

## CIMT2023新闻发布会在京成功召开

2023年3月21日，第十八届中国国际机床展览会（CIMT2023）新闻发布会在京举办。来自全国各大电台、报纸、知名门户网站、专业杂志等新闻媒体单位的50余名记者参加了发布会。中国机床工具工业协会会长毛子锋，副会长王黎明、郭长城、王旭，以及中国国际展览中心集团有限公司总裁冯耀祥等主承办方领导出席会议，发布会由王旭主持。



毛子锋会长代表主办方致辞，冯耀祥总裁代表承办方致辞，王黎明副会长作新闻发布。

CIMT2023将使用北京中国国际展览中心（顺义馆）全部8个室内展馆以及4个临时展馆，展出总面积达14万平方米，共有来自28个国家和地区的约1600家机床工具行业企业同台竞技，德国、日本、瑞士、美国、韩国、西班牙、意大利、英国、印度、法国、捷克、中国香港和台湾地区等13个国家和地区的机床协会和贸促机构组团参展。全球范围内的知名机床工具企业将携其最新技术和产品悉数到场。

展会期间，主办方将围绕展会主题组织丰富多彩的行业活动：2023机床制造业CEO国际论坛、重点领域国产数控机床应用座谈会、先进会员（十佳）表彰、数控机床专项成果展、境外机床协会领导人联席会、国际化经营座谈会、NC-Link社区生态大会等，以及数十场各类技术交流讲座，最大限度地提升观众的观展体验。

## 马扎克印度新工厂2023年3月开张

近日，山崎马扎克株式会社对外宣布，印度哈拉施特拉邦浦那工厂（名称：YAMAZAKI MAZAK MACHINE TOOLS PRIVATE）LIMITED），将于2023年3月开始运营投产。自1998年在印度开设销售办事处以来，多年来马扎克一直在当地保持强大的销售和服务地位。目前，

马扎克在印度拥有6个网点，为客户提供各种解决方案。

公司期待印度经济将进一步增长，并且伴随着机械和半导体行业的市场扩张，对机床的需求也将持续增长。因此，马扎克决定在印度建立新工厂，以建立能够快速提供满足当地需求的产品体系。

印度工厂将于2023年3月开始运营。先开始月产40台日本总部设计开发的面向印度市场的新型立加，并分段逐渐增产。随着这家新工厂的建成，公司生产基地数量将增至11个，其中日本5个，海外6个。今后通过在靠近客户的地方提供生产活动和服务支持，继续扩大全球制造业务。

## 第三届机床热问题国际会议在德国举行

2023年3月21日至23日，第三届机床热问题国际会议（ICTIMT 2023）在德累斯顿工业大学举行。会议重点探讨机床、成型机、工业3D打印机和混联机器人的热问题。来自德累斯顿、亚琛和开姆尼茨的DFG SFB/TR 96科研机构基于12年深入研究成果的实验演示引人关注。



机床的热行为被广泛认为是对加工精度最重要的影响之一。应对负面热影响的典型措施包括调节制造设施中的空气、在机床的热稳定状态下生产零件以及冷却其发热部件。这些措施消耗大量的额外能源并需要昂贵的生产设备、设施和运营成本。同时也激发了全世界学术界和工业界的研究人员和工程师探索在不增加成本和最小生态足迹的情况下最大限度地减少热误差的新方法。在这条道路上，更好更快的计算机模型成为纠正生产中热引起的错误或基于更好地预测热机行为的设计措施和机电设备来补偿这些错误的因素。

ICTIMT 2023会议展示了铣床和车床热问题领域的当前国际最先进的研究和开发成果，特别关注基于模型的校正和补偿方法。重点研讨的热问题包括：工件、工具和机器之间的热相互作用；识别热误差的测试和模拟方法；参考工件和评估；热误差的节能补偿和校正；通过设计修改提高机床的热鲁棒性；机床的热能优化等。

## 日本电产在大连的大型开发中心启动运行

日本电产在大连的新开发中心和工厂即将正式投入运

营。这是该集团海外最大开发中心，先从501人开始，最终计划增加至1千员工，将是日本滋贺开发中心（700人）之后的全球第2大开发中心。

面对最大的电动车市场，德国Bosch和ZF公司也在积极加大中国的投资开发力度，努力提高产品竞争力，这也是日本电产加大中国投资的理由之一。日本电产2021年先运营1栋厂房，接着现在运营第2栋开发中心大楼，最终投资额将达到1千亿日元。

日本电产在大连投资的最大理由是，稳定的人才有益于工艺积累和稳定生产。此外，鉴于电动车的保养费远低于传统汽车，日本电产的电动轴事业将会飞速发展。同时中国汽车厂家的决策速度远远大于日美企业，所以需要迅速建立当地开发和市场体制。新工厂投入运营后，最大可年产1百万根电动轴，先生产刹车和转向器用的电机。

## EMO Hannover 2023巡回新闻发布会在京召开

3月13日下午，由汉诺威米兰展览（上海）有限公司组织召开的2023汉诺威金属加工世界（EMO Hannover）巡回新闻发布会在京成功召开。会议采取线上线下融合的方式进行。

德国机床制造商协会总经理舍费尔博士（线上）、德国汉诺威展览公司新闻部部长Hartwig von Sass先生（线上）、中国贸促会机械行业分会副会长周海明先生和汉诺威米兰展览会（中国）有限公司董事总经理刘国良先生，在会上从多个方面介绍了展会相关情况。作为EMO展览会长期的重要合作伙伴，中国机床工具工业协会王黎明执行副理事长应邀出席会议。30多家主流媒体代表到场参与互动交流。



据介绍，EMO Hannover 2023将于今年9月18-23日于德国汉诺威展览中心举办。本届展会以“创新制造”为主题，将围绕生产可持续性的未来、互联的未来、商业的未来等关键话题，全方面展示囊括金属切削和成形机床、

生产系统、高精密工具、自动化物流、计算机技术、工业电子产品和配件等金属加工的整个流程，呈现最新工业生产的完整价值链。

多年来，伴随着行业技术的进步，以及充分市场化竞争的历练，中国机床工具行业企业的市场竞争力有了很大提升，产品出口呈现出良好的增长势头。作为中国企业展示实力、开拓海外市场的重要平台，EMO展会的吸引力也日益凸显。

舍费尔博士在发布会上表示：“汉诺威金属加工世界将展示最先进的国际生产技术，并展望行业未来发展前景。我们坚信，作为全球知名的展会，EMO Hannover将为世界各国的工业生产发展起到积极的推动作用，助力中国工业生产的发展。在展会上，来自中国工业界、政府和投资促进机构的负责人可以获得有针对性的信息，了解哪些技术可以用来实施计划项目。”

关于中国企业的最新招展情况，刘国良表示，截至3月3日，中国企业报名总数为130家企业，首次参展的比例高达33%，参展面积6500平方米，这比2019年同期增长了12%；预计中国企业的最终展出净面积将达到8000平方米。截至目前，共有来自42个国家和地区的1350家企业报名参展。

## 武重集团机床公司被认定为高新技术企业并获评“2023年湖北省第五批专精特新中小企业”

近日，中国兵器武重集团全资子公司——武汉武重机床有限公司（简称“武重机床公司”）双喜临门，在获得“高新技术企业”证书的同时，获得“2023年湖北省第五批专精特新中小企业”认定。这是武重集团第四家子公司荣获高新技术企业荣誉，也是武重集团首家子公司荣获湖北省专精特新中小企业。

武重机床公司作为武重集团的全资子公司，是一家集自主研发、试验检测、生产制造、销售服务于一体的技术创新型企业，拥有研发原创性核心技术，主导重型机床主业的专业化运营，主导产品包括数控立式车床、数控卧式车床、数控龙门镗铣床、数控落地铣镗床、数控滚齿机、数控回转台及各类专用机床等产品。武重机床公司借行业领先的创新能力、技术实力和持续快速增长的势头，从诸多企业中脱颖而出，此次被认定为高新技术企业和“专精特新”企业，是对其核心技术、产品专业性和落地性、公司发展前景等多方面的充分认可，更是对其坚持自主创新的科技创新属性、行业影响力和品牌价值的高度肯定。



# CIMT 2023

## 第十八届中国国际机床展览会

THE 18TH CHINA INTERNATIONAL MACHINE TOOL SHOW

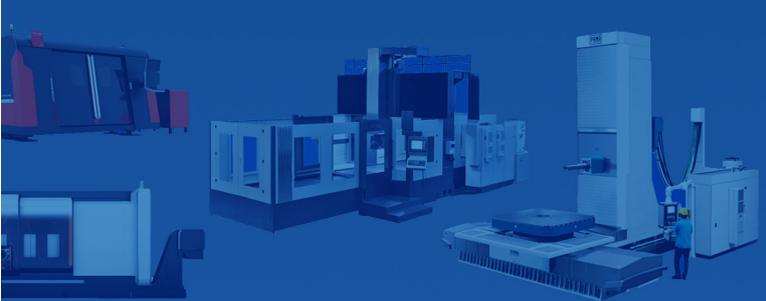
### 聚焦 | CIMT2023

第十八届中国国际机床展览会（CIMT2023）将于2023年4月10-15日在北京中国国际展览中心（顺义馆）举办。本届展览展出面积达14万平米，包括8个主馆和4个临时馆，将展示来自全球28个国家和地区的1500多家展商的数万台套机床工具展品。

自上届中国国际机床展览会（CIMT2021）以来，机床工具产业在疫情冲击中求发展，产品技术创新的步伐一刻也没有停歇，与此同时，机床需求市场也明显呈现出多元化和高端化趋势。本届展会境内外展商根据需求的变化，将展出各种新装备、新技术丰富多彩，高速、高精、高效的机床工具产品交相辉映，自动化智能化模块化专业化齐聚一堂，这将是一届值得期待的机床工具展览盛会。

为使广大观众和参会者在展前了解展会和展品，机床工具工业协会市场部在展商前期（截止1月20日前）提交的展品资料基础上，整理和归纳了加工中心类、车床类、复合机床类、磨床类、龙门和镗铣类等多个类别的机床装备及其特点，希望对观众参观及设备选型有所裨益。

机床协会传媒部



# 软件支撑智造 创新驱动发展

中国机床工具工业协会

物质财富是人类社会生存和发展的基础。制造则是人类创造物质财富最基本、最重要的手段。先进制造技术成为人类社会永恒的追求。机床工具作为当今先进制造技术的主要载体，肩负着为装备制造业提供生产工具的重任，其技术进步和发展，对人类社会的进步和发展意义重大。

本文根据CIMT2023展会部分展商的展品资料，结合美国制造技术展览会、日本国际机床展览会、欧洲机床展览会的展品，梳理归纳了当前世界机床工具行业在数字互联、工业软件、绿色技术、增材制造、集成复合以及创新技术等方面的进步与发展动态，供大家鉴析。

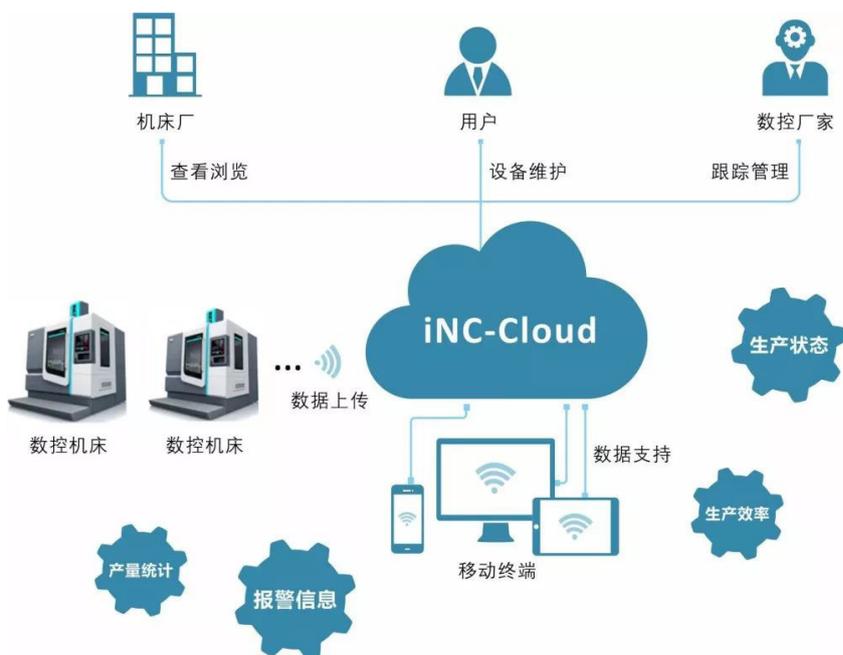
## 一、数字互联日新月异

数字化制造技术是全球制造业面对未来定制化用户需求日益显著的必然选择。制造模式的变革迫切需要得到新技术、新产品、新的解决方案的支持。面对全球制造业新的需求，机床工具企业不管是主动的还是被动的，不断推出具有鲜明的数字化特色的新技术和新产品，以及数字化解决方案，帮助用户实现向数字化、智能化制造的变革。

近10年来，数字化制造技术以及互联互通技术日新月异，成为发展最快的技术之一。

数字化制造技术涵盖了产品设计、产品制造、生产管理各个层面，贯穿了从产品规划、设计、制造、销售到售后服务等全生命周期各个环节。根据研究的进展不同，以及重点研究的方向差异，机床工具企业推出的数字化技术与装备也各有亮点，有工艺过程数字化技术、有产线（设备）管理数字化技术，还有车间管理数字化技术。

华中数控的云管家（iNC-Cloud）能够实时监控设备的生产状态，提供开机时间、无故障运行时间、开机率、加工件数等设备生产数据统计功能，故障信息发送，实现产线管理的数字化。



北京FANUC的自动化、数字化、智能化解决方案，覆盖数字化工厂规划、产线规划与实施、设备物联、工厂运营管理、效能管理、业务分析、智能决策等需求与应用。



西门子公司数字原生数控系统Sinumerick ONE，借助其数字双胞胎，可对机床整个生命周期内的各个过程在一个虚拟的环境中进行仿真和优化。机床用户可以利用数字双胞胎模拟加工程序编程、对机床进行设置和操作，以及用来对员工进行操作培训，提高生产效率，避免发生危险。机床制造商可以应用数字双胞胎，实现产品开发规划、机床调试，优化新产品的结构和功能，缩短新产品的开发和上市时间。



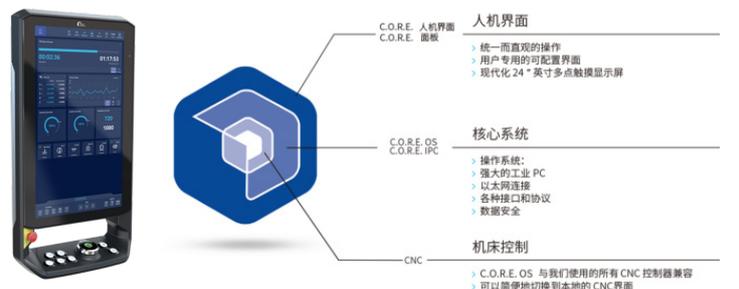
德国巨浪（CHIRON）公司的数字化解决方案SmartLine是一个多模块软件组合系统，包含了ConditionLine（自动状态监测）、DataLine（可视化机床和进程）、ProcessLine（预先模拟和优化工艺）、ProtectLine（防撞保护）、RemoteLine（远程诊断和维护）、TouchLine（可视化操作）模块，实现工艺过程的数字化和设备管理的数字化，提高生产效率，提升开机率和优化加工工艺。

为帮助用户更轻松进入数字化生产，EMAG向用户新交付的VL系列机床在出厂时都配置了ENDA IoT Ready套件，方便接入物联网；采用全新的操作面板EDNA HMI Lite，为在机床上实现各类数据的可视化奠定基础。其数字化解决方案还包括EDNA Health Check、EDNA

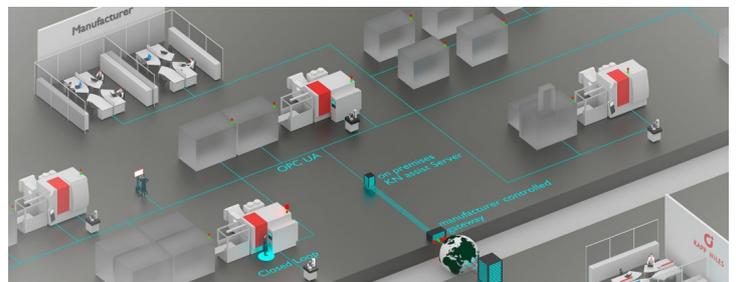
Visualize、EDNA Edge Cloud套件，分析和评估机床的状态，采集和处理各类数据，可视化显示和分析生产流程，实现设备管理和工艺过程的数字化。



联合磨削集团的CORE操作系统，不仅赋予联合磨削集团各个品牌机床统一的操作界面，联合磨削集团旗下各品牌机床之间可轻松实现数据交换，集成的umati接口还可与第三方系统进行通信，为用户实现数字化制造奠定技术基础。CORE操作系统还预装了联合磨削集团的数字化解决方案UNITED GRINDING Digital Solutions™，具有监视设备状态、保养提醒、远程服务等数字化工具，只要激活联合磨削数字化解决方案功能，就可获取这些数字化服务，实现设备管理数字化功能。



KAPP NILES公司的数字化解决方案，由GDE导入/导出、KN链接、闭环、生产监控、刀具管理、状态监控、流程监控、工件追溯、维护管理、远程服务等10个模块组成，可以实现设备的便捷联网、产品数据的交换，工艺流程的优化、设备状态的监控以及设备保养提示。



GROB公司的数字化解决方案GROB-NET4Industry，由GROB4Line、GROB4Analyze、GROB4Simulate、GROB4Coach、GROB4Interface、GROB4Connect、GROB4Pilot、GROB4Automation、GROB4Track、GROB4Care、GROB4Portal、GROB4Optimization-MSP等10个模块组成，实现从生产规划、复杂编程、加工仿真、设备监控与分析、加工过程可视化到维修保养

的工艺过程数字化以及设备管理的数

字化解决方案。



DMG MORI的基于CELOS平台的集成数字化制造解决方案，涵盖了生产计划、生产准备、加工生产、过程监控、服务五个阶段。通过集成在CELOS平台中的CAD/CAM软件、仿真程序、数字化工具软件以及加工、监控、通讯等27个应用程序，实现产品从计划、编程、加工到售后服务的工艺过程和 设备管理数字化管理。



生产计划阶段的5个App，Job Manager、Job Scheduler、Organizer、Tech Calculator、Production Planning，用来控制和制定生产指令。

生产准备阶段的6个App，Application Connector、Job Assistant、Documents、Tulip Player、Robo2Go、3D Part Analyzer，为作业计划人员和机床操作员提供直接可用

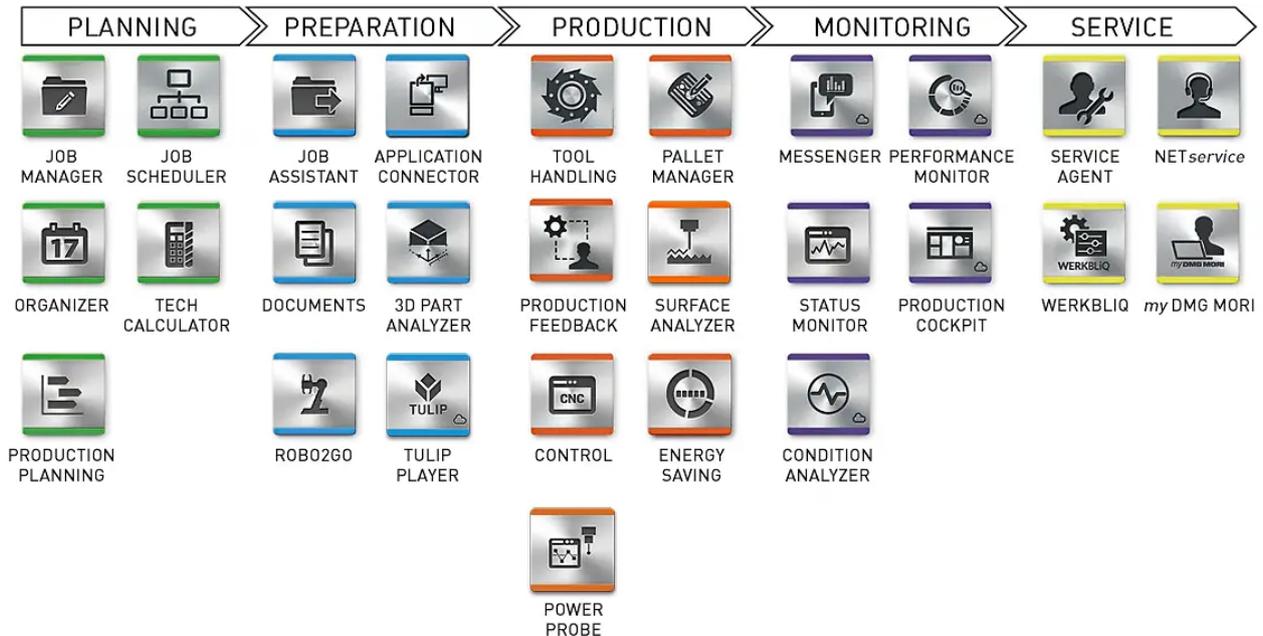
的作业数据并直接访问CELOS。

加工生产阶段的7个App，Control、Energy Saving、Pallet Manager、Tool Handling、Production Feedback、Surface Analyzer、Power Probe，为机床操作员提供支持。

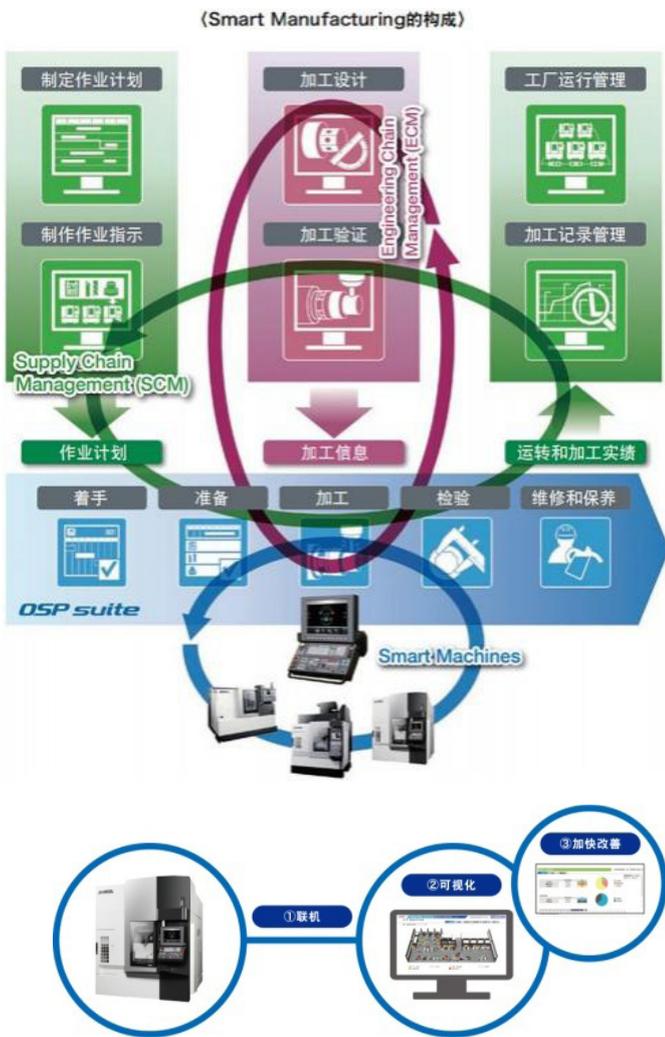
过程监控阶段的5个App，Status Monitor、Messenger、Performance Monitor、Condition Analyzer、

Production Cockpit，可以对生产过程进行连续的数字分析，提供有关当前生产状态的信息，分析和可视化机器传感器数据，并能够及早发现可能的机器故障。

服务阶段的4个App，my DMG MORI、WERKBLiQ、NETservice、Service Agent，支持持续服务和维护过程。



OKUMA的数字化工厂（Okuma Smart Factory）由 Smart Manufacturing（智能化制造）和 Smart Machines（智能化机床）构成，通过Okuma的Connect Plan物联网技术将他们连接在一起。数字化工厂按照确定时间生产所需产品的机制，供应链管理（SCM）向制造链下发作业计划，工程链管理（ECM）向制造链下发加工信息，并通过可视化监控管理加工设备的状态，以及工厂的运行情况，及早发现并消除设备故障，最大限度发挥工厂的制造能力，实现多品种、短交期，灵活应对需求变动，高效率的生产。



MAZAK的SPS（Smooth Process Support）智能化工厂管理系统，能够帮助用户提升工厂管理水平，实现智能化制造。SPS智能化工厂管理系统将信息技术用于产品设计、制造以及管理等全生命周期中，使得工艺、程序、计划等生产准备提前展开。作业人员只需要读懂信息，配合机床即可完成工作，达到提高制造效率和质量，降低制造成本，实现快速响应市场的目的。



SPS智能化工厂管理系统包含Smooth CAM RS（编程管理）、Smooth Scheduler（日程管理）、Smooth Tool Management（刀具管理）、Smooth Monitor（监控管理）、Smooth PMC（FMS管理软件）等模块组成。其中，Smooth CAM RS可以将客户的3D-CAD图纸转化为生产所需的加工程序，提高编程效率和编程准确性，同时还可以对加工程序进行分析和优化，以助于加工问题的早期解决。Smooth Scheduler可以提取Smooth编程软件中程序的加工工时，然后根据每台设备的产能及订单紧急程度进行自动排产，计算准确的订单完成时间，将准确的生产计划、加工程序及工艺、作业指示等信息下发给机床，作业人员只需按照机床提供的信息即可轻松完成生产工作，作业负担大幅降低，同时，任务完成情况可被实时掌控。Smooth Tool Management用来检查每台设备的刀库状态，提前配置生产所用的刀具，并对刀具寿命进行监控。Smooth Monitor对机床的运转信息、开动状态、维护情况，进行实时管理和数据采集分析；无论管理者身在何处，都可以通过软件查看机床信息，掌握生产计划的真实执行情况，从而发现生产过程中存在的问题，从而有针对性的进行解决。这样，就可以充分激发设备潜能，提高生产效率。



分析比较这些企业的数字化解决方案可以看出，多数企业的数字化解决方案聚焦于设备管理数字化和工艺

过程数字化。有的企业的数字化解决方案可以向上兼容ERP（企业资源计划）/PPS（生产计划与控制系统）/PDM（产品数据管理）/MES制造执行系统和CAD/CAM软件，为用户实现全面数字化制造提供了良好的支撑和基础。Mazak的SPS和Okuma的Smart Factory数字化解决方案整合了生产计划系统以及CAD/CAM软件，基本实现了工厂运营的数字化管理。

另外，这些企业的数字化解决方案都基于企业自身的机床产品，网络连接相对方便。但是对于用户来说，各种设备来自不同的企业，联网接口多种多样，实现各种设备之间以及设备和管理系统之间的联网通信会更耗时耗力。降低用户实现互联互通的时间成本和经济成本，制定标准化的数控设备互联互通协议势在必行。目前，有3个针对数控设备之间的互联互通协议。

中国机床工具工业协会牵头，联合部分高校、科研院所、企业研制的“数控设备互联互通协议标准（NC-Link）”采用先进的通讯技术，确保来自不同控制系统的机床数据，通过开放的、标准化的连接进行快捷网络传输。如华中数控、i5、广州数控、科德数控、西门子数控、发那科数控和倍福数控系统。

美国制造技术协会（AMT）牵头研制的的数据交换标准协议MTConnect，用于数控机床、PLC、工业机器人、测量设备在内的数控设备之间的数据交换。该协议已经正式批准为美国国家标准（ANSI/MTC 1.4），并已经推出了MTConnect 2.0版。

德国umati数控设备互联标准，由德国机床制造商协会（VDW）和德国机械与设备工程协会（VDMA）联合DMG MORI、EMAG、巨浪、恒轮、格劳博、利勃海尔、通快、+GF+、联合磨削等德国、瑞士的主要机床工具制造商，并邀请了西门子、海德汉、FANUC、博世力士乐、倍福、FAGOR、三菱电机等全球主要数控系统制造商共同研发。

数字化技术能改善制造企业的业务流程基础框架，是市场竞争以及改进业务的必要条件。实施数字化转型是全球制造业无法回避的必然选择。

## 二、工业软件众彩纷呈

长期以来，提高机床的性能，硬件一直是行业的研究焦点。但是一项技术的提升在趋于极限阶段，要取得突破性进步更为艰难。机械技术发展到今天，单纯通过机械技术的提高来提升机床的精度和性能，难度越来越大。随着数字技术的发展，以及用户加工需求日益复杂化，工业软

件成为丰富和完善数控机床功能，提高企业管理水平和效率，提升企业竞争力的关键。工业软件封装了工业知识，建立了数据流动规则体系，打造了制造链的大脑和神经，使智造链变得更加聪明，功能可以随时调整。工业软件描述、集成、模拟、加速、放大、优化和创新了传统制造过程，形成一种新的工业智能模式。工业软件开发已成为软件开发企业以及机床工具企业研究的重点，包括CAD/CAM软件、控制软件、仿真软件、检测软件、补偿软件、管理软件等发展快速，精彩纷呈。

CAD/CAM软件曾经只是作为绘图和编程的辅助工具，随着数字技术的发展，CAD/CAM这些软件已经成为了产品设计、加工生产必不可少的数字化工具。CAD/CAM软件提供商不断丰富软件的功能，提高其性能，以满足当今数字化制造发展的需要。

MasterCAM具有强劲的曲面粗加工以及灵活的曲面精加工能力，400多种后置处理文件以匹配各种类型的数控系统。最新版MasterCAM 2023新增了多项功能，如B轴外形车削、支持多个中心架、将部分多轴加工策略合并为“智能综合”，用于管理机床群组的新 workflow 和界面。



### 为现代制造业量身定制的高效编程工具

功能丰富，应用简单直观。

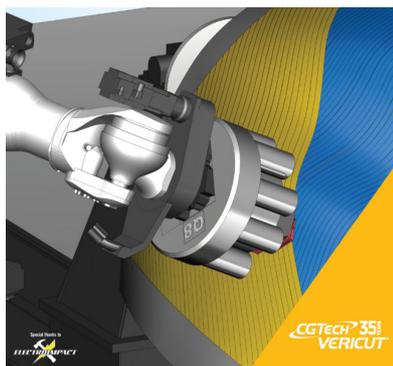
避免错误，节约时间，降低成本，提高生产力。

多种加工过程提供优化解决方案，助力向高端制造业转型。



Vericut加工仿真、程序验证软件，是基于实体、基于特征的并记录历史的仿真。可以方便、准确、快速地分析尺寸，检查错误。新发布的Vericut 9.3版本，具有工具管

理器增强功能、新的工具界面、增强的处理速度，改进了包括碰撞检查、子系统轴限制等核心功能，新增的“受力优化”功能，可以分析和优化数控程序加工过程中的切削条件，根据工件材料、刀具、机床参数来生成高效数控程序，可减少25%以上的加工时间，刀具寿命延长2倍以上。新增了“增材制造”功能，支持减材加工和增材制造在同一界面完成。

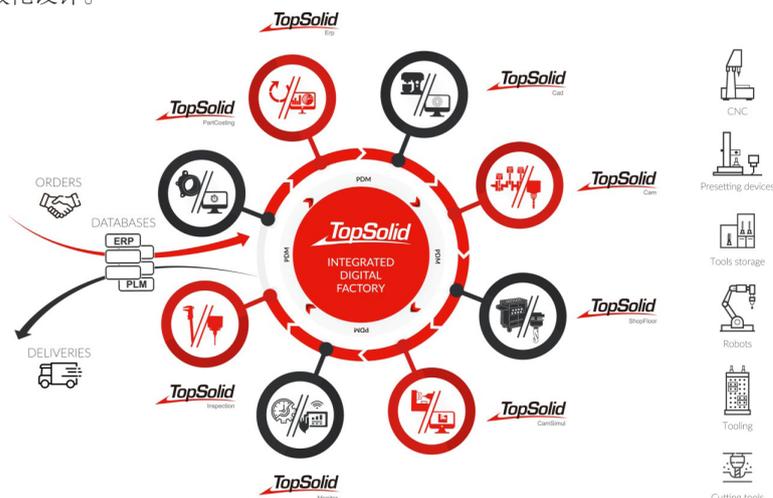


Cimtron是模具制造行业应用最广泛的CAD/CAM集成式专业工模具解决方案，用于型腔模具设计与制造、冲压模具设计与制造、电极设计与制造、数控编程等模块，涵盖了工模具制造的全过程——从报价计划到模具设计、工程变更，以及数控编程。新发布的Cimtron 16版本引入了新的和增强的功能，使各种模具制造商能够更快、更轻松地交付高质量的模具，如顶杆定位、分型面相切延伸等新功能。

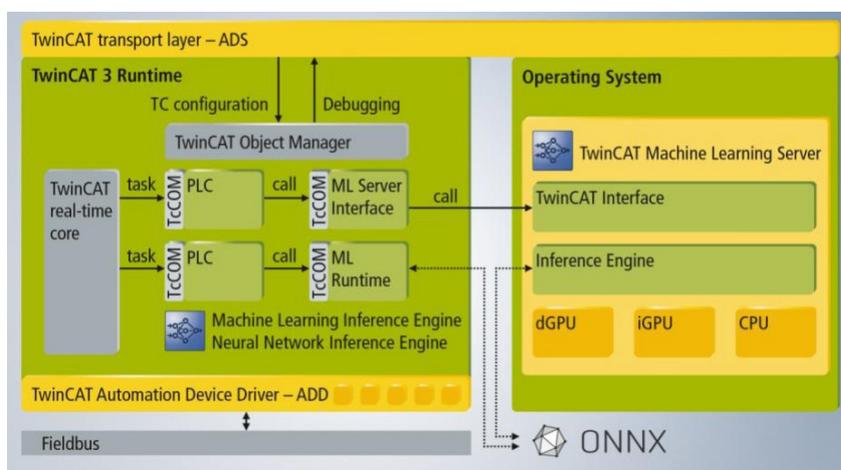


Hypermill是一款CAD/CAM集成化软件，提供从2.5轴到5轴的系列模块，具有自动干涉检查、独立五轴联动、动态变化刀轴等功能，在五轴联动加工方面独具特色。其新发布的Hypermill 2023版本增加或增强了许多功能，如轮廓铣断边功能、型腔铣刀具补偿功能，自动搜索合适区域以适应高性能路径布局的3D平面加工等，能加快编程速度，改进加工质量，提高效率；HyperMILL CONNECTED Machining 模块将刀具数据（长度、半径、角部半径以及刀具编号和名称等）直接从 hyperMILL® 传输到数控系统；改进了摇篮式五轴联动加工中心的“虚拟机床优化器”的链接逻辑，将各个零件程序与平顺、安全联系在一起。

TopSolid-CAD/CAM/PDM原生一体化协同平台，以三维数模（MBD）为数据源，集设计、工艺、仿真、制造、管理于一体。一个系统可以解决产品设计、数控加工、产品数据管理等需求；没有系统集成和数据转换，易于保证数据的完整性、正确性和时效性；利于企业进行产品模组化、模组标准化、标准参数化设计。



毕孚自动化（上海）的TwinCAT 3 Machine Learning 软件将机器学习（ML）集成到整个控制系统中。需要学习的模型可以在如 MATLAB®、TensorFlow、PyTorch、SciKit-learn 等成熟的机器学习框架中进行训练，然后通过开放式神经网络交换（ONNX）格式导入到 TwinCAT 中运行。这样可以为包括预测性维护、过程控制以及全自动质量控制在内的许多领域开辟新的可能性和优化潜力。



WattPilote加工过程监测系统能够根据原材料、刀具、加工状态的不同准确判断刀具的实时磨损状态，在优化刀具的同时，大幅度降低由刀具磨损引起的产品问题，从而达到提升无人化干预、降低质检频率的目的。

上海航天壹亘智能iMCS智能总控系统，通过智能采集与互联、设备控制、大数据深度学习及数字双胞胎等技术实现对车间生产过程的全生命周期的管控，包括智能排产、自适应调度、状态监控、质量预测、加工优化、智能决策等功能。总控系统在架构上面采用工厂、车间、产线、单元的多级管控模式，一套系统可支持多个工厂、多个车间，多条产线，多个单元进行同时管控，达到提升加工效率、降低加工成本、提高加工质量及提升加工过程管理水平的效果。



INDEX的虚拟机床（Virtual Line）软件，是在西门子软件原有数据、INDEX控制系统和机床稽核数据的基础上开发的，包含了INDEX机床所拥有的全部功能，可以在机床上或者CAM系统中进行精确的加工模拟。INDEX还有丰富的工艺技术包可供选装，如直接加载和打开STEP格式的3D文件的3D-STEP Import、用于复杂轮廓去毛刺的EntgratenPRO，以及流线铣、摆线铣、雕刻等工艺技术软件包。这些工艺技术包能够进行额外的工艺技术编辑，并输出加工程序，以进一步处理、简化编程。



上海微茗的LMS产线智能管理系统，通过管理软件实现生产智能化，具有产线数据统计分析、程序传输管理、刀具管理、生产计划管理、生产可视看板、生产数据追溯、质量管理、能耗管理等功能，实现产线管理的数字化。



软件的开发不仅限于那些软件提供商，机床制造商也愈加重视软件的开发应用。机床制造商不断丰富机床内置软件，以提升机床的性能。

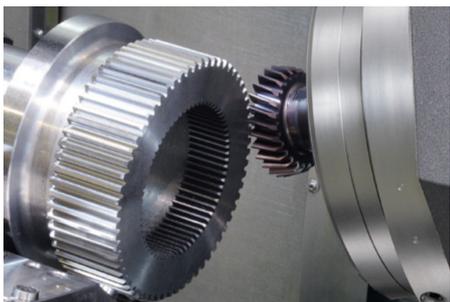
牧野在A800Z五轴卧式加工中心上配置了其特有的超级几何智能控制（SGI.4）软件，用于复杂的三维模型中微小的程序段的处理加工，确保加工运行速度比标准CNC系统更快，同时保证更高的精度。与大多数其他控制技术相比，SGI.4可将复杂型腔和型芯模具以及航空航天零件的加工周期时间减少多达40%，从而有确保了更低的循环时间和成本。

很多机床制造商向用户提供这种工艺技术包，方便用户发挥机床的最大潜能。

DMG MORI汇聚了公司几十年的专有应用技术，开发了42种特有的技术循环，帮助用户简化编程，提高编程速度，提高生产力和安全性。这些技术循环按照功能分类，归纳为操作循环、测量循环、加工循环、监测循环，供用户选择使用。如DMU 50 3rd可配置3D quickset、gearMill、Easy Tool Monitoring 2.0、W-Setter等技术循环，分别用于检查和修正四轴和五轴加工中心的运动特性和精度、齿轮铣削、避免刀具破损和刀具过载导致的故障、刀具长度的手动测量和工件定心。



OKUMA 铣车复合加工中心 Multus U3000的齿轮加工软件包，只需通过3步编程，选择齿轮种类、输入加工条件、自动生成并执行程序，即可在五轴加工中心上完成过去只能在齿轮机床上完成的工作。



联合磨削集团的J600平面成形磨床，配置新的多边形磨削软件，在一次装夹下，可实现磨削360°轮廓，缩短加工时间。用户仅通过CAD生成工件的二维轮廓图并将其导入程序即可实现磨削加工，磨削程序可以自动将数据转换为三维数据，操作人员无需任何编程知识，仅需选择技术参数即可。



北京精雕的JDGR500精密高速五轴加工中心，搭载了其自主开发的专用五轴联动加工CAM软件Surmill，

具有多种五轴编程策略，满足多场景五轴编程需要，支持多种格式文件，可以实现加工过程的数字化仿真，辅助优化工艺要素，提升工艺过程安全性。

北平机床的磨床产品都配有专用的应用软件。如T6五轴数控工具磨床，配有自主研发的3D模拟磨削工艺软件，让操作编程更加便捷化。BP8数控外圆磨床，配有专用的磨削软件，操作界面友好，人机交互性强，大幅简化编程等操作过程，降低磨削加工对人的依赖性。

瑞士阿格顿的四轴磨削中心Evo Combi，用于可转位刀片的周边磨，配备有专门针对超硬磨削的软件——力监测系统，可实时采集主轴的负载变化，通过自适应进给功能自动调节砂轮主轴的进给率至最佳值，提高磨削效率。

江苏合泰机械的全自动三维数控弯管机CNC65XE-9A，配置其自主开发的弯管指令数控软件，用户可以对系统通过弯管工艺参数自动生成的弯管指令进行编辑修改，输入坐标值即可以3D图形显示，以及干涉仿真，机械干涉位置由计算机自动计算，无需人工测量或设定。

南京二机床的七轴五联动数控内齿珩磨强力珩磨机Y4830CNC，配置的自主知识产权应用软件，可自动实现强力珩磨工艺以及余量补偿。工作台进给轴采用直驱技术，智能化夹持力控制及自动热变形补偿技术，确保高精度齿轮的珩削要求。

### 三、绿色技术助力减排

2020年9月，习近平总书记在第75届联合国大会一般性辩论上表示，中国将采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中

和。

有研究表明，工业生产是第一大碳排放源，在能源使用造成的碳排放中，每年有近36%来源于工业生产。工业企业低碳转型是碳中和的重点实现路径。机床工业作为基础性行业，在实现碳达峰碳中和的绿色战略中，不仅要努力实现企业自身的低碳转型，还承担着为工业生产提供低碳排放机床工具产品的重任。

有研究表明，机床产品生命周期中约80%的二氧化碳是客户在工厂使用机器时排放的。因此，我国绿色战略必然要求我们机床工具行业向用户提供低碳排放的绿色机床，倒逼机床工具行业发展绿色技术，促进行业技术进步。

机床工具绿色技术研究和应用主要体现在：优化设计，减轻机床运动部件重量，减少能源需求；能量回收，驱动装置配备电能回馈装置以回收制动能；能源管理，待机关闭冷却、液压、照明、显示等耗能设备；提高能源利用效率，采用能效更高的电机；应用数字化技术、自动化技术、复合加工技术、高速加工技术、仿真技术等先进制造技术和管理技术，缩短生产周期，提高生产效率，减少能源消耗；应用微量润滑以及干切削技术，减少污染。

这些绿色技术在很多公司的产品上都有体现。

宁波海天精工BF2040 II 五轴高速铣削中心，采用工作台固定，高架桥式龙门框架结构形式，设计融入高动态性能加工理念，结构刚性好，移动部件轻量化，具有高速、高效和高精的特性。

珠海格力智能在其高速桥式（五轴）龙门数控机床GA-GM3020以及高速立式数控机床GA-GF2755上，应用微量润滑冷却系统，消除乳液污染，延长了刀具使用寿命。

重庆机床集团数控卧式干切滚齿机YS3610、秦川机床集团数控干切滚齿机YK3126、德国艾克索五轴加工中心MP9/5等应用干切削技术，消除切削液污染。

宜昌长机的数控刮齿机YK8115、YK8132、YK8150系列，采用高速干式切削方式，实现齿轮工件的高效高精度刮齿加工。

郑州钻石的球头铣刀，刀头为PCBN材质，硬度高、耐磨性强，有良好的热稳定性、热硬性及导热性，可满足干切削要求，减少环境污染，绿色环保；采用四刃结构，切削稳定性好；每个刀头部位的刀体上有一个出气孔，加工时起到空气冷却作用。



宁波中机松兰刀具的聚晶立方氮化硼（PCBN）、聚晶金刚石（PCD）超硬刀片，具有以车代磨、稳定加工、刀具寿命长、加工精度高等诸多优异性能，支持“硬态加工、干式切削”等先进工艺，可以避免生产过程中的灰尘、磨削液对环境的污染，实现绿色加工。

汇专科技的超声绿色高效钻攻中心UGT-500、超声绿色高效五轴联动加工中心MVA500-5AXIS，配置了超声加工系统、微量润滑MQL系统，无需传统切削液，绿色环保。

日本MAZAK公司提出了通过节能技术、使用人工智能和数字技术、工艺集成等三种路径来减少碳排放，减少对环境的影响。

开发带有节能功效的新型号机床来减少客户工厂对环境的影响。MAZAK的VCN-600立式加工中

心，采用了高节能冷却单元，制冷剂逆变器可根据加工时主轴负载优化冷却量，每年可减少11%的能耗；VARIAXIS i-800 NEO的液压单元使用蓄能器和逆变器冷却装置，在运行中能大大地降低能耗，每年可减少21%的能耗。

通过人工智能和数字技术优化加工条件以获得更高精度，降低电能消耗。MAZAK利用其人工智能技术Ai Thermal Shield，根据温度变化自动计算补偿量，确保加工精度，避免由于加工失败而出现的再加工情况，减少能源消耗；利用数字孪生技术创建虚拟机床进行加工仿真，减少在机床上的加工时间，从而降低能源消耗，提高生产效率。

通过工艺集成实现在一台机床上完成车削、铣削、钻削、齿轮加工以及增材制造，减少总生产时间，降低成本，减少碳排放。

日本OKUMA采取了削减机床运转时的能源消耗、关闭不使用的设备、缩短加工时间、分析优化减排点等措施来实现减排目的。

基于OKUMA机床的智能技术Thermo-Friendly Concept（准确控制规则的热变形），用户无需采取特别措施即可在普通的工厂环境中实现高精度加工；无需机身冷却或过度的空调控制，维持机床精度稳定性，也无需进行长时间的热机。配置高效液压单元，降低能耗；应用电能再生技术，回收制动能。通过这些绿色技术，减少机床运转时的能源消耗。

OKUMA的ECO Suite Plus自动检测机床的运转状态，无需按键操作，自动关闭不必要的外围设备。保持精度所需的冷却设备应用"Thermo-Friendly Concept"技术，自动判断机床是否需要冷却，保持高精度并进行怠速停止。这两者结合实现确保精度的同时，减少不必要的能

源消耗。

DMG MORI机床的绿色技术（Green tech）具有帮助用户降低能源消耗的功能。节能（Energy Saving）App能够按时间或者程序段记录机床的功率消耗，有停机、预热、待机等三种模式来管理机床、气动液压系统、显示屏、照明灯，实现降低机床的能源消耗和运行成本，同时提高生产力的目标。据称，节能模式下，机床的能耗将降低30%。

德国INDEX公司在开发机床产品和进行技术改进时，就将绿色概念作为核心要求，始终践行其生态方案，提高机床产品的能源利用率并降低能耗。该生态方案包括以下几个方面：

（1）ECO fluid：根据使用情况对泵的运行进行控制降低消耗，从而使冷却液供应和液压供应的能耗达到最佳水准。

（2）ECO energy：所有驱动装置配备电能回馈装置以回收制动能量；使用同步电机和提升效率使损耗得到降低；采用更高加速度和快移速度实现最短加工时间，从而节约能源。

（3）ECO design：采用创新的轴连机构，降低机床组件重量使能源需求更小；通过技术和工艺整合，通过在一台机床上进行智能化多工位加工的方式实现节能。

（4）ECO cool：采用中央控制的机床冷却系统，使余热得到再利用。

（5）ECO control：通过智能化待机方案降低消耗；自动关闭周边设备。

（6）ECO setup：采用仿真技术在不占用机床的条件下工件进行设置，从而实现节能。

#### 四、增材制造前景广阔

增材制造技术作为一种前沿技术，受到了各个国家的高度重视，

但受限于材料、成本、效率、制品的力学性能和表面质量等问题的困扰，其应用场景受到一定的制约。但一些新的研究成果应该会让我们的增材制造的应用前景有新的认识。

有学者采用激光选区熔化（SLM）对Ti6Al4V钛合金材料制备的增材制造样件的金相组织、力学性能开展了研究。研究表明，采用400W以上激光制备的Ti6Al4V钛合金增材制造样件，微观组织、力学性能以及致密性能够达到甚至优于锻件的标准。

还有学者采用激光金属沉积（LMD）技术进行了Ti6Al4V/TiC的功能梯度材料研究。研究表明采用LMD技术增材制造均能满足锻造Ti6Al4V所规定的最低屈服强度和抗拉强度要求。

GE航空先进技术(GE AAT)慕尼黑团队的总部位于德国慕尼黑，是欧盟Clean Sky 2计划的三个核心合作伙伴之一。该团队采用直接金属激光熔化工艺增材制造的直径1m的Inconel 718涡轮中心框架（TCF）外壳，与传统铸造生产工艺相比，这个需要由150多个零件组成的部件，用增材制造工艺生产可整合为一个单一组件，制造成本和零件重量减少约30%，交货时间由9个多月缩短为两个半月。



波音公司在华盛顿州塔科马城（Tacoma）东郊Algonia的增材制造工厂于2022年9月下旬正式开业。开业庆典期间展示了采用增材制造工艺生产的波音737客机上的翼尖帆。该翼尖帆一直是由外部供应商生产制造，由多个零件组装而成，供货周期为6周，制造成本5-6万美元。而采用增材制造工艺进行生产，使用聚合物材料，打印时间41小时，后期制作85小时，制造成本约4万美元。波音增材制造副总裁声称，采用增材制造方式生产翼尖帆，直接生产成本的降低并不是最主要的，关键在于采用增材制造方式，由多个零件构成的翼尖帆整合为单一零件，减少了零件的数量，并且随之能够减少数以万计的紧固件，以及相应的所有成本，如管理成本、仓储成本等，这将是一

个巨大的节省。



德国SLM Solutions公司在一次先进制造技术论坛上介绍了宝马汽车采用增材制造技术为其BMW i8 Roadstar生产顶棚支架的案例。据称根据宝马汽车计算，采用增材制造技术生产钛合金材质的顶棚支架，在生产数量少于6万件的情况下，比采用塑料材质，通过模具来生产的方式更具成本优势。



增材制造技术的应用，以前更多关注在宇宙开发、远洋航行以及生产一些切削加工技术无法实现且非关键受力零件的情况下应用。上面的几个案例，说明在一些生产环境中，增材制造技术对于批量生产同样具有时间、成本的优势，而且增材制造技术生产的零件在力学性能、金相组织等方面不逊色于锻件。随着对材料、工艺研究的深入，增材制造技术的应用领域也将不断扩大，成为切削技术的有益补充甚至竞争者。

美国3D Systems的DMP Factory 350金属增材制造系统可制造最大275×275×380mm的金属零件，采用选区激光熔融技术，能够高效地制造非常致密的纯金属零件，实现如Inconel合金、钛、钴铬合金、铝、钢等金属材料的增材制造。其改进的气流技术，能够均匀地提高整个制造区域的零件质量。集成的3DXpert软件支持增材制造工作流程的每个步骤，从设计到后处理，从而简化工作流程，有效地从3D模型过渡到零件。双向铺粉功能，提高工作效率。还可选配DMP监控工具（DMP Monitoring），实时收集加工数据，分析加工过程，优化加工参数。

天津镭明激光的LiM-X260A金属3D打印机，可制造260×260×430mm金属零件，采用激光选区熔融技术，实现如钛合金、铝合金、高温合金、钴铬合金、不锈钢、模具钢、铜合金等金属材料的增材制造。循环系统采用永久滤芯，具有反吹功能，配备大容量供粉舱；自主研发的LiMPCS控制软件，实现设备打印的自动化；专用运动控制系统，提高成形系统和铺粉系统运动的精度和稳定性，智能监测系统监测成形舱中的含氧量，超限自动报警；配有粉床监控模块，内置高清相机，每次铺粉后和熔融后拍摄粉床情况照片，经算法分析比对，可实现对每层铺粉质量和熔融质量的监控，对异常铺粉进行自动补粉、自动报警。

LiM-X400金属3D打印机，采用龙门结构，单、双向铺粉可选，结构稳定，铺粉效率高。成形最大尺寸400mm×400mm×550mm。



## 五、集成复合方兴未艾

在零件加工和模具加工领域，工件形状日益复杂，交货期缩短，产品高附加值日趋深化，要求加工设备具有高性能和高效。为满足市场需求，以某一目标为导向，将机床结构与功能、加工工艺、工作方式等进行集成和融合，获得高性能和高效的产品，成为技术创新的一个趋势。各种类型的复合机床、加工单元、自动线、多主轴加工设备发展呈现一片繁荣景象。

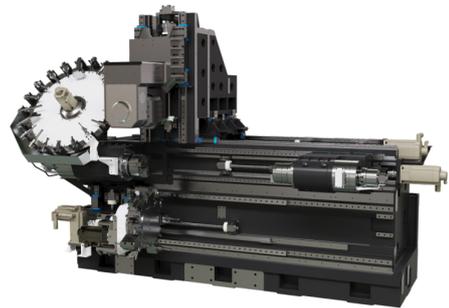
复合加工机床按照工艺集中的原则，将不同的加工过程集成在一台机床上，实现一次安装完成全部加工，从而减少安装次数，提高加工精度和生产效率，特别适合一些形状复杂，精度要求高的零件。

瑞士威力铭马科黛尔的铣车复合加工机床408MT，卧式车削主轴转速6000r/min，可进行C轴分度，铣削主轴转速42000r/min，沿X、Y、Z轴运动，并可做B轴摆动，从而实现铣车复合五轴加工，主要用于小型精密零件的加工。

德国Index的铣车复合加工机床G420，对置正副主轴，铣削主轴，双下刀塔，三把刀具可无碰撞风险同时加工，可满足直径120mm以下的棒料、直径315mm以下盘

套类以及长度1600mm（2300mm）以下长轴类零件的高效铣车复合加工。可以选配集成的上下料系统，或选配机器人单元iXcenter。

科德数控的铣车复合加工机床KCX1200 TM，整体顶置式正交结构设计，铣削主轴最高转速12000r/min，车削主/副主轴箱均采用内冷却力矩电机，实现高转速，高效率加工。同时配备高精度电磁角度编码器+液压夹紧，实现C轴高精度任意角度定位，提高铣削精度。工件最大回转直径520 mm，最大车削直径400 mm，最大车削长度1200 mm。



日本山崎马扎克的铣车复合加工机床Integrex i-250HS，最大加工直径670mm，最大棒材加工能力65mm，最大加工长度1519mm，主轴转速5000r/min，铣削主轴转速12000r/min。采用搭载了支持AI、数字孪生和自动化的MAZATROL SmoothAi数控系统，Ai热屏障会根据主轴转速和床身上温度传感器的信息抑制刀尖位置的变化。通过考虑温度变化、机械位置、冷却开关等因素，对机床进行精密控制，使连续加工精度保持稳定。

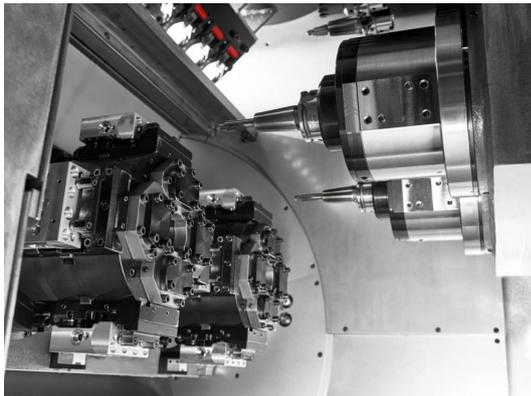
日本大隈的铣车复合加工机床MULTUS U3000，机床设有对置车主轴、铣主轴、动力刀塔以及B、C轴，双滑板机构将加工时间缩至最短，能够在一次装卡中完成复杂零件的多种加工，包括齿轮加工和倾斜车削能力。

德国EMAG公司的立式车磨复合加工机床VL 200GT，一次装夹完成盘类零件的全部硬加工。硬车和磨削组合实现了更短的节拍时间、更高的加工质量并大幅降低了刀具成本。



多主轴机床在不增加机床数量情况下提高企业生产率，深受市场欢迎，技术得到快速发展。多主轴结构各异，功能不尽相同，既有多主轴同步加工，也有可独立控制的。

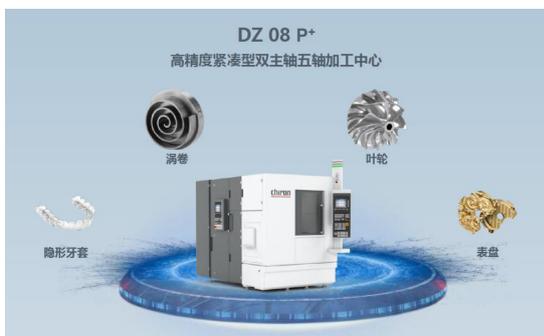
意大利ViGEL的TW 320H双主轴五轴卧式加工中心，可实现双主轴同步加工，提高加工效率，板式双工位交换装置，减少机床的停机时间。



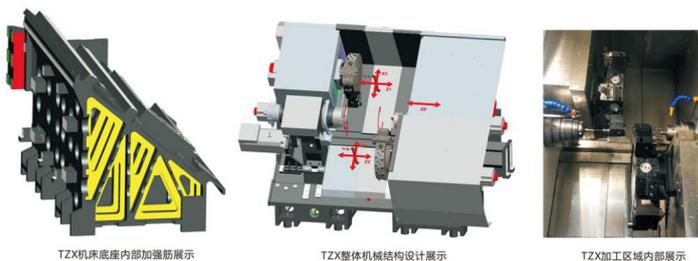
德国Licon的LiFLEX Twin-Spindle双主轴卧式加工中心，两主轴间距400~1500mm，搭载i3技术，两个主轴在X、Y、Z三个方向上可独立控制，内置温度传感器以及温度补偿技术能有效减少主轴温度对定位精度的影响。



巨浪凯龙的双主轴五轴立式加工中心DZ 08P+，电主轴配置水冷却系统，主轴转速40000r/min，动柱式结构，大理石床身，具有良好的刚性和热稳定性，直连式伺服驱动，可配置工件交换单元，实现在加工同时上下料，直线轴采用直线电机驱动，微米级加工精度，快移速度75m/min，可满足医疗器械与精密加工领域的特殊要求。



江苏德上的TZX42-470车削中心，40° 一体式铸造斜床身，内部加强筋，采用倒三角蜂窝状设计，高刚性，高稳定性对置双主轴，两个动力刀塔，双Y轴可以针对一个零件同时上下加工不干涉，也可以分别加工两个工件，加工效率高。



日本村田的对置双主轴车削中心MT100，上下布置的两个刀塔，均可配置Y轴、动力刀座，将车削、钻孔、精加工等多工序集成到一台机床上，对工件进行正反面加工，实现复杂工件工程集约化。既可搭载高速伺服棒料堆载装置，又可通过新型高速门型机械臂规格对应多样的上下料装置，以高操作性实现工件加工自动化。



陕西诺贝特的平行双主轴双排刀精密数控车床JXK 200WA，两个电主轴并排布局沿Z轴前后移动，X轴与Z轴垂直，左右移动，通过桁架机械手实现自动上下料，完成零件正反面的加工、工件上料装夹、工件清理等工序，大大提高了机床的加工效率。

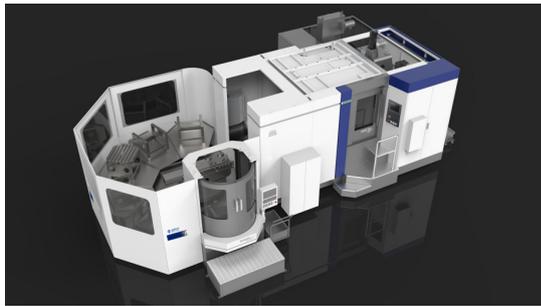


瑞士Tornos的多主轴自动车MultiSwiss 8X26, 配有8根主轴, 有8个工位。每个工位都可实现独立转速和分度以及C轴定位, 并配置4把刀具。背向主轴安装在两个移动轴上, 可以使用至少4把刀具完成独立工作, 其中两把为动力刀具。MultiSwiss 8X26融合了多轴车床和单轴车床的优势。其编程和操作非常简便, 堪比单轴车床, 而生产效率却提高了数倍, 显著提升了产品质量和产品一致性, 为复杂工件的生产提供了新的方案。

安徽力成的双头数控车床DNL082, 采用中置主轴, 左右独立排刀布置, 配置双通道控制系统, 可实现一次装夹两端同时加工, 效率高, 精度高, 特别适用于车桥轴管、泵体类、套筒类等对称型轴类零件两端的同时加工。



中国通用技术的卧式加工中心柔性加工单元FMS6306, 由一台卧式加工中心和六工位托盘库组成。卧式加工中心具有自动交换工作台功能。托盘库布置5个缓存工位, 一个上下料工位。为大批量或多品种小批量的高效加工提供解决方案。



集成、复合技术发展快速, 产品丰富。如有铣车复合、车铣复合、车磨复合、增材与减材复合、特种加工与切削加工复合, 有多主轴加工中心、双主轴立车、双主轴卧车、中驱双头车等, 结构功能各有特色。很多国内外知名企业都有类似产品, 如WFL、Starrag、EMCO、DMGMori、中国通用、大连科德、齐重数控、天水星火、普利森、意美机械、众一智能、辽宁西格马、韩国迪恩等的车铣(铣车)复合加工机床; 德国INDEX、德国Schutte的多轴自动车床; 台湾友嘉、纵晟(上海)精

密、杭州川禾、浙江立岗、巨鑫机床、温州大众精密、台州屹捷、山东友泰等的多轴加工中心和多轴车床。

## 六、创新技术引人注目

技术创新是企业可持续发展的第一动力, 在产品的生产方法和工艺水平的提高过程中起着举足轻重的作用, 是企业增强市场竞争力的必然选择。

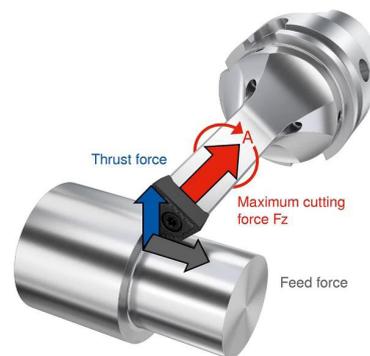
超声振动加工由于主要依靠磨粒瞬时局部的高频冲击形成的巨大能量去除材料, 工件表面的宏观切削力很小, 切削应力有效减小, 切削温度极大降低, 不会产生变形和烧伤, 表面质量好, 成为解决玻璃、陶瓷、宝石、石英、硅、锗、石墨等硬脆材料, 颗粒增强复合材料, 纤维复合材料等难加工材料精密超精密加工的一种利器, 主要应用于航空航天、国防军工、3C等领域关键零部件的高效精密制造。

西安超克能的超声加工装置, 有超声车刀、超声振动旋转刀柄、超声磨削装置等, 用于解决特种工艺加工难题及难加工材料的加工技术问题, 金属镜面加工工艺和抗疲劳制造工艺整体解决方案, 多领域的超声加工研发和应用。

汇专科技的超声绿色高效五轴联动加工中心MVA500-5AXIS, 采用汇专自主研发的超声主轴, 可选超临界CO<sub>2</sub>内冷、微量润滑系统, 实现清洁切削, 直线轴重复定位精度3 $\mu$ m, 旋转轴重复定位精度5", 应用于难加工材料的高效精密加工。

春保森拉天时的高动态车削(High Dynamic Turning)技术以及FreeTurn车刀, 可以将粗加工、精加工、仿形车削、端面和纵向车削等常见的车削作业, 集中在一把车刀上即可完成。

传统车削工艺中, 每个轮廓需要不同的刀具去加工。这会产生巨大的刀具成本和较长的刀具更换时间。采用高动态车削(HDT)技术, FreeTurn刀具可以利用铣削主轴实现全方位自由度。切削刀可以通过刀具轴线的旋转来改变主偏角, 从而节省刀具数量, 减少换刀时间, 进给率可提高40%, 空走刀行程减少90%, 加工时间可减少25%。



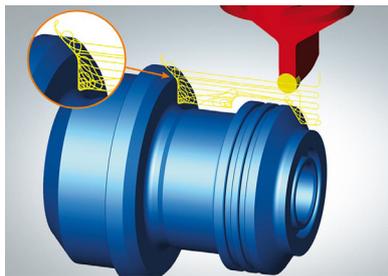
FreeTurn刀具采用整体式设计，其特征是一个细长的刀杆和一个用螺钉固定的可转位刀片。FreeTurn可转位刀片由几个不同的切削刃组成。独立的刀尖角、刀尖圆角、断屑槽、涂层和刀片材质可以根据需要复合在一个刀片上，实现个性化的应用。这样做的主要好处是，通过改变主偏角就可用一把刀具完成不同的车削工艺。

摆线铣削工艺是金属切削加工领域的一大特色，已众所周知，但摆线车削工艺还少提及。Openmind公司将其摆线铣削理念扩展到所有采用Hypermill以及MAXX加工的车削工艺，开发出采用CAM编程的摆线车削。

摆线车削能延长刀具寿命，缩短加工时间，具有更高的工艺安全性，特别适用于韧性材料以及难加工材料的高效粗加工。

摆线车削优化了刀具路径的连接以及更流畅的机械运动，加工时间更短；切入和退刀轻快，切削行程短，因而工艺安全性更高，刀具磨损更少，刀具使用寿命更长。

据称，摆线车削不需要增加额外的设备，只要有Openmind的HyperMill MAXX软件即可，可用于任何常规的车床。



EMAG的无刀痕（Scroll-free）车削技术，在车削加工中，倾斜的刀刃在旋转的工件旁回转，刀刃切入点沿刀刃不断移动。这样，切削使用

的是整个刀刃，可以延长刀具寿命，缩短加工时间，提高加工件的表面质量，加工面不会产生刀痕。应用实践证明，使用无刀痕车削技术，可以在最高进给达到1mm/r时，实现 $Rz < 6.3 \mu\text{m}$ 的表面质量。

使用无刀痕车削技术加工的叠片组结构电机转子轴前后对比如图所示。



EMAG公司VT系列倒立车的旋转刀塔已经根据无刀痕车削的特殊要求进行了调整。□

## 资讯

### 秦川集团成功入选两项“国家队示范”

日前，国务院国资委公布了创建世界一流示范企业和专精特新示范企业名单，陕西省仅四家企业榜上有名，秦川集团成功入选，成为全国200家“创建世界一流专精特新示范企业”之一。



创建世界一流专精特新示范企业，是国务院国资委

彻党中央、国务院关于加快建设世界一流企业决策部署，深化创建示范、管理提升、价值创造、品牌引领“四个专项行动”的重要内容，目的在于加快建设一批主导全球产业链、供应链、价值链的龙头企业，培育一批专精特新“小巨人”和单项冠军企业，在不同领域形成百家以上不同层级的典型示范企业。

近年来，秦川集团持续聚焦主业，坚持科技创新，聚力突破高档数控机床“卡脖子”技术，产品获评国家级制造业单项冠军，企业获评中国机械工业百强企业、中国齿轮行业最具影响力品牌、国家级专精特新“小巨人”企业等荣誉。

本次入选“创建世界一流专精特新示范企业”名单，是相关部门对秦川集团行业地位、创新能力、改革成效、发展质量和发展前景的高度认可，提升了企业核心竞争力和秦川品牌影响力。

# CIMT2023 | 加工中心类机床展品

中国机床工具工业协会

## 1. 概况

据已掌握的资料，本届展会加工中心的厂家报名十分踊跃，100多家加工中心类展商，将展出超过170台（不包括铣镗、龙门、复合类加工中心）各类加工中心设备。主要展商有北一机床、北京精雕、普什宁江、通用技术集团、科德数控、浙江日发、宁波海天、创世纪、沈阳精锐、威达重工、山东蒂德、纽威数控、东风设备、南通国盛、博鲁斯潘、成都煜鼎、大连三垒、新诺精工、汇专科技、济南一机、大昌华嘉、牧野、GF方案、山崎马扎克、大隈、格劳博、德马吉森精机、米克朗、哈默、玛西姆、费尔曼、丰田工机、哈挺、阿帕斯数控、沙迪克机电、兄弟机械、友嘉、丽驰、永进机械、大侨誉远等。

本次参展的加工中心产品丰富多彩，各厂商既紧跟成熟市场推出贴合市场的丰富产品，又推陈出新开发了很多有相当前瞻性的设备。五轴加工中心产品一如既往受到境内外厂商重视，有近70台各式五轴加工中心将在展会亮相。

## 2. 加工中心类展品主要技术特色

CIMT2023作为机床工具行业的一次盛会，参展的加工中心也同样充分体现了其鲜明的技术特色和发展趋势，总体表现为精度高、稳定性好、高效率、高刚性及智能化、自动化、专业化。

(1) 高精度及精度保持。大量中高端机床的主轴、直线轴和旋转轴广泛使用电主轴、直线电机和力矩电机驱动，通用类加工中心主电机与主轴的直联传动，伺服电机直接和丝杠联接。直驱直联技术缩短传动链，其良好的传动刚度和动态特性，显著提高了机床的精度水平。普遍使用的全闭环控制、高品质的主轴轴承和导轨产品也使机床

精度更上一层楼。大昌华嘉KERN Micro加工中心的定位精度 $1.5\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $1\mu\text{m}$ ，微米级的加工精度是精密加工中心中的典范。

加工中心在长时间快速运动和大负荷加工时，主轴、丝杠及床身产生的热变形，严重影响加工精度稳定性。越来越多的机床厂家在这些方面做了很多的努力，如采用热不敏感的矿物铸石材料、热对称设计结构、超临界 $\text{CO}_2$ 内冷、滚珠丝杠中心冷却、专用温控热交换系统、专有软件算法控制的精密热管理系统、环境热位移及主轴热位移自动补偿技术等，各种热控制的新技术精彩纷呈，这里不一一举例。

另外值得一提的是，FEHLMANN（费尔曼）VERSA745精密立式五轴加工中心、安田亚司达（上海）立式数控镗铣加工中心，主构件结合面安装面采用了人工刮研工艺，几何精度完全由人工机械方式刮研、调整保证，确保设备长期保持坐标镗床级的精度。

(2) 高效率。随着新能源汽车、3C电子、航空、航天等行业铝合金等材料的普及应用，以及伺服系统、数控系统及刀具设计和制造水平的提高，涌现越来越多的高速高效加工中心。具体体现在：主轴转速高，进给速度和加速度快，换刀时间短，双主轴和多主轴的设计，大扭矩电机提供强力切削。

(3) 高刚性。越来越多的机床厂家使用更合理的机床总体布局和结构设计，如龙门式布局，整机三点支撑的结构及一体化床身等设计的采用；应用有限元分析设计出合理的箱体及布筋结构以增强结构件刚度，大跨距导轨的应用，各种高稳定性的床身铸造材料（如大理石和密烘铸铁等）应用，大尺寸主轴轴承和精密滚柱导轨等也被大量使用。先进合理的设计和新材料的应用，既为机床结构的高刚性、高稳定性打下坚实的基础，也使机床保持长时间

的精度稳定性成为可能。

(4) 智能化。随着以SIEMENS、FANUC、HEIDENHAIN、华中数控等为代表的智能控制技术的发展，依托日益强大的数控系统功能及自动检测、自动补偿及模拟仿真等技术应用，机床智能水平大幅提高。大隈的热亲和、防碰撞、加工导航、五轴自动调整和伺服导航智能技术，精雕的工件自动找正和重建加工面特征坐标系等功能，德马吉森精机的3D仿真的轮廓验证功能，安田亚司达的精度补偿功能“HAS 4”(High Accurate & Speedy Machining System)都展示了其智能化水平。

(5) 自动化。高自动化水平是本届加工中心展品的一个亮点，“无人值守”也因此成为高频词。高自动化水平主要体现在：从机床的整体设计时就考虑设备布局形式，如刀库、工件库、多工位工作台、排屑机构等部件，布局更加合理，易于自动化成线；采用模块化，可配置多种外设单元，面向数字化车间提供多种网络通信能力；配置在线刀具长度和破损监测、AI加工诊断功能及各种智能软件系统；匹配机器人、RGV(智能搬运车)、桁架机械手等辅助设备。这些软硬件越来越成熟的应用，使自动化水平日臻成熟，“无人值守”也会成为越来越多的现实场景。

(6) 专业化。针对特定领域特别开发的专业化设备，体现了机床厂家积极的市场应对策略。格劳博G700F(卧式加工中心)专门应用于框架结构工件和底盘工件加工，成都煜鼎的PD1000(五轴加工中心)专门针对曲轴各种空间复杂角度的斜油孔加工；科德数控KFMC1020 U(五轴卧式翻板加工中心)是制造飞机翼板、翼肋、型框的理想设备；北一机床BF-A150和北京博鲁斯潘BM40-5i(五轴联动加工中心)专用于叶片加工；特雷维桑机床的DS1200/450C(数控卧式加工中心)配备数控平旋盘(U轴)和W轴是该设备的最大特色；北京精雕JDGR300H(高速加工中心)作为镜面加工专机，适用于高表面质量和高精度要求的镜面模具零件加工；创世纪和兄弟机械则开发了在3C领域中大量应用的高速钻攻中心。

### 3. 立式加工中心典型展品介绍

◆大昌华嘉香港有限公司 KERN Micro VARIO坐标级精密加工中心：具有超紧凑结构设计，占地面积仅为 $4\text{m}^2$ ，X/Y/Z行程为350/220/250 mm，定位精度 $1.5\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $1\mu\text{m}$ ，微米级的加工精度和稳定的精度保持，独特的KERN温度管理和高端组件，温度控制精度 $\pm 0.08^\circ$ ，内置多达210位刀库，以及最多60位内置工件库，易于实现无人值守操作。

◆费尔曼(FEHLMANN)VERSA745精密立式五轴加工中心：龙门式结构，主轴转速最高30000 r/min，X/Y/Z轴行程为500/650/420mm。摇篮式力矩电机驱动的旋转工作台沿X轴集成，有利于快速五轴联动铣削，以及超高定位精度的五轴加工。灰铸铁床身加上热对称结构设计，保证了机床刚性和精度。机床立柱结合面，导轨结合面等所有安装面采用人工刮研工艺，几何精度完全由人工机械方式刮研、调整保证，保证长期坐标镗床级的精度。可配Fehlmann MCM铣削系统，控制机床运行和自动上下料及刀具破损检测，满足无人值守。



◆安田亚司达(上海)机床贸易有限公司立式数控镗铣加工中心：JIGBORER系列采用了高刚性一体化桥架对称结构、预载荷自我调整型主轴、机体温度控制系统等YASDA独有的技术，通过搭载精度补偿功能“HAS 4(High Accurate & Speedy Machining System)”以及高功能测量系统等，实现亚微米级高精度加工。主构件导轨结合面使用刮研加工处理技术，保证精度的长期稳定性。

◆北京北一机床有限责任公司 BF-A150高精度叶片五轴加工中心：专用五轴联动叶片加工中心，配置A和A1连续旋转驱动装置，实现同步双驱，适用于航空发动机高精度叶片的高效加工，机床能在一次装夹下完成叶片叶身型面、进排气边、阻尼台、缘板、叶身型面与缘板连接、顶尖孔等的高效高精加工。

◆北京精雕科技集团有限公司 JDGR300H 精雕高速加工中心镜面摇篮式五轴联动加工专机，主轴最高转速32000r/min，A/C轴最高切削进给速度60/100 r/min，适用于3C消费类产品、医疗、光学、汽车电子等行业的高表面质量和高精度要求的镜面模具零件加工。配备精密加工专用电主轴，可使用PCD刀具进行长时间稳定的研抛加工；稳定实现 $2\sim 10\mu\text{m}$ 加工精度，10nm以下的表面粗糙度。

◆北京精雕科技集团有限公司 JDGR400T / JDGR500 精雕高速加工中心：适用于复杂形态金属硬料（> 50 HRC）钻、铣、磨精密加工，摇篮式五轴高速加工中心，稳定实现5~15 $\mu$ m加工精度；可配置精雕在机检测系统。可进行钻孔、攻丝、磨削、抛光、高光铣等加工。

◆秦川机床工具集团股份有限公司 BV852G高精度立式加工中心：采用西门子840D数控系统，三轴大跨距滚柱线轨，圆盘刀库，15000r/min高速电主轴、全闭环控制，三轴加速度>1g，三轴定位精度2 $\mu$ m，重复定位精度1.5 $\mu$ m；整机搭配有智能热误差补偿功能，可自动补偿因工作温度引起的机床精度变化，具有高速、高精特点。

◆成都煜鼎特种加工技术有限公司 PD1000 五轴加工中心：X轴（纵向）行程1000mm，Y轴（横向）行程 $\pm$ 60mm，Z轴（垂向）行程300mm，B轴（摆动轴）摆动角度 $\pm$ 40°。针对曲轴各种空间复杂角度的斜油孔加工特点，机床旋转轴由刀具主轴摆动B轴及夹持曲轴回转运动的A轴组成。机床最大的特点是Z向直线进给轴系布置在B轴摆动轴系上，即在摆动角度确定后只需Z轴的直线进给运动就可实现各种角度情况下孔系的精密高效钻铣和镗铣加工。配备可调整V型支撑定位机构和自动转角初始定位机构，满足不同长度、不同直径的曲轴加工。

◆深圳市创世纪机械有限公司完整的产品线，丰富的展品：包括五轴加工中心V-400U，立式加工中心T-850M，高速钻铣攻牙机T-500B，型材加工中心T-2500，卧式加工中心HMC-63等系列数控机床设备，广泛应用于3C电子、5G通讯、新能源汽车、航空航天、精密模具、医疗器械、船舶、工程机械等领域。

◆安徽新诺精工股份有限公司 SEB855立式加工中心：X/Y/Z行程850/550/60mm，主轴转速16000r/min，移动部件轻量化设计；主轴箱采用纺锤形结构，并结合有限元分析，具备良好的刚性，采用后排屑，方便配置自动化生产线。

◆大连三垒科技有限公司 SHW125 立卧转换五轴联动加工中心：通过滑板（X轴）左右移动，回转工作台（Y轴）前后移动，铣头（Z轴）上下移动，回转工作台（C轴）旋转及铣头的（B轴）摇摆旋转，实现立卧转换和五轴联动；X/Y/Z轴行程1250/1250/1000mm，B轴摆动范围-10°~180°，工作台有效尺寸（直径 $\times$ 宽度） $\Phi$ 1250 $\times$ 1100mm，主要铸件均采用树脂砂造型的高强度铸铁材料，采用合理的箱体及布筋结构保证机床刚性。

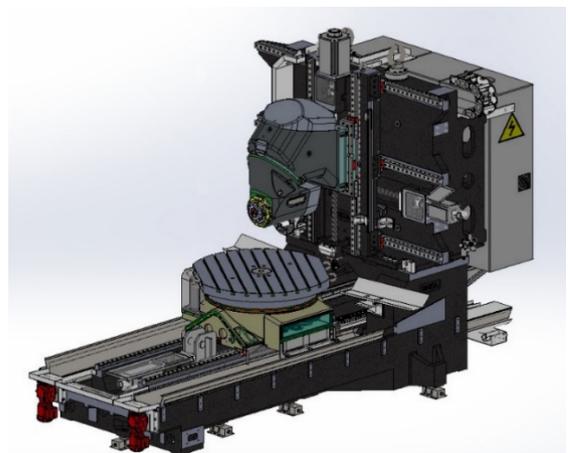
◆北京博鲁斯潘精密机床有限公司 BM40-5i 五轴联动叶片铣削中心：X/Y/Z轴行程500/300/450mm，B轴旋转角度 $\pm$ 40°。主要用于航空发动机、燃气轮机的高温合

金、钛合金精密叶片的高速高效精密加工。配备高精度高刚度电主轴，五轴全闭环控制；A轴模块化设计，A轴夹具采用BT50快换接口，提升加工产品换型的响应速度，保证夹具安装的一致性、稳定性和装夹精度；A1轴、A2轴为同步双驱结构：具有随动、力矩耦合、位置耦合三种同步方式。



◆浙江日发精密机床有限公司RFMV80-5XP 立式摇篮五轴加工中心：整体桥式对称布局，滑板左右移动距离（X轴）800mm，横梁前后移动距离（Y轴）1200mm，滑枕上下移动距离550mm，A轴摆动角度 $\pm$ 130°。床身采用一体式高架墙结构，X轴采用大跨距高低结构，三轴采用重心驱动技术；内置式电主轴，意大利MCM风格的摇篮工作台结构。全闭环精度控制，适配多种规格电主轴，兼顾轻型切削和重型切削。通过以太网通讯与外部自动化设备的对接，可实现自动化无人化加工。

◆沈阳马卡智工科技有限公司 SHARP25U 五轴万能加工中心：针对航空航天及模具制造行业开发，机床整体对称式布局和整机三点支撑结构，主轴摆动回转和旋转工作台，主轴箱左右移动（X轴）和上下移动（Z轴），工作台前后移动（Y轴），X/Y/Z行程为1400/1250/1000mm，B轴行程范围为-30°~180°，具有五轴联动功能。适于加工高强度钛合金、高温合金、模具钢等难加工材料的复杂零件。



◆汇专科技集团股份有限公司 ULM-500A 超声高效精密雕铣中心：独特的超声技术、吸震性能床身材料，满足硬脆材料、金属材料、复合材料、镜面高光的加工；可配不同型号超声主轴（ISO20/HSK-E25/HSK-E32/HSK-E40），最高转速达50000 r/min；可配超临界CO<sub>2</sub>低温冷却系统、微量润滑（MQL）内冷系统实现清洁加工；搭配两轴转台，实现五轴联动加工。

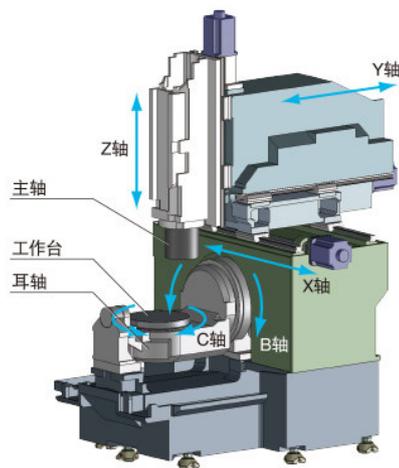
◆超同步股份有限公司 V5-630B五轴加工中心：经典C型结构，配置自主研发的HSKA63/BT40的电主轴，轴承定压预紧，动平衡等级G1，高动态响应B、C轴直驱转台，B轴采用液压锁紧，X/Y/Z轴行程为600/450/400mm。应用于航空航天结构件、汽车叶轮、液压阀体等领域。

◆德马吉森精机机床贸易有限公司 CMX 1100Vc立式加工中心：C型框架结构，经有限元优化设计和制造，X轴可动工作台，整个行程内高刚性的Y轴结构；X/Y/Z行程：1100/560/510mm；一级公差（IT1）的滚珠丝杠及温度补偿使用，可获得优于4 μm的重复定位精度。紧凑的结构和大加工区集于一身，可配备3D仿真的轮廓验证功能。

◆德马吉森精机机床贸易有限公司DMU 60 eVo五轴加工中心：高性能的冷却系统对工作台、轴承和驱动、滚珠丝杠螺母、直线轴导轨进行全面冷却。搭载成熟回转摆动工作台实现五轴联动，可进行铣/车复合加工，C轴转速达1200 r/min，标配speedMASTER主轴，X/Y、Z行程600/500 mm，主轴最高转速20000 r/min。

◆德国贝托特·哈默机械制造股份公司 C42U五轴加工中心：X、Y/Z轴行程为800/550mm，机床采用匣式嵌板结构，积木式模块化设计，拓展机床的应用范围，可升级到柔性制造系统，主轴防撞保护套，用以吸收Z向碰撞时产生的冲撞能量，工作台力矩电机驱动，工作台面位于A轴回转中心下方，为五轴加工提供了较好的动态性能。

◆大隈机械（上海）有限公司五轴立式加工中心MU-4000V-L：融合了大隈的“机、电、情、知”一体化的机床设计，实现与3轴加工机相同的加工精度和加工能力；将车削和铣削加工集成于一体，实现工序集约和一次装夹的高精度加工；配备高精度、高刚性耳轴工作台，C轴标准规格的转速为120r/min，可以选择转速为1200r/min特殊规格的工作台，实现车削功能。主轴采用最大扭矩为199Nm的电机，车削主轴采用高扭矩直接驱动式电机，实现高效加工。



◆GF加工方案Mikron MILL S 400 U 高速铣削加工中心：独特的高速铣削（HSM）技术，先进的热管理系统对加工过程控制，采用大理石床身，工作区具有极佳的接近性，可配置智能加工模块。

◆哈挺亚洲有限公司 VC1000立式加工中心：X/Y/Z行程为1020/610/650 mm，定位/重复精度0.006/0.003 mm，稳固的C型结构，高品质灰铸铁床身，运用最新的有限元分析技术。采用重载型滚柱直线导轨，Z轴特别加高设计，主轴鼻端离工作台距离范围加大至150~800mm，滚珠丝杠和直线导轨均采用自动油脂润滑系统，高速直联主轴，最高转速12000 r/min，BBT40主轴锥孔。

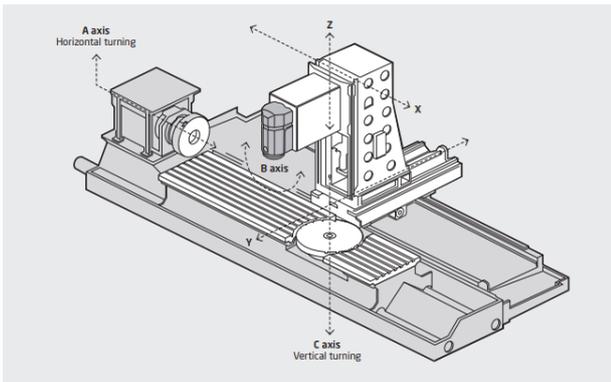
◆阿帕斯数控机床制造（上海）有限公司 U400S超高速全直驱五轴精密加工中心：可配IBAG电主轴，也可选配瑞士Fischer不同转速（36000/45000r/min）、带CSC轴芯冷却功能的主轴；采用高刚性龙门结构，高强度铸铁的床身，摇篮式工作台，伺服轴都应用直驱技术，快移速度可达60~90 m/min，X/Y/Z行程1000/600/400mm；伺服的强刚性保证了重切削、精密切削所需要的动态跟随精度及粗加工的强力去除能力。

◆沙迪克机电（上海）有限公司 S50L立式加工中心：各轴行程X/Y/Z500/400/350mm，主轴旋转速度18000r/min，快速进给速度60m/min。采用沙迪克最新研发LYNUC2数控装置，具备HiPT（高速度高精度轮廓控制功能）技术。

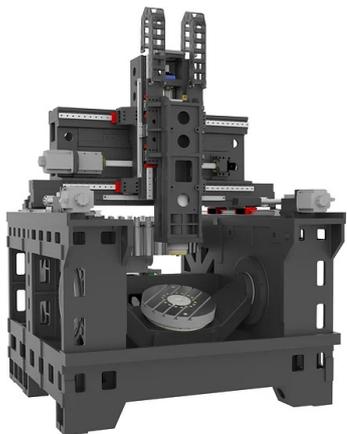
◆德国艾克索 MP9/5 数控五轴高速加工中心：高刚性和阻尼特性的龙门式结构，X/Y/Z有效行程955/625/400mm，主轴转速42000 r/min，X、Y/Z轴快移速度100/40 m/min，B/C轴快移速度100r/min；X、Y、Z轴采用直线电机驱动，B、C轴采用力矩电机直接驱动。整个机床进行主动式温度控制。刀具长度传感器系统内置于主轴内，可以防碰撞及防外界污染。

◆北京发那科机电有限公司  $\alpha$ -D14MiB Plus 高扭矩极限加工单元：采用最新的3liB Plus系统，使用专用固定循环，提高孔的加工效率，标配高速跳转功能；配置7MPa中心出水模块，可使用BT30刀柄的刀具加工大直径孔及深孔，并能提高钻头寿命；主轴的最大输出扭矩80N·m，瞬时输出扭矩100N·m，适合钢件的重切削加工，并可以在高金属去除率的条件下保持加工稳定性。

◆依巴米亚（IBARMIA）ZVH 45 L1500 STAR：集成了IBARMIA先进技术的五轴加工中心，动柱式设计，三轴行程X/Y、Z1500/800 mm。机座采用整体式设计，机床主轴实现X、Y、Z轴运动，各轴精度可以保持其一致性和同步性。RAM（滑枕式主轴箱）直接安装在立柱上，与立柱一起沿X、Y和Z轴移动，使该机器能够实现高精度和高效加工能力。整体布局设计使该设备易于组成无人值守的制造系统，实现各种自动化要求。



◆普锐米勒机床 U500 五轴联动加工中心：龙门式结构，Y轴采用丝杠双驱，A/C轴采用力矩电机驱动，X/Y/Z轴运动部件与加工切削区域分离，保证最佳切削性能。X/Y/Z行程 700/650/450mm，A轴行程为 $30^{\circ} \sim -110^{\circ}$ ，A/C最高转速为100/170r/min。



◆台湾友嘉实业集团 FDV-65A 双主轴立式加工中心：X/Y/Z轴行程1040/520/600 mm，U轴行程 $\pm 2$ mm，

两主轴间距500mm。配置双主轴双刀库，双主轴同时加工，提高生产效率，与两台标准单主轴相比，安装面积最多可以节省40%。

◆台中精机厂股份有限公司 Vcenter-P76 立式加工中心：X/Y/Z轴行程760/500/460 mm，快速进给X、Y/Z48/32 m/min，主轴转速12000 r/min。高性能、高刚性、高效率与重切削性能，适合自动化连线生产，可配合关节或桁架机械手。

◆永进机械（中国）有限公司 UV650 立式五轴加工中心：用于外形轮廓复杂的零件加工。自制IDD电主轴设计，内置精密陶瓷轴承及具有独特的内部设计。三个直线轴均采用精密的滚柱线轨、大直径滚珠螺杠并由电机直接传动，高刚性结构设计，超宽底座与机身铸件设计，鞍座内部采用框架肋的设计，提升结构刚性及稳定性。

◆浩扬精密机械（安庆）有限公司 PC1000 高速钻铣加工机：主要用于铝件的高速钻铣加工。整体采用高品质米纳铸件，同时应用有限元分析，使机身结构在加工过程中刚性稳定。三轴采用低惯量大功率电机驱动，在重复加工中拥有出色的加减速性能，搭配高速主轴，1.5s高速换刀，加工效率高。

#### 4.卧式加工中心典型展品介绍

◆埃斯维机床（苏州）有限公司 BA W02-21 双主轴卧式加工中心：是SW最新研发的高速高加速度双主轴单工作台卧式加工中心，首次在中国展出。X/Y、Z快速进给速度80/120 m/min，X、Y/Z轴加速度高达1.6g/2.4g，主轴最高转速36000r/min，A轴最高转速100r/min，直线轴定位/重复定位精度为 $4/3 \mu\text{m}$ 。机床采用龙门式结构，加工单元为“框中框”结构，床身为整体框架结构，应用直驱技术。适用叶轮、钟表盘等精度较高的小型有色金属工件的四轴和五轴加工。

◆牧野机床（中国）有限公司 a800Z 新一代五轴卧式加工中心：专为航空航天零件、模具加工提供的大型精密五轴加工中心，X/Y/Z行程1280/1200/1325 mm，直线轴的快速移动速度60m/min。工作台采用“Z”型高刚性结构，工件重心始终在旋转台上并且靠近倾斜轴，减少了伴随轴转动产生的惯性，同时配合倾斜式立柱结构，可以有效地抵消切削中的反向阻力，使机床拥有可靠的重切削能力，可实现高速、高精度及重切削的五轴加工。在自动化方面，可以采用工件库系统、机器人、MMC柔性生产线等多种形式。

◆大隈机械（上海）有限公司 卧式加工中心MA-

8000H: X/Y/Z行程1400/1200/1350mm, X/Y/Z轴快速进给速度50 m/min, 具高精度和高生产效率的卧式加工中心。采用“热亲和概念”技术, 减少因室温变化和加工热量而引起的尺寸变化, 使用“ECO怠速停止功能”停止那些造成能源浪费的机床空转和非必要功能, 达到节能效果。减少冷却液箱清洗频率的“免磨屑集屑箱”和防止刀具破损的“AI加工诊断功能”等功能, 可实现设备长时间连续运行。

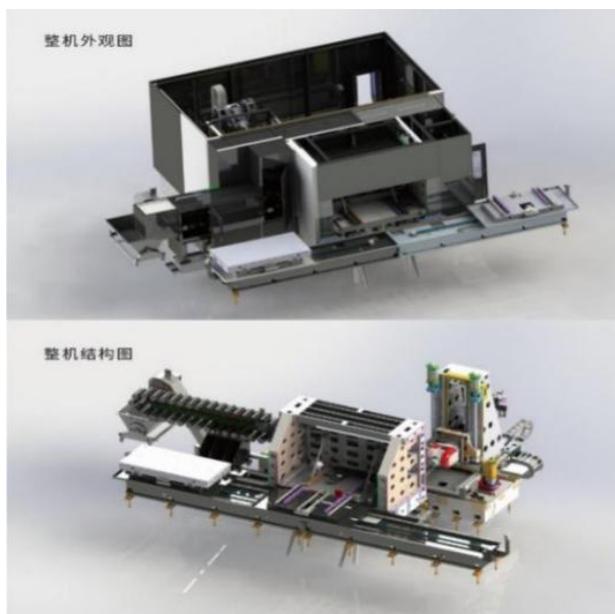
◆中国通用技术(集团)控股有限责任公司(大连机床) MDH65M 精密级卧式加工中心: X/Y/Z轴全部采用高精度大承载的滚柱导轨、高精度中空冷却丝杠, 配备温度补偿功能; 机床主轴采用电主轴, 最高转速为12000r/min, 并具有内部两档变速, 定位精度为 $3.5\mu\text{m}$ , 重复定位精度 $2\mu\text{m}$ 。

◆中国通用技术(集团)控股有限责任公司(沈机股份) FMS6306 卧式加工中心柔性制造单元: 在原有卧加产品基础上, 结合单机柔性加工单元结构开发的全新产品, 机床采用 $630\times 630\text{mm}$ 规格交换工作台, 布置5个缓存工位, 1个上下料工位, 具有在一次装夹中完成箱体孔系和平面的加工, 还适合于箱体孔的调头镗孔加工, 广泛应用于汽车、内燃机、航空航天、家电、通用机械等行业。

◆北京北一机床有限责任公司 MAR-800H-e 卧式加工中心: 适合量产零件及高附加值大型工件加工, X/Y/Z行程1300/1100/1250mm, 机床配置安装日本大隈(“热亲和”)系统即环境热位移补偿(TAS-C)及主轴热位移控制(TCS-S), 保证加工过程中精度及稳定性。

◆四川普什宁江机床有限公司 THM63160V 五坐标卧式加工中心: 整体立柱采用龙门框式结构, 整体床身为T型, 三点支撑; 主轴安装在翻转主轴头上, 配内置力矩电机驱动, 沿 $45^\circ$ 轴线翻转(即C轴), 实现立卧转换。主轴配置了循环强制冷却系统和温度补偿功能。机床控制轴X、Y、Z、B、C五轴, 可实现五轴五联动。适用于航空航天、汽车、船舶、电力、模具等复杂零件的加工。

◆科德数控股份有限公司 KFMC1020 U 五轴卧式翻板加工中心: 适用于航空结构件的高速、高效加工, 是制造飞机翼板、翼肋、型框等典型零件的理想设备。独创的A/C摆头型式五轴卧式翻板加工中心; 配备翻板式双工作台交换系统, 水平上下料, 水平自动交换工作台。大容积排屑器设计, 并配置大容量刀库。机床X、Y、Z、A、C五轴联动; X/Y/Z轴行程2500/1300/550mm, X、Y、Z轴均采用滚柱直线导轨, 具有高强度、重切削的特点。



◆宁波海天精工股份有限公司 HPC500II-FMS卧加柔性制造系统: HPC500 II 卧式加工中心适合小型零件高速加工, 模块化设计使之易于构成柔性单元和生产线。主机三轴行程X、Y/Z为730/800mm, 进给速度60 m/min, 主轴转速12000 r/min; 库位数12(6 $\times$ 2层), 堆垛机水平运行速度/叉取速度/升降速度为70/20/15m/min。

◆沈阳精锐数控机床有限公司 A85y 翻板加工中心: 专为铝合金高效切削和柔性生产线组线开发的加工机床。三个直线轴、旋转工作台和单摆头组成五轴加工形式, 主轴转速24000 r/min, 直线轴最大加速度1g, 快移48m/min, 定位精度最高 $5\mu\text{m}$ , 铣削孔圆柱度 $5\mu\text{m}$ 以内(孔直径 $\phi 100\text{mm}$ ); 采用十字滑板结构, 双工位工作台板、顶置刀库、后排屑、操作在主轴侧面等布局形式, 易于自动化成线。

◆山东威达重工股份有限公司 HMC630 卧式加工中心: 工作台尺寸 $630\times 630\text{mm}$ , 主轴最高转速12000r/min。配置华中数控最新型HNC948m数控系统, 床身三点支撑结构, 悬浮式机床防护, 三轴丝杠轴芯、丝杠螺母、线规、轴承等所有发热源均配置了变频式恒温冷却控制系统。

◆纽威数控装备(苏州)股份有限公司 HE80EF 高速型卧式加工中心: 是一台高速型卧式加工中心, 三轴快移速度达60m/min, 主轴转速8000r/min, X/Y/Z轴行程1350/1300/1200, 特别适用于新能源壳体、电动汽车部件、3C电子、模具等行业产品高速加工。

◆山东蒂德精密机床有限公司 HMC63卧式加工中心: X/Y/Z轴行程1050/850/900mm, 机床的基础大件采用三维同步设计, 固定部件使用全新矿物质材料, 具有优异的

吸振性和热稳定性，立柱采用龙门框架，正挂箱结构，对称结构设计，配置自动恒温循环油冷却系统，标配升降旋转式的自动托盘交换装置。

◆国盛智能科技集团股份有限公司 DHM80 双工位卧式加工中心：X/Y、Z轴行程1300/1200 mm，工作台分割角度为0.001°。设备整体采用稳定的三角形结构，双层筋板，提高立柱整体刚性；X轴导轨高台阶，及时传递切削力，Z轴导轨大跨距设计；丝杆中空冷却。

◆南通航智装备科技有限公司 H63S 卧式加工中心：床身、立柱等机床大件采用封闭箱体结构，通过有限元分析。主轴可选配双速齿轮传动，三个直线轴采用宽矩重载滚柱直线导轨，三向丝杆采用冷热态全过程拉伸技术，三向直线轴全闭环控制，X/Y/Z行程为900/700/800mm。

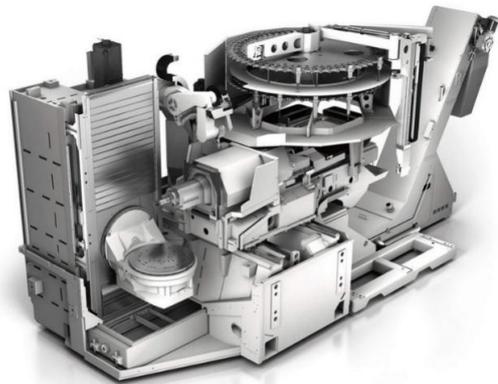
◆珠海格力智能装备有限公司 GA-FA500 五轴联动直驱数控机床：高刚性结构设计，动静态特性优化分析，矿物铸件床身，全闭环控制，重复定位精度可达3μm，五轴联动，全直驱驱动技术，快速移动速度为80m/min。实现高速、高精的稳定加工。适用于叶轮、涡轮叶片、螺旋桨、膝盖关节、精密模具等复杂曲面零件的加工。

◆天津市天大精益科技有限公司 VMC630V6 六轴加工中心：吸收国外先进机床设计制造技术基础上研发，配备先进的天大精益品牌U1系列数控系统，具有高速高精、多轴多通道、车铣复合控制、五轴RTCP和五轴倾斜面控制加工功能。采用模块化，可配置多种外设单元，面向数字化车间提供多种网络通信能力。

◆玛西姆（MCM）CLOCK 800 C卧式加工中心：X/Y/Z轴行程为800 mm。机床结构为T形，立柱横向移动，工作台纵向运动，Y轴配置双电机驱动，具有良好刚性和稳定的几何精度。可配置单托盘、双托盘和多托盘，提供4轴和5轴配置；具有车削、磨削和强力刮齿等多重加工功能。



◆格劳博机床（中国）有限公司 G350 五轴联动通用加工中心：该设备X/Y/Z轴上的行程为600/855/750mm，最高速度为70/45/90m/min，最大加速度：0.5g/0.4g/0.7g。卧式主轴可达到同类机床中最长Z轴行程和最佳排屑效果；三个直线轴的独特稳定布局，将导轨与工作点（TCP）之间的距离比较小，“隧道”概念保证在使用最长刀具时机床各旋转轴都不受任何限制，最大工件直径φ720mm。



◆格劳博机床（中国）有限公司 G700F 框架结构工件和底盘工件加工中心：X/Y/Z轴上的行程1450/990/1035 mm，最大速度60/75/100 m/min，最大加速度0.65g/0.55g/1.4g，最大工件直径Φ1500 mm。专为加工轻量化的框架结构件、大尺寸底盘工件而设计，适合汽车工业的副车架、动力电池外壳、电池底座、纵梁和减振支架等零部件的加工，F系列均为五轴卧式加工中心。



◆山崎马扎克（中国）有限公司 HCN-6000 L卧式加工中心：X/Y/Z轴行程为800mm，配置交换工作台。床身采用高品质密烘铸铁，利用有限元分析设计确保运动轴在高加减速运动下能够不产生振动；滚珠丝杠采用轴芯冷却，使温度保持恒定，实现稳定的加工精度；托盘和分度台采用锥销定位方式，增加刚性，提高托盘交换时的重复定位精度。搭载了新一代SMOOTHG数控系统，超高速运算和各种动作的同时进行，提高了效率。从单机到加工生产线，可实现适合不同生产形态的自动化。

◆株式会社新潟机械科技 N5 卧式加工中心：X/Y/Z 行程为730/700/760 mm，机床采用箱中箱结构，三点支撑高刚性床身，全闭环控制，X、Y、Z 三轴采用轴芯冷却及轴承座冷却，机外排屑器可以后置或侧置，相比以往同类机型，绿色节能功能可令待机电能消耗最大消减70%。适用于电机壳、ABS 阀体、机器人等行业关键零部件的加工。

◆尼得科机工（上海）商贸有限公司 HMC500 卧式加工中心：经济高效高速卧式加工中心，X/Y/Z 轴行程760/760/800mm，通过优化结构实现了快进63m/min、最大加速度1g的高速运行能力，具备高刚性、高精度特点。

◆意大利VIGEL S.P.A公司 TW 320H 卧式加工中心：双主轴双工位同步，五轴加工，轻载高速和重载低速工况的优化平衡，可交换工作台，边工作边装夹，柔性高效。

◆远州株式会社 GE480H 卧式加工中心：X/Y/Z 轴行程为800mm，主轴最高转速为15000 r/min，线性轴的快速进给速度为90m/min。使用有限元分析法，实现了产品的高刚性及立柱轻量化设计。通过移动行程来自动变更快速进给速度、加速度，缩短了定位时间，以及机床不运行时断电等节省电能措施，相比以往机型节能30%。

◆德国林康机床制造有限责任公司 LiFLEX 四主轴卧式五轴加工中心：四个LiFLEX电主轴协同工作，以最小的占地面积实现最大输出，机床动态性能进行优化，保证了四个电主轴在加工过程中表现相同的加工特性。LiFLEX IV 366 X/Y/Z 行程为 375/660/650 mm，可选择直接加载四轴或双耳五轴工作台，三个直线轴快移速度达90m/min，加速度为0.9g，主轴距离为375mm，主轴最大扭矩为100N·m，主轴转速为12000r/min。



◆德国林康机床制造有限责任公司 Twin-Spindle 卧式五轴加工中心：主轴距离从400 mm到1500mm不等，两个主轴的运动独立控制，是一款具有高效率和高柔性的双主轴卧式五轴加工中心。可以选择托盘式或双耳轴式的交换工作台，有多种主轴可以选择，最大扭矩能达500N·m，最高转速为16000r/min，线性轴最大快速速度为140m/min，加速度为0.9g。通过LiCON i<sup>3</sup> 技术可以在不降低X、Y和Z三个轴的刚度情况下，对两个主轴进行

独立的修正。温度传感器与相关的算法相结合，可以减少加工过程中不同温度对主轴位置精度的影响。在汽车行业应用广泛，如新能源汽车电机外壳自动化生产线。

◆特雷维桑机床有限公司数控卧式加工中心 DS600/200C：配备数控W轴和平旋盘（U轴）是该设备的最大特色，提高了机床的性能，增加了功率。W轴行程350mm，U轴行程200mm，最大车削直径Φ250mm；X/Y/Z轴最大行程为2000/1500/1600mm。基本一次装夹就可完成工件几乎所有加工面和工艺的加工要求，具备高效、安全、安装精度可控的特点。



◆上海大侨誉远精密机械股份有限公司 MHV-500 立卧复合型多面加工中心：立、卧双主轴为BT40锥孔，最高转速为10000r/min，卧式加工X/Y/Z轴行程为1000/650/600 mm，立式加工X/Y、Z轴行程为1000/600 mm。机床采用独立的立轴和卧轴结构，立卧主轴都可以自动换刀，兼具立式加工中心和卧式加工中心的功能，不用转换工序即可在一台机床上实现立卧两种形式的加工。



◆丰田工机（大连）有限公司 FH5000S-I 卧式加工中心：一款高速高效的卧式加工中心，主轴最高转速15000 r/min，扭矩530N·m，X、Y/Z轴行程800/880 mm，X、Y、Z轴快移速度60 m/min。应用有限元分析，提高机床结构刚性，实现加工过程的热位移最小化，丰富的支持功能实现快捷的换工装作业，双中心槽设计使排屑更顺畅，具有运行状态及数据可视化功能，达到机床自动稳定运行。□

# CIMT2023 | 车削类机床展品

中国机床工具工业协会

## 1. 概况

据已有资料，本届展会车削类机床参展商60多家，参展的车床产品超过120台。提供展品资料的展商有北一机床、秦川机床、通用技术集团、普什宁江、齐重数控、鲁南精工、宝鸡西力、诺贝特、台州东部、开兰重工，云南CY、博谷智能、海德曼、安徽新诺、台州屹捷、安阳鑫盛、济南一机、辽宁西格马、马扎克、大昌华嘉、因代克斯、托纳斯、埃马克、西铁城、村田机械、哈斯等。

## 2. 车床类展品主要特点

(1) 产品多样化。本届展会中车床类展品机型丰富，各家产品可谓“春兰秋菊，各擅胜场”。根据主轴和刀塔配置的数量和形式的多样化，衍生出机型争奇斗艳，不一而足。按机床整体结构形式有正立式、倒立式、卧式；按主轴布置有单轴卧式、单轴立式、对接双主轴式、平行双主轴式、双头主轴中间驱动式；按刀塔的布置有转位刀台式、转塔刀架式、梳状排刀架式、双刀塔或多种刀塔组合式，个别设备还配备了大容量的刀库和ATC机构。按功能分有通用型数控车、车削中心、纵切车床，以及各种专用型数控车床，如管螺纹车床、轮毂车床、多轴多工位专用车床。大量机床展品采用模块化设计，灵活柔性的结构使机床具备良好的功能拓展性。埃马克、托纳斯、西铁城、村田机械、马扎克、宝力机械、因代克斯、秦川机床、台州屹捷等展商的展品展示了其各自独特的多样化。

(2) 高精度。高精度的电主轴、直线电机、力矩电机、滚柱导轨、滚珠丝杠、光栅尺，全闭环的控制以及精密主轴轴承等在数控车床上大量运用，提供了机床的高定位精度和重复定位精度，并保证了较小的主轴轴向和径向跳动等误差。大昌华嘉的超精密数控连续轨迹加工

机床采用高刚性多孔石墨涂层空气主轴，主轴轴向跳动 $\leq 4\text{nm}$ ；博谷智能的高精密车床使用液体静压导轨和液体静压轴头，达到“X、Z轴定位精度 $1\mu\text{m}$ 、重复定位精度 $0.5\mu\text{m}$ ，主轴的轴向和径向跳动均 $< 0.15\mu\text{m}$ ”的精度水平，并且因为无接触磨损，能保持良好的精度保持性。

(3) 高刚性。使用高刚性的床身材料，在基础件和关键功能部件的结构设计方面，多数利用有限元技术进行动静刚度分析，设计高刚性的床身结构；主轴采用双列圆柱滚子轴承，以滚柱直线导轨替代滚珠直线导轨大量应用，提高了机床的刚性；重切车床使用宽矩形淬硬导轨、山形滑动导轨等结构来加强结构刚性和精度稳定性。

(4) 高效率 and 自动化。车床加工产品大多是大批量的盘轴类回转件，盘轴类回转件使自动化有很好的可实现性，“大批量”则使高效率有很强的实现必要性。配置双主轴、双刀塔已成为相当多中高端车床的选项，多轴多刀塔也屡见不鲜；双轴、双刀塔甚至多轴同时加工，极大地提高了加工效率。利用刀塔及配置各种机械臂可以轻松完成工件的正反面、左右端及工件其他部位的一次性自动化加工。同时各种工件加持器、棒料机、集成机器人、机械臂、在线测量技术等的应用，则使生产的自动化、无人化变得越来越容易实现。车床的高效和高自动化极大提高生产率，同时还节省了大量人力并降低了工人的劳动强度。以埃马克和因代克斯等为代表的车床产品的展示了令人耳目一新的自动化水平。

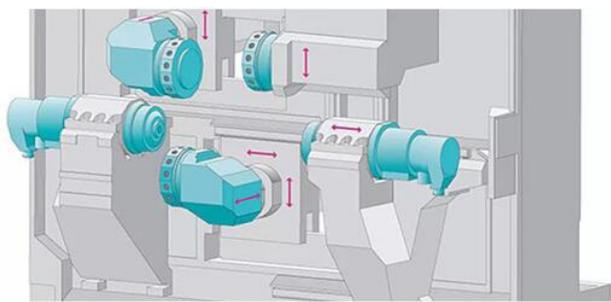
## 3. 典型展品

◆大昌华嘉香港有限公司 Nanotech 250 mp 超精密数控连续轨迹加工机床。这是一款超精密2、3 或4 轴CNC 机床。“T”型布局，整体式复合大理石床身，可选配自动调平阻断式空气隔震系统，闭式静压导轨，提供平

滑、高刚性和高减震能力的线性运动性能，采用高刚性多孔石墨涂层空气主轴，主轴轴向跳动 $\leq 4\text{nm}$ ，最高转速 $5000\text{ r/min}$ ，激光全息线性光栅尺，线性编程分辨率 $0.01\text{ nm}$ ，角度编程分辨率 $0.000036''$ ，配置微调刀座，改善了表面粗糙度和整体加工面的车刀纹。搭载基于Delta Tau 1.2GHz 四核 ARM PowerPC 嵌入式实时64位Linux运动控制器，和基于Windows 10的人机界面，带有触摸/滑动手势交互显示的控制系统，支持同时计算高密度数据刀具路径和运行监控，在整个加工过程中实现PMAC(专为Delta Tau系统开发的可编程多轴控制器)数据和系统运行状况的传输。

◆江苏博谷智能科技有限公司MICROTECH 100SP超精密以车代磨硬车削机床。这是一款超精密的数控车床产品。采用天然花岗岩床身和主轴座、超精密液体静压导轨、超精密液体静压主轴、床身及供油系统恒温冷却、C0级滚珠丝杠驱动并结合光栅尺精密反馈，可以满足硬车削的精密超精密加工任务。其尺寸精度及形状精度控制在 $1\mu\text{m}$ 左右，最高可达 $0.2\mu\text{m}$ ，加工黑色金属表面粗糙度小于 $Ra0.4$ ，最高可达 $Ra0.1$ ；加工有色金属表面粗糙度小于 $10\text{nm}$ ，最高可达 $1\text{nm}$ 。此外，博谷智能还展出了液体静压车削主轴、液体/气体静压万能轴头、液体静压磨削主轴等精密功能部件。

◆因代克斯贸易(上海)有限公司INDEX C200车削中心。该机床装配有两个高功率的电主轴，3个刀塔和42把刀具，专利设计的W型刀具定位槽，刀具定位准确快速，可以实现2个或3个刀塔同时加工，并可进行高质量的背部加工，加速度 $1g$ ，快速移动 $50\text{m/min}$ ，INDEX平面移动导轨有良好的吸震性，垂直床身保证了排屑流畅，可配龙门式工件自动卸料系统。



◆高松机械工业株式会社 SW-130精密车床。机床具有2个平行主轴，2个刀塔，是一款拥有高性能并省空间的精密车床。最大加工直径 $\phi 280\text{mm}$ ，X/Z轴行程为 $150/160\text{ mm}$ 。采用方形滑道， $\phi 100\text{mm}$ 大直径主轴轴承，确保了主轴刚性。通过在机身中加入功能材料抑制振动，冷却循环系统抑制床身的热位移，实现了高精度加

工。配置3轴装载机和适合8英寸卡盘的旋转工具单元，最多可以20把回转刀具，以满足复合加工工艺集成的需要。



◆村田机械(上海)有限公司 MT100对向双主轴车铣复合加工机。2个主轴，左上、右上、右下3个刀塔，每个刀塔有15个工位，全部刀塔可搭载Y轴、动力刀座，将车削、打孔、精加工等多道工序集为一体，既可复合加工也可正反加工，实现复杂工件工程集约化，同时既可搭载高速伺服棒料堆载装置，又可通过新型高速门型机械臂的不同规格，对应多样的上下料装置，是一款可灵活对应多种上下料方式的多功能自动化复合机床。

◆北京北一机床有限责任公司 LBR-370数控车床。该机床采用 $30^\circ$ 斜床身，床身和底座为分离式结构，使床身受底座热变形、振动的影响降到最小，提高了床身导轨精度的稳定性；X、Z轴导轨为淬硬滑动导轨，刀塔采用电机驱动，换刀速度达到 $0.1\text{s}$ /相邻刀具，内置式电主轴，最大扭矩 $328\text{N}\cdot\text{m}$ ，满足高温合金、钛合金、不锈钢等难加工材料的粗精加工。

◆中国通用技术(集团)控股有限责任公司(大连机床)DT40HY车削中心。这是一款三轴联动、半闭环控制的车削中心，主机床身采用整体铸造成形，床身导轨 $40^\circ$ 倾斜布局，具备较高的刚性，床鞍及尾座滑体均为直线导轨，磨擦系数小、动态特性好。控制系统采用i5系统和交流伺服驱动，主轴电机采用高功率、高转速的伺服主电机，操作方便、运转可靠。可对直径 $\phi 350\text{mm}$ 以内的轴类零件及盘类零件进行各种车削、钻削、铣削加工。

◆浙江海德曼智能装备股份有限公司 T65Msuper高精度数控车床。其主轴和刀塔部件分别采用了自主开发的同步电主轴及伺服刀塔，刀塔采用伺服电机粗定位，高精度牙盘精定位，液压卡紧，保证了刀塔部件的高精度和高速度分度要求，刀塔可以承受 $70\text{kg/cm}^2$ 的压力。配置伺服尾座，尾座移动距离和顶紧力可以在程序中任意设定。可根据具体需求，配备高速机器人，实现自动化生产。

◆浙江金火科技实业有限公司 TT7580数控车床。这是一款斜床身刀塔车床，床身上最大回转直径 $\phi 650\text{mm}$ ，

拖板上最大回转直径 $\phi 400\text{mm}$ ，最大车削长度 $800\text{mm}$ 。采用整体倾斜 $30^\circ$ 结构床身，床身横截面积大，导轨跨距大，使切削过程更加稳定；主轴轴承前端由双列圆柱滚子轴承与双列角接触推力球轴承组成，后端为双列圆柱滚子轴承，保障了主轴高刚性及稳定性；大规格伺服刀塔，标配32刀方， $\phi 50$ 圆刀座，保障了大切削量的刚性需求；可编程伺服尾座，采用活顶尖，尾座整体移动。

◆安徽新诺精工股份有限公司 SHL60B 车削中心。床身上最大回转直径 $\phi 610\text{mm}$ ，最大切削直径 $\phi 450\text{mm}$ ，最大切削长度 $565\text{mm}$ 。 $45^\circ$ 整体斜床身结构，导轨采用水平阶梯布局，主轴箱水平放置，提高了机床的稳定性；结合有限元分析，增强了主轴箱、床鞍滑板刚性；12工位动力刀塔可满足用户对车铣复合加工的使用需求；采用后排屑，前方留出布置流水线的空间，满足自动化的操作需求。

◆山东鲁南精工机械有限公司 TCK6065 数控车床。机床床身最大回转直径 $\phi 600\text{mm}$ ，最大加工直径 $\phi 500\text{mm}$ ，最大切削长度 $650\text{mm}$ 。 $45^\circ$ 斜床身与底座一体铸造成型，经充分的二次时效及自然时效，确保了机床使用的稳定性；主轴材质为铬钼合金，主轴轴承选用双列圆柱滚子轴承和成对轴承的配合，确保高速、高精、高可靠性能；配置液压或伺服刀塔，刀盘的夹紧和松开由液压缸完成，刀具可根据用户习惯选择正向或反向安装。

◆宝鸡西力精密机械有限公司 STN50 数控车床。其最大车削直径 $\phi 330\text{mm}$ ，最大加工长度 $520\text{mm}$ ，卡盘尺寸8英寸，12工位伺服刀架，可编程伺服尾座。高刚性高精度的主轴设计实现强力重切削，采用 $45^\circ$ 混合斜床身结构，通过刀架与滑鞍合并，增大床鞍导轨的跨距等手段，提高了机床的整体结构刚性。伺服刀塔，伺服尾座，提高了机床的工作效率。

◆陕西诺贝特自动化科技有限公司 JXK 200WA 双主轴双排刀精密数控车床。第一、二主轴通孔直径 $\phi 25\text{mm}$ ，最大夹持外径 $\phi 60\text{mm}$ ，最大加工长度 $60\text{mm}$ 。在日本北村300WA的基础上，设计开发的高效、紧凑型平行双主轴车床。机床由两个电主轴并排布局沿Z轴前后移动，X轴与Z轴垂直，左右移动，通过桁架机械手进行取料、上料、放料，从而实现全过程自动完成零件的加工、工件上料装夹、工件清理等工序的高效执行，适合大批量小型盘类、轴套、隔圈、小型轴承内外圈等零件的加工。

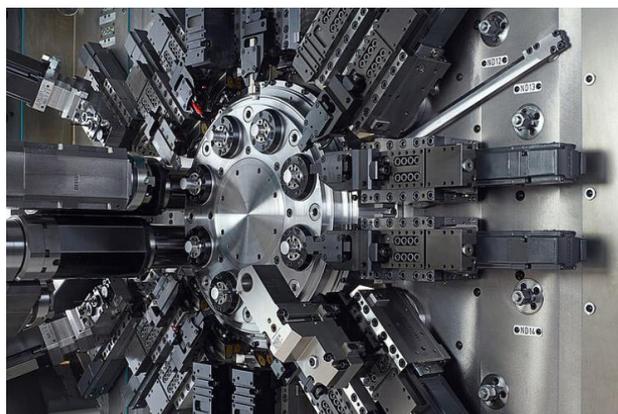
◆杭州蕙勒智能科技股份有限公司 LT-300M 车床。床身最大回转直径 $\phi 560\text{mm}$ ，最大车削直径 $\phi 400\text{mm}$ ，棒料工件直径 $\phi 74\text{mm}$ ，最大车削长度 $550\text{mm}$ 。采用床身与底座一体斜 $30^\circ$ 结构，配置12工位伺服刀塔，液压锁紧，可选配动力刀塔、液压刀塔，重负荷尾座通过矩形导

轨和床身连接，提高了加工的稳定性。

◆辽宁西格马数控机床有限公司 QTC200M 卧式车削中心。其最大回转直径 $\phi 690\text{mm}$ ，最大加工直径 $\phi 340\text{mm}$ ，X/Y/Z/W轴行程 $215/100/605/585\text{mm}$ ，刀具容量12把，铣削轴最高转速 $4500\text{r/min}$ 。主轴采用内置电主轴结构，配置无抬升结构液压伺服动力刀塔，伺服电机分度，大直径精密齿牙盘定位，液压锁紧，保证了换刀速度和交换精度和刚性，自带动力头可实现工件的铣削、钻孔、攻丝等工序的加工。系统控制伺服尾座，可根据加工情况对推力进行合理调整，实现稳定连续加工。

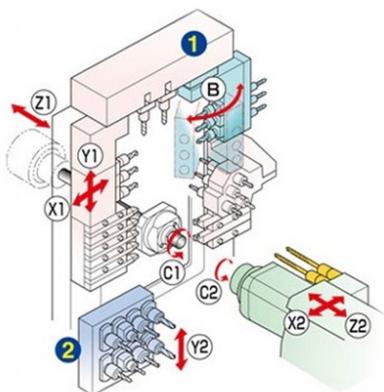
◆因代克斯贸易（上海）有限公司 TRAUB TNL12 走心和走刀式自动车床。具有两个相同的主轴（主轴和副主轴）和两个刀架，两者都有一个插补Y轴； $\phi 13\text{mm}$ 的主轴通孔可以配备一个前端加工模块以及一个复杂的后端加工模块；提供了多达38个可用的刀位；TRAUB TNL12可以在走心和走刀之间来回快速切换。刀架、前后加工模块都是由CNC分度，两个刀架和前后加工附件，可实现同时高效加工，超大尺寸和符合人体工程学的工作区域，刚性、稳定的铸铁床身和热对称设计保证高精度和稳定性，无液压系统，没有液压的热量影响。

◆因代克斯贸易（上海）有限公司 INDEX MS22-8 多轴数控多功能机床。该机床配备八个主轴，最多两个同步副主轴，以及多达十六个刀架，它们可以自由配置十字X/Y/Z滑台，以实现高效加工。核心部件由集成在主轴轮毂中的六个液冷电主轴组成，主轴轮毂通过使用端面齿匹配确保每个位置的最高精度。套筒采用静压轴承支承，Z轴无磨损，液压锁紧且快速的同步回转主轴能实现多种方式的背面加工。可选配机器人上下料和卡盘装夹工件。



◆宝力机械有限公司 SR-20RIV (type A) 日本「Star」瑞士型CNC自动车床。其最大加工直径 $\phi 20\text{mm}$ ，主轴/副主轴最高转速 $10000\text{r/min}$ ，主轴/副主轴实行C轴控制分度，主轴最大行程为 $205\text{mm}$ （带导套）

750mm（无导套），27位置的刀具安装位置处，最多可安装41把刀具，背面专用刀座上标配Y轴控制，type A配备角度调整型动力刀具单元 1 Pos.（正面3把+背面3把）可进行最大100mm的深孔加工，具备高刚性高精度。



◆托纳斯贸易（上海）有限公司 MultiSwiss 8×26 多主轴自动车床。该机床融合了多轴车床和单轴车床的优势，配有8个工位（根主轴），针对各个工位实现独立转速和分度和C轴定位，每个工位最多可容纳4把刀具，总刀具容量最多可容纳31把；背轴安装在两个移动轴线上，可以使用至少4把刀具完全独立工作，其中2把为动力刀；配备液态静压轴承。一体式机床布局设计理念，包括棒料送料机、油箱、高压泵、排屑器、集油盘和过滤装置。配备Tornos TB DECO或TISIS ISO编程软件，实现辅助工件编程，优化加工节拍，实现工业互联。

◆托纳斯贸易（上海）有限公司 SwissNano 7 瑞士型自动车床。其加工范围 $\phi 0.1 \sim \phi 7\text{mm}$ ；运动结构包含6个直线轴，该设计理念的核心是安装在三个直线轴上的背轴和2个独立刀具系统。可容纳最大18把刀具，其中5把为动力刀，可执行滚削、多边形车削加工、螺纹铣削以及内外旋风铣削。模块化设计，适用于医疗器械和植入类零件、钟表零件及电子零件

的加工。例如，医疗器械和植入类零件，可以增加一个螺纹旋风铣刀和一个径向钻削/铣削动力刀座，或者增加一个双刀位角度动力刀座；在电子行业，可以安装一个多边形铣刀附件用于主轴加工和背轴加工，提高机床的性能。



◆西铁城（中国）精密机械有限公司 L20 数控自动车床。这是一款数控纵切车床，最大加工直径 $\Phi 20\text{mm}$ ，刀具安装数量40把；模块化设计，可选配搭载旋转B轴，选配搭载ATC装置（L20XII），灵活对应复杂工件；搭载西铁城独创（LFV）低频率振动切削技术，解决难加工材料的缠屑和粘刀问题。

◆四川普什宁江机床有限公司 CK1101 II 数控纵切机床。主轴采用内置主轴电机结构（电主轴），轴承采用高精度向心推力角接触球轴承，具有高刚性、高稳定性等特点；电机采用内置主轴电机，升、降速时间短，具有Cs轴控制和分度功能；主轴最高转速16000 r/min，专业用于小零件的高精密加工。可对冷拉棒料或磨光棒料进行连续上、下料的自动循环加工。

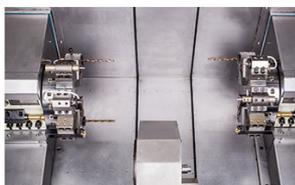
◆云南CY集团有限公司 CY-K72DW 轮毂车床。该机床是一款针对铝合金轮毂车削加工的专用车床，床身上最大回转直径 $\Phi 720\text{mm}$ ，最大切削直径 $\Phi 620\text{mm}$ ，标准加工轮圈22英寸，标准加工轮圈宽12英寸。采用45°重载高刚性硬轨床身，配置轮毂加工专用设计加厚主轴和皮带

轮，大功率主轴电机及进给电机，强力型、高刚性卧式12工位伺服刀塔，并采用特制刀座，减少了加工过程中产生的振动，提高切削稳定性和精度，扭矩大，切削力强，加减速时间短，提高加工效率。

◆安阳鑫盛机床股份有限公司 ADPT300 斜床身数控管螺纹车床。机床采用45°斜床身，配置前后双卡盘，液压刀架，精密手动中心架，液压尾座，集中润滑，自动排屑。回转直径 $\phi 820\text{mm}$ ，顶尖距3000mm，最大车削直径 $\phi 750\text{mm}$ ，主轴通孔 $\phi 300\text{mm}$ ，卡盘直径 $\phi 630\text{mm}$ 。机床主要适用于中大型油管类各种牙型的管螺纹以及零件的端面、外圆、两端内孔的粗、精加工；机床可选配气动卡盘，挡料机构，接料机构，带卡盘大直径移动尾座，可方便组成管类零件加工自动线。

◆台州屹捷数控机床股份有限公司 YJ-CK90ST 中驱型数控车床。通过配置两套左右对称结构的刀塔和共用主轴箱的方式，结合中驱动双向电主轴结构，实现高精度双头数控车床的中驱总体布局，实现一次装夹同时完成工件两端加工，解决异形轴类零件加工及双面加工同轴精度问题，并提高了生产效率和加工精度。

◆安徽力成智能装备股份有限公司 DNL082 双头数控车床及自动化。机床采用立式整体式框架机身，刚性好，易排屑；特殊结构的中置主轴，可响应高转速和切削刚性的需要；左右独立式排刀单元或刀塔，配可伸缩刀具，可有效解决刀具干涉。床身上最大回转直径 $\phi 300\text{mm}$ ，夹持直径范围 $\phi 15 \sim \phi 70\text{mm}$ ，工件总长度范围300~500mm，主轴夹持最大直径 $\phi 70\text{mm}$ 。零件一次装夹两端同时加工，双通路控制器，可搭载桁架式或关节式机器人，支持自动化联线。

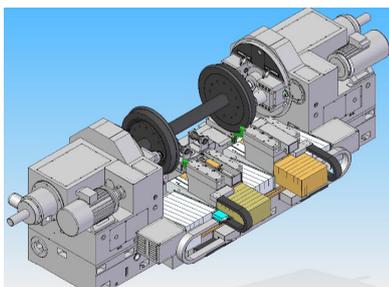


一次装夹两端同时加工



特别结构的中置主轴

◆天水星火机床有限责任公司 CK8011F 轮对自动化加工数控车轮车床。轨距1435mm，加工轮对直径 $\phi 600 \sim \phi 1100$  mm，加工轮箍宽度120~145mm，最大工件重量3000kg。机床X、Z轴均采用精密减速器和丝杠传动方式，配置自动测量装置，可实现轮对内测距、车轮直径、轮缘高度、轮缘厚度、轮对QR值及轮廓磨损、多边形和等效锥度等测量数据，具有车轮轮廓曲线的编程、加工、存储、调用及显示功能。



◆武汉重型机床集团有限公司 CHXDA5250 $\times$ 32/50双柱立式铣车加工中心。最大车削直径 $\phi 5000$ mm，最大加工高度3200mm，滑枕垂直移动行程(Z轴)1600mm。机床为双柱立式铣车加工中心，配有一个右数控车铣复合刀架和一个左数控刀架，刀架铣削转速2500 r/min。机床右侧配备车铣复合刀库，能够实现车刀和旋转刀具的自动更换。机床可集成工件测量系统，刀具测量系统，刀具监控系统，视频监控系统等，实现测控一体

化加工。产品广泛适合于燃气轮机机匣，风电减速行星架等核心零件的高精高效加工。

◆齐重数控装备股份有限公司 CK61125E $\times$ 50/6P-NC 数控卧式车床。床身上最大回转直径 $\phi 1250$ mm，刀架上最大加工直径 $\phi 900$ mm，两顶尖间最大工件长度5000mm。机床进给导轨X、Z轴均采用双山导向导轨结构，淬火并磨削，导向精度高，精度保持性好，反向运行间隙小；X轴进给采用伺服电机—精密减速器—滚珠丝杠结构；Z轴进给采用伺服电机—精密减速器—滚珠丝杠结构；主轴箱采用抗振式箱体，传动噪声低；空心主轴采用高精度滚动轴承支承；尾座移动为山形和平导轨组合形式。机床广泛应用于大型轴类、圆筒类等回转类零件圆柱面、圆锥面、平面、切槽、切断、螺纹及回转曲面等工序的高精度车削加工。

◆杭州开兰重工机械有限公司 KX80-6000 大型斜床身数控车床。最大车削直径 $\phi 800$ mm，最大车削长度6000mm，是一款大型的精密数控加工设备。机床采用整体45°斜床身硬轨齿轮箱主轴的设计；主轴箱为液压自动四档齿轮传动设计，在保证大扭矩输出的情况下，同时保持主轴的高回转精度；机床的X、Z轴均采用硬轨设计，机床的导轨接触面均采用人工刮研，可以保证机床在加工长轴类零件时，零件整体的尺寸公差稳定；尾座移动可通过编程来控制，尾座顶紧压力可调；机床防护采用全封闭罩壳防护。

◆埃马克（中国）机械有限公司太仓分公司 VT 4-4 轴类立式车床。四轴配置、短行程及高功率主轴可实现大批量加工时高效率。其“双刀塔同时加工”的加工工艺使加工时间得以大幅缩短。两个分别拥有 11 个刀

位的刀塔既可配备车刀，也可配备动力刀具。两个刀塔上各预留一个位置为工件夹持器，可以分别同时从毛坯库取件和把加工后成品取出并送走，零件上下料可同步进行。而埃马克另一展品VL8，是一款同样具备整机自动化的倒立式自动上下料车床，专为加工精密盘类零件而研发。



◆济南第一机床有限公司 VL-600ST 数控立式车床。该系列机床采用模块化设计，满足刹车盘单刀架标准车削要求，也可满足其他零件标准车削要求；采用卧式刀架和对置式伺服轴联动上刀架，上下刀架可同时对刹车盘两面进行高效车削加工。

◆南阳煜众精密机械有限公司 LC-600 数控立车。最大回转直径 $\phi 820$ mm，Y轴行程（动力轴）150mm，针对涡轮增压器壳体研制的设备，通过追加Y轴/B轴功能，可实现独立于刀塔之外的动力装置。多种夹具选择，可选配标准液压缸卡盘，也可定制非标液压工装，最多可实现6路高压油及两路气，在主轴高速旋转状态下通到夹具，用于工件夹紧及气密检测。主轴在Cs模式进行分度提升至 $0.001^\circ$ ，可实现五轴控制加工。

◆巨鑫机床有限公司 JXLC63 盘类数控双主轴立车。双系统双控制，独立操作，左右加工区域完全隔离，相互不干涉，各自配置8工位伺服刀塔，采用滚柱导轨，加长滑块，刚性强。最大工件高度350mm，最大车削直径 $\phi 550$ mm。适用于盘类及壳类零件的加工。□

# CIMT2023 | 复合类机床展品

中国机床工具工业协会

## 1. 概况

本届复合类机床展品包括车铣/铣车复合加工中心和车铣磨复合加工中心，尤以车铣/铣车复合为主，展品超过20台套。提供展品资料的展商有秦川机床、通用技术集团、科德数控、齐重数控、天水星火、普利森、意美机械、众一智能、辽宁西格马、瑞士威力铭、斯达拉格、WFL、德马吉森精机、马扎克、大隈、迪恩机床、因代克斯、埃马克、米克朗、富信公司、兄弟机械、丽驰等。

需要说明的是，本节中的复合机床是按照GB/T 6477-2008《金属切削机床 术语》中定义，指具有两种或两种以上不同类型的独立主轴，工件在一次装夹中能完成多种加工工艺和多道工序的数控机床。

## 2. 复合类机床展品主要技术特色

(1) 复合机床强大的工艺和工序复合能力。各家复合机床的结构精彩纷呈，功能纷繁复杂，颇有乱花渐欲迷人眼之感，是本届展会中值得多多关注的展品。工件一次装夹可以完成车削、铣削、镗孔、钻孔、铰孔、攻丝、磨削、制齿等加工；减少了工件装夹次数，避免了由于多次装夹和定位基准转化而导致的误差累积，工件的位置精度能得到更好的保证；减少了人工、机床、工装夹具数量，缩短了生产辅助时间，提高了效率。复合机床满足了零件形状复杂和加工精度要求高的加工。

(2) 复合类机床具备与车削类、加工中心类、磨削类机床几乎同样的各种技术特色，如精度与精度保持性、刚性、直驱与直联、智能和自动化等，这里不再一一阐述。与此同时，由于复合加工中心要同时满足多种工艺的加工，比如车铣复合加工中心要同时适应车削和铣削加工，

车磨复合加工中心要同时满足车削和磨削加工的要求，因此多数复合机床的刚性和抗震性等方面还略胜一筹。

(3) 复合机床模块化设计特点突出，多数复合机床提供了诸如铣削主轴、第一主轴、第二主轴、下刀塔、刀库、尾座、数控系统等规格、性能的多种可选配置，另外包括自动上下料等的各种外围设施也具备灵活丰富的可选择性。瑞士斯达拉格公司Bumotec191neo 五轴联动车铣复合加工中心可以看作是模块化设计的一个典型代表。

## 3. 典型展品介绍

瑞士威力铭-马科黛尔公司 408MT车铣复合加工中心是一款高度融合车削和铣削性能的七轴五联动复合加工中心，尤其适用于加工具有复杂几何形状棒料或零件，工件一次装夹能完成多个面加工，再通过全自动背面加工，完成工件六个面加工。最大棒料直径为 $\phi 36\text{mm}$ ，全自动背面加工单元安装在U轴上，有 $0^\circ$ 和 $90^\circ$ 两个工位，配置自动定心虎钳或夹持器，应用内部或外部夹紧方式，压力可编程控制；高精度卧式轴分度头具有双重功能，低速运转时是个转台，高速运转时是一个车削主轴，车削主轴最高转速为 $6000\text{r/min}$ ；铣削主轴为高精度的电主轴，主轴最高转速为 $30000\text{r/min}$ （可选配 $42000\text{r/min}$ ），主轴接口为HSK-E40、HSK-A40或Capto C4，电主轴安装在摆动B轴上，B轴旋转范围为 $-15^\circ \sim 100^\circ$ 。刀库容量为48把（可选配72把），刀对刀的交换时间为 $0.8\text{s}$ 。能配置个性化的自动化系统或机器人，达到大批量加工效果。机床结构紧凑，占地面积为 $2.8\text{m}^2$ ，是制表、珠宝、医疗和精密模具等领域精密零件加工的选择。

瑞士斯达拉格公司Bumotec191neo五轴联动车铣复合加工中心是一款经典高精度高效的复合加工中心，在机床

内部实现复杂零件的全部加工，具有极为通用的模块化结构，针对各种加工任务打造多种类型的机床。主轴通孔直径有 $\phi 42\text{mm}$ 、 $\phi 50\text{mm}$ 和 $\phi 65\text{mm}$ 三种规格，背面加工单元有四种不同的类型：“P”型-单虎钳机构、“PRM”型-多副虎钳和夹具组合、“R”型-立卧转换背主轴结构、“RP”型-背主轴+虎钳或顶针结构。Bumotec 191neo向市场提供的不是一种单一的生产方式，而是基于一个平台的12种配置。比如Bumotec s191包括配7个数控轴和3个主轴，能够实现7轴任意5轴联动加工。副主轴可沿 $45^\circ$ 斜面进行立卧转换，主轴采用动静压轴承（陶瓷球），主轴的润滑和密封有独特的方案。主轴转速从0到 $30000\text{r/min}$ 只需1.5s，B轴从 $0^\circ$ 摆动到 $90^\circ$ 只需0.35s，加速度1.2g，快速进给 $50\text{m/min}$ ，换刀1.8s。机床上能配置最多90刀位的刀库，内置了一个刀具断裂检测装置，检测和加工能同步进行。再加上工件托盘库或者模块化或定制的机床人自动化单元，可以实现24小时/7天的生产。



WFL车铣技术公司M30 MILLTURN铣车复合加工中心最大车削直径 $\phi 520\text{mm}$ ，最大加工长度 $2000\text{mm}$ ，车削主轴最高转速 $4000\text{r/min}$ ，铣削主轴最高转速 $6000/9000/12000\text{m/min}$ 可选，B轴摆角范围 $-110^\circ \sim 110^\circ$ 。机床采用斜床身结构，导轨间距大，加工区到导轨间距离小，增强了机床切削刚性，方便排屑，排屑器延伸到刀库区，确保机床清洁。配置智能化刀具管理系统，能自动修改刀具数据。机床适用复杂轴类及盘类零件的六面加工，复合了车削、铣削及钻削加工工艺，能实现五轴联动加工，还可以根据需要选择相应的模块，实现齿轮加工或深孔加工。

因代克斯贸易（上海）INDEX G420铣车复合中心机床配备对置正副主轴、铣削主轴、双下刀塔，整体结构的大理石床身，五轴联动加工，独特的设计可以实现三把刀具同时加工，加工直径 $\phi 102$ （ $\phi 120$ 可选）mm、长度

$1600$ （ $2300$ 可选）mm的棒料，卡盘直径 $\phi 315$ （ $\phi 400$ 可选）mm。机床的静态部件质量和移动部件质量之比超过了5:1，确保机床具有出色的刚性、抗震性和动态值（快速速度 $50\text{m/min}$ ）。配备的三个滑台均带有Y轴，16个运动轴确保了工件加工的各种可能性，刀库可选115刀位，总刀位数达139，增加了加工的柔性。刀塔可选配中心架用于加工长轴类零件，另外可选配集成的上下料系统或二轴机器人单元iXcenter。



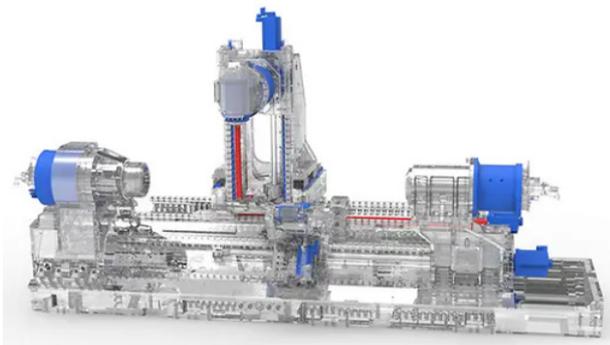
富信国际贸易有限公司EMCO HT65PM/SP铣车复合加工中心双主轴、双刀塔配Y轴，上方刀塔演化成加工中心的铣削头，铣削头高功率、高转速、带B轴、带刀库，构成了一台9轴5联动的铣车复合加工中心。床身最大回转直径 $\phi 500\text{mm}$ ，最大棒料直径 $\phi 65\text{mm}$ （可选 $\phi 76/95\text{mm}$ ）。依据VDI/DGQ3441标准，直线轴定位精度为 $5\mu\text{m}$ ，重复定位精度为 $3\mu\text{m}$ ，旋转轴定位精度为 $9''$ ，重复定位精度为 $5''$ 。主、副主轴可实现工件自动对接；铣削主轴转速为 $12000$ 转的高功率电主轴，配合HSK T63刀柄；B轴为力矩电机驱动，摆角范围为 $\pm 110^\circ$ 。配置了切削液纸带过滤系统，而且切削液循环系统自带恒温装置可以对切削液进行强制升温或者降温。铣头内冷压力 $70\text{bar}$ ，下刀塔内冷压力 $25\text{bar}$ 。可进行高速铣削、钻削也可进行车削，在一台机床上可自动完成一个零件的六面所有铣削和车削的车铣中心（包括空间曲面和斜孔）加工零件的圆度可达到 $0.5\mu\text{m}$ 。

大隈机械（上海）有限公司MULTUS U3000铣车复合加工中心是MULTUS系列中智能化复合加工机床的典型产品，最大加工直径 $\phi 650\text{mm}$ ，最大加工长度 $1000\text{mm}$ ，可选配 $1500\text{mm}$ 。具备同级别最大Y轴行程并采用高刚性立柱移动式结构，B轴分度角度 $-30 \sim +210^\circ$ ，使主轴和副主轴拥有同等的加工区域，B轴驱动采用了零反向间隙的滚子齿形凸轮驱动，主轴和副主轴均可实现精密分度的高精度C轴，C轴定位精度 $4''$ ，旋转刀具主轴转速

50~12000r/min, 主轴转速50~5000r/min, X、Y/Z轴快速进给速度50/40 m/min; 双滑板机构可将加工时间缩至最短, 支持倾斜轴的车削, 可选用齿轮加工程序包, 只需输入刀具种类、齿轮规格、加工条件等参数, 即可实现高精度制齿。



德马吉森精机机床贸易有限公司CTX Gamma 2000TC铣车复合加工中心最大工件直径 $\phi$ 700mm, 最大工件长度2000mm, 最大棒料直径 $\phi$ 127 mm, X/Y/Z轴行程800/420/2050mm。内置主轴驱动, 扭矩达4,000 N·m, 车/铣主轴最高转速12000r/min, 扭矩220N·m, 超紧凑车/铣主轴满足复杂车削和铣削加工要求, 可选配第二刀架、刀塔中心架及刀塔顶尖, 确保高生产力车/铣复合加工。



山崎马扎克(中国)有限公司INTEGREX i-500S铣车复合加工机具有复合机的车削、铣削及五轴联动加工能力, 还融合齿轮成形、滚铣加工、长钻头加工等专用机床的能力。主副主轴端最大间距2500mm, 最大加工直径 $\phi$ 700mm, 车削主轴/副主轴最高转速4000r/min; 铣削主轴最高转速12000r/min, 搭载了高功率输出及高扭矩内置电机的主轴、缩短全长的紧凑型铣削主轴, 车削主轴及铣削主轴采用模块设计, 扩大式样选择范围。可配置高速移动机器人应对自动化及多关节机器人等相关需求。

山崎马扎克(中国)有限公司INTEGREX i-250HS铣车复合加工机主副主轴端面最大间距1500mm, 最大加工直径670mm, 车削主轴/副主轴最大转速5000r/min, 铣削主轴最大转速12000r/min; INTEGREX i-250H S为

马扎克复合加工机INTEGREX系列的高端机型, 采用增强自动化设计, 增加的平行式下刀塔增强了多任务处理能力; 采用搭载了支持AI、数字孪生和自动化的新型CNC装置MAZATROL SmoothAi系统; 配置Ai热屏蔽功能, 使连续加工精度保持稳定。备有桁架机械手、棒料输送机、TA(TURN ASSIST)、自动卡爪交换装置等丰富的自动化选配件。

迪恩机床(中国)有限公司PUMA SMX2600ST铣车复合加工中心卡盘尺寸10英寸, 最大车削直径 $\phi$ 660 mm, 最大车削长度1540 mm, 共有9个轴, 采用正交型Y轴结构, 左右主轴及铣削主轴组合, 铣削主轴安装在摆动B轴上, 配备12位高刚性伺服刀塔, 具有强大的切削性能。结合左右主轴、B轴铣削功能和下刀塔, 具有更高的多任务处理能力, 适用复杂零件和高精度要求零件的加工。采用人体工程学设计, 前置刀库及触屏式ATC操作面板, 更加便于操作和维护修理。

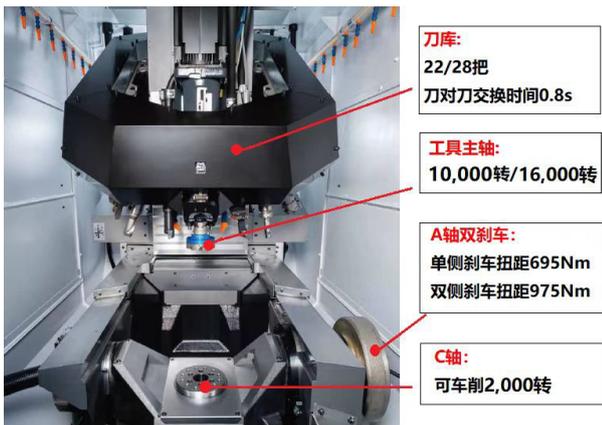


埃马克(中国)机械有限公司太仓分公司VL 200 GT立式车磨复合加工中心使用高减震性能聚合物混凝土材料的床身, 卡盘直径 $\phi$ 210mm, 工件最大直径 $\phi$ 160mm, 工件最大长度100mm, 一次装夹完成全部硬加工, 硬车和磨削组合实现了更短的节拍时间、更高的加工质量并大幅降低了刀具成本。工件预车后只给后续磨削留下极少量的加工余量, 砂轮修整频次低, 能实现表面质量 $R_z < 1.6 \mu\text{m}$ 加工, 可配置自动上下料功能。

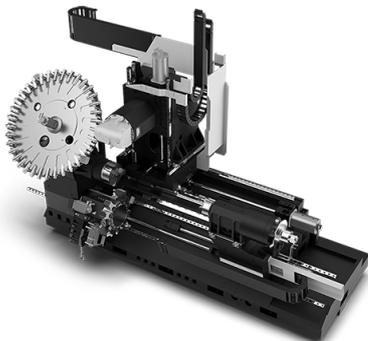


兄弟机械商业(上海)有限公司M200 $\times$ d1五轴联动车铣复合加工中心采用龙门式结构, 搭载具备车削主轴功能的倾斜转台, 一次装夹完成铣削和车削加工。工作台直

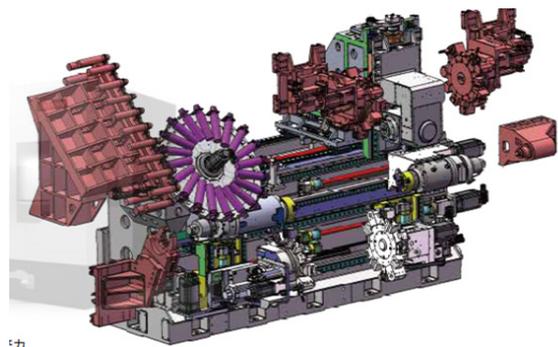
径为 $\phi 140\text{mm}$ ，A轴旋转范围为 $+120^\circ \sim -30^\circ$ ，X/Y/Z轴快移速度为 $50\text{m/min}$ ，A轴最高转速为 $60\text{r/min}$ ，C轴最高转速为 $200/2000\text{r/min}$ （车削主轴）。A轴采用滚子齿式凸轮，C轴采用力矩电机，消除了背隙，实现高速高精度五轴联动加工。最高转速为 $2000\text{r/min}$ 的高输出车削主轴、车削刀具的双柱塞锁紧方式以及A轴采用机械+伺服夹紧方式，能发挥出高效的车削加工能力，C轴具有锁紧功能可以满足更大的旋转方向上的负载和更苛刻的切削条件，提高机床的加工性能。搭载新开发的CNC-D00系统，具有刀尖跟随控制功能、最大预读1000程序段、亚微米指令等，微小线段处理能力相比以往的控制装置提高至4倍，并可高速处理公差较小的CAM数据。



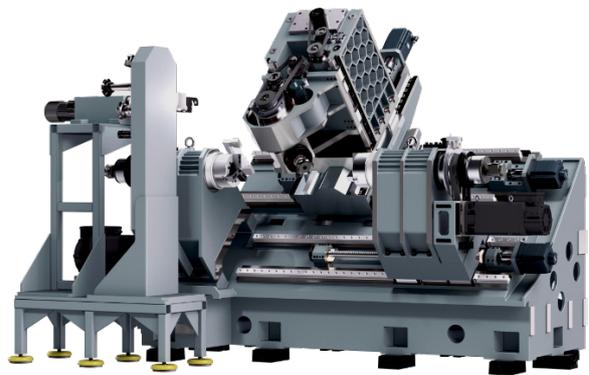
科德数控股份有限公司KTX1250 TC 五轴卧式铣车复合加工中心 机床平斜床身立柱移动的结构，配合单摆直角头、双工件主轴和中心架或下刀塔；采用超紧凑型铣削主轴，主轴鼻端面到主轴后端面距离为 $450\text{mm}$ ，主轴转速最高为 $12000\text{r/min}$ ，可选配备中心出水；B轴摆动范围为 $-120^\circ \sim +120^\circ$ ，最高转速为 $60\text{r/min}$ 。工件最大回转直径为 $\phi 700\text{mm}$ ，最大车削直径为 $\phi 630\text{mm}$ 。平斜床身立柱结构有利于排屑和切削液，大部分管线都在床体内部通过。采用八角滑枕整体结构，应力分布均匀，刚性好，保证切削的稳定性。工件主轴采用横跨式结构，便于中心架移动到卡盘左端和加工盘类工件。刀库采用圆盘方式结构，单电机和减速机控制。



科德数控股份有限公司KCX 1200 TM五轴卧式铣车复合加工中心配置对置的双车削主轴、双下刀塔以及铣削主轴。整体顶置式正交结构设计，导轨采用直线滚柱导轨，增加了机床结构刚性；运动部件远离切削区，降低了切屑、切削液对导轨和丝杠的污染。最大加工直径 $\phi 400\text{mm}$ ，最大加工长度（两卡盘支撑时） $1200\text{mm}$ ；车削主/副主轴箱均采用内冷却力矩电机，同时配备高精度电磁角度编码器+液压夹紧，实现C轴高精度任意角度定位，提高铣削精度。控制系统采用科德GNC62系统，实现高速的CNC功能，可同时控制十六轴，五轴联动。可选配BMT65动力刀塔、编程尾座顶尖，尾座的顶紧力能够跟零件直径尺寸大小进行编程控制。

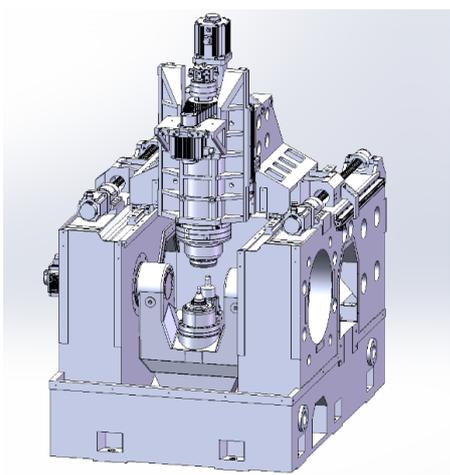


沈阳众一智能装备科技有限公司LM400-800卧式五轴铣车复合加工中心 最大车削直径 $\phi 400\text{mm}$ ，最大车削长度 $800\text{mm}$ ，床身上最大回转直径 $\phi 550\text{mm}$ ，B轴转角 $-105^\circ \sim +120^\circ$ ，铣削主轴最高转速 $3500\text{r/min}$ 。实现五轴同步联动加工，集成了车、铣、钻、镗、攻丝功能于一身的高柔性机床。该机床可为航天、军工、船舶、铁路、汽车、印刷、工具、能源及其他通用机械等行业的高精度复杂形状的零件加工。



中国通用技术（集团）控股有限责任公司（沈机股份）IVT22m 复合型倒置立式车床是一款用来加工球笼的专用机床，主要用于球笼中钟形壳以及星型套零件的复杂球道以及球面加工。加工工件最大外径 $\phi 120\text{mm}$ ，加工工件最

大高度 250mm，铣主轴摆动范围（B轴） $-20^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，铣主轴最高转速4000 r/min，车主轴最高转速 1500 r/min。采用桥式结构布局；车削主轴采用三片齿离合器锁紧形式，保证主轴的重复定位精度以及锁紧的刚性，提升加工稳定性，满足硬铣球道的加工需求；铣削电主轴及车刀置于摇篮中，使机床可满足摇篮轴、铣削轴、X轴和Z轴的随动铣削功能，实现复杂的曲面加工；配置气密封与迷宫结构，有效防止铁屑灰尘等污染，配置水冷机稳定电机温度，同时循环主轴降低轴承温度；机床配有机内料线，配合桁架机械手及自动料仓，可实现单机或多机自动化，同时配备i5智能数控系统，实现智能化操作及管理。



秦川机床工具集团股份有限公司BHR800V卧式铣车复合加工中心是一款五轴联动卧式车铣复合加工中心，床身上最大回转直径 $\phi 820$  mm，车削主轴最高转速2700/1680 r/min，铣削主轴最高转速5000 r/min，B轴摆动范围 $-110^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。机床配置有X、Y、Z、B、C五轴；主轴箱采用双电机主从模式，连接齿轮箱，两档变速，主轴输出最大扭矩3340N·m，主电机功率可选择，主轴夹紧力可调；采用独立仓储式刀库，配备机器人实现刀具及附件头的快速更换；可实现各种车、铣、镗、钻、铣齿、磨等复合高精加工，擅长于深孔加工，最大加工孔深可达1500mm，应用于能源领域、航空航天领域、大型船用柴油机领域的传动轴等加工。



齐重数控装备股份有限公司DVTG250×25/20B-MC双柱立式车磨加工中心最大车削直径 $\phi 2500$ mm，最大车削高度2500mm，最大磨削高度2300mm，工作台直径 $\phi 2250$ mm。左右立柱采用热对称结构，形成封闭式龙门框架；横梁升降带同步保护装置，安全可靠；工作台轴向采用静压导轨，径向采用双列圆柱滚子轴承；主传动采用立轴两档无级变速箱，变档带机械锁；刀架采用静压导轨，抗振性好；右车削刀架自动换刀，左磨削刀架自动搬度，实现跟随车、跟随磨加工。适用于航空航天、船舶、能源、汽车等行业回转类零件的车削及磨削加工。

天水星火机床有限责任公司CNCX630五轴铣车复合加工中心床身最大回转直径 $\phi 630$ mm，加工工件最大长度4000mm，控制系统为华中HNC-840DI。该机床能够实现X、Y、Z、B、C五轴联动，其中X、Y、Z、为三个直线轴，车削主轴配备C轴分度功能，铣削主轴带B轴摆动功能，X、Y、Z、B、C轴全闭环控制。配有自定心液压卡盘、自定心液压中心架、程控液压尾座、B轴动力刀塔和自动刀库。用于高强度钢制零件的车削、钻孔、铣削、铣螺纹、攻丝等加工。

山东普利森集团有限公司CH6163-5铣车复合加工中心床身上旋转直径 $\phi 650$  mm，滑鞍上旋转直径 $\phi 540$  mm，最大加工直径 $\phi 630$  mm，最大加工长度1000 mm。该机床采用了前倾 $45^{\circ}$ 、后倾 $15^{\circ}$ 的梯形包砂铸造斜床身，床身导轨为特殊设计的大尺寸重载荷滚柱直线导轨；主轴单元有分别控制的液压阻尼和液压制动系统，保证了机床在高速铣削和低速重力铣削时主轴平稳抗振；Y轴为互为 $60^{\circ}$ 夹角的X轴和U轴插补虚拟轴，具有行程大、刚性高；24位刀库安装在下滑鞍后部与Z轴同时进给，可以在Z轴行程的任意位置装刀换刀，减少了传统固定刀库的装刀换刀动作故障，并且大大缩短了换刀的辅助时间。通过控制X、Y、Z、B、C五轴联动，能够完成任意角度和形面的车削、铣削、钻削、镗削、磨削、攻、铰、扩、滚齿等任务。

大连意美机械有限公司MC160龙门移动式铣车复合加工中心最大工件加工直径 $\phi 1600$ mm（最大旋转直径 $\phi 2200$ mm），最大工件加工高度1200mm，机床共8个数控轴，4轴联动，分别是X1、X2、Y、Z、C1、C2、SP1（车主轴）、SP2（铣主轴）；其中X1、X2协作完成龙门同步驱动实现X轴功能，C1、C2协作完成C轴消除驱动（电子齿轮）功能。工作台的最高转速315r/min，X、Y、Z轴定位精度0.01mm，重复定位精度0.006mm，C轴定位精度8"。适合冶金、矿山、军工、航空航天、轨道交通、机械制造等高端行业对高精度零部件的加工需求。□

# CIMT2023 | 磨削类机床展品

中国机床工具工业协会

## 1. 概况

据已有资料，磨削类机床展商70余家，展品130多台（不含齿轮磨床，将在齿轮类机床中介绍）。提供展品资料的主要展商有北一机床、上海机床、秦川机床、通用技术集团、浙江杭机、无锡机床、广宇大成、华辰精密、北平机床、广州敏嘉、济南四机、无锡明鑫、厦门创云、南京南特、银川大河、威海华东、浙江固本、无锡昌亿、宇环数控、新乡日升、杭州芝元、苏州信能、兴富祥、德铭纳、联合磨削、孚尔默、阿格顿中国、大光长荣、昂科机床、日进、北京特思迪、豪马、德玛吉森精机、丰田工机、冈本工机、哈挺等。

主要展品有平面磨、双端面磨、成形磨、导轨磨、外圆磨、内圆磨、复合磨床、磨削中心、无心磨、立磨、坐标磨、内外螺纹磨、珩磨（立/卧，单轴/多轴）、各种工具磨（刀片磨、锯片磨、钻头磨、铣刀磨、车刀磨、丝锥螺纹磨、段差磨等），强力端齿磨、抛光机、中心孔磨等。展品品种、规格丰富，适合多行业的不同应用需求。

## 2. 磨削类展品主要技术特色

（1）高精度。磨床作为精密和超精密加工设备，其主要精度指标是衡量该设备水平的标尺。本届磨床展品的精密特色一如既往的靓丽，主要精度指标，如砂轮主轴、工件主轴的径向/轴向跳动、运动轴的定位、重复定位精度等，多在 $1.5\mu\text{m}$ 左右甚至更高，北二机床的外圆磨床砂轮主轴的径向跳动 $\leq 1.5\mu\text{m}$ 、轴向跳动 $\leq 1.5\mu\text{m}$ ，旋转轴的重复定位精度在 $4''$ 以内，如Studer S131R内圆磨床旋转工作台的重复定位精度为 $1''$ ；工件的加工精度指标，通常能达到圆度 $\leq 1\mu\text{m}$ 、圆柱度 $\leq 1.5\mu\text{m}$ 、表面粗

糙度 $Ra \leq 0.4\mu\text{m}$ ，如上海机床厂的复合磨削中心的加工精度为外圆圆度 $0.4\mu\text{m}$ ，内圆圆度 $0.6\mu\text{m}$ ，天津第一机床的立式磨床磨削外圆的圆度 $< 0.4\mu\text{m}$ ，外圆表面粗糙度 $Ra \leq 0.01\mu\text{m}$ 。

（2）良好的抗震性。磨削加工零件除了严苛的尺寸精度要求，往往还有极高的表面粗糙度要求，机床的抗震性尤为重要。天然花岗岩、人造大理石都具备优异的抗振性、热稳定性，已被越来越多的用作磨床的基础件制造，如联合磨削、昂科、济南四机、敏嘉等公司的机床床身均为花岗岩或人造大理石。

（3）砂轮架配置多样化，丰富磨削功能。砂轮架从原来典型的1个外圆砂轮和1个内圆砂轮到现在可有多种布置方式，包括加工外圆、内圆、端面、螺纹等，最多可以同时安装4个砂轮，也可安装CBN砂轮实现高速磨削，轴套类零件在一次装夹中实现各种内外圆、端面多部位磨削，可实现中小批量甚至大批量加工。砂轮架B轴技术日臻完善，B轴驱动从最初鼠牙盘手动 $2.5^\circ$ 分度、自动 $1^\circ$ 分度到伺服电机驱动蜗杆蜗轮连续分度，到现在力矩电机直驱；同时，应用圆光栅直接检测实现B轴全闭环控制，转台的结构有滚动轴承转台和闭式静压转台。可实现用一片砂轮磨削多直径和多锥面，或X/Z/B轴插补实现B+的轮廓磨削和随动功能的成形轮廓磨削。如哈挺KELLENBERGER<sup>®</sup> 100万能数控内外圆磨床有多达10种砂轮架可供用户选择，砂轮架进给X轴、工作台移动Z轴和砂轮架回转B轴均采用闭式静压导轨，B轴为力矩电机驱动。

（4）静压技术应用广泛。磨床的工作台和砂轮导轨不少展品采用静压技术，有利于提高磨削精度和抗振性，外圆磨头主轴轴承采用高精度动静压轴承。如北二机床外圆复合磨床X轴和Z轴采用高精度静压导轨，大光长荣外圆

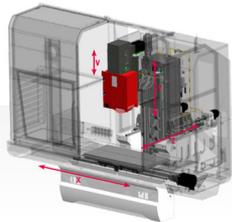
磨主轴采用液体静压轴承；广宇大成立式磨床的工作台采用三面闭式静压自驱式回转技术，砂轮主轴采用动静压主轴；兴富祥的无心磨床主轴应用高压静压支撑，使主轴悬浮于其中，保证了主轴工作精度及工作寿命。

(5) 自动化和智能化。展品中不乏可24小时无人值守自动生产的产品，展示的自动化功能主要包括自动上下料、ATC、砂轮自动修整与补偿、砂轮修正与磨削程序自动转换、砂轮自动平衡、在线探伤、磨头重量和磨削力自动平衡、工件在线自动测量、主动量仪测量、工件自定心、工件径/轴向位置自动检测、自动工件安装误差找正、自动工件卡压、自动磨削循环、自动监控等。智能技术如自动补偿、随动跟踪磨削技术、磨削软件、基于联网数据分析的设备智能运维技术，包括机床负载监控技术、生产管理、工艺优化、自学习功能、维护保养、在线编程等技术大量应用。

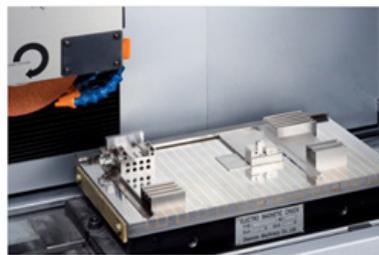
### 3. 典型展品

#### (1) 平面类磨床

联合磨削集团 BLOHM JUNG PROFIMAT XT 608 生产型平面成形磨床最大砂轮直径 $\phi 500$  mm，最大砂轮宽度160 mm，工作台尺寸 $800 \times 600$  mm。机床采用模块化设计，工作台尺寸从 $400 \times 800$  mm到 $600 \times 2000$  mm，采用直线电机驱动，优质球墨铸铁和精密预载型线性导轨，集成四种磨削工艺，可选配砂轮更换装置。搭载C.O.R.E.OS操作系统，全新的用户界面。显示触屏面板由三部分组成，提供单独调节的屏幕区域，包括工件绘图、3D模型、操作手册和原理图以及GripsProfile编程系统，还可提供符合工业4.0的可视化冷却过滤系统状态和过程监控显示。



冈本工机(常州)有限公司UPZ52Li CNC超精密成形磨床工作台上作业范围 $550 \times 220$  mm。采用T型一体床身，动柱式结构，X轴采用直线电机驱动，油冷式砂轮主轴，进给轴的最小设定单位 $0.1 \mu\text{m}$ ，配置CCD摄影头、探头进行在线测量，搭载自主开发工艺软件，能实现砂轮成形磨削、多位置磨削和轮廓磨削。



浙江固本精密机械有限公司SG-104CNCL 立轴数控成形磨床 工作台面工作尺寸 $1000 \times 400$  mm，用于磨削各种内外弧槽，如：大小线轨滑块、中小型线轨、珠架及轨、交叉导轨等。X轴采用双V硬轨，Y、Z轴为线轨，MPG最小进刀为 $1 \mu\text{m}$ ，配置新代系统。前后进刀方式可选择左侧、右侧和双侧，设置研磨总量后，可设粗磨、半精磨、精磨、超精磨、进刀量和光磨次数，可分设不同的左右速度。砂轮修整方式有磨削滑块和磨削线轨自动修整可以选择，同时砂轮具有自动补偿、自动变速功能。

南京南特精密机械有限公司 GDW-13/200 up 龙门超精密镜面磨床 加工范围长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $2000 \times 1000 \times 650$  mm，龙门式结构，X向双V导轨结构，搭配双油缸驱动，直线度达到 $3 \mu\text{m}/1000$  mm，Y、Z轴为镶钢硬轨滚滑一体结构，磨头上下左右能达 $1 \mu\text{m}$ 微进给。

南京南特精密机械有限公司GLW-96i400 CNC直线导轨专用磨床可加工导轨最长为4000 mm、导轨规格为 $15 \sim 65$  mm，工作台移动水平面直线度和侧面直线度均达到 $3 \mu\text{m}/1000$  mm，最小进给量为 $1 \mu\text{m}$ 。其产品的立式两主轴用于加工导轨面，另外一个磨头位于机床后面用于加工上下表面，三面同时磨削，磨削工件精度可达导轨组合高度误差为 $3 \sim 5 \mu\text{m}/4000$  mm。

北京特思迪设备制造有限公司 TDG-1200 高性能双端面精磨/研磨机最大磨削直径 $\phi 380$  mm。整体式铸造床身，高刚性，高稳定性，上盘、下盘、内环三主轴采用高功率电机独立驱动，更大磨削扭矩。采用先进的DPS动态压力平衡系统、盘内恒温系统和在线数字尺寸测量系统，保证每一次加工稳定性，呈现微米级精度。根据不同产品加工要求，设备可配备金刚石、CBN、WA、铸铁、树脂铜等不同类型的磨盘，加工时内环驱动装有工件的载盘，行星式磨削运动轨迹，从而达到高精度的双端面精磨/研磨效果。同时参展展品有TDG-700 高性能双端面精磨/研磨机。

宇环数控机床股份有限公司 YH2M8470高速双面精密研磨机加工件最大尺寸(矩形对角线长度) $200$  mm，加工厚度尺寸 $0.4 \sim 40$  mm，上下盘转速： $5 \sim 120$  r/min，太阳轮转速 $5 \sim 65$  r/min。属于4道行星轮系运动原理的研磨机

床，研磨盘作逆时针方向转动，下研磨盘作顺时针方向转动，游星轮在上、下研磨盘之间由内圆柱齿圈（内齿圈不动）和太阳轮带动下作独特的既公转且自转的行星运动；太阳轮和下盘驱动采用减速机直联，双轴套筒式结构布置；上盘采用气缸加压及升降，进行预压、主压、后压三阶段压力控制，压力值可任意调整并可自动转换。

豪马国际有限公司（瑞士Stahli）DLM1005双端面研磨机 磨盘直径为 $\phi 800 \sim \phi 1220$  mm。采用龙门架结构，上磨盘采用双液压缸驱动，保证上磨盘的左右支撑同步移动，全闭环控制。压力变量精度控制在1kg以内，配置自动控制的车刀系统对砂轮盘的修正，磨盘底座采用迷宫式流动冷却系统，能半自动或全自动连接到去毛刺系统。广泛应用在硬质合金、陶瓷、PCBN、金刚石刀片等加工行业。



新乡日升数控轴承装备股份有限公司 2M8470A 精密双面研磨机 主要用于研磨零件的平面，适用于钢、铸铁、铜、硬质合金、陶瓷、单晶硅等材料的加工。机床采用立式布局，主机床身采用铸铁构件，上、下盘及内环采用三个独立可调驱动电机，无级调速，保证了研磨各种材料和各种形状工件的工艺转速。气动控制采用预压、主压、精压三阶段压力控制，压力值可任意调整并可自动转换。配备SONY尺寸测量控制器，对加工工件实现在线测量。机床配置有修整砂轮，保证了CBN砂轮的精度。恒温冷却过滤系统，确保磨盘不变形，保证加工精度。交互式人机界面（触摸屏），使用简单，性能稳定。机床控制集各种控制模式、数值仪表、报警信息于一体，实现故障自诊断功能，便于维修检查，操作方便快捷。

南京二机齿轮机床有限公司 MG7630CNC数控双端面磨床最大工件直径 $\phi 110$  mm，最大工件厚度50 mm，机床采用立式结构设计，采用通过式、贯穿式、摆臂式等送料方式把工件送至两CBN砂轮之间进行磨削，保证磨削工件的尺寸精度和形位精度，同时保证良好的表面粗糙度。磨削工件两端面平行度可达到 $2 \mu\text{m}$ 以内，磨削工件的尺寸

精度可以控制在 $3 \mu\text{m}$ 以内，粗糙度 $Ra \leq 0.2 \mu\text{m}$ ，适用于对各种外形的金属、非金属薄形精密零件（轴承、阀门、密封件、油泵叶片、活塞环等）上下两平行端面的同时磨削。

## （2）内、外圆类磨床

哈挺亚洲有限公司 KELLENERBERGER RQ00万能数控内外圆磨床 顶尖距600/1000 mm，双顶尖承重100/150 kg。床身经有限元分析优化设计，Z轴导轨经过优化设计；砂轮架进给X轴、工作台移动Z轴和砂轮架回转B轴均采用闭式静压导轨，B轴为力矩电机直驱；头架可配置标准型、卡盘型和直驱型，头架轴承采用高精度滚子轴承，卡磨工件圆度为 $0.4 \mu\text{m}$ ，可选配 $0.2 \mu\text{m}$ ；尾架采用密集轴承支承套筒，具有锥度微调功能；砂轮架可配置各种规格的磨头，外圆磨头采用多油楔动压轴承，水冷电机，内圆磨头采用高频电主轴；砂轮自动测量系统测量并存储砂轮尺寸，B轴旋转后，系统自动更新砂轮坐标。

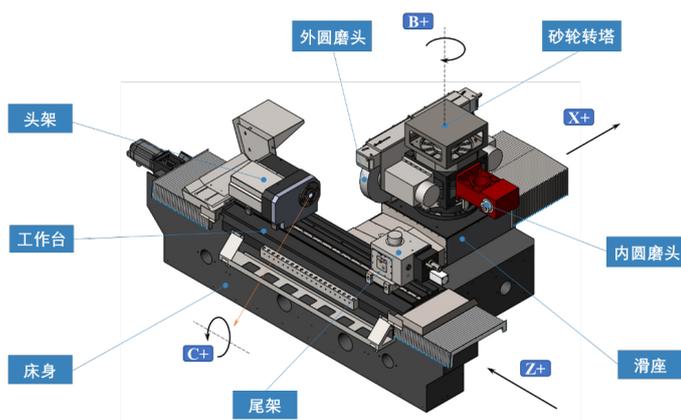
联合磨削集团Studer S31万能内外圆磨床 最大工件直径 $\phi 250$  mm，最大工件长度（包括夹具）为300 mm。转塔式砂轮架采用力矩电机直接驱动，最多可配4个磨削主轴。工件主轴可进行活主轴磨削和两顶尖磨削，活主轴磨削时圆度在 $0.4 \mu\text{m}$ 以内，可选配 $0.2 \mu\text{m}$ ，工件主轴的C轴可实现非圆成形磨削和螺纹磨削，尾架的圆柱度精密微调装置保证了对圆柱度进行 $1 \mu\text{m}$ 范围内的修正。数控软件具有磨削参数计算、修整优化以及成形、螺纹和非圆磨削等功能。在机床控制系统中能够内置加工监测和接触感应的在线测量和传感技术，自动平衡系统，保证了在不同系统中的标准化编程。

联合磨削集团Studer S131R 内圆磨床工件最大直径为 $\phi 349$  mm，最大工件长度（包括夹具）为1000 mm。工作台采用力矩电机驱动，回转范围为 $-60^\circ \sim 91^\circ$ ，重复定位精度 $1''$ ，通过B轴和X、Z轴联动插补，实现精密的圆弧、锥面磨削。磨削主轴转塔能够配置四根主轴和一根测量探针，具有加工监测、消除空行程、在线测量、接触感应、砂轮自动平衡等自动功能。高精度C轴配置有直接测量系统，可用于非圆成形和螺纹磨削。配置专为内圆、圆弧、球面磨削应用开发的HMI StuderSim系统。适用于采用工业陶瓷、蓝宝石和硬质合金等超硬材料的钟表，以及加工陶瓷或钛合金材质的人工关节、医疗器械等零件的加工。

北京北一机床有限责任公司（北二机床）B2-GK3012X500 高精度数控外圆复合磨床X轴和Z轴采用高精度开式静压导轨，直线电机驱动。X、Z轴定位精度 $4 \mu\text{m}$ 、 $6 \mu\text{m}$ ，重复定位精度 $2 \mu\text{m}$ 、 $3 \mu\text{m}$ ，B轴应用力矩电机和

绝对式圆光栅，实现任意分度的准确定位，B轴转台重复定位精度 $\pm 2''$ ，可配置3个砂轮。磨削外圆及端面砂轮主轴系均采用大锥度动压主轴系，径向跳动 $\leq 1.5 \mu\text{m}$ 、轴向跳动 $\leq 1.5 \mu\text{m}$ 。砂轮主轴的交流变频器分三段调整，实现在一定范围内的恒线速磨削，主要用于外圆柱面、外圆锥面、端面、内孔及非圆面的精密复合磨削。

上海机床厂有限公司 H376 高精度复合磨削中心 最大内/外圆磨削直径 $\phi 320/\phi 125 \text{ mm}$ ，最大内/外圆磨削长度125/1000 mm，外圆圆度 $0.4 \mu\text{m}$ ，内圆圆度 $0.6 \mu\text{m}$ 。采用模块化转塔式磨头，最多可以安装3个磨头，工件一次装夹可进行多工位加工；采用模块化设计，头架和尾架可以根据加工工艺需要，选择力矩电机或伺服电机驱动头架，液压控制尾架或手动尾架；建立机床的三维数字化模型和相匹配的运动学后置处理器，实现加工前对典型磨削程序的模拟仿真。具有C-X、C-Z轴联动功能，工件一次装夹可以完成外圆、内圆、端面、锥面、非圆等部位的磨削加工，适用于军工、航空、量具、机床、汽车等行业的精密机械加工领域。



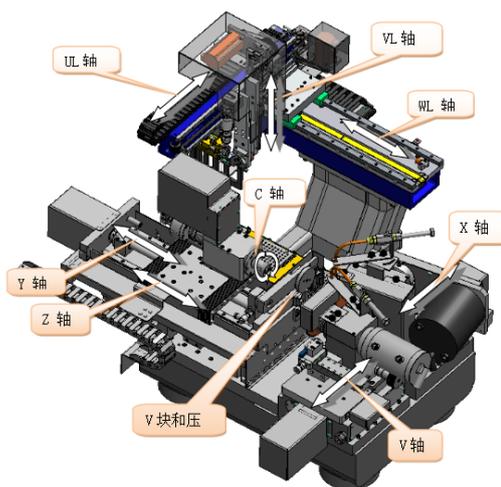
华辰精密装备（昆山）股份有限公司HC-350/1000U 亚 $\mu$ 磨削中心该机床的核心功能部件均已实现自主可控，机床主参数为最大磨削直径 $\phi 350 \text{ mm}$ ，最大工件长度1000 mm，最高夹持磨削精度 $0.2 \mu\text{m}$ ，X轴最小进给量 $0.1 \mu\text{m}$ 。标准产品同时配置2片外圆砂轮、1片内圆砂轮，最多可同时配置4片外圆砂轮或4片内圆砂轮，具有外圆、内圆、非圆、螺纹磨削功能。主要的部件如砂轮主轴、工件主轴、B轴、高速内磨主轴、数控系统等均为华辰自主研发及制造，搭载华辰自主研发的HCK2000C数控系统，系统集成华辰多年来在精密磨削加工领域的实践经验，具有无需任何NC代码编程、磨削工艺可在线修改、磨削功能齐全及维护方便的特点，人机界面设计直观、可操作性强。

陕西诺贝特自动化科技有限公司 NOG 200 高精密切外圆磨床最大磨削直径为 $\phi 80 \text{ mm}$ ，顶尖距为220 mm，中心高

为110 mm，安装内外圆两个磨头。机床导轨采用长岛精工开发设计的六面滑动导轨双V结构，导轨面采用人工精密刮研而成，保证了高精度、高刚性、高抗振性及微量进给的准确性。工件可选择两顶尖、三爪卡盘等多种夹持方式。配置长岛精工开发的实际位置显示系统，前后轴和左右轴均配有电子手轮，可三档位切换 $0.01 \text{ mm}/0.001 \text{ mm}/0.0001 \text{ mm}$ ，最小进给量 $0.1 \mu\text{m}$ 。适用于精密部品、精密模具、精密量具，各种高精度零件的单圆弧型面、复合圆弧型面、台阶轴、槽内、等深及不等深槽等加工。



厦门创云精智机械设备股份有限公司 WM831系列 高精度数控外圆磨床 机床有8个数控轴，加工区采用5个数控轴，X轴和V轴为全闭环控制，V块+压轮的机构提高了工件的跳动精度，机床主体与外罩采用分离式结构，配置NUM数控系统，集成高精密切头、高速电主轴、双砂轮同步高速磨削等技术，采用粗精双砂轮磨削工艺确保产品精度，可选配工艺数据库，集成大量的成熟产品加工工艺，可实现自动上下料，批量无人化生产，广泛应用于铣刀、钻头、铰刀及各种高精密切机械零件加工。



达诺巴特集团（中国）ESTARTA-175无心磨床 最大磨削工件直径为 $\phi 40 \text{ mm}$ ，砂轮尺寸（外径 $\times$ 宽度 $\times$ 内径） $\phi 508 \times 175 \times \phi 304.8 \text{ mm}$ ，导轮尺寸（外径 $\times$ 宽度 $\times$ 内径） $\phi 305 \times 175 \times \phi 127 \text{ mm}$ 。采用天然花岗岩床身，双面移动布局，悬臂式主轴，砂轮最高线速度为120m/s，修整器采用直线电机驱动，数控插补方式修整砂

轮，磨削砂轮与导轮滑板的导轨系统内配有减震系统，自动夹紧及高度自动调节使托板在托架上快速更换调整，用户友好定制化软件，根据需求配置不同附件，如测量装置（接触式、气动式和光学式），工件清洁工作站或其他装置，适用于中、小型零件精密加工。

无锡机床股份有限公司CL400K 无心磨床 磨削直径  $\phi 4.5 \sim \phi 40 \text{ mm}$ ，最大磨削长度395 mm，CBN砂轮线速度为70~120m/s。机床采用矿物铸件床身，双面移动布局，可实现贯通式磨削和切入式磨削两种磨削方式。适用于环类、轴类零件的外圆磨削以及各种阶梯形、锥形和成形旋转面的切入磨削。尤其适用于控制阀塞、油泵活塞、压缩机曲轴、圆柱滚子、凸轮轴、轴承外圈和齿轮轴等零件的高精度磨削。

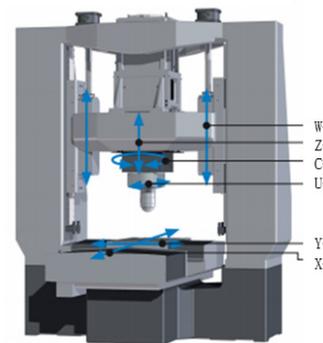
无锡市明鑫机床有限公司WM-100-1高精度数控无心磨床加工直径范围为  $\phi 5 \sim \phi 100 \text{ mm}$ ，长度5~190 mm（成形修整长度5~125 mm），机床采用砂轮架固定、导轮架移动布局，直线进给由伺服电机驱动滚珠丝杠实现，砂轮主轴采用悬臂支承、滚动轴承结构，导轮主轴采用双支承、滚动轴承结构，砂轮修整器采用金刚滚轮成形修整或碟片差补修整或两者组合修整，滚轮回转由伺服电机驱动，导轮回转采用主轴电机驱动，磨削精度能达到圆度0.001 mm、圆柱度0.0015 mm、粗糙度Ra0.1  $\mu\text{m}$ 。主要用于各种圈类、轴类零件的圆柱面进行贯穿磨，对各种阶梯、锥形和圆弧等回转面进行自动切入磨削。

深圳市兴富祥科技有限公司HFC-1808HFNC-77A无心磨床标准刀架加工直径范围  $\phi 1 \sim \phi 50 \text{ mm}$ ，特殊刀架加工直径范围  $\phi 40 \sim \phi 100 \text{ mm}$ 。采用米汉纳铸件床身，经正常化处理及1.5年自然时效，消除铸件内应力，导轨面经高频淬火、精密研磨、人工铲花，提高了床身结构的稳定性和耐磨性；主轴采用SNCM-220H高级合金钢，经调质、深冷及精密研磨而成，应用高液静压支撑，形成20~25kg/cm<sup>2</sup>高压油膜，使主轴悬浮于其中，保证了主轴工作精度及工作寿命；上滑板配合燕尾式滑轨，下滑板采用双A型导轨，提供平滑且精准的进刀，上滑板具有 +6° ~ -5° 的调节范围，用于调整砂轮和工件之间的接触面。提供定制化的自动收料系统，适合不同工件的自动化加工，适用于大批量、重切削、高精度、复杂外形的轴类件加工需求。



### (3) 立式磨床

哈挺亚洲有限公司 HAUSER 2000 坐标磨床是一款通用型坐标磨床，具有成熟的技术特性，如自动锥度磨削、自动磨削换刀装置（ATC）和自动托盘替换装置（APC），可以扩展成为一个独立的磨削设备单元。主要技术特点是双机架结构，刀具加工点位于机床的中心，可提供客户定制的旋转轴（A轴）和旋转倾斜轴（A轴和B轴），磨削电机 70S ATC 应用范围较广，从 9000r/min 至 70000 r/min，CBN 修整单元采用高频驱动，配置MSS多传感器系统，用于自动抑制“空气磨削”和自动磨轮校准，能实现硬精密铣削加工。

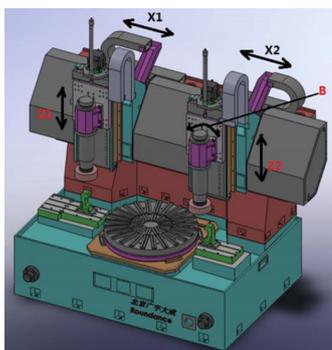


德马吉森精机机床贸易有限公司 Vertical Mate85数控多功能立式磨床加工区域回转直径为  $\phi 850 \text{ mm}$ ，最大磨削直径  $\phi 800 \text{ mm}$ ，最大磨削工件高度600 mm，该机床根据磨削工件特点配置了6工位ATC自动换刀系统，砂轮主轴可通过其HSK-A1002位转塔进行0° 和22.5° 工位的自由切换，可实现对工件一次装夹时内圆、外圆和端面的多表面磨削。

浙江杭机股份有限公司MGKF600A 立式复合磨床 工作台尺寸  $\phi 600 \text{ mm}$ ，最大磨削外径  $\phi 750 \text{ mm}$ ，最小磨削内径  $\phi 60 \text{ mm}$ ，最大磨削高度500 mm。采用整体立柱、单拖板纵向移动、双立轴磨头、立轴圆台布局型式，结构紧凑，回转工作台采用端面闭式静压导轨和径向滚动轴承结构，主砂轮主轴安装BBT50砂轮自动交换结构、液压拉刀装置。砂轮有卧式金刚石碟片修整器、双金刚石笔修整器、立式金刚石成形滚轮修整器三类配备方式可以选择，通过数控联动实现砂轮的锥形修整和圆锥磨削，通过砂轮的成形修整，实现内外圆的成形磨削。可选配C轴直驱（工作台）、可选单双主轴、可选配ATC砂轮库、动平衡、测量等。

北京广宇大成数控机床有限公司 MGK28系列 高精度数控立式磨床 最大工件回转直径范围  $\phi 350 \sim \phi 4000 \text{ mm}$ ，最大工件高度范围200~500 mm。该系列机床立柱采用墙板式箱型结构，工作台采用三面闭式静压自驱式回转技术，由大功率力矩电机直接驱动，砂轮主轴采用动静压滑

动主轴，内置同步电机驱动，配置圆形电永磁吸盘，可在工作台两侧布置单点或多点金刚石修整器、滚轮修整器、成形滚轮修整器、圆弧修整器，满足用户对砂轮直线、斜线、曲线等多种形线的精密修整。可根据需求在立式和卧式及主轴数量上进行组合选择，在主轴布置形式上还可以选取转塔，每个转塔上可布置2~3根主轴。在一次装夹下可以实现零件上的内孔、外圆、端面、台阶面、锥面、轴承沟道、非圆曲面等磨削要素的磨削加工。



无锡市明鑫机床有限公司MX-600高精度数控立式磨床加工范围为磨削孔径 $\phi 30 \sim \phi 400$  mm、最大磨削外径 $\phi 500$  mm、最大磨削端面外径 $\phi 500$  mm、最大磨削高度500 mm、最大磨削深度400 mm。机床是左边2个磨头和一个工件侧头，右边一个磨头布局的立式五轴数控磨床。左边两磨头均采用进口高精度高刚性立式磨削主轴，分别用于小规格和大规格内孔及内其内凹端面的精密磨削加工；右磨头为外圆及端面磨头，用于外圆及端面的精密磨削加工。工件主轴采用高精度大接触角成组球轴承，采用力矩电机直接驱动。机床采用模块化设计，左右磨头可以根据加工零件需要有多种组合。内、外圆及端面均可采用往复磨削方式。主要用于RV减速器针齿类零件的内孔、内齿面及内齿上下端面的精密磨削，也可用于齿轮、轴承套圈、盘套类、箱体类零件的内孔、外圆、锥面、端面、分段圆弧面及椭圆等各种异型面的精密磨削加工。



中国通用技术（集团）控股有限责任公司（天津第一机床）MKGF74100 数控精密立式磨床 最大加工长

度1000 mm,磨削外圆圆度 $<0.4 \mu\text{m}$ , 外圆表面粗糙度 $Ra \leq 0.01 \mu\text{m}$ 。机床分为前、后两床身，后床身阶梯导轨一体，立柱移动重心作用在主导轨上，工作台采用大扭矩力矩电机驱动和静压导轨，配置四工位砂轮自动交换系统，具有自动测量及补偿、砂轮自动平衡等功能。工件一次装夹能磨削内孔、外圆、端面、内外圆沟槽等，主要适用于精密盘类、环类、套类、回转支承等零部件精密磨削加工。

北平机床（浙江）股份有限公司BP850精密立式磨床最大磨削直径 $\phi 800$ mm，最大工件高度500mm，定位精度0.003mm，内圆圆度 $\leq 0.6 \mu\text{m}$ ；内圆圆柱度 $\leq 1.5 \mu\text{m}$ （ $\phi 300 \times 100$ mm试件），粗糙度 $Ra \leq 0.2$ 。采用计量级花岗岩/铸件复合床身，气/液静压转台，力矩电机和直线电机驱动，转塔式三工位砂轮交换机构。整机有好的吸震和抗热变形性能，能实现四轴联动复合磨削，提升磨削精度及磨削效率。搭载聚焦弧形齿盘创新工艺开发的磨削软件，可扩展精密车削功能，大幅提升设备车磨复合柔性化加工能力。

#### （4）螺纹磨床

秦川机床工具集团股份有限公司 SK7620C数控内螺纹磨床最大/最小可磨削螺纹直径为 $\phi 200/\phi 25$  mm，可磨螺纹螺距为1~24 mm。工作台实现纵向运动（Z轴）、内磨砂轮架实现横向运动（X轴）、C轴为工件主轴回转，通过C轴与Z轴联动实现螺纹加工。具有电子挂轮、电子对线、间隙补偿、螺距补偿、砂轮自动修整、工艺参数在线修改及故障诊断，自动磨削循环、单行程或双行程磨削等功能。可配备自动对刀机构及自动上下料机构实现工件全自动加工等功能，主要适用于汽车转向器行业，用于双圆弧滚珠螺母的磨削加工。

广州市敏嘉制造技术有限公司SWM1503螺纹磨床最大磨削螺纹直径 $\phi 100$  mm，最大磨削螺纹长度300 mm，最大顶尖距320 mm。采用T型床身布置，X方向安装高精度4工位液压转台，转台上设置有安装4工位磨削装置的立柱，通过液压转台实现更换磨削主轴完成外圆、端面、内孔、内螺纹、外螺纹全部动作的磨削加工，Z向滑板上安装工件主轴和尾座，砂轮主轴和金刚滚轮主轴均采用电主轴，机床砂轮可以任意修形，可以自动完成三角形螺纹、梯形螺纹等任意截面形状的螺纹加工。适合于磨削螺杆、蜗杆、丝杠等零部件。

#### （5）珩磨机

上海善能机械有限公司 SSV2050立式双轴珩磨机 零件直径范围 $\phi 4 \sim \phi 45$ mm，零件最大高度120mm。机床采用整体式铸造底座，模块化设计，超精密转台，提高工位转换精度，高精度双立柱配置，减少工序转换时

间,提升加工效率。新一代工业化操作界面风格,更易操作,全过程信息记录,智能化监测机床状态,选装后置在线闭环测量系统或塞规自动尺寸控制系统,提高加工尺寸一致性。



株式会社日进制作所 G50L-MS1型立式数控自动珩磨机加工孔径 $\phi 4 \sim \phi 50$  mm,加工孔长350 mm。采用主轴带主、副双行程机构,实现了长行程设备的紧凑化,主轴回转运动、上下往复运动、油石扩张运动均使用伺服电机控制。主轴转速为3000r/min以内,主轴的上下往复运动速度最大为40m/min,最大行程量为600 mm,行程最小设定量为0.01 mm,油石采用定量扩张方式,每次的扩张量最小设定值为0.01 $\mu$ m。具备自动对刀调整功能,输入被加工工件内径及要求交叉网纹角度,自动计算并设定主轴转速等程序。满足大径、长孔零件的加工,最大长径比约为15。主要用于多路阀、液压集成块等液压行业的产品加工。同时参展还有G50-MS2型立式数控自动珩磨机。

宁夏银川大河数控机床有限公司2MK2210 $\times$ 2B 高档数控珩磨机 珩磨直径 $\phi 30 \sim \phi 100$  mm,最大珩孔深度200 mm。立式数控双轴双进给珩磨机床,配置五工位数控旋转工作台,采用广州数控专用珩磨的数控系统,主轴往复运动采用丝杠传动方式,主轴旋转由交流伺服电机带动减速机构,实现无级变速,进给机构为粗精两级液压缸,通过电磁阀的切换可实现粗精进给的单独控制。设备有与自动化系统进行实时通讯,适用于针对摩托车、液压缸体等行业开发的多工位集自动上料、加工、自动清洁、自动检测的智能生产线。

苏州信能精密机械有限公司德国Degen TOWER 智能化珩磨机加工孔径 $\phi 0.8 \sim \phi 50$  mm,最大加工长度200mm。机床总体结构为立式双轴八工位珩磨机,两个珩磨主轴,八工位分别为两个上下料工位、两个珩磨工位、两个测量工位、两个去毛刺工位,全伺服控制。智能化珩磨单元,可灵活配置珩磨轴数,机床内部实现自动化珩磨分配,粗珩、半精珩、精珩、测量、去毛刺一体化,珩磨最高精度可达0.5 $\mu$ m,粗糙度Ra0.1 $\mu$ m,高速主轴可达10000转,直线电机往复速度达到120m/min,可加工通孔、不通孔、断孔,能配置全自动测量单元、自动上下料

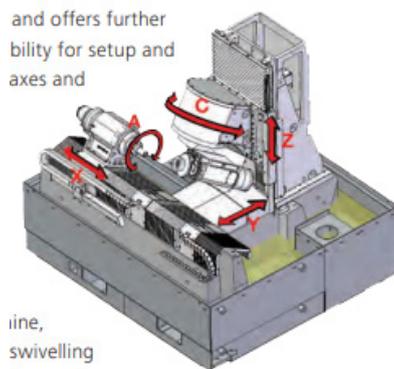
机构,满足自动化需要。

#### (6) 工具类磨床

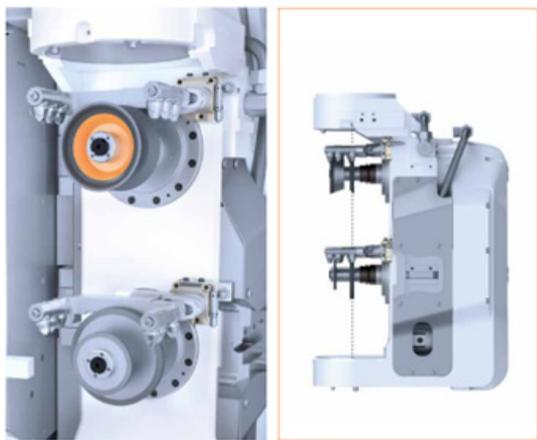
北平机床(浙江)股份有限公司 T6 五轴数控工具磨床工件磨削范围 $\phi 0.8 \sim \phi 16/\phi 25$ mm,机床定位精度3 $\mu$ m,重复定位精度2 $\mu$ m。采用天然花岗岩床身,配置双砂轮组的电主轴和4组砂轮库,搭载3D模拟磨削工艺软件,能选配自动上下料系统,适用于航空航天、汽车、模具、3C、医疗等行业的铣刀、钻头、丝锥及非标成形刀具的大批量自动化生产。

联合磨削集团 WALTERHELITRONIC G 200 五轴数控工具磨床最小刀具直径生产/重磨 $\phi 1/\phi 3$  mm,最大刀具直径生产/重磨 $\phi 16/\phi 125$  mm,外圆磨削时最大工件长度235 mm,端面磨削时最大工件长度195 mm。采用稳定的低振动矿物铸件结构,旋转轴A、C装备了高扭矩力矩电机,砂轮主轴采用皮带驱动,具有两个主轴端,每个主轴端可安装多达三片砂轮,配置FANUC控制系统,采用全球标准控制技术,搭载HELITRONIC TOOL STUDIO一款用于设计、编程、模拟和生产的CAD/CAM软件,配置顶置装载机,机床占地面积不足2.3m<sup>2</sup>。适用于生产和重磨直径范围从 $\phi 1 \sim \phi 125$  mm的旋转对称刀具,可加工长度最大235 mm、单件重量不超过12kg的刀具。

舒特集团(SCHÜTTE) 335LINEAR 工具磨床 335linear 系列的主要特点是高刚性和结构紧凑。主轴内倾30°的结构设计,使机床具有更强的刚性结构,并有更大的加工空间和更小的占地面积,5个数控联动轴,应用直驱技术,数控滑台可实现在任意X轴位置的固定或随动支撑功能,可以选装一个或两个数控滑台,滑台X1可作为工件支撑平台,也可作为尾座顶尖平台;数控滑台X2可以作为尾座顶尖或料盘的工作平台,作为尾座顶尖工作平台时,气缸驱动实现松顶功能,作为料盘平台时,单独的数控轴对其精确驱动定位。通过自主研发的软件SIGSpro确保机床的操作和编程简单方便。根据产品尺寸和批量大小,可提供不同的上料方案,从手动上料到料盘式工件库或链轮式工件库的机内机械手上料,再到全自动机外机器人上料。

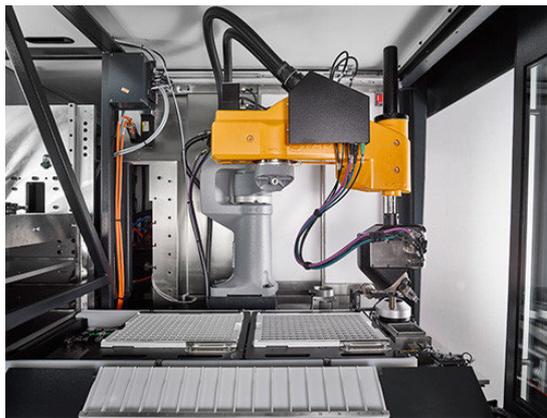
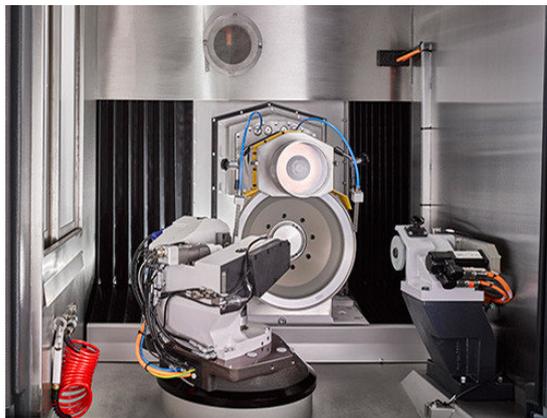


孚尔默（太仓）机械有限公司VGrind 340S五轴工具磨床加工刀具直径 $\phi 0.3 \sim 12.7$  mm，最大工件长度134 mm。床身采用聚合物混凝土，X、Y、Z轴采用直线电机驱动，在C轴轴线上上下布置了两个磨削主轴，垂直主轴结构解决了固定和浮动轴承的定位问题，每个主轴端头最多配有3个砂轮，配置刀具夹持托架和砂轮自动更换装置，砂轮容量为8，结合全闭环控制，实现最佳径向调动，提高加工精度和加工效率。例如，研磨一种直径为 $\phi 0.3$  mm、切削刃长度为5.5 mm的整体硬质合金钻头，一次装卡从一个完全圆柱形的毛坯上磨削出来，只用了270s（包括装载）。可以选配包含冷却液供应在内的砂轮组自动更换、加工中夹持自动补偿、砂轮测头、同步更换砂轮套件、刀具库与托盘库组合，提高了机床的自动化性能。



阿格顿中国AGATHON Evo Combi四轴磨削中心最大磨削外径为 $\phi 100$  mm（可选 $\phi 120$  mm），最小内径为 $\phi 3.96$  mm，可磨削刀片厚度最大为28.5 mm，砂轮直径为 $\phi 400$  mm。X轴、Y轴和C轴采用直驱技术，工作区的两个料盘能分别放置毛坯和已加工完成的工件，磨削区域和料仓分开，最多可配置16个料盘，配置平面4轴自动上下料机器人，加大了行程和可旋转角度范围，一次装夹高效重复精度磨削刀片双边倒棱，以及专门针对超硬磨削

的力监测软件系统和自适应进给功能，实时采集主轴的负载变化，自动调节最佳进给率，提高磨削效率。



昂科机床（上海）有限公司ANCA GCX齿轮刀具磨床集成齿轮刀具测量系统，实现了齿轮刀具在磨床内完成研磨、测量、补偿生产的全过程，最大刀具直径 $\phi 260$  mm，实现DINAA等级的高质量刀具生产。机床采用双对称龙门架结构，床身为聚合物混凝土材料，X、Y、Z轴应用ANCALinX直线电机，A、C轴应用力矩电机驱动，A轴位置精度达到 $\pm 1''$ ，砂轮主轴采用MTC电机恒温温度控制，配置AEMS砂轮修整音频监测系统和iBalance砂轮动平衡系统。GCX Linear软件包有多个用于制造和修整齿轮刀具的软件组件，包括设计、模拟、磨削编程、砂轮编辑和砂轮修整、刀具齿形和齿距测量，直接磨削路径补偿等，支持制造全程的模拟。

昂科机床（上海）有限公司ANCA MX7 Ultra磨床最大工件直径 $\phi 200$  mm，最大工件重量20kg，适用于生产直径 $\phi 20$  mm以内的精密刀具。机床采用双龙门架结构，电机恒温控制（MTC），iBalance砂轮动平衡系统。使用独特的算法和控制系统中的纳米测量，实现了轴的平滑运动，应用LaserULTRA和iGrind技术，实现砂轮磨损补偿、刀具调动测量和补偿功能，包括球头和圆角刀具的任何刀具轮廓的线形精度 $< \pm 2 \mu\text{m}$ 。□

# CIMT2023 | 龙门式铣床类展品

中国机床工具工业协会

## 1. 概况

据已有资料，龙门式铣床类展商近20家，参展机床设备20多台。提供展品资料的展商有北一机床、济二、通用技术集团、宁波海天、威达重工、南通国盛、宁庆、意特利、湖南九五、格力、发那数控、克雷亚、尼得科机床、阿帕斯、中贸机械、高明精机等公司。

龙门式铣床类是指床身水平布置，铣头装在横梁上（附加的水平铣头可装在立柱上），由左右两立柱（或墙体）和连接梁（或横梁）构成门架的铣床。参展的龙门式铣床类，从机床的X轴运动看有工作台移动式，龙门架移动式，高架横梁移动式；从机床的Z轴运动看有动梁式和定梁式。

## 2. 龙门式铣床类主要技术特点

（1）高刚性。由于龙门机床结构尺寸大、运动行程大、各部件（包括移动部件）吨位重，刚性和稳定性要求相应更高。展品机床的整体结构普遍采用有限元法设计，横梁等大跨距移动部件的运动大部分采用同步双驱、重心驱动技术。主轴和进给运动采用直联直驱，长进给轴使用精密齿轮齿条传动。中大型龙门镗铣床使用大截面方型滑枕、高强度滚柱导轨及四线导轨结构、横梁和滑枕的“箱中箱”结构和导轨T型分布结构，以实现良好的刚性和运动平稳性。

（2）精度保持性。大量应用重心驱动、丝杠预拉伸、全闭环控制、精密齿轮齿条传动的消除技术，提高运动精度和精度稳定性。处理热变形对精度的影响的技术手段也多种多样：热对称结构设计，对运动导向元件摩擦发热点主动强制冷却，对三轴螺母冷却，对主轴、齿轮箱的强制循环冷却，完善的热平衡技术应用使热变

形对精度影响降到最小。导轨刮研技术也多被应用于精度保持。

（3）功能丰富的铣头系统。铣头作为龙门镗铣加工中心重要的核心部件之一，是每一台龙门式铣床类展品的焦点。展品多配备了各具特色的铣头系统及各种附件铣头，部分机床还配备了自动换头系统。尼得科机床株式会社的MVR30Hx 龙门式五面加工机和西班牙尼古拉斯克雷亚集团FP-40/40 龙门式五面体加工中心都有功能丰富的铣头配置。

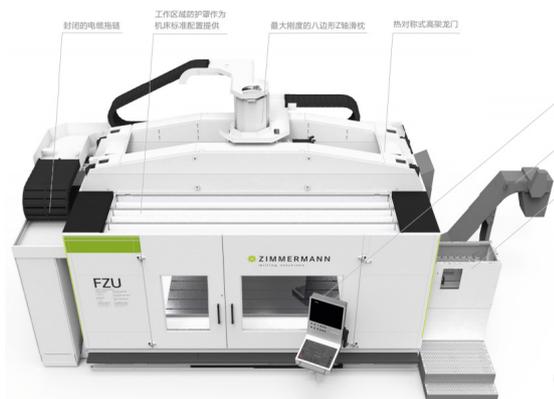
（4）加工范围广。本次龙门式铣床类展品多数配直角铣头和万能铣头，大容量刀库也多为标配，一次装夹实现五面体加工，可完成铣面、镗孔、钻孔、刚性攻丝等工序，同时也多具备五轴联动的能力（因此不少展品也称为龙门镗铣加工中心）。机床规格既有能加工2~5m中型工件的设备，也有可以加工10~15m的大型工件的重型机床，可以满足不同材料材质、各种尺寸的中大型工件的低速重载和高速轻载加工要求。

## 3. 典型展品介绍

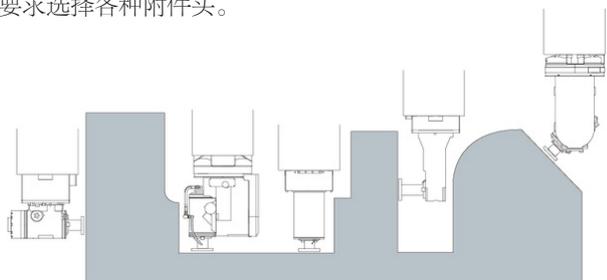
◆西班牙尼古拉斯克雷亚集团 FP-40/40 龙门式五面体加工中心是一款高精度、高刚性的五轴龙门加工中心，在加工曲面及结构面比较复杂的工件时，可实现五轴联动，能够一次装卡完成各部位的重切削及半精密加工。X/Y/Z行程4000/3000/1000mm，立柱间距2500mm，主轴最高转速6000 r/min；最大输出功率/扭矩30kW/1045N·m。大尺寸整体结构设计和精密部件确保具备良好的精度保持性，所配备的各类万能铣头和双摆角铣头，确保适用于各种复杂零部件的精密多面体加工。



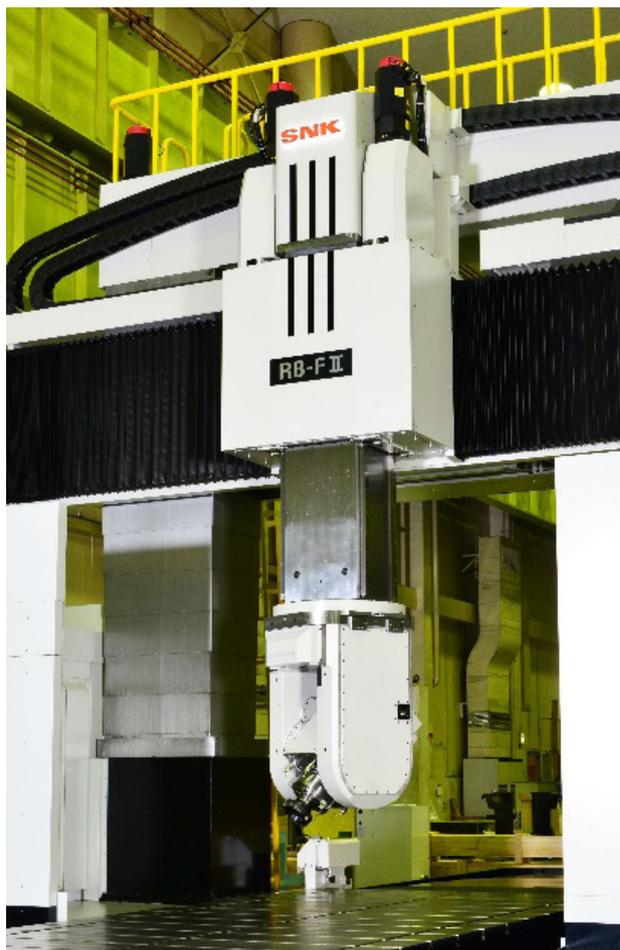
◆兹默曼机床(北京)有限公司 FZU32 五轴联动龙门加工中心 是一款紧凑的高架横梁移动式五轴联动龙门加工中心,采用热对称结构,八边形滑枕,中心驱动方式,模块化设计,满足不同用户的加工需要。X轴行程2000/4000/6000 mm可选, Y轴行程3000 mm, Z轴行程1250/1500 mm可选, A轴转动范围 $\pm 110^\circ$ 或 $-95^\circ \sim 125^\circ$ 可选, X/Y/Z轴进给速度 60 m/min, A、C轴进给速度30 r/min。用于加工铝、复合材料、塑料、聚氨酯和粘土等非金属材料。



◆尼得科机床株式会社 MVR30Hx 龙门式五面加工机床主体采用高刚性的铸件和热稳定设计;垂直轴、水平轴均能进行强力切削;通过对主轴内部和主轴外套冷却,抑制主轴热伸长;系统具有空间误差补偿功能。两立柱间距 2550mm, 主轴头滑枕尺寸 $350 \times 350$ mm, 直径 $\phi 110$ mm, 主轴转速 $20 \sim 8000$ r/min, Y、Z轴快移速度 $35/20$ m/min, 精加工时接刀痕 $\leq 3.5 \mu\text{m}$ 。可配齿轮驱动主轴,最大扭矩 $3430\text{N} \cdot \text{m}$ ,实现重切削。可根据窄部分、倾斜面、自由曲面等形状、高速加工、高精度加工等要求选择各种附件头。



◆新日奔工机(上海)机械有限公司 RB-200F II 双立柱式5轴加工中心采用工作台移动,立柱固定机床结构, X/Y/Z轴行程 $4250/3200/800$ , W轴行程850mm, 主轴最高转速 $6000 \text{ r/min}$ , 主轴头倾斜范围(B轴) $\pm 115^\circ$ , 主轴头旋转范围 $n \times 360^\circ$ 。旋转轴(B/C轴)采用了双小齿轮结构驱动方式,旋转扭矩最大可达到 $6,600\text{N} \cdot \text{m}$ 。通过 $450 \times 450 \text{ mm}$ 的方形滑枕支撑主轴头,实现难加工材料的高刚性五轴联动加工。有6种主轴头可选择,满足从面向一般加工的低转速主轴头到面向铝合金加工的高转速主轴头等各种加工要求。搭载专用的加工软件及各种辅助机能,操作简单。



◆阿帕斯数控机床制造(上海)有限公司SW1613S高速精密天车五轴龙门加工中心主轴: IBAG电主轴, 可选配瑞士Fischer不同转速( $36000/45000$ 转)、带CSC轴芯冷却功能的主轴, SCHNEEBERGER导轨, 数控系统为海德汉TNC640, X/Y/Z行程:  $1600/1300/800$ mm, A/C摆头: AMH10摆头双轴均采用直驱电机驱动, 零背隙、无磨损, 最大转速可达 $60\text{r/min}$ 。SW系列采用高架横梁移

动式布局，具备高的横向、纵向刚性，满足直驱横梁高速移动及重切时所需的床身结构刚性要求；超高速的快移、切削进给速度，提高了切削效率。

◆金中贸（常熟）机械科技有限公司DMC-2017G 龙门加工中心X/Y/Z轴行程2080/1700/800mm。铸件采用国际标准米汉纳铸件，经过退火处理，振动时效处理和自然时效处理。底座设计使用山型结构，独特一体式封闭式箱体设计，大横梁、强刚性立柱、高刚性工作台设计，滑座主轴箱及齿轮箱专利设计，滑枕为大面积矩型轨道，八个滑动接触面覆盖，具备重切削刚性，全齿式模块化齿轮箱，直联式主轴传动带动齿轮箱，特殊斜齿轮设计使切削传动力度高效，配置专用油冷机，保持主轴和齿轮箱恒温 and 润滑。



◆崑崙机电股份有限公司 RB-212 数控龙门加工中心X/Y/Z轴行程 2120/1200/800 mm机床采用一体式底座和龙门架，加大横梁和立柱截面，龙门架固定面长度，增加机床刚性，配置两档齿轮箱主轴，最高转速6000 r/min，满足重切削需要。适用于加工中小型精密的零组件及模具。

◆高明精机工业股份有限公司KMC-218H8 龙门加工中心两立柱间距1800mm，X/Y/Z轴行程2230/1700/850 mm。三轴采用方形硬轨设计，主轴传动采用高减速比的螺旋齿轮及正齿轮分段设计，使主轴在6r/min运转下，也能精镗大孔；长鼻式主轴头，主轴与主轴箱采用强迫润滑冷却系统，主轴头配重采用液压平衡方式；机床大件的结合面采用精密的铲花工艺，Y轴横梁为阶梯式轨道设计（段差70mm），确保加工精度及稳定性。X轴丝杠采用中空油冷设计。Y、

Z轴螺母座及轴承座与横梁及床鞍铸造成一体。双臂式换刀，换刀时间约6s。主轴中心与Z轴滑道之距离为最短设计（85mm），可减少由主轴头温升引起的热位移量，确保主轴的稳定性。

◆北京北一机床有限责任公司XHAu2420×40 高精度龙门加工中心是北一机床全新研发的新一代机床产品，机床采用工作台移动、横梁固定结构，使用全静压导轨，配置机械主轴摆角头（可更换其他附件头），X/Y/Z轴行程5000/2500/1500mm，主轴最高转速4000 r/min，主轴扭矩（S1）1000N·m，最大快移速度X、Y/Z为20/15 m/min。机床运动直线度小于7μm/m，机床重复定位精度小于6μm。重点应用领域为航空、航天和其他行业的金属材料零件高精度加工，以及模具等大型零件五轴加工，能够满足关键零部件的高精度、高速、重载加工要求。

◆济南二机床集团有限公司XHV2416×30 五轴联动定梁龙门镗铣加工中心机床采用固定式床身、移动工作台（X轴），固定龙门框架结构，滑枕式主铣头随滑座在横梁导轨上水平移动（Y轴），同时沿滑座导轨垂直移动（Z轴）。X/Y/Z轴行程3200/2915/950 mm，主轴输出扭矩1300N·m，龙门宽度2000 mm。配有双摆角数控万能铣头，其主轴随铣头叉形体在垂直面内绕X轴摆动(A轴)，主轴随铣头摆动体在水平面内绕Z轴回转(C轴)。机床可选配全自动滑枕铣头、机械双摆角铣头、加长铣头、直角铣头、窄直角铣头等全系列附件铣头，兼备多功能、大扭矩、高转速输出特性；配置高效轨道式全自动附件库，能够自动识别和传输附件铣头，实现机械双摆角铣头与其他附件铣头自动更换。单台机床实现了三轴强力加工和五轴高速曲面加工的结合。应用于能源电力、船舶制造、航空航天、轨道交通、国防军工、冶金设备等重点领域钛合金零件强力加工。

◆中国通用技术（集团）控股有限责任公司（沈阳机床）GMC2030GRV龙门加工中心采用整体式床身工作台，龙门架高速移动结构。龙门架沿床身导轨作纵向运动（X轴），滑座沿横梁导轨作横向运动（Y轴），主轴箱沿滑座作上下运动（Z轴），X/Y/Z轴行程3000/2000/700 mm。X轴采用双边单齿轮齿条传动，Y、Z轴丝杠传动。模块化设计，可以按市场需求进行产品系列化和客户化制造，装配周期短；整机吊装，节省在用户现场装配时间。配电主轴，最高转速16000r/min，X/Y、Z轴快移速度50/30m/min，适合高速高精度切削。

◆中国通用技术（集团）控股有限责任公司（沈阳机床）GMC200u/t龙门加工中心 X/Y/Z轴行程为2300/2600/1650 mm，B轴摆动范围-30° ~ 185°。机床

采用工作台移动式结构，45°斜摆头安装在滑座上，滑座在横梁上左右移动为X轴，工作台在底座上移动为Y轴，横梁在立柱上上下移动为Z轴，45°斜摆头摆动方向为B轴，工作台旋转为C轴，摆头配备高性能电主轴。依托45°斜摆头可实现立卧转换，工件可在一次装夹后，能完成多种工序的五面加工和多种空间方向的铣、镗、钻等加工，可用于加工钛合金、高温合金、超高强度钢及镁铝合金等有色金属材料。

◆宁波海天精工股份有限公司BFL2030H 动柱高速铣削中心X/Y/Z轴行程3300/2000/900mm,回转工作台直径Φ1850mm, 主轴最高转速20000 r/min, X/Y/Z快移速度60/40/36 m/min。产品标配双摆角铣头，配合回转工作台实现六轴加工，零件一次装夹可以完成整套工序的加工，提升零件加工效率。适用于新能源汽车“一体式压铸前机舱和后底板”零件的加工。



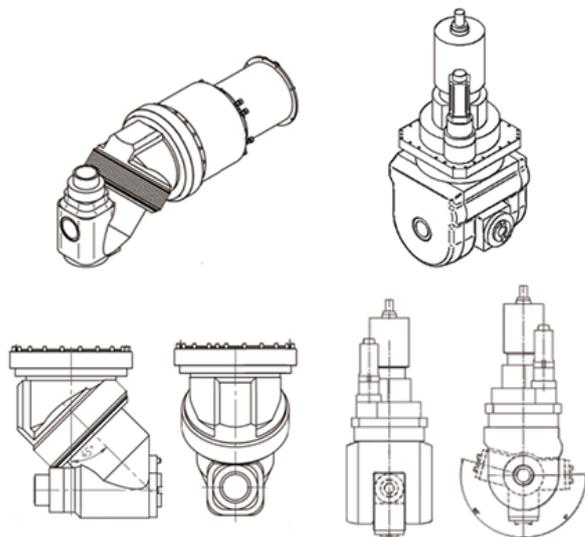
◆南通国盛智能科技集团股份有限公司GMB2528LX五轴龙门加工中心机床采用高架横梁移动式结构，X/Y/Z轴行程2500/2800/1000mm,主轴最高转速18000 r/min, 输出扭矩S1/S6为90/111N·m; A/C轴旋转范围±105° /±240°，Z向双伺服电机加双丝杠传动，保证快速稳定的加工条件，X向4根直线导轨，体现刚性和运动平稳性,横梁采用中挂结构，上下共4个55#导轨,Z向头部采用四线轨结构，在X向行程之外的500mm位置换刀和对刀仪对刀，大导轨跨距和大的截面，保证横梁运动稳定性；一体式排屑槽，防水性好。

◆山东威达重工股份有限公司GMC2232bu五轴龙门加工中心基本结构为工作台固定，高架横梁移动式龙门加工中心，滑座沿横梁导轨左右移动，铣头滑枕沿滑座导轨垂直移动，双摆角铣头的A轴摆动及C轴旋转，可

实现五轴五联动。两立柱间距4000mm，X/Y/Z轴行程2200/3200/1000mm，主轴最高转速16000r/min，A轴回转范围±110°。X、Y、Z轴均采用高速滚珠丝杠传动，且X及Z轴均采用双丝杠驱动，采用双轴同动技术实现同步控制，可大大增加直线轴的加速力矩，提高动态响应特性；双摆角铣头A、C轴均采用大扭矩力矩电机直接驱动，旋转速度高，无磨损，精度保持性好。



◆意特利（上海）科技有限公司SKY1800 立卧转换龙门加工中心X轴（主轴横向运动）：1500/1800mm，Y轴（转台纵向运动）：1500/2100 mm，Z轴（主轴竖直运动）：1400 mm，B轴（铣头绕Y轴轴线运动）：-30° ~ +180°（叉式）-90° ~ +90°（45°铣头），C轴（转台绕Z轴轴线旋转）：n×360°。大扭矩电主轴（主轴扭矩可达800Nm）；高刚性主轴箱，流体强制循环冷却；高精度转台，具有连续旋转和左右平移功能，双电机机械消除结构；各轴采用大惯量伺服电机驱动滚珠丝杠副，全闭环光栅尺；独特的转台惯量自适应控制方法，对转台惯量变化起到自适应匹配，得出适合当前惯量的转台旋转速度，提高加工效率。



◆南京宁庆数控机床制造有限公司BMI5A3020五轴龙门加工中心 X/Y/Z行程3180/2000/1000mm，机床采用龙门移动，工作台固定结构，配置双摆角铣头，横梁应用精密同步双驱动技术，横梁每边各2个（共4个）高速大功率伺服电机经高精度行星减速箱减速，输出扭矩大，齿轮与齿条的啮合间隙以及行星减速箱内部的间隙，采取同向差速消除技术。Z轴采用四条大规格滚柱线轨，四方向分布。横梁采用箱中箱结构，采用四条线性导轨呈T型分布的导轨结构。机床为全闭环控制，五轴联动，配置激光对刀仪，适合精密模具的高光洁度加工、及航空航天产品的高速精加工。



◆珠海格力智能装备有限公司GA-GM3020高速五轴龙门加工中心X/Y/Z轴行程3200/2300/1250 mm，X/Y/Z轴重复定位精度 $\leq 8 \mu\text{m}$ ，高架横梁移动式结构，高速直驱传动系统，X、Y轴大推力直线电机驱动，快速移动速度80m/min。高速高刚性电主轴，最高转速20000r/min；配置大扭矩双摆角铣头与A轴大扭矩转台，满足 $\phi 1800\text{mm}$ 零件一次装夹多面加工。全闭环直驱控制，配置微量润滑冷却系统。



◆广东普拉迪科技股份有限公司 PHC1630龙门加工中心X/Y/Z行程3000/1600/800 mm，两立柱间距2250mm，主轴最高转速8000/20000r/min。采用高架横梁移动式结构，横梁与滑座以“箱中箱”几何热对称结构设计，改善挠曲变形，可提升结构刚性，大幅减少热变形和重量变形，工作台、床身、横梁、滑座、滑枕均采用优质高强度铸铁材料，经二次时效处理，机床抗振性能强。主要应用于航空航天、模具、船舶、高铁、工程机械、汽车等行业。



◆河北发那数控机床股份有限公司FA2518HE 数控龙门铣床该机床为工作移动式龙门加工中心，横梁采用2轨或3轨阶梯式垂直结构，工作台采用双层布局结构。X/Y/Z轴行程2500/1800/1000mm，主轴转速8000r/min。三轴均采用重载直线导轨，刚性强、动态性能佳。三轴进给传动结构为行星齿轮减速器或联轴器将动力传递到滚珠丝杠副。主轴传动结构可选择齿形皮带传动、直联结构或全齿轮结构三种方式，主轴箱两侧配有氮气平衡缸，保证主轴箱运动稳定；可选配全闭环控制、刀具检测和工件检测系统。主轴系统及高速齿轮的冷却采用油冷机冷却。□

# CIMT2023 | 铣镗类机床展品

中国机床工具工业协会

## 1. 概况

据已有资料，铣镗类展品10多台。提供展品材料的展商有通用技术集团、南通国盛、湖南九五精机、福建威诺、山东章力、帕马、三井、特雷维桑、华日斯蒂等。

## 2. 铣镗类展品主要技术特色

(1) 高精度。本次参展的铣镗类机床是指镗轴水平布置并可轴向进给，主轴箱沿立柱导轨垂向移动，以镗削加工为主要加工方式，同时能进行铣削的镗床。主要用于加工高精度孔或者一次定位完成多个孔的精加工，如三井HU63A坐标镗，镗孔的精度可达IT6，表面粗糙度可达到0.2 $\mu$ m。

(2) 高刚性及稳定性。铣镗类机床由于其高精度、重切削的要求，各厂家在立柱、床身、导轨、工作台等部件及机床的总体设计制造中高度关注其刚性、动态稳定性及热平衡。利用有限元整体设计，采用箱中箱箱体结构、主轴箱中挂式结构、静压导轨、大尺寸线性滚柱导轨等优化机床刚性。利用齿轮消除技术提高精度稳定性。主轴组及主传动部分应用油循环冷却降低热变形也多被应用。另外，以华日斯蒂科技发展股份有限公司为代表的落地镗铣床使用滑枕式主轴，具备滑枕截面大，刚性好优点，而且可以配置高速镗铣头、双摆角铣头等铣头附件。

(3) 功能扩展化。大多数铣镗类机床展品在保留了原有的高效铣削和高精度孔系加工的特点，配备大容量刀库、丰富的铣头附件（如数控摆角铣头）及铣头交换系统、精确的回转工作台、智能化的数控系统，使机床具有了镗削、铣削、车削、钻削（钻、扩、铰）、攻螺纹（刚性攻丝）、多轴联动曲面加工、模拟加工等功

能，极大扩展了铣镗类机床的加工能力。意大利帕马公司SPEEDMAT卧式铣镗加工中心是一个功能丰富的铣镗类机床代表。

## 3. 典型展品介绍

◆意大利帕马公司 SPEEDMAT 5000 160 TH50 铣镗加工中心一款典型的大规格，重切削的铣镗机床。X/Y/Z/W轴行程 5000/3500/3200/800mm，主轴传动系统配置两挡齿轮变速，最高转速3000r/min，最大扭矩2073N·m，选配主轴自动热补偿功能；闭式静压工作台采用双小齿轮消除系统，同时通过自动检测并补偿工作台偏载产生的倾斜力矩实现静压倾斜补偿，回转工作台最大承载50T。机床采用热对称结构，中央式主轴箱，大尺寸线性滚柱导轨，机床配有机器人换刀系统，刀具容量500把，最大刀具直径 $\phi$ 1200mm，最大刀重70kg。可以选配多种标准或定制的附件头、用于铣削或车削加工的工作台，多种规格的刀库。适用于航空、能源、工程机械、石油和天然气、通用加工等领域。



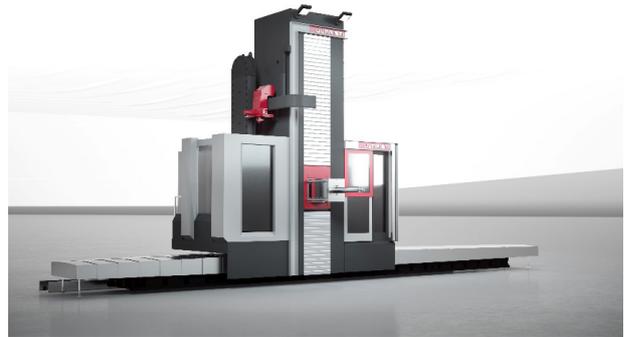
◆三井精机（上海）设备维修服务有限公司HU63A坐标镗床工作台尺寸 630×630mm，X、Y、Z轴行程900mm，最大工件尺寸（直径×高度） $\phi 950 \times 900$  mm，主轴最高转速 6000 r/min，加工直径 $\phi 80$ mm深度为150mm的孔，调头镗孔精度 $5\mu\text{m}$ 以内。机床采用Y字一体刚性3点支撑，重心驱动，方形导轨，淬火后方导轨贴在经过刮削处理的表面，确保直线度和垂直度，实现长期精度保持和高刚性；立柱采用空气支撑，减轻了立柱滑动部分的负荷，滑动表面实现平稳的高速进给。



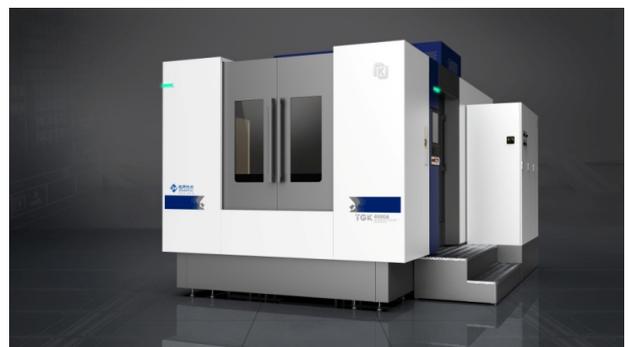
◆特雷维桑机床有限公司DS1200/450C数控镗铣加工中心X/Y/Z轴行程7500~11500/2400/2200mm；数控平旋盘（U轴）行程450mm，最高转速100r/min，电机功率37kW，最大扭矩16956N·m；最大工件直径 $\phi 2500$ mm，最大车削直径 $\phi 2000$ mm；卧式镗铣主轴（W轴）主轴直径 $\phi 280$ mm，电机功率37kW，最高转速2000r/min，W轴（数控滑枕）行程350mm。机床的数控平旋盘（U轴）是该设备的特色，可配置多样化的铣头；可以配置一个或两个2400×2400mm的连续旋转工作台，工作台也可以最大倾斜 $10^\circ$ ，最大承重25T；自动链式刀库，40个刀位，可扩展至80个刀位，一次装夹就可完成工件所有加工面的多种工序高效加工。



◆华日斯蒂科技发展股份有限公司MX5RAM主轴箱正挂落地铣镗加工中心立柱横向移动行程（X轴）4000 + N×2000 mm，主轴箱上下移动行程（Y轴）2000 + N×500…4000 mm，滑枕前后行程（Z轴）1200mm，W轴行程800 mm，镗杆直径 $\phi 130/\phi 160$  mm。采用“箱中箱”和热对称结构，滑枕和立柱均采用四导轨设计，主轴箱对滑枕组件重心和滑枕挠度进行实时几何补偿。可以配置万能铣头、立式自动铣头和正交铣头，可提供车削工作台和倾斜工作台。



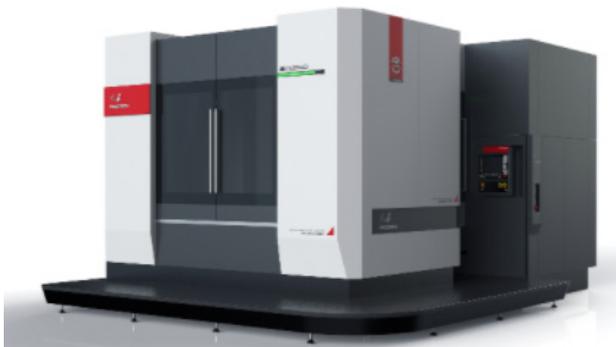
◆中国通用技术（集团）控股有限责任公司（昆明机床）TGK4680A高精度数控卧式坐标镗床 X/Y、Z轴行程1000/900 mm，工作台回转（B轴） $n \times 360^\circ$ 。X、Y、Z轴定位精度 $3\mu\text{m}$ ，B轴定位精度 $3''$ ，X、Y、Z轴重复定位精度 $1.5\mu\text{m}$ ，B轴定位精度 $1.5''$ ，X、Y、Z轴快移速度24m/min，B轴快移速度 20r/min。机床采用整体T型床身、正挂主轴箱的布局，“箱中箱”式封闭框架结构，热稳定性好，承载能力强；立柱固定，滑板移动带动主轴箱平移，移动部件轻量化；直连式主轴采用浮动松刀机构，有效避免松刀时压力传导至主轴轴承，采用恒温循环冷却系统对主轴轴承进行恒温冷却；工作台回转B坐标采用轴向径向转台轴承作为回转支撑导轨，具有液压夹紧松开机构。搭载国产i5数控系统，能实现任意四轴联动。特别适合于箱体零件、盘件、杂件及模具等复杂零件的加工，是航天、航空、军工、汽车、环保、模具等机械制造工业的加工设备。



◆南通国盛智能科技集团股份有限公司DBM110 中挂式卧镗X/Y/Z/W轴行程2000/1600/1500/550mm，配置旋转工作台。机床大件采用米汉纳铸件，Y轴为伺服减速机+液压平衡配置，保持较好的动态响应性；转台采用双齿轮消除，有效消除传动间隙；主轴箱采用齿轮传动，主轴适用大间距、高精密、高刚性的双列滚柱轴承，大规格丝杠、滚柱导轨，机床刚性强，适用重切削，机床为全闭环控制。



◆湖南九五精机有限责任公司J5MB1112 卧式铣镗加工中心镗轴直径 $\phi 110\text{mm}$ ，立柱横向行程（X轴）1750mm，主轴箱垂直行程（Y轴）1250mm，工作台纵向行程（Z轴）1600mm，镗轴轴向行程（W轴）500mm，镗轴低速最大扭矩1150N·m。采用T型床身，动立柱，正挂式主轴箱结构，配置静压转台，全闭环控制。主轴箱采用齿轮变速传动和液压氮气平衡机构，各传动轴系独立恒温冷却系统，链式刀库和自动排屑装置，自制高刚性高精度镗轴单元，配置整体全封闭式或半封闭式双开门防护罩，适合对箱体类、壳体类、模具类零件高精度孔系和平面加工。



◆福建省威诺数控有限公司复合双面铣镗加工中心 工作台移动行程(X轴) 2000mm，滑座移动行程(Y1/2轴) 1100mm，滑枕移动行程(Z1/2轴)600mm。X/Y1/2轴定位精度0.015/1000mm，Z1/2轴定位精度0.020mm，主轴最高转速6000r/min。床身、工作台、滑鞍、立柱、滑枕等大件均采用高强度铸铁材料，树脂砂工艺造型，两次时效处理消除应力，应用三维设计软件和有限元分析软件进行最优化设计。主要用于加工挖掘机动臂、挖掘机的斗杆、高速冲床的横梁、挖掘机的下车、坦克的下车、动车转向架的转臂定位、齿轮减速机等对称性的零件，可在一次装夹中连续完成铣、钻、扩、铰、镗、攻丝等多道工序。



◆济南章力机械有限公司BOSM-2210 双面镗铣加工中心两立柱间距1550mm，两滑枕上下行程1000mm，单个滑座纵向行程500mm，主轴锥孔BT50。机床配有专用移动式工作台，二套卧式滑枕，可实现对工件的快速加工，在有效行程范围内对工件进行钻削、铣削、镗削等加工，工件一次加工到位(无需二次装夹)，实现装卸、定位速度快及加工精度、加工效率高。□



# 数控刀具市场概况

中国机床工具工业协会工具分会秘书处



我国机床工具产业作为装备制造业的重要支撑产业，是为国民经济各领域提供工作母机的基础产业，是国家综合实力和国家强盛的重要标志之一，具有基础性和战略性地位。机床工具行业为航空航天、国防军工、燃气轮机、能源装备、船舶、现代交通、农业机械、医疗器械、石油化工、特大型超重设备等重点行业、重点领域、重点工程提供基础技术装备，其中包括以高速、精密、复合、智能为特征的高档数控机床和具有高效率、高精度、高可靠性和专用化的“三高一专”数控刀具。

切削技术和刀具是装备制造业的基础工艺和装备，涵盖了机械加工各个领域乃至各行各业。没有数控刀

具，数控机床既不能发挥高效能，也不能制造出优质的机加工产品。切削技术和数控刀具的水平，直接关系到数控机床的效率高低、质量好坏和装备制造业的整体水平。因此，工具行业承担着提高我国切削加工技术进步和装备制造业水平的重任。

一个机械零部件的完整切削加工过程，是不同切削工艺组合，以多种的数控刀具为载体，与被加工工件作用，从而实现将工件毛坯加工成所需结构的完整过程。这个过程需要包括刀柄、刀体、切削耗材等一整套核心工具体系的协同配合才能完成，每类工具都扮演着举足轻重的作用。

从整体上来看，对于上述工具体系，我国的设计制造水平发展不平

衡、不充分问题较为突出，整体与西方发达国家还存在着较大差距。从局部观察，我国数控刀具产业经过多年发展，已经逐步在刀片等切削耗材领域涌现出包括株洲钻石、厦门金鹭、欧科亿、华锐精密等在内的一批优秀企业，其技术能力已开始逐渐接近国际水准。而在高端刀柄、刀体领域，则明显落后，这在较大程度上制约了我国机械加工领域的整体技术水平。切削耗材对工件加工的成本、效率和精度起到较为重要的影响，而刀柄、刀体则直接决定了加工工艺能否作用于被加工工件，是影响加工效率和精度、导致机械加工领域“卡脖子”问题的症结所在。在这一细分领域的落后，直接导致我国

在包括航空发动机、燃气轮机、精密齿轮等尖端装备制造加工板块严重依赖国外刀具产品。

促进我国各类数控刀具企业之间的平衡发展，在高端刀体、刀柄领域培育一批拥有一定国际竞争力的优势企业，将是实现我国机械加工产业高级化和产业链现代化的必要举措，也是打破我国尖端装备制造严重依赖西方加工工具这一尴尬局面，维护国家经济、产业安全的必要手段。

## 一、数控刀具市场概况

### 1. 数控刀具产品的分类

从整个数控刀具的宏观维度来进行分类，大致可分为刀柄、刀体、切削耗材，每一类工具的具体功能如下：

(1) 刀柄：俗称工具系统，是一端与机床主轴直连接，另一端与刀体或整体式刀具连接，将机床主轴的回转精度、转动扭矩传递给被加工工件的装置。刀柄设计制造的优劣直接决定了数控机床的加工性能能否有效、精准、稳定、持久地向被加工工件传递。

(2) 刀体：刀体是一端与刀柄连接，另一端承载切削耗材，用于实现不同切削工艺的装置。通过不同的刀体结构设计，才能实现车、铣、镗、钻、磨等不同类型的加工工艺。刀体的结构设计和制造水平，一是直接决定了能否将特定加工工艺通过切削耗材作用于被加工工件的某个位置，即该工件能否被顺利制造；二是直接决定了在某一工件上完成某种加工工艺所需的有效功率，即决定了加工效率；三是在较大程度上决定了加工精度和精度维持能力，即该工件的精密程度。

由于不同的被加工工件，因其形状、结构、材质、复杂程度各不相

同，在不同工件的不同加工位置上实现同一种类的加工工艺所需的刀体结构存在较大差异；同时，完成一个工件的加工，往往需要不同种类加工工艺的相互配合，进而需要设计不同结构的刀体，以满足加工需求；随着被加工工件种类的增加，所需要设计的刀体结构数量将呈现几何增长。所以，对刀体结构持续不断地优化迭代，从而在保证加工精度的同时，实现更高的加工效率，是数控刀具行业的关键和难点之一。

(3) 切削耗材：直接与被加工工件发生相互作用的部分，主要包括不同类型的数控刀片、整体式合金刀具。通常，数控刀片以不同的压紧方式安装在刀体上；而整体式刀具根据被加工工件所需要的加工工艺不同，既可以安装在刀体上，也可直接与刀柄联接。按照材质不同对切削耗材进行分类，可以大致分为高速钢、硬质合金、陶瓷、超硬材料等产品。

### 2. 数控刀具行业发展现状

#### (1) 全球数控刀具行业领军企业

国际主要高端刀具品牌生产厂家以瑞典山特维克SANDVIK、德国瓦尔特WALTHER、瑞典三高SECO、美国肯纳KENNAMETAL、德国MAPAL、以色列伊斯卡ISCAR、日本三菱MITSUBISHI MATERIALS、韩国特固克TAEGUTEC、日本京瓷KYOCERA等国际巨头为代表，具有专业技术优势和细分市场等优势，在刀具材料、设计和制造工艺方面均已领先全球。用户涉及汽车、航空工业、采矿建筑行业、化工、石油和燃气、动力、纸浆纸张、居家用品、电子、医学技术，以及医疗行业的各个应用领域。全球跨国工具集团在全球范围内的发展格局呈现出“高起点、大投入、规模化、国际化”的特点，占有现代高效刀具约三分之二的市场份额。

#### (2) 我国工具行业的排头兵企业

我国工具行业的领军企业主要以株洲钻石切削刀具股份有限公司、厦门金鹭特种合金有限公司、森泰（英格）成都数控刀具有限公司、株洲欧科亿数控精密刀具股份有限公司、上海工具厂有限公司、株洲华锐精密工具股份有限公司、北京沃尔德金刚石工具股份有限公司、恒锋工具股份有限公司、成都成量工具集团有限公司等国有、民营企业为代表。

经过多年发展，我国数控刀具行业在各个细分领域涌现出一大批优秀的龙头企业。企业通过科技攻关、科研开发、技术改造，在刀具材料、设计、制造、涂层、钝化等各个方面，打破了国外垄断，解决了“卡脖子”问题，突破了技术瓶颈，解决了行业难题。许多刀具产品整体技术水平已经达到国际同类产品的先进水平，其中部分关键核心技术已经达到国际领先水平。

### 3. 企业梯队

全球刀具行业大致可以分为三大梯队：

(1) 第一梯队：具备深厚的技术积淀和较多关键核心刀柄、刀体产品的设计制造能力，拥有丰富的产品线，这类企业往往拥有较为深入的机加工工艺设计能力，能够对下游机加客户的生产工艺进行解构、设计、优化，并且自主制造出承载整套工艺的标准和非标刀具组合，帮助客户顺利实现产品加工过程，同时更加高效地完成加工任务，为其提供综合加工解决方案。该梯队主要以欧美刀具企业为主，但这些欧美企业提供的解决方案或产品价格普遍较为昂贵、交货期较长。

(2) 第二梯队：主要提供高精度中高端标准化刀具，包含刀柄、刀体中较为通用的型号，以及切削耗材，一般直接销售刀具产品，对客户

生产工艺的理解相对较为薄弱。该梯队主要以日韩刀具企业为主，国内有部分企业也处于该梯队。同时国内还涌现出一批在单一产品性能上已达到或超过国际先进水平的优秀企业，其产品通用性高、稳定性较好、性价比比较高。

(3) 第三梯队：主要以生产精度较低的传统切削刀具，且能提供的产品种类有限。该梯队从业者众多，产品技术水平较低，已难以满足现代高端制作业日益提升的精加工需求。

#### 4. 市场情况

(1) 市场规模与增长方面。根据相关统计数据，2021年，全球数控刀具市场约380亿美元<sup>①</sup>；同年，我国市场规模约为477亿元人民币<sup>②</sup>，2016-2021年年均复合增长率约8.18%<sup>③</sup>。在细分领域中，估计2021年我国刀柄、刀体市场规模为70亿元人民币左右。其中，以进口刀具为代表的高端产品占比30%左右，未来，随着国产刀具高端化进程加速，高端刀具占比还将逐步上升。刀柄、刀体增长幅度与数控刀具整体增长幅度大致相当，预计到2025年，按照每年8%的增长率计算，该市场空间将达到约95亿元。

(2) 市场集中度方面。总体上看，全球数控刀具市场集中度相对较高，山特维克、伊斯卡、肯纳金属等刀具巨头占据了一半以上的市场份额；而国内市场集中度较低，据统计，2019年国内数控刀具行业前十大企业市场占有率合计仅21%<sup>④</sup>。虽然国内刀具市场集中度较低，但在高端、中低端市场却呈现截然不同的景象，国内高端刀具市场集中度较高，几乎由欧美、日韩刀具企业和少数国内企业主导，而中低端市场非常分散，国内众多刀具企业激烈竞争。细分领域方面，国内刀柄、刀体市场也呈现出与数控刀具整体市场较为类似的情况，但市场分散程度相对更大，

在刀柄刀体这一领域，收入过亿的企业已经属于细分行业龙头。

(3) 平均价格差异方面。由于产品技术水平不同，国内外数控刀具在国内市场的平均销售价格存在较大差异。从细分领域来看，进口刀片平均售价约为国产同类产品平均售价的4倍左右，而刀体、刀柄平均价差还要更高。从价差程度的不同，一方面说明了我国数控刀具行业在细分领域发展不平衡、不充分的问题，另一方面，也反映出刀体、刀柄在我国数控刀具产业链中的重要程度。

## 二、未来发展趋势

国内数控刀具不仅要提升核心产品设计制造能力和整体解决方案提供能力，更要实事求是地把握产业发展趋势，沿着正确的方向，强化这两方面的能力。从目前的市场竞争格局来看，数控刀具行业体现出如下几大发展趋势：

(1) 产品和制造方面，对内生产智能化，对外产品服务智能化。近年来，以产业互联网、物联网、大数据、云计算、AI技术等为代表的新一代信息、网络技术，正在广泛而深刻地改变着传统的制造业生产方式和产品形态。

对于生产智能化，全球制造业模式呈现出自动化、数字化、智能化发展趋势。未来，在通过产业互联网与上下游连接，对上游供应商、下游客户相关数据进行联通整合的基础上，结合AI深度学习等技术对数据进行分析，智能调配相关要素资源，精准做出覆盖采购、生产、销售为一体的最优决策，实现业务价值最大化，同时匹配机器视觉、自动化等技术，实现生产效率最大化。

对于产品和服务智能化，就单一刀具而言，将通过内置智能芯片等手段，实现从刀具智能管理、切削数

据收集分析、智能精度调节、智能主动减震、功率检测、切削力实时监测分析等功能。目前，国外企业在智能刀具领域已开启尝试。对于整体解决方案而言，将逐步结合深度学习等技术，对实现客户被加工工件的最优工艺组合进行分析决策，智能化匹配设计最优结构的刀具产品，从而将工艺落实，逐步实现由批量生产向定制生产、需求实现向需求创造、装备制造向工业设计的转变。

(2) 市场需求方面，从投资主导向消费主导转变，从产品制造向综合服务转变。随着我国宏观经济发展，自2013年开始，我国消费对GDP增长的贡献率正式超越投资；同年，我国第三产业经济增加值正式超过第二产业，需求端的消费和供给端的服务业正式成为我国经济主心骨。从数控刀具板块来看，其需求变动符合国家宏观经济的大方向，数控刀具消费市场需求对象正在逐渐从面向重工业的投资型需求（如能源、装备制造业）和单一商品的产品类需求，向面对市场消费升级的消费型需求（如3C、新能源汽车）和整体解决方案类的服务型需求转变。

(3) 研发方面，正完善从逆向研发到正向研发再到基础研究的转变。我国数控刀具产业普遍已经在较大程度上完成了对国外领先厂家的相关产品的逆向研发，逐渐开始形成自己的理论体系，并逐步开始以市场需求为导向，建立与之匹配的正向研发模式，而对于市场上一些较为领先的国内刀具企业，其基础理论研究框架也已处于萌芽阶段。□

① QY Research

② 中国机床工具工业协会

③ 中国机床工具工业协会

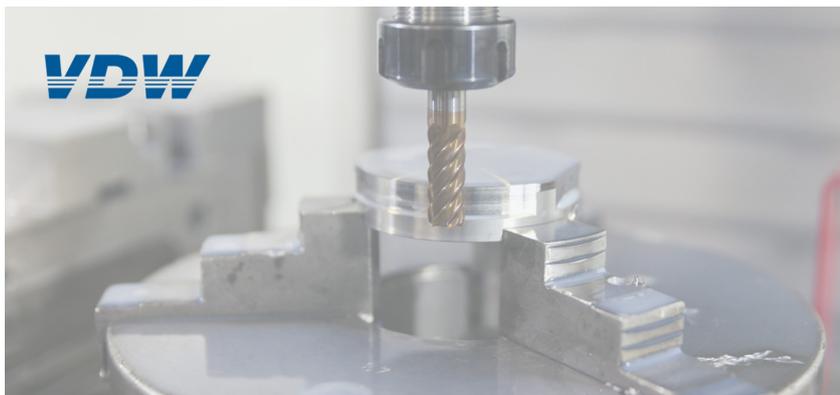
④ 西部证券研究所

# 德国机床行业预计2023年产量保持增长势头

摘编自VDW（德国机床制造商协会）官网

## 制造商谨慎乐观——培训和开发需要加大力度

近日，VDW（德国机床制造商协会）预计，2023年德国机床行业的产量将增长9%，达到155亿欧元。按名义价值计算，这仅比2018年的创纪录结果低10%。在德国美因河畔法兰克福举行的年度新闻发布会上，VDW主席Franz-Xaver Bernhard表示：“我们已在很大程度上克服了新冠疫情的影响。这反映在产量和订单水平的增长上，仅略低于2018年的创纪录水平。”



德国机床行业进入本年度，订单积压严重。尽管订单与销售额之间的差距目前正在缩小，但德国联邦统计局仍报告机床行业订单积压了12个月。Bernhard解释说：“这意味着，正如最新数据所表明的那样，这意味着公司可以很好地经受住2023年上半年订单的任何下滑。”产能利用率也在稳步上升，已在1月份恢复到91.1%。去年12月初进行的调查显示，45%的机床制造商对2023年持谨慎乐观态度。

在宏观经济方面，预测的基础是通胀已经见顶的假设。能源和大宗商品价格现在又开始下跌。在最大的市场中国取消疫情限制措施将刺激业务。印度和东盟地区等其他亚洲国家也将为增长做出贡献。全球投资连续第三年增长，尽管不如前两年强劲。国际机床消费正从中受益。

在德国，资本支出在三年低迷之后预计将再次上升。特别是在芯片短缺导致无法生产汽车之后，汽车行业放慢了投资。“机床行业利用汽车制造商的转型进程，加倍努力实现客户结构的多元化。根据我们的客户结构调查，汽车行业的份额从2019年的近43%下降到2021年的31%左右，”VDW主席解释说。相比之下，金属产品的工程和制造则获得了增长。

当前，德国的看法有所改善。1月份资本货物和机床行业的Ifo商业景气指数大幅上升。对汽车行业的预期甚至出现了转变。此外，全球采购经理人指数在12个月内首次小幅上升。这在拥有意大利、西班牙和法国等重要市场的欧元区以及英国和土耳其尤为明显。

## 2022年实现两位数增长

据VDW估计，去年德国机床产量增长了10%，比秋季的预期高出三个百分点。这相当于3%的实际增长和约141亿欧元的交易量。“终于，现在可以完成和交付更多的机器，因为许多金属零部件的供应情况有所改

善，”Bernhard指出。然而，电子元件供应仍然紧张。

继前一年的疲软之后，2022年德国国内销售额增长了16%，是仅7%的出口增速的两倍多。欧洲市场表现最差，为-3%。因为与俄罗斯的贸易已基本崩溃，东欧表现尤其疲软。累计来看，德国的出货量自2018年以来下降了近80%。意大利市场在过去两年的表现异常强劲，这主要得益于该国对购买机械的大量补贴政策。对亚洲的出口增长了11%。尤其是对泰国、印度、日本和韩国的出口增长强劲。2021年中国市场表现良好。2022年，防疫政策使机器交付更具挑战性，一些出口被中国本地生产所取代。最后，美洲市场实现24%的增长，主要来自于巴西、美国和墨西哥市场的推动。作为第二大市场，美国的重要性正在与日俱增，达到了14.7%的出口份额，正在接近中国的18.7%。

到2022年12月，德国员工人数超过50人的企业的总劳动力为65,400人。这比前一年高出2%。自2019年新冠疫情大流行开始以来，劳动力减少了13%。同期产量下降了17%。这不仅归因于疫情，也归因于汽车客户正在经历的转型过程。



## 为技术工人提供更好的培训和发展

在一项调查中，31%的机床制造商报告了一个新的、越来越严峻的挑战。对于另外超过50%的机床制造商来说，这是它们已经在应对的问题。这就是技术工人的严重短缺。

VDW主席Bernhard表示：“技术工人短缺可能仍然是一个持续存在的问题，因为其结构性原因表现为德国的人口变化。整个工程行业的数据证实了这种情况是多么不稳定。”

相对于人员的整体增长，工程职位空缺的增长速度要快得多：20%对1.3%。超过一半的工程公司计划招聘新员工。然而，根据德国经济研究所的测算，未来几年STEM（理工科）领域技术工人的供给充其量也只能满足该行业需求的一半。联邦就业局报告目前短缺的职业群体主要包括：机电一体化技术人员、自动化技术、金属切削、机械和工业工程以及电气工程。在2021/2022培训年，工程相关职业提供的97,000个培训名额中有超过11,000个名额空缺。

教育专家建议公司加强培训计划，以更长时间地留住现有技术工人，并为他们最大可能提供进一步的培训。机械工程青年教育发展基金会多年来一直致力于工程领域的专业技术培训，使企业可以从众多符合其特定要求的申请人中

进行选择。

未来，机械工程青年教育与发展基金会计划与培训合作伙伴更紧密地合作，为高度复杂的技术准备适当的学习内容，并根据各自目标群体的需求进行定制。基金会自有的MLS（Mobile Learning in Smart Factory）学习平台也正在为此进行升级。基于“完整活动”教育原则的集成创作工具使用户能够创建自己的学习内容，并且已经能够支持所有专业领域的数字培训。

MLS学习平台目前有22个与内容合作伙伴和培训管理工具的接口。这支持金属加工职业的数字化培训，未来还将通过外部内容合作伙伴支持电气和汽车领域的数字化培训。包括商业职业在内的扩大计划也在准备中。“这样做的动力来自于客户群。公司培训师热衷于使用一个平台来完成他们所有不同的学徒训练，”来自VDW的Bernhard报告说。他说，该平台也越来越多地用于进一步培训领域。

Bernhard总结道：“这需要长期致力于持久应对人口变化。进一步的培训必须伴随创造性的招聘解决方案，以使工程专业对年轻人更具吸引力。这取决于我们所有人。”

## 背景

德国机床行业跻身本国机械工程领域五个最大的专业集团之列。它为所有工业分支的金属加工应用提供生产技术，并为整个工业部门的创新和提高生产力做出重要贡献。由于其对工业生产的绝对关键作用，其发展是工业部门本身经济活力的重要指标。2022年，该行业平均拥有64,100名员工（员工超过50人的公司），生产的机器和服务价值约141亿欧元。□

# 2022年工具进出口海关数据分析

中国机床工具工业协会工具分会秘书处

中国机床工具工业协会工具分会秘书处收集和整理了2022年工具（刀具，量具，量仪）进出口海关数据，并进行了计算和分析，供行业参考。

2022年刀具出口额231.87亿元，同比增长2.98%，进口额97.32亿元，同比去年下降8.47%，量具和量仪出口额16.19亿元，同比增长12.15%，其中，量具出口额12.78亿元，同比增长9.33%；量仪出口额3.41亿元，同比增长24.17%；量具和量仪进口额13.22亿元，同比去年下降11.42%，其中量具进口3.13亿元，同比增长0.33%，量仪进口10.09亿元，同比去年下降14.53%。

## 一、刀具进出口分析

### 1. 总体情况

2022年刀具出口额231.87亿元（见表1和表2），同比增长2.98%，刀具进口额97.32亿元（表3和表4），同比去年下降8.47%。出口额明显大于进口额，出口增长，进口下降。出口增长率年内呈下降趋势（1-6月同比增长8%，1-9月同比增长7.72%）。进口下降率年内保持稳定（1-6月同比下降10.69%，1-9月同比下降8.68%）。

### 2. 2022年刀具出口主要品种及金额

如表1和图1所示，钻头(85.64亿元)，圆锯片(45.84亿元)，互换工具

(26.68亿元)，刀片(21.52亿元)，铣刀(17.66亿元)，攻丝工具(9.75亿元)，超硬互换工具(5.44亿元)，超硬孔加工刀具(5.46亿元)，带锯条(4.48亿元)。

表1 2022年刀具出口分类

序号	商品编码	商品名称	金额(元)	元/件	占比
1	82075090	其他材料制工作部件的钻孔工具	8,563,944,065	3.42	36.93%
2	82023990	未列名圆锯片，包括部件 (kg)	3,476,989,735	51.07	15.00%
3	82079090	其他材料制工作部件的未列名可互换工具	2,667,763,964	2.07	11.51%
4	82077090	其他铣削工具	1,765,615,621	9.55	7.61%
5	82081011	经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刀片及片 (kg)	1,345,761,268	1295.36	5.80%
6	82023100	带有钢制工作部件的圆锯片 (kg)	1,106,948,534	54.77	4.77%
7	82074000	攻丝工具	975,419,931	6.64	4.21%
8	82081019	其他硬质合金制的金工机械用刀片及片 (kg)	622,346,016	368.55	2.68%
9	82075010	超硬材料制工作部件的钻孔工具	546,481,822	14.37	2.36%
10	82079010	超硬材料制工作部件的未列名可互换工具	544,077,178	5.38	2.35%
11	82022010	双金属带锯条 (kg)	448,136,271	89.62	1.93%
12	82076090	其他材料制工作部件的镗孔或绞孔工具	230,374,950	6.52	0.99%
13	82078090	其他车削工具	208,534,108	28.27	0.90%
14	82078010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的车削工具	186,912,569	19.41	0.81%
15	82081090	其他金工机械用刀片及片 (kg)	184,369,429	115.54	0.80%
16	82077010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的铣削工具	178,642,925	70.19	0.77%
17	82022090	其他带锯片 (kg)	121,980,430	36.68	0.53%
18	82076010	超硬材料制工作部件的镗孔或绞孔工具	12,338,475	30.25	0.05%
总计			23,186,637,291	----	100.00%

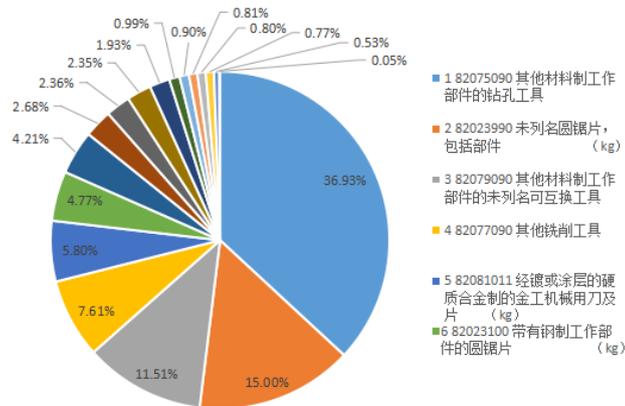


图1 2022年刀具出口分类

表2 2022年刀具出口占比及增长

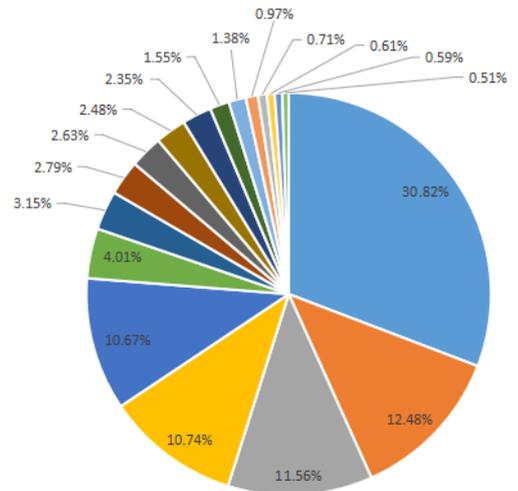
序号	商品编码	商品名称	2022年出口(元)	占比	2021年出口(元)	占比	2022年同比	2022年单价(元)	2021年单价(元)	单价增长
1	82075090	其他材料制工作部件的钻孔工具	8,583,944,065	36.93%	8,590,104,523	36.15%	-0.30%	3.42	3.18	7.46%
2	82023990	未列名圆锯片, 包括部件 (kg)	3,476,989,735	15.00%	3,553,709,335	15.78%	-2.16%	51.07	48.02	6.37%
3	82079090	其他材料制工作部件的未列名可互换工具	2,667,763,964	11.51%	2,850,176,738	12.66%	-6.40%	2.07	1.62	27.93%
4	82077090	其他铣削工具	1,765,615,621	7.61%	1,504,528,271	6.68%	17.35%	9.55	10.17	-6.09%
5	82081011	经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)	1,345,761,268	5.80%	1,064,707,221	4.73%	26.40%	1295.36	1116.79	15.99%
6	82023100	带有钢制工作部件的圆锯片 (kg)	1,106,948,534	4.77%	1,194,928,782	5.31%	-7.36%	54.77	49.50	10.65%
7	82074000	攻丝工具	975,419,931	4.21%	778,928,351	3.46%	25.23%	6.64	5.09	30.27%
8	82081019	其他硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)	622,346,016	2.68%	589,997,615	2.62%	5.48%	368.55	297.57	23.86%
9	82075010	超硬材料制工作部件的钻孔工具	546,481,822	2.36%	667,908,687	2.97%	-18.18%	14.37	17.46	-17.68%
10	82079010	超硬材料制工作部件的未列名可互换工具	544,077,178	2.35%	541,339,956	2.40%	0.51%	5.38	10.18	-47.19%
11	82022010	双金属带锯条 (kg)	448,136,271	1.93%	272,046,712	1.21%	64.73%	89.62	90.31	-0.76%
12	82076090	其他材料制工作部件的镗孔或钻孔工具	230,374,950	0.99%	163,825,523	0.73%	40.62%	6.52	5.32	22.53%
13	82078090	其他车削工具	208,534,108	0.90%	157,334,045	0.70%	32.54%	28.27	20.84	35.66%
14	82078010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的车削工具	186,912,569	0.81%	171,602,031	0.76%	8.92%	19.41	22.84	-15.05%
15	82081090	其他金工机械用刀及刀片 (kg)	184,369,429	0.80%	140,204,424	0.62%	31.50%	115.54	123.23	-6.24%
16	82077010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的铣削工具	178,642,925	0.77%	178,224,785	0.79%	0.23%	70.19	105.45	-33.44%
17	82022090	其他带锯片 (kg)	121,980,430	0.53%	87,259,406	0.39%	39.79%	36.68	32.76	11.98%
18	82076010	超硬材料制工作部件的镗孔或钻孔工具	12,338,475	0.05%	8,789,841	0.04%	40.37%	30.25	31.96	-5.36%
总计			23,186,637,291	100.00%	22,515,616,246	100.00%	2.96%	----	----	----

### 3.2022年刀具进口主要品种及金额

如表3和图2所示,刀片(43.65亿元),铣刀(12.14亿元),钻头(10.45亿元),攻丝工具(10.38亿元),互换工具(3.9亿元),车刀(3.06亿元),超硬互换工具(2.72亿元),铰较刀(2.56亿元)。

表3 2022年刀具进口分类

序号	商品编码	商品名称	金额(元)	元/件	占比
1	82081011	经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)	2,999,706,170	3602.88	30.82%
2	82077090	其他铣削工具	1,214,141,113	30.95	12.48%
3	82081019	其他硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)	1,124,538,070	1694.61	11.56%
4	82075090	其他材料制工作部件的钻孔工具	1,044,807,455	4.15	10.74%
5	82074000	攻丝工具	1,038,433,569	46.98	10.67%
6	82079090	其他材料制工作部件的未列名可互换工具	390,272,419	4.03	4.01%
7	82078090	其他车削工具	306,247,839	22.30	3.15%
8	82079010	超硬材料制工作部件的未列名可互换工具	271,711,469	409.30	2.79%
9	82076090	其他材料制工作部件的镗孔或钻孔工具	255,540,710	212.89	2.63%
10	82081090	其他金工机械用刀及刀片 (kg)	241,149,069	1579.14	2.48%
11	82023990	未列名圆锯片, 包括部件 (kg)	228,329,919	58.62	2.35%
12	82077010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的铣削工具	150,735,916	804.06	1.55%
13	82022090	其他带锯片 (kg)	134,515,868	129.48	1.38%
14	82022010	双金属带锯条 (kg)	94,859,438	108.18	0.97%
15	82078010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的车削工具	69,348,495	191.77	0.71%
16	82023100	带有钢制工作部件的圆锯片 (kg)	59,653,637	185.52	0.61%
17	82076010	超硬材料制工作部件的镗孔或钻孔工具	57,798,117	1896.82	0.59%
18	82075010	超硬材料制工作部件的钻孔工具	50,063,622	230.26	0.51%
总计			9,731,852,895	----	100.00%



- 1 82081011 经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)
- 2 82077090 其他铣削工具
- 3 82081019 其他硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)
- 4 82075090 其他材料制工作部件的钻孔工具
- 5 82074000 攻丝工具
- 6 82079090 其他材料制工作部件的未列名可互换工具

图2 2022年刀具进口分类

表4 2022年刀具进口占比及增长

序号	商品编码	商品名称	2022年 进口(元)	占比	2021年 进口(元)	占比	2022年 同比	2022年 单价(元)	2021年 单价(元)	单价 增长
1	82081011	经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刃及片 (kg)	2,999,706,170	30.82%	2,713,812,912	25.52%	10.53%	3602.88	4251.36	-15.25%
2	82077090	其他铣削工具	1,214,141,113	12.48%	1,277,496,410	12.02%	-4.96%	30.95	27.53	12.42%
3	82081019	其他硬质合金制的金工机械用刃及片 (kg)	1,124,538,070	11.56%	1,297,395,047	12.20%	-13.32%	1694.61	1907.75	-11.17%
4	82075090	其他材料制工作部件的钻孔工具	1,044,807,455	10.74%	1,146,104,714	10.78%	-8.84%	4.15	4.67	-11.17%
5	82074000	攻丝工具	1,038,433,569	10.67%	1,067,232,403	10.04%	-2.70%	46.98	51.08	-8.02%
6	82079090	其他材料制工作部件的未列名可互换工具	390,272,419	4.01%	719,975,100	6.77%	-45.79%	4.03	3.79	6.16%
7	82078090	其他车削工具	306,247,839	3.15%	155,644,836	1.46%	96.76%	22.30	35.76	-37.66%
8	82079010	超硬材料制工作部件的未列名可互换工具	271,711,469	2.79%	317,795,910	2.99%	-14.50%	409.30	453.63	-9.77%
9	82076090	其他材料制工作部件的镗孔或铰孔工具	255,540,710	2.63%	285,418,919	2.68%	-10.47%	212.89	926.22	-77.02%
10	82081090	其他金工机械用刃及刀片 (kg)	241,149,069	2.48%	645,249,962	6.07%	-62.63%	1579.14	1846.46	-14.46%
11	82023990	未列名圆锯片, 包括部件 (kg)	228,329,919	2.35%	288,824,419	2.72%	-20.95%	58.62	40.83	43.57%
12	82077010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的铣削工具	150,735,916	1.55%	192,666,273	1.81%	-21.76%	804.06	537.43	49.61%
13	82022090	其他带锯片 (kg)	134,515,868	1.38%	136,018,475	1.28%	-1.10%	129.48	126.53	2.33%
14	82022010	双金属带锯条 (kg)	94,859,438	0.97%	118,973,630	1.12%	-20.27%	108.18	100.78	7.34%
15	82078010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的车削工具	69,348,495	0.71%	59,686,769	0.56%	16.19%	191.77	193.10	-0.69%
16	82023100	带有钢制工作部件的圆锯片 (kg)	59,653,637	0.61%	97,257,614	0.91%	-38.66%	185.52	153.40	20.93%
17	82076010	超硬材料制工作部件的镗孔或铰孔工具	57,798,117	0.59%	61,003,077	0.57%	-5.25%	1896.82	2117.65	-10.43%
18	82075010	超硬材料制工作部件的钻孔工具	50,063,622	0.51%	51,483,411	0.48%	-2.76%	230.26	218.23	5.51%
总计			9,731,852,895	100.00%	10,632,039,881	100.00%	-8.47%	----	----	----

#### 4.2022年硬质合金刀片进出口情况

刀片进口额(41.24亿元)是出口额(19.68亿元)的2.1倍。进口刀片与出口刀片金额之比小于以往数据,涂层刀片出口额同比增长26.4%(见表2),而进口额同比增长10.53%(见表4),出口增长高于进口增长。

涂层刀片进口来源地(占比见表5和图3)主要为:日本26.16%;德国18.45%;瑞典14.62%;以色列11.4%;美国8.15%;韩国5.65%;印度5.09%。非涂层刀片进口来源地(占比见表6和图4)主要为:日本75.38%;德国8.82%;韩国6.13%;卢森堡1.69%;以色列1.49%;泰国1.34%;美国1.27%。

表5 2022年经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刃及片(82081011)进口来源地统计

序号	进口来源地	重量(千克)	金额(元)	单价(元/千克)	占比
1	日本	293599	784,648,926	2672.52	26.16%
2	德国	94170	553,310,788	5875.66	18.45%
3	瑞典	93068	438,414,857	4710.69	14.62%
4	以色列	67056	341,927,345	5099.13	11.40%
5	美国	46881	244,328,994	5211.68	8.15%
6	韩国	98209	169,527,291	1726.19	5.65%
7	印度	31747	152,536,041	4804.74	5.09%
8	捷克	60136	90,295,100	1501.51	3.01%
9	波兰	1453	42,906,427	29529.54	1.43%
10	奥地利	10995	40,673,821	3699.30	1.36%
11	中国	4110	27,701,381	6740.00	0.92%
12	瑞士	1774	21,731,869	12250.21	0.72%
13	意大利	11084	21,050,544	1899.18	0.70%
14	法国	2392	18,761,069	7843.26	0.63%
15	中国台湾	8146	15,448,417	1896.44	0.51%
16	英国	1955	14,281,041	7304.88	0.48%
17	其它	5810	22,162,259	3814.50	0.74%
总计		832585	2,999,706,170	3602.88	100.00%

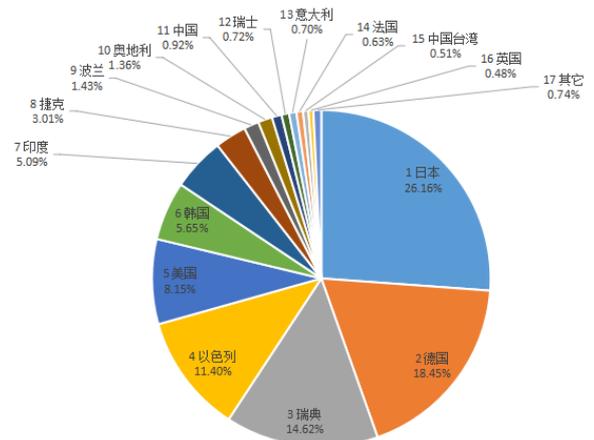


图3 2022年经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刃及片(82081011)进口来源地统计

表6 2022年其他硬质合金制的金工机械用刀及片(82081019)进口来源地统计

序号	进口来源地	重量(千克)	金额(元)	单价(元/千克)	占比
1	日本	482816	847,635,153	1755.61	75.38%
2	德国	30507	99,157,939	3250.33	8.82%
3	韩国	55549	68,883,309	1240.05	6.13%
4	卢森堡	19169	18,999,186	991.14	1.69%
5	以色列	5187	16,722,081	3223.84	1.49%
6	泰国	8723	15,093,987	1730.37	1.34%
7	美国	6172	14,327,176	2321.32	1.27%
8	中国台湾	17873	9,443,443	528.36	0.84%
9	西班牙	20423	6,911,433	338.41	0.61%
10	意大利	4909	3,712,626	756.29	0.33%
11	瑞士	406	2,891,292	7121.41	0.26%
12	中国	1121	2,836,764	2530.57	0.25%
13	葡萄牙	564	2,790,321	4947.38	0.25%
14	瑞典	1321	2,077,997	1573.05	0.18%
15	奥地利	1077	1,816,587	1686.71	0.16%
16	捷克	485	1,648,385	3398.73	0.15%
17	其它	7296	9,590,391	1314.47	0.85%
	总计	663598	1,124,538,070	1694.61	100.00%

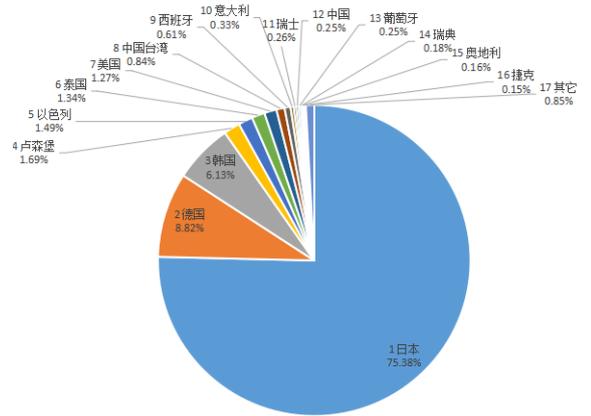


图4 2022年其他硬质合金制的金工机械用刀及片(82081019)进口来源地统计

### 5. 刀具进出口单价比较

比较相同商品编码产品，进口刀具价格远高于出口价格（见表7）。例如：涂层刀片的进口平均价格约为出口平均价格的2.78倍，未涂层刀片为4.6倍，攻丝工具为7.08倍，超硬材料制工作部件的钻孔工具为16.02倍，其他材料制工作部件的钻孔工具为1.21倍，超硬材料制工作部件的镗孔或铰孔工具为62.71倍，其他材料制工作部件的镗孔或铰孔工具为32.63倍，带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的铣削工具为11.46倍，其他铣削工具为3.24倍，带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的车削工具为9.88倍，其他车削工具为0.79倍，超硬材料制工作部件的未列名可互换工具为76.13倍，其他材料制工作部件的未列名可互换工具为1.94倍，经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刀及片为2.78倍，其他硬质合金制的金工机械用刀及片为4.60倍，其他金工机械用刀及刀片为13.67倍。

表7 2022年刀具进出口单价比较

序号	商品编码	商品名称	进口单价(元)	出口单价(元)	进口/出口单价比
1	82022010	双金属带锯条 (kg)	108.18	89.62	1.21
2	82022090	其他带锯片 (kg)	129.48	36.68	3.53
3	82023100	带有钢制工作部件的圆锯片 (kg)	185.52	54.77	3.39
4	82023990	未列名圆锯片，包括部件 (kg)	58.62	51.07	1.15
5	82074000	攻丝工具	46.98	6.64	7.08
6	82075010	超硬材料制工作部件的钻孔工具	230.26	14.37	16.02
7	82075090	其他材料制工作部件的钻孔工具	4.15	3.42	1.21
8	82076010	超硬材料制工作部件的镗孔或铰孔工具	1896.82	30.25	62.71
9	82076090	其他材料制工作部件的镗孔或铰孔工具	212.89	6.52	32.63
10	82077010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的铣削工具	804.06	70.19	11.46
11	82077090	其他铣削工具	30.95	9.55	3.24
12	82078010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的车削工具	191.77	19.41	9.88
13	82078090	其他车削工具	22.30	28.27	0.79
14	82079010	超硬材料制工作部件的未列名可互换工具	409.30	5.38	76.13
15	82079090	其他材料制工作部件的未列名可互换工具	4.03	2.07	1.94
16	82081011	经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)	3602.88	1295.36	2.78
17	82081019	其他硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)	1694.61	368.55	4.60
18	82081090	其他金工机械用刀及刀片 (kg)	1579.14	115.54	13.67

表8 2022年量具、量仪出口分类

序号	商品编码	商品名称	金额(元)	元/件	占比
1	90173000	千分尺、卡尺及量规	1,278,408,959	25.05	78.95%
2	90318020	坐标测量仪	301,763,819	3794.67	18.64%
3	90314910	轮廓投影仪	39,066,966	1280.13	2.41%
		总计	1,619,239,644	----	100.00%

## 二、量具和量仪进出口分析

### 1. 2022年量具和量仪出口情况

2022年量具和量仪出口额（见表8和表9）16.19亿元，同比去年增长12.15%。其中，量具（千分尺、卡尺及量规）出口额12.78亿元，同比去年增长9.33%；量仪（坐标测量仪，轮廓投影仪）出口额3.41亿元，同比去年增长24.17%。占比如图5所示。

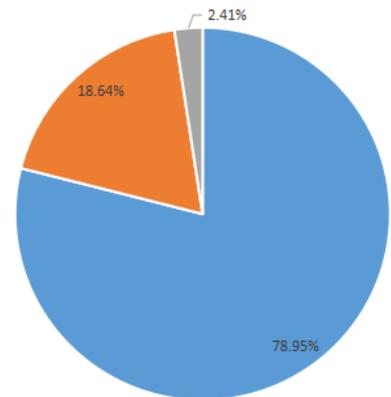


图5 2022年量具、量仪出口分类

表9 2022年量具、量仪出口占比及增长

序号	商品编码	商品名称	2022年出口(元)	占比	2021年出口(元)	占比	2022年同比	2022年单价(元)	2021年单价(元)	单价增长
1	90173000	千分尺、卡尺及量规	1,278,408,859	78.95%	1,169,292,165	80.99%	9.33%	25.05	22.11	13.27%
2	90318020	坐标测量仪	301,763,819	18.64%	243,564,940	16.87%	23.69%	3794.67	5407.15	-29.82%
3	90314910	轮廓投影仪	39,066,966	2.41%	30,912,327	2.14%	26.36%	1280.13	1894.49	-32.43%
总计			1,619,239,644	100.00%	1,443,769,432	100.00%	12.15%	----	----	----

## 2.2022年量具和量仪进口情况

2022年量具和量仪进口额(见表10和表11)13.22亿元,同比去年下降11.42%。其中,量具进口3.13亿元,同比去年增长0.33%,量仪(坐标测量仪,轮廓投影仪)进口10.09亿元,同比去年下降14.53%。占比如图6所示。

表10 2022年量具、量仪进口分类

序号	商品编码	商品名称	金额(元)	元/件	占比
1	90318020	坐标测量仪	616,207,389	111088.41	46.62%
2	90314910	轮廓投影仪	392,418,689	81448.46	29.69%
3	90173000	千分尺、卡尺及量规	313,080,170	350.22	23.69%
总计			1,321,706,248	----	100.00%

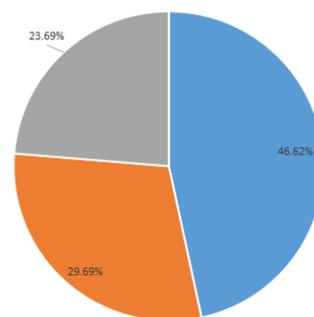


图6 2022年量具、量仪进口分类占比

表11 2022年量具、量仪进口占比及增长

序号	商品编码	商品名称	2022年进口(元)	占比	2021年进口(元)	占比	2022年同比	2022年单价(元)	2021年单价(元)	单价增长
1	90318020	坐标测量仪	616,207,389	46.62%	814,746,003	54.60%	-24.37%	111088.41	108690.77	2.21%
2	90314910	轮廓投影仪	392,418,689	29.69%	365,379,316	24.49%	7.40%	81448.46	110153.55	-26.06%
3	90173000	千分尺、卡尺及量规	313,080,170	23.69%	312,040,215	20.91%	0.33%	350.22	377.26	-7.17%
总计			1,321,706,248	100.00%	1,492,165,534	100.00%	-11.42%	----	----	----

## 3.量具和量仪进出口单价比较

比较相同商品编码产品,进口量具和量仪价格远高于出口价格(见表12)。

表12 2022年量具、量仪进出口单价比较

序号	商品编码	商品名称	进口单价(元)	出口单价(元)	进口/出口单价比
1	90173000	千分尺、卡尺及量规	350.22	25.05	13.98
2	90314910	轮廓投影仪	81448.46	1280.13	63.63
3	90318020	坐标测量仪	111088.41	3794.67	29.27

量具出口额(12.78亿元)远大于进口额(3.13亿元),量仪出口额(3.41亿元)远小于进口额(10.09亿元),量具和量仪出口增长,进口下降。□

## 附加说明:

海关数据是根据海关进出口商品编码进行分类,与行业习惯分类不完全一致。表中所列的产品可能未完全包括所有的工具产品,也可能包括了不属于工具行业的产品。附表中,在计算产品单价时,圆锯片,刀片,带锯条的单位采用公斤(kg),其它类产品以件为单位。

# 数控刀具产业发展战略意义的相关探讨

中国机床工具工业协会工具分会秘书处

当今世界正经历百年未有之大变局，体现在新兴市场国家和发展中国家的崛起速度之快、新一轮科技革命和产业变革带来的新陈代谢和激烈竞争，全球治理体系和国际形势变化的不适应和不对称前所未有。

国际环境日趋复杂，力量对比深刻调整，同时不稳定性和不确定性因素明显增加。受全球新冠疫情的冲击和俄乌冲突的影响，经济全球化遭遇逆流，世界进入动荡变革期，单边主义、保护主义、民粹主义以及霸权主义对世界和平与发展构成威胁。

在复杂多变严峻的国际环境下，我国自身产业结构正经历深刻调整，投资拉动型经济增长模式边际效用递减，创新驱动模式将是未来主要方向。围绕上述转变，国家陆续制定了“供给侧结构性改革”、“双循环”、“十四五规划和2035年远景目标”等一系列顶层战略设计，旨在引领我国产业转型升级，促进宏观经济高质量发展，维护产业链自主可控，实现产业基础高级化和产业链现代化。

在这样的时代背景下，中、美、

日、德等经济大国分别出台了“中国制造2025”、“先进制造业领导力战略”、“国家工业战略2030”、“社会5.0”等政策，高端装备制造业正逐渐成为大国战略博弈的主战场之一。

在高端装备制造领域中，机械加工环节的技术水平和加工效率直接决定了某些关键核心装备是否受制于人，也决定了一国制造业整体的国际竞争力，所以，实现机械加工环节的供给侧改革、攻克机械加工领域的某些“卡脖子”问题，是保障国家战略安全、促进形成先进供给、创造新增需求的可持续经济增长新模式的必要举措。

## 一、数控刀具产业的重要性

近年来，受国家政策鼓励和下游需求市场推动，数控刀具产业发展迅速。随着产业结构升级以及高端制造等国家战略的推进，各项国家鼓励政策的推出为我国刀具行业健康、稳定的发展奠定了政策基础。《战略性新

兴产业分类》将“切削刀片深度加工（数控刀片、焊接刀片、普通可转位刀片等）、数控刀片（航空航天、汽车工业、高端装备制造）”列为重点产品和服务，而《产业结构调整指导目录》明确将“数控机床及配套数控系统：五轴及以上联动数控机床，数控系统，高精密、高性能的切削刀具，量具量仪和磨料磨具”列为鼓励类产业。数控刀具产业是为国民经济各领域提供工作母机的基础产业，是国家综合实力和国力强盛的重要标志之一，具有基础性和战略性地位。

在整个机械加工领域，材料切削加工几乎占到整个机械加工的70%以上，可以说切削加工是机械制造业的主要加工方法，它在机械加工板块中扮演着举足轻重的核心角色。

目前，现代化的金属切削加工可以由两个重要环节构成，一是数控机床，二是数控刀具，他们共同构成切削加工的基础工艺装备；其中，数控机床主要用于传递转速、扭矩、精度；数控刀具主要用于承载不同的加工工艺，并与工件发生直接物理接触。数控机床和数控刀具是一对“孪

生兄弟”，相辅相成、相互配合，共同完成材料切削加工过程。从某些方面来看，数控刀具相比于数控机床而言，对实现高端装备制造的机械加工同样具有不可替代和至关重要的作用，这主要可以体现在以下几个方面。

### 1. 工艺的可实现性

金属切削数控机床，必须依靠数控刀具才能发挥作用。数控刀具是“车、铣、镗、钻、滚、铰”等不同切削工艺的载体，制造不同种类的零部件，需要不同种类的工艺组合之间的相互配合和衔接。对于高端精密装备，其零部件结构往往非常复杂，对于一些关键工序，也需要非常复杂精密的切削加工工艺与之匹配。而要想承载这些复杂的切削加工工艺，必须能自主设计制造出相应的高端数控刀具，否则无论拥有多么先进的数控机床，都难以发挥应有的作用。目前，我国在一些高端装备制造领域，其机械加工工艺和对应的数控刀具仍然被国外厂商主导，特别需要涌现和培育一批精通机加工工艺的国内刀具企业来补足短板，缓解我国在一些高端精密机加环节的卡脖子问题。

### 2. 加工效率的杠杆性

“工欲善其事，必先利其器”，数控刀具的性能和质量直接影响机械加工效率的高低和加工质量的好坏，进而直接影响整个机械制造业的生产技术水平和经济效益。在切削加工工艺系统中，刀具是最活跃的因素之一。刀具体积小，投入相对少，相对改动机床，优化刀具实施和优化的可能性更大、制约条件少、花费时间短，因而刀具系统优化一般可产生显著效果。数控刀具对于加工效率而言，拥有较强的杠杆效应，合理地选择和现代切削刀具是降低生产成本、提升经济效益的关键之一；据有

关资料表明，数控刀具费用一般占企业综合制造成本的2.4%~4%，虽然占比较小，但它对生产成本产生的影响是巨大的，花费较小成本对数控刀具进行优化，有机会较大程度降低生产成本，提升生产效率。

### 3. 高附加价值和技术含量

刀具产业是增加值较高的产业。根据Wind数据统计，2021年，A股上市数控刀具企业毛利率均值43.96%，同期上市数控机床企业毛利率均值约31.04%。毛利率水平可以侧面反应产品的附加价值、技术水平以及市场对于这种附加价值的接受程度；通过以上数据对比可以大致看出，数控刀具行业的附加价值整体上高于数控机床行业，这凸显出从市场的角度对数控刀具产业重要性的认知和认可。

## 二、全球局势对我国数控刀具产业的影响

### 1. 国际形势对我国刀具行业发展的冲击

随着中国本土机床工具产品技术水平的日益提高，西方发达国家对中国出口高技术产品、与国内行业高新技术企业进行技术交流、合作的法律、政策限制越来越多。

设计制造方面，我国部分高端刀具的设计制造软件、关键制造设备、分析检测设备以及部分原材料还较多地依赖进口，影响我国高端刀具产业链的安全。刀具产业的健康发展还需要相关上游产业的进步。

市场方面，我国刀具产业40%的产能是出口。近几年，刀具出口产品升级明显，而中低端刀具出口明显下降，正在被东南亚、印度、土耳其等取代。一些国家进口刀具“去中国化和寻求备胎”以及我国成本的上升加

速了我国中低端刀具出口的下降。随着我国刀具制造水平的提升和产能的扩张，加快刀具产品出口升级是必由之路。而高端刀具出口在技术、本地化服务、快速供货方面有更高的要求。我国刀具企业，特别是有一定实力的企业，在做好国内市场的同时，应加快国际化布局，并加强与有关方面（包括国外伙伴）的合作。随着重要用户产业转移，我们刀具企业也须早做安排。

我国的刀具产品，产量大，制造效率高，性价比高，交货快，随着我们技术水平的提升，在全球是具有竞争优势的。刀具出口会有起伏，但只要我们正确应对，前途是光明的。

### 2. 国内形势对我国刀具行业发展的影响

近年来，受全球新冠疫情和俄乌冲突的冲击，对我国市场预期和金融稳定造成一定的影响。我国刀具工业经济下行压力不断增加，市场不确定因素尚难判定，外贸形势复杂多变，对行业运行支撑难以测算，企业生产经营成本持续走高，企业应收账款占同期流动资产的比重高达30%以上。我国高新技术企业发展的外部环境严峻，外向型高新技术企业深受影响，外需相对收缩，内需动力不足，实体经济困难较大。

## 三、我国数控刀具企业的应对措施

我国刀具行业与工业发达国家相比，在科学技术开发、基础研究投入和高端人才储备等方面还有一定的差距。面对复杂多变的国际环境，刀具行业不少企业对全球供应链稳定运行面临巨大挑战的认识不深，对确保核心技术和关键零部件供应稳定可控的谋划不够，对国际形势的变化缺少警惕。刀具行业各企业须根据国内外的

发展形势，随时做好风险应对预案和风险应急措施。

(1) 不断提升创新能力。利用我国各级税收和财政支持政策，加大刀具企业研发投入，持续提升企业创新能力，掌握更多核心关键技术，降低核心关键技术的对外依赖度。

(2) 不断提升刀具企业国际市场竞争能力。积极实施“走出去”战略，充分参与国际竞争，不断提高自身技术、产品、服务质量和水平，为用户提供全面解决方案，由生产型企业向研发型、服务型企业方向转变，逐步形成比较优势，树立良好的品牌形象，提升国际市场占有率。

(3) 不断拓宽市场范围。刀具企业要加强市场调研，立足国内外两个市场、两种资源，充分了解尤其是国内市场需求，不断丰富产品类型，扩大产品组合，优化产品结构。

(4) 企业运营风险管理。刀具企业要不断强化风险意识，针对采购、市场、营销等环节梳理潜在风险点，形成风险清单，及时制定风险对抗预案和采取有效措施，降低风险损失。

#### 四、结语

当今国际、国内形势发生深刻转变，全球经济、政治、金融、军事秩序面临系统性重构。产业链分工的变局与以新一代信息技术、人工智能为代表的新一轮科技革命萌芽交相呼应的新时代下，大力发展数控刀具产业，进而筑牢高端装备制造行业核心竞争力，是实现我国制造业高质量发展的生存之道，也是保障国家核心零部件供应、确保高端装备制造产业链独立自主、保卫国家经济和产业安全、服务国家整体战略的关键要素。

今年是“十四五”规划实施的攻坚之年。我国装备制造业面临着提升整体制造水平的重要任务，为国家重点装备制造行业提供现代高效刀具是数控刀具产业的使命。面对增速换挡、结构优化、转型升级的关键期，数控刀具行业要主动推进供给侧结构性改革，为我国经济行稳致远发挥重要作用。

数控刀具企业要牢牢把握科学发展和稳中求进的总基调，不断提高适应市场的反应能力与应变能力，抓住发展机遇，积极研判形势，精心谋划方略，加大创新投入，发挥优势潜能，优化产品结构，注重知识产权和标准的研究，推动企业转型升级，着力在主攻高端、替代进口和国际化方面下功夫，用好科技平台，破解共性技术、核心关键技术难题，打造知名品牌，提升企业自主创新能力，推进发展动力由要素驱动向创新驱动转变。□



# 坚持科技自立自强初心使命 践行高端数控机床高质量发展之路

中国机床工具工业协会行业发展工作委员会 杜智强

高端数控机床是面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求构建高端制造产业体系的基础性、战略性高技术产品，是“工业母机”领域中人才、科技、产业、投资等要素的集大成者，“产业皇冠上的明珠”。党的十八大以来，围绕“新发展阶段、新发展理念、新发展格局”的核心要义，在有关部门的直接指导下，机床装备产业坚持科技自立自强初心使命，踔厉奋发、谋篇布局、主动作为，积极践行高端数控机床高质量发展之路。

2022年10月16日习近平总书记在党的二十大上所作的《高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗》报告中指出“新时代新征程中国共产党的使命任务，……以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴”，“未来五年是全面建设社会主义现代化国家开局起步的关键时期，主要目标任务是：经济高质量发展取得新突破，科技自立自强能力显著提升，构建新发展格局和建设现代化经济体系取得重大进展……”，“建设现代化产业体系……实施产业基础再造工程和重大技术装备攻关工程，支持专精特新企业发展，推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”，“实施科教兴国战略，强化现代化建设人才支撑，加快实施创新驱动发展战略。坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，加快实现高水平科技自立自强。以国家战略需求为导向，集聚力量进行原创性引领性科技攻关，坚决打赢关键核心技术攻坚战。”以上论述再次为机床装备产业高质量发展注入强大动力，也对产业坚持科技自立自强初心使命和高质量发展提出更高的要求。

近三年来，通过依靠新型举国体制，产业链上中下游骨干力量组成的机床装备产业创新联合体，按照“需求牵引、协同创新、以用促研、迭代升级”的思路，高端数控机床创新发展工作打开新局面，在自主化替代方面形成一

些突破性进展。近日，中共中央办公厅印发了《关于在全党大兴调查研究的工作方案》，要求“要紧紧围绕全面贯彻落实党的二十大精神、推动高质量发展，直奔问题去，实行问题大梳理、难题大排查，着力打通贯彻执行中的堵点淤点难点……”。下面根据近年来对高端数控机床产品领域部分骨干企业调研的实际情况，梳理堵点淤点难点，总结典型经验做法，供行业企业参考借鉴。

## 一、以用促研，全力打通科技成果产业化的最后一公里

高端数控机床是依赖应用验证驱动的高科技创新与集成的载体，是前沿基础研究与工程化应用研究的边界产品。如何将前期研究形成的新理论、新技术、新知识等科研成果实现工程化与产业化应用推广？是一直困扰科技界与产业界的一个老大难问题，“行百里者半九十”，业内习惯的形容科研成果产业化转化环节是“打通道路的最后最后一公里”。

在总结前期科研攻关经验的基础上，通过国内外产业发展模式比较研究，不少行业企业与用户联合，按照以用促研的创新思路，按照产业链上下游关系，“主机听用户的、部件听主机的”，以应用方需求输入为标尺，从定性到定量地对照完善科研方案，打磨成果技术细节，形成真正产用融合研发的创新机制，极大地提升研发的针对性、成熟度和实用性。

汽车零部件制造是高端数控机床主要应用领域，其以高精度、高效率、大批量制造和高使用经济性要求等严苛条件著称，能否在汽车零部件制造生产线上使用成为考验高端数控机床产业化应用水平的重要标志之一。因此，汽车零部件制造生产线成为高端数控机床“以用促研”机

制试验与实践的重要领域。

陕西法士特齿轮有限责任公司是国内商用车变速器行业龙头企业，主要产品包括各类商用汽车变速器、工程机械变速器、新能源传动系统、液力缓速器、离合器、减速机、取力器等，具备年产汽车变速器120万台和齿轮5000万只的综合生产能力。公司各项经营指标连续二十年名列中国齿轮行业第一，重型汽车变速器年销量连续十七年稳居世界第一，国内市场占有率超过70%，全球市场份额超35%，市场保有量超过1200万台。公司产品广泛应用于各类载重车、客车、工程车，国内主要客户包括陕重汽、中国重汽、福田、东风、一汽解放、宇通、金龙、三一重工等。近年来，为满足自主品牌齿轮加工机床在汽车领域产业化应用的需要，提升产线自主化率，法士特牵头联合秦川机床、广东凯特、人本精密、禹衡光学、秦川数控、秦川思源等机床主机与关键部件制造企业，开展自主品牌高端数控磨齿机、数控滚齿机以及测量仪等高端数控机床装备在车用齿轮高精高效加工领域的产业化应用验证与示范推广，形成一套完整的国产化解决方案。



经过多年的联合技术攻关与产业化环境下的迭代验证，目前已在数控磨齿机精度、效率、可靠性等方面得到显著提升，核心新型磨齿技术得到突破，机床关键部件以及齿轮在线测量设备的国产化替代方案正在批量应用。采用蜗杆砂轮磨削主轴技术、齿面抗扭曲核心关键技术、超精镜面磨削技术、磨齿机制造工艺过程控制技术等核心新技术的数控磨齿机，批量加工齿轮精度可稳定达到GB5级，达到进口同类设备水平。法士特高智新工厂建设完成面向高端商用车领域的高精度齿轮高效加工示范应用生产线，产线设备国产化率由10%提升至78%，齿轮批量磨削精度由GB6级提升至GB5级，设备采购周期缩短6个月，成本降低60%以上，机加车间自动化率达到100%。

通过产用协同攻关，在高速重载齿轮高精高效加工领域形成了一套完整的国产化解决方案，也提升了国产数控机床产品的核心竞争力与产业化应用水平。秦川机床的高端数控磨齿机累计销量同比增长200%以上，产品市场占有率由之前的45%提升至60%以上，在工程机械、新能源汽车、减速器等行业得到了广泛应用，典型客户包括东风、重庆南雁、浙江大众等。上述协同攻关新机制、新模式的实施，真正起到了“以用促研打通道路的最后一公里”的作用，提高了前期研究成果产业化水平，得到用户和机床企业双方的欢迎与积极响应。

无锡贝斯特精机股份有限公司成立于1997年5月，是江苏省高新技术企业，于2017年1月11日成功登陆深圳证券交易所创业板实现上市。公司座落于无锡市滨湖区胡埭工业园，建有五座现代化智能工厂，占地约340亩，资产规模超30亿元，现有员工1500余名。自成立以来，公司一直专注于精密零部件和智能装备及工装产品的研发、生产及销售，并且利用在智能装备及工装领域的各类先发优势，还将业务延伸至高端航空装备制造以及工业自动化装备领域。公司发展至今，形成了“工装夹具、铸造产业、精密加工、智能制造”四大产业联动发展的独特竞争优势。



多年来，贝斯特在技术创新与科研攻关的道路上持续发力，不断向高精高效制造技术领域的广度和深度挺进，通过“产用联合、以用促研”，取得了显著的成绩。贝斯特通过与国内五轴加工中心骨干企业北京精雕和宁波海天等公司长期联合攻关，凭借贝斯特在相关关键零部件制造领域长期积累的零件加工、生产管理、设备使用和关键工装夹具开发等方面的经验与技术成果，极大的提升了相关国产机床前期科研成果的精度性能水平，促进了上述国产高端数控机床的产业化验证与市场推广。以汽车涡轮增压器关键零件“ $\phi 42$ 六叶片直纹面叶轮”和压气机壳的高精高效加工为例，在满足各项加工精度指标要求的前提下，加工效率整体提高70%以上，总体投资建设与运营成本显著降低，极大地提高了产品的生产效率和品质。目前，公司自主设计、研发、调试运行的叶轮柔性自动线、压气机壳柔性自动线正在开展大批量生产验证，大规模产业化应用将指日可待。

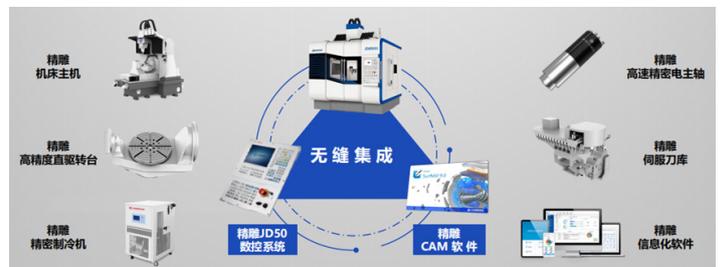


## 二、需求牵引，聚焦高端应用方向打造极致制造能力

近年来，装备制造业高端化发展已成业内共识。一

方面，传统制造业（如：汽车、船舶、能源、一般机械加工等领域）通过供给侧结构性改革，逐步淘汰低端落后产品产能，中高端制造需求成为技术改造和设备采购的主力军；另一方面，新兴制造业（如：3C制造、航空航天、芯片制造、新能源汽车领域等）提出前所未有的制造新需求，迫切需要新工艺、新装备等高端解决方案。综合看，用户领域的制造需求高端化，直接导致高端数控机床产品必须具备极致制造解决能力。按照“需求牵引”的创新机制，聚焦高端用户领域的新需求，逐步形成供给极致制造能力的产业群体。

北京精雕科技集团有限公司是一家专注于精密数控机床研发、生产、销售和工程服务的国家级高新技术企业。集团成立于1994年，总部位于北京市中关村门头沟科技园，现有员工5100余人，其中基础技术和产品研发人员900余人。北京精雕自成立时就坚持自主创新，精雕精密数控机床的核心技术产品、关键功能部件、专业软件，均由北京精雕独立研发和规模生产，并拥有完整的自主知识产权并实现无缝集成，包括：机床主机、数控系统、CAM软件、高速精密电主轴、高精度直驱转台、伺服刀库、精密制冷机、信息化软件等。通过多年来持续的投入，目前全集团在北京、河北廊坊、天津市、陕西西安、浙江宁波、江苏苏州、广东广州等制造业产业核心区域建设了总规模超100万平方米的研发、生产、验证体系，具备年产6000~8000台精密加工中心和支撑上万家客户应用服务需求的能力。在汽车零部件、医疗器械、精密模具等重点领域与国外高端品牌机床同台竞技，为国内外用户提供了更多、更好的选择。





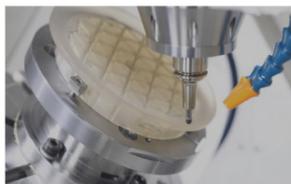
模具零件铣削加工



镜面模具零件研抛加工



精密孔磨削加工



硬脆材料零件磨削加工



小产品零件精密铣削加工



金属成型毛坯复合加工



金属和特种材料的微小孔钻孔加工



复杂形态金属零件钻铣磨加工

在需求牵引下，北京精雕经过多年的发展，持续围绕高端数控机床加大研发投入，旗舰产品精雕高速加工中心已经形成了系列化的产品，具备稳定实现“0.1微米进给、1微米切削，纳米级表面效果”的极致制造能力，其技术性能处于国际先进水平，应用能力达到国际领先。凭借精雕机的精密加工能力、合理的软硬件配置以及成熟的“精雕精密加工解决方案”，精雕机被广泛应用至模具零件铣削、镜面模具零件研抛、精密孔磨削、小产品零件精密铣削、金属成型毛坯复合加工、微小孔钻孔、复杂形态金属硬料钻铣磨、硬脆材料研磨加工等多个领域。模具零件铣削加工：稳定实现2~15 μm精度的模具零件铣削加工，实现模具装配“只配不修”；镜面模具零件研抛加工：面型精度达到微米级，表面粗糙度小于10nm，呈现镜面效果；精密孔磨削加工：稳定实现2~5 μm加工精度的高精度孔磨削；小产品零件精密铣削加工：稳定实现2~15 μm加工精度，满足复杂形态精密小产品零件的生产要求；金属成型毛坯复合加工：基本加工精度小于20微米成型毛坯钻铣磨复合加工；金属和特种材料的微小孔钻孔加工：稳定实现多种难切削材料的微小孔钻孔加工，微孔加工快、准、稳；复杂形态金属零件钻铣磨加工：稳定实现硬度HRC50以上的复杂形态零件钻铣磨精密加工；硬脆材料零件磨削加工：稳定实现尺寸精度要求 < 5 μm 的复杂形态特种硬材料零件磨削加工。

华辰精密装备（昆山）股份有限公司成立于2007年，是精密磨削装备研发、制造和服务为一体的综合解决方案服务商，是国内数控轧辊磨床领域的领军企业，并于2019年12月份成功登陆深交所创业板。公司技术实力雄厚，多次打破国外在高端数控轧辊磨床领域的技术垄断。并持续与中国顶尖高校开展产学研合作，与清华大学共建中国机

械工业联合会（原机械工业部）高精轧辊智能制造工程研究中心，与清华大学共建智能磨削技术联合研究中心，重点攻关卡脖子高精尖技术。公司是工业与信息化部认定的专精特新“小巨人”企业、江苏省“小巨人”企业、高新技术企业等。公司目前已具备完整的轧辊磨床产品体系，共十二大系列产品，产品精度比肩国际领先水平。公司产品主要应用于钢铁、有色金属、造纸、轻纺以及机械加工等行业。产品服务于宝钢股份、鞍钢股份、首钢股份等国内外200余家客户。除数控轧辊磨床产品之外，公司还推出了全新的高精度数控内外圆复合磨床、超硬磨料砂轮和钢厂磨辊间的智能产线建设及运维服务。



在需求牵引打造极致制造能力方面，突破了高性能金属板材加工领域所需数控轧辊磨床的多项关键核心技术。研制了高精度直驱砂轮主轴系统、高精度直驱头架系统、整体式双V型导轨高刚性磨架、高刚性高稳定性床身等核心关键功能部件，并实现工程化应用；开发了基于X、Z轴高精度插补的平动曲线磨削技术、磨床远程监控平台和

轧辊磨床智能磨削平台，研发了国内首个面向高精高速轧辊磨床的智能化数控系统，实现轧辊磨床高精高速智能磨削，使产品整体技术指标达到国际先进水平。在国内轧辊磨床领域率先使用了直驱技术和基于X、Z轴高精度插补的平动曲线磨削技术，实现高端数控系统在轧辊磨床领域自主化进口替代，为多家钢铁企业集团客户的高端汽车板、电机硅钢片等高端板材制造提供了支持与保障。



满足市场高端冷轧汽车板生产线高精度轧辊的高效磨削加工需求，为新能源汽车电机核心部件研制提供了国产高精度成套智能磨削装备。以平辊磨削机床为例，试件精度达到：圆度 $1.5\mu\text{m}$ ，圆柱度 $1.5\mu\text{m}/\text{m}$ ，表面粗糙度 $Ra0.2\mu\text{m}$ ；曲线磨削精度达到 $2\mu\text{m}/\text{m}$ ，比肩国际龙头企业水平，极大满足了国内客户的高效高品质生产要求的同时，也为本企业带来高端数控机床销售订单的增长。根据第三方数据显示，2021年公司数控轧辊磨床国内市场占有率达到43%，国际市场占有率达到23%，国内排名第一，全球前三。

### 三、协同创新，锻造自主可控的高端产品产业链供应链

高端数控机床产品属于整个装备制造业产业链供应链的中间环节（即中间产品），除了需要下游用户的“需求牵引、以用促研”以外，还需要上游工业基础体系的支持，特别是要建立专属为高端数控机床配套的“专精特新”关键部件制造体系支撑。从历史经验看，高端数控机床的关键部件配套环节的产业基础能力更弱，前期布局形成的创新成果成熟度低，品牌影响力小，与主机发展进程严重脱节，更难得到市场的认可。近年来，在国内外新形势的倒逼下，国家通过一系列顶层设计和产业政策，促进行业关键部件制造企业与主机制造企业形成协同创新关系，努力构建安全强韧的产业链供应链。

上海人本精密机械有限公司，是人本股份的子公司，

主要从事研发制造数控机床用高精度高速轴承产品。人本股份是中国轴承行业的领军企业、世界十大轴承企业，可生产内径1毫米至外径6米范围内各类轴承三万余种。人本股份创立于1991年，在上海、温州、杭州、湖州、芜湖、无锡等建有八大轴承生产基地，拥有完整的轴承产业链。人本股份现有员工13000余人，拥有国家认定企业技术中心、国家认可实验室（CNAS），技术中心专职开发人员300余人，先后获得有效专利2000余项。近年来，在协同创新的推动下，上海人本与北京精雕、秦川机床、华辰精密装备等国内机床装备骨干企业联合，致力于加深高端数控机床领域自主品牌精密轴承产品的研发与应用，实现自主化替代。目前，企业已具备相应的100余万套产品生产和技术服务能力，并实现在相关机床产品上的小批量装机验证。同时，在大连连城数控、津上精密机床（浙江）、宝鸡机床、广州市昊志机电、宇环数控机床、安徽宇航机床等机床制造厂商的相关产品上进行了推广。



长春禹衡光学有限公司的主导产品光栅传感器广泛应用于自动化领域，是数控机床、交流伺服电机、电梯、科研仪器、自动化流水线等行业和领域必不可少的关键传感器器件，其研发能力、技术水平、产业规模、市场占有率等在国内自主品牌产品领域中处于龙头地位。2019年荣获工信部首批专精特新小巨人企业，2022年荣获工信部制造业单项冠军示范企业。禹衡光学是国家编码器工程中试基地和博士后科研工作站，省级技术中心、工程中心、省重点实验室。近年来，禹衡光学加大技术研发投入，自主研制高精度光栅尺和旋转编码器高端数控机床关键部件，解决了影响行业发展的关键技术难题，不断满足高端数控机床主机配套需要。公司建设形成高端数控机床关键部件产业化验证能力，为国产替代提供支撑。禹衡光学在产品开发中注重产、学、研、用相结合，在发展中注重产业链上下游协同创新，禹衡光学与国内主流的数控系统厂家和数控机床主机厂开展了多种方式的合作与产品推广验证。在国内主流的主机厂家也开始推广应用，例如：华中数控、广州数控、大连科德、沈阳精锐、宝鸡机床、北平机床、汉江工具、北京伊贝格等国内主要机床企业开展应用验证并形成供货。



广东凯特精密机械有限公司成立于1993年，是一家具有独立研究、开发、设计能力的国家高新技术企业，现建有“广东省滚动功能部件工程技术研究中心”、“广东省博士工作站”等多个科研创新平台；拥有专利36项，其中发明专利11项，牵头或参与制定行业标准22项。2022年，公司被评为专精特新“重点小巨人”企业。凯特精机高度重视科研实力的提升，近年围绕精密滚动直线导轨副的性能提升、规模化生产等方向开展多项技术攻关。通过对导轨副的材料、热处理工艺、磨削工艺研究以及检测手段优化等，实现导轨副精度保持性、密封性和自润滑性能等方面接近国际先进水平，提升导轨副的生产加工效率及互换性水平。



在导轨副综合性能提升方面，由凯特精机自主研制的精密滚动直线导轨副，其精度保持性达到3级精度100%计算寿命；新研制的氟橡胶密封端盖在耐化学腐蚀，耐磨性方面比原产品提升50%以上；自润滑块吸油率达70%以上，实现10000km免维护，大大提升了导轨副精度保持性、密封性及自润滑等方面的性能。工艺提升方面，凯特精机磨削导轨3级精度合格率最高达到80%，连续磨削加工导轨精度达到行业4级精度互换；检测手段方面，凯特精机自主研发了导轨安装孔尺寸视像检测仪、影像式滑块返向孔尺寸检测、导轨在线测量系统和高精度导轨副精度检测仪等一系列专用的自动化检测设备，丰富了公司的产品检验手段，提升了产品检测的精度及效率。凯特公司自主研发的LGS35、LGS45滚珠导轨副已应用于高速五轴加工中心，经国检中心检测，机床各项精度均符合标准；LGR35、LGR55滚柱导轨副和氟橡胶密封端盖应用在数控蜗杆砂轮磨齿机上，机床已投入生产近两年时间，使用情况良好，齿轮加工精度满足技术指标要求。目前，凯特导

轨在高端机床年用量已超过10000套，客户反馈凯特导轨的精度及性能与国际知名企业产品相当，后续凯特精机将进一步扩大相关成果应用范围，为支撑高端数控机床发展与提升国产高端装备自主研制能力做出应有贡献。



#### 四、迭代升级，动态跟踪布局高端数控机床发展方向

近年来，先进制造技术领域升级速度不断加快，新材料、新技术和新产品的大量出现倒逼制造装备与工艺快速迭代升级。因此，高端数控机床的发展目标与内涵也需要在以2至3年一个周期的节奏下进行动态调整与升级。依据“需求牵引、以用促研、协同创新”的原则与机制，不断实现高端数控机床产品领域的迭代升级，这是未来实现高端数控机床创新发展与机床装备产业高质量发展的必由之路。动态跟踪重点应用领域需求变化，通过总结提炼，以重点突破打基础，以产业化应用验证为考核，揭榜挂帅与赛马制相结合，不断围绕高端数控机床的堵点淤点难点加大直接支持力度，促进产品迭代升级和产业化推广。目前，除了前面典型案例中提到的相关骨干企业以外，机床装备产业内的通用技术集团、济南二机床、秦川机床、华工激光、华中数控、株洲钻石、大连科德、广州数控、北一机床、扬力集团、创世纪等一批立足高端数控机床领域创新发展的骨干企业也在积极谋篇布局，为满足高端用户需求和国家战略发展而不断提升高质量供给能力。

上述在高端数控机床领域中涌现出的创新发展典型案例，只是近年来机床装备产业践行科技自立自强和高质量发展过程中的部分行业代表和发展缩影，其他更多更好的高质量发展案例还有待挖掘和梳理。总结经验，面向未来，相信在各级各部门领导的关心下，在用户的支持下，机床装备产业必将坚定地迈向高质量发展方向，强化战略思维，保持战略定力，知难而进、迎难而上，自信自立、守正创新，以前瞻性思考、全局性谋划、整体性推进，为高端数控机床创新发展与产业进步而努力！□

# 机床三维空间关键几何误差的来源解析

## ——XM-60多光束激光干涉仪的应用案例分享

雷尼绍公司 周汉辉

**【摘要】**传统的单光束激光干涉仪对机器的校准主要基于单参数测量，由于机器几何误差中各项自由度误差常常相互关联，对测量结果很少有办法找出其误差的根本来源。XM-60多光束激光干涉仪采用的是光学测量原理及多参数同步测量机理，特别是创新光学滚动角的测量技术，让我们对机器各项几何误差测量及对误差来源的分析有了全新准确快速的可溯源工具。

### 1. 机器三维空间几何误差背景

机器任何一个直线运动轴线都有沿 X Y Z 三轴的平动和绕 X Y Z 三轴转动的误差，也就是我们常说的六个自由度误差。

如图1所示，在机床的三轴移动空间中，共有9个平移误差参数，9个角度误差参数和3个垂直度误差参数。总计21项误差。要将21项误差对机器空间位置的影响完全消除，需要将各项误差精确地检测出来，并研究开发有关软件，将检测得到的误差数据转换为具备相应功能的数控系统所能接受的参数，提供给系统补偿结果，从而实现提高机床空间精度。

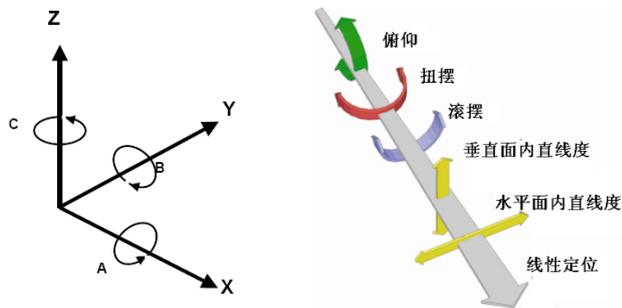


图1 机器运动轴线的6项自由度误差

但对大多数机床制造商来说，通过数控系统中的空间误差补偿功能来提高机床精度的想法看起来很好，但实际操作上受各种因素的局限，如需要增加不菲的软硬件成本和单参数逐一测量的人工用时成本，补偿后精度的长期保持性也缺乏稳定，一般是在没有办法的情况下最后才考虑采用的办法。客观地讲，能从机械装配阶段将机器三维几何误差控制在一定合理的范围，才是大多数机器制造业者所追求的目标。

### 2. 机器空间误差

传统的机器校准方法，按国际ISO标准或国内GB标准的每一测试项目中，对某一轴线的不同自由度误差进行精度验证，都是只对某一任选位置进行测量的结果来评价。从而以点代面，以线代体来评价机床该轴的各项几何精度，包括该轴直线定位精度、直线度或两轴间的垂直度等等。

由于机床三维空间中各误差的叠加作用，在许多场合，空间不同位置就会出现不同的定位精度、不同的直线度或不同的垂直度。当采用不同测量工具时，经常出现

多种测量工具之间得到的测量结果不太吻合，在许多情况下，采用不同工具得到不同测量结果，不是谁对谁错的问题，常见的原因是不同测量工具所完成机器误差测量的空间位置不尽相同，而当机器存在角度误差时，在不同位置测量得到不同结果而导致的。

(1) 空间定位误差

如图2所示，在A处采用单光束激光检测某一轴的定位精度并补偿合格后，由于运动平台的多自由度误差的作用，使得在同一运动轴的在其它部位所得到的定位精度并不一定能满足精度要求，如图2所示，在A位置进行螺距误差补偿后B位置测量的误差还是没有解决。

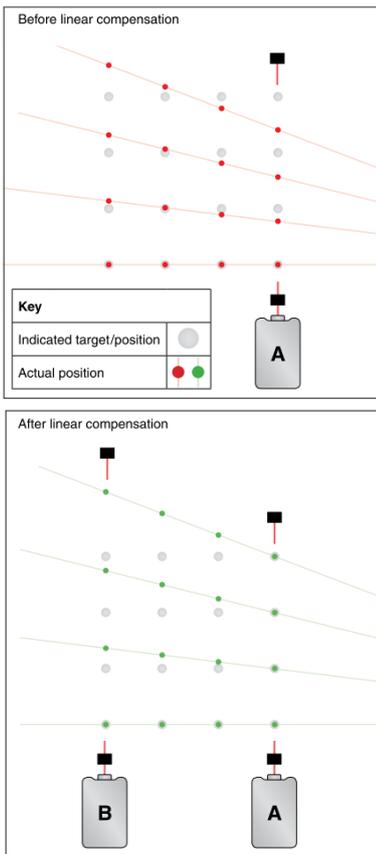


图2 空间不同位置定位误差不同示意图

(2) 空间直线度误差

导轨直线度是机器装配中最常见的一项要求，分导轨在水平面内的直

线度或垂直面内的直线度两项。以水平直线度举例说明，当依据平尺等实物基准将导轨水平面内的直线度调整完毕后，在许多场合，采用激光干涉仪直线度镜组验证时，常常又出现水平面直线度与采用平尺与千分表检测的结果不同。这时，确认导轨是否存在滚动角误差至关重要。

单道轨底面不平或多导轨间共面平面度存在问题会使得导轨滑块或工作台在直线运动中存在滚动角，在不同空间位置带来直线度误差大小不同，如图3与图4所示。

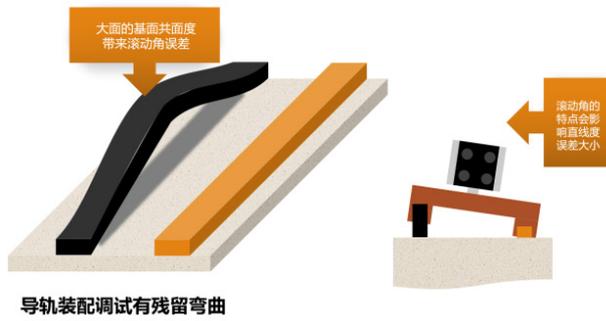


图3 工作台各导轨的共面性带来滚动角误差

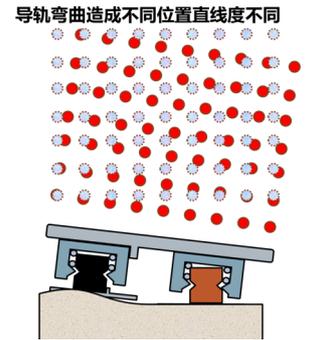


图4 滚动角与空间直线度的关系

(3) 空间垂直度误差

如果机器中不同区域存在不均匀分布的误差如角度误差时,则可能在不同位置的垂直度不一样;

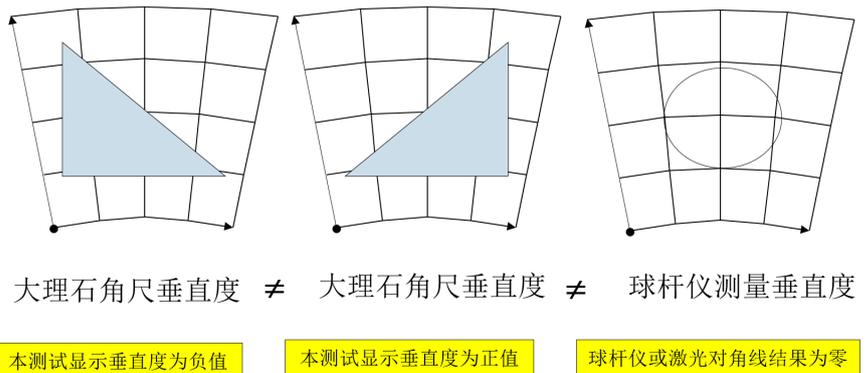


图5 偏转角带来机器平面内不同位置所体现的垂直度不同

3. XM-60可溯源测量及CARTO偏置计算，实现误差源分析

正是由于机器的各种几何误差在空间不同位置所表征的误差大小甚至误差方向不一定相同，加上多种类型的误差还会在空间进行耦合、叠加，要想准确测量分析出机器的空间误差真正来源，从根本上提高机器的制造水平，成为众多机器制造企业所追求的目标。

长久以来，不少业内的专家、学者，想方设法利用各种测量仪器，通过各种误差辨识的技巧，试图通过非溯源的数据对所测量的综合误差中的各种误差源进行分离，对于某台（些）特定结构或特定条件下进行测试的机床，误差辨

识结果也许还可信。但由于大多数非溯源的测试仪器是基于特定数学模型下来得到的误差辨识结果，其方法的可靠性及重复性都有较大的局限性，不宜推而广之。

XM-60多光束激光干涉仪是一款基于光学原理的可溯源的六自由度误差的直接测量工具，它所配套的CARTO软件能够根据所测量的偏转角、俯仰角及滚动角数据，根据用户选定的不同偏置大小，直接得到机器空间任意指定位置的几何误差和定位误差。不仅能了解机器空间不同位置的定位误差，还能分析出各种几何误差的主要来源。

#### 4. 偏置计算的应用举例

在平台或机器的装配调试过程中，许多用户为提高闭环系统的精度，都将注意力重点放在选购高精度的光栅尺上，以期得到机器的高精度定位。但由于光栅尺的安装或多或少存在有阿贝误差，机器设计精度受到装配机械误差的影响而受到限制，无法完美实现预期设计精度。作为机器或平台的设计和制造人员，真希望能有办法快捷、方便地指出激光干涉仪测试结果中有多大比例来源于光栅误差，而有多少来源于机械的阿贝误差。

XM-60多光束激光干涉仪及配套的CARTO软件已经为业者提供了成套的软硬件，下面就一台精密仪器的测试结果举例分析如下。

采用XM-60多光束激光干涉仪对X轴进行测试，仪器安装在如图6位置。

图7所示激光束相对X轴光栅在Y方向与Z方向的偏置距离。

- 以激光光束处为参考，X轴光栅尺安装位置在Y向距离激光偏置约-90mm；

- 以激光光束处为参考，X轴光栅尺安装位置在Z向距离激光偏置约60mm。

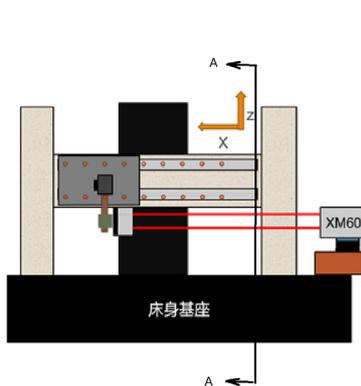


图6 机器的正视图

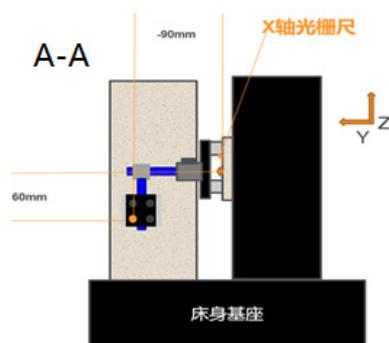


图7 A-A截面图

测出的X轴六自由度误差结果如图8。

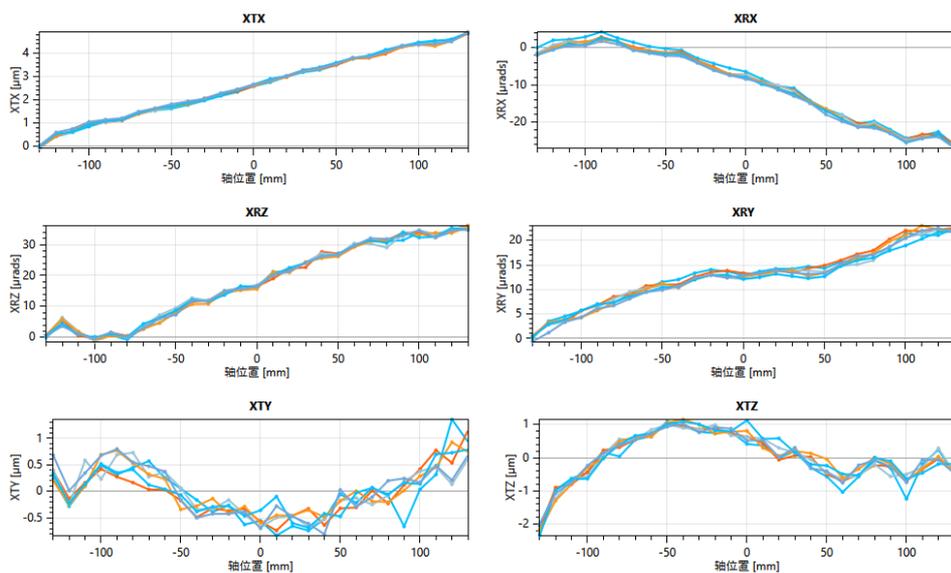


图8 同时测量出6自由度误差

按国家标准GB/T17421.2 2016进行定位误差分析，得到双向定位精度为5.1微米。而该机器选用的是钢制材料的高精度光栅，定位误差是否主要是该光栅尺有质量问题带来的？

名称	(+)		(-)		双向 [μm]
	精度 (A)	重复精度 (R)	系统偏差 (E)	反向 (B)	
RAW	5.0	0.3	5.1	0.3	5.1
ASME B5.54 2005	4.9	0.1	4.9	0.0	4.9
ASME B5.54 1992	4.9	0.0	4.9	0.0	4.9
GB/T 17421.2 2016	不确定度注释				

图9 国家标准GB17421.2分析出的定位精度结果

分析图8得到的XM-60多光束激光干涉仪的测量结果，同时测量出的角度误

差如下：

- 最大偏转角XRZ：36微弧度；
- 最大俯仰角XRY：22微弧度。

利用CARTO软件中的偏置计算功能（见图10），按激光距光栅尺位置在Y与Z方向的相对偏置距离，输入到相关软件中，得到光栅尺所在位置的定位精度。

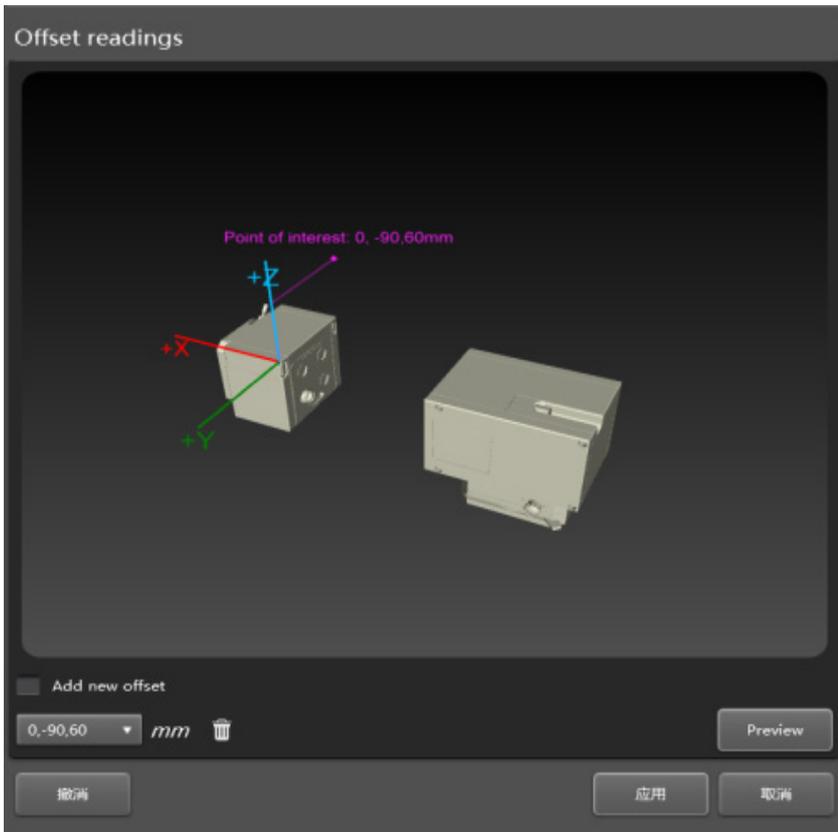


图10 CARTO偏置计算功能的界面

根据上面的偏置软件，得到光栅尺所在位置的定位精度曲线，如图11所示，大约在1微米左右，说明光栅尺的精度符合设计时选定的精度。

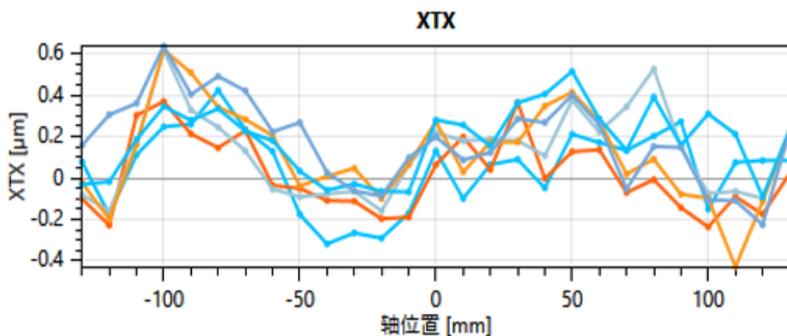


图11 光栅尺所在位置的定位精度

由此可见，该机器5.1微米的定位精度主要来源于机械俯仰角和偏转角所带来过大阿贝误差引起的，而不是光栅尺自身精度问题。如需要提高该机器空间

定位精度，则应该设法提高对于该机器的俯仰角和偏转角误差要求。

## 5. 结语

文中就俯仰角、偏转角误差与定位误差的关联性，举例进行了分析阐述，并就XM-60引入的对任意“关注点”进行快速测量的原理及实际应用案例进行了分享，为机器的装配精度的进一步提高及数字化生产指明了改进的方向。

实际上，滚动角误差与直线度、垂直度等几何误差之间也存在极强的关联性，相信如下几个议题是业者在日常机器组装工作中经常遇到的问题。但因机器误差的来源时常是多种误差相互耦合叠加的结果，传统的单参数检测工具无法快捷方便地发现问题所在，长久以来是许多业者一直在努力摸索、寻求答案的重要议题。

（1）为何在机器不同空间位置测量定位精度会有所不同？

- 俯仰角与偏转角与空间定位精度关联性探讨；

（2）为何水平状态下貌似调好的主轴导轨模组在立柱上安装后有时测得直线度会更大？

- 机器空间不同位置直线度大小不同的原因与各种测试方法的探讨；

（3）为何用角尺测定的垂直度与激光校准仪或球杆仪测得的结果不同？

- 机器俯仰角、偏转角及滚动角误差与空间垂直度的关联性的探讨；

XM-60是一款新型的多参数直接测量仪器，具有许多传统单参数测量仪器所不具备的误差分离能力。类似于上述业者普遍关注的议题，在使用XM-60后或多或少都有办法从其测试结果中找到答案。限于篇幅原因，本文没有逐一展开介绍。打算后续根据读者的反馈，陆续展开探讨，以达到抛砖引玉的效果，敬请关注。□

# 摆动直线轴的五轴联动控制技术研究

沈阳机床（集团）有限责任公司 马国艳

**【摘要】**摆动直线轴的五轴联动机床，是一种旋转轴的旋转运动改变了其中一个几何轴（X/Y/Z）的运动方向，这种机床结构不再是普通意义上的五轴联动机床，进行RTCP（刀尖中心点旋转运动跟随）时Z轴需要进行空间坐标的转换。本文基于西门子数控系统，介绍了带有一个摆动直线轴机床的RTCP控制方案。

## 一、前言

如图1-1所示，该机床由X，Y，Z，A，B五个轴组成，其中Z轴的运动方向随A轴的摆动角度实时发生变化，那么这类型的机床进行RTCP（刀尖点跟随）Z轴需要根据A轴的摆动角度转换。这种机床结构已经不是标准的五轴联动机床，Z轴需要进行实时转换，才能实现RTCP功能。本文基于西门子数控系统的摆动直线轴的控制功能，详细解析了RTCP的实现方式。

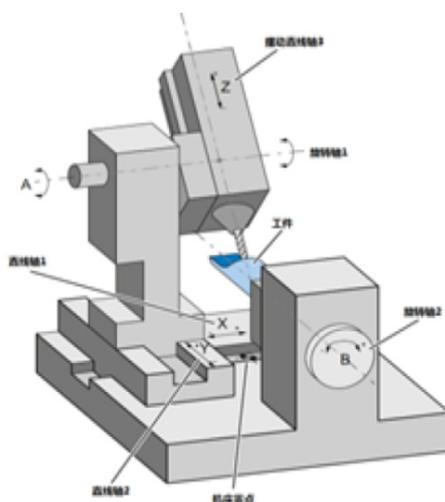


图1 摆动直线轴结构图

## 二、数控系统功能配置

### 1. 基于数控系统的附加功能

机床的数控系统需要配置SINUMERIK MDynamics 5 轴铣削工艺包，订货号6FC5800-0AS33-0YB0，SINUMERIK MDynamics 5轴（S33）包括选件：5轴加工包，多轴插补>4个插补轴，ShopTurn/ShopMill，轮廓型腔加工和切削加工中的余料检测和余料加工，3-D模拟1（成品件），同步记录，精优曲面，样条插补（A、B和C样条），TRANSMIT/柱面转换，钻削/钻铣和车削的测量循环，HMI用户内存在NCU的CF卡上扩展，3D刀具半径补偿，测量运动系统。

### 2. 摆动直线轴结构

带有摆动直线轴的五轴联动机床，需要具有以下几何特征：

- （1）有三个笛卡尔直线轴（X、Y、Z）和两个旋转轴（A、B）；
- （2）旋转轴平行于直线轴中的两个轴；
- （3）第一个旋转轴通过其中两个直线轴的移动而旋转，围绕第三个直线轴旋转，使刀具进行运行，刀具平行于第三个直线轴。
- （4）摆动直线轴的旋转范围非常小（ $\pm 10^\circ$ ）。

### 三、参数设置

#### 1. 五轴转换机床的配置

为确认五轴转换能够转换成各轴运动的编程值，需要确认一下机床设计信息：机床类型；轴配置；机床几何轴信息；旋转轴方向配置信息。

#### 2. 机床类型

Kinematics			<type> Bits 6 - 0
1. Rotary axis	2. rotary axis	swiveled linear axis	
A	B	Z	10,00 000
A	C	Y	10,00 001
B	A	Z	10,00 010
B	C	X	10,00 011
C	A	Y	10,00 100
C	B	X	10,00 101

MD24100, ... MD25190 \$MC\_TRAFO\_TYP\_n = <type>, with n = 1, 2, 3, ...

#### 3. 基本参数设置

##### (1) 通用机床数据

MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[0]=MA\_X1  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[1]=MA\_Y1  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[2]=MA\_Z1  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[3]=MA\_A1  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[4]=MA\_B1  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[5]=MA\_W1  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[6]=MA\_SP  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[7]=MA\_X11  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[8]=MA\_X2  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[9]=MA\_X211  
 MD10000 \$MN\_AXCONF\_MACHAX\_NAME\_TAB[10]=MA\_Y2

##### (2) 通道机床数据

MD20050 \$MC\_AXCONF\_GEOAX\_ASSIGN\_TAB[0]=1  
 MD20050 \$MC\_AXCONF\_GEOAX\_ASSIGN\_TAB[1]=2  
 MD20050 \$MC\_AXCONF\_GEOAX\_ASSIGN\_TAB[2]=3  
 MD20060 \$MC\_AXCONF\_GEOAX\_NAME\_TAB[0]=X  
 MD20060 \$MC\_AXCONF\_GEOAX\_NAME\_TAB[1]=Y  
 MD20060 \$MC\_AXCONF\_GEOAX\_NAME\_TAB[2]=Z  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[0]=1  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[1]=2  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[2]=3  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[3]=4  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[4]=5  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[5]=6  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[6]=7  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[7]=8  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[8]=9  
 MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[9]=10

MD20070 \$MC\_AXCONF\_MACHAX\_USED[10]=11  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[0]=X  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[1]=Y  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[2]=Z  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[3]=A  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[4]=C  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[5]=W  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[6]=SP  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[7]=X11  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[8]=X2  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[9]=X21  
 MD20080 \$MC\_AXCONF\_CHANAX\_NAME\_TAB[10]=Y2

##### (3) 五轴转换机床参数设置

设置转换类型：MD24100 \$MC\_TRAFO\_TYPE\_1 (definition of channel transformation 1)=16, 设置五轴转换的通道轴：

MD24110 TRAFO\_AXES\_IN 设置参与五轴转换的通道轴

MD24110 TRAFO\_AXES\_IN[0]=1  
 MD24110 TRAFO\_AXES\_IN[1]=2  
 MD24110 TRAFO\_AXES\_IN[2]=3  
 MD24110 TRAFO\_AXES\_IN[3]=4  
 MD24110 TRAFO\_AXES\_IN[3]=5

##### 设置五轴转换的几何轴：

MD24120 TRAFO\_GEOAX\_ASSIGN\_TAB\_1[0]=1  
 MD24120 TRAFO\_GEOAX\_ASSIGN\_TAB\_1[1]=2  
 MD24120 TRAFO\_GEOAX\_ASSIGN\_TAB\_1[2]=3

##### 旋转轴定义：

MD24570 TRAF05\_AXIS1定义1st 旋转轴  
 MD24572 RAF05\_AXIS2定义2st 旋转轴  
 MD24570 TRAF05\_AXIS1[0]=1  
 MD24570 TRAF05\_AXIS1[1]=0  
 MD24570 TRAF05\_AXIS1[2]=0  
 MD24572 RAF05\_AXIS2[0]=0  
 MD24572 RAF05\_AXIS2[1]=1  
 MD24572 RAF05\_AXIS2[2]=0

##### 刀具矢量方向：

MD24574 \$MC\_TRAFO5\_BASE\_ORIENT\_1[0] 沿X轴方向  
 MD24574 \$MC\_TRAFO5\_BASE\_ORIENT\_1[1] 沿Y轴方向  
 MD24574 \$MC\_TRAFO5\_BASE\_ORIENT\_1[2] 沿Z轴方向

##### (4) 机床运动参数的设置

五轴转换设定在第一个(\$MC\_TRAFO5 ...\_1)和第二个(\$MC\_TRAFO5 ...\_2)时，参数设置如下：

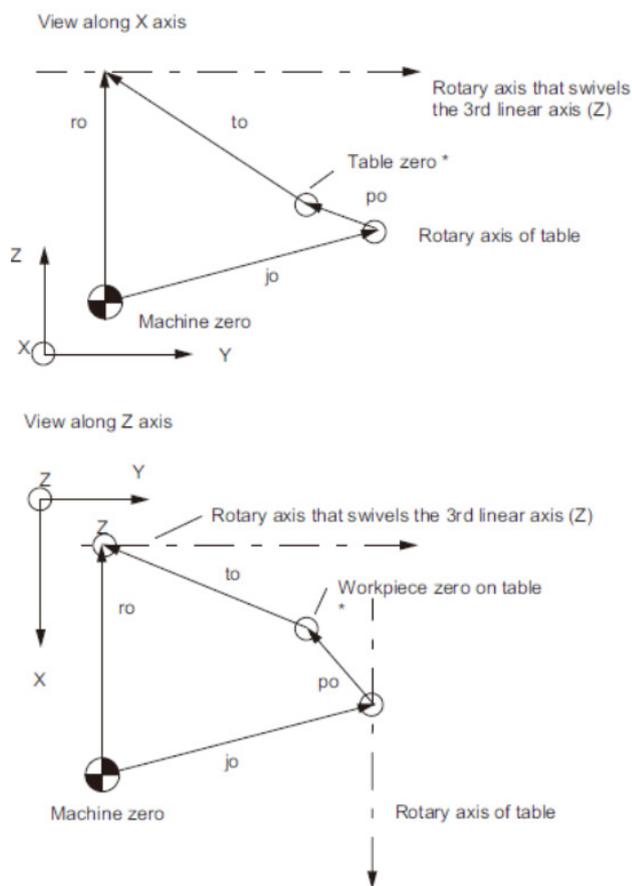


图3-1 五轴转换示意图

第二个旋转轴到刀具基准点的矢量距离：( po )

- MD24500 \$MC\_TRAFO5\_PART\_OFFSET\_1
- MD24600 \$MC\_TRAFO5\_PART\_OFFSET\_2

两个旋转轴的相对机床初始位置的位置：

- MD24510 \$MC\_TRAFO5\_ROT\_AX\_OFFSET\_1
- MD24610 \$MC\_TRAFO5\_ROT\_AX\_OFFSET\_2

转换包含的旋转轴的位置：

- MD24520 \$MC\_TRAFO5\_ROT\_SIGN\_IS\_PLUS\_1
- MD24620 \$MC\_TRAFO5\_ROT\_SIGN\_IS\_PLUS\_2

机床零点到第二个回转轴的矢量距离：( jo )

- MD24560 \$MC\_TRAFO5\_JOINT\_OFFSET\_1
- MD24660 \$MC\_TRAFO5\_JOINT\_OFFSET\_2

刀具基准点（法兰盘）到第一个回转轴（机床在初始位置时测量的矢量距离）( to )

- MD24550 \$MC\_TRAFO5\_BASE\_TOOL\_1
- MD24650 \$MC\_TRAFO5\_BASE\_TOOL\_2

从机床零点到第一个旋转轴的矢量距离（机床在初始位置时测量的矢量距离）( ro )

- MD24562 \$MC\_TRAFO5\_TOOL\_ROT\_AX\_OFFSET\_1
- MD24662 \$MC\_TRAFO5\_TOOL\_ROT\_AX\_OFFSET\_2

#### 四、NC程序

开启五轴联动控制功能，在MDA/AUTO方式下执行TRAORI即可，关闭五轴联动控制功能在MDA/AUTO方式下执行TRAFOOF即可

```
TRAORI (1)
A15
TRAFOOF
TRAORI (2)
A15
TRAFOOF
```

经过两次坐标转换，实现刀尖点？

#### 五、结束语

综上所述，本文阐述了如何对机床上的带有摆动直线轴的五轴机床的联动控制方案，实现了机床空间内刀中心点的跟随运动。□

### 资讯

## 天水二一三电器集团数字能源与数字控制技术研究院挂牌成立

近日，天水二一三电器集团“数字能源与数字控制技术研究院”挂牌成立，标志着该公司向攻克数字技术吹响了冲锋号。研究院的成立，是企业布局产业前沿技术，加快实现高水平科技自立自强，开辟发展新领域、新赛道的重要举措。

天水二一三电器集团有限公司拥有国家企业技术中心、国家地方联合工程实验室。近年来，公司以高质量发展为目标，以解决装备制造业高质量发展难题、装备制造业国产化替代难题和国家安全重点领域重大任务三大难题

为使命，建成了强大的“全功能工厂”，实现了从技术研发到关键核心零部件制造再到成品装配、在线检测的一体化长足发展，锻造了自主可控、安全稳固的供应链体系，实现了通用化产品升级换代，差异化产品满足市场需求，走出了西部地区装备制造业高质量发展的特色之路。

今后，随着各项工作的逐步展开，研究院将在企业招才引智、技术交流与合作、加快技术创新和产业升级上打破时空限制、加速资源流动、延伸产业链条、重构组织模式、搭建跨界桥梁等方面发挥突破性的作用。

# 基于828D数控系统和C#语言开发的柔性产线物料运输控制与调度系统

通用技术集团沈阳机床有限责任公司 邓长安

**【摘要】** 介绍一种采用西门子828D数控系统控制柔性产线RGV物料运输车的方法，将RGV的搬运任务详细动作写入NC程序中。828D数控系统与产线管控系统之间通过OPC UA协议通信，828D数控系统的PLC接收到来自管控系统的搬运任务后，解析搬运任务并自动选择、加载和执行NC程序，即可完成相应的搬运任务；整个系统配置主控PLC（西门子S7-1500系列产品），方便828D数控系统与产线内的加工中心进行底层动作逻辑交互，动作实时、精准、可靠；采用C#高级编程语言，开发用于调度RGV的OPC UA客户端，最后封装成动态链接库，方便管控系统对其进行调用。将调度功能放到底层控制系统，降低了管控系统功能模块之间的耦合度和管控系统代码出错的概率，减少了生产线管控系统人工调试成本；为了满足RGV在半自动或离线状态下实现物料搬运任务的需求，开发了基于easyscreen功能的RGV调度界面，该界面也可用于验证数据接口定义的正确性和合理性，为联合调试提前做好准备，极大缩短联合调试周期。

柔性自动化生产线中的物料运输车能否与加工设备进行精准交互、实现稳定的协调动作，决定了柔性自动化生产线的运行效率。本文试图将在RGV物料运输车控制系统、主控PLC和产线管控系统之间划分出清晰的界面，对各功能模块进行解耦，将RGV运输系统的调度功能开发成dll文件，降低产线管控系统在工控领域的技术门槛，缩短产线联调时间。

本文以某客户航空结构件五轴柔性加工生产线为例，阐述RGV物料运输车的控制与调度方法。该案例在实现对物料运输车进行全自动化控制

的基础上，增加了非全自动化加工模式。在新产品试制或者增加临时加工任务时，往往要在非全自动化模式下运行，操作人员可通过操作管控系统、物料运输车控制系统的二次开发界面，指令物料运输车完成物料运输动作，在完成搬运任务之后，及时更新线内资源状况变化情况，以此来提高产线的柔性度，建立良好的容错、防错机制，进一步降低各模块之间的耦合度。

## 1. 系统网络连接与划分

柔性自动化生产线实现自动化生

产，实现各设备单元的系统运行的前提是互联互通。

如图1所示，物料运输车控制系统（采用西门子828D系统）与生产线管控系统（基于C#.Net平台开发）采用OPC UA协议通讯。生产线管控系统可以直接将搬运任务下发至RGV控制系统；主控PLC在TIA平台组态连接了PN/PN耦合器的828D控制系统（控制RGV实现物料搬运任务，并反馈RGV状态）；物料运输车与3台加工设备之间的底层信息交互，通过西门子S7网络，由主控PLC中转。



图1 网络拓扑图

## 2.RGV业务分解和数据接口定义

对于每个工位，物料运输车都将执行取托盘和放托盘两个操作，由此，可将物料运输车的搬运任务划分为6类（见图2），具体如下：

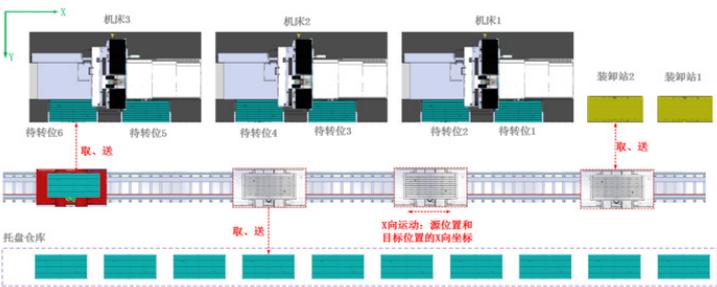
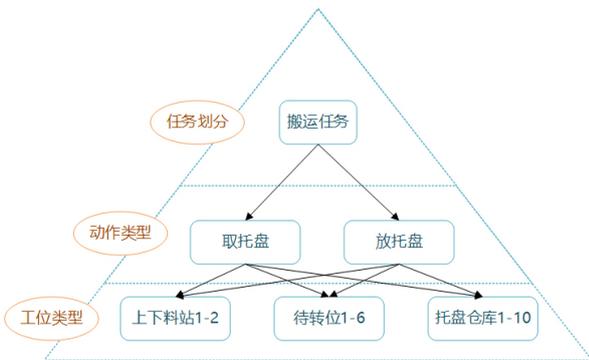


图2 搬运任务分解图

每套完整的托盘搬运动作都由一个取托盘和一个送托盘操作完成，由于取托盘的源位置和送托盘的目标位置的组合可以形成大量搬运动作，每套搬运动作都对应一个NC程序，会产生大量的重复NC代码编写工作，不符

合模块化编程思想，故将搬运动作拆分为独立的取和送两个动作。

同种类型，不同编号的工位，其NC程序的差异在于各工位的坐标值不同，定义为用户变量，在调用NC程序之前，首先为关联各工位坐标值的用户变量进行赋值，这样一个（取或送的）NC程序可以对应多个同种类工位的托盘交换任务。

生产线管控系统根据产线内生产资源状况、设备状态等信息生成物料搬运任务，如下图所示，定义一个搬运任务所需要的信息有：动作类型（取托盘或送托盘）、位置类型、位置坐标系、托盘编号（用于托盘校验）。

同时，生产线管控系统也需实时监控RGV的运行状态，本文中定义的RGV状态包括：RGV准备好，运行中（取托盘）、运行中（放托盘）、RGV空闲、RGV故障等，RGV正在执行的动作（指RGV取送托盘时执行的细分动作，RGV控制系统将这些状态推送给RGV调度模块，方便管控系统进行实时采集并形成生产日志）。

具体接口定义如附表所示：

变量名称	描述	地址	数据类型	默认值	读/写操作
RgvState	穿梭车状态	DB9000.DBB8	Byte	0	Read
RgvLocActual	托盘识别编号	DB9000.DBB9	Byte	0	Read
LocationX	穿梭车伺服X轴坐标值	DB9000.DBD12	Single	0	Read
LocationY	穿梭车伺服Y轴坐标值	DB9000.DBD16	Single	0	Read
RgvHasPallet	有无托盘判断	DB9000.DBB63.0	Boolean	0	Read
PalletNoActual	实际托盘编号	DB9001.DBB7	Byte	0	Read
AgvLocActual	AGV当前实际位置编号	DB9001.DBB8	Byte	0	Read
CmdType	动作类型	DB9000.DBB1	Byte	255	Write
SrcLocType	源位置类型	DB9000.DBB2	Byte	255	Write
DstLocType	目标位置类型	DB9000.DBB3	Byte	255	Write
SrcLocNo	源位置编号	DB9000.DBB4	Byte	255	Write
DstLocNo	目标位置编号	DB9000.DBB5	Byte	255	Write
PalletNo	托盘编号	DB9000.DBB6	Byte	255	Write
GetConfirm	确认执行取料动作	DB9000.DBX7.0	Boolean	0	Write
PutConfirm	确认执行取料动作	DB9000.DBX7.1	Boolean	0	Write

## 3.搬运任务解析与NC程序自动选择、加载和执行

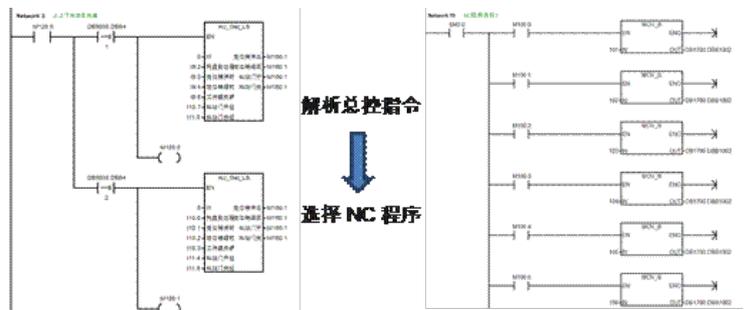


图3 搬运任务的解析、自动选择、加载梯图

如图3所示，828D数控系统具有通过PLC加载并启动NC程序的功能，激活相应功能参数MD51041，将NC程序加载入程序调用表，当需要加载某程序时，将该程序的编号赋值给数据块DB1700.DBB1002，然后选择程序开始（DB1700.DBX1000.7=1）即可。

#### 4.系统逻辑流程设计

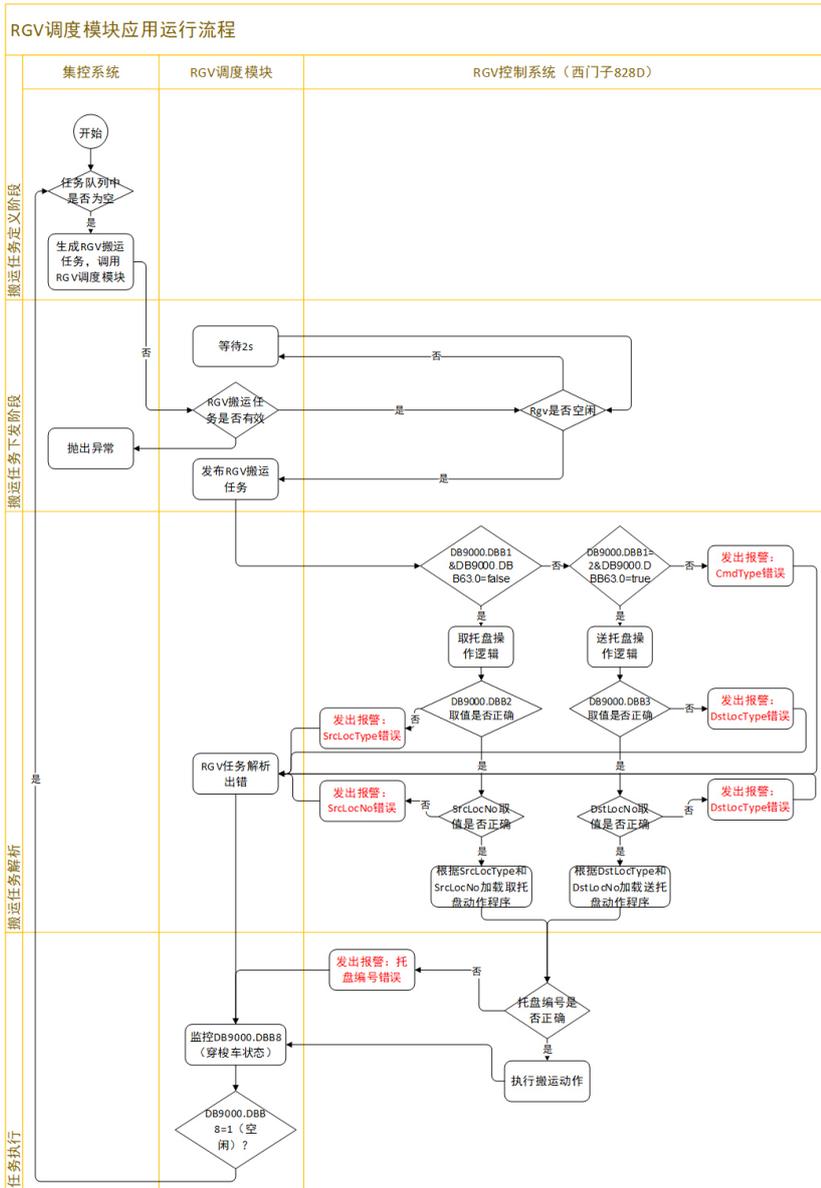


图4 RGV搬运动作逻辑流程图

如图4所示，RGV调度控制主要分为4个阶段执行，包括搬运任务定义阶段、下发阶段、解析阶段和执行阶段。搬运任务定义阶段主要由集控系统的RGV排程算法或人机操作界面进行逻辑判断后自动生成。在任务下发阶段，集控系统调用RGV调度模块，在判断RGV处于空闲状态且没有异常后，下发搬运指令给828D数控系统；在数控系统的PLC模块中完成RGV搬运任务的解析操作，判断任务种类（DB9000.DBB1，对应CmdType）、源位置种类（DB9000.DBB2，对应DstLocType或DB9000.DBB4，对应SrcLocType）、编号（DB9000.DBB3，对应DstLocNo或DB9000.DBB5，对应SrcLocNo）等

信息是否合法，如果合法，则加载相适应的NC程序（否则发出相应的报警信号），指令数控系统执行NC程序，完成相应搬运任务，在搬运过程中，PLC每完成一个阶段的动作，更改标志位，当RGV调度模块监控到其状态值为空闲后，整个系统返回到搬运任务定义阶段。

#### 5.基于C#.NET平台和OPC UA开发样例的RGV调度模块

828D数控系统配置OPC UA服务器，基于.NET Framework 4.5.1平台，采用C#编程语言，开发RGV调度模块RGV搬运任务调用动态链接库（.dll文件），方便产线管控系统对RGV调度子模块进行集成。调度模块应用流程如图5所示。

调度模块开发的总体思想就是将RGV穿梭车设备连接、任务调用和设备状态采集等功能集成到dll文件中，随时方便产线管控系统调用其相应方法，减少软件开发的费用的同时，降低了总控系统软件开发方在工控领域的门槛，将精力集中在他们更擅长的领域大幅缩短产线联调时间。

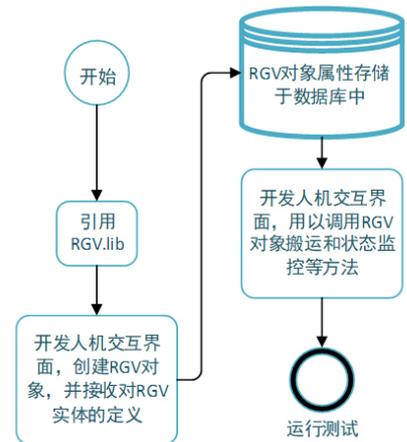


图5 调度模块应用流程

通过创建类库项目，在实体层定义RGV、RgvTask、RgvState、Pallet等类型，在其中定义相关的属性；在业务逻辑层定义RGV的OPCUA网络连接方法、RGV任务发布方法、RGV状态监控以及托盘校验

等方法；在数据访问层，定义RGV的数据库访问方法，实现RGV基础数据的增删改查功能，定义RGV的OPCUA服务器连接、任务发布以及状态监控等方法，以实现相应的功能。从总控系统对上述类库进行引用，即可使用类库中的类型、方法。比如在人机操作界面接收用户的输入信息，创建上述RgvTask类的实体，将输入信息赋值给RgvTask实体，在调用Rgv任务发布方法时，以实体的方式传递方法的参数。

在Rgv类中定义RGV设备的名称，类别，以及OPCUA服务器的IP地址、用户名及密码等字段和属性，除此之外，还需定义保存上述字段值所指向的数据库的类型、名称、密码等字段、属性，以维护RGV的基础信息，将RGV网络IP地址、用户名、密码、设备名称、类型等信息写入到指定数据库，方便今后对RGV进行网络连接时，通过数据库查询语句查找网络连接信息，避免重复的录入工作，以及信息丢失的情况发生。数控系统OpcUa开发样例中提供了服务器的连接、读取、写入以及监控变量的方法，此处不再赘述。此外，网络上也有很多数据库的增删改查的样例，此处在本文中不作详细描述。OPCUA服务器存储连接机制如图6所示。

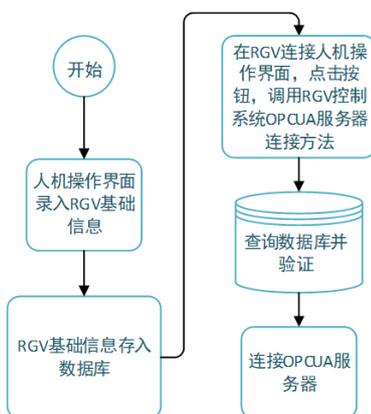


图6 OPCUA服务器存储连接机制

接下来重点描述RGV任务发布和

状态监控功能的实现过程和各功能单元的逻辑流程图。在总控系统中，可以通过RGV任务排程算法或操作界面生成搬运任务，最终以消息队列的形式搬运任务队列，当上一个搬运任务结束时，以完成搬运任务为信号，触发下一搬运事件开始执行。

在总控端以人机交互或读取配置文件的方式创建RGV对象，并对RGV对象的属性赋值，调用RGV对象的方法。

在基础数据层创建RGV基础信息、RGV网络连接实体以及RGV搬运任务实体类（Models）；通过人机交互界面可以创建上述实体的引用，并对引用的属性进行赋值。

在数据访问层对创建数据库访问方法，可将上述实体中承载的数据写入到数据库，方便调用；创建RGV网络连接方法、828D数据读写与监控方法，用以实现搬运数据在总控系统和数控系统之间的交互。

在业务逻辑层创建RGV基础信息和网络信息维护方法，将上述信息写入数据库，在必要时对数据库进行访问；创建RGV搬运任务创建方法，对该方法进行调用，可定义并发布RGV搬运任务；创建RGV状态采集方法，形成闭环控制机制，方便在对RGV下发任务之前，先进性逻辑判断其是否可以搬运任务。RGV任务创建部分代码如下：

```

1. public OperateResult SendExcuteInfo(TransCmdEnum? transCmd,int locType,int
posion,int palletNo)
2. {
3.     if (transCmd == null)
4.     return new OperateResult {Message = "无效的运输命令null"};
5.     AgvEntity entity = new AgvEntity();
6.     if (transCmd==TransCmdEnum.Get)
7.     {
8.         entity.CmdType = (byte) transCmd;
9.         entity.SrcLocType = (byte)locType;
10.        entity.SrcLocNo = (byte)posion;
11.        entity.DstLocType = Byte.MaxValue;
12.        entity.DstLocNo = Byte.MaxValue;
13.        entity.PalletNo = (byte)palletNo;
14.    }
15.    else if (transCmd == TransCmdEnum.Put)
16.    {
17.        entity.CmdType = (byte)transCmd;
18.        entity.DstLocType = (byte)locType;
19.        entity.DstLocNo = (byte)posion;
20.        entity.SrcLocType = Byte.MaxValue;
21.        entity.SrcLocNo = Byte.MaxValue;
22.        entity.PalletNo = (byte)palletNo;
23.    }
24.    var excuteResult = OpcUaDeviceOpr?.WriteEntityMuti(entity, x => new
25.    {
26.        x.SrcLocType,
27.        x.SrcLocNo,
28.        x.DstLocType,
29.        x.DstLocNo,
30.        x.CmdType,
31.        x.PalletNo,
32.    });
33.    //发送位置信息完成以后休眠100再执行
34.    Thread.Sleep(100);
35.    if (excuteResult?.IsSuccess == true)
36.    {
37.        if (transCmd == TransCmdEnum.Get)

```

```

38.     {
39.         var sendCmdResult = OpcUaDeviceOpr?.WriteEntitySingle<AgvEntity>(x => x.GetConfirm, true);
40.         return sendCmdResult;
41.     }
42.     else if (transCmd == TransCmdEnum.Put)
43.     {
44.         var sendCmdResult =
45.             OpcUaDeviceOpr?.WriteEntitySingle<AgvEntity>(x => x.PutConfirm, true);
46.         return sendCmdResult;
47.     }
48.     }
49.     return excuteResult??new OperateResult { Message="设备未初始化"};
50. }
    
```

### 6.基于EasyScreen的物流运输系统操作界面

为了调试阶段验证RGV与主控PLC之间通讯接口的合理性，设计RGV任务调用界面，通过输入相关接口数据，验证RGV搬运任务调用的正确性和稳定性，设计画面如图7所示，P7、P8代表装载站，P1-P6代表缓存工位，P9-P18代表托盘仓库。当需要调用取托盘任务时，在界面处按照以下流程操作：

(1) get\_position:选择1-18数字，其包含了工位种类信息和工位ID信息；

(2) 点击按钮“LD\_GET\_TAS”，在界面设计文件的.com文件中为任务参数赋值，例如：

```

PRESS(VS1)
if var1==1
WNP("DB9000.DBB1",1)
WNP("DB9000.DBB2",3)
WNP("DB9000.DBB3",1)
    
```

(3) 点击按钮GET\_START，验证任务种类，并启动NC程序（DB 1700.DBX1000.7=1）。

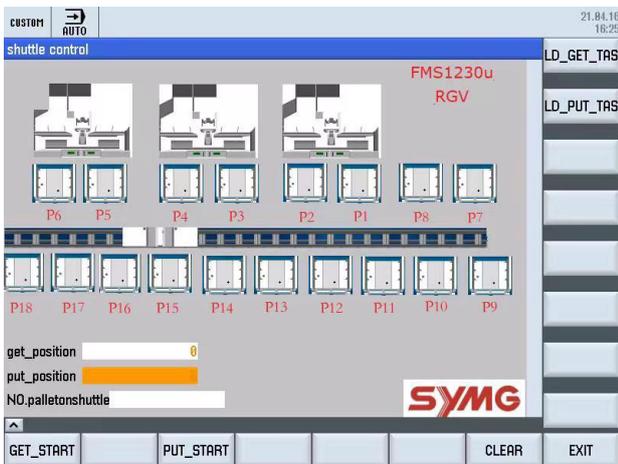


图7 RGV调度界面开发

### 7.应用实例

在自动运行模式下，柔性产线控制系统根据加工任务

的工艺路线、资源状况进行排产，调度物料运输车进行托盘及物料的搬运。物料运输系统的工位分为3个类型，包括：机床前待转位（共6个），上下料站（2个），托盘仓库（10个）。设备信息维护界面如图8所示。RGV调度模块调用逻辑流程图如图9所示。



图8 设备信息维护界面

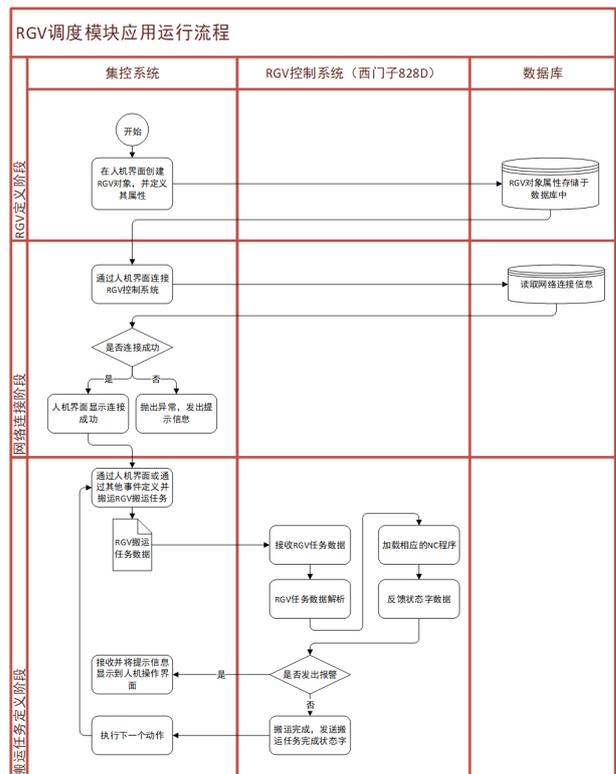


图9 RGV调度模块调用逻辑流程图

在828D数控系统各轴基础功能调试好后，将EasyScreen的物流运输系统操作界面的配置文件放入指定路径下，通过在界面操作以输入接口数据的方式下发搬运任务，PLC经过逻辑判断加载相应NC程序并启动，运行稳定、可靠。

在Visual Studio开发平台下，开

发简单客户端，在SQL Server平台下开发数据库应用脚本，建立设备信息数据库，用于验证数据库数据存储和访问功能，验证RGV控制系统的OPC UA服务器基础信息维护和查询功能。通过反复验证，该模块对OPCUA服务器访问及查询功能稳定可靠，在信息输入错误时会显示提示

框，无系统崩溃的情况出现。

开发RGV搬运任务下发和RGV状态监控功能验证界面，RGV可根据从界面获取的指令稳定地执行RGV搬运任务，并反馈RGV任务执行状态，RGV发出报警时，在RGV状态字上显示相应的故障信息。相关实例如图10、图11、图12所示。



图10 通过界面添加后数据库信息查询显示



图11 RGV调度模块验证界面

柔性线编号	任务名称	任务编号	任务描述	任务确认	自动模式	运输命令	运输命令描述	执行动作	执行动作描述
1	ZJ_VMC	0221201094648421	2139841148a3493dbe28ee93627ccade	从托盘仓库-1取物料(有托盘,有工件)->放到加工缓存-5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 取料	1	从托盘仓库1取托
2	ZJ_VMC	0221207101907178	9fdda0403c9a474eb64af43e5c31fec5	从托盘仓库-3取物料(有托盘,有工装,有工件)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 取料	0	

图12 总控系统集成验证

在总控系统引用前文所述的动态链接库，调用相应的功能方法，通过实践验证系统运行稳定可靠，系统无异常，总控系统与调度模块实现了低耦合的特征，由于底层设备的调度与控制已经调试完成，在总控调试阶段，几乎不需要更改底层逻辑，极大缩短了联合调试时间。

## 8. 总结

本文针对产线联合调试过程中常见的几个问题，包括：各设备单元调

试人员无法保证出勤、极低的调试效率、对管控系统软件较高的工控领域门槛要求等问题进行分析，发现将底层设备的控制放到管控系统软件中，无法保证各功能模块之间的低耦合的要求，如需修改某模块，往往需要花费大量的精力去关照相关联的其他模块是否也受到影响，因此，本文尝试将产线底层控制与上层管理系统进行划分，降低各功能模块之间的耦合度，并通过提前定义数据接口、利用easyscreen界面来虚拟联合调试过程

的方式，缩减了联调周期，减少联调等待时间，在实际应用中得到了很好的效果。

该研究同时适用于产线中单台加工设备，将加工中心组线所需要具备的独特的底层功能开发成动态链接库，同时总控系统只需调用该项功能即可，而无需考虑其底层的逻辑，降低总控开发人员在工控领域的职业门槛。需要补充的是，该类型的动态链接库的开发不要求数控调试人员具备特别强的C#编程能力。□

### 参考文献:

- [1]索利斯.C#图解教程[M], 姚琪琳, 译. 4版. 北京: 人民邮电出版社, 2013: 225-284.
- [2] SINUMERIK 840D sl/828DSINUMERIK Integrate forEngineering Access MyMachine /OPC UA[Z]. Siemens AG Division Digital Factory 2014.
- [3]SINUMERIK 828D Easy XML[Z]. Siemens AG Division Digital Factory 2021

# 工业物联网，让精益执行到底

北京星航机电装备有限公司 崔峰 袁毅 程实 周东宁

**【摘要】** 本文通过介绍利用精益的思想，通过车间生产现场多种设备信息的数据采集方法，并对这些采集的数据进行统计分析，挖掘出这些数据背后深层含义，为企业现场管理持续改进指明了方向，将精益执行到底，达到企业增效提质降本的理想目标。

## 一、概述

精益思想源于20世纪80年代日本丰田发明的精益生产（Lean Production）方式，精益生产方式让丰田获得了汽车的质量与成本的巨大优势，得到了业界的广泛认可。精益思想更进一步从理论的高度归纳了精益生产中所包含的新的管理思维，并将精益方式扩大到制造业以外的所有领域，把精益生产方法外延到企业活动的各个方面，不再局限于生产领域，从而促使管理人员重新思考企业流程，消灭浪费，创造价值。

限于技术的原因，早期为了执行精益的思想，对于现场的数据收集更多的是采用手动记账、人工描点描图来执行的，效率很低，而且数据的准确性、客观性、实时性等方面均无法满足。

近年来，由于工业物联网的不断发展，设备本身的开放性也越来越好，已经可以很方便的采集到现场人、机、料、法、环、测等各方面的数据，而且很多数据还可以做到完全自动化采集，采集的频率可以自由设

置，采集的广度、深度可以不断延伸，为精益思想的深入执行提供了可靠的技术保障。

本文试图从多源异构设备数据采集的角度来阐述数据采集的目的、意义和内容，帮助企业经营者去深层次解读这些实时采集的数据，从中发现生产现场内在的问题，让企业的生产现场的持续改进措施有的放矢，将精益思想执行到底。

## 二、工业物联网系统说明

### 1. 系统总体架构

近年来，随着对万物物联的需求不断增加，工业物联网也得到蓬勃发展，其系统总体架构如图1所示。

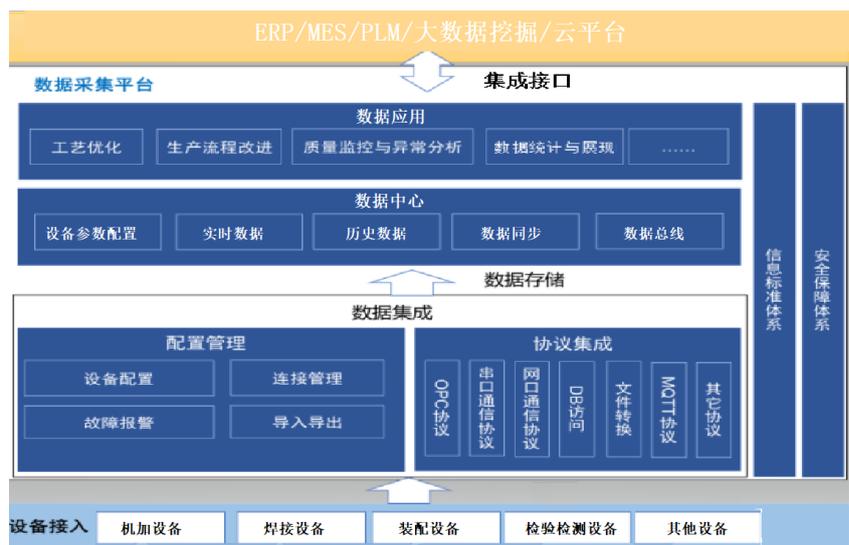


图1

## 2. 物联网采集内容

在生产现场，需要采集的信息类型主要包括：

(1) 人员数据：参与生产的人员编码，排班情况，上下班情况，工位登录等信息。

(2) 设备数据：设备（含各类生产设备及其附属工具（刀具，夹具，量具，辅具等）等）各种基本状态（开、关机，运行，故障等），运行参数等。由于设备类别众多，采集内容千差万别，多源异构类设备的采集内容详见下节描述。

(3) 物料信息：物料编码，数量，位置，状态等。

(4) 生产数据：任务工单号，各类生产过程信息等。

(5) 环境数据：车间生产环境数据，如环境温度，湿度，洁净度，振动噪声，光照等。

(6) 质量数据：各种质量检验检测结果信息。

## 3. 多源异构类采集设备分类

从上面的物联网采集内容来看，除了人员数据、物料数据和生产过程类数据等信息的采集，在现场数据采集中最常规的工作就是对多源异构类设备的各种相关信息的采集。生产现场多源异构型生产类设备包括下料设备，成型设备，机加设备，焊接设备，SMT设备，热处理设备，装配设备，检验检测设备，运输设备，存储设备等。

所有这些多源异构类设备的通讯接口形态、通讯协议、传输内容等各不相同，为了满足所有这些多源异构类设备的信息采集，就需要根据设备具体接口形态，开发对应的数据采集应用系统，形成多种标准数据模型、标准采集协议模型，构成统一的工业物联网数据采集平台。

标准数据模型包括如下表所示：

序号	模型类型	采集内容	备注
1	机加设备模型	设备基本状态，进给，转速，倍率，负载，坐标位置，报警信息（含报警号，报警内容），刀具信息（刀具号，刀具寿命，刀补），程序号，程序内容	设备基本状态包括关机，空闲，运行，故障，下同
2	焊接设备模型	设备基本状态，焊接电压，焊接电流，焊接速度，气体流量	同上
3	热处理设备模型	设备基本状态，各温区温度，升温曲线，降温曲线，炉压等	同上
4	检验检测设备模型	设备基本状态，检验检测结果报告	同上
	....		

## 三、应用实例

本文在此以我们企业在数字化车间项目的实施作为案

例，说明我们企业通过这个项目的实施给我们所带来的精益生产的效果。

在本数字化车间项目的实施过程中，我们紧紧抓住持续改进这一精益思想的核心，不追求一口吃一个胖子，但必须保障在PDCA循环中得到精益改进。工作思路基本上是按照如下循环执行：先将车间设备进行联网，采集相关人、机、料、法、环、测等多源异构数据，通过大数据分析发现相关问题，根据问题提出相关改进措施（即“P”）并执行（即“D”），再根据现场相关采集数据的反馈，对相关执行措施的效果进行评估（即“C”），调整（即“A”）改进措施并重新执行，反复按照这个PDCA循环持续改进。在这个循环过程中，数据采集就是日常工作中的一把尺子，它可以客观、实时、准确的反馈现场状态，让我们的计划、调整做到有的放矢。同时，随着现场精益工作的推进，它也会对数据采集提出更加严格、深入、细致的要求。

我们企业很早就对车间数控设备实施了数据采集，只是刚开始实施时只采集了网卡类数控机床，并且也只采集了设备的基本状态，对设备的运行关键参数未作深入关注。

后来，随着企业对车间生产精益化管理提升的要求，对于企业原有的网卡类数控机床（如FANUC，SIEMENS840D/DSL），我们都通过相关CNC所支持的通讯协议，如FOCASS，OPC，OPC UA等（详见上章采集方式说明）来采集设备的各种基本状态（如设备开关机，运行，故障等），同时对设备的关键运行参数都进行了详尽的数据采集，如常见的进给、倍率、转速、刀具信息（含刀具寿命，刀具补偿数据）等；

对于普通机床，我们通过设备改造，安装各类采集卡来采集，可以采集普通设备的基本状态和关键运行参数，如进给、倍率、转速和设备负载等信息。

对于检验检测设备的输出结果我们也开始实施了结构化数据的管理，将检测结果管理得更加精细。

同时，为了更完整、真实的反应设备的停机原因，我们将现场停机原因分为计划停机和计划外停机两大类，有计划的、每天固定时段的必须的停机定义为计划停机，如每天的早例会时间、中午必要的吃饭午休时间和下班前的固定交班时间等，其它类型的停机即为非计划停机。结合数控设备的DNC通讯功能，要求现场操作工人对于超过15分钟以上的非计划停机必须上报停机原因，进一步挖掘现场生产潜能。

通过上面这些内容的实施，多源异构类设备的基本状态和关键运行参数也都采集上来了，那么，如何解读、利

用这些数据? 如何来推进我们的精益思想, 为我们企业的精益生产提供可循环之道?

(1) 设备状态的解读与应用

生产车间设备布局图非常直观地展现了生产设备的状态及整体车间设备状态的全貌, 如图2所示。



图2 生产车间设备状态看板

首先, 从上述车间设备布局图中可以及时了解所有设备的当前状态, 当设备无故停机或故障时可以

及时发现, 以便及时安排设备维护人员及时维修, 缩短设备维修反应时间; 同时通过点击布局图中具体设备, 可以显示设备运行的详细信息, 故障时可以查阅设备故障原因, 可以提前准备设备故障维护的方法、零备件等, 以方便及时修复, 另外, 通过长期的故障原因的积累, 为设备维修的零备件的准备都有了合理的指导, 做到备件采购数量、采购时间合理及时; 如果明明安排了设备生产任务, 发现设备还迟迟进入不了生产状态(上班多时了, 机床还未上电或还在待机), 或者在正常开工后, 遇到未知原因无故停机, 发现这些问题时可督促现场工人加紧开工, 也可尽

快发现开工延误问题, 帮助工人尽快完成生产准备, 及早投入生产。

特别是当设备实时状态可以在移动端被工厂管理者24小时内全天候掌控时, 管理者可以不分时间、地域及时掌控到设备运行状态, 他可以及时安排资源去解决这些开工的障碍, 减少设备的无故停机, 从而提高设备的利用率, 实现现场精益管理的目标。

(2) 设备开机率、故障率、利用率、OEE的监控与应用

通过对采集数据的归集分析可得出精准的设备开机率、利用率、故障率、OEE等数据, 同时采用非常直观的图表方式展示给管理者每一台套设备的设备开机率、利用率、故障率、OEE等, 如图3所示。

机床编号	机床名称	运行率	元效率	合格率	综合效率	完成个数
HDCW-0000640-040	HDCW-0000640-040	100%	0%	100%	0%	0
HDCW-0000645-010	HDCW-0000645-010	100%	44.63%	100%	44.63%	95
HDCW-0000707-020	HDCW-0000707-020	100%	46.29%	100%	46.29%	171
HDCW-4800699-010	HDCW-4800699-010	100%	42.28%	100%	42.28%	90
HDCW-5800001-020	HDCW-5800001-020	100%	0%	100%	0%	0
HDCW-5800002-010	HDCW-5800002-010	100%	0%	100%	0%	0
HDCW_5800013_040	HDCW_5800013_040	100%	55.54%	100%	55.54%	331
HDSY-0000082-005	HDSY-TV-300-加工中心-0000082-005	100%	40.11%	100%	40.11%	166
HDSY-0000095-110	HDSY-LJ300-2SC900-数控车床-0000095-110	100%	32.16%	100%	32.16%	125
HDSY-0000096-040	HDSY-0000096-040	100%	51.4%	100%	51.4%	111
HDSY-0000102-080	HDSY-S33-数控磨床-0000102-080	89.92%	39.85%	100%	35.83%	112
HDSY-0000103-100	HDSY-S33-数控磨床-0000103-100	100%	31.24%	100%	31.24%	105
HDSY-0000104-120	HDSY-400FELS-半自动平衡去里机-0000104-120	100%	25.17%	100%	25.17%	150
HDSY-0000106-050	HDSY-TG3-100-50-高频淬火机-0000106-050	100%	49.47%	100%	49.47%	351
HDSY-0000111-005	HDSY-0000111-005	100%	33.75%	100%	33.75%	141
HDSY-0000118-030	HDSY-X-2站铣专机-0000118-030	100%	56.44%	100%	56.44%	476
HDSY-0000638-080	HDSY-S33-数控磨床-0000638-080	94.29%	44.37%	100%	41.64%	110
HDSY-0000639-100	HDSY-S33-数控磨床-0000639-100	100%	50.41%	100%	50.41%	111
HDSY-0000644-110	HDSY-LJ300-2SC900-数控车床-0000644-110	100%	28.57%	100%	28.57%	124
HDSY-0000706-040	HDSY-LJ300-2SC900-数控车床-0000706-040	100%	52.15%	100%	52.15%	111

图3 设备利用率、OEE统计图表

还可以很容易就计算出设备任意时间段的开机率、利用率、故障率、OEE的对比分析图, 如图4所示。

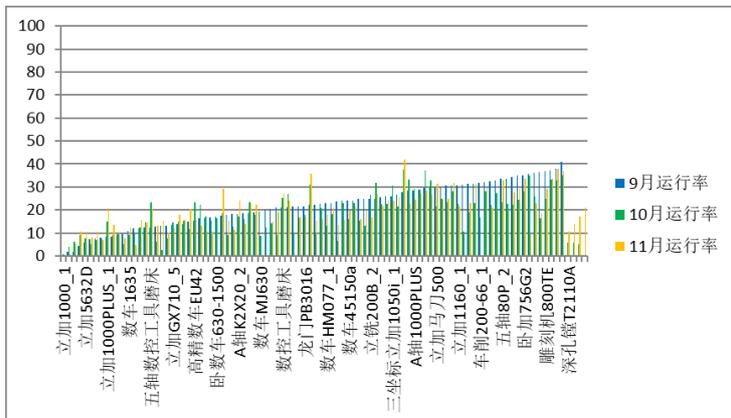


图4 生产车间设备利用率统计月度对比分析图表

设备的OEE(总体设备效率)是企业生产极为关心的内容, 一般来说, OEE的计算公式为:

$$OEE = \text{时间开动率} \times \text{性能开动率} \times \text{合格率}$$

合格率概念比较清晰, 一般没有异议。

时间开动率其实可以理解为利用率, 也有的厂家把它理解为开机利用率。

性能开动率有理解为: 净开动率 × 速度开动率, 也有的厂家简单处理为净开动率。速度开动率 = 理论加工时间 / 实际加工时间, 净开动率 =  $\sum$  实际加工时间 / 开动时间。

但不能只停留于此, 其实, 计算开机率、利用率、故障率、OEE并非本系统的目的, 要展开横向、纵向多维度的比较。分析各设备、各班组、各车间的总体、明细的在不同时段开机率、利用率、故障率、OEE情况, 分析在

哪些时间段开机率、利用率、故障率、OEE高，哪些时间段开机率、利用率、故障率、OEE低，找到影响设备OEE的关键因素，从而找到有效的解决方法。在其它的分项统计中，就需要重点分析造成设备待机、故障、出现不良品的主要原因，从而制定出有效的改进制度，改善这些影响OEE的关键参数；与同行业中的平均开机率、利用率、故障率、OEE对比，找准自己的定位；在开机率、利用率、OEE低时就不要盲目去采购新设备了，减少盲目的投资，尽量挖掘现有设备的潜力。

### (3) 设备状态甘特图的解读

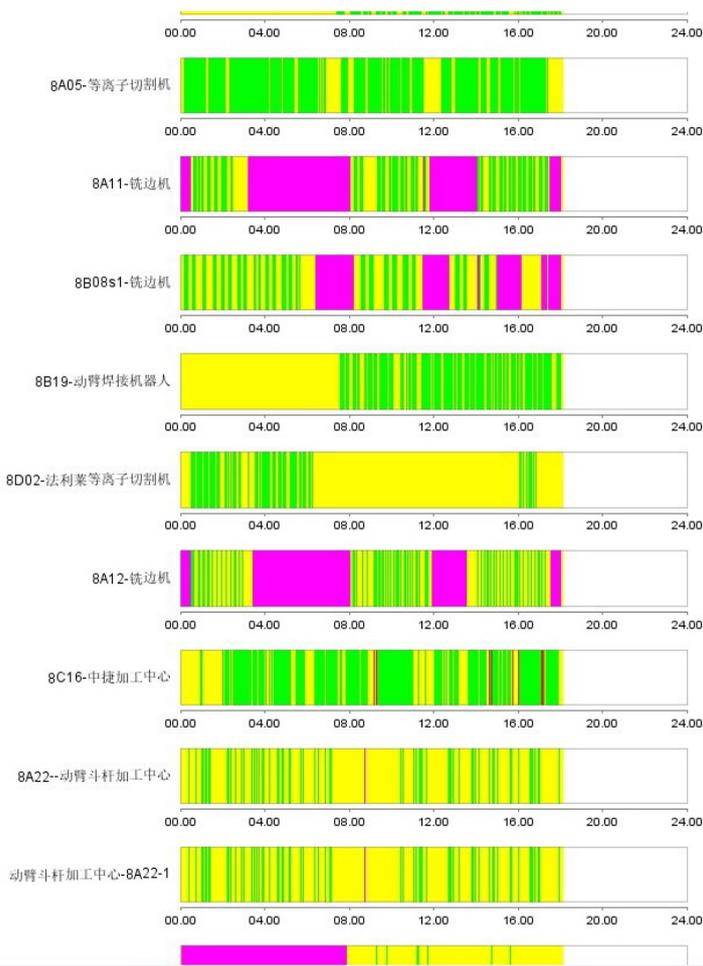


图5：设备状态甘特图

通过图5形象展示了各设备在不同时间段的状态，由此可以快速判断设备在各个时间段内的忙、闲、故障、关机状态，从而分析出各台设备的实际潜能；从设备各时段的加工、停机、故障等的时序分布，也能看出设备运行的平稳度、效率分布，从而为生产优化改进措施的制订、执行提供数据支撑。

### (4) 设备加工记录的监控与应用

车间生产过程中每台设备的开工数据、过程数据、完工数据的采集、统计分析报表。如图6所示：

机床名称	程序名称	开始日期	开始时间	结束日期	结束时间	间隔时间(分)	加工工
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	00:05:28	2019-05-25	00:11:49	3.68	6.35
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	00:15:04	2019-05-25	00:21:25	3.25	6.35
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	00:24:43	2019-05-25	00:31:05	3.3	6.36
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	00:34:09	2019-05-25	00:40:31	3.07	6.36
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	00:49:13	2019-05-25	00:55:35	8.7	6.36
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	00:58:46	2019-05-25	01:05:07	3.18	6.36
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	01:08:07	2019-05-25	01:14:28	3	6.35
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	01:18:52	2019-05-25	01:25:14	4.4	6.37
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	01:28:03	2019-05-25	01:34:24	2.82	6.36
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	01:38:53	2019-05-25	01:45:15	4.48	6.38
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	01:47:43	2019-05-25	01:54:04	2.47	6.34
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	02:05:47	2019-05-25	02:12:08	11.72	6.35
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	02:16:43	2019-05-25	02:23:04	4.58	6.36
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	02:26:14	2019-05-25	02:32:34	3.17	6.35
DNC01-025	LSA432.4.004-G-C2-F-01	2019-05-25	02:35:23	2019-05-25	02:41:44	2.82	6.36

图6 设备加工记录数据的采集、归集、统计分析表

通过记录设备加工开始和加工结束信号，我们可以很方便的得到一个个零件的加工记录，从分析每个零件的加工记录，我们可以得到每个零件的加工时间，两个零件之间的等待时间。这里的零件加工时间可是零件的实际加工时间（即实际工时），非常有实用价值，比原来的理论工时、计划工时等各种拍脑袋、经验工时更准确、更客观，它完全可以作为我们车间生产排产的重要依据；这里的两个零件之间的等待时间就是实际的零件间的准备工时，准备工时越低说明效率越高，我们需要尽可能的减少这期间的准备工时时间。往往同一台设备在不同时段、不同的操作工人操作时实际工时、准备工时是有差异的，这个实际工时、准备工时的差异及稳定性就可以展示出不同工人之间的工作态度、熟练程度。而且分析这个实际工时、准备工时的异常值往往可以预测零件的质量问题，如过短的实际工时可能是工人刻意加大了进给倍率、转速等的结果，可能会产生质量问题隐患；过长的实际工时则往往预示着在工作过程中不顺利，有过其它停顿延误等状态（如换刀、排屑等操作），同样存在产生质量问题的隐患。

### (5) 设备进给、转速、倍率、负载的的监控与应用

对于数控机床加工来说，所用的进给、转速、倍率、负载等均应该是通过工艺严格验证过的，不可随意的变更，或者说只能在一定范围内变更，进给、转速、倍率、负载过低有怠工的嫌疑，但进给、转速、倍率、负载过高，超出一定范围往往就会存在质量隐患，甚至对刀具的损耗、设备的损耗都会产生不利的影响，故对进给、转速、倍率、负载等工艺参数需要进行严格管控，当进给、转速、倍率、负载过高或过低，或其它异常的运行参数（如在设备最高额定转速的附近，倍率长期极高或极低等）时，我们让系统产生风险报警，提醒操作者、管理者及时纠正，避免零件、设备的毁损。同时，结合最终质量检验结果，我们可以做到对切削参数进行持续优化，不断改进生产工艺，以及通过切削参数与质量的追溯，为生产质量的稳定性、可追溯性奠定基础。

类似的，对于现场监控的数控设备其它运行参数，像

主轴温度、坐标范围、主轴噪声，焊接设备的焊接电压、焊接电流等等均有工艺范围要求，我们均需对它们进行有效管控(见图7)，超出正常范围时及时报警，以避免设备、零件的不必要损失，同时对这个工艺范围也会有一个不断优化的过程。通过长期的数据积累，我们就可以形成合理的优化生产工艺参数知识库，为新产品的生产提供优化工艺参数。所有这些都是精益思想成果的结晶。

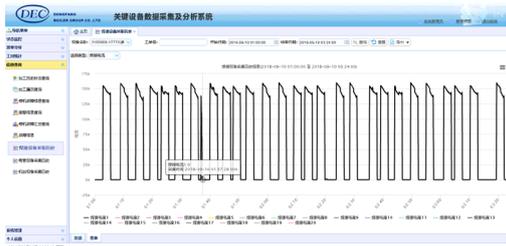


图7 设备焊接电流波动表

### (6) 设备停机原因的的监控与应用

如前所述，由于计划停机是日常工作中不可避免的停机时段，故我们在日常对计划停机的考量是比较严格的，需要对日常工作流程进行认真规划，将计划停机压缩到最短，余下的就是对非计划停机的详细管控。

通过实时采集设备非计划停机原因，可以定期汇总设备日常停机的原因，将其发生的频率、时间作个从高到低的排序，找出前十名主要停机原因，这个就是我们日后需要优化改进的突破口，如何有效减少这前十名不必要的停机就是我们生产管理的一个重点。

如图8所示就是我们当前的状态：

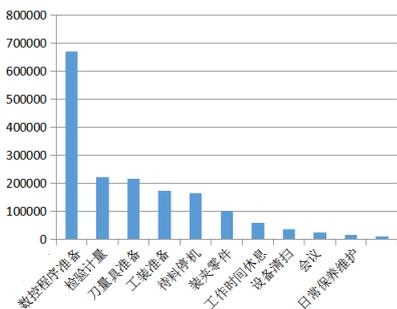


图8 设备停机原因汇总分析表

NC程序准备时间比较长，在我们的意料之中，原来采用在机编程或单机下载，NC程序准备时间更长，程序质量更是无法保障。我们实施DNC系统后已有较大改善，但还是偏高，现正设计通过MES与DNC系统的集成，实现NC程序在扫码开工后按照生产任务所需自动下载，减少了人工请求NC程序的环节，既提高了NC程序下载速度，也减少了人工请求下载可能的错误，此处的效率提升是可以预见的；检验计量原来只是感觉不太顺畅，没想到居然占用了如此大量的生产等待时间，重点改进如下：一方面尽量减少送检，让计量人员多跑现场，另一方面增加和优化现场检验的手段和方法，通过检测设备的联网，实现检验检测数据自动入网，并且可以检测数据的结构化存储，大大提高现场检验的效率，也让现场质量管理形成闭环，精益思想进一步推进。

刀量具的准备时间问题一直是个难题，车间也开始了刀具管理的实施项目，准备成立刀具准备小组，提前一个班次准备刀具，改刀具领用制为刀具配送制；同时，计划将对刀仪的输出数据直接与CNC系统对接，在刀具换到机床后自动将对刀数据自动下发到数控机床中，减少了人工录入刀补数据可能产生的错误，也可以大大提高刀具准备效率...

如此这般抽丝剥茧的一顿操作，充分利用精益制造的持续改进的精髓，生产效率肉眼可见的提高了，月底再汇总时，非计划停机时间减少了20%，设备利用率平均提高3%。原来设备主管经常抱怨设备不够，需要采购新设备的提议也自然减少了，当然，从中也发现了个别设备的利用率一直就很低，原因是这类设备的功能完全可以被其它更便宜的设备所替代，成本更低，效率还更高，也为后

期设备的采购选型指明了方向。

上面我们只是列举了我们部分采集数据的应用，还有很多的我们采集数据可以为生产现场的精益管理带来助力，如设备能耗、主轴温度、刀具寿命等等，我们也可以充分利用持续改进的理念，再挖掘更多的数据采集项，为现场生产改进所用，将精益执行到底，为企业带来更大的效益。

## 四、结束语

本文通过介绍作者在本单位的数字化车间项目的实践，充分利用现场多源异构设备采集的数据为企业的精益生产提供了很多有益的改进思路。

总之，通过多种方式、多维度的数据采集，我们可以实时、客观、准确地采集到生产现场的多源异构设备的各种数据，利用这些数据可以及时准确的发现生产现场存在的实际问题，为我们现场精益改进提供完善的数据支持，利用好数据采集这把客观的尺子，验证我们的改进方式、方向是否正确，灵活利用精益思想的PDCA循环流程，持续优化现场管理措施，优化生产决策。

最后，也希望大家能紧扣精益思想的持续改进的核心，通过不断改进现场数据采集的方法、内容，不断总结分析现场数据带给我们的各种启示，并且将持续改进的精益思想应用到企业经营管理的方方面面，为我们企业的精益思想的整体推进带来助力，从而实现企业内部的提质、降本、增效，为企业的健康发展贡献自己的聪明才智。□

#### 参考文献：

- [1] 袁毅，等，数据采集、助力企业降本增效[J]. 智能制造, 2021(5): 56-63.
- [2] 周本华, 吴旭光, 等. 现场数据采集在智能制造系统中的应用[J]. 制造技术与机床, 2016(6): 33-39.

# 新型等离子切管机技术的应用

滕州市三合机械股份有限公司 张成龙 徐宝卫 乔健 张威

## 一、概述

随着现代机械加工业地发展，对切割的质量、精度要求的不断提高，对提高生产效率、降低生产成本、具有高智能化的自动切割功能的要求也在提升。从现在几种通用数控切割机应用情况来看，火焰相贯线切割机功能及性能已比较完善，其材料切割的局限性（只能切割碳钢管），切割速度慢，生产效率低，其适用范围逐渐在缩小，市场不可能有大的增加。

等离子相贯线切割机具有切割范围广（可切割所有金属材料），切割速度快，工作效率高等特点，未来的发展方向在于等离子电源技术的提高、数控系统与等离子切割配合问题，如电源功率的提升可切割更厚的板材；精细等离子技术的完善和提高可提高切割的速度、切面质量和切割精度；数控系统的完善和提高以适应等离子切割，可有效提高工作效率和切割质量。

目前，我国机械工业钢材使用量已达到 3 亿吨以上，板材、管材的切割量非常大；随着现代机械工业的发展，对切割加工的工作效率和切割质量的要求也同时提高，进一步提高生产效率、降低生产成本、制作高智能化的自动切割设备的要求也在提升。

基于这种市场需求，并通过广泛的市场调研，我司决定开发新型等离子切管机。此种切割机具有切割范围广，切割速度快，工作效率高等特点，未来的发展方向在于等离子电源技术的提高、数控编程软件及系统与等离子切割配合问题；精细等离子技术的完善和提高可提高切割的速度、切面质量和切割精度；数控软件及系统的完善和提高以适应等离子切割，这些相关配套设施的发展会有效提高

切割的工作效率和切割质量。

根据国外国内市场上同类型产品具备的这些通用特点，公司成立了课题开发小组，小组技术人员借助公司已经开发的系列的 PC 等离子板类切割机的技术，以及制造过程中总结的钣金类制作的生产经验，从目前使用的设备中存在的问题和产品质量入手进行具体情况分析，结合目前国内国际市场上存在的等离子切管类相似产品的研究，形成了一个可调整、易实现的、符合我们企业制造特点的产品设计方案。

## 二、设备介绍

### 1. 总体设计方案

钢管由主轴带动旋转，同时割炬枪只需进行轴向移动即可实现切割要求，所以要实现两轴联动，并且要求能进行人机对话，编程及操作方便，诊断功能及纠错能力强，具有显示和通信功能，缩短非生产准备时间，提高生产率。标配为等离子切割方式，选配弧压手动调高实现等离子切割。

### 2. 适用材料

(1) 能在主管上切割多个不同方向、不同直径的圆柱相贯线孔，满足支管轴线与主管轴线偏心和非偏心的垂直相交的条件。

(2) 能在支管端部切割圆柱相贯线端头，满足支管轴线与主管轴线偏心和非偏心的垂直相交、倾斜相交的条件。

(3) 能在圆管端部切割斜截端面。

(4) 能在圆管上切割焊接弯头，“虾米节”两端斜截

断面。

- (5) 能切割与环形主管相交的支管相贯线端头。
- (6) 能切割变角度坡口面。
- (7) 能在圆管上切割方孔、腰形孔。
- (8) 能进行钢管截断。

### 3.主要结构

新型等离子切管机主要由主轴箱升降部分（1#）、割头部分（2#）、支架部分（3#）、电气箱部分（5#）组成。机械系统组成框图如图1所示

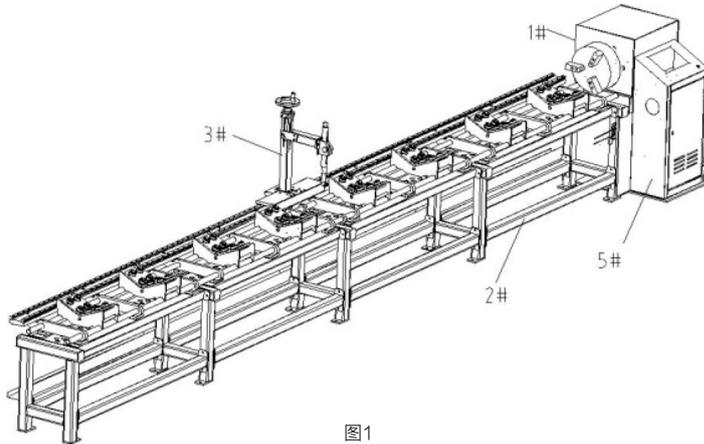


图1

机械系统的主要作用是支持割炬部分、主轴部分完成 X-Y 平面的联动，并且割炬可以在 Z 平面上独立控制升降，以调节割嘴和钢板间的距离。

## 三、设备各组成结构设计

### 1.主轴箱升降部分

此部分结构主要是完成 X 向工件的旋转。为实现工件的旋转，选用主轴和气动卡盘来实现。利用气动卡盘手动夹紧管件，气动卡盘安装在主轴一端，伺服电机通过齿轮带动主轴运动，主轴旋转带动卡盘旋转运动，实现割件切割时的旋转运动。如图2所示

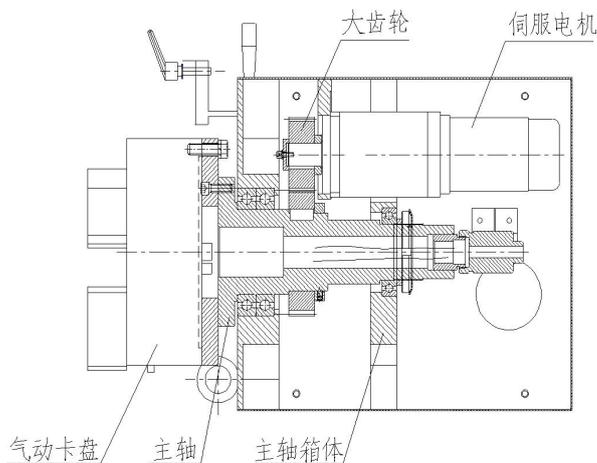


图2

为了完成装夹的工件的切割位置的调整，采用两个锥齿轮相啮合，带动丝杠与丝母相配合，转动手轮，手动调整主轴箱的高度，来确定管件切割位置。这种结构不同于以往的相贯线切割机，以往的相贯线切割机大部分是通过调整支撑结构来调整管件的切割位置。这种调节方式，设置简单、易于操作，调节精度较高。如图3所示。

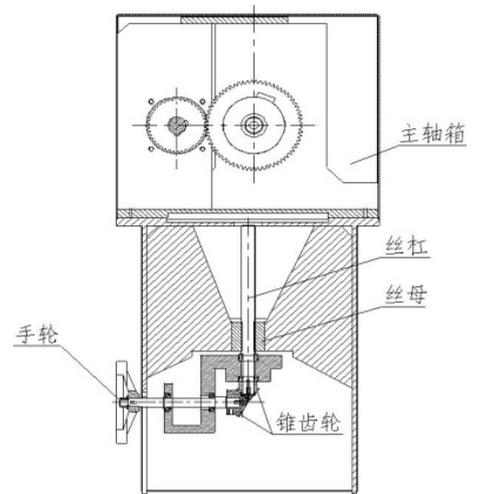


图3

### 2.割炬部分设计

如图4所示，该部分可实现割炬沿 Y 轴方向的纵向移动。为实现运动的可靠性与稳定性，保证 Y 向运行精度，采用斜齿轮、齿条、线性滑轨相配合使用的结构。即左右两条线性滑轨和齿条均安装在纵向支撑导轨上。伺服电机、割炬支撑架通过电机座固定在线性导轨的线性滑块上，伺服电机通过斜齿轮与齿条相啮合沿 Y 轴方向纵向移动，即实现割炬在 Y 轴方向的纵向移动。Z 轴手动控制升降以调节割嘴和工件间的距离。为了保证割炬升降的精度与准确性采用丝杠与丝母相配合的结构，手轮旋转丝杠与丝母相配合，带动割炬升降，来调整割嘴与工件间的距离。

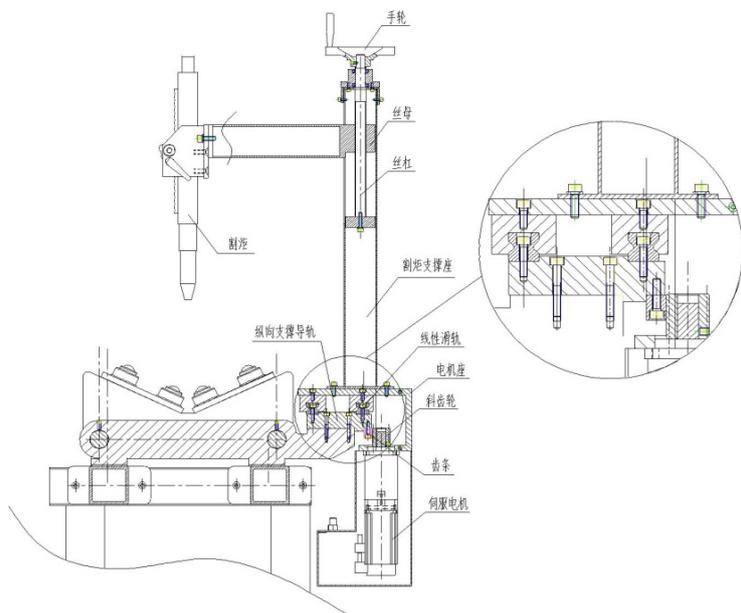


图4

### 3. 支撑部分结构

如图5所示，支撑结构主要包括支撑底座、连接杆、圆管支架、万向球支撑座等组成。支撑底座是切割机的关键部件，它的作用是支撑工件实现旋转运动，并安装纵向导轨实现割炬横向运动。设计中要充分考虑支撑底座强度、刚度和工艺性，要对其强度及刚度进行校核。支撑底座采用矩管焊接，焊接牢固、稳定，支撑强度大，不易变形。连接杆与圆管支架固定在支撑底座上端，万向球支撑座放在连接杆上，且在连接杆可轴向滑动。每个万向球支撑座上，固定 8 个万向球，左右对称排布，用于支撑管件，此结构，能使在其上运行的工作板、物料箱等物体能非常灵活的滑移，从而大大减小工人的劳动强度，安装方便（只需将万向球固定在平台上即可），传动灵活，性能可靠，维护简单。

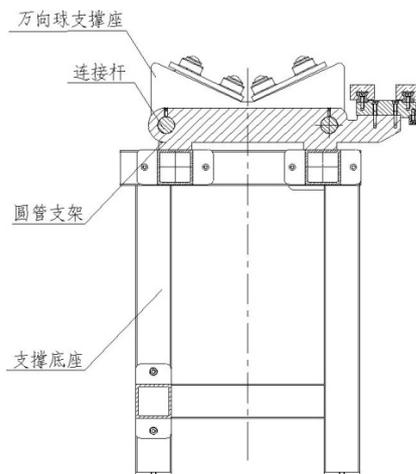


图5

### 4. 控制系统的可靠准确性

机床控制元件均选用世界知名品牌 LG 的 PLC 控制，其他控制元件选用高品牌具有 CE、UL 或 CSA 认证的产品，其高质量和高稳定性保证了机器运转的稳定性和可靠性。

### 5. 技术参数性能指标

根据市场调研，结合用户参考建议，研发的新型等离子切管机技术参数和性能指标为：最大的有效切割直径 300mm；最小的有效切割直径 50 mm；主机导轨 6m，相贯线导轨 6m；数控等离子切割壁厚 1-12mm；整机运行速度 5.08m/min；机器承重 150kg/m；机床体积（长×宽×高）（mm）7000×930×1630。

### 6. 主要创新点

(1) Y 轴：斜齿轮与齿条相啮合，线性滑轨，带动机头沿着钢管轴向移动。此结构，运动平稳，运行精度高。

(2) 采用两个锥齿轮相啮合，带动丝杠与丝母相配合，手动调整主轴箱的高度，来确定管件切割位置。这种结构不同于以往的相贯线切割机，以往的相贯线切割机大部分是通过调整支撑结构来调整管件的切割位置。这种调节方式，设置简单、易于操作，调节精度较高。

(3) 支撑结构。支撑结构主要包括支撑底座、连接杆、圆管支架、万向球支撑座等组成。支撑底座采用矩管焊接，焊接牢固、稳定，支撑强度大，不易变形。连接杆与圆管支架固定在支撑底座上端，万向球支撑座放在连接杆上，且在连接杆可轴向滑动。每个万向球支撑座上，固定 8 个万向球，左右对称排布，用于支撑管件，此结构，能使在其上运行的工作板、物料箱等物体能非常灵活的滑移，从而大大减小工人的劳动强度，安装方便（只需将万向球固定在平台上即可），传动灵活，性能可靠，维护简单。

## 四、市场前景

新型等离子切管机功能可靠、软件易学易懂，机器操作方便，装卸管材比较简单，切口下料效率较高，管件相连接的切割面的质量以及弧线能较好的吻合，是管类焊接打破口的高效生产设备。产品经用户使用，效果良好，满足了客户的使用要求，特别是简单易用的编程操作系统更是得到用户的青睐。所以我们开发的等离子切管机是成功的，很具有推广价值。□