

2025年1~5月机床工具行业经济运行简讯

综合中国机床工具工业协会获得及整理统计的数据信息，现将2025年1~5月中国机床工具行业运行主要指标简介如下。

机床工具全行业完成营业收入4048亿元，同比下降1.3%。其中，磨料磨具同比下降13.4%，其余分行业均有不同程度增长，金属切削机床同比增长14.5%，金属成形机床同比增长12.0%。

金属加工机床新增订单同比增长12.9%，在手订单同比增长19.1%。

全国规模以上企业金切机床产量33.2万台，同比增长13.3%；金属成形机床产量6.9万台，同比增长11.3%。

机床工具产品进出口总额134.3亿美元，同比增长5.2%。其中，进口额41.9亿美元，同比下降0.7%；出口额92.4亿美元，同比增长8.1%。金属切削机床进口额20.0亿美元，同比持平；出口额24.3亿美元，同比增长10.7%。金属成形机床进口额2.5亿美元，同比下降17.2%；出口额13.4亿美元，同比增长36.2%。（机床协会信息统计部）

米尔斯推出第二代 DVF 5000 加工中心

米尔斯数控（Mills CNC）现已推出新一代 DVF 5000 系列机床，该系列在成功的前代机型基础上实现了全面升级。新款机型在加工精度、处理速度及加工灵活性方面均有显著提升。



作为 DN Solutions 和 Zayer 机床在英国的分销商，米尔斯数控此次发布的第二代 DVF 5000 系列是同步五轴加工中心，旨在接替 2018 年首次推出的初代 DVF 5000 系列。

其改进之处包括：X、Y、Z 轴快移速度提升至 42 m/min，加减速能力达到 0.4g；同时，B 轴和 C 轴旋转速度提高至 25 r/min，换刀时间缩短至 1.3 s。标准配置的第二代机型搭载直联式 18.5 kW/15,000 r/min 主轴，可高效加工多种材料。为满足更高加工需求，可选配高扭矩内置式 30 kW/15,000 r/min (230 N·m) 主轴，或 37 kW/20,000 r/min 的高速主轴。

采用精密的滚柱式线性导轨和高精度 (0.0001°) 的 B/C 轴旋转机构，并辅以可选的 IKC (智能运动补偿) 系统实时监测并修正旋转轴误差，确保即使在长时间连续加工过程中也能保持卓越精度。第二代 DVF 5000 可加工比前代更大的工件，其配备的 630mm 直径回转摆动工作台，能轻松应对直径达 600mm、高度达 500 mm 的工件。

DMG 森精机重新开放奈良园区，增强自动化系统提案能力

2025年4月，DMG MORI 将机床生产从奈良转移到伊贺（三重县伊贺市），并将原机械装配区全面改造成专门从事自动化系统的工厂，将其定位为“全球最大的系统解决方案工厂”。

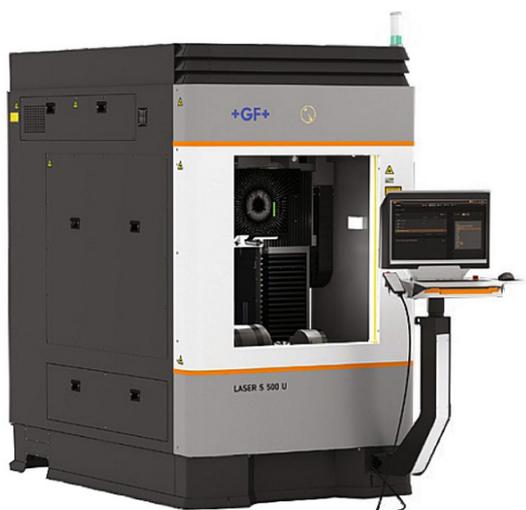
系统解决方案（也称为交钥匙系统）是将机床与自动化设备和软件集成在一起的综合性方案，以满足客户的独特需求。这些系统可以包括关节机器人、自主移动机器人 (AMR)、自动托盘交换系统和自动工件交换系统，它们与机床以电气和数字方式集成，形成统一的自动化系统。

DMG 森精机将奈良园区总建筑面积 40,000 平方米中的一半 (20,000 平方米) 划定为自动化系统组装专用区域。包括厂房翻新和设备安装在内的总投资额约为 90 亿日元。该区域可建造长度超过 100 米的自动化生产线。在此区域，工程师们可以根据客户需求定制生产线，验证加工精度和生产效率，然后拆卸系统进行装运。装运后，系统将在客户现场重新组装。这种方法显著缩短了客户工厂投产所需的交付周期。

激光微加工技术新突破：LASER S 500 U

乔治费歇尔加工方案 (GF Machining Solutions) 近日发布了其微加工领域的最新创新成果——LASER S 500 U。

这款五轴激光烧蚀设备正在革新碳化硅（SiC）晶圆的微加工工艺，为传统晶圆加工方法提供了极具前景的替代方案。当前全球趋势正日益青睐将碳化硅（SiC）作为硅的替代半导体基础材料，特别是在高功率应用领域。



传统制造工艺更适用于硅（Si）基应用。然而，生产碳化硅（SiC）晶圆需要加工硬度极高的材料，且现有技术尚未完全优化。在制造过程中，通常为 6~8 英寸的 SiC 晶圆需经多次处理，其极高的硬度和脆性大大增加了崩边、碎裂或破损的风险。

为降低此风险，SiC 晶圆需按照 SEMI 标准进行边缘轮廓处理（通常为 R 型或 F 型）。乔治费歇尔加工方案的最新力作 LASER S 500 U 拥有多项显著优势，可极大优化制造流程：其非接触式技术消除了刀具磨损，确保了工艺可靠性，并在大规模生产运行中始终保持一致的品质，且无破损风险。该设备将处理时间从数小时大幅缩短至仅需几分钟，并通过省去昂贵的磨削工具，显著降低了单件成本。

此外，其专有 CAM 软件 LaserSUITE360 能够灵活创建任意边缘轮廓、缺口形状或晶圆尺寸。

兄弟工业在印度西部建立机床服务基地

兄弟工业公司在印度浦那开设了一家新的服务中心，并配备了机床展厅——“兄弟工业技术中心浦那”。这是该公司在印度的第三家技术中心。随着人口增长和经济增长，预计印度机床需求将进一步增长，尤其是在汽车和摩托车行业。公司将加强在西部地区的营销和技术支持，此前该公司在该地区尚未设立基地。

新中心总建筑面积为650平方米，其中展厅面积为

190平方米。中心拥有五名员工。展厅将展出“Speedio 系列”的五款小型加工中心（MC）：S700Bd1、S700Xd2、R450Xd1、M300Xd1-5AX和H550Xd1。届时还将举办研讨会。该中心还将接受客户的零件加工咨询和试加工申请。

新型 Formtracer 重新定义精密测量

三丰（Mitutoyo）的 Formtracer AVANT 系列产品线迎来新成员——FTA-H3000。该型号创新性地将表面粗糙度测量与轮廓测量功能集成于单一驱动单元中。它的加入使得该系列阵容更趋完善，该系列还包括：专攻表面粗糙度的 FTA-S3000；用于轮廓分析的 FTA-C3000 和 FTA-C4000；以及配备双驱动单元的 FTA-D3000 和 FTA-D4000。Formtracer AVANT 系列为满足高精度测量需求提供了一整套多功能、全方位的解决方案。



传统上，测量表面粗糙度与轮廓需使用两台独立设备或驱动单元。FTA-H3000 仅需一次操作即可完成两项测量，显著降低了人为误差，同时最大化提升了生产效率。该设备专为追求高效且绝不妥协精度的制造商和专业人士设计，以前所未有的方式简化了测量流程。

FTA-H3000 的标志性特性之一是其 16 毫米的 Z1 轴测量范围，相较前代机型提升了 3.2 倍。此项增强使其能够轻松测量具有大高度差的工件。

精度是 FTA-H3000 的核心所在。Z1 轴精度达到 (0.5+0.02h) 微米，且直线度噪声极小，用户可完全信赖其测量数据。该系统符合 ISO: 21920 及其他行业标准，确保性能可靠且稳定。此外，其测针装卸机构实现了轻松互换，提供多种几何形状的测针以满足多样化的测量需求。

《破茧：国产机床的蝶变之路》

——“坚守与突破”主题系列专访（1）

高端数控机床是制造业强国的战略基石，其发展水平直接关系到国家产业安全与竞争力。核心技术受制、产业化路径漫长、市场信任壁垒，曾是中国机床行业难以逾越的鸿沟。为探寻破局之道，中国机床工具工业协会在CIMT2025展会调研基础上，WMEM杂志编辑部启动“坚守与突破”主题采访，深度挖掘行业标杆企业的突围逻辑与实践智慧。

本期聚焦三家机床及功能部件制造商——北京伊贝格、上海星合、江苏博谷。他们以差异化路径诠释“坚守”与“突破”的辩证统一：

- 伊贝格十年攻坚五轴联动铣头国产化，以正向设计+快速迭代终结西方垄断。经历资本寒冬后，借力融资构建“北京研发+浙江生产”双核模式，实现核心部件自主可控与规模化量产，国产高端铣头市占率超50%。

- 上海星合从齿轮刀具起家，凭借超级工程师+超级公司的运行生态，突破磨齿机精度极限（逼近国际0级标准）。坚持正向设计、持续迭代，并购整合拓展“磨齿机+加工中心”双产品线，以规模反哺研发投入，实现技术自主与商业扩张的平衡。

- 江苏博谷在初创失利后精准锚定“大厂看不上、小厂做不了”的超精密硬车削细分市场。在资本的有力支持下，凭借核心技术的复用，加之智能化与复合化升级，成功构建了车削→磨削→车铣复合/车磨复合的产品矩阵，切入航空航天、新能源领域，订单排至2026年，实现从濒临倒闭到年销近亿元的逆袭。

三家企业殊途同归，揭示破局核心密码，即：技术定力是根基；战略定位是关键；资源整合是引擎。

本组报道系统梳理三家企业在创新研发、商业化落地、客户应用三大维度的实践经验，涵盖经营理念、研发体系、质量管控、人才梯队等转型要素。他们的探索证明：中国机床产业的破局，既需“十年磨一剑”的坚守，更需“向难处亮剑”的突破。此为系列开篇，后续将持续呈现更多企业的突围样本，为行业高质量发展注入思考与动能。

让机床行业不再为“头”烦恼

——访伊贝格机械有限公司总经理邵传伟

中国机床工具工业协会 李华翔 吴晓健

“关键核心技术与高端装备对外依存度高”一直是制约制造业升级的瓶颈。五轴联动铣头作为五轴机床的核心功能部件，过去很长一段时间被欧洲部分知名厂商垄断。近几年，这一局面有了显著改变。伊贝格机械有限公司（以下简称“伊贝格”）通过长期技术积累和研发投入，成功实现五轴铣头国产化，被央视誉为“高端制造的‘金刚钻’”。2022年，国产高端铣头市场占有率突破50%，终结了发达工业国家的垄断地位。

在今年CIMT2025展会上，伊贝格展台共展示了8款典型产品。值得注意的是，展会现场配套伊贝格五轴联动铣头的二十多家机床主机厂展品遍布多个展馆，这也在很大程度上提升了伊贝格在摆头领域的品牌形象。

近日，我们走访了伊贝格位于廊坊的厂区，与公司总经理邵传伟就企业发展历程、产品特点及未来规划进行了深入交流。以下是我们访谈的主要内容。



一、早期创业，奠定基础

伊贝格能聚焦高端摆头并取得成功，与邵传伟总经理丰富的从业经历密不可分。

20世纪90年代初，自动化控制专业毕业的邵传伟进入首钢，从事数控机床维修工作。之后，他先后在哈挺、法信两家外企负责现场服务以及数控机床销售。经过多年技术经验积累，2000年他创业之初，代理销售瑞士IBAG公司电主轴。然而，邵传伟并不满足于仅仅做国外产品的代理商。2003年，他做出了一个关键决定：创建自己的公司实体，从销售转向自主研发制造，并最终在消除齿轮箱上取得成功，这也为他迈向更高难度的摆头研发领域奠定了基础，后来消除齿轮箱逐步进化成为大扭矩机械摆头。

谈及选择摆头领域的初衷，邵总解释道：“当时认为这一领域竞争较小，可以专注做别人尚未突破的事。若选择已有竞争的赛道，难免陷入红海。反复权衡后，最终决定聚焦摆头研发。”

带着这份‘啃硬骨头’的决心，邵传伟和他的伊贝格团队踏上了更为艰难的征程——自主研发高精度五轴联动双摆铣头。

二、十年磨砺，技术突破

正是基于对市场机遇和技术挑战的准确判断，2009年7月，邵总在北京通州区正式创立伊贝格机械有限公司，带领团队自主研发高精度五轴联动双摆铣头（机床核心功

能部件)。公司坚持正向设计、快速迭代的研发策略,历经十年艰辛探索,形成了涵盖10大系列、100多个品种的产品谱系(全球最全),累计获得8项发明专利,实现了90%以上零部件的国产化,成本仅为进口产品的50%-70%。

“我们从2009年开始做第一个摆头,一直到2019年,这十年做了各种系列的摆头。同时开始市场推广,在这个过程中,基本上就把系列做齐了,沉淀了很多东西。”

邵总总结道:“这十年间的技术积累主要来自几个方面:第一,公司自主研发摆头;第二,通过维修服务,替国外品牌做售后,维修各种摆头,借鉴了很多经验;第三,国家专项,那时许多机床主机厂、高校获得的国家专项,其中的摆头部分通常都转包给我们来完成。”

“我做过的摆头不少于100种。根据用户需求需要设计相应的摆头,现在可以做到5分钟给出一个方案。”邵总笃定地表示。

此时的伊贝格,在技术积累和产品谱系上已形成规模,然而,高端制造的研发之路从来不是一帆风顺的。



三、遭遇困境, 资本助力

摆头项目不仅技术门槛高,资本门槛也很高,每年都需要投入大量研发和设备费用。因此,外部市场的波动对其影响尤为显著。

2018-2019年是中国机床行业深度调整的关键阶段,行业运行呈现显著下滑态势,并引发多家企业倒闭。作为机床配套企业,伊贝格也经历了一次严重的财务危机。

“那时候我的客户群大量倒闭,导致1000多万现金要不回来,公司基本上接近倒闭。设计团队也被挖走,不少员工流失,天天有债主追债,企业处在最艰难的时候。”邵总至今记忆犹新。

面对困境,顶着巨大压力,邵总开始寻求资本融

资。2020年,中科招商率先投资3000多万元,帮助企业度过了财务危机。随后,通用创投、上海电气、力中资本先后出资,前后共融资约9000万元,保障了公司的后续发展。

在资本的强力注入下,伊贝格不仅度过了生死危机,更获得了重启发展的强劲动力。公司随即开始谋划更长远的发展布局。为进一步提升产能与技术话语权,强化供应链自主,伊贝格的新工厂落户浙江嘉兴桐乡,桐乡工厂承担规模化制造职能,形成“北京研发+浙江生产”的分工格局。

回忆当时的困境,邵总感慨道:“若非出于热爱,我根本熬不过那段最艰难的日子。如果只为挣钱,我大可直接放弃摆头研发,转做五轴机床——几年后这里就能建起大规模机床厂,产值可观,但中国的摆头技术传承也就此终结。”

正是这份对事业的执着和对国产化的担当,支撑伊贝格在风雨后迎来彩虹,其技术优势和产品竞争力开始全面显现。



四、技术优势与市场竞争力

走出困境的伊贝格,凭借十年磨一剑的技术积累和持续的研发投入,其五轴摆头的技术优势日益凸显。

伊贝格旗下T系列与U系列五轴摆头采用力矩电机直驱技术,重复定位精度可达 ± 2 角秒。其核心突破在于自主攻克了摆头的三大关键技术——液压刹车系统、旋转分配器与旋转密封装置。

邵总强调:“我们从未外购刹车或旋转分配器,全部自主研发。国内缺乏专业供应商,定制化尺寸、交货周期和成本均无法满足需求。”

在结构设计上,伊贝格创新性地将B轴(摆动轴)搭载薄型外转子电机,转子外壳直接与摆臂刚性连接,实现

“电机-摆头”一体化集成。刹车系统与电机轴向重叠布局，显著压缩轴向空间，整体结构极为紧凑。

在攻克关键技术的过程中，细节决定成败。邵传伟特别提到了刹车机构中一个看似不起眼却至关重要的部件——铜套。他指着实物解释道：“这个铜套的材料选择、厚度设计以及物理特性非常关键。早期总会有一定比例的摆头运行一两年后就会出现卡死现象。为了攻克这一难关，我们用了接近10年的时间，试验各种材料，分析材料成分，调制不同的硬度，选择不同的壁厚，彻底解决了卡死问题。”

旋转分配器里面是液压、气路、水路。传统设计中，旋转分配器放置在摆头内部，常常发生使用几年后由于密封出问题而摆头不得不返厂维修的问题。为此，伊贝格另辟蹊径，把旋转分配器做成一个标准件，放到摆头上部，一旦出现问题，在车间现场更换标准分配器，一天之内就能解决。这种模块化、标准化的设计思路，不仅解决了密封失效的核心痛点，更显著提升了产品的可维护性和用户的生产效率。



对于摆头旋转密封系统，伊贝格通过“复合密封形式+高性能材料+智能监测”三重技术路径，解决了高端五轴机床的精度保障、寿命提升、工况适应性这三大核心

需求。

为构建闭环质量管控体系，伊贝格自主搭建了覆盖测试设备研发、工艺规范制定及全流程验证的完整测试链。在现场可以看到，很多核心试验设备均为自主设计制造，显著提升了关键部件（如摆头刹车机构）的失效分析能力。

总结伊贝格在激烈的市场竞争中脱颖而出的关键，邵传伟将其核心竞争力提炼为几大差异化优势，即：产品系列化程度高（种类达100多种）；可实现与各种系统的连接；国产化率高（50万以下的摆头已实现100%国产化）；批量化生产，保证了产品的稳定性、交货期，降低了成本，提升了售后服务质量。

五、面向未来，持续创新

近几年，为顺应机床智能化、复合化的技术发展趋势，伊贝格也积极开展相关研发。一方面，将智能化技术应用到摆头的切削力检测、振动检测、热补偿检测、摆头运行状态的远程监控中；另一方面，推动摆头在复合功能上的应用，例如在一个摆头上实现车铣磨的功能。

在市场拓展方面，伊贝格正在开发和推广20多万元的经济型摆头，为100万量级的五轴联动龙门机床配套，部分替代过去的摇篮转台。

邵总说：“我们的目标是每年生产1000个摆头，包括经济型摆头在内。今年估计能生产400个，计划在三到四年内就能达到这个目标。”

“1000个摆头的市场也就5个亿，还不能满足公司发展需要。”邵总坦言。显然，单一产品线的天花板清晰可见。这也解释了伊贝格（mepro）名称背后的深意以及公司未来的战略方向。

邵总解释道：“‘m’代表机械（Mechanical），‘e’代表电气（Electrical），‘pro’则代表专业（Professional）。”

谈到未来规划，邵总表示，今后伊贝格计划两条腿走路：在机械领域，将在现有基础上持续深耕，并延伸下去做一些高端转台；在电气领域，则将积极拓展产品线。目前，在电气化方向的产品研发已经启动，热补偿、振动传感器等关键电气部件作为战略布局的一部分，已取得阶段性研发成果。

“我总是想去开发一些别人做不到、中国也需要的东西，比方说镗轴箱现在全是挂轮，我想做成电气化。”邵传伟最后说道。这朴素的愿望，正是伊贝格乃至中国高端制造不断向上突破的永恒动力。□

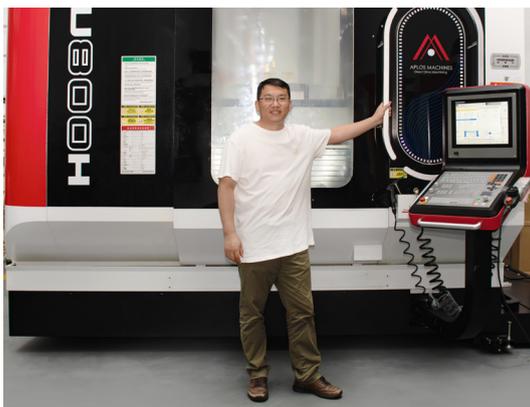
仰望星空 埋头干活

——访上海星合机电有限公司总经理蒋能

中国机床工具工业协会 李华翔 吴晓健

上海星合机电有限公司（以下简称“上海星合”）自2009年成立以来，已逐步成长为国内高端数控磨齿机领域的头部企业。在今年CIMT2025展会上，公司通过PG2840H成形砂轮磨齿机、PG50150成形砂轮磨齿机、U800H高速直驱摇篮五轴加工中心等核心展品，集中展示了其在齿轮磨削（高精度直驱技术）和五轴加工（重切削全直驱）领域的技术突破，并借助CIMT平台进一步强化与高端制造业客户的合作关系。

短短十几年间，上海星合如何在高端机床领域实现了跨越式发展？近日，公司总经理蒋能在位于上海宝山区的基地接受了协会传媒平台的专访。



一、实现跨越式发展

上海星合的发展历程清晰而迅猛。公司成立于2009年8月18日。创立之初，其专注于齿轮刀具研发及技术服务，通过引进海外技术理念，成功开发了滚刀、剃齿刀设计软件及倒棱刀等核心产品，攻克了全齿廓倒棱、大角度倒棱等技术难题。2011年，公司成立技术研发部门（后升级为技术中心），战略重心转向高端齿轮加工设备研发，

开始积累专利和软件著作权，接连获得“高新技术企业”认定（2013年）和“专精特新”认定（2019年）。2021年，公司发展步入快车道：注册资本增至5000万元，迁址至宝山区威航路。此后，公司获得“宝山区企业技术中心”（2023年）认定，技术中心下设六个实体部门，覆盖研发、检测、试制全流程。关键的拓展发生在2024年，公司成功并购阿帕斯数控机床，业务从齿轮精密磨削一举拓展至更广泛的金属切削领域，形成了“磨齿机+加工中心”双产品线布局。



如今，上海星合已建成上海宝山、江苏南通、上海临港三大生产基地，总面积超过3万平方米（另有6万平米在建），具备年产数百台机床、数万套刀具的产能基础。

二、坚守与创新

上海星合的跨越式发展有目共睹。

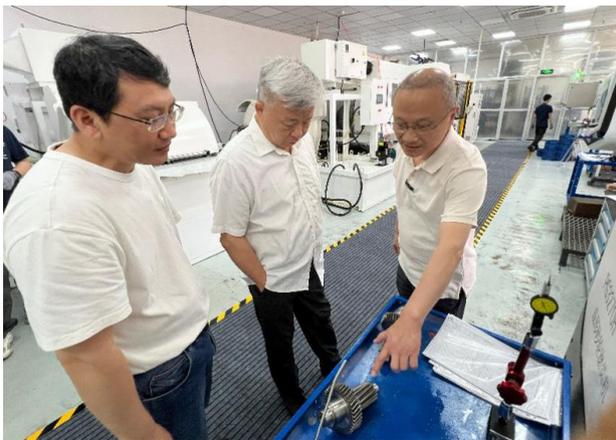
“国内不少业界同行评价说，上海星合用六、七年的时间走完了别人六、七十年的历程。”回顾历程，蒋能董事长感慨道：“公司取得今天的成绩，首要归功于我们在

研发方面的长期坚守。一个企业如果缺乏时间的积累、积淀和坚持，我认为是走不长的。当年若非在研发上的持续投入和坚守，就不可能支撑公司后来的快速成长。”

据蒋总介绍，上海星合的研发始终坚持两条基本原则：首先，坚持正向设计，以问题为导向，深究底层逻辑，真正做到知其然并知其所以然。尊重国际一流水平，但又不能迷信之。理解其原理，才有可能青出于蓝而胜于蓝。其次，摒弃传统产品定型思维，借鉴新兴行业的软件升级模式，针对市场应用中暴露的问题提出新的解决方案，持续快速地迭代升级产品。

遵循这些原则，上海星合在产品和技术创新上不断突破。如今其磨齿机精度已达GB1级（逼近国际最高的0级标准），成功攻克高速电主轴、分度轴等核心部件技术，国产化率持续提升。2024年10月申请“磨齿机尾座”专利（CN118976914B），2025年5月再获“伺服尾座及使用方法”专利（CN119115582B），显著提升了设备稳定性和精度。新一代的六轴数控成形磨齿机PG2840H，采用直驱电机和全闭环反馈系统，支持复杂齿形修形，精度更高更稳定，已在市场上引发广泛关注。

“一旦采用了正向设计，产品又能不断迭代，加之长期坚持，开发的机床性能离目标值只会越来越近。”蒋总总结道。



三、“超级工程师+超级公司+全闭环”

然而，从单一的齿轮刀具开发，跨越到需要机电软深度集成的高端数控磨齿机整机研发，上海星合同样面临着系列严峻的技术与工程挑战。

“机床是极其复杂的产品，由一千多个零件组成。现代机床早已超越传统范畴，单靠懂机械或懂电的人来开发，必败无疑。”蒋总坦言，“高端数控齿轮磨削机床的机电软一体化属性，决定了研发领头人必须具备极其全

面、交叉的学科知识储备以及丰富的工程指挥经验。缺乏这样的核心，研发过程将内耗严重，决策效率低下。”

基于此，结合多年研发实践，蒋总近年提出了“超级工程师”和“超级公司”的理念。他认为，研发实力强劲的企业，其技术负责人必须是一位“超级工程师”——在机、电、软三方面均功底深厚，且拥有丰富工程实践经验——这将使研发效率实现量级提升。同时，企业自身也要成为“超级公司”，在管理架构上做出相应调整：采用小团队项目管理模式，打破生产、质量、研发、销售等部门壁垒，允许职能边界适度模糊，最终形成强大合力推动研发进程。

为加速人才培养，公司内部要求技术人员深入现场，加深工艺理解，并提供系统实操培训。对外则深化产学研合作：2025年4月与东华大学共建“高性能机床制造技术联合研发中心”及研究生培养基地，共同攻克高端数控机床技术难关；与西班牙发格自动化（Fagor）成立“复杂曲面磨削联合实验室”，定制开发专用数控系统。

此外，公司围绕‘设计、制造、装配、检测’等核心研发生产环节，构建了全流程闭环管控机制，显著提升了产品迭代效率。

四、双轮驱动：专精特新+规模突破

正是基于构建“超级工程师+超级公司+全闭环”体系的战略决心和持续创新的高投入要求，上海星合必须解决研发资金的长期支撑问题。作为拥有高端数控机床自主研发实力的企业，公司每年研发投入占比很高，需要雄厚资金维系长期投入，引入外部资本成为有效途径之一。

近年来，资本市场对机床产业关注度提升，容易带来一些错觉。对此，上海星合管理层对资本介入的利弊有着清醒认知。同时，公司也深刻认识到，研发必须依托足够的生产规模来分担成本。因此，在稳固原有市场优势的同时，公司积极拓展新产品类别——2024年成功收购阿帕斯数控机床正是基于此战略考量，并购始终坚持“渠道共用”原则，大幅节省了客户开发成本。

“一方面专精特新，另一方面扩大规模，这条路我们非走不可，两者缺一不可，并形成良性循环。”蒋总强调，多年来上海星合正是通过持续研发迭代结合大规模生产，将成果快速商业化，形成市场优势并确立有利竞争地位。

展望未来，蒋总谈到：“目前大家看到的上海星合，产值约3亿元规模。未来公司必将按照自身节奏稳步前行，力争每年实现一定增长，目标是在5年左右实现产值翻倍，10年内机床年产量突破1000台。”□

追求卓越是我们永不停歇的脚步

——访江苏博谷智能科技有限公司吴斌总经理

中国机床工具工业协会 李华翔 吴晓健

在CIMT2025展会上，江苏博谷智能科技有限公司（以下简称“江苏博谷”）展出了其三大核心产品——超精密硬车削机床、立式复合磨床和超精密车削中心。体现了国产超精密机床在细分领域的技术突破，高度契合了展会“融合创新 数智未来”主题中的精密化方向。

自2019年成立以来，江苏博谷聚焦高端精密数控设备领域，通过技术创新和战略升级实现了快速发展。近期，协会媒体走访了江苏博谷常州工厂，吴斌总经理介绍了个人成长经历和公司发展历程。他的创业之路并非一帆风顺，而是充满了挑战与转机。

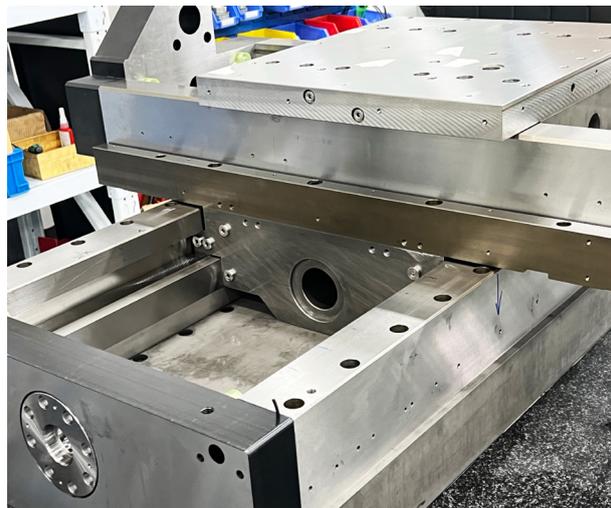


一、初创失利，重觅机遇

吴斌总经理毕业于哈尔滨工业大学，专业方向为精密与超精密工艺装备。2016年，初出茅庐的他并未选择进入科研机构或企业，而是直接创业，将单点天然金刚石车床（SPDT）作为研发主攻产品。这类机床是用于超精密加工光学级元件的关键设备，技术核心在于纳米级精度控制和亚表面完整性加工，制造难点集中于纳米级稳定性与工艺适配性，被誉为高端光学制造的“工业明珠”。彼时，

长三角地区制造业转型步伐加快，加上民营资本发达的外部环境，似乎为吴斌提供了信心支撑。

常州本地投资人先后为其初创公司投入了近亿元资金。然而，单点金刚石车床作为超精密装备，其技术突破依赖于材料学、控制理论、热力学等跨学科的长期协同积累和共性技术突破。由于对市场的误判和技术的不成熟，几年间近亿元资金很快消耗殆尽，吴斌虽陷入茫然，但仍坚持心中梦想。2019年，就在他感觉山穷水尽之际，遇到了常州道铖精机的老板。这位老板欣赏吴斌的认真坚持与踏实作风，并看好精密机床的市场前景，最终联合5位朋友共同募集1250万元参股资金，于5月正式成立江苏博谷智能科技有限公司。自此，吴斌带领8人团队，依靠3台淘来的二手加工设备，再次踏上了创业征程。



二、精准定位，把握转机

经历了第一次创业的挫折后，二次创业的吴斌调整了

方向，将江苏博谷的研发产品从单点金刚石车床转为高精精密硬车削机床。该类车床主要用于加工黑色金属，加工范围和市场空间都显著扩大。

“我一定要做一个大厂看不上，小厂做不了的产品。”吴总进一步解释道，“我们这款产品一年的市场容量也就七八千万，最多一个亿，大厂根本看不上眼；而小厂一看产品精度这么高，技术难度特别大，也做不了。”

找准市场定位后，通过持续研发迭代和严格质量控制，产品品质稳步提升。但作为一家初创的民营企业，受限于规模和知名度，初期赢得精密加工领域的高端客户的信任异常艰难。产品虽品质稳步提升，却乏人问津，销路迟迟未能打开。到2020年底，吴总眼看前期1250万资金仅剩不足200万，甚至做好了去应聘就业的准备。就在这时，转机出现：因外购受限，国内某航发动力股份有限公司带着试探的态度主动上门表达了购买意向。2021年初，公司终于售出了第一台高精精密硬车削机床。短短两个月内，该产品又成功打入一家从事风电装备制造的外资企业，用于加工大型风力发电装置的轴承滚子。“看来机遇真的很重要，不是所有创业的人都有我这样的机遇。”吴总感慨道。

至此，凭借过硬的产品质量和用户口碑，公司销路迅速打开。随后，随着2022年资本增资完成，基于早期超精密硬车削机床的研发积累，并顺应航空航天、新能源产业快速增长的旺盛需求，公司在2024年正式向市场另行推出了五轴联动车铣复合加工中心、立式复合磨床和超精密车削中心，经营呈现爆发式增长态势。到去年为止，销售额已达1.6亿元。

回顾这段从濒临绝境到爆发增长的历程，吴总将其成功经验归结为三点：坚持、机遇以及准确的产品和市场定位。



三、坚持、机遇、定位

“首先你得做到坚持，自己坚持了以后，当一个机会来的时候，你才有可能抓得住；其次是机遇，江苏博谷正

是抓住了外部环境变化所带来的难得的市场机遇；再有，企业的定位很重要，如果不准，你不可能成功。”

“没人认为我当初创业做错了什么事情，基于当时的认知水平，当初完全是定位错误。”对于初创失败的原因，吴斌记忆犹新，“我们那时没有经过充分的市场调研，对自身团队技术能力也没有进行综合评估，高估了团队能力，错判了市场环境。”

吴总认为：“企业应选准产品定位，不宜过高，也不宜过低。过高，意味着技术难度高，资金投入大；如果定位过低，同样没机会——因为改革开放这么多年，江浙一带民营经济发达，竞争激烈；老一辈企业家在资本积累和市场知名度上优势明显，定位过低很难找到成功空间。”

走进生产车间，在略显拥挤的车间里，我们看到工人们正在紧张有序地忙碌着。随着规模不断扩大，目前江苏博谷现有厂房已捉襟见肘。吴总特意带我们参观了新租赁的厂房。在场地一侧，工人正调试来自国外知名品牌的大型加工设备；另一侧场地则虚位以待，下半年采购的机床也即将就位。

为了实现“花小钱办大事”，吴斌常常亲自飞往国外“寻宝”——慧眼独具的他，总能以新机十分之一左右的价格，淘到心仪的国际品牌二手机床。

“小企业有小企业的打法，”吴总坦言，“我亲自去国外淘二手手机，靠着那1250万元起步资金，当时买不起新机。现在情况好多了，这两年公司每年都有几千万元的设备投入。”

四、锚定高端，持续攀登

短短几年间，对标国际头部企业，在资本的有力支持下，江苏博谷凭借静压技术、热稳定性控制等核心技术的复用，并通过智能化与复合化升级，成功构建了车削→磨削→车铣复合/车磨复合的产品矩阵；业务领域也从单一军工领域，拓展至航空航天、新能源、机器人等多个方向。

其成功路径既响应了高端制造业对复合加工设备的迫切需求，也通过规模化生产降低了核心技术的边际成本，为国产高端机床参与全球竞争提供了可借鉴的范例。

据吴总介绍，江苏博谷在手订单已排至2026年五、六月，机床交货期长达12个月，今年在手订单近2亿元，预计开票金额达8000多万元。

“未来三到五年内公司计划实现科创板上市。”吴总最后表示。□

浙江省数控机床产业国家现代先进测量体系 建设研究

浙江省质量科学研究院 仇跃鑫 叶怀储 朱进 陈挺 王瑛辉 陈宁 郭钢祥
浙江省计量与标准化学会 马珏 袁青

【摘要】数控机床作为现代先进制造业的战略核心，其发展关系国家产业基础再造与产业链现代化水平提升。通过聚焦浙江省数控机床产业，系统剖析其国家现代先进测量能力建设的现状、挑战、突破路径及未来展望。揭示了测量能力跃升对数控机床产业生态重构的关键作用，为打造全球领先的精密制造创新生态提供理论支撑与实践路径，对我国制造业高质量发展具有重要意义。

一、引言

国家现代先进测量体系反映了一个国家科技、经济、社会发展的实际状况和水平，是国家核心竞争力的重要标志，是国家战略科技力量的重要支撑，对于国家的创新发展有着重要的作用^[1~2]。国务院印发的《计量发展规划(2021-2035年)》中，总体要求加快构建国家现代先进测量体系，为引领国家科学技术进步、促进经济社会高质量发展提高强有力的计量基础支撑和保障^[3~4]。

朱美娜等梳理了制造业转型升级过程中计量体系面临的问题，提出了构建国家现代先进测量体系的必要性及相关策略，强调了测量体系对推动制造业高质量发展和实现制造强国战略的重要性^[5~7]。陈岳飞等系统研究了先进测量体系的重要性、基本内涵、生成逻辑及实现路径，并从多方面提出对策建议^[8~9]。曹玉芬探讨了通过完善水运计量体系，引入产业计量等，加快建设水运交通现代先进测量体系^[10]。韩义中分析了航空工业计量工作对比现代先进测量体系的现状，给出建立满足客户需求的航空工业现代先进测量体系的对策和举措^[11]。刘璐等研究了基于现代先进测量体系的营销数据应用管理模式，探讨了其在实际中

的应用和价值，推动了电力系统的数字化转型和高质量发展^[12]。

数控机床是制造装备的装备，有工业母机之称，在装备制造业中具有极为重要的地位，广泛应用于航空、航天、造船、轻工、汽车、纺织等产业领域^[13]。数控机床产业作为现代先进制造业的核心和基石，在其产业中建设国家现代先进测量体系显得尤为重要。

本论文将以浙江省数控机床产业的实际情况为例，研究讨论数控机床产业现代先进测量体系建设的重要意义、实践路径，展望其未来建设方向，以期增强产业发展优势，提升产业核心竞争力，实现产业高质量发展。

二、浙江省数控机床产业发展现状

数控机床是关系国家战略安全和发展大局的基础性产业，处于制造业产业链价值链的核心环节，是衡量制造业发展水平的重要标志。数控机床产业链主要涵盖上游原材料与零部件、中游数控机床产品和下游应用服务。高端数控机床产业链如图1所示。



图1 高端数控机床产业链

1. 数控机床产业国内外发展现状

全球机床产业呈现显著的技术梯度与市场分化特征。自2011年起，中国以32.0%的生产占比和35.3%的消费占比稳居全球机床产业规模首位，但结构性矛盾突出。德日美瑞四国构建了高端市场技术壁垒，2022年全球803亿欧元产值中，其高端产品占据75%以上份额：德国在五轴联动（定位精度 $\pm 0.002\text{mm}$ ）和超精密加工领域领先，如图2所示为德国科恩生产的5轴CNC加工中心；日本依托发那科数控系统（全球市场占有率45%）构建垂直产业链；美国掌握自动化产线核心技术；瑞士专注精密磨床（尺寸精度 $\pm 0.5\mu\text{m}$ ）细分领域。反观中国市场，2023年数控机床产值达280亿美元（占全球31.1%），消费额300亿美元，但呈现“金字塔”结构——低端市场（ ≤ 30 万元/台）国产化率超85%却产能过剩，中端市场（30~100万元/台）国内企业占据65%份额，而高端市场（ ≥ 100 万元/台）仍存在68%的进口依赖。尽管通过“04专项”实现多轴联动等关键技术突破，将高端产品

市占率从不足1%提升至31.9%，但核心部件如数控系统（进口依赖度83%）、精密主轴（国产精度 $2\mu\text{m}$ vs 国际 $0.5\mu\text{m}$ ）仍受制于人。金属切削机床46.3%的数控化率较发达国家70%~80%水平差距显著，反映出产业升级的迫切性。值得关注的是，在航空航天、新能源汽车等领域需求驱动下，2025年高档数控机床市场规模预计突破130亿元，复合增长率达12%。当前中国机床产业正处于由规模扩张向质量提升的转型窗口期，亟需通过强化基础研发（研发强度从2.1%提升至4%）、完善产业生态等路径实现价值链攀升。



图2 德国科恩生产的5轴CNC加工中心

2. 浙江省数控机床产业发展现状

浙江省数控机床产业已形成规模引领、集群协同与创新驱动的立体发展格局，成为全国先进制造业的核心支柱。2023年全省工业母机产业总产值突破1023.6亿元，金属切削机床产量20.2万台连续七年蝉联全国首位，工量刀具产量占全国60%以上，构建起覆盖全产业链的竞争优势。依托宁波、台州、嘉兴三大核心区形成差异化布局：宁波专注加工中心与数控摆头等关键零部件，台州建成“中国数控车床之都”中小型机床集群，嘉兴集聚高精密磨床及外资企业，温州激光加工机床产量占全国30%。区域内已培育7家上市公司（海天精工、津上精密等）及109家国家级专精特新“小巨人”企业，其中电产京利高速冲床全球市占率超60%，海天精工重型龙门加工中心国内市占率第一。

产业技术创新与数字化转型成效显著。通过省级高档数控机床技术创新中心，突破五轴联动车削中心（定位精度 $\pm 0.005\text{mm}$ ）等核心技术，专利授权量突破200项，关键工序数控化率达90%。“数控机床产业大脑”集成全链数据资源，推动海盐等地企业实现生产效率提升30%、能耗降低10%。龙头企业引领效应明显，津上精密高精密数控机床产值达40亿元，北平机械五轴刀具磨床填补国内空白，畅尔装备精密拉床国内市场占有率达80%。

当前产业正加速向高端领域拓展，2023年高档数控机床市场规模达120亿元，预计2025年突破130亿元。缙云县建成全国最大锯床生产基地（市占率超70%），研发投入强度提升至4.41%。但核心部件仍受制于人，数控系统国产化率不足20%，五轴联动机床进口依赖度达55%。

三、数控机床先进测量能力现状分析

先进测量能力是推动机床性能升级的核心驱动力，对提升数控机床的精度、效率和可靠性至关重要。先进测量能力是数控机床产业发展的关键技术，推动了现代制造业的高质量发展。浙江省数控机床行业持续快速发展，总量规模不断攀升，创新能力不断提高，但是浙江省数控机床产业在规模扩张中面临“精度革命”的战略转型挑战。对照数控机床产业测量需求，我省建立了相对完善的测量能力，但是随着“量子化、智能化、高端化、融合化”的协同推进，数控机床产业先进测量能力逐渐显现出了不足，需要进一步加大对先进测量能力建设的投入，着力补齐量传溯源、测量技术、测量服务等短板。

1. 量传溯源体系存在的短板

浙江省数控机床产业面临三重计量测试体系瓶颈：核心部件量传溯源体系薄弱，主轴（轴向跳动 $\leq 0.5\mu\text{m}$ 校准缺失）、伺服系统（动态响应误差 $> 5\%$ 未覆盖）等关键零部件计量测试技术存在空白；高精度测量仪器标准缺位，大型回转装同轴度测量仪（精度需求 $0.1\mu\text{m}$ ）等缺乏量值溯源方法；智能在线测量标准化建设滞后，AI驱动的实时测量尚未建立技术规范，导致30%以上在线检测设备缺乏有效校准。亟需构建“全链条计量测试体系”，重点突破超精密校准装置、多参数耦合测量方法及智能测量标准框架，以支撑产业精度升级。

2. 测量技术存在的短板

先进基础工艺检测能力不足，热处理显微组织分析精度与表面改性层厚度检测等尚未达标；可靠性测评体系滞后，MTBF（平均无故障时间）验证周期超3000小时，亟需开发加速试验装置；智能测量技术储备薄弱，随着量子计量、芯片级计量、人工智能等技术的突破，以及新质生产力概念的深化，需要进一步研究整机智能设计、数字化装配与性能测试、机床精度设计与综合优化等关键核心测量技术。

3. 测量服务能力存在的短板

一是动态测量服务能力亟待创新。高速高精度多轴联动的数控机床动态误差及误差源分析的测量设备昂贵、测量过程复杂，亟待服务机构在测量能力及方式上进行创新，为数控机床产业提供更加经济、便捷的动态测量服务。

二是数控机床产业链标准体系、科研产业化有待完善。数控机床产业链中基础通用标准、关键技术标准、产业融合标准、数字化转型标准等标准体系不完善；我省高

校、科研院所关于数控机床高新技术的科研成果测量服务能力不足，科研产业化不完善，还需在标准体系及科研产业化方面进行提升。

三是产业计量测试服务还需加强。数控机床核心零部件、本体制造、应用领域等产业链存在大量测量测试需求，需要质量基础设施服务机构提供测量标准制修订、设备性能验证、产品测试评价、标准装置研发、仪器检定校准等综合服务。

4. 先进测量能力建设意义

当前数控机床产业先进测量能力工作滞后于产品技术的快速发展，还满足不了产业发展和市场的需求。开展数控机床产业先进测量能力建设，对进一步提升浙江省数控机床产业链的核心竞争力，争创国家先进制造业基地，具有重要现实意义。一是有助于进一步摸清浙江省数控机床产业测量能力现状，为制（修）订数控机床产业链标准、开展新产品研发提供有力支撑；二是有助于聚焦产业链关键共性技术领域，主动布局核心技术攻关和关键标准制定，促进产品、标准、检验检测协同推进；三是有助于加快实施一批补链强链项目、一批产业链协同创新项目，提升产业链发展水平；四是有助于引导龙头企业、科研院所加大对国际先进产品的分析研究力度，推动高档高精度数控机床、机床主轴、先进数控系统、伺服系统等整机和关键零部件产品的国产替代。

四、浙江省数控机床产业先进测量能力建设

浙江省数控机床产业现代先进测量能力建设是推动产业高质量发展的核心支撑。该体系以服务产业升级为目标，围绕“测不了、测不全、测不准”技术瓶颈，整合社会资源，构建覆盖全产业链的计量测试服务网络。通过强化量值传递溯源基础能力，聚焦高端数控机床与复合加工装备的精密测量需求，重点突破动态误差补偿、多参数协同检测等关键技术。在技术路径上，建立“四维能力框架”：以先进测量技术科技创新为核心，依托重点实验室载体，开展专用检测装备研发；以现代化测量管理为手段，完善标准体系和质量管理体系；以全生命周期服务为导向，提升从核心部件到整机的系统性检测能力。建设过程中注重链式协同创新，联合科研机构、检测平台与企业主体，针对上游功能部件可靠性验证、中游整机性能测试等环节开展联合攻关，同步推进产业标准制定与国产化替代。该能力体系的构建将全面增强产业链测量技术水平，有效支撑数控机床向高端化、智能化、绿色化转型，为浙

江省打造全国中高端机床产业高地提供技术保障。数控机床产业先进测量体系架构如图3所示。

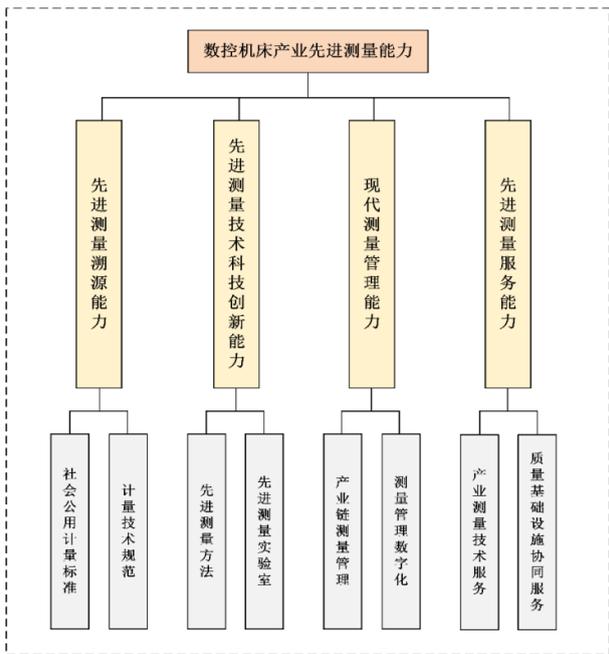


图3 数控机床产业先进测量能力架构图

1. 先进测量溯源能力建设

浙江省数控机床产业测量领域量传溯源体系无缝衔接国家计量基准，建立了以社会公用计量标准和企事业单位

计量标准为主体的计量标准，覆盖数控机床产业领域主要测量参数量溯源需求，配套计量技术规范较完善。

(1) 社会公用计量标准建设

浙江省持续贯彻落实《浙江省社会公用计量标准改造升级实施意见》（浙市监计〔2019〕16号），实施高能级计量标准建设工程。截止2024年底，全省已建立数控机床产业测量领域相关社会公用计量标准325项，其中全省最高社会公用计量标准23项，覆盖数控轴线定位精度、直线度、平行度、平面度、角度、圆度、圆柱度、表面粗糙度、噪声、压力、振动、电流、电阻、电容、电感、电压等几何参数、电学参数、力值和温度等参数，构建了较完整的量传溯源链，以室内50m标准装置、激光干涉仪标准装置、电声标准装置、数字多用表校准装置等为代表的一批全省最高社会公用计量标准能级水平居全国前列。

(2) 计量技术规范

现有计量技术规范体系以国家计量技术规范为主体、部门行业和地方计量技术规范为补充的框架。国家计量技术规范主要包括国家计量检定系统表、国家计量检定规程、国家计量校准规范。截至2025年3月，数控机床测量领域共发布各类计量技术规范103项，其中国家计量技术规范91项、地方技术规范12项。计量技术规范的发布实施为完善量传溯源体系提供了重要支撑。

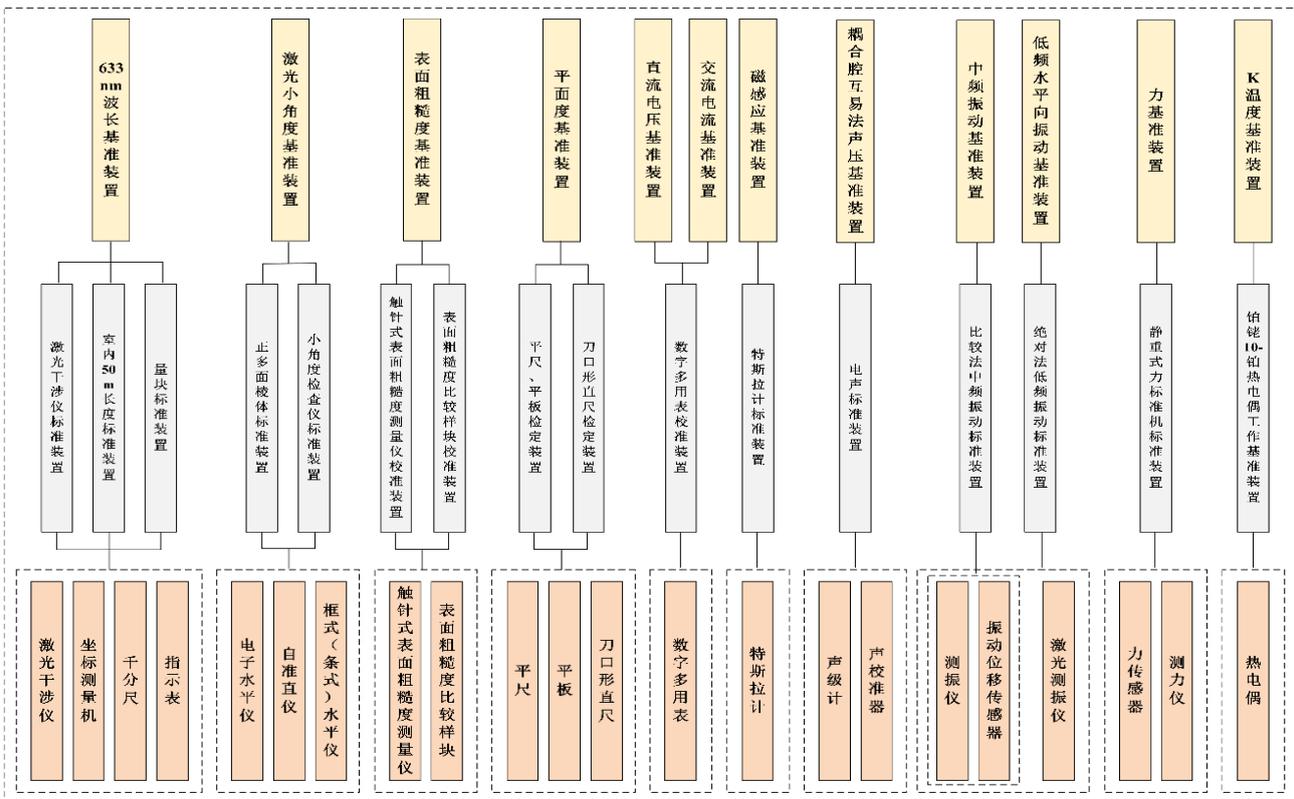


图4 数控机床测量领域量传溯源链路

2. 先进测量科技创新能力建设

浙江省围绕数控机床装备制造产业升级需求，系统性构建先进测量技术创新体系。通过整合科技项目、创新载体及人才资源，建立覆盖产品研发、生产、检测、应用全流程的技术测试评价能力，实现全参数检测覆盖。依托计量机构、高校及企业协同创新，重点培育省级重点实验室、企业研究院等创新载体，形成贯穿产业链的测量技术支撑体系，有效保障数控机床全生命周期质量管控与性能优化。如图5所示为浙江大学自主研发的自由曲面超精密加工机床。

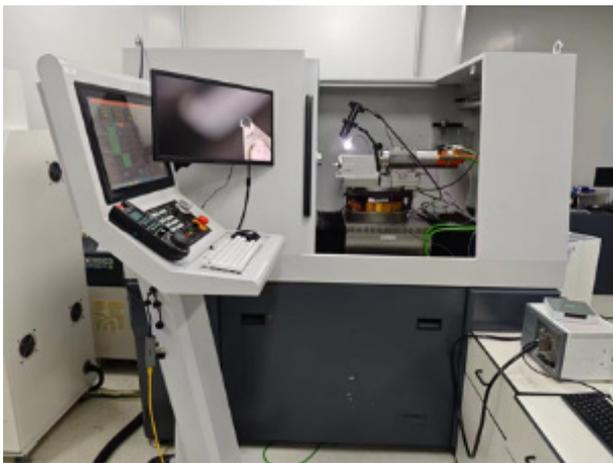


图5 自由曲面超精密加工机床

(1) 先进测量方法

浙江省已系统构建数控机床全维度测试评价技术体系，形成覆盖核心部件、整机性能及控制系统的完整检测能力。在核心功能部件检测方面，建立滚动功能部件综合性能评价体系，涵盖几何精度（行程偏差、位置公差）、动态特性（预紧转矩、静刚度）及耐久性（疲劳寿命、精度保持性）等关键指标，同步具备材料摩擦磨损、接触疲劳等基础特性分析能力。整机性能测试领域，建成多参数协同检测平台，针对数控车床、加工中心等主流机型实现定位精度、几何精度（直线度/平面度/圆度）、表面质量（粗糙度 $Ra \leq 0.8 \mu m$ ）等核心参数的全方位检测，检测能力全面对接国家与机械行业标准。在控制系统可靠性验证方面，配置十米法微波暗室、高加速寿命试验装置等先进设施，形成涵盖电磁兼容（EMS/EMI）、环境适应性（温湿度循环、振动冲击）、寿命评估等关键验证能力，通过设计余量分析、工艺优化验证等技术手段，为高可靠性数控系统研发提供全流程测试支撑。该测试评价体系的建立，有效贯通从核心部件到整机系统的质量验证链条，为数控机床产

品研发改进、性能优化提供重要技术保障。

(2) 先进测量实验室与创新载体

浙江省为提升数控机床产业核心竞争力，系统构建了覆盖全产业链的先进测量实验室建设体系。通过布局之江实验室、数字精密测量技术研究重点实验室、国家计量科学数据分中心为核心科研平台，形成以高精度校准、智能监测诊断为核心的测量技术基础平台。同步培育杭州城西科创大走廊数控机床创新联盟、宁波智能制造产业研究院等特色载体，建立“研发-标准-应用”全链条服务体系。

在协同创新方面，深化产学研用联动机制，整合数控系统开发、精密制造等技术优势，推动关键共性技术攻关与成果转化。通过测量设备与数据资源的开放共享，强化产业链上下游技术衔接，构建跨领域协作生态。该体系有效贯通“基础研究-技术突破-产业应用”创新链，为数控机床性能优化、智能化升级及可靠性提升提供系统性技术支撑，全面赋能产业向高端化、智能化方向转型升级。

① 全省数字精密测量技术研究重点实验室

实验室重点开展复杂环境自适应空间位姿感知、非结构化复杂力感知、多传感智能感知融合三大精密测量技术研究，在数控机床精度检测和加工质量评价技术领域等方面持续攻关，打造高水平科创平台，提升关键核心技术突破能力，解决机床制造企业和终端用户面临的关键共性测量技术难题，以科技创新为我省数控机床产业高质量发展提供数字精密测量技术支撑。

② 国家计量科学数据中心浙江分中心

结合浙江省科研院所、高校、龙头企业资源优势，综合应用工业大数据分析、数字孪生、人工智能等先进技术，重点打造数控机床精度预测等全国计量科学数据服务及应用样板，有效发挥在数控机床测量数据应用、计量数字化转型中的技术支撑和引领作用。

③ 浙江省重点企业研究院

依托浙江省数控机床装备制造企业雄厚的产业基础和研发技术能力，建设了海天精工高端数控机床、杭机股份高精度数控磨床、日发精机航空装备、双正数控系统、大众精密刀具、畅尔智能装备等6家数控机床领域省级企业研究院，涵盖五轴联动加工中心、精密磨削装备、航空航天专用机床、数控系统、高性能切削刀具、智能化生产线集成等重点子领域，彰显了浙江省企业在国内数控机床自主创新方面的引领能力。企业研究院聚焦“智能化+高端制造”，开展先进数控技术和高端装备的研发、设计、制造和测试工作，助力打造数控机床高端智能制造全产业链基地，形成具有国内一流、国际竞争力的智能化数控机床产业集群。

3.先进测量管理能力建设

浙江省构建现代测量管理体系旨在系统提升产业链质量保证能力，重点围绕三个维度展开：纵向贯通产品全生命周期管理，将先进测量理念深度融入设计、生产至维护各环节；横向覆盖产业链上下游企业，建立标准化管理框架带动中小企业能力协同提升；深度融入智能制造趋势，推动工业互联网、人工智能技术与测量流程融合，实现数据智能采集与分析决策。该体系通过规范化流程、数字化工具与协同化机制三重路径，促进产业链质量管控体系整体升级，为产业基础高级化与产业链现代化提供系统性支撑。

(1) 企业测量管理能力

积极鼓励企业加强测量研发投入，合理配备测量设备，完善企业测量管理体系，加强测量设备的计量确认和测量过程控制。企业从顾客测量要求出发，明确管理职责，从工艺要求、测量设备、环境控制、人员技能、测量方法等方面对测量过程进行监控，开展测量管理分析和改进，以输出精准可靠的测量结果。

(2) 产品全生命周期测量管理

为了适应客户和市场需求，数控机床制造企业建立以产品结构为主线的产品相关数据管理的全生命周期测量管理能力。通过建立以产品结构为核心的数据管理，确保数据的完整性和有效性，缩短新产品设计研发周期，通过设计和工艺一体化过程管理，实现企业设计、工艺、制造、售后等一体化协同工作。

(3) 数字化测量管理

伴随物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术发展，数字孪生等数字化场景模式正逐渐扩展到数控机床装备智能制造等诸多领域。在元器件、功能模块、整机以及测试等重要环节嵌入数据测量采集功能，根据生产工艺要求、生产运行状态等建立工艺数字化模型，实现制造全过程工艺流程仿真。建立智能化测量传感系统，结合集成设备、质量、能耗、生产进度等数据，实现规划、生产、监控等全流程数字化管理。提升数控机床装备高端智能化制造水平。

4.先进测量服务体系建设

浙江省针对数控机床产业测量需求，系统构建高技术服务生态体系。通过整合计量校准、检验检测及标准化资源，培育专业化测量服务机构集群，形成关键参数测量、设备校准、新产品测试评价等全链条服务能力。实施质量基础设施协同创新机制，统筹计量、标准、认证认可等要素，建立覆盖研发制造全流程的一站式服务平台。该体系

通过先进测量资源共享与质量技术集成应用，强化产业链全生命周期保障能力，推动制造过程标准化与质量管控体系优化，有效支撑数控机床产业向高端化转型升级。

(1) 产业测量技术服务

① 产业链精准测量服务

浙江省计量技术机构、检验检测机构在数控机床产业设备全性能检测、关键参数测量、仪器设备检定校准、产品型式试验、可靠性测试评价等方面服务能力和水平处于全国领先地位，满足数控机床装备制造产业发展测量测试需求。聚焦测量技术智能化、数据化、集约化发展趋势，积极打造新型智慧测量应用服务能力，补强全产业链、全生命周期计量测试服务能力。

② 标准化创新服务

浙江省大力开展标准化创新发展试点，实施企业标准筑基工程，出台标准创新型企业梯度培育细则，加快服务和培育一批高标准引领高质量发展的创新型企业。构建数控机床产业链标准体系，明确一批重点研制和实施的标准清单，一体推进体系建设、标准研制、达标提升。依托技术机构、专业标技委以及标准化服务企业等，组建标准入企服务团，开展标准化知识培训和业务帮扶。

③ 质量品牌提升服务

深度聚焦数控机床制造领域专精特新“小巨人”、单项冠军、隐形冠军、首台（套）制造企业等重点企业，以创新团队+业务骨干模式，重点打造具有专业知识扎实、沟通协调能力强、服务保障水平高的“企业测量咨询师”队伍，制定“一企一策”服务清单，帮助企业解决测量整体需求。持续开放先进测量实验室，推进仪器设备、环境设施等资源共享。加大“浙江制造”品牌建设力度，在数控机床领域制定一批先进标准，引导企业建立以质量为基础的品牌发展战略，培育一批具有核心竞争力的国产品牌。

(2) 质量基础设施协同服务

浙江省充分发挥政府统筹规划与监督服务作用，加强质量基础设施顶层设计和分级分类管理。围绕数控机床产业链制造集群打造了玉环市机床产业质量基础设施“一站式”服务平台、缙云县锯床和特色机械装备产业质量基础设施“一站式”服务平台、文成县装备制造产业质量基础设施“一站式”服务平台、龙游县高端装备制造产业质量基础设施“一站式”服务平台等一批产业质量基础“一站式”服务平台。发挥国家和省级质检中心、产业计量测试中心服务引领作用，深化线上线下融合，构建协同服务网络，推动省市县三级计量、标准、认证、检验检测要素跨层级跨区域融通协同，提升质量基础设施服务水平。

五、先进测量能力未来建设方向展望

数控机床作为“工业母机”，其测量能力的提升直接决定了高端制造业的精度、效率与可靠性。随着量子计量、芯片级计量、人工智能等技术的突破，以及新质生产力概念的深化，数控机床产业的测量体系正迎来革命性变革。在超精密加工需求激增、量子技术突破、芯片级集成加速以及人工智能（AI）赋能的背景下，数控机床的测量体系正经历从“几何反馈”到“物理感知”、从“离线校准”到“自主决策”的范式跃迁。以下从技术融合、产业升级、生态构建三大维度展开未来展望。

1. 量子计量与超精密加工的深度融合

量子计量通过建立量子物理基准，将从根本上革新传统测量体系，基于量子化霍尔效应与冷原子干涉原理，为电阻、重力加速度等关键参数确立极小量值测量基准，突破实物基准的稳定性局限。如将该技术深度融合入超精密加工领域，通过量子传感器与机床系统的嵌入式集成，实现加工过程的实时原位校准，将有效解决复杂曲面加工中的系统性误差难题^[14]。量子原理的工程化应用推动测量精度进入亚纳米级时代，例如基于量子纠缠原理的测距技术可重构空间定位基准，原子钟技术实现时间同步精度跃升，冷原子干涉仪则突破惯性传感极限。量子传感技术与超精密机床的协同创新，使热变形监测、振动频谱分析等核心参数检测精度实现数量级提升，并具备抗干扰与宽温域稳定特性。此类技术融合将推动光学自由曲面加工、极紫外光刻反射镜制造等尖端工艺突破原子级制造瓶颈，为半导体、航天器等战略产业提供颠覆性工艺支撑，将标志着数控机床产业正式迈入量子精密制造新纪元。

2. 芯片级计量与微型化测量系统的集成

芯片制造对纳米级加工精度的需求将驱动数控机床测量技术向微型化与智能化深度演进。基于MEMS和光子集成电路技术开发的微型传感器^[15]，通过纳米光栅与光纤传感模块的嵌入式集成，实现切削力、温度及磨损状态的实时原位感知。结合人工智能算法构建多模态在线检测系统，可动态监测加工参数并实施误差补偿。未来分布式智能测量节点与数字孪生网络的深度应用，将形成自感知、自决策的闭环控制生态，突破热变形与装配应力等非线性扰动限制，推动加工一致性向极限精度逼近。这一技术路径将标志着数控机床从机械执行向智能感知系统的范式跃迁。

3. 人工智能驱动的智能测量体系

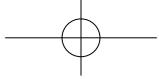
人工智能技术将驱动数控机床测量体系向智能化闭环控制范式演进。通过构建“感知-分析-决策-优化”的智能闭环系统，实现加工过程的全要素实时调控。在感知层，多模态传感融合技术集成光栅、激光干涉与振动温度传感器，结合机器视觉实现加工状态多维感知；分析层基于物理建模与数据驱动算法构建数字孪生体，实现机床动态行为的精准映射；控制层通过压电驱动与热补偿模块的动态修正，形成加工误差的闭环抑制机制。预测性维护体系方面，融合振动频谱分析、温升趋势监测与失效模式库，建立关键部件全生命周期健康管理系统，推动设备维护从被动响应转向主动预警。同时技术实施需遵循国际及国家标准框架^[16]，如ISO机床性能测试规范对AI决策模块的可靠性验证要求。未来智能测量技术体系通过智能诊断与自优化能力的深度整合，将显著提升加工精度稳定性与设备综合效能，将实现数控机床自主认知与实时优化的智能生产。

六、结论

数控机床产业作为现代先进制造业的战略核心，承载着推动工业化进程向智能化、高端化转型升级的历史使命。其发展不仅为汽车制造、航空航天等高端装备领域提供技术支撑，更通过融合人工智能、大数据等前沿技术重构生产范式，引领制造业向自主感知、实时优化的智能生产阶段跨越。作为国家产业基础能力再造与产业链现代化水平提升的关键抓手，该产业在保障国防安全、应对全球化竞争、促进绿色可持续发展等方面具有不可替代的战略价值。当前产业发展已进入由规模扩张向质量效益转型的关键期，亟需通过技术创新突破精度瓶颈，构建面向未来的新型产业生态。

现代先进测量能力作为驱动机床性能升级的核心引擎，将经历量子计量与智能传感技术的双重变革。通过高精度传感器网络与智能反馈系统的深度集成，现代测量体系实现了加工过程的动态闭环控制，推动机床精度架构由微米级向亚纳米级跃迁。实时补偿算法与数字孪生技术的应用，使热变形、装配应力等非线性扰动得到有效抑制，加工一致性实现数量级提升。预测性维护系统基于多模态传感数据与失效模式库，构建起关键部件的全生命周期健康管理体系，标志着设备管理从被动响应转向主动预警的范式转换。这种测量-控制-执行的高度融合，正在重新定义精密制造的边界，为工业母机向原子级制造等前沿领域突破奠定技术基础。

（下转第32页）



机床热设计与热补偿关键技术

通用技术集团机床工程研究院有限公司沈阳分公司 张金军 王雨婷 石洁芳
北京星航机电装备有限公司 熊亮同

【摘要】机床热误差是影响加工精度的关键因素之一，通过有效的热设计、热控制和热补偿可以显著提高机床的加工精度和稳定性。综述了当前机床热设计、热控制与热补偿的研究进展，预测了未来技术融合和智能化的发展方向，为机床热误差补偿设计提供参考。

一、引言

在当下产业结构不断调整升级的背景下，我国先进制造业逐步取代传统制造业，数控机床行业也随之加速发展，尤其是高档数控机床的需求日益增长。数控机床加工精度的高低关乎着制造业产品的质量与品质，然而目前其在加工精度方面仍面临诸多挑战。

通常而言，加工系统误差与随机误差是影响数控机床加工精度的主要因素，涵盖了机床结构及制造产生的几何误差、切削力引起的误差、机床热变形误差、刀具磨损引起的误差以及数控监测系统误差等多方面，还包括机床振动、加工环境和操作环境所导致的误差。据相关统计，几何误差、热误差和切削力误差在机床总误差中占比高达75%^[1]，由此可见，对这三项误差进行有效控制是提升机床精度的关键所在。在众多提升精度的方法中，误差补偿法凭借其独特优势受到关注，该方法通过分析加工误差形式，建立误差补偿模型，进而实现机床加工精度的软提升。

而就数控机床自身而言，近年来我国机床制造业虽不断发展，数控机床加工精度有了显著提高，但在可靠性、精度保持性以及热稳定性等方面仍存在进一步提升的空间。其中，热稳定性是制约机床精度的关键因素之一。在

实际加工过程中，车间温度变化、主轴旋转发热、导轨摩擦生热、电机散热等各类因素相互交织，使得机床加工点位置产生无规律偏离，进而导致工件加工不合格甚至报废^[2]。

因此热误差研究不仅具有重要的理论意义，还具有广泛的实际应用价值。通过建立精确的热误差模型，可以为热误差补偿提供可靠依据，从而优化数控机床的加工过程，提高生产效率和产品质量，降低生产成本，增强我国数控机床在国际市场上的竞争力。因此，深入研究数控机床的热误差建模技术，对于推动我国制造业向高端化、智能化发展具有重要的现实意义。本文聚焦于数控机床的热设计与热补偿技术，深入探讨机床设计制造中应用的热镜像结构以及热补偿方法等。通过优化热设计，从源头上减少热源对机床精度的影响，借助热补偿技术精准地预测并补偿热误差，实现数控机床热稳定性与加工精度的双重提升，为我国数控机床的热误差设计优化提供借鉴。

二、机床热设计技术

金属材料有热胀冷缩的特性，温度每变化1℃，钢铁长度就变化11.7 μm/m。在设计阶段减少机床热误差影响，

从根本上提高机床的热态特性尤为重要^[3]。机床启动运行后，其内部零部件在摩擦、机械运转及切削热等因素的作用下，温度逐渐上升，进而导致零部件尺寸发生热胀冷缩。这一过程中，机床的几何形状和空间位置精度会因热变形而出现波动，使得加工精度难以保持稳定。通常情况下，只有当零部件的发热量与散热量达到动态平衡，机床的整体热状态趋于稳定时，加工精度才能逐步恢复稳定。然而部分机床由于设计、制造方面原因，在运行过程中无法实现良好的热平衡，使得机床始终无法达到理想的稳定加工精度，严重影响了加工效率和产品质量^[4]。因此，优化机床的热设计，提升其热平衡性能，是解决此类问题的关键所在，也是提高数控机床加工精度的重要研究方向。

1. 采用对称化结构

机床的结构布局，包括机床的结构形式、质量分布、材料分布、热源位置等机床内部的影响在机床热变形中影响较大。

机床结构的对称化可使构件的热变形走向相互不一致，从而减少刀具中心点偏移的影响。日本安田（Yasda）精密工具公司推出的YMC430微加工中心是亚微米高速加工机床。该机床的结构设计对热性能进行了充分的考虑^[5]，其配置特点如图1所示。

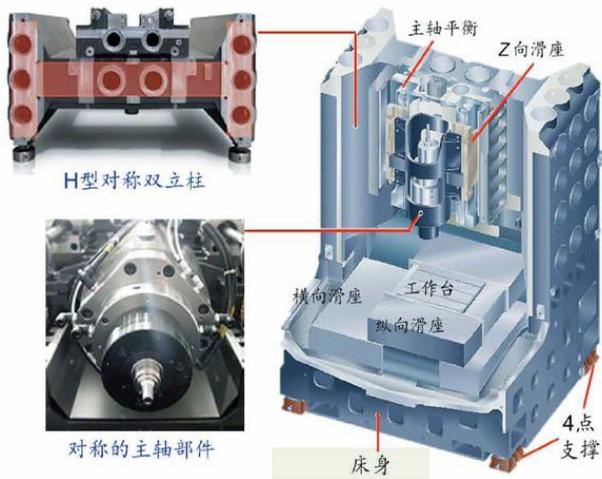


图1 YMC430机床对称结构

从图中可见，在机床结构上采取完全对称的布局，立柱和横梁是一体化结构，呈H型，相当于双立柱，具有良好的双向对称性，且立柱内部有循环冷却液，保持恒温。此外，主轴滑座无论在纵向还是横向也都是对称的。3个移动轴的进给驱动均采用直线电动机，使机床结构上更加容易保证对称性。2个回转轴也采用直接驱动，尽量减少机械传动的摩擦损耗和发热。

日本大隈（Okuma）公司将“热亲和”作为其四大核

心智能技术之一，使机床的热变形可预测、可控制和可补偿，并在其主要产品设计中皆加以遵循和应用。例如T2/T4系列钛合金加工机床采用箱中箱结构，其主轴滑座结构和筋板布置上下左右皆对称，如图2所示。

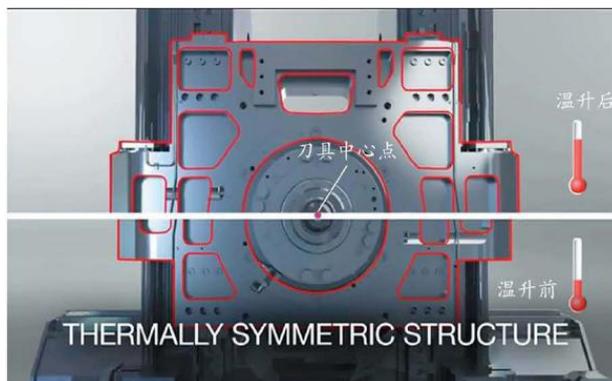


图2 主轴滑座的热对称结构

图中下半部为初始温度状态，上半部为环境温度和主轴温度升高的状态。机床结构尽管发生热变形，但主轴中心（刀具中心点）可以保持不变，称之为“热亲和”设计原理叫。

2. 采用合理的冷却方式

在现代机械加工中，冷却液的合理使用对加工精度起着至关重要的作用。冷却液不仅能够迅速带走加工过程中产生的热量，降低切削区域的温度，还能有效减少热变形，提升工件的尺寸精度和表面质量。尤其是在高速加工时，切削速度的大幅提高导致切削区产生大量热量，切屑温度极高。若不及时将这些高温切屑从专用沟槽快速排出，热量将会传导给工件和机床工作台，进而引发工件热变形，使加工尺寸偏离设计要求，表面粗糙度增加，甚至可能导致机床关键部件温度升高，影响机床的热稳定性，降低加工精度。

Pavliček等^[5]用CO₂冷却取代原来的油冷却，发现两者的温度场分布不同。在机床运行中，利用测量装置来测量热位移，结果表明刀具中心的热位移在不同的冷却方法下有不同的值。

在机床结构设计中，应充分考虑增加自然冷却面积。例如，在主轴箱体结构上巧妙设计，添加自然风冷却面积。当机床处于空气流通良好的车间内时，这种设计能够借助自然风的流动，增强散热效果，有效降低主轴箱体的温度，减少因主轴系统发热引起的热变形。这种被动式的冷却方式成本低、维护简便，却能在一定程度上提升机床的热稳定性，有助于保持加工精度的稳定性和一致性。Xia等^[6]从流固耦合的传热模型的热特性出发，提出了一种树状分型流道的主轴温控结构，与传统螺旋状的流道在散热效果方面进行了比

较：与传统螺旋形流道网状散热器相比，分形树状通道网状散热器压力较低、温度较均匀，以及具有更大的性能系数。

三、机床热补偿技术

热误差源于机床零部件在运转时的发热与散热过程，各部件因摩擦、切削热、环境温度变化等产生热变形，进而导致加工精度的下降。误差补偿技术以热误差模型和传感器反馈值为基础，可对加工程序、数控系统或控制器进行补偿，运行过程中，热误差呈现出非线性，数学模型可以更准确地预测误差，为非线性模型的创建提供支持^[7]。热误差数学补偿的常用模型包括有限元分析、时间序列分析、鲁棒建模及神经网络等。不再局限于传统的机械精度提升，而是通过精准的误差预测与补偿，直接在加工过程中对热误差进行修正。其核心在于建立热误差模型，这是一项既要深谙机床热特性，又要精通数学建模的复杂工程。近年来，众多学者致力于热误差建模的研究，探索了多种建模方法，从最早的基于物理模型的热误差建模，到如今结合数据驱动与机器学习的先进方法，每一步都推动着热误差补偿技术向更精准、更高效的方向发展。

1. 热误差测量技术

四川大学谢飞等人提出了一种综合系统聚类（SC）与灰色关联（GC）的测点优化及误差建模方法^[8]。以数控机床热误差实验为依据，基于系统聚类、灰色关联分析原理和文中提出的测点筛选原则，将温度测点的数量由20个减少为4个，建立了热误差温度测点优化模型并进行了优化计算。有效降低测点之间的多重共线性，有利于优化模型的预测精度。

2. 热误差建模研究

赵海涛等^[9]提出分组建模以改善预测精度。借助硬分断点和软分断点设计对温度变量、热误差变量采样数据序列分组的方法，以热误差拟合残差和为目标函数，利用遗传算法实现硬分断点的优化选择，给出组间热误差模型系数更替的判别依据，对提高预测精度有一定作用。

刘文涛提出了一种新的混合模型，可算出数控机床导轨直线方向上的误差，利用误差实时补偿系统可将直线度误差减少60%以上^[10]。

李有堂等结合布谷鸟算法的随机莱维飞行机制和最小二乘支持向量机结构风险最小化与线性规划等优点，提出基于布谷鸟算法优化最小二乘支持向量机的热误差建模方法^[11]，取得了良好的预测效果，且明显优于BP神经网络模型和未优化的最小二乘支持向量机模型的预测效果。

汤易升等^[12]以典型的三轴立式加工中心机床为研究对象，对机床Z轴向热误差和主轴箱Z轴向热误差进行测试，采用灰色关联分析和灰色聚类分析相结合的方法对温度测试点进行优化，从16个温度测试点选出2个温度敏感点。应用多元线性回归法（MLR），建立机床Z轴向热误差多元线性回归模型，大大提高机床的精度。

捷克布拉格技术大学Horejs等^[13]在传递函数的基础上进行动态建模，以主轴的转速、主轴功率和机器结构的5个温度为变量，研究对钢切削的影响，结果表明采用基于回归方法构建的TF模型，在不同切削条件下进行的钢切削测试中，最多可将热误差降低79%。

3. 热误差补偿研究

沈明秀采用加权最小二乘法进行参数自适应更新，给出了机床热误差自适应控制原理图，提出了一种用于识别和更新热误差的外生输入自回归模型^[14]，能够降低机床产生的热误差。

梁荫娟参考机床热误差补偿研究后设计了温度检测系统，建立了一套相适应的误差模型^[15]，发现存在热变形误差后立即进行补偿处理来确保误差最小化。弥补了温度有线检测的不足，确保了数据获取的完整性与准确性，实现了高效、准时地误差补偿。

台湾勤益科技大学Chen等^[16]用14个温度传感器检测机器周围的实际温度场，选择温度敏感性较高的4个点作为主要位置，建立热模型，并开发控制位移变化的补偿系统。其结果是，x，y轴的位移和刀具中心位置的误差均控制在20 μm以内。

上海交通大学杨建国等^[17]对机床主轴温度升高产生的组件变形情况进行了研究，研发出了对机床形成的误差实时补偿的系统，且利用热特性建立了理论模型，修正并获得了最终的建模方法^[18]。杨建国，范开国. 数控机床主轴热变形伪滞后研究及主轴热漂移在机实时补偿[J]. 机械工程学报, 2013, 49(23): 129-135.^[18]

Liu等^[19]提出了一种数据驱动的五轴机床补偿方法，探讨了热误差与定位误差的关系。提出了一种新的进给驱动系统热误差回归分析，预测了新工况下的热误差，与无补偿和无传统误差补偿相比，采用现有误差补偿的加工误差分别降低了85%和37%以上。

四、总结与展望

本文对机床热设计与热补偿的关键技术进行了分析。热设计方面，从对称化结构，采用直线电动机和对称布局的机床结构，搭配循环冷却液系统等方面进行综述。热补

偿技术通过热误差模型和传感器反馈实现加工程序补偿。多种建模方法被广泛应用。机床热设计与热补偿技术的发展对提升数控机床精度、稳定性和竞争力具有重要意义。

未来，随着智能制造和工业4.0的发展，机床热设计、热控制和热补偿技术将不断优化和创新，为高端装备制造提供有力支持。□

参考文献:

[1] 吕学祜, 郭前建, 王昊天, 王文华, 朱帅伦, 陈书童. 数控机床误差补偿关键技术综述[J]. 航空制造技术, 2022, 65(11): 104-111. 119.

[2] 蔡德程, 陈缤, 关欣, 等. 机床热特性优化研究综述[J]. 上海理工大学学报, 2021, 43(05): 443-451.

[3] 张曙, 张炳生. 机床的热性能设计(上)[J]. 机械设计与制造工程, 2017, 46(3): 1-8.

[4] 李桂华, 聂恒敬. 简单机械零件热变形行为研究及应用[J]. 能源研究与信息, 2003(3): 180-184.

[5] PAVLIČEK F, BEER Y, WEIKERT S, et al. Design of a measurement setup and first experiments on the influence of CO₂-cooling on the Thermal Displacements on a Machine Tool [J]. Procedia CIRP, 2016, 46: 23-26.

[6] XIA C H, FU J Z, LAI J T, et al. Conjugate heat transfer in fractal tree-like channels network heat sink for high-speed motorized spindle cooling[J]. Applied Thermal Engineering, 2015, 90: 1032-1042.

[7] 陈建国, 方辉. 数控机床的热误差补偿技术研究[J]. 机械设计与制造, 2018(10): 142-145.

[8] 谢飞, 王玲, 殷鸣, 等. 数控机床热误差的温度测点优化方法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019, (06): 45-49.

[9] 赵海涛, 雷鸣, 湛海莲, 等. 数控机床热误差分组建模优化研究[J]. 机械, 2025, 52(02): 8-14+58.

[10] 刘文涛. 机床热误差产生原因分析及常用补偿办法[J]. 现代制造技术与装备, 2019(4): 148-149.

[11] 李有堂, 汤雷武, 黄华, 等. 基于优化最小二乘支持向量机的数控机床热误差建模分析[J]. 兰州理工大学学报, 2022, 48(03): 35-41.

[12] 汤易升, 唐铭迪, 易佳培, 等. 数控机床热误差建模与分析[J]. 科学技术创新, 2023, (03): 37-41.

[13] Horejš O, Mares M, Hornych J. Real-time compensation of machine tool thermal error including cutting process[J]. Journal of Machine Engineering, 2015, 15(3): 5-18.

[14] 沈明秀. 机床热误差自适应学习补偿方法研究[J]. 机械设计与制造, 2024, (12): 270-272+279.

[15] 梁荫娟. 数控机床热误差智能补偿系统设计与研究[J]. 中国新技术新产品, 2022, (17): 106-108.

[16] CHEN T C, CHANG C J, HUNG J P, et al. Real-time compensation for thermal errors of the milling machine[J]. Applied Sciences, 2016, 6(4): 101.

[17] 项四通, 杨建国, 张毅. 基于机理分析和热特性基本单元试验的机床主轴热误差建模[J]. 机械工程学报, 2014, 50(11): 144-152.

[18] 杨建国, 范开国. 数控机床主轴热变形伪滞后研究及主轴热漂移在机实时补偿[J]. 机械工程学报, 2013, 49(23): 129-135.

[19] Liu J, Ma C, Wang S. Data-driven thermally-induced error compensation method of high-speed and precision five-axis machine tools[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2020, 138: 106538-106538.

资讯

华辰装备发布多款精密磨床

6月27日，华辰精密装备（昆山）股份有限公司（简称华辰装备）举办主题为“高精高效，创新创赢”的新产品发布会，发布精密数控直线导轨磨床、新型超精密曲面磨床、精密“内外”螺纹磨床、亚 μ 随动磨床等多款新产品，中国机床工具工业协会会长毛予锋出席发布会并致辞，来自科研院所、产业链龙头企业以及合作伙伴等的代表参会。

毛予锋会长在致辞中表示，机床工具行业是支持经济社会发展的战略性基础性产业，机床行业的技术水平和产品质量，是衡量装备制造业发展水平的重要标志。华辰装备发布的多款新产品，不仅展现了企业在研发上的硬实力，更体现了对市场趋势的敏锐洞察和前瞻性布局，相信这些高端精密装备将为行业带来新的变革，为用户创造新的价值。



华辰装备董事长曹宇中表示，公司始终以技术创新为内核，搭建先进的智造管理平台，构建科学的质量管控体系。产品从单一数控轧辊磨床到系列高端精密磨削装备，不断突破多项“卡脖子”技术壁垒，力争让中国高端装备赢得更多市场认可和信赖。

2025年一季度机床工具行业经济运行情况

中国机床工具工业协会信息统计部

依据国家统计局公布的机床产量数据、中国海关进出口数据，以及中国机床工具工业协会（以下简称“协会”）统计测算数据和协会重点联系企业统计数据，本报告归纳总结了机床工具行业2025年一季度全行业及主要分行业的运行情况，分析了经济运行特点，供行业企业参考。

一、机床工具行业主要运行指标

1. 营业收入

2025年1-3月，机床工具行业完成营业收入2296亿元，同比下降4.2%。主要分行业中，除磨料磨具外全部实现增长。

机床工具行业及主要分行业的营业收入情况，详见表1。

表1 2025年1~3月机床工具行业及主要分行业的营业收入情况

指标名称	单位	总计	金属切削机床	金属成形机床	机床功能部件及附件	切削工具	磨料磨具	其他
营业收入	亿元	2296	403	219	133	258	929	354
同比增减	%	-4.2	15.5	13.3	0.9	2.7	-18.0	4.5

2. 利润总额

2025年1-3月，机床工具行业实现利润总额29亿元，同比下降65.7%。主要分行业中，金属切削机床、金属成形机床和机床功能部件及附件同比增长。

机床工具行业及主要分行业的利润总额情况，详见表2。

表2 2025年1~3月机床工具行业及主要分行业的利润总额情况

指标名称	单位	总计	金属切削机床	金属成形机床	机床功能部件及附件	切削工具	磨料磨具	其他
利润总额	亿元	29	21	7	7	16	-35	13
同比增减	%	-65.7	56.7	64.9	5.2	-18.0	-254.6	-24.1

3. 利润率

2025年1-3月，机床工具行业平均利润率为1.3%，较上年同期下降2.2个百分点。主要分行业中，金属切削机床、金属成形机床和机床功能部件及附件同比增长。

机床工具行业及主要分行业的利润率情况，详见表3。

表3 2025年1~3月机床工具行业及主要分行业的利润率情况

指标名称	单位	总计	金属切削机床	金属成形机床	机床功能部件及附件	切削工具	磨料磨具	其他
利润率	%	1.3	5.2	3.4	5.3	6.4	-3.8	3.5
同比增减	百分点	-2.2	1.4	1.1	0.2	-1.6	-5.8	-1.3

4. 金属加工机床产量

国统局公布的规模以上企业统计数据显示，2025年1-3月金属切削机床产量18.2万台，同比增长20.5%；金属成形机床产量4.0万台，同比增长14.3%。金属切削机床和金属成形机床的产量都延续上年度的增长趋势，且增幅有所扩大。

二、进出口指标

1. 总体情况

2025年1-3月，中国机床工具行业进出口由2024年的同比微降转为同比增长，其中进口降幅收窄，出口增幅扩大，贸易顺差扩大。

根据中国海关数据，机床工具商品进出口情况，详见表4。

表4 2025年1~3月机床工具商品的进出口情况

指标名称	单位	进出口合计	其中：进口	出口	贸易差
金额	亿美元	77.0	23.7	53.2	29.5
同比增减	%	2.1	-5.6	5.9	17.5

机床工具主要商品门类的累计进口和出口情况，详见图1和图2。

表6 2025年1~3月进口金额前五位的金属加工机床品种

排名	金属加工机床品种	进口金额 (亿美元)	同比 (%)	占比 (%)
1	加工中心	4.3	-6.4	33.8
2	特种加工机床	2.4	17.7	18.6
3	磨床	1.7	-28.5	13.2
4	齿轮加工机床	1.3	9.1	10.5
5	车床	0.8	-38.8	6.4

(2) 出口金额排前五位的金属加工机床品种

2025年1~3月出口前五位的金属加工机床品种及其出口金额, 详见表7。

表7 2025年1~3月出口金额前五位的金属加工机床品种

排名	金属加工机床品种	出口金额 (亿美元)	同比 (%)	占比 (%)
1	特种加工机床	5.7	7.5	25.7
2	加工中心	2.7	39.7	12.1
3	金属冷加工压力机	2.2	81.0	9.9
4	成形折弯机	1.9	11.1	8.6
5	车床	1.8	-19.6	8.2

三、协会重点联系企业运行指标

协会重点联系企业指按月向协会报送经营数据的会员企业。

1. 主要经济指标

2025年1~3月, 重点联系企业营业收入同比增长9.5%。利润总额同比下降4.3%。亏损企业占比为33.8%。金属加工机床产量、产值同比分别增长8.4%、16.2%。其中, 金属切削机床产量、产值同比分别增长6.3%、6.8%; 金属成形机床产量、产值同比分别增长17.5%、40.7%。

2. 金属加工机床订单指标

2025年1~3月, 金属加工机床新增订单、在手订单同比分别增长22.7%、20.2%。其中, 金属切削机床新增订单、在手订单同比分别增长8.6%、13.0%; 金属成形机床新增订单、在手订单同比分别增长56.2%、33.8%。

四、2025年一季度行业运行特点

1. 宏观政策拉动效果逐步显现, 整体营收呈恢复向好态势

今年一季度, 国家系列稳增长政策的拉动效果逐步显现, 机床工具市场需求回暖, 行业运行呈现恢复向好的态势。整体营业收入虽仍处于下降区间, 但降幅较上年全

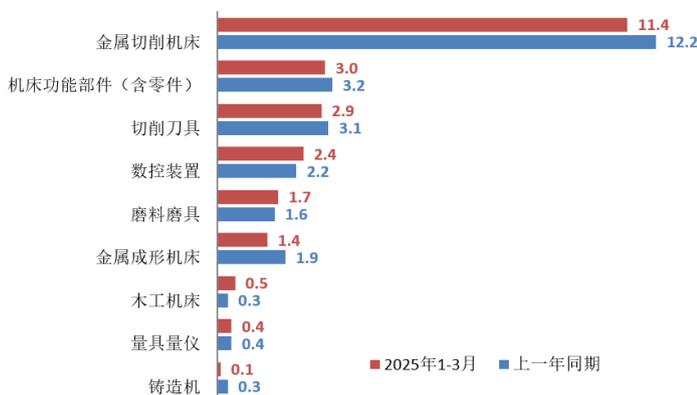


图1 机床工具产品累计进口情况 (亿美元)

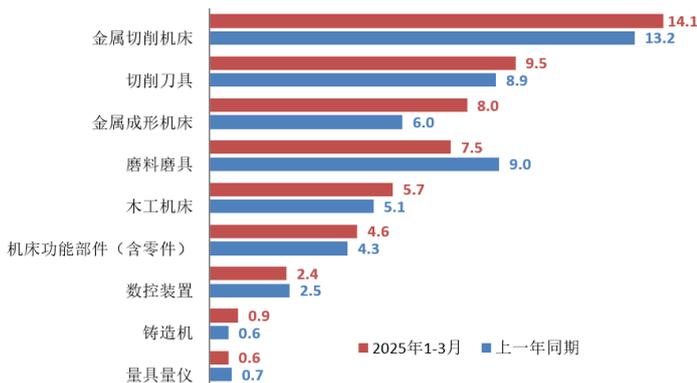


图2 机床工具产品累计出口情况 (亿美元)

2. 金属加工机床进出口情况

2025年1~3月, 金属加工机床进出口保持贸易顺差, 其中进口下降, 出口增长, 顺差金额扩大。

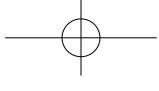
根据中国海关数据, 金属加工机床的进出口情况, 详见表5。

表5 2025年1~3月金属加工机床的进出口情况

产品名称	进口		出口		贸易差 (亿美元)
	金额 (亿美元)	同比 (%)	金额 (亿美元)	同比 (%)	
金属加工机床	12.8	-8.9	22.1	15.2	9.2
其中: 金属切削机床	11.4	-6.7	14.1	7.1	2.7
金属成形机床	1.4	-23.1	8.0	32.8	6.5

(1) 进口金额排前五位的金属加工机床品种

2025年1~3月进口前五位的金属加工机床品种及其进口金额, 详见表6。



年收窄。主要分行业中，除磨料磨具外，其他分行业都有所增长，金属切削机床和金属成形机床分行业的增速都在10%以上。从协会重点联系企业的订单数据看，金属切削机床和金属成形机床的新增订单和在手订单都保持增长，且增幅较上年全年全面扩大。

2. 行业整体利润率仍较低，但大部分分行业已恢复增长

一季度，机床工具行业整体利润率仍较低，协会重点联系企业中亏损企业占比仍在30%以上，但金属切削机床、金属成形机床、机床功能部件及附件分行业的盈利状况已呈现恢复性增长。

3. 出口保持增长，但不确定性增加

我国机床工具产品技术水平不断提高，国际市场竞争

力不断增强。在外部冲击影响加大的情况下，一季度出口继续保持增长，且增幅扩大。同时，受国产替代等因素影响，进口持续下降。进出口总额则结束了连续两年的下降，恢复增长。

尽管最近出现了中美经贸会谈取得突破等积极因素，但目前国际市场的不确定性依然较强，针对机床工具企业的制裁等非关税贸易壁垒增多，对机床工具出口构成新的困难和障碍。

4. 磨料磨具行业仍未走出下行通道

由于大量应用磨料磨具的房地产、钢铁、耐火材料等下游产业持续低迷等因素影响，磨料磨具市场今年一季度以来仍处于下行通道，该分行业各项主要经济指标均明显下降。□

上接第25页

浙江省作为全国数控机床产业高地，已构建覆盖核心部件检测、整机性能验证到控制系统评价的完整技术体系，形成以重点实验室、技术创新中心为核心的协同创新网络。未来通过布局量子计量、智能检测等前沿领域，目标是率先突破五轴联动校准、多参数协同检测等关键技术，建立贯穿全产业链的测量服务能力。可通过三方面路

径实现突破：其一，深化“政产学研用”协同创新，重点攻关精密主轴、智能数控系统等“卡脖子”技术；其二，推进测量管理体系现代化，构建覆盖产品全生命周期与产业链全流程的标准化框架；其三，加速数字化转型，依托工业互联网与人工智能技术实现制造过程的数据贯通与智能决策。□

参考文献：

- [1]市场监管总局科技部工业和信息化部国资委知识产权局关于加强国家现代先进测量体系建设的指导意见[J].中国计量,2022,(02):5-9.
- [2]本刊讯.市场监管总局召开“构建国家现代先进测量体系服务高质量发展”专题新闻发布会[J].中国计量,2022,(02):12-16.
- [3]加快构建国家现代先进测量体系 国务院印发《计量发展规划(2021-2035年)》[J].中国质量监管,2022,(02):10.
- [4]刘红亮.构建国家现代先进测量体系 服务经济社会高质量发展[J].中国计量,2022,(12):13-15.
- [5]朱美娜.国家现代先进测量体系:制造业转型升级的坚韧利器[J].张江科技评论,2020,(05):16-20.
- [6]构建国家现代先进测量体系助推产业高质量发展—赴德国开展“国家先进测量体系”培训收获[J].中国计量,2020,(05):55-60.
- [7]朱美娜.构建国家现代先进测量体系助推制造业转型升级[J].中国计量,2018,(09):13-16.
- [8]陈岳飞,徐学林,朱美娜,等.国家现代先进测量体系的基本内涵、生成逻辑及实现路径[J].中国测试,2021,47(02):1-5.
- [9]陈岳飞,赵鑫,王理,等.创新驱动发展战略下计量科技创新实现路径研究[J].中国测试,2023,49(09):23-30.
- [10]曹玉芬.砥砺前行奋勇争先加快建设水运交通现代先进测量体系[J].中国计量,2024,(03):17-18.
- [11]韩义中.建设航空工业现代先进测量体系系统航空工业新质生产力发展[J].中国计量,2024,(09):12-14.
- [12]刘璐,刘馨然,康丽雁,等.基于现代先进测量体系的营销数据应用生态管理模式研究与实践[C]//中国电力企业管理创新实践(2023年).国网辽宁省电力有限公司营销服务中心,2025:41-44.
- [13]叶怀储,赵健铭,陈宁,等.数控机床产业链标准体系建设的相关思考[J].世界制造技术与装备市场,2023,(01):41-44.
- [14]陈启迪,胡小龙,吝敏,等.超精密加工机床发展现状与趋势[J].工具技术,2023,57(06):3-9.
- [15]王成立,蔡佳辰,周李平,等.碳化硅集成光子学研究进展[J].光学学报,2023,43(16):287-304.
- [16]全国过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC 124).智能服务 预测性维护 通用要求:GB/T 40571-2021[S].中国标准出版社,2021.

科技创新显成效 中国机床制造业的坚守与突破

——CIMT2025展会综合报道

中国机床工具工业协会传媒部 兰海侠

CIMT2025注定要在CIMT发展史上留下浓墨重彩的一笔，31万平方米的超大规模在全球机床工具专业展中确立新的里程碑！2025年4月21-26日，第十九届中国国际机床展览会（CIMT2025）在北京举办，展会由中国机床工具工业协会主办，并与中国国际展览中心（集团）有限公司共同承办。展会首次使用刚刚落成的首都国际会展中心和中国国际展览中心（顺义馆）两个展馆，来自全球31个国家和地区（含中国）的2449家展商集中亮相。

当前全球经济与贸易领域正经历深刻变化，不确定性显著增加。在此时代大变局的背景下，CIMT2025展览面积翻倍扩容，国际化参与度保持升温，展会的盛大启幕和完美收官，在全球机床业界引发震动，彰显了中国机床工具市场的强大吸引力和内在韧性，中国机床工具产业乃至全产业链条正以其旺盛的生命力充分展示着未来无限可能的上升空间。



CIMT2025以“融合创新 数智未来”为主题，深度贴合当下行业发展的技术特征与发展趋势。今天，信息化技术与制造技术的深度融合正在不断迎来突破性、颠

覆性发展，AI深度集成、数字孪生全覆盖、边缘计算+云端协同等新一代信息技术助推行业迎来了全新的智造时代，行业正在探索数字化和智能化转型之路上走深走实。CIMT2025不止是展示当下全球机床制造业在高效加工、智能制造、互联互通、绿色生态等方面最前沿的产品技术，更折射出全球机床制造业未来的发展路径与方向。

展会得到政府部门、国内各界以及国际相关领域广泛、高度关注

为期6天的CIMT2025，得到了政府部门以及国内各界的高度关注与参与。教育部原部长、中国工程院院士周济先生，原国务院派驻国有重点大型企业监事会主席贾成炳先生，工业和信息化部原副部长苏波先生，中国通用技术（集团）控股有限责任公司党组副书记、总经理崔志成先生出席开幕式并参观展会。

工业和信息化部装备工业一司副司长汪宏先生，北京市顺义区政府党组成员、副区长宋鹏先生，国家发改委、科技部、商务部、国防科工局等有关部门的领导，以及北京、上海、湖北，江苏南京、湖南长沙、浙江台州、山东滕州、河北泊头等地方政府相关部门的领导，也出席了开幕式或参观了展会。

中国机械工业联合会会长徐念沙先生，中国重型机械工业协会执行会长景晓波先生，中国工程机械工业协会会长苏子孟先生，中国内燃机工业协会常务副会长邢敏先生，中国农业机械工业协会执行副会长赵剡水先生，中国铸造协会执行副会长高巍先生，中国和平利用军工技术协会秘书长陈晶晶女士，中国轴承工业协会秘书长牛辉先生，中国液压气动密封件工业协会副秘书长王彩英女士，

中国展览馆协会负责人郑世钧先生，北京国际会议展览业协会理事长、北京北辰实业集团有限责任公司副总经理魏明乾先生，以及山东、河南、广东、安徽、长沙市等地方行业组织负责人和代表，出席了开幕式或参观展会。

CIMT2025也得到了各国家和地区机床工业协会及相关行业组织的广泛关注与大力支持。美国机械制造技术协会、德国机床制造商协会、英国制造技术协会、日本机床制造商协会、瑞士技术产业协会、西班牙先进数字化机床制造商协会、意大利对外贸易委员会、韩国机床制造商协会、捷克机械工程技术协会、印度机床制造商协会、台湾区机械工业同业公会、台湾区工具机暨零组件工业同业公会等国家和地区机床工业协会及相关行业组织负责人参加开幕式，并参观展会。

CIMT2025展会吸引了众多专业媒体及社会媒体的深度参与、广泛报道。中央电视台新闻频道以“多款创新产品亮相2025中国国际机床展”为题报道了CIMT2025召开的盛况。新华社、《经济日报》、《新京报》、《中国经济时报》、《北京日报》、《北京青年报》、《每日经济新闻》、《中国工业报》、中新网、环球网、中国日报网、澎湃新闻、网易、搜狐、知乎、中经网、新浪新闻、中国财富网、东方财富网、产业经济在线、千龙网、财联社、凯迪网、中国工业新闻网等数十家主流媒体及网站、视频号等，均对CIMT2025进行了报道。

31万平方米！展览面积成倍扩容，观众人数再创历史新高

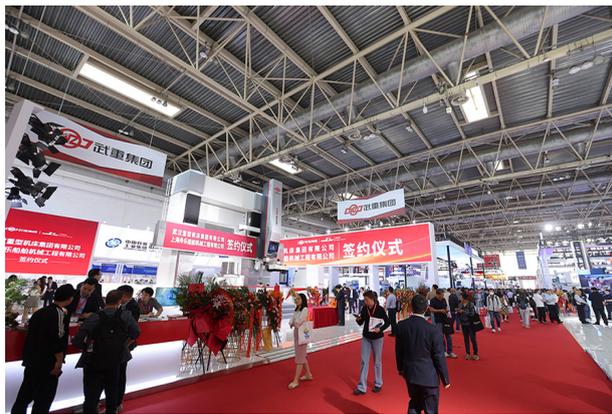
CIMT2025展会以31万平方米的巨大展出面积成为近十年来全球规模最大的机床工具专业盛会，来自德国、美国、英国、瑞士、意大利、韩国、西班牙、日本、捷克、印度、法国、中国香港和中国台湾地区13个国家和地区的机床协会、贸促机构等组团参展，机床工具协会11个分会组团参展。展会观众人数再创历史新高。

根据CIMT2025主办方中国机床工具工业协会委托的第三方——北京中展信合数据服务有限公司门禁系统数据统计，4月21~26日累计进馆（不含主办和工作人员）：总人次416570，与CIMT2023相比增长23.79%；总人数345864，与CIMT2023相比增长42.77%；其中进馆观众人数211993，与CIMT2023相比增长36.81%。

这一统计数据在CIMT2025展会现场得到实际验证。场内观众人气火爆，专业观众、国际访客占比居高，充分反映出在逆全球化和贸易摩擦背景下，民间经济贸易交流热情未减，全球经济一体化发展趋势不可逆转。诸多新

品、首发产品备受关注，展机前驻足观看者络绎不绝，咨询了解、洽谈合作的场景随处可见。特别是一些国际知名品牌以及一些细分赛道的“专精特新”企业展台，其主推展品经常被围得水泄不通，洽谈区经常座无虚席。

展会期间，展商洽谈、签订合同、签署战略合作协议等活动令人目不暇接，众多展商对参展效果给予高度肯定。简单梳理部分展商公布的现场签约及开展战略合作情况即可感受到CIMT2025的良好平台效应。通用技术集团展位共接待境内外客户6000余人，展会现场与多家重点行业领域客户签约，累计签约金额超5亿元；秦川机床工具集团展品受到海内外用户青睐，累计签约和意向合同金额近1.2亿元；武汉重型机床集团与上海舟乐船舶钢构件有限公司签订自主研发的CK5280X70/160数控双柱立式车床产品；浙江东恺科技有限公司订购了济南二机床大型立车、龙门加工中心及落地镗铣加工中心三大类设备；扬力集团与哈工永兴签约3750t智能多工位冲压线项目；星火集团与欧洲客户签下CNC 630与CNC 650多台高端数控机床采购协议；华工激光与瑞士Synova宣布成立合资公司；友嘉国际集团和亿孚传动与机械技术签署战略合作协议。等等。



那么，在诸多商务合作的背后，会有哪些突破性新技术将引领行业变革？智能化、数字化转型呈现哪些新动向？面对新兴市场爆发，机床企业要如何应对挑战、把握机遇？这些关乎行业未来发展的重要命题，在CIMT2025一一呈现。

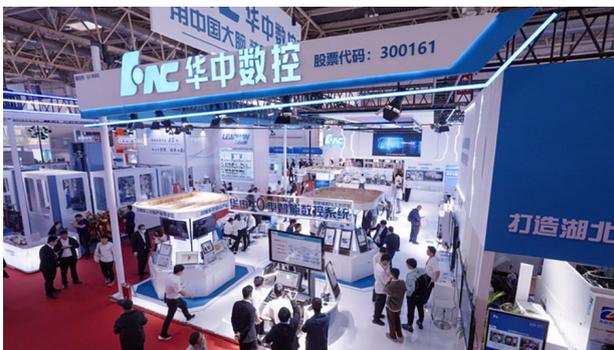
技术创新迎来突破性、颠覆式发展，新一代智能机床成为趋势

高速、高精、高效永远是机床追求的核心性能，CIMT2025充分阐释了全球机床行业正在加速向更高性能、更智能化的方向纵深发展。如智能化与数字孪生的深度融合、柔性化与模块化设计广泛普及、超精密与复合加

工技术深入突破、绿色制造与可持续技术全面推广、新型材料加工解决方案快速进展，等等。

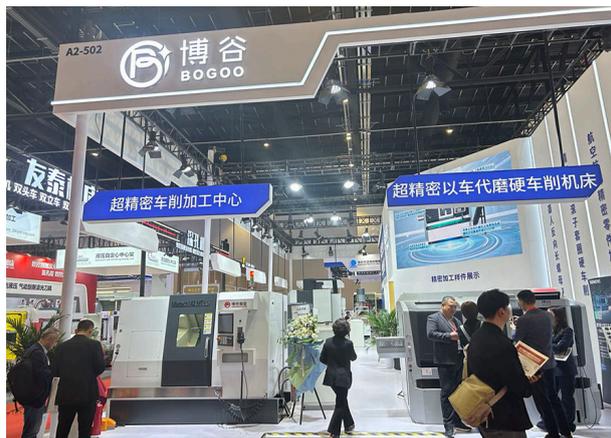
在CIMT2025展品的智能化方面，一个突出亮点就是AI技术与机床的深度集成。DeepSeek一经问世便在智能机床领域得到迅速应用，新一代智能机床深度融合AI、数字孪生、边缘计算、自主决策等智能技术，其动态感知、实时优化、全链协同，重构制造流程的精度、效率与可持续性核心特征迈上新台阶；自动化与柔性生产的关键技术工业机器人、自动上下料、智能检测等广泛普及应用，展品从单机自动化到全厂柔性智造的完整解决方案广泛覆盖；复合化的集约功能不断进步和发展，铣车复合、车铣复合、车磨复合、铣磨复合、增减材复合、车削和制齿复合、切削加工与超声加工复合等各种复合功能展品大幅增加；绿色与节能技术也得到充分展示，包括能量回收系统、低碳工艺、碳足迹追踪等等。

这些技术的突破性发展正在助推新一代智能机床及其互联互通成为行业主流趋势。在CIMT2025，融合最新AI功能的新一代智能机床已不是凤毛麟角，无论是国际知名的老牌跨国企业，还是异军突起的新生势力，都在积极研发新一代智能机床。中国机床工具工业协会主导发布的我国数控机床领域首个互联互通协议标准——NC-Link，其最新版本搭载DeepSeek，通过AI开展计算和推荐，形成最优生产方案，相当于给联网的每台机床安装智慧大脑。华中数控正式发布的“华中10型”数控系统，是系统集成AI算力和大模型的新一代智能数控系统，内置DeepSeek及行业大模型，可以显著提升机床的操作精度和加工效率。在智能机床方面深耕多年的日本大隈，展出新一代CNC智能系统OSP-P500深度融合AI、物联网和数字孪生技术，可明显缩短加工时间、减少刀具磨损。等等。



CIMT2025展出的超精密机床成为一大看点，特别是国内企业在该领域进步显著。通用技术机床研究院展出的UPT250B超精密单点金刚石车床主轴回转精度小于30nm，直线运动轴定位精度小于0.3 μm ，重复定位精度小于0.2 μm ；浙江博谷的超精密以车代磨硬车削机床主轴

回转精度小于0.1 μm ，直线运动轴定位精度小于1 μm ，重复定位精度小于0.2 μm 。在超高速加工方面，广州昊志在展会上正式发布了国产首款10万r/min超高速电主轴；上海拓璞展出的超高速五轴龙门加工中心，通过复合材料、直线电机、智能补偿，实现轻量化节能，快移速度高达120m/min，超高精度五轴龙门加工中心快移速度可达80m/min。



诸多革新技术、创新产品的背后是新兴市场需求的汹涌。新兴客机量产与商业航天崛起，推动难加工材料精密加工需求爆发式增长；新能源相关设备保持火热，汽车行业一体化压铸车身工艺、风力发电机叶片规格不断加大，推动铝合金加工、电机制造成为新风口；AI技术的突破性发展成为半导体产业新的增长引擎，半导体行业向先进制程迈进，对纳米级精度的光刻机基座、刻蚀机腔体等专用机床需求激增；光学、医疗等领域对亚微米级加工的需求旺盛，人形机器人市场的大爆发带动超精密车床需求井喷等等。这些新兴市场的快速发展带来了市场扩容空间，谁能先行研发出满足市场需求的设备谁就能抢占市场先机，全球制造业正在经历前所未有的变革浪潮。

外资企业坚定看好中国市场，携诸多新品、首发产品参展

尽管当前全球经济贸易不确定性显著增加，中国机床工具市场对外资企业的吸引力却依旧保持旺盛。CIMT2025境外参展企业达882家，国际知名企业悉数参展，带来诸多新技术、新产品和首发机型，充分体现了对中国市场的坚定信心。

山崎马扎克携六大核心品类设备及智能化解决方案登场，通过实景化生产演示与全制程案例，展示了他们的本土化成果，包括数字化转型软件“MAZATROLDX”、智能工厂管理软件“Mazaki-Smart Factory”、针对节能减

碳而开发的“NEO”产品及技术、针对提高工序集约及生产效率的“振动切削功能”、“V轴车削功能”、“轮廓加工功能”、“磨削功能”等。涉及两款中国首发设备：针对新能源汽车一体式压铸大型零件加工的FF1250HL、满足航空航天、精密模具等领域复杂曲面切削加工的VARIAXIS C-700。



德马吉森精机携8款机床及3款自动化方案亮相，其中包含两款中国首秀机床：第二代NLX 2500|700车削中心在结构和功能上进行了升级，更符合市场需求；全新推出的CTX beta 450 TC复合中心结合了工艺转型、自动化、数字化和绿色转型。LASERTEC 50 Precision Tool Femto五轴激光加工解决方案能够对复杂的微型刀具进行精密加工，工件表面粗糙度小于Ra0.1 μm。

韩国迪恩机床的展示规模为历届之最，带来了在中国生产、专为中国市场量身打造的8台设备；日本牧野展出两款中国首发产品，分别是大型立式加工中心V900、立式加工中心V300，并展出其新产品五轴卧式加工中心a500iR，以及纳米级精度DB1微型刀具磨床；联合磨削展出9款智能设备，涵盖平面成形磨削、内外圆磨削和工具磨削等机型；托纳斯Swiss XT 32等机型展示了9轴闭环制造技术；巨浪中国多款本地化机床一齐亮相，25系列满足中国市场定制化需求；卡尔蔡司展出20余台设备和丰富的软件组合，现场演示60余个深度场景化方案，并发布3款新品。等等。



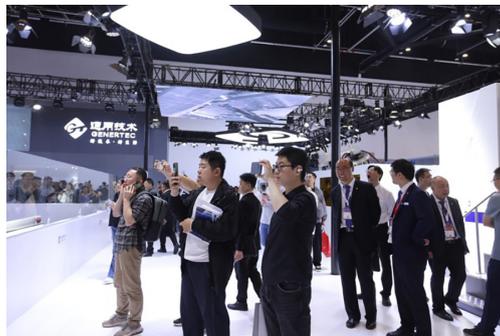
国内企业科技创新蓬勃发展，诸多细分领域实现并跑或超越

CIMT2025一个显著的风向标就是国内机床工具企业经过多年的积累，终于迎来了厚积薄发的时刻，以科德数控、精雕科技等为代表的五轴机床已呈普及之势。无论是传统老牌企业的转型升级，还是新兴企业的高起点切入，无一不显现出科技创新的蓬勃朝气，国产机床实现了从跟跑到并跑甚至局部领跑的技术突破，彰显了中国机床制造业加速向前的澎湃之势。



老牌企业聚焦重点领域，转型升级焕发新生机。通用技术集团此次以“好技术质敬好生活”为主题，参展面积达2500多平方米，集中展出了29台（套）主机产品，含22台（套）机床主机、3台模型、4台（套）量仪，以及8类功能部件和多种量具刀具产品，其中13台产品直接服务于国家战略，聚焦重点领域。

通用技术机床公司辖下的机床研究院、沈阳机床、沈机股份、大连机床、齐二机床、哈量公司、天津一机、昆明机床和天锻公司等，均具有65年以上的发展历史。沈阳机床展出了并联翻板五轴加工中心、叶盘铣专用五轴卧式加工中心、立式五轴加工中心等多款新智机床主机产品和8款关键功能部件，其中新一代GMC125u/t卧卧转换五轴加工中心获得中国机床工具工业协会“自主创新十佳”产品称号，主要用于高温合金、钛合金等难切削材料的精密加工，兼具高刚性、高效率特性，产品数控系统、传动系统、测量反馈系统、转台、摆头等核心功能部件均实现国产化，展示出老牌机床企业的突破性科技创新成果和深厚制造底蕴。



四川普什宁江公司展出了国内首展智能卧式五轴加工中心THM6363IV，攻克复杂零件加工难题；新一代NJ-MK4280/1数控坐标磨床具有自主创新的高精度磨削工艺与智能补偿技术；以THMD63125V为主机的FMS125柔性生产线等。这些展品从柔性生产、智能加工到高速制造、精密磨削，全方位展示了企业在高端数控装备领域不断拓展与延伸产品线的技术实力。

在磨床领域，两家老牌磨床厂家都展出自己的新技术。浙江杭机股份有限公司展示的五轴磨床能够一次装夹完成航空叶片榫头、叶冠的复杂曲面磨削，并且支持柔性制造系统集成。上海机床厂展出的数控丝杠磨床，其智能控制系统集成砂轮自动补偿、恒线速控制、精密测量模块，支持个性化磨削程序定制，适应复杂工艺需求。等等。

新兴企业携技术、人才高起点切入细分赛道，成长势头迅猛。在国家政策力主脱虚向实，经济高质量发展的时代背景下，一些新兴企业凭借创新技术、现代企业高效运营模式以及人才、资本等软、硬实力兼具的支撑，迅速崛起，成为新的行业发展势力，在展会现场表现亮眼。这些企业代表了国产机床澎湃向前的新生力量，后劲十足。

汇专科技首次以800多平方米大面积在CIMT展会亮相，发布了双超声绿色复材龙门五轴联动加工中心。该加工中心首创性搭载双超声和双绿色系统，可以一机兼顾蜂窝、碳纤维、预制体、凯夫拉、泡沫、PBO纤维、玻璃纤维等多种复合材料的环保加工。还展出了立式、车铣复合、立卧转换五轴联动加工中心，立式、雕铣、钻铣三轴加工中心等系列产品，涉及多系列产品线。



作为一家从用户领域跨界机床制造的新生势力，山东豪迈机床携8款数控机床亮相，其五轴超快激光微加工机床LTM55是首发产品，集成了高精度与高效率，解决了传统纯激光加工的表面粗糙度问题，“激光+切削”复合工

艺，已具备同国际巨头同台竞技的能力。

江苏优普纳是一家2022年成立的新企业，此次展出的光学非球面超精密复合加工机床，凭借纳米级光学磨削、车削及在位测量一体化技术，吸引了广泛关注。车削表面粗糙度Ra < 1nm、面形精度PV值 < 0.1 μm；磨削表面粗糙度Ra < 5nm、面形精度PV值 < 0.15 μm。等等。

产学研用协同创新效应全面显现，产业生态呈现勃勃生机

CIMT2025不仅展示了最前沿的装备与技术，更成为产学研用深度融合的展示平台。本届展会上，高校、科研院所与企业、用户联合展示的技术突破与产业化成果，凸显了“创新链-产业链-人才链”的闭环效应。

特别是在超精密加工领域，核心科技成果几乎全部具有院校背景，已形成“高校-研究所-企业”协同创新链。江苏优普纳的核心技术是转化湖南大学的科研成果；展出高端超精密车床的华粹智能装备，其核心技术是转化哈尔滨工业大学的科研成果，等等。这些企业虽在极限精度和批量稳定性上略逊于世界顶尖水平，但已能满足航天、光学、半导体等战略需求，标志着国产超精密技术正从“实验室突破”向“工业化量产”加速迈进。

联合诸多主机企业共同推出的“华中10型”智能数控系统也是华中数控联合华中科技大学共同研制。本届展会，华中数控联合宝鸡机床、深圳创世纪等18家装备制造企业签署“华中10型”应用战略合作协议，推出20台搭载“华中10型”的智能数控机床。

从CIMT2025不难看出，中国机床行业的竞争力正从“单点突破”迈向“系统创新”。产学研用深度协同不仅加速了技术迭代，更重塑了产业生态，呈现向上向新势头。

中国机床工具产业正以前所未有的蓬勃之势加速向前，这样的发展态势令人振奋。客观地看，目前能和国际先进水平比肩的主要体现在一些细分领域和部分技术先行企业，行业整体实现高水平、高质量发展，仍需迎难而上。行业企业要在产品差异化、新产品开发系列化、供应链高端化等方面持续发力，形成行业整体优势。同时，在充分市场竞争的基础上，努力避免和有效遏制行业“内卷”，打造可持续发展的行业秩序。前路虽艰，行则将至。中国机床行业正在崛起，在创新与数智的赛道上加速前进，期待中国机床行业早日站上世界之巅。□

CIMT2025 “工业机器人及应用” 展品评述

国家机床质量监督检验中心 赵钦志 卢振伟
中国机床工具工业协会-工业机器人应用分会 高学 蔡明辉

一、行业背景与现状

“十四五” 机器人产业发展规划中指出，机器人被誉为“制造业皇冠顶端的明珠”，其研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。当前，机器人产业蓬勃发展，正极大改变着人类生产和生活方式，为经济社会发展注入强劲动能。

近年来，汽车行业及3C电子行业作为工业机器人应用大户，对高精度、高效率的工业机器人需求持续旺盛。在新兴领域，如新能源汽车电池生产、光伏设备制造、物流仓储领域中的货物搬运等环节的应用也越来越广泛。

在政策层面，工业机器人行业也受到了高度重视。国家陆续出台了《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》、《推动工业领域设备更新实施方案》、《2024年度智能制造系统解决方案“揭榜挂帅”申报》等一系列相关政策，以推动工业机器人行业的持续健康发展。2025年3月工业和信息化部、教育部、市场监管总局发布的《轻工业数字化转型实施方案》中指出以加快先进技术研发应用，深化人工智能赋能应用为重点任务。提出支持企业开展设备更新，推广应用可编程逻辑控制器

(PLC)、分布式控制系统(DCS)等工控系统和工业机器人、智能检测装备、计算机辅助设计(CAD)、制造执行系统(MES)、供应链管理系统(SCM)等智能装备和工业软件。

在市场需求及政策的双重加持下，我国工业机器人产业不断发展壮大。根据前瞻产业研究院发布的《2025年中国工业机器人行业全景图谱》报告中显示(见图1)，2024年中国工业机器人市场规模达到近600亿元，近五年行业复合增速达到10.86%。



图1 2019-2024年中国工业机器人销售额趋势图

在国内工业机器人市场，品牌竞争激烈，发那科、库卡(美的集团2017年以45亿欧元收购了库卡集团近95%的股份)、爱普生、ABB和安川电机等外资及合资品牌仍然占据一定地位。但国产工业机器人产业经过近年来的技术积累，逐渐形成自己的竞争优势，以埃斯顿、汇川、埃夫特、新时达、新松等为代表的国产厂商，目前都已具备一定规模和技术实力。

根据MIR DATABANK发布的数据(见图2)，2024年我国工业机器人整体市场出货量排名TOP10分别为发那科、埃斯顿、汇川科技、库卡、爱普生、ABB、安川、埃夫特、雅马哈、新时达，其中发那科占比11%、埃斯顿占比9.4%、汇川科技占比9.1%、库卡占比7.7%。

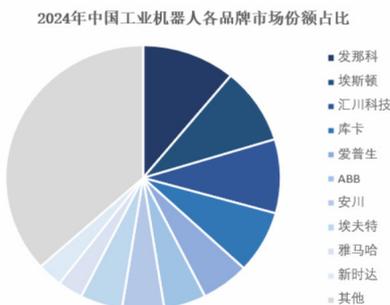


图2 中国工业机器人各品牌市场份额占比图

在政策支持、技术进步和市场需求的推动下，我国工业机器人产业的国产化进程加速，2024年前三季度，内资厂商市场份额提升至51.6%，较2023年同期增长4.5个百分点。但部分核心零部件依赖进口，如RV减速器国产化不足30%，与国际先进水平在技术成熟度、产品一致性、质量可靠性等方面仍存在些许差距。

二、展品及新技术介绍

当前新一轮科技革命和产业变革加速演进，以人工智能、大数据、物

联网、5G通信、量子计算等为代表的新一代信息技术正在快速发展。这些技术的突破和融合应用，正在推动全球进入一个全新的科技时代。工业机器人产业迎来升级换代、跨越发展的窗口期。我国已转向高质量发展阶段，迫切需要新技术的强力支撑。

(一) 具身智能技术

人工智能发展的下一站在哪里？英伟达公司创始人兼首席执行官黄仁勋给出过答案。在ITF World 2023半导体大会上，黄仁勋表示，人工智能的下一个浪潮将是具身智能（embodied AI），即能理解、推理、并与物理世界互动的智能系统。下面就CIMT2025中工业机器人相关产品在具身智能及机器人控制方面的新技术做简单介绍。

1. 发那科力控装配技术

通过力传感器、压力传感器等实时采集物体受力情况，包括力的大小、方向和作用点。基于大模型技术的力控算法，根据控制目标，结合力分析结果，计算出所需施加的力的大小、方向和作用点，再通过执行器力施加到物体上，实现对物体的精准操控。参展现场一台配备力控功能的CRX-5iA小型协作机器人（见图3），能够完成4μm间隙的齿轮、孔轴等装配作业。



图3 发那科力控装配站

2. 库卡3D视觉无序分拣站

如图4所示，通过配备库卡

CYBERTECH六轴机器人，搭载库卡新品控制系统KR C5 micro-2，采用新型英伟达视觉处理器架构，深度展现了库卡机器人与AI智能和3D相机等系统无障碍配合的应用场景。

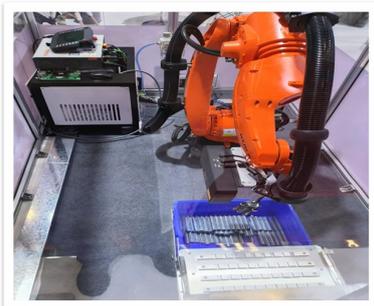


图4 库卡无序分拣工作站

3. 广州数控机器人刮研系统

广州数控的刮研机器人系统主要应用于机床行业的关键工序，如床头箱接触面、尾座和床鞍与导轨等接触面的铲刮研磨（见图5）。利用视觉系统对工件表面进行拍照和分析，识别铲刮区域和高度差，为机器人提供精确的铲刮位置，目前可以代替人工完成粗刮工序。该系统通过机器人实现自动化铲刮和研磨，减少人工操作，降低人力成本，提高生产效率和加工质量。



图5 广数机器人导轨面刮研成品展示

4. 武创智达3D视觉分拣站

武创智达的关节机器人上下料工作站（见图6），基于自主3D视觉算法与机器人控制系统，备料时无需按特定姿态及高度摆放物料，即可通过机器视觉引导取料。可实现角度误差90度之内的物料智能抓取。



图6 武创智达无序分拣站

5. 埃斯顿力控打磨装置

埃斯顿力控打磨装置如图7所示，通过其自主研发的重力加速传感器和力控算法，实现工具自重智能补偿，实现全方位恒力输出。

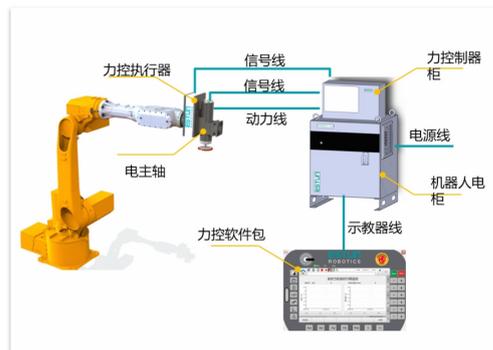


图7 埃斯顿力控打磨装置示意图

此外广州里工实业、宁夏巨能机器人、北京天玛智控等厂商的工业机器人产品均具备机器视觉方面的完整解决方案，能够满足物料夹取、毛刺打磨、在线检测等复杂应用需求。

(二) 机器人与数控系统集成技术

具身智能技术在工业机器人领域的发展迅猛，但是以目前工业机器人的智能程度仍然不能脱离人的操作，机器人与数控系统的集成同样是智能制造的重要发展方向。接下来将就CIMT2025中工业机器人相关产品在机器人与数控系统的集成的新技术方面做一下简单的介绍。

1. 西门子SINUMERIK Run MyRobot功能

西门子SINUMERIK Run MyRobot (见图8) 是西门子推出的一种先进的机器人集成解决方案,旨在将工业机器人与西门子的 SINUMERIK 数控系统无缝集成。允许用户直接在 SINUMERIK 数控系统上操作和编程机器人,无需使用机器人原有的控制器和示教面板。支持 G 代码程序、西门子标准循环和用户循环程序的编写和运行。结合西门子的虚拟机床和加工平台,用户可以在虚拟环境中进行程序验证,减少试切时间和成本。通过该解决方案,用户可以直接在数控系统上完成机器人的操作、编程、示教、诊断以及各种生产任务,从而实现高效的自动化生产。



图8 Run MyRobot功能示意图

2. 马扎克EZ LOADER功能

马扎克EZ Loader 是山崎马扎克 (Mazak) 推出的一系列紧凑型自动化系统 (见图9),旨在通过协作机器人实现机床的自动化加工和物料搬运。该系统专为中小型复合机、CNC车削中心和立式加工中心设计。支持多品种、小批量生产模式。配备专用的EZ Loader应用程序,通过对话式界面输入参数,无需复杂的示教操作。操作人员无需机器人专业知识,即可轻松创建和调整操作程序。放置材料后,设备自动启动,运行状态可实时监控。提供详细的运行数据和状态信息,便于管理和优化生产。



图9 EZ LOADER功能示意图

3. 英诺威讯七轴智能雕刻机器人控制系统

该系统是国内首例系统、硬件完全国产化的七轴雕刻整体解决方案,期界面如图10所示。通过自主研发的世界坐标模型,将机器人运动坐标系转换为加工中心标准坐标系。配备POWERMILL后处理器,兼容市面主流CAM软件输出的运动路径,支持G代码加工路径,能够基于机器人姿态进行运动速度规划和加减速控制。降低了七轴雕刻的成本,同时保证了雕刻制品的精度和多样性。

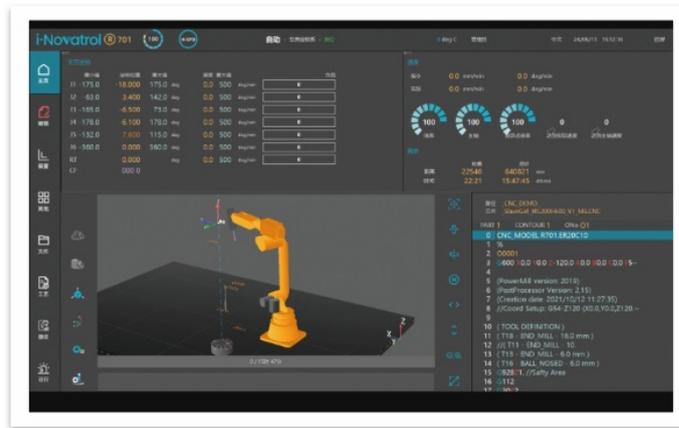


图10 英诺威讯智能雕刻系统界面

4. 华中8型数控系统一脑双控技术

配双通道控制技术 (见图11),一个通道用于控制机床运行,另一个通道用于控制桁架机器人上下料,实现加工中心和桁架的独立控制及相互配合。减少了传统方案中机床和机器人分别配置独立控制系统所需的硬件成本,通过统一的控制系统,能够更好地协调机床和机器人的动作,提高加工精度和生产质量。操作人员只需掌握一套数控系统的操作方法,即可同时控制机床和机器人,降低了操作难度和培训成本。实现了机床与机器人的无缝衔接,提高了生产效率。



图11 华中“一脑双控”功能示意图

三、未来展望

在未来几年，工业机器人将在汽车制造、电子信息、机械加工等传统行业进一步深化应用。随着新能源、生物医药、航空航天等新兴产业的快速发展，工业机器人在这些领域的渗透率也将不断提高。

1. 市场规模与增长

全球市场，据Global Market Insights Inc.报告，2024年全球工业机器人市场规模为177.8亿美元，预计到2034年将达到601.4亿美元，年复合增长率为13.3%。这一增长主要得益于各行业对自动化需求的不断攀升，以及劳动力短缺和劳动力成本上升所带来的挑战。

在区域市场方面，中国是工业机器人最大的市场，拥有一半以上的工业机器人装置。预计到2030年，中国工业机器人行业市场规模或将超过770亿元。美国在汽车、电子和物流部门加强了美国工业机器人的采用，预计到2034年工业机器人市场将大幅增长，达到38.4亿美元以上。德国是被汽车和制造业所驱动的欧洲最大的工业机器人市场，到2034年年复合增长率预计达到37.4%。日本2024年工业机器人市场规模为6200万美元。日本在机器人技术方面是强大的竞争者，是拥有人均机器人密度最高的市场之一。

2. 技术发展趋势

随着深度学习、强化学习等算法的优化以及多模态感知技术的融合，工业机器人将具备更强大的感知、认知和决策能力。人机协作技术将成为工业机器人技术发展的重点方向。通过力传感器、视觉传感器等多种传感器的融合，工业机器人能够实时感知与人类的接触力和相对位置，实现与人类的安全、高效协作。

3. 标准体系需完善

与技术发展的快速步伐相比，工业机器人智能化标准的制定相对滞后，标准体系并不完善。目前，工业机器人

智能化标准体系尚未完全建立，缺乏系统性和全面性。在智能装备标准方面，虽然涵盖了数控机床、工业机器人等部分，但对于智能化功能的具体技术要求和测试方法，仍存在空白。

视觉方面，国内外缺乏机器人智能化视觉评价的国际标准、国家标准和行业标准。虽然有一些团体标准（如T/CEEIA 602-2022）进行了初步探索，但这些标准的权威性和覆盖面仍有限。缺乏标准化的测试方法和指标，对机器人视觉智能等级不能进行客观、准确的评估，导致市场上产品智能化水平参差不齐，用户难以准确决策。

自适应能力方面，尽管《机器人自适应能力技术要求》（GB/T 44589-2024）的发布填补了部分空白，但该标准主要集中在力控层面，对于其他类型的自适应能力（如环境感知、任务泛化等）仍缺乏成文规范。

综上所述，应加快制定和完善工业机器人智能化标准体系，涵盖智能化视觉、自适应能力、抓取算法等关键领域。逐步填补工业机器人智能化标准的空白，推动行业的健康发展。

四、总结

工业机器人行业在政策支持、技术迭代与市场需求的重重驱动下，市场规模持续扩容，智能化技术突破正推动其向精密加工、柔性制造等新领域渗透。当前行业虽面临核心部件国产化率不足、标准体系待完善等挑战，但部分国产厂商的创新实践已展现出破局之势。

本次展会中，深度融合信息化、数字孪生等前沿技术的工业机器人解决方案，通过构建具身智能的应用模型，不仅直观演绎了未来工厂智能化、数字化管控的革新图景，更以“设备互联-自动感知-智能决策”的技术闭环印证了“融合创新 数智未来”的展会主题，预示着行业将在技术攻坚与应用场景拓展的共振中，为制造业转型升级注入强劲动能。□

资讯

芝浦机械在静冈二工厂举办展览，为节能减排和创造贡献力量

2025年6月4-6日，芝浦机械在其沼津工厂（静冈县沼津市）和御殿场工厂（静冈县御殿场市）举办内部展览会——芝浦机械集团解决方案展。芝浦机械经营挤出成型机、注塑成型机、压铸机以及用于制造二次电池隔膜的机床。作为其主要客户的能源和移动出行行业正经历变革，该公司正在针对这些挑战提出解决方案，例如引进有助于

提高下一代电池性能和生产率的技术和设备。

展会现场，该公司介绍了虚拟现实（VR）技术在开发锁模力达12,000吨的超大型压铸机过程中的应用。此外，该公司还展示了其为简化压铸机开发所做出的努力，该压铸机可与“Gigacast”（一种汽车车身部件一体式铝铸件）兼容。

切削刀具正从产品提供走向价值服务

——CIMT2025刀具展品评述

工具分会CIMT2025展品评述组 赵庆军 王羽中

【编者按】CIMT2025（第十九届中国国际机床展览会）已于4月26日圆满落幕。展会期间，主办方中国机床工具工业协会有关分会组织人员针对本专业领域展品进行评述，现编发部分文章，供业界参考。文章观点仅代表作者本人。

CIMT2025作为近十年来全球最大规模机床工具专业盛会，展览面积达31万平方米，全球范围内的知名机床工具企业携其最新技术和产品悉数到场。

切削刀具作为“工业的牙齿”在本届展会上表现非常亮眼。不仅国内的刀具企业如雨后春笋般纷纷亮相，而且国外的代表性企业也携最新产品、理念和模式重新回归，共同为观众们展示了多项细分领域的创新技术和应用成果，为大家描绘了切削刀具的未来发展方向。

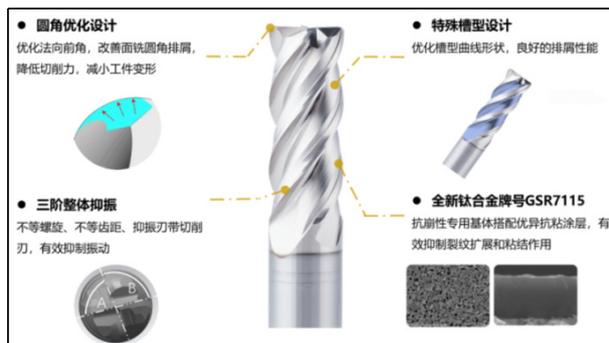
一、展示的创新成果及应用实例

1. 材料技术创新

克洛伊针对航空航天部件加工推出的新品SNC805和SPC810均采用超细晶基体，最大程度地减少高温下地热裂纹并防止崩刃。阿诺推出的龙系列中APS05A为超细颗粒的低钴基体，耐磨性极佳，是难加工材料的优选材质，也可用于不锈钢、淬火材料以及铸铁材料的精加工。长鹰硬科的CM7115A和CA5105均采用超细晶基体，耐磨性高，分别应用于难加工材料的车削和铣削。本届展会部分国外品牌推出了纯陶瓷的铣削刀具应用与高温合金和铸铁的高速铣削。

厦门金鹭带来的“银雀”系列牌号作为GEFOTECH®

技术的再升级，在刀具基体、涂层和表面刃口处理等方面实现了重大突破，形成全新的GS*71系列牌号，解决钛合金加工过程容易粘屑、异常崩刃、寿命短的问题。展会现场推出的“银雀”系列钛合金加工立铣刀ST300，针对加工问题进行刀具优化创新，可实现整体抑制不良谐振、提升排屑性能，并通过搭配全新钛合金加工专用牌号，可提高耐磨性，提高刀具寿命，有效解决客户难题。



2. 涂层技术创新

复合CVD涂层刀片已成为主流趋势，众多刀具企业均推出了各自的双色CVD涂层刀片。常规CVD涂层新品多以优化Al₂O₃晶体结构生长方向为宣传亮点，如住友为钢材车削高速加工推出的AC8115P，采用了晶体定向控制

技术从而提高耐磨损性能，三菱为铸铁车削加工推出的MC5100系列，采用了“超级”纳米结构技术从而提高耐磨损性能。PVD涂层出现两种技术走向：一种是寻找新的涂层体系，或者将两种现有涂层搭配，并作为功能层加入产品之中；另一种是在原有基础上对涂层进行掺杂或纳米多层调制。不管是CVD还是PVD涂层，均出现了以提高涂层表面质量为追求目标，采用新的HiPIMS技术、平滑表面处理或涂层后处理技术，以提高表面光洁度，预防积屑瘤和崩刃的产生。

株钻刀具推出的基于低压CVD涂层技术的Pangu系列PG8000产品，聚焦于难加工材料和高硬度材料的高效加工。该系列结合先进涂层技术与精密槽型设计，主要技术特点和市场应用如下：

(1) 涂层工艺优化。PG8000产品采用高硬度基体搭配纳米超晶格结构涂层及超光滑表面处理技术，显著提升耐磨性和耐高温性能，适用于高温合金、耐热铸钢等材料的加工。点阵异构涂层设计进一步增强高温氧化抗性和涂层硬度，并通过涂层前后处理工艺改善表面光洁度，减少切削粘结现象。

(2) 槽型与刀具适配。提供NF、NGF、SNR等车削槽型，覆盖从精加工到高效粗加工等场景；FMA12、EMP09等铣削刀具则适配面铣、方肩铣及仿形铣等复杂工艺。新增精密车削槽型QF及铣削系列EMP08、XMR12，优化切削流畅度与加工效率，满足航空航天等高精度需求。



3. 产品结构创新

本届产品结构创新层出不穷，各制造企业根据不断细化的用户需求，开发出不同结构各具特点的产品。肯纳推出的FP槽型系列，采用了独特的单螺钉楔块夹持系统，刀片通过楔块压紧而非传统的螺钉孔固定，实现无孔化设计。楔块压紧+大面积接触，刚性提升20%，解决了传统螺钉固定易松动的问题，适合铸铁材料的重载加工。特固克推出了70度刀尖角度的车削刀具，可兼顾刃口强度且避

免干涉，为解决一些加工问题提供了新的思路。

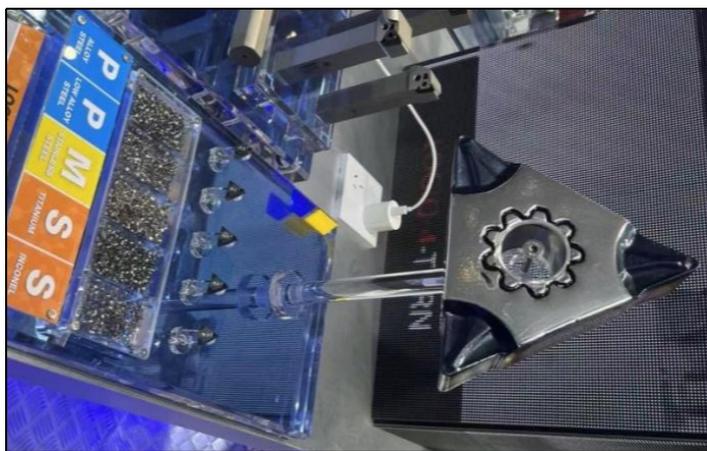
日本京瓷公司25°刀尖角的ZBMT系列仿形加工片采用2点锁紧刀片的特殊结构，防止刀片移位。延伸至刀尖附近的3维断屑槽，减少微小切深加工时的断屑问题，在狭小的加工空间内也可实现有效控制切屑。针对更多的加工仿形要求，ZBMT系列刀片在25°刀尖角的基础上将前端加工成15°，可以有效避免干涉，满足多种加工用途的需要。刀尖半径仅0.4 mm，并采用了正向加工与反向加工皆可使用的双切削刃设计。



4. 控屑技术创新

控屑技术一直是自动化生产的关键难题，三菱此次推出了基于低频振动切削（LFV）专用产品。低频振动技术是通过使伺服轴在切削方向上振动，使该振动与主轴旋转同步的同时进行切削，从而将切屑细小分断后间断排出，由此解决在加工中因切削缠绕引起的问题，这一点在难加工材料加工和自动线生产中尤为重要。

伊斯卡带来了一种全新设计的三角形刀片LOGIQ-6-TURN，提供了一个可实现高表面质量及高性价比的半精加工和精加工车削解决方案。该双面刀片具有55°切削刃尖角和正前角刃型，有6个可转位切削刃。它是DCMT类型标准ISO刀片（仅有2个切削刃）的替代方案。LOGIQ-6-TURN刀片的另一个重要优势是可以轻松安装在装有三角形TNMG刀片的车削刀具上。同时，LOGIQ-6-TURN刀片的特殊断屑槽型设计，增强了刀片加工不同材料时的控屑能力，而刀片控屑技术恰恰是智能制造的基础之一。



5. 产品技术创新

工具制造企业利用多年沉淀的成熟技术向其他应用领域延伸，开发出新产品、新工艺及新技术。如利用液压刀柄的液胀夹持技术开发出的齿轮加工精密液胀夹具，并延伸到机器人精密减速器加工及装配用工装；利用PCD刀具精密制造技术开发的高精度VSD齿轮珩磨砂轮修整器，形状精度可达0.001 mm；利用PSC三棱锥定位接口技术开发的零点定位夹具等。

森泰英格展示的高性能角度头依托多年精密高刚性定位接口设计及制造优势，创新采用预服役设计理论，正向研发，搭载进口齿轮和轴承，保证角度头高精度、大扭矩、低噪音、小温升和长寿命。该技术瓶颈的成功突破，不仅填补了国内高性能角度头的空白，而且该技术已经成功延伸到机床附件头和数控摆头产品，开发出可以媲美欧美等国际一线品牌的产品，助力国内工业母机性能的提升。



6. 智能刀具技术创新

智能化方面，物联网、AI技术深度融入刀具全生命周期管理。例如，株洲钻石开发的智能刀柄可实时监控磨损量（精度达 $\pm 5 \mu\text{m}$ ），三菱MAISART系统通过机器学习优化切削参数，降低能耗18%。

高迈特推出的KomTronic U轴系统是集机电一体化与智能控制技术于一体的创新解决方案，专注于提升复杂零件加工的精度与效率。其产品具有以下两方面的优势：

(1) 径向精密运动控制。U轴通过伺服电机驱动单滑块与丝杠结构，实现刀具沿径向的精密位移调节，最小精度可达0.001 mm；同时还集成电子补偿系统（如MO40/MO42系列），支持数显屏幕实时调刀，自动修正加工过程中的热变形误差。

(2) 动态加工适应性。采用感应非接触式能量传输技术，主轴上的定子部件与U轴头部件无线连接，确保高

速旋转下的稳定信号传输。内置传感器实时采集切削力、温度等参数，通过KomTronic®智能系统动态调整刀具路径，降低振动干扰。可用于复杂轮廓加工和高精度同步加工等应用场景。

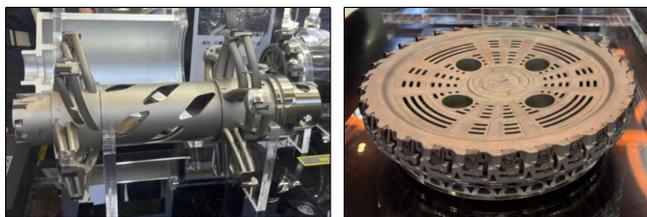


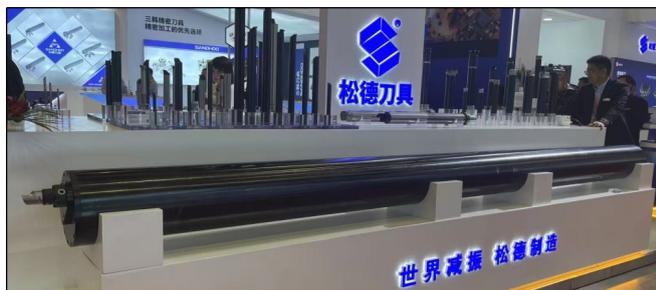
二、展现出的行业发展特点

透过国内外知名刀具企业展示的先进技术、先进工艺、先进产品及先进理念，从一个侧面折射出了以下行业发展特点：

1. 国内外产品技术差距正逐步缩小

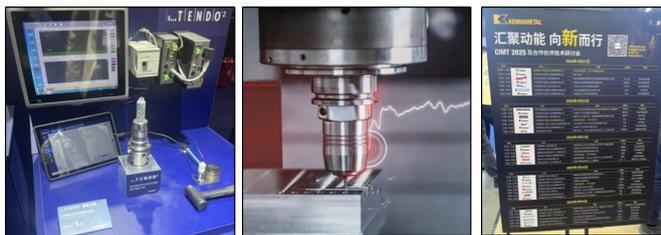
近几年，切削刀具行业进入稳定发展期，产品技术没有跨时代的发明，只是在细节上不断优化和创新，这给快速发展的国内切削刀具行业留下足够追赶的机会。在刀具材料方面，除部分难加工材料刀具国内外还有略有差距外，国内刀具基本可以满足通用材料加工的要求，达到与国外刀具“并跑”水平。在刀具制造工艺方面，随着先进工艺设备的引进和国内工艺设备的升级，刀具制造工艺基本与国外刀具同步。如本次展会展出的刀具3D打印工艺，国内也开始大量使用。在产品技术方面，随着国内研发的投入，一些刀具的关键瓶颈技术相继攻克，产品技术可达到国际先进水平，如阻尼减振刀具，国内多个企业展出此类产品。但机电结合产品相比于国外略显落后。





2. 切削刀具行业进入大融合时代

切削刀具市场已经由粗放的产品销售全面进入到为用户精耕细作的时代。在现有的市场环境中，客户成为极其宝贵的稀有资源，一旦与客户建立信任之后，追求客户资源利用的最大化成为企业共同目标。但完全依靠企业自身产品满足客户需求几乎不可能，需要强大的供应链资源，通过自身的技术优势，整合行业工艺设备、优势产品及推广平台，为用户打造全方面的服务。此次展会卢森堡森泰天时公司和德国雄克公司就同时展出了iTENDO²智能刀柄；而美国肯纳公司则利用展位携众多合作伙伴举办“汇聚动能，向新而行”技术研讨会，共同为客户提供产品和服务。



3. 切削刀具正从产品提供走向价值服务

切削刀具行业已经由原来单一产品销售全面进入到为用户提供整体解决方案的时代，即为用户提供价值服务的时代。本次展会国内刀具展商在深度挖掘用户需求的基础上，展出了不同领域的整体解决方案。株钻、金鹭、工具所、森泰英格、OKE、华锐、澳克泰等国内企业展出了不同行业的金属切削整体解决方案，OKE还提出了“刀具总包+智能仓储”的定制化整体配套解决方案；郑钻、REGO-FIX展出了针对刀具装卸的整体解决方案；山特维克大胆创新，采用数字化展出，展台没有实物展品，采用轻产品展示重价值服务理念，不觉让观众眼前一亮。



三、结语

总之，从本次展会可以明显看出，各刀具企业正在从传统刀具产品供应商，逐步向为用户提供价值的服务商转变，深度挖掘和细化客户的不同需求，提供优化解决方案和价值服务。希望通过展会平台，相互沟通交流，相互融合，取长补短，共同为切削加工用户提供高效切削加工方案，为用户提供价值服务，实现自身价值。□

资讯

天田机械推出具有可变脉冲切割功能的PCSAW-430AX II 带锯

天田机械推出了PCSAW-430AX II，这是一款专为高速稳定切割而设计的新型带锯床，可降低环境影响。

该机器采用全新开发的可变脉冲切割技术，可提高切割速度和一致性，同时降低切割阻力。天田的传统脉冲切割技术通过向高速旋转的锯片施加恒定的脉冲振动来提高切割性能。全新的可变脉冲切割技术更进一步，可根据材料类型、形状、锯片类型和切割条件调整脉冲频率，从而优化性能并显著降低切割阻力。PCSAW-430AX II 配备强大的11kW锯片电机，可使用天田的AXCELA硬质合金锯片进行高速切割。得益于这种组合，该机器的切割速度比之前的型号提高了30%。

为了降低功耗，PCSAW-430AX II 采用“节能泵”系统，仅在需要时启动液压泵。此功能可在待机状态下降低约50%的能耗，在切割操作过程中降低10-20%的能耗。该锯床还兼容天田的V-factory物联网平台，可实现运行状态和维护信息的可视化。



从CIMT2025看车床产品的六大发展特性

通用技术集团机床工程研究院 陈洪军

一、概述

2025年4月21日，以“融合创新 数智未来”为主题的第十九届中国国际机床展览会（CIMT2025）在北京隆重开幕。经初步统计本届展会车削类参展商约130余家，参展车削类产品约300余台套，其中境内展商100余家、展品240台套，境外展商30家、展品60余台套。主要产品包括：数控卧车、数控立车、车削中心、多主轴多刀塔数控车床、纵切机，以及五轴车铣、专机及自动线等等。本届展会中，国产车床展品在品类丰富度、展出规模及工艺技术层面均达到一个新高度，彰显出行业发展的全新里程碑。

二、车床产品特性

本届展会以“融合创新 数智未来”为主题，充分展现了车床行业向数字化、智能化转型的必然趋势。在迈向“高精尖”发展的进程中，集成化技术得到广泛应用。面对新时代发展需求，智能机床与高端装备正成为制造企业的重点发展方向，其中“专精特新”型机床企业更是推动行业高质量发展的中坚力量。

1.多轴化、高效化

传统二轴卧式数控车床因自身性能特点，加工能力、加工效率受限，正逐步升级为集成多种加工工艺的三轴及以上多轴车削加工中心，本届展会多轴数控车床展品不乏精品。

（1）秦川机床工具集团股份有限公司 MTK20-B车削中心，最大加工直径 $\phi 320\text{mm}$ 、最大加工长度800mm、最大棒料直径 $\phi 80\text{mm}$ ，主轴最高转速4000r/min；X1/X2轴行程210mm、Z1/Z2/Z3轴行程800mm、Y1/Y2轴行程 $\pm 55\text{mm}$ ，该机床采用双主轴、多刀塔布局、4轴联动。双C轴功能，配合多刀塔的伺服动力刀塔，可实现对工件的全部或大部分工序的加工，提高加工效率。



（2）西安巨浪精密机械有限公司 TT200MSY TT系列刀塔机，最大回转直径 $\phi 600\text{mm}$ ，最大加工直径 $\phi 380\text{mm}$ ，最大加工长度

525mm，主轴/副电主轴最高转速4500/4000r/min，X/Z/Y轴快移速度30/30/10m/min，12工位BMT55动力刀塔，该系统使用西安巨浪高刚性大扭矩机床嵌入式控制软件V1.0。



（3）玉环市坎门机床厂 K06SY2车铣复合机，最大切削直径 $\phi 280\text{mm}$ 、最大切削长度600mm、主轴最高转速4300r/min；X1/X2轴行程190mm、Z1/Z2轴行程600mm、Y1/Y2轴行程 $\pm 50\text{mm}$ 、12工位T1/T2刀塔。床身整体450布局，双C轴控制，XZ轴采用加长滑块直线导轨，Y轴采用硬轨结构和动力刀塔一体化设计，极大提高了切削刚性和抗振能力。



2.五轴化、复合化

本届展会上，车铣复合加工中心作为机床领域的尖端产品大放异彩，特别是五轴联动高端设备的集中亮相成为展会瞩目的焦点。从实力雄厚的国有龙头企业到创新活跃的民营新锐企业，各参展厂商均推出了最新五轴联动加工设备，充分展现了行业整体技术实力的跃升。

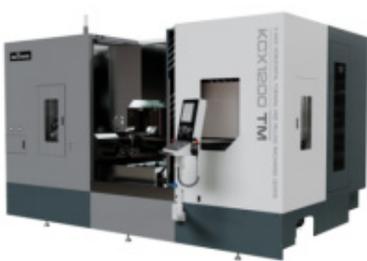
(1) 甘肃星火智能数控机床有限公司 FTM1250X6000大型五轴车铣复合加工中心，最大加工直径 $\phi 1250\text{mm}$ 、加工长度6000mm、承重15000kg，机床配备大功率机械摆角车铣头，配合机械锁紧装置，实现车铣功能快速切换。40刀位自动换刀系统，支持最大25kg刀具自动更换，实现高效自动化生产。搭载华中数控HNC-848DI系统。



(2) 科德数控股份有限公司 KCX1200TM五轴联动卧式铣车复合加工中心，最大车削直径 $\phi 400\text{mm}$ 、最大车削长度1200mm，B轴旋转角度 $-30\sim 210^\circ$ ，B轴额定扭矩 $576\text{N}\cdot\text{m}$ 。直线轴定位精度 0.008mm ，旋转轴 $10''$ (VDI)，直线轴重复定位精度 0.005mm ，旋转轴 $5''$ ；模块化设计，快速实现不同行业的工艺需求。



(3) 东莞市扬牧数控科技有限公司 LM-08Y2 双主轴双通道车铣复合中心，床身上回转直径 $\phi 500\text{mm}$ 、拖板回转直径 $\phi 200\text{mm}$ ，最大加工长度200mm，主轴/副主轴最高转速5000r/min，X1/X2轴行程420mm，X1/X2快移速度20m/min；Z1/Z2轴行程265/1200mm、Y1/Y2行程 $\pm 35\text{mm}$ 。对向式双主轴，左右刀塔配备双Y轴硬轨高刚性动力刀塔，大扭矩内藏式驱动电主轴转速12000r/min。



(4) 程泰机械(吴江)有限公司 GMT-2000铣车复合加工中心，X轴行程125mm、Y轴行程 $\pm 150\text{mm}$ ，X/Y/Z轴快移速度50/40/50m/min。GMT-2000系列拥有最高9轴控制、5轴联动加工能力。刀具主轴及下刀塔，能大幅缩短切削循环时间，确保极致的加工精度。除此之外，选用G.LINC智能操作系统及各种自动化配备，可进一步提升生产效率，降低制造成本。



3.成线化、自动化

本届展会上，自动化生产线产品呈现出两大突出亮点：一是展出规模显著扩大，二是技术水平实现大幅提高。这些智能生产线通过创新性的工艺集成，如数控卧式车床的正副主轴

协同加工、立式车床的正倒立复合布局，配合智能刀塔和机械臂自动上下料系统，实现了工件多面位的一体化自动加工。通过集成自动化上下料装置、自动换刀装置等，实现无人值守的自动化加工。

(1) 甘肃星火智能数控机床有限公司自主研发的智能柔性加工生产线。该生产线专为中大型轴类、管类、缸筒类等工件设计，可轻松应对多样化加工需求，实现24小时不间断作业。生产线配备MES总控系统，实现信息采集、数据存储、任务下达、仿真监控、自动排产等功能，实时监控生产数据。



(2) 重庆机床(集团)有限责任公司 VHL4035正倒立式数控车床，最大工件回转直径 $\phi 600\text{mm}$ 、最大工件直径 $\phi 420\text{mm}$ 、最大工件长度450mm，立式/倒立式主轴最高转速2500r/min，快移速度24m/min，五轴四联动正倒立式数控车床，采用立式主轴和倒立式主轴垂向对置、双径向进给水平移动、双轴向进给垂向移动、伺服双面加工W轴的复合式布局，实现高效高精度车削加工。



4.专用化、定制化

以用户需求为导向，在市场需求

的发展思路和发展方向,为客户提供个性化服务及解决方案,从简单的卖产品转向提供“产品+服务”等综合性服务。本届展会展出的各类定制化车床可以显著提高加工效率、提升加工精度并大幅降低人力成本。

(1) 济南第一机床有限公司 WL-800卧式轮毂数控车床,最大加工直径 $\phi 680\text{mm}$ 、标准加工轮圈24吋。X/Z轴行程360/770mm,主轴转速2500r/min,12工位刀塔,X/Z轴快移速度16/20m/min。45°斜床身、高刚性滑动导轨、无尾座结构布局,特别适宜铝轮毂零件的高速、高效、精密加工。



(2) 安徽力成智能装备股份有限公司 VQXC125球笼硬车硬铣复合机床,最大夹持直径 $\phi 110\text{mm}$ 、最大工件长度260mm、加工沟道直径范围 $\phi 45\text{--}95\text{mm}$,工件所配钢球直径范围 $\phi 12.7\text{--}22\text{mm}$,工件最大柄部直径 $\phi 38\text{mm}$;一次装夹硬铣多沟道的球笼硬车硬铣床复合机床,适用于钟形壳热后VL/CG型沟道的硬铣精加工。



5.高精度、高刚性

针对特定高精度行业,华粹智能、江苏博谷等企业展出高端超精密车床,展品床身普遍采用天然花岗岩

和人造大理石,采用静压主轴、静压导轨,使机床具有良好的热稳定性、抗振性和刚性,保证机床获得较高的精度,机床加工件表面达到镜面效果。

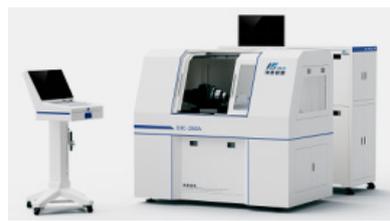
(1) 浙江博谷精密机械科技有限公司 MIXTECH T42 MYT超精密车削加工中心,最大车削直径 $\phi 240\text{mm}$ 、最大车削长度350mm、X/Y/Z轴行程165/80/410mm;主轴转速6000r/min,加工精度0.005mm、表面粗糙度 $Ra 0.3\mu\text{m}$;定位/重复定位精度0.002/0.0015mm(VDI标准);机床采用45°床身、超精密滚动球轴承电主轴、精密导轨、超精密丝杠。直线轴可以获得最高0.75微米的重复定位精度;可获得0.001mm的圆度及 Ra 值 ≤ 0.4 的表面粗糙度。



(2) 华粹智能装备有限公司 UPC200超精密机床,最大加工直径 $\phi 200\text{mm}$ 、最大车削长度200mm,专为光学透镜、反射镜、高精度零件及模仁的加工制造而设计,表面粗糙度甚至能达到纳米级。机床主轴采用小孔节流空气静压形式,在10,000r/min转速范围内主轴的径向跳动和轴向窜动均小于50nm。基于高速64位Delta Tau PowerPMAC运动控制器,自主研发了人机交互控制系统。



(3) 北京海普瑞森超精密技术有限公司 DJC-250A超精密单点金刚石车床,最大加工直径 $\phi 250\text{mm}$,面形精度 $PV < 0.2\mu\text{m}$;X/Z轴最大行程200mm,表面粗糙度 $Ra < 2\text{nm}$ 、直线度0.14m/100mm,主轴最高转速8000rpm。X/Z轴均采用液体静压导轨,直线电机驱动,全闭环控制,PMAC可编程控制器。可选配B轴、真空度可切换吸盘、精密微调刀塔,实现360°分度功能。



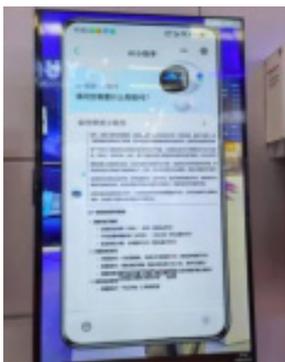
6.智能化、数字化

本届展会上,AI与物联网技术在机床领域的深度融合成为最引人注目的发展趋势。通过实时监测、在线补偿、远程运维及预测性维护等创新功能,智能化机床正成为驱动行业增长的新引擎。中外参展商展示的不仅是机床产品本身的智能化升级,更体现了从生产制造到企业管理的全链条数字化转型。生产场景的智能化应用已从示范阶段迈向规模化普及,标志着机床行业正式进入智能制造新时代。

(1) 中国兵器工业集团武汉重型机床集团有限公司 CHX5240i智能数控双柱立式铣车加工中心,搭载国内自主研发的智能数控系统,能够实现自主感知、自主学习、自主优化与决策、自主控制与执行,配备动态误差补偿、智能编程及工艺参数优化、智能运维、自动对刀和自动测量等功能,结合多传感器融合技术实时监控加工状态,显著提升加工精度与效率。



(2) 山东大汉智能科技有限公司 TCK2100SY双主轴&双刀塔车铣复合机床，搭载清峦福兴自主研发的AI智慧工业制造集成云平台，支持自然语言指令输入。操作人员可通过语音或文本指令直接生成加工程序，实现“复杂代码一句话搞定”的智能化操作。系统还具备远程监控、工艺参数优化及数字孪生预调试功能。



三、国内车床产业的进步与挑战

在本届CIMT2025展会上，笔者

走访了近百家参展的车床企业。通过交流与观察，深刻感受到近年来我国车床行业在技术、产品及应用领域的显著进步。短短数年间，行业实现了从普通车床向数控车床的跨越，并逐步迈向多轴化、五轴联动方向。快移速度、主轴转速、定位和重复定位精度及精度保持性等关键性能指标均有明显提升，在多个细分领域已接近或达到发达国家多年发展的水平。

然而，机床行业的发展并非孤立存在，而是依赖于产业链上下游的协同支持。过去，功能部件曾是制约我国机床发展的主要瓶颈，但近年来通过技术攻关，这一问题已明显改善。当前，真正影响国产高端机床竞争力的核心在于数控系统。尽管国内企业在中低端市场取得一定进展，但在高端领域，发那科、西门子等国际品牌仍占据主导地位。

值得关注的是，AI技术的兴起为国产数控系统的软件开发提供了新契机。借助模拟仿真、智能优化等手段，软件性能有望实现跨越式提升，从而缩小与国际先进水平的差距。然而，数控系统的硬件基础，仍是当前行业的“卡脖子”环节。高性能芯片、高精度传感器等核心元器件依赖进口的局面尚未根本改变。

四、结语

我们看到的不仅是冰冷的机床

设备，更是一批怀揣理想、勇于担当的中国企业，他们正以创新思维及行动推动“中国制造”向“中国智造”转型，这份执着精神令人敬佩。

危机中育先机，变局中开新局。面对“逆全球化”浪潮涌动、地缘政治复杂、核心技术壁垒加剧、国际贸易规则重构等多重调整，全球产业链供应链加速重塑，我国机床行业也面临前所未有的不确定性。唯有坚持自主创新、加强基础研究、加快成果转化，才能在全球竞争中站稳脚跟。

本届展会集中展示了我国机床行业在新技术、新产品方面的突破，标志着中国车床行业正向“智能化、复合化、高精度、高刚性、产品多样化”的方向稳步前进。

车床虽小，却承载着民族工业的希望；技术虽难，亦难阻国人勇攀高峰的脚步。

未来，以AI、人形机器人、碳减排等为代表的新技术，将推动机床产业加速转型升级。新能源、航空航天、半导体和医疗等领域持续增长的市场需求，为高端数控机床发展提供了有力支撑。国家正在推进的设备更新和消费品以旧换新政策，将进一步加快制造业绿色化、数字化进程，为机床行业带来新的发展机遇。□

资讯

科德数控与航空企业联手打造大飞机结构件工艺验证中试基地

近日，科德数控股份有限公司与沈阳航空产业集团有限公司、中航沈飞民用飞机有限责任公司三方签订合作协议，共同组建基于国产高端五轴数控机床构建的“大飞机结构件工艺验证中试基地”。中试基地以科德数控全链条自主化能力为支撑，聚焦C919/C929等国产民用大飞机、大型无人机的复杂结构件精密加工，着力破解核心部件“实验室到量产”转化瓶颈，通过探索新的体制机制，达成科技创新与产业创新的良性互促。

中试基地规划配置数十台科德数控五轴装备，构建若

干专业化验证平台，系统性攻关钛合金结构零件（材料适配性与极端工况稳定性验证）、铝合金框架壁板零件（型构件精度与形变控制）、接头支架零件（复杂曲面多轴协同加工）、长轴深孔薄壁零件（超精密加工与抗振工艺）等典型结构件的关键加工能力。拟通过实时对接航空工业需求，建立“应用反馈-设备升级”闭环机制，驱动国产机床持续突破加工效率与精度保持性极限，同步实现量产技术风险与经济成本双降，支撑航空装备从“可用”向“好用”跃升。

JIMTOF2024展会报告（下）

中国机床工具工业协会 符祚钢 执笔

一、部分展商及展品

6. Sodick（沙迪克）

沙迪克以“沙迪克智能解决方案（Sodick Smart Solution）”为主题，展示了AMR工序间自动化方案、单机自动化解决方案、高效加工解决方案，旨在提高客户的生产力，应对劳动力短缺以及熟练工人减少等行业问题；另外，还有3D打印机OPM250L+，以及首次展示的LSP4040飞秒激光精密微细加工机床。

AMR工序间自动化解决方案，由AL40G+电火花成型机、AX350L i Groove + Edition线切割、AMR组成。主要展示AMR（自主移动机器人）的应用，它与独立工作的电火花成型机和线切割协作，能够自动输送工件和电极。过去，这种工序间的自动化通常使用AGV小车来实现，需要预先定义机器人的路径，而AMR能够自主灵活地规划适应制造现场的路径。



单机自动化解决方案，由五轴立式加工中UX650L、自动工件更换装置SR12 AWC组成。UX650L采用直线

电机驱动，X、Y、Z轴行程分别为650mm、550mm、300mm，工作台尺寸750mm×550mm，最大载荷300kg，主轴最高转速4000r/min。通过重新设计所有主要机构来减轻重量和优化光栅尺的布置，改进ATC机构，从而实现了高速、高精度和节能；展机具有机内测量和追加加工处理功能，工件加工完成后不取出工件即可测量尺寸，并在未达到目标值的区域进行额外加工，从而实现高加工精度的技术，直线电机驱动的高动态定位精度使之成为可能。该机还配备启停功能，机床待机一段时间，系统会自动关闭电源以降低功耗。



高效加工解决方案以大型ALN800G i Groove + Edition线切割机床为主体，为“汽车零部件的大型模具”等大型模具的制造提供高效解决方案。该机X、Y、Z轴行程分别为800mm、600mm、500mm，U、V轴辅助行程为200mm；加工槽内尺寸1500mm×1040mm，最大加工件1250mm×1020mm×500mm，3000kg。其“i Groove”旋转结构能够减少大厚度加工中线材的消耗，S3core（自动模芯处理系统）、ACPS（自动导电块移位器）、防止工件电蚀和化学腐蚀的“Rustless”等多个选

项功能，能够解决大型模具加工中的热位移、表面质量波动、加工成本、线材损耗等问题，为大型模具的加工提供优化的解决方案。

首次展出的飞秒激光精密微细加工机床LSP4040，为Sodick新开发的一款产品，采用了花岗岩和陶瓷床身，应用沙迪克独特的运动技术，能够进行大面积的均匀超精密加工，可实现与刀具磨床加工同等的加工质量，而加工时间从10h以上缩短到1h。该沙迪克运动技术利用沙迪克内部的直线电机，实现了高速、高响应和高精度的定位。适用于多种材料的加工，具有高定位精度和短脉冲宽度，能减少热影响，满足精密微细加工的需求。该机支持多种波长的激光器，具备AI优化激光路径功能，减少加工时间；配备摄像头和激光位移传感器，实现机内非接触测量。LSP4040三轴行程分别为400mm、400mm、200mm，激光照射范围465mm×465mm，最大负荷50kg。



7. Yasda (安田)

安田以“携手安田超越未来 (Beyond the Future with YASDA)”为主题，展示了高精度加工的自动化解决方案，强调精度和品质的同时，利用数字技术制造产品为客户提供“真正价值”的产品和解决方案。展品有三轴畅销机型YBM 640V立式加工中心、YMC 430+RT10精密微细加工中心、PX30i五轴精密立式加工中心、YBM Vi50五轴立式加工中心，这些展机都搭载了不同的自动化解决方案。

BM Vi50 是以5轴加工而闻名的YBM Vi40的升级版，支持冷锻和压铸模具、飞机零件和半导体制造设备等大型工件的高精度加工，最大工件 $\phi 650\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，500 kg，有效载荷是YBM Vi40的2.5倍。主轴最高转速24000r/min。X、Y、Z轴行程分别为720mm、1100mm、

500mm。安田工业独特的直接驱动和预紧自调节主轴、导轨的结构以及工作台单元中相对于室温同步至 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 的热交换器循环以防止热位移，最大限度地减少了由于温度变化和旋转轴不对中而导致的机器姿态变化。在Y轴上采用鞍座系统可以减小主轴头的尺寸和连接主轴头的鞍座的重量，立柱的倾斜结构可以减轻主轴头和鞍座的重量并降低重心。此外，主轴和导轨之间的距离也缩短了，以确保刚性。该机搭载EROWA的AWC演示高精度零件五轴加工的自动化解决方案。



PX30i五轴精密立式加工中心，标配33工位APC和323刀位ATC，可实现长期无人化加工。它配备了YBM系列中使用的预紧自调节主轴，可在保持刚性的同时实现高速5轴加工，在日本的目标市场定位在半导体制造设备零件的加工领域。该机X、Y、Z轴行程分别为680mm、400mm、500mm，B、C轴转动行程为 $-125^\circ \sim +65^\circ$ 、 360° ，主轴最高转速20000r/min，最大加工件 $\phi 400\text{mm} \times 315\text{mm}$ ，80kg。



展出的YBM640三轴立式加工中心和精密微细加工中

心YMC430+RT10,通过配备 Elowa制造的AWC机器人 Compact 80,展示了模具嵌套和电极加工的自动化解决方案。



8. Nagase Integrex (长濑)

长濑以“创造新价值和市场：超越精密”为主体,展示了6款新型号机床和一套“行业首创”的砂轮表面监察系统GRIDE EYE®。6台机器中有5台采用了Nagase公司独特的IGTARP®(Innovative inspiration、Gravity center optimization、Topology optimization、Advanced analytical method、Robust optimization、Productivity optimization)产品开发设计方法,追求机床的理想结构,在增加刚度的同时,减少机床的占地面积,实现高加工质量和优异的加工效率。

砂轮表面监察系统GRIDE EYE®能够在砂轮高速(30m/s)旋转过程中,用极短的时间观察砂轮整个圆周和宽度,捕获砂轮圆周表面,通过比较加工前后砂轮表面的状态差异,应用AI来分析可预测缺陷并优化修整砂轮的时间,提高加工精度、质量和效率,并减少加工缺陷。

超精密龙门平面磨床 SGX-126SLS2-Zero3,遵循Nagase公司独有的IGTARP®产品开发设计方法,3点支撑高刚性床身,工作台左右导轨以及砂轮架的前后导轨均配有多面约束静压导轨和直线驱动系统,保证了机床的高运动精度和高刚性;占地面积小,与传统的单柱机床相比,安装占地面积减少50%。砂轮头架采用15kW大功率电机,适用重磨削,可安装 $\phi 510\text{mm} \times 75\text{mm}$ 的砂轮,提高加工效率。冷却水箱采用独特的铁磁磁力分离器,能够兼容重负载磨削。液压油箱的泵电机能够根据加工状况进行优化控制,以实现节能。配置专用于平面和凹槽加工的简单易用触摸屏控制系统“Neo3”,可以轻松设置平面和凹槽的自动磨削和自动修整。可以选

择安装“SMART 1D PROBING”,实现工件高度自动测量和自动研磨,还可以选装“Smart Surf Up®”,自由加工任何形状的。SGX-126SLS2-Zero3的加工范围 $1200\text{mm} \times 600\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。

超精密微细加工机床N2C-520 AS3-Zero3,应用Nagase公司独有的IGTARP Design®设计方法,在减轻机身重量的同时,优化了床身的重心、刚性和耐用性;采用三点支撑,有效避免地面、机床自身长期变化以及外界振动的影响,持续保持超高精度。工作台左右和头架前后导轨采用非接触式油静压导轨、高推力直线电机和具有纳米分辨率的光栅尺,动态性能高,工作台左右运动速度 $60\text{m}/\text{min}$,超精密立式主轴最高转速 $120000\text{r}/\text{min}$,可使用多种切削工具,如砂轮、铣刀、激光束、电子束和离子束,实现超精密微纳加工,切削精度可达到 10nm 。机床加工范围 $300\text{mm} \times 200\text{mm} \times 80\text{mm}$,适用于燃料电池分离器模具以及医疗、生物技术领域的微流控芯片加工。



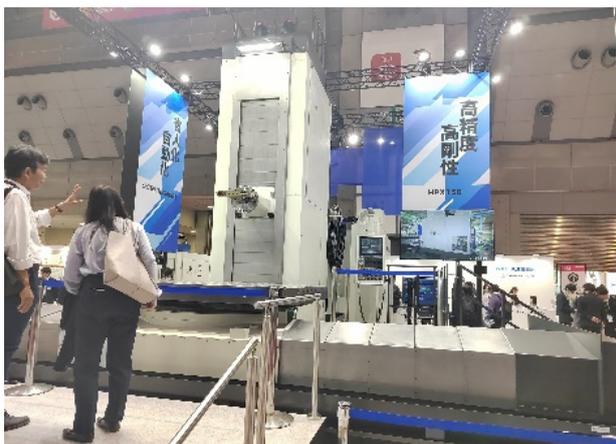
超精密非球面加工机 NSL-280AS3-N4,应用了Nagase公司独有的IGTARP Design®设计方法,机床主体结构具有超高的刚性,静态和动态变形小。前后运动轴和左右运动轴采用液体静压导轨和直线电机驱动,最小设置单位 0.1nm 。三点支撑床身,能有效隔离振动,持续保持高精度。只是一款亚纳米精度加工机床,增强的磨削功能,可加工SiC和硬质合金等材质的透镜模具,也可直接加工光学透镜,获得优良的表面加工质量,最大加工工件 $\phi 280\text{mm}$,加工件形状精度 $1.7\mu\text{m}/\phi 310\text{mm}$,表面粗糙度 $Ra13\text{nm}$ 、 $Rz80\text{nm}$ 。

Nagase展出的机床还有高精度龙门平面磨床 SGX-168SL2D-Zero3、超精密龙门平面磨床SGD-3012SLS2B-Zero4、超精密圆台复合磨床RG-700SLS2-N2。

9. Mitsui Seiki (三井精机)

三井精机展出的新款HPX 150精密卧式镗铣加工

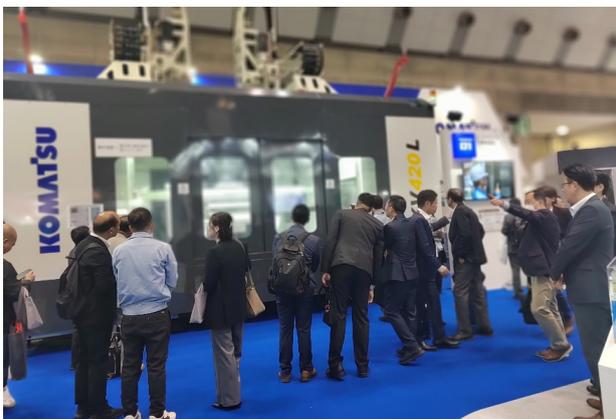
中心，X、Y、Z轴行程分别为3000mm、2000mm、1600mm，镗杆直径130mm，W轴行程500mm；工作台尺寸2200mm×1800mm，最大承重15t，相比以往机型，提升了87%，最大工件尺寸 ϕ 2800mm×2000mm。新款的HPX 150快速进给速度15m/min。三井精机以高精度加工著称，据介绍，HPX 150的掉头镗加工精度可达到15微米，可满足航空、工程机械、半导体制造设备、发电机、工业机械和机床等领域的大型部件的加工需求，尤其适用于机床床身等需要高精度加工的大型加工件。



三井精机还展出了坐标磨床J350GII，与原机型J350G相比，大幅度提高了加工孔的圆度和圆柱度。

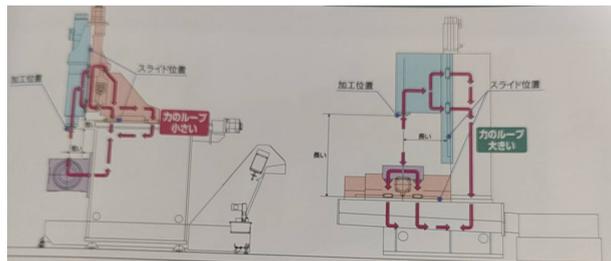
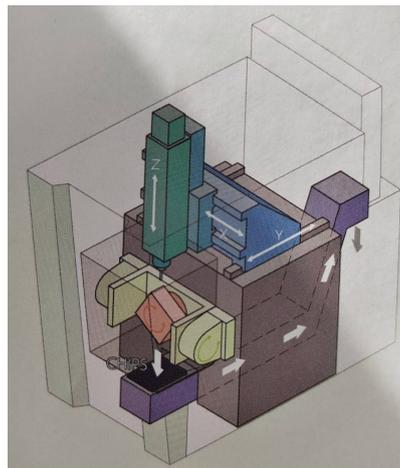
10. 小松NTC

针对电动汽车一体化压铸成型的铝车身结构部件，小松NTC开发了KV420L大型加工机床。该机为双主轴立式加工中心，轻量化设计将刀具和主轴单元的移动速度提高60%以上，主轴最高转速20000r/min；X1（X2）、Y1（Y2）、Z1（Z2）行程分别为1710mm、1310mm、1000mm；配备回转台，可实现一次装夹六面加工，最大承重1.8t，配备双刀库和自动换刀装置（ATC），刀库容量40把。该机床适用于加工最大约2m的大型车身部件，如后桥底盘等，还可进行精密、高速钻孔加工。



11. Horkos（霍克斯）

霍克斯展出了多台N系列无床身底座加工中心。这种无床身底座结构，不仅能够节省空间，而且将主轴和固定工件的夹具安装在同一个机体上，从加工位置到运动部件的距离短，能够优化力的传递，提高机床的刚性以及加工效率，另外加工产生的切屑和冷却液几乎不会接触到机体，不会对基体产生影响，能够长时间保持机床的精度稳定性。



其中NX60-1510B加工中心，X、Y、Z轴行程分别为1510mm、1000mm、700mm，主轴转速12000r/min，适合需要用龙门加工中心加工的大型工件的高效、高精度加工。



12. Tikamura Machinery (北村机械)

北村机械以“简化加工挑战 (Machining Challenges-Simplified)”为主题，展出了4种自动化解决方案，包括2台五轴立式加工中心，2台卧式加工中心。展品包括五轴立式加工中心Supercell-300G+APC、Medcenter5AX+APC，卧式加工中心Mycenter-HX250iG+APC、Mycenter-Hx500iG/630。搭载自主开发的“arumatik-Mi”控制系统，可以像智能手机一样轻松操作，具有包括零件尺寸检测、机床故障分析等应用模块，主要是为了提升用户使用便利性。

北村机械的加工中心追求加工精密、高表面质量、刚性等，从设计到制造到装配均有一些保障刚性和精度的独特技术。比如，机床采用硬轨、双伺服双丝杠驱动、齿轮头，所有装配面均刮研，所有运动轴都标配海德汉光栅。其硬轨采用高压油浮技术，快移速度和切削速度均可达到60m/min。床身跨度比同规格加工中心大，从而得到最佳的吸震效果。



二、展示的技术发展概述

JIMTOF2024以日本几家代表性机床企业为主，如MAZAK、Okuma、DMG Mori、Makino、Nidec、Yasda等，这些代表性展商展示了自动化、工艺集成与整合、AI及可持续发展等制造技术的最新成果。在应用方面，以电动汽车领域为重点目标。

1. 推进自动化技术的发展和应用

自动化技术是JIMTOF2024的一个重点展示内容。参展的这些代表性企业大量展示了丰富的自动化解决方案，推进自动化的应用，实现无人化、少人化的目的。包括移动式协作机器人、机器人单元、桁架机械手、自动工件交

换装置 (AWC)、自动托盘交换装置 (APC)、托盘库 (MPP) 等。

MAZAK展示了协作机器人 (EZ-Loader)、机器人单元 (Ez-Loader i)、桁架机械手 (GL-150)、AWC、MPP类型的自动化解决方案。



INTEGREX i-200H S + Ez-Loader 30

Okuma展示了移动式协作机器人 (OMR 20)、内置机器人 (ARMROID)、机器人单元 (smartTwinCell)、AGV等类型的自动化解决方案。



B300II+smartTwinCELL

DMG Mori展示了Robo2Go机器人、移动式协作机器人 (MATRIS Light)、机器人单元 (IMTR)、托盘自动交换装置 (APC)、自主移动机器人 (AMR) 等自动化解决方案。



CVG 6+MRTRIS

Yasda展示了YBM Vi50与PX30i机型结合EROWA自动工件交换装置(AWC)的应用案例。

在自动化解决方案中,协作机器人以及自主移动协作机器人的应用案例相对亮眼。主机、刀具、测量等领域应用协作机器人的展示案例遍及整个展场。如Nidec的TR-20W的协作机器人, Makino的iAssist、Sodick和DMG Mori的AMR(自主移动协作机器人)等。



TR-20W (Nidec)



iAssist (Makino)

2. 通过工艺集成与整合提高生产力

通过工艺的集成和整合来提高生产力,是日本机床产品长期以来的追求。在世界知名的机床展览会上,都有数量众多的复合加工机床展出。在JIMTOF2024展会,以日本机床企业为主的诸多代表性展商大量展出复合加工机床,实属情理之中。

Nidec首次展出的多任务齿轮中心,在五轴立式加工中心上复合了齿轮加工的功能,能够一次装夹完成车削、钻孔、齿轮加工和齿轮倒角等多个工序,减少工序间的安装调试次数,节省劳动力,满足多品种少批量高精度齿轮加工的需求。新开发的TS-4000HYS车削中心也集成了齿轮加工模块,配备了齿轮加工所需的专用刀具和交换式软件,可实现高精度齿轮加工。

MAZAK、DMG Mori、Okuma等展商也都展出了多台复合加工机床。如MAZAK的INTEGREX i-350H AG、INTEGREX i-630V/6、INTEGREX i-450H铣车复合机床,其中INTEGREX i-350H AG还具有齿轮加工功能;DMG Mori的铣车复合加工机床NTX500,而NMV 5000 Gear Production五轴立式加工中心,集成了齿轮加工功能;Okuma的MULTUS B250 II、MULTUS B300 II、MULTUS U3000铣车复合加工机床。还有增减材复合加工机床展品,如DMG Mori的LASERTEC 3000 | 3000 DED hybrid, MAZAK的VARIAXIS J600/5AX AM增减材复合加工机床、FSW-460V搅拌摩擦焊复合加工机床, Matsuura(松浦)的粉床身增减材复合加工机床Lumex

Avance-25,该机床将激光选区熔化3D打印与铣削加工集成,每打印约10层形成一金属薄片后用高速铣削对打印轮廓进行精加工,如此重复最终制造出高精度、结构复杂的零件。



3. 数字化技术深入发展

DMG Mori展示的CELOS X网络化制造数字生态系统,包括不断增长的数字化产品和应用程序,以及基于数据的服务,由CELOS Xperience和CELOS Xchange两个组件组成,能将车间内的固有流程和 workflows 无缝连接,同时也将机器旁的人和所处的环境无缝连接起来。CELOS Xperience是生态系统中所有应用程序和软件系统的数字化工具箱,为用户提供与应用程序和软件系统的直接交互;基于云的CELOS Xchange为制造数据的收集、汇总和利用提供集中、安全的数据空间。

数字双胞胎、AI技术将数字化技术应用引入更深层次。AI技术在提高加工精度、预测性维护、质量控制、节约能耗、优化生产过程等方面都能发挥极大的作用。

Okuma的新产品MA-4000H卧式加工中心,配备AI技术,可通过机床自诊断功能实现稳定的运行,预测刀具寿命,减少不合格产品,减少停机时间,适时关闭周边设备和照明,降低能耗。

Mazak人工智能和数字孪生等数字技术,增强自动化支持功能,减少了编程和设置时间,缩短了周期时间,稳定了加工精度,提高了可操作性,并提高了生产率。在自动编程方面, AI技术能够从过去创建的程序中学习处理知识,自动估算加工过程和加工条件,做出最佳的程序输出。

长濑的超精密磨床,应用了AI技术,在加工过程中能够基于收集的刀具、加工步骤、材料等数据预测加工精度。

三菱电机的新款线切割放电加工机MX600,搭载了其AI技术“Maisart”,通过模型化微小转角处的放电发生概率,实现转角控制,并根据材料与形状优化加工参数。

Nidec的MVR-Hx五面龙门加工中心利用数字双胞胎技术,能在虚拟空间中进行操作模拟与检查,为工厂未来

的自动化提供了前瞻性解决方案。

4. 积极践行绿色发展理念

减少碳排放是一个全球共识，机床行业为此也采取了很多措施来提高机床的加工效率，如减少非加工时间，优化加工工艺，换用能源效率更高的设备，将多种加工工艺集成复合到一台设备上，取消液压来减少能耗等。JIMTOF2024也是日本机床大厂宣扬他们践行绿色发展理念的场所。

Mazak、DMG Mori都用大幅面的展板来宣传他们的绿色技术能为机床使用大量减少CO₂的排放。



Okuma展出的所有机型，都打上了Green-Smart Machine的标签，与以往机型相比，能大幅减少能耗。

日本精工展出的低摩擦滚珠丝杠“MT-Frix”，通过解析滚珠丝杠内部滚珠与槽的接触状态，优化内部结构以减少摩擦损耗，在保持与传统产品安装尺寸兼容的同时，动态摩擦转矩降低了最多50%，从而使滚珠丝杠驱动时的发热量减少40%，减少轴的热伸长量40%，提高了定位精度。而通过降低动态摩擦转矩，还减少高达50%的二氧化碳排放量。

5. 大力推广新技术应用

在机床行业，AM/3D打印作为一项创新技术备受关注。AM（增材制造）具有很多减材、等材制造所不具备的优势，如强大的个性化设计能力、灵活的定制性能、高材料利用效率、创新的制造能力等，全球业界都在不遗余力地推广这项技术的应用。在JIMTOF2024期间，继续组织了增材制造（AM）产品与技术专区展，以推动增材制造技术的发展和应用。有53家企业在南1和南2馆展出了他们的增材制造样件以及增材制造设备。

DMG Mori、Mazak、Matsuura、Nidec、Sodick都有增材制造设备展出。这些设备主要用于航空航天、汽车等行业一些复杂金属零件的制造。Nidec、DMG Mori、

Mazak展出基于DED工艺的增材制造设备，其中Nidec展出的LAMDA200为增材制造设备，用于大型零件制造和建模。而DMG Mori、Mazak展出的为增减材复合加工机床；Matsuura、Sodick展出基于SLM工艺的增材制造设备。Matsuura的Lumex Avance-25是一台增减材3D打印机，集成复合了SLM工艺增材制造与铣削工艺。



此外，还有为数不少的塑料材质3D打印设备展品，以及相关软件、测量、增材制造服务、建模服务、材料（金属、树脂、陶瓷等），以及其它相关产品和技术。

6. 电动汽车领域成为重要目标

参展的代表性大厂针对电动汽车领域都有解决方案展出。电动汽车领域已经成为机床行业的重点目标产业。

Mazak新推出的大型卧式加工中心FF-1250H，是为满足电动汽车副车架、电机壳等大型铝质工件加工需求而开发的，最大加工尺寸 $\phi 1600\text{mm} \times 1100\text{mm}$ ，要用摇篮式工作台。

Makino的J5卧式加工中心为X轴行程加大为1500mm的特殊规格，最大承重750kg，适用于大型铝压铸件的批量生产加工，如汽车副车架，采用了超大机门开口（1600mm）设计，方便安装桁架机械手和工业机器人等上下料机构，能够轻松地集成到各种自动化解决方案中。

针对电动汽车一体化压铸成型的铝车身结构部件，小松NTC开发了KV420L大型加工机床。

Nidec展出的基于齿轮磨床ZFA260+克林贝尔贝格齿轮啮合振动测量设备R300的在线全自动检测系统，主攻电动汽车等对齿轮噪声和振动要求极高的汽车市场。

Fanuc的机器人M-1000/550F-46A，专门针对一体化压铸车体结构部件开发的大型搬运机器人。该机器人主要用于一体化压铸车体结构部件的去处和脱模剂喷涂操作，最大可搬运重量550kg，作业半径4.6m，可处理重心远离抓取位置的大型工件。

（下转第60页）

一种关节轴承自动加工生产线设计

通用技术集团机床工程研究院有限公司沈阳分公司 周永胜

【摘要】针对关节轴承等较短规格工件，设计自动加工数控车床，桁架式机器人系统，自动送料装置及储存料仓，实现全序自动化加工。

【关键词】关节轴承；数控车床；自动加工

伴随中国工业发展与进步，对轴承等零部件的需求逐年增多。为提升产品加工效率与质量，同时减少人力强度，我公司进行了关节轴承自动加工生产线的研发，并设计自动上下料系统，实现工件的全序自动化加工。

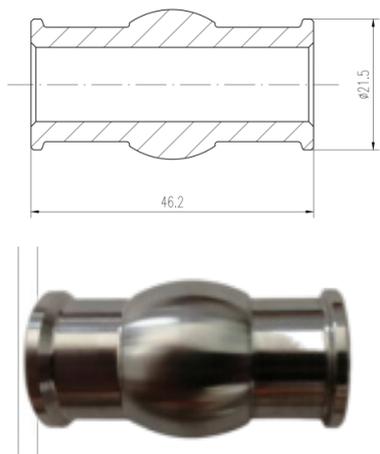


图1 关节轴承

图1为某公司批量加工的轴承类工件。传统的加工方式为：棒料截断→数控车床1序加工→数控车床2序加工。三序均为人工完成，且工序间需要人工进行转运。

设计产品的方案为：采用两台数控车床进行两序车削加工，配置棒料输送机进行自动上料，设计桁架机器

人，进行两序工件的自动上下料及工序间工件的转运并将加工完成后的成品放入料仓。桁架自动线，可以实现两序加工/单序加工（两台机床加工同一工序），所有工艺过程的工件自动抓取、上料、装卡、加工、下料。配合翻转机构可以进行工件翻转，实现工件的双面加工；双机生产线的应用，能够极大的节约人工成本，提高生产效率。结构更紧凑，集成度高，占地面积更小，为用户提供更多的空间。在大批、大量生产中采用自动线能提高劳动生产率，稳定和产品质量，改善劳动条件，缩减生产占地面积，降低生产成本，保证生产均衡性，有显著的经济效益。安装调试与维护维修更为便捷，机械手整体封装、运输、安装调试，为用户节省更多的时间。机械手编程简单，易上手，当天培训即可上岗。一台机械手带两台机床，分摊到单台机床的成本更低。优化的结构，更好的动静态特性，更高的效率与可靠性。整体方案图如图2所示。

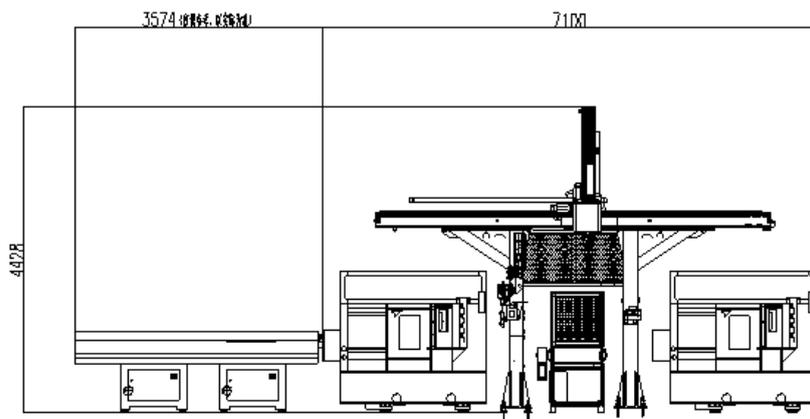


图2 整体方案图

整套自动生产线的加工工艺为：送料机送料给1序数控车床，开始1序加工，粗车端面→粗车右半边外圆轮廓→精车端面→精车右半边外圆轮廓→倒角→U钻扩孔，尾台前进到设定位置，尾台前侧接料装置进入工件内孔，一序切断，尾台后退将一序完成工件带入到机床右侧，打开天窗自动门，机械手下落

右移到尾台端取料，机械手左移上提退出机床内部，天窗门关闭。机械手将工件运送至翻转台，翻转台将工件，机械手夹持未加工端面侧将工件运送至2序数控车床，机床打开天窗自动门，机械手将工件运送到自动卡盘处，液压卡盘将工件夹紧，进行二序加工，粗车端面→粗车右半边外圆轮廓→精车端面→精车右半边外圆轮→倒角→铰孔→里孔倒角，机械手将工件取出，运送至机外料仓，完成全序自动加工。

传统工艺需提前将管料切割，并人工转运，进行两序机床的加工，采用自动加工生产线后，可以将三米长原材料直接放置到自动送料机中，节省了切割工序，同时节省了人力成本，提升了加工稳定性。

关节轴承自动生产线，重点进行了以下几部分设计。

一、自动送料部分。

采用可容纳3米长规格棒料的自动送料机，同时在主轴内侧设计针对毛坯料尺寸规格，设计辅助支撑，避免工件加工高速旋转，工件与主轴间产生磕碰，同时在两侧设计导引结构，便于送料机将工件送入主轴内部，即将工件推送至卡盘外侧。

二、数控机床部分

采用整体斜床身平台结构，优质铸铁床身，筋板布置合理，具有良好的刚性。配置套筒式主轴单元，内置进口双列圆柱滚子轴承与角接触球轴承，实现对主轴的复合支撑，具备较高的切削刚性。同时套筒式结构，易于后期维护与保养。八工位伺服刀架，伺服电机驱动转位，液压锁紧，结构简单，转位快刚性强。X、Z轴伺服电机直联驱动并配置直线导轨，使机床具有较高运行速度与运行精度。整机采用全封闭式防护结构，确保整机具有高刚性的同时还具备良好的排屑性能，结构可靠，操作方便。

机床采用45°斜角的整体床身，床身材料为HT300。采用树脂砂工艺铸造，内部筋形布局合理。导轨采用进口35规格直线滚珠导轨，进给精度提高、摩擦阻力小，刚性好，抵抗振动、变形能力高，可获得较高的加工精度及较高的快速移动速度，获得较高的生产效率。

数控系统部分，设备搭载自主知识产权的国产智能数控系统，基于先进的运动控制底层技术和网络技术，实现了操作智能化、编程智能化、维护智能化和管理智能化。

主轴部分设计套筒式主轴单元结构，便于安装、维护。前后端采用双列圆柱滚子轴承作为径向支撑，同时组合安装角接触球轴承的结构。该结构使主轴在高转速的情

况下具有极高的刚性，保证高扭矩切削，使得该主轴在重切削条件下表现依然出色。本车床采用多楔带传动，使电机通过皮带轮直接带动主轴转动，减少了机械传递的功率损耗，启动快速、平稳。优质的主轴套件便于安装、维修，用户使用更加便捷。主轴后侧配置光栅旋转编码器，可将主轴转速实时反馈至数控系统。

刀架部分配置十二工位双向伺服刀架。采用伺服电机驱动转位，液压锁紧，可满足高性能和快速换刀要求。该刀架可实现双向就近选刀。通过伺服电机技术控制加速和减速过程，可使刀架在高的惯性负荷下，仍然可以完成无冲击的柔性分度定位。高精度三联齿盘结构，液压驱动，使刀盘在无需抬起的情况下实现松开锁紧，有效保护了内部机械结构免受外界污染（冷却液、铁屑、灰尘等）。三联齿盘使用高硬度合金钢精密磨削制造，大尺寸，高锁紧力，保证了刀架的高刚度和精度。该刀架制造精密，零件部数量少，设计合理，工作温度低，润滑持久，保证了其在使用过程中的使用精度和可靠性。同时具有十二个刀具安装位置，可增加磨损较快刀具的备用数量，在自动线连续工作期间，刀具达到设置的切削工件数量后，自动更换新的刀片，避免频繁更换刀具，占用整条自动线加工时间。

X、Z轴导轨及尾台导轨均采用直线滚动导轨，保证高刚性及良好的动态性能和精度。进给系统采用伺服电机通过联轴器与滚珠丝杠直接连接，为了保证丝杠使用时的定位精度和滚珠丝杠的系统刚性，在装配前对丝母进行预拉伸，消除温升对精度的影响。

机床标准配置链板式自动排屑器，综合场地布局的需求，及缩短桁架的经济性、高效性需求，采用后排屑的方式。机床冷却泵流量35L/min、扬程30m，冷却箱容量200L。较高压力，较大流量的冷却泵确保在切削过程中刀具得到充分冷却，保证工件的加工精度，提高刀具的使用寿命。在冷却箱的内部，采用过滤网进行冷却液的净化，防止冷却回路的堵塞。中心出水装置，水泵经油缸后侧，通过主轴中心将冷却水喷出，一方面可以在加工内孔时进行工件的冷却，一方面可以将加工过程中产生的铁屑及时清理。

机床采用全封闭式全防护，内防护与床身平行，与地面倾斜45度，利于加工后的切屑落落到排屑器中，加工区下方在保证机床刚性的前提下预留最大排屑空间，从而切屑可经链板带动运送至接屑车中，防护设计兼顾美观及操作宜人性，结构合理。同时，为实现自动加工，数控车床设计有天窗自动门，用于机械手进出机床时的自动开关。

机床配置三爪液压卡盘，通过主轴后面油缸的运动经过拉杆带动卡盘自动卡紧、松开工件。同时在油缸上安装位置传感器，将卡爪位置信息传送到机床数控系统内，避

免工件夹紧不牢固时机床的旋转加工，产生废品与危险。

机床设计自动接料装置，接料杆固定在尾台体上，通过液压缸带动尾座体，在直线导轨上整体移动。在工件切断前提前由伺服电机将接料杆推送到设定位置，工件切断后，将工件接到接料杆上，并运送至机床右侧。

床头冲水喷气，在主轴上侧，安装四路水气装置，在机床加工过程中将切削液冲到加工表面，起到冷却工件及清理工件外表面作用。

三、桁架机器人部分

1. 主体框架

由横梁立柱组成，采用齿轮齿条传动，伺服电机驱动移动部件进行直线运动。为了提高系统的稳定性和耐用型，减少系统的维修和维护，桁架机器人控制系统及电器元件全部采用德国的硬件，关键的抓手、导轨、齿条、气动及润滑元件、减速机、电机和拖链等零部件全部采用行业著名品牌。桁架主体的刚性、稳定性及可靠性起到至关重要的作用。立柱采用高强度优质钢型材，焊后通过热处理，设计过程中采用先进的有限元技术进行了强度和刚性等方面的校核分析，从而有效保证了其关键的支撑作用。两轴快移速度80m/min。

2. 工件抓手模块

由2组气爪组成，可同步完成上料与下料动作，上下料效率高。由旋转气缸带动气爪，可实现毛坯成品快换功能，满足卡盘上下料与料库下料的需要。

根据零件种类的不同，手爪采用三指气爪，手指设计成可调结构，以适应零件外径尺寸的变化，其中抓手中的上料气爪均安装有工件弹出机构，抓手上的感应开关为防水型，可以反馈卡爪松开夹紧的状态。抓手模块配有安全保护阀，可实现在突然断电、断气时，机器人所抓工件不允许松开和脱落。最大夹持工件重量小于为5kg，要求气源压力为0.6MPa以上。

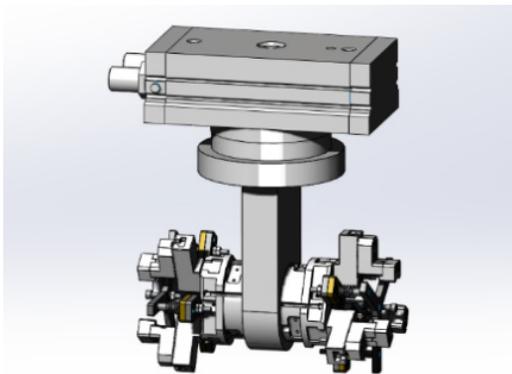


图3 抓手模块示意图

3. 桁架控制系统

专用桁架控制器，具有简单易用的操作界面和国际领先的总线数据传输形式，降低干扰、定位更精确，响应速度快，可存储多种工件上下料程序，换产更便捷。编程方式与机床数控系统编程方式相似。主控系统以 I/O 方式与数控车床联机，换料时车床与机械手直接以 I/O 讯号通知作业，机械手同样依据作业流程以 I/O 讯号通知送料设备送料。

系统采用基于数控技术的高速、高精运动控制算法为工业机器人控制的精度、速度以及外部设备同步性等机器人性能指标提供了重要的保证，具有高速度，高可靠性，配置灵活、结构紧凑、易于使用的特点。可以广泛应用于搬运、焊接、涂胶、物流、车间柔性线等领域的机器人控制。

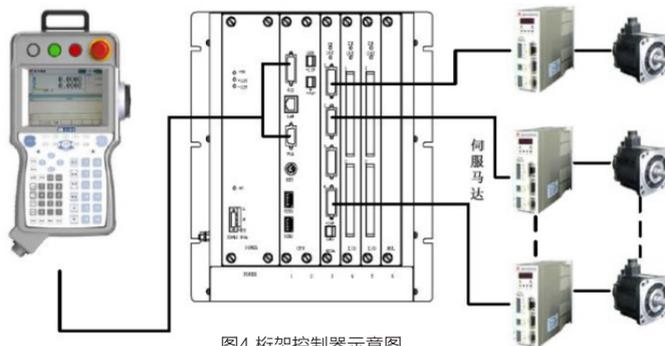


图4 桁架控制器示意图

在安全保护方面如下：

- (1) 机械手进入机床后，机床的急停开关，可使机械手停止动作；
- (2) 机加和检测上下料部分防护配有安全门锁，门锁打开，机械手禁止进入上下料部分；
- (3) 机械手Z轴电机选用带有断电抱闸功能的电机，防止Z轴掉落；
- (4) 机械手与夹具动作具备连锁确认。
- (5) 每套自动岛均带有防护门安全开关、自动线停机确认按钮、报警指示灯等功能。每个自动岛均可实现单独独立运行功能。自动单元并将运行状态反馈给总控系统。

四、料仓部分

设计料库为4工位3托盘料库，适用范围为直径较小盘类件，以及小规格轴类件。零件以点阵形式放置于托盘上，托盘可整体自由更换。人工将工件放满托盘后，可将托盘整体放到料仓上，托盘与料仓通过锥销定位。料仓将工件传送到位后检测开关发出信号，机械手才允许抓取工

件，料仓预置缺料满料报警，料仓发出报警信号，说明料仓托盘上所有零件均加工完成，提示操作人员需要进行换料工作。托盘尺寸400mm×500mm，最大提升重量100kg，工件放倒卧式放于托盘上。

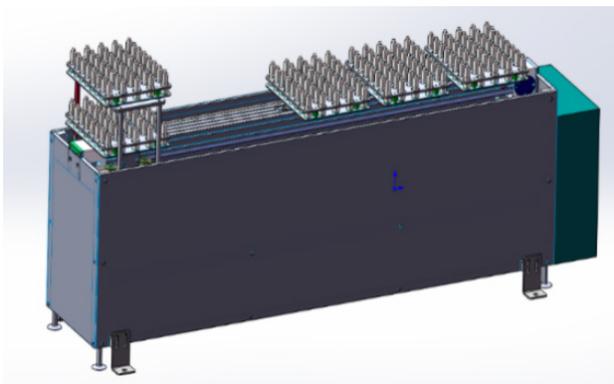


图5 料库示意图

安全栏采用铝型材框架+钢网形式，并配有安全维护门，维护门上配有安全门锁，保证操作人员的安全。当操作人员打开自动门后，系统收到安全门锁信号，机器人自动停止运行，以保证操作人员的安全。

五、生产线总控制台

整个生产线带有总控制台，每个加工岛配置安全限位开关（配锁）以及相应的三色灯，并将状态（运行、空闲、报警）反馈给总控制台显示。总控制台具有操作界面，可实现数据查询、记录等相关操作。采用工业用触摸屏操作，

配标准计算机键盘操作和鼠标。可实现的主要功能如下：

(1) 生产线工艺文件（可实现按生产线加工品种显示、查询，甲方提供电子版工艺文件，乙方设计显示型式方案，方案会审最终确定。）；

(2) 生产线加工节拍，各设备实时运行情况（显示运行、空闲、报警），运行时间统计；

(3) 生产任务编制和完成情况，月度、年度生产信息统计；

(4) 各设备故障报警，故障时间统计，每台设备故障率；

(5) 在线检测设备数据查询，合格品数据和不合格品数据记录、统计；

(6) 由总控单元实现立加工序的测头自动检测数值的读取与分析。

(7) 由机器人在打磨刀具寿命状态反馈给总控单元。

六、结语

关节轴承自动加工生产线经研发及制造调试，在用户处使用效果良好，已稳定加工多批量的产品，大幅提高了加工效率，同时节省了人员；由于整体为全自动加工，减少了人员误差，从而提升了产品的加工一致性，得到了客户的认可与好评。□

参考文献：

[1] 闻邦椿 机械设计手册 机械工业出版社 2010

[2] 陈心昭 现代实用机床设计手册 机械工业出版社 2006

上接第56页



Fanuc M-100/550F-46A

三、展会小结

JIMTOF2024展会为期6天，展出面积和参展商创历史新高，展会观众人气旺盛，据主办方资料，观众总人数近13万人。代表性展商以日本大厂为主。230家参展境外展商的展品主要包括机床附件、工具、磨料磨具，代表性不充分。中国机床工具工业协会组织了54家中国大陆企业参展，代表性企业如北京精雕、武重、汇专科技与日本企业合作，尝试进入日本市场。

日本是机床制造强国，即使欧洲的代表性机床大厂缺席JIMTOF展会，日本代表性机床企业Mazak、Okuma、DMG Mori、Makino、Nidec、Sodick等，同样也展示了技术发展的大方向，强调自动化、数字化、智能制造、集成复合、节能减排、AI技术、AM技术应用等，在重要目标产业方面，锚定电动车、半导体设备、航空、模具等领域。□

基于FANUC FOCAS分中功能的 开发与应用

江苏省常州技师学院 韩渴望
中车戚墅堰所 伏宇璐

【摘要】针对配备FANUC CNC的数控机床对刀分中过程的繁琐、计算问题,基于FOCAS协议利用C#设计了一套自动对刀分中系统。通过调用FOCAS相关函数实现了对CNC的机械坐标、坐标系等信息的读取与写入。将对刀过程中的各轴机械坐标记录在系统中,并自动计算出分中坐标,通过选择写入所需坐标系中,实现自动分中功能。

配置了FANUC CNC的机床在机加工领域随处可见。一般零件在装夹到数控机床工作台后,在加工流程前,需对夹持的工件进行对中操作,设定其加工中心原点。

在传统的对中操作中,常见的是用寻边器分别在零件的四周进行碰撞,记录各点机械坐标,通过公式 $P=(P1+P2)/2$ 得出X、Y、Z中点机械坐标,并输入到FANUC CNC坐标系界面的G54坐标中。整个过程可以分为碰、记、算、输四个过程,其中最容易出现的是记录、计算。在实际生产过程中,由于时间任务紧,往往会出现机械坐标记录错误、计算错误等情况。从而造成撞机情况的产生。

本文以FANUC分中功能软件介绍FOCAS功能。使用Visual Studio软件用C#调用FOCAS函数库,读取各轴机械坐标,并通过正确分中公式,自动计算出坐标点,输入所需的坐标系中。

一、运行环境

开发环境和开发工具选用:

操作系统: Win10

开发语言: C#

开发工具: Visual Studio

CNC: FANUC 0i-D
通讯协议: FOCAS1/2
PC机: 工业触屏一体机

二、分中软件设计思路及流程

1.设计理念

在西门子CNC和高端FANUC CNC中,都自带分中功能,但对于经济型FANUC CNC来说不带分中功能,如要使用分中功能需要联系FANUC公司开通分中功能选通包。在价格上按台收费,对于工厂来说,投入成本过大。针对此类问题,本研究采用FANUC系统的FOCAS功能,开发了一款适用于工业触屏一体机的PC分中软件。该软件能够读取CNC(数控系统)的相关数据,并在数据处理与整合后,将其准确写回CNC中,从而实现分中过程的标准、高效化与精确化。

FANUC分中软件通过工业触屏一体机与FANUC系统数控面板背部的CD38A网口连接,可完成机床数据及信息的传输和采集。采用Visual Studio软件环境,运用C#编程语言开发应用程序,通过FANUC的开放式CNC API的(FANUC Open CNC API Specifications,简

称FOCAS)所提供的动态链接库:“FWLIB32.DLL”读取和写入机床相关数据。其中FOCAS1主要应用与0i/16i/18i/21i系列,FOCAS2则主要用于30i/31i/32i系列CNC。

分中软件主要功能包括:

(1) 数据管理:通过与工业触屏一体机联网的FANUC CNC进行数据的读取、写入等。

(2) 操作引导:通过软件界面,执行读取机械坐标操作。

(3) 计算功能:将读取坐标带入分中公式,计算中点坐标。

(4) 写入坐标:把坐标数值写入所需CNC坐标系中。

2. 设计流程

(1) 软件与系统通讯

在通过以太网连接一体机和CNC设备时,我们采用FOCAS(FANUC Open CNC API Specifications)并利用TCP/IP通讯协议来实现之间的通信。通常,CNC设备上会配备FANUC以太网板或FANUC快速以太网板以支持这一连接。而对于16i系列及以上的CNC设备,还可以直接利用其内嵌的以太网功能进行连接。

使用内嵌以太网功能,需要在CNC内嵌菜单中设置IP地址、子网掩码、口编号(TCP)、口编号(UDP)、时间间隔。具体设置如图1所示。工业触屏一体机设置相同网段IP。通过TCP/IP协议建立软件与CNC的连接。CNC侧参数设置见图1。

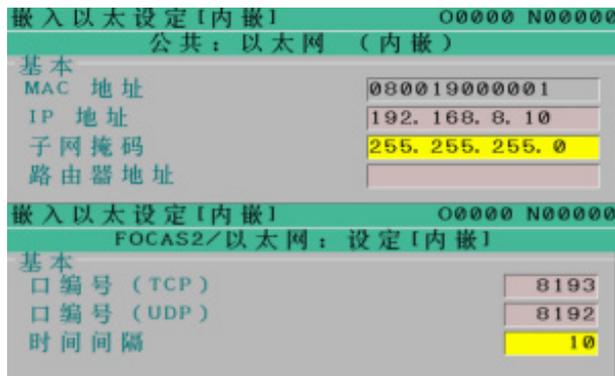


图1 以太网设定

VS C#需要调用FOCAS函数中的“FWLIB32.DLL”的Ethernet函数,连接设备。函数名为“cnc_allclibhnd13”。该功能的实现涉及分配函数库句柄,并通过给定的IP地址或主机名称来建立与FANUC CNC的连接。在运行该函数前需要设置好CNC侧与计算机侧的IP号和端口地址。参数为ipaddr(地址)、port(TCP

端口)、timeout(超时时间)。Return(返回值),EW-OK表示建立连接正常,其他返回值参考附表。

返回值含义

返回值	含义以及解决方法
EW_SOCKET (-16)	连接通讯失败,检查CNC电源、以太网接口、连接电缆等。
EW_NODLL (-15)	缺少相应CNC的DLL文件。
EW_HANDLE (-8)	分配句柄号失败

通过VS软件编写如图2所示程序代码,当IP在同一网段并连接成功时,控制器会回转数据,在断开连接时释放。这一数据就是信息读取时的钥匙,利用钥匙才能正确使用其他语法功能函数读取CNC相关信息。对于FANUC分中功能来说,需要读取CNC各轴的机械坐标信息,写入工件坐标系功能。

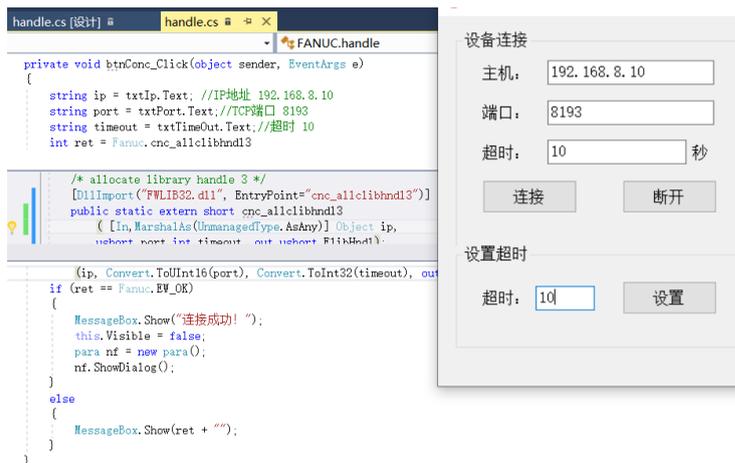


图2 TCP/IP连接函数代码

(2) 伺服坐标读取

CNC的伺服坐标轴分为机械坐标、相对坐标、绝对坐标3种,同时在CNC综合菜单界面还能显示剩余移动量。不同的坐标用不同的函数来调用。机械坐标函数“cnc_machine”、相对坐标函数“cnc_relative”、绝对坐标函数“cnc_absolute”,同时也可以根据需要一次读取CNC数控机床绝对位置、机械位置、相对位置、剩余移动量,函数“cnc_rdposition”。“cnc_rdposition”函数需要在读取查询前输入坐标类型,ODBPOS为回传信息,共包括abs(绝对位置)、mach(机械位置)、rel(相对位置)、dist(剩余移动量)四项坐标类型。根据数控加工分中操作可知使用的是CNC机械坐标,因此在程序编写中使用函数“cnc_rdposition”的mach(机械坐标)。VS软件编程读取机械坐标X轴(第一轴)代码如下。

public void get_postion()//获取机械位置信息 第一次读取:

```
{ Fancu.ODBPOS fos = new Focas1.ODBPOS();
short num = Fancu.MAX_AXIS;
short type = -1;
short ret = Fancu.cnc_rdposition(Fancu.h,
type, ref num, fos);
if (ret == 0)
{ textBox1.Text = (fos.p1.mach.data*0.001).
ToString ("0.000");//读取坐标X1 }}
```

其中p1表示X轴(第一轴), mach表示机械坐标, date表示数据。date数据读取显示为整数位, 不符合实际机床精度, 因此这里需要乘CNC精度0.001得出CNC正确机械位置数据。通过记录2次对刀机械位置, 通过公式 $P=(X1+X2)/2$, 得出工件X方向的中点位置数据。以此类推, 分别编写相应程序代码, 读取Y、Z轴坐标数据。

(3) 坐标系写入

工件的加工程序, 涉及工件坐标系。在FANUC CNC系统中常用的工件坐标系为G54、G55、G56等。因此对于FOCAS分中功能来说, 最后的关键一步就是把计算出的各轴位置数据输入到CNC系统坐标系中。坐标系的写入函数为“cnc_wrzofs”。VS代码如下:

```
public void xiezuobiaoy()//写入工件坐标系G54 X
{ Focas1.IODBZOFs zofs = new Focas1.
IODBZOFs();
short length = 100;
zofs.datano = 1;//数据号
zofs.type = 1;//类型
double data1 = 0;
try
{ data0 = Convert.ToDouble(label9.Text);
int data = int.Parse((data0 * 1000).ToString());
zofs.data[0] = data;
short ret = Fancu.cnc_wrzofs(Fancu.h, length,
zofs);//写入1.2345 }
catch
{ MessageBox.Show("值转换出错"); }}
```

通过datano数据号和type类型的不同组合对应CNC坐标系。

参考文献:

[1]王宏龙.FOCAS功能在机床调试中的开发与应用[J]. 制造技术与机床,2017(6):034.

三、软件应用

为了便于操作人员的使用, 从操作性与安全性考虑, 软件界面使用实际零件对中操作过程步骤。通过点击对应界面按钮, 实现机械坐标数据的读取记录。各轴对刀完成, 点击工件原点界面计算按钮, 软件自动计算各轴的中点位置数据, 并点击输入按钮把坐标输入所需的G坐标系中, 完成分中过程。

分中功能软件凭借其独特的几大显著特性, 在加工领域脱颖而出:

(1) 它特别为触屏一体机量身打造, 界面设计简洁明了, 提供了一系列直观易懂的操作指引。这种设计不仅使得加工人员能够迅速上手, 更在操作过程中大大降低了因不熟悉操作而导致的误操作风险, 从而确保了加工过程的安全性与稳定性。

(2) 软件内部集成了复杂而精准的计算公式与逻辑, 这些计算原本需要加工人员手动完成, 现在则全部由软件自动处理。这一改进不仅极大地减轻了加工人员的计算负担, 还通过自动化的计算方式, 确保了每一项计算结果的准确无误, 为加工质量的提升奠定了坚实基础。

(3) 软件在优化对刀分中流程方面下足了功夫, 通过智能化、自动化的技术手段, 使得整个对刀分中过程变得更为便捷高效。这一改变不仅显著提升了加工人员的操作效率, 还大大缩短了加工前的辅助时间, 为加工任务的快速完成提供了有力支持。

四、结语

在德国“工业4.0”的浪潮推动下, 中国正积极从“制造大国”向“智造强国”转型。CNC数控系统的发展也顺应了这一趋势, 开放性、智能化、数据化以及网络化成为其核心发展方向。而基于FANUC FOCAS开发的功能软件, 则巧妙地将计算机技术与CNC系统紧密结合, 为这一转型提供了有力支撑。这款分中功能开发软件已在企业中稳定运行一段时间, 受到了企业领导及全体员工的高度评价。它不仅显著增强了分中操作的安全性, 还确保了分中结果的准确性, 进而极大地提升了企业的整体生产效率。□

金属试样工艺分析及数字化加工

重汽（济南）车桥有限公司 刘胜勇

【摘要】以一款头部带螺纹的棒材拉伸试样为例，从数控加工的角度出发，讲述工序划分、工件装夹、刀具选择、程序编制的技巧。用户即可在配有FANUC系统的单台机床上进行加工，也可经由智能制造单元实现“毛坯到成品”的交付。配置SINUMERIK、MITSUBISHI及GSK等系统的用户能够直接借鉴该分析过程。

1. 前言

金属材料的机械性能试验是原材料入厂入库的必检项目，其中的塑性指标是以拉伸试验后得到的延伸率和断面收缩率作为评价手段。用户进行拉伸试验，需要按照GB/T 228.1-2001《金属材料 拉伸试验第1部分：室温试验方法》预先制作符合要求的拉伸试样。为获取图1所示的拉伸试样，用户会在数控车床、立式加工中心、带锯床、立式铣床等生产装备上，按编制好的工艺流程和符合既定规则的数控程序进行机械加工。

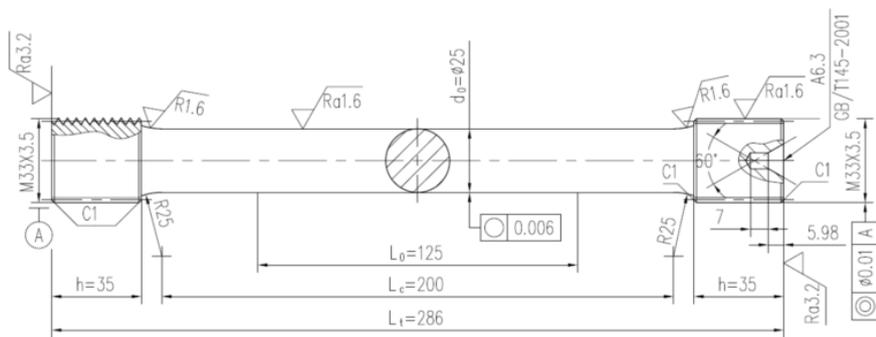


图1 一款头部带螺纹的棒材拉伸试样成品示意

2. 工序划分与工件装夹

头部带螺纹的棒材拉伸试样一般是在数控车床（或称圆拉伸试样加工中心、多功能试样加工中心）上完成，期间涉及05序齐端面钻中心孔、10序头部外圆车削、15序中部外圆车削、20序头部右旋单线普通三角外螺纹车削、25序成品切断五个工序以及棒材喂料、顶尖夹紧、成品取下等辅助环节。有的用户是安排操作者，在单机上手动装卸工件后，执行数控程序一次性实现加工的；还有用户是由工业机器人完成工件装卸，数控车床会根据不同的工序加工要求，自动进行M辅助功能代码下棒材的装填与Z方向长度的供给。

对于图1所示左右头部用于一般旋合用途的中等公差精度6g螺距的外螺纹，20序车螺纹所需的拉伸试样半成品头部外圆面需要在10序车削完。10序头部车削尺寸按经验公式计算，方可保证车削完的外螺纹符合通止规检查要求。

制作拉伸试样的棒材直径为 $\phi 36\text{mm}$ ，长度600mm，材质为钢件。在其端面钻中心孔后，程序调用伺服刀塔上的自动夹钳，先将目标件自主轴通孔内拉出至车削所需长度，随后在主轴侧经液压自定心三爪卡盘进行装夹，在尾座侧经回转顶尖进行顶紧，如图2所示。机床配置GSK 25Ti、FANUC OiTF或SINUMERIK 828D等CNC系统，床身为一体树脂砂铸造成型的斜床身，刀塔为12工位的后置型伺服刀塔（方刀柄、圆刀柄的最大尺寸分别为 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 和 $\phi 40\text{mm}$ ），主轴通孔直径为 $\phi 66\text{mm}$ 、拉杆通孔为 $\phi 52\text{mm}$ 。更多参数及性能请读者参见所选机床的说明书，如CXWK310多功能试样加工中心。

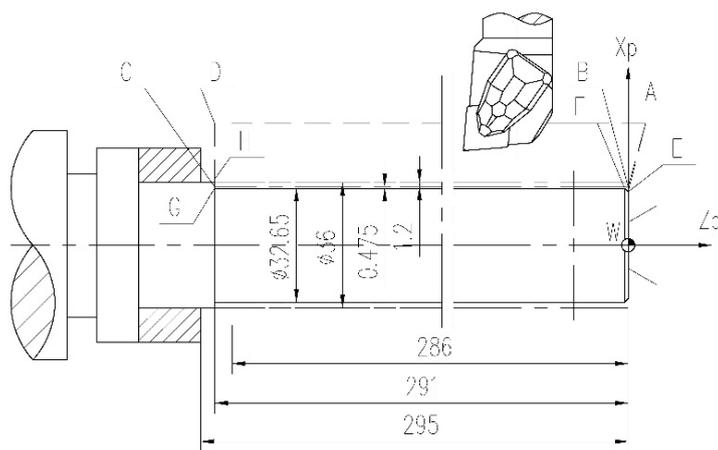


图2 棒材拉伸试样的装夹示意

3. 刀具选择

棒材自 $\phi 36\text{mm}$ 车削至图1所示的 $\phi 32.65\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$ ，其单边切削量对应为1.675mm和5.5mm。为满足拉伸试样端面中心孔以及车削两端外圆面、中部外圆和圆弧的要求，可选择表1所示的机夹可转位刀具。关于山特维克可转位外圆车刀杆、外螺纹车削刀柄、左偏切断刀与对应刀片的编号说明，请读着参见山特维克官网的样本手册。

表1 棒材拉伸试样切削用数控刀具

工序号	刀具编号	刀杆/柄规格	刀片规格	加工内容
05	T01	DCLNL2020K12T-Max*P车削方刀杆切削刃角95°，左偏	CNMG120408-PM4415 T-Max*P车刀片	$\phi 36\text{mm}$ 棒材经机器人装料后，机床主轴正转，经左偏车刀对棒材的右端面进行车平加工
	T03	no.6154-20夹套筒品牌：钻领	no.6155-287 A型右旋中心钻，材质HSS	端面钻中心孔，夹套筒与伺服刀塔的连接采用自制接刀柄，主轴正转
10	T05	随机专用水压夹钳	-	伺服刀塔随斜床鞍朝移动，使夹钳夹住棒材右端后，机床松开液压卡盘，刀塔朝移动至图2所示295mm长度
	T01	DCLNL2020K12T-Max*P车削方刀杆切削刃角95°，左偏	CNMG120408-PM4415 T-Max*P车刀片	调用05序的01号车刀，将 $\phi 36\text{mm}$ 棒材外圆分2刀车削至 $\phi 32.65\text{mm}$ 。第1刀为棒材外圆找齐、单边切深1.2mm；第2刀单边切深0.475mm，保证粗糙度 $\leq Ra1.6\mu\text{m}$
15	T07	DCLNR2020K12T-Max*P车削方刀杆切削刃角95°，右偏	CNMG120408-PM4415 T-Max*P车刀片	在10序基础上，机床主轴正转，将棒材中部 $\phi 32.65\text{mm}$ 的外圆车削至R25mm，两侧圆弧R25一并车出。中间部位下刀，调用相应车刀，分别向两侧切削，采用外径粗车循环G71与精车循环G70，保证粗糙度 $\leq Ra1.6\mu\text{m}$ 。
	T01	DCLNL2020K12T-Max*P车削方刀杆切削刃角95°，左偏	CNMG120408-PM4415 T-Max*P车刀片	
20	T09	266 RFG-2525-22 CoroThread*266 外螺纹车削右偏刀柄	266 RG-22MM01A350M 1020外螺纹刀片，右偏	在15序基础上，机床主轴正转，经正向安装的右偏刀柄自左侧向尾座方向车削右旋单线普通三角外螺纹M33 \times 3.5
	T10	反置266 RFG-2525-22 CoroThread*266 外螺纹车削右偏刀柄	266 RG-22MM01A350M 1020外螺纹刀片，右偏	随后，机床主轴反转，经反向安装的右偏车刀自右侧向卡盘方向车削右旋单线普通三角外螺纹M33 \times 3.5
25	T12	LF151.23-2020-40M1 T-Max*Q-Cut左偏刀柄	N151.2-400-5E1125 T-Max*Q-Cut切断刀片	机床主轴正转，自右端至卡盘侧控全长，经宽度4mm刀片进行切断

为了有效降低切削温度和刀具的寿命，车削工件时辅以5%的乳化液进行冷却。读者在刀具图形绘制时，可借助山特维克官网的在线刀具组器（见图3），据棒材材质选择刀杆和刀片后，在线装配并形成二维图形，下载扩展名为DXF的图形，用于后续绘图；下载刀具信息，用于工艺分析和轨迹编程；查看刀具价格，用于成本控制；明确是否有货，用于选型和采购。

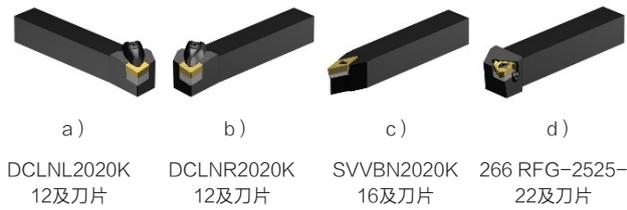


图3 基于山特维克在线刀具组装机器的刀具示意

4. 加工程序编制

(1) 05序齐端面钻中心孔

05序分为2个工步：先是程序调用T01左偏车刀DCLNL2020K12，对M03正转的棒料右端面齐平处理；再是程序调用T03钻领右旋中心钻，在正转的棒料右端面上钻中心孔，用于后续车削时尾座顶尖的夹紧。中心钻的夹紧套筒与伺服刀塔的连接采用自制接刀柄，中心钻对刀仅控制方向，方向由调整实现与机床主轴对尾座的中心线同轴。

CNMG120408-PM4415刀片基于钢件进行端面车削的推荐线速度 $V_c = 345$ m/min、进给量 $f_n = 0.288$ mm/r，按 $V_c = \frac{\pi Dn}{1000}$ 计算主轴转速 $n \approx 3050$ r/min。基于钢件在车床上钻中心孔的线速度一般控制在40m/min，按 $V_c = \frac{\pi Dn}{1000}$ 计算主轴转速 $n \approx 354$ r/min。图4为05序钻中心孔示意。表2为05序齐端面钻中心孔的加工程序。

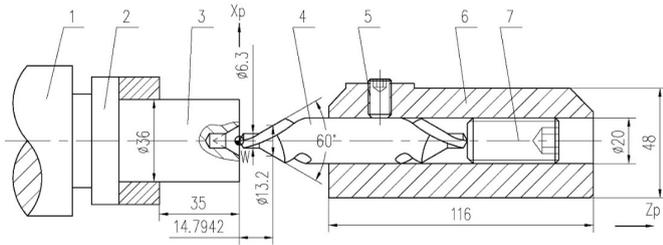


图4 05序钻中心孔示意

1. 机床主轴 2. 液压自定心三爪卡盘 3. 试样毛坯 4. 钻领A型右旋中心钻
5. 内六角平端紧定螺钉 6. 钻领no.6154-20夹紧套筒 7. 挡块

表2 05序齐端面钻中心孔的加工程序

程序名	程序名及其说明, FANUC OiTF
O0005 (Center Hole)	程序名及其说明, FANUC OiTF
N0010 T0101	调01号左偏车刀及其01号补偿量
N0020 G50 M03 S3050	限制主轴正转最高转速3050rpm
N0030 G96 S345	齐端面恒线速度控制345m/min
N0040 G00 Z0.	车刀沿Z轴快移至定位点
N0050 G01 X-2.F0.288 M08	齐端面, 开切削液
N0060 G00 Z5.M09	关切削液, 沿Z轴离开端面
N0070 G28 U0 W0	返回第1参考点
N0080 T0303	调03号中心钻及其补偿量
N0090 G97 M03 S354	取消恒线速度, 主轴低速正转
N0100 G00 X0. Z20.	中心钻快移至定位点
N0110 G01 Z0. F1. M08	靠近端面, 开切削液
N0120 Z-14.7942 F0.07	钻A型中心孔
N0130 Z0. F1. M09	退刀, 关切削液
N0140 G00 Z20. M05	快速退刀, 主轴停转
N0150 G28 U0 W0	返回第1参考点, 程序结束符略

(2) 10序头部外圆车削

10序头部外圆车削分为2刀完成：第1刀为棒材外圆找齐、单边切深1.2mm；第2刀单边切深0.475mm，保证粗糙度 $\leq Ra1.6 \mu\text{m}$ 。CNMG120408-PM4415刀片基于钢件外圆车削的推荐线速度 = 379 m/min、进给量 = 0.206 mm/r，按计算主轴转速3350r/min。01号左偏车刀进行头部外圆车削的轨迹为：A→B→C→H→D→A→E→F→G→D→A，如图5所示。表3为10序头部外圆车削的加工程序（未包含机器人装卸料的呼叫代码与机床门开关的控制）。因20序头部卡盘侧外螺纹车削时，需要给出2mm引出量，故10序头部外圆车削时全长286mm多向卡盘侧加工5mm，即291mm。

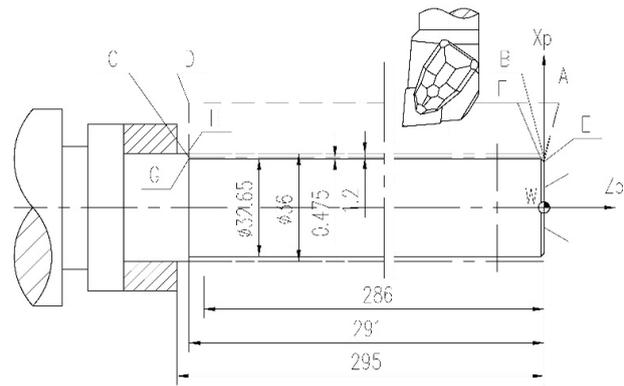


图5 10序头部外圆车削轨迹示意

表3 10序头部外圆车削的加工程序

程序名	程序名及其说明, FANUC OiTF
O0010 (Head)	程序名及其说明, FANUC OiTF
N0010 T0303	调03号水压夹钳及其03号补偿量
N0020 G97 G94 G00 X0 Z5.	取消恒线速, 每分钟进给靠近棒料的右端面
N0030 G01 Z0 F80.	直线慢速移动以夹持棒料外圆
N0040 M60	水压夹钳夹紧棒料外圆
N0050 M11	主轴卡盘松开
N0060 G01 Z260. F150	棒料抽向尾座端, 控全长295mm
N0070 M10	主轴卡盘夹紧
N0080 M61	水压夹钳松开棒料外圆
N0090 G28 W0	Z轴回第1参考点
N0100 G28 U0	X轴回第1参考点
N0110 G90 G81 Z248.5685	可编程伺服尾座移动, 顶紧棒料。与尾座相关动作经宏程序O9010编程, 参数#6050预先设为81
N0120 T0120	调01号左偏车刀及其20号补偿量, Z260处为工件的新原点Z0
N0130 G97 M03 S3350	取消恒线速, 主轴正转
N0140 G95 G00 X70. Z5.	每转进给, 车刀快移定位至A点
N0150 G01 X33.6. Z0 F1. M08	1mm/r, 插补至B点, 开切削液
N0160 Z-291. F0.3	0.3mm/r, 插补至C点
N0170 X38.	退刀至H点
N0180 G00 X70. M09	快速退至D点, 关切削液
N0190 Z5.M08	快回起始点A, 开切削液
N0200 G01 X30.65 Z0. F1.	1mm/r, 直线插补至E点
N0210 X32.65 Z-1. F0.18	0.18mm/r, 倒角C1至F点
N0220 Z-291. F0.206	0.206mm/r, 车外圆至G点
N0230 G00 X70. M09 M05	快退至H点, 关切削液, 关主轴
N0240 G28 U0 W0	快回第1参考点, 程序结束符略

(3) 15序中部外圆车削

继续沿用10序外圆车削的刀具参数（Z260处为工件的新原点，也就是工件右端面处为Z0），01号左偏刀（07号右偏刀）自中间部位下刀，采用外径粗车循环G71与精车循环G70，向主轴（尾座）侧车削。01号左偏刀轨迹为I→J→K→L→M→N→I，07号右偏刀轨迹为I→J→P→Q→R→S→I，如图6所示。表4为15序中部外圆车削的加工程序。

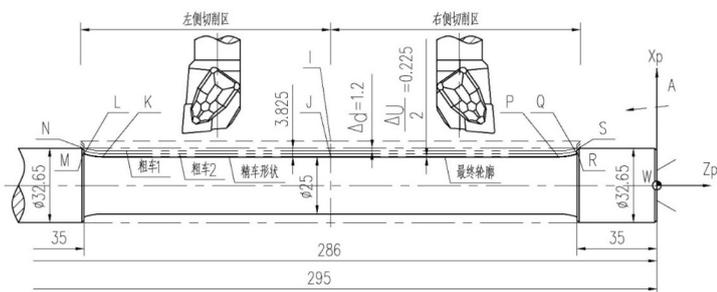


图6 15序中部外圆车削轨迹示意

表4 15序中部外圆车削的加工程序

程序名及其说明, FANUC OiTF	程序名及其说明, FANUC OiTF
N0015 (Middle)	调01号左偏车刀及20号补偿量
N0020 G97 M03 S3350	取消恒线速, 主轴正转
N0030 G95 G00 X70. Z5.	每转进给, 车刀快移定位至A点
N0040 X38.9 Z-143.M08	快移至I点, 开切削液
N0050 G71 U1.2 R0.5	外径粗车削循环, 半径值给定无符号切深 $\Delta d=1.2$, 退刀量 $e=0.5$
N0060 G71 P70 Q120 U0.45 F0.21	左侧精加工轮廓起始段号 $ns=70$, 结束段号 $nf=120$; X向精加工余量 $\Delta u=0.45$, $f_n=1mm/r$
N0070 G01 X25.	沿X轴进刀至J点
N0080 Z-243.	向卡盘侧车外圆至K点
N0090 G2 X27.628 Z-251.R25.	顺时针插补圆弧R25至L点
N0100 G01 X30.65	车立面至M点
N0110 X33.65 Z-252.5	倒斜角至N点
N0120 G00 X38.9. Z-143.	快退至I点
N0130 G70 P70 Q120	外径精车削循环去除G71剩余量
N0140 G28 U0 W0 M09	快回第1参考点, 关切削液
N0150 T0707	调07号右偏车刀及07号补偿量
N0160 G00 X38.9 Z-143.M08	快移至I点, 开切削液
N0170 G71 U1.2 R0.5	外径粗车削循环, 半径值给定无符号切深 $\Delta d=1.2$, 退刀量 $e=0.5$
N0180 G71 P190 Q240 U0.45 F0.21	右侧精加工轮廓起始段号 $ns=190$, 结束段号 $nf=240$; X向精加工余量 $\Delta u=0.45$, $f_n=1mm/r$
N0190 G01 X25.	沿X轴进刀至J点
N0200 Z-43.	向尾座侧车外圆至P点
N0210 G3 X27.628 Z-35.R25.	逆时针插补圆弧R25至Q点
N0220 G01 X30.65	车立面至R点
N0230 X33.65 Z-33.5	倒斜角至S点
N0240 G00 X38.9. Z-143.	快退至I点
N0250 G70 P190 Q240	外径精车削循环去除G71剩余量
N0260 G28 U0 W0 M09	快回第1参考点, 关切削液

(4) 20序头部右旋单线普通三角外螺纹车削

螺纹车削方法的决定因素有：螺纹形式——内螺纹和

外螺纹，螺纹旋向——左旋和右旋，螺纹车刀偏向——左偏和右偏，螺纹车刀安装——正向和反置（刀片向下），机床主轴旋转方向——正转和反转，以及切削方向——仅装用负刃倾角刀垫时采取拉式螺纹加工。本文中右旋单线普通三角外螺纹的车削包含2个环节：右端经右偏外螺纹车刀在主轴顺时针正转情形下向尾座侧车削，左端经反置的右偏外螺纹车刀在主轴逆时针反转情形下向卡盘侧车削。普通三角外螺纹 $M33 \times 3.5$ 车削均采用复合形螺纹车削循环G76指令进行加工，外螺纹的牙形高度 $\frac{5H}{8}$ 等于牙顶高 $\frac{3H}{8}$ 与牙底高 $\frac{H}{4}$ 之和，即 $\frac{5H}{8} = 0.541265877P = 0.541265877 \times 3.5 \approx 1.8944$ 。经刀具参数软件计算得知：266RG-22MM01A350M 1020外螺纹刀片的切削线速度 $V_c=127m/min$ 、进给量 $f_n=3.5mm/r$ ，走刀次数12次，按 $V_c = \frac{\pi Dn}{1000}$ 计算主轴转速 $n \approx 1200r/min$ 。

09号外螺纹车刀的轨迹为A→B→C→D→E→B→A，10号反置外螺纹车刀的轨迹为A→N→G→L→M→N→A，如图7所示。表5为20序头部右旋单线普通三角外螺纹车削程序。

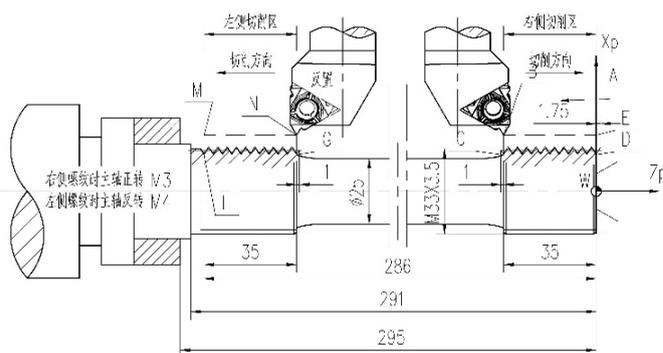


图7 20序头部外螺纹车削示意

表5 20序头部右旋单线普通三角外螺纹车削程序

程序名及其说明, FANUC OiTF	程序名及其说明, FANUC OiTF
N0020 (Thread)	调09号外螺纹车刀及09号补偿量
N0010 T0909	取消恒线速, 主轴正转
N0020 G97 M03 S1200	每转进给, 定位至A点, 开切削液
N0030 G95 G00 X70. Z5. M08	快移至右侧外螺纹加工起始点B
N0040 X42.65 Z-35.	P参数中精车重复次数 $m=01$ 、螺纹尾端倒角值 $r=00$ 、刀尖角度即牙形角 $\alpha=60^\circ$, Q参数中最小切削深度 $\Delta d_{min}=0.16mm$, 精车余量 $d=0.134mm$
N0050 G76 P010060 Q160 R0.134	外螺纹车削终点D(27.8324,0), 圆柱螺纹时省略掉定义螺纹锥度量度的参数R, P参数中螺纹牙形高度 $k=1.894$, Q参数中第1次车削深度 $\Delta d=0.16mm$, F参数中螺距 $L=3.5$
N0060 G76 X27.8324 Z0 P1894 Q160 F3.5	快回第1参考点, 关切削液
N0070 G28 U0 W0 M09	调10号外螺纹车刀及10号补偿量
N0080 T1010	主轴反转
N0090 M04 S1200	每转进给, 定位至A点, 开切削液
N0100 G00 X70. Z5. M08	快移至左侧外螺纹加工起始点I
N0110 X42.65 Z-251.	

N0120 G76 P010060 Q160 R0.134	P参数中精车重复次数 $m=01$ 、螺纹尾端倒角值 $r=00$ 、刀尖角度即牙形角 $\alpha=60^\circ$ ，Q参数中最小切削深度 $\Delta d_{min}=0.16\text{mm}$ ，精车余量 $d=0.134\text{mm}$
N0130 G76 X27.8324 Z0 P1894 Q160 F3.5	外螺车削终点D(27.8324,0)，圆柱螺纹时省略掉定义螺纹锥度量 i 的参数R，P参数中螺纹牙形高度 $k=1.894$ ，Q参数中第1次车削深度 $\Delta d=0.16\text{mm}$ ，F参数中螺距 $L=3.5$
N0140 G28 U0 W0 M09 M05	回第1参考点，关切削液，停主轴

(5) 25序成品切断

N151.2-400-5E1125 T-Max®Q-Cut刀片基于钢件切断的推荐线速度 $V_c=180\text{m/min}$ 、进给量 $f_r=0.12\text{mm/r}$ ，按 $V_c = \frac{\pi D n}{1000}$ 计算主轴转速 $n \approx 1755\text{r/min}$ 。LF151.23-2020-40M1 T-Max®Q-Cut刀柄最大无障碍切深为 $CDX=16.5\text{mm}$ ，试样的切断半径为 19mm ，故直接切断即可，无需宏编程进行刀具的纵向Z轴往复车削。12号切断刀的轨迹为：A→B→C→B，如图8所示。表6为25序成品切断程序。

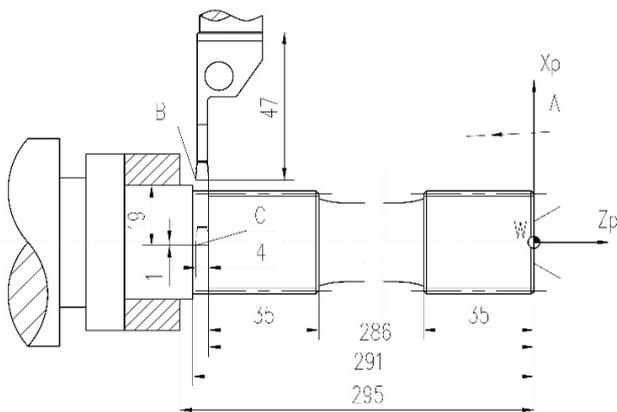


图8 25序成品切断轨迹示意

表6 25序成品切断程序

O0025 (CUT)	程序名及其说明, FANUC OiTF
N0010 T1212;	调12号左偏切断刀及12号补偿量
N0020 G50 M03 S1755	限制主轴正转最高速1755r/min
N0030 G96 S180	恒线速度控制180m/min
N0040 G00 X70. Z5.	车刀沿X、Z轴快移至A点
N0050 X40. Z-290.	沿X、Z轴快移至进刀点B
N0060 G01 X34. F1.0 M08	靠近试样表面, 开切削液
N0070 X-2.0. F0.12	以0.12mm/r速度直线插补至C点
N0080 X40. M09	退刀回B点, 关切削液
N0090 G28 U0 W0 M05	回第1参考点, 停主轴
N0100 G90 G81 Z500.	可编程移动尾座退回
N0120 M11	主轴卡盘松开, 机器人残料取出

5. 结语

棒材拉伸试样的数控加工分为头部不带螺纹和头部带螺纹两种情形，前者加工相对简单，后者涉及圆弧处立面、外螺车削等，其加工相对复杂。作为一名优秀的工艺师，从拿到产品图样起，就得充分发动脑细胞，宏观考虑现有装备，如何划分工序及各工序的衔接细节，兼顾所选刀具的性价比与加工中是否存在干涉问题，查看机器人装卸料是否有足够空间，编制程序时分清圆弧加工指令G02/G03与螺车削的主轴旋向和进刀方向，初次调试务必退出一定距离、切削倍率最低并随时据动态调整，以防代码错误、数据格式不对引发撞机事故。有条件的用户，即可借助CAXA数控车、CAXA制造工程师等软件自动实现编程，也可在机床上进行图形化程序加工仿真，预先验查程序正确性。□

参考文献:

- [1] 刘胜勇. 汽车冲压桥壳总成的工艺分析[J]. 金属加工(冷加工), 2016(12):34-38
- [2] 刘胜勇. 实用数控加工手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [3] 刘胜勇. 柔性生产线中工件定位精度的提升措施[J]. 汽车工艺与材料, 2019(12): 55-59.

资讯

OSG 将硬质合金立铣刀产量提高三倍，在茨城和爱知两地分工

OSG计划在2028年度将子公司OSG Grindtech(原SD Manufacturing, 茨城县常总市)新建并投入运营的工厂(同一地点)的硬质合金立铣刀月产能提高至3万台, 为目前的三倍。这是OSG计划通过在集团内划分生产来加强其供应系统的一部分, 大批量硬质合金立铣刀在其目前正在重建的大池工厂(爱知县丰川市)生产, 小批量则在GrindTech生产。新工厂已确保扩建空间, 为未来进一步提高产量做好准备。

OSG Grindtech新工厂的建设成本为26亿日元。占地面积约28000平方米, 总建筑面积约6400平方米。新工厂是从破旧的旧工厂搬迁扩建而来的。

该公司于一月份开始运营, 并开始生产其原始主打产品——螺纹滚压圆模以及再磨削切削工具。随后, 从OSG转移了工具磨床等设备, 并于3月开始生产硬质合金立铣刀。

根据尺寸和用途, 硬质合金立铣刀有很多种类型。OSG将大池工厂定位为母工厂, 该工厂重建工作的第一阶段计划于今年夏天开始运营, 但生产所有类型的产品效率不高。

为此, 两地将建立生产分工制度。大池工厂致力于通过数字化转型(DX)实现自动化和减少工人数量, 并专门从事大批量生产。另一方面, 对于小批量产品, 将由在生产需要频繁更换设置的滚压圆模和重新抛光方面拥有丰富经验的GrindTech负责, 以补充大池工厂。

新型数控双交换工作台卧式加工中心技术的应用

滕州市三合机械股份有限公司 张成龙 王丹 王鹏

【摘要】随着我国科学技术的进步，经济的快速持续发展，制造行业对中高档智能化数控机床的需求每年都在大幅增加。机床是各类制造业的工作母机，智能化数控机床是实现先进制作技术和装备现代化的基石，高档数控机床更是保证高新技术产业和国防军工现代化等快速稳定发展的战略装备。随着工业化的发展，中高档数控卧式加工中心被认为是航空航天、船舶、精密仪器、发电、汽车制造、模具等行业加工箱体类关键部件的重要加工工具。

研发生产中高档数控机床是国家重点发展和扶持的产业，特别近几年来全国各地出现用工荒问题，高技术水平的产业员工难招，用智能化生产设备换人的做法越来越被企业所接受。企业运用自动化程度高加工能力强的高档生产设备需求越来越强烈，以解决目前制约企业快速发展的困境。因此公司根据市场需求和自身发展需要，通过广泛的市场调研、考察、论证，研发具有交换工作台的中高端卧式加工中心是非常可行的，具有很高的经济和现实意义。根据市场考察调研的结果，公司结合技术研发和生产实际，决定研发具有双工作台交换功能的TH630型数控卧式加工中心。

TH630双交换工作台卧式加工中心能够使工件在一次装夹后，完成除安装面和顶面以外的其余四个面的加工，主要用于零件多工作面的铣、钻、镗、铰、攻丝等多工序加工，具有在一次装夹中完成箱体孔系和平面加工的良好性能，由于定位精度高，还特别适合于箱体孔的调头镗孔加工；带有自动交换工作台，在对位于工作位置的工作台上的工件进行加工的同时，可以对位于装卸位置的工作台上的工件进行装

卸，从而大大缩短辅助时间，提高加工效率。本机床可用于航天航空，汽车、内燃机、通用机械的精密加工。因此，本机床具有加工精度高，精度稳定，效率高，表面质量好等特点。

一、设备介绍

1. 总体设计方案

TH630型卧式加工中心是针对金属加工制造行业开发的一款中高端精密高效加工设备，因此在整体设计方案上要以加工精度高、加工效率高、性能稳定为主要考虑要素。通过市场调研考察的结果，设计方案为：全封闭防护结构，整体倒T型底座，动柱式设计，立柱双柱封闭框架式结构，BT50主轴单元6000r/min转速，刀库容量30把，630*700工作台液压夹紧双交换布置，工作台的交换台采用主动防护旋转式结构，抬起支撑油缸大直径设计，各传动机构均稀油润滑，强力冷却切屑自动收集，伺服闭环控制，控制系统选用性价比较高的三菱控制系统（如图1所示）。

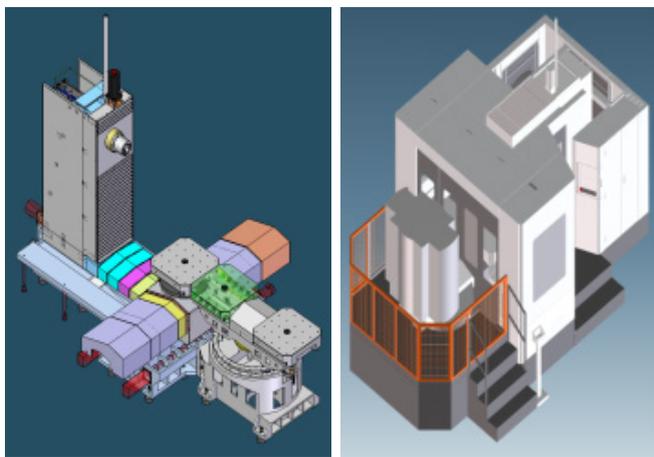


图1

2. 基本结构

(1) 采用国际流行的倒T型动柱式、整体床身结构，立柱在纵向床身上前后移动，工作台横向床身上左右移动，适用于精密卧式加工中心；合理的布筋优化了排屑结构及改进了导轨润滑回收系统，提高了铸件的整体刚性和外观品质（如图2所示）。

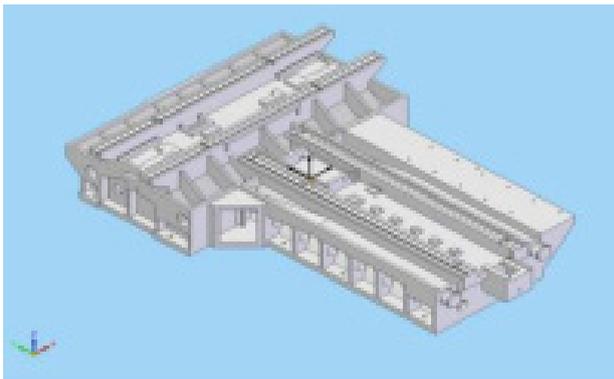


图2

(2) 各轴导轨均采用进口重载滚柱直线导轨，预加载荷为V3级，承载高，精度稳定（如图3所示）。

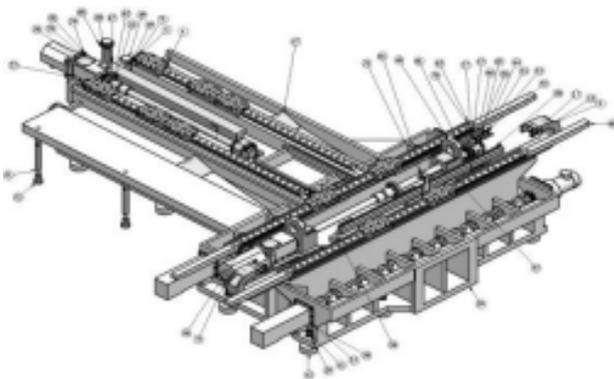


图3

(3) 机床各进给轴的滚珠丝杠专用轴承采用稀油润滑，具有机床免维护、润滑效果好等优点，提高了滚珠丝杠的使用寿命，抑制了温升，提高了机床精度。

(4) 标准BT50环喷主轴，并配以气幕保护装置，彻底避免了切削液和粉尘等渗入；主轴套筒循环油冷却，确保主轴精度并延长使用寿命。

(5) 机床工作台回转分度蜗轮蜗杆为稀油润滑，使用工况大幅好转，延长了其使用寿命，提高了传动效率，并降低了运动时产生的温升对机床的不良影响。

(6) 机床工作台抬落信号直接检测旋转部件（大齿轮），减少了传动环节，降低了成本，提高了机床可靠性。

(7) 机床垂直向下铠甲防护帘与Z向导轨护罩的对应接口处做到了严丝合缝，无铁屑残留。

(8) 机床立柱两侧及顶部可实现完全封闭式防护。客户可增加大流量冲洗装置，杜绝了铁屑后溅现象的产生。

(9) 选用较宽机床主轴箱传动系统同步带，提高了主轴切削刚性和抗震性，宽度增加为85mm。

(10) 采用调整简单、可靠的打刀调整机构。松刀盘与松拉刀油缸的活塞通过精密螺纹连接在一起，调整松刀位置只需旋进或旋出松刀盘，调节与主轴拉刀杆末端的距离，从而实现精确调整顶刀量，然后调整锁紧盘的位置，将松刀盘锁死。

(11) 机床主轴的环喷喷嘴位置进行了优化设计，分别放在主轴的左右两侧，解决了原有机床残留切削液在换刀时污染刀具刀柄的问题。

(12) B轴标配为鼠齿盘（ $1^\circ \times 360^\circ$ ）定位的分度工作台，定位精度高，精度保持周期长。工作台锥度定位，液压夹紧，在锥度顶面设计有吹气孔，工作台在每次安装时都进行清洁安装定位面，保证安装到位，提高了工作台每次交换安装的精度（如图4所示）。

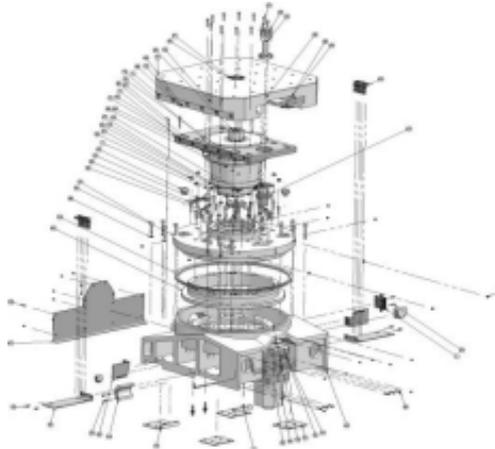
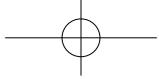


图4



(13) 交换台采用主动防护旋转式新颖结构, 抬起油缸支撑740mm抗颠覆能力强偏载稳定, 旋转动作采用伺服电机驱动, 机械结构简单维修方便, 交换平稳、精确、可靠(如图5所示)。

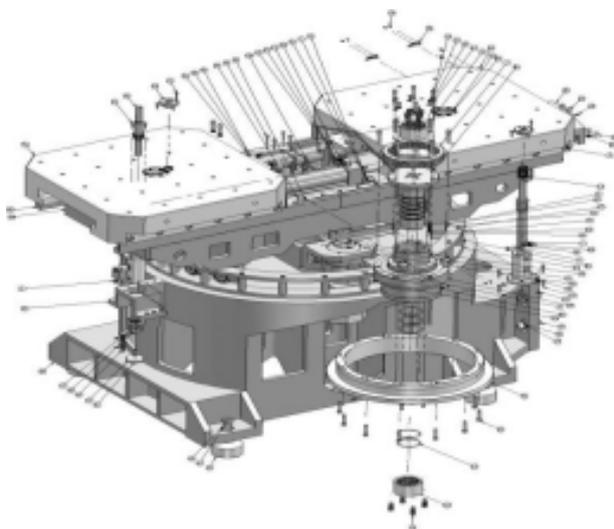


图5

(14) 配置切削冲刷装置能及时地将切屑自动排出, 避免切屑对机床的热影响, 保证机床加工的高精度。

3. 工作原理

(1) 主传动系统采用大功率主轴交流伺服电机驱动, 通过同步带传动, 主轴采用高精度, 高速主轴, 速度分布宽、扭矩大、精度高, 可进行强力切削和精密加工。

(2) 进给系统有X、Y、Z三个直线进给轴和A、C两个回转轴, 简化传动路线提高传动精度: 大功率伺服电机——高精度大扭矩联轴器——大直径滚珠丝杠。直线进给轴功能部件采用预拉伸结构, 保证机床的长时间运转的精度保持性。

(3) 回转轴采用台湾摇篮式回转工作台A、C旋转轴采用圆光栅回馈可实现高精度分度和定位。采用液压刹车保证切削刚性。

(4) 数控系统标准配置三菱, 也可选择安装国内外其他相应配置的数控系统, 操作者可根据被加工零件图样, 通过计算机编程软件生成加工程序, 通过RJ45网络接口或USB接口上传至数控系统进行加工或用计算机在线加工; 也可以在数控系统上直接根据系统要求编制加工程序, 经过中央处理器运算处理, 由插补软件(或插补器)生成相应信号, 经伺服驱动器经过功放后: 驱动伺服——联轴器——通过滚珠丝杠副, 驱动刀具配合伺服回转工作台完成切削。

4. 主要技术参数

工作台(长×宽)	630mm×700mm
工作台数量	2
工作台分度	1°×360°
工作台传动比	240
交换台传动比	240
工作台交换时间	20S
工作台最大载荷	950kg
工作台台面形式	24*M16螺纹孔
最大工件回转直径	Φ820mm
工作台左右行程(X向)	1050mm
立柱前后行程(Z向)	900mm
主轴箱上下行程(Y向)	750mm
主轴轴承内径	100mm
主轴中心线止工作台面距离	0~750mm
主轴端面止工作台中心距离	130~1030mm
主轴锥孔锥度号	BT50
主轴最高转速	6000r/min
快速移动速度(X、Y、Z)	36m/min
转台最大速度(B轴)	10r/min

二、工艺的确定及工艺流程

机床加工和装配方面严格按照工艺规程操作, 基础铸件都经过严格时效定性处理, 关键零部件的半精加工和精加工均由高精度的数控落地镗铣床和导轨磨床来保证。机床装配在高清洁度安装车间进行, 所有安装环节均要保证安装部件的洁净, 严格按照装配工艺进行安装, 整机安装完毕进行72小时的拷机试验保证机床的可靠性。机床安装完成后要进行一系列的检测保证机床的精度; 整机安装后用雷尼绍激光干涉仪对机床X、Y、Z轴直线进给轴的定位精度、重复定位精度进行检验。用三坐标测量仪检测机床切削试件, 保证整机的精度。整机进行各种实验后要对数控系统等机电部分做一次优化整理, 才能将机床包装入库, 保证机床的各项性能均达到出厂的要求。

根据生产和设备情况, 以原有数控车床、数控龙门加工中心、数控落地镗铣床、数控导轨磨床等设备为基础, 制定了产品的工艺流程(如图6所示)。

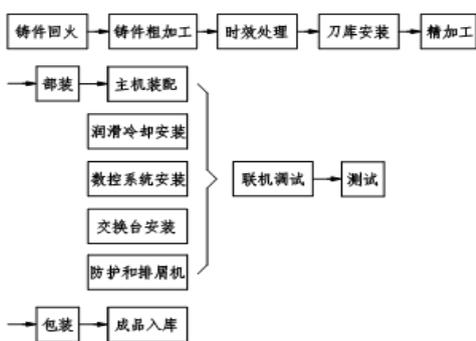


图6

三、研制过程中的技术关键和相关措施

1. 机床精度的保障措施

(1) 机床关键基础部件均采用高强度和高刚性设计以保证机床的可靠性。机床关键基础铸件均采用封闭箱形结构设计, 具有抗扭、抗弯性好、刚性高的特点; 底座是整台机床的基础, 采用国际流行的倒T型结构, 底座内壁布置了相当数量的环形筋板, 从而增强了底座的刚性, 保证了刚性的持久性; 立柱是主轴箱的支承部件, 既要承受各个方向的切削力, 又要承受有关的颠覆力矩, 因此, 该立柱采用双柱封闭框架式结构, 空腔内设置有纵向和横向环形筋, 使立柱具有较高的抗扭抗弯刚性。

(2) 选用较宽机床主轴箱传动系统同步带, 提高了主轴切削刚性和抗震性, 宽度由70mm增加为85mm。取消了主电机同步带轮挡边, 在主轴同步带轮上增加挡边, 对主电机系统的安装、固定提供了方便。

(3) 工作台锥度定位, 液压夹紧, 在锥度顶面设计有吹气孔, 工作台在每次安装时都进行清洁安装定位面, 保证安装到位, 提高了工作台每次交换安装的精度。

(4) 工作台稳定可靠的交换是设计着重考虑的。采用主动防护旋转

式结构, 抬起油缸支撑直径740mm抗颠覆能力强, 偏载稳定, 旋转动作采用伺服电机驱动, 机械结构简单, 维修方便, 交换平稳, 精确, 可靠。

(5) 机床各进给轴的滚珠丝杠专用轴承采用稀油润滑, 实现了机床免维护、润滑效果好等优点, 提高了滚珠丝杠的使用寿命、抑制了温升、提高了机床精度。

(6) 导轨是机床运动精度的直接体现, 导轨的质量和精度是机床实现切削功能根本基础, 因此三向运动副均采用加宽型的进口重载滚柱导轨, 预加载荷为V3级, 承载高, 精度稳定, 具有良好的刚性和运动精度。

(7) BT50环喷主轴, 并配以气幕保护装置, 彻底避免了切削液和粉尘等渗入; 机床主轴的环喷喷嘴位置进行了优化设计, 分别放在主轴的左右两侧, 解决了原有机床残留切削液在换刀时污染刀具刀柄的问题。

2. 控制系统质量稳定性是数控机床开机无故障率的保障

数控装置是数控机床的核心控制部分, 机床选用具有世界先进技术水平、性价比较高的三菱数控系统、驱动器、伺服电机, 保证了TH630双交换工作台卧式加工中心较高的使用精度和可靠性。

四、主要创新点

(1) 工作台锥度定位, 液压夹紧, 在锥度顶面设计有吹气孔, 工作台在每次安装时都进行清洁安装定位面, 保证安装到位, 提高了工作台每次交换安装的精度。

(2) 工作台稳定可靠的交换是设计着重考虑的主要因素, 采用主动防护旋转式结构, 设计抬起油缸直径740mm以保证足够支撑力, 抵抗举起回转的颠覆力, 保证强偏载也能

稳定可靠回转到位。旋转动作采用伺服电机驱动, 机械结构简单, 维修方便, 交换平稳, 精确, 可靠。

(3) 选用较宽机床主轴箱传动系统同步带, 提高了主轴切削刚性和抗震性。

五、结语

TH630双交换工作台卧式加工中心是基于中小型薄壁异型壳体零件多工序复合加工开发的精密高效加工设备, 具有结构合理、操作简便、加工精度高、自动化程度高、效率高等特点。该产品是在对市场进行充分调研后, 认真分析了国内外机床市场五轴加工中心的发展趋势, 在大量消化吸收国内外先进技术的基础上, 集中力量进行重点突破。采用先进的设计理念和技术, 产品采用模块化设计, 利用计算机设计和分析系统对机床部件做出合理的优化设计, 和多种机床组合方式。优化产品结构, 加强了工艺措施的管理。针对不同用户, 做出不同的配置: 包括国内外不同型号的数控系统、主轴系统、刀架配置等。逐步向全数控功能密集化、高精度和高可靠性的方向发展。因此TH630双交换工作台卧式加工中心项目具有广阔的市场发展前景, 能为公司带来可观的经济效益。

通过TH630双交换工作台卧式加工中心的研制和开发, 使我们深深体会到, 企业要想发展, 要想有所作为就必须依靠市场信息, 满足市场需求, 在不断吸收国内外新技术、新工艺、新产品的同时, 提高自身的创新能力。在新产品开发上应做到生产一代、研制一代、储备一代; 不断推出市场对路的高科技新产品, 形成规模生产, 迅速占领市场, 企业才能焕发生机与活力, 才能在激烈竞争的数控机床领域占有一席之地。□

双刀架车削中心的研究

沈阳机床成套设备有限责任公司 张媛

【摘要】该车削中心的电气系统采用FANUC 0i-TF(1)双通道数控系统，配有4个FANUC伺服轴电机，3个FANUC α 系列主轴电机。通过研究多主轴控制，多主轴控制下的刚性攻丝，Cs轮廓控制功能，X轴/Z轴同步控制功能，Z轴方向两路径防撞功能，C轴柔性路径分配功能，完成车削中心功能集成，实现汽车桥壳产品的车削、钻削、铣削、及攻丝加工。

一、引言

目前，国外的车削中心的制造技术已经进入成熟阶段，高档卧式车削中心的核心制造技术也大多由国外公司掌握，使我国机床制造业与国外竞争对手的差距在不断扩大，产品市场竞争能力下降。

双刀架车削中心将打破同类机床国外厂商垄断的局面，使我国机床制造业在高技术设备领域里取得进一步的发展。通过本文内容，其技术成果可为我司高档数控装备的开发提供有力支持，其技术成果的推广应用将大大提高我国高档数控装备的设计制造水平和国际竞争力，同时降低国内厂商设备引进成本。

双刀架车削中心为高精度、高柔性和高效率的汽车桥壳专用数控机床。该类车削中心的应用将会为众多的汽车及新能源汽车行业做出巨大贡献。

二、机床简介

机床如图1所示，采用45°斜角的整体床身；主轴采用伺服电机通过皮带轮直接带动主轴传动，主轴配置用于定向停车后锁紧的液压盘式制动器，满足液压锁紧后定向钻削、铣削功能；副主轴为随动主轴，其采用直线滚珠导轨，通过液压油缸驱动，在副主轴移动到夹装位置后通过气动导轨刹车锁紧；进给系统X轴和Z轴采用进口高精度

丝杠，丝杠与电机直联，Z轴使用伺服电机内置编码器，X轴增加发格光栅尺。

机床配置双刀架，使用12工位动力刀架，且左右刀盘各配置一个无线测头。机床通过使用液压抚平托料机构，可通过调整2处托料架距离及高度以及抚平位置的高度实现换产；同时，具备通用机床的液压系统、润滑系统、冷却及排屑系统。

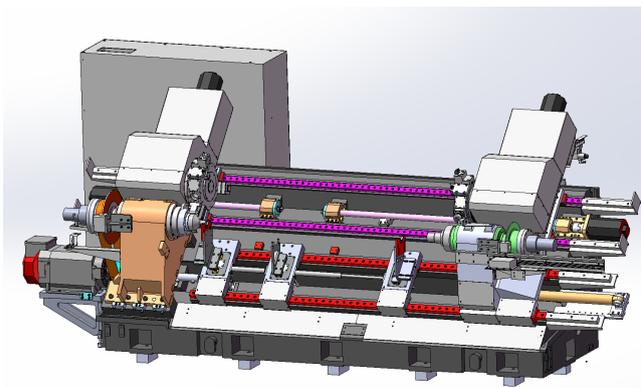


图1 机床构造图

三、数控系统连接

该车削中心的数控系统使用 α i-B放大器+串行主轴接线方式，电源模块型号为AIPS 37，主轴模块型号为

AISP26, 动力头模块型号为AISP 11, 伺服轴模块采用双轴模块, 型号为AISV 80/80。由于X轴配置光栅尺, 所以配置一个分离性检测器接口单元, 另外, 该机床需要2个I/O单元。连接方式如图2所示。

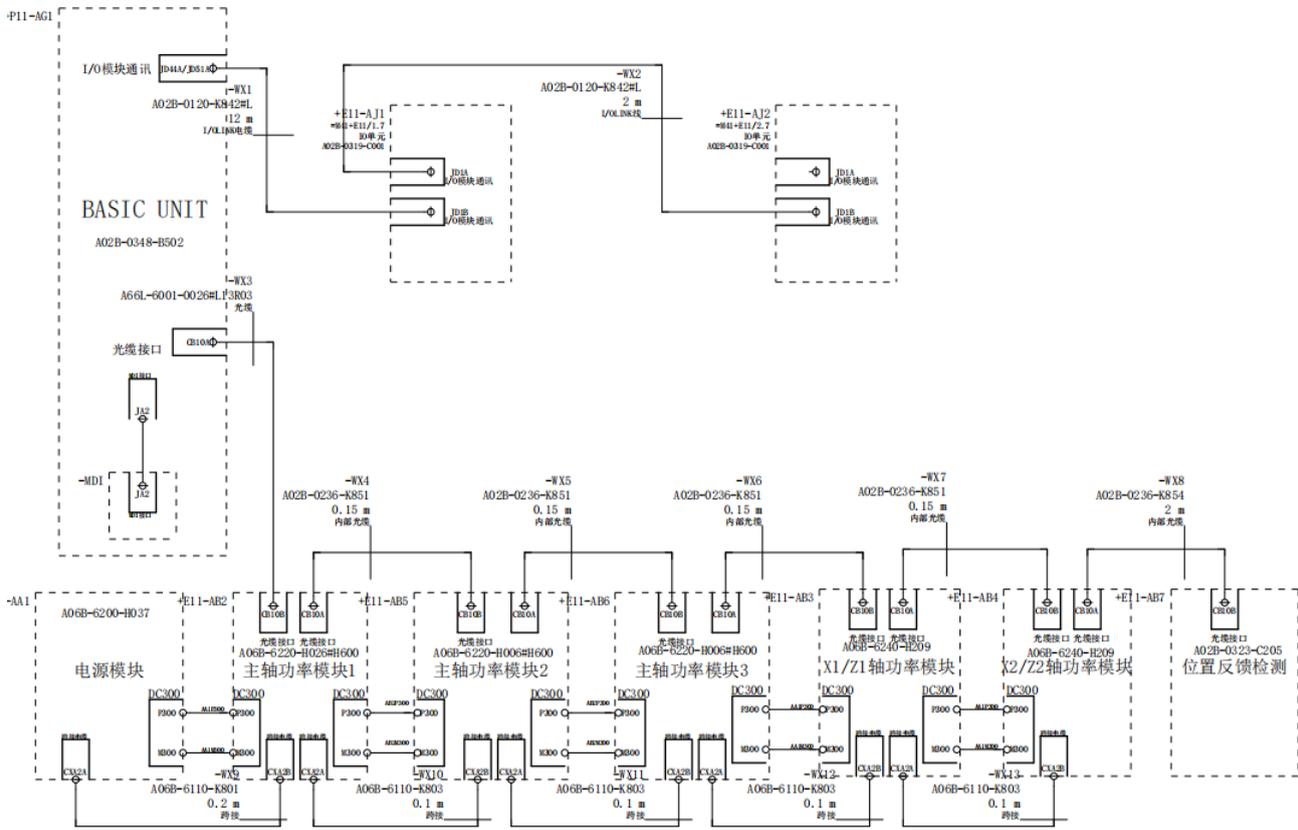


图2 FANUC数控系统连接图

四、研究内容

1. 多主轴控制

本机床配置3个主轴, 左路径配置2个主轴, 分别为主轴和左刀架动力头, 右路径配置1个主轴, 作为右刀架动力头。

(1) 多主轴控制参数设定

多主轴分配参数设置如表1所示。

表1 多主轴分配参数设置表

参数号	设定值	说明
8133#3	1	使用多主轴控制
988	3	使用主轴电机数量
982	S1=1,S2=1,S3=2	各主轴所属路径号
3702#1	0	使用多主轴控制
3701#1	0	使用第1、第2主轴串行接口
3701#4	1	在串行主轴控制中使用第2主轴
3703#3	0	使用G27.0-27.2,G26.3来进行主轴的选择
3716#0	S1=1,S2=1,S3=1	主轴电机类型, 1: 串行主轴, 0: 模拟主轴
3717	S1=1,S2=2,S3=3	各主轴放大器号
4002#3、2、1、0	S1=1110, S2=0001; S3=0001	主轴传感器的类型

(2) 多主轴控制PMC程序编辑

设定完成之后，初始化参数依然是 4019#7, 4133, 只不过 PMC 信号稍有不同。Gn70~Gn73 为第一主轴输入，Fn45~Fn48 为第一主轴输出。Gn74~Gn77 为第二主轴输入，Fn49~Fn52 为第二主轴输出。主要的信号如下：

Gn29.6 (*SSTP) 所有主轴停信号，如图3所示。

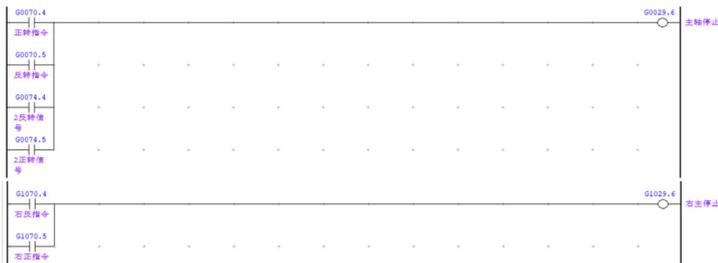


图3 所有主轴停信号图

Gn27.3~Gn27.5 (*SSTP1~*SSTP3) 各个主轴停信号，如图4所示。



图4 各个主轴停信号图

Gn71.1 (*ESPA) 第一串行主轴急停信号，Gn75.1 (*ESPB) 第二串行主轴急停信号。Gn70.7, Gn74.7 (MRDYA, MRDYB) 机床准备好信号，如图5所示。

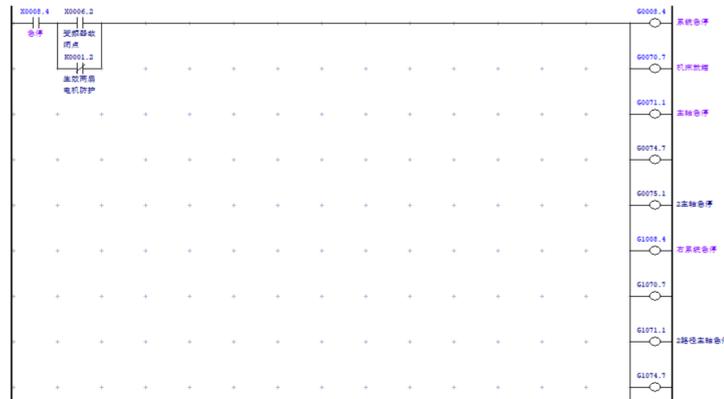


图5 急停信号与机床准备好信号图

Gn70.4, Gn70.5 (SRVA, SFRA) 第一串行主轴正反转信号，如图6所示。

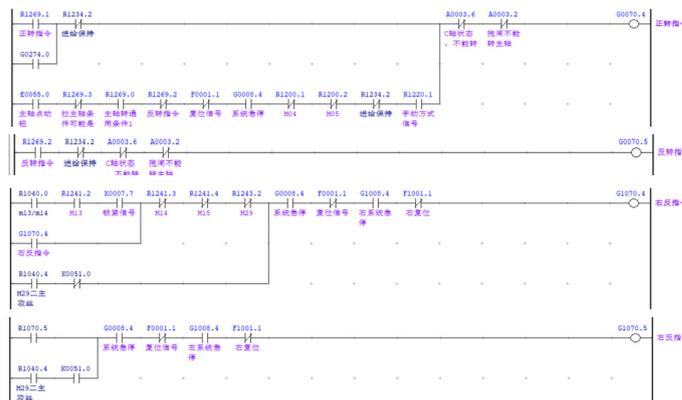


图6 第一串行主轴正反转信号图

Gn74.4, Gn74.5 (SRVB, SFRB) 第二串行主轴正反转信号，如图7所示。

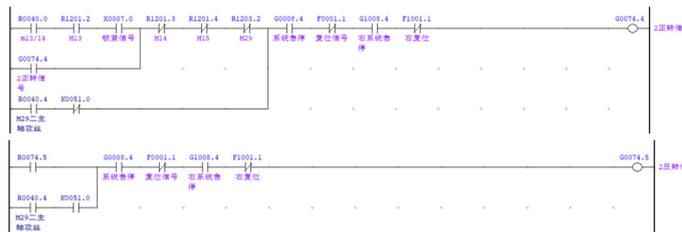


图7 第二串行主轴正反转信号图

Gn27.0, Gn27.1(SWS1,SWS2)主轴选择信号，必须对其处理以决定 S 代码输出的对象，如图8所示。



图8 主轴选择信号图

G28.7(PC2SLC)第2位置编码器选择信号，使用第二主轴时，增加了一个位置编码器接口，通过 G28.7 来选择编码器，如图9所示。



图9 第2位置编码器选择信号图

2.多主轴控制下的刚性攻丝

在多主轴控制方式下，T 系列第一和第二主轴都可以

使用 NC 进行控制，所以 T 系列可以用第二主轴进行攻丝。由于本机床为车削中心，1 路径第一主轴不进行刚性攻丝，第二主轴与 2 路径主轴需要进行刚性攻丝。

(1) 多主轴控制下的刚性攻丝参数设定

多主轴控制下的刚性攻丝参数设置如表 2 所示。

表 2 刚性攻丝参数设置表

参数号	设定值	说明
5241~5244	PATH1, S2=3000; PATH2, S1=3000;	刚性攻丝主轴最大速度
5261~5264	PATH1, S2=500; PATH2, S1=500;	刚性攻丝加减速时间常数
4044	PATH1, S2=10; PATH2, S1=10;	刚性攻丝时速度比例增益
4052	PATH1, S2=30; PATH2, S1=30;	刚性攻丝时速度积分增益
4085	PATH1, S2=60; PATH2, S1=60;	刚性攻丝时的电机电压
4016#4	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	电机电压可变控制
4065~4068	PATH1, S2=3000; PATH2, S1=3000;	刚性攻丝时的主轴位置增益
5280	PATH1, S2=2000; PATH2, S1=2000;	刚性攻丝时的攻丝轴位置增益
4344	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	先行前馈系数：降低前馈系数可以减缓主轴在孔底停止时的振动
4037	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	速度前馈系数
5203#2	PATH1, S2=1; PATH2, S1=1;	刚性攻丝中前馈有效
5204#0	PATH1, S2=1; PATH2, S1=1;	显示诊断 453
5300	PATH1, Z1=20; PATH2, Z2=20;	刚性攻丝中攻丝轴的到位宽带
5301	PATH1, S2=20; PATH2, S1=20;	刚性攻丝中主轴的到位宽带
24203#0	1;	FSSB 高速刚性攻丝 (CNC) 功能有效
2429#1	PATH1, Z1=1; PATH2, Z2=1;	FSSB 高速刚性攻丝 (伺服轴) 功能有效 (一般是 Z 轴)
4549#1	PATH1, S2=1; PATH2, S3=1;	FSSB 高速刚性攻丝 (主轴) 功能有效
24204	PATH1, Z1=2; PATH2, Z2=3;	与伺服轴同步的主轴的主轴编号 (Z 轴处输入)
2610	PATH1, Z1=5000; PATH2, Z2=5000;	FSSB 高速刚性攻丝中的伺服轴位置增益
2005#1	PATH1, X1/Z1/C1=1; PATH2, X2/Z2=1;	前馈功能有效:
4353#6	PATH1, S2=1; PATH2, S1=1;	磁束增强功能
4124	PATH1, S2=24575; PATH2, S1=24575;	磁束增强完成水平/磁束增强系数:
4099	PATH1, S2=300;P ATH2, S1=300;	电机励磁的延迟时间
4000#2	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	磁通控制功能开启(1: 开启, 0: 关闭)

4105	PATH1, S2=96; PATH2, S1=96;	磁通控制参数:
4167	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	磁通控制参数
2423#2	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	FSSB 高速刚性攻丝反向动作补偿功能(1: 开启, 0: 关闭)
2613	PATH1, X1/Z1/C1=0; PATH2, X1/Z2=0;	FSSB 高速刚性攻丝反向动作补偿量
5206#1	0	智能刚性攻丝功能位开启 (1: 开启, 0: 关闭)
5214	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	刚性攻丝同步误差允许范围值
4661	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	主轴停止允许误差
4666	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	智能刚性攻丝铃型加减速时间
4668	PATH1, S2=0; PATH2, S1=0;	智能刚性攻丝扭矩指令上限值
2611	PATH1, X1/Z1/C1=0; PATH2, X1/Z2=0;	智能刚性攻丝速度前馈系数
5200#7	PATH1=1; PATH2=1;	使用刚性攻丝主轴选择信号 Gn061.4 ~ Gn061.7

(2) 刚性攻丝 PMC 程序编辑

设定完成之后，PMC 处理主要信号如下：

G61.5, G1061.4 刚性攻丝轴选信号，如图 10 所示。



图 10 刚性攻丝轴选信号图

Gn61.0 刚性攻丝信号，如图 11 所示。

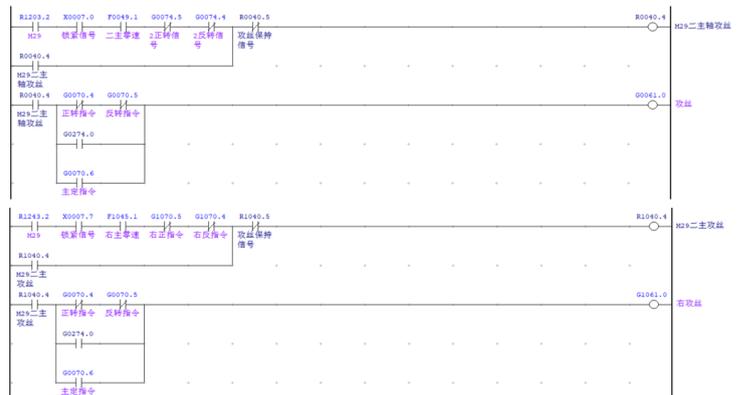


图 11 刚性攻丝信号图

(3) 刚性攻丝程序

攻丝测试程序如下：

M15; 动力头回零
G0 Z-750;
M29 S300; 主轴开启攻丝

G84 Z-780 F1.0; 攻丝循环
 G0 Z-750;
 M15;
 M2;
 执行程序时, 在诊断453中查看攻丝误差, 不超过10为宜。

3. Cs轮廓控制

Cs轮廓控制是在串行主轴组合专业的检测器, 通过主轴电机, 对主轴的位置进行定位和控制的一种功能。其与主轴定位相比精度更高, 也可以与其他伺服轴进行插补。Cs轮廓控制的开启和关闭, 由PMC信号控制, 手动及自动运行与通常伺服轴相同。系统配置如图12所示。

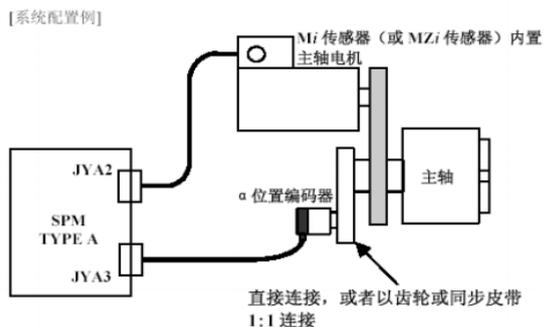


图12 Cs轮廓控制系统配置图

(1) Cs轮廓控制参数设定

Cs轮廓控制参数设置如表3所示。

表3 Cs轮廓控制参数表

参数号	设定值	说明
8133#2	1	主轴Cs轮廓控制功能有效
987	5	系统控制轴数 (X1/Z1/X2/Z2/C1)
11802#4	C1=0	使伺服轴有效
1005#0	C1=1	开机未返回参考点不报警
1006#0	C1=1	C轴为旋转轴
1020	67	轴名称
1022	0	轴属性
1023	-1	伺服轴轴号
1260	C1=360.0	旋转轴一转移动量
1420	C1=20000	快速移动速度
1421	C1=600	F0速度
1425	C1=360	回零低速
1620	C1=500	快速移动时间常数
1621	C1=500	快速移动时间常数T2
1820	C1=2	指令备乘比
1821	C1=360000	参考计数器容量
1825	C1=3000	各轴的伺服环路增益
1826	C1=100	到位宽度
1828	C1=2500	运动时位置误差限制
1829	C1=500	停止时位置误差限制
1850	C1=500	栅格偏移量
3700#1	PATH1=1	串行主轴切换为Cs轴轮廓控制后的最初移动指令 (G00) 中进行通常的定位动作

3712#2	1	Cs轮廓控制方式中, 若已经建立原点, 是否基于主轴的机械位置将自动设定机械坐标和绝对坐标的功能置于有效
3729#2	1	Cs轮廓控制方式OFF时是否进行到位检测
3729#7	0	Cs轮廓控制轴的设定单位
3900	1	与Cs轮廓控制轴进行插补的伺服轴号
3901-3904	5000	与Cs轮廓控制轴进行插补时的伺服轴用环路增益
4016#7	1	每次都检测一次旋转信号
4021	PATH1, S1=1	Cs轮廓控制时最高转速
4046~4047	PATH1, S1=30	Cs轮廓控制时的速度环路比例增益
4054~4055	PATH1, S1=50	Cs轮廓控制时的速度环路积分增益
4069~4072	PATH1, S1=5000	Cs轮廓控制时位置增益
4074	PATH1, S1=0	伺服方式时原点返回速度
4353#5	1	传输Cs轴的位置数据的功能置于有效 (4016#7=0时有效)
3704#7	PATH1=1 PATH2=1	在各主轴中进行Cs轮廓控制

(2) Cs轮廓控制PMC程序编辑

设定完成之后, PMC处理主要信号如下:

G274.0, 串行主轴的Cs轮廓控制的控制信号, 串行主轴通过这个信号实现主轴速度控制方式与主轴Cs轮廓控制方式的切换, 当这个信号变为“1”时, 对应的串行主轴变为Cs轮廓控制方式。F274.0, Cs轮廓控制状态的转换情况信号, 该信号指示了Cs轮廓控制状态转换是否结束, 当处于Cs轮廓控制方式时, 该信号变为“1”。PMC处理如图13所示。

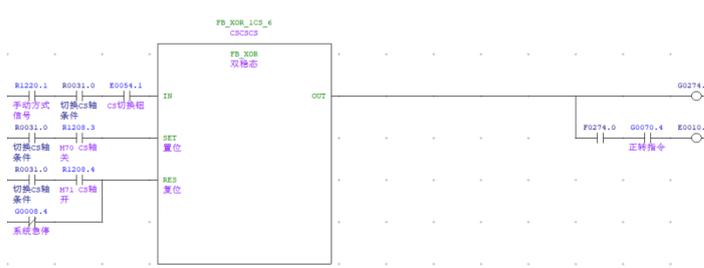


图13 Cs轮廓控制PMC处理图

4. X轴/Z轴同步控制

同步控制功能可以使属于其它路径或同一路径轴与某一轴同步第移动。

(1) X/Z轴同步控制参数设定

同步控制参数设置如表4所示。

表4 同步控制参数表

参数号	设定值	说明
8180	X1=0, X2=101 Z1=0, Z2=102	每个轴的同步控制中的同步主动轴

8304#5	X2=0 Z2=0	从动轴的进给轴同步控制选择信号 SYNC<Gn138>或进给轴同步控制手动 进给选择信号 SYNCJ<Gn140>为“1”时, 执行同 步运行[1]。
8162#0	X2=0 Z2=1	是否应用镜像的同步控制(0; 不进 行, 1: 进行)
8103#0	1	等待M代码的信号接口, 使用路径公 共信号借口
8110	100	等待M代码的范围(最小值)
8111	200	等待M代码的范围(最大值)

(2) X/Z轴同步控制PMC程序编辑

设定完成之后, PMC处理主要信号如下:

Gn138.0~Gn138.1, 同步控制开始信号, 当该信号从“0”变为“1”时, 同步控制开始, 同步解除, 该信号从“1”变为“0”。PMC处理如图14和图15所示。



图14 同步控制开始图

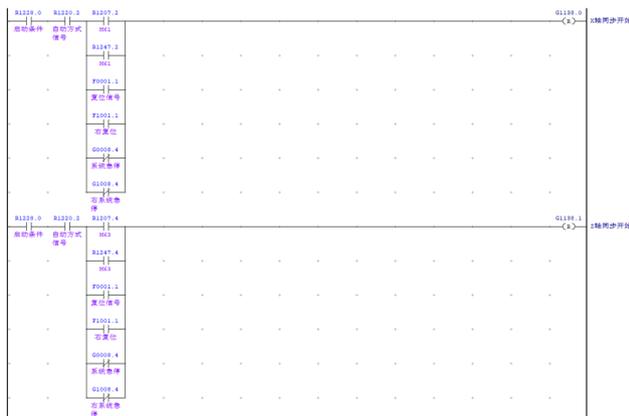


图15 同步控制解除图

Fn341.0~Fn341.1, 同步主控轴确认信号, 该信号为“1”时对应轴是同步主控轴, 为“0”时对应轴从同步控制解除。Fn342.0~Fn342.1, 同步从控轴确认信号, 该信号为“1”时对应轴是同步从控轴, 为“0”时对应轴从同步控制解除。PMC处理如图16所示。



图16 同步控制确认信号图

(4) X/Z轴同步控制程序

X轴同步测试程序如下:

```

PATH1:
M100;
M03 S20;
M101;
G01 G99 U-5.F10;
U5.;
M103;
M104;
G01 U-5.;
U5.;
M30;

PATH2:
M100; 等待M代码
M60; X轴同步开启
M101; 等待M代码
M103; 等待M代码
M61; X轴同步解除
M104; 等待M代码
M30;
    
```

Z轴同步测试程序如下:

```

PATH1:
M100;
M03 S20;
M101;
G01 G99 W-10.F10;
W10.;
M103;
M104;
G01 W-10.;
W10.;
M30;

PATH2:
M100; 等待M代码
M62; Z轴同步开启
M101; 等待M代码
M103; 等待M代
M63; Z轴同步解除
M104; 等待M代码
M30;
    
```

5. Z轴方向两路径防撞功能

本机床Z1/Z2拉罩长度有限, 且空间狭小无法安装限位开关, 故需要通过PMC程序实现Z轴方向两路径防撞功能。本文利用PMC窗口功能, 读取Z1/Z2机械坐标值, 通过计算、与两轴之间极限距离比较, 并通过不同方向锁轴信号进行轴移动限制。

(1) 窗口功能配置数据表

按照窗口功能所使用的数据表的数据类型要求, 将D地址设定为两字节长度的二进制数据[2]。按照窗口功能读写数据段的要求, 将制定数据填入数据表, 如图17所示。其中D800/D900=28表示读机械坐标, D808/D908=2表示读第二个伺服轴的坐标。



图17 配置数据表图

(2) 防撞功能PMC程序编辑

首先读取 Z1/Z2 机械坐标值，使用读数据指令-WINDR,如图18所示。由于读取的数据没有小数点，所以通过除法功能指令对读取坐标值进行处理，如图19所示。然后用Z1的机械坐标值减去Z2的机械坐标值，如图20所示。再对差值取绝对值，如图21所示。最后将取绝对值后的差值与预先设置的比较值D866中的数据进行比较，如图22所示。当差值大于比较值时，R1015.3由“0”变为“1”，Z1的正方向轴锁G132.1和Z2的负方向轴锁G1134.1置“1”，点动模式下Z1负向移动或Z2正向移动可复位轴锁，如图23所示。计算后的数据存储如图24所示。



图18 读窗口功能指令图



图19 除法功能指令图



图20 两轴坐标值计算指令图



图21 差值取绝对值功能指令图



图22 两轴坐标计算结果与设定值比较图



图23 锁轴与复位图



图24 计算后的数据存储图

6.C轴柔性路径分配功能

柔性路径分配功能允许把控制路径下的轴分配到其他路径下去。通过这个功能可以使多个路径共用一个电机。在多路径系统中，利用此功能可以通过加工程序的控制，将当前路径中的任意伺服轴从该路径中移除，并添加到其他路径中去，达到在不同路径中控制同一伺服轴的效果^④。

(1) 柔性路径分配功能参数设定

柔性路径分配功能参数设置如表5所示。

表5 C轴柔性路径分配功能参数表

参数号	设定值	说明
11561#0	1	任意轴切换功能有效
11561#3	0	任意轴切换的程序指令方式，识别号方式
11560	C1=103	进行任意轴切换的识别号
11563#6	1	通过复位，对任意轴切换中被变更的轴配置恢复为初始状态

(2) C轴柔性路径分配程序

1路径中执行指令：G52.1 P103；释放C1轴。

2路径中执行指令：G52.2 P103 I3；作为第三个伺服轴获取C1轴。

如果一个控制轴被移除指令 G52.1 从原路径移除之后，在位置画面，被移除的轴左上角显示字母“R”。如图25中的 Z1 轴。

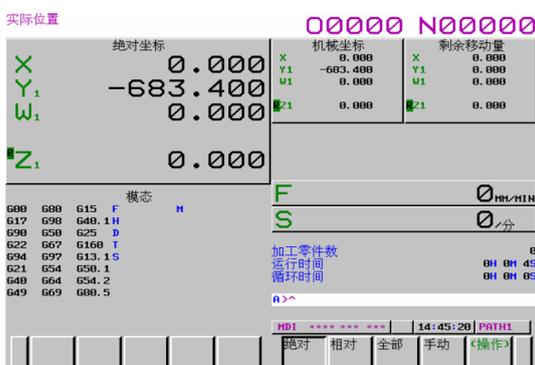


图25 移除指令G52.1执行图

五、结语

本机床主要用于汽车桥壳两端和大规格轴类零件的粗、精加工，加工外圆精度可达到IT6级。本文通过研究多主轴控制，多主轴控制下的刚性攻丝，Cs轮廓控制功能，X轴/Z轴同步控制功能，Z轴方向两路径防撞功能，C轴柔性路径分配功能，完成车削中心功能集成，实现汽车桥壳产品的车削、钻削、铣削、及攻丝加工。可作为通用型机床，应用于汽车、摩托车、电子、航天、军工等行业，对大规格轴盘零件进行高效、大批量、高精度的加工。□

参考文献：

- [1] FANUC Series Oi-MODEL F 参数说明书
- [2] FANUC PMC 梯形图语言编程说明书
- [3] FANUC Series Oi-MODEL F PLUS 连接说明书（功能篇）

资讯

华工科技举办第三届创新日活动

6月28日，以“智创未来”为主题的华工科技第三届创新日活动拉开帷幕，受邀专家、合作单位、基金代表、重点客户及公司核心骨干、员工代表等近300人齐聚现场，中国机床工具工业协会毛予锋会长受邀参会。活动中展示了一批科技创新成果。



华工科技党委书记、董事长、总裁马新强在发言中表

示，公司落实总书记考察华工激光时的重要指示精神，循“新”出发，与时代同频，培育新质生产力。围绕算力基础建设，成功首发1.6T光模块，并为下一代3.2T光模块开发做好了准备；以基础科学技术、工程技术为体，以数字化、智能化实力为翼，面向半导体、新能源、航空航天、船舶、重工、汽车行业持续完善产品矩阵。未来，华工科技将继续在创新上压强投入，提升人才密度，构筑底层技术和产业生态，将创新的活跃要素充分聚集起来。

展示的创新成果中，复杂曲面六轴激光微孔加工设备突破多项技术难题，只需2s左右，就能完成孔径0.3mm的微孔加工，可实现航空航天发动机、燃气轮机燃烧室热端部件的激光打孔、切割和焊接等。

另有一台复杂曲面纹理激光刻蚀智能装备，采用纳秒/超快光纤激光器和高速共形扫描刻蚀头，配备智能多轴加工软件，最大加工幅面达140mm，精细度小于0.01mm，助力多个领域实现复杂零部件纹理雕刻。