后续的脉冲停歇，抬刀及中长期趋势的信息由模糊控制等进行处理，这样组成一个完整的脉冲控制体系。

没有击穿间隙的脉冲，脉冲能量不输出，这个能量会储存在线路的寄生电容（电感）中，而在下次脉冲击穿间隙放电时，会加大单个脉冲放电能量，对中、精加工特别是精加工产生较大的影响，特别是对大面积精加工尤为重要，因为此时的极间电容较大。所以在脉冲控制方面设置专门的电路，将这种能量在脉冲停歇期间进行释放，这也是脉冲控制技术重要部分。

1.3 SEDM 其他新方向

(1) CAD/CAM 技术的应用

CAD/CAM 技术在 SEDM 方面的应用，我们评述文章没有介绍过，结合这次展会我们简单介绍一下，可能对读者所有启发。

将电极和工件加工后的 3D CAD 数据直接输入 SEDM，采用 CAM 技术进行编程，并计算出每个加工深度时放电部位的面积，用以配合适应控制最佳加工电参数和伺服、抬刀等参数，使加工处于最佳能量控制状态，比原来实测加工面积后调整加工参数的适应控制技术要准确、可靠。加上可以采用电压微调，甚至可以实现平滑过度，这样加工效果会更好，还可以提高型腔加工精度。

(2) 主轴高速性能的新动向

主轴的高速和高响应伺服性能对深型腔加工、深槽窄缝加工、小间隙高精度高效加工、精密微细加工等都具有重要意义。主轴的高加速性能，可有效的产生抽吸作用，使加工屑有效的排出，实现了深槽窄缝、深型腔的无冲液加工。主轴的高速性能受主轴的执行机构的影响。目前主轴的执行机构有三种形式，一是直线电机直接驱动，二是交流电机直接带动滚珠丝杠副，三是交流电机通过齿轮减速带动滚珠丝杠副，他们各有千秋，但直线电机的高速性能最好，最早为了提高速度仅在 Z 轴上使用，使用后发现，加工精度也有优势，现在三轴都用。但直线电机如果没有批量，成本太高。目前，沙迪克公司直线电机的 SEDM，Z 轴最高抬刀速度达 36 m/min ；牧野公司采用交流电机和软件技术最高速度是 10 m/min （图 1）；国内北京市电加工研究所在交流伺服电机上，利用高速抬刀软件的功能，实现了主轴抬刀速度 $\geq 6\text{ m/min}$ ，为解决这类零件的加工提供了很好的平台。



图 1 日本牧野电火花成形机

在高速抬刀方面的新动向，主要是采用钟形抬刀速度曲线，即在抬起瞬间加速度小，已形成一定间隙，使工作液进入后逐步增加加速度，在抬刀返回时

相反,是逐步降低加速度。这样可使抬起的负压,返回时正压大幅度减小。这种变速能力现在高速性能的抬刀系统都可具备,这个方法要比单单加大主轴刚度以应对高速抬刀技术上合理得多。

1.4 SEDM 的市场定位

在模具加工方面,事实上 SEDM 和加工中心所代表的高速铣,已不是零和游戏的双方,而是优势互补,已经进入了双赢的局面,这是多年市场所证明的。

在中、大型型腔模具加工方面,除了深槽窄缝和清角加工外,还有如音响设备的音窗、汽车进风格栅以及落差大的型腔,有些深型腔如汽车发动机箱压铸模型芯(腔),需要超长的铣刀加工,由于刀具的刚度不足、表面质量无法保证,只能用 SEDM,就是用高速铣精加工的型腔表面留下刀花和接刀痕,有的也用 SEDM 混粉加工解决。但在中、大型腔加工方面 SEDM 可能不是主角。

在中、小型模具特别是小型高档模具加工方面,SEDM 呈现很大的优势,其市场的来源是机电产品的功能集成及相应的小型化,其小型模具越来越复杂,并为了提高模具寿命采用高硬材料,由于小型、复杂、高硬材料使高速铣的特点发挥不出来,可加工性也较差,相反 SEDM 具有明显的优势。例如,手机和数码相机模具制作周期中抛光占 1/4,争取免抛光或少抛光是重要方向,但高速铣无可避免地留下刀花和刀痕,免不掉抛光,有的小型腔中无法抛光,按当前 SEDM 的水平可以稳定满足该模具的最后精加工。当然并不是说有的高速铣不能加工,而是说其加工的技术经济方面不如 SEDM。所以在中小模具特别是小型模具加工方面,SEDM 是主角。在这次展览会上可以看出,针对这方面推出了一系列的新机型,如瑞士阿奇夏米尔的 FO350 μ ,直接宣传 1 mm³ 的小型腔加工、日本沙迪克的 C32,电源仅为 15 A,宣传的亮点是“零损耗”、三菱公司的 EA8PVM Advance 小型高速高精度机床,加工精度 ± 0.003 mm 等。展览会上摆出的接插件模具样件,模具的微细槽宽 0.2 mm,深 0.3 mm,其底角的清角可稳定达到 0.01 mm,甚至可达 0.005 mm,清角加工是此类机床的重要性能,小型模具(小器件)为利用空间,清角加工是必需解决的问题,而只有 SEDM 能实现清角加工。小型腔在相当多的情况下无法抛光,只有通过 SEDM 高精加工,才能保证表面粗糙度,目前的 SEDM 能获得 Ra 0.1 μ m,甚至 Ra 0.06 μ m 的表面粗糙度。

在模具加工方面,我国的 SEDM 也有长足的进步,例如北京市电加工研究所的 A35 五轴五联动的精密数控 SEDM (图 2),缩小了与国际先进水平的差距。北京凝华的 NH 系列 SEDM 性价比较高,可实现多腔自动定位加工和数控平动,具有良好的人机界面和优良的加工性能等。



图 2 A35 五轴五联动 NCSEDM

个性化是永恒的市场,所谓个性化是指为适应特殊材料、特殊零部件与结构而设计的专用 SEDM。在特殊行业如航空航天及军工行业等,个性化的专用 SEDM 市场越来越大。在航空航天工业中的发动机整体叶轮、机匣等空间曲面、内燃机型腔、深槽窄缝的变截面加工等,对 SEDM 的需求越来越多,例如苏州电加工机床研究所有限公司提供的五轴联动 SEDM (图 2),可进行航空航天发动机叶片扭曲的整体叶盘加工,在航空航天领域发挥着重要作用。随着航空航天、军工工业的发展,这个个性化市场还有很大的发展空间。在特殊材料方面,除航空航天、军工用的高强度、高硬度、耐高温的特殊材料外,还有如聚晶金刚石、立方氮化硼、金属陶瓷等高硬材料以及脆性材料和粘性材料等,这些材料难于或不能进行机械加工,其成形加工基本上依靠个性化的专用的 SEDM 进行加工。即使能进行机械加工的零件,但为了提高加工过程中的技术经济效益,而采用个性化的专用 SEDM,例如苏州电加工所的用于子午线轮胎模加工的数控电火花成形机专用技术及设备等。所以个性化的专用 SEDM 是今后市场发展重要方向。

2. 低速(单向)走丝电火花线切割机床(LSWEDM)

和前几次机床展一样,LSWEDM 是几大世界著

展览会信息 Exhibition

名电火花机床厂家展出的主要机种之一。但和往届不一样的是,从这次机床展中可以看出各厂家不再一味的追求加工速度,而是针对电火花线切割加工特点及应用情况,更注重面向高精度、高加工表面质量和微细化等几个方面发展。

2.1 国外 LSWEDM 的发展新动向和主要新技术

2.1.1 高精度加工技术

(1) 大厚度加工的高精度化

为了提高加工工件的直线度,日本三菱电机公司开发出了 Digital AE 电源。该电源通过放电位置的检测和控制,实现了工件上、中、下表面的均匀放电,进而达到提高加工直线度的目的。据介绍该方法尤其对提高大厚度工件直线度有效,它改变了以往人工通过试加工寻找合适的加工参数以及通过增加加工次数修正直线度的传统方法,利用该方法对 200 mm 厚度的工件只进行一次粗加工,其加工直线度可控制在 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以内,并由于粗加工精度的提高,使得后续精加工时间缩短了 20%。日本牧野公司通过极间间隙控制技术 (GS-CUT),同样实现了工件上、中、下表面的均匀放电,300 mm 厚的工件其直线度可控制在 $7\text{ }\mu\text{m}$ 以内。瑞士阿奇夏米尔公司的 FI2050TW 大厚度加工的特点是用粗丝进行粗加工,用细丝进行精加工。

(2) 变截面工件加工的高精度化

在这次机床展中可以看到,日本三菱电机公司 (图 3) 和日本沙迪克公司 (图 4) 在加工机的数控系统内装备有 CAD/CAM 系统,加工机可方便读入 3D 和 2D 数据,同时通过 CAM 可直接生成 NC 数据。在 CAD/CAM 系统的基础上,日本三菱电机公司开发出了 3D 自适应控制方法 (3D-PM)。该方法利用加工机内的 CAD/CAM 系统解析三维数据,自动识别加工工件毛坯形状特征。这样加工机可知道加工任意时刻电极丝在加工工件毛坯中的位置、毛坯工



图 3 日本三菱线切割机

件的厚度以及周围毛胚的具体形状,并且根据这些信息进行一系列的控制。比如即使是变截面工件,根据电极丝周围毛胚形状自动调节 Z 轴位置,可方便实现喷嘴紧贴工件的加工,提高加工速度。

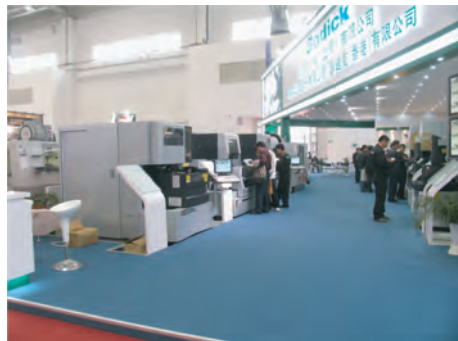


图 4 日本沙迪克展台

3D 自适应控制方法在变截面加工方面的另一个功能就是变截面工件的精度控制。以往的变截面控制一般是通过检测加工速度来判断工件厚度,在变截面处改变加工条件实现变截面处精度的控制。但这种传统的方法在工件厚度改变瞬间或者以后才能改变加工条件,其结果是在变截面处出现条纹。3D 自适应控制方法打破了传统方法的局限性,由于它可提前知道变截面位置,进而可在进入变截面位置之前的任意时刻改变加工条件,这样扩大了变截面加工控制的自由度,可大幅度减小变截面处出现的条纹,提高变截面处加工的加工精度。据介绍该方法可将变截面处的精度控制到 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以内。

(3) 基于直线电机应用的高精度加工

为了提高加工形状精度,日本沙迪克公司近几年在所有的线切割加工机上都装上了直线电机。本次机床展和往届一样重点展示了直线电机电火花线切割加工在提高加工精度方面的优越性能。由于传统的电机加滚珠丝杠传动结构属于机械性接触,存在定位误差、齿隙和反齿隙误差,所以为了提高运动控制精度,常常需要各种补偿控制,但有时也很难根本上消除误差。但直线电机由于是直接拖动式的电动机,所以它本身不存在定位误差和齿隙,所以其运动精度可以达到很高。尤其在圆弧加工方面,直线电机电火花线切割加工可大幅度减小因坐标轴反向运动产生的“突起形状的滞后误差”。直线电机电火花线切割加工与传统的电机加滚珠丝杠结构相比另一个突出的优点是其响应特性的高速性,这在电火花成型加工方面体现为可高速抬刀排屑,在电火花线切割加工方面可体现为大幅度提高加工稳定

性。尽管直线电机火花线切割加工机有以上各种优点,几年来除日本沙迪克公司外,其他几家国外著名企业很少采用直线电机,这主要由于成本问题还是不使用直线电机使用传统的高精度补偿技术同样可实现同等的加工性能,有待于今后更长一段时间的考察。

2.1.2 基于脉冲电源技术的高表面质量加工和难加工材料加工

脉冲电源技术是决定加工表面质量和加工速度的主要因素,也是电火花成型加工和电火花线切割加工的最核心技术。最近几年脉冲电源主要面向高表面质量加工的微细精加工电源方向发展。据介绍,实现高表面质量的精加工电源的关键技术之一是如何考虑极间供电电缆及走线方式,减少供电电缆寄生参数对微能量放电的影响。在这次机床展中,日本三菱电机推出的超微细精加工电源(Digital-FS)直接摆放在工作台上加工,无需专用夹具,可实现 $Ra\ 0.03\ \mu\text{m}$ 的镜面加工(硬质合金材料,10 mm厚)。日本牧野公司开发的MGW-V1电源备有SPG微细放电回路,据说该电源也可实现 $Rz0.17\ \mu\text{m}$ 的镜面加工。瑞士阿奇夏米尔的CC数字脉冲电源,加工工件厚度为70 mm时 Ra 达到 $0.05\ \mu\text{m}$ 。

随着PCD、CBN刀具的广泛应用以及钛合金、耐热合金材料在航天、航空、医疗等领域的应用,电火花线切割加工厂家最近开始针对这些难加工材料的加工开发专用的脉冲电源来扩大电火花线切割加工的应用范围,以求获得更大的销售市场。日本三菱电机公司新开发的特殊材料,难加工材料加工用新电源可实现特殊材料(PCD、CBN)加工的高品质化,对于使用以前电源容易发生表面缺陷,新电源可将缺陷降低1/3,在切落部分和拐角部分,也能抑制裂缝和缺陷的发生。该电源同时可实现难加工材料(钛合金、耐热合金)的高速加工。瑞士阿奇夏米尔公司新开发的数字脉冲电源(CC)可使放电产生的铜和锌颗粒对钛合金表面的污染降到最小,而且不会氧化工件表面,使用该电源加工PCD和硬质合金刀具,可加工出尖锐、坚固且耐用的刀具刃口。

2.1.3 微细电火花线切割加工技术

近年来在微电子产品、医疗器械、生物、航空、通信、MEMS、微型机械等领域,微细产品的需求正在日益扩大,微细电火花线切割加工以其可加工高精度的复杂形状的微小零件而备受关注,并得到了长足的发展。和往届机床展一样在这次机床展中,

瑞士阿奇夏米尔公司(图5)继续展出了基于双丝自动交换技术的微细加工线切割电火花加工机床。为了既提高加工效率又能保证微细形状的加工,瑞士阿奇夏米尔公司首创双丝自动交换技术,实施在一台机床上用不同直径的电极丝进行粗、精切割加工。粗加工时使用加工效率高的直径 $0.2\text{mm}\sim 0.25\text{mm}$ 的粗丝,精加工时自动切换为适合于微细形状加工的直径 $0.02\text{mm}\sim 0.15\text{mm}$ 的细丝。据介绍这种加工方法可将加工时间缩短30%~60%。日本牧野公司的UPN-1微细电火花线切割加工机采用卧式机床结构,可用直径 0.02 mm 的黄铜丝实现 $\pm 0.5\ \mu\text{m}$ 的高精度加工和狭缝宽度 $32\ \mu\text{m}$ 的半导体引线框架模具的加工。日本沙迪克公司的EXC100L以亚微米级加工为目标,机床配置气浮导轨和直线电机,在机床的4个轴(X、Y、U、V)又配有 10 nm 的高精度、高分辨率的光栅尺,可实现针对微电子零件所需的精密齿轮和带有微小狭缝、极小拐角 R 的模具加工。



图5 瑞士阿奇夏米尔低速走丝机

2.2 国内LSWEDM的发展动向和主要新技术

和国外的单向走丝电火花线切割机床相比,尽管国内的LSWEDM技术相对落后,但经历了这几年的发展后,与国外的机床相比,其差距在渐渐缩小。

苏州电加工机床研究所展出的DK7632机床(图6)在原有技术基础上又有新的突破,改进了放电状态检测及伺服控制电路,实现了放电状态检测电路温漂硬件补偿,提高了检测精度,采用恒电压加工伺服控制与恒速进给加工相结合的控制策略,既保证了工件加工的尺寸精度,又可确保变截面加工和拐角控制能顺利进行,进一步提高了加工稳定性和微细部位的加工精度。另外该机床还可配置微精加工电源,可实现粗糙度 $<Ra\ 0.4\ \mu\text{m}$ 的微细加工。该所新研制的浸入式LSWEDM,采用直线伺服电机作为X、Y轴驱动,配置了高精度的数控转盘,实现了A轴与直线轴的联动控制。该机床还可实现 $\phi 0.05$

展览会信息 Exhibition

mm 细丝切割功能。



图6 苏州电加工所的低速走丝机

苏州三光科技股份有限公司推出了一款新式的 LSWEDM。该机床配有运动系统全闭环控制、无电解粗加工电源、高表面加工质量的精加工电源,可实现表面粗糙度 $Ra\ 0.3\ \mu\text{m}$ 的微细镜面加工。另外该机床还新配备了自动穿丝功能,打破了国内机床只有半自动穿丝的局面。

北京安德建奇数字设备有限公司推出了 AW310T 带自动穿丝装置的浸水式高精度数控单向走丝线切割机。该机床配有直线光栅尺位置检测和全闭环控制系统;使用先进的脉冲电源和放电回路控制技术,实现全数字化控制,能够精确检测和控制每一个放电脉冲,从而获得高的加工速度和好的表面质量,可实现表面粗糙度 $Ra0.3\ \mu\text{m}$ 的微细镜面加工,尺寸精度 $<\pm 3\ \mu\text{m}$;另外该机床另配有带第六控制轴的六轴四联动数控系统,满足零件分度定位加工的需要,同时内置了人造金刚石 (PCB) 加工电源,用来满足特殊需求的加工,扩大机床的应用范围和销售市场。

3. 高速 (往复) 走丝电火花线切割机床 (HSWEDM)

双向走丝线切割技术是中国发明的,具有浓厚的中国特色,其主要特点为:往复走丝、结构简单、价格低廉、切割厚度大、运行成本低,但其最大的缺点就是加工精度较低、加工表面质量不尽人意。随着模具行业对加工要求的不断提高以及市场竞争的日趋激烈,近年来国内生产 HSWEDM 的厂家都将提升机床的加工精度和加工表面质量作为产品发展的主攻目标。在本次展会上,许多厂家展出的机床在主机、电源、加工工艺方面都有新的创意和提升,纷纷推出更高性能的 HSWEDM,即俗称的中速走丝电火花线切割机床,实质是在 HSWEDM 上实施多次切割技术。

苏州三光科技股份有限公司展出的 HA400 (SKD2) 中走丝机床具有螺距补偿技术,具有较高的定位精度,并采用恒张力走丝系统。SKD2 控制系统带有工艺数据库及自动编程系统。例如,切割厚 40 mm 的 Cr12 材料,形状为对边 15 mm 的八角,经四次切割, $Ra\leq 1.0\ \mu\text{m}$,误差 $\leq 5\ \mu\text{m}$ 。

其他企业在主机结构、脉冲电源、软件开发、环境保护等方面都有较大的提升。

在主机结构方面,冬庆数控 (图 7)、苏州新火花 (图 9) 等厂家采用直线导轨、双螺母滚珠丝杆、交流伺服电机直联驱动,可提高机床的定位精度和重复定位精度,为双向走丝多次切割工艺的实施提供了基本保障。北京市电加工研究所采用双向恒张力张丝机构,可极大提高运丝的稳定性,电极丝的抖动更小,即使大锥度切割也能够保持动态恒张力;深杨数控的专利“智能张力控制系统”亦可保持运丝张力的稳定性,提高多次切割时的表面质量,减少切割条纹。



图7 江苏冬庆线切割机



图8 苏州新火花线切割机

在脉冲电源方面,苏州新火花、深杨数控等厂家采用可编程逻辑器件作为高频脉冲电源的主振控制芯片,可产生多种灵活多变的脉冲波形,实现了实时脉冲参数适应控制,据称可降低电极丝损耗 (丝损耗 $0.01\ \text{mm}/20\ \text{万}\ \text{mm}^2$),提高大厚度加工的稳

定性，减少断丝概率。

在软件开发方面，苏州宝玛开发的 BMXP 线切割软件（图 9），采用控制卡插于 PCI 槽中进行工作，运算速度快，便于系统升级，并提高了控制系统的稳定性、可靠性。系统还具有较大的储存容量，以便于建立工艺数据库，还具有机械原点找寻定位功能便于实现螺距补偿。



图 9 苏州宝玛线切割机

在环保防护方面，三星机械制造有限公司的 DK7732EA 机床（图 10）在工作区安装全封闭环保外壳，可有效地防止工作液的飞溅，降低环境污染。



图 10 江苏三星线切割机

在多次切割加工工艺方面，许多厂家配备了较为丰富的多次切割加工工艺数据库，可以根据工件材料、厚度及加工要求自动调用脉冲参数、运丝速度、切割速度控制等工艺参数，自动化程度有较大提高。

HSWEDM 以其较高的性价比优势，在我国模具制造、IT、家电、汽车、电机等行业的零件及模具加工过程中仍然占据着重要地位。但与 LSWEDM 相比，其在加工精度、精度保持性和加工表面质量方面又处于劣势。我国 HSWEDM 的发展应充分发挥其低成本、高效加工及大厚度加工能力的特点，在机床的机械精度、重复定位精度、运丝系统的稳定性、脉冲电源的性能、工作液性能以及多次切割的工艺等方面综合治理，采用多次切割技术进一步提高其

性能是行业最重要的技术进步方向之一。同时还应考虑生产成本、应用范围的综合平衡，要有一个合理的市场定位。不计成本地片面提高其某些性能，往往得不偿失。

4. 数控电加工专用机床

在航天、航空、军工、汽车制造、轧钢、纺织、通讯、模具等制造业，有许多特殊材料、特殊工件形状等有特殊的电加工需求，通用的电加工设备往往难以胜任。本次展会上苏州电加工机床研究有限公司展出的电化学去毛刺专用设备、数控电火花精密微孔加工机床、8 轴数控高效电火花小孔加工机床、北京迪蒙特佳工磨具技术有限公司展出的 BDM-903 精密数控电火花工具磨床、BDM-904 超硬材料砂轮整形机床等设备为我国的关键制造业提供了有效的加工手段。

电化学去毛刺专用设备可以为我国关键制造业重要部件生产线及相关行业（如汽车、摩托车、航天航空、油泵油嘴、各类发动机等制造业）解决批量大、空间位置复杂、精度及表面质量要求高、用手工方法难以进行处理及可达性差的零件内部交叉部位毛刺的去除的加工需求。

数控电火花精密微孔加工机床可以加工精微圆孔及异形孔，是航空航天、军事工业、IT 产业、精密模具、微型机械、医疗器械、化纤纺丝、油泵油嘴、仪器仪表等行业精密微细圆孔及异型微孔加工中的关键设备。

8 轴数控高效电火花小孔加工机床主要用于航空发动机、燃气轮机等特殊材料零部件的空间位置复杂分布的群小孔的高速、高精度的加工。

BDM-903 精密数控电火花工具磨床适用于聚晶金刚石（PCD）、立方氮化硼（PCBN）超硬刀具的电火花磨削加工，可实现表面粗糙度 $Ra \leq 0.2 \mu m$ 超硬刀具的加工。

BDM-904 超硬材料砂轮整形机床可以对规格尺寸在直径 50mm~250 mm 的超硬材料砂轮进行端面、外圆面、斜面、外圆角和内圆角整形和修锐加工，配合自主研发的 CCD 在线观测系统，可以将超硬材料砂轮的加工精度控制在 $20 \mu m$ 以内。

可以预见，随着国民经济的快速发展，特别是我国航空、航天事业的发展，对电加工专用设备的品种及数量的需求将会越来越大。（待续）

危机中看 CIMA2009 展 群星荟萃话复合机床

上海第三机床厂 韩文渊

肆虐世界的金融风暴，给实体经济带来的危机还未解冻，4月的北京，已是春意盎然，规模宏大的CIMA2009机床展会，以隆重热烈的场面，在一定程度上消弱了危机的阴影。它带给我们的是新的激励、新的感受——群星荟萃，世界潮流，浩浩荡荡；创新的设计理念，数字化的柔性加工，技术发展的集成应用，继续成为本展会的显著亮点；而复合机床究其本身的特点，其出展台数的高比例，又无疑成为广大用户关注的亮点。

1. 高精度、高效率、集成化理念发展了复合机床

现在机床业内，为了提高机床各类功能价值，功能集成化理念正在发扬，当前时代潮流趋势之一，就是以一台机床进行复合加工和不同方式的加工。

如今的制造业、尤其在机加工现场，有几种特点：①多品种、小批量生产、特大型或难加工零件。②降低成本要求，缩短交货周期。③以轻型化、性能复合化，而产生的复杂形状产品。④欠缺熟练操作人员 and 优秀技术人员。为了适应这种变化趋势，复合加工机床不断步入我们的视角。从哲学观念来思考，复合机床的开发设计，是各种技术发展的交叉混合，设计理念是朝着边缘化、集成化方向发展的，复合的概念会变得更加多样化，跨出纯机械加工范畴，其内涵更广泛。通过本届展会互动交流，给了我们这样一个感想及创新发展的观念，设计的新视角与新潮流——复合机床在经济危机中会加快发展。

本展会的复合机床，主流形式是以车和铣复合加工，实现工序集约。突出了工件的一次装夹思想，实现大部或全部加工工序，从而提升工件的加工精度；其次，体现减少机床和夹具数量的思维，免去工序间的搬运和储存，以降低生产准备时间，从而实现高效率的加工生产；最终达到节约作业面积，降低成本的目的。

2. 本展会复合机床的主要形式

综观各参展的复合机床，主要模式为既能进行车削加工，也能进行铣削加工，并且通过5轴功能，可进行多面加工及复杂曲面加工。复合机床主流，目前可分为，以车床为基础和以加工中心为基础的两种设计模式，并随着车床、加工中心机型的发展而前进。以车床为基础的复合机床，主要用于加工圆柱形的工件；以加工中心为基础的复合机床，主要用于加工箱体形的工件。

(1) 以车床为基础的复合机床 大连机床集团的CHD-25九轴五联动车铣复合中心（图1），为模块化设计的多功能机床，是以卧式车床为基础的设计形式，适用于军工、航空、航天等企业形状复杂、加工精度要求较高的零件加工。该机床采用斜床身结构（图2），最大回转直径650mm，最大加工长度1500mm，机床配置有双主轴和上下双刀架；第一主轴（C1）最高转速5000r/min，功率18.3/22.4kW；分辨率0.001°；第二主轴（C2轴）最高转速5000r/min；功率14.5/18.7kW，分辨率0.001°；Z3轴行程1520mm；快移速度24mm/min；上刀架带Y轴、B轴和刀库，X1、Y、Z1轴行程分别为500mm、±105mm、1740mm；快移速度分别为24mm/min、16mm/min、30mm/min；B轴回转角度±102.5°，分辨率0.001°；刀具主轴功率16.8kW，扭矩128Nm，转速7000r/min；



图1 CHD25 车铣复合中心

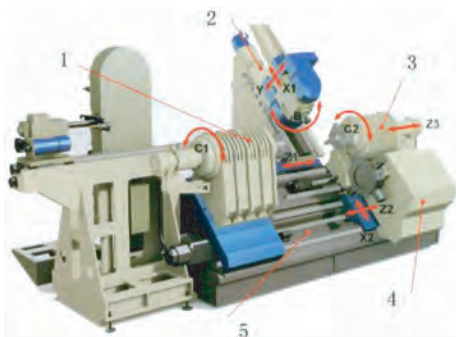


图2 CHD25 车铣复合中心结构示意图

1. 第一主轴 (C1 轴) 2. 上刀架 3. 第二主轴 (C2 轴)
4. 下刀架 X2/Z2 轴行程 5. 斜床身

刀库刀具 30 把, 最大车削直径 500mm, 下刀架带动力刀具, X2、Z2 轴行程分别为 215mm、1695mm, 快移速度分别为 24mm/min、24mm/min, 最大车削直径 420mm。机床有两个功能选项: ①在不配置副主轴条件下, 选配可编程液压尾座。②在不配置下刀架的情况下, 选配可编程中心架。

该机床可通过不同的模块组合方式, 构成包括数控车床、车削中心、车铣复合中心在内的多种配置形式, 控制轴数从 2 轴控制的数控车床到配置 C 轴和 Y 轴车削中心; 再配置 B 轴以及刀具主轴部件和自动换刀刀库, 进一步扩展为用于完成更精确或更复杂型面加工的车铣复合中心。与第一主轴同步回转的第二主轴, 使工件在没有人员干预的情况下, 实现重新装夹并完成全部表面的加工。

(2) 以加工中心为基础的复合机床 德马吉 (DMG) 公司的 DMU125FD duoBLOCK 5 轴铣车复合加工中心 (图 3), 是在 DMU P duoBLOCK 系列 5 轴加工中心的基础上, 将铣削和车削技术集成到一台机床上。

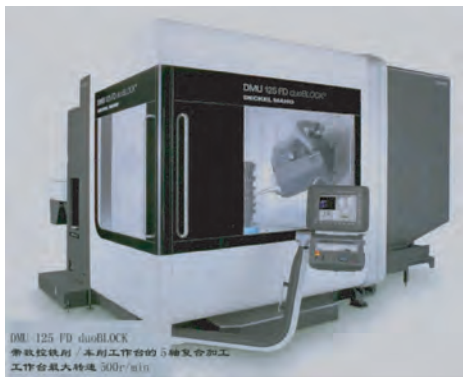


图3 DMU125FD duoBLOCK 5 轴铣车复合加工中心

该复合机床核心是应用直接驱动技术, 通过大功率和高转速回转工作台, 扩展了机床铣削/车削的复合加工功能, 机床标配带有数控 B 轴的摆动铣头, 具有 5 面加工和 5 轴联动加工, 可对大型零件实现一次装夹, 完全加工 (图 4)。

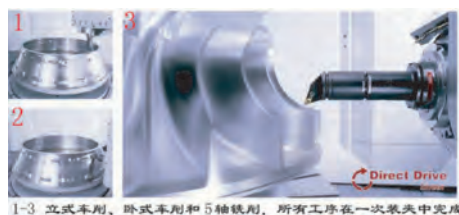


图4 DMU125FD duoBLOCK 加工示例

在 DMU 60/80/125/160 FD duoBLOCK 系列复合机床中, FD 的亮点主要有电动机直接驱动的工作台用作车削主轴, 转速高达 1200r/min, 扭矩高达 6200Nm, 功率 47kW, 而 DMU 160 FD 工作台最大承重 3t。DMU 125 FD duoBLOCK OR 符合机床 X、Y、Z 轴行程分别为 1250mm、1000mm、1000mm, 刀库刀具 40 把, 电主轴功率 44kW/32kW, 转速 10000r/min, B 轴摆动范围 -30°/+180° (0°为立式, 180°为卧式)、30r/min; 工作台 (C 轴) 尺寸 $\phi 1250\text{mm}$ 、承载 2t、铣削、车削加工时, 工作台转速分别为 20r/min、500r/min。

(3) 其他复合机床 杭州机床集团有限公司的 MGKF2000/1 高精度数控立轴复合磨床 (图 5), 突出体现了符合机床多批量、多品种、多规格, 高效率的加工理念 5。



图5 MGKF2000/1 高精度数控立轴复合磨床

该机床用于机械制造及装备业中, 大型主关零件的内外圆柱、圆锥、滚道及端面的精加工磨削。机床控制轴为 11 轴: ①左右磨头的垂直、横向进给。②左磨头 $\pm 25^\circ$ 无级旋转分度运动。③右磨头 $0^\circ \sim +90^\circ$ 有级旋转分度运动。④测量系统的垂直运动。⑤左右磨头驱动。⑥工作台回转, 5~40r/min。⑦修整器驱动。

该机床双磨头配置, 可实现立、卧两种状态下同时对零件加工, 最大磨削外径 $\phi 2200\text{mm}$; 最小磨

削内径 $\phi 250\text{mm}$ ；工作台最大承载 8t。

3. 本届展会印象深刻的几款复合机床

本展会复合机床数量众多，机型基本类同，互动交流可以知道，有许多是曾经出展过的，但咀嚼后仍回味无穷。下面以个人的视角的有限认知，对印象深刻的几款复合机床做个介绍。

(1) 大型类零件加工——国产复合机床风采 沈阳机床集团、大连机床集团、齐齐哈尔二机床、武汉重型机床集团等国内厂家，均有大型复合机床精品展示，表明了当前拉动内需、十大产业振兴概念，所产生的对大型装备机械的需求预期，也表明了国产复合机床的发展与进步。

北京第一机床厂的 BVTM5500 立式铣车复合加工中心（图 6），是一款龙门框架式的大型车铣复合加工机床。



图 6 BVTM5500 立式铣车复合加工中心

该机床主轴具有齿牙 1° 分的特点，最大加工直径 5500mm，最大通过高度 4500mm；X 轴为溜板横向运动，运动速度 0~20000mm/min，Z 轴为滑枕垂直上下运动，移动速度 0~10000mm/min，W 轴为横梁上下运动，移动 0~1000mm/min，故 W 向也可以参与进给切削；工作台由静压导轨承载，最大承重 80t，最大驱动功率 100kW，最大扭矩 155000Nm，有两套传动系统切换，实现①C 轴最大转速 5.6r/min，与 3 个线性轴可组成任意的 4 轴 3 联动。②车削主轴再有两挡切换，1 挡 0.02~18r/min，2 挡 0.05~71r/min。机床的横梁与方滑枕重力下沉均有双重保护，①伺服电动机带刹车，②移动导轨面多点的液压锁紧止动。机床采用 SIEMENS 840D 数控系统，并配有大型工件自动检测系统。

沈阳机床集团的 HTM125600 车铣中心（图 7），是一款采用斜床身、双主轴箱、单立柱、双刀架结构，配置大功率电动机的大型复合机床，主要用于电动机气轮机转子、轧辊、曲轴等精度高和复杂回转体的零件加工。



图 7 HTM125600 车铣中心

该机床 Z 轴采用主从驱动反向消除，X 轴采用双驱动机构，运动平稳精度更高；左侧刀架为自主开发 B 轴机构，采用内置滑枕式结构，配铣削及车削刀具，多点布刀以满足不同加工需要；右侧滑枕结构，配置 $\phi 1500\text{mm}$ 最大刀盘，可进行旋风铣削，最大输出扭矩 12000Nm，完成轴向、径向加工；高刚性主轴最大输出扭矩 24000Nm，保证重载切削；多个液压自定心的中心架，自动移动，正确定位；最大切削直径 $\phi 1250\text{mm}$ 、最大切削长度 6000mm，工件最大重量 30000kg。

(2) 日本森精机复合机床的独特技术 本届展会上给人印象深刻的车铣复合机床，森精机可说当仁不让。复合机床的两种设计模式在森精机的产品资料中，得到了清晰的表达。其系列化、模块化的产品阵容，让人感受到森精机逻辑缜密、承前启后承上启下的设计思想，对机床发展的影响。其独特的 4 项技术创新，及其在复合机床的集成应用，使其产品光彩耀眼，很值得国人学习，用图 8 来归纳森精机复合机床。



图 8 森精机复合机床设计理念

机床的发展，始终对高精度、高速、高效率这些课题，提出解决办法。森精机 4 项技术是探求这些问题的结晶。即 DCG（Driven at the Center of Gravity）重心驱动技术：用双丝杠驱动来实现，优点是提高传动刚性，抑制振动；DDM（Direct Drive Motor）直接驱动马达技术：采用力矩马达，实现高速、零背隙的任意高精度分度；BMT（Built-Motor

Turret) 内置马达的刀塔: 提高车床动力刀塔的铣削能力, 由于内置铣削马达, 可采用油套冷却, 因此刀塔的发热和振动降到最低, 实现相当于加工中心的铣削能力和加工精度; ORC (Octagonal Ram Construction) 八角形滑枕技术: 是对传统方形滑枕的重大革新, 一方面维持方形滑枕的抑制振动的优点, 同时从根本上改进了原来伴随滑动面温度上升, 带来的热变形问题, 并使移动中心与滑枕中心始终保持一定, 使高速移动中也可实现高精度加工。

森精机的 NMV5000DCG 5 轴立式加工中心 (图 9) 是一款以立式加工中心为设计基础的新型复合机床。



图 9 NMV5000DCG 5 轴立式加工中心

NMV 系列机床结构, 集成 DCG、DDM、ORC 等 3 项独特技术。

NMV5000DCG 5 轴立式加工中心采用箱中箱 (Top Box in Box) 结构, 十字拖板 (或称滑鞍) 水平放置, Y 轴采用 DCG 结构; Z 轴为确保高精度进给, 采用 ORC+ DCG 结构; 回转工作台驱动轴 (水平 B 轴 $+160^{\circ} \sim -180^{\circ}$ 和竖直 C 轴 360°) 采用 DDM 技术, 其中 C 轴用于车削模式, 最高转速可达 1200r/min。此外, 该机为实现与立式加工中心一样的简便操作, 采用了单臂式工作台结构, 支撑部位选用大直径轴承。

森精机的 NT4250DCG 车铣复合机床集成了 DCG、DDM、BMT、ORC 等 4 项技术。

NT 系列机床柔合了卧式车床与加工中心的箱中

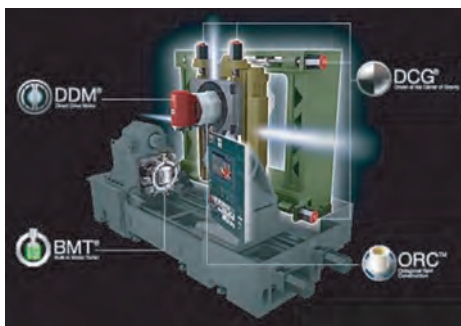


图 10

箱结构, 机型具有创新理念的完美设计, 是一款以车床为设计基础的复合机床。

由十字拖板 (或称滑鞍) 垂直放置构成的箱中箱结构, 采用 DCG 技术, 实现 X1 轴 (垂直)、Z1 轴 (水平) 高速和高精度; 刀具主轴 (第一刀塔) 前后移动的 Y 轴采用 ORC 技术, 刀具主轴在八角形滑枕进行 B 轴回转 ($\pm 120^{\circ}$), 采用 DDM 技术, 驱动结构收纳在滑枕内部; 第二刀塔采用 BMT 技术, 并与第一主轴构成线对称结构, 使热传导左右均等, 将热位移控制在最小范围, 维持高精度加工。

该机床最多可装备 2 个主轴 (第一、第二主轴), 2 个刀塔 (刀具主轴和内置马达的刀塔) 的 9 轴配置。

(3) 车铣中心的异彩——奥地利 WFL 的 M100 系列 林茨机床厂 (WFL) 展出的 M120 重载车铣加工中心 (图 11), 是个具有震撼力的大型重载复合机床, 可以认为是较具代表性, 以车床为基础设计的复合机床。

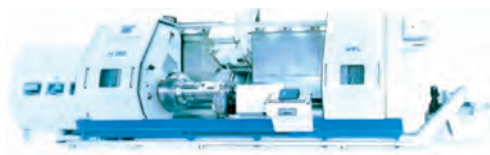


图 11 M120 重载车铣加工中心

WFL 的 M100/M120/M150 系列重载车铣加工中心, 是复合加工技术的完美表现。通过一次装夹, 可装夹长达 6.5m 的复杂工件, 在任意角度完成车、铣、镗、滚齿、插齿、深孔钻和内腔加工, 乃至磨削加工等, 机床的 5 轴联动功能, 事实上能够加工任意几何型面, 复合加工思想得到极大体现, 工序集约程度空前强大, 柔性加工能力更高。

从展出的 M120 看, WFL 实现这一创新理念的核心主要有, (1) 坚固的斜床身结构, 大尺寸的直线导轨, 使机床具有良好的刚性与抗振性。(2) 25kW (选件 55kW) 创意设计的车铣镗单元。(3) 创新有特色的盘式刀库系统, 108 把刀位, 可配门类不同的刀具, 对于长达 800mm、重达 25kg 的刀具, 双头快速换刀机械手也可应付自如。(4) 智能刀具管理, 支持刀库对刀具多任务管理。(5) 独特坚固的燕尾槽刀座系统, 为第二个刀具支撑装置, 可确保镗刀杆、整体钻头、内壁加工刀具和特殊型面镗刀能够安装在车铣镗单元上。(6) 位置巧妙的换刀台, 最长达 1550mm, 重达 150kg 刀具的三刀位独立

CIMT2009 展览会量具量仪展品述评

中国机床工具工业协会工具分会 谢华锴

第 11 届中国国际机床展览会 (CIMT2009) 于 2009 年 4 月 6~11 日在北京国际展览中心 (新馆) 举行。虽然面临世界经济危机冲击, 国内经济形势依然严峻的状况, 但是本届展览会人气仍然旺盛, 超出预期, 显现出中国机床装备制造业复苏、发展的势头强劲。克服困难的信心得到展现、聚集和强化; 共度时艰的举措更为切实、有力和深化。

1. 量具量仪行业及展品和技术的特点

(1) 企业通过资源重组整合, 夯实基础, 强化内功, 技改创新, 整体竞争实力有了提高。兼并了德国 Kelch 公司的哈尔滨量具集团有限公司 (见图 1) 经由中国通用技术集团整合, 企业实力得到显著

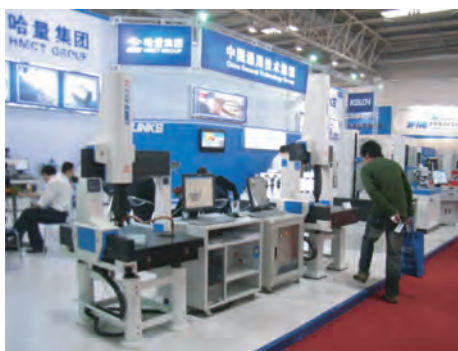


图 1 哈量展台

换刀台被置于主轴头上部, 可自动存取刀具。(7) 重载镗刀杆换取装置, 扩展标准盘式刀库, 采用辅助换刀机械手, 可装载多达 18 把刀杆, 最大长度和重量分别达到 2500mm 和 150kg。(8) 镗刀架, 为车铣镗单元的辅助装置, 用于重载内腔加工, 可装夹直径达 200mm 的镗刀刀杆, 并可使编程加工深达 2500mm, 镗刀杆上刀头可从标准刀库自动换取。(9) 数控径向调节驱动装置, 为安装在车铣头上的附加数控轴, 可以使用 CNC 面铣头和 CNC 专用内型面铣刀, 成为具有能对空心轴进行铣加工的特殊加工中心。(10) 使用 SIEMENS 840D, 机床首件无需离线检测; 刀具磨损自动补偿; 工件热膨胀进行监

增强, 目标是发展成为中国工具行业具有强大开发实力, 技术产品覆盖领域宽广的工具制造开发企业。跨国集团瑞典海克斯康计量产业集团兼并了靖江量具有限公司 (数显卡尺) 和深圳思瑞 (二维影像测量仪、三维坐标测量机), 产品从高端向中低端延伸, 市场向更广扩展。同样, 美国 API 公司与四川中测量仪组建了爱佩仪中测 (成都) 精密仪器有限公司, 成为目前国内最大的单臂三维测量划线机的制造企业。

(2) 针对市场变化, 快速推出质优价廉适路新产品, 积极应对危机的冲击。深圳智泰推出了 4 个新品种, 提高性价比, 增强了产品市场竞争力。新产品 MUMA 系列便携式光学影像测量仪 (见图 2), 铝合金框架机座, 确保性能的基础上满足了轻量化要求; VISION300 具有故障自诊断功能, 便于维护装配, 仪器抗干扰性能和稳定性得到提高。著名三坐标机生产厂德国蔡司的 Dura-Max 便携式三坐标测量机 (见图 3), 便于车间现场使用, 可替代专用检具、量具等, 其导轨误差修正, 精度可达到 $(2.4+L/300) \mu\text{m}$, 工作温度范围 $18\sim 30^{\circ}\text{C}$, 无需气源, 移动方便。仪器采用蔡司高性能控制系统, VAST XXT 扫描探头和软件, 性价比高。此外还有美国公司的便携式投影仪等 (见图 4)。

测与控制加工公差, 机床监控通道多达 12 条, 充分保证安全系数。

4. 结束语

CIMT2009 展会复合机床的高比例展示, 表明了复合机床的发展与应用势头会加快, 而复合机床将协同结合数控技术、软件技术、信息技术、可靠性技术以及环保理念的发展, 更体现出机床智能化、结构紧凑化的特性, 并伴随创新概念的发展, 复合加工的形式和机型会多样化和边缘化。

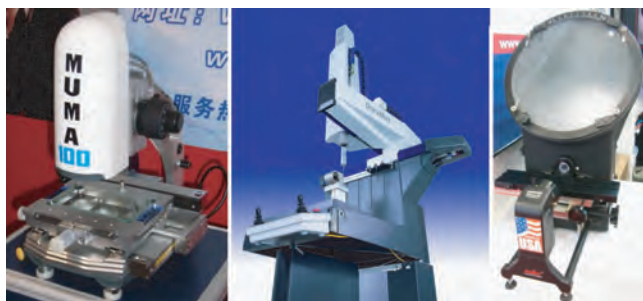


图2 智泰 MUMA 影像仪 图3 蔡司 DuraMax 坐标机 图4 便携式投影仪

(3) 从技术的角度看, 传感器新技术新产品发展加快, 新型非接触式激光测量技术令人耳目一新, 在测量原理和功能上都有新的突破。如以色列 Scan-Direct 公司的激光锥光全息测量系统 (见图 5)、Metris 激光雷达测量仪、英国 Renishaw 的 RLE 光纤激光尺、德国 Heidenhain 的纳米光栅等。东莞七海光电公司基于独特的晶元光罩技术所开发的影像测量仪 (见图 6), 适用于薄板类零件测量。拥有专利的网格坐标板传感器与被测工件贴近, 故测量精度不因阿贝误差而受影响。物体影像直接输入到计算机并数字化。网格坐标板作为仪器长度基准, 借助 CCD 数码成像系统, 实现对被测工件影像的快速、绝对测量; 精度补偿技术和软件保证了仪器测量的高精度。英国英视公司 (InspecVision) 是著名的钣金零件检测系统制造商, 其 Planar 系列钣金测量机



图5 锥光全息测量系统 图6 七海网格式图像仪 图7 Planar 钣金测量机

采用最新的视觉检测技术——超高分辨率数码成像系统 (见图 7), 瞬间获取整个工作台上零件的数百万个测量数据, 通过计算机快速完成零件轮廓测量并生成检测报告。

(4) 通信、信息技术在精密测量技术与数字化量具量仪中的集成融合, 展现了可喜成果。成都工量具集团的红外遥控数显指示表。青岛前哨具有蓝牙数据传输功能的数字水平仪、西安共达精密机械的集成了 CNC 齿轮测量中心的齿轮刀具闭环制造系统 (见图 8), 在国内同行业中技术领先。成都成量

工具集团继哈量、天津天门精密仪器开发出了采用 CCD 数字成像系统的刀具预调测量仪 QX40031S 系列产品 (见图 9), 这是和四川大学合作研发的新成果, 具有完全的自主知识产权。

总之, 企业通过练好内功, 夯实基础, 引进吸收, 立足创新, 国内量具量仪制造企业的开发创新能力和综合竞争实力有了明显提高, 在这次展会上得到了展现。



图8 共达齿轮中心 图9 成量 CCD 刀调仪

2. 新型传感器、量具和测量仪器典型产品及测量技术

(1) 以色列 Scan-Direct 公司推介的锥光全息 (CONOSCOPIC HOLOGRAPHY) 测量技术和相应的 OPTIMET 扫描测量头 (CONOPROBE), 以及系列传感器、测量系统及检测仪等。

锥光全息测量技术是由 Sirat 和 Psaltis 于 1985 年提出的一种激光测量新技术, 它通过单轴晶体的双折射效应, 使相干性较差的散射光产生出传播速度不同的两束光: 寻常光和非寻常光; 其中非寻常光的速度与光束的入射角相关, 即与被测物体表面上点光源的距离相关。分析并计算该两束光在接收面 (Gabor Zone lens) 上产生的干涉全息图, 并通过精确标定, 就可测定被测表面光点的距离; 借助连续扫描测量, 完成对被测表面轮廓几何形状的精密测量。其测量系统的原理如图 10 示。

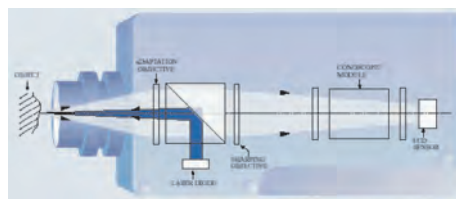


图10 Conoprobe 测量原理

激光二极管所发出的激光经折射在被测物体表

面形成光斑，返回的散射激光经圆偏振器变成偏振光，经单轴晶体分裂为传播速度不同的二光束，再经另一个正交方向的圆偏振器，在 CCD 传感器所在的记录平面上得到全息图测量信息。

该测量技术的特点是无需 Z 轴移动就可实现同轴光距离的精密测量，可对小孔/盲孔类、陡变突跳类（85°或以上）轮廓进行精密测量，采用潜望方式实现对内表面的精密测量等。典型产品有可用于轴类零件测量的 Polaris 四轴检测仪、可用于数控刀头/刀片三维测量的 MultiConoScan 智能锥光扫描仪、可对中小齿轮测量和涡轮叶片进行精度测量以及多种在线测量上得到应用的 Inspector 激光检测系统。

(2) 英国 Renishaw 公司新推出的 RLE 光纤激光尺（见图 11）。该公司继 2007 年推出轻巧型 XL80 激光干涉仪后，2009 年推出 RSU10 接口，可以实现 16384 细分；与 RLE10/20 光导纤维激光尺匹配工作时，在 1m/s（双光束平面反射镜干涉仪-PMI）高速测量的状况下，能够获得最高 0.009 64nm（双光束平面反射镜干涉仪-PMI）的激光测量分辨率，从而为高速、微细超精装备的检测，提供了稳定可靠的激光干涉测量方案。RLE 光纤激光尺基于激光干涉原理，可产生 10pm 高分辨率的线性位置反馈信号；可以用单个激光源进行双轴或单轴测量利用光纤连接直接将激光光束导向轴上的测量位置，尽可能避免了外界环境的干扰。RLE 光纤激光尺自带一个准直辅助镜，可以简化激光准直过程，便于使用。

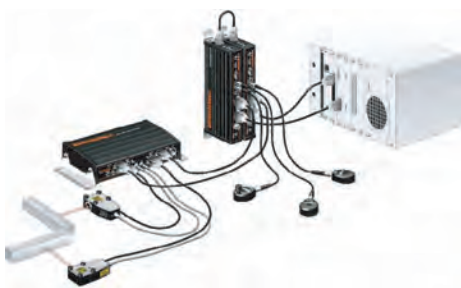


图 11 双光束 RLE 光纤激光尺

(3) 哈尔滨精达新推出的用于齿轮测量中心的防撞扫描测头、成量的红外遥控数显指示表、青岛前哨的带有蓝牙功能的数字式水平仪以及德国 Heidenhain 公司推出的纳米光栅。

国内专业齿轮测量仪器制造商、哈尔滨精达测量仪器有限公司新型的 JA、JL、JLR 高端齿轮量仪产品，所配备的测微传感测头部分均采用具有自主知识产权的万向触发加数字测微技术（见图 12），除

能更有效地对测量过程误操作实施保护功能外，还扩展了各种特殊点位的测量功能，进一步提高了仪器整机性能。成都量具刃具集团新开发的红外电感式数字测微表（见图 13），其测量结果可以用模拟量或数字显示。红外遥控器能实现测微表下列控制功能：开关机、显示模式、计数换向、参考点设置、米英制转换等。青岛前哨推出了具有蓝牙无线传输功能的电子水平仪（见图 14），提高了测量数据读取、存储和处理的便捷性。哈尔滨先锋自行开发的触发信号红外传输及具有跳频功能的无线传输触发式测头，性能外观都堪与国际名牌产品比美（见图 15）。桂林安一量具开发的全涂镀数显卡尺，各主要工作面经氮化钛（TiN）和氮铝化钛（TiAlN）真空镀膜处理，数倍地提高了卡尺的耐磨性，将其用在了分辨力为 0.001mm 的微米数显卡尺上，成为顶级精确耐用卡尺；600mm 步距规（见图 16），经中国计量研究院检测，极限误差在 0.002mm 以下，达到国家新标准 0 级精度，与日本三丰公司的高精度步距规同级；公司还生产用于检验卡尺的通用步距规——带有小数及细分节距量块，既可检验游标卡尺、带表卡尺，又可检验数显卡尺；德国 Heidenhain 介绍的新型单场扫描光学系统（见图 17），其特色



图 12 精达的万向触发数字测微头



图 13 红外电感式数字测微表



图 14 无线水平仪



图 15 无线跳频测头



图 16 安一公司高精度步距规

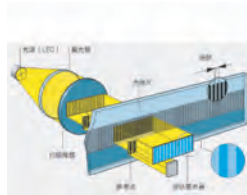


图 17 单场扫描光栅测量系统



图 18 高精度相位光栅尺



图 19 快进千分尺

为：一个用以产生输出信号的大面积扫描场区和特殊光学过滤技术，从而可以在全行程上产生稳定质量的扫描信号，误差小，运行速度快，控制品质好；而单场扫描绝对式光栅缩减了机床非生产时间的同时，更提高了机床的可靠性和安全性，受到关注。高精度的相位光栅尺 II P281R（见图 18）采用了公司最新发明的 OPTODUR 刻制技术，使其运行速度可达 180m/min，最大测量长度可达 3040mm，而其细分误差可小于 1nm，测量步距可达 31.75pm，还具有参考点。材质为 Zeodur 玻璃陶瓷。光栅的性能和精度提升到一个新的水平。日本三丰公司推荐的防冷却液千分尺 QuantuMike，防水尘级别达到 IP67，套筒旋转 1 圈心轴移动 2mm，实现快速测量（见图 19）。

（4）德国 Mahr 公司 Marvision 光学坐标测量机的多传感测量技术及测量传感器。作为 Mahr 公司三维光学测量技术的典型代表，Marvision 三维测量机集成了非接触式测量和灵敏接触式测量于一身（见图 20）。它包含有 CCD 照相机，可以在最短的时间内测量并记录下大量测量点的信息；聚焦激光测头（FLS），实现快速聚焦（200ms），用以高精度瞄准定位三维工件尺寸；测量激光测头（MLS），采用了 CONOSCOPIC 工作原理，在不用移动 Z 轴的情况下，能快速高精度扫描测量轮廓；Renishaw 的 SP25 触发式测头，对被测工件实现高精度接触扫描测量；白光表面传感器（CWS），用于进行工件表面全数字化测量。为实现测量的高精度，具有高分辨率的 CCD 照相机采用了固定焦距的远心光学系统，并使用了公司专用图像处理软件 MarContour；点一点外形和拓扑图测量借助于白光传感器；超高精密的拓扑图和表面粗糙度测量则是采用了干涉白光传感器（IWS），其分辨率可达到 0.1nm。



图 20 多种测头的集成

（5）香港力丰（Leeport）公司的激光雷达测量技术和相应的 METRIS 激光雷达测量仪（见图 21）。该仪器主要用于大尺寸范围另部件的轮廓形状及位置的非接触精密测量，采用了频率调制相干激光雷达（FMCLR）测量原理。已经在汽车制造、航空航天制造等行业中得到应用，如数字化模型的建立和逆向工程、大型零部件装配的精确定位、难以接近的复杂型面大型共建的扫描等（见图 22）。仪器便于现场使用，对环境要求不高。其基本工作原理是将不可见红外激光束聚焦于被测工件表面上的一点，传感器接收工件表面该点反射回来的光并进行相干化处理。与此同时激光也在一条处于环境控制模型下的、经过标定的参考基准光纤光通路中传播。二路光合在一起，通过频率调制等技术，确定出该测量点的绝对尺寸。因为激光调制频宽高达 100GHz，故能在 ms 间完成精密测量。为便于肉眼观察、操作定位，仪器还发射出两条可见红光激光束，显示测量点位置。



图 21 激光雷达测量仪 图 22 激光雷达在现场的应用

（6）瑞士丹青展出的 IAC 公司 MasterScan 系列高精度螺纹综合扫描测量机。荷兰——德国的 IAC Geometrical Engineers B.V. 公司开发生产的 MSXP（卧式）和 MSXL（立式）系列螺纹综合测量仪（见图 23），可用于测量各种圆柱螺纹塞规/环规、锥螺纹塞规/环规、圆柱及圆锥光滑塞规/环规的所有参数的测量，包括实际中径、单一实际中径、作用中径当量、大径、小径、螺距、累计螺距偏差、牙型角、牙型半角、锥度、牙型轮廓偏差、管螺纹、各种光滑环/塞规等。仪器的传感器采用了 4 根 Heidenhain 高精度玻璃光栅尺，分辨率为 0.01μm，空气轴承、花岗石直线导轨、直流电动机控制的滚珠丝杆传动装置，测量力系统在两个方向上有计算机自动控制，达到 0.13N（连续可调），仪器测量不确定度为 2μm。检测时，仪器的双测尖 T 形测针在被测螺纹轴向剖面的上、下轮廓表面连续扫描进行测量。在测量过程中，经过校准的 T 形测针的上下两个测尖的实际轮廓形状，都能通

过仪器本身在多个方向上得到自动补偿,从而避免了测尖形状带来的测量误差,保证了仪器测量结果的高精度。



图 23 高精度螺纹综合测量机

(7) 北京航空精密机械研究所自行开发的大型三坐标测量机。近年来,国内量仪制造企业在中小尺寸、中低精度三维坐标测量机的开发和生产上,取得了长足的发展。生产厂商数量在不断增长的同时,自行开发、具有自主知识产权的中高精度、大尺寸三坐标测量机新产品不断出现。爱德华、力德、怡信、凝华、哈量、上量等都有了程度不同的发展和进步。北京航空精密机械研究所(303所)作为我国三坐标测量机开发最早的单位之一,近年来为了适应我国航空航天业、大型关键精密零件和模具的发展需求,自行开发出了LM系列大型三坐标测量机(见图24),采用了开放式龙门结构、超大花岗石整体构件、高刚度、大承载能力的红宝石节流式空气轴承,可配置双光栅、双驱动系统。此外还开发了精度达到 $0.1\mu\text{m}$ 级的激光测量机。北京南航立科作为国内划线坐标测量机的主要生产厂商,近年还开发了三坐标测量机系列产品(见图25),市场得到拓展。

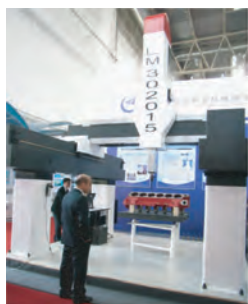


图 24 303 所 LM 系列
三坐标测量机



图 25 南航立科大型
划线测量机

(8) 海克斯康推出的回转工作台(夹具)式大型覆盖件三维光学轮廓测量仪(见图26)。该测量仪采用了海克斯康集团下属 CogniTens 公司的 Optigo 便携式三维光学测量系统,3个摄像头能快速获取被测工件几何尺寸信息数据,包括曲面偏差、特征与边缘位置、截面测量等,可实现原型件的测量、模具的制造精度及加工工件的尺寸测量等,仪器能适应生产环境下应用,不受振动、环境光及温度变化的影响。给大型覆盖件的快速测量提供了一条途径。

3. 结语



图 26 Optigo 三维光学测量系统

与往届 CIMA 展览会相比,在新馆举办的第 11 届中国国际机床展览会上,国产量具量仪新技术新产品的数量和水平有了令人可喜的提高。这是近年来国内量具量仪制造业通过产品结构调整、夯实基础、练好内功、引进消化、提倡创新、面向市场、瞄准未来发展所取得的成果。需要指出的是,如何针对国家重大发展项目和振兴机械装备制造业方针政策,针对国家战略需求和市场需求,开发出新型、高质量、高技术水平的先进数字化测量量具和仪器,是我们行业需要认真对待的。比如,在三坐标测量机的开发和生产上,国内厂商不少,但是缺少高质量、高精度的产品,大型、高精度的三坐标测量机几乎空白;齿轮测量仪器的制造厂商也越来越多,有扎堆的趋势,但是测量仪器关键基础件主要还得进口配套,在仪器软件上,特别是精度补偿软件的开发,与国外相比还存有较大的差距。打好基础,自主创新,持之以恒,才有可能取得更快的发展。让我们共同努力,迎接经济复苏春天的早日到来。□



数控高效放电铣加工技术

CNC efficient EDM milling technology

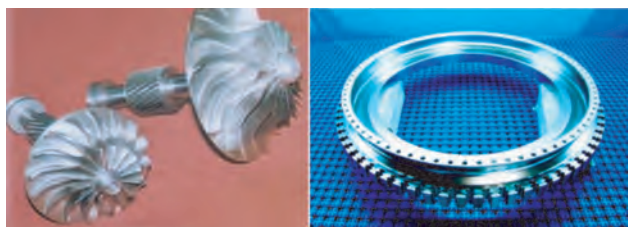
苏州电加工机床研究所 叶军

内容摘要：本文介绍了数控高效放电铣加工技术的基本原理。其采用简单超长圆电极，在电极与工件之间施加高效脉冲电源，通过数控系统控制电极与工件的相对运动并对电极损耗进行在线检测和补偿，以类似数控铣的方式加工的特殊材料制作的零件复杂形面，实现对特殊难加工材料的高效、低成本加工。本文还介绍了该加工方法的技术特点、关键技术及应用情况。

1、研发背景

在航天、航空及军工制造业中有大量的采用高温耐热合金、钛合金等用传统的金属切削机床难以加工的零件。如机匣、整体叶盘、各类环件、安装边、叶片等，它们空间形状复杂，采用金属切削机床加工刀具损耗极大，效率很低，还需大量占用昂贵的加工装备，这类零件的加工已成为该制造领域的技术难题、加工瓶颈，严重制约了我国国防装备制造业的发展。

另外，在其它一些行业也存在大量的难加工材料的高效加工问题。如热电、核电行业的发动机零件、轧钢行业中的硬面轧辊、模具行业中的大型淬火模具等零件的高效去余量加工。



国内外一直在探索对这种难加工材料零件复杂型面的更经济有效的加工方法。电化学成型加工是主要加工方法之一，这种加工方法效率高，加工表面质量好，能满足一定的精度要求，但污染严重，设备购置费高，加工工艺也较难掌握。采用数控金属切削机床，虽然可以满足一些零件的加工要求，但不仅其加工效率低，刀具费用很大，设备昂贵，而且还存在一些因工件需加工部位刚性很差或刀具难以伸及而无法完成最终加工的情况。

本所研究的数控高效放电铣削技术及装备是我国自主原创的一种全新的对特殊难加工材料高效低成本的加工方法和手段。可以使高温合金、钛合金等难加工材料零件的空间复杂型面加工成本大幅降

低，效率明显提高，如对某高温耐热合金整体叶盘三维形槽进行高效去余量加工，电极费用不到2000元人民币，是金切刀具费用的1/50，设备费用也仅为五轴加工中心的1/10-1/20，加工效率可提高20-30%，总体成本与金切机床加工相比，几乎可以“忽略不计”。本加工方法还具有安全、无污染的优点。

本技术的实施，不仅能提高我国电加工行业的技术水平和技术创新能力，促进行业的技术进步，更重要的是能为我国的航空航天、军工生产企业提供急需的、先进的高效低成本加工设备，解决特种材料工件复杂型面的加工难题，进一步增强我国航空航天、军工等国防装备的研发、制造和重点型号产品批生产能力，增强对外转包生产等国际合作机会。也可为其它有关行业提供解决难加工材料零件的加工问题的先进装备。

2、技术原理

该技术利用电加工不怕材料硬、脆、韧的优势，采用简单的超长铜管作电极，由导向器导向，在电极与工件之间施加高效高频脉冲电源，对加工区施以冲、包、浸工作液进行有效冷却排屑，通过专用

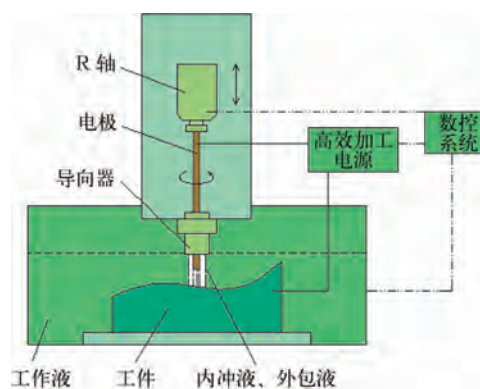


图2.1 数控高效放电铣加工原理图

数控系统控制工件与电极之间相对运动轨迹,在电极与工件之间产生高频脉冲放电,以类似数控铣的方式,实现对零件复杂型面的高效去余量加工。其控制轨迹由CAD/CAM软件生成数控程序,通过数控系统控制进行三轴以上联动三维曲面的高效放电加工。为保证加工精度,数控系统在加工过程中对电极损耗进行在线检测及补偿。

3、技术特点

(1) 采用简单的长圆管电极,电极制造方便,可以有效实现电极损耗补偿。

(2) 电极成本低,每根电极只需几十元人民币,是采用金属切削机床加工所需刀具费用的几十分之一。

(3) 加工效率高,可以达到 $3000\text{mm}^3/\text{min}$ 。

(4) 可以加工复杂的三维型面。

(5) 采用水质工作液,安全、无污染。

(6) 与加工中心比较,设备的成本相对很低。

4、关键技术

4.1 电极损耗在线检测补偿技术

一般的电火花成形加工的电极损耗很小($<1\%$),但高效放电铣技术直面大能量放电加工电极损耗较大的状况,例如对某飞机发动机叶轮叶片的高效放电加工,铣削加工一个槽的电极损耗要达到 60mm 左右,这样大的电极损耗如果不进行实时的在线补偿,对于实际的尺寸加工是没有意义的。项目采用加长的简单管状电极解决电极损耗可以补偿并不需频繁换电极的问题,同时通过在线检测和实时补偿电极损耗,解决了电极损耗怎么补偿的问题,使高效放电铣加工达到一定的精度要求成为可能。

4.2 防烧弧检测控制技术

由于加工处于大电流和高速状态,加工状态的变化很大,不良脉冲对工件的伤害是致命的,不恰当的处理就会造成工件表面损伤,所以加工状态的实时检测很重要。为此,针对放电加工的特点,研制了放电加工状态适时检测技术和控制策略,能有效地检测每个脉冲的状态(空载、放电及短路),供计算机作为对电源参数和轨迹伺服等作自适应控制的依据。自适应控制分为微观控制和宏观控制。微观控制从每个放电脉冲起始状态为依据,决定每个脉冲的能量的大小及脉冲参数的大小,宏观控制则

根据较短时间段内的放电状态的统计结果决策总体的放电脉冲参数及伺服进给的速度。采用适应控制措施后(如减小电流、减小脉宽、增大停歇直至完全切断电流等策略),有效防止了加工中拉弧烧伤工件表面。

4.3 数字化节能高效放电铣脉冲电源

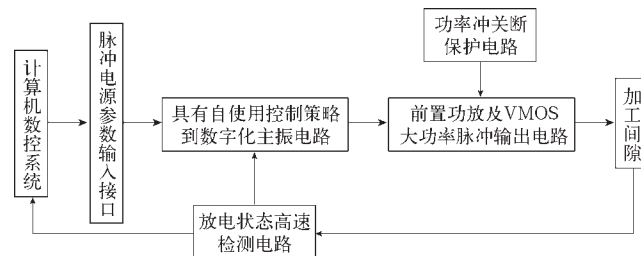


图4.1 数字化节能高效放电铣脉冲电源结构图

高效放电铣脉冲电源除了要求功率大以实现高效加工之外,为了保证高效加工的顺利进行,及被加工零件的表面质量(不烧伤),还必须对加工状况进行快速检测,实施防烧弧自适应控制策略,使加工效率、加工表面质量及电极损耗趋于更合理的协调。

该数字化脉冲电源采用超大规模可编程逻辑芯片作为数字化的脉冲主振级,通过数控系统指令选择电源的电流、脉宽、停歇、电流波形组合等参数,实现根据加工状态的检测和控制策略的要求对数字化脉冲电源的适应控制。

电源的功率输出单元由前置放大电路驱动VMOS场效应高速功率开关管,并通过多管、多模块并联实现大功率输出。采用阻容回路吸收功率管关断过程中的反压,保护功率输出器件。该功率输出单元由高压、低压二部分输出回路组成,可以根据工艺要求实现高低压复合加工。

为了降低加工的能耗,根据高效放电铣的特点,电源主回路的采用 45V 的低压(一般电火花加工电源主回路电压在 80V 以上),主回路变压器的功率减少了一半,能耗降了 60% 。

电源的检测单元采用高速器件检测加工间隙的放电状态,并将放电状态信号及时传送至主振电路和计算机,供主振电路产生正确有序的脉冲级适应控制的脉冲波形,计算机则据此及控制策略控制加工速度以及对主振电路作宏观自适应控制。加工过程中,实时检测每一个放电脉冲的状态,区别分类放电脉冲,空载脉冲和短路脉冲,以此为依据,作出控制决策,分为微观控制和宏观控制。微观控制从每个放电脉冲起始状态为依据,决定每个脉冲的

能量的大小及脉冲参数的大小,宏观控制则根据较短时间段内的放电状态的统计结果决策总体的放电脉冲参数及伺服进给的速度,经上述控制处理后,加工工件表面质量可大大改善,避免表面烧伤的现象发生。

4.4 专用多轴数控系统

由于数控高效放电钎加工过程具有放电过程控制与工具电极轨迹运动的强耦合特性,不能试图通过单独控制某一个因素来实现加工过程稳定进行。从系统的功能角度来看,与典型的切削加工机床的数控系统差异明显,单一工具电极的轨迹运动功能只在整个放电高效钎加工数控系统中占据较小的比重。而系统更多地是通过适时检测放电状态,根据规划的策略适时调节或控制众多的可调参数,包括放电过程和工具相对于工件的运动来获得所希望的加工工艺指标。如高效放电钎加工的电极损耗很大,电极在Z轴方向就不能单纯的沿编程轨迹运动,而是要沿着一个以编程轨迹为基础,有机结合在线电极损耗补偿策略产生新的动态轨迹运动,还需适时检测加工间隙的放电状态,根据放电状态适时控制电极伺服进给速度、适时控制脉冲电源、工作液压力、流量等工艺参数,以满足稳定可靠的加工要求。项目基于高效放电钎加工利用简单圆电极,分层加工原理,研发了不仅满足各轴联动加工要求,而且能根据对加工状态检测和加工工艺要求,对相关各加工轴实施伺服控制、对高效放电电源相关参数,对工作液的流量压力、电极转速实施适应控制,并根据电极损耗补偿策略实施对电极损耗在线补偿,同时数控软件通过间隙状态反馈信号,控制电极沿数控轨迹作自适应伺服运动的多轴数控系统。

4.4.1 数控系统的硬件

以工业控制计算机为平台,研发相应的硬件接口电路,组成数控硬件系统。其结构紧凑,抗干扰能力强,其结构如图:

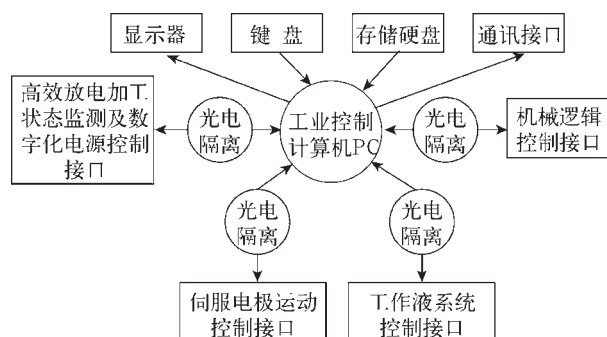


图4.2 数控系统硬件框图

4.4.2 数控系统软件

根据系统整体要求按模块化开发设计,这种模块化结构的软件,条理性强,可方便地进行逐块开发调试,扩展功能方便。

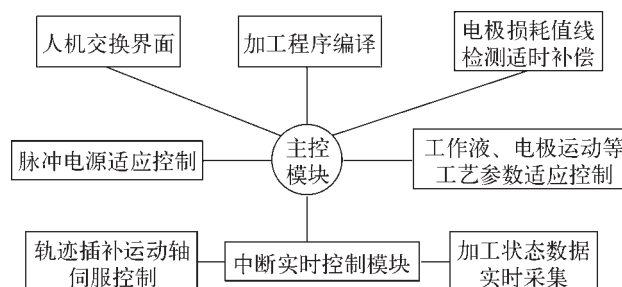


图4.3 数控系统软件结构图

4.5 冲、包、浸相结合的冷却排屑方法

由于放电加工的加工效率高、电流密度大、加工产生的热量很高,电蚀产物很多,如果不采取有效的冲液方法降低加工区的温度,及时冲走电蚀产物,放电加工将不能顺利进行。项目采用对加工区实施“冲、包、浸”组合的高效冷却排屑方式,通过电极管内孔向加工区冲射高压工作液,对加工区实施强有力的冷却排屑;通过包裹在电极外的水柱,冲刷工件已加工的侧壁,避免蚀除物在其上沾附;将工件浸泡在工作液中,一是对工件整体实施冷却,二是防止加工中工作液的飞溅。结合电极的高速旋转消弧,排屑效果显著、加工稳定,很好地满足高效放电钎的工艺要求。

4.6 多轴数控的主机

多轴数控高效放电钎设备是一种全新结构的电加工机床。其主机的整体布局、各部件的结构、工作液系统的设计不仅不同于一般的金属切削机床,与其它的电加工机床也有明显的差异。除了满足电加工机床的基本要求之外,还须满足数控高效放电钎技术的要求。整体布局及结构科学合理,有足够的刚性和精度保持性;数控轴的运动惯量要合理分配和匹配,满足数控伺服加工的要求,很好地设计馈电、工作液供给、密封防护等技术,运行可靠,使用安全;具有很好的人机功能、简捷紧凑均衡有良好的视觉效果。

主机采用牛头式布局,工作台固定,上设置A轴及工作液槽,其它轴设置在后部的牛头结构上,这样主要各轴不用带动质量大的工作液槽、工件、A轴运动,将各轴的运动惯量合理分配,提高主机的数控性能。

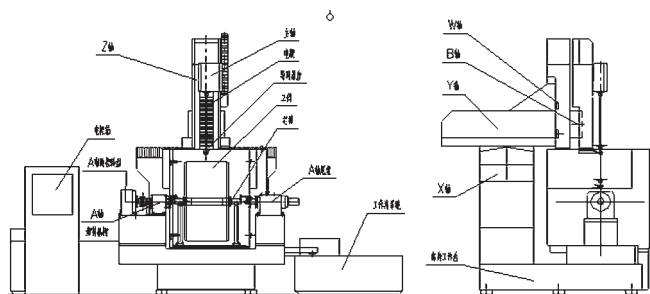


图4.4 六轴数控机床布局



图4.5 为成都航空发动机股份有限公司研制的
多轴数控高效放电铣设备

4.7 数控高效放电铣工艺技术

数控高效放电铣技术是我国自主原创的最新的电加工技术，其工艺技术相当复杂，涉及到高效放电脉冲电源参数、工作液各参数、电极损耗在线检测补偿策略、放电状态的控制、加工轨迹及电极进给量的选取、电极材料及结构、工件的材料和加工面形状等等，既与金切机床的数控铣有本质的差别，与其它电加工技术相比又有明显的特殊性。项目结合典型材料复杂型面的加工，进行了大量、细致的试验研究，取得了良好的加工效果。

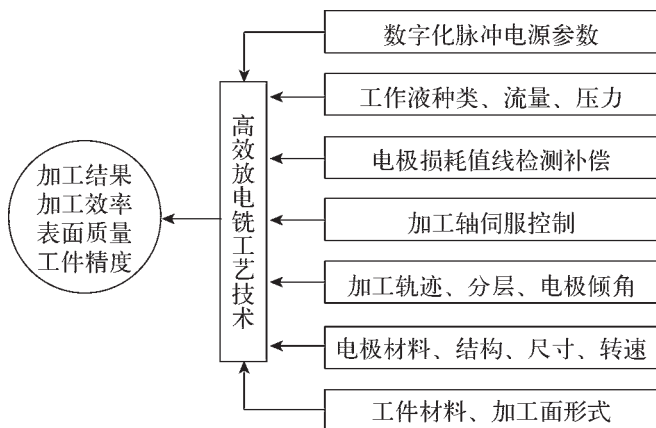


图4.6 高效放电铣工艺技术研究内容

5、应用情况

图5.1为某航空发动机制造企业加工的空间形状复杂的环形工件，整个工件若用数控加工中心加工，需时约50小时，耗费刀具费数万元，采用本技术加工，需时30多小时，耗费电极费用700元。经济效益特别显著。

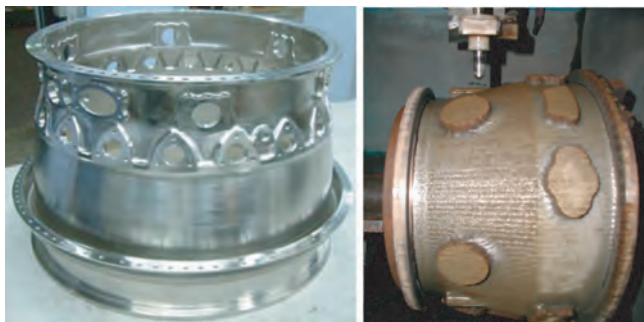


图5.1 空间形状复杂的环形工件加工

图5.2为给某公司试验加工的整体叶轮（局部），叶片为三维空间曲面。原来采用加工中心加工一条槽需要1个多小时，刀具费用一千多元人民币，而现在采用高效放电铣的方法加工时间仅为40分钟左右，电极费用只需二十元人民币。效果是相明显的。

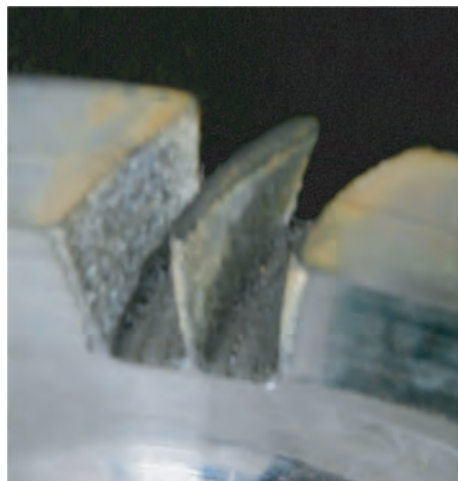


图5.2 整体叶轮（局部）加工

6、结语

本技术针对用户对航空发动机特殊材料的整体叶轮三维空间复杂曲面叶片高效加工的实际要求，在采用简单超长电极进行复杂曲面的高效加工技术方面取得了突破性的进展，取得或已申报了多项国家专利，其中已获得国家发明专利3项。

(1) 采用超长中空圆电极进行高效放电展成加工, 解决了电极可连续补偿的问题。

(2) 以在线检测的电极实际损耗值为依据, 采取一定的策略对电极损耗进行在线补偿。解决了数控高效放电展成加工的电极损耗补偿问题。

(3) 采用电极内冲液、外包液、工件浸液加工以及电极高速旋转相结合的方法, 解决了数控高效放电展成加工的排屑及冷却问题。

(4) 针对放电铣削的特点, 开发了具有较强的自适应控制功能的高效节能脉冲电源, 保证无损伤

的高效放电铣加工顺利进行。

(5) 开发了能够满足高效放电铣加工技术要求的专用数控系统, 除了完成四轴联动自适应轨迹伺服控制外, 还对电源参数、加工过程、检测参数等各种相关条件做出适时优化处理与控制。

(6) 本项目研究成果推广, 不仅可以明显提高我国电加工行业在高效加工方面的技术水平, 促进行业的技术进步, 更重要的是能为我国的航空航天军工生产企业提供先进的加工设备, 解决特种材料工件的高效加工工艺难题。

● 业界动态 ●

济南二机床集团连续七年入选 “中国机械 500 强” 企业

由中国机械工业企业管理协会主办的 2009 年 (第七届) 《中国机械 500 强研究报告》暨《世界机械 500 强》发布会 7 月 30 同在北京人民大会堂隆重举行。济南二机床集团再次入选“中国机械 500 强”, 位列 248 名, 排名较前几届又有提升。济南二机床已连续七年入选“中国机械 500 强”企业。

中国机械 500 强评选发布活动由中国机械工业企业管理协会主办, 按照国际惯例设计的企业竞争力评测模型, 对企业的销售收入、利润总额、资产利润率、增长率等数据进行综合分析, 并结合行业差异、声望指数等因素最终排出名次加以确定的。2003 年起首次发布。通过连续几年的数据积累和比较分析, 充分反映了我国机械行业的最新进展, 客观地描述了当前我国机械工业企业的真实状况, 具有权威性、真实性、科学性、时效性和公正性。2009 年共有来自包括通用设备制造、交通运输设备制造、电气机械及器材制造、专用设备制造、仪器仪表及文化办公用机械制造、金属制品、综合类等在内的七个行业的 500 家企业入选。一汽、上汽、上海电气位居中国机械 500 强前三名。

济南二机床集团有限公司经过几十年的发展, 目前已成为全国 520 家重点企业、全国锻压行业的排头兵、山东省高新技术企业。是全国规模最大、技术水平最高的重型锻压装备制造基地, 也是国内唯一、全球少数几个能提供大型成套自动化冲压装备的厂家, 同时是中国重型数控机床三大产业化基地之一。产品品种和技术水平、产值利税、销售收入等主要指标连年位居全国锻压行业榜首。数控冲压机床和数控金切机床分别获得“中国名牌”称号, 是国内机床行业唯一拥有金属成型、金属切削两块“中国名牌”的企业。重型数控冲压设备和大型数控会切机床国内市场占有率均在 60% 以上, 并远销世界 50 多个国家和地区。被国务院授予“国内重大技术装备领域突出贡献企业”。近年来, 企业以“打造国际一流机床制造企业, 塑造国际知名品牌”为目标, 坚持自主创新发展企业, 取得了很好的经济效益和社会效益, 企业工业总产值年均增长 26.17%, 工业增加值年均增长 14.06%, 销售收入年均增长 22.22%, 实现利润年均增长 52.18%。企业经营规模, 连续实现了从 4 亿到 10 亿元、18 亿元的跨越发展。



适于高速精密机床的测量 和数控系统的最新发展

Development of Measurement and NC System for High Performance Machine Tools

约翰内斯·海德汉博士 (中国) 有限公司 技术总监 张兴全 博士

Dr. JOHANNES HEIDENHAIN (China) Co. Ltd., CTO, Dr. Zhang Xingquan

摘要: 随着数控机床在机床制造领域的普及, 现代机床在加工速度、加工精度和可靠性方面都有了很大的提高。机床用光栅测量元件和数控系统是数控机床的两大核心部件, 清楚地了解他们的发展趋势, 对机床制造商和最终用户都有非常重要的意义。

报告结合海德汉公司的在编码器方面的深入研究, 阐述了现代高精度数控机床用测量系统, 并着重强调了机床的精度以及测量系统的核心技术研发状况和发展方向, 包括: (1) 高效可靠且具有诊断功能的接口技术 EnDat; (2) 分辨率达到皮米级的光栅尺技术; (3) 绝对式玻璃光栅尺技术; (4) 绝对式钢带光栅尺技术; (5) 高精度绝对式角度编码器技术等。

同时, 报告结合海德汉数控系统 iTNC 530, 介绍了适合于高速高精度数控机床的新技术, 并侧重强调如何在保持高速加工情况下实现更好的表面质量和五轴加工技术: 包括 (1) 有效的高速及振荡 (Jerk) 控制功能; (2) 机床动态碰撞监控功能; (3) 五轴机床旋转轴标定和补偿功能; (4) 系统的自适应控制功能; (5) 用户自定义系统界面功能等。

引言

在经济危机席卷全球的形式下, 中国机床制造商面临产品升级, 寻求新发展的时期, 制造出高性能机床是机床制造商共同的目标。实现该目标与很多因素都相关, 本文仅从高性能机床所需的两个关键部件入手, 介绍其最新发展供大家参考。

结合 HEIDENHAIN 公司的在测量技术方面的深入研究, 着重强调了机床精度和测量技术的最新发展, 包括: (1) 单场扫描技术; (2) OPDODUR 相位光栅 (皮米级); (3) 高效可靠且具有诊断功能的接口技术 EnDat22; (4) 绝对式钢带光栅尺技术等。结合 HEIDENHAIN 数控系统, 介绍了适合于高性能数控机床的最新数控技术, 包括 (1) 高速加工; (2) 五轴加工; (3) 智能化; (4) 友好人机界面。

一、机床精度

能否适应快速变化的工作条件是影响机床加工精度的决定性因素。从粗加工到精加工, 机床承受

的机械作用力和热负荷完全不同, 因此造成的精度变化也较大。小批量生产加工中也有类似的负荷变化情况。特别是小批量生产、公差要求严格的订单的盈利能力取决于首件达到的加工精度。

1. 机床的热稳定性

避免因发热造成工件尺寸发生变化是机床行业面对的日益重大课题。主动冷却、采用对称机床结构和温度测量技术已获广泛应用。温度变化的主要原因是滚珠丝杠进给轴造成的。沿滚珠丝杠的温度分布与进给速率高低和运动力大小紧密相关。在没有采用直线光栅尺的机床上, 温度导致的长度变化 (典型值: 20 分钟 100 $\mu\text{m}/\text{m}$) 可造成工件严重缺陷。

2. 进给驱动的位置测量和控制方式

用滚珠丝杠和旋转编码器可以测量 NC 进给轴位置, 也可以用直线光栅尺测量。

如果滑座位置用丝杠螺距和旋转编码器 (图 1) 确定, 那么滚珠丝杠必须承担两项任务: 作为驱动系统, 它必须传递大驱动力, 但作为测量设备, 希望它能提供高精度位置值和体现螺距值。但是, 位置控制环上只有旋转编码器。由于驱动机构的磨损或温度变化不能被补偿, 因此这种结构被称为半闭环

环控制。驱动系统存在无法避免的定位误差，并严重影响工件质量。

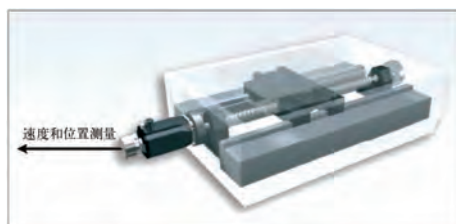


图1 半闭环控制模式下的滚珠丝杠和旋转编码器位置反馈控制

如果用直线光栅尺测量滑座位置（图2），位置控制环就包括全部进给机构，也被称为闭环控制。那么，机床运动传递元件的轴向间隙和误差就不影响位置测量结果。测量精度几乎只取决于直线光栅尺精度和安装位置。

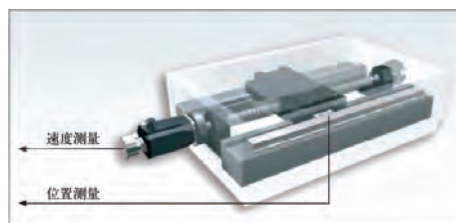


图2 全闭环控制模式下的直线光栅尺位置反馈控制

3. 驱动精度的保证

举例：阵列孔工件

闭环控制或半闭环控制模式的进给轴精度可以用连续加工简单阵列孔工件说明，阵列孔沿长度方向均匀分布。半闭环控制模式加工时，温度导致的误差造成钻孔位置改变，可以明显看出滚珠丝杠的受热影响。半闭环控制模式下的加工误差也可以用同一毛坯被加工为同批次的多个零件方法检查。

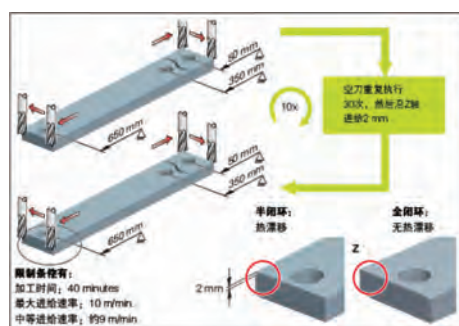


图3 驱动精度对连续生产的影响（表示滚珠丝杠的固定轴承）

图3为同一毛坯被加工为同批次多个工件情况。第一步，加工两个端面和三个孔。然后空刀运动模拟这些加工步骤30次。之后，用2 mm进给对工件进

行铣削加工。70分钟后进行了10道走刀和共270次空刀运动，加工结束。滚珠丝杠产生的大量热量造成正端面 and 孔内表面（图4）形成台阶状误差。

距离滚珠丝杠固定轴承最远位置处孔偏移距离达213 μm 。按照DIN ISO 230-3标准用VM 182比较仪测量热稳定性造成的位置误差也能得到类似结果：滚珠丝杠螺母距离固定轴承位置越远，位置偏移越大。在闭环控制模式下，高精度直线光栅尺可以补偿温度变化影响。DIN/ISO 230-2测试标准通常用于确定机床验收精度，但它不包括温度影响的精度。

如果加工期间滑座位置仅用丝杠螺距和电机端的旋转编码器确定，20 分钟的定位误差可达100 μm （图5）。这种方法在控制环内无法补偿这些基本驱动误差，被称为半闭环控制，可通过直线光栅尺完全补偿这些误差。用直线光栅尺的进给驱动工作模式为闭环控制，滚珠丝杠的误差在位置测量系统被测量并在定位控制环中被补偿。用角度编码器取代旋转编码器也有类似的优点，原因也是机械传动部件的热膨胀。

提供位置反馈信号的直线光栅尺是机床高精度定位不可或缺的条件。它直接采集进给轴实际位置信息。因此，机械传递元件对位置测量结果没有影响—运动特性误差和温度变化造成的尺寸偏差以及其他作用力影响的位置都被直线光栅尺测量到，并使测量结果体现在位置控制环中。因此，它能消除以下潜在误差源：



图4 连续生产中阵列孔偏差

- 滚珠丝杠温度特性导致的定位误差
- 反向误差
- 机械作用力导致驱动机构变形形成的误差
- 滚珠丝杠螺距误差导致的运动特性误差

因此,直线光栅尺已成为高精度定位和高速加工不可或缺的必备条件。

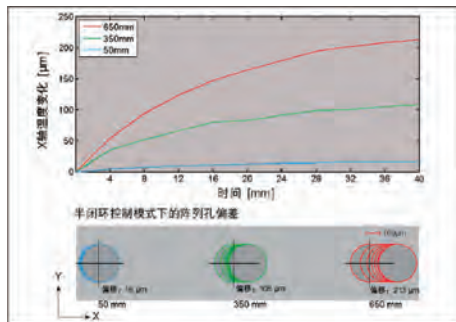


图5 X轴运动范围上不同位置的偏移情况 (ISO 230-3)

二、测量技术的最新发展

单场扫描技术、OPTODUR 相位光栅和绝对式测量技术是当前测量技术的最新发展。

1、单场扫描技术

传统的角度和长度测量设备所采用的四场成像式扫描方法中 (图6), 光栅标尺与带有类似或相同光栅结构的扫描掩膜做相对运动。穿过标尺与掩膜光线的明暗程度按标尺与掩膜相对位置的不同而有规律地变化: 当标尺与掩膜的空隙吻合时, 光线得以穿过; 当栅线与空隙重合时, 没有光线穿过。感光元件将光强的变化转变为电子信号。扫描掩膜上有四个扫描区, 各扫描区光栅间互相错开四分之一栅距。对应于这四个扫描区的感光元件生成相位差为90度的四个正弦信号。这四个扫描信号不以零线为其中线, 所以需要将四个信号两两相减, 以获得两个相位差90度, 中线为零线的输出信号 I_1 和 I_2 。

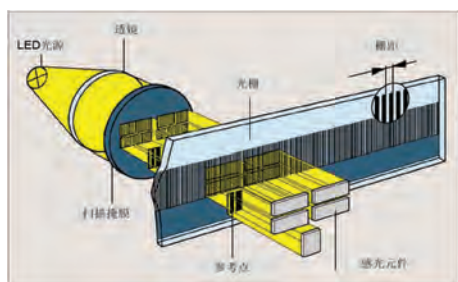


图6 四场成像式光电扫描法原理图

新型的单场扫描技术, 其扫描掩膜带一个大尺寸光栅, 栅距与光栅标尺的栅距略有不同 (图7)。由此在扫描掩膜光栅长度上会产生明暗交替现象: 某些地方栅线与栅线重叠, 光线可以通过; 某些地方栅线与空隙重叠, 光线无法通过。而在这两者之间, 空隙部分被遮挡。这起到了光学过滤的作用,

使得产生均匀的正弦性信号成为可能。特制的栅状感光元件取代了独立感光元件, 生成四个相位差为90度的扫描信号。

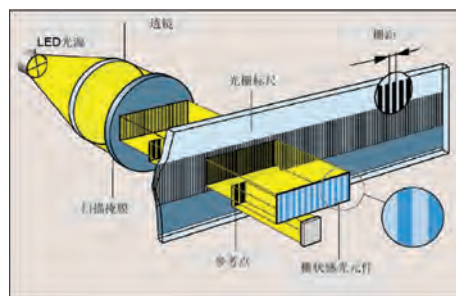


图7 单场成像式光电扫描法原理图

单场扫描光学扫描系统对角度和长度测量设备性能的提高起了决定性作用。它的大面积扫描区和特殊光学过滤可在测量设备全行程上产生稳定质量的扫描信号。而这是下列几点的前提条件:

- 信号周期内位置误差较小
- 高光栅运行速度
- 使用直接驱动时, 控制品质高



图8 四场与单场扫描抗污染能力比较

单场扫描光栅尺的输出信号拥有更好的圆度和更小的信号噪声。而这意味着更高的定位精度和更佳的控制品质。对直线电机而言, 配备了单场扫描光栅尺后, 速度控制可以做的更好, 更为平滑。覆盖光栅标尺全宽的大尺寸扫描面以及交替重复出现的条状扫描区使得采用单场扫描原理的测量设备对污染的干扰特别不敏感。这可通过抗污染试验来证实: 即便在有大面积污染干扰时, 测量设备仍能提供高质量的测量信号 (如图8所示)。位置误差远低于测量设备标定精度等级所对应的误差值。

2、高精度的相位光栅尺LIP281R

过去高精度的相位光栅尺 (LIP 300) 由于刻制工艺限制而存在以下局限性: (1) 最大移动速度30m/min; (2) 最大测量长度300mm; (3) 光栅尺

上没有参考点。海德汉公司最新发明OPTODUR刻制光栅方法,从而使得在相位光栅方面取得了重大突破(LIP 200R-图9),其最大运行速度可达180m/min,其最大测量长度可达3,040mm,而其细分误差可小于1nm,同时还带参考点。其主要的特点如下:

■ OPTODUR 相位光栅, ZERODUR.玻璃陶瓷或玻璃机体, 信号周期0.512 μ m;

■ 精度等级: $\pm 1.0 \mu$ m;

■ 干涉式扫描原理增量式直线光栅尺, 测量步距可达31.75 微米;

■ 测量长度可达3,040mm

■ 接口类型: 1Vpp/TTL/EnDat

■ 最大移动速度: 180m/min

■ 带参考点



图9 LIP 281R 相位光栅尺

3、绝对式测量技术

(1) 双向同步串口技术

绝对式编码器利用自然二进制、循环二进制(格雷码)或PRC码对码盘上的物理刻线进行光电转换,将连接轴的转动角度量转换成相应的电脉冲序列并以数字量输出。它具有体积小、精度高、接口数字化及绝对定位等优点,被广泛应用于雷达、转台、机器人、数控机床和高精度伺服系统等诸多领域。绝对式编码器的数据输出以同步串行输出为主,EnDat接口是海德汉专为编码器设计的数字式、全双工同步串行接口。它不仅能为增量式和绝对式编码器传输位置值,同时也够传输或更新存储在编码器中的信息,或保存新的信息。由于使用了串行传输方式,所以只需四条信号线,在后续电子设备的时钟激励下,数据信息被同步传输。数据类型(位置值、参数、诊断信息等)由后续电子设备发送给编码器的模式指令选择决定。海德汉公司的EnDat双向同步串口有如下特点:

■ 传输位置值与附加信息可同时传输:附加信息的类型可通过存储地址选择码选择。

■ 编码器数据存储区域包括编码器制造商参数、OEM 厂商参数、运行参数、运行状态,便于系统实现参数配置。即电子ID;

■ EnDat2.2 编码器实现了全数字传输,增量信

号的处理在编码器内部完成(内置14Bit 细分),提高了信号传输的质量和可靠性,可实现更高的分辨率;

■ 监控和诊断功能,报警条件包括:光源失效、信号幅值不足、位置计算错误、运行电压太低或太高、电流消耗太大等;当编码器的一些极限值被接近或超过时提供警告信号;

■ 更好的信号质量:编码器内部特别的优化提高了系统精度,传输速率可达16MHz,适用于先进的直接驱动技术发展

■ 更宽的电压范围(3.6~14V)。

(2) 绝对式光栅尺

所谓绝对式测量是相对于增量式测量而言的。增量式测量设备通过对光栅探头扫描过的栅线进行计数来获得相对运动的距离数据。为了获得绝对位置,增量式测量设备在开机后须执行过参考点动作。而绝对式测量设备以不同宽度,不同间距的栅线将绝对位置数据以编码形式直接制作到测量设备中,测量设备开机后立刻可以提供绝对位置信息,无需执行过参考点动作。近几年以来,绝对式光栅因其不可取代的种种优点,得到了越来越广泛的应用:

优点一: 缩减机床非生产时间

机床在使用过程中,经常会因故障或其他原因而被迫关机重新启动。对于仅装备了增量式光栅的机床,开机后必须对每一轴执行通过参考点。与正常开机后通过参考点所不同的是,机床的刀具此时通常还处于加工位置,与工件有直接接触,有时甚至还处于工件的内部(如钻孔,攻螺纹等),为了安全地进行通过参考点,必须首先手动将刀具移出加工位置。这对于带倾斜刀具的多轴机床更为困难,往往要耗费大量的时间和人力。对由多台加工设备构成的自动生产线,在其中一台设备出现故障须重新启动时,可能不得不对生产线内所有设备进行通过参考点,并需对未完全加工的工件进行特殊处理。配备了绝对式光栅的机床或生产线在重新开机后立刻重新获得各轴绝对位置以及刀具的空间指向,因此可以立刻从中断处开始继续原来的加工程序,大大提高了机床的有效加工时间。

优点二: 提高机床可靠性

机床的可靠性直接决定零件生产的效率和经济性。机床每分钟的故障时间对用户而言都意味着成本的增加。因此,机床设计的一个趋势是对重要部件的状态进行实时监控。海德汉的绝对式光栅通过其双向通信EnDat数据接口支持此类实时监控功能。

EnDat 数据接口除了绝对位置值外, 还向数控系统传输光栅的工作状况, 比如: (1) 读数头光源调节余量是否接近极限; (2) 读数头最大允许移动速度是否超标; (3) 工作温度是否超出允许范围。EnDat在上述情况出现时, 可向数控系统发出预警信号。此时, 光栅仍可正常工作, 但用户可依据该预警信号提前实施相应对策, 防止造成更大损失。光栅出现严重故障时, EnDat还会向数控系统发出警报信号。数控系统可依据该信号决定是否中止加工以保护机床和工件。在排除故障时, 维修人员可以按照EnDat提供的信息在最短时间内查找到故障的根源。通过发送预警和警报两个等级的故障信号, 海德汉绝对式光栅可以极大地提高用户维护工作的效率, 减少光栅故障造成停机的概率。机床的可靠性也由此得到提高。

优点三: 提高机床安全性

为了对机床的机械运动部分进行保护, 通常采用行程开关来确保机床各部件的运动不超出允许范围。行程开关长期处在恶劣环境之中(冷却液, 金属屑等), 极易损坏。加上机床正常运行时较少使用到行程开关, 所以无法随时确定其功能是否仍然正常。为了保证工作安全, 用户将不得不定期检查行程开关的状态。采用绝对式光栅的机床可以在任何时间确定机床运动部件所处位置, 通过在数控系统中作相应设置可以省去行程开关。这样节省了机床用户的设备维护时间, 同时也避免了行程开关损坏可能带来的安全问题, 提高了机床使用时的安全性。海德汉公司可以提供全系列绝对式光栅尺(LC)/角度编码器(RCN)。最近海德汉研制的绝对式钢带光栅尺(敞开式光栅尺LIC 4000)已经成功面世, 它具备如下特点:



图10 绝对式钢带光栅尺

- METELLUR 刻线工艺, 钢带尺基体
- 精度等级: $\pm 5.0 \mu\text{m}$;
- 测量步距: 10nm;
- 最大移动速度: 480m/min
- 绝对轨刻线和增量轨刻线

■ 接口类型: EnDat2.2 (纯数字传输)

■ 安装尺寸和增量敞开式光栅尺LIDA485/LIDA487 兼容

三、数控系统的发展

海德汉的数控系统一直由于其友好的人机操作界面、超强的高速、高精、高表面质量和五轴加工控制功能而著称, 在高精密模具加工、航空/航天和船舶行业拥有大量忠实用户。无论是铣、钻、镗和加工中心机床还是车床, 海德汉都为其提供了成熟可靠的数控系统。从数控机床的发展来看, 高速加工、五轴加工、智能化、复合化以及操作简易化为当前的主要特征。这里仅结合海德汉数控系统对以下几个方面进行简介。

1、高速加工

高速加工进给速率大, 进给驱动加速度增加, 必然使机床结构承受更大加速力, 也容易造成机床振动, 恶化表面质量。数控系统必须与机床紧密配合以确保任何加工任务都具有高动态性能。因此, 在具备好、稳定可靠的硬件基础上, 控制系统软件也必须具有好的伺服性能及高速控制能力。除了需要程度段处理速度快(0.5ms)和预读功能强(1024段)外, 以下功能对高速加工非常重要:

(1) 有效监测轮廓公差

复杂曲面的NC程序都是通过CAM系统生成, 它由大量简单线段组成。海德汉数控系统iTNC 530自动平滑处理过渡形状, 同时保持刀具在工件表面连续运动。同时, 最终用户可以通过固定循环CYCLE 32根据需要自定义轮廓偏差。在加工时有过渡点时, iTNC 530的路径控制功能可以平滑处理加加速(Jerk)避免机床严重振动, 并满足要求的轮廓公差。

(2) 往复加工时相邻路径的高重复性

要在高速高精加工时同时保证加工表面质量, 在往复加工时保证相邻路径的重复性很重要。图11为一个局部工件及相应的TCP(刀具中心点)轨迹图

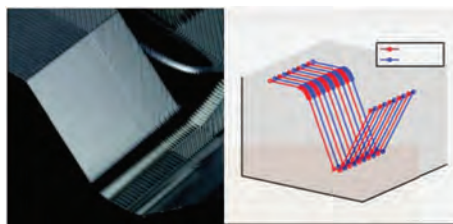


图11 往复加工的高重复性

(往复运动的多道轨迹),各轨迹由长度很短的直线组成(CAM系统设置的弦高为 $3\mu\text{m}$)。在高精密加工时,海德汉iTNC 530系统采用小线段插补,在往复多道铣削运动时可保证高重复性,从而实现高表面加工质量。

(3) 高速运动时有效避免振动

HSC铣削技术要求的进给速率对机床数控系统是巨大挑战。只有达到更高的轮廓加工平均速度才能缩短加工时间。但是如果遇到小半径轨迹,就必须大大降低运动速度,以保证路径偏差在允许的公差内。此外,加速和减速运动还能造成机床结构振动,损害工件表面质量。加加速(Jerk)和加速度的平滑控制是海德汉数控系统的突出特点,它能非常有效地抑制机床振动。根据需要,数控系统还可以自动降低编程进给速率使振动的危险性降到最低。从而有效预防振动使零件程序以更高的运动速度执行。

2、五轴加工

在精密模具,航空/航天及船舶等行业的关键零件加工,五轴机床可以得到非常高的加工效率。实现五轴加工不仅需要数控系统具有强大硬件基础,同时控制软件也需要具备一些五轴机床简易操作和正常运行所必备的功能,比如:(1) 3D刀长/刀径补偿;(2) 倾斜面/圆柱面简易编程;(3) TCPM(刀具中心管理)等。同时由于五轴机床机构复杂,运行速度快,提高机床的精密性和保证安全性对提高整个机床的使用效率非常重要,以下系统的特点得到了越来越多的应用:

(1) 动态碰撞监控功能(DCM)

五轴加工中的复杂运动和高速运动使其轴向运动非常难以预测,因此动态碰撞监控能减轻操作人员的劳动强度,确保机床不发生碰撞。虽然CAD/CAM系统创建的NC程序可以避免刀具与工件的碰撞,但机床加工区域内的机床部件碰撞情况却未被考虑到。

iTNC 530的动态碰撞监控功能能为操作人员提供全面支持,一旦有碰撞危险,数控系统将立即中断加工,因此能提高机床和操作人员的安全性,还能防止机床损坏,避免代价昂贵的停机时间。同时DCM可以在自动模式和手动模式使用。iTNC 530的DCM是通过在数控系统中将机床相应的机构部件进行建模,并将需要监控的模块间建立关系。在机床运行时,数控系统将实时监测所有建立关系的模块间的相互位置关系,一旦有碰撞危险,系统将会发

出报警或急停,从而避免碰撞的发生。最新版本的DCM增加了对夹具的监控并能在“测试运行”模式下进行动态碰撞监控。自海德汉系统推出DCM选项后,超过2500台五轴机床选择了该功能,证明了其有效性。图12为动态碰撞监控示意图。

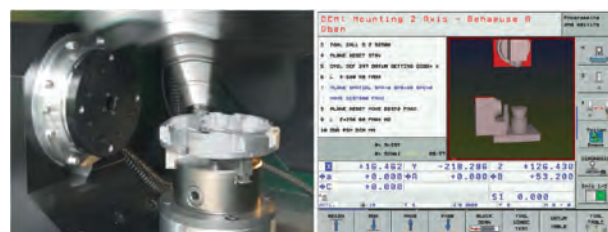


图12 动态碰撞监控示意图

(2) 五轴机床的校验和优化补偿



图13 KinematicOpt功能

如何获取较高的加工精度是永恒的热点话题,特别是5轴加工。复杂工件的加工意味着刀具运动复杂,定位精度要求高。海德汉iTNC 530系统新增的动力学模型优化功能(KinematicsOpt)能够确保精度在长时间内有很好的可重复性,从而保证大批量生产的高质量(图13)。其基本原理:KinematicsOpt是通过测头循环来全自动地测量机床任何类型(旋转工作台或摆头)的旋转轴,测试时刚性检测球固定在工作台的任何位置,操作者可定义测试所检测的轴及测试分辨率等。测试完成后,iTNC 530系统将起转换为机床的空间误差并存储,同时根据该值补偿旋转轴在装配时带来的系统误差,从而提高五轴机床的整体精度和重复性。机床制造商利用该功能可消除机床在装配过程中的系统误差提高整体精度和重复性,而最终用户利用该功能可方便地将运行一段时间的五轴机床恢复至出厂精度从而保证机床精密可靠地运行。

(3) 虚拟轴功能

五轴加工机床在运行过程中,经常会碰到断电或加工中断,如何将刀具简单地从工件中取出而不对零件有任何损伤是经常遇到的问题。海德汉iTNC 530新增的通过“全局程序设置”选项启用“虚拟

轴”功能(图14)可以帮助五轴机床用户轻松地解决此问题。虚拟轴功能是通过iTNC 530系统将任何位置的刀具轴方向定义为虚拟的轴。在任何中断恢复后,可简单地通过电子手轮或机床键盘的一个键,机床就能沿着虚拟轴方向退出而不对零件造成损坏。该功能设置和操作均很简单。



图14 虚拟轴

3、智能化

数控机床的智能化也随着机床精密和复杂化的发展变的越来越重要。欧洲的一些高端机床已经融入了一些智能性的功能,比如Mikron的Smart机床。当然有关智能性可为仁者见仁,智者见智。海德汉iTNC530数控系统为机床制造商提供了实现自适应智能型功能的平台,比如:(1)集成的防碰撞功能-动态碰撞监控;(2)高速情况下抑制振荡功能-加速平滑处理;(3)特殊的监控人机界面;(4)电子ID和机床故障远程诊断等。同时根据市场需要,iTNC 530 最新开发以下两个功能:

(1) 动力学模型补偿(KinematicsComp)

精密复杂机床无论在设计和制造过程中均有误差,包括每轴的各自由度误差和热误差。如何在建立个误差间的相互关系并通过数控系统进行补偿是提高机床精密的重要手段。海德汉iTNC 530新推出的功能动力学模型补偿功能(KinematicsComp)可以大大简化机床制造商简化在系统中的误差建模。

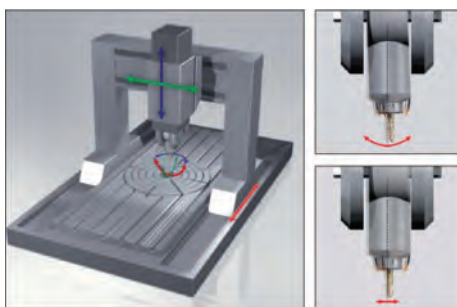


图15 机床某些误差示意图

在KinematicsComp模型中,机床制造商可以定义机床所有轴的自由度和旋转轴的位置(图15)。

同时该模型可以定义与位置相关的温度补偿信

息,温度是通过置于不同位置的温度传感器获取。利用该模型,对精密、大型机床提高制造和轮廓精度非常有益。

(2) 集成的自适应控制

海德汉iTNC 530集成自适应控制功能(AFC),它根据刀具轴性能和其他工艺参数优化进给速率,从而可以达到提高生产效率,避免刀具破损和优化刀具寿命,防止主轴过载等目的。

4、操作简易

将复杂的操作简易化是海德汉数控系统传统和追求的目标。首先,iTNC 530系统的硬件设计考虑人机工程学,方便操作。其次在人机界面方面,一方面不断提升对话式编程的境界,同时又推出SmrT.NC基于窗口式图表结合的编程方法(图16)。另外在系统中集成部分CAD/CAM功能,引入DXF输入,提高手动编程的效率。

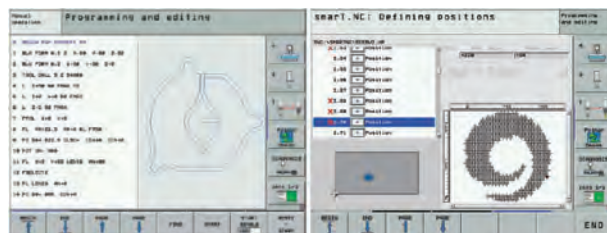


图16 对话式编程和SmrT.NC编程



图17 海德汉全系列产品

另外,海德汉新近推出了基于HSCI总线结构的全新TNC 620数控系统,它一方面保留海德汉iTNC 530的诸多优点,另一方面也实现真正意义上的全数字控制理念。由于时间和篇幅的限制,本文不能更为详细地介绍海德汉测量和控制系统的特征,如果想了解更多的信息,请浏览海德汉网页:

www.heidenhain.com.cn或向海德汉各办事处索取资料,图17为海德汉全系列产品。□



数控高效放电铣加工技术

CNC efficient EDM milling technology

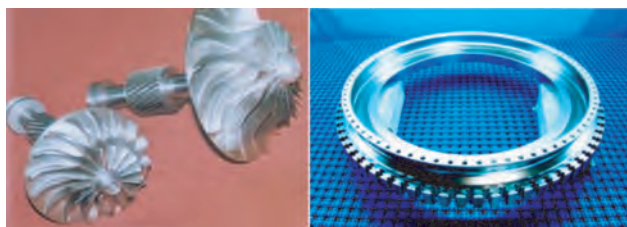
苏州电加工机床研究所 叶军

内容摘要：本文介绍了数控高效放电铣加工技术的基本原理。其采用简单超长圆电极，在电极与工件之间施加高效脉冲电源，通过数控系统控制电极与工件的相对运动并对电极损耗进行在线检测和补偿，以类似数控铣的方式加工的特殊材料制作的零件复杂形面，实现对特殊难加工材料的高效、低成本加工。本文还介绍了该加工方法的技术特点、关键技术及应用情况。

1、研发背景

在航天、航空及军工制造业中有大量的采用高温耐热合金、钛合金等用传统的金属切削机床难以加工的零件。如机匣、整体叶盘、各类环件、安装边、叶片等，它们空间形状复杂，采用金属切削机床加工刀具损耗极大，效率很低，还需大量占用昂贵的加工装备，这类零件的加工已成为该制造领域的技术难题、加工瓶颈，严重制约了我国国防装备制造业的发展。

另外，在其它一些行业也存在大量的难加工材料的高效加工问题。如热电、核电行业的发动机零件、轧钢行业中的硬面轧辊、模具行业中的大型淬火模具等零件的高效去余量加工。



国内外一直在探索对这种难加工材料零件复杂型面的更经济有效的加工方法。电化学成型加工是主要加工方法之一，这种加工方法效率高，加工表面质量好，能满足一定的精度要求，但污染严重，设备购置费高，加工工艺也较难掌握。采用数控金属切削机床，虽然可以满足一些零件的加工要求，但不仅其加工效率低，刀具费用很大，设备昂贵，而且还存在一些因工件需加工部位刚性很差或刀具难以伸及而无法完成最终加工的情况。

本所研究的数控高效放电铣削技术及装备是我国自主原创的一种全新的对特殊难加工材料高效低成本的加工方法和手段。可以使高温合金、钛合金等难加工材料零件的空间复杂型面加工成本大幅降

低，效率明显提高，如对某高温耐热合金整体叶盘三维形槽进行高效去余量加工，电极费用不到2000元人民币，是金切刀具费用的1/50，设备费用也仅为五轴加工中心的1/10-1/20，加工效率可提高20-30%，总体成本与金切机床加工相比，几乎可以“忽略不计”。本加工方法还具有安全、无污染的优点。

本技术的实施，不仅能提高我国电加工行业的技术水平和技术创新能力，促进行业的技术进步，更重要的是能为我国的航空航天、军工生产企业提供急需的、先进的高效低成本加工设备，解决特种材料工件复杂型面的加工难题，进一步增强我国航空航天、军工等国防装备的研发、制造和重点型号产品批生产能力，增强对外转包生产等国际合作机会。也可为其它有关行业提供解决难加工材料零件的加工问题的先进装备。

2、技术原理

该技术利用电加工不怕材料硬、脆、韧的优势，采用简单的超长铜管作电极，由导向器导向，在电极与工件之间施加高效高频脉冲电源，对加工区施以冲、包、浸工作液进行有效冷却排屑，通过专用

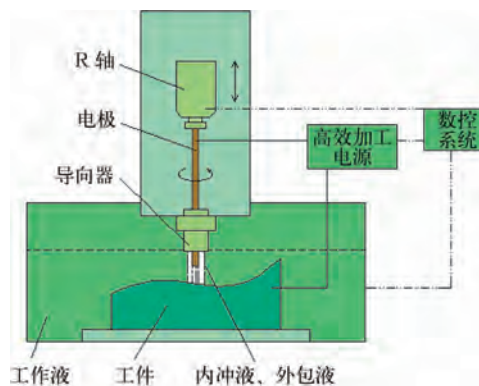


图2.1 数控高效放电铣加工原理图

数控系统控制工件与电极之间相对运动轨迹,在电极与工件之间产生高频脉冲放电,以类似数控铣的方式,实现对零件复杂型面的高效去余量加工。其控制轨迹由CAD/CAM软件生成数控程序,通过数控系统控制进行三轴以上联动三维曲面的高效放电加工。为保证加工精度,数控系统在加工过程中对电极损耗进行在线检测及补偿。

3、技术特点

(1) 采用简单的长圆管电极,电极制造方便,可以有效实现电极损耗补偿。

(2) 电极成本低,每根电极只需几十元人民币,是采用金属切削机床加工所需刀具费用的几十分之一。

(3) 加工效率高,可以达到 $3000\text{mm}^3/\text{min}$ 。

(4) 可以加工复杂的三维型面。

(5) 采用水质工作液,安全、无污染。

(6) 与加工中心比较,设备的成本相对很低。

4、关键技术

4.1 电极损耗在线检测补偿技术

一般的电火花成形加工的电极损耗很小($<1\%$),但高效放电铣技术直面大能量放电加工电极损耗较大的状况,例如对某飞机发动机叶轮叶片的高效放电加工,铣削加工一个槽的电极损耗要达到 60mm 左右,这样大的电极损耗如果不进行实时的在线补偿,对于实际的尺寸加工是没有意义的。项目采用加长的简单管状电极解决电极损耗可以补偿并不需频繁换电极的问题,同时通过在线检测和实时补偿电极损耗,解决了电极损耗怎么补偿的问题,使高效放电铣加工达到一定的精度要求成为可能。

4.2 防烧弧检测控制技术

由于加工处于大电流和高速状态,加工状态的变化很大,不良脉冲对工件的伤害是致命的,不恰当的处理就会造成工件表面损伤,所以加工状态的实时检测很重要。为此,针对放电加工的特点,研制了放电加工状态适时检测技术和控制策略,能有效地检测每个脉冲的状态(空载、放电及短路),供计算机作为对电源参数和轨迹伺服等作自适应控制的依据。自适应控制分为微观控制和宏观控制。微观控制从每个放电脉冲起始状态为依据,决定每个脉冲的能量的大小及脉冲参数的大小,宏观控制则

根据较短时间段内的放电状态的统计结果决策总体的放电脉冲参数及伺服进给的速度。采用适应控制措施后(如减小电流、减小脉宽、增大停歇直至完全切断电流等策略),有效防止了加工中拉弧烧伤工件表面。

4.3 数字化节能高效放电铣脉冲电源

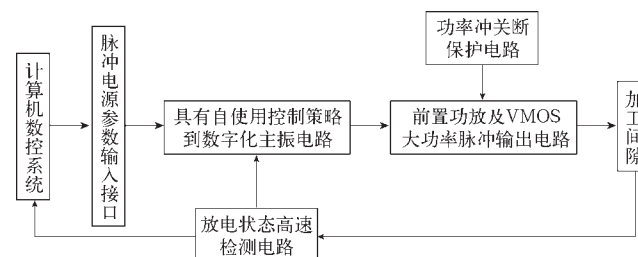


图4.1 数字化节能高效放电铣脉冲电源结构图

高效放电铣脉冲电源除了要求功率大以实现高效加工之外,为了保证高效加工的顺利进行,及被加工零件的表面质量(不烧伤),还必须对加工状况进行快速检测,实施防烧弧自适应控制策略,使加工效率、加工表面质量及电极损耗趋于更合理的协调。

该数字化脉冲电源采用超大规模可编程逻辑芯片作为数字化的脉冲主振级,通过数控系统指令选择电源的电流、脉宽、停歇、电流波形组合等参数,实现根据加工状态的检测和控制策略的要求对数字化脉冲电源的适应控制。

电源的功率输出单元由前置放大电路驱动VMOS场效应高速功率开关管,并通过多管、多模块并联实现大功率输出。采用阻容回路吸收功率管关断过程中的反压,保护功率输出器件。该功率输出单元由高压、低压二部分输出回路组成,可以根据工艺要求实现高低压复合加工。

为了降低加工的能耗,根据高效放电铣的特点,电源主回路的采用 45V 的低压(一般电火花加工电源主回路电压在 80V 以上),主回路变压器的功率减少了一半,能耗降了 60% 。

电源的检测单元采用高速器件检测加工间隙的放电状态,并将放电状态信号及时传送至主振电路和计算机,供主振电路产生正确有序的脉冲级适应控制的脉冲波形,计算机则据此及控制策略控制加工速度以及对主振电路作宏观自适应控制。加工过程中,实时检测每一个放电脉冲的状态,区别分类放电脉冲,空载脉冲和短路脉冲,以此为依据,作出控制决策,分为微观控制和宏观控制。微观控制从每个放电脉冲起始状态为依据,决定每个脉冲的

能量的大小及脉冲参数的大小,宏观控制则根据较短时间段内的放电状态的统计结果决策总体的放电脉冲参数及伺服进给的速度,经上述控制处理后,加工工件表面质量可大大改善,避免表面烧伤的现象发生。

4.4 专用多轴数控系统

由于数控高效放电钎加工过程具有放电过程控制与工具电极轨迹运动的强耦合特性,不能试图通过单独控制某一个因素来实现加工过程稳定进行。从系统的功能角度来看,与典型的切削加工机床的数控系统差异明显,单一工具电极的轨迹运动功能只在整个放电高效钎加工数控系统中占据较小的比重。而系统更多地是通过适时检测放电状态,根据规划的策略适时调节或控制众多的可调参数,包括放电过程和工具相对于工件的运动来获得所希望的加工工艺指标。如高效放电钎加工的电极损耗很大,电极在Z轴方向就不能单纯的沿编程轨迹运动,而是要沿着一个以编程轨迹为基础,有机结合在线电极损耗补偿策略产生新的动态轨迹运动,还需适时检测加工间隙的放电状态,根据放电状态适时控制电极伺服进给速度、适时控制脉冲电源、工作液压力、流量等工艺参数,以满足稳定可靠的加工要求。项目基于高效放电钎加工利用简单圆电极,分层加工原理,研发了不仅满足各轴联动加工要求,而且能根据对加工状态检测和加工工艺要求,对相关各加工轴实施伺服控制、对高效放电电源相关参数,对工作液的流量压力、电极转速实施适应控制,并根据电极损耗补偿策略实施对电极损耗在线补偿,同时数控软件通过间隙状态反馈信号,控制电极沿数控轨迹作自适应伺服运动的多轴数控系统。

4.4.1 数控系统的硬件

以工业控制计算机为平台,研发相应的硬件接口电路,组成数控硬件系统。其结构紧凑,抗干扰能力强,其结构如图:

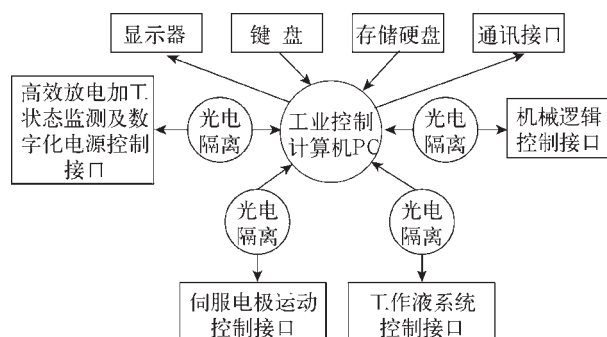


图4.2 数控系统硬件框图

4.4.2 数控系统软件

根据系统整体要求按模块化开发设计,这种模块化结构的软件,条理性强,可方便地进行逐块开发调试,扩展功能方便。

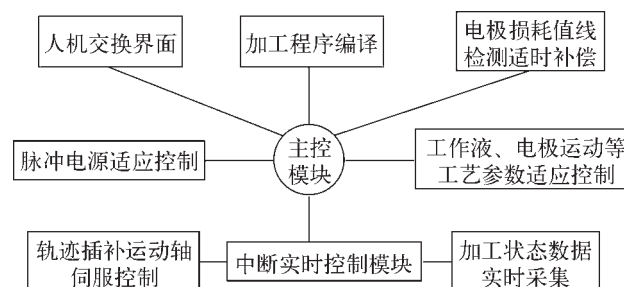


图4.3 数控系统软件结构图

4.5 冲、包、浸相结合的冷却排屑方法

由于放电加工的加工效率高、电流密度大、加工产生的热量很高,电蚀产物很多,如果不采取有效的冲液方法降低加工区的温度,及时冲走电蚀产物,放电加工将不能顺利进行。项目采用对加工区实施“冲、包、浸”组合的高效冷却排屑方式,通过电极管内孔向加工区冲射高压工作液,对加工区实施强有力的冷却排屑;通过包裹在电极外的水柱,冲刷工件已加工的侧壁,避免蚀除物在其上沾附;将工件浸泡在工作液中,一是对工件整体实施冷却,二是防止加工中工作液的飞溅。结合电极的高速旋转消弧,排屑效果显著、加工稳定,很好地满足高效放电钎的工艺要求。

4.6 多轴数控的主机

多轴数控高效放电钎设备是一种全新结构的电加工机床。其主机的整体布局、各部件的结构、工作液系统的设计不仅不同于一般的金属切削机床,与其它的电加工机床也有明显的差异。除了满足电加工机床的基本要求之外,还须满足数控高效放电钎技术的要求。整体布局及结构科学合理,有足够的刚性和精度保持性;数控轴的运动惯量要合理分配和匹配,满足数控伺服加工的要求,很好地设计馈电、工作液供给、密封防护等技术,运行可靠,使用安全;具有很好的人机功能、简捷紧凑均衡有良好的视觉效果。

主机采用牛头式布局,工作台固定,上设置A轴及工作液槽,其它轴设置在后部的牛头结构上,这样主要各轴不用带动质量大的工作液槽、工件、A轴运动,将各轴的运动惯量合理分配,提高主机的数控性能。

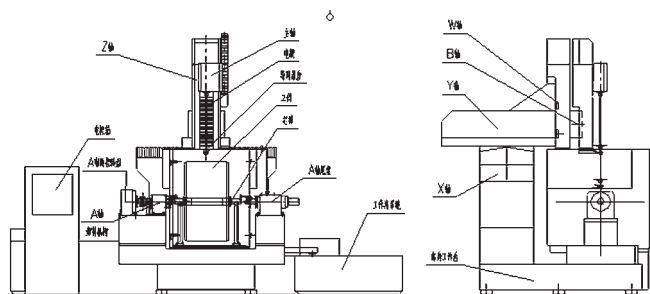


图4.4 六轴数控机床布局



图4.5 为成都航空发动机股份有限公司研制的多轴数控高效放电铣设备

4.7 数控高效放电铣工艺技术

数控高效放电铣技术是我国自主原创的最新的电加工技术，其工艺技术相当复杂，涉及到高效放电脉冲电源参数、工作液各参数、电极损耗在线检测补偿策略、放电状态的控制、加工轨迹及电极进给量的选取、电极材料及结构、工件的材料和加工面形状等等，既与金切机床的数控铣有本质的差别，与其它电加工技术相比又有明显的特殊性。项目结合典型材料复杂型面的加工，进行了大量、细致的试验研究，取得了良好的加工效果。

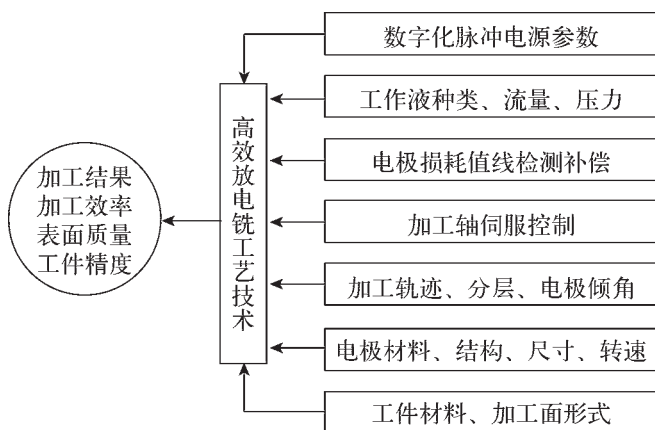


图4.6 高效放电铣工艺技术研究内容

5、应用情况

图5.1为某航空发动机制造企业加工的空间形状复杂的环形工件，整个工件若用数控加工中心加工，需时约50小时，耗费刀具费数万元，采用本技术加工，需时30多小时，耗费电极费用700元。经济效益特别显著。

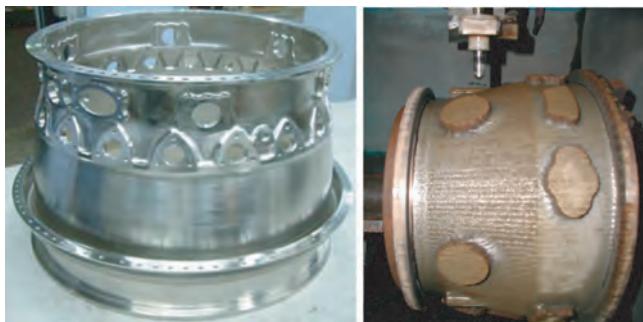


图5.1 空间形状复杂的环形工件加工

图5.2为给某公司试验加工的整体叶轮（局部），叶片为三维空间曲面。原来采用加工中心加工一条槽需要1个多小时，刀具费用一千多元人民币，而现在采用高效放电铣的方法加工时间仅为40分钟左右，电极费用只需二十元人民币。效果是相明显的。



图5.2 整体叶轮（局部）加工

6、结语

本技术针对用户对航空发动机特殊材料的整体叶轮三维空间复杂曲面叶片高效加工的实际要求，在采用简单超长电极进行复杂曲面的高效加工技术方面取得了突破性的进展，取得或已申报了多项国家专利，其中已获得国家发明专利3项。

(1) 采用超长中空圆电极进行高效放电展成加工, 解决了电极可连续补偿的问题。

(2) 以在线检测的电极实际损耗值为依据, 采取一定的策略对电极损耗进行在线补偿。解决了数控高效放电展成加工的电极损耗补偿问题。

(3) 采用电极内冲液、外包液、工件浸液加工以及电极高速旋转相结合的方法, 解决了数控高效放电展成加工的排屑及冷却问题。

(4) 针对放电铣削的特点, 开发了具有较强的自适应控制功能的高效节能脉冲电源, 保证无损伤

的高效放电铣加工顺利进行。

(5) 开发了能够满足高效放电铣加工技术要求的专用数控系统, 除了完成四轴联动自适应轨迹伺服控制外, 还对电源参数、加工过程、检测参数等各种相关条件做出适时优化处理与控制。

(6) 本项目研究成果推广, 不仅可以明显提高我国电加工行业在高效加工方面的技术水平, 促进行业的技术进步, 更重要的是能为我国的航空航天军工生产企业提供先进的加工设备, 解决特种材料工件的高效加工工艺难题。

● 业界动态 ●

济南二机床集团连续七年入选 “中国机械 500 强” 企业

由中国机械工业企业管理协会主办的 2009 年 (第七届) 《中国机械 500 强研究报告》暨《世界机械 500 强》发布会 7 月 30 日在北京人民大会堂隆重举行。济南二机床集团再次入选“中国机械 500 强”, 位列 248 名, 排名较前几届又有提升。济南二机床已连续七年入选“中国机械 500 强”企业。

中国机械 500 强评选发布活动由中国机械工业企业管理协会主办, 按照国际惯例设计的企业竞争力评测模型, 对企业的销售收入、利润总额、资产利润率、增长率等数据进行综合分析, 并结合行业差异、声望指数等因素最终排出名次加以确定的。2003 年起首次发布。通过连续几年的数据积累和比较分析, 充分反映了我国机械行业的最新进展, 客观地描述了当前我国机械工业企业的真实状况, 具有权威性、真实性、科学性、时效性和公正性。2009 年共有来自包括通用设备制造、交通运输设备制造、电气机械及器材制造、专用设备制造、仪器仪表及文化办公用机械制造、金属制品、综合类等在内的七个行业的 500 家企业入选。一汽、上汽、上海电气位居中国机械 500 强前三名。

济南二机床集团有限公司经过几十年的发展, 目前已成为全国 520 家重点企业、全国锻压行业的排头兵、山东省高新技术企业。是全国规模最大、技术水平最高的重型锻压装备制造基地, 也是国内唯一、全球少数几个能提供大型成套自动化冲压装备的厂家, 同时是中国重型数控机床三大产业化基地之一。产品品种和技术水平、产值利税、销售收入等主要指标连年位居全国锻压行业榜首。数控冲压机床和数控金切机床分别获得“中国名牌”称号, 是国内机床行业唯一拥有金属成型、金属切削两块“中国名牌”的企业。重型数控冲压设备和大型数控会切机床国内市场占有率均在 60% 以上, 并远销世界 50 多个国家和地区。被国务院授予“国内重大技术装备领域突出贡献企业”。近年来, 企业以“打造国际一流机床制造企业, 塑造国际知名品牌”为目标, 坚持自主创新发展企业, 取得了很好的经济效益和社会效益, 企业工业总产值年均增长 26.17%, 工业增加值年均增长 14.06%, 销售收入年均增长 22.22%, 实现利润年均增长 52.18%。企业经营规模, 连续实现了从 4 亿到 10 亿元、18 亿元的跨越发展。



适于高速精密机床的测量 和数控系统的最新发展

Development of Measurement and NC System for High Performance Machine Tools

约翰内斯·海德汉博士 (中国) 有限公司 技术总监 张兴全 博士

Dr. JOHANNES HEIDENHAIN (China) Co. Ltd., CTO, Dr. Zhang Xingquan

摘要: 随着数控机床在机床制造领域的普及, 现代机床在加工速度、加工精度和可靠性方面都有了很大的提高。机床用光栅测量元件和数控系统是数控机床的两大核心部件, 清楚地了解他们的发展趋势, 对机床制造商和最终用户都有非常重要的意义。

报告结合海德汉公司的在编码器方面的深入研究, 阐述了现代高精度数控机床用测量系统, 并着重强调了机床的精度以及测量系统的核心技术研发状况和发展方向, 包括: (1) 高效可靠且具有诊断功能的接口技术 EnDat; (2) 分辨率达到皮米级的光栅尺技术; (3) 绝对式玻璃光栅尺技术; (4) 绝对式钢带光栅尺技术; (5) 高精度绝对式角度编码器技术等。

同时, 报告结合海德汉数控系统 iTNC 530, 介绍了适合于高速高精度数控机床的新技术, 并侧重强调如何在保持高速加工情况下实现更好的表面质量和五轴加工技术: 包括 (1) 有效的高速及振荡 (Jerk) 控制功能; (2) 机床动态碰撞监控功能; (3) 五轴机床旋转轴标定和补偿功能; (4) 系统的自适应控制功能; (5) 用户自定义系统界面功能等。

引言

在经济危机席卷全球的形式下, 中国机床制造商面临产品升级, 寻求新发展的时期, 制造出高性能机床是机床制造商共同的目标。实现该目标与很多因素都相关, 本文仅从高性能机床所需的两个关键部件入手, 介绍其最新发展供大家参考。

结合 HEIDENHAIN 公司的在测量技术方面的深入研究, 着重强调了机床精度和测量技术的最新发展, 包括: (1) 单场扫描技术; (2) OPDODUR 相位光栅 (皮米级); (3) 高效可靠且具有诊断功能的接口技术 EnDat22; (4) 绝对式钢带光栅尺技术等。结合 HEIDENHAIN 数控系统, 介绍了适合于高性能数控机床的最新数控技术, 包括 (1) 高速加工; (2) 五轴加工; (3) 智能化; (4) 友好人机界面。

一、机床精度

能否适应快速变化的工作条件是影响机床加工精度的决定性因素。从粗加工到精加工, 机床承受

的机械作用力和热负荷完全不同, 因此造成的精度变化也较大。小批量生产加工中也有类似的负荷变化情况。特别是小批量生产、公差要求严格的订单的盈利能力取决于首件达到的加工精度。

1. 机床的热稳定性

避免因发热造成工件尺寸发生变化是机床行业面对的日益重大课题。主动冷却、采用对称机床结构和温度测量技术已获广泛应用。温度变化的主要原因是滚珠丝杠进给轴造成的。沿滚珠丝杠的温度分布与进给速率高低和运动力大小紧密相关。在没有采用直线光栅尺的机床上, 温度导致的长度变化 (典型值: 20 分钟 100 $\mu\text{m}/\text{m}$) 可造成工件严重缺陷。

2. 进给驱动的位置测量和控制方式

用滚珠丝杠和旋转编码器可以测量 NC 进给轴位置, 也可以用直线光栅尺测量。

如果滑座位置用丝杠螺距和旋转编码器 (图 1) 确定, 那么滚珠丝杠必须承担两项任务: 作为驱动系统, 它必须传递大驱动力, 但作为测量设备, 希望它能提供高精度位置值和体现螺距值。但是, 位置控制环上只有旋转编码器。由于驱动机构的磨损或温度变化不能被补偿, 因此这种结构被称为半闭

环控制。驱动系统存在无法避免的定位误差，并严重影响工件质量。

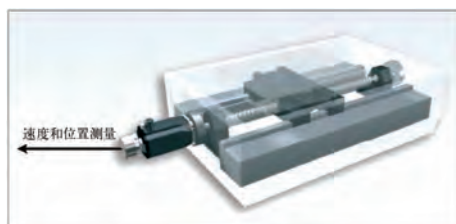


图1 半闭环控制模式下的滚珠丝杠和旋转编码器位置反馈控制

如果用直线光栅尺测量滑座位置（图2），位置控制环就包括全部进给机构，也被称为闭环控制。那么，机床运动传递元件的轴向间隙和误差就不影响位置测量结果。测量精度几乎只取决于直线光栅尺精度和安装位置。

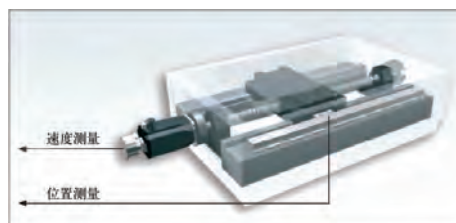


图2 全闭环控制模式下的直线光栅尺位置反馈控制

3. 驱动精度的保证

举例：阵列孔工件

闭环控制或半闭环控制模式的进给轴精度可以用连续加工简单阵列孔工件说明，阵列孔沿长度方向均匀分布。半闭环控制模式加工时，温度导致的误差造成钻孔位置改变，可以明显看出滚珠丝杠的受热影响。半闭环控制模式下的加工误差也可以用同一毛坯被加工为同批次的多个零件方法检查。

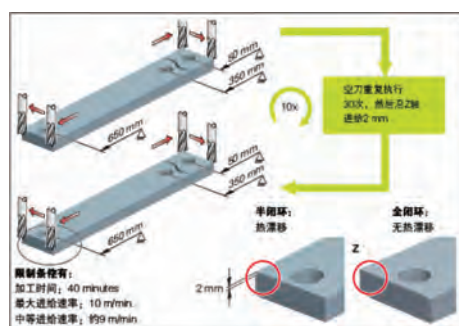


图3 驱动精度对连续生产的影响（表示滚珠丝杠的固定轴承）

图3为同一毛坯被加工为同批次多个工件情况。第一步，加工两个端面和三个孔。然后空刀运动模拟这些加工步骤30次。之后，用2 mm进给对工件进

行铣削加工。70分钟后进行了10道走刀和共270次空刀运动，加工结束。滚珠丝杠产生的大量热量造成正端面和孔内表面（图4）形成台阶状误差。

距离滚珠丝杠固定轴承最远位置处孔偏移距离达213 μm 。按照DIN ISO 230-3标准用VM 182比较仪测量热稳定性造成的位置误差也能得到类似结果：滚珠丝杠螺母距离固定轴承位置越远，位置偏移越大。在闭环控制模式下，高精度直线光栅尺可以补偿温度变化影响。DIN/ISO 230-2测试标准通常用于确定机床验收精度，但它不包括温度影响的精度。

如果加工期间滑座位置仅用丝杠螺距和电机端的旋转编码器确定，20 分钟的定位误差可达100 μm （图5）。这种方法在控制环内无法补偿这些基本驱动误差，被称为半闭环控制，可通过直线光栅尺完全补偿这些误差。用直线光栅尺的进给驱动工作模式为闭环控制，滚珠丝杠的误差在位置测量系统被测量并在定位控制环中被补偿。用角度编码器取代旋转编码器也有类似的优点，原因也是机械传动部件的热膨胀。

提供位置反馈信号的直线光栅尺是机床高精度定位不可或缺的条件。它直接采集进给轴实际位置信息。因此，机械传递元件对位置测量结果没有影响-运动特性误差和温度变化造成的尺寸偏差以及其他作用力影响的位置都被直线光栅尺测量到，并使测量结果体现在位置控制环中。因此，它能消除以下潜在误差源：



图4 连续生产中阵列孔偏差

- 滚珠丝杠温度特性导致的定位误差
- 反向误差
- 机械作用力导致驱动机构变形形成的误差
- 滚珠丝杠螺距误差导致的运动特性误差

因此,直线光栅尺已成为高精度定位和高速加工不可或缺的必备条件。

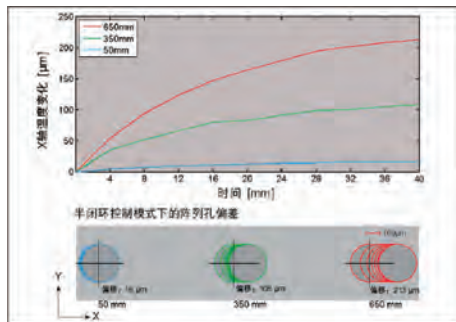


图5 X轴运动范围上不同位置的偏移情况 (ISO 230-3)

二、测量技术的最新发展

单场扫描技术、OPTODUR 相位光栅和绝对式测量技术是当前测量技术的最新发展。

1、单场扫描技术

传统的角度和长度测量设备所采用的四场成像式扫描方法中 (图6), 光栅标尺与带有类似或相同光栅结构的扫描掩膜做相对运动。穿过标尺与掩膜光线的明暗程度按标尺与掩膜相对位置的不同而有规律地变化: 当标尺与掩膜的空隙吻合时, 光线得以穿过; 当栅线与空隙重合时, 没有光线穿过。感光元件将光强的变化转变为电子信号。扫描掩膜上有四个扫描区, 各扫描区光栅间互相错开四分之一栅距。对应于这四个扫描区的感光元件生成相位差为90度的四个正弦信号。这四个扫描信号不以零线为其中线, 所以需要将四个信号两两相减, 以获得两个相位差90度, 中线为零线的输出信号 I_1 和 I_2 。

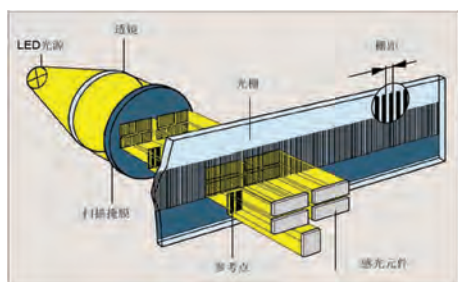


图6 四场成像式光电扫描法原理图

新型的单场扫描技术, 其扫描掩膜带一个大尺寸光栅, 栅距与光栅标尺的栅距略有不同 (图7)。由此在扫描掩膜光栅长度上会产生明暗交替现象: 某些地方栅线与栅线重叠, 光线可以通过; 某些地方栅线与空隙重叠, 光线无法通过。而在这两者之间, 空隙部分被遮挡。这起到了光学过滤的作用,

使得产生均匀的正弦性信号成为可能。特制的栅状感光元件取代了独立感光元件, 生成四个相位差为90度的扫描信号。

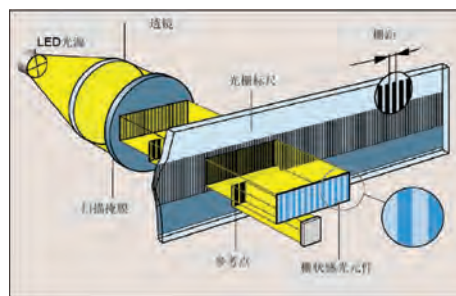


图7 单场成像式光电扫描法原理图

单场扫描光学扫描系统对角度和长度测量设备性能的提高起了决定性作用。它的大面积扫描区和特殊光学过滤可在测量设备全行程上产生稳定质量的扫描信号。而这是下列几点的前提条件:

- 信号周期内位置误差较小
- 高光栅运行速度
- 使用直接驱动时, 控制品质高



图8 四场与单场扫描抗污染能力比较

单场扫描光栅尺的输出信号拥有更好的圆度和更小的信号噪声。而这意味着更高的定位精度和更佳的控制品质。对直线电机而言, 配备了单场扫描光栅尺后, 速度控制可以做的更好, 更为平滑。覆盖光栅标尺全宽的大尺寸扫描面以及交替重复出现的条状扫描区使得采用单场扫描原理的测量设备对污染的干扰特别不敏感。这可通过抗污染试验来证实: 即便在有大面积污染干扰时, 测量设备仍能提供高质量的测量信号 (如图8所示)。位置误差远低于测量设备标定精度等级所对应的误差值。

2、高精度的相位光栅尺LIP281R

过去高精度的相位光栅尺 (LIP 300) 由于刻制工艺限制而存在以下局限性: (1) 最大移动速度30m/min; (2) 最大测量长度300mm; (3) 光栅尺

上没有参考点。海德汉公司最新发明OPTODUR刻制光栅方法,从而使得在相位光栅方面取得了重大突破(LIP 200R-图9),其最大运行速度可达180m/min,其最大测量长度可达3,040mm,而其细分误差可小于1nm,同时还带参考点。其主要的特点如下:

■ OPTODUR 相位光栅, ZERODUR.玻璃陶瓷或玻璃机体, 信号周期0.512 μ m;

■ 精度等级: $\pm 1.0 \mu$ m;

■ 干涉式扫描原理增量式直线光栅尺, 测量步距可达31.75 微米;

■ 测量长度可达3,040mm

■ 接口类型: 1Vpp/TTL/EnDat

■ 最大移动速度: 180m/min

■ 带参考点



图9 LIP 281R 相位光栅尺

3、绝对式测量技术

(1) 双向同步串口技术

绝对式编码器利用自然二进制、循环二进制(格雷码)或PRC码对码盘上的物理刻线进行光电转换,将连接轴的转动角度量转换成相应的电脉冲序列并以数字量输出。它具有体积小、精度高、接口数字化及绝对定位等优点,被广泛应用于雷达、转台、机器人、数控机床和高精度伺服系统等诸多领域。绝对式编码器的数据输出以同步串行输出为主,EnDat接口是海德汉专为编码器设计的数字式、全双工同步串行接口。它不仅能为增量式和绝对式编码器传输位置值,同时也够传输或更新存储在编码器中的信息,或保存新的信息。由于使用了串行传输方式,所以只需四条信号线,在后续电子设备的时钟激励下,数据信息被同步传输。数据类型(位置值、参数、诊断信息等)由后续电子设备发送给编码器的模式指令选择决定。海德汉公司的EnDat双向同步串口有如下特点:

■ 传输位置值与附加信息可同时传输:附加信息的类型可通过存储地址选择码选择。

■ 编码器数据存储区域包括编码器制造商参数、OEM 厂商参数、运行参数、运行状态,便于系统实现参数配置。即电子ID;

■ EnDat2.2 编码器实现了全数字传输,增量信

号的处理在编码器内部完成(内置14Bit 细分),提高了信号传输的质量和可靠性,可实现更高的分辨率;

■ 监控和诊断功能,报警条件包括:光源失效、信号幅值不足、位置计算错误、运行电压太低或太高、电流消耗太大等;当编码器的一些极限值被接近或超过时提供警告信号;

■ 更好的信号质量:编码器内部特别的优化提高了系统精度,传输速率可达16MHz,适用于先进的直接驱动技术发展

■ 更宽的电压范围(3.6~14V)。

(2) 绝对式光栅尺

所谓绝对式测量是相对于增量式测量而言的。增量式测量设备通过对光栅探头扫描过的栅线进行计数来获得相对运动的距离数据。为了获得绝对位置,增量式测量设备在开机后须执行过参考点动作。而绝对式测量设备以不同宽度,不同间距的栅线将绝对位置数据以编码形式直接制作到测量设备中,测量设备开机后立刻可以提供绝对位置信息,无需执行过参考点动作。近几年以来,绝对式光栅因其不可取代的种种优点,得到了越来越广泛的应用:

优点一: 缩减机床非生产时间

机床在使用过程中,经常会因故障或其他原因而被迫关机重新启动。对于仅装备了增量式光栅的机床,开机后必须对每一轴执行通过参考点。与正常开机后通过参考点所不同的是,机床的刀具此时通常还处于加工位置,与工件有直接接触,有时甚至还处于工件的内部(如钻孔,攻螺纹等),为了安全地进行通过参考点,必须首先手动将刀具移出加工位置。这对于带倾斜刀具的多轴机床更为困难,往往要耗费大量的时间和人力。对由多台加工设备构成的自动生产线,在其中一台设备出现故障须重新启动时,可能不得不对生产线内所有设备进行通过参考点,并需对未完全加工的工件进行特殊处理。配备了绝对式光栅的机床或生产线在重新开机后立刻重新获得各轴绝对位置以及刀具的空间指向,因此可以立刻从中断处开始继续原来的加工程序,大大提高了机床的有效加工时间。

优点二: 提高机床可靠性

机床的可靠性直接决定零件生产的效率和经济性。机床每分钟的故障时间对用户而言都意味着成本的增加。因此,机床设计的一个趋势是对重要部件的状态进行实时监控。海德汉的绝对式光栅通过其双向通信EnDat数据接口支持此类实时监控功能。

EnDat 数据接口除了绝对位置值外, 还向数控系统传输光栅的工作状况, 比如: (1) 读数头光源调节余量是否接近极限; (2) 读数头最大允许移动速度是否超标; (3) 工作温度是否超出允许范围。EnDat在上述情况出现时, 可向数控系统发出预警信号。此时, 光栅仍可正常工作, 但用户可依据该预警信号提前实施相应对策, 防止造成更大损失。光栅出现严重故障时, EnDat还会向数控系统发出警报信号。数控系统可依据该信号决定是否中止加工以保护机床和工件。在排除故障时, 维修人员可以按照EnDat提供的信息在最短时间内查找到故障的根源。通过发送预警和警报两个等级的故障信号, 海德汉绝对式光栅可以极大地提高用户维护工作的效率, 减少光栅故障造成停机的概率。机床的可靠性也由此得到提高。

优点三: 提高机床安全性

为了对机床的机械运动部分进行保护, 通常采用行程开关来确保机床各部件的运动不超出允许范围。行程开关长期处在恶劣环境之中(冷却液, 金属屑等), 极易损坏。加上机床正常运行时较少使用到行程开关, 所以无法随时确定其功能是否仍然正常。为了保证工作安全, 用户将不得不定期检查行程开关的状态。采用绝对式光栅的机床可以在任何时间确定机床运动部件所处位置, 通过在数控系统中作相应设置可以省去行程开关。这样节省了机床用户的设备维护时间, 同时也避免了行程开关损坏可能带来的安全问题, 提高了机床使用时的安全性。海德汉公司可以提供全系列绝对式光栅尺(LC)/角度编码器(RCN)。最近海德汉研制的绝对式钢带光栅尺(敞开式光栅尺LIC 4000)已经成功面世, 它具备如下特点:



图10 绝对式钢带光栅尺

- METELLUR 刻线工艺, 钢带尺基体
- 精度等级: $\pm 5.0 \mu\text{m}$;
- 测量步距: 10nm;
- 最大移动速度: 480m/min
- 绝对轨刻线和增量轨刻线

■ 接口类型: EnDat2.2 (纯数字传输)

■ 安装尺寸和增量敞开式光栅尺LIDA485/LIDA487 兼容

三、数控系统的发展

海德汉的数控系统一直由于其友好的人机操作界面、超强的高速、高精、高表面质量和五轴加工控制功能而著称, 在高精密模具加工、航空/航天和船舶行业拥有大量忠实用户。无论是铣、钻、镗和加工中心机床还是车床, 海德汉都为其提供了成熟可靠的数控系统。从数控机床的发展来看, 高速加工、五轴加工、智能化、复合化以及操作简易化为当前的主要特征。这里仅结合海德汉数控系统对以下几个方面进行简介。

1、高速加工

高速加工进给速率大, 进给驱动加速度增加, 必然使机床结构承受更大加速力, 也容易造成机床振动, 恶化表面质量。数控系统必须与机床紧密配合以确保任何加工任务都具有高动态性能。因此, 在具备好、稳定可靠的硬件基础上, 控制系统软件也必须具有好的伺服性能及高速控制能力。除了需要程度段处理速度快(0.5ms)和预读功能强(1024段)外, 以下功能对高速加工非常重要:

(1) 有效监测轮廓公差

复杂曲面的NC程序都是通过CAM系统生成, 它由大量简单线段组成。海德汉数控系统iTNC 530自动平滑处理过渡形状, 同时保持刀具在工件表面连续运动。同时, 最终用户可以通过固定循环CYCLE 32根据需要自定义轮廓偏差。在加工时有过渡点时, iTNC 530的路径控制功能可以平滑处理加加速(Jerk)避免机床严重振动, 并满足要求的轮廓公差。

(2) 往复加工时相邻路径的高重复性

要在高速高精加工时同时保证加工表面质量, 在往复加工时保证相邻路径的重复性很重要。图11为一个局部工件及相应的TCP(刀具中心点)轨迹图

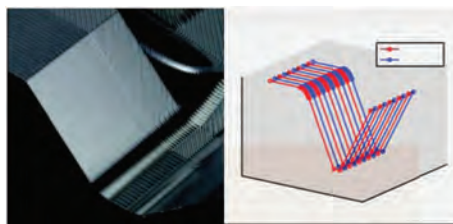


图11 往复加工的高重复性

(往复运动的多道轨迹),各轨迹由长度很短的直线组成(CAM系统设置的弦高为 $3\mu\text{m}$)。在高精密加工时,海德汉iTNC 530系统采用小线段插补,在往复多道铣削运动时可保证高重复性,从而实现高表面加工质量。

(3) 高速运动时有效避免振动

HSC铣削技术要求的进给速率对机床数控系统是巨大挑战。只有达到更高的轮廓加工平均速度才能缩短加工时间。但是如果遇到小半径轨迹,就必须大大降低运动速度,以保证路径偏差在允许的公差内。此外,加速和减速运动还能造成机床结构振动,损害工件表面质量。加加速(Jerk)和加速度的平滑控制是海德汉数控系统的突出特点,它能非常有效地抑制机床振动。根据需要,数控系统还可以自动降低编程进给速率使振动的危险性降到最低。从而有效预防振动使零件程序以更高的运动速度执行。

2、五轴加工

在精密模具,航空/航天及船舶等行业的关键零件加工,五轴机床可以得到非常高的加工效率。实现五轴加工不仅需要数控系统具有强大硬件基础,同时控制软件也需要具备一些五轴机床简易操作和正常运行所必备的功能,比如:(1) 3D刀长/刀径补偿;(2) 倾斜面/圆柱面简易编程;(3) TCPM(刀具中心管理)等。同时由于五轴机床机构复杂,运行速度快,提高机床的精密性和保证安全性对提高整个机床的使用效率非常重要,以下系统的特点得到了越来越多的应用:

(1) 动态碰撞监控功能(DCM)

五轴加工中的复杂运动和高速运动使其轴向运动非常难以预测,因此动态碰撞监控能减轻操作人员的劳动强度,确保机床不发生碰撞。虽然CAD/CAM系统创建的NC程序可以避免刀具与工件的碰撞,但机床加工区域内的机床部件碰撞情况却未被考虑到。

iTNC 530的动态碰撞监控功能能为操作人员提供全面支持,一旦有碰撞危险,数控系统将立即中断加工,因此能提高机床和操作人员的安全性,还能防止机床损坏,避免代价昂贵的停机时间。同时DCM可以在自动模式和手动模式使用。iTNC 530的DCM是通过在数控系统中将机床相应的机构部件进行建模,并将需要监控的模块间建立关系。在机床运行时,数控系统将实时监测所有建立关系的模块间的相互位置关系,一旦有碰撞危险,系统将会发

出报警或急停,从而避免碰撞的发生。最新版本的DCM增加了对夹具的监控并能在“测试运行”模式下进行动态碰撞监控。自海德汉系统推出DCM选项后,超过2500台五轴机床选择了该功能,证明了其有效性。图12为动态碰撞监控示意图。

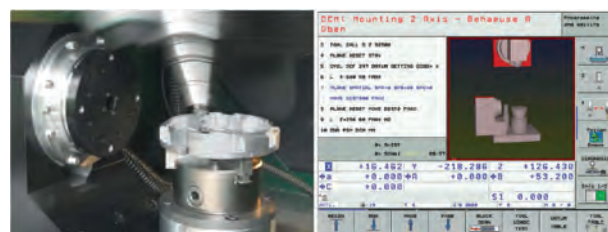


图12 动态碰撞监控示意图

(2) 五轴机床的校验和优化补偿



图13 KinematicOpt功能

如何获取较高的加工精度是永恒的热点话题,特别是5轴加工。复杂工件的加工意味着刀具运动复杂,定位精度要求高。海德汉iTNC 530系统新增的动力学模型优化功能(KinematicsOpt)能够确保精度在长时间内有很好的可重复性,从而保证大批量生产的高质量(图13)。其基本原理:KinematicsOpt是通过测头循环来全自动地测量机床任何类型(旋转工作台或摆头)的旋转轴,测试时刚性检测球固定在工作台的任何位置,操作者可定义测试所检测的轴及测试分辨率等。测试完成后,iTNC 530系统将起转换为机床的空间误差并存储,同时根据该值补偿旋转轴在装配时带来的系统误差,从而提高五轴机床的整体精度和重复性。机床制造商利用该功能可消除机床在装配过程中的系统误差提高整体精度和重复性,而最终用户利用该功能可方便地将运行一段时间的五轴机床恢复至出厂精度从而保证机床精密可靠地运行。

(3) 虚拟轴功能

五轴加工机床在运行过程中,经常会碰到断电或加工中断,如何将刀具简单地从工件中取出而不对零件有任何损伤是经常遇到的问题。海德汉iTNC 530新增的通过“全局程序设置”选项启用“虚拟

轴”功能(图14)可以帮助五轴机床用户轻松地解决此问题。虚拟轴功能是通过iTNC 530系统将任何位置的刀具轴方向定义为虚拟的轴。在任何中断恢复后,可简单地通过电子手轮或机床键盘的一个键,机床就能沿着虚拟轴方向退出而不对零件造成损坏。该功能设置和操作均很简单。



图14 虚拟轴

3、智能化

数控机床的智能化也随着机床精密和复杂化的发展变的越来越重要。欧洲的一些高端机床已经融入了一些智能性的功能,比如Mikron的Smart机床。当然有关智能性可为仁者见仁,智者见智。海德汉iTNC530数控系统为机床制造商提供了实现自适应智能型功能的平台,比如:(1)集成的防碰撞功能-动态碰撞监控;(2)高速情况下抑制振荡功能-加速平滑处理;(3)特殊的监控人机界面;(4)电子ID和机床故障远程诊断等。同时根据市场需要,iTNC 530 最新开发以下两个功能:

(1) 动力学模型补偿(KinematicsComp)

精密复杂机床无论在设计和制造过程中均有误差,包括每轴的各自由度误差和热误差。如何在建立个误差间的相互关系并通过数控系统进行补偿是提高机床精密的重要手段。海德汉iTNC 530新推出的功能动力学模型补偿功能(KinematicsComp)可以大大简化机床制造商简化在系统中的误差建模。

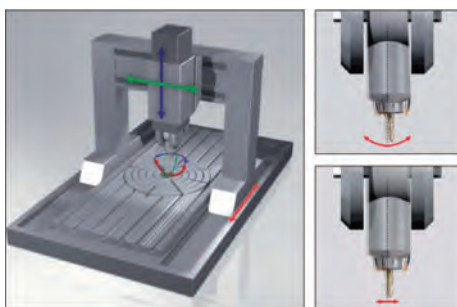


图15 机床某些误差示意图

在KinematicsComp模型中,机床制造商可以定义机床所有轴的自由度和旋转轴的位置(图15)。

同时该模型可以定义与位置相关的温度补偿信

息,温度是通过置于不同位置的温度传感器获取。利用该模型,对精密、大型机床提高制造和轮廓精度非常有益。

(2) 集成的自适应控制

海德汉iTNC 530集成自适应控制功能(AFC),它根据刀具轴性能和其他工艺参数优化进给速率,从而可以达到提高生产效率,避免刀具破损和优化刀具寿命,防止主轴过载等目的。

4、操作简易

将复杂的操作简易化是海德汉数控系统传统和追求的目标。首先,iTNC 530系统的硬件设计考虑人机工程学,方便操作。其次在人机界面方面,一方面不断提升对话式编程的境界,同时又推出SmrT.NC基于窗口式图表结合的编程方法(图16)。另外在系统中集成部分CAD/CAM功能,引入DXF输入,提高手动编程的效率。

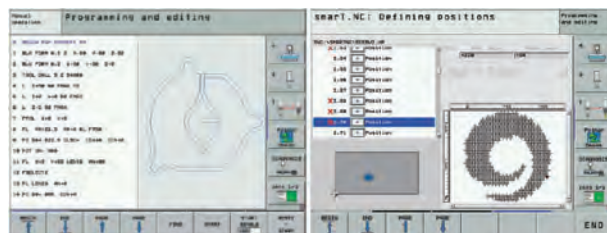


图16 对话式编程和SmrT.NC编程



图17 海德汉全系列产品

另外,海德汉新近推出了基于HSCI总线结构的全新TNC 620数控系统,它一方面保留海德汉iTNC 530的诸多优点,另一方面也实现真正意义上的全数字控制理念。由于时间和篇幅的限制,本文不能更为详细地介绍海德汉测量和控制系统的特征,如果想了解更多的信息,请浏览海德汉网页:

www.heidenhain.com.cn或向海德汉各办事处索取资料,图17为海德汉全系列产品。□



工程陶瓷的高速深切磨削

High speed and deep grinding of engineering ceramics

湖南大学国家高效磨削工程技术研究中心 盛晓敏 教授

摘要: 本文论述工程陶瓷的高速深切磨削机理, 介绍了工程陶瓷的高速深切磨削的工艺, 提出了工程陶瓷的高速深切磨削要解决的关键技术, 展望了工程陶瓷的高速深切磨削的发展前景

关键词: 高效深磨 工程陶瓷 磨削机理 关键技术

1. 前言

随着科学技术, 特别是能源、空间技术的发展, 工程陶瓷以其高强度、低膨胀率、耐磨损及化学稳定性等优越的性能受到广泛关注并被应用于高技术工程领域中。工程陶瓷材料是由粉末状原料制造成型后在高温下烧结而成, 不可避免的毛坯烧结收缩量和特殊形状的要求, 使得工程陶瓷零件需要经过机械加工才能满足尺寸、形状的公差要求和表面粗糙度要求^{错误! 未找到引用源。}。在工程陶瓷的传统磨削加工中仍存在着一系列的难题, 如①由于工程陶瓷材料一般都具有相对较高的硬度, 对陶瓷材料的磨削加工通常必须使用天然或人造的金刚石磨料, 使其加工成本高, 几乎占整个加工成本的90%; ②陶瓷材料本质的力学特性便是其固有的脆性, 使得磨削过程中, 在陶瓷材料表面和亚表面区域内易形成裂纹群, 从而影响了构件的稳定性和使用寿命; ③工程陶瓷的加工性能差, 磨削效率很低, 一般维持在 $10\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ 左右^[1]。这些难题导致传统的磨削难以优质高效地加工陶瓷构件, 特别是精度高、形状复杂的构件, 使得陶瓷材料作为工程结构材料的大规模推广使用, 在很大程度上取决于陶瓷零件加工技术的发展^[3, 4]。

2. 工程陶瓷的高速深切磨削工艺

高速深磨 (High Speed Deep Grinding, 简称为HSDG) 也称为高效深磨 (High Efficiency Deep Grinding简称为HEDG) 是德国居林公司在20世纪80年代初期在高速超高速磨削和深切缓进给磨削基础

上研制开发成功的一项先进制造技术, 近年来得到了迅猛发展。它以大切深 ($0.1\sim 30\text{mm}$), 高砂轮线速度 ($80\sim 200\text{m/s}$), 高工件进给速度 ($0.5\sim 10\text{m/min}$) 为主要工艺特征, 既能实现高的切除率, 又能保证高的加工表面质量^[5-7]。高速深磨可以对硬脆材料实现延性域磨削加工, 对塑性材料实现类似弹性加工, 对难磨材料均具有良好的磨削表现^[8]。该加工工艺产生的技术优势和经济效益受到了极大的关注, 被誉为“现代磨削技术的高峰”。

针对工程陶瓷机械加工过程中遇到的难题, 近几年来, 研究者们将高速深磨技术引入到陶瓷加工工艺中, 进行了系统的实验和理论研究, 充分发挥了高速深磨加工工艺的优越性, 实现了在保证磨削质量的前提下尽可能地提高陶瓷的磨削效率的目的。工艺实验中, 以氧化铝 (Al_2O_3)、氧化钇部分稳定氧化锆 (PSZ) 和氮化硅 (Si_3N_4) 这三种应用广泛, 显微结构和物理性能差异较大的工程陶瓷为研究对象, 使用最高砂轮线速度达 160m/s 、最大磨削深度达 6mm 、从而使最大磨除率达到 $120\text{mm}^3/(\text{mm}\cdot\text{s})$, 工件亚表面残留裂纹的深度不大于 $10\mu\text{m}$, 可在后续的精加工中轻易去除^[9-15]。

3. 工程陶瓷高速深磨磨削机理

高速深磨加工工艺除引起了切屑几何参数的变化外, 还导致了磨削机制的重大变化, 如磨粒与工件的接触变形、摩擦机制和磨削区的传热机制等都发生了很大变化, 与以往的磨削经验和理论有很大的冲突^[6, 8], 传统磨削的理论和经验成果, 不能直接应用于高速深磨。再者, 工程陶瓷材料磨削过程

既不同于金属材料的宏观塑性剪切磨削过程,也不同于高脆性材料那样的裂纹扩展断裂过程,一般都具有脆性断裂和塑性变形两种材料去除机理,它们在磨削过程中的比例与磨削工艺特点、加工参数以及材料本身的微观结构及物理性能有关。为了能够充分理解工程陶瓷高速深磨机制,提高工程陶瓷材料的磨除率,研究者们基于陶瓷材料压痕断裂力学、陶瓷材料延性去除理论和二相流和沸腾传热的相关理论,对工程陶瓷高速深磨材料去除机理、工程陶瓷高速深磨磨削力特征和工程陶瓷高速深磨过程中的传热机制进行了深入的研究,并取得了阶段性的研究成果。

3.1 工程陶瓷高速深磨材料去除机理

陶瓷材料塑性去除时,表面层材料因位错滑移产生塑性流动,在剪切应力的作用下,材料象金属一样形成切屑而被去除。在载荷较小时,塑性流动不会引起裂纹的生成,但如果载荷较大时,由于陶瓷材料对位错滑移的阻碍,大量位错在一点塞积,形成位错塞积群,当应力达到某一极限值时,位错塞积群将诱发裂纹的产生和扩展。因此,磨削加工过程可使加工区材料产生塑性变形,也会使塑性变形在进一步加载过程中发展成为大量的微观裂纹(裂纹大小约等于材料晶粒大小),在加工应力的作用下,少数微观裂纹会继续扩展成为宏观裂纹^[16-18]。在陶瓷磨削过程中所产生的裂纹,主要是在脆性去除时产生的横向裂纹和径向裂纹两个裂纹系统。横向裂纹的扩展主要引起材料的脆性去除,但在横向裂纹扩展过程中,如遇到其它裂纹或遇到大的晶界,则有可能改变扩展方向,向材料内部扩展,深入到亚表面,最终残留于材料之中,形成残留横向裂纹;径向裂纹发生于材料亚表面,且裂纹较长,无论是残留横向裂纹还是径向裂纹都将影响材料的强度,尤其是较长的径向裂纹,对材料的强度有着显著的削弱作用。

现有文献关于陶瓷磨削的研究结果^[19]认为,工程陶瓷材料的去除机理主要受其显微结构、物理特性和磨削参数的影响,如果最大未变形切屑厚度小于产生裂纹的临界切深,则陶瓷材料将实现延性域磨削;BIFANO等^[20]也提出了实现材料延性和脆性去除转变的临界切深,其数学表达式为:

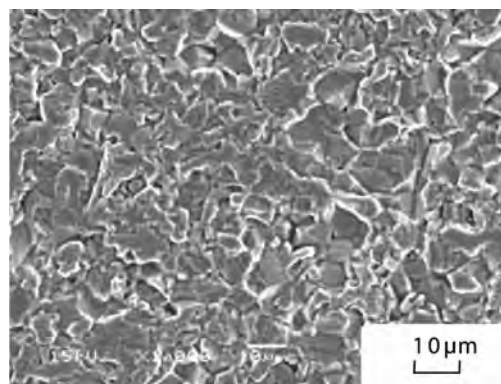
$$h_c = \beta \left(\frac{E}{H} \right) \left(\frac{K_{IC}}{H} \right)^2 \quad (1)$$

式中, h_c 为临界切深, β 为与砂轮有关的常数,为材料弹性模量, H 为材料硬度, K_{IC} 为断裂韧性。从BIFANO的公式可以看出,材料的力学性能,如弹性模量、显微硬度和断裂韧性,都明显地影响临界切深。大的弹性模量、断裂韧性值和小的微观硬度值将增大临界切深,也就是说弹性大、断裂韧性好且硬度低的材料容易实现延性磨削。工程陶瓷试件的结构和性能参数如表1所示,氧化锆的综合延性指标在这三种材料中最好,而氧化铝最差。

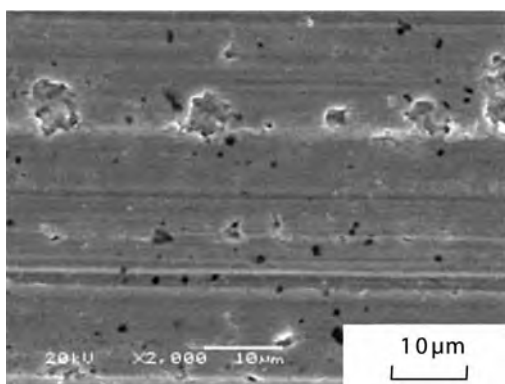
表1 材料的结构和力学性能参数

材料参数	PSZ	Si ₃ N ₄	99.5% Al ₂ O ₃
晶粒尺寸 $d/\mu\text{m}$	≤ 1	1~2	2~10
密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	6	3.3	3.9
微观硬度 H/GPa	11.8	14.7	16.7
断裂韧性 $K_{IC}/\text{Mpa}\cdot\text{m}^{1/2}$	8.1	5.5	4.99
弹性模量 E/GPa	205	300	320

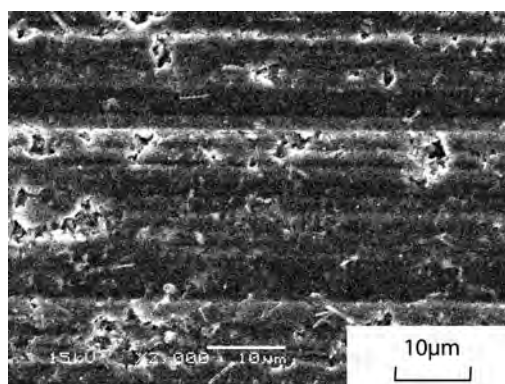
由图1和2~4可知,晶粒尺寸大、硬度大且韧性低的特点使氧化铝的延/脆性临界切深小,易发生脆性断裂去除,它的磨削表面以脆性断裂痕迹为主要特征,亚表面频繁出现沿着晶粒边界的裂纹。部分稳定氧化锆的晶粒细密、韧性最好、硬度最低,延/脆性临界切深也最高,磨削表面以显微塑性变形为主要特征,只是部分区域出现了脆性剥落坑,与之相吻合的是在它的亚表面也偶尔可观察到尺寸较大的横向裂纹。氮化硅晶粒细密,具有较高的韧性和较低的硬度,综合的延性指标较好,磨削表面和氧化锆的类似,也以显微塑性变形为主要特征,在它的亚表面未能观察到宏观裂纹。



(a) 氧化铝



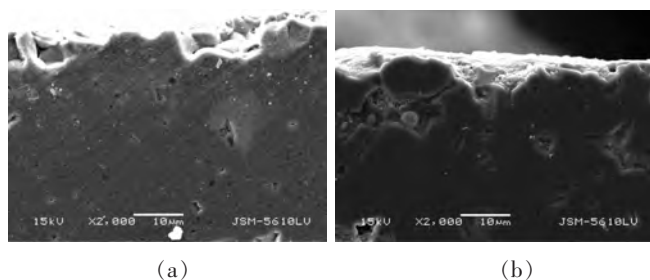
(b) 氧化锆



(c) 氮化硅

图1 陶瓷磨削表面形貌

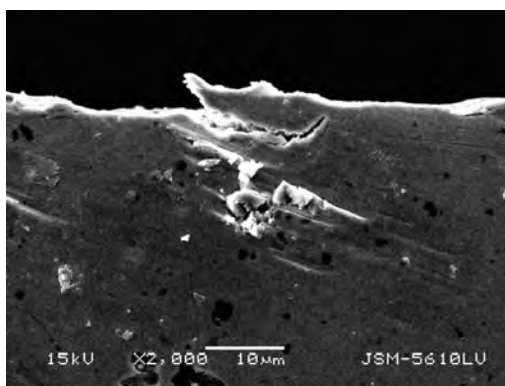
$v_s=120\text{m/s}$, $v_w=1200\text{mm/min}$, $a_e=6\text{mm}$



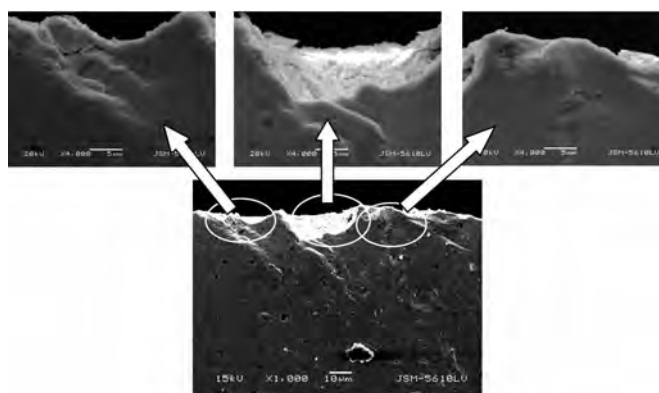
(a)

(b)

图2 氧化铝亚表面形貌

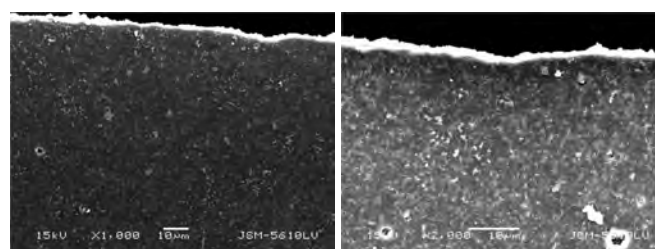


(a)



(b)

图3 氧化锆亚表面形貌



(a)

(b)

图4 氮化硅亚表面形貌

3.2 工程陶瓷高速深磨磨削力特征

为了更进一步地了解工程陶瓷在高速深磨中的材料去除机理,分析得出了塑性和脆性断裂去除材料时单位宽度砂轮的切削变形力和材料的力学性能以及磨削参数的关系为:

$$\begin{cases} F'_c \propto H \cdot \frac{v_w}{v_s} a_e & (h_{\max} \leq h_c) \\ F'_c \propto K_{IC}^4 \cdot H^{-3} \cdot \left(\frac{v_w}{v_s} \right)^{\frac{1}{3}} a_e^{\frac{2}{3}} d_s^{\frac{1}{3}} & (h_{\max} \gg h_c) \end{cases} \quad (2)$$

式中, a_e 为磨削深度, d_s 为砂轮直径, v_w 为工作台速度, v_s 为砂轮线速度, $h_{\max}$ 为最大未变形切削厚度, h_c 为陶瓷材料脆性/延性加工的临界切深。由式2可知,陶瓷材料的切削变形力与该材料的去除方式、力学性质及磨削参数有关。在塑性变形的磨削过程中,显微硬度越高材料的切削变形力越大;脆性断裂行时,断裂韧性越高、显微硬度越低材料的切削变形力越大,也就是塑性越好的陶瓷发生脆性断裂需要的力越大。砂轮线速度升高、工件进给速度或磨削深度降低,切削变形力降低;材料去除方式不同对应的磨削参数的指数不同,表明在塑性和脆性断裂去除材料时磨削参数对切削变形力的影响不同,且磨削参数对

塑性切削变形力的影响要大于其对脆性断裂切削变形力的影响。

如图5所示,实验结果也表明:以塑性变形去除为主的磨削过程中,硬度较高的氮化硅陶瓷的磨削力大于氧化铝的磨削力;在以脆性断裂行为为主的磨削过程中,氧化铝陶瓷的断裂韧性低、显微硬度高,它的磨削力也低;由于砂轮线速度升高、工件进给速度或磨削深度降低,导致最大未变形切屑厚度降低,磨削力随之降低;氧化铝和氮化硅的磨削力随磨削参数的变化要比氧化铝的磨削力随磨削参数的变化更明显。

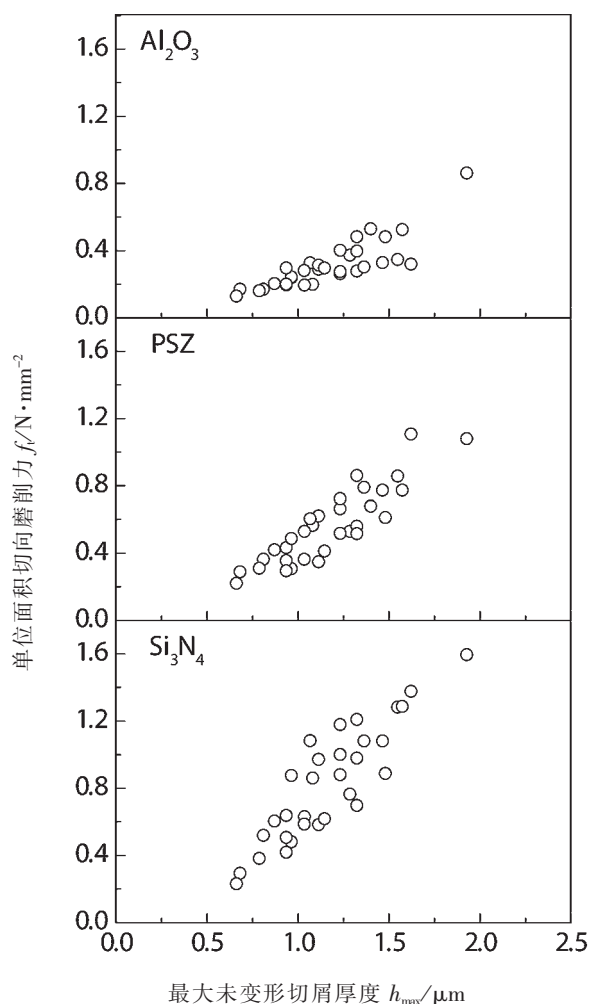


图5 切向力随最大未变形切屑厚度的变化情况

3.3 工程陶瓷高速深磨过程中的传热机制

可磨K型热电偶测得的工程陶瓷高速深磨典型温度信号如图4所示。图6(a)是多数磨削工况下的典型湿磨温度信号,图6(b)是采用低通滤波滤除了图6(a)中高频信号后的温度信号图,图6(c)是在一些高速或大切深磨削工况下采集得到的特殊湿磨

温度信号,在磨削区起始阶段磨削温度变化不大,几乎稳定在200℃左右(从点A到点C),越过C点后磨削温度急剧地升高至约800℃。

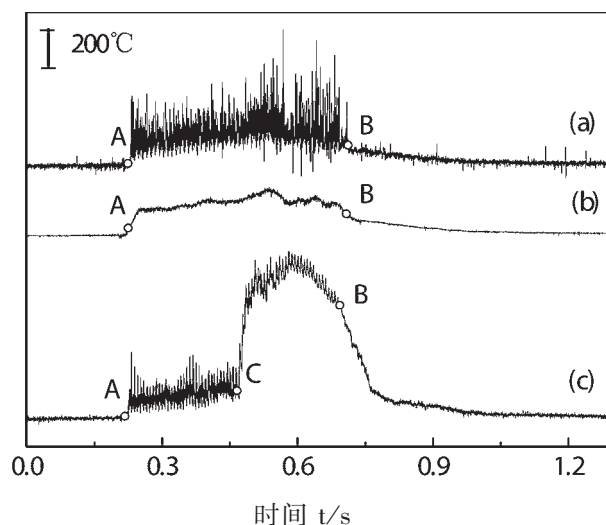


图6 典型温度信号

3.3.1 工程陶瓷高速深磨能量和温度的关系

由于磨削过程中消耗的能量几乎全部转化为热能,且其中一部分热能集中在磨削区的表层,这就导致了磨削区的高温。因此,磨削区域的热通量和磨削温度之间必然存在着某种联系。由于磨削过程中的能量几乎全部转化为热能,磨削区的热通量 q 可通过下式计算得出:

$$q = f_t \cdot v_s \quad (3)$$

式中, f_t 为单位面积切向磨削力。将在除发生磨削温度骤升情况(如图6(c))外的加工条件下测得的温度数据和该工况的热通量示于图5中。如图7所示,磨削区的温度与热通量有着较好的线性关系,也就是说热通量越高对应的磨削区温度越高。工程陶瓷高速深磨的研究中,除发生温度骤升的工况外,绝大部分的热量被冷却液、磨屑和砂轮带走。所以,如图7所示,虽然磨削参数都很高,磨削区的温度仍通常保持在100~300℃这一对工件和砂轮均不会产生热损伤的范围内。

3.3.2 工程陶瓷高速深磨冷却液沸腾机理

研究发现,砂轮高速旋转时在砂轮周围形成一层阻碍冷却液进入磨削区的气流,冷却液从喷嘴喷出后会在磨削区前与砂轮周围的气流发生相互作用,导致进入磨削区的是空气和冷却液形成的紊乱二相混合物。该二相混合物挤入磨削接触区后,将形成

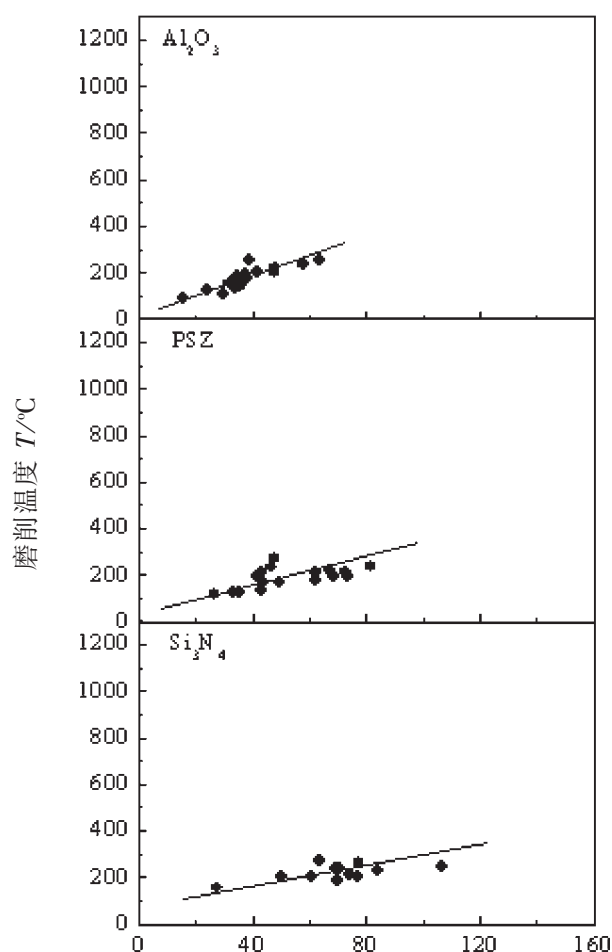
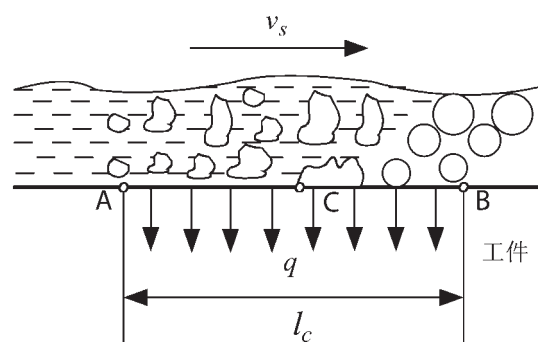


图7 磨削温度与热通量的关系

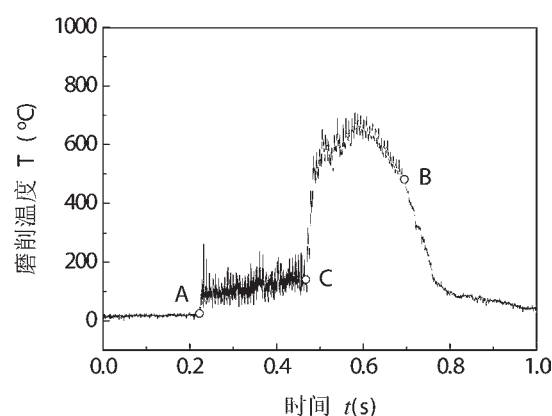
液体动压力并穿过磨削区。通常，冷却液的供液速度越高，砂轮线速度越高，砂轮的气孔率越低，磨粒越细，磨削区的液体动压力越高，工件进给速度和磨削深度对它影响不大。砂轮线速度越高，砂轮周围气流的速度越高，气障越强；只有当冷却液的供液速度大于砂轮周围气流的速度时，冷却液才会穿透砂轮周围的气障附着在砂轮外围^[21]。

为便于分析磨削区域的温度升高和冷却液的冷却作用的机理，将砂轮当作表面附着薄薄一层形状不规则磨料的固体圆盘，砂轮高速旋转并和缓慢移动的工件表面接触。进入磨削区的有效冷却液和气流以砂轮线速度运动，磨削区的冷却液都随着砂轮运动而不会发生侧溢。在磨削区对流换热是主要的换热方式，并可看作是强迫对流换热。综上所述，可将磨削区冷却液的传热作用简化为如图8(a)所示的强迫对流模型。由图可知冷却液由A点进入磨削区至C点之前在磨削热的作用下发生了成核沸腾，冷却液和工件表面还是直接接触的，这时冷却液的对流换热作用明显。从图8(b)看出此时磨削区的温度

还不到200℃。随着冷却液在磨削区继续向前流动，冷却液持续地被加热，冷却液中的汽泡不断地增多且相互结合，最终形成形状不规则体积较大的水蒸汽泡，导致冷却液与工件表面脱离形成薄膜沸腾（C点）。由于水蒸汽的热传导系数较液态水的传导系数低得多，所以冷却液一旦发生薄膜沸腾，磨削区冷却液的传热性降低，冷却效果受到极大的影响，磨削区温度骤升。如果发生薄膜沸腾的冷却液继续被加热，甚至会发生冷却液全部被蒸发烧干的现象，此时实际上已经是干磨加工了。



(a) 冷却液换热及汽化示意图



(b) 磨削区发生温度骤升时的典型温度曲线

图8 磨削区冷却液作用原理示意图

由沸腾传热理论可知，在强迫对流的管道中液体的进口冷却度、质量速度和管子内径越高越不容易发生液体沸腾和烧干现象，管子越长越容易发生烧干现象。所以，在工程陶瓷高速深磨加工中，当砂轮线速度高于某临界值使进入磨削区的有效冷却液的量减少，或者磨削深度过高使磨削区的热同量过高，均会导致磨削区的冷却液沸腾温度骤升。由此可知，冷却液温度越低，磨削区有效冷却液的量与其运动速度的乘积越大，磨削区的接触弧长越短且磨削区的热通量越低，越不容易发生冷却液沸腾

温度骤升的现象。

4. 工程陶瓷高速深切磨削的关键技术

由于高速深磨砂轮转速高、磨削参数大，对机床功率及性能、砂轮强度、振动、平衡、气流扰动、安全防护和冷却液注入等工艺措施提出了特殊要求，与其相关的关键技术有^[22-24]：

4.1 砂轮技术

高速深磨砂轮应能承受超高速磨削高速回转产生的巨大离心，因此必须采用基体本身的机械强度以及基体-磨粒之间的结合强度均极高的砂轮。同时，还要求高速深磨砂轮的磨粒具有好的耐磨性、砂轮本身的动平衡精度很高且在高速回转时产生的强气流扰动下不发生振动。此外，还要充分考虑砂轮与工件主轴连接的可靠性，否则，极有可能出现主轴高速旋转时因夹紧力不足而导致在启动过程中产生振动。高速深磨砂轮结构通常是中间是一个高强度材料的基体圆盘，在基体周围仅仅粘覆一薄层磨料。粘覆磨料使用的结合剂一般有树脂、金属和电镀三种。在工程陶瓷的磨削加工中，由于工程陶瓷的硬度接近甚至高于普通磨料的硬度，因此磨削工程陶瓷大都采用超硬磨料砂轮。在高速深磨中由于磨削深度和工件进给速度都很高，超硬磨料砂轮的容屑空间又较低，且高速深磨一般用作粗加工和半精加工中，因此砂轮磨料的粒度的选择一般较粗。

4.2 主轴及其轴承技术

超高速磨削用主轴单元的性能在很大程度上决定了超高速磨床所能达到的最高磨削速度极限，因而，为实现高速超高速磨削，砂轮驱动和轴承转速往往要求很高。主轴的高速化要求足够的刚度，回转精度高，热稳定性好，可靠，功耗低，寿命长等。要满足这些要求，主轴的制造及动平衡，主轴的支撑（轴承），主轴系统的润滑和冷却，系统的刚性等是很重要的。为减少由于磨削速度的提高而增加的动态力，要求砂轮主轴及主轴电机系统运行极其精确，且振动极小。

主轴轴承可采用陶瓷滚动轴承、磁浮轴承、空气静压轴承或液体动静压轴承等。陶瓷球轴承具有重量轻、热膨胀系数小、硬度高、耐高温、高温时尺寸稳定、耐腐蚀、寿命高、弹性模量高等优点。其缺点是制造难度大，成本高，对拉伸应力和缺口应力较敏感。磁浮轴承的最高表面速度

可达200m/s，可能成为未来超高速主轴轴承的一种选择。目前磁浮轴承存在的主要问题是刚度与负荷容量低，所用磁铁与回转体的尺寸相比过大，价格昂贵。空气静压轴承具有回转精度高，没有振动，摩擦阻力小，经久耐用，可以高速回转等特点。用于高速、轻载和超精密的场合。液体动静压轴承，无负载时动力损失太大，主要用于低速重载主轴。

4.3 冷却液注入系统

高速深磨时，在高速旋转砂轮周围形成的气流屏障阻碍了磨削液有效地进入磨削区，且高速深磨加工中还可能存在冷却液薄膜沸腾的影响。因此，采用恰当的注入方法，增加进入磨削区的有效磨削液，提高冷却润滑效果，对于改善工件质量，减少砂轮磨损，极其重要。常用的磨削液注入方法有：高压喷射法和空气挡板辅助截断气流法等。高压喷射法就是冷却液的喷注必须有足够大的动量，以冲破砂轮周围的高速气流，使冷却液进入磨削区。空气挡板辅助截断气流法是在砂轮外周面及侧面设置可调节的空气挡板，阻碍空气向弧区快速流动。挡板与砂轮表面间隙应尽量小，随砂轮直径的减小能连续地调整。采用空气挡板，砂轮表面可以更好的被润湿，还可防止磨削液向两旁飞溅，在高速深磨条件下，为实现对磨削区有效的冷却和清洗。

4.4 进给系统

高速深磨时，不但要求机床有很高的主轴转速和功率，而且同时要求机床工作台有很高的进给速度和运动加速度。直线电机取消了中间传动环节，实现了所谓的“零传动”。进给速度可达60~200m/min以上，加速度可达10~100 m/s²以上。定位精度高达0.5~0.05μm，甚至更高。且推力大，刚度，动态响应快，行程长度不受限制。主要问题是发热较严重，对其磁场周围的灰尘和切屑有吸附作用。

4.5 数字化设计制造

相对于普通机床，高速深磨和超高速加工的精度更高，磨削机理更为复杂。为了满足高速加工的工艺要求，首先对机床设计提出了非常高的要求：高速和超高速机床必须具备足够高的主轴转速、超高动力学性能、高刚度和吸振性能、以及温控和恒温环境。仅凭以经验为主的设计手段很难满足上述设计要求。通常设计出的机床“傻大笨粗”，床身和

主轴的刚性和抗振性能达不到要求,造成加工表面波纹,光洁度低,表面质量差。

建立我国自己的CAE分析平台是当务之急。针对高速和超高速机床设计与制造的技术研究与开发的重要特征,在机床结构优化、机床动态性能优化、机床热变形特性分析与优化、机床各部件的接触传动分析、机床振动与噪声分析、机床多体柔性动力学分析、机床零部件物理特性参数反求技术、机床运动仿真和优化设计技术等领域,研发具有原创性、实用性的达到国际先进水平的自主知识产权的机床CAE分析软件平台。机床厂商有了这个平台,就能够最大限度地缩短开发周期,高质量、快速地设计出安全、环保和节能的新产品。

5. 结束语

将高速深切磨削技术应用于硬脆材料的加工是一种切实可行的加工方法,能极大地提高材料的加工效率,降低加工成本,并能得到较好的表面质量。

参 考 文 献

- [1] 金志浩,高积强,乔冠军.工程陶瓷材料.西安:西安交通大学出版社,2000,1-227
- [2] 于怡青,徐西鹏,沈剑云等.陶瓷磨削机理及磨削加工技术研究进展.湖南大学学报,1999,26 (2): 48-56
- [3] I. Inasaki. High efficiency grinding of advanced ceramics. Annals of CIRP. 1986, 35 (1): 211-214
- [4] L.C. Zhang, T. Suto, H. Noguchi, et al. A study of creep-feed grinding of metallic and ceramic materials. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 48 (1-4): 267-274
- [5] 赵恒华,冯宝富,高贯斌等.超高速磨削技术在机械制造领域中的应用.东北大学学报,2003,24 (6): 564-568
- [6] 李伯明,赵波.现代磨削技术.北京:机械工业出版社,2003,44-69
- [7] 苏彰道.新的磨削技术--高效深磨.现代机械.1997, (3): 15-20
- [8] T. Tawakoli. High Efficiency Deep Grinding: Technology, Process Planning, and Economic Application. London: Mechanical Engineering Publications Limited, 1993, 21-72
- [9] H. Huang, L. Yin, L. Zhou. High speed grinding of silicon nitride with resin bond diamond wheels. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 141 (1): 329-336
- [10] H. Huang, L. Yin. Grinding characteristics of engineering ceramics in high speed regime. International Journal of Abrasive Technology, 2007, 1 (1): 78-93
- [11] G.Z. Xie, H. Huang. An experimental investigation of temperature in high speed deep grinding of partially stabilized zirconia. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2008, 48 (14): 1562-1568
- [12] 谢桂芝,黄红武,黄含等.工程陶瓷材料高速深磨的试验研究.机械工程学报,2007,43 (01): 176-184
- [13] 谢桂芝,黄含,徐西鹏等.氮化硅陶瓷高效深磨温度的研究.机械工程学报,2009,45 (03):
- [14] 谢桂芝,黄含,盛晓敏等.工程陶瓷高效深磨磨削力和损伤的研究.湖大学学报,2008,35 (05): 26-30
- [15] 易了,黄红武,谢桂芝等.部分稳定氧化锆PSZ高效深磨磨削力试验研究.精密制造与自动化,2006,165 (1): 23-26
- [16] B. Zhang, H. Tokura, M. Yoshikawa. Study on surface cracking of alumina scratched by single-point diamonds. Journal of Materials Science, 1988, 23 (9): 3214-3224
- [17] B. Zhang, T. D. Mowes. Subsurface evaluation of ground ceramics. Annals of the CIRP. 1995, 44 (1): 263-266
- [18] K. Minowa, K. Sumina. Stress-induced amorphization of silicon crystal by mechanical scratching. Physical Review Letters. 1992, 69 (2): 320-322
- [19] S. Malkin, T. W. Hwang. Grinding mechanisms for ceramics. Annals of CIRP, 1996, 45 (2): 569-580
- [20] T.G. Bifano, T. Dow, R.O. Scattergood. Ductile-regime: a new technology for machining brittle material. Trans. ASME J. Eng. Ind. 1991, 113 (5): 184-189.
- [21] F. Klocke, A. Baus. Coolant induced forces in CBN high speed grinding with shoe nozzles. Annals of CIRP, 2000, 49 (1), 241-244
- [22] 李长河,修世超,蔡光起等.高速超高速磨削技术发展及关键技术.精密制造与自动化,2006,160 (4): 16-21
- [23] 赵恒华,冯宝富,高贯斌等.超高速磨削技术在机械制造领域中的应用.东北大学学报,2003,24 (6): 564-568
- [24] 陆名彰,熊万里,黄红武等.超高速磨削技术的发展及其主要相关技术.湖南大学学报,2002,29 (5): 45-49
- [25] 冯宝富,蔡光起,邱长伍.超高速磨削技术的发展及关键技术.机械工程师.2002.1

中国机床工业六十年发展中的主要经验教训

北京机床研究所 陈循介

中国的机床工业，从1949年新中国成立后逐步发展起来，迄今整整六十年。实事求是、一分为二，总的来说：“发展很快，虚功不小；成绩很大，问题不少”。当今，世界机床工业竞争异常激烈，是一条无形战线。在世界金融危机之中，有挑战、也有机遇。它是一国工业化国民经济发展之基础，其重要性、战略性，关系到国家富强命运。决非一时一事，而是直至长期永远。前事不忘、后事之师。如何科学地认真总结过去之经验教训，继往开来、科学发展，至为重要！

一、两大阶段、两种政策、两样成效

机床本身有其特点与客观发展规律。属于现代复杂生产工具，各工业发展生产、必不可缺。又属应用技术，其加工工艺、设计、制造、使用，既有基础理论（刚度、热变形、振动、精度等），又有应用技术（布局、传动、控制等）。是人类科技知识与生产实际经验相互结合的结晶。人类发展生产三大要素（人、工具、资源），人创造工具、合理利用资源、人是根本。

回顾中国机床工业六十年的发展道路，曲折波动。可明显地分成两大阶段，一为建国起30年第一阶段（1949~1979年）；二为改革开放30年第二阶段（1980~2009年）。思想不同、阶段不同。经济基础、科技水平，决定人的思想意识，而思想意识，又反过来影响经济基础、科技水平。

在第一阶段，新中国初建，百废待兴。人才缺乏、科技落后。在政治、经济上，外受封锁、内部闭塞，各方面条件很差。但此时政府领导，头脑清醒、谦虚谨慎。在当时苏联政府帮助与大批苏联专家指导下，用苏联图纸逐步生产一些手动普通机床，供应生产急需。从建立强大机床工业全局考虑，陆续发展了十八个罗汉厂，成为机床、工具生产骨干，起中坚作用。又逐步成立了七个综合机床研究所、37个各类机床的专业研究所，引导有关企业发展先

进技术、先进机床。时间虽短，由于工作扎实，在正确科技知识指导下进行，在1950~1957年短短八年中，为中国整个机床工业的布局、生产、管理，打下了良好的初步基础，是前30年、以至整个60年中的最佳黄金时期。

特别是，开国初期，领导远见卓识，深知科技人才的重要性、关键性、致命性，派大批技术、管理人员，包括技术人员与工人，到苏联学习，学成回国后，在各种工作岗位上成为骨干。他们为新中国的机床工业发展，作出了重大贡献。

其后1958~1960年，出现三年大跃进，加上1966~1976年十年文革动乱，思想混乱。盲目性、表面性、浮夸性成风，管理紊乱、生产失序，在违反客观发展规律中波浪起伏。虚功不小、损失严重。

在第二阶段，吸取了过去三年大跃进、十年文革之惨痛教训，采取改革开放国策，逐步走上科学地生产机床、发展机床工业的道路。过去由于微电子、计算机技术落后、基础薄弱，机、电、液、气各种元件技术不过关，数控机床的开发，在1958~1979年21年间，全国一哄而上、又一哄而下，三起三落。因工作不可靠，无法用于生产。直至1980年改革开放，先后引进日、德、美数控系统，并相继引进了各类数控机床、加工中心（MC），进行合作生产。边仿、边学、边造、边用，由于逐步掌握了数控机床的一些技术、特点与发展规律，发展比较迅速。在2006年后，政府领导又提出加强自主创新，不断开发新品种。中国的数控机床30年中在技术上、产量上发展很快。在各业用户中都有使用，并陆续进行出口。由于政局稳定、经济发展、市场需求旺盛，在2001~2008年8年间，金属切削机床产量从19.2万台增至61.7万台，增加3.2倍；数控机床从1.7万台增至12.2万台，增加6.9倍；加工中心产量，从447台增至8000余台，增加18倍。成绩很大。在世界四大国际机床展览会上，亦有展出。特别是在CIMT展（中国国际机床展）上，新品种琳琅满目。

从上可见：两大阶段、两种政策、两样成效。

二、前 30 年发展中的主要经验、教训

1. 主要经验

(1) 尊重科技客观发展规律、重视专家人才、建立基础

在建国初期，中央领导虚心学习苏联先进经验，思想上尊重科技客观发展规律，处处重视专家、人才，设法建立基础；高度重视机床工业的重要性、战略性地位，远见卓识，目光远大。在人力、物力、财力上，大力投入。在战略上藐视、在战术上重视。在苏联专家指导、帮助下，在全国建立 156 项重大工程，项项成功，没有返工。为中国宇航、汽车、机床工业未来发展进行布局，奠定了发展基础。在机床工业中逐步建立的十八罗汉厂、七个综合机床研究所，在很长时间内起到了强大的骨干和技术核心作用。特别是研究所，在发展国家所需关键技术、机床品种、以及后来的“高精度机床战役”、“二汽设备战役”之中，冲锋陷阵，起到了“参谋、攻坚、组织、服务”四大作用。对中国机床工业的技术发展，功劳卓著。

(2) 重视科研工作、全国性机床科研专业成套、比较深入系统、能掌握技术关键

“科研”是科技发展必需之“手段”，是理论与实践结合的“武器”。没有“科研”，不可能有“创新”。在建国后不久，即能根据机床技术客观发展规律，逐步汇集各种人才、添置各种专业先进试验设备仪器，建成 7 个综合机床研究所、37 个专业研究所，掌握有关技术关键，确实明智和不易。如北京机床研究所，有精密机床、高效自动化机床、电加工机床、基础理论、加工工艺，铸造材料、标准、情报等研究室，有较成套的人才和试验设备、进行深入系统试验，与全国有关机床企业、用户合作，组织起来，攻克不少技术关键。例如：现今北京机床研究所先进的超精密机床技术，就是建立在以往坚实的技术基础与科研工作之上的。

(3) 结合国民经济发展急需，成立专项、组织技术攻关，充分发挥个体、集体智慧作用

突出的重大经验，是“高精度机床战役”（1960~1965 年），“二汽设备战役”（1966~1972 年）。1960 年国防尖端、精密机械工业急需 13 种高精度机床（坐标镗床、坐标磨床、齿轮磨床等）。外

受封锁，国内技术落后，无法生产。中央高度重视，组成六人领导小组，一机部、二局具体组织，分工定点。提出着重抓好 7 点：①战略上藐视、战术上重视；②掌握关键零部件成套工艺；③优先发展基型、进而发展变型；④生产厂有坚强技术领导班子，层层把关，⑤解决配套技术，包括母机、母仪等；⑥重视设计力量培养，设计出世界一流产品；⑦切实解决好重大配套件，如轴承、电机、光学制品等。由于领导坚强、规划周密，措施得力，到 1965 年，发展了高精度机床 7 大类 24 个品种、年产能力 500 台，供应国家急需。技术上接近世界先进水平，成绩巨大。日本当时杂志上称赞上海机床厂的高精度磨床水平先进。这一战役，对提高整个机床工业的技术、精度、水平，起到了重大促进作用。“二汽战役”是在文革时期为备战、发展汽车工业而组织，对高效自动化机床、自动线进行攻关。学习 308 自动线建线经验，由机床厂、用户、科研单位、学校组成“联合工作组”，紧密合作、加强试验、攻克技术关键。用 4 年左右时间，为二汽建厂提供了 46 种 7664 台高效自动化机床、组合机床自动线 35 条、回转体零件加工自动线 6 条，使二汽设备品种的自给率达 95%。

以上两大战役，是在长期积蓄起来的人才、科研工作、技术基础上进行的，成绩很大。但由于在文革中进行，二汽设备的质量，存在较多问题，是一大教训。

2. 主要教训

(1) 严重忽视质量、盲目追求数量、浪费严重

1958 年三年大跃进，各地竞相发展机床，忽视质量、盲目追求数量。1958 年的机床产量，是 1957 年的两倍。1960 年为 1957 年的 5 倍。粗制滥造形成风气。1966~1976 年十年文革，情况更为严重、时间延续更长。文革中生产的 164 万台机床，大部分不能使用。1976 年抽查，机床合格率仅 60%。

严重教训，至今记忆犹新，造成了机床拥有量落后，危害国家正常发展。

(2) 重生产、轻科研；重主机、轻配件；重基型、轻变型

由于对机床特点、客观发展规律认识不清，在第一阶段，整个机床工业普遍的存在着重生产、轻科研；重主机、轻配件；重基型、轻变型的错误思想。造成对科研工作忽冷忽热，不深入、不系统。市场需要多时，忙于抓生产、忽视了科研工作。不

少产品，由于缺乏认真细致的科研工作，关键技术不过关，可靠性差，用户不满意，宁愿进口，机床工业长期失去了信誉。由于重主机，轻配件，整个机床工业中，刀具、配套件厂的人力、物力、财力及科研工作差。领导光抓主机，追求数量，因此，许多刀具、配件，在质量上、技术上、水平上，远远满足不了先进主机的发展需求。重基型、轻变型，缺乏深入系统对用户需求的调查，忽视三化工作（标准化、通用化、系列化），长期以来，机床的变型少，缺乏特色、个性化。因此品种重复，结构雷同，竞争力差，更难以出口。

（3）盲目赶超、不讲实效、严重脱离实际

1958年三年大跃进，严重脱离实际、盲目赶超世界先进水平的思想最为突出。发展数控机床，全国曾一哄而上，又一哄而下，形成三起三落。终因技术不过关、偃旗息鼓，最为典型。

三、后 30 年发展中的主要经验、教训

1. 主要经验

（1）产销见面、改革开放、满足用户需要、互相交流提高

1979年6月；宁江机床厂率先在《人民日报》上刊登广告，“直接接受国内外用户订货”，打破了过去计划经济时的互不见面做法，逐步走向市场经济、深入调查用户需求等。1980年后，进一步改革开放，政策不断深化，机床工业大量引进国外先进技术、合作生产上百种各类数控机床，并逐步通过四大国际机床展展出先进产品，在技术上互相交流提高，中国的机床工业在技术水平上获得快速提高。这符合于机床技术的客观发展规律。

（2）认真调查、研究、分析，学习国外经验，仿创结合

改革开放后，整个机床工业加强了对广大用户和国外机床工业情况的调查、研究、分析。特别是中国机床协会，于1989年开始举办中国国际机床展览会（CMT），成为四大国际机床展之一。加强了对国内机床市场需求的报道、对世界机床市场变化的分析，大大促进了对国内外机床市场需求的了解。通过大量引进国外先进技术和合作生产各类数控机床、数控系统、功能部件、刀具、测量、附件等，不断仿制。在掌握设计、制造、使用技术的基础上，不断进行仿创结合。例如：复合加工数控机床、5轴

联动控制加工中心、各种环保机床、以及许多大型、重型、高精度机床，都是不断进行仿创的成果。

机床属于应用技术，群体活动，布局，结构、传动、控制，有其共同点，亦有不同点，互相学习，仿创结合。加强人才、科研、合作，掌握关键技术，突破瓶颈，才能实现自主创新。

（3）政府正确坚强领导与市场经济相结合、充分发挥个体、集体战斗作用

自2006年以来，中央领导进一步重视机床工业的重要性、战略性地位，加强了领导，并不断对机床企业视察、指导。2006年6月，公布了《国务院关于加速振兴装备制造业的若干意见》。其后，发改委又制定出《数控机床发展专项规划》，要求：至2010年，数控系统自主知识产权的要占数控机床总量的75%；功能部件配套自给率60%以上；国产数控机床要占领国内市场的50%以上。政府的正确领导与市场经济相结合、充分发挥个体、集体战斗作用，在不断深化。在2007、2009年的CMT展览会上，展出了更多的数控机床、数控系统、功能部件、刀具、测量、附件等各种新产品。特别是我国的大型、重型、复合加工、5轴联动数控机床，出现了不少创新产品，受到广大用户的欢迎，也引起了国际机床工业界的重视。

2. 主要教训

（1）对全国机床拥量现状、需求、缺乏深入分析，缺乏全局和重点的远近切实发展规划、和有力措施

六十年的机床发展历程，时间不短。美国以不到六十年时间，超过当时英国而居世界首位；德国以不到六十年时间，机床技术上赶超美国；日本以不到六十年时间，在机床工业实力和数控机床技术上，进入世界三大强国之一。关键的是其拥有专家、人才，对机床工业全局和重点机床技术发展有正确的分析，有周密的发展规划、有有力的措施。而中国长期缺乏，上下心中无数，全局与重点发展缺乏有机结。

长期以来、中国对机床拥有量的现状、需求缺乏全面、正确的统计数字与分析。与重点数控机床技术的发展，缺乏紧密配合。这不符合整体机床工业发展的目的与客观发展规律。

机床工业各种产品的发展，其目的是针对全国国民经济发展不同零件、批量实际需求，不断提高整个加工工艺、精度、效率、自动化。如对拥有量

缺乏统计分析,就会形成盲目发展、盲目赶超。中国在1980年机床拥有量283万台,其中粗加工车床构成比占43%,精加工磨床占10%,工艺落后,粗加工机床多、精加工机床少。30年后的2008年,中国机床工业大小有5382家厂,队伍庞大。全国机床拥有量约700万台,(美国约240万台、日本约140万台),粗加工车床仍占40%以上、精加工磨床少于10%,构成比依然十分落后。国外机床拥有量,由高效自动化机床和数控机床组成,数控机床约占20%~30%。互相配套,生产效率高。而中国,由手动普通机床和数控机床组成,数控机床占约10%,互不配套,生产效率低下。如不加深分析,针对性解决问题,只抓数控机床,则与全局脱节。局部和全局配合发展、普及与提高结合,协调进行,才能有更佳效益。

(2) 人才、科研、质量、合作严重不足,许多关键技术不掌握、依赖进口

目前,中国改革开放30年后,在人才、科研、质量、合作上严重不足。既缺乏各专业众多的专家、人才,科研工作又不深入、不系统、不细致。原先的7个综合机床研究所,已沦为一般性企业,失去了“参谋、攻坚、组织、服务”四大作用,已经发挥不出以前的威力。在机床质量、可靠性、稳定性上,与美、德、日等国的先进差距较大。在技术链、生产链、供应链方面,脱节松散。许多关键技术不掌握,大量依赖进口。目前,中国大量进口国外的中、高档数控机床。宇航、汽车工业的先进数控机床,70%进口。我们必须正视现实,严格要求。改革开放30年的机床工业可说:成绩很大,问题不少。

(3) 数控机床的发展,缺乏正确的远近方针、政策、战略、战术。主机与数控系统、功能部件、刀具间发展,缺乏紧密配合

在改革开放30年中,数控机床的产量、消费量发展很快,目前在数量上均居世界第一。但在技术水平上,则居世界二、三流。大都为低、中档、高档机床刚刚开始起步,关键技术、配套件依赖进口。究其原因:

一是:对数控系统、功能部件、刀具的配合发展,缺乏周密发展规划、有力措施,与主机之间紧密合作不够。

二是:长期仿制国外产品,严重缺乏深入系统的科研工作,没有深入吃透国外产品的技术。对中档产品质量上不过硬,基础不固,因此对高档产品

也难以发展创新。

三是:中国机床工业,严重缺乏各方面充足的专家、人才、熟练技术工人,在产品的精度上、质量上、可靠性上,技术不过硬。配套件不过关,主机技术就难以成套、创新、先进。

四、展望

1. 目前,中国已成为世界机床竞争的“战场”,今后,中国工业化发展,对先进机床的需求,将越来越高。深刻认清机床的特点、发展规律,重视机床工业的重要性、战略性地位,应列为中国今后国民经济发展中之长期国策、长期奋斗。切实进一步加强政府正确领导与市场经济相结合、充分发挥个体、集体战斗作用。机床工业强,则国家强,反之则弱。这已为世界科技、经济、竞争力历史发展所充分证明。目前中国机床工业的发展经过60年,已有一定实力。但技术基础较差,必须经常科学地总结过去的经验教训,发扬经验、汲取教训,扎扎实实地前进。骄兵必败、本固叶茂。

2. 在历史经验中,最深刻的为建国初期黄金时期的尊重科技客观发展规律、重视专家、人才、建立基础,以及辉煌“高精度机床战役”中提出的切实抓好7点,特别是,“在战略上藐视,在战术上重视”,做到知己知彼,百战不殆,符合于孙子兵法,应大力发扬。

3. 在当今21世纪知识经济时代、今后世界科技及机床工业的竞争更趋激烈之中,“知识”将决定一切。“人才、科研、质量、创新、合作、信誉”,是机床工业能否成功发展之“要害”。中国机床工业的技术基础比较薄弱。对此应有自知之明、高瞻远瞩、切实解决,才能取得名副其实的成功! □



China, Peru sign free trade agreement

中国秘鲁签署自由贸易协定

China and Peru recently signed in Beijing the China-Peru Free Trade Agreement, which is the first package free trade deal between China and a Latin American country.

According to the Chinese Ministry of Commerce, the Free Trade Agreement covers such contents as goods trade, service trade, investment, rules on origin of product, customs procedures, technical trade barriers, health and plant sanitation measures, settlement of disputes, trade relief, organisational problems, intellectual property, geographical marks, and cooperation. It gives consideration to both China's requirement for high standards in a free trade agreement, and the concerns of the Peruvian side. It not only protects the sensitive products and industries of the two sides, but also creates the conditions for one party's advantageous products and industries to enter the market of the other party.

In the goods trade aspect, the two parties will implement zero tariff on more than 90% of the products of the other party. All goods of the two nations will be classified into five categories for implementing tariff concessions. The agreement will benefit such products of the Chinese side as light industrial products, electronics, home appliances, machinery, automobiles, chemicals, vegetables and fruits, and such products of the Peruvian side as fish powder, minerals, fruits and fish.

In the service trade aspect, on the basis of honouring their respective commitment to the WTO, the Peruvian side will open wider to the Chinese side in such sectors as mining, R&D, Chinese education, Chinese medicine, and martial arts, while the Chinese side will open wider to the Peruvian side such aspects as mining, consulting, translation, sports and tourism. To facilitate personnel exchanges of the two nations, the agreement establishes transparent standards and simple procedures for temporary entry of business people.

In the aspect of investment, the two parties will respectively give investors and investments of the other party national treatment, most favoured nation treatment and fair and just treatment; encourage bilateral investment and also provide related convenience; stipulate no requisition except for public interest and also according to legal procedures, and give the investor compensation at fair market value once requisition takes place; ensure free outward remittance of investment and earnings; establish a mechanism for settling investment disputes featuring investor-host country arbitration.

In the aspect of rules of origin, the free trade agreement sets the standards for judging the origin of goods by taking tariff category change standard as the core and regional value content standard as a supplementation. It also makes provisions on the certificate of origin, requirements for customs clearance of goods enjoying preferential tariff, check of origin and functions of the origin commission.

In such aspects as trade facilitation, customs cooperation, risk management and goods clearance, the free trade agreement further simplifies and coordinates the customs procedures of the two sides to ensure that the customs and administrative procedures of the two nations are transparent and implemented in the same way, ensure that the goods and means of transport are shipped and pass the customs efficiently and rapidly to facilitate bilateral trade, and also make sure that the technical regulations, standards, qualification appraisal procedures, health and plant sanitation measures for other cooperation of the two sides do not create unnecessary obstacles to the bilateral trade. The two sides will also strengthen cooperation and exchanges in such aspects as technical regulations, standards, qualified appraisal procedures, measuring, risk evaluation, recognition of disease quarantine and low popularisation areas, and transparency. They will establish related cooperation mechanisms to promote market access of their respective products to the other party.

In the aspect of geographical marks, Peru will provide geographical mark protection to 22 kinds of Chinese products while China will provide similar protection to 4 Peruvian products.

Economic and trade relations between China and Peru have developed quickly in recent years. At present, China is Peru's 27th largest trading partner, while Peru is China's seventh largest trading partner in Latin America. Their bilateral trade value hit US \$7.5 billion in 2008, up 24% over 2007.

To date, China has signed free trade agreements with ASEAN, Chile, Pakistan, New Zealand, Singapore and Peru, and is undergoing free trade talks with Australia, the Gulf Cooperation Council (covering the six nations of Saudi Arabia, Kuwait, United Arab Emirates, Oman, Qatar and Bahrain), Iceland, Norway, Costa Rica, and the South African Customs Union.□

China, Indonesia sign currency swaps agreement

中国和印度尼西亚签署货币互换协议

The People's Bank of China (PBOC), the central bank, announced recently that it has signed a currency swap agreement with the Bank Indonesia, the central bank of Indonesia. The move will support the bilateral trade and direct investment of the two countries for promoting economic growth, and contributing to stability of the financial market through short-term liquidity.

The agreement allows for swaps of RMB100 billion (US\$14.7 billion) or 175 trillion Indonesian rupiah over three years, which could be extended by mutual agreement.

The PBOC has also signed currency swap agreements with South Korea, China's Hong Kong Special Administrative Region, Malaysia and Belarus since the beginning of the global financial turmoil, with the currency swaps of RMB180 billion, RMB200 billion, RMB80 billion and RMB20 billion respectively.□

Foreign retailing chains achieve steady sales growth

外资连锁企业在华销售稳步提升

The 19 overseas brand companies among China's top 100 retail enterprises for 2008 achieved sales of RMB242.6 billion, rising 17.6% year on year, accounting for 20% of the total sales of the top 100, two percentage points higher than that of the previous year, and the number of outlets went up 13.1% to 4,613, accounting for 6% of the total of the top 100, according to an annual survey report released by the China Chain Store and Franchise Association.

According to statistics, food retailers took the lion's share among the top 100. Among the top 100 chain enterprises, 55 mainly engaged in operating supermarkets in 2008, three more over the previous year. Benefited by the rigid demand for consumer goods, food retailers achieved steady growth. Sales and number of shops of the top 100 instant consumer goods retailing chains increased 17.1% and 9.5% last year respectively.

Of the 55 supermarkets 42 were Chinese enterprises and 13 were foreign-invested companies. Among the Chinese enterprises, regional leading enterprises reported slowdown in growth of newly-opened shops, but the per outlet sale surged significantly. A survey shows that regional leading chain enterprises among the top 100 achieved 11% increase in number of outlets, and 20% growth in sales.

The 13 foreign-invested enterprises mainly operating large supermarkets boasted 755 supermarkets, of which 91 were opened in 2008, with average annual sales amounting to RMB230 million. Foreign companies led by Carrefour, RT-Mart and Walmart have further enhanced their leading position on China's food retail market.□

CDB signs memorandum of understanding on cooperation with IDB

中国国家开发银行与美洲开发银行签署合作备忘录

China Development Bank (CDB) recently signed a

memorandum of understanding on cooperation with the Inter-American Development Bank (IDB). CDB is China's first commercial bank transformed from a policy bank. It started its financial cooperation with Latin America in 2005, and has so far established cooperation relations with Venezuela, Brazil, Chile, Peru, Argentina, Mexico, and Costa Rica, with total amount of financing exceeding US\$8 billion.

The memorandum of understanding signed between CDB and IDB has depicted the cooperation targets of the two banks in an overall way. CDB will actively participate in the financing activities of IDB in Latin America, especially in the fields of energy, communication, urban infrastructure facilities, people's livelihood and agriculture, and promote economic and trade cooperation between China and Latin America and the Caribbean region.

IDB claims that it has provided a list of dozens of projects worth more than US\$30 billion and covering infrastructure facilities and people's livelihood for CDB to choose and to conduct joint financing. The two banks will also explore new ways for financial cooperation, including national investment fund.□

Central China city issues policies on further opening to outside world **中国中心城市武汉出台系列政策扩大开放**

Wuhan, capital city of Central China's Hubei Province, will adopt strong measures with a view to opening to the outside world, Ruan Chengfa, mayor of the city announced. According to the policy, foreign-invested enterprises can gain as high as RMB600,000 in bonus from the Chinese Government for making additional investment and expanding production in Wuhan.

Other policies on further opening to the outside world being taken by the city include:

-To give special preferential treatment for foreign investment in selecting sites, project launching and supporting policy. The city will give priority to ensure land use and fast settlement of foreign investment.

-To grant appropriate fund support to multinational companies founding regional headquarters, R&D centres and branches in Wuhan, and investment in Wuhan by the world top 500 companies, and to feasibility study expenses for major foreign-invested projects (including projects of additional investment) covered by the state encouraging policy which have moved into Wuhan.

-To give award to newly launched big foreign-invested industrial projects referring to those with investment scale exceeding US\$10 million, or large projects which can play a leading role in the development of a US\$100 billion industrial block. The award is 10% of the retaining part of additional local tax revenue for the year starting from the year of profit making.

-To encourage foreign-funded enterprises to increase production, and expand, by giving awards and support according to additional investment scale. There are different grades of awards for contractual foreign additional investment of more than US\$10 million and the funds have all been paid in; contractual foreign additional investment of more than US\$30 million and the funds have all been paid in; and contractual foreign additional investment of more than US\$50 million.

It is reported that the city will hold 22 major business promotion activities this year, including the Wuhan-based global meeting for business people with origins in Hubei Province, the Hong Kong Fashion and Shopping show and the 18th food fair, as well as events to be held outside the city such as the Beijing-Hubei (Bohai rim region) economic and trade cooperation fair, and the Hubei-Hong Kong-Guangdong economic and trade cooperation fair.

Since it was listed as an open city along the Yangtze River, Wuhan has gradually formed an open-up pattern in various sectors and levels. It has attracted foreign funds of more than US\$34 billion, becoming an area with a high proportion of foreign investment in western and central parts of China.

As a contemporary important commercial port to the outside world, Wuhan has concentrated efforts in

building up a good investment environment in the fields of port construction and customs service. It has built the Tianhe Airport, two first-grade customs in the Wuhan Port, and opened up more than ten air routes to other countries and regions including those between Wuhan and Hong Kong, Taiwan, Seoul in South Korea and Fukuoka in Japan, and shared codes with many airlines. The Wuhan Customs has established regional customs service ties by possession declaration, the port checks with more than ten coastal cities, and it has opened direct cargo flights with Shanghai. The city has received approval from the state for founding the Donghu and Xihu bonded logistics centre, aiming to become a hub port in central China.

In recent years, the city has been active in expanding external relations and contracts from the fields of economy and trade to agriculture, science and education, culture, tourism, medical treatment and public health. By the end of 2008, businesses from 45 countries and regions had launched 5,388 companies involving investment from Hong Kong, Macao, Taiwan and foreign countries totalling USD34.12 billion. They included 74 from the world top 500 companies. Wuhan is leading western and central parts of the country in utilisation scale and level of foreign funds. The city's import and export increased from USD84 million in 1985 (the year it obtained its foreign trade operation right) to USD13.977 billion in 2008, rocketing 166.4 times.

The Wuhan Wujiashan Taiwan Businesses Industry Park, founded in 1992, now has developed areas of 22 square kilometres. It had about 100 Taiwan-invested companies by the end of 2008, with contractual funds of USD620 million, and actual use of funds of USD430 million. The city approved in principle the Proposals on Promoting Development of the Wujiashan Taiwan Businesses Industry Park in February 2008. Based on the plan, the park will be expanded by 7.02 square kilometres to become the biggest zone for Taiwan businesses in central China.

China's Import and export with major european countries during January-May, 2009 2009 年 1~5 月中国对欧洲 主要国家进出口统计

Country	January-May		Change over the same period 2008(%)			
	Import & Export	Import	Import	Import	Import	Import
Belgium	5,938,638	4,070,923	1,867,715	-23.5	-25.4	-19.1
Denmark	2,592,044	1,750,055	841,989	-15.7	-15.6	-15.9
Britain	13,436,903	10,718,775	2,718,128	-22.2	-19.5	-31.3
Germany	37,125,611	18,020,641	19,104,970	-16.4	-18.1	-14.7
France	12,307,224	7,474,553	4,832,670	-18.3	-18.7	-17.6
Ireland	1,962,837	821,647	1,141,190	-36	-58.7	6.0
Italy	11,891,079	7,739,412	4,151,667	-19.8	-22.8	-13.4
Luxembourg	1,428,080	1,353,056	75,024	27.7	35.6	-37.9
The Netherlands	13,883,632	12,344,687	1,538,945	-31.4	-31.2	-33.2
Greece	1,346,587	1,266,123	80,463	-23.8	-25.5	21.7
Portugal	847,571	697,370	150,201	-8.4	-13.0	20.7
Spain	6,186,240	4,762,308	1,423,932	-42.7	-44.1	-37.8
Austria	1,893,032	582,125	1,310,907	-4.6	-11.7	-1.0
Bulgaria	305,687	245,521	60,166	-43.5	-44.0	41.2
Finland	2,901,079	1,481,737	1,419,343	-31.1	-48.5	6.4
Hungary	2,429,534	1,983,493	446,042	-25.0	-26.5	-17.6
Iceland	27,936	18,541	9,395	-48.6	-55.5	-25.6
Malta	733,189	591,597	141,592	27.3	46.2	-17.2
Monaco	10,106	4,209	5,897	1.7	-14.6	17.6
Norway	2,058,959	911,963	1,146,996	11.8	-8.8	36.2
Poland	3,208,494	2,640,169	568,326	-22.6	-24.7	-11.4
Sweden	3,592,027	1,520,288	2,071,739	-10.2	-24.0	3.6
Switzerland	3,499,981	1,045,170	2,434,811	-18.8	-28.9	-13.5
Russia	13,482,739	6,057,328	7,425,411	-39.2	-48.0	-29.3
Ukraine	1,942,671	1,126,504	816,167	-46.8	-63.6	-46.8
Czech	2,103,329	1,770,290	333,039	-16.6	-15.5	-21.8
Slovakia	782,671	508,497	274,174	-36.7	-37.4	-35.4

2009 年世界机床行业运行情况综述

中国机床工具工业协会 张菁 符祚钢 李雷

2008 年金融危机席卷全球，受其影响，世界机床工具行业在 2008 年 4 季度急转直下，深度下滑。从 2008 年全年来看，与 2007 年同比各国机床工具行业都有不同程度的增长，但增长速度已大幅低于前些年。2009 年初，行业延续了上一年大幅度下滑之势，整个机床工具行业笼罩在一片愁云之中，忐忑不安地期待市场需求回暖。

本文根据中国机床协会收集到的世界各主要机床生产国（地区）2009 年的行业运行情况进行整理分析，以期看到机床工具行业的发展趋势，供业界参考。

1. 欧洲

欧洲机床工业遭受经济低迷的沉重打击。自 2008 年第 4 季度以来，欧洲机床行业一直处在经济危机的深渊中，2009 年第 1 季度欧洲机床行业的新订单同比下降了 53%。

2009 年 6 月在西班牙塞巴斯蒂安召开的欧洲机床工业协会春季大会上，来自 15 个国家的机床制造商和他们的协会代表们，对当前的经济危机对该行业的影响进行了深刻的分析。

欧洲机床工业协会会长扎外尔埃格仁先生认为，机床行业大约 30% 的订单来自汽车行业用户，而当前对全球汽车行业的投资却非常有限。全球用户需求疲软导致对机床业投资的减少。

由于全球终端用户需求疲软，预计 2009 年欧洲机床的消费将下降 30%~40%。一些经济预言家们预测在亚洲，尤其是中国和印度的机床消费要比欧美所受的影响要小。为了应付经济衰退，欧洲机床制造商努力降低库存水平，减少劳动时间灵活安排劳力，保留战略技术力量。欧洲机床工业协会的秘书长飞利浦桂茨强调：“2009 年第 1 季度订单的下滑和减少库存水平两项措施的结合将直接影响 2009 年新机床的全面生产”。

尽管置身当前困难的经济环境中，但欧洲机床行业依然保持强大的竞争力，欧洲机床工业仍引领

着机床生产的世界市场，占据着全球 44% 的市场份额。但也有人士指出，如果欧洲不采取亚洲和美洲的竞争者那样的措施来从经济振兴计划中受益的话，从长远来看，欧洲的领先地位将面临挑战。

2009 年，全球消费机床的 32%（超过 120 亿欧元）和全球 15% 的机床进口都将出自欧洲机床工业协会的会员国，而中国市场的发展对欧洲机床工业来说是至关重要的。

欧洲经济委员会主席弗兰克·博瑞肯先生指出：“一个积极的信号是自 2009 年 4 月以来大多数国家的制造业信心指数下降速度趋缓，可再生能源和节能产品制造技术可能成为另一个驱动力”。

最近几个月以来，欧洲机床工业协会已向欧盟官员强烈地表达了其机床工业是可持续发展的重要因素及欧洲制造厂商的竞争能力。政府必须清醒地认识到，缺少了机床业和制造业它将迅速并不可逆地消亡。

欧洲机床工业协会坚信，当前的经济低迷对发展新的商业模式和机床业的新技术也是一个好机会，创造新的核心竞争优势，这将无可争议地进一步加强欧洲在全球机床生产上的领先地位。

(1) 德国

德国机床业是 5 大专业机器制造业之一，向所有行业的金属加工业提供制造技术，从而对工业生产的创新改造和发展做出了重大贡献。其在工业制造和行业发展上的关键和重要作用，给整体工业经济带来活力。2008 年德国机床制造业不到 72000 人（20 人以上的企业算起），所创造的机器和服务产品总值达 142 亿欧元。这是该行业历史上最高的生产值，比起上一年的产值增长了 12%。

预计 2009 年德国机床产量将下降 40%。在 5 年创纪录的高峰期之后，2009 年预计会回落到 1999 年的水平。

德国机床协会主席卡尔马丁外尔克指出：“特别是在过去的两年中，我们产业的经历只能用特殊情况来描述”。对市场需求会持续增长的盲目信心导致了国际社会对制造业的需求上升到创纪录的水平。许多

国际上大型的消费企业做出通过大规模扩大生产能力来提前锁定国际市场上较大份额的决定。这种“需求泡沫”最终在 2008 年年底的金融危机中破灭了，其直接结果就是德国机床行业的订单急剧下降。

面对当前严峻形势的挑战，德国机床协会主席强调：“德国作为一个生产地点，它是连接用户、机床行业设备供应商、分销商这个链条中极其重要的一环”。最终，生产力和整个供应链的效率将成为德国经济竞争力依靠的基础，从汽车工业到机械制造业、从航空航天行业、电气工程行业、冶金行业到金属加工业。外尔克继续讲道，在未来的数周、数月、数年里获得足够的流动基金是个重要的问题，在条件允许的情况下，让中型企业获得足够的流动资金，使其不仅在承揽订单，而且在研发上也获得财政支持。这种措施同样适用于行业本身及其中小客户们。谈到政治方面，他强调，通过经济刺激计划提供的贷款资金应尽快到账。眼下资金的配置过程仍然缓慢，由于要通过贷款程序手续不一的几家银行，造成十分繁杂的过程。

蓬勃发展的全球人口追逐日益繁荣的长期需求的目标没有丝毫改变，其结果就是，人们对机器的需求与日俱增。

德国机床工业在国际上处于有利的地位。德国机床协会主席确信，一旦市场需求再现回升势头，机床行业必将受益。因为，机床行业通过优化调整，增加了自身优势，使快速交货成为可能。更为重要的是，制造企业通过技术改造来降低成本这一措施也是促进经济复苏的一种举措。

人们预料，对制造业有强烈需求的亚洲和南美的新兴经济体将在恢复增长的路上率先起步。在其它对经济发展趋势依赖相对较小的行业，如医学工程、电力工程以及轨道车辆制造也都有很好的发展机会，因为即便在当前经济危机的情况下，对这些行业的投资也仍在继续。

在前不久的经济繁荣时期，德国的机床行业在扩大劳动力方面也是非常谨慎的，在最高峰的时期也不足 72000 名员工。由于临时工和代理人员很大程度上都被逐渐辞退了，一些固定工也被终止了合同，眼下制造企业正雇佣短期人员来维持工作，以便保留核心技术力量。为以后的经济发展“积蓄后劲”，这些制造企业正在加紧人员培训和制定发展计划。

(2) 意大利

根据意大利 UCIMU-SISTEMI PER PRODURRE

统计报告，2009 年 2 季度，意大利机床工具行业订单与 2008 年同比下降 63.1%，订单指数绝对值只有 47.9（以 2005 年同期订单为基数 100）。

比较历年 2 季度的指数绝对值，要找到比当前这个指数值更糟糕的需要回溯到 26 年前，那是 1983 年的 2 季度，那时的指数绝对值只有 35.7。

出现今年 2 季度这样的指标，是因为国内国际市场的需求同时出现崩溃。这也说明世界范围内对机床工具的需求普遍出现危机。

与 2008 年 2 季度相比，2009 年 2 季度国内市场的订单减少了 62%，指数绝对值为 50.9。这表明国内市场需求在进一步减少，这种长期的负增长已经持续了 5 个季度。

在国际市场方面，与国内市场相比，情况稍好。今年 2 季度国际市场的订单指数下降了 64%，指数绝对值为 44（以 2005 年同期订单为基数 100）。

如果以 6 个月为周期进行分析，订单减少超过一半，与 2008 年同期相比下降 56.3%，指数绝对值为 65.1。

意大利 UCIMU-SISTEMI PER PRODURRE 总裁 Giancarlo Losma 先生认为，这样的季度指标，让人们感觉到意大利机床、机器人、自动化和制造业出现了激烈的衰退。意大利政府也为此通过了“特莱蒙蒂 III”法案，为意大利机床制造行业的发展提供支持，帮助意大利机床制造行业度过危机。

按照该法案的规定，自 2009 年 7 月 1 日至 2010 年 6 月 30 日，意大利的公司购买生产用新机床，在 2010 年的税金申报时有权要求从他们需纳税收入中减去机床价值的 50%。如果没有利润，税费将在接下来的 5 年内减免。

在 1994 年和 2001 年，意大利政府曾实施过这样的法案，都取得了非常积极的效果。现在这一法案被称为“特莱蒙蒂 III”法案，并特别针对在机床方面的投资；因此势必将有力地带动意大利机床的需求。

针对该项法案的实施，Giancarlo Losma 先生认为，如何保证行业企业资金的流动性，是至关重要的，如果没有适当的政策说服信贷机构保证资金的流动性，“特莱蒙蒂”法案的实施能给意大利机床制造行业带来多少益处尚存疑问。

2. 美国

根据美国制造技术协会和美国机床分销协会的

统计, 2009 年 6 月美国制造技术的消费总额为 13585 万美元, 与 5 月份环比增长了 22.0%, 与 2008 年 6 月 (44055 万美元) 同比下降 69.2%。2009 年 1-6 月累计消费 75903 万美元, 与 2008 年同比下降 70.1%。

美国制造技术协会会长道格拉斯·伍兹说“尽管缺少政府对小型制造企业的刺激政策, 但行业的低谷可能已经显现。全行业的订单已经连续两个月出现增长的势头, 我们希望工业历史上最严重的单年度下滑情况将结束。”

由上述两个专业协会共同编写的消费报告反映了制造技术的生产和销售情况, 提供了地区性和全国性的美国对自产和进口机床的消费及相关设备的数据。制造技术消费分析为制造业投资于金属加工设备、提高产能和生产力提供了可靠的主要经济指标。

东北地区 6 月份制造技术消费 2678 万美元, 与 5 月 (2848 万美元) 环比减少 6.0%, 与 2008 年 6 月同比减少 56.3%。2009 年 1-6 月累计消费 15478 万美元, 同比减少 56.7%。

南方地区 6 月份该区域制造技术消费 2516 万美元, 与 5 月 (1356 万美元) 环比增长 85.6%, 但与 2008 年 6 月同比减少 67.9%。2009 年 1-6 月累计消费 10678 万美元, 同比减少 74.1%。

中西部地区 6 月份该区域制造技术消费额为 3607 万美元, 与 5 月 (2796 万美元) 环比增长 29%, 与 2008 年 6 月同比减少 74.7%。2009 年 1-6 月累计消费 21613 万美元, 同比减少 74.9%。

中部地区 6 月份该区域制造技术消费 2870 万美元, 与 5 月 (2060 万美元) 环比增长 39.3%, 与 2008 年 6 月同比减少 72.81%。2009 年 1-6 月累计消费 17560 万美元, 同比减少 70.7%。

西部地区 6 月份该地区制造技术消费额 1913 万美元, 与 5 月 (2077 万美元) 环比减少 7.9%, 与 2008 年 6 月同比减少 63.8%。2009 年 1-6 月累计消费 10574 万美元, 同比减少 65.5%。

3. 亚洲

(1) 日本

2009 年 5 月份日本机床订单总值 275.64 亿日元, 与 2008 年同比下降了 79.2%, 月订单继续衰退至低水平。尽管如此, 这是 2009 年度 5 个月来第一

次同比下降小于 80%。5 月份订单环比增长了 9.5%, 已连续 4 个月持续增长。这表明订单状况在目前低水平的前提下在继续改善。

国内订单与去年同期相比减少了 77.6%, 减少到 123 亿日元, 连续 16 个月同比下降。环比增加 1.1%, 维持第 2 个月连续增长的态势。这一增长主要的影响因素来自于汽车行业的汽车零部件生产, 以及通用机械和电气及精密机械工业。

国外订单与 2008 年 5 月份相比减少了 80.4%, 这已是连续 12 个月同比下降。国外订单环比增长了 17.3%, 但亚洲区下降了 7.7%。欧洲和北美订单环比分别增加了 47% 和 40%。

按国家/地区分析, 中国需求同比增长 4%, 订单主要来自制作超薄屏幕电视零件所用的车床和其他工具。也有来自英国飞机制造工业的订单。但来自俄罗斯和亚洲 (不包括中国) 汽车工业的订单还是疲软。

日本经济在经过了连续 6 年的增长之后, 2008 年再次出现了负增长, 增长率为 -0.6%。2009 年, 日本经济形势依然严峻, 产品的出口和生产大幅度减少, 个人消费也处于缓慢减少, 工业企业的收益也同样呈现大幅度降低的态势, 受其影响, 各行各业的设备投资也呈减少趋势。

为了拉动经济, 日本政府出台了总额达 75000 亿日元的一系列经济对策, 包括增加企业的流动资金, 出台鼓励消费、鼓励就业的政策, 发放固定金额的代金券来支持消费, 扣除节能设备的投资税等, 以期摆脱经济的持续低迷, 实现日本政府对国内总产值实质增长率 0.0%、名义增长率 0.1% 的预期。

日本机床行业认为, 从中期来看, 随着世界各国经济对策的实施, 世界经济的景气包括新兴发展地区可望再次回到增长轨道, 机床需求也有望得到恢复。

(2) 印度

印度机床行业经过了 5 年前所未有的 30% 的增长, 2007 年跻身于世界第 9 大机床消费市场, 2008 年虽然面临突然的需求下降, 行业发展速度放缓, 但依旧保持了世界第 9 大机床消费市场的地位。

2008 年, 印度机床行业产值 176.85 亿卢比, 与 2007 年基本持平 (2007 年产值 175.25 亿卢比), 其中金切机床占 86%, 金属成型机床占 14%。机床主要产品有车床、加工中心、专用机床、压力机和磨床, 这 5 种机床的产量差不多就占了印度机床总产

量的 80%。

2008 年,数控机床占印度全部机床销量的 65% 左右,同比下降了 5% 左右;传统机床占 35%,同比增长了 13%。

印度机床工业的大部分产品是为汽车工业服务的。汽车工业是遭受经济危机打击最严重的领域之一,因此印度机床工业面临更加萧条的局面。尽管新兴行业增长的需求促进了对大型机床的需求,但能满足新兴行业需求的机床主要依赖进口。就金属加工机床而言,进口机床占印度机床消费市场 75% 的份额。

2008 年印度经济取得了 5% 的增长,但工业生产指数则由 2007 年 2 位数的增长变成负增长。印度政府为了恢复工业增长采取了一系列积极的措施,包括降低银行借款利率、增加市场资金流动、降低税负、给汽车工业给予特殊优惠,并采取一些可使通货膨胀和石油价格下降的措施。

印度航空航天、国防、铁路、基础设施、动力、风能、医疗保健、核能等新兴行业的发展也为印度机床行业提供了巨大的发展空间。

(3) 台湾地区

台湾地区机床产业是一个外向型产业,受国际市场需求波动的影响很大。2008 年,台湾地区机床行业产值 1500 亿元新台币,同比增长 2%~3%,出口 37 亿 2150 万美元,同比增长 5.9%。

2009 年 1~4 月台湾地区机床出口 5 亿 8589 万美元,与 2008 年同比减少 51.9%,其中加工中心同比下降 62.7%,车床同比下降 46.0%,磨床同比下降 57.2%,镗铣床同比下降 48.0%,成形机床出口 1 亿 4140 万美元,同比下降 42.6%。

在出口市场方面,2009 年 1~4 月份台湾地区对大陆和香港出口 1 亿 8245 万美元,排名第 1,同比下降 47.7%,对美国出口 5723 万美元,排名第 2,同比下降 48.5%,对德国出口 3680 万美元,排名第 3,同比下降 44.5%,对其他国家和地区的出口也都出现大幅度的下降。

2009 年 1~4 月份,台湾地区进口机床 10871 万美元,同比下降 84.6%。其中成型机床中,锻压及冲剪机床之外的其他成形机床则逆势增长了 142%。这表明,台湾地区的半导体、信息、电子、通讯、光电等新兴高科技产业对机床的需求大幅度下降,而精密零部件、金属制品加工业等传统产业对机床的需求则保持了适度的增长。

台湾地区机床行业以出口为主,重新振兴面临的挑战很多,像新台币对美元汇率的大幅震荡、韩元对美元的大幅贬值,还有钢材和铸铁等原材料的价格高等都直接影响台湾地区机床产品的竞争力。在国际市场持续低迷,各国/地区政府纷纷推出各自的经济振兴措施的国际大环境下,台湾地区机床行业还需要努力推出新产品,提升产品的附加值,应对竞争日益激烈的国际市场。

(4) 中国

按照国家统计局数据,2009 年 1~6 月 5813 家机床工具行业企业合计完成工业总产值 1701.9 亿元,同比增长 5.7%,增幅比去年同期降低 29.1 个百分点。2009 年前 6 个月,每月分别完成工业总产值 205.7 亿元、229.0 亿元、289.1 亿元、297.5 亿元、316.8 亿元、363.6 亿元,同比分别增长 -7.0%、18.0%、3.7%、4.8%、8.4%、7.4%,逐月环比分别增长 -35.8%、11.3%、26.2%、2.9%、6.6%、14.7%。这些数据显示,2009 年一季度,行业发展形势大起大落,而进入 2 季度以来,发展势态趋于稳定。

在进出口方面则呈现出双降形势。2009 年 1~6 月份,机床工具进口累计 48.6 亿美元,同比降低了 18.5%,机床工具出口 21.3 亿美元,同比下降了 36.2%。需要关注的是机床工具进口降幅呈现出逐月收窄的趋势,而机床工具出口下降幅度则呈现出逐月放大趋势,如 2009 年前 6 个月,机床工具出口逐月累计同比分别下降 20.5%、29.78%、31.19%、33.77%、35.93%、36.2%;而 1~6 月份机床工具进口累计同比下降的幅度比前 5 个月的累计同比下降幅度缩小了近 5 个百分点。这表明我国国内市场,受益于国家拉动内需政策,市场出现回暖迹象,对中高端机床的需求开始增加;而国际市场依然低迷,而且由于我国机床工具产品的国际竞争力不强,造成机床工具出口持续走低。

尽管国内市场显现出回暖迹象,但我国机床工具行业整体下滑情况依旧严重,按照国家统计局的数据,机床工具行业上半年增速始终在 1 位数低速徘徊。而根据中国机床工具工业协会对近 200 家重点联系企业的统计数据,2009 年前半年,金切、成形、电器、附件、量刃具各小行业的产品销售收入、利润总额、工业总产值、产品销售产值同比均为负增长,像金切机床行业,工业总产值连续 8 个月负增长、利润连续 10 个月负增长,近 40% 的企业实际亏损。机床工具行业的整体发展形势依旧严峻。

国家进口下滑收窄 出口跌势减缓

中国机床工具工业协会 李卫青

又到年中盘点时,在全球金融危机不断蔓延之际,盘点便显得尤为重要。今年上半年,我国机床工具行业进出口形势依然严峻,累计进出口额同比持续下滑,但速度减慢;6月份全行业进出口额月度环比均呈正增长,月度进口额回升明显;一批大型、重型数控机床出口平均单价大幅上升;金属加工机床主要进出口市场大幅下滑,但韩国、墨西哥等地出口形势趋好,欧洲机床正大举进入我国;进出口贸易方式正在向好的方向发展,以一般贸易方式进出口数控机床占比明显提高;外资企业机床进出口份额下降迅速,外资投入明显减少。

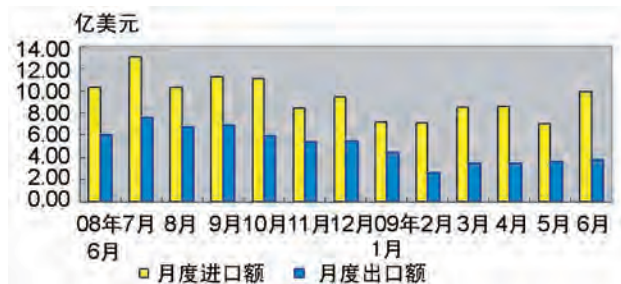


图1 2008年6月-2009年6月机床工具行业月度进出口额

1. 下降趋势未得到改变

据海关发布的统计数据,1~6月我国机床工具行业累计出口额21.3亿美元,同比减少36.2%。月度出口额自2月开始逐月上升,6月份达到3.8亿美元,同比下降37.5%,环比上升4.5%,月度环比连续两个月呈正增长。在全行业出口额同比下降的情况下,个别行业出口出现较稳定的回升状态,如机床夹具附件月度出口额环比已连续4个月正增长,数控装置和磨料磨具行业连续2个月、共3个月正增长,且增长幅度都较大。

受国际市场需求政策影响,6月份机床工具产品进口额9.9亿美元,同比下降3.9%,环比上升41.8%,月度进口额增长明显,是今年以来与上年同期水平最为接近的一个月,也是近8个月最高值。主要是金属加工机床进口增加较快,月度进口额达到6.6亿美元,同比增长10.7%。上半年全行业累计进口额48.3亿美元,同比下降18.5%,降幅比1~5月累计同比上升3.1个百分点(图1)。

为了保持国民经济的发展,中国政府连续出台了多项措施,如4万亿元拉动内需、10大行业的行业调整振兴规划等,为包括机床工具行业在内的各个行业提供难得的发展契机。但我国机床工具行业要取得更大的发展,还需要认真解决诸多问题。

首先,新产品的开发速度滞后于市场需求的变化。国家重点投资的项目,对机床工具提出了更高的要求,但机床工具行业对用户行业的了解不深,尤其是对用户行业的加工工艺研究不够,难以针对用户加工工艺开发具有前瞻性的新产品。而欧美等工业先进国家的机床制造商,经历过工业现代化进程,对很多用户行业的需求了解透彻,并有成熟的经验可循,能够针对用户的需求快速提供一整套的解决方案。我国机床行业企业更多的是在追踪、学习工业先进国家机床制造商的技术,来满足国内用户的需求。

其次,受经济危机影响,大部分行业企业的流动资金紧张,正常经营难度加大。

另外,行业产品结构和市场需求的矛盾依旧突

出,一方面国内市场需求得不到充分满足,另一方面,行业企业的生产能力不能得到有效利用。行业企业需要加大技术改造和职工培训,尽快解决产品结构、产能结构、人才结构的矛盾。

4. 结束语

世界机床工具行业经受了全球范围经济危机的打击,全面呈现出大幅下滑的形势。各国(地区)政府纷纷出台经济振兴措施,机床工具行业从中颇有受益。

从世界主要机床生产国(地区)的情况来看,最困难的时期出现在2008年4季度和2009年1季度,同比普遍出现了50%~70%的下降。进入2009年2季度后,各国(地区)机床工具行业发展趋于稳定。笔者以为,尽管难言经济危机的影响已经完全过去,但不应该再出现大幅度的下降,今后的趋势,将是逐步趋稳回暖,小幅度的波动难免,趋稳回暖的趋势应该不会改变。□

2. 大中型机床外贸市场表现良好

今年以来,大型、重型机床进出口增长较快。上半年,在金属加工机床出口同比下滑的趋势下,数控铣床、数控磨床、数控齿轮加工机床同比增长均在50%以上。大型机床如龙门加工中心、数控镗铣床、数控龙门铣、数控锻造或冲压机床等出口平均单价成倍增长,分别为241%、413%、190%和219%。重型机床出口表现优于其他产品,主要是近几年重型机床企业在产品结构调整中,加大了技术改造投入力度,形成了一批有一定竞争能力的产品。另外,在这次金融危机中,重型机床在全行业内受冲击程度相对较小。

国家拉动内需政策中对基础设施建设加大了投入,由于我国国产机床还不能完全满足市场需求,也为世界机床主要生产企业提供了机会。6月份我国进口金属加工机床呈现量减价扬态势,数量同比下降4.0%,金额同比增长10.7%,进口平均单价同比增长15.3%。上半年,龙门加工中心、数控镗铣床、数控龙门铣、数控平面磨床、数控齿轮加工机床进口同比增长分别为15.0%、37.6%、159.8%、23.4%、86.3%。其中数控镗铣床和数控龙门铣的平均单价增长了一倍以上。

为应对金融危机,今年国务院陆续审议通过了十大重点产业调整和振兴规划,规划期为2009~2011年。装备制造业调整和振兴规划是其中之一。近期,大型、重型机床需求较为旺盛,成为热点,一些有能力的企业已经开始或正在进入这个领域。需要提醒的是,企业应深入研究重点产业调整和振兴规划,广泛调研市场对大型、重型机床的需求,认真分析当前重型机床产能与需求的关系,分析世界和我国未来重型机床的市场需求,只有理性分析,科学决断,才能有效避免产能过剩。

3. 传统出口市场需求大幅萎缩

今年以来,我国机床主要出口市场如欧、美、日等经济发达体的需求急剧下降,受国际金融危机影响,去年上升较快的印度、巴西、俄罗斯的机床市场也在以2位数的速度下滑。上半年,出口机床累计同比由去年年底的37.1%下降到-31.3%,这是在连续多年高速增长后骤然下降。但是以韩国、马

来西亚、缅甸为代表的亚洲和墨西哥等国家(地区)1~6月出口额与上年同期相比不仅没有下降,反而还在上升,出口额同比均为正增长,占金属加工机床出口总额的份额比上年同期分别提高1个百分点以上。且出口排名均有不同程度的提高,韩国由去年的第8位提升到第3位,马来西亚由上年的第14位上升到第6位。值得关注的是,我国对韩国、缅甸、土耳其的加工中心出口额成倍增长,分别列1~6月加工中心出口额的前3位,而去年同期,对这3个国家的出口额排名均在15位以后,同时其出口平均价格也都高于加工中心出口平均价格的一倍以上。就目前形势来看,东盟等地区存在着很大的商机,要紧紧把握;印度、巴西、俄罗斯等市场虽然在下降,但仍高于2007年水平,也应是我们要关注的重点。上半年,龙门加工中心、数控镗铣床、数控龙门铣、数控平面磨床、数控齿轮加工机床出口增长均在50%以上,成为出口主要增长点。企业要采取市场多元化战略,优化产品结构,挖掘有潜力的市场,努力扩大出口。

上半年,在我国机床进口排名前10位中,亚洲占有3席(日本、中国台湾、韩国),欧洲占6席(德国、意大利、瑞士、奥地利、法国和西班牙),还有一席是美国。我国由亚洲和美国进口的机床均以两位数速度下滑,但是以德国为代表的欧洲阵营,上半年进口到我国的机床同比增长均为正增长,除瑞士外,增幅均高于20%,并且平均价格普遍高于整体水平。据欧洲机床工业合作委员会(CECIMO)近日发布的消息,目前欧洲制造业的经济前景依然严峻,期望通过出口市场的提升来保持对新机床产品的投资,他们首先寄希望于中国和印度市场。中国机床市场仍是世界关注的焦点,欧洲机床进口上升,体现了市场需求结构的变化。

4. 外资投入明显减少 内资企业表现活跃

在全球经济一体化的今天,危机不可避免地影响到世界各国,也影响着其对外投资。在我国的外资企业同样步履艰难。从数控机床来看,无论是在进口还是在出口,外资企业贸易额急剧下降,所占份额均减少10个百分点以上。以外商投资企业作为投资方式进口机床,一直是我国的首要进口方式,但是上半年该方式进口数控机床10.9亿美元,同比下降26.2%,跌至第2位,所占份额也下降了近10

2009 年 1-6 月份机床工具行业固定 资产投资及其资金来源分析

中国机床工具工业协会市场部 于思远

前言：根据国家统计局的数据，现将 2009 年上半年我国机床工具行业固定资产投资情况和资金来源进行整理和分析，藉此了解当前机床工具行业固定资产投资成的巨额资金从哪里来，又到哪里去了？投资是否科学、合理？2009 年上半年机床工具行业固定资产投资快速增长，增幅超过 50%。如此高的增长速度，如果投向不当，极易造成产能过度扩张而加剧供过于求的矛盾。机床工具行业还需十分注意投资结构的调整，防止对一般加工能力的盲目投资。固定资产投资是行业发展的先行指标，分析行业固定资产投资的运行情况，对了解行业的发展趋势及企业制定投资规划具有参考价值。

国际金融危机对国民经济增长产生严重影响，使得我国机床工具行业的增速急速下滑。从 2008 年第 4 季度开始，机床工具行业的工业总产值同比增速下滑加快。进入 2009 年后，机床工具行业下滑速度更快，2009 年 2-6 月份全行业工业总产值同比增

速分别为 6.5%、5.1%、4.4%、5.5%和 5.7%，增速大幅度下降，已经降到本世纪以来最低点。同期内，我国机床工具行业完成固定资产投资同比分别增长 55.4%、49.0%、48.8%、56.9%和 55.8%，表明固定资产投资仍然处在高速增长的态势。目前，机床工具行业存在生产增长率连续下滑和固定资产投资增长率继续快速上升，出现一降一升的相反增长，产生双率背离现象，生产增长率下滑反映出国际金融危机对我国机床工具行业严重影响的现状；固定资产投资快速增长，反映出企业对机床工具行业将来发展和未来增长的信心。

从进入新世纪，机床工具行业发展较快，生产能力大幅度提高，其中原因是多方面的，但是机床工具行业的固定资产投资持续快速增长，对机床工具行业生产能力的提高起到关键作用。由于机床工具行业固定资产投资持续快速增加，也确保了机床工具行业快速增长。

个百分点。表明今年上半年外资进入在减少。另外，外资企业投资设备所进口的机床，列进口贸易方式首位。另外，加工贸易向一般贸易发展迈出了可喜的一步，上半年加工贸易出口数控机床同比下降 64.5%，份额减少 11.2 个百分点。

5. 切削工具出口首次超过金切机床

在去年国家多次调整部分产品出口退税率政策中，机床工具行业受益最大的当数切削工具行业，出口退税率普遍由 5%提高到 11%。进入 2009 年后，该政策的效力已经显现。海关数据显示，今年上半年在机床工具行业中切削工具出口同比降幅最少，为-18.6%，出口所占份额由上年同期的 17.0%上升到 21.7%，出口额以微弱优势首超金切机床，同时平均价格同比增长 17.2%，表现出良好趋势。政策的支持促进了行业的出口，在切削工具出口形势好转时，

企业还要注重出口产品的结构调整和产业升级，发展高技术含量、高附加值产品，发展具有自主知识产权的产品，加快新型刀具材料、涂层技术、多功能及专用刀具的研发，不断优化产品结构，提高国际竞争力。同时还要谨防“两高一资”产品再度扩大。

纵观全球经济形势，我国机床工具行业出口下滑幅度呈现减缓趋势，一方面是各国经济的下滑有趋稳迹象，但最主要的是我国稳定外贸增长的政策和企业自主调整的措施有了一些成效。目前外需仍不稳定，加大了我国出口的压力，企业应充分利用国家相关政策，密切关注与我国已签订自由贸易协定国家的贸易和合作，寻找新的出口增长点，在外部需求尚未根本改变时，力争保住我们的市场份额。同时，在当前经济低迷的情况下，各国都面临着国外和国内市场的双重压力，贸易保护主义有所抬头，对此，我们要树立防范意识，加强产业预警。□

1. 2009 年 1-6 月机床工具行业固定资产投资情况

2009 年 1-6 月机床工具行业的固定资产投资继续保持快速增长。从国家统计局机床工具行业固定资产投资实施情况, 看不出国际金融危机的明显影响, 但也不能确定其将来会对固定资产投资产生怎样的影响。企业制定固定资产投资规划, 都是立足于当前和着眼于未来的战略决策。大环境对其影响程度, 主要取决于决策者对客观的判断。

固定资产投资主要包括以下 5 项指标: 固定资产计划总投资、新开工项目计划总投资、累计完成固定资产投资、完成固定资产中设备购置投资以及累计新增固定资产。2009 年 1-6 月机床工具行业固定资产投资继续保持快速增长(表 1)。在投资的各项指标中, 所有 5 个主要指标的增长速度都超过 55%, 增速最快的是新增固定资产投资, 达到 140.2%, 表明前几年固定资产投资有较多项目完工投产。总之, 机床工具行业固定资产投资的增长速度远远高于全国固定资产投资的增长速度。

至于今后可能受到的影响程度需要时间来验证, 特别要关注 2009 年下半年固定资产投资的变化情况。

如果下半年仍然波动不大, 则机床工具行业固定资产投资将可能较平稳渡过金融危机的影响, 在战略上不会对机床工具行业长远持续快速发展产生大的影响。

(1) 固定资产计划总投资

2009 年 1-6 月机床工具行业固定资产计划总投资 1836.1 亿元, 同比增长 56.7%。其中, 磨料磨具行业计划投资额最大, 达到 855.1 亿元, 占全行业约 46.6%; 其增速也是最快, 达到 102.9%。增速较快的还有成形机床, 增速达到 64.4%。切削刀具和量具量仪行业, 增速都超过 40%。金切机床和木工机床属于中等, 增速都在 25%左右。铸造机械和机床附件行业较低, 都低于 15%。

近几年, 我国磨料磨具行业固定资产投资增长很快, 分析其原因主要有两个方面: 一是磨料磨具行业的部分产品是属于高能耗和高污染, 技术含量较少, 进入门槛低, 而且市场需求量和出口量都很大, 依然是投资的热点; 另一方面, 近几年磨料磨具行业中的超硬材料发展较快, 特别是人造金刚石, 被广泛用于金属加工、地质钻探、建筑等行业, 需求量不断增加, 特别是其生产设备和工艺技术问题得到解决, 因此大量投资生产人造金刚石, 出口量在不断增加。

表 1 2009 年 1-6 月机床工具行业各分行业固定资产投资情况表

序号	分行业名称	计划总投资		本年新开工项目 计划总投资		本年累计 完成固定资产		本年完成固定资产 中设备购置额		本年累计 新增固定资产	
		累计 (亿元)	同比增长 (%)	累计 (亿元)	同比增长 (%)	累计 (亿元)	同比增长 (%)	累计 (亿元)	同比增长 (%)	累计 (亿元)	同比增长 (%)
1	金切机床	264.0	25.8	67.7	-9.7	73.8	45.5	31.5	94.9	30.1	150.5
2	成形机床	138.2	64.4	48.3	133.1	40.6	37.6	19.7	86.8	15.4	117.1
3	铸造机械	174.7	10.1	54.7	0.7	67.9	25.2	28.5	26.2	29.1	109.6
4	木工机械	17.4	26.7	8.9	64.0	9.46	44.8	4.12	102.5	5.30	146.9
5	机床附件	67.6	14.7	26.8	43.1	27.5	7.5	14.2	33.8	9.56	51.3
6	切削工具	72.5	45.2	35.9	126.6	26.5	75.8	12.0	83.2	9.58	171.5
7	量具量仪	14.2	41.0	6.54	67.2	6.81	61.5	3.54	105.1	3.82	61.2
8	磨料磨具	855.1	102.9	223.1	144.6	161.5	97.7	69.8	66.3	65.2	271.2
9	其它加工机械	232.5	40.7	80.3	72.3	90.5	60.7	35.1	60.0	25.9	63.6
	行业合计	1836.1	56.7	522.2	66.5	504.6	55.8	218.6	62.8	194.0	140.2

(2) 新开工项目计划总投资

新开工项目计划投资是行业发展的先行指标,是企业对近期市场需求判断的结果,开工后没有特殊情况不会中断实施。2009年1-6月机床工具行业新开工项目计划总投资552.2亿元,同比增长66.5%,实现快速增长。其中,增长速度超过100%的有3个行业,分别是磨料磨具、成形机床和切削刀具行业,增速依次为144.6%、133.1%和126.6%。近几年,磨料磨具行业新开工项目计划投资一直增长较快,成形机床行业增速也较快,对刀具的需求量在快速增长,再加上中低档刀具出口量很大,因此切削刀具新开工计划投资项目急速增加,这与固定资产计划总投资的增长基本一致。量具量仪和木工机床行业增速也较快,分别为67.2%和64.0%。但是金切机床行业为负增长,-9.7%,表明金切机床行业由于受金融危机的影响较大,采取推迟开工的观望态度。铸造机械行业基本与2008年持平,增速为0.7%。

总之,从新开工项目计划投资的增长情况,可以看出机床工具行业各分行业,受此次国际金融危机影响的不同程度。

(3) 完成固定资产投资

完成固定资产投资是投资中最重要的指标,属于国家社会固定资产投资的一部分,代表行业固定资产投资的总体水平。2009年1-6月机床工具行业累计完成固定资产投资504.6亿元,同比增长55.8%,比上半年全国固定资产投资增长速度高出22.3个百分点,实现较高增长。这种快速增长主要源于企业都抓紧完成了在建项目并尽快投产。在全行业完成固定资产投资中,同比增长最快的仍然是磨料磨具行业,同比增速达到97.7%。其次是切削刀具和量具量仪行业,增速都超过60%。金切机床和木工机床行业同比增速分都在45%左右,机床附件行业增速较慢,增速只有7.5%。

(4) 完成固定资产投资中设备购置

在2009年1-6月机床工具行业完成固定资产投资中用于设备购置金额为218.6亿元,同比增长62.8%,占全年完成固定资产投资金额的43.3%。用于购买设备金额的增速比完成固定资产投资高7个百分点,表明在机床工具行业的固定资产投资中,购买设备投资的比重在增加,土建投资比重相对在减少,也可能与购买高档设备增加有关。在设备购置投资中,量具量仪和木工机床行业的增速都超过100%,实现了翻倍增长。金切机床和成型机床用于购

买设备投资的增速也很快,同比增速分别达到94.9%和86.8%。机床附件和铸造机械行业的增速也分别达到33.8%和26.2%。表明机床工具行业各分行业在固定资产投资中,更加重视增加购买设备资金的比重。

(5) 新增固定资产

2009年1-6月机床工具行业新增固定资产194.0亿元,同比增长140.2%,实现了超高速增长,主要是完成固定资产投资在大量增加,相继计入新增固定资产的缘故,表明机床工具行业的产能在快速扩大。在全行业新增固定资产投资中,增速最快的依然是磨料磨具行业,同比增速达到271.2%,可以说达到过热的程度。增速翻倍及以上的有5个分行业,分别是切削工具、金切机床、木工机床、成型机床和铸造机械行业,同比增长分别为171.5%、150.5%、146.9%、117.1%和109.6%。即便是增速较慢的量具量仪和机床附件行业,其同比增速也分别达到61.2%和51.3%的较高速度。总体来看,2009年1-6月机床工具行业新增固定资产普遍达到超高速增长,即便是在没有国际金融危机的时期,也很少出现这种现象。

2. 2009年1-6月机床工具行业固定资产投资的综合分析

固定资产投资是行业发展的先行指标,固定资产投资的增长速度反映了企业对行业中长期发展的判断。在国际金融危机的严重影响下,机床工具行业固定资产投资持续较快增长,分析其原因主要有以下几个方面:

(1) 我国机床工具工业连续多年快速增长,市场需求快速扩大,发展前景看好。特别是国产高档数控机床的市场满足度不高,有很大发展空间,行业内企业纷纷加大投资力度来扩大产能,调整产品结构和提高产品技术水平。虽然受到国际金融危机的严重影响,但是固定资产投资很难做到紧急刹车,惯性作用将继续向前冲击一段时间(滞后),因而形成生产增长速率急速下降而固定资产投资增长率继续较快增长的双率背离现象。

(2) 在国际金融危机的影响下,我国出口大幅度下降,为保增长国家大大提高了固定资产投资的增长幅。国家保持多年的固定资产投资25%左右的增速被打破,到2009年6月,国家社会固定资产投资的增长达到33.5%,创多年来增速新高,大大拉动了国内市场需求。这在很大程度上拉动了机床工具产品的需求,形成了对国产机床产品市场需求逐渐

增加的局面,因此机床工具行业固定资产投资仍保持持续增长也属正常。

(3) 国家经济规模的扩大,加快了产业结构调整,促进资源配置加快流动。其他行业(非机床行业)看好机床市场,纷纷投资生产机床行业产品,或投资控股机床工具行业企业。如海天、新瑞、天马、通用等投资进入机床行业。虽然近期受国际金融危机影响,国际资金对中国机床行业的投资减少,但是他们依然看好中国机床市场。

(4) 国家对装备制造业的重视和对机床行业的大力支持,特别是“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项和“调整和振兴装备制造业发展规划”项目的实施,大大提升了企业对机床工具行业投资的积极性和信心。

(5) 机床工具部分小行业技术进入门槛较低,导致民营和私人企业投资较多。如普通磨料磨具、普通机床附件和普通工具等小行业,技术难度较低,投资资金较少,使民营和私人资金纷纷借此进入机床工具行业。

2009年1-6月机床工具行业固定资产投资继续快速增长,从机床工具行业发展的角度看,应当视为好事。从2009年1-6月机床工具行业固定资产投资的分析可以看出,固定资产投资的快速增长,既有促进行业快速发展的一面,也要适当考虑投资的可能风险问题。机床工具行业完成固定资产投资的增长速度远远高于国民经济的社会固定资产投资的增长速度。机床工具行业是属于基础机械和重要装备产业,超前发展是必要的,高于国民经济GDP的增长速度也属于正常。从长远看,中国经济发展将保持快速增长,机床工具行业的发展前景是乐观的,目前正步入高速增长期,固定资产投资的高速增长,产能将迅速扩张。但是不排除局部或阶段性调整和波动,如果机床产能过大,弹性应变能力和回旋余地有限的话,对机床工具行业发展的冲击将会很大。当前机床工具行业固定资产投资的增长速度,是否属于健康发展范围?是否偏热或过热?需要进一步分析和研究。今后机床工具行业固定资产投资应重视投资方向,在当前面临节能形势严峻的情况下,投资应杜绝“一低双高”,即防止低水平重复建设,杜绝高能耗和高污染项目的投资,对普通金切机床和钻头等要特别注意“一低”,普通磨料磨具行业对“双高”应引起特别重视。所有行业找准市场定位,增强对高精、高速、多轴联动、复合等高档数控机床及关键功能部件的开发和其产业化的投资。

上述分析主要是以国家统计局统计数据为依据,对于我国机床工具行业固定资产投资增长速度如此之快的原因,很难得出确切的结论。最近中国机床工具工业协会组织进行2009年度机床工具行业调研,了解部分机床工具企业在国际金融危机影响下企业的技术改造投资情况,结果与国家统计局数据分析情况基本相符。

3. 2009年1-6月机床工具行业固定资产投资资金来源情况分析

在国际金融危机严重影响下,机床工具行业固定资产投资继续保持快速增长,如此多的投资从何而来,受到很多关注。现将2009年1-6月机床工具行业固定资产投资资金来源进行简单分析。截止到2009年6月机床工具行业固定资产投资来源累计共580.5亿元,同比增长60.7%,其中:上年末结余投资资金22.1亿元,同比增长57.3%;本年度投资资金来源558.4亿元,同比增长60.8%。

(1) 2009年1-6月固定资产投资资金来源情况

2009年1-6月机床工具行业固定资产投资资金主要来自5个方面。

国家预算内资金:今年前6个月机床工具行业来自国家预算内资金很少,累计只有约0.97亿元,同比增长52.5%。只占今年全部资金来源约0.17%。

国内银行贷款:今年前6个月机床工具行业从银行贷款共约47.2亿元,同比增长106.9%。占今年全部资金来源约8.5%。

利用外资:今年前6个月机床工具行业共利用外资约18.5亿元,同比增长-18.0%(即同比下降18.0%),占今年全部资金来源约3.3%。其中外商直接投资约11.2亿元,同比增长-35.7%(即下降35.7%),占今年全部资金来源约2.0%,所占比重已经很小,也是近几年来利用外资的最低点。

企业自筹资金:今年前6个月机床工具行业共自筹资金约471.6亿元,同比增长60.6%,占今年全部资金来源约84.5%,这是固定资产投资的主要来源。

其他资金来源:今年前6个月机床工具行业从其他渠道来源的资金约19.7亿元,同比增长154.7%,占今年全部资金来源约3.5%。

2009年1-6月机床工具行业从债券方面只得到0.5亿元的投资资金。

(2) 固定资产投资资金来源分析

我国机床工具行业固定资产投资资金来源,大

体上可分为三个方面。

国家支持。主要是国家预算内资金和银行贷款。从 2009 年 1—6 月固定资产投资资金来源的情况可以看出,从国家预算内得到的投资金额在整个固定资产投资中所占比重很小,但是增长幅度有较大增加。同时,国内银行贷款所占的比重也不大,只有不足 9%,但是其增长幅度达到 106.9%,比 2008 年翻了一番多。表明在国际金融危机的影响下,国家提出“扩内需、保增长、调结构”,实施积极的财政政策和适度宽松的货币政策,增加 4 万亿投资,出台多项调整和振兴规划等一系列利好政策措施已显现效果。国家扩大了投资力度,在国家预算内资金和国内银行贷款等方面增长幅度都很大,增强了企业对行业经济复苏的信心,提高了固定资产投资增长速度。

企业自筹资金。从 2009 年 1-6 月固定资产投资资金来源的情况看,企业自筹资金在整个固定资产投资中所占比重达到 82.0%,表明机床工具行业固定资产投资的资金主要来源是企业自筹资金,企业是固定资产投资的主体。机床工具行业完全是以经济为主的产业,市场竞争异常激烈,企业的技术改造和发展投入主要靠企业自有资金,国家的资金支持和优惠贷款只是导向性的,企业资金的投入最终还是要以企业自身经济效益的提高为基础,而且企业的投资方向是以市场为导向。

利用外资。受国际金融危机的影响,我国利用外资投资大幅度下降,今年前6个月机床工具行业利用外资是负增长,同比下降了18.0%,外商直接投资同比下降了35.7%。本来机床工具行业利用外资所占的比重就不大,外商直接投资的大幅度下降,表明金融危机对国际资金的严重影响。虽然外资继续看好中国经济的发展,但是对中国的投资也采取观望和谨慎的态度。

经济发展规律表明，当经济下滑时为结构调整和产业升级提供了机遇。机床工具行业应对金融危机，增加投资来推动机床工具行业继续较快发展，既要立足当前保持平稳增长，又要从战略和长远规划出发，加快结构调整和发展方式的转变。从目前看，国家出台相关应对措施已见成效，中国经济已处于复苏期，逐渐得到大部分人的认同，社会各方面对我国全年“保8”信心较大。机床工具行业滞后整个国民经济半年左右，预测机床工具行业下半年应止跌回升，虽然出口仍然严峻，但整个市场环境趋好，市场需求逐步回升将是结构性的，目前正在向好的转变中，三季度可能处在继续复苏的过程之

中，四季度经济运行情况会更好些，预测机床工具行业全年将高于国民经济 GDP 增长速度（8%）。□

● 业界动态 ●

2009 年 SKF 技术日在天津举行

2009 年 SKF 技术日于 2009 年 9 月 14 日在新近成立的 SKF 工业解决方案工厂（天津）举行。本次技术日主题仍延续了“可持续发展”，专注于 SKF 集团在风能、铁路、机电一体化和通过工业解决方案提供的最新的技术、产品和服务。



SKF 集团总裁兼首席执行官汤姆·强斯顿先生和 SKF 中国总裁马格森先生分别介绍了 SKF 集团和中国业务的最新发展。据悉, SKF 集团 2009 年前 3 季度在销售下降 29% 的情况下, 利润仍保持了 6% 的增长, 这主要得益于亚太地区和拉美地区良好的业务表现。SKF 进入中国以来, 业务快速稳定发展, 平均年增长率保持在 29% 左右。在全球金融危机环境下, SKF 在中国的业务也受到极大影响, 但其在中国的优势领域——能源、铁路、重工业在中国政府 4 万亿拉动内需经济刺激政策的带动下, 保持良好的发展势头, SKF 中国的业务也因此受益匪浅。

SKF 中国和技术日活动中，还就风能、机电一体化、工业解决方案工厂、汽车、铁路等专题进行了交流和讨论。

自 2005 年以来, SKF 中国技术日已先后举行了 4 届, 本次技术日活动选择在天津的 SKF 工业解决方案工厂召开, 就是为了更好地展示 SKF 工业解决方案工厂在整合 SKF 五大平台 (轴承及轴承单元、密封件、机电一体化、服务和润滑系统) 的技术能力。SKF 工业解决方案工厂 (天津) 目前提供的服务包括轴承修复、机床主轴维修、PSD (轴承改制和特殊产品)、远程诊断和培训等, 并将陆续向定制密封解决方案、齿轮箱维修以及润滑系统油站装配等方面拓展。

北京第一机床厂立志成为具有 全球竞争力的机床制造与服务供应商

在中国，60周年庆贺是一个非常重要的事情。因为按照传统历法，60年一个循环。60周年意味着一个崭新的开始。

2009年6月30日，北京第一机床厂在顺义新厂举行了盛大的庆祝仪式，庆贺建厂60周年。北京市副市长苟仲文、德意志联邦共和国大使馆公使柯殷等领导出席庆典并致贺词。北京市第十届人大常委会主任张建民；原北京市委常委、组织部长赵家祺；北京市第十二届人大常委会副主任索连生；原国家机械工业部副部长，中国银行副董事长、副行长孙昌基；中共中央纪律检查委员会机关事务管理局局长胡新元；中国机械工业联合会执行副会长赵驰；中国机床工具协会总干事长吴柏林；北京京城机电控股有限责任公司董事长李济生；北京京城机电控股有限责任公司党委书记、总经理任亚光，还有中央有关部委、北京市有关委办局、区县的领导，以及北京第一机床厂的老领导、老职工和社会各界的朋友1000多人参加庆典，共贺北京第一机床厂的60华诞。

北京第一机床厂厂长崔志成成为“北一”60华诞庆典致词，满怀激情地回顾了“北一”建厂60年来不平凡的经历和所取得的丰硕成果。

崔志成厂长回顾“北一”60年不平凡的发展之路，经历了从无到有、从小到大、从弱到强的“裂变”。北一从诞生之日起，就处于我国机床工业的最前沿阵地，勇敢地承担起振兴和发展中国机床工业的光荣历史重任，如今已成为我国机床制造业的主力军，成为影响中国乃至世界机床工业战略格局和供求平衡不可或缺的一支重要力量。60年来，“北一”自行设计、制造机床有500多个品种，产量达10万多台，产品享誉海内外，销往全国各地，并远销世界50多个国家和地区，为航空航天、工程机械、大型船舶、电力设备、汽车行业、铁路建设等行业的发展提供优质装备，为国民经济发展作出了重要的贡献。

北一从1949年建厂初期只能生产水车、灭火器等简单的机械和零件开始，经历了从1958年到1965

年的初步发展时期，1966年到1980年计划经济时期，1981年到2000年的向市场经济转型时期，及从2000年开始的搬迁调整的快速发展新时期。60年来北一经过艰苦努力，不断完善改进产品性能质量，开发适应市场需求的新产品，奠定和巩固了北一在国内机床行业的地位。特别从2000年开始，北一加快了搬迁新建改革改制的步伐，企业得到蓬勃健康快速发展，近几年实现了产业水平的升级。企业先后与日本大隈、日本圣和、法国菲莫尔康等国际知名公司合资，设计制造各类数控机床、精密功能部件、刀具、刀柄和各类装配生产线等，使产品在高速度、高精度、可靠性和宜人性等方面都达到国际当代水平。2005年北一全资收购了德国瓦德里希·科堡公司，及时跟踪消化吸收世界先进制造技术，这不仅巩固了北一在重型、超重型龙门数控机床在国内市场领先的优势地位，为参与更高水平、更高层次的世界机床市场的竞争打下了坚实基础，同时也给企业带来了巨大的经济效益。北一的国际化之路，不仅给企业带来了新产品、新技术、新工艺、新效益，而且使企业快速跨越数控机床发展的初级阶段，用最短的时间，缩小与世界先进水平的差距，直接与世界先进机床企业接轨，实现了机床工业产业升级，并成为世界性的知名机床企业，实现了历史性的跨越。

“北一”很好地抓住企业整体搬迁的机遇，不仅确立了北一发展的准确定位，还在企业内部进行一系列卓有成效的改革，进行了整个工艺流程的再造。有效地进行了资源的重组和整合，相继建立了以北京顺义林河数控机床产业基地为核心，高碑店毛坯制造、良乡零部件和整机制造、通州整机制造四大基地；实施产品换代升级，实现当代数控机床批量生产；提升工艺手段，实现产品制造现代化；改变产业结构，实现“两头在内、中间在外”专业分工的总公司、子公司产业结构；缩短了工艺链和生产链，改变了生产环境，实现厂房、工艺装备和生产环境现代化，建立了计算机网络，实现了现代化管理。对生产模式和组织方式进行了变革，缩短了工

艺链、组织链、资金链，降低了成本，提高了企业的经济效益。这次成功的搬迁是北一发展历史上一个重大的转折点，它极大地提升了企业的总体实力，加快了创新步伐，使北一朝着现代化企业迅速迈进。

实现了体制、机制和组织创新。以盘活存量资产、有效整合资源、按照专业化生产的原则，先后组建成立了子公司、事业部、制造部；按照主辅剥离的原则，实现了生产后勤和生活后勤的全部社会化；按照精干高效的原则，进行了部门整合和人员精化。

实现了经济指标的历史性突破。面对当前席卷全球的金融危机，北一审时度势，沉着应对，在深入市场调研、优化产品结构、开发需求产品、整改产品质量、提高企业管理等方面做出一系列部署，特别是在国家投入4万亿巨资拉动内需政策出台后，努力把加快发展方式转变和结构调整作为保增长的重点，通过结构调整，创造新的经济增长点和新的竞争优势，取得了瞩目成绩，各项经济指标的稳步增长，凸显了北一在国内机床行业地位，显现了企业良好发展态势。

60年的积淀与发展，为“北一”这个与共和国

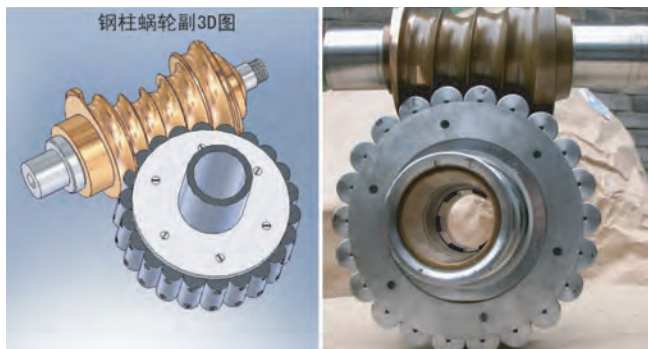
同龄的“老国企”注入了新的活力！搬迁后的北一，以一个全新的现代化的企业形象展现在世人面前。企业规模迅速扩大，国际化之路成效显著，经济效益连创历史新高，特别是“十一五”期间，新北一得到了迅猛发展。在机械工业重点联系企业主要经济效益综合指数整体排名中，由“十五”期间的第86名跃升至今年的第6名；经济效益名列国内金切机床行业榜首。2008年，销售收入是“十五”末期的4.5倍；利润是“十五”末期的9倍；职工人均销售收入从2000年的5.5万元提高到2008年的75.7万元。

这一组组数字见证了北一改革发展的成功实践，凝聚着北一人的智慧和汗水。

60年来的成绩和胜利没有让“北一”陶醉，60年来遇到的困难和挑战更加激发了“北一”的斗志，60年只是“北一”发展壮大征途中的一个新起点。面对未来，“北一”人满怀信心，继续传承“制造精良，追求卓越”的企业精神，以“成为具有全球竞争力的机床制造与服务供应商”为目标，以更加积极的姿态，更加开阔的视野、更加宏大的气魄、更加扎实的作风，实现北一新的更大的跨越！□

• 业界动态 •

重庆机床核心技术再获国家发明专利



日前，国家知识产权局审查通过了重庆机床集团申请的“高精度钢柱蜗轮—弧面蜗杆副”国家发明专利，专利号：ZL200710078249.4，证书号：459267，这是继公司“高精度弧面蜗杆——球面蜗轮副的加工方法”国家发明专利又一齐名国际先进水平的核心技术。

重庆机床集团自1953年研制出我国第一台滚齿机Y37开始，长期致力于高精度蜗轮副传动元件的研发。经过重机几代人的不懈努力，公司经历了高

精度圆柱蜗轮副、高精度弧面蜗杆——球面蜗轮副、高精度钢柱蜗轮——弧面蜗杆副的持续自主创新研制过程。

为了保证具有超高的精度水平，重庆机床集团的蜗轮副制造在严格控制“钢——铜”配合的材料选用，并保证加工出高精度传动元件的基础上，公司还拥有一套独特的制造工艺方法（也就是KNOW HOW），先后有 $\varphi 900$ mm高精度圆柱蜗杆蜗轮副及球面分度蜗轮副1985年获国家科技进步一等奖；高精度弧面蜗杆——球面蜗轮副的加工方法1997年获得国家发明专利；高精度钢柱蜗轮——弧面蜗杆副获得2009年获得国家发明专利授权丰硕成果，从而使公司研制出的蜗轮副长期到达国际先进水平。

作为主机制造企业，重庆机床集团还摸索出了滚齿机加工精度的75%以上取决于工作台分度蜗轮副精度的宝贵经验。凭借独有的高精度蜗轮副研发技术，公司制造出的滚齿机精度储备通常高出国内同行1~2级，长期遥居国内领先水平。□

四川长征机床加强技术创新能力建设

四川长征机床集团有限公司

建设自主创新平台

四川长征机床集团始终不渝地把科技创新作为企业持续发展的龙头和基础，高度重视企业科技创新平台建设。

(1) 创新机制建设

建立有效的企业技术创新机制是提高企业创新能力的保证。长期以来，长征机床着力于企业技术创新体系的建设。特别是通过省级企业技术中心的建设和创建国家级企业技术中心，技术中心的机构设置、各项管理制度不断完善，产学研合作、国际技术合作不断增强，同时引进和培养了一大批产品开发、研究的技术人才，形成了由创新动力机制、激励机制、约束机制、运行机制和支撑机制有机构成的完善的技术创新体系。

经过省级技术中心的运行及国家级技术中心的前期建设工作，有力地提高了技术开发能力，突破了许多机床技术瓶颈，同时也推动了公司人才队伍的建设，培养和造就了一支高素质的科研、技术管理人才队伍。公司坚持每年对技术创新性项目或科研成果给予必要物质和精神奖励，公司还积极派技术人员参加各级技术协会及行业组织的业务学习和专业学术讨论活动，从而使公司上下形成了比较好的创新氛围。

(2) 软硬件建设

近年来，四川长征机床集团投资 1000 多万元，对原技术中心大楼进行装修改造，建成了国内一流的研发大楼，购置 CAD、CAPP、EDM、三维 CAD 软件，并进行二次开发，完全实现电子出图，实现了网络化管理和数据资源共享，提高了产品开发设计能力，缩短了产品开发周期。并对公司技术文档进行统一管理、规范设计等方面取得了显著成绩。

(3) 走产学研及国际合作道路

在技术合作上，公司也进行了战略转变，通过联营式的技术创新模式，广泛开展了产、学、研合作和对外技术合作，使企业的核心竞争力不断增强。在国内，公司与四川大学、重庆大学、电子科技大

学、西南交通大学、北京机械工业学院、四川理工学院等国内高等院校的合作；在国外，与意大利 FIDIA 公司、意大利 CE.S.I 设计公司、日本 SKTD 设计公司、俄罗斯伊万诺夫重型机床厂等国际知名机床制造商、设计公司保持着长期的技术交流与合作。

自主创新成果丰硕

近年来，四川长征机床集团狠抓自主技术创新，多次承担并完成了国家、省、市重点科研及新产品开发项目，有多个项目荣获了部、省、市重大科技成果奖、科技进步奖。在此基础上，注重成果转化，对企业经济发展起到了良好推动作用。

公司经过多年的数控机床产品开发、研究、制造，形成了一系列具有自身特色的核心技术。近几年完成了近 30 项专利的申报，其中有 2 项发明专利。在致力于技术研发的同时，公司非常重视数控机床开发研究成果的转化，如公司自主开发的龙门加工中心系列、铣车复合加工中心系列、精密立式加工中心、五轴联动叶片加工中心、重型汽轮机转子轮槽专用数控铣床系列等共 8 大系列近 60 个品种，均实现了产品化，并已逐步形成批量生产。

长征机床集团还积极参加编制和审定了多项国家及行业标准，近三年内主持和参加制定了 10 项标准。

自主创新平台促进技术开发

通过自主创新平台的建设，对四川长征机床集团的技术开发起到了很大的推动作用，主要体现在以下四个方面：

(1) 开发能力

从 2001 年起，公司加大了数控产品开发力度，开发的产品品种不断增加。由原先只能设计、生产数控立式铣床及立式加工中心，发展到能自主开发设计重型铣车复合加工中心、五坐标联动叶片加工中心、五坐标联动横梁移动龙门加工中心、龙门框

架移动龙门加工中心、卧式加工中心、核电风电专用加工设备系列、功能头系列等。

(2) 开发水平

所开发的新产品均通过省新产品成果鉴定，大部份获省、市科学技术进步奖和优秀新产品奖、机床展览会“春燕奖”。其中，通过自主创新研制出的重型铣车复合加工中心达到国际同类产品先进水平，获 2008 年四川省科技进步一等奖，这是近 20 年来四川省唯一获此殊荣的机床类产品；GMC2000 横梁移动龙门加工中心达到同类产品国际先进水平，获四川省科技进步二等奖，广泛用于国内重点行业，并出口欧美发达国家；核电轮槽铣专机填补国内空白，替代进口；五轴联动叶片加工中心形成系列，达到国际同类产品先进水平。

(3) 开发速度

由于设计手段的改进提升，信息化网络建设，设计资源共享，使得产品的设计开发速度得到迅速提高。从原来设计周期半年，缩短到 2~3 个月。

(4) 开发成本

由于采用了 CAD 及 CAE 设计软件，现在在产品的开发设计阶段就可以对设计方案进行验证、对产品装配过程进行模拟，因此，可以大大地提高设计质量，减少零部件在制造过程中的返修和报废率，使新产品开发成本比原来有较大幅度减低，另外通过加强设计的模块化、通用化、标准化，从设计源头就有利于降低产品成本。

继续加强技术创新平台建设

四川长征机床集团规划通过申报国家级企业技术中心，进一步建设技术创新平台和完善技术创新体系。在现有机构基础上，新组建三个研究所：核心共性技术研究所，意大利设计研究所，汽车模具、航空零件、叶片、曲轴等复杂零件加工工艺应用研究所；建立一站一室：国家级博士后科研工作站及国家级机床重点实验室。

通过国家级技术中心的创建，进一步调整内部组织机构，完善、规范测试技术研究所、长征机床北京设计所、四川省博士后科研工作站、人工智能四川省重点实验室的建设。组建核心共性技术研究所、铸件及相关材料实验室、数控机床应用及高速多轴机床应用研究所。

在欧美日等机床技术先进的国家建立国外长征

机床设计所，组建成立国家级博士后科研工作站及国家级机床重点实验室。

公司希望最后能建成一个国内一流、国际知名高速高精度多轴控制机床应用研究所，并最终形成国内一流、国际知名的机床专业设计中心，不仅为长征公司设计开发新产品，同时承担国内外机床企业所需要的机床设计。

结语

以“追求精密，掌握多轴与复合，突破极限制造技术”为指导思想，以发展“高档、重型数控机床”为产品发展目标，通过走开放式的自主创新道路，四川长征机床集团将重点开发出具有国际高水平的具有自身特色的重型、高档数控机床；进一步优化提升现有数控产品，全面提升现有数控机床的主轴转速、机床精度、速度、高可靠性及外观质量，满足国家重点行业 and 不同层次的市场需要。□

业界动态

汉川机床高档数控镗铣加工中心 受市场青睐

汉川机床集团今年以来积极应对金融危机，瞄准国际一流水平，大力开发大型、精密、高档数控机床，努力提升产品档次，抢占机床高端市场。近日，该公司研制的大型刨台式数控镗铣加工中心 HPB (C) 1320 系列新产品各项精度和性能指标均达到国际先进水平，吸引了多家厂商前来洽谈订购。



信息化与工业化融合之路

陈宗舜

机床行业计算机应用技术专家委员会

十七大报告中指出：必须坚持用科学发展观全面协调可持续发展，实现未来经济发展目标，关键要在加快转变经济发展方式，提高自主创新能力，大力推进信息化与工业化融合……怎样落实十七大精神，大力推进信息化与工业化融合，谈点想法。

1. 信息技术必需与先进制造（适用）技术相结合

这是落实大力推进信息化与工业化融合的重要思路，信息技术是现代科学技术的结晶之一，它以信息论、信息科学为基础，充分应用信息技术的工具——计算机、网络、通信技术，解决人类发展中的各种问题，它具有明确的创新性、渗透性、带动性与倍增性，但是它代替不了世界上各行各业经过人类长期研究、开发利用的各项专业技术。现代制造技术发展有几百年的历史，不但积累了丰富的经验，而且还在不断地发展，而并非某些人认为的制造业是“夕阳工业”，这已被近几年来世界及我国历史发展所证实。所以要使信息技术在制造中发挥它的创新性、渗透性、带动性、倍增性，必需与制造技术相结合，只有根据先进适用制造技术的发展，应用信息技术来解决在发展过程中的问题。所以企业信息化必需走信息技术与先进适用制造、管理技术相结合的道路。举二个简单的例子说明，计算机图形学解决CAD绘图、设计的基础，我国目前的“放下图板”就是应用了这一技术，但图纸如何设计好、在结构上先进、合理，既能达到一定的功能，又便于制造，这是机械设计技术，所以CAD技术要发挥作用，必需与产品设计技术相结合。再如“财务电算化”解决了会计人员的记账、算账，但解决不了企业如何去控制成本，降低成本，加速资金周转，合理利用资金，这是企业财务、会计技术，只有把计算机技术与这些专业技术相结合，才能发挥信息技术的作用。

2. 优化信息流

在企业生产过程中存在信息流、物料流、资金流、人力流……等等，这是客观存在。这几个流是怎样形成的，我们只要做简单的分析：企业生产过程中的人力安排、资金分配、物料流动是根据什么发生的？当然根据市场需求（合同）、产品开发、生产计划……逐步展开，只有把用户需求变为设计图纸，根据图纸制定工艺路线、工艺规程、材料定额……计划部门才能安排生产，采购部门采购物料，制造部门组织人力加工、装配……这就是制造的信息流。所以制造业的信息流是从市场需求与产品设计、工艺设计开始的，生产计划、采购计划、加工计划，及其资金分配等等都是按产品设计与工艺设计的信息进行的。要想使企业的物料流、资金流、人力流优化，合理利用，发挥更大的效益，首先必需优化信息源的信息流，前面信息流的优化，后面的信息流才能优化，才能使物料流、资金流、人力流优化。这一简单的分析，说明在企业信息化过程中必需首先优化信息流，只有按客观存在的实际去开展信息化，才能取得最佳效果。在这里我们也说明一下：有人问，为什么国外企业的信息化也没有完全按这一规律，到现在为止，CAD、ERP、PDM软件产品都是在独立推销应用？这是因为信息技术发展的历史与应用的历史造成的，在上个世纪信息技术的支撑技术——计算机技术、数据库技术、网络技术到八十年代初还不可能象目前这样能支持从CAD/CAPP/PDM/ERP的集成运行的条件，所以当时各专业发展、应用不可能那么理想，只能走各自发展的道路。到20世纪80年代中期，才有可能按集成的要求进行应用，所以提出了CIMS的概念，要求应用软件都要有接口，PDM就是这样产生的。但是软件的更新有一个过程，所以有些软件还跟不上需求的发展，这就

是国外制造业过去应用信息技术不可能完全合理的道理，但是目前完全有可能按客观规律开展工作，不能再走原来老路，首先必需优化信息源的信息流，才能优化物料流。企业信息化的过程不仅是ERP，应当是CAD/CAPP/PDM/ERP/CAM…。

3. 切忌急于求成

从2001年原国家经贸委发布的我国企业信息化全国调查报告,2003年中国机械工业联合会对166家机械制造企业调查，到2007年8月信息产业部《e》制造杂志期的调查，进入21世纪以来，我国装备制造业信息化发展处于停顿状态。CAD软件只能解决绘图问题，PDM只能解决图纸档案管理，CAPP被人们称为“甩钢笔”，只代替抄写，财务电算化只解决记账、算账，不解决成本问题，进、销、存解决不了生产计划、作业控制问题，更解决不了系统集成、数据共享。这些单项应用为什么应用得好，一是简单，二是符合急于求成的思潮，但结果是解决不了企业发展中的T、Q、C、S对产品设计、工艺设计、生产管理、成本核算等根本问题（产品成本80%决定于产品设计、工艺设计），改变不了经济发展方式。要解决企业信息化在市场经济条件下的T、Q、C、S问题，必须实事求是的分析，下表企业信息化解决市场经济条件下的T、Q、C、S问题总体分析。

如果真的要全面解决T、Q、C、S问题，原来实施单项应用必须改造，有的还要返工，在目前来说，这些没有系统思想指导下的单项应用，没有促进企业信息化，成了企业信息化的歧途。

4. 企业设计、工艺、生产管理工作的标准化与规范化

在企业信息化调查中，目前大多数企业对企业信息化（数字化）基本内容有所了解，但只停流在初级阶段，认为企业使用CAD进行产品设计，使用CAPP进行工艺设计,有的还使用部门级PDM进行图档、流程管理，就已经达到企业信息化（数字化）要求，其实与全面达到企业信息化（数字化）要求，还有很大差距，目前大多数企业CAD/CAPP/PDM都是孤岛或部门级的，没有考虑企业系统集成，CAD与CAPP输出数图纸、工艺文件的标准化与规范化程度很差，也没有达到全面数字化的要求，更达不到企业系统集成的要求，如果要想实现系统集成，CAD/CAPP输出图纸、工艺文件必须达到全面标准化、数字化的要求，原来存入计算机的图纸、工艺文件必须返工，造成极大时间、人力的浪费，成了企业信息集成的拦路虎，为此必须引起各企业的重视。

在总结企业资源计划应用经验所提出“三分技术，七分管理,十二分数据”，说明了数据的重要性，这已被大家所认识，所以前一段提出实施企业资源

项目	项目名称	项目内容	解决方法源头	ERP/CRM/SCM解决方法
1	降低库存，减少库存资金。	控制原材料、外购件品种，减少不必要库存,降低进货价。 减少自制零件品种,扩大通用零部件的使命。	CAD/CAPP控制原材料、外购件品种，开展系列、通用、模块化设计，建立通用零部件库，扩大使用。	按需生产、订货，控制库存，比价采购。
2	提高生产效率。	扩大通用零件数量，使用NC机床，可提高生产效率、提高产品质量，减少废品。	按成组技术、模块化技术，使用CAD/PDM/CAPP扩大通用件应用；优化、标准化设计，采用CAM。	组织零部件专业化生产，合理组织批量，充分利用设备能力。
3	加速资金周转，减少流动资金。	缩短生产周期，包括设计周期工艺周期。	CAD/CAPP/PDM应用先进制造技术，缩短设计周期，简化产品结构。	缩短生产、采购周期。
4	降低成本。	产品成本80%决定于产品与工艺设计，优化产品与工艺设计，控制制造成本，采购成本。	CAD/CAPP/PDM优化产品与工艺设计，开展VE，目标成本控制。	成本控制、成本核算、成本分析。
5	按时交货。	准时生产，不停工待料。	CAPP提供详细装配BOM与准确的工时定额。	按需生产。
6	决策科学。	以数据为依据决策科学、及时、可靠。	CAD/CAPP/PDM快速反应提供产品、技术信息。	市场、客户、供应商信息快速分析。

计划,要求输入企业资源计划系统数据要标准化与规范化,很多企业、软件供应商都把从实施企业资源规划开始要求输入数据的标准化与规范化。这成了制造业信息化的难点,被说成是企业信息化,计算机可以买,软件可以买,但数据无法买。但仔细分析输入数据从哪里来的,为什么达不到标准化与规范化?达不到企业资源计划运行要求?怎样才能使输入数据的标准化与规范化?研究结论是:产生这些数据的企业设计、工艺及生产管理工作的不标准化与不规范化,所以其产生这些数据也就不标准化与不规范化了。这在人工管理中这是允许的,是有人在工作中转换了数据的不同表达方式,符合自己工序工作的需求,一旦其中后序工作要使用计算机,也就必须有人转换数据,使其达到计算机系统运行的要求。这里提出转换了数据,要转换数据,首先必须制定标准,解决什么样的数据才能被计算机系统接受?二是怎样转换?这两个问题不解决,或解决得不好,都将不可能把企业资源计划实施好。为了解决第一个问题,提出制定标准,因为目前使用是数字计算机,所以提出输入数据代码化,制定事物的编码标准,这是非常正确的,原机械部尤其是机床行业在1986~1991其间制订了行业编码标准体系与一系列编码标准。怎样解决第二问题“怎样转换?”这一问题始终没有引起人们注意,只是用人工输入的方法,把企业设计、工艺信息用人工按制订编码标准输入到计算机中,目前几乎所有企业都是

如此,即使被称为实施“863”项目也基本如此。要真正解决第二问题“怎样转换?”必须从企业设计、工艺、生产管理工作符合企业信息化的标准化与规范化工作做起,使其输出的图纸,工艺达到整个企业信息化、数字化要求,这就是说从CAD开始,就得贯彻一系列有关企业信息化的标准,使输出的图纸、文件的信息,数据达到企业信息化的标准要求。不但信息、数据要达到后面企业各项工作计算机系统的可读性,而且能被后面企业各项工作计算机系统所读取、处理。CAPP不但能读取信息、数据,而且也要使自己输出信息、数据能为后面企业各项工作计算机系统的读取与处理(目前CAD/CAPP/PDM系统基本达不到,必须进行改造)。企业资源计划不但能读取CAD/CAPP信息、数据,而且也要使自己输出信息、数据为其他系统可读、可取。要达到这一要求,必须使企业设计、工艺、生产管理工作符合企业信息化的数字化、标准化与规范化。这是一个企业工作全面信息化的改造,一切不符合的数字化信息化的规章制度、人工管理时的标准、规范都必须改造。

5. 结语

科学是实事求是的,实践是检验真理的标准,信息化必须与工业化融合,才能达到目的。信息化与工业化融合是有的放矢,用信息化的矢,达到工业化的的。□

● 业界动态 ●

中国国际装备制造业博览会在沈阳举办

第八届中国国际装备制造业博览会于2009年9月1~5日在沈阳(国际)会展中心举行。展会以“高新技术与装备制造”为主题,来自世界16个国家和地区的598家企业参展,展出了数控机床及功能部件、工业自动化仪器仪表、动力传动与控制技术、通用设备与专用设备工程机械和其他大型设备。其中国内企业491家,境外和外商投资企业107家。

展会期间,举办了特变电工东北输变电科技产业园落成揭牌仪式、国际输变电节能技术论坛、2009中国国际装备制造业信息化高峰论坛暨中国国际装备制造业CIO峰会、沈阳铁西现代建筑产业论坛,还将对参展展品进行评奖并举办颁奖仪式。一些装备制造业企业也围绕装备制造业市场、信息、技术等举办产品定货、信息交流、技术说明、项目

推介等活动。

中国辽宁省及沈阳市的装备制造业经过建国60年的发展,取得了令人瞩目的成就,形成了门类齐全、具备较高水平的产业体系。2006年,《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》开始贯彻实施。今年,国务院又制定了《装备制造业调整和振兴规划实施细则》,通过了《关于进一步时东北等地区老工业基地振兴战略的若干意见》,为东北老工业基地加速振兴和装备制造业的进一步发展提供了有利的政策支持,这为办好制博会提供了广阔的发展空间和难得的历史机遇,将促进产品贸易和经济技术合作日趋活跃,也为参加制博会的国内外参展商和采购商带来巨大的经贸合作商机。□

自动铺带机/铺丝机 (ATL/AFP) ——现代大型飞机制造的关键设备 (中)

The ATL/AFP –The key Machine for Manufacturing of Modern Large Airplane (B)

北京航空制造工程研究所 研究员 林胜

5 ATL/AFP 工业应用现状

5.1 ATL/AFP 机床优点

工业实践已表明,应用现代大型飞机制造关键设备 ATL/AFP 机床层铺生产复材构件,和传统人工/半自动人工层铺复材构件工艺相比具有许多显著优点。

(1) 减少人工层铺劳动量

使用 ATL/AFP 机床自动层铺技术,自动化水平大大提高,尽管仍然需要少许人工层铺操作,但和传统人工层铺工艺相比可减少传统人工层铺劳动量(人时)40%~90%。

(2) 高铺放生产率

目前,作为测量 ATL/AFP 机床铺放生产率的高低是以每小时铺放复材公斤数来评测的。ATL 铺放生产率和被铺放的零件大小有关,大型平板类复材构件可使用宽规格带料,层铺路径长,铺放生产率较高。

一般地说,人工铺放生产率平均 0.5~1.2kg/h。目前,ATL 铺放生产率平均达 10~20kg/h,CTLM 最高可达 20~30kg/h,FTLM 最高可达 30~40kg/h;AFP 铺放生产率平均可达 10~30kg/h,比人工铺放提高 5~20 倍。

(3) 高材料利用率

人工层铺带料复材浪费率为 25%~30%。使用 ATL 机床复材浪费率仅 3%~10%,平均约 5%左右,材料利用率高。人工铺放纤维束浪费率相当高,可达 30%~50%。AFP 机床由于纤维束可独立铺放控

制,能根据零件轮廓形状自动适应,几乎不产生废料,复材浪费率仅 2%~7%。

(4) 减少生产成本

采用自动化层铺技术一般可降低生产成本 30%~50%以上。这主要从如下两方面来取得:

① 减少劳动力费用 以 GKN 宇航公司制造 A400M 军用运输机 23m 长复材机翼梁为例:采用树脂膜渗透成型(RFI: Resin Film Infusion)工艺,采用碳纤维带料,使用人工层铺费时 180h,劳动力费用 40 美元/h,后来使用 ATL 自动层铺费时 1.5h,劳动力费用 150 美元/h,减少了劳动力费用 95%以上。不仅有效减少生产成本,更重要的是生产效率提高了约 120 倍,制造周期显著缩短。

② 减少材料浪费 从前面讨论可看出:人工层铺复材浪费率平均要高达 30%~35%。一架 A380 飞机可能用碳纤维 35t 左右,仅翼盒复材用料就达 5.3t,正常批量生产后,年耗量需要 1000t。一架波音 787 客机可能用碳纤维 25t 左右,以年产 60 架计,则年耗量 1500t。碳纤维环氧树脂预浸料复材价格大约为 120~180 美元/kg。显然,由于复材材料的节约将使得生产成本有相当可观的减少。

(5) 提高复材构件制造精度

使用 ATL/AFP 自动层铺技术可提高复材构件制造精度。目前,使用 ATL/AFP 铺放精度一般可达 1.2~1.5mm 之内,最佳精度可达 0.76mm 以内,人工铺放一般为±3mm。

(6) 可减轻复材构件重量

使用 ATL/AFP 自动层铺技术,铺放、滚压等制造工艺过程都是由程序自动控制,重复性与一致性好,质量稳定,不仅可避免人工铺放可能发生的错误,同时在相同结构与同等强度下,和人工铺放相

比构件通常可减轻重量 10%~20%。

(7) 可铺放制造大型复杂复材构件

AFP 机床既可实现纤维缠绕功能，又可实现纤维层铺功能。同时由于每一根纤维束都可独立控制：独立地被铺放、压紧、切断和重新铺放。因此，应用 AFP 可铺放制造大型复杂复材构件。

① 便于实现纤维束在最佳角度下进行交错铺放，层迭铺，以使得零件局部增厚或加筋层铺，获得不同壁厚的零件，以确保构件重量的最小化。

② 通过程序设计控制不同纤维束铺放开/关/切割，可实现诸如窗户、门、舱口等复杂开启装置构件成型制造。

③ 纤维束自动铺放将可不受自然路径 (Natural Path) 轨迹限制，铺放自由度大，可实现连续平滑移动变化 (Fiber Steer)，适合于大曲率复材构件成型制造。

④ 可生产网状结构的精边。这种方式可以优化结构集成度、降低 35% 的材料的浪费、减少后续加工需求及手工操作。

⑤ 应用 AFP 既可铺放制造大型复杂复材构件，也可铺放制造简单平板类复材构件，起到 ATL 机床功能作用。

(8) 提高设备自动化来提升生产率，加强了制造过程的可控制性，因此构件制造质量容易控制。

(9) 应用 ATL/AFP 自动层铺复材构件生产流程路径通常可大为缩短，因而生产占地空间减少。

(10) 促进数字化复材结构件设计制造技术发展与应用。

5.2 工业应用中的 ATL 机床

ATL 设备自 20 世纪 60 年代中诞生以来，经历数 10 年持续不断发展，至 20 世纪 90 年代末，ATL 机床结构、层铺工艺、铺层控制、编程及其使用的复材范围等都得到了长足进展，ATL 机床自动化水平、铺放生产率及可靠性得到进一步提高，取得了飞机制造用户的认可，推动了 ATL 机床得到更多的应用。至目前为止，已约有 60 台商品化的 ATL 在飞机工业中应用。现行能向用户提供商品化先进的 ATL 机床制造商为数不多，主要有美国 MAG Cincinnati、Ingersoll 公司、西班牙 MTORRES 公司和法国 FOREST-LINE 公司等有几个著名加工机床制造商，以及美国 ADC (Automated Dynamics Corp.)、

Entec 公司等若干专业复材构件加工设备制造商。

大约从上世纪 80 年代开始至本世纪初 (2001 年) 波音公司就已购置了近 20 台 ATL 设备，用于 B-1/B-2 轰炸机、海军 A6 闯入者飞机和空军 F-22 战斗机机翼蒙皮，V-22 Osprey 斜旋翼蒙皮，以及 C-17 军用运输机等机翼复材结构件。波音 777 飞机 (1995 年) 全复材的尾翼蒙皮，其平尾/垂尾翼蒙皮制造也是使用 Cincinnati 公司 CHARGER 系列 CTLM 机床来加工的 (图 8)。

美国 Vought 航空公司 Dallas (达拉斯) 工厂装备有 Cincinnati 大型双龙门结构双铺带头的 CTLM，用于生产 C-17 军用运输机水平稳定翼蒙皮壁板，壁板长 12.9m，厚 15 mm，翼根部宽 3.6m，翼尖处板厚仅 2.5mm，每架飞机需 4 块 (上下各 2 块)，可一次同时铺放 2 个零件，年生产量约 60 块。

图 8 (c) 所示为 Cincinnati 公司称之为高级曲面型铺带机 (HCTL: High Contour Tape Layers) [6] 的 CHARGER 系列 Version 5 新一代 CTLM。该 HCTL 采用低导轨龙门移动结构，导轨高度可按用户实际需求设计。因此和 Cincinnati 早期 ATL (图 2) 相比，具有更好开放性，快速性和结构刚度，更适合于各种平板、轮廓和变几何形状的中大型尺寸飞机碳纤维/环氧树脂复材构件自动层铺加工，铺带速度可达 50m/min。机床设计有 10 个 NC 控制轴，其中 5 个 (X、Y、Z、A、C) 用于机床坐标轴联动运动控制，5 个用于铺带头带料层铺控制，机床配置新一代 CNC 控制系统 CM-100。X 轴基本行程为 3.6m，可倍增加长，同时每 3.6m 处可增长 300 mm 以增加 X 轴方向运动的柔性；龙门宽度可调，标准机型为 5 m，Z 轴节拍可根据实际需要调整，A 轴位于铺带头部，可实现曲面层铺，横梁导轨高度根据实际需要设定。HCTL 铺带头重配安装与操作容易，允许快速简单地从侧面装载宽 300 mm 直径达 650mm 带料盘，铺带头硬件设计使得 150mm 或 300 mm 宽带料盘更换快速。铺带头还设计有一 20kHz 超声波切刀选件，切厚达 15mm，见图 8 (d)。因此，该选件使用户可直接在 ATL 机床上对复材工件进行切割，实现剪切和铺带工序在同一台机床上操作，不需要在专门复材切割机床上进行切割工序操作，避免了可能的转序等待及在复材切割机上加工时的重新装夹定位，从而可缩短复材构件生产周期。应指出的是，当进行零件切割时需要暂时停止铺带运行，从而导致铺带生产率有所降低。但如前所述，由于不需要转工序



图8 Cincinnati CHARGER 系列铺带机

进行切割操作，因而复材构件制造的生产率仍可被提高。

至今，MAG Cincinnati 公司已为航空工业提供了各种规格 ATL 机床达到 40 多台。波音公司在它复材制造中心先后已安装了 8 台 ATL 机床（其中两台为 Cincinnati 公司 HTLM，并对原有 2 台 Cincinnati 的 CTLM 进行了更新改造），用于波音 777 和 787 客机中央翼盒、机翼蒙皮等整体复材构件的层铺生产。Cincinnati 公司 ATL 设备也提供给空客公司，用于空客 A330、A340-500/600、A380 和 A400M 军用运输机等机翼复材结构件生产。如 Nashville 航空结构件公司应用 Cincinnati ATL 机床生产空客 A330/A340 机翼外副翼构件，节约了 70% 人工时间。

A400M 军用运输机由 4 台功率 7500kW 涡轮螺旋桨发动机驱动，每台通过减速装置驱动重约 250kg 的 8 个螺旋桨叶（复合材料制造的），额定转速为 850r/min，总共产生超过 8700Nm 扭矩力作用在采用 CFRP 全复材设计的机翼梁构件上。该机翼梁构件由 GKN 宇航公司制造，使用英国 Cytac 工程材料公司的碳纤维/环氧树脂增强型预浸料 997-2，翼梁长 19m，前翼梁分 12m/7m 两段，后翼梁分 14m/5m 两段，两段间通过复合材料制造的 C 形夹连接，最长的单段翼梁为 14m，宽 1.5m。这些翼梁是应用 20m 长床身的西班牙 MTORRES 公司 ATL 机床生产的，使用复材带料厚 0.25mm，采用层铺方式，最厚处达 21mm，每层间以不同的纤维向交错铺放以取得最佳的构件强度和硬度，铺放生产率平均为 25kg/h，最高可达 36kg/h，而采用人工铺放仅为 0.75kg/h。GKN 宇航公司原来人工铺放 14m 长翼梁需要 7~8 天，采用 ATL 机床仅需 24h；人工铺放最短 5m 翼梁需 180 h，使用 ATL 仅需 90min。GKN 宇航公司认

为，采用 ATL 机床自动铺放并结合应用双隔膜成形工艺 DDF（Double Diaphragm Forming）制造一个零件，比采用人工层铺要快 25~50 倍。



图9 西班牙 MTORRES 公司 ATL

图 9 所示即为西班牙 MTORRES 公司制造的配有 11 个数控轴的开放低轨高速龙门移动式 TORRES-LAYUP 铺带机。该 ATL 机床采用模块化设计，可根据用户需求进行配置。使用 75/150/300mm 标准宽度复材带料。机床 X/Y/Z 轴行程 3000~5000mm/1000~6000mm/300~1500mm，C 轴 $\pm 185^\circ$ ，A 轴 $\pm 22.5^\circ$ ；线性轴进给速度 15~45m/min，定位精度 $\pm 0.08\text{ mm}$ ，配有两个超声波小型切刀用于带料切割。此外，铺带头上设计有内装式带料缺陷检测系统，并设计有构件轮廓检查的激光光幕装置等选件。MTORRES 铺带头能提供最大的压紧能力，不需频繁使用抽真空方法来取得最佳压紧效果。

欧洲另一家 ATL 机床制造商是为法国 FOREST-LINE（弗雷斯特-里内）公司，在 20 世纪 80 年代末（1988）就已开发了开放式高架龙门移动式结构的自动复材铺带机。2006 年推出了被称为单工序的 WR ATLAS（Automatic Tape Laying System）自动铺带机。铺带头可配超声波刀具选件，实现将剪切工序和铺带工序在同一台机床上操作，FOREST-LINE 将之称单工序铺带系统。该公司最新开发的被称为双工序的 ACCESS/ATLAS 复材层铺系统，是由先进复材带料编辑/剪裁系统 ACCESS（Advanced Composite Cassette Edit/Shear System）和自动铺带系统 ATLAS 两台设备组成（图 10）。



图10 FOREST-LINE 公司 ACCESS/ATLAS 系统

这是一种将复材带料剪裁工序和带料自动层铺工序分开的复材构件制造技术，故称为“双工序”或称“两步法”ATL系统。ACCESS专用于ATLAS进行带料层铺前，通过执行软件可按构件不同铺层要求对原始带料进行编辑剪裁，产生复杂边界的铺层带料，能够自动去除剪裁废料，编辑剪裁好的带料被装在成品带料卷盘盒中，复材带料间设有背纸，卷盘盒装有相应的条形码以供ATLAS铺带机识别。这样，通过ACCESS设备支持，ATLAS铺带机不仅可实现复材构件自动化铺带，同时提高了铺带生产率。通常，一台ACCESS设备可支持多台ATLAS铺带机运行。形成一种复材构件多机生产制造环境。

FOREST-LINE公司ATLAS铺带机采用数控五轴联动(X 、 Y 、 Z 、 B 、 C)高架龙门移动结构设计，标准 X 轴行程8.3m，可扩展， Y 轴行程可任选4.15/5/6.5m， Z 轴行程可任选520/750/1000/1200mm， B 摆动轴 $\pm 30^\circ$ ， C 旋转轴 $\pm 200^\circ$ 。 $X/Y/Z$ 轴均采用直线电机驱动， X/Y 轴速度60m/min，加速度 1.5m/s^2 ， Z 轴15m/min， B 轴转速 $16000^\circ/\text{min}$ ， C 轴转速 $40000^\circ/\text{min}$ 。其铺带头专为实现层铺高生产率而设计的，供料盘直径675mm，带料可达800~900m，允许使用50/150mm宽带料，支持 $00/\pm 45^\circ/90^\circ$ 四种标准角度铺带方向。同时，设计有双超声波剪切刀和凹凸轮廓层铺自适应系统选件。

此外，为提高ATL机床生产率，FOREST-LINE ATLAS机床可配置一种可实现“双铺带工艺”的双铺带头的ATL，后文将详细讨论。FOREST-LINE ATL机床最早在法国南特空客飞机制造厂应用于A-TR飞机复材机翼构件的制造，之后又继续应用在A340-600龙骨梁、A380中央翼盒和军用运输机A400M中央翼盒等复材构件的生产。据报道，目前南特空客飞机制造厂已配置有6台ACCESS设备，9台ATLAS铺带机。

美国Ingersoll机床公司也是ATL/AFP设备制造商之一。图11为该公司制造的ATL机床，该机床使用25/75/150mm宽带料，可用于平面或简单曲面类复材构件铺放加工，也是采用数控五轴联动(X 、 Y 、 Z 、 A 、 C)高架龙门移动结构设计， X/Y 轴进给速度30m/min， Z 轴15m/min。 A 轴10r/min和 C 轴20r/min。铺带头也是特别为实现层铺高生产率而专门设计的，包括直径635mm供料盘，双向带料进给驱动和张力控制、背带回收卷轴、尾带剥离器、尾带压紧辅助装置、带料加热系统、激光坐标校准系统、

T-轴带料校准、双超声波剪切刀具、可编程压力控制的贴合层压装置、激光靶针、电子带料跟踪、自动化电子导向系统和可实现快速带宽变化超调等。



图11 Ingersoll公司ATL

5.3 工业应用中的AFP机床

上世纪80年代中(1985)波音公司研发了第一台AFP样机，其“AVSD”铺丝头已基本解决了预浸料、切断与重送以及集束压实等技术问题。此后，Cincinnati机床公司在1989年推出了第一台商品化AFP机床VIPER 1200，被用于V-22 Osprey军用飞机4.21m长的复材后机身结构件的制造，见图12(a)。原先该后机身

是被分成9段后采用人工铺放。改用AFP机床自动铺放时，被作为单一的通过AFP铺放加工的整体构件，节省了扣件34%，减少修整和装配劳力53%。通过纤维铺放设计优化，纤维束浪费率减少了90%。图12(b)为应用VIPER 1200 AFP机床进行F/A-18E/F超级大黄蜂军机的复材机身蒙皮的铺放，和采用人工纤维铺放方式相比，节省劳力



图12 Cincinnati VIPER 1200 AFP机床

38%。图 12 (c) 所示为应用 VIPER 1200 AFP 机床铺放的采用蜂窝夹心结构的小型商务机 Premier I 全复材机身, 仅仅包括两个要加工的零件:

① 从雷达天线舱壁伸出部分到后承力舱的前机身壳体, 长 8m;

② 从后承力舱到尾锥的后机身壳体, 长约 5m。

整个复材机身重量不超过 273kg。若采用金属材料制造机身重为 454kg (减重 40%), 且组成的零件多于 3000 个。同时如前所述, 采用 AFP 机床自动铺放和人工铺放方式相比, 复材纤维束浪费率将减少了 90%。显然, 对重达 273 kg 构件而言, 费用节约将是相当可观的。

随制造的飞机复材构件尺寸越来越大, 为满足不同尺寸曲面复材构件的铺放制造需求, Cincinnati 公司先后开发了小型、中型和大型 AFP 系列产品 VIPER1200/3000/4000/6000 设备 (图 13)。



图 13 Cincinnati VIPER 1200/3000 /4000/6000 AFP

图 13 (a) 为欧共体英法德三国合作的欧洲先进复材发展研究项目中, BAE 系统有限公司应用 Cincinnati VIPER1200 铺丝机制造 Dassault 航空公司设计的长 4.5m, 最宽处达 2m 筒形预浸料碳纤维全复材机身段 (FUBACOMP)。图 13 (b) 为使用 Cincinnati 中型铺丝机 VIPER 3000 铺放生产大型商用飞机 A380 的 CFRP 复材尾锥构件, 构件长 4.77m, 锥体两端直径分别为 2.55m 和 400mm。图 13 (c) 为应用 VIPER 3000 铺丝机生产的新 A380 客机非主承力复材后机身构件, 其截面积达 5770mm×5800mm。图 13 (d) 为 Cincinnati 公司 2007 年推出的中型 AFP 机床 VIPER 4000, 可配置 24/32 束 3.2/6.4mm 宽纤维束的铺丝头, 能铺放直径达 6m 的复材构件。而 Cincinnati 最新 VIPER 6000 大型 AFP 机床铺丝头可装载 32 束 12.7mm 宽纤维束, 纤维束带宽达 406mm, 能铺放直径 6.5m, 长达 17 m 的复材构件, 控制转动心轴重量可达 86.3t^[3]。据报道, 波音公司大型 787 “梦想”

客机共设计有 9 个机身段构件, 其中 5 个采用的是复材构件。Vought 公司为波音 787 客机制造 23% 的机身部件, 包括 5.8m×7m 的 47 段机身和 4.3m×4.6m 的 48 段机身复材构件, 使用日本东丽的 3900 系列碳纤维/环氧树脂预浸料复材, 就是在 Cincinnati VIPER 6000 AFP 机床上进行自动铺放制造的, 见图 13 (e)。48 段机身复材构件所铺层数, 最薄处 12 层, 最厚处多达 100 层。

美国 Spirit (斯匹里特) 航空系统公司在堪萨斯州的威奇托工厂生产波音 787 的 41 段全复材前机身, 为复杂外形轮廓的筒形整体构件, 见图 14 (a), 使用 Ingersoll 提供的 AFP 机床进行制造。经 AFP 设备铺放完成后的复材预构件在 21.3m×9.1m 的热压罐中固化, 形成高韧可靠和高强度的整体复材构件。图 14 (b) 所示为 Ingersoll 公司的提供带芯模旋转轴的卧式 AFP 机床, 配置 GE Fanuc 多坐标 CNC 控制系统和复材编程系统 (CPS, Composite Programming System), 可用于飞机承力货舱、油箱和锥体类等复杂结构件、发动机整流罩、承载的整流和起落架吊舱片等结构件的铺放制造。该 AFP 机床, 工作区设计为 (4800~6000) mm×(14000~22800) mm, 工作进给速度 30m/min, 快速移动速度达 55m/min; 定位精度 0.05mm, 全长 0.4mm, 重复定位精度 0.025mm, 直线轴加速度 500mm/s²。

波音 787 客机的 8.5m 长的 44 段机身以及 10m

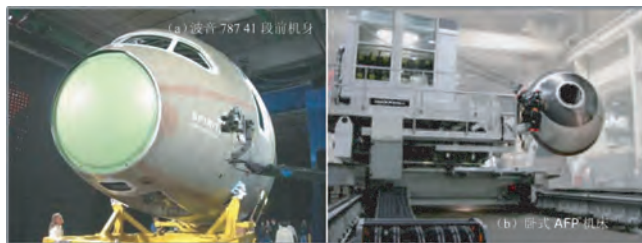


图 14 复杂整体复材构件及 Ingersoll 卧式 AFP 机床



图 15 TORRESFIBERLAYUP 铺丝机

长的 46 段机身由意大利 Alenia (阿莱尼亚) 公司制造, 装备有 Ingersoll 公司的最新一代 AFP Mongoose H3 机床, 应用 32 束 12.7 mm 宽纤维束的铺丝头,

铺放速度和切割速度达 30 m/min, 生产率可达 720 m²/h 碳纤维。Ingersoll 公司还提供带芯模工作台的立式龙门结构的 AFP 机床。至 2005 年 Ingersoll 公司已向航空工业提供了 11 台 AFP 机床, 到 2009 年底还将再提供 8 台 AFP 机床。Ingersoll 公司将要推出的最新一代 AFP 机床铺放速度可达 60 m/min, 切割速度 50 m/min。

波音 787 客机的 43 段机身由日本川崎重工 (KHI: Kawasaki Heavy Industries) 制造, 使用西班牙 MTORRES 公司的新一代 AFP 机床 (图 15)。在西班牙的马德里复合材料研究中心也安装有一台同样的新一代 AFP 机床。MTORRES 公司新一代 AFP 机床使用 32 束任选 3.2/6.4/12.7mm 宽纤维束的铺丝头, 铺丝头由铝合金材制成, 尺寸小, 惯量小, 铺放速度可达 61 m/min, 线性轴加速度达 3g, 最高铺放生产率达 45~50kg/h^[3]。

5.4 ATL/AFP 应用需考虑的若干问题

本文 5.1 已介绍了应用 ATL/AFP 机床层铺生产复材构件所具有的许多优点, 随后又较详细地介绍了 ATL/AFP 机床在航空工业中实际应用现状。当选用 ATL/AFP 机床加工复材构件时应注意考虑如下若干问题。

(1) 为满足零件设计要求, 必须考虑选择 ATL/AFP 机床可用的纤维材料或纤维编织物;

(2) 复材的组成和形式必须适合于所要制造的零件和所采用的工艺;

(3) 在满足零件设计要求前提下, 纤维带料或纤维束宽度选用应有利于取得最高铺放生产率和最小的废料率;

(4) 铺放的零件轮廓形状和角度应完全在 ATL/AFP 机床铺放头剪切小刀可能实现的角度范围内;

(5) 应注意被铺放的零件轮廓和模具净空间应和 ATL/AFP 铺放头结构形状相匹配与相适应;

(6) ATL/AFP 机床铺放头抬高/压紧铺放时, 或者说铺放的斜坡角度必须在 ATL/AFP 机床允许范围内, 同时在这允许范围内机床应具有不产生屈皱或撕裂和桥接铺放曲面轮廓的能力;

(7) 必须考虑到诸如纤维带料或纤维丝束的加热/冷却等制造工艺要求;

(8) 必须考虑到诸如纤维带料或纤维丝束的滚压压紧力等制造工艺要求;

(9) 选用 ATL/AFP 机床还应尽可能考虑配置在线实时检测功能以取代人工进行铺层检测实现高铺放生产率。

(10) 大型复杂的复材构件制造应优先考虑选用大型 AFP 机床;

(11) 尽管大型 AFP 机床可实现平板类或中小型复材构件制造, 但考虑到经济性和生产率, 此时对前者应选用大型 ATL 机床, 而对后者则应考虑选用适用型 ATL/AFP 机床为佳;

最后, 应指出的是, 尽管大型 ATL/AFP 机床是为可编程的自动化 CNC 控制设备, 但它和典型的金切数控机床有较大的不同, 目前仍难以实现或者说达到典型金切数控机床那样的高水平的人机交互操作, ATL/AFP 机床的实际应用效果在很大程度上仍取决于复材构件制造加工编程人员和操作人员的水平。因此, 在选配 ATL/AFP 机床时, 应关注相关联的复材构件制造设计分析、编程和仿真软件配置功能, 并应对相关编程人员和操作人员进行良好的技术培训。(未完待续)

• 业界动态 •

航天“双雄”参观二机床

8月18日上午, 中国航天员大队特级航天员翟志刚、刘伯明, 在市领导千铁静、孙守荣、王光、曲秀丽, 军分区司令员任风权的陪同下, 参观了齐二机床。集团领导宋斌及公司领导曲波、张权、陈更新等热情接待了航大英雄一行。

在马恒吕小组纪念馆, 翟志刚、刘伯明认真聆听讲解员的讲解, 仔细观看展览。丰富的图片资料

以及纪念馆真实场景再现, 让航大英雄们再一次重温利感悟了“同心共赢、勇为人先、敢于超越、兴企报国”的马恒昌小组精神, 他们频频驻足拍照留念。

随后, 翟志刚、刘伯明又来到车铣事业部和重装事业部压力机车间等地参观, 他们为齐二机床集团的发展壮大感到欣慰和自豪。□

追踪先进技术，提升自我产品竞争力

陕西秦川机械发展股份有限公司技术研究院 王红利

1. GTG 2 齿轮磨床的性能特点

GTG2 全数控齿轮磨床（图 1）由英国霍洛依德公司设计制造，配备 8 轴数控系统，包括先进的触摸屏界面和集成齿形管理系统，适合于磨削直径 350mm 以下的超高精度斜齿和直齿。单台 GTG2 机床就是一个生产单元，具有超高精度（接近 DIN 1 级）大功率深磨削加工和快速调整的能力，可优化生产、降低成本。典型应用包括高性能的航空、汽车、精密传动、低噪音齿轮和基准齿轮。



图 1 GTG2 全数控齿轮磨床

机床系统可选重力、真空或加压冷却液过滤系统；带独立式液压装置、自动集中润滑系统；比例尺、电机、修整装置和尾架的干燥、润滑空气净化系统；全封闭罩壳，带吸雾装置，易于达到工作区。机床配置了自动灭火系统。

机床主轴内装有全自动砂轮平衡系统，机床可对砂轮主轴进行功率监视，用于过载保护。可选砂轮修整轮超声接触探伤，保证砂轮的充分修整。修整装置采用 2 轴数控砂轮修整器，金刚石修整轮进行修整，自动计算每个修整循环的砂轮形状，有粗磨和精磨可编程修整循环。

操作者可按照典型设计图纸将螺旋角、压力角、模数以及齿数直接输入机床控制系统，机床将自动生成加工程序，并对齿轮进行加工（图 2）。三维在线测量和修正测头，可实现工件的在线检测（图 3），不需要将工件从机床上取下再进行检验，大大提高了机床的生产效率。因此，装在机床上的工件可以进行精确磨削，然后进行检验，所有偏差在加工循

环完成之前进行自动校正。

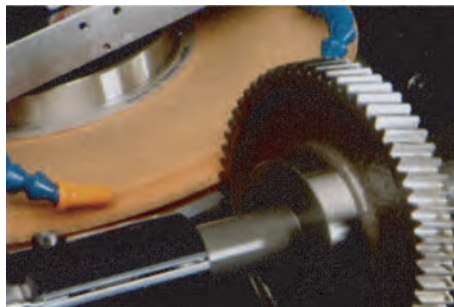
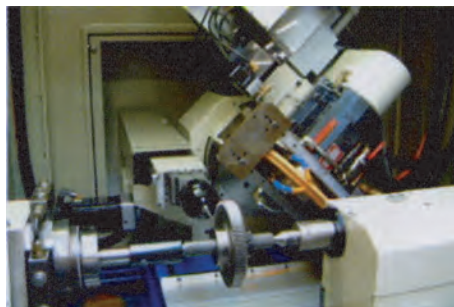
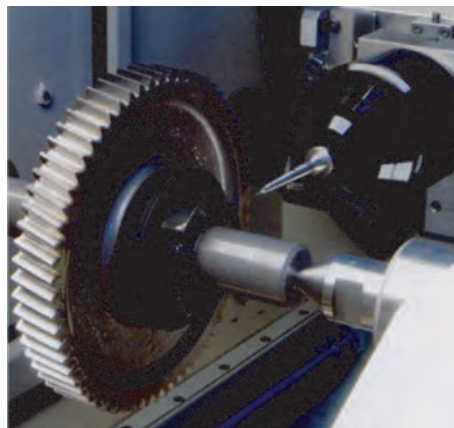


图 2 加工状态

机床配置的自动检测装置，采用分辨率为 $1\mu\text{m}$ 的扫描测头在 X、Y 和 Z 轴对齿的位置、轴跳动、齿高、螺旋导程、齿形扫描、齿厚及自动余量分配进行测量和调整。



(a)



(b)

图 3 在线检测

2. GTG 2 磨床的精度保证措施和专利技术应用

GTG 2 磨床采取了一系列措施来保证机床的加

工精度。如机床具有砂轮自动修整功能；带可选探测及齿形测量（CMM）装置；重复循环可达到 99 次；齿根圆角半径或摆线齿根形状检测功能；修形齿的鼓形修整循环；采用 Bob 鼓形修整或调整导程实现导程鼓形修整，或这两种方法的结合；基于砂轮实际直径的可编程常量砂轮圆周速度；任选可编程零件锥度修正等功能。

一些零件的调整时间已经由 3 天减少到 3 小时，在快速变换齿形方面具有很强的柔性，可满足用户要求。

GTG 2 磨床在设计中采用申请了专利的加工方法，智能化程度高，随机携带的特性可提供闭环齿廓控制，机床性能好。

当对斜齿轮进行导程鼓形修整以改进啮合、降低噪音和磨损时，会发生螺旋扭曲。导程鼓形修整随着通过齿宽的齿根面上材料的切除量而变化，引起刀具运动偏离实际螺旋线。但在成形磨削中，不希望出现引起齿面形状变化的现象。在很多应用中，这不是关注的焦点，然而在高精度和低噪音应用中，载荷集中在齿的特定区域，将对齿轮性能产生影响。

此问题在 GTG 2 磨床上得到了解决。通过专利的补偿螺旋扭曲加工方法，计算砂轮的附加运动，然后在磨削操作中采用 Holroyd 工程师编写的定制软件加以控制。在加工过程中，工件绕轴线旋转，相对于刀具平行移动；刀具也在运动，不断改变其轴线相对于工件轴线的倾斜角。因此，沿着刀具包络线和加工面之间的每个瞬时接触线所产生的误差（实际产生的表面偏差）减小了。啮合中齿面接触好，扭矩传递效率高。

3. 感想

通过追踪、分析国内外齿轮加工机床的发展，可以看到机床制造商在新技术、新工艺、新结构开发及新材料的应用等方面不断进行积极探索、创新，从而大大提高机床的加工精度和精度的稳定性。

瑞士莱斯豪尔公司（Reishauer AG）、意大利桑浦坦斯利公司（Samputensili）、德国卡普公司（Kapp）、陕西秦川机械发展股份有限公司等众多厂家在新产品上采用自动对刀、在线检测技术，配备了自动上下料装置，减少了工件装夹时间，提高了磨削精度和生产效率。

瑞士莱斯豪尔公司的电子齿轮箱技术、环面蜗杆磨削法、强力连续位移磨削法、复合工件主轴、直接驱动等技术，在蜗杆砂轮磨齿机领域独树一帜。

德国霍夫勒公司（Höfler）在进行大型齿轮加工的时候能根据德国质量标准 DIN 1 实现借助拓扑学来对磨削过程进行优化，还能达到预先制定的波纹度方面的要求。霍夫勒公司在机床工作台驱动方面采用了直接驱动技术—力矩电机作为工作台的驱动装置。

针对圆锥齿轮制造技术，美国格里森公司（Gleason）开发了格里森专家制造系统（Gleason Expert Manufacturing System），开创了弧齿锥齿轮和双曲面齿轮数字化制造的新纪元。公司在磨齿机上采用高速电主轴技术；新开发的 GenesisTM 系列机床采用聚合物复合材料代替灰口铸铁，这种新材料的优点是机床结构紧凑，占地面积小，刚性、热稳定性和抗震性提高，从而提升了机床的性能。

德国利勃海尔齿轮技术公司（Liebherr）的高速干切削工艺符合环保无污染的要求。据日本三菱重工资料报道，采用高速干式切削能提高加工效率 2~3 倍以上，刀具的使用寿命是湿式切削的 2~5 倍，干式切削降低了单件齿轮的加工成本。

英国霍洛依德公司（Holroyd）在 GTG 2 齿轮磨床上则采用申请专利的加工方法，配备了自动灭火系统，机床更具人性化设计理念。

陕西秦川机械发展股份有限公司具有自主知识产权的 YK73200 数控成形砂轮磨齿机采用恒流式静压系统和高精度滚针式直线导轨，配备在机测量系统，提高了齿轮的加工精度，满足了国内冶金、矿山、机车、船舶、电力、军工、航空航天等行业的需求。

与国外技术先进的机床相比，国产机床制造商在基础技术研究（如磨削机理等），自动化水平（如自动对刀、自动上下料），新技术应用（如电主轴、直接驱动等技术）以及机床自动灭火系统等方面存在一定的差距。跟踪国内外先进技术发展趋势，加快新产品开发的步伐，缩小与国外先进技术的差距，提高产品的市场竞争力，为振兴民族装备制造业做出积极的贡献。

全球性金融危机对我国带来了较大的冲击，但国家适时出台的经济刺激计划和拉动内需、加大装备制造业投资的计划，给经济复苏带来了新机会。“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项正在进行之中，机床制造商应时而动，积极调整产业结构，不断拓展产品应用的新领域，如向风力发电等热门行业进军，提供高速、高稳定性、高精度的机床新产品，满足行业所需。□

微水刀激光加工技术及其应用

Laser Microjet technology and its application

激光以其良好的灵活性和更高的加工速度在众多领域得到广泛的应用。但是传统的激光应用技术由于存在污染、热效应等问题，在精密加工领域遇到了一些制约。一种新的激光应用技术，将激光束和喷射水柱结合在一起，能够克服传统激光应用技术的缺点，为激光的应用开辟了新的应用领域。将喷射水柱和激光束结合在一起，加大了激光加工的深度，消除了与发热相关的各种问题，从而将激光加工技术应用到那些传统的激光加工技术无法应用的领域。

1. 基本原理

传统的激光加工技术是通过透镜聚焦，将激光能量集中到焦点上，其能量密度能够熔化材料，实现对被加工材料的加工（图1a）。但由于聚焦激光的工作长度小，通常小于1mm，因而必须要有一套聚焦控制系统，将激光正确地聚焦到工件上。

1993年瑞士洛桑理工大学应用光学研究所的科学家们成功地实现了用水射流引导激光束，并将这一技术应用到实际加工中。这种加工技术被称为微水刀激光技术（Laser Microjet®），其原理（图1b）是将激光束穿过一个压力水箱，聚焦到一个喷嘴中。水箱中的压力水在喷嘴的下面形成一个非常细小的

压力水射流，激光束在水射流里面以全反射方式沿水射流传播，这样就可通过压力水射流引导激光束，而不会造成太大的能量损失。

水射流冲击到工件上，其引导的激光脉冲顺着水流达到工件表面。被加工材料吸收激光脉冲的能量而熔化或气化，水射流冲走被熔化的材料，实现对材料的激光加工。而在两个激光脉冲之间，水射流对被加热的工件材料进行冷却，防止被加工材料因受热而发生结构变化。

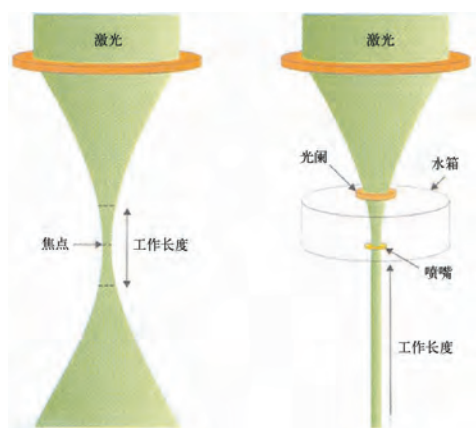
2. 微水刀激光技术的特点

压力水射流的直径在一定的长度内稳定不变，这个长度取决于喷嘴的直径和工作水压，最长可达到水射流直径的1000倍左右。因而这种水射流引导的激光束的工作距离可以达到几个厘米，远远大于传统激光加工技术的工作距离，而且还不需要聚焦控制系统。若超过稳定的长度后，水射流的形状将不再成圆柱状，而是变成液滴，这时激光束将以漫反射方式离开水柱。在这种方式下，激光束的能量分散，不会产生材料的烧蚀。

在激光束与水柱耦合过程中，水箱和喷嘴的几何参数起着决定性的作用。而激光束的直径只取决于喷嘴孔的直径，因而传统的激光切割加工遇到的问题，如激光束椭圆度、散光和偏振等引起的不连续性以及方向依赖性将不再存在。

水射流的作用除了引导激光束之外，他还能起到冷却工件、清除熔化的材料、减少粉尘污染等作用。

困扰传统的激光加工技术在精密加工中的应用有两大问题，即热影响和污染。激光加工是以烧蚀材料的方式实现对工件的加工，在加工过程中会在被加工材料上产生热影响区。这个热影响区对工件材料产生热破坏问题，如氧化、微裂纹、材料结构变化、断裂强度低等。虽然减小激光脉冲的脉宽能够防止热影响区的出现，但这会降低激光加工的加工速度，降低加工效率。另外传统激光加工熔化后再冷却的材料会遗留在工件的表面和切口边缘，通



(a) 传统激光加工技术 (b) 微水刀激光加工技术

图1 激光加工基本原理

常需要用附加高压气流来清理。但是因为只有很少量的高压气流能吹入切口，这种方法不是很有效，熔化和气化后的材料会再沉积在工件的表面，另外还会在切口处形成毛边。

微水刀激光加工采用脉冲激光，在两个激光脉冲之间，水射流可以冷却加工区边缘，避免了烧蚀和加工过程中材料因过度受热而造成材质损坏（如微裂缝、材料结构变化）。水射流也用来清除被熔化的材料，与辅助压力气体相比，压力水射流具有更多的动能，因而清除效果也更好，能够冲洗掉大部分被熔化材料。压力水射流还能在工件表面形成一层薄薄的水膜，粉尘掉落在该水膜上面，被立即冷却，不会堆积在工件表面上。

微水刀激光技术采用去离子水或过滤水，水压根据实际应用而定，在20~500bar之间。水射流很细小，通常水射流的直径为25~75 μm ，这取决于喷嘴的孔径，因此水射流对工件的作用力可以忽略不计，即使水射流的压力高达500巴，作用在工件上的力也不超过1N，小于传统激光切割所用的高压气体产生的力。

3. 微水刀激光在超硬材料加工中的应用

超硬材料由于其硬度高，热传导性差，通常用来制作切削刀具。这类材料有CBN（立方氮化硼）、PCD（多晶金刚石）、PCBN（多晶立方氮化硼）和氮化硅。

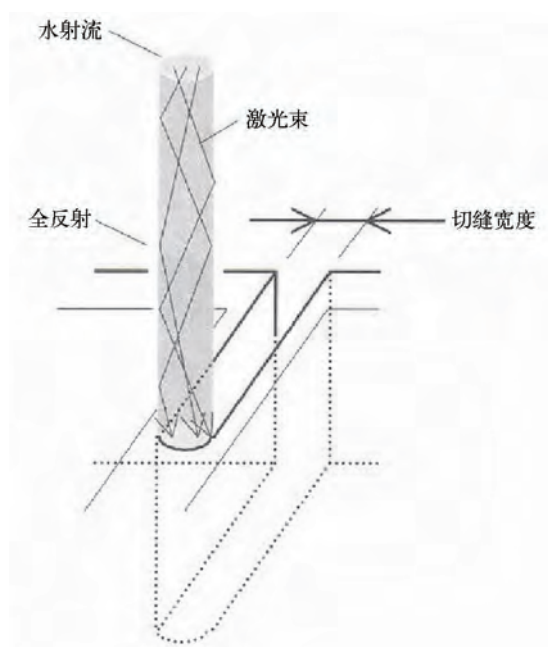


图2 微水刀激光加工示意图

刀片是采用盘形或板形材料切割而成的，其形状通常为三角形、长方形或棱形。制造刀片要求其角面光滑、切口平行、切缝窄小，以最大程度地减少材料损失，另外还必须避免出现毛刺和材料因受热发生结构变化。加工速度要高，加工方法要灵活，以实现各种形状的加工。

目前刀片制造一般采用金刚石砂轮锯削或EDM加工，也有采用激光切割。但由于陶瓷材料极硬且脆，如用金刚石砂轮加工，不仅加工速度慢，还要使用大量的冷却液，金刚石砂轮的损耗也非常严重，另外切缝也不可能很小，造成材料的浪费。而EDM只能加工导电材料，不能用来加工CBN、金刚石或氮化硅这些绝缘材料。而传统的激光切割加工也存在很多问题，如热损坏、切口留有颗粒、锥形切口、切边粗糙，需要对切边进行后续加工处理等。

而采用微水刀激光加工技术，可实现对超硬材料的快速和精密切割（图2）。水射流将激光束能量集中引导到切口的底部进行加工，同时水射流还可实现对材料的冷却，这样就得到平行切边，且切缝很窄小，加工精度也明显高于传统的加工方法。

图3所示是采用微水刀激光加工CBN、人造金刚石以及PCD等材料的加工效果，其中图3a为以7mm/min的速度切割3.2mm厚的CBN刀片的切边质量；图

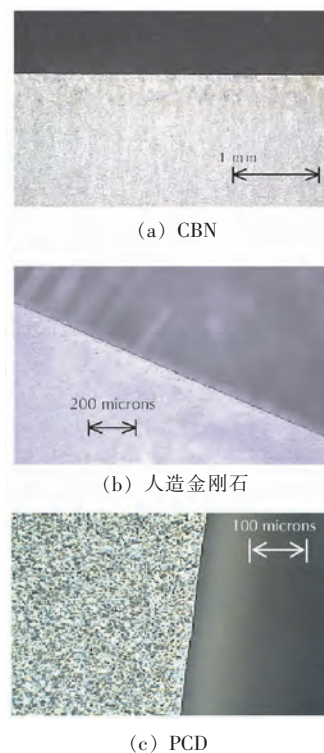


图3 微水刀激光加工效果案例

高精加工中的刀具夹持技术

Tool holding technologies for high-precision machining

本文综述了高精加工中用的刀具夹持技术，同时提出了在实际应用中如何正确选择刀具夹持系统的看法。

人们往往忽略了如何选用刀具夹持器（机床主轴和切削刀具之间的重要联结），这可能意味着生产一个合格的零件和生产废品之间的差别；勉强合格的生产率和最短的机床加工时间的差别；过早的刀具磨损和延长刀具寿命之间的差别。在要求高精度的应用中尤其如此，因为在这种应用中对刀具夹持器的精度和可靠性要给予高度重视。

有关专家认为，当你选择具有最好同心度和最大刚度以及最小振摆的刀具夹持器时，对你的加工工序将产生很大的好处：刀具寿命几乎增加 1 倍，节约刀具成本和减少废品。好的同心度和平衡也意味着切削载荷是均衡地分布在切削刃上的，从而允许更高的切削速度和进给率，这就意味着更高的生产率，更高的金属去除率和更快的对机床投资的回收。对大多数金属加工的应用而言，弹簧夹头仍然是可靠的解决办法。有许多制造厂生产异常精密的弹簧夹头，他们正做得越来越好。

说明现阶段弹簧夹头技术水平的是 Lyndex 公司生产的 FDC 弹簧夹头。据其总经理说，在 4 倍于切削刀具刀柄直径的距离上，弹簧夹头提供的 TIR（径向振摆总表头读数）值少于 0.005mm，即其振摆等同

或优于大多数的液压夹头。此外，弹簧夹头在使用 6.9MPa 压力的冷却液时，而不必密封，不用垫片、专门螺母或要求的附加件。

但是，如果对你的应用而言，弹簧夹头的振摆、夹持力和平衡能力不都是良好的，那么对真正的高精加工有多种选择，包括收缩配合、液压的和液压机械的夹头。对于你的应用，选择正确的型式，可能是改善加工工序的一条可行的路子。

精密刀具夹持器的主要特性包括同心度、夹持力、平衡和刚度。下面对这些选择因素中的每一个，以及现有的各种刀具夹持器技术作一介绍。

同心度

在考虑刀具夹持器的选择准则时，同心度或振摆是首位的。当你进行高精或高速加工时，你首先需要的是恒定的切削力。振摆则使偏心成为对精度的不利影响。同心度的要求从主轴和刀具夹持器之间的联结开始。目标是刀具的回转轴线必须严格地与主轴是同一轴线。

同心度的另一个要求是关于刀柄和刀具夹持表面

3b 为以 1.2mm/s 的速度切割 0.5mm 厚的人造金刚石的切边质量；图 3c 为以 10mm/min 的速度切割 0.5mm 厚的 PCB 刀片的切边质量。从图 3 可以看出，采用微水刀激光加工技术，能够以很高的速度高质量地加工各种超硬材料。

4 结束语

微水刀激光加工技术具有加工速度高，切边平

整、无毛刺，切缝小、加工后工件表面光滑、无粉尘堆积，无热影响区、不会发生材料结构变化，加工结果稳定，可加工出任意形状，在加工成本、加工质量、加工效率以及灵活性等各方面都具有传统的超硬材料加工方法无法比拟的优势，因此，微水刀激光加工技术将成为加工 CBN、氮化硅以及人造金刚石等超硬材料的最佳选择。

编译 符祚钢

之间的相对同心度。孔的直径对锥面的 TIR 达 0.005mm,对于可重复的、精密的金属切削加工而言是非常重要的。用户期望重复精度达到或优于 0.005mm。振摆是如何(或实际在何处)测量也是很重要的。许多型式的刀具夹持器可以宣称其刀具端部的 TIR 值很少,但不能保证在切削刃上的 TIR 值。而 Lyndex 公司的 R-Zero 型刀具夹持器与 FDC 弹簧夹头系统相结合,则能使用户在不足 45s 内调整切削刀刃上的 TIR 值接近于 0。

夹持力

夹持力是刀具夹持器的另一重要特性,本文所讨论系统夹持能力对液压机械夹头从数千磅到 60000 磅(267kN)。在大多数正常加工的条件下,夹持力不成为问题。但是,如果你考虑到颤振,由收缩配合和机械液压夹持器所提供的较高的夹紧力就可能很重要了。在有颤振的情况下,收缩配合的夹持器保持刀具位置比任何其他系统都好。如果在液压夹头或弹簧夹头中,颤振就可能使刀具跑出来。收缩配合的夹持系统就可能好得多?

可以用一个很简单的方法去验证收缩配合夹持器的夹持能力。当我们用一些大力矩扳手去检测产品(液压的或收缩配合的),看哪一个具有更高的夹持力,结果收缩配合的最好。

平衡

平衡是一个热门话题,特别是在较高的速度时。一个好消息是:为高精/高速加工用而设计的刀具夹持器已被自然地平衡到很好的程度了。但是每一个系统都有可变性,而且要达到刀具夹持器/刀具组合体最后没有残留不平衡量是很难的。

早些时候需要修正大多数的不平衡量。现在正在达到这样一点:不需要做所有需要的修正来保证刀具装入主轴后运转得很满意,比如说,在 40000~60000r/min 的范围内达 G2.5 级(G 数是不平衡量的衡量尺度,是由刀具的几何中心线到它的实际旋转中心线的毫米距离乘以每分钟的转速的乘积来表示。)

现在正在开始研究在不同转速下由不平衡量产生的力的类型和进行评定哪一个对加工具有最大的冲击。随着刀具的增长,平衡问题成了更重要的考虑。

刚度

刚度很重要,而且刀具的总长度在这里也是一个问题。随着更高主轴转速的使用和在许多企业中的整个速度范围内加工不同材料的需要,切削刀具的刚度已成了加工质量和加工能力中的重要因素。

刀具夹持器是为了刀具绕中心旋转而设计的,所以刀具和夹持器的组合在加工载荷下的刚度很重要。刀具夹持器的设计应该是在公差允许的条件下尽可能的结实(鲁棒)和尽可能的短。

液压刀具夹持器

液压刀具夹持器能保证刚度和自然平衡,而且它直接沿着自己的中心线夹持刀柄。就它们的本性而言,液压夹头将夹持刀具的整个直径和长度,而且形成一根在具体刀具上它所能找到的轴线。



图 1 诸如 Hydro-lock 公司生产的液压夹头,具有自然平衡,好的同心度和达 21MPa 的夹紧压力。图的上方是工作原理图:用户调节操纵螺杆以移活塞。活塞压缩液压流体,流体压缩薄内套以夹住刀柄

液压夹持器依靠夹持器金属壁在液体压力下均匀地压缩。它们以相对薄的收缩内套筒去夹紧刀具为特点。为了使夹持器夹紧，操作者插入刀具并用 Allen 板手转动操纵螺杆。转动的螺杆使活塞移动，迫使液压流体进入夹持器本身和内部套筒之间的空隙中，由于转动的螺杆所产生的液体压力是预先设定的。可以达到的夹紧压力为 21MPa 或更大。

液压刀具夹持器可以减少任何转速上的振动，因为夹持器的油腔提供天然的阻尼。预先设定刀具也很简单。下调刀具并调整调节螺杆向上或向下，直至它达到适当的长度。然后转动操纵螺杆以夹紧刀具。

相对薄的内套筒可以使液压刀具夹持器保证 360° 夹紧刀柄。但是，这样的套筒可能也限制夹持器在轻铣和钻削工序上的应用。钻削时，液压的或收缩配合的夹持器都能满足使用。如果是铣削，那最好用收缩配合的夹持器，因为它具有较高的动态刚度。在钻削的情况下，横向载荷低，要传递的是轴向推力和扭矩，而液压夹持器干这个是完全胜任的。在铣削中，你必定遇到弯曲的边缘载荷，液压夹持器在其油腔内具有很大的柔性和某些顺从性。内部套筒也可能被采用带有诸如 Weldon 刀柄的刀具所损坏。夹紧系统的灵敏度和记忆性要求使用圆柱形的切削刀具。由非圆柱形刀柄所引起的弹性套筒的不适当或不均匀的变形可能使它在夹头连续使用之后很难再装载切削刀具。

收缩配合的刀具夹持

收缩配合的刀具夹持是近年已经谈论得很多的技术，而且具有很好的理由：该系统比起其他任何技术更接近于提供集成刀柄的刀具。这就导致很低的振摆和很高的夹紧力，一个既可以改善加工精度和工件表面质量，同时还有助于延长刀具寿命的组合。

系统采用与装配过程用的过盈配合相同的原理。夹持器采用电感应加热，或其他方法加热。当它达到 315℃~425℃ 时，有意做小的夹持器内径扩大，足以允许刀具插入。当夹持器冷却时，它便以很大的



图 2 Lyndex 公司生产的收缩配合刀具夹持器的切面，它表明了夹持器设计的简单性，孔是有意做小的，所以加热时它扩大，然后冷却时它便同心地紧密抱住刀柄

力同心地夹紧刀具。人们喜欢收缩配合夹持系统的简单性。但并非每个人都这样认为。加热夹持器所需的机器不仅意味着很大的基本投资，而且也提出了安全和其他问题。对它有比买机床还多得多的问题。有通盘考虑的问题，有安全问题。你把这些夹持器加热到 315℃~425℃，我已见过有些人被严重烧伤。现在已经做了许多革新，诸如围墙和具有检测夹持器有多热的传感器等。

用优质硬质合金刀具收缩配合系统也工作得很好。没有什么东西可以优于收缩配合系统的精度。但是你需用优质硬质合金刀具，你可能遇到去掉高速钢刀具的麻烦。带有毛刺的刀具可能也是现存的问题。然后是刀具的预置问题。收缩配合系统的供应商正在为这些问题提供解决办法。

T.M.Smith 公司不认为收缩配合设备的前期投资的成本是个特殊问题。如果我们把它看作是财会平衡表的问题，那么收缩配合机是基本投资，这是可以在整个时期销帐的。但是我们仍然可以看到，液压夹持器本身比收缩配合夹持器贵 30%~70% (这不包括收缩配合机的前期投资成本)。

液压机械夹头

精密加工用的刀具夹持方法的前三种选择是

高精加工用的刀具夹持技术的比较

刀具夹持器的型式	一般特点	优点	局限性
弹簧夹持	360°夹持,速度受管口在高速时松开的限制;新的设计反对离心力。对沾污物较敏感,刀夹上的振摆取决于弹簧夹腔的振摆和弹簧夹头的精度	提高了灵活性,振摆范围 0.01 ~ 0.02mm	为了刀具更换,组件必须清洁
液压夹持	360°的“柔顺性夹持”,内套筒夹住刀柄,有很好的位置重复性,对孔加工和精铣更为优异,变形可能不允许用于重负荷材料去除的情况使用	能快速方便获得好的振摆,对沾污物比弹簧夹头少敏感,振摆范围在 0.002 ~ 0.005mm	成本较高,活动的密封,产生渗漏,并使刀具滑动而没有保持住。如刀具不完全进入腔内,套筒可能产生损坏。不能承受大的温度变化
收缩配合夹持	夹持性和夹紧强度很优异,不受主轴转速影响,为了经常保持住振摆要求在孔内完全咬合。对沾污物不太敏感	部件结构很严实,振摆范围为 0.002 ~ 0.005mm	材料必须对高温加热不敏感,加热单元要求前期基本投资,阻尼很小
液压机械夹持	振摆和夹持力可与收缩配合夹持器相比,可用于重铣削工序和高速加工	很高的夹持力,振摆范围为 0.002 ~ 0.006mm	要求对泵系统的前期基本投资

Sandvik Coromant 公司开发的 Corogrip 机械液压夹头。该系统用液压去驱动夹头的机械。一旦驱动以后,在夹头中就不再有液体压力了。

液体压力只是用来支持外套筒围绕内套筒转,该内套筒就是夹头孔,外套筒沿着夹头内 2°锥面滑动,所以它滑过整个内套筒,从而引起内套筒去压缩刀柄的圆周。这种夹头具有很厚的壁,使得它可以用于粗铣加工,这对液压夹头而言,可能是一个刚度的挑战,因为液压夹头有一相对薄的壁,它被液压流体包围住,刚度相对低些。

用户插装刀具是通过一只手或气动泵连接到夹头上的两个气门上来实现的。每个夹头上有两个相互为 180°对置的气门。使用者把在泵上的阀置于“夹紧”的位置上,插入刀具并开始打气。实际上可以用一只手把刀具装在 Z 轴上,同时用另一只手打气。

该系统在 45kN 的压力时动作。达到这个压力时,使用者可以停止打气,把阀放回到中间“O”位上并对夹头卸荷,这时在刀柄上有 42MPa 的夹持压力。该系统具有可与液压及收缩配合的刀具夹持器相比的同心度和夹持力。在距端面约 3 倍于孔径处的 TIR 小于 0.0025mm。而且夹紧力是均匀地分布在整個刀柄的周围。



图3 有经验的用户可以在仅 20s 内更换在 Corogrip 液压机械夹头中的刀具。右下角的插图表示夹头的剖面

该系统属于低维护系统。夹头没有磨损件,唯一要求是保持孔的清洁。唯一可能要求维护的是在气泵操作手把上的喷嘴。现在正在用复合材料来制造喷嘴,以便当使用者拧得过紧时,不至于损坏夹头上的气门。更换操作手把上的喷嘴要比重做一个夹头要便宜和容易得多。

但这个系统并不是对每人都适用的。有一些很大的航天和 HV、AC 客户,他们正在唯一地使用 Corogrip 夹头。由于设备的前期投资的成本,这可能不是什么问题。

(谭 天)

福伊特驱动的端面齿联轴器

Voith Turbo-Company Profile Hirth Couplings

福伊特公司成立于 1867 年，年销售额 49 亿欧元，全球拥有 290 个分支机构，43,000 名员工，是欧洲最大的家族企业之一。福伊特在市场上，为造纸技术、能源技术、动力传输技术以及工业服务确立标准。

福伊特驱动——福伊特集团的下属公司

把原始能量有效地转化为机械动力，这是福伊特驱动所擅长的。

作为世界上最大的工业驱动技术的领先者之一，公司可以为任何项目和客户提供良好的解决方案。该公司开发和制造机械、水力、电气和水电的传动部件，主要应用于工业、公路、铁路和船舶领域。

创新、可靠和正直使公司成为世界各地客户的一个可靠合作伙伴。

福伊特驱动端面齿联轴器——一种携传统与未来的机械元件

福伊特驱动技术有限公司于几十年前首创的端面齿设计，直到今天依然占据着领先地位，可以满足现代机械工程的要求：

- 轻型结构
- 高强度联接

公司提供完整的服务，基本可以满足任何应用要求：

- 标准型齿圈
- 满足客户规范要求的非标型齿圈
- 与客户部件相配套的端面齿

作为一种紧凑的分度及定位零件，福伊特标准型齿圈可以获得很高的分度精度及重复精度。

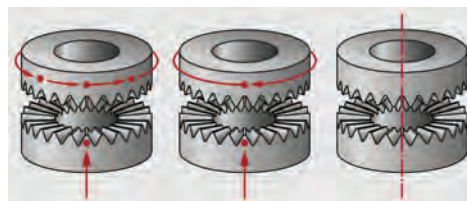


生产中的端面齿



端面齿交付项目的例子

特点	优势
在齿根侧面上具有高的承载百分比	耐磨性佳 分度精度 $\pm 2''$
多楔效应	重复精度 $\leq 0.001 \text{ mm}$
优化端面齿几何形状	自动对中 轴向和径向跳动小
齿面淬火	长使用寿命
直径尺寸范围大 (15mm 到 1500 mm)	端面齿适用范围大



端面齿：分度精度高、重复精度高、自动对中

机床工程的分度精度和重复精度——用福伊特的端面齿联轴器完全能满足要求。福伊特的端面齿联轴器能确保高精度，例如在以下设备中：

- 旋转分度台
- 塔头
- 铣轴
- 托盘交换装置

三体式福伊特端面齿圈，是福伊特驱动的一个创新，具有以下优点：

- 非升降式旋转分度台
- 定位准确度高
- 最大程度上降低了旋转工件所需的力
- 可轻松避免冷却剂的浸入
- 成本优化的设计

铰刀模块化及其优点

Modularity an added bonus (瑞士) STEFAN REBER

定位孔的精加工是决定汽车后轴齿轮箱后序装配与生产质量重要工序。最新推出的 Reamax TS 铰削系统完全达到了预期要求。

BWM 的汽车后轴变速箱包含其特有的部件，这种部件代表了该公司的核心技术。这种特殊情况也对加工工艺及所用刀具提出了特殊要求。质量第一，没有妥协的余地。同时，还时时面临寻求以最适当的成本达到这种高质量标准的途径。

铰削保证加工质量

为获得更高的加工速度和更长的刀具寿命，一直在进行改进切削几何形状、刀具材料和涂层的工作。刀具维修，也就是刃磨在成本核算计算中占有相当比例。此外，还要加上换刀，特别是必要调整工作所发生的成本。能明显缩短换刀和调整过程所费时间的

工具系统，表示它能创造附加价值。使用 Reamax TS 高速铰刀在 Dingolfing 工厂进行定位孔的精加工实验，对于工具专家来说，这是一项具有相当挑战性



图1 汽车后轴齿轮箱的分度孔用于保证后序加工和装配的严格公差

■ 刀具托架

- 更换刀具时只需经过很短的行程
- 快速更换刀具



一个数控万能加工中心上的端面齿分度盘和斜塔头

不仅有产品，而且还有理念

公司不仅提供优质的产品，还有先进的理念。受益于我们长期在工程技术中积累的端面齿联轴器的设计、制造和应用等各方面的技术诀窍知识。

全球广泛应用

在所有的国际市场上，福伊特是知名机床制造商的一个可靠伙伴。

在世界各地超过 10 万台机床上在使用福伊特端面齿联轴器，这证明福伊特端面齿联轴器有助于实现任何机床的高精度传动。

联系方式：

Voith Turbo GmbH & Co. KG
Universal Joint Shafts and Hirth Couplings
Alexanderstr. 2, 89522 Heidenheim, Germany
Tel. +49 7321 37-4602
Fax +49 7321 37-7206
UJShafts@voith.com
www.voithturbo.com/hirth-coupling

德国福伊特驱动技术有限公司北京代表处

北京市朝阳区东三环北路辛 2 号迪阳大厦 808 室
邮编：100027
电话：+86 10 84536322
传真：+86 10 84536324

的工作。这个定位孔是后序加工和装配过程中能否达到严格的公差要求的决定因素。BWM 的传动专家认为：之所以要执行这一不可妥协的质量规定，是因其对车轮有直接影响（图 1）。

模块化刀具调整极为简便

以前使用的是整体刀具，有人怀疑能否拉制出可满足这种特殊要求的新型刀具。而 Reamax TS 是一种模块化的刀具系统。它由基本刀体和可更换切削元件组成，有多个结合面。它只需要将刀片和刀夹联接在一起，使之成为一种独特的刀具。Dihart 采用的高精度联接点为面接触的短锥形，从而能在超精加工时，保证力矩的传递和同心度。在用此刀具进行汽车后轴变速箱的加工中未出现任何缺点，反而由于铰削头更换简便而受益。刀片径向夹紧，固定在刀夹上，可以夹紧和松开，可在机床上直接更换铰削头，而不必将其从连接刀柄中取出，从而缩短了调整时间。由于 Dihart 刀具更换刀头的精度可靠，无需任何预先调整便可获得很高的重复精度（图 2）。每把刀具的安装、调整时间缩短了 15~20 分钟，即使是首件加工也能保证达到要求的质量标准。Dingolfing 工厂属于大量生产企业，全年累计的节省非常可观。这种模块化多用途刀具的另一优点是其可重调性，这就大大地延长了刀具寿命。总之，ReamaxTS 铰削头重调简单、快速及可以机床上重调



图 2 来自 Dihart 的 Reamax TS 铰刀具有有调整时间短的特点。由于完全不需要调整，可获得极好的重复精度

的能力，保证能加工出最高的孔形精度（优于 IT4），而且能优化磨损补偿。

可更换铰削头可用于不同要求的加工

除了能减少刀具装调工作和缩短装调时间外，BWM 还发现 Reamax TS 模块化刀具系统还可以 300m/min 的速度和 2.4mm/r 的进给率进行高速加工。可换铰刀头能适用于多种不同工作，不必再像整体刀具那样，需费力地制造具有不同形状的切削刃、倾角、材料和涂层的刀具，在任何情况下均能最大限度地实现其性能价值（图 3）。柔性好就意味着高速度。在 Dingolfing 工厂，就可比对的机床生产时



图 3 只需在机床上更换铰削头就可以改变用途，即可使用不同几何形状的切削刃、刀具材料和涂层，实现柔性加工

间记录来看，性能优化的结果就是延长了刀具使用寿命。以其高度的环保意识，BWM 通常将资源的充分利用作为硬指标，进行可行性分析。能节省大量的材料，模块化刀具系统正是其要考虑的重点。在这一方面，对于 BMW 这样档次的汽车制造商来说，Reamax TS 这种新型高速铰刀的确起到了环境保护的效果。

作者简介：

Stefan Reber 先生是瑞士 Komet Dihart 公司的生产主管
Dulliken/Switzerland