

## 德马吉森精机株式会社和东京大学成立产学研合作机构

DMG 森精机株式会社与东京大学合作设立的机械加工转型研究中心（MX 中心），已于2026年4月1日正式落地运行。中心旨在以尖端加工技术推动制造业可持续发展与产业难题攻关。

DMG 森精机将向东京大学捐赠10 亿日元，资金收益将专项用于下一代制造技术研发与高端专业人才培养。该企业正全面推进“MX”系统，依托高端机床实现流程集成与自动化，以数字化转型（DX）优化生产、以绿色转型（GX）助力低碳制造。

在3月9日东京大学发布会上，校长藤井辉夫表示，MX 中心将联动校内外资源，打通学术创新与产业落地，以顶尖加工技术革新制造业。DMG 森精机社长森雅彦指出，希望通过长期深度校企合作，攻克企业难以独立研发的5~20 年前瞻技术。

MX 中心落户东京大学工学研究生院，由杉田直彦教授担任中心主任。中心将围绕 MX 理念，实现切削、磨削、增材制造（AM）等加工过程的可视化与建模，依托数字技术升级机床及加工系统的设计、控制与运维。

研究成果将面向能源装备、航空航天、医疗、半导体等高精领域落地应用，打造高附加值产品与新兴产业增长点。人才培养方面，中心将支持企业员工攻读博士学位，并为学生提供实习岗位，培育产业急需的高技能人才，夯实制造业发展根基。

## 英国增材制造产业发布增长路线图



英国增材制造协会（AMUK）发布了第三份年度行动计划，制定了一项战略路线图，旨在将英国打造为 3D 打印与增材制造技术的全球领导者。

该计划将供应链、人才技能、行业标准确定为未来一年的三大优先挑战。AMUK 负责人约书亚·达格代尔

（Joshua Dugdale）表示：“这些是影响增材制造行业的关键领域，我们将在今年着力解决这些问题，加速增材制造技术的产业化应用。”

尽管 2024 年全球增材制造市场规模已达到 219 亿美元，但英国的市场份额下降了约 4%。不过，早期迹象显示 2026 年将迎来复苏，AMUK 的目标是到 2030 年，将英国的全球市场份额提升至 7%，对应产值近 50 亿美元。

AMUK 将在 2026 年 MACH 机床展上，设立增材制造与 3D 打印知识中心。

## 德国 VDW：2026年第一季度自中国机床进口增长 30%

德国机床制造商协会（VDW）2026 年 3 月 8 日发布一季度外贸数据：自中国进口机床 1.19 亿欧元，同比增 30%。

中国成为德国第四大机床供应国，市占率 8.3%；进口产品以数控车床、磨床、激光切割机为主，性价比获市场认可。

VDW 分析师指出：德企越来越多用中国机床加工标准件，同时继续采购日、瑞高端五轴与精密机床，反映了机床行业全球供应链的多元化趋势。

## 法格·阿拉萨特与Funditec成立普里默斯机器人公司，在欧洲研发制造人形机器人



法格·阿拉萨特（FagorArrasate）与Funditec共同成立普里默斯机器人（Primus Robotics），双方各持股 50%，专注于工业级人形机器人的设计、研发与制造。该合作将人工智能在自主系统中的应用技术，与工程、自动化及先进制造领域的经验相结合，旨在为欧洲生产场景推出具备高精度、高安全性与高可用性的机器人解决方案。

新公司将在阿拉萨特 - 蒙德拉贡 (Arrasate-Mondragón) 开展生产运营, 将建设一座 2500 平方米的生产基地, 初期阶段年产量约 200 台, 计划逐步扩产至年产超 3000 台。首款功能原型机命名为 Primus P1, 预计于 2027 年底推出。

这款人形机器人面向生产过程中的物料搬运、设备维护与辅助作业场景, 搭载自研边缘人工智能 (Edge AI) 操作系统, 可适配人机协作环境, 助力操作人员、机械设备与自动化系统实现安全协同作业。

该项目顺应欧洲工业领域人形机器人应用日益普及的趋势, 尤其在汽车行业已开展试点项目, 探索将其融入复杂生产流程。

## 山特维克可乐满推出大孔加工解决方案

山特维克可乐满 (Sandvik Coromant) 对 CoroDrill DE10 系列进行了扩充, 新增两款全新槽型 —— M5F 与 “-M5C”, 进一步提升了该产品作为适用于所有材料的即插即用型短孔钻解决方案的通用性。



CoroDrill® DE10 是一款可换头式钻头, 采用预紧式接口设计, 可实现快速、可靠的刀头更换, 并在广泛应用场景中保持稳定的加工性能。

-M5F 槽型专为平底孔加工及进阶应用场景设计, 例如复杂零件的起钻孔、阶梯孔结构等。

-M5C 槽型适用于铸铁加工, 通过 GC3334 材质强化了刃角, 提升了耐磨性; 同时, 该槽型也可配合 -M5 几何结构, 用于 ISO P、M、S 类材料中需要额外刃角强度的加工场景。

山特维克可乐满全球可转位旋转刀具产品专家米卡埃尔 卡尔松 (Mikael Carlsson) 表示: “我们的这些槽型是大量研发与专利设计的成果, 能够为客户带来更高的生产效率、更长的刀具寿命和稳定的加工性能 —— 即使在切削参数上限工况下也能保持稳定。”

扩充后的产品系列可在不牺牲易用性的前提下, 实现更精准的应用优化, 同时有助于降低单孔加工成本、减少 CO<sub>2</sub> 排放, 并通过延长刀具寿命降低硬质合金耗材消耗。

## PTC 推出 Onshape 全新云原生基于模型定义 (MBD) 功能

PTC (参数技术公司) 在其 Onshape CAD 与产品数据管理平台中, 直接集成了全新的 “云原生基于模型定义 (MBD)” 功能。该公司表示, 这一进展是迈向全数字化产品全生命周期管理的重要一步。

这项新功能允许工程团队在设计的最早阶段, 将制造信息 (包括几何尺寸与公差 (GD&T)、焊接符号、基准等) 直接嵌入到实时 3D 模型中。其目标是彻底消除传统基于文件的系统中普遍存在的碎片化问题 —— 在传统系统中, 制造数据分散在图纸、导出文件和相互独立的文件中。

核心功能包括:

- 智能检查面板 (Smart Inspection Panel): 将所有产品制造信息整理为可筛选、交叉引用的清单;
- 可共享的 MBD 视图: 无需插件, 通过浏览器即可访问;
- 下游就绪数据: 支持 STEP AP242 导出, 可直接用于 PC-DMIS、AS9102 等工具。

Onshape 基于亚马逊云服务 (AWS) 构建, 确保所有用户都基于单一、始终最新的产品定义开展工作, 从而减少错误, 加速从设计到生产的全流程。

早期用户 Aura Aero 是一家受严格监管的飞机制造商, 该公司反馈: 将认证与制造要求嵌入模型后, 已显著减少返工, 缩短了评审周期。

## 日本机床制造商协会 2026 年 2 月机床订单数据



日本机床制造商协会 (JMTBA) 2026 年 4 月 4 日发布 2 月机床订单初步数据: 总订单 1467.4 亿日元, 环比增 0.8%、同比增 24.2%, 连续 8 个月同比增长。

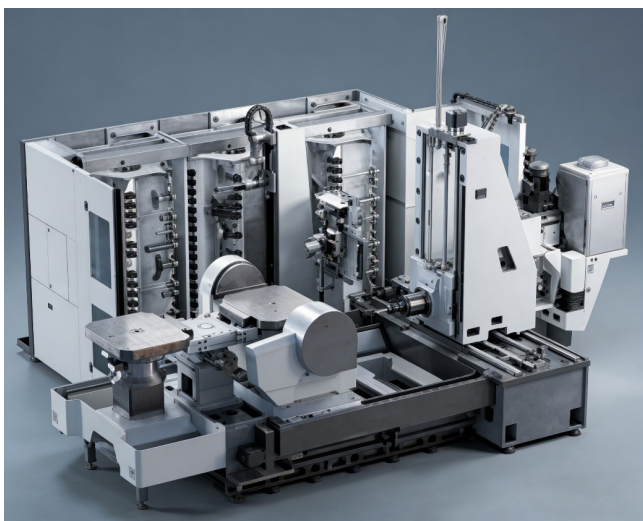
国内订单 371.6 亿日元, 环比增 13.9%、同比增

10.1%，主要来自产业机械、汽车装备、电工机械，受电动化与自动化投资拉动。

海外订单 1095.8 亿日元，环比降 3.0%、同比增 29.8%，连续 17 个月同比增长。分区域：中国订单同比增 38.5%，受新能源汽车产线与半导体装备需求驱动；东南亚增 34.3%，反映电子制造转移；欧洲稳增 8.4%。

JMTBA 点评：全球半导体、新能源汽车、数字基建资本开支持续支撑机床需求，维持 2026 财年乐观展望，总订单预计接近 1.7 万亿日元。

## 斯达拉格发布 Heckert X90 五轴加工中心



斯达拉格 (Starrag) 推出了 Heckert X90，这是其 X 系列五轴加工中心产品线中规格最大、性能最强的型号，专为航空航天、能源及重型工业领域的高精度、大型件量产加工而设计。

X90 基于成熟的 Heckert HEC 系列研发，配备工件侧回转工作台，可实现单次装夹完成完整五轴加工。其行程参数为 1750×1300×1400mm，可容纳最大轮廓直径 1.6m、高度 1m、重量 2000kg 的工件；同时占地面积仅为 8.9×6m，相比前代机型减少了 18% 的占地空间。

该机型的生产效率表现十分出色。主要体现在：快移速度可达 65m/min；托盘交换时间仅需 22s；刀具交换（切屑到切屑）时间仅 8.3s；主轴可选 12500r/min 空心轴电主轴或 15000r/min 电机主轴，也可配备齿轮主轴以满足重切削需求；刀库最大可配置 120 个 HSK-100 刀位，支持长时间无人化生产。

X90 采用西门子 SINUMERIK ONE 系统，搭配斯达拉格人体工学设计的 24 英寸防误触触摸屏 HMI。内置自动化接口可适配环形 / 直线刀库系统与机器人单元；可

选配车削功能包，可在保持加工中心同等生产效率的前提下，完成常规及复杂车削工序。

其托盘可与 Heckert H 系列及 HEC 630/800 X5 机型通用，有效保护了客户的既有投资。

## 大隈 OKUMA 发布 AI 自适应切削控制系统

大隈公司近期推出全新 OSPAI 自适应控制系统，旨在最大化加工效率与刀具寿命，同时保障高精度。系统依托实时传感数据与机器学习算法，监测振动、主轴负载、切削状态，无需人工干预自动调整进给与转速。

钛合金、因科镍等难切削材料现场测试显示：加工效率提升 15%，刀具寿命延长 20%。系统通过高速 FFT 分析提前抑制颤振，避免工件损伤与机床冲击。

新增 AI 热位移补偿功能，预测主轴、床身、丝杠温度变化，实时补偿热变形，长时加工精度稳定性较传统系统提升 40%。



OSPAI 自适应控制标配于大隈 MU 系列五轴加工中心、MULTUS 系列复合型机床，也可改装现有设备，目标应用：新能源汽车壳体、航空结构件、半导体装备零部件。

## 尼德克开设技术中心，聚焦机床演示与测试

2月5日，尼德克在滋贺县栗东市启用新技术中心，由其机床事业部四家集团公司联合运营，投资约30亿日元，建筑面积约3000平方米，预计年参观人数5000至6000人次。中心常年展出约30台实物机床，涵盖龙门加工中心、五轴加工中心等，PAMA产品以展板展示。除机床展示外，中心还提供加工验证、工艺优化、人才培养等服务，支持客户验证设备性能与加工工艺，同时将实践经验反馈至产品开发，旨在强化四家公司协同效应。

# 从“制造”到“智造”： CCMT2026展现全球机床产业新图景

中国机床工具工业协会 沈华红 执笔

中国机床工具工业协会主办的第十四届中国数控机床展览会（CCMT2026）将于2026年4月21日至25日在上海新国际博览中心举行。展会启用全部17个展馆和一个临时馆，展出面积达20.2万平方米，共吸引来自全球27个国家和地区的2000多家企业参展。国内外机床工具行业的领军企业如斯达拉格、格劳博、联合加工方案（UMS）、莱斯豪尔、迪恩、蔡司、海克斯康、马扎克、大隈、德马吉森精机、尼得科、牧野、友嘉、发那科、西门子、海德汉、伊斯卡、通用技术集团、秦川机床、北一机床、武重集团、济二、北京精雕、宁江、科德数控、齐重、海天精工、创世纪、乔锋智能、广州数控、华中数控等知名厂商同台亮相。

本届展会以“数字·智造·互联”为主题，呈现机床技术正在经历的深刻变革：在持续追求机械精度、速度与稳定性等极限突破的同时，已逐步迈入以智能化、高精度化、复合化为特征的新阶段，并加速与数字技术、智能系统和工业网络深度融合。工业母机的演进路径被重新定义，机床正从单一加工设备，升级为智能制造解决方案的核心载体。

通过对CCMT2026展商填报材料的系统性梳理与分析，我们感受到本届展会将呈现机床产业发展的以下趋势：新兴应用场景推动技术革新，核心技术突破又催生新的应用，形成供需协同、迭代升级的产业新生态；通过新技术赋能，机床在更精密、更高效、更稳定、更智能的道路上持续迈进；软硬件深度协同，智能系统为精密机床植入“工业大脑”与“感知神经”，推动机床向柔性化、数字化与智能化跨越；智慧数控系统、高精精密主轴、高精度光栅尺等核心功能部件，与主机协同创新，共同突破性能边界；节能环保理念与技术已深度融合入机床设计与制造全过程。此外，展会还将呈现“实体展品与思想理念交相辉映，专业论坛与展台展示同频共振”的生动场景。

## 一、新兴市场崛起，引导机床技术发展

全球产业链的重构与终端产业的深刻变革，使得“需求定义技术”构成了驱动机床发展的新逻辑、新路径。需求结构正在从普通通用向“专精特新”跃迁，需求内涵从“单一设

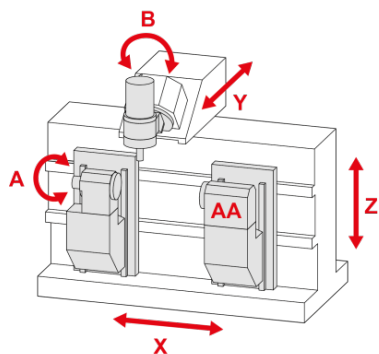
备”向“完整价值”延伸。诸多厂家率先洞悉制造业发展趋势，精准理解下游产业需求结构、需求内涵、工艺内核，并以机床为支点，为客户提供高质量的产品和系统性服务，成为机床工具市场的赢家，也成为本次展会的吸睛点。

### 1. 航空航天领域

加工零件主要包括整体框架、机匣、叶轮、叶片、叶盘等，多以钛合金、高温合金和复合材料为主，结构复杂。具有薄壁、易变形，型面精度、表面质量要求高，多品种、小批量等工艺特点。要求机床具备高刚性、高动态响应能力、五轴联动，实现超高精度（微米级）和复杂曲面处理能力（RTCP必备）以及加工难切削材料、高效加工、热变形补偿与振动抑制等能力。

斯达拉格LX系列叶片五轴机床集成高刚性五轴结构与自适应加工技术，通过在线测量自动校准，可高效加工钛合金等难切削材料。Liechti g-Mill系列专为航空航天整体叶盘设计，一次装夹完成加工，凭借2g高加速度提升曲面加工效率与表面质量。达诺巴特高速叶尖磨床可在7000 r/min

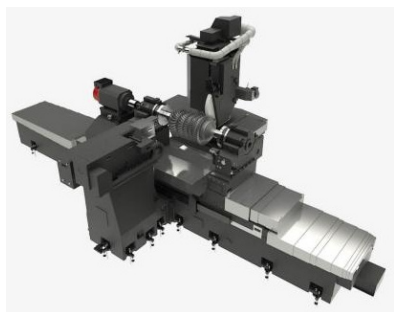
模拟工况下精密磨削叶尖，配合光电系统实现微米级精度控制。济南二机床并联五轴加工解决方案，适用于大型铝合金结构件高速高精加工。通用技术集团翻板铣，主轴头采用三连杆并联机构，专攻大型薄壁铝合金结构件高效精密加工。北一机床BF-H400五轴叶片加工中心通过优化“刀心距”与直驱技术，针对难加工材料实现高精度高效加工。科德数控KTBM 1200六轴五联动叶盘加工中心具备优化RTCP功能，适用于钛合金、高温合金叶片。博鲁斯潘PMT BM80-5i五轴叶片加工中心专注于叶片型面、缘板等复杂曲面的五轴加工。



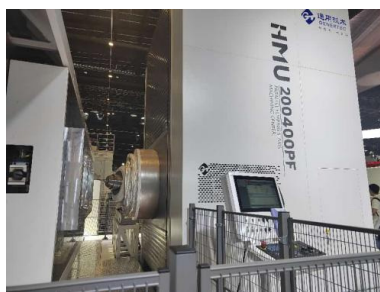
斯达拉格LX系列叶片五轴机床



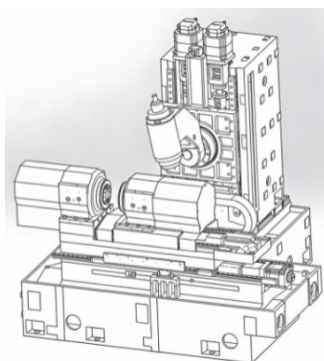
Liechtig-Mill系列叶盘机床



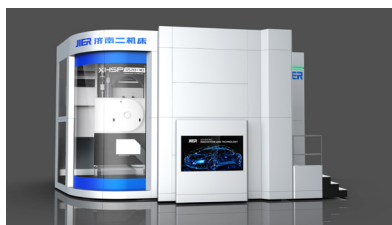
达诺巴特叶尖磨床



通用技术集团翻板铣



北一机床BF-H400 五轴叶片加工中



济南二机床并联五轴加工解决方案



科德数控KTBM 1200叶盘加工中心

## 2. 新能源汽车领域

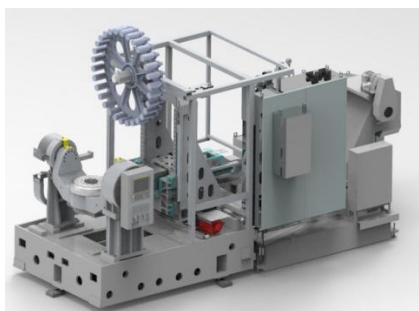
新能源汽车产业的蓬勃发展，为机床行业带来了前所未有的市场机遇。在车身、底盘、三电系统等方面的高性能制造需求，正深刻推动机床技术创新与专用化发展。具体而言，

一体化压铸车身、轻量化底盘部件和高性能电驱系统（电机、电控、减速器）的加工需求，对机床的加工精度、生产效率及运行稳定性提出了更高标准。这不仅促进了五轴加工中心、高精度冲床等专用装备的发展，更推动了面向电驱动核心部件的专用生产线建设。以动力电池托盘（大型铝合金薄壁件）为例，其规模化生产需求催生了超高速五轴加工中心与高效柔性夹具系统的融合应用，在确保刚性及抑制震颤的同时，实现高速高质量铣削，有力支撑了百万量级的产能要求。与此同时，新能源汽车产品的快速迭代，也要求机床生产线具备高柔性及复合集成能力，以适应多品种、小批量的制造模式。机床行业正通过技术创新与方案升级，持续为新能源汽车制造提供关键支撑。

格劳博G320双主轴加工中心采用平行双主轴设计，可同时加工两个工件，空间紧凑，适用于电机壳体等零件的高效生产。秦川机床YK7326磨齿机专为新能源汽车齿轮提供3级精度磨削，具有直驱主轴与砂轮快换功能，适应多品种自动化量产。普什宁江THMS6340IV高速精密卧加专为铝合金零件大批量生产设计，兼具高效（快移75m/min、换刀2s）与高精度（重复定位精度3 $\mu$ m），满足轻量化零件严苛需求。成都煜鼎PHD0822双五轴卧加专用于转向节、变速箱壳体等关键零部件加工，采用双主轴与双转台五轴结构，可实现同类型零部件一次多件的高效精密加工。



格劳博G320 双主轴加工中心



普什宁江THMS6340IV高速精密卧加

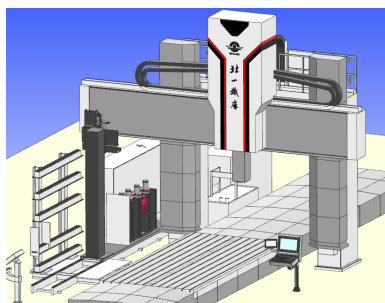
### 3.能源装备等领域

能源装备的零件具有以下特点：大型、重型工件（如风电齿轮箱壳体、水轮机叶片、涡轮机叶片、大型阀门）；材料多样（高强度钢、不锈钢、耐热合金）；复杂自由曲面（叶片类）；深孔、长悬伸加工；对可靠性和长寿命要求极高。推动超大型、大扭矩、高稳定性五轴加工中心的发展；大行程、高刚性是关键；需要深腔加工能力；对热变形补偿（大型工件长时间加工）需求迫切；增材-减材复合制造（如激光熔覆修复叶片）成为发展趋势；在机测量技术用于大型工件定位与精度验证。

魏因加特纳MPMC铣车复合加工中心，通过模块化倾斜床身与B/C/Z轴主从驱动，实现燃气轮机轴等大型工件的高精度完整加工，集成车削、铣削和旋风铣等多种工艺，静压支撑与自动头库确保重载加工稳定高效。北一机床专为风电叶片、水轮机部件等大型复杂曲面的高精度五轴加工设计的XHA  $\mu$  2130x65龙门五轴加工中心，具备超大行程与高扭矩主轴，其静压导轨保障重载切削下的长期稳定与高可靠性。齐重数控HTG100×10/1B-NC数控阀门跟随车磨专机，集成了跟随车削与跟随磨削功能，一次装夹完成蝶阀密封带粗精车及高精度磨削。



魏因加特纳MPMC铣车复合加工中心

北一机床XHA  $\mu$  2130x65龙门五轴加工中心

### 4.医疗器械、精密光学、半导体装备等领域

零件通常具有微细结构、复杂几何形状及超高表面质量要求，常涉及钛合金、陶瓷、玻璃等难加工材料。这些领域要求机床具备纳米级运动精度与分辨率、极高的静态与动态刚性、优异的热稳定性以及多轴联动超精密加工能力。同时，机床需洁净环境兼容性、微量切削控制，以及针对微型零件的自动化处理系统，以确保实现亚微米级形位公差与镜面级表面完整性。

KERN Micro HD 超精密加工中心，采用静压导轨与直线电机驱动，并通过多轴系统构建复杂空间关系，满足半导体领域对高精度、高一一致性及镜面表面质量的要求，具备亚微米级定位精度（ $<1\mu\text{m}$ ）与 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 高精度温控系统，有效抑制热漂移。MIKRON MILL P 500 VHP，配备42000r/min高精度主轴与对称热稳定结构，采用聚合物混凝土床身抑制振动与温漂，提供 $\pm 2\mu\text{m}$ 重复精度与镜面级表面质量，适用于精密光学模具、医疗器械零件及微结构件的超

精密加工。

与此同时，市场需求内涵从“单一设备”向“完整价值”延伸，越来越多的用户希望购买的不仅仅是一台机床，更是保障其生产线稳定、高效、灵活和智能化的能力。我们将可喜地看到很多展台上涵盖了从高性能主机、智能数控系统、专用工艺软件、高度自动化的配套、高可靠性刀具夹具、各种精密测量仪，到远程运维、预测性维护、工艺优化服务等全周期、全链条的技术服务和产品；众多知名机床企业展示的一体化制造解决方案，包括机床主机、机器人、AGV、立体仓库及MES/ERP系统等，从单一机床供应能力转向全链条的系统集成能力，从“硬件参数”比拼转向“软硬结合”的体系化服务能力。

## 二、核心技术突破，推动机床性能和能力边界的跃升

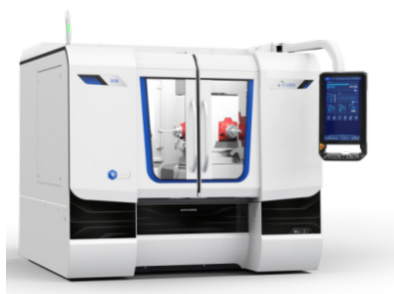
市场需求勾勒出广阔的应用前景，而核心技术的突破则为实现这一蓝图奠定了坚实的物理基础，持续拓展机床在精度、效率、可靠性及能力边界等维度的可能性。一系列底层技术的跨越与融合，正推动机床性能显著提升。新技术赋能下，机床在超精密加工（如面向航空航天、光学、医疗等领域的纳米级精度任务）和高效复合加工（集成车、铣、钻、攻丝、磨削、齿轮加工乃至增材制造于一体）等方面取得新的突破。据统计，截至发稿，本届展会填报的五轴联动机床441台，占主机类展品的36.8%。其中五轴联动加工中心235台，占加工中心类展品数量的54%。与CCMT2024相比，五轴联动加工中心的数量和占比分别增长35.8%和10.2%，占比相较CIMT2025增长

8.9%，这一组亮眼数据，也从侧面印证了本届参展机床综合性能的整体跃升。

### 1. 高精度、高稳定性

直驱（电主轴/直线电机/力矩电机）、三重复合温控（结构对称+中心冷却+智能动态补偿）、主动减振、静压、关键部件升级（陶瓷轴承、静压轴承）等技术构成机床“高精度全闭环技术生态链”，实现了机床微米/亚微米级加工精度，并保持极佳的精度稳定性。

STUDER磨床采用直线电机驱动，床身材料为STUDER开发的人造花岗岩，X轴和Z轴导轨使用特殊材料，集成了静压导轨和专有专利表面结构导轨的双重特点，实现高动态驱动与热稳定，B轴的重复定位精度1”，可实现0.2 $\mu$ m磨削圆度。北京精雕JDSGT400加工中心通过三轴双直线电机直驱与智能温控，达到亚微米定位及纳米级表面加工。武重HBR6513/15X15精密卧加采用多场耦合优化主轴与热误差补偿技术，构成智能闭环系统。博谷智能MICROTECH CNC 100 SP基于液体静压主轴与全闭环控制，实现动态回转精度 $\leq 0.1\mu$ m的亚微米级加工。斯达拉格、联合加工方案、大隈、威力铭、恒轮、大昌洋行（上海）、马扎克、牧野、通用技术集团、科德数控、宁江、博鲁斯潘、海普瑞森、汉锐科特等多家展商也将展示其高精度产品。



STUDERS131 万能内圆磨床



北京精雕JDSGT400加工中心



北京精雕JDSGT400加工中心

### 2. 模块化设计和柔性自动化技术日臻成熟

模块化设计体现在功能单元的独立性上：机床结构采用标准化接口，主轴、刀库、导轨等核心部件可自由组合或升级；控制系统支持开放式架构，便于集成传感器、工业机器人等扩展模块；故障模块可快速更换，显著降低停机维护成本。柔性自动化则表现为：通过数控系统与智能控制算法，可快速切换加工对象并自动调整工艺流程，实现多品种、小批量零件的高效混线生产；配备多轴联动、复合加工功能，结合自动换刀系统和托盘交换装置等，实现连续无人化作业；兼容智能化检测与误差补偿技术，确保复杂工件的高精度适应性加工。

瑞士米克朗、威力铭、斯达拉格等展商通过模块化设计，实现了产品的自由组合和高度互换性，显著提升了生产效率和降低成本。马扎克、大隈、迪恩、联合加工方案、格劳博等公司提供的自动化系统和模块化柔性架构，从标准自动化到机器人单元再

到柔性生产线，均体现了模块化设计在制造解决方案中的灵活性和可定制性。

### 3. 机床复合加工技术成为诸多实力厂商的利器

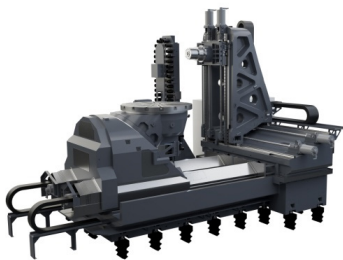
遵循“工艺集中”原则，通过将车、铣、磨、齿轮加工、在线测量乃至增材制造等原本分散的多道工序，集成融合到单台机床。以满足形状复杂、精度要求高，实现一次装夹，完成全部加工的工艺需求。这种高度集成，显著减少工件装夹次数与加工变形，提升了加工精度与整体生产效率；减少中间流转与库存，节约车间空间、降低综合成本；实现单机自动化，优化了生产模式。

宝美191neo车铣复合中心采用模块化配置（可组合出12种配置）与40000r/min主轴，可一次装夹完成多工序加工，适用于小型复杂零件的高效自动化生产。威力铭508MT2高精度车铣复合加工中心，通过模块化背面转塔与三工位系统，配合72刀位刀库，实现功能快速重构，胜任复杂零件的多工序复合加工。大隈MULTUS U3000车铣复合加工中心，具备高刚性结构与B轴大范围分度，主/副主轴均可进行高精度车铣复合加工，支持倾斜车削、齿轮加工等复杂工序，适合大直径零件的一体化高效加工。WFL、迪恩、因代克斯、魏因加特纳、埃马克、德马吉森精机、马扎克、大隈、通用技术集团、北一机床、秦川机床、科德数控、齐重数控、汇专科技、星火科技、卓朴智能、国盛智科、煜众机械、陀曼智能等展商都将有复合加工机床展出。

### 4. 新材料技术

复合材料、碳纤维的使用，在提升机床刚性和动态性能的同时实现轻量化，部分传统的铸铁件逐步被性

能更优异的材料替代。在超高速、超精密领域，碳纤维增强复合材料（CFRP）被用于制造机床的横梁、主轴箱等运动部件。因代克斯 G220 铣车复合加工中心采用高刚性阻尼人造大理石整体床身，能有效吸收切削振动，精加工时表现尤为出色，且具备极佳的热稳定性。科德数控 KHM 150U 坐标级非正交五轴卧式加工中心的静、动部件均采用复合材料，其高阻尼、低导热特性大幅提升机床精度与稳定性。拓璞 GMB3020-B 五轴龙门加工中心的运动部件采用 CFRP，使移动质量降至传统钢结构的50%，在保证高刚性的同时，实现了120m/min快移速度与1.5g高加速度，加工效率显著提升。



科德数控KHM 150U 坐标级非正交五轴卧加



因代克斯G220铣车复合加工中

### 5.新刀具涂层技术、超声/激光辅助加工等新型技术，不断拓展机床的加工边界

新型刀具涂层技术如PVD、CVD，结合断屑槽型优化，能显著提升钛合金等材料的加工效率；针对因科镍合金、碳化硅复合材料等难加工材料，通过匹配“刀具材料-几何参

数-加工参数”，并融合超声辅助加工、激光-机械复合加工与自适应冷却等技术，形成多维度解决方案；超精密单点金刚石车削技术满足光学与航天领域非球面、自由曲面等复杂面形的高精度加工需求；此外，以激光金属沉积（DED）增材与五轴铣削减材相结合的“混合制造”技术，可在同一设备上完成零件修复、复杂内流道模具制造，或直接成形并精加工传统工艺难以实现的拓扑优化结构件，不断拓展机床的加工边界。

伊斯卡 SUMO TEC涂层刀具和基于先进仿真的断屑槽设计，阿诺公司刀具PVD涂层技术（超高硬度、微米级精度及低温工艺）以及株洲钻石 PG8000系列的纳米超晶格涂层技术，均专为航空航天等领域的难加工材料高效精密加工而开发，显著提升刀具的耐磨性、防腐性、加工精度与寿命，并降低生产成本。万基万工具、特固克、高耐大因、泰珂洛、蓝驰、号恩、闻图、欧科亿、澳克泰工具、森泰英格、上工、松德刀具、华锐精密、恒锋工具、德一克等刀具展商都有新技术的刀具展出。

汇专科技超声复材切割五轴中心融合超声、超临界CO<sub>2</sub>与低温冷风技术。德马吉森精机LASERTEC 50 Precision Tool Femto采用线性驱动（加速度>1g），结合高速激光精加工技术，实现<1 μm锋利刀口与高效加工。中科煜宸水导激光技术采用激光与水导耦合，具有高精度、近无热影响区及表面光滑特点。中科微精超快激光双工位设备运用多路分光技术，支持曲面复杂微结构并行加工。原点智能五轴飞秒激光加工中心可联动3D动态振镜，实现硬质合金刀具微刃结构加工。海天增材C800M金属3D打印机采用八束激光协同与动态铺粉系统，支持2m级大尺寸精密成型，中科煜宸等厂家也将展出多种

增材制造设备。

## 三、智网融合，驱动机床自主能力跨越式发展

材料和工艺技术的持续突破赋予机床更强大的“躯体”，人工智能（AI）与工业互联网（IIoT）的深度融合，则为机床加装了“大脑”与“神经网络”，在AI与网络技术助力下，机床的智能化已超越简单的数据采集和远程监控，正深入生产制造的决策与执行核心，向“自主感知、自主决策、自主优化”的自治系统演进。

### 1.系统智能层面

机床作为实时数据源，通过在主轴、导轨、丝杠等关键部位集成高灵敏度传感器，实时采集振动、温度、声发射等运行数据，实现自我感知。基于数字孪生技术，在虚拟空间中构建与物理机床完全映射的模型，支持安装规划、碰撞检查、工艺模拟、NC程序验证及长期的“虚拟试生产”，从而优化生产节拍与物流，并实现加工过程仿真、工艺优化与故障预测健康管理（PHM）。通过引入人工智能与机器学习算法，机床可自主学习优化切削参数、自动补偿热误差与几何误差、识别预警刀具磨损与断刀风险，乃至实现自适应加工。

格劳博 GROB-NET4Industry 方案通过数字化与网络化实现跨工厂生产透明化，兼容主流控制系统，提供从规划到维护的全流程支持。马扎克 iSMART Factory™将机床转为实时数据源，依托数字孪生与AI技术实现生产过程虚拟映射与自主优化。大隈则基于“机、电、情、知”一体化理念，通过智能寻优、防碰撞、误差补偿与热控制技术，保障复杂加工中的高精度与稳定性。

## 2.生态互联层面

基于 5G 或 TSN 网络，通过 NC-Link、umati、MT Connect 等标准协议与接口，机床与机床、机床与机器人、AGV、立体仓库以及上层MES/ERP系统实现微秒级同步与实时通信，机床从“信息孤岛”转变为“云边端协同”的网络节点，数据实时上传至云平台，支持远程监控与在线维护，满足智能制造对低延迟、高可靠协同的需求。

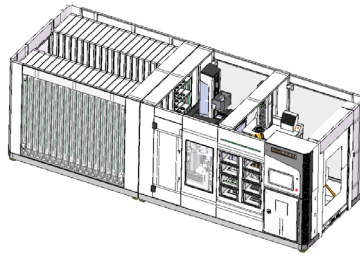
由机床协会牵头制定的NC-Link协议实现异构设备统一互联与数据标准化。华中数控 iNC-Cloud 基于 NC-Link 整合设备数据，构建云边端协同制造网络。伟立机器人智能中央刀具库通过刀具寿命管控与 AGV 协同，实现多机床刀具共享与自动配送。畅尔多机器人协同汽车制动钳支架生产线集成拉床、加工中心与机器人，通过在线检测与数据交互实现自动化精密生产。吉兰丁“天机算”工艺数字孪生系统，以“机理 + AI + 数字孪生”为核心，通过工艺数据库与反馈控制，赋能数控机床实现智能化。



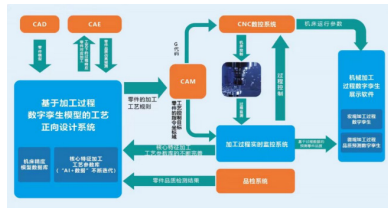
格劳博GROB-NET4Industry方案



马扎克iSMART Factory™



伟立机器人智能中央刀具库



吉兰丁“天机算”工艺数字孪生系统生产线

## 四、核心部件，铸就机床迭代的强力引擎

机床整机代表的是行业整体技术进步与发展，核心功能部件更能体现行业发展的基础。具体分为三大类：动力与执行部件（如电主轴、摆头、转台、导轨、丝杠）、运动控制与精度部件（如数控系统、伺服驱动、高精度反馈装置）以及信息与保障部件（如在机测量、热管理与误差补偿、高级排屑冷却系统）。它们如同机床的“大脑”“心脏”“感官”与“关节”，其技术进步直接带动了整机在精度、速度、稳定性和智能化方面的全面提升。

核心功能部件在高精度、高刚性、高动态响应和智能补偿等关键技术上的持续突破与协同发展，不仅推动了加工中心、数控车床、磨床、齿轮加工机床、电加工、激光加工设备、成形机床等多种机床的性能快速迭代，更构成了五轴联动及复合化机床等高端装备发展的核心基石。整体生态供应链的成熟，进一步加速了机床行业的整体进步与创新。

## 1.电主轴、摆头、转台等功能部件

电主轴作为机床的“心脏”，正向高功率密度与智能化发展。车铣复合电主轴集成车削、铣削功能，并内置传感器，实现状态实时监控与闭环补偿。混合陶瓷轴承与油气润滑技术的应用，使电主轴在40000~60000r/min区间内的稳定性与寿命大幅提升，已成为高端五轴加工中心的标准配置。如SHW铣削电主轴采用直接驱动，实现微米级精度与60000r/min超高转速，兼具智能监测与宽域功率输出能力。

摆头与转台直驱化与模块化发展趋势明显。双摆头广泛采用力矩电机直驱，响应速度与精度更高，并集成液压刹车、旋转分配器等模块，可对切削力与热变形进行智能补偿。在车铣复合机床中，高刚性摆头作为核心动力源，实现多工序一次装夹。直驱转台通过静压技术突破，可实现纳米级回转精度（ $\leq 0.1 \mu m$ ），作为五轴摇篮转台的核心，支撑超精密多轴联动加工。例如，Kessler的AC摆头采用直驱力矩电机，无机械背隙，动态响应高，集成液压锁紧与高速电主轴，兼具高转速与大扭矩，保障了高精度五轴加工。

## 2.导轨、丝杠等滚动功能部件

导轨、丝杠等滚动功能部件是机床向更高精度、速度、静音和重载发展的关键。其进步主要体现在：通过新材料（如陶瓷）与创新工艺突破性瓶颈；借助结构设计提升运动平顺性与稳定性，并实现功能复合化；同时集成传感器，推动部件智能化。THK滚珠花键LBS系列采用独特滚珠滚动结构，在直线运动的同时高效传递扭矩，容许负荷更高。南京工艺DKF中空强冷滚珠丝杠副通过中空双路内冷技术精密散热，结合螺母变位预紧，在60m/min高速下保持微米

级精度。凯特精机LGR滚柱导轨副采用滚柱线接触与DB45度组合，实现高承载、高刚性与四向等载荷，支持120m/min高速运行，加速度达2g。

### 3. 数控系统

作为机床的“大脑”，数控系统正向智能化、高精度与协同控制方向发展。集成AI与大模型可实现工艺自优化、智能编程与故障诊断；数字孪生与在机测量融合，形成“加工—测量—补偿”闭环，提升精度并缩短工艺链。多通道协同、高速处理、五轴RTCP与空间补偿等技术，为多轴与复合加工提供基础，支持航空航天等复杂应用场景。如上海拓璞用于航空航天领域的大飞机蒙皮镜像铣削，通过数控系统的双五轴镜像同步控制，并结合在机实时测控与动态调整技术，确保超薄蒙皮加工的高精度与稳定性。

西门子SINUMERIK ONE以数字原生架构实现全生命周期孪生，集成于TIA Portal，支持智能自适应、纳米级精度与多轴协同。发那科Oi-F Plus STEP2/31i-BPlus集智能控制、高效加工与精细表面处理于一体，具备热控制、主轴优化及机器人快速连接功能。海德汉TNC7以对话式编程与直观界面为核心，支持多轴高精度控制、碰撞监测与过程监控。广州数控27i面向多轴加工，具备多通道控制、智能碰撞检测与主轴负载自适应。华中数控10型融合AI与MBSE技术，通过数字主线与大数据闭环实现自主优化与决策。

### 4. 伺服驱动与电机技术

直线电机广泛应用到进给轴和主轴，实现真正“直接驱动”，并向更高精度、动态响应与功率密度发展。新一代伺服驱动器普遍集成高级振动抑制算法与参数自整定功能，提升加工平稳性与表面质量。

### 5. 光栅位移传感器

作为高精度反馈元器件，是数控机床实现高精度、高可靠性的“眼睛”，围绕机床精度、协同与适应性等技术开发与研究成果显著。精度层面，通过光学与信号处理创新，分辨率达纳米级，系统精度至微米级；协同层面，集成高速通信与安全功能，成为智能网络节点，支持实时数据交互；适应层面，增强抗污染、抗振动与温漂稳定性，保障在严苛环境中可靠测量。如海德汉LCxx6系列光栅尺（ $\pm 3\mu\text{m}$ 精度、10nm分辨率、强抗污能力），禹衡光学整体式角度编码器（ $\pm 1''$ 精度、28bit分辨率、高防护等级与宽温域适应）。

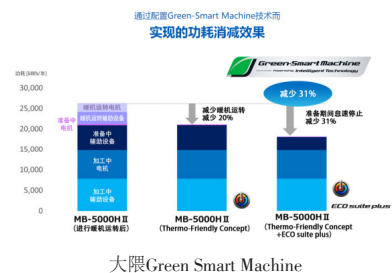
总体来说，核心功能部件技术的发展极大地加速了机床的开发与迭代速度，模块化与即插即用设计使得迭代效率更高：标准化机械接口（如HSK、CAPTO）和数字通信协议的功能部件，使得主轴、转台、刀库等可以在机床设计阶段快速组合与验证。如杭机MKH500五轴磨铣复合中心，面向航发叶片高效柔性加工，采用标准化主轴接口与模块化磨铣/修整双主轴系统，在保证高刚性、高精度的同时，大幅提升机床开发效率与复合加工能力。

## 五、绿动未来，“节能、环保”的成果厚积薄发

“双碳”目标正重塑全球制造业的竞争规则，“节能环保”的设计理念和技术，如同春夜喜雨，有着“随风潜入夜，润物细无声”的精妙。CCMT2026展会上的节能技术与环保理念无处不在，并已深深地融入每一台设备中：低能耗驱动系统、节能主轴和伺服驱动器、能量回收技术，降低待机功耗的“绿色机床”；集成干式或微量润滑技术（大幅减少切削

液用量）的智能冷却系统，轻量化材料的床身结构，数控系统通过算法优化和变频技术实现能耗优化管理。

马扎克的“GO GREEN”理念贯穿产品全生命周期，可实现最高近50%的电力削减。其Mazatrol CNC系统能可视化电力消耗，辅助系统采用切削液自动喷淋与智能冷却，并配备低耗电的环保油雾收集器。大隈的“Green Smart Machine”以“热亲和”设计为核心，使机床在常温下保持精度，降低冷却能耗。其ECO智能系统集成能源回收、待机停止与电量监控，并搭配免清洗水箱技术。德马吉森精机的“GREEN MODE”集成制动能量回收、自适应进给控制等技术，并通过CELOS X APP进行数字化能源管理，实现对能耗与碳排放的监测优化。重庆机床YD3126-CF数控滚齿铣床复合机床、宜昌长机YK81125数控刮齿机等采用干式切削技术，无需冷却液，减少污染。成形机床广泛采用伺服驱动节能技术，如扬力集团EB6325全电伺服数控折弯机比同吨位液压机型节能约60%；扬锻JH21D伺服压机通过电容储能实现能量回收再利用，比传统冲床节省高达40%用电量。海德汉新一代直线光栅尺和角度编码器采用真图像技术，抗污染能力大幅提升，在大多数应用中无需密封空气系统，从而简化机床结构，并将相关碳排放降低99%，同时与旧型号兼容，节约资源与能耗。



（下转第50页）

# CCMT2026展品预览（2）

中国机床工具工业协会

**【摘要】** CCMT2026 聚焦智能制造与高端装备创新，汇聚全球优质展商与前沿展品。本次预览涵盖加工中心、磨床、机器人及自动化、刀具附件等核心领域，展品兼具高精度、高效率与智能化特质，广泛适配航空航天、汽车、医疗等多元行业需求。

从五轴联动加工设备到智能控制系统，从精密刀具到自动化解决方案，每款展品均凝聚技术突破与工艺革新，既展现了行业对极致精度与效率的追求，也彰显了制造业数字化、柔性化转型的趋势。

本预览梳理各展品核心优势与关键参数，为行业同仁搭建高效选型参考，助力精准对接供需，共探行业发展新机遇。

## 精雕高速机及自动化解决方案

北京精雕科技集团有限公司（展台号：E7-B101）

本届展会北京精雕将展出5台精雕高速机，其中1台以精雕自动化产线的形式呈现。

有3台精雕高速机首次在华东地区展出，分别是：适用于产品型零件批量加工的立式五轴高速加工中心JDMR400、卧式五轴加工中心JDHTR800和直线电机驱动的三轴高速加工中心JDSGT400。



精雕高速机可依托“机内自动化工作模式”，使加工过程不需要人工干预，确保加工过程顺畅。在机床实现机内自动化工作模式的基础上，搭配精雕自动供料系统形成精雕机加自动化加工解决方案，实现工件上机、加工、下机的全过程自动化加工，做到下机产品即为合格产品。现场展示的JDGR400T自动化产线，是由两台JDGR400T、一套JDFMS150ST自动供料系统和北京精雕自产机器人地轨构成。是北京精雕实践数字化、智能化加工理念的见证。

**NLC 2500|700车削中心 (中国首展)**

德马吉森精机机床贸易有限公司 (展台号: W5-A101)



该机床是DMG MORI本地工厂全新产品, 传承与NLX2500|700MC版本, 具备和NLX2500|700一样的加工能力。主要应对加工直径 $\phi$ 366mm以内, 长度700mm以内的各种产品。

NLC 2500|700采用床身刮研硬轨工艺, 内置电机的BMT刀塔, Magnescale 全闭环磁栅尺。左主轴的标准卡盘尺寸为10英寸, 配备丰富的变体可供选择, 包括铣削、Y轴和右主轴规格。通过主轴和刀塔的不同组合, 为客户量身定制满足客户特定生产需求的“关键设备”。

可灵活搭配桁架自动化、关节机器人或协作机器人等多种自动化解决方案, 实现高效率生产。

**RAPIDO快换爪系统**

雄克精密机械(上海)有限公司 (展台号: W4-A101)



雄克RAPIDO快换爪系统是免工具、全自动化快换卡爪的高效解决方案。对于常规车床卡盘的换爪操作可在60秒内完成, 大幅缩短设备停机时间。其换爪流程简便, 仅需将可互换顶爪置于RAPIDO基体或支撑爪后移至完全咬合即可。除支持手动更换, 集成RAPIDO基爪接口的卡盘更可实现机器人全自动换爪。

其核心性能优势: 重复定位精度达0.02mm, 保障加工一致性; 兼容内撑与外夹夹持场景, 适配多元加工需

求; 常规动力卡盘均可改装升级。增强产线灵活性与市场响应速度, 为小批量多品种生产及大规模自动化产线提供可靠支撑。

**SWM1503数控外螺纹磨床**

广州市敏嘉制造技术有限公司 (展台号: N1-B311)



本品专为高精度螺纹加工设计, 磨削长度可达300mm, 最小加工直径低至3mm, 特别适用于机器人微型丝杆和汽车刹车丝杆的精密加工。机床采用国产高精度直线导轨、交流伺服电机及编码器为核心部件, 确保运动平稳和全闭环控制, 在300mm长度内磨削螺纹精度可达0.003mm, 表面粗糙度 $Ra0.2\mu m$ 。设备配置高效砂轮修整装置, 能快速精确修整砂轮, 保证批量加工一致性。凭借高精度与高效率特点, 产品广泛应用于新能源汽车、人形机器人等领域的精密零件制造。主要参数包括磨削螺纹直径 $\phi$ 100mm, 最大顶尖距320mm, 可磨削螺纹螺旋角 $\pm 25^\circ$ , 主轴最高转速 $8000r/min^{-1}$ , 快移速度8m/min, 机床尺寸 $3300 \times 2950 \times 2150mm$ , 重量10t。

**SINUMERIK 828D数控系统**

西门子(中国)有限公司 (展台号: W5-A301)



本系统是西门子专为车削、铣削、磨削应用打造的紧凑型数控系统，采用 80 位浮点数 NANOFP 高性能计算精度，消除舍入误差，控制回路内部计算精度极高。前馈控制功能可几乎完全补偿误差，过冲限制功能减少轴加速时的机械应力，同时支持 Advanced Surface 精优曲面和 Top Surface 臻优曲面控制技术，结合优化预读功能，确保完美表面加工质量并提升加工速度。系统工艺覆盖从基本钻削、铣削、车削到复杂雕刻、深孔铣削及硬质金属摆线式铣削，智能运动转换功能使所有工艺循环适用于各种加工平面，还具备自由轮廓编辑器和先进智能轮廓加工工艺循环，支持带有 12 个岛的复杂轮廓腔铣削。操作方面配备横版全键盘和高分辨率 TFT 彩色显示屏，全图形化界面搭配 CNC 快捷按键，操作便捷，通过 USB 等接口可方便传输 CNC 数据。前置操作面板采用压铸镁合金材质，防护等级高达 IP65，坚固耐用且免维护，提供水平型和垂直型两种面板布局，支持多达 16+2 根轴和 2 个加工通道 + 2 个装卸通道，最新第五代 PPU.5 支持西门子数字孪生 CMVM/RMVM，内置 S7-200 PLC 并配备 SINAMICS 驱动器，采用无风扇、无硬盘设计与 NVRAM 存储技术，无需电池，支持 USB、CF 卡和 RJ45 接口。

### 海马特瑞士刀具系统

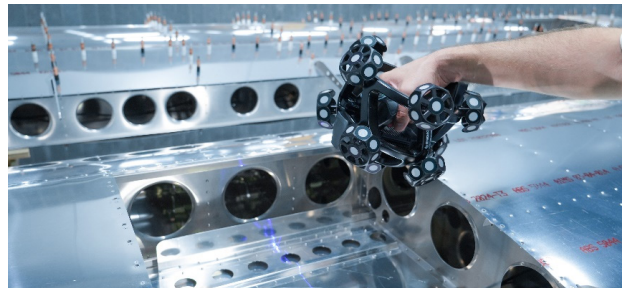
海马特有限公司 (展台号: W4-A433)



本品专为自动车床研发全系列固定刀具与动力刀具，凭借超长使用寿命与顶级制造工艺在行业内脱颖而出。产品采用优化的主轴轴承技术与精密磨削齿轮部件，刀体外壳与主轴同样具备极高刚性，可满足超高精度、高效率大批量生产的使用需求，为走心式数控车床提供完整的刀具解决方案。

### AM-CELL C系列自动化三维检测系统

思看科技(杭州)股份有限公司 (展台号: W3-B281)



本系统融入核心单元设计理念，支持全系不贴点跟踪式三维扫描仪，可拓展各品类大臂展协作机器人及智能转台系统，满足各类中大型零部件的自动化检测需求，赋能生产制造全生命周期的质量控制。系统由多个标准化的独立模块组成，布局灵活，设备安装调试仅需 2 天，可轻松驾驭多元场景下的批量检测需求。针对客户产品测量需求、生产节奏及产品种类多样性，可灵活配置多工位系统，实现换件不停机的高效生产模式，测量效率较传统三坐标提高 5 倍以上。机器人和变位机单元均搭载先进的力反馈伺服控制系统，无需特殊安全防护，人机交互安全性高，也可根据安全等级要求加装安全围栏、安全光幕、安全门锁等防护方式。配套自研自动化软件 DefinSight-AM，融合先进数据采集能力与高度智能化机器人控制系统，分工程师模式与操作者模式，工程师模式支持离线编程、回溯历史测量结果并生成统计分析，操作者模式支持一键启动、自动调用计算并生成检测报告，降低操作门槛与误操作概率。系统最高测量速率可达 4860000 次/秒，支持全新灰度值边界检测功能，自动提取圆孔、圆槽、方孔等封闭类特征的高精度三维数据，适配臂展 ≥ 1300mm 的各种品牌协作机器人，提供 200~1000kg 范围内多种负载和尺寸的智能转台系统。

### 刀具夹紧系统

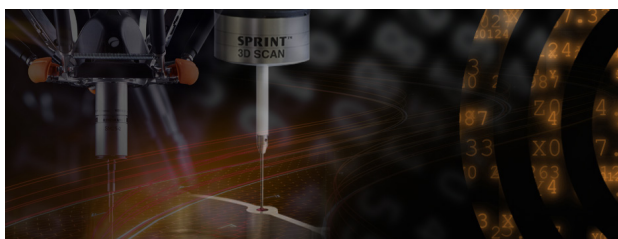
德国伯格有限公司 (展台号: W5-A501)



本品是切削加工领域定制化的完整夹紧系统解决方案，可满足稳定夹持力、适配工况的系统刚性、持久精度、长使用寿命与免维护设计等严苛要求。公司核心技术涵盖夹持爪、增力机构、叠簧组件、松开油缸以及介质传输与位置检测系统，可提供机械、液压、电动一体式夹紧单元，适配几乎所有类型的加工主轴。产品采用经过反复验证的成熟零部件，确保整个系统功能与性能稳定可靠，具备结构紧凑、使用寿命长等优势。

### Renishaw Central智能制造数据平台

雷尼绍（上海）贸易有限公司（展台号：W3-B104）



本平台是用于采集和显示车间现场制程数据与测量数据的数据平台，可连接整个制程中的所有测量设备，帮助工厂全面、深入了解生产制程。工厂可基于制程数据，在制程错误发生前及时分析、识别、预测和纠正问题，进而提升生产效率、提高产能、优化制程、缩短停机时间、减少浪费、降低生产成本。在互联车间内，各机器与系统通过共享数据和趋势实现通信，实时监控支持工厂做出科学决策，实现端到端制程的完全掌控。平台可跨多个工厂连接雷尼绍及其他供应商的多个设备，支持采集和存储端到端制程数据与测量数据，部署可控制程实现自动化并提高产量，提前识别预测并纠正制程错误，提升制程改进决策能力，提高运营效率并减少人为干预。

### BR系列高精度大贯通孔，中空型强力卡盘

株式会社北川铁工所（展台号：N2-B431）



本品专为满足现代机加工高精度、高柔性生产的严苛需求设计，具备卓越的基准精度与可靠的重复定位精度，基础夹持精度可达 0.01mm T.I.R. 以内。创新 Tnut-Plus 设计解决传统卡盘拆装导致精度下降的难题，重复定位精度稳定维持在 0.01mm，实现卡爪即换即用，大幅提升多品种、小批量生产的换线效率与质量一致性。产品兼顾大贯通孔与高刚性设计，贯通孔径覆盖 33mm 至 106mm，便于长棒料加工、切屑排出，是集成自动化上下料、构建无人化产线的关键部件，结构优化在保证大通孔的同时未牺牲刚性，以 BR12 为例，外径最大静态夹持力高达 156kN，高速旋转下仍能保持充足动态夹持力，确保工件在重切削或高速加工中稳固可靠，兼顾自动化柔性需求与加工安全性、表面质量。全系列包含 BR05、BR06、BR08、BR10、BR12 五款，夹持范围 7mm 至 315mm，适配广泛工件，BR06-BR12 重复精度可达 0.002mm，BR05 最高转速达 8000r/min<sup>-1</sup>，采用创新 Tnut-Plus 特殊 T 型螺母，支持卡爪拆装后高精度快速复用，全系列适配标准软硬爪，方便集成自动化，显著缩短换型时间。

### FH210P-C龙门五轴联动铣车复合加工中心

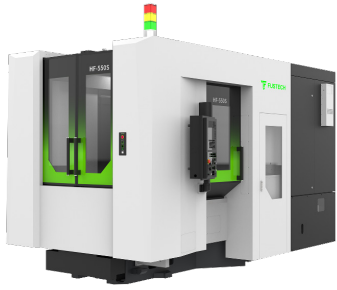
深圳市创世纪机械有限公司（展台号：E5-A101）



本品是先进稳定的五轴机床，操作模式简便，专注提升精度、性能与效率，可在高动态条件下实现顶尖加工性能与零件精度，满足航空业难切削材料加工与模具制造业高光洁度表面质量要求。设备可选配 HSK/A100 电主轴，最大扭矩 700N·m，功率 73kW，工作台刚性提升 40%，采用直径 63mm 的 C3 级研磨中空滚珠丝杆与 65mm 宽重载 UP 级滚柱导轨，Y 轴进给电机采用冷冻液冷却，全面冷却措施显著改善温度特性曲线。机床可实现立卧转换，兼具铣削与车削功能，一次装夹即可完成多工序、多角度加工成型，达到一机多用的效果。

### 卧式加工中心HF-550S

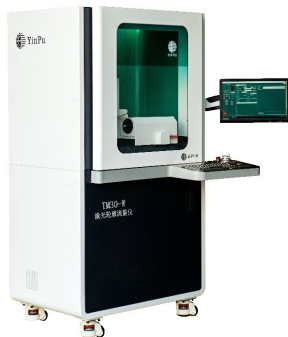
乔锋智能装备股份有限公司 (展台号: E4-A101)



本品具备高生产率、高可靠性、高精度三大核心优势,三轴快移速度达 60m/min,换刀速度快,标配 BT50 高速高扭矩主轴,关键功能部件使用寿命提升,核心部件自主生产。三轴采用中空丝杠冷却,有效减小高速运行时丝杠热伸长,保证加工尺寸稳定。设备标配 NC 分度转台,90° 分度时间仅 1.4s,工作台尺寸 500×500mm,配备单工作台,适合自动化组线使用。X/Y/Z 轴行程 730/730/780mm,加速度 1g,主轴转速 10000r/min,功率 33/22kW,最大扭矩 300N·m,刀库容量 45T。

### TM30-W激光轮廓测量仪

成都茵普科技有限公司 (展台号: E3-A506)



本品主要用于检测切削丝锥与行星滚柱丝杠副中的滚柱小丝杠,可测量丝锥实际大径、槽形参数、刃宽、芯部直径、螺旋角、切削锥角、螺纹铲背量及螺纹参数等,同时可测量滚柱螺纹大径、中径、小径、牙型半角、螺距、螺距误差及牙型面凸轮廓 R 等参数。设备操作界面简洁明了,无专业测量知识的操作人员也可快速上手,一次装夹点击即可快速准确完成复杂外形曲线拟合及数据处理,摆脱人工干预影响,兼顾测量精度与检测效率,图形化测量结果与打印报告让误差及形状分析更简便,配备摄像头可实时监控测量过程。工件规格  $\phi 3 \sim \phi 30\text{mm}$ ,夹持长度 35~170mm,轴向测量长度  $\leq 50\text{mm}$ ,径向测量长度  $\leq 30\text{mm}$ ,分辨率

0.1 $\mu\text{m}$ ,示值重复性 0.005mm、0.1°,电源 220V 50Hz,主机尺寸 1040×875×1750mm,净重约 320kg。

### Light5X 60V Plus立式五轴激光加工中心

广东原点智能技术有限公司 (展台号: E3-A215)



本品为自主研发设计的数控激光机床,一次装夹可完成刀具粗精加工,实现汽车大型刀具高效率、高精度加工,是面向高精度汽车刀具研发的旗舰机型。床身采用天然大理石材,结构稳定、刚性好、精度高、可靠性强,三直线轴采用直线电机,动态响应快、定位精度高,两旋转轴采用力矩电机,精度表现优异,直线轴与旋转轴均采用闭环控制,直线轴配备直线滚珠导轨,摩擦系数低、响应速度快,设备内置相机与探针。X/Y/Z 轴行程 450mm/450mm/300mm,水平工作台尺寸 620×500mm,承载 300kg,C 轴工作台  $\phi 260\text{mm}$ ,最大承重量 25kg,切削速度 20m/min,快移速度 30m/min,A 轴额定 / 最高转速 200/250r/min,C 轴额定 / 最高转速 200/240r/min,X/Y/Z 定位精度 0.005mm,重复定位精度 0.003mm,A/C 定位精度 8",重复定位精度 4",激光功率 100W,机床尺寸 2400×1600×2600mm。

### MH-800B-FC卧式铣车复合加工中心

精研精工机械有限公司 (展台号: W3-A213-1)



本品在满负荷连续运转中可保持高精度、高效率、高稳定性，为用户提供四轴联动高效加工解决方案。机床主体大件采用米汉纳铸铁铸造成型，倒 T 型大跨距底座专为重切削设计，具备高负载与高稳定性，保障长行程加工精度与刚性。标配工作台交换机构，减少装夹待机时间提升效率，高精度锥销定位搭配液压锁紧机构，确保工作台交换精度与稳定性，分度精度稳定可任意角度分度，涡齿驱动系统消除背隙，碟刹式油压刹车系统自动油压锁紧定位，B 轴配备圆光栅实现全闭环控制，保证分度角度与定位精度。主轴单元搭载无需拆卸的永挂一体式平旋盘，平旋盘与镗轴独立控制、交叉互锁，W 轴镗轴与 U 轴平旋盘均具备中心出水功能，主轴箱垂直方向位移采用油压式配重提升 Y 轴响应速度，突然断电时蓄能器可支撑保护刀具与工件。X/Y/Z 轴采用高刚性滑动硬轨，导向性好、精度高，贴有特殊耐磨材料，吸震性强，Z 轴采用闭回路气浮导轨与独有卸荷装置，长久保持主轴与 Z 轴水平精度，直线坐标轴配备 C3 级滚珠丝杠与反作用轴承，消除轴向间隙提升反向传动精度，镗铣主轴与平旋盘均可自动换刀。X/Y/Z/W/U 轴行程 1600/1000/1200/300/130mm，工作台尺寸 1000×1000mm×2 个，最大载重 2500kg，镗轴  $\phi 130\text{mm}$ ，锥度 BT50，转速 10~2000r/min，功率 22/26kW，最大扭矩 689N·m，平旋盘  $\phi 700\text{mm}$ ，锥度 MD50，最大转速 600r/min，最大扭矩 2015N·m。

### Tiz3020钛合金专用数控龙加工中心

宁庆空天智能装备（南京）（展台号：E5-A301）



本品主打高刚性、大扭矩、重切削，专为钛合金高效加工打造。床身采用高强度优质铸铁，重量远超常规机型，稳定性卓越，搭载 BT50-220 超规格主轴，前滚柱轴承增强抗切削力，直联齿轮箱提供充沛扭矩。X

轴采用 65mm 超大滚柱导轨，承载能力强、精度高，Y 轴采用双线轨 + 硬轨复合设计，兼顾速度与刚性，Z 轴采用大规格方滑枕，纵深刚性强化。丝杠导轨为钛合金专用款，载荷较日台系高 25% 以上，抑振性突出，项目获得南京市重大科技专项支持。实际应用中加工效率提升约 30%，刀具寿命延长约 27%，标配大压力中心出水、油雾收集器、全封闭防护，适配钛合金高效加工场景。工作台面积 3200×1700mm，最大承重 15t，X/Y/Z 向行程 3000×2500×800mm，切削进给速度 0~10m/min，快速移动速度 10m/min，定位精度 0.01mm，重复定位精度 0.005mm，整机重量 33t，外形尺寸 8500×5200×5000mm，控制系统可选 Siemens828 或宁庆系统。

### SMC125立卧转换五轴联动加工中心

齐重数控装备股份有限公司（展台号：N5-B101）



本品搭载高速、高功率、大扭矩电主轴，最高转速 12000r/min，最大功率 71kW，最大扭矩 452N·m，可实现高温合金、钛合金的粗精加工。采用绝对式光栅测量系统，全闭环控制，定位精度  $\leq 0.006\text{mm}$ ，重复定位精度  $\leq 0.004\text{mm}$ ，具备正交与非正交摆头双重选择。床身为球墨铸铁铸件，核心部件通过 FEA 有限元及动力学深度优化，实现高动态精度稳定性，B 轴采用伺服驱动，定位准确可靠、维护成本低，C 轴采用力矩电机直驱，响应速度快。配置大惯量水冷伺服电机驱动，高精磨削滚珠丝杠直联传动，X/Y/Z 轴丝杠中空冷却，快移速度可达 60m/min，配备 40T 链式刀库，机械手自动换刀，换刀速度 2s，可选配 60T、80T 刀库。设计符合人机工程学，方便操作者更换零件和刀具，预留组线自动门功能。X/Y/Z 轴行程 1250/1250/1000mm，B 轴摆动范围  $-30^{\circ} \sim +180^{\circ}$ ，C 轴回转范围  $360^{\circ}$ ，工作台最大承重 2500kg。

### ZXK2104X2-5五轴钻铣复合深孔机床

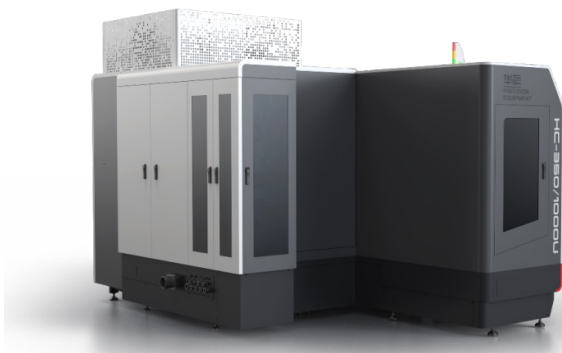
山东普利森集团有限公司 (展台号: N1-A211)



本品核心优势为五轴联动、一次装夹多工序复合加工, 可完成深孔钻、铣削、镗孔、攻丝等加工, 能加工任意角度斜孔、双斜度深孔, 解决传统机床摆角受限问题, 复杂角度孔一次成型, 兼顾加工效率与精度, 适配模具、汽车零部件等复杂工件加工。深孔加工能力突出, 最大钻削深度 1000mm, 孔径覆盖  $\phi 3 \sim \phi 40\text{mm}$ , 配备专用导套与高压冷却排屑系统, 保障深孔直线度与表面质量。导向箱可自动倾斜移开, 实现深孔钻与铣削模式快速切换, 避免干涉提升效率。枪钻钻孔直径  $\phi 3 \sim \phi 40\text{mm}$ , Y 轴行程 1000mm, X 轴行程 1200mm, W 轴调整范围 500mm, 钻孔偏斜度  $\leq 0.5\text{mm}/1000\text{mm}$ , 钻孔粗糙度  $Ra 0.8 \sim 3.2\mu\text{m}$ , 孔径精度 IT7 ~ IT10, 铣削平面度  $\leq 0.010/300\text{mm}$ 。

### HC-350-1000U亚u磨削中心

华辰精密装备 (昆山) (展台号: N3-A105)



本品是高精度、多功能、复合型转塔式数控磨削装置, 可根据需求柔性化配置, 具备外圆、内圆、非圆、

螺纹磨削功能, 满足不同用户的多种精密磨削需求, 广泛应用于军工、航空、汽车、机床、磨具、刀具、量具等领域。设备可一次装夹完成轴类、套类、盘类零件的外圆、外端面、外锥面、内圆、内端面、内锥面、非圆、螺纹特征的精密磨削加工, 核心技术指标突出, 夹持磨削圆度最高可达  $0.2 \mu\text{m}$ , 圆柱度最高可达  $1 \mu\text{m}$ 。顶尖距 1000mm, 中心高 175mm, 两顶尖支撑最大重量 150kg, 砂轮线速度 120m/s, X/Z 轴采用矩形静压导轨, 定位精度 0.004mm, 重复定位精度 0.002mm, X 轴最小进给量 0.1um, 标准试件直线度  $\leq 0.003\text{mm}$ 。

### HY-GTS280L70Bar/7.5KW布袋螺杆泵 高压中心出水过滤系统

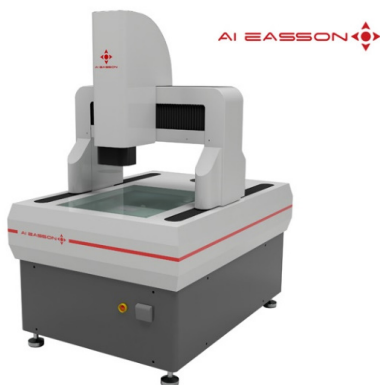
合一智能科技 (东莞) (展台号: N4-A503)



本品具备高效冷却清洗、提升加工效率、降低刀具磨损、提高加工质量、降低断刀风险、节能环保六大优势。高压中心出水可快速冷却工件表面, 避免热量积聚导致加工精度下降, 强力冲击清理加工区域, 提升加工质量与效率; 高压水射流可直接用于雕刻、切割, 节省加工时间; 及时带走刀尖与工件接触点的摩擦热量, 降低刀具温度, 延长刀具寿命; 避免振动、变形等问题, 保障加工精度与表面质量; 防止切屑缠绕造成断刀, 降低断刀风险; 同时降低加工能耗, 减少冷却液消耗与排放, 符合绿色制造要求。水箱尺寸  $800 \times 700 \times 520\text{mm}$ , 容量 280L, 配备高、中、低液位计, 采用 7.5kW 三螺杆螺杆泵, 额定流量  $1.92\text{m}^3/\text{h}$ , 双切换 4 布袋过滤箱, 过滤精度 20um, 数显压力表 DC24V, 具备高低压保护功能, 涡轮进水口 1 寸内螺纹, 配备 2 个高压出水口与排渣口。

**SPL-8060龙门式全自动影像测量仪**

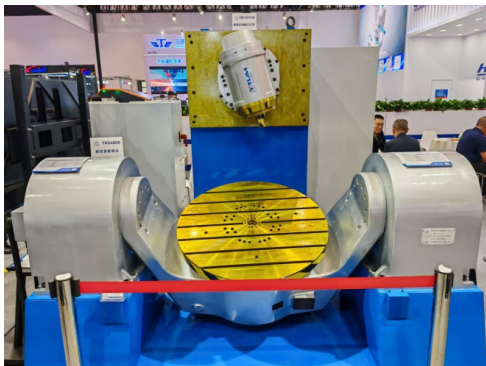
宁波怡信数字科技有限公司 (展台号: E1-B387)



本品软件具备学习功能,用户手动测量一次即可记录流程,后续可自动重复测量,无需编写程序,操作简单便捷。支持重新测量功能,可对已测元素重新调整测量方法、灯光、倍率,刷新测量数据并同步更新关联元素数据;可修改编辑任意测量元素的寻边范围、光源亮度、倍率,还可查看历史寻边状况,包括寻边位置、光源亮度、倍率、原始点等,便于全程质量把控。测量范围 X800mm、Y600mm、Z200mm,玻璃台面 850mm×650mm,承重 30kg,搭载 130 万数字高清网络相机,自动变焦镜头 0.7-4.5X,可选配同轴光无需校正,影像放大倍率 30X-200X,三轴伺服马达全闭环控制。

**TK64系列直驱回转工作台**

烟台环球机床装备股份有限公司 (展台号: E7-B301)



本品是高档五轴联动数控加工中心的关键功能部件,采用大扭矩力矩电机直接驱动,两轴配备高精度角度编码器作为反馈信号,实现高精度旋转定位,定位精度  $\pm 5''$ ,重复精度  $\pm 2''$ 。A轴采用双臂双电机同步驱动,峰值扭矩可达 7400N·m,刚性更强、性能更稳定,转台

两轴均采用精密组合轴承,保证高精度与高刚性,最大承载可达 1200kg。采用两轴气动锁紧技术,刹紧刚性好、反应速度快,预留激光对刀仪安装接口,满足刀具高精度测量与实时补偿需求,提升机床加工精度与生产效率,是大规格高档五轴加工中心的理想选择。

**MS20主轴对接型双主轴车铣复合加工机**

浙江治丞智能机械科技有限公司 (展台号: N4-B305)



本品采用双主轴设计,配备伺服电主轴与 Y 轴升降动力刀塔,多轴复合加工可一次装夹完成所有复杂零件加工,能在同一机床内实现车、铣、钻、攻牙与偏心铣削加工,加工能力等同于整合两台车铣复合机床,大幅节省加工时间与作业人力,避免工件转序移动产生的误差。设备对薄壁管件可一次性完成内外孔加工,副主轴对接切断,保证工件加工圆度。最大回转直径  $\phi 580\text{mm}$ ,最大切削直径  $\phi 360\text{mm}$ ,卡盘端面距离 600mm, X/Z 轴行程 200/500mm,快速进给 24/24m/min。

**GP3015P 高速激光切割机床**

宁波海天激光机械制造有限公司 (展台号: E4-B001-4)



本品搭载高精度伺服系统与专用切割头,可实现薄板和中厚板的高速精密切割,支持自动上下料,连续作业能力强。X/Y 联动速度可达 170m/min,响应速度快,适合大批量订单生产;联动加速度 2.5g, X/Y 定位精度  $\pm 0.02\text{mm/m}$ ,高速加工不损失精度,可使客户生产效率和效益大幅提升 50% 以上。

### 3000T-A5i数控系统

北京凯恩帝数控技术有限责任公司 (展台号: W1-B301)



本品针对带 B 轴的五轴车铣复合、多通道车铣复合、多通道车削中心、走心机等高端设备设计,配置 15 寸显示屏,标配 4 个通道、20 个控制轴。系统搭载 V7 软件平台,支持五轴联动 RTCP 控制,采用场景式交互设计,内置 KUI 应用、编程向导、调试向导、桁架控制等功能,操作便捷,使用体验优异。

### GMC3050bu五轴桥式龙门加工中心

山东威达精工智能装备有限公司 (展台号: E7-A201)



本品由工作台、桥架、横梁、溜板、滑枕、润滑、冷却、气动、刀库等部分组成,工作台固定放置,承载性能优异,加工特性不受工件质量影响, X 轴运动由龙门横梁移动实现,行程可达 5000mm。Y 轴横梁采用两条重载滚柱式直线导轨副,刚性高、机体稳固,适合高速切削,驱动采用齿轮齿条传动,配合双电机加双行星

减速机电气消除,主从控制有效提升定位精度,搭配全闭环光栅尺实现全闭环控制,定位与重复定位精度高。Z 轴采用方滑枕结构,对称布置四条重载直线滚柱导轨,加密滑块设计,加工刚性与稳定性高。X/Y 轴采用进口高精度齿轮齿条,Z 轴采用进口滚珠丝杠高刚性组装,保证机床长期运行定位及重复定位精度。X/Y/Z 轴行程 5000/3000/1500mm, A 轴回转范围  $\pm 110^\circ$ , C 轴回转范围  $\pm 240^\circ$ , 两立柱间距 4000mm,工作台尺寸 5000 $\times$ 3000mm,最大载重 5000kg/m<sup>2</sup>,主轴最高转速 12500r/min,快移速度 30000/30000/25000 mm/min,切削速度 20000/20000/20000mm/min,定位精度 0.022/0.016/0.012mm,重复定位精度 0.018/0.012/0.008mm, A/C 轴定位精度 8/8",重复定位精度 4/4"。

### MK1632A数控万能外圆磨床

上海机床厂有限公司 (展台号: N3-B101)



本品执行高精度外圆磨床精度检验标准,适用于大批量轴类件外圆、端面加工,可搭配 FANUC、西门子、华数等多数控系统,配备 4 个数控轴,分别控制头架旋转、砂轮架旋转、砂轮架进给和工作台移动,多轴联动更好适配柔性制造、联动磨削等扩展需求。可配置电主轴 CBN 砂轮、修整滚轮、内圆磨具等,还可安装运维子系统平台采集机床数据,通过 4G 信号传输到服务器,为客户提供技术咨询、机床状态在线监控、机床远程运维等服务。磨削直径  $\phi 0\sim 320\text{mm}$ ,最大顶尖长度 500mm,最大工件重量 80kg,砂轮规格  $\phi 500\times 50$ ,可回转  $-15^\circ$  到  $+195^\circ$ ,砂轮电机功率 16kW,砂轮线速度 45m/s (可选 60m/s、80m/s、120m/s), X/Z 轴最小可编程增量 0.001mm,工作精度圆度 0.001mm,纵截面直径一致性 0.002mm,外圆粗糙度 Ra0.2 $\mu\text{m}$ ,圆弧粗糙度 Ra0.32 $\mu\text{m}$ ,端面粗糙度 Ra0.2 $\mu\text{m}$ 。

**数控切削刀具**

株洲钻石切削刀具股份有限公司 (展台号: E3-A101)



本品全新推出 YB3315 牌号不锈钢通用车削刀片, 采用低应力涂层技术的 TiAlSiN 基纳米涂层, 兼具高硬度与优异耐高温性能。创新采用独特三层结构 PVD 涂层设计, 实现涂层应力梯度变化, 提升涂层与基体的结合力与抗冲击破损能力, 确保刀片性能稳定可靠。搭配 MF、MM 等专用槽型, 适用于连续切削、断续切削等多种复杂工况, 全面适配各类不锈钢零部件车削加工需求。刀片 PVD 涂层抗氧化物温度  $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ , 纳米硬度  $\geq 36\text{GPa}$ , 与基体结合力  $\geq 90\text{N}$ , 可满足精加工、半精加工多种工况的不锈钢车削加工应用。

**台达CNC数控系统 NC5系列**

台达集团-中达电通股份有限公司 (展台号: W4-A103)



本品采用全新多核心处理器硬件架构, 运算性能较前代提升 7~8 倍, 可应对各种复杂加工场景, 实现高精、高速、高光洁表面加工。具备强大的多轴多通道控制能力, 最多可控制 4 通道、32 伺服轴与 8 主轴, 单一通道支持最多 16 轴伺服驱动器, 实现一机多任务。搭载高预读算法, 深度优化加工轨迹与进给率, 加工更精细, 支持 RTCP 刀尖追随功能, 加工轴剧烈位移时可修正刀尖轨迹与姿态, 保证刀尖点按指令轨迹运动。一键完成带宽增益调整, 无需专业人员协助, 有效解决换向刀纹等常见加工

问题。控制周期  $250\mu\text{s}$ , 命令精确度  $1\text{nm}$ , 高预读算法支持 4000 单节。

**NT-208SY卧式数控车床**

凯柏精密机械(嘉兴)有限公司 (展台号: W3-A313)



本品经 FEM 有限元分析模拟负荷变形状态, 轨道大跨距排列有效强化整体刚性, 结实结构确保底座强度与稳定性。采用硬轨设计, 刚性与抗震性大幅提升, 断续切削应用中抗震与稳定表现优异, 可长时间保证工件表面精度与尺寸稳定。主轴采用精密级轴承, 高速、高精、高刚性, 加大主轴轴承内径强化切削刚性, 主轴迷宫结构防止切削液侵入, 鳍状设计提升散热效果。X、Z 轴配备 C3 级精密滚珠螺杆与 P4 级精密轴承, 均有预拉装置消除长时间运转温升变位, 确保加工精度一致。标准配置伺服动力刀塔, 具备优异的车削、铣削、钻孔、攻牙等复合加工能力, 大幅提升加工效率, BMT 动力刀塔系统锁紧力强、稳定性高, 正主轴配置 8 吋夹头, 副主轴 6 吋夹头, 双主轴自动对接加工, 一次夹持完成工件前后端加工, 多工序一次完成。床身最大旋径  $\phi 660\text{mm}$ , 床鞍最大旋径  $\phi 460\text{mm}$ , 最大加工直径  $\phi 330\text{mm}$ , 最大加工长度  $545\text{mm}$ , 棒材作业能力  $\phi 52\text{mm}$ , X/Z/B/Y 轴行程  $220/630/460/100\text{mm}$ 。

**MVH800-5AXIS超声绿色立卧转换五轴联动加工中心**

汇专科技集团股份有限公司 (展台号: E7-B111)



本品具备高刚性、高精度、高稳定性特点, 高刚性体现在采用正 T 型整体床身与框式立柱结构, 丝杠两端固

定并预拉伸，采用优质灰铸铁与高刚性主轴；高精度体现在所有轴均标配高分辨率高精度进口光栅尺，全闭环控制，X/Y/Z轴定位精度  $6\mu\text{m}$ ，重复定位精度  $4\mu\text{m}$ ，B/C轴定位精度 8 角秒，重复定位精度 4 角秒，回转轴采用无反向间隙、无机械磨损直驱技术，高精度冷却技术减少热应变，确保加工精度一致性；高稳定性体现在关键结合面采用精密刮研技术，保证机床几何精度高且持久稳定，经有限元分析结构设计，关键件热对称性与结构稳定性最佳。X/Y/Z轴加工行程1,000/1,100/900mm；台面尺寸  $\phi 800\text{mm}$ ，最大承重1,500kg；标配HSK-A100电主轴，主轴最高转速10,000r/min，主轴额定功率S1/S6为50/70kW，主轴额定扭矩S1/S6为400/560N·m；刀库容量40把，最大刀具直径  $\phi 125\text{mm}$ ，最大刀具长度500mm，相邻不装刀刀具最大直径  $\phi 250\text{mm}$ ，最大刀具重量25kg，换刀时间（刀-刀）4.5s；直线轴X/Y/Z轴定位精度0.006mm，重复定位精度0.004mm。

题，联动加工效果好。A轴采用双力矩电机驱动，刚性强、无背隙、无磨损，主轴采用高刚性电主轴，启停效率高、切削效率高。三个直线轴标配海德汉光栅尺，两个旋转轴标配海德汉圆光栅，搭配西门子 ONE 系统，实现高精度五轴联动加工，主要针对民用航空行业小型叶片高效率加工。行程 800/650/650mm，电主轴 HSK A63/18000，功率 27/33kW，扭矩 100/120nm，快速移动速度 48/48/48m/min。



### 数控卧式复合磨床

浙江维克机械科技有限公司（展台号：N3-B315）



本品为先进的高精度加工设备，采用卧式结构，一次装夹可高效完成盘类、套类、筒类等复杂零件的平面、内外圆柱面及锥面的高精度磨削，适用于航空航天发动机转子等重要零件加工。外圆加工直径  $\phi 15\sim\phi 200\text{mm}$ ，内圆  $\phi 15\sim\phi 150\text{mm}$ ，外圆加工长度  $\leq 200\text{mm}$ ，内圆  $\leq 150\text{mm}$ ，工件重量  $\leq 120\text{kg}$ 。

### CMX-110U五轴联动加工中心

东莞市埃弗米数控（展台号：E4-A001）



本品采用高刚性箱中箱结构，横梁主体内外两层嵌套，经 FEA 优化实现高刚性，搭配高性能电主轴及双齿轮消隙传动的高刚性 AC 摇篮转台，特设扭转阻尼结构削弱扭转振动，结合丝杆中空冷却技术，可高效加工钛合金等难切削材料，兼顾效率与精度优势。采用高端 GTRT 机械传动技术，扭矩输出更强，刚性、稳定性与回旋精度更出色，广泛适用于人形机器人、汽车零部件、低空飞行器及通用机械等领域，尤其擅长高温合金、模具钢、铸铁等材料的粗精一体加工。X/Y/Z轴定位精度 0.006mm，重复定位精度 0.004mm，A/C轴定位精度 6 角秒，重复定位精度 4 角秒，快速位移速度 40/40/30m/min，最大切削进给率 20m/min，A/C轴快进速度 20/30r/min。

### DHM50X五轴卧式加工中心

南通国盛智能科技（展台号：E4-B201）

本品采用箱中箱卧加结构，转台沿底座 Z 轴移动，主轴箱沿滑板 Y 轴移动，滑板沿门框 X 轴移动，工作台沿转台 B 轴旋转，双力矩转台沿工作台 A 轴旋转。箱中箱布局有效抑制切削振动，延长刀具使用寿命，Y轴采用大电机直驱结构，动态性能优异，无平衡系统滞后问

**工装夹具**

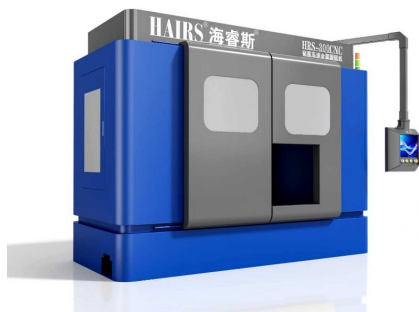
威克泰克精密机械（大连）（展台号：E2-A205）



本品采用 BHC™ 表面发黑硬化处理，使本体耐用性提升，消除缸体内刻痕与刮擦，避免密封失效与泄漏；承载表面经镀铬硬化处理，耐受度高，延长元件使用寿命；每个元件使用标准 G1/4 或 G1/8 L 系列接口，O 型密封圈端口安装无泄漏；采用专用密封圈与防尘圈，密封液体并防止污染物侵入，多数元件配备防尘圈，避免切屑损伤密封圈，密封圈在常用冷却液中性能稳定。系统压力 7MPa、35MPa，产品涵盖支撑缸、旋转缸、杠杆缸、直线缸、阀、泵、托盘分离器、旋转接头、无线液压监测系统、EOAT 夹爪、零点定位系统等，旋转缸夹紧力 2~33kN，支撑缸支撑力 4.4~35.6kN，直线缸夹紧力 2.73~76.1kN。

**HRS-300CNC 伺服高速金属圆锯机**

海睿斯（江苏）机械科技有限公司（展台号：W2-B431）



本品床身主体采用优质铸件与碳钢结合，提升设备精度平稳性与耐久性，电气及控制系统采用日本三菱品牌，自主研发控制程序，操作便捷、锯切精准，丝杆、导轨等关键部件原装进口，保证传动精度与锯切精度。独特齿轮传动系统设计确保切削平顺无杂音，提升切削效能、减少耗电量、延长锯切寿命。伺服主电机恒扭矩输出，反应速度快且节能省电，可 24 小时持续高效稳定工作。配备独特自动分料系统，锯切过程中分离料头、料尾与成品，提升工作效率。企业具备多工位卧式加工中心、五面

体龙门加工中心等设备，核心部件自主加工，生产流程与品质可控，加工精度高。锯切直径 170~300mm，圆锯片 840×3.8mm，转速 60~100r/min，配备主动式圆形钢刷清除锯片残屑，主夹钳采用液压式斜向及水平夹持，齿轮间隙补偿采用齿轮消除结构，切断进给与送料采用 AC 伺服马达 + 滚珠螺杆，主轴马达 37kW，送料方式为预排式 / 液压举升，送料速度 200~400mm/s，配备多级过滤油雾回收机，节能环保。

**GP400 可转位数控刀片磨床**

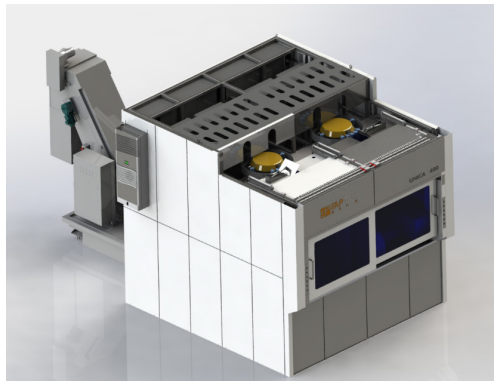
极云机械科技（上海）有限公司（展台号：W4-A281）



本品为自主研发设计的四轴联动磨削中心，采用德国力士乐数控系统和直线电机，结合高精静压主轴，适合多种材质的刀片加工，尤其在磨削金属陶瓷、陶瓷、CBN 和 PCD 等材质刀片时能取得更佳的刃口品质。设备配备发那科或纳智高柔性化六关节机械手上下料，使刀片上下料更灵活高效，大幅缩短磨削时间。

**UNICA400 多工位组合机床**

朗快智能科技（杭州）有限公司（展台号：N1-A201）

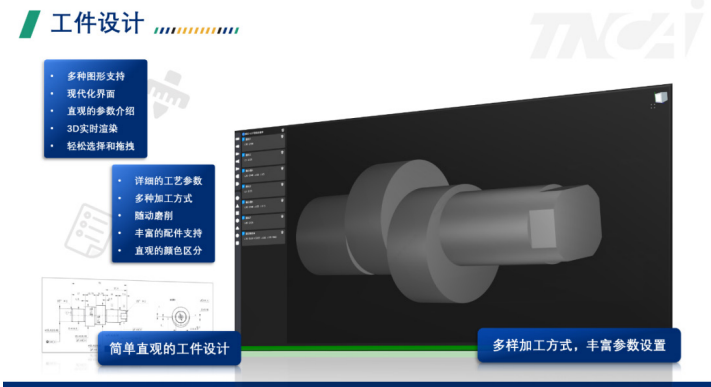


本品为高度集成的多工位组合机床，专为高效自动化生产线设计，采用龙门桁架一体结构，节省空间。机床采用卧式主轴加工空间，丝杠副传动，滑动 V 形导轨，双主

轴、双工作台、电主轴配置，定位精度 $\leq 0.01\text{mm}$ ，重复定位精度 $\leq 0.005\text{mm}$ ，通过直驱和闭环控制实现高精度。进给速度  $35\text{mm}/\text{min}$ ，主轴转速  $24000\text{r}/\text{min}$ ，具备半闭环或全闭环控制、刀具补偿、刀具监控、智能化监控、自动补偿、人机通信、自动管理、工业软件等功能。优化设计减轻运动部件重量，降低能源消耗，能源管理在待机时关闭冷却、液压、照明、显示等设备，采用高效电机提升能源利用效率。多通道数控系统集成车、铣、磨及自动化扩展功能，四主轴可独立控制与设置偏置，支持混流生产，提供多种转台与夹具选项，柔性极高，满足复杂零件高精度加工需求，适用于气动、汽车、新能源汽车、五金阀门、军工等领域。X/Y/Z 轴行程  $400/450/300\text{mm}$ ，加工范围  $400 \times 400\text{mm}$ ，工作台尺寸  $350 \times 350\text{mm}$ ，工作台数量 2 个，主轴锥柄型号 HSK-A63，主轴电机额定功率  $27\text{kW}$ ，额定扭矩  $72\text{N} \cdot \text{m}$ ，快移速度  $48/48/48\text{mm}/\text{min}$ ，数控系统为博世力士乐 XM4203，联动轴数 4/5，刀库为凸轮换刀 /  $4 \times 24$  把。

### TNCA多功能磨削控制软件

巴克兰软件 (展台号: W4-A181)

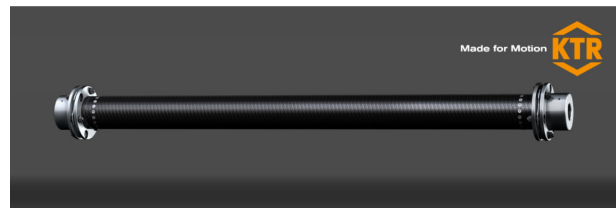


本品配备砂轮轮廓编辑器，支持直线和圆弧编辑，精确定义砂轮形状，是提升磨削工艺精度的关键步骤，可设计复杂砂轮形状并精细调整细节，满足特定工件加工需求。提供多样化磨削工艺，包括单次进刀、走刀磨、多次进刀、随动磨、内圆磨、内外圆螺纹磨等，单次进刀适合粗磨快速去料，随动磨适合精密零件精磨，兼顾加工效率与产品质量。可定制化机械结构，支持外圆磨床、复合磨床、立式磨床等多种设备，可按需定制磨床配件，提升操作灵活性。搭载三维模拟器，实时显示工件状态，模拟测试加工过程，提前规避问题，确保产品符合设计要求，实现高精度与高光洁度加工。支持 Windows 10/11 操作系

统，默认支持中英日德四种语言，可拓展更多语种，兼容普通外圆磨床、随动磨床、螺纹磨床等，支持 3D 模型创建编辑并智能生成 G 代码，用户界面直观简洁，支持 DXF 文件导入轮廓及砂轮。

### RADEX N 复合材料钢膜片联轴器

开天传动系统(浙江)有限公司 (展台号: W5-A503)



本品采用 CFRP 碳纤维复合材料与钢膜片结构，具备轻量化、高扭转刚性、长跨距、免维护、ATEX 防爆优势，广泛应用于精密机床、自动化、测试台、冷却塔、工业风机、化工、石油、石化、火电、水电、风电、造纸、印刷、包装、冶金、矿山、重型机械、船舶、海洋工程等高速长跨距场景。标准轴间距最长可达  $4900\text{mm}$ ，高强度碳纤维中间体，最高转速  $8000\text{r}/\text{min}$ ，可带中心出水，交货周期短，传递扭矩可达  $10000\text{N} \cdot \text{m}$ ，最大 DBSE ( $1500\text{r}/\text{min}$ )  $4900\text{mm}$ 。

### UV650五轴加工中心

永进机械(中国)有限公司 (展台号: W3-B301)



本品针对外形轮廓复杂的零件设计，切削性能出色、精度高，适用于航太、医疗、模具及一般零件加工，多工序整合节省厂房空间与生产时间，提升加工品质、精度与表面光洁度。采用自制 IDD 直结式主轴，内置精密陶瓷轴承，独特内部结构保证加工刚性与刀具寿命，三轴均采用精密滚柱线轨、大直径滚珠丝杠，马达直联传

动，高扭力、无背隙。高刚性米汉纳铸铁床身，超宽底座与框架肋设计，刚性与稳定性优异，标配 X/Y/Z/B/C 光学尺，满足高精度加工需求。ATC 采用绝对式编码器检出，机构稳定可靠，头部配备切削液喷管与吹屑装置，搭配天井与底座冲屑，清洁效果好。前门大尺寸设计，方便清洁维护、量测工件与上下料，右侧门可选配自动门，适配自动化设备，刀库置于机台左侧，配备维修门，方便刀具装卸。标配转速 12000r/min，可选 15000/20000r/min，主轴电机最大功率 17kW，三轴行程 620×520×460mm，工作台尺寸  $\phi 650 \times 520\text{mm}$ ，最大负载 300kg（水平  $0^\circ \sim 45^\circ$ ）/200kg（倾斜  $45^\circ \sim 90^\circ$ ），最大加工范围  $\phi 520 \times 330\text{mm}$ ，三轴快速移动 36m/min，三轴切屑速度 1~20000mm/min，标配刀库 40T，可选 48T/60T，设备重量 10000kg。

### 柔性工作站

武汉华中数控股份有限公司（展台号：W1-A111）



本品机器人支持高速 / 低速协作模式自由切换，平衡效率与安全，适配多样化生产需求；伺服电机搭配动力学技术实现  $\pm 0.02\text{mm}$  精度，兼顾精密抓取与高节拍加工，稳定可靠；机器人料仓一体化设计，紧凑省空间、移动便捷，轻松适配产线调整与狭窄车间；零门槛智能操控，拖拽示教搭配专用工艺包简化编程，仿真系统与信息化平台联动，快速部署、生产可视化。支持一拖一、一拖二、一拖三布局，一拖一搭配 1 台加工设备实现自动化作业，机器人臂长 1455mm，可避开机床主轴与操作面板，后续可扩展一拖二、一拖三；一拖二采用并排或直角结构，以机器人中心搭配两台设备，实现单品种大批量柔性自动化加工；一拖三采用品字形结构，以机器人中心搭配三台设备，占地小、机器人轨迹短、效率高。

### EZW11S三辊变中心距水平下调全液压卷板机

EZHONG Heavy Machinery Co., Limited（展台号：N2-B371）



本品采用高精度弯曲工艺，数字化控制，实现高精度端部预弯，连续卷制无直边，成形质量稳定。卷辊为高强度实心结构，刚性高、变形小、寿命长，适用于长期高负载运行，传动系统采用锻造高碳钢齿轮，耐磨可靠、运行平稳，整机整体厚钢板焊接，结构稳定、抗振性能好。规格型号 160×4200mm，屈服极限 360MPa，最大卷板宽度 4200mm，上辊直径  $\Phi 1450\text{mm}$ ，下辊直径  $\phi 1200\text{mm}$ ，上下辊材料 60CrMnMo，两下辊中心距 2350mm~1350mm，直边系数  $\leq 2$  倍板厚。

### CXT400立式五轴车铣复合机床

广东同慧智能装备有限公司（展台号：N5-B486）



本品车铣功能同等强大，整体结构重要部件经有限元分析，避免应力集中、减少后期变形，力学结构合理。采用立式安装，装夹方便，减少重力导致的变形，大功率小体积主轴干涉小、扭力大，可任意角度摆动，有多规格可选，特别适合圆盘类多面加工的异形件。最大工件回转直径 400mm，直线轴行程 700/400/550/550mm，定位精度  $\pm 0.006/300\text{mm}$ ，重复定位精度  $\pm 0.003\text{mm}$ ，最大钻孔直径  $\phi 32\text{mm}$ ，最大攻牙直径 M16mm。

HSK、BT、D-BT、SK德国戴博Diebold刀柄

东莞海康仪器设备有限公司 (展台号: W3-B282)



本品全系列按 DIN/ISO 标准生产, HSK 公差仅为标准下公差的 1/2, 确保锥孔配合精度, 高速型号达到 G0.4 动平衡, 50000r/min 下温升 < 20°C, 无振动、精度稳定。CentroGrip™ 高精度筒夹刀柄夹持范围  $\phi 1\text{mm} \sim \phi 20\text{mm}$ , 适配 3~20mm 刀具柄径, 径向跳动  $\leq 0.001\text{mm}$ , 筒夹  $\leq 0.002\text{mm}$ , 3×D 处总跳动  $\leq 0.003\text{mm}$ ; UltraGrip™ 3.0 强力刀柄夹持范围  $\phi 3\text{mm} \sim \phi 32\text{mm}$ , 夹持力最高达 4000N·m; 热缩刀柄径向跳动  $\leq 0.001\text{mm}$ , 无夹紧间隙, 适合高速切削, 适配 BT40/50、HSK-A63/A100, 夹持直径  $\phi 3\text{mm} \sim \phi 32\text{mm}$ ; 液压刀柄具备减震特性, 适配精密切削场景。

安德建奇激光刀具加工机床

北京安德建奇数字设备 (展台号: E5-A401)



本品 CL2-400 采用先进五轴联动控制系统与光纤激光技术, 搭配自主研发智能软件架构, 实现任意角度与复杂形状 PCD 刀具的高效高精度切割。设备搭载自动对焦、床身恒温控制及智能工艺记忆功能, 自动优化加工参数, 提升加工一致性与操作便捷性。A/B 轴采用力矩电机直驱与双支撑摇篮结构, 实现高速高精度分度, 保障多角度加工能力。一体化人机界面、模块化软件设计及加工程序记忆功能, 降低操作门槛, 支持快速上岗与批量加工, 全封闭防护、专业集尘与油冷系统保障长期运行稳定与工作环境安全, 助力客户提升刀具加工质量、缩短交付周期、增强市场竞争力。设备专为木工 PCD 刀具及部分汽车 PCD 刀具设计, 适用于高硬度、高耐磨材料的高精度成形与切割, 广泛应用于刀具制造、汽车零部件、精密模具等行业。整机外形尺寸 1700×1800×2290mm, 重量 3500kg, X/Y/Z 轴行程 300×400×300mm, A 轴旋转角度  $-210^\circ / +40^\circ$ , B 轴旋转角度  $\pm 360^\circ$ , 激光器功率 100W。

U800天车式摇篮五轴加工中心

普锐米勒机床 (展台号: W5-A432)



本品采用一体式高质量铸件床身, 天车式设计, 动态性能不受工件重量影响, A/C 轴采用 DD 马达直接驱动, A 轴为双 DD 马达驱动, Y 轴双同步驱动设计, 丝杆中空冷却。A/C 轴最高可承重 1200kg, X/Y/Z 行程 1000/1100/600mm, A 轴行程  $+30^\circ \sim -110^\circ$ , C 轴行程  $\pm 360^\circ$ , 工作台尺寸  $\phi 800 \times 700\text{mm}$ , 最大承重 1200kg, 工件最大尺寸  $\phi 1000\text{mm}$ , 主轴锥度 HSK A63, 转速 16000r/min, 功率 30/36kW, 扭矩 100/120N·m。

**LT-2LM 500 MSY车铣复合数控车床**

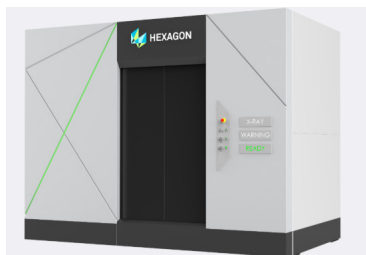
迈克罗迈帝克数控机械贸易 (展台号: N2-B362)



本品配备主轴与内置副主轴，Y轴功能搭配12工位伺服驱动动力刀塔，VDI30刀盘，伺服驱动C轴实现灵活四轴加工，重载型直线滚动导轨与滚珠丝杠，快速移动速度可达30 m/min。搭载机床智能互联系统，操作面板支持90°旋转，配备液压系统、集中式润滑系统、控制柜空调、液压排油管油冷器、副主轴冷却动力单元。主轴配备200 mm卡盘，副主轴配备165 mm卡盘及适配卡盘气缸，冷却系统完善，操作门联锁，配备隔离变压器。

**Super Volume 225工业X射线系统解决方案**

海克斯康制造智能技术 (展台号: W4-B101)



本品是高精度微焦点工业CT系统，配备自屏蔽机柜，符合国家辐射安全标准，全花岗岩机身稳定性与抗振性出色，搭配高精运动控制系统，灵活适配各类样品扫描需求。具备材料分析、失效分析、结构分析、缺陷分析、精密测量、逆向工程等功能，可在无损前提下检测样品内部结构，精确分析孔隙度、夹杂物、裂缝等缺陷，实现三维尺寸测量，分解复杂样品展示内部结构，直观清晰。广泛应用于压铸、电子、锂电、航空航天、增材制造、科研等领域。运动控制系统采用高速独立闭环芯片，保证高速高精运行，精密控制系统达到三坐标级水准，精准可靠，三坐标空间补偿技术大幅提升运行精度。主机平台全花岗岩机身稳定、恒温、减振，内置减振系统减轻外部干扰，保障数据准确。机械组件采用高精导轨丝杠与0.1 μm超高分辨率光栅尺，借助先进图像处理、三维重建及伪影消除技术，获得高清高精度图像，实现微小结构或缺陷的测量检测。

**HS-H500U五轴加工中心**

广东润星科技有限公司 (展台号: E5-A411)



本品经FEM有限元分析系统模拟优化，整体刚性提升，动态加工性能加强，结构紧凑、工作区域大、占地面积小、空间利用率高。主轴与电机直连设计，有效控制噪音、背隙、振动，攻丝品质高。机床大件采用树脂砂造型的高强度孕育铸铁，经二次退火处理，刚性与稳定性出色，配备24T圆盘式刀库，换刀时间1.9秒。可完成铣削、钻削、攻丝、镗孔等工序，配备五轴旋转工作台，一次装夹实现多面体加工，是模具、3C、通讯、汽车零部件等行业的理想加工设备。行程560/600/600mm，主轴端面至工作台面距离40~640mm，工作台尺寸φ320mm，最大载重80kg，主轴最高转速12000r/min，功率10kW，扭矩47N·m，切削进给速度1~24000mm/min，快移速度36/36/36m/min，定位精度0.006mm，重复定位精度0.002ARCSEC，重量5000kg，尺寸2330×3020×3020mm。

**平板式直线电机、U型无铁芯直线电机、力矩电机、EJX1260A快速直线伺服刀架系统**

长沙一派直驱科技 (展台号: W1-A181)

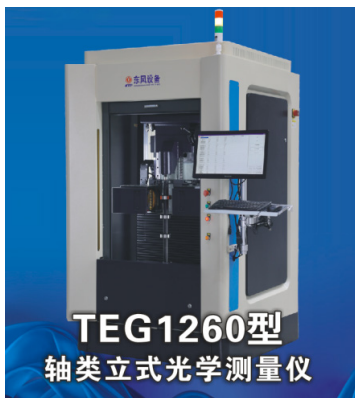


本品EPI系列电机高持续推力、高刚性、多速度可选；EPX系列电机高推力刚性、高防护、可配精密冷却组件、多速度可选；EPR系列电机高推力刚性、高防护、推力波动小、多速度可选；EPH系列电机高持续推

力比、大推力、高速度、高加速度、高刚性；EPT 系列电机高峰值持续推力比、结构紧凑、质量轻、高加速度；EPNU 系列电机高峰值持续推力比、高电机常数、高效率、无齿槽效应；EQD 系列力矩电机低速大扭矩、齿槽力矩小、内置反馈、全闭环控制、跳动小、精度高；EJX1260A 快速直线伺服刀架系统为活塞加工专用，可加工中凸变椭圆或其他复杂形状活塞外圆及立体靠模，配套活塞曲面数据处理软件，可编辑活塞异性外圆型面数据。

### TEG1260型轴类立式光学测量仪

东风设备制造有限公司 (展台号: N5-B001)



本品可准确快速检测汽车曲轴、凸轮轴、变速箱轴、电机轴等轴类零件，测量直径、倒角、圆弧、卡簧槽、轴向尺寸、螺纹尺寸、直线度、圆度、锥度、圆柱度、同轴度、对称度、径向跳动、轴向跳动、凸轮轮廓等参数。待测零件最大直径 120mm，最大回转直径 200mm，最大长度 600mm，最大重量 35kg，尺寸重复精度  $\pm 0.2\mu\text{m}$ ，角向重复精度  $\pm 0.001^\circ$ ，直径检测准确度  $(2+D/100)\mu\text{m}$ ，长度检测准确度  $(4+L/100)\mu\text{m}$ 。

### 德国Jager高速主轴

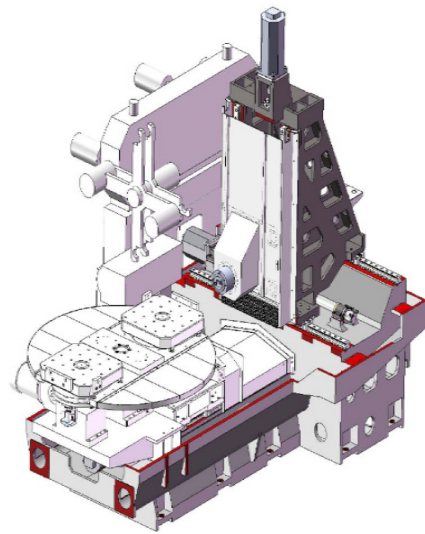
深圳市高精达精密工具有限公司 (展台号: W3-B203)



本品转速范围 24000~100000rpm，功率覆盖 0.18~67kW，搭载陶瓷混合球轴承，3 组布局搭配永久油脂润滑，锥体径跳  $\leq 1\mu\text{m}$ ，终身免维护。外壳采用不锈钢材质，直径 33~150mm，重量 1.2~4.6kg，高刚性轻量化，支持气动换刀与多规格刀柄，IP54 防护搭配 PTC 过热保护，风冷 / 液冷 / 中心冷却可选，冷却液压最高 150bar，适用于精密铣削、磨削等高端加工场景。

### MC-H50B卧式加工中心

扬州力创机床有限公司 (展台号: E4-A102)



本品床身、立柱、滑座均采用高质量铸铁，立柱为整体框式结构，热对称性与结构稳定性佳，床身为 T 型整体结构，安装方便，精度稳定性好，立柱沿 X 向移动，工作台沿 Z 向移动，符合高精度坐标镗床设计原理，保证主轴刚性与对准度。X/Y/Z 轴采用伺服电机、直线滚柱导轨、精密级滚珠丝杠，可在 32m/min 下实现快速移动与准确定位，低速无爬行，集中定时润滑减小导轨磨损，保证精度稳定持久。滚珠丝杠两端固定并预拉伸，搭配 60° 高刚性多联丝杠轴承组，保证传动刚度与精度。主轴组前后支承采用进口多联高精度组合轴承，精密加工装配保证回转精度，长效油脂润滑实现免维护，外循环强制冷却减少热漂移，提升加工精度稳定性。B 轴凸轮滚子回转工作台，定位与重复精度高，伺服电机驱动，最高回转速度 240° / s。工作台尺寸 500×500mm，行程 650/550/500mm，快移速度 32/24/32mm/min，进给速度 1~10000mm/min，承重 500kg，主轴转速 20~8000r/min，扭矩 95.5N·m，功率 15kW，刀库 40 把，工作台分度 0.001°，定位精度 0.012mm，重复定位精度 0.006mm，系统 FANUC-OI-MF，净重 9500kg。

**G5 2560 ABM五坐标数控龙门强力铣床**

中国航空制造技术研究院 (展台号: E7-B001)



本品具备高刚性、高动态性、高精度特点,是加工钛合金、高强度钢等复杂型面难加工材料零件的首选设备。采用工作台固定、龙门移动结构,五轴五联动,床身、工作台、立柱、横梁为铸造结构件,导轨副为高承载钢制导轨+滚动体,X轴齿轮齿条驱动,A/B轴蜗轮蜗杆+齿轮扇形齿条驱动,各轴全闭环控制。配备自主研发的高精密双摆角铣头,主轴为多级变速大扭矩高转速机械主轴,具备独立冷却系统。主轴功率30kW,扭矩1910N·m,A/B摆角扭矩17100N·m,4档无级变速,标准锥度BT50,转速10~4000r/min,工作台面积6000×2500mm,承重5t/m<sup>2</sup>,X/Y/Z行程6000/3000/600mm,A/B坐标行程±30°,工作进给速度0~6000mm/min,快移速度X/Y10000mm/min、Z6000mm/min,A/B进给速度0~300°/min,快移速度300°/min。

**CPG350数控可转位刀片周边磨床**

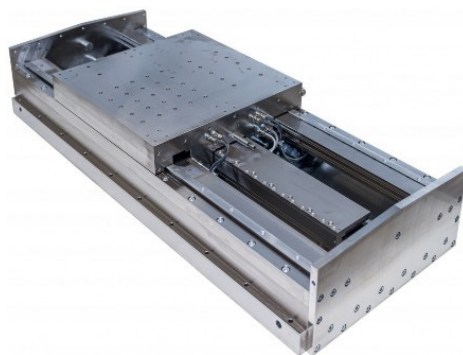
浙江良晓精密机械科技有限公司 (展台号: E3-A311)



本品适合ISO标准刀片高效高速加工,四轴联动控制,一次完成可转位刀片周边和单倒棱磨削。配备日本FANUC4关节机器人自动上下料,速度更快、示教更便捷,磨削区域全封闭,自动化区域与磨削区域干湿分离,占地面积小,操作面板简洁,虚拟按键替代实体键,使用更方便。主砂轮直径350mm,支持在线修整和离线修整。

**静压导轨演示台**

西技联贸易(北京)有限责任公司 (展台号: E2-B283)



本品静压导轨无跳动、低速无摩擦阻力,进给可小于0.1μm,最大载荷无磨损,精度永久保持,减震性优异,提升工件表面质量与刀具寿命,直线度0.1μm/100mm;静压丝杠无滚珠循环振动与噪音,双向静压预载几乎无反向间隙,最小步长达0.01μm,规格40~225mm,最大载荷120t。

**YKA3610滚齿机**

北京广宇大成数控机床有限公司 (展台号: N3-B301)



本品模数覆盖0.15~6mm,精度可达滚齿5级,配备二次对刀、去毛刺、托架、倒棱、工装防锈台、安全光幕等功能附件,工装夹具成熟。软件支持切向切屑、齿向锥度补偿、切深补偿、K型齿加工、断电保护,可配自动上料器与MES接口,自动化智能化程度高。滚刀架可转动±45°,滚刀最大轴向行程100mm,滚刀中心到头架中心距离10~110mm,C1/C2主轴端面到滚刀中心距离100~220mm,头架中心到床身底面距离1055mm,X/Z1/Z2轴进给速度1~10000mm/min,Y轴进给速度1~5000mm/min,滚刀转速0~1550r/min,C1/C2轴转速0~1040r/min,主轴电机功率3.57kW,C1轴电机功率3.65kW,机床总重3200kg。

### 超声波淬火硬化层深度测量仪

里博新仪精密电子（重庆）（展台号：E1-A285）



本品可测量中高频感应淬火硬化层、渗碳层、渗氮层深度，测量范围 0.5~40mm，可检测高达 100℃的高温工件，测量分辨率 0.001mm，支持水聚焦单晶、无水聚焦单晶、双晶三种传感器检测方式。

### HTC6513D卧式镗铣加工中心

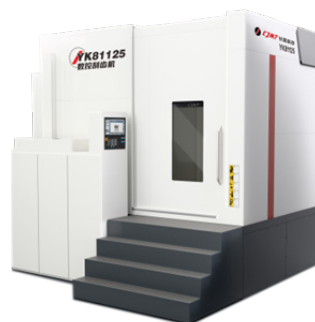
大连鑫弘机器制造有限公司（展台号：N5-B313）



本品为自主开发的重型卧式镗铣加工中心，采用 T 型动柱式、中置主轴箱结构，床身为整体 T 字型，工作台沿前床身横向移动为 X 轴，立柱固定在滑座上沿后床身导轨纵向移动为 Z 轴，主轴箱沿立柱导轨垂直移动为 Y 轴，镗轴轴向移动为 W 轴。可加工黑色金属、有色金属及部分非金属材料，完成粗精铣平面、圆柱面，粗精镗内外圆锥面、平面、回转曲面、切槽、车螺纹等工序。主轴直径 130mm，最大扭矩 2500N·m，转速 20~1500r/min，X/Y/Z/W 行程 2500/1800/1000/800mm，工作台尺寸 1800×2000mm，T 型槽宽度 28mm，回转方式 0~360°，最大承重 15000kg，定位精度 0.020mm，重复定位精度 0.015mm，电气总容量约 100kVA，重量约 38t。

### YK81125数控刮齿机

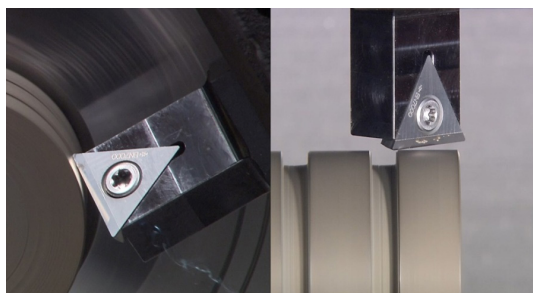
宜昌长机科技有限责任公司（展台号：E1-A103）



本品是集高效率、高精度、高自动化于一体的绿色环保型刮齿机床，六轴五联动，最大加工模数 16mm，最大加工直径 1250mm，加工精度稳定达到 GB5 级，具备刀具保护、齿形齿向修形、无退刀槽加工、圆柱刀具加工、硬齿面加工、自动对齿和对刀、温度自动补偿等功能，特别适用于风电、汽车、工程机械行业大中型内外圆柱齿轮加工，可加工直齿、斜齿、鼓形齿、锥度齿、多联齿。与传统齿轮加工相比，加工精度更高，效率达 3 倍以上，解决插齿、滚齿加工难题，支持高速干式切削，绿色环保，柔性更高。机床高刚性设计，直线运动轴采用镶钢导轨与滚动块预加载荷，无间隙、运动精度高。工件最大加工直径 1250mm，工作台直径 1250mm，最高转速 450r/min，电机功率 120kW，主轴最高转速 1600r/min，功率 58kW，刀柄接口 HSK-B160，刀架旋转角度 ±25°，X 轴进给量 880mm，Y 轴窜刀量 ±250mm，Z 轴进给量 850mm，刀架主轴中心到工作台中心距离 70~950mm，主轴端面到工作台面距离 250~1100mm，主机重量 24000kg。

### 硬刮削加工车刀杆

住友电工硬质合金贸易（上海）（展台号：W4-B103）



本品采用刀具相对旋转轴倾斜、横断加工回转轴工件的方式，切刃仅在切削瞬间接触，刀片磨损分散，磨损

量小，刀具寿命大幅提升，实现高效率、高精度面粗度加工。适用于淬火钢外圆高效率高精度加工，切削速度180~250m/min，进给0.2~1.0mm/rev，切深≤0.3mm，需搭配Y轴高刚性车床使用。

### SAMICK Guide Master精密导柱

天津太敬格德自动化技术 (展台号: W2-A433)



本品是直线运动轴承的特殊形式，滚针导套多角排列，实现高刚性、高精度、高速、长寿命，直线性与运行平稳性出色，可在设备震动环境下实现高速短距离往返运行，广泛用于半导体、充电电池模具、微型扬声器、汽车零部件生产设备，可根据客户具体需求定制。

### 碟形弹簧

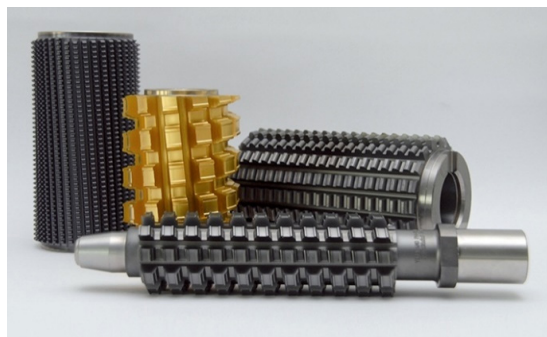
大连罗德工程技术有限公司 (展台号: W4-B484)



本品拥有近百年生产历史，全流程自主生产，模具设计制造维护一体化，除标准 51CrV4 材质外，备有抗磁性、防腐、耐高低温材料，实验室可按客户需求完成性能测试。产品外径 8.00~800mm，耐温-180~600℃，材质包括 51CrV4、H13、Inconel718 等，执行 DIN2092 设计标准与 DIN2093 制造标准。

### 丝锥、滚刀、拉刀

北京安达特工贸有限公司 (展台号: W4-B185)



本品为欧洲 VERGNANO 品牌产品，拥有 60 年精密刀具制造经验，设备更新与质量管控严格，产品精密高质量，享誉全球。材料采用 HSSE、HSSE-PM、硬质合金，尺寸 1~100mm，长度最大 500mm，螺距 0.25~6mm，可定制各行业非标丝锥。

### SF260H 高精密五轴复合加工中心

江西佳时特数控股份有限公司 (展台号: E6-A001)



本品是小型数控立式五轴五联动加工中心，集成五轴坐标磨削、高速镗铣、精密在线检测工艺，基于直线电机与气动平衡技术实现高速冲程磨削，具备高精度轮廓插补。工件一次装夹可完成多工序复杂加工，大幅缩短在制时间，可加工铝合金、钛合金、高温合金、不锈钢等材料，完成复杂型面、打孔、异型加工，保证多个加工特征相对位置精度。高速镗铣可替代坐标磨削粗磨、半精磨工

步，减少加工时间、提升效率、降低成本，具备五轴联动与高精度闭环控制，适合批量加工，可自动高效完成平面、孔、螺纹孔加工及复杂曲面五轴联动加工。工作台面积  $\phi 260\text{mm}$ ，最大工件回转范围  $\phi 340\text{mm}$ ，转台 T 型槽 12H8，最大载重倾斜 50kg / 水平 70kg，X/Y/Z 轴行程 700/500/360mm，A 轴转角  $\pm 120^\circ$ ，C 轴转角  $360^\circ$ ，主轴锥度 HSK-E40/HSK-E50/HSK-A50，转速 30000r/min，切削速度 24m/min，快移速度 60m/min，定位精度  $\leq 0.002\text{mm}$ ，重复定位精度  $\leq 0.001\text{mm}$ ，转台定位精度 6arc-sec，重复精度 4arc-sec。

### 风电大丝锥

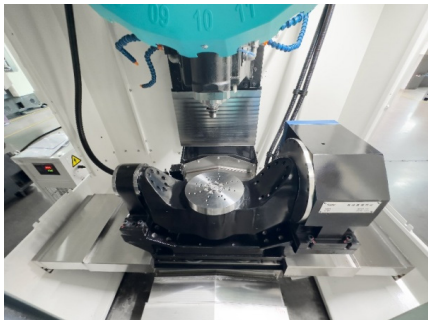
恒锋工具股份有限公司 (展台号: E3-A116)



本品专为风电行业齿圈、轮毂、主轴螺纹孔加工定制，采用高级粉末冶金高速钢，结合 30 年热处理工艺技术，材料性能优异。专用涂层技术融合硬度、韧性、耐磨性，表面光亮、摩擦系数低，可在高切削温度下稳定工作，延长使用寿命。采用特殊加长多刃槽型与贯通中心内冷孔，具备断屑功能，高压冷却液可将断屑排出，避免缠屑风险，刃口加强处理减少微崩，进一步延长寿命并保证螺纹孔加工质量。

### JTDR-400五轴加工中心

广东科杰科技股份有限公司 (展台号: W4-A201)

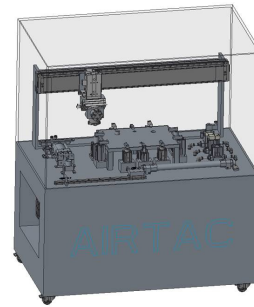


本品为自主研发制造的金属加工机床，专用于小型多孔零件高速铣削、钻孔、攻丝加工，广泛适用于 3C、汽车、仪器仪表、轻工轻纺、电子电器、航空航天、机械制造等行业中小型箱体、盖、板、壳、盘类零件。配备自主

研发 DD 直驱高速转台，精度高、转速快、效率高，可多角度定位快速加工，铣削效果突出，系统性能强大稳定，人机界面友好。高速换刀系统换刀速度快，设备移动速度高，缩短空移时间，高速高效适合批量加工，搭配知名品牌数控系统，可靠易用。

### 机床行业解决方案

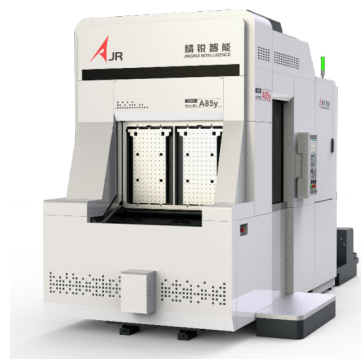
宁波亚德客自动化工业有限公司 (展台号: W4-B416)



本品气动夹具瞬时响应、恒压夹持，保障工件高速切削稳定；推刀气缸大推力、断气保持，换刀快速安全；直线导轨微米级导向、抗振设计，支撑机床微米级定位；流体控制阀适配空气、水、油等多种流体，精准控制冷却液系统，多重技术融合，为高精度加工场景提供全面解决方案。

### A85y翻板加工中心

沈阳精锐数控机床有限公司 (展台号: E6-B305)

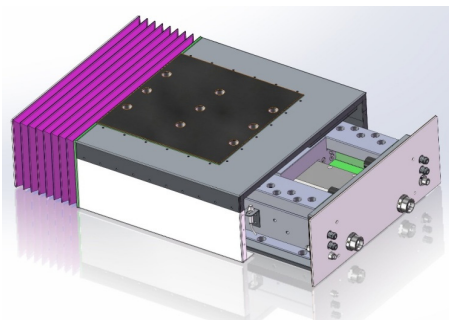


本品专为板类铝合金高效切削与柔性生产线组线开发，是高速、高精、高效五轴卧式加工机，卧式布局，零件水平姿态装夹、竖直姿态加工，十字滑板、双工位交换工作台、顶置刀库、后排屑、操作侧置布局更利于组线。由三个直线轴、旋转工作台、单摆头组成五轴加工，一次装夹完成铣、钻、镗、铰、攻丝、复杂曲面等多面多工序加工，特别适合航空、航天、电子、3C 行业铝合金结构件。具备高动态性能，1g 加速度下重复定位精度

4  $\mu\text{m}$ , 30kW/24000r/min 大功率高速电主轴, 双工位交换台, 排屑顺畅、易操作、可组线, 金属去除率提高 2~6 倍, 表面纹理平滑、轮廓度与合格率更高。工作台尺寸 400×800mm, 最大毛坯尺寸 500×800×200mm, 主轴扭矩 29N·m, A 轴行程  $\pm 30^\circ$ , B 轴行程  $\pm 360^\circ$ , 重量 9.5t。

### 液体静压导轨

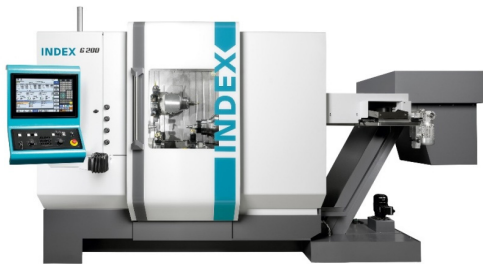
常州市道铨精密机械有限公司 (展台号: N1-B412)



本品运动部件完全悬浮在油膜上, 无金属接触, 从根本上消除爬行、粘滞现象, 实现纳米级平滑运动; 油膜均匀、误差均化、承载面积大, 几何精度、运动直线度、静态刚度极高; 无磨损, 理论寿命无限, 长期保持原始精度, 维护成本极低; 油膜阻尼优秀, 吸收隔离振动, 加工测量稳定性极高。适用于超精密机床、坐标测量机、光刻机、天文望远镜等对平稳性、精度、长期稳定性有极致要求的场景。重复定位精度 1  $\mu\text{m}$ , 定位精度 3  $\mu\text{m}$ 。

### INDEX G200车铣中心

因代克斯贸易(上海)有限公司 (展台号: W5-A233)



本品配备两个相同工作主轴、三个刀塔, 全部刀塔带 Y 轴, 上刀塔集成铣削主轴并带旋转 B 轴, 兼具自动车床高效生产能力与精密铣削加工灵活性, 工作空间突出, 紧凑布局与高效生产保障经济性。三个刀塔与铣削主轴在垂直床身优化组合, 工艺可靠性高, 43 个刀位减

少生产中断。强力铣削主轴采用静压轴承技术, 钻铣精度高, 无需动力刀座, 成本效益好。机床刚性、热稳定性、动态稳定性优异, 减震性好, 保障工件品质。主轴副主轴通孔直径 65mm, 最高转速 6000r/min, 每个刀塔 14 个刀位, VDI25 刀柄, 功率 9kW, 扭矩 16N·m, 最高转速 7200rpm, 上部刀塔 HSK40 刀柄, 功率 22kW, 扭矩 52N·m, 转速 7200r/min, B 轴摆角  $+95^\circ / -275^\circ$ , 机床集成桁架自动下料与工件输送装置, 配备 Siemens 840D SolutionLine 操作系统。

### B2-GPD20双驱式数控高速CBN磨床

北京第二机床厂有限公司 (展台号: N3-A201)



本品针对新能源汽车、减速机、通用机械轴类加工自主研发, 面向新能源汽车电机轴高精度、高效率、大批量需求创新磨削工艺技术, 工件一次装夹完成全部轴颈磨削, 相比传统二次装夹工艺, 加工效率与精度显著提升。集成 CBN 砂轮高速磨削技术, 结合高速主轴、直线驱动、刚性提升, 磨削速度与效率更高, 材料去除率倍增; CBN 砂轮硬度高、耐磨性好, 寿命优异, 减少换刀次数; 特别适合淬硬钢、高速钢、硬质合金、陶瓷等高硬度难加工材料。最大磨削直径 200mm, 长度 200mm, 顶尖间最大重量 100kg, 中心高 215mm, 四轴数控, 最小进给量 0.001mm, 砂轮线速度 120m/s, 圆度 0.002mm, 纵截面一致性 0.003mm, 外圆粗糙度 Ra0.2。

### MB11032R90自动折弯机器人工作站

南通麦斯铁数控机床有限公司 (展台号: W2-A315)



本品自主研发折弯机、数控系统、机器人软硬件，将折弯机与机器人完美融合，实现拆垛、上料、折弯跟随、码垛全自动折弯。机器人通过 TCP/IP 控制折弯机，操作简便，配套 MR-BEND 折弯软件与 MB-ROBERT 离线编程软件，联合库卡开发 6 自由度折弯机器人专用随动软件，结构优化、匹配性好、速度快、精度高。MB-ROBERT 可自动生成模具、折弯工步、NC 代码，快速校准坐标，无需示教，切换产品在电脑端完成，解决多品种小批量加工难题。设备具备视觉识别、离线编程技术，对接 MES 系统，可远程监控生产线。机器人型号 MR90，6 自由度，最大负载 90kg，工作半径 2281mm，重复定位精度  $\pm 0.1\text{mm}$ ，装机功率 17.25kW。

### SV328 CNC 走心式数控车床

威亚精密机械有限公司（展台号：W3-A421）



本品为上市 8 年的第二代升级机型，最大加工尺寸 32mm，重切削能力与速度表现优异，可满足复杂工件加工需求。设备采用高稳定性结构设计与大功率动力刀具，搭配油冷主轴与油压缸夹持系统，动力刀具系统可配特殊刀座，支持无导套模式与导套模式快速切换。控制系统采用发那科 32iB PLUS，总控制轴数为 8 轴，正副主轴均采用内置式 5.5kW 电机，最高转速 8000r/min，侧钻与端钻电机功率 2.5kW、转速 8000r/min，刀具工位配置丰富齐全。设备外形尺寸 2880 × 1400 × 1900mm，整机重量 3200kg。

### UM3218 龙门五轴加工中心

宁波天瑞精工机械有限公司（展台号：W4-A113）



本品整机采用高品质铸铁材质，并经过三次时效处理，精度保持性出色。X 轴配置两根滚柱直线导轨与 10 颗滑块，承载能力优异；Y 轴采用高精度重载滚柱导轨并做阶梯式布局，刚性进一步提升；Z 轴配备四根滚柱导轨与 12 颗滑块，超大跨距结构抗振性极佳。X/Y 轴采用伺服电机与滚珠丝杠直联驱动，Z 轴采用同步带减速与滚珠丝杠预拉伸结构，可消除热伸长，提升传动刚度与精度稳定性。设备采用直驱双臂摆头，无背隙，最高转速 60r/min，可按需选配不同规格摆头与主轴；B/C 轴标配圆光栅，五轴防撞响应时间小于 10ms，可有效保护刀具与工件；主轴采用蓄能器平衡结构，精度表现最佳。X/Y/Z 轴行程 3200/2500/1000mm，主轴最高转速 18000r/min，主轴马达功率 25kW。

### Telesis 光纤激光打标系统 XpressMark

泰尔盾（上海）标识技术有限公司（展台号：W4-B506）



本品具备高效、多样、优质的设计特点，采用光纤光源实现精准清晰的永久性标识打标，可刻印字母、数字、序列号、复杂图形等内容。设备零部件坚固耐用，可适应严苛工业环境，标准化参数设定确保打标效果稳定一致。设备简化安装设置流程，结构紧凑易于集成到自动化产线，标准化通讯接口兼容性强，搭配 Merlin® 专利软件，操作简单方便，可用于精密件与紧固件的标识加工。

**HALLER-M3五轴刀具磨床**

苏州哈勒智能装备有限公司 (展台号: W4-A102)



本品 X/Y/Z 轴采用高精度直线电机, 推力密度高, 并配备全闭环高精度海德汉直线光栅尺, 稳定性与持久度表现出色; 采用高扭矩磨削电主轴, 加工速度快、状态稳定、损耗低; 工件与砂轮可实现全方位自动在线测量, 确保刀具加工一致性与精度。设备采用 NUM 控制系统与 NUMROTO 专业磨削软件, 操作简单易懂, 并配备个性化操控面板; 搭配托架与顶尖可实现超长工件磨削, 最大加工长度可达 340 (380) mm。X/Y/Z 轴行程 450/205/340mm, 可加工刀具直径 1~32mm, 最大可修磨刀具直径 200mm。

**MDF转位工作台**

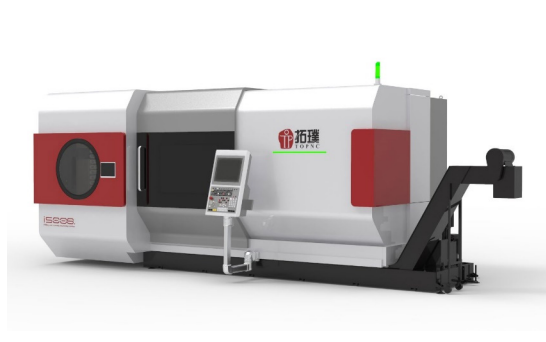
帕斯卡株式会社 (展台号: N2-A421)



本品采用滚轮驱动与滚动传递结构, 无背隙、无制动, 可实现高速化与免维护运行。相比传统滑动蜗轮结构, 滚动滚轮无磨损, 无需调整背隙, 可长期保持精度; 分度完成后无需锁紧放松动作, 可立即进行加工, 缩短生产节拍, 适合多分度加工场景。设备内置油气压 9 回路与切削液 1 回路旋转接头, 输出轴直径 130mm, 中心高度 150mm, 最高回转速度 50r/min, 分度精度  $\pm 20$  arc. sec, 重复定位精度 10 arc. sec。

**HMT-i500S双主轴五轴车铣复合加工中心**

上海拓璞数控科技股份有限公司 (展台号: E5-B201)



本品采用车主轴 + 独立铣主轴 + 液压尾顶结构设计, 车削最大直径  $\phi 500$ mm。在原有 i500 机型基础上新增副主轴, 可实现零件一次装夹全部工序加工完成; 同时扩容刀库、加大 Z 轴行程, 可加工最长 1500mm 的棒料, 适用于航空航天、机床工具、汽车制造、真空转子、医疗器械、通用机械等行业复杂零件的高效批量精加工。X/Y/Z 轴行程 500/200/1500mm, 最大车削长度 1500mm, 主轴最高转速 12000r/min, 刀库容量 48 把, 设备重量 11t。

**JL-GP700B 双面研磨机**

湖南金岭机床科技集团有限公司 (展台号: N5-A412)



本品采用模块化设计, 床身采用 HT250 铸铁并经自然时效处理, 刚性、吸震性与热稳定性优异。控制系统采用 DELTA PLC, 搭配触摸屏人机界面, 具备故障自动检测功能; 配备日本索尼接触式测量装置, 分辨精度 0.001mm, 支持工件在线测量。立柱与下转动盘均经过人工精密刮研, 下转动盘采用 NSK 轴承, 运行稳定可靠; 升降与进给机构采用亚德客气缸与电气比例阀, 实现压力精准控制; 摇臂配备缓冲装置, 定位平稳准确。电气系统采用立式封闭箱体, 配备电抗滤波与恒温空调, 运行稳定。上下研磨盘直径  $\phi 700$ mm, 配备 6 个游星轮, 太阳轮转速 1~50r/min, 研磨盘转速 2~105r/min, 外形尺

寸 2100×1900×2500mm。

### VERTIMASTER V希斯立式车铣复合加工中心

希斯机床制造厂有限公司 (展台号: W5-A483)



本品集成车削、钻孔、铣削等多种工艺, 单次装夹即可完成多工序复合加工, 大幅节省加工时间, 可对直径最大 3 米、重量最大 20 吨的工件进行精密高效加工。设备配备自动换刀与自动换头系统, 可快速适配不同生产需求; 采用双立柱结构, 并提供带附加数控轴的可移动工作台选项, 柔性 with 扩展性更强。回转工作台直径有 2000mm 与 2500mm 两种规格, 最大加工直径分别为 2500mm 与 3000mm, 龙门跨距分别为 2700mm 与 3200mm, 工件最大承重分别为 16t 与 20t, 适用于大型盘类、环形、轮毂类零件加工。

### Perfect 高端影像测量仪

西安爱德华测量设备股份有限公司 (展台号: W1-A212)



本品为全自动光学影像测量仪, 三轴采用 CNC 全闭环控制, 运行稳定、定位精度高。机身采用 00 级泰山青花岗岩底座与立柱, 环境影响小、精度保持性好; 底部支撑、电控系统与支架一体化设计, 并配备滚轮方便短距离移动。三轴均采用高精度直线导轨与滚珠丝杠传动, 搭配

进口光栅读数系统, 分辨率高、定位精准。光源支持可控 5 环 8 区表面光、轮廓光与同轴光, 具备自动对焦测高与自动变倍镜头, 可选配 RENISHAW 接触式测头与点激光扫描测头, 广泛应用于模具、五金、电子、面板等行业精密测量。

### SRG-2200 表面粗糙度仪

非思图测量仪器(北京)有限公司 (展台号: N2-B503)



本品为第二代便携式表面粗糙度检测设备, 精度高、适用范围广、操作简便、性能稳定, 可检测各类金属与非金属材料。配备 1.14 英寸 IPS 真彩显示屏, 可一键切换 Ra、Rz、Rq、Rt 等参数, 并同步显示取样长度。除平面外, 还可检测外圆柱面、外圆锥面、沟槽及大于 80×30mm 的凹面结构, 适用于质检、装配、巡检等多种现场检测场景。

### SGR-800CNC 数控卧轴圆台磨床

浙江固本精密技术有限公司 (展台号: N3-B113)

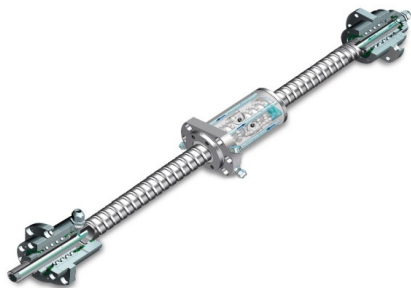


本品采用液静压回转工作台, 可平稳回转并实现 ±1.5° 微幅倾斜, 适合高精度曲面磨削加工; 配备大直径轴承式主轴, 刚性优异, 可满足重切削与高精度加工要求。回转吸盘直径 φ800mm, 最大工件载重 400kg, 主轴中心至吸盘表面距离 520mm, 加工空间充裕。工作台回转速度 20~150r/min, 主轴转速 50~2300r/min, 砂轮

规格  $\phi 400 \times \phi 127 \times 20 - 60\text{mm}$ ，各轴独立伺服驱动，定位准确、响应迅速，快移速度可达  $1500\text{mm}/\text{min}$ 。设备适用于模具、光学玻璃、陶瓷、半导体等材料的高精度平面、曲面与非球面磨削。

### DKF中空强冷滚珠丝杠副

南京工艺装备制造股份有限公司 (展台号: N3-A115-1)



本品采用创新中空内冷结构，丝杠与螺母内部冷却通道可在高速运转时高效散热，配合螺母变位预紧技术，在  $60\text{m}/\text{min}$  高速运行状态下仍可保持微米级精度稳定，确保机床在高负荷、高速加工中保持优良的动态性能与加工质量。该结构可有效解决高速定位过程中滚珠丝杠热伸长问题，轴端密封结构与支持轴承实现标准化设计，同时提供螺母冷却结构，可满足长丝杠高效冷却需求，覆盖从小型到大型机床的各类高精度定位场景。

### ECM-System Alpha Smart电化学加工设备

斯托巴精密机械零部件有限公司 (展台号: W5-A218)



本品是德国 Stoba 集团推出的入门级高精度电化学加工设备，主要用于精密零部件的电化学去毛刺与镜面抛光，结构紧凑、可移动、性价比高，适合样件试制、小批量加工、实验室及科研机构使用。电解液采用硝酸钠或氯化钠溶液，配备液位与温度监测模块，电源规格为  $15\text{V}$  / 最大  $300\text{A}$ ，可完成去毛刺、成型加工、深孔钻削、交叉孔处理等典型 ECM 工艺。

### 沃尔德FMP-LN套式方肩铣刀

北京沃尔德金刚石工具 (展台号: E3-A111)



本品刀盘采用高强度锻造合金钢经一次硬铣成型，刀片安装槽精度高于  $0.01\text{mm}$ ，刀片制造公差小于  $0.01\text{mm}$ ，装配后刀尖轴向跳动小于  $0.02\text{mm}$ 。设备操作简单，锁紧后即可投入使用；刀片支持立卧两用，可用于面铣与方肩铣加工，8 个切削刃可充分利用，经济性突出。产品专为铸铁与淬硬钢设计，提供半精至精加工的多种刃口形式与 PCBN 材质可选，精加工表面粗糙度优于  $Ra0.8$ ，可实现以铣代磨工艺。密齿设计进一步提升金属去除率，加工效率更高。

### THW1000-C卧式五轴加工中心

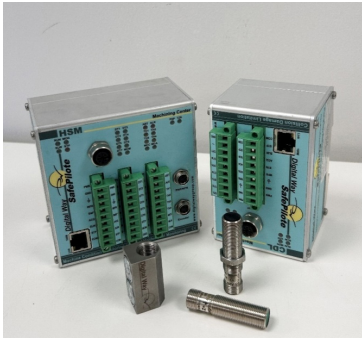
山东豪迈数控机床有限公司 (展台号: E4-A201)



本品采用墙式结构设计，刚性与稳定性优异， $45^\circ$  斜交摆头搭配大扭矩电主轴，可高效加工难切削材料，同时具备车削功能，一次装夹完成车、铣、镗多工序加工，配备交换托盘可进一步提升生产效率。工作台最大承重  $2250\text{kg}$ ，采用热对称结构、全闭环控制与热补偿功能，确保高精度稳定输出。X/Y/Z 轴定位精度  $0.008\text{mm}$ ，重复定位精度  $0.005\text{mm}$ ，A/B 轴定位精度  $7''$ 、重复精度  $4''$ 。电主轴扭矩达  $560\text{N} \cdot \text{m}$ ，快移速度  $50\text{m}/\text{min}$ ，车削最高转速  $500\text{r}/\text{min}$ ，工作台采用直驱设计，响应速度更快。行程  $1300/1300/1100\text{mm}$ ，B/C 轴行程  $-30 \sim 180^\circ / 360^\circ$ ，主轴最高转速  $10000\text{r}/\text{min}$ ，刀库容量 90 把。

### SafePilote主轴机械性能监测及碰撞防护系统

上海捷卫机电设备有限公司 (展台号: W3-B181)



本品基于振动加速度传感器与微型处理芯片, 数据处理速度更快、信号屏蔽效果更好, 精度与响应速度大幅提升。主轴碰撞信号可在 0.5ms 内被检测并触发急停, 可在 60% 的碰撞事故中完全避免主轴损伤, 减少 80% 的碰撞损失。设备独有的 MCM 功能可实时监测主轴内部零件机械性能, 自动建模解析频谱信号, 内置标准库可提示部件磨损与更换周期, 单台独立使用数据精准可靠, 让设备维护更科学, 大幅降低保养成本与停机损失。设备采用 3 轴加速度传感器, 分辨率 4mg, 监测范围  $\pm 16g$ , 采样频率 4000Hz。

### CNC35-TDG1000数控螺纹磨床

天津睿丰精密机械有限公司 (展台号: E2-B482)



本品主要用于精密螺杆、滚珠丝杠、丝锥、滚刀、螺纹铣刀等产品的高效精密磨削加工, 适合大批量生产, 具备高精度、高效率、低成本的优势。床身采用 FC30 铸铁材质, 全硬轨结构、精密铲花与液静压滑道, 运动平稳、精度高、振动小、使用寿命长。砂轮主轴为液动压结构, 具备高精度、高刚性、高阻尼特性, 切削能力强。设备采用高刚性斜角滚柱轴承与伺服 C 轴, 顶针可旋转可固定, 夹持力可调, 并配备二段式油压自动装置。砂轮可采用金刚石滚轮与钻石笔双方式修整, 采用发那科系统

与专用磨削软件, 对话式操作简单易用。工件最大旋径  $\phi 360mm$ , 两顶心间距 400mm, 可磨削长度 200mm。

### 精密直线导轨副、滚珠丝杠副

无锡贝斯特精机股份有限公司 (展台号: N1-B316)



本品直线导轨重复定位精度达微米级, 摩擦系数 0.001~0.003, 动力损耗小, 多列滚道与优化接触角设计可承受多方向复合载荷, 刚性与抗振性强, 关键部件经渗碳淬火处理, 使用寿命长、维护工作量小。分为滚柱型 BR 与滚珠型 BQ, 宽度 15~65mm, 精度等级 3 级以上, 单根最长可达 4000mm。滚珠丝杠传动效率超过 90%, 启动力矩小、无爬行现象, 可实现微量进给与高速运行, 预紧结构消除间隙, 定位精度达 P3 级以上, 双螺母预紧结构刚性出色, 公称直径 16~63mm, 最大长度 2000mm, 广泛用于机床、机器人、精密检测设备。

### 阿诺-Loong龍系列铣刀

苏州阿诺精密切削技术 (展台号: W4-B202)



本品包含三款主力机型, 全面覆盖从高效粗加工到镜面精加工的各类场景。经济型平面铣刀 M1345-ON06/SN17 兼容八边形与四边形刀片, S 形刃口具备强劲深切削能力; 方肩铣刀 M2390-TN11 采用 6 刃全周精磨刀片, 跳动控制严格, 可轻松实现镜面光洁度加工; 多功能方肩铣刀 M2390-XO 采用闪电外观设计, 刀尖圆角 R0.2 至 R6.4 规格齐全, 适应性极强, 是复杂加工场景的全能型选择。

**JW-U500五轴加工中心**

陕西精纬鸿博数控设备有限公司 (展台号: E5-A183)



本品为立式高性能五轴加工中心,适用于 3C、中小型叶轮、精密模具等行业精密零件加工。机身经有限元分析优化,采用高品质铸铁龙门骨架并经退火处理,结构稳定、不易变形。配备 DD 电机直驱摇篮五轴与铰纳克 N5E 系统,可实现五轴联动与四轴半加工。三轴丝杆导轨采用日本 THK 品牌,12mm 导程丝杆带尾端预拉结构,确保加工精度。标配 12000r/min 高速铣削主轴,内部循环冷却配合外部油冷机,快速散热保证尺寸稳定与使用寿命。系统采用华中 848D, BBT14 主轴,24T 刀库,工作台直径 350mm,载重 250kg, Z 轴采用氮气配重结构。

**LWX5数控螺纹磨床**

北平机床(浙江)股份有限公司 (展台号: N3-B111)



本品主要用于 M0.8~M20 丝锥直螺纹、锥螺纹、公/英制螺纹、挤压丝锥的单线与多线高效精密磨削,广泛适用于螺杆、螺纹环规、蜗杆、航空紧固件、医用接骨螺丝等产品。床身采用天然大理石材质,吸震与抗热变形能力突出;直线轴采用直线电机驱动,搭配专用夹持系统,确保磨削刚性、精度与工艺灵活性。X/Y 轴最大行程 290mm, X1/Z1 轴 80mm, A 轴  $\pm 15^\circ$ , C 轴最高转速 1000r/min, 直线轴最大速度 20m/min, 控制分辨率 0.001mm, 最大工件长度 250mm, 磨削长度 100mm。

**柔性机器人测量机**

无锡恩梯量仪科技有限公司 (展台号: E1-A382)

全自动测量机



本品核心测量精度达微米级,搭载环境自适应算法与数字化校准技术,在复杂车间环境下可保持长期稳定。全系列配备边缘计算模块与多传感器融合技术,可实时采集分析数据,无需云端即可完成质量判定。支持 SPC 统计分析与波动预警,兼容 OPC UA 协议,可对接 MES 系统,实现从事后追溯到事前预防的质量管控升级。无线手持量规采用双模传输,数据零延迟,报告生成效率提升 80%。界面简洁易用,支持远程诊断,2 小时快速响应服务,广泛用于汽车、航空、电子等行业精密检测。

**pickup400系列高速铣床**

奥地利魏因加特纳机械制造 (展台号: E2-B314)



本品是塑料机械螺杆加工专用高速铣床,为 Classic 系列升级版,融合 mpmc 成熟工艺与创新设计,搭配棱形爪中心架、稳定床头箱与尾座系统,可稳定加工复杂几何形状螺杆。设备可加工直径 160mm 至 400mm、长度 1 米至 6 米的螺杆与机筒,在大小螺杆加工中均实现最优经济性,凭借国际专利技术与稳定可靠性能,成为全球塑料机械行业首选加工设备。

### EXPERT12108系列高精度移动桥式三坐标测量机

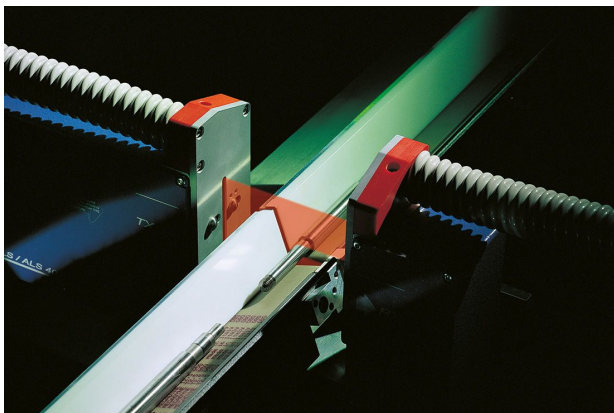
西安力德测量设备有限公司 (展台号: W1-B315)



本品为新一代移动桥式三坐标测量机，上下料空间开阔，采用自适应金属摩擦传动，消除齿形效应与震荡现象，传动刚性更高，特别适合扫描测量应用。三轴采用矩形导轨与四面环抱式预压紧空气轴承，运行平稳性更佳；双层立柱结构可降低温度影响，环境适应性更强。底座可兼容高效被动隔振与主动空气隔振，满足强震动厂房与在线测量需求。设备外形尺寸 2.2m × 1.8m × 3.1m，精度约 1.7 μm，重量 2.9t，最大承重 1.5t。

### 通过式激光测量系统 Aeroel GRINDLINE+.X

马波斯测量设备科技有限公司 (展台号: W3-B201)



本品安装于磨床出料端，采用 Xactum 激光测头，工件清洁后沿轴线进行数百次扫描测量，软件智能提取有效数据，可识别斜面、凹槽、螺纹、通孔等结构，自动忽略切削液干扰。系统可根据测量值自动补偿砂轮磨损，确保尺寸稳定，超差零件自动识别剔除。测量数据可存储、统计、打印，并支持以太网与 RS232 远程通讯。测量区域 40mm，可测直径 0.06~38mm，分辨率最高 0.01 μm，线性度 ±0.5 μm，重复精度 ±0.1 μm，激光波长 650nm，设备重量 4.2kg。

### HLP6300双工位高速卧式加工中心

杭州蕙勒智能科技股份有限公司 (展台号: N1-B201)



本品采用一体式高刚性箱式重型床身与优化加强筋结构，XZ 轴采用大跨距 SP 级高精密滚柱线轨，运动稳定性更佳。斜置式框架立柱搭配高低轨设计，切削力传递路径更短，刚性与稳定性显著提升。轻量化高刚性主轴箱动态响应更快。三轴采用 C3 级精密滚珠丝杆，两端固定预拉并配合螺母冷却结构，有效控制热伸长，保证精度与持久度。床身集成双螺旋排屑装置，排屑迅速，抑制热变形。X 轴行程 1050mm，Y 轴 900mm，Z 轴 1000mm，工作台 630 × 630mm，最大承重 1200kg，主轴 BBT50，最高转速 10000r/min，功率 33/49.5kW，最大扭矩 630N · m。

### CT5 Pro双主轴 双刀塔车铣复合加工中心

纵晟(上海)精密机械有限公司 (展台号: E6-A302)

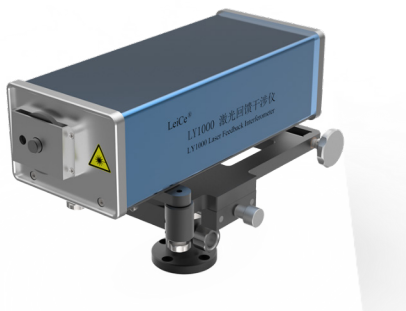


本品正副主轴均标配电主轴，正主轴 4500rpm、17.5kW、112N · m，副主轴 5000r/min、13kW、62N · m。上下刀塔为 12T BMT55 动力刀塔并带 Y 轴功能，最多可扩展至 4 个刀塔，系统采用发那科 Oi-TF plus 与 15 寸操作面板。机床具备高刚性、高精度、占地面积小、高动态性能的优势，正交 Y 轴行程 ±40mm，优化床身与直线导轨，副主轴 A2-5 规格，标配棒料直径 51mm。

双主轴可同步或分步加工，大幅提升加工效率，减少装夹与生产周期，适合汽车传动轴、电机轴等轴类零件批量精密加工。设备为 7 轴结构，床身最大旋径 550mm，最大车削直径 270mm，最大加工长度 500mm。

### 镭测科技LY1000固体激光差动干涉仪

北京镭测科技有限公司 (展台号: W1-A487)



本品无需安装靶镜，仅依靠工件表面反射或散射光即可实现非接触高精度测量，特别适合微小、轻薄、易变形、高温、有毒等无法安装靶镜的目标，可测量液面、晶圆、微位移、膨胀系数、振动等参数。准共路结构可有效抑制温漂，分辨率达纳米级，量程可达2m，加配扩束镜后测量距离更长。测量结果可直接溯源至光波长，无需额外标定。激光头尺寸 312×126×90mm，重量 4kg，波长 1064nm，工作温度 10~35℃，线性精度 1ppm，分辨率 1nm，最高测量速度 200mm/s。

### MKH500五轴航空叶片数控强力磨削中心

浙江杭机股份有限公司 (展台号: N3-A101)



本品采用高刚性立柱移动式结构，配备 60 多工位刀具系统、磨铣与修整双自动换刀主轴、龙门式砂轮滚轮同步交换系统、双轴控制自动喷嘴系统，搭配五轴联动可视化软件，一次装夹即可完成航空发动机叶片多工序复杂形面加工，实现进口替代与批量示范应用。X/Y/Z/V 轴采用进口高精度滚柱直线导轨，直线轴配进口滚

珠丝杠与伺服电机，快速移动性能优异。磨削主轴为欧系品牌，油气润滑，最高转速 12000r/min，HSK-B80 接口可自动换刀，具备低压气封与在线动平衡功能。行程 X≥1000mm、Y≥850mm、Z≥650mm，A 轴 -130° ~ +40°，线性轴精度 4/2 μm，回转轴精度 5/3 "。

### MICROTECH CNC 100 SP超精密以车代精磨硬车削机床

浙江博谷精密机械科技有限公司 (展台号: N4-A113)



本品为第三代超精密硬车设备，采用天然花岗岩隔震床身与主轴座、超精密液体静压主轴与导轨、高刚性 VDI 刀塔，搭配西门子 SINUMERIK ONE 系统与海德汉光栅尺全闭环控制。全转速范围内主轴回转精度 ≤ 0.1 μm，X/Z 轴定位精度 ≤ 1 μm，重复定位精度 ≤ ± 0.1 μm，达到市面最高水平。适用于航空喷嘴、机器人行星滚柱丝杠、轴承、半导体镜面件、液压阀芯、柱塞球头等硬车削超精密加工场景。最大回转直径 φ 380mm，车削直径 φ 300mm，加工长度 350mm，工件硬度 ≥ 55HRC，表面粗糙度 0.1 - 0.4 μm，X/Z 轴行程 240/350mm。

### 金刚石及立方氮化硼砂轮

上海中羽工业钻石股份有限公司 (展台号: W4-B406)



本品采用日本工艺、技术与原料生产，质量达到日本 JIS 标准，大量 OEM 产品远销日本市场。产品涵盖树脂、陶瓷、金属结合剂金刚石砂轮与 CBN 砂轮，可实现高效

高精度磨削，大幅提升工件精度、光洁度与生产效率，解决大余量高效磨削难题，降低机床负载，减少崩边与烧伤风险，延长砂轮修整间隔，广泛用于硬质合金、陶瓷、半导体、刀具等精密磨削加工。

### GTE3030C五轴龙门加工中心

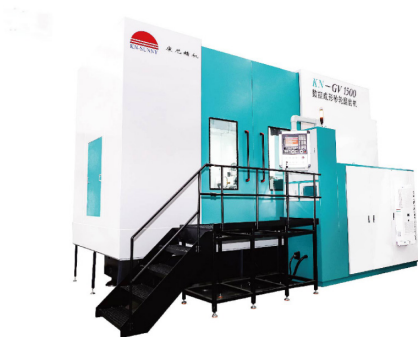
环球工业机械(东莞)有限公司 (展台号: W4-A111)



本品采用箱中箱热对称结构设计，刚性与精度表现出色，支持全自动铣头更换与自动换刀，粗精加工可在一台设备上完成。主轴转速、扭矩、功率可按需求定制，广泛服务于航天航空、船舶、能源、轨道交通、工程机械、汽车、模具等行业。X轴行程3000mm，Y轴3000mm，Z轴1500mm，主轴鼻端至工作台距离100~1600mm，立柱间距4700mm，工台3500×2800mm，承重8t/m<sup>2</sup>，主轴最高转速6000r/min，快速进给X/Y 20/50m/min、Z 20m/min，加工进给10m/min，刀库容量32把，总功率110kW，外形7600×8100×6150mm，重量52吨，采用发那科控制系统。

### KN-GV2000数控成形磨齿机

南京康尼精密机械有限公司 (展台号: E1-B001)

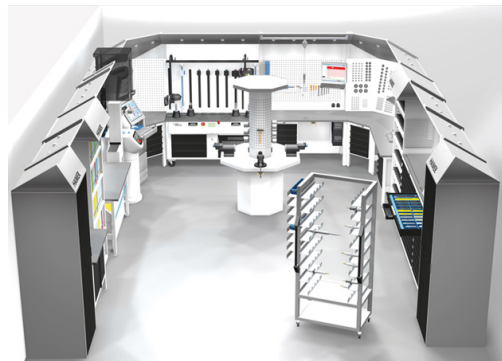


本品采用立式装夹结构，配备七轴交流伺服系统与电主轴，通过自主研发自动编程软件实现对话式操作与参数存储，砂轮采用金刚石滚轮修整，三轴联动完

成法向修形，可配备在线自动测量系统，实现自动对齿、误差检测与补偿，同时支持砂轮在线动平衡，可选配内磨臂实现内齿磨削。工件最大外径 $\phi$ 2000mm，中心距200~1350mm，磨削模数2~30mm，最大齿宽950mm，螺旋角 $\pm 45^\circ$ ，砂轮直径 $\phi$ 250~400mm，转速1600~4000r/min，磨具最大功率35kW，工作台外径 $\phi$ 1100mm，可完成各类大中型圆柱齿轮的高精度成形磨削。

### 翰默刀具管理系统的硬件和软件

翰默(上海)贸易有限责任公司 (展台号: E2-B301)



本品为模块化刀具室整体解决方案，可按客户需求灵活定制，集成热缩安装、刀具预调、动平衡与全流程刀具管理功能。通过人性化布局优化刀具存储、调整与使用流程，保证车间加工高效有序、操作安全便捷，实现刀具全生命周期数字化管理。

### BMD703A-400CNC电火花穿孔机

苏州市宝玛数控设备有限公司 (展台号: E5-B401)



本品配备15寸液晶屏与多功能手控盒，支持“互联

网+”远程监控，嵌入式系统可直接对接 CAD、UG、SOLIDWORKS 等软件的 DXF 图形文件。内置智能化加工数据库并可定期免费更新，可选配 C 轴实现四轴数控，满足复杂小孔加工需求。采用自主编控系统，可实现分时绘图与加工同步进行。XY 行程 400×320mm，Z 轴行程 300+300mm，工作台尺寸 466×330mm，承重 300kg，最大加工厚度 300mm，电极直径  $\phi 0.2\sim\phi 3.0\text{mm}$ ，最大加工效率 50~60mm/min，工作电流 30A，三轴数控可扩展至 8 轴。

### SJ6000激光干涉仪

深圳市中图仪器股份有限公司 (展台号: W1-A211)



本品以光波为测量基准，精度高、范围大、速度快，可实现线性测长、角度、直线度、垂直度、平面度等几何参数测量，配合动态分析软件可进行位移、速度、加速度、振动与丝杆导轨特性分析。采用进口高性能氦氛激光

器，使用寿命长达 50000 小时，激光双纵模热稳频，抗干扰能力强，高速信号采集可达 4m/s 测量速度，纳米级分辨率，自带环境自动补偿系统，支持中英文操作，界面友好、记录管理简洁。

### CNC水车式多工位组合加工机床

浙江双正科技股份有限公司 (展台号: N1-A213)



本品为多工位、多主轴、水车式圆盘转台高效组合机床，工件一次装夹后在 10 个工位间 360° 旋转循环，可同时从最多 5 个方向对工件进行钻、扩、铰、镗、铣、车螺纹、车内外圆等多工序复合加工，节拍时间 0.8~1.2 s，单件最快 2~5s 完成加工。支持双刀夹持与刀具断刀检测功能，配备高压内冷系统，可选在线检测，可接入 MES 实现数据采集与远程控制。工作台最多夹持 20 件产品，主轴转速 0~12000r/min，动力头 Z 轴最大行程 150mm，工件采用油压自定心夹紧，换型时间 1~2h，设备重 18~24t，占地面积 6.5×5.5×3.4m。□

(上接第18页)



## 六、结语

第十四届中国数控机床展览会 (CCMT2026) 不仅是机床工具产品的集中展示，更是在新兴需求牵引下，行业技术革新成果与机床整机性能与提升的完美呈现。展会期间，特邀国内外知名专家学者与企业领袖齐聚，共话智能制造趋势，分享前沿技术成果与实践案例。同时，举办多场高峰论坛、技术交流会及新品发布会。我们诚挚邀请您于 2026 年 4 月 21 日至 25 日莅临上海，亲身体验这场汇聚智慧、技术与机遇的机床行业盛会！在这里，您将以眼观新机、以耳听趋势、以心感未来，全方位领略 CCMT2026 的丰富内涵与创新活力。□

# 德国机床行业趋稳

来源：德国机床制造商协会官网

历经两年投资意愿低迷后，德国机床行业首次显现企稳迹象。不过，2025 年行业新增订单总量仍略低于上年，同比下滑 3%，国内外市场表现差异显著。海外需求增长 3%，而国内新增订单大幅下跌 16%。德国本土工业客户投资意愿低迷，反映出汽车制造及零部件供应商等核心下游行业处境艰难。好在年末出现小幅回暖：2025 年第四季度，行业新增订单总量同比增长 4%。

与此同时，全球机床行业格局正持续重构，中国产业的快速扩张尤为突出。2025 年，中国机床产值（不含零部件及附件）创下约 300 亿欧元的历史新高，进一步巩固了在全球机械制造领域的主导地位。反观德国，产值再度未能突破 100 亿欧元大关，以 94 亿欧元的水平勉强超过疫情期间的 2020 年、2021 年。

全球机床生产仍高度集中于少数国家，中、德、日三国合计占全球总产量的 58%，其中中国占 37%，德国占 12%，日本占 10%；美国、意大利紧随其后，市场份额分别为 9% 和 7%。

## 全球市场格局转变

国际贸易领域同样出现明显变化。2025 年全球机床出口总额约 414 亿欧元，同比下降约 3%。最引人瞩目的是出口排名榜首易主：中国

首次超越德国，成为全球第一大机床出口国。德国厂商海外出货量下降 10%，出口额 70 亿欧元；中国供应商出口量增长 13%，出口额达 86 亿欧元，刷新历史纪录。

同时，中国是全球规模最大的机床消费市场，2025 年市场规模增长 5% 至 252 亿欧元，占全球总消费量的 32%。美国以 111 亿欧元、14% 的份额位居第二；德国市场份额 5.7%，仅略高于印度的 5.4%。

德国机床制造商协会（VDW）专家预计，行业将在今年下半年迎来复苏。本轮增长并非由传统汽车、机械制造，以及军工、航空行业驱动，电子与半导体产业及其产业链成为核心增长引擎。协会总经理马库斯·黑林博士表示：“这得益于数字化快速推进、人工智能热潮以及全球数据中心扩张。”

尽管商业环境存在不确定性，对美业务仍保持稳定，未来数月美国市场投资有望进一步增长。中国市场需求前景小幅改善，得益于未来技术投资加码，以及机床被纳入国家新五年规划关键核心技术范畴。黑林指出：“地缘政治格局变化推动经贸合作加速重构，例如德国计划与印度、南方共同市场签署自由贸易协定就是典型体现。”



## 背景信息

德国机床行业是机械制造领域五大支柱产业之一，为各行业提供金属加工生产技术，对产业创新与效率提升至关重要。作为工业生产的核心环节，其发展态势是全球工业经济活力的重要风向标。2025 年，德国机床行业（员工规模 50 人以上企业）约 6.47 万名从业人员，创造了约 136 亿欧元的产值与服务收入。□

# 创新磨削技术领跑晶圆加工领域

来源：德国机床制造商协会官网

半导体市场持续火爆，微芯片不仅是电动汽车与充电桩的核心部件，在光伏、风电设备及全品类通信技术中也扮演关键角色。这一市值千亿级市场年增速预计超 30%，为磨削技术带来广阔机遇。

2026 年 5 月 5 日至 8 日，由德国机床制造商协会（VDW）在斯图加特主办的磨削技术展（GrindingHub）将开幕，观众可现场了解埃级精度的制造工艺、设备与精密磨削流程。行业共识是：欧洲若想在半导体领域追赶亚洲与美国，包括生产环节在内的全产业链必须提速。

晶圆是制造微芯片的基础薄片，需经多道工序加工。硅（Si）、碳化硅（SiC）等材料需先生长为单晶体，再将晶棒加工为坯料，切片后经磨削、抛光、外延层镀膜，为光刻工艺做准备；随后通过掩膜与光刻在晶圆上蚀刻电路，最终切割出独立微芯片。



## 巨大增长潜力

瑞士机床制造商凯伦伯格（Kellenberger）工程副总

裁迈克尔·埃格特认为，终端需求持续增长、新工艺与新技术不断涌现，使半导体市场极具投资价值。他表示：“除基板加工（晶体粗磨、切割、晶圆基础成型）外，半导体加工设备领域也为磨削技术提供大量合作机会。”

磨削企业可通过定制化解决方案抢占客户先机，凯伦伯格已为此组建专属定制化团队。埃格特强调：“定制化解决方案增长潜力巨大，且多数可实现规模化应用。”

## 突破半导体陶瓷加工壁垒

碳化硅（SiC）正成为半导体制造的主流基板材料。德国弗劳恩霍夫硅光伏中心（Fraunhofer CSP）研究显示，碳化硅半导体比纯硅半导体拥有更宽的禁带宽度，这是决定导电性能的核心指标，使其可在高温、高压、高频等极端环境下稳定工作。

但碳化硅基板对磨削工艺提出挑战。埃格特介绍：“长期专注金属材料加工的磨削厂商，面对陶瓷材料普遍存在畏难情绪。”陶瓷材料的磨削特性与金属完全不同，一旦突破这一技术门槛，工业陶瓷与单晶半导体基板的广阔应用市场将释放巨大潜力。埃格特表示：“在特定性能等级的半导体领域，碳化硅已成为绝对标杆。”

## 生产流程大幅提速

半导体制造周期长、芯片交付周期久，成为诸多行业的痛点。单晶体需在约 2400°C 高温炉中生长，耗时两周才能加工为半成品。

凯伦伯格所属的哈挺集团，联合碳化硅行业专家与原

材料供应商组建研发团队，针对“晶棒到坯料”环节的低效问题进行优化，开发出全自动五轴一体化加工设备，可适配当前所有规格与直径的碳化硅晶棒。该设备配备自动上下料系统，将晶棒加工坯料的时间从传统工艺 24 小时以上缩短至 2 至 3 小时。

## 超精密磨削工具挑战

基板与磨削设备之外，磨削工具是晶圆加工的核心环节。瑞士迈斯特磨具（Meister Abrasives）半导体行业产品经理卡迈因·西莱诺表示：“半导体是我们眼中高速增长的核心市场。”该公司与德国姊妹公司阿尔方斯·施迈尔（Alfons Schmeier）专注于超精密磨削用超硬磨具研发制造。



迈斯特磨具可覆盖从晶体原料到成品芯片的全流程加工，适配客户现有产线。其专为晶圆表面研发的金刚石磨具，可实现 Ra 5 埃（1 埃 = 0.0001 微米）的表面精度——作为对比，人类头发直径约 40 至 80 微米。如此高的表面质量，仅能通过白光干涉仪或原子力显微镜（AFM）检测。

西莱诺强调：“均匀纳米拓扑结构的表面，对芯片制造商至关重要。”依托超精密技术，公司目标是：“通过极致精细的磨削，缩短甚至省去后续工序”，尤其针对耗时、高成本的研磨与抛光环节。

## 简化加工工序

传统工艺中，晶圆需先磨削再抛光才能达到高精度表面要求，抛光液成本高昂。磨削专家表示：“抛光工序耗时越长、晶圆面积越大，精简甚至取消抛光环节的价值就越显著。”



硬质晶圆表面加工的最大难题，是开发适配亚微米级金刚石磨粒（<1 微米）的结合剂。西莱诺认为，迈斯特磨具的核心优势正在于此：可针对不同应用场景，深度定制磨料涂层结构。客户可因此缩短或取消抛光工序，节省时间、降低成本、减少配套设施投入、提升产能。

欧盟目标是未来数年将半导体生产全球占比从当前 9% 至 10% 大幅提升，磨削企业普遍看好市场扩容带来的机遇。西莱诺表示：“全球市场高度集中于少数供应商，作为定制化方案提供商，我们是客户的优选合作伙伴。”

## 磨削技术展

### （GrindingHub）背景

该展会由德国机床制造商协会（VDW）联合斯图加特展览公司、瑞士机械电子金属工业协会（Swissmem）每两年举办一次。2024 年展会吸引 31 个国家近 500 家参展商、超 1.11 万名观众。2026 年展会同期还将举办德国表面处理技术展（SurfaceTechnology Germany）与医疗设备展（MedtecLIVE），一票通览三大展会，拓展专业交流空间。

磨削技术是德国机床行业三大核心生产工艺之一。2024 年德国磨削设备产值 11 亿欧元，出口占比约 80%，其中 40% 出口欧洲，中国、美国、印度为最大消费市场。全球磨削技术产值约 55 亿欧元，德、中、美、日、瑞士为主要生产国，彰显其在全球制造技术中的核心地位。2027 年 5 月 18 日至 20 日，首届美洲磨削技术展（GrindingHub Americas）将在美国俄亥俄州辛辛那提举办，以“精准与进步交汇之地”为主题，进一步提升展会国际影响力。□

# 德马吉森精机在哥德堡开设全新技术中心

制造与工程杂志 (MEM Magazine)

德马吉森精机 (DMG MORI) 在瑞典哥德堡举行全新技术中心盛大开业仪式。这座面积达 430 平方米的现代化技术中心，彰显了北欧市场对公司的重要战略意义。

德马吉森精机 EMEA 北区 (德语区、北欧区) 执行董事兼总经理、首席销售与服务官诺伊恩博士表示：“哥德堡新技术中心将为整个区域的客户与合作伙伴打造一个核心交流平台。北欧市场代表着创新实力、技术卓越与高品质标准，而这些正是德马吉森精机所秉持的价值理念。”

德马吉森精机瑞典公司总经理马丁·斯韦德也强调了该选址对区域市场的重要性：“哥德堡是理想选址，能让我们进一步拉近与北欧客户的距离，携手共创制造业未来。”

此次开业庆典邀请了约 100 位嘉宾出席，包括来自北欧各国的客户及德马吉森精机管理层代表。



## 聚焦北欧市场的技术与数字化方案

新中心配备七台德马吉森精机设备，打造贴合北欧市场需求的技术产品组合，核心技术涵盖五轴铣削、完

整加工、小批量生产及全服务 5.0 等。中心还强化数字化布局，重点展示 CELOS X 系统、数字化解决方案与完整加工技术，精准服务航空航天、交通出行、海事与水下工程、高端制造及能源等领域。

中心的核心亮点为 DMU 340 龙门式五轴铣削加工中心，可加工重达 30 吨的大型工件。该设备兼具高动态性能与高精度，集成 CELOS X 数字孪生技术，可实现工艺优化与预测性维护。中心将现场演示高性能船用轴承加工等应用，展示 AI 驱动的稳定切削与先进过程控制技术。



## 战略优选区位

哥德堡是瑞典第二大城市、斯堪的纳维亚最大港口，也是连接挪威、丹麦与瑞典的物流枢纽，毗邻国际机场，可便捷接待挪威西部等整个北欧地区的客户，区位优势得天独厚。

通过设立新中心，德马吉森精机长期强化在北欧的业务布局，彰显对北欧市场的长期承诺。该中心将提供从应用开发、培训、现场演示到交钥匙工程解决方案的全方位支持，巩固其作为区域高端制造核心合作伙伴的地位。□

# 组合机床产业链自主可控能力评估与提升策略研究

大连组合机床研究所 祝智铭 刘庆乐

**【摘要】**组合机床作为汽车、航空航天、工程机械等战略产业的“母机”，其产业链自主可控能力直接关系到国家制造业核心竞争力。基于产业链安全理论，构建组合机床产业链自主可控能力的三维评估模型，即技术自主维度、供应安全维度和市场替代维度，系统剖析当前产业链在高端功能部件、数控系统、基础材料等关键环节的“卡脖子”风险。组合机床产业链自主可控能力的短板不仅体现在技术层面，更深层原因在于“整机—部件”协同创新机制缺失、用户侧验证环境不足以及行业生态碎片化。研究表明提升产业链自主可控能力需超越“进口替代”的单点思维，转向“技术—组织—制度”三位一体的系统性策略。即构建整机与部件协同攻关的技术追赶路径，建立面向非标装备的模块化产业组织模式，并完善政府采购、首台套应用保险等制度保障体系。研究结论对于保障基础制造装备产业链安全、构建自主可控的现代产业体系具有重要理论与实践价值。

## 一、引言

组合机床及其构成的专用生产线，是支撑大批量精密制造的关键装备。在汽车、航空航天、工程机械、农业机械等领域，关键零部件的加工质量与效率高度依赖于组合机床的技术水平。然而，作为工业母机的重要组成部分，组合机床产业链的自主可控能力长期未得到足够重视。与通用数控机床相比，组合机床产业链呈现出更强的非标性、定制化特征，其技术体系更为封闭，供应链关系更为固化，这使得其在面对外部技术封锁和供应链断供风险时显得尤为脆弱。

近年来，随着全球地缘政治格局变化和制造业竞争加剧，基础制造装备产业链安全成为国家战略关注的焦点。2025年国务院《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》明确提出，要“加快工业软件创新突破，大力发展智能制造装备”“增强产业链供应链自主可控能力”。在这一背景下，系统评估组合机床产业链的自主可控水平，

识别关键瓶颈，提出针对性提升策略，具有紧迫的现实意义。

当前，组合机床产业链的自主可控能力处于何种水平？关键短板分布在哪些环节？造成这些短板的结构性原因是什么？如何构建有效的提升路径？围绕这些问题，本文首先构建自主可控能力的分析框架，继而进行产业链现状剖析与瓶颈识别，在此基础上提出系统性提升策略，以为行业发展和政策制定提供理论依据与实践参考。

## 二、组合机床产业链自主可控能力分析框架

### 1. 产业链自主可控的内涵界定

“自主可控”是一个具有战略意义的综合性概念。从技术经济学的视角看，自主可控可分解为三个递进层次：技术自主——掌握核心技术知识产权，具备独立研发能

力；供应安全——关键零部件来源多元化，不受外部非市场化因素制约；市场替代——国产装备在性能、可靠性、经济性上具备与进口装备竞争的能力，用户“敢用、愿用”。三个层次相互关联，技术自主是基础，供应安全是保障，市场替代是最终检验标准。

对于组合机床产业链而言，自主可控的内涵具有特殊性。一方面，组合机床属于典型的“集成装备”，其自主可控不仅取决于整机厂的集成能力，更依赖于上游功能部件、数控系统、基础材料等环节的支撑。另一方面，组合机床用户多为大型制造企业，对设备的可靠性、精度保持性、售后服务响应速度要求极高，国产装备要真正实现市场替代，必须跨越用户“信任门槛”。

的环节，也是自主可控的关键着力点。

### 3. 产业链结构界定

构建包含“技术自主度”“供应安全度”“市场替代度”三个维度，共12项指标的评估模型。

序号	维度	指标	说明
1	技术自主度	核心专利拥有量	关键技术领域的发明专利数量
2	技术自主度	标准制定参与度	参与国际/国家标准制定的程度
3	技术自主度	研发投入强度	研发投入占销售收入比重
4	技术自主度	关键技术自给率	关键环节自主研发能力
5	供应安全度	进口集中度	主要进口来源国/企业集中度
6	供应安全度	国产化率	国产零部件占比
7	供应安全度	供应替代弹性	断供情况下可替代供应商的可得性
8	供应安全度	库存周转天数	关键零部件库存保障能力
9	市场替代度	国内市场占有率	国产装备在国内市场份额
10	市场替代度	用户满意度	用户对国产装备性能、可靠性评价
11	市场替代度	高端市场渗透率	在航空航天、军工等领域应用比例
12	市场替代度	出口竞争力	装备出口规模与技术水平



图1 东风设备制造有限公司缸体柔性生产线

## 2. 产业链结构界定

组合机床产业链可划分为四个层级：

- (1) 基础材料层：铸件、钢材、硬质合金、陶瓷材料、功能涂层等。
  - (2) 功能部件层：主轴单元（电主轴、机械主轴）、滚珠丝杠、导轨、刀库、转台、夹具、液压系统、润滑系统等。
  - (3) 数控与驱动层：数控系统（NC）、伺服驱动、伺服电机、PLC、传感器等。
  - (4) 整机集成层：组合机床主机、专用生产线、柔性制造单元等。
- 其中，功能部件层与数控驱动层是技术密集度最高、对外依存度最大

## 三、组合机床产业链自主可控能力评估

### 1. 基础材料层：部分领域具备优势，高端材料仍存短板

我国在铸件、普通钢材等基础材料领域产能充足、成本优势明显，已形成较为完善的供应体系。然而，在高端材料领域仍存在明显短板。高速切削刀具所需的硬质合金、陶瓷材料，高端丝杠所需的渗碳轴承钢，精密主轴所需的特殊合金材料，部分仍依赖进口。以刀具材料为例，虽然国内企业在硬质合金领域已具备较强实力，但高端涂层技术、超细晶粒硬质合金等核心技术仍落后于国际巨头。技术自主度中等，供应安全度较高，市场替代度在低端领域较高、高端领域不足。

### 2. 功能部件层：核心短板集中，高端依赖进口

功能部件是组合机床产业链自主可控的核心瓶颈。具体来看：

- (1) 主轴单元。高速电主轴（转速>20000r/min）技术长期被国外企业垄断。国内虽有高速电主轴产业布局，但在高精度、高刚度、长寿命方面仍有明显差距。
- (2) 滚珠丝杠。高端滚珠丝杠市场由国外市场占主导，国内企业主要占据中低端市场，在精度保持性、温升控制、噪声抑制等方面与进口产品存在代差。
- (3) 导轨与滑台。高刚性滚柱导轨、静压导轨技术依赖进口，国产产品在耐磨性、刚性稳定性方面有待提升。
- (4) 刀库与换刀机构。盘式刀库、链式刀库国内已基本实现国产化，但高速凸轮换刀机构、大型链式刀库仍以进口为主。

由此可见，技术自主度较低，高端部件高度依赖进口，供应安全度和市场

替代度亟待提高。

### 3. 数控与驱动层：系统性差距，生态劣势明显

数控系统是组合机床的“大脑”，也是自主可控难度最大的环节。国内组合机床行业使用的数控系统呈现“两极分化”格局：高端专用生产线多采用西门子、发那科系统；中低端设备部分使用广州数控、华中数控等国产系统。但在高端市场，国产数控系统的市场份额不足20%。

核心差距主要体现在以下几方面：

(1) 软件生态方面，西门子、发那科经过数十年积累，形成了涵盖CAD/CAM、仿真、工艺知识库的完整生态。国产系统在工艺包积累、二次开发便利性、第三方兼容性方面仍有明显差距。

(2) 硬件可靠性方面，高端数控系统对硬件的抗干扰能力、环境适应性要求极高，国产系统在复杂工况下的稳定性仍有待验证。

(3) 行业专用性方面，组合机床对多通道、多轴同步、特殊插补功能有特定要求，国际厂商已形成成熟的行业解决方案，国产系统尚缺乏针对性优化。

(4) 伺服驱动与电机领域，国产产品在中低端市场已具备较强竞争力，但高端伺服驱动（高响应、高精度、高过载能力）仍依赖进口。

由此可见，技术自主度较低，高端系统高度依赖进口，供应安全度和市场替代度亟待提高。

### 4. 整机集成层：规模优势明显，高端能力不足

在整机集成层面，我国组合机床行业形成了较强的产业规模和生产能力。国内涌现出一批具有一定竞争力的整机企业，如大连机床、东风装备、宝鸡赛威等，在汽车发动机

缸体、变速箱壳体加工线领域具备较强的集成能力。然而，在高端应用领域国内企业的市场占有率和技术水平仍与国际先进水平存在差距，如航空航天复杂结构件、高端发动机关键件以及与数字化智能化深度融合的高端柔性生产线领域。技术自主度中等，供应安全度较高，市场替代度在中端市场较高，高端市场不足。

### 5. 自主可控能力总体评价

基于上述分析，对组合机床产业链各环节的自主可控能力呈现“两头弱、中间强”的特征：整机集成环节具备一定自主能力，但上游功能部件和数控系统环节严重依赖进口，成为制约产业链安全的“卡脖子环节”。



图2东风设备制造有限公司包缝柔性生产线

## 四、产业链自主可控困境的深层根源

### 1. 技术层面：整机与部件协同创新机制缺失

组合机床属于非标专用装备，整机厂与部件供应商之间缺乏稳定的协同研发机制。国际经验表明，高端功能部件的突破往往依赖于整机厂的应用验证与迭代反馈。如日本发那科与丰田、三菱重工等用户企业深度合作，在长期应用中不断优化数控系统性能。而国内整机厂多采取“部件外购”策略，缺乏与上游部件供应商共同开展技术攻关的动力与能力。同时，部件供应商也缺乏进入高端用户供应链的验证渠道，形成“研发-应用-迭代”闭环断裂。

### 2. 市场层面：用户验证环境不足，国产装备信任门槛高

组合机床用户多为大型制造企业，对设备可靠性要求极高。一条价值数千万元的自动线若因故障停线，每小时损失可能高达数十万元。在这种风险厌恶导向下，用户倾向于选择“经过验证”的进口品牌，形成“国产装备进不了高端市场-缺乏应用验证-性能难以提升-用户继续不信任”的恶性循环。首台套应用难、试错成本高，成为国产高端装备市场替代的核心障碍。

### 3. 产业组织层面：行业碎片化与短视化

我国组合机床行业呈现“小、散、弱”的产业组织特征。据统计，我国组合机床行业企业数量众多，但年产值超过10亿元的企业寥寥无几。多数企业集

中在非标设计、集成装配环节，利润空间有限，难以支撑长期、高强度的研发投入。同时，行业普遍存在“重短期交付、轻长期积累”的短视化倾向，在基础技术研究、工艺知识沉淀、人才梯队建设方面投入不足。

#### 4. 制度层面：政策引导与协同机制有待完善

尽管国家层面已出台多项政策支持工业母机发展，但在具体执行层面仍存在政策碎片化、协同不足的问题。缺少专门针对组合机床这一细分领域的产业规划和协同攻关机制，导致政策资源分散，难以形成合力。

## 五、组合机床产业链自主可控能力提升策略

### 1. 构建“整机-部件”协同攻关机制

突破自主可控瓶颈，需要超越“各自为战”的分散研发模式，建立整机企业与部件企业深度协同的技术攻关机制。

(1) 建立联合研发平台。持行业龙头企业联合功能部件企业、数控系统企业，围绕高速电主轴、高精度丝杠、高端数控系统等关键环节，组建“整机+部件+用户”三位一体的联合研发平台，共担研发风险，共享研发成果。

(2) 推动技术标准协同。鼓励整机企业与部件企业共同制定接口标准、通信协议、性能测试标准，形成统一的技术规范，降低系统集成难度，提升国产部件互换性与兼容性。

(3) 强化应用验证环节。依托重点用户企业，建立国产功能部件和数控系统的“应用验证基地”，为国产装备提供真实工况下的测试环境，加速技术迭代成熟。



图3东风设备制造有限公司缸体缸盖柔性生产线

### 2. 构建面向非标装备的模块化产业生态

组合机床的高度非标特性，决定了其产业组织模式需要兼顾“规模经济”与“范围经济”。

(1) 推广模块化设计与生产。引导行业建立统一的模块化平台，将非标设计转化为标准模块的柔性组合，降低部件种类数量，为部件企业创造规模化生产空间。

(2) 培育专业化隐形冠军。鼓励部件企业在细分领域深耕，培育一批在主轴、丝杠、刀库等领域具备国际竞争力的“隐形冠军”，形成专业化分工的产业生态。

(3) 推动整机企业专业化整合。支持行业并购重组，培育具备系统集成能力与品牌影响力的龙头企业，提升行业集中度与整体竞争力。



图4 大连迈思信息技术有限公司数字孪生平台

### 3. 构建用户牵引的应用闭环

打破“国产装备——高端用户”之间的信任壁垒，需要构建用户牵引的应用验证与迭代闭环。

(1) 实施“首台套”示范应用工程。航空航天、军工、新能源汽车等重点领域，组织用户企业与装备企业结对开展首台套应用示范，通过“风险共担、

利益共享”机制降低用户使用风险。

(2) 建立用户反馈与迭代机制。鼓励装备企业建立覆盖全生命周期的用户服务体系,将用户使用数据转化为产品改进输入,形成“应用-反馈-迭代-提升”的闭环。

(3) 推动国产装备“整线替代”。针对有国产化替代需求的用户,支持整机企业提供从工艺规划到设备集成的“交钥匙”服务,降低用户自主集成的技术门槛。

#### 4.完善政策保障与协同治理

(1) 优化财税支持政策。扩大首台套保险覆盖范围,对用户采购国产高端组合机床给予购置补贴;将研发费用加计扣除政策向关键功能部件、数控系统领域倾斜。

(2) 强化知识产权保护。加大对核心技术专利的审查与保护力度,建立功能部件领域的专利预警机制,防范知识产权风险。

(3) 建立行业协同治理机制。依托中国机床工具工业协会组合机床分会,建立组合机床产业链协同发展联盟,定期发布产业链安全评估报告,协调解决共性技术难题,推动产业链上下游协同发展。

## 六、结语

组合机床产业链自主可控能力建设,是一项涉及技术、市场、组织、制度多个层面的系统性工程。本文研究表明,当前产业链自主可控能力的核心短板集中在高端功能部件和数控系统两个环节,而深层根源则在于协同创新机制缺失、用户验证环境不足、行业生态碎片化以及制度协同有待加强。提升自主可控能力,需要超越“进口替代”的单点思维,转向“技术-组织-制度”三位一体的系统性策略。在技术层面,构建整机与部件协同攻关机制;在组织层面,构建面向非标装备的模块化产业生态;在市场层面,构建用户牵引的应用闭环;在制度层面,完善政策保障与协同治理。四者相互支撑、协同推进,方能形成自主可控能力提升的良性循环。

随着新能源汽车、航空航天、人形机器人等新兴产业的快速发展,组合机床行业将迎来新的战略机遇期。抓住这一机遇,加快构建自主可控的产业链体系,不仅关系到行业自身的高质量发展,更关系到国家基础制造能力的战略安全。我们期待,在政府、企业、科研机构的共同努力下,组合机床产业链自主可控能力能够实现质的跃升,为制造强国建设提供坚实支撑。□



图5 大连迈思信息技术有限公司数字孪生工厂驾驶舱

#### 参考文献:

- [1]中国机床工具工业协会.中国机床工具工业年鉴(2024)[M].中国机床工具工业协会,2025.
- [2]中国机床工具工业协会.中国机床工具工业年鉴(2023)[M].中国机床工具工业协会,2024.
- [3]丁伟明,徐武军,刘春阳,等.浅谈机械装备发展进程和未来五年我国主要金属切削机床的发展方向[J].组合机床与自动化加工技术,2020(12):1-5.
- [4]丁伟明.疫情对中国机床制造业未来影响的几点思考[J].组合机床与自动化加工技术,2020(3):1-2.
- [5]吴来凤.中国潜在自主可控关键产品识别及突破路径研究[D].东南大学,2023.
- [6]李尚徽,刘耀,李玉民.工业强基战略下数控机床供应链韧性提升路径—国产化替代的破局点[J].中国战略新兴产业,2025(26):122-124.

# 浅谈水轮机叶轮五轴联动车铣复合加工机床

通用技术集团机床工程研究院有限公司 高峰

## 一、引言

### 1. 水轮机叶轮的重要性

水轮机叶轮作为水力发电设备的核心部件，其性能直接决定了水力发电系统的效率与稳定性。在水力发电过程中，叶轮通过捕获水流的动能并将其转化为机械能，从而驱动发电机进行电能生产。因此，叶轮的几何精度、表面质量以及材料特性对能量转换效率具有至关重要的影响。此外，叶轮的结构设计需充分考虑流体力学特性，以确保在不同工况下均能保持高效稳定的运行状态。根据相关行业报告，叶轮的性能优化可显著提升水力发电设备的整体效率，同时减少因振动或疲劳引起的故障风险，从而延长设备的使用寿命。由此可见，水轮机叶轮的研究与制造技术不仅是水力发电领域的关键环节，也是推动清洁能源发展的重要支撑。

### 2. 传统加工方式的局限性

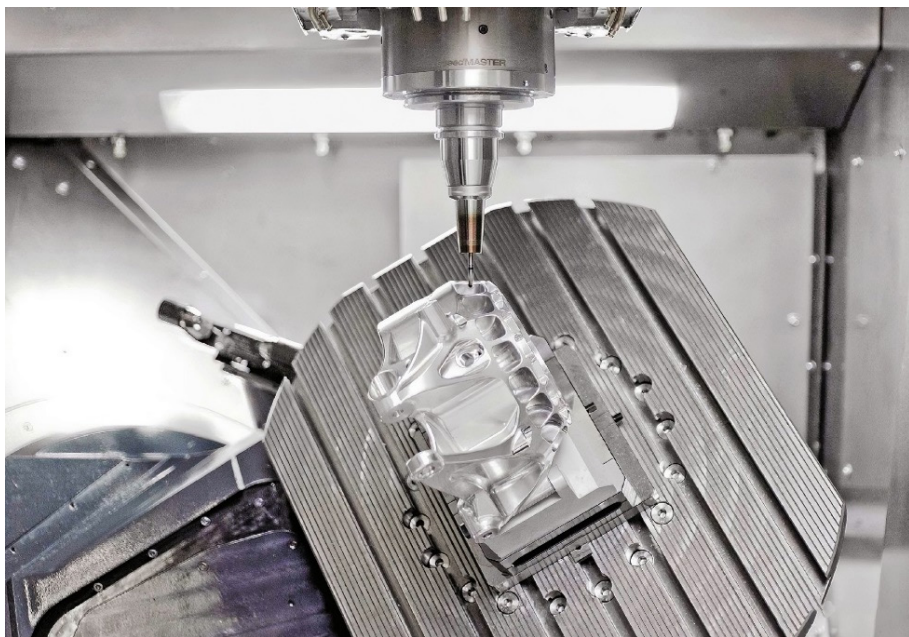
传统加工方法在应对水轮机叶轮的复杂几何形状和高精度要求时表现出明显的局限性。由于叶轮叶片通常具有大曲率、窄通道等特点，传统的三轴或四轴加工方式难以实现对其复杂曲面的高效精确加工。具体而言，传统加工方法往往需要多次装夹和换

刀，导致加工效率低下且容易引入累积误差，进而影响叶轮的尺寸精度和表面质量。此外，在加工过程中，传统方法还容易出现刀具干涉、过切等问题，尤其是在处理叶片根部等狭窄区域时，这些问题尤为突出。因此，引入五轴联动车铣复合加工技术成为解决上述问题的关键需求，该技术能够有效提高加工效率与精度，同时减少工装次数和刀具损耗，为水轮机叶轮的高质量制造提供了新的解决方案。

## 二、文献综述

### 1. 五轴联动技术发展概述

五轴联动技术起源于20世纪中期，随着航空工业对复杂零部件加工需求的提升而逐步发展。其最初的设计目标是为了实现多自由度协同运动，从而满足叶片、叶轮等复杂曲面的高效加工需求。在技术发展的初期阶段，五轴联动主



要依赖于机械传动结构，通过复杂的齿轮与连杆机构实现多轴协调运动，但受限于当时的制造水平与控制技术，其精度和稳定性较低。进入20世纪后期，随着计算机数控技术的普及，五轴联动技术迎来了重大突破，尤其是多轴联动算法的优化和高速切削技术的发展，显著提升了加工效率与表面质量。近年来，五轴联动技术进一步向智能化、高精度化方向发展，现代机床已能够实现纳米级精度控制，并广泛应用于航空发动机、船舶推进器以及能源装备等领域的复杂零部件加工中。

## 2. 车铣复合加工技术原理与优势

车铣复合加工技术是一种将车削与铣削功能集成于一体的先进加工方法，其工作原理在于通过一次装夹完成多种加工工序，从而减少工件的重复定位误差并提高加工效率。具体而言，该技术利用主轴旋转与刀具移动的协同作用，在同一个加工中心上完成内外圆柱面、端面以及复杂曲面的加工任务。相较于传统的分序加工方式，车铣复合加工具有显著的优势：首先，通过减少装夹次数，可以有效降低由于多次定位累积的误差，从而提高加工精度；其次，该技术能够优化加工路径，减少空行程时间，进而提升加工效率。这些特点使得车铣复合加工技术在现代制造业中得到了广泛应用，并为复杂零部件的高效精密加工提供了重要技术支持。

## 3. 水轮机叶轮加工技术现状

当前，水轮机叶轮的加工主要依赖于数控加工技术，包括三轴、四轴以及五轴联动加工方法。其中，三轴加工技术因其操作简单、成本较低，仍被广泛应用于中小型叶轮的粗加工阶段，但其难以满足复杂曲面叶轮的精密加工需求。相比之下，五轴联动技术因其具备多自由度协同运动能力，已成为大型水轮机叶轮加工的核心技术之一。然而，现有加工技术在实际应用中仍面临诸多挑战，例如加工精度受转角余量分布不均的影响较大，导致精加工效率低下；同时，由于叶轮叶片形状复杂且材料去除量较大，如何在保证加工质量的同时缩短加工周期仍是亟待解决的问题。

# 三、五轴联动车铣复合加工机床技术分析

## 1. 机床结构特点

### (1) 主体结构

五轴联动车铣复合加工机床的主体结构是实现高精度、高效率加工的基础，通常由床身、立柱、工作台及主轴箱等核心部件组成。床身作为整个机床的基础支撑件，通常采用高强度铸铁材料铸造而成，并通过合理的筋板布局设计，确保其在加工过程中具有优异的抗振性和稳定性。立柱则通过模块化设计实现与床身的刚性连接，为机床提供垂直方向的支撑和运动空间。工作台的设计充分考虑了水轮机叶轮加工的空间需求，其尺寸和承载能力均经过优化计算，以满足不同规格叶轮的安装与定位要求。主轴箱通常采用对称式结构设计，内置高性能电主轴，能够在保证高速旋转的同时提供稳定的切削力输出。这种主体结构设计不仅满足了水轮机叶轮复杂曲面加工的空间需求，还通过高刚性和低热变形的特性显著提升了加工过程的稳定性与可靠性。

## (2) 五轴联动机构

五轴联动机构是五轴联动车铣复合加工机床的核心组成部分，其具体构造包括两个旋转轴和三个直线轴，通过协调运动实现对复杂曲面的高精度加工。其中，两个旋转轴通常采用双摆铣头或摇篮式双摆转台的形式布置，以实现刀具或工件在多方向上的灵活调整。双摆铣头结构紧凑，可用于各类型叶轮的加工，但加工效率不高，而摇篮式双摆转台则因其尺寸和承载受限，适用于小型叶轮的加工任务。旋转工作台+单摆角铣头的工件和刀具端各布置一个旋转轴布置形式，兼顾了以上两种结构的优点，也得到了广泛的应用。在运动原理方面，五轴联动机构通过数控系统对各轴进行实时插补运算，从而生成连续的刀具路径。这种多轴协调运动的能力显著提升了机床的加工灵活性，使其能够应对水轮机叶轮叶片曲率大、空间狭窄等复杂结构特征带来的挑战。

## 2. 工作原理

### (1) 车铣复合加工流程

水轮机叶轮在五轴联动车铣复合加工机床上的加工流程通常分为毛坯准备、粗加工、半精加工和精加工四个主要阶段。在毛坯准备阶段，首先根据叶轮的尺寸和形状要求选择合适的材料，并通过锻造或铸造工艺获得初始坯料。随后，将毛坯固定在工作台上，利用机床的自动工件测量功能完成初始定位。粗加工阶段以去除多余材料为主要目标，通过铣削和车削相结合的方式快速切除大部分余量。在此过程中，五轴联动机构通过调整刀具姿态和位置，确保切削力的均匀分布，从而减少工件变形。半精加工阶段则进一步优化叶轮的几何形状，通过细化刀具路径和降低进给速度，逐步接近最终的设计尺寸。最后的精加工阶段则专注于提高叶轮的尺寸精

度和表面质量，采用高精度的刀具和优化的切削参数，完成对叶片曲面及其他关键部位的精细加工。整个加工流程通过数控系统的精确控制实现各工序之间的无缝衔接，从而最大限度地提高加工效率和产品质量。

### （2）数控系统控制

数控系统是五轴联动车铣复合加工机床实现高精度加工的核心控制单元，其主要功能包括对各轴运动的实时插补运算以及加工参数的动态调整。对于水轮机叶轮的加工，CAM软件通过读取三维模型数据，自动生成优化的刀具路径，并结合机床的实际运动学模型进行后置处理，生成适用于具体机床的NC代码。此外，数控系统还具备刀具管理功能，能够根据加工需求自动切换刀具并实时监控刀具磨损状态，从而保证加工过程的连续性和稳定性。

## 3. 技术优势

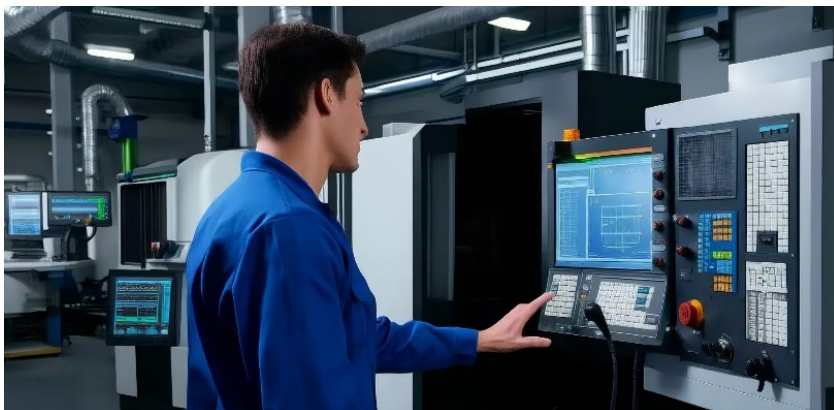
### （1）提高加工精度

五轴联动与车铣复合技术的结合显著提高了水轮机叶轮加工的精度，尤其是在关键部位的尺寸精度和形位精度方面表现突出。首先，五轴联动机构通过实时调整刀具姿态和位置，能够有效避免传统三轴加工中因刀具干涉导致的误差问题。例如，在加工叶片曲面时，五轴联动机构可以通过倾斜刀具轴线，使刀具始终与加工表面保持最佳接触状态，从而减少切削力引起的工件变形和表面粗糙度。其次，车铣复合加工方式通过在一次装夹中完成多种加工操作，避免了多次装夹带来的累积误差。此外，数控系统的高速插补算法和高精度位置控制功能进一步提升了加工的重复性和一致性。根据我单位实际，采用五轴联动车铣复合加工机床加工的水轮机叶轮，其叶片型面误差可控制在 $\pm 0.03\text{mm}$ 以内，表面粗糙度Ra值可

达 $1.6\mu\text{m}$ 以下，完全满足高端装备制造对零部件精度的严格要求。

### （2）提升加工效率

五轴联动车铣复合加工机床通过减少装夹次数、优化加工路径等方式显著缩短了水轮机叶轮的加工周期，从而大幅提升了生产效率。传统加工方法通常需要多次装夹和换刀操作，这不仅增加了加工时间，还容易导致因装夹误差引起的尺寸偏差。而五轴联动车铣复合加工机床通过一次装夹即可完成叶轮的粗加工、半精加工和精加工全过程，有效减少了辅助时间。此外，五轴联动机构的灵活性使得刀具能够以最短路径完成复杂曲面的加工，避免了传统方法中频繁调整刀具位置和角度的需求。在切削参数优化方面，数控系统可根据加工材料的特性和工件的几何特征，实时调整进给速度和切削深度，从而实现高效切削。实际生产数据显示，采用五轴联动车铣复合加工机床加工水轮机叶轮的效率较传统方法提高了约30%，单件加工时间从原来的120小时缩短至80小时左右。



## 四、机床性能评估

### 1. 精度评估

五轴联动车铣复合加工机床在水轮机叶轮加工中的精度表现是衡量其性能的关键指标之一。通过对实际加工过程中所获得的数据进行分析，可以全面评估该机床在尺寸精度与几何精度方面的表现，并将其与行业标准进行对比。尺寸精度方面，机床通过高精度的数控系统控制各轴运动，结合优化的刀具路径规划，能够有效减少加工误差。例如，在加工某型号水轮机叶轮时，其叶片关键部位的尺寸公差被控制在 $\pm 0.03\text{mm}$ 以内，远低于行业平均水平的 $\pm 0.05\text{mm}$ 。此要求根据GB/T 34880-2025相关要求，已经属于精密级机床。

几何精度方面，机床的五轴联动机构表现出显著的优势。通过对叶轮复杂曲面的加工测试发现，该机床在轮廓度、平面度以及圆度等几何精度指标上均达到了较高水平。以某大型水轮机叶轮为例，其叶片曲面的轮廓度误差仅为 $0.02\text{mm}$ ，较传统加工方式减少了约40%。这一优异表现得益于机床在多轴联动控制中的高精度插补算法以及对刀具干涉问题的有效规避。五轴联动技术能够显著改善加工过程中的空间定位精度，特别是在处理复杂几何特征时，其优势尤为突出。

### 2. 效率评估

五轴联动车铣复合加工机床在加工水轮机叶轮时的效率优势主要体现在加

工周期的缩短与产量的提升方面。相较于传统的多工序分散加工方式，该机床通过集成车铣复合功能，显著减少了工件的装夹次数与辅助时间，从而大幅提高了整体加工效率。以某型号水轮机叶轮为例，传统加工方式需要经过粗铣、半精铣、精铣等多道工序，总加工周期约为120小时；而采用五轴联动车铣复合加工机床后，整个加工流程可缩减至80小时内完成，加工效率提升了约33%。

此外，机床在刀具选择与切削参数优化方面的技术创新也为其高效加工提供了重要支持。例如，在加工过程中，机床选用了高性能涂层刀具，并结合高速切削工艺，使得单位时间内的材料去除率提高了约25%。同时，数控系统通过对加工路径的智能优化，避免了不必要的空行程时间，进一步提升了加工效率。

实验结果表明，在相同生产条件下，采用五轴联动车铣复合加工机床的月产量较传统加工方式提高了约40%，且产品一致性得到了显著改善。这一结果不仅体现了该机床在加工效率方面的突出优势，也为企业降低生产成本、提高市场竞争力提供了有力支持。

## 五、未来技术改进方向

### 1. 智能化控制升级

随着智能制造技术的快速发展，五轴联动车铣复合加工机床的智能化控制升级成为未来技术改进的重要方向之一。通过引入更先进的智能控制算法，可以实现机床的自适应加工能力，从而显著提升加工效率与精度。例如，基于人工智能的自适应控制系统能够根据实时采集的加工数据（如切削力、温度变化等），动态调整切削参数，以确保加工过程的稳定性与一致性。此外，智能故障诊断功能的

集成也是智能化控制升级的关键内容之一。通过对机床运行状态进行实时监测与分析，系统能够快速识别潜在故障风险，并提供预警与解决方案，从而最大限度地减少停机时间并提高设备利用率。

与此同时，智能化控制系统的开发还需结合具体应用场景进行优化。例如，在水轮机叶轮加工中，由于叶片形状复杂且加工要求高，智能控制系统需具备强大的路径规划与优化能力，以避免因刀具干涉或过切导致的加工误差。通过引入机器学习算法，系统能够对历史加工数据进行深度分析，从中提取最优加工策略，并将其应用于后续加工任务中，从而实现加工效率与质量的进一步提升。

### 2. 加工精度提升

在高端装备制造领域，加工精度始终是衡量机床性能的核心指标之一。为了进一步提升五轴联动车铣复合加工机床的加工精度，需要从机床结构与刀具系统两个方面入手进行优化。首先，在机床结构设计方面，可以通过采用高刚性材料与优化结构布局来减少振动与热变形对加工精度的影响。例如，双摆头五轴联动加工中心通过优化主体结构设计与后置处理程序，显著提高了机床的几何精度与动态性能。此外，引入主动补偿技术也是提升加工精度的有效手段之一。通过安装高精度的位移传感器与温度传感器，实时监测机床的关键部件状态，并结合补偿算法对加工误差进行修正，从而实现更高精度的加工结果。

其次，在刀具系统改进方面，选择合适的刀具材料与涂层技术对于提高加工精度具有重要意义。例如，采用硬质合金刀具与纳米涂层技术可以有效减少刀具磨损，从而延长刀具寿命并提高加工表面质量。同时，优化刀具路径规划与切削参数设置也是提升加工精度的关键环节。通过使

用CAM软件中的多轴加工模块（如hyperMILL），可以对复杂曲面的加工路径进行精确模拟与优化，从而最大限度地减少加工误差。综上所述，通过优化机床结构与改进刀具系统，五轴联动车铣复合加工机床能够满足更高精度的加工需求，为高端装备制造提供有力支持。

## 六、结论

五轴联动车铣复合加工机床在水轮机叶轮加工领域展现了显著的技术特点与优势。该机床通过集成五轴联动机构与车铣复合加工技术，实现了对复杂叶轮零件的高精度、高效率加工。其主体结构设计与五轴联动机构的配合，不仅满足了水轮机叶轮加工的空间需求，还显著提升了加工灵活性与复杂度。在实际应用中，该机床通过减少装夹次数、优化刀具路径等方式，大幅缩短了加工周期，同时提高了关键部位的尺寸精度与形位精度。此外，数控系统的精确控制进一步保证了加工过程的一致性与稳定性，为水轮机叶轮的制造提供了可靠的技术支持。

尽管五轴联动车铣复合加工机床在水轮机叶轮加工领域已取得显著成果，但其未来发展仍面临诸多挑战与机遇。一方面，随着智能控制算法的不断进步，未来可通过引入自适应加工与故障诊断功能，进一步提升机床的自动化程度与智能化水平。另一方面，通过优化机床结构与改进刀具系统，有望进一步提高加工精度，满足更高精度的加工需求。此外，针对不同类型、更大尺寸水轮机叶轮的加工需求，未来可通过对机床进行模块化设计与功能拓展，进一步拓展其市场应用范围。这些研究方向的探索将为五轴联动车铣复合加工技术在水轮机叶轮加工领域的持续发展提供新的动力。□

# 一种大型齿轮保持架机器人智能打磨装置及方法

宁夏巨能机器人股份有限公司 李志博 郭强 麻辉 靳开轩

**【摘要】**本文针对风电齿轮保持架打磨难题，详细阐述了现有打磨方式的不足，深入研究了新型智能打磨技术。通过设计专用智能打磨装置，开发先进打磨方法，并进行实验验证，旨在提升风电齿轮保持架打磨效率与质量，满足风电产业发展需求。

## 一、引言

### (1) 研究背景

在全球大力推动清洁能源转型的趋势下，风电发展迅猛。风电齿轮箱作为风力发电设备的核心部件，其性能与可靠性影响着风电机组的运行效率和寿命。而风电齿轮保持架，作为齿轮箱关键结构件，对齿轮平稳运转、润滑及动力传递极为重要。

风电齿轮保持架常用特殊合金材料制造，形状复杂，尺寸精度要求高。制造时，其表面质量至关重要，微小缺陷或不平整会使齿轮高速运转时产生振动、噪声，导致过早磨损和疲劳失效，降低风电机组可靠性，增加维护成本与停机时间。

打磨工序是保证风电齿轮保持架表面质量的关键。但传统打磨依赖人工，弊端突出。一方面，人工打磨效率极低，因保持架结构复杂，需操作人员细致处理各部位，完成一个保持架打磨通常要20至30小时，难以匹配现代化大规模生产中加工设备的效率，成为生产瓶颈，制约生产规模和交付周期。另一方面，人工打磨质量稳定性差，不同操作人员技术、体力和专注度有别，易出现漏磨、打磨力度不均等情况，导致产品质量参差不齐，安全性不足。

随着风电行业扩张，对风电齿轮保持架需求激增且质量要求更严。因此，急需开发高效、精准、稳定的打磨技术，解决人工打磨的问题，满足产业发展需求，提升我国

风电设备制造业的全球竞争力。

### (2) 研究意义

本研究旨在融合视觉、力觉、控制技术以及深厚的行业经验，开发高效、精准且稳定的风电齿轮保持架打磨技术。鉴于人工打磨存在效率低、质量不稳定的弊端，已无法满足风电产业快速扩张对保持架数量与质量的需求。通过此项研究，能有效解决人工打磨难题，极大提高生产效率，确保产品质量稳定。这不仅助力风电产业蓬勃发展，更能提升我国风电设备制造业在全球市场的竞争力，推动行业迈向新高度。

### (3) 国内外研究现状

在风电产业蓬勃发展的当下，风电齿轮保持架打磨技术至关重要，因此国内对此展开了诸多研究，涵盖传统打磨技术改良与新兴智能打磨技术探索。

传统打磨技术改良方面，针对传统手工打磨保持架毛刺的诸多弊端，如在金属实体保持架去毛刺时，手工操作受人为因素影响大、毛刺去除不彻底且易划伤工件等问题<sup>[1]</sup>，研究人员进行了优化。通过调整工艺流程，将易产生毛刺的工序后置，减少了毛刺产生量。同时，采用光整加工单元设备，以毛刷代替手工，在一定程度上提高了打磨质量和效率<sup>[1]</sup>。在无套圈推力滚针轴承保持架去毛刺中，改进传统手动砂轮打磨方式，利用台钻和特定工装固定保持架，借助砂轮磨削去除毛刺，相比纯手工打磨，提高了部分效率，但仍存在一定局限性<sup>[2]</sup>。

新兴智能打磨技术探索也在积极推进。滚柱轴承保持架去毛刺研究中,基于离心式滚磨加工原理,通过设计特殊夹具,使零件仅与磨料作用,避免零件间碰撞,提高去毛刺效率和质量,这为智能打磨技术提供了一定思路<sup>[3]</sup>。然而,目前该技术在风电齿轮保持架打磨应用中,受设备尺寸和动力限制,尚未大规模应用<sup>[3]</sup>。

尽管取得一定成果,但当前研究仍存在诸多不足。自动化程度方面,多数改良后的传统打磨技术虽有进步,但仍依赖人工操作部分环节,如工件上下料、打磨参数手动调整等,无法实现全流程自动化,难以满足大规模生产需求<sup>[1,2]</sup>。打磨精度上,面对风电齿轮保持架高精度要求,现有技术在不同部位毛刺去除效果一致性上表现欠佳,容易出现打磨不均匀的情况,影响产品质量<sup>[1,3]</sup>。在适应复杂结构方面,风电齿轮保持架结构复杂,有许多特殊形状和部位,现有的打磨技术难以兼顾所有部位,部分狭小或异形区域的毛刺难以有效去除<sup>[1,2,3,4]</sup>。

鉴于上述不足,本研究可将提高自动化程度作为切入点,研发自动化上下料装置和智能打磨参数调控系统,实现全自动化打磨。在打磨精度提升上,探索更精准的打磨路径规划算法和实时监测反馈机制,确保打磨质量均匀稳定。针对复杂结构,设计专用的柔性打磨工具和多自由度打磨设备,增强对复杂部位的适应性,从而推动风电齿轮保持架打磨技术的发展。

## 二、风电齿轮保持架打磨需求分析

### 1. 保持架结构与材料特性

风电齿轮保持架具有独特的结构特点,其尺寸较大,直径范围处于1.5m至4m,高度在180mm至260mm,这种大尺寸给打磨工艺带来了空间操作上的挑战。大型设备的移动和定位难度增加,需要适配更大工作区域的打磨设备,且确保设备在大面积作业时的稳定性与精度。同时,滚子框数量众多,在50至130之间,滚子框四角的退刀槽易产生毛刺,这就要求打磨工艺具备精细处理微小区域的能力,能够有效去除这些毛刺,避免影响齿轮的正常运转。而滚子接触面要求粗糙度 Ra 0.5 μm 以内,如此高的精度要求,意味着打磨过程需高度精准,稍有偏差就难以达到标准。

保持架壁厚较薄(12mm~16mm),且具有“大而软”的特性,极易变形。在打磨时,普通的夹具难以稳定夹持,一旦夹持不当,就会在打磨力的作用下导致保持架变形,进而破坏其精密的尺寸参数。例如,可能会使滚子框的尺寸发生改变,影响滚子的安装与运行,这就需要研

发特殊的夹持工装,既能稳定固定保持架,又不会对其造成额外的压力导致变形<sup>[10]</sup>。

制造保持架的材料为高强度合金钢,以42CrMo为例,其硬度在240~250 HBW,这一较高的硬度使得打磨过程较为困难。普通的打磨工具难以对其进行有效加工,必须采用更为耐磨、硬度更高的打磨工具,如金刚石砂轮等。但即便使用此类工具,由于要在保证不损伤保持架结构的前提下进行打磨,加工速度也较为缓慢,大大降低了打磨效率。而且,在打磨过程中,由于材料硬度高,产生的热量不易散发,容易导致局部温度过高,进而影响材料的性能,甚至可能在表面产生微裂纹等缺陷。

此外,特殊合金材料的高强度,要求打磨工艺在去除材料时精确控制打磨力,避免因打磨力过大导致保持架结构受损,毛坤等设计的自适应变阻抗控制策略,能实时调整接触力以适应工件表面变化,可用于优化本研究的力控制方案,确保打磨力稳定在合理范围<sup>[17]</sup>。而保持架独特的曲面形状,又进一步增加了打磨工艺的复杂性,需要采用数控打磨等先进技术,通过精确编程控制打磨工具的运动轨迹,才能实现高效、精准的打磨,满足风电齿轮保持架严苛的质量要求。

### 2. 表面质量要求

保持架的打磨重点是滚子的定位孔,定位孔是一个上下表面平行,左右表面有夹角的框,与滚子的接触面有6个,上下各一个,左右各两个。要求接触面的粗糙度为Ra0.2,框体四角的消气槽去毛刺倒角为0.5mm,其他棱边去毛刺倒角为0.2mm。保持架是由特殊的卧式加工中心加工的,滚子定位孔是用铣刀侧铣出来的,刀痕比较严重,需要经过打磨后才能达到要求的粗糙度;定位孔四角的消气槽在机加工后产生的毛刺较大,从几何形状来说是孔与圆环体的交叉孔,容易产生毛刺。这两部分的打磨非常重要,直接关系到轴承在高速运转中的振动、噪声、磨损。

### 3. 现有打磨方式弊端

- (1) 打磨效率极低,完成单个保持架打磨需20~30小时。
- (2) 打磨效果不好控制,与操作工的经验直接相关。
- (3) 人员招募困难且留存率较低。
- (4) 工作作业环境存在污染隐患,不符合职业健康安全规范要求。

## 三、智能打磨装置设计

为了提高打磨保持架的效率,保证打磨的质量,需要

研发专用的打磨设备来解决上述问题。为实现自动化智能化,还需要解决几个问题:①专用的打磨设备需要考虑保持架打磨的特点,保持架尺寸大,尺寸范围约为1400mm到3600mm,打磨设备覆盖尺寸范围大是第一个问题;②保持架厚度约为12mm左右,是大型薄壁件,如何固定保持架是第二个问题;保持架种类多样,如何在同一设备上兼容所有保持架是第三个问题;③保持架上没有圆孔的特殊特征,如何快速找到保持架的参考点是第四个问题;④新增保持架如何实现快速编程与快速投产是第五个问题;⑤同时还要考虑吊装的问题,吊装与机上初步检测需占用一定时间,为避免占用有效加工时间,需考虑为设备配置多托盘系统。

方案:

设计团队为了解决以上问题,选择了如下方案。

第一、选择机器人作为执行机构,机器人臂展范围大,可以覆盖4000mm的尺寸范围,考虑到保持架是个圆形的零件,通过将机器人倒挂<sup>[6]</sup>。

第二、选择三点支持固定夹紧机构固定工件,外加三点辅助支撑,可以在避免保持架变形的同时,提高夹持刚性<sup>[10]</sup>。

第三、工件夹紧机构可布置在T型槽上,通过活动调节,兼容尺寸范围内的所有工件。

第四、同时采用视觉定位及测距检测,能快速定位工件的圆心、坐标系、参考点<sup>[9]</sup>。

第五、开发打磨上位机系统,打磨上位机系统可集成离线编程功能与快换工具控制功能,在以上工具和自动定位的功能保证下实现快速换产。并使用离线编程软件编程,使用专业离线编程软件可以降低编程难度,提高编程效率,减低使用难度。采用快换工具系统,支持快速换产<sup>[7]</sup>。建立参数化调节机制,可进一步缩短打磨工时<sup>[12]</sup>。

第六、采用双交换托盘,一用一备,提高整体打磨效率<sup>[13]</sup>。

### 1.打磨工具系统设计

首先提炼打磨特征,有面抛光,直边去毛刺,R角去毛刺,考虑到机器人的绝对精度较低,且工件的定位误差较大,所以选择浮动打磨的方式,给所有的工具增加浮动环节,对应的优选打磨方案有:轴向浮动装置+砂带机一面抛光;径向浮动电主轴+旋转锉一直边去毛刺及R角去毛刺。由于工具种类较多,需要给机器人末端配置快换装置。机器人末端工具的负载共30kg。如何确定打磨参数同样重要,面抛光要求的表面粗糙度为Ra0.3,通过初步选型,选择240目的砂带,线速度12m/s;针对

棱边及R角,选择尖角为60°的多刃旋转锉,主轴转速10000r/min<sup>[11,16]</sup>。

### 2.机器人本体选型:

选择合适的机器人是本项目的第一个问题,由于工件是圆形,打磨特征是圆形整列的,所以选择倒挂机器人的方案可以使得机器人的臂展最大程度地覆盖工件尺寸范围,由于工件的尺寸范围直径是1400mm到3600mm,所以机器人的臂展范围应该大于3600的圆。其次确定机器人的末端工具重量。综上选择的机器人型号为臂展R2500mm,负载能力50千克的KUKA KR50 R2500机器人,重复定位精度为0.05mm,机器人具备精度补充功能,可增加视觉补充算法,补偿机器人关节误差与物理因素导致的轨迹偏移<sup>[8]</sup>。

### 3.工件装夹与定位系统设计

保持架是薄壁件,容易变形,夹具需在确保平面度的前提下,设计一些辅助支撑以保证支撑刚性。装夹方案是采用保持架圆周上的等分的六个点上支撑,其中的三个等分点确定一个平面,为基准面与工件贴合,并在支撑点上压紧,剩余三个位于支撑点间的点作为辅助点,可以上下调整,以贴合基准面。六个支撑工装均布置在T型槽中,呈放射状,可以覆盖3600mm以内的所有保持架直径范围。这种夹具的特点是方便调整,具备柔性支撑的特点<sup>[10]</sup>,不需要打表检测,精度满足使用要求。

### 4.传感检测系统设计

该系统用于对工件进行视觉定位,确定工件中心、角向及坐标平面。由2D相机、超声波测距仪、精密接触式测头组成,由手持完成检测。其工作原理是:①采用2d相机对保持架上四个半圆进行拍照,确定四个圆心,对四个圆心取几何中心作为工件的圆心,如果发现某个点与其他三个点相距太大,重新拍照;②对其中位于机器人基坐标系180°附近的一个特征进行定位,找到这个特征的标定,作为角向的起点;③采用超声波测距传感器对工件的四个拍照点做跨越动作,扫描工件高度,初步确定工件的高度。④采用接触式测头,对圆周上的四个等分点进行接触式检测,获取工件上平面的角度。这样由工件的上平面中心点和角度,以及圆周参考点,就可以确定出工件的空间姿态,为后面匹配打磨程序提供基础。

在视觉定位过程中,可建立多坐标系间的转换关系,提升定位精度<sup>[9]</sup>。根据拍照得到的4个点的坐标,计算出圆心位置、零件倾角,从而计算出当前位置相对于标准位置的空间平移旋转关系。

空间3点构成平面方程:

设平面方程为  $Ax + By + Cz + D = 0$ , 空间3点为

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$

$$A = ((y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1));$$

$$B = ((z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1));$$

$$C = ((x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1));$$

$$D = (0 - (A * x_1 + B * y_1 + C * z_1));$$

该平面法线方向计算

设 $v_x, v_y, v_z$ 为平面法线方向

$$v_x = A / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$$

$$v_y = B / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$$

$$v_z = C / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$$

圆心计算方法:

&ACCESS RV

&REL 16

&PARAM EDITMASK = \*

&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\  
Template\FunctionVorgabe

DEF circle\_center(p1:in, p2:in, p3:in)

e6pos p1, p2, p3

real x1, x2, x3, y1, y2, y3, z1, z2, z3, a1, b1, c1, d1, a2,

b2, c2, d2, a3, b3, c3, d3

x1=p1.x

x2=p2.x

x3=p3.x

y1=p1.y

y2=p2.y

y3=p3.y

z1=p1.z

z2=p2.z

z3=p3.z

$$a1 = (y1 * z2 - y2 * z1 - y1 * z3 + y3 * z1 + y2 * z3 - y3 * z2)$$

$$b1 = -(x1 * z2 - x2 * z1 - x1 * z3 + x3 * z1 + x2 * z3 - x3 * z2)$$

$$c1 = (x1 * y2 - x2 * y1 - x1 * y3 + x3 * y1 + x2 * y3 - x3 * y2)$$

$$d1 = -(x1 * y2 * z3 - x1 * y3 * z2 - x2 * y1 * z3 + x2 * y3 * z1 + x3 * y1 * z2 - x3 * y2 * z1)$$

$$a2 = 2 * (x2 - x1)$$

$$b2 = 2 * (y2 - y1)$$

$$c2 = 2 * (z2 - z1)$$

$$d2 = x1 * x1 + y1 * y1 + z1 * z1 - x2 * x2 - y2 * y2 - z2 * z2$$

$$a3 = 2 * (x3 - x1)$$

$$b3 = 2 * (y3 - y1)$$

$$c3 = 2 * (z3 - z1)$$

$$d3 = x1 * x1 + y1 * y1 + z1 * z1 - x3 * x3 - y3 * y3 - z3 * z3$$

center=\$nullframe

$$\text{center.x} = -(b1 * c2 * d3 - b1 * c3 * d2 - b2 * c1 * d3 + b2 * c3 * d1 + b3 * c1 * d2 - b3 * c2 * d1) / (a1 * b2 * c3 - a1 * b3 * c2 - a2 * b1 * c3 + a2 * b3 * c1 + a3 * b1 * c2 - a3 * b2 * c1)$$

$$\text{center.y} = (a1 * c2 * d3 - a1 * c3 * d2 - a2 * c1 * d3 + a2 * c3 * d1 + a3 * c1 * d2 - a3 * c2 * d1) / (a1 * b2 * c3 - a1 * b3 * c2 - a2 * b1 * c3 + a2 * b3 * c1 + a3 * b1 * c2 - a3 * b2 * c1)$$

$$\text{center.z} = -(a1 * b2 * d3 - a1 * b3 * d2 - a2 * b1 * d3 + a2 * b3 * d1 + a3 * b1 * d2 - a3 * b2 * d1) / (a1 * b2 * c3 - a1 * b3 * c2 - a2 * b1 * c3 + a2 * b3 * c1 + a3 * b1 * c2 - a3 * b2 * c1)$$

$$\text{center.a} = \sqrt{(\text{center.x} - x1) * (\text{center.x} - x1) + (\text{center.y} - y1) * (\text{center.y} - y1) + (\text{center.z} - z1) * (\text{center.z} - z1)}$$

$$\text{center.b} = \text{center.a} * 2$$

END

空间变换计算方法:

经常用到的旋转变换矩阵是绕X轴、绕Y轴或绕Z轴转一角度。它们是

$$R(X, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R(Y, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R(Z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

向量 $a$ 经过一次旋转 $R$ 和一次平移 $t$ 后, 得到

$$a' = R * a + t$$

齐次表述

$$\begin{bmatrix} a' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} a \\ 1 \end{bmatrix}$$

通用旋转矩阵 $R$ 为:

$$R = R_z(\beta) R_y(\alpha) R_x(\theta)$$

这里的旋转矩阵旋转过程, 先绕X轴旋转 $\theta$ 角, 然后绕

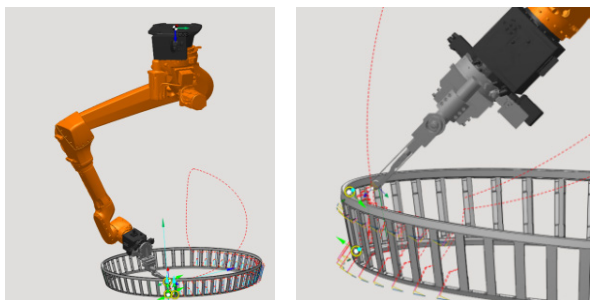
Y轴旋转 $\alpha$ 角,最后绕Z轴旋转 $B$ 角。

## 四、智能打磨方法研究

### 1.打磨路径规划算法

由于工件打磨特征复杂,我们提前用离线编程的方式对工件进行编程模拟。在编程过程中遇到的最大的问题是,在机器人死点附近打磨动作会导致机器人轴超限。通过分析打磨工艺,拆分打磨动作,将左右摆幅过大的动作拆分为左侧动作和右侧动作,对于左侧和右侧动作机器人采用两种不同的姿态进行打磨,单独执行左侧或右侧动作时,机器人左右摆幅减小,机器人不会出现轴超限。

在路径规划中,参考贝塞尔曲线轨迹生成方法,对拆分后的打磨路径进行平滑处理,确保机器人运动平稳<sup>[14]</sup>。同时,结合等截面切割轨迹生成思路,针对保持架滚子框等规则特征,生成均匀的打磨路径点,提升路径覆盖的完整性<sup>[15]</sup>。



(a) 整体姿态仿真 (b) 工具部分姿态仿真

图1 使用离线编程进行模拟

### 2.力控制策略

由于机器人绝对精度较低,加之对工件的视觉定位存在偏差,必须使用力控的方式实现末端工具与工件恒力贴合,实现恒力打磨。一般情况下,实现恒力打磨的方式有两种,一种是浮动接触恒力打磨,一种是刚性接触恒力打磨。浮动接触恒力打磨由于采用了浮动环节,可以确保打磨路径平滑过渡,并且可以实现快速打磨,刚性接触无需浮动环节,只需要一传感器,所以体积小,比较灵巧,在装配领域使用,但是相应速度慢,不适合打磨。浮动恒力打磨有分为主动式浮动和被动式浮动。主动式浮动就是通过力传感器实施检测工具与工件的接触力,通过调整工具与工件的贴合压力,以达到恒力接触,这种方式末端工具体积大,相应速度慢,一般机器人的速度小于 $50\text{mm/s}$ ;被动浮动直接采用固定压力的浮动装置,不需要检测接触力,只要工件和刀具在需用范围内保持接触,就能提供恒

定的接触力,这个距离一般是 $\pm 10\text{mm}$ ,而且不需要庞大的浮动机构,所以体积小,相应快,只要不要求接触力不断变化,适合大多数打磨场景<sup>[6]</sup>。本项目为三种工具提供了三种不同的被动浮动工具,如表1所示。

表1 工具参数

工具类型	浮动类型	浮动方向	浮动力来源	浮动力 /N	浮动范围 /mm
往复锉刀	径向浮动	圆周径向	气压	20	周向 $\phi 20$
砂带机	定向浮动	法向	弹簧	10	$\pm 10$
磨料刷	径向浮动	圆周径向	气压	30	周向 $\phi 40$

## 五、项目实施方案

### 1.打磨平台的搭建

考虑到保持架的打磨时间较长,约为3小时,为了提高设备开动率,设计了两个交换托盘,一次可安装两个工件。交换托盘采用齿轮齿条驱动,轻轨导向,设置减速和准停传感器,确保托盘的重复定位精度达到 $\pm 5\text{mm}$ ,整体方案如图2所示。

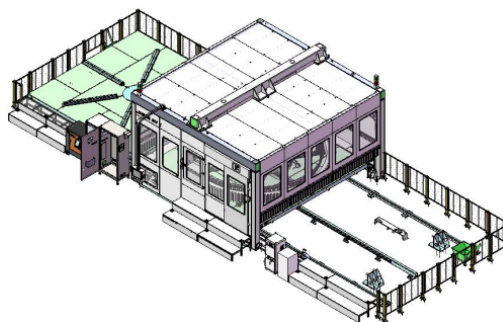


图2 三维效果图

### 2.初次实验

在打磨平台制造完成后,进行了首次实验,零件直径 $2300\text{mm}$ ,打磨内容如表2所示,打磨参数如表3所示。

表2 初次打磨方案及效果

毛刺位置	毛刺产生原因	去除要求	首次实验工具选择	首次实验效果	进给速度 / $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
滚柱框左右直边	机加工残留	倒角 C0.2-C0.5	径向浮动主轴+多刃旋转锉刀	倒角C0.8左右,存在二次翻边	200
滚柱框退刀槽	机加工残留	倒角 C0.2-C0.5	径向浮动主轴+多刃旋转锉刀	倒角C0.8左右,存在二次翻边	200
滚柱框上下直边	机加工残留	倒角 C0.2-C0.5	径向浮动主轴+多刃旋转锉刀	倒角C0.8左右,存在二次翻边	200
滚柱接触面抛光	铣刀刀痕	粗糙度 Ra0.3-Ra0.5	轴向浮动主轴+陶瓷纤维刷	Ra0.5,切削力大,易干涉	200

表3 初次打磨方案打磨参数

毛刺位置	首次实验工具选择	打磨速度 / mm · s <sup>-1</sup>	浮动压力 /N	刀具转速 /r · min <sup>-1</sup>
滚柱框左右直边	径向浮动主轴+多刃旋转锉刀	150	10	10000
滚柱框退刀槽	径向浮动主轴+多刃旋转锉刀	150	10	10000
滚柱框上下直边	径向浮动主轴+多刃旋转锉刀	150	10	10000
滚柱接触面抛光	轴向浮动主轴+陶瓷纤维刷	150	10	6000

### 3.最终实验结果与分析

首次实验中，采用常规打磨工具，效果均不理想，针对其中最核心的三个问题，解决方案如下：

针对旋转锉刀打磨直边产生的二次翻边问题，做了多次试验，选择不同角度的旋转锉刀，对三种规格的旋转锉刀做了测试，分别为30° 60° 90° 锥角的旋转锉刀，但效果无显著差异，均会产生二次翻边，虽然90° 锥角的旋转锉刀产生的二次翻边最小，但也达不到标准。随后考虑放弃切削方式，转而采用打磨方式去除毛刺，采用240目、400目、600目、800目砂带进行测试，效果如图3所示。最终选取240目砂带作为打磨材料，用于所有直边打磨。

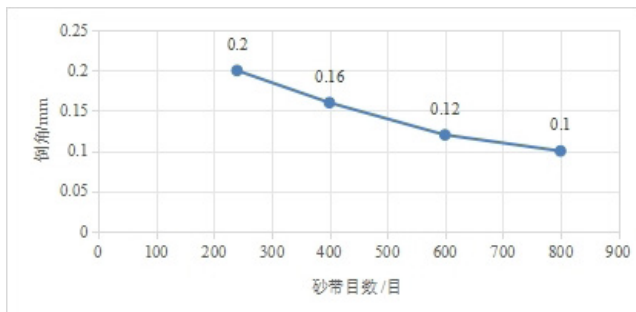


图3 砂带目数与倒角大小关系图

针对旋转锉刀打磨滚子框退刀槽产生二次翻边的问题，同样先测试了30°、60°、90° 锥角的旋转锉刀，效果无明显改善，均会产生二次翻边。但是这个特征是个空间曲线，无法使用砂带打磨，类比打磨直边的方式，可以选择砂轮或金刚砂工具。砂轮打磨虽能实现表面平滑均匀且无二次翻边，但存在切削力大、易过切、易产生火花及工具磨损快等问题，且与浮动工具适配性差，故不适用于该场景。金刚砂工具有旋转锉和往复锉，其中旋转锉打磨位置相对固定，容易磨损，往复锉与工件接触范围大，耐用。最后选择金刚砂往复锉作为打磨滚子框退刀槽的工具。通过实验发现，400目的金刚砂往复锉使用寿命更长，产生的二次翻边比较小。

针对陶瓷刷体积大易干涉的问题，同样尝试采用砂带打磨解决，采用砂带机打磨，打磨特征与砂带机呈90° 布置，无干涉。

对3件同规格（直径 2300mm、材质 42CrMo）保持架进行打磨实验，验证了该方法的稳定性与一致性。最终打磨方案及效果、打磨参数如表4、表5所示。

表4 最终打磨方案及效果

毛刺位置	毛刺产生原因	去除要求	最终工具选择	最终效果	进给速度 / mm · s <sup>-1</sup>
滚柱框左右直边	机加工残留	倒角 C0.2-C0.5	浮动砂带机+240目矿物砂带	倒角C0.3, 光滑无毛刺	200
滚柱框退刀槽	机加工残留	倒角 C0.2-C0.5	一序：径向浮动往复锉+金刚砂圆锉；二序：径向浮动主轴+磨料刷；	倒角C0.3, 光滑无毛刺	200
滚柱框上下直边	机加工残留	倒角 C0.2-C0.5	浮动砂带机+240目矿物砂带	倒角C0.3, 光滑无毛刺	200
滚柱接触面抛光	铣刀刀痕	粗糙度 Ra0.3-Ra0.5	浮动砂带机+400目矿物砂带	Ra0.3, 满足要求	200

表5 最终打磨方案打磨参数

毛刺位置	最终工具选择	打磨速度 / mm · s <sup>-1</sup>	浮动压力 /N	刀具线速度 / mm · s <sup>-1</sup>
滚柱框左右直边	浮动砂带机+240目矿物砂带	150	10	线速度：50
滚柱框退刀槽	一序：径向浮动往复锉+金刚砂圆锉；二序：径向浮动主轴+磨料刷；	200	10	往复锉线速度：3 磨料刷线速度：15
滚柱框上下直边	浮动砂带机+240目矿物砂带	150	10	线速度：50
滚柱接触面抛光	浮动砂带机+400目矿物砂带	150	10	线速度：50

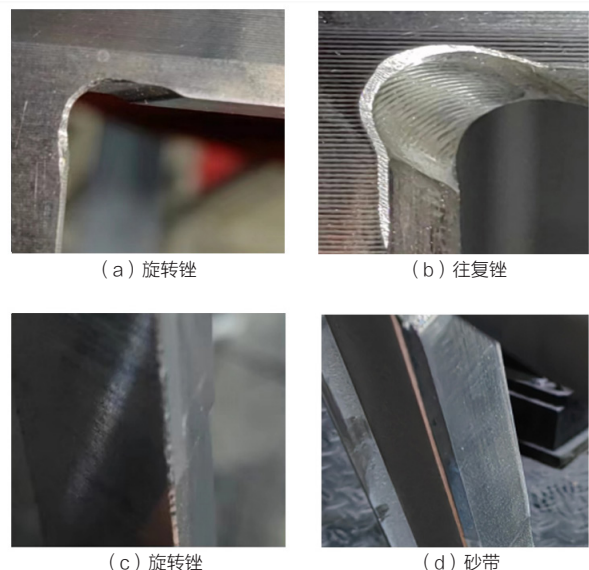


图4 打磨效果图

如图4所示,图4a为旋转锉打磨退刀槽的打磨效果,凹凸不平,图4b往复锉打磨退刀槽的效果,过渡均匀。图4c为旋转锉打磨直边的打磨效果,凹凸不平,图4b为砂带打磨直边的效果,平滑均匀。通过多次试验改进,主要的打磨部位打磨效果达到要求,并通过验收。

## 六、结论

### (1) 装置设计有效性验证

本研究设计的大型齿轮保持架机器人智能打磨装置,通过倒挂式机器人布局、三点支撑夹紧机构及双交换托盘系统,成功解决了保持架尺寸大、薄壁易变形、装夹定位困难等问题。装置覆盖直径1400~3600mm的工件范围,定位精度达 $\pm 0.05\text{mm}$ ,满足风电齿轮保持架的自动化打磨需求。

视觉定位与传感检测系统结合2D相机、超声波测距及接触式测头,实现了工件圆心、坐标系及空间姿态的快速识别,为打磨路径规划提供了精确基准,有效解决了无圆孔特征工件的参考点定位难题。

### (2) 打磨方法的技术突破

采用“离线编程+力控策略”的智能打磨方法,通

过拆分打磨动作避免机器人轴超限,结合被动式浮动打磨工具(如径向浮动主轴、轴向浮动砂带机),实现了恒力打磨。经实验验证,该方法将保持架打磨效率从人工的20~30小时/件提升至3小时/件,大幅缩短了生产周期。

针对不同打磨特征(直边毛刺、退刀槽、接触面抛光)优化工具组合与工艺参数,最终使滚子接触面粗糙度达Ra0.3,棱边倒角精度控制在C0.3,满足风电行业的严苛质量要求,且消除了传统人工打磨的质量波动问题。

### (3) 产业应用价值与前景

该智能打磨装置及方法已通过实验验证,实现了风电齿轮保持架打磨的全流程自动化,显著提升了生产效率与产品一致性,为风电产业规模化生产提供了关键技术支撑,有助于降低维护成本与停机时间。

研究成果可拓展至其他大型复杂结构件的智能加工领域,推动高端装备制造业向智能化、精密化方向发展,提升我国在风电设备制造领域的全球竞争力。未来可进一步优化力控算法与工具耐磨性,以适应更多类型合金材料的打磨需求。如融合适应变阻抗控制与超硬磨料工具技术,以适应更多类型合金材料的打磨需求<sup>[11,17]</sup>;同时,可引入点云配准与路径规划技术,拓展至更复杂曲面工件的打磨场景<sup>[14]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 曹阳,刘颖志,张兴洪.金属实体保持架去毛刺加工方法[J].轴承,2020(09):10-12.
- [2] 董跃庆.无套圈推力滚针轴承保持架去毛刺方法[J].轴承,1990(03):69-70.
- [3] 王慧霖,张平宽.滚柱轴承保持架去毛刺[J].煤矿机械,2005(09):75-76.
- [4] 陈远龙,沈健,张海岩,等.保持架电化学去毛刺工艺[J].轴承,1996(07):24-25.
- [5] 韩强,王希保.打磨机器人控制系统设计与实现[J].自动化技术与应用,2025(4):87-90.
- [6] 刘毅,丰宗强,毛崇博,等.大型铸锻件打磨机器人设计与分析[J/OL].工程科学与技术,2024(06):1-13.
- [7] 付金龙,曾斌,石辉.仿真软件在清理机器人打磨系统上的研究与应用[C]//第二届中国铸造协会年会论文集,2022:421-426.
- [8] 邹涛,黄敬然,项超群,等.工业打磨机器人机械臂运动偏离距离预补偿算法[J].广州大学学报(自然科学版),2024,23(4):1-8.
- [9] 庄清瑶.工业机器人去毛刺平台研发路径探究[J].内燃机与配件,2022(03):69-72.
- [10] 刘亮,吴云,嵇玮玮.工业机器人自动化打磨方案探析[J].数字技术与应用,2025(08):102-104.
- [11] 李健,张云,谢卓群.航空机匣机器人超硬磨料工具抛光去毛刺技术研究[J].制造技术与机床,2022(02):35-38.
- [12] 傅净之.机器人铣削去毛刺加工效率优化研究[J].现代制造技术与装备,2023(08):187-189.
- [13] 蔡勋,蔡岳辰,程国利,等.机器人自动打磨设备系统优化与应用研究[J].中国机械,2025(15):11-14.
- [14] 林帅辉,刘丕亮.基于点云配准的无缝钢管端面打磨路径规划[J].组合机床与自动化加工技术,2025(08):55-60.
- [15] 张铭.基于点云数据的机器人打磨系统研究与实现[D].武汉:武汉工程大学,2024.
- [16] 李波,葛天哲,向华.基于改进遗传算法的机器人去毛刺工艺参数优化[J].机械设计与研究,2019,35(4):130-133.
- [17] 毛坤,朱学军,杨旭东,等.面向复杂工件的机器人视觉打磨系统:路径规划与力控制研究[J].现代制造工程,2025(07):31-41.

# 五轴加工中心速度路径优化的研究

沈阳机床（集团）有限责任公司 马俊杰

**【摘要】**五轴加工中心的速度路径优化涉及机床电气技术的自动控制技术、工艺设计技术、机械设计技术以及机床装配工艺等方面技术，然而从多方面进行技术研究五轴加工中心的速度路径的形成是解决问题的根本手段，但是以目前机床的设计技术水平和机床装配水平，经过多方面技术分析得出的速度路径的原因会呈现出多样化，采取的措施更加复杂，难以实施且收效甚微，因此五轴加工中心的速度路径优化成为了数控机床自动控制的难点。本文以五轴加工中心GMC2040u为研究对象，通过对五轴的插补路径速度变化曲线的实时跟踪以及现场实际情况的反馈，采用自动控制技术，对大型五轴加工中心的速度路径的优化提出了解决方案。

近年来，我国航空航天事业发展迅猛，五轴加工中心以其独特的结构特性，大加工范围、高加工效率、高动态特性等优点，成为广泛应用于高精尖航空航天大型结构件加工的行业重器。为保证五轴加工中心的高动态响应特性，本文以GMC2040u为研究对象，通过对五轴的插补路径速度变化曲线的实时跟踪以及现场实际情况的反馈，采用自动控制技术，对大型五轴加工中心的速度路径的优化提出了解决方案。

## 1. 结构描述

如图1所示。横梁在床身上水平移动为X轴，X轴由四个电机驱动，横梁的左右两侧各有两个电机拖动，X轴为齿轮齿条结构，横梁两侧的两个伺服电机为主从控制方式，起到分摊力矩和消除齿轮齿条传动间隙的作用，X轴左右两侧的主动电机采用龙门驱动控制方式，这种控制方式不但使X轴运行平稳，还可增加机床的跨距，X轴两侧各配置一根光栅尺，形成全闭环控制系统，提高机床的定位精度。滑板在横梁上沿水平方向左右移动为Y轴，滑枕沿滑板上下移动为Z轴。铣头为叉式结构，绕X轴摆动为A轴、绕Z轴转动为C轴，实现X、Y、Z、A、C五轴联动的

机械结构。



图1 大型五轴加工中心结构示意图

## 2. 优化

### (1) 现场速度数据采集

观测零件程序运行过程，开启RTCP后，机床各轴的插补速度在直线运动切换到圆弧运动时和圆弧运动切换到直线运动时，降速特别明显且不稳定。为具体了解降速的程度，分别在进给速度为2000mm/min和3000mm/min时各采集了10组速度数值，如表1所示。

表1 实时速度检测数值

序号	进给F2000时	进给F3000时
1	500	1180
2	1700	1486
3	1900	2999
4	1800	2640
5	400	1486
6	1900	355
7	614	309
8	1934	733
9	1375	2860
10	1990	2880

### (2) 仿真速度曲线采集

通过SINUTRAIN软件，采集各轴的速度路径曲线，图2为速度路径变量，图3为仿真得出的速度路径曲线。

选择跟踪变量: (PLC/NC/伺服) Session		
变量	注释	颜色
/Channel/State/acVactBf[u1, 1]	Path velocity in the BCS	黄色
Nck/ServoData/nckServoDataActUel1stEnc64[1]	Velocity act. value meas. system 1	绿色
Nck/ServoData/nckServoDataActUel1stEnc64[2]	Velocity act. value meas. system 1	青色
Nck/ServoData/nckServoDataActUel1stEnc64[3]	Velocity act. value meas. system 1	品红色
Nck/ServoData/nckServoDataActUel1stEnc64[4]	Velocity act. value meas. system 1	红色
Nck/ServoData/nckServoDataActUel1stEnc64[5]	Velocity act. value meas. system 1	绿色
/Channel/ProgramInfo/seekOffset[u1, 1]	Line number of current NC block	灰色

图2 速度路径变量



图3 优化前各轴路径速度变化曲线

### (3) 加加速度的优化

从图3-2可以看出，在开启RTCP后，参与插补的轴的速度为使各轴达到插补速度，数控系统会自动调节各轴的运行速度，从而插补速度有了明显的降低，因此需要检查插补轴的原有路径最大加加速度、轴加加速度、以及最大限制值等参数的设置，如：MD20600，MD20602，MD20606，MD32431，MD32432等的设定值，原始参数设定值如下：

```
MD20600$MC_MAX_PATH_JERK[0]=5
MD20600$MC_MAX_PATH_JERK[1]=5
MD32431$MA_MAX_AX_JERK[0,AX1]=5
MD32431 $MA_MAX_AX_JERK[1,AX1]=5
MD32432 $MA_PATH_TRANS_JERK_LIM[0,AX1]=5
MD32432 $MA_PATH_TRANS_JERK_LIM[1,AX1]=5
```

提升加加速度的设定值，将所有插补轴的加加速度设置为30，SINUTRAIN仿真如图4所示。



图4 参数优化后的仿真图形

### (4) 工艺程序上的优化

在已经更改上述参数的基础上，增加精优曲面工艺循环(CYCLE832)指令，并选择精加工，轴公差设置成后置处理允差的5倍，如图5所示。

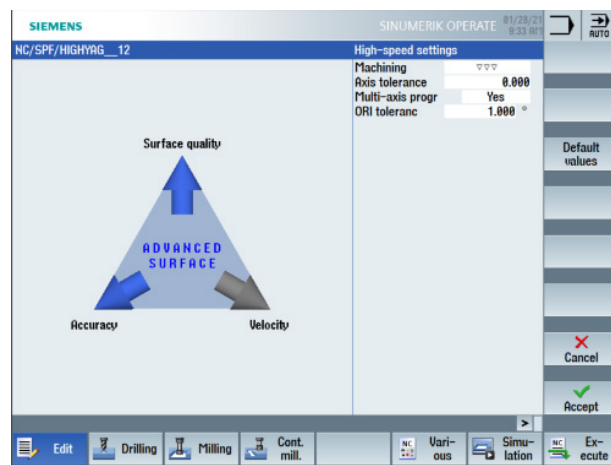


图5 工艺优化

编程位置值精确到小数点五位，增加FGROUP(X,Y,Z,A,C)工艺语句，SINUTRAIN仿真图形如图6所示。

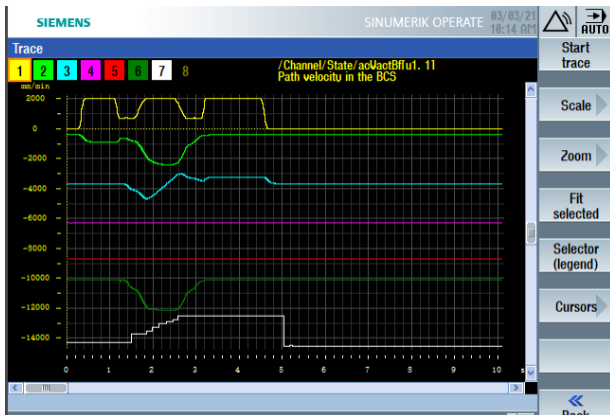


图6 工艺优化仿真

### (5) 速度优化

将插补轴的原有路径的最大加加速度、轴加加速度、以及最大限制值等参数的数值提高，如下参数：

```
MD32300 $MA_MAX_AX_ACCEL[0,AX5]=70
```

```
MD32300 $MA_MAX_AX_ACCEL[1,AX5]=70
```

```
MD32300 $MA_MAX_AX_ACCEL[2,AX5]=70 //粗加工
```

```
MD32300 $MA_MAX_AX_ACCEL[3,AX5]=70 //半精加工
```

```
MD32300 $MA_MAX_AX_ACCEL[4,AX5]=70 //精加工
```

```
MD32431 $MA_MAX_AX_JERK[0,AX5]=30
```

```
MD32431 $MA_MAX_AX_JERK[1,AX5]=30
```

```
MD32431 $MA_MAX_AX_JERK[2,AX5]=30 //粗加工
```

```
MD32431 $MA_MAX_AX_JERK[3,AX5]=30 //半精加工
```

```
MD32431 $MA_MAX_AX_JERK[4,AX5]=30 //精加工
```

```
MD32432 $MA_PATH_TRANS_JERK_LIM[0,AX5]=30
```

```
MD32432 $MA_PATH_TRANS_JERK_LIM[1,AX5]=30
```

```
LIM[1,AX5]=30
```

```
MD32432 $MA_PATH_TRANS_JERK_LIM[2,AX5]=30 //粗加工
```

```
LIM[2,AX5]=30 //粗加工
```

```
MD32432 $MA_PATH_TRANS_JERK_LIM[3,AX5]=30 //半精加工
```

```
LIM[3,AX5]=30 //半精加工
```

```
MD32432 $MA_PATH_TRANS_JERK_LIM[4,AX5]=30 //精加工
```

```
LIM[4,AX5]=30 //精加工
```

SINUTRAIN仿真图形如图7所示。



图7 优化后的速度路径仿真曲线

### 3. 结语

从仿真图7中可以看出，优化后插补速度最低降至1300mm/min，但是据现场实际数据采集反馈得到的速度降到800mm/min，虽然没有达到十分理想的速度，但是确实通过自动控制技术使插补速度得到了明显提升；由优化过程可见，只通过更改参数或只优化工艺语句不能达到想要的提速效果，需要综合电气控制和工艺路径进行优化。此外，经机床集团技术专家及西门子服务工程师确认，针对这台机床，控制参数的设置已经达到最优，在对控制系统的插补优化技术方面已经完成。而开启五轴插补会有降速是正常现象，但是还能否进一步提升相关参数设定值和插补速度，还需要进行机械设计和装配工艺方面的研究，才能解决仿真的插补速度和实际切削的插补速度不一致的问题。□

### 参考文献：

- [1] SINUMERIK 840D sl Commissioning CNC: ShopMill [Z].2008.Siemens AG Division Digital Factory
- [2] FB2sl\_1015\_Extend Function\_CN[Z].2015/03.Siemens AG Division Digital Factory
- [3] SINUMERIK 840D sl Commissioning CNC: ShopTurn[Z].2008.Siemens AG Division Digital Factory
- [4] Overview of functions SINUMERIK solution line[Z].2012.Siemens AG Division Digital Factory
- [5] Machine data and parameters Parameter Manual[Z].2013/03.Siemens AG Division Digital Factory
- [6] Basesoftware and operating software Commissioning Manual[Z].2013/03.Siemens AG Division Digital Factory
- [7] Milling Operating Manual[Z].2013/03.Siemens AG Division Digital Factory
- [8] Siemens, DocOnCD siemens[Z].2013.Siemens AG Division Digital Factory
- [9] Job Planning Programming Manual[Z].2013/03.Siemens AG Division Digital Factory
- [10] FB1sl\_1015\_Basic Function\_CN[Z].2015/03.Siemens AG Division Digital Factory
- [11] FB3sl\_Special function-US[Z].2015/03.Siemens AG Division Digital Factory
- [12] Fundamentals Programming Manual[Z].2013/03.Siemens AG Division Digital Factory

# 管路连接卡箍发展研究分析

大连之琳科技股份有限公司 王洪久

**【摘要】**文章分析了国内外航空管路连接卡箍的发展现状，并剖析了目前国内航空管路连接件与发达国家的差距，从结构设计、工艺方案、性能测试等全方面分析了管路连接卡箍发展的方向，望能为相关人员提供一定的参考和帮助。

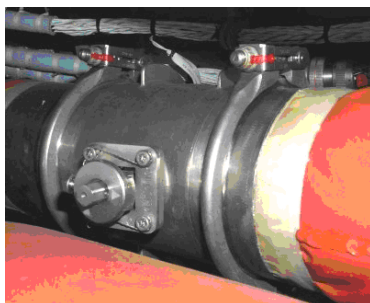
飞机管路连接卡箍作为飞机环控系统、液压系统管路连接的主要标准件，在航空、航天行业得到广泛应用，核电等高端行业在逐步使用同类型的产品。随着航空航天行业的发展，作为飞机管路系统主要连接件的管路连接卡箍，其产品性能也在持续提升。但相比于国外先进的技术，国内该产品的技术能力仍有很大的提升空间。

## 一、国内外使用、研制的现状，技术标准及发展

### 1. 国外发展、技术标准现状

国外飞机管路采用的卡箍式连接方式已经经历了好几代产品。最早一代采用的是法兰盘连接方式，采用至少6个螺栓进行固定连接，零件笨重，难以安装、维护。而后经历了2根导管外面套胶管，用两个卡箍进行连接的方式，然而安装还是不便。第三代管路连接采用管路连接卡箍，由卡箍组件、凸接头、凹接头及密封圈组成，安装方式、密封性和可靠性较以前都得到大大提高。目前，国内外都普遍采用了第三代管路连接卡箍，但国内与国外在卡箍结构、导管与接头连接形式、拆装维护性及整体性能上都存在较大差距。

欧美等国外发达国家由于在飞机设计制造业积淀很深，对于管路连接标准件的设计和使用水平高于国内。其中管路连接快卸卡箍专业制造公司很多，包括美国VOSS、ADEL-WIGGON、EATON等公司，标准有AS标准、波音BAC企标和Airquip公司AEB企标等。通过对国外资料分析，国外管路连接快卸卡箍，品种规格齐全（最大管径可以达到 $\phi 12$ 英寸、最高工作温度 $650^{\circ}\text{C}$ ），结构形式新（除传统的箍带式，发展了AS1895铰链式），拆装方便，维护性好，工作温度和工作压力适用范围广，能够满足不同管路系统连接需求。



目前最先进的AS1895类型的快卸卡箍国外已进行了迭代更新，在原有规格的基础上增加更大规格的研究，导管直径7.5in以上的部位采用双

铰链甚至多铰链形式，实现紧固向心力匀称，并且能够减轻一定的产品重量。

国外常用的管路快卸卡箍标准号、工作温度、工作压力等主要使用参数见表1。通常来说，管径越大，工作温度越高，工作压力越低；管径越小，工作温度越低，工作压力越高。

表1 国外卡箍标准及性能指标

标准号	规格/mm	工作温度(°C)	工作压力/MPa	结构形式	主体材料		装配力矩(N.m)
					箍带	螺栓	
BAC C10AC	φ38~138	-18~440	1~1.5	焊接	431	410、301	10~16
BAC C10EC	φ30~76	-30~500	3.75~4.25	焊接	718 A286	A286	10~11
AEB/195	φ25~152	-18~645	4.25	焊接	301、718	A286	11
AEB/197	φ25~305	-55~874	1.38	焊接/铆接	A286、718	A286	14
AEB/201	φ76~127	200~400	1.5	整体型	301、302	431	--
AS1895	φ38~190	-55~650	2.6~13.5	铰链式	718/A286	718、A286	13.6
AS1960	φ50~228	-55~427	0.15~3.5	焊接	301	A286	10

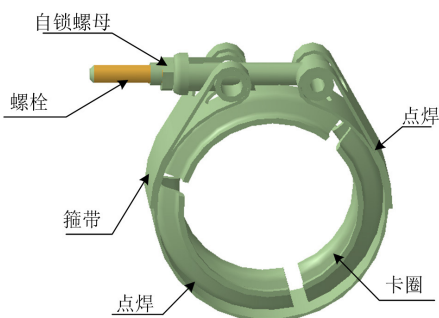
## 2.国内发展、技术标准现状

国内飞机管路连接卡箍研制起步较晚，以往飞机管路系统使用的管路系统连接卡箍为航标件或企标件，其规格较小（通常直径不超过φ60mm），耐压耐高温性能较差，且结构均为分瓣卡圈点焊在箍带上的形式，在系统管路安装维护时，拆装相当困难。经常拆装易造成卡箍箍带变形，影响卡箍密封性能和使用强度，无法满足型号大规格（φ100mm以上）、高温（工作温度600°C以上）高压（最高工作压力15MPa）、拆装维护性好、长寿命的设计使用需求。同时，以往国内管路系统连接卡箍用密封圈为柔性石墨材料，该材料密封圈压缩密封性能较差，只能一次性装配使用。

《窄凸缘管路连接快卸卡箍》、HB7386《600°C高温高压管路快卸卡箍》、HB8093《空气系统高温高压导管与管路连接卡箍》和HB8094《空气系统高温高压导管与附件连接卡箍》。从结构上来说均属于箍带式卡箍。通过对标准的整体分析，可以看出，这些标准多为满足某型号设计需求而编制，存在种类规格不全、部分标准无对应产品等问题，不能适用于不同型号管路系统连接需求。同时国内该类产品的验收规范仅有对组件的鉴定要求，鉴定项目也主要集中在几个常规的性能项目（见表2），在复杂温度、载荷、疲劳条件和零部件强度方面的性能考核较少，有待进一步完善和提高。

表2 国内外高温卡箍试验项目对比

序号	AS1895《高温高压气体导管箍块式V型卡箍组件》试验项目	HB6536-1991《高温管路连接快卸卡箍技术条件》试验项目	HB7648《空气高温管路连接快卸卡箍通用规范》试验项目	HB6880《袋密封圈高温管路连接快卸卡箍及特殊条件》试验项目
1	产品检查	-	-	-
2	半卡箍强度试验	-	-	-
3	螺母寿命试验	-	-	-
4	安全门试验	-	重复组装试验	-
5	流体静压力试验	泄漏量试验	泄漏量试验	泄漏量试验
6	工作压力试验	压力试验	压力试验	压力试验
7	极限压力试验	-	-	-
8	破坏压力试验	破坏压力试验	破坏压力试验	破坏压力试验
9	扭矩试验	-	-	-
10	正弦振动试验	振动试验	振动试验	振动试验
11	压力循环试验	压力循环试验	压力循环试验	压力循环试验
12	弯曲疲劳试验	弯曲疲劳试验	弯曲疲劳试验	弯曲疲劳试验



目前，国内空气管路连接快卸卡箍标准有HB6535《高温管路连接快卸卡箍》、HB6879《带密封圈高温管路连接快卸卡箍》、HB7385

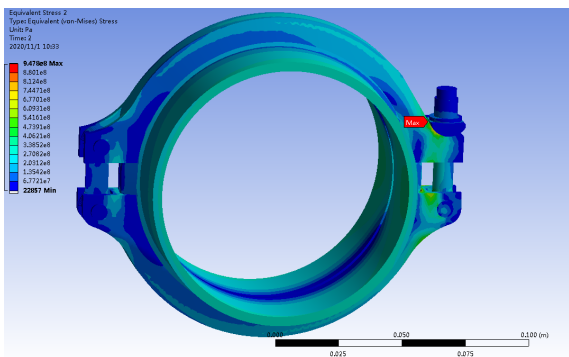
## 二、管路连接卡箍未来发展方向

### 1.卡箍结构优化设计发展方向

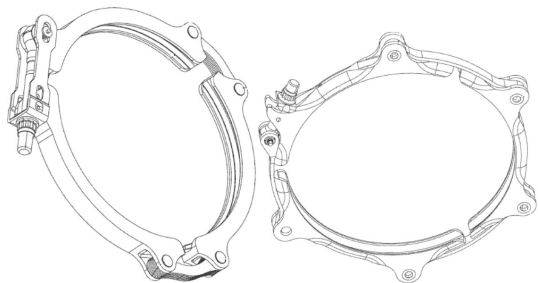
以往国内卡箍的设计基本都是参考国外标准规范，通过结构、尺寸、材料剖析，开展逆向仿制设计，由于对进口产品的机理并不了解，无法实现结构优化，通常只能达到形似，以最高程度接近进口产品的性能指标为最终目标，无法实现满足管路连接具体情况的需求，设计出的卡箍只能在特定条件下使用，距离全谱系覆盖相差甚远。

随着科技的进步及飞机整体结构性能提高的需求，管路连接卡箍逐渐向着高性能、轻量化方向发展，这就要求管路连接卡箍在设计中兼顾高密封性，高强度及轻量化的性能需求，对卡箍的设计优化提出了更高的要求。

目前国内先进的设计方案采用仿真分析技术的引进，在卡箍结构设计过程中引用数字化分析技术辅助设计，依据工况需求，导入静态设计参数，通过软件的理论测算，模拟卡箍静态条件下的受力情况，分析受力强点，以此寻求计算卡箍结构的薄弱点，在结构设计时进行补强优化。数字化技术的应用大幅度提升了卡箍结构设计的先进性，初步实现了卡箍结构的优化设计，结合高温合金、钛合金等高性能材料在航空航天行业的应用，目前国内卡箍前沿设计能力已经具备自主设计能力，摆脱参考进口逆向设计的束缚。但是卡箍性能往往要满足疲劳、脉冲、振动、冲击、扭转等动态要求，在这些方面的设计结合能力仍然有所欠缺，达不到全性能数字分析的技术水平，未来必然要提高此方面的专业性，在结构设计的初期实现全性能的理论模拟分析，为后续的结构设计打下良好的基础。



卡箍的结构以铰链式刚性结构与多瓣箍带式为主，相比之下刚性结构卡箍在未来的发展趋势下更有优势，类似AS1895快卸卡箍结构在逐渐成为主流方向，未来卡箍趋向于多段式刚性卡箍，实现更大规格管径连接。替代AS6369结构的多瓣箍带式卡箍，刚性卡箍相比于多瓣式卡箍虽然重量略有增加，但是其性能、寿命、操作性、互换性等各方面均具备不可替代的优势，结合钛合金这种高性能、低密度材料的引用，使其在未来应用方面获得更广阔的前景。



## 2. 卡箍工艺方案发展方向

传统的钣金类卡箍的工艺方案通过单冲模具设计结构保证卡箍的尺寸，模具设计的精密程度直接影响到卡箍性能，同一套模具只能生产一种规格卡箍，无法实现多规格生产加工，一套标准的卡箍往往至少包含了十几种规格，每个规格模具需求量就多达5~8套，全规格生产需要制备模具的投入就多达十几万成本，并且模具存放占用大量空间。

卡箍生产工艺未来发展趋向于单设备加工多规格方向，通过滚压设备滚压成型，调整滚压轮递进的变形量及弯曲弧度，实现不同槽型、不同弧度、不同槽深的卡箍V槽由一套设备实现加工。

箍块类卡箍整体工艺国内优势单位已形成系统的加工方式。通过工装模具定位后进行配对加工。

这种加工方式在机械加工工艺中普遍应用，但是相对于卡箍的需求，加工相对复杂，实现产品尺寸的过程需求多工序的工装，在数控车、数控铣以及数控切割工序均须按照不同规格卡箍设计专用工装实现工艺简化。

随着国内锻造行业的快速发展，在技术提升到满足足够锻造精度时可以实现卡箍主体的精锻成型，进而减少加工量，降低成本，提高效率，提高市场竞争力。

## 3. 卡箍试验方案发展方向

除了产品结构外，管路连接卡箍性能测试工装设备也需要不断地完善设计，尤其是需适配高温、高压的测试条件。目前国内只有航空工业综合所具备高温高压疲劳脉冲结合测试的能力，但是国内自主设计的检测设备存在一定的缺陷，比如导管直径140mm以上的大规格卡箍无法实现全性能测试、测试工装夹具无法完全模拟实际工况情况。

最重要的是测试卡箍极限性能没有明确的方式，只能参照国外标准测试卡箍达到一定要求时是否满足要求，而无法测试出卡箍真正能够达到的极限水平。进口AS1895系列管路连接卡箍是目前性能最全面，结构最先进的卡箍，其明确了卡箍在特定的工作压力、工作温度、弯曲力矩、脉冲压力条件下实现200000次循环的性能要求，国内测试卡箍性能时也只是按照标准测试其是否能够达到200000次循环，而不是对其进行真正的寿命测试，测出准确的寿命极限。

卡箍性能综合了温度、压力、振动等多方面因素结合测试，模块化结构的试验设备能够实现多种不同类别试验项目的自由组合测试。

(下转第80页)

# 进口磨齿机金刚轮主轴的自主修复与精度调校方法研究

中车戚墅堰机车车辆工艺研究所股份有限公司 伏宇璐 徐明峰 李玉 董凯

**【摘要】**HOFIER磨齿机为进口高精设备，属于工业母机范畴，主要用于齿轮齿形的磨削精加工。本文针对其金刚轮主轴精度失效问题，开发了一套国内自主的精度修复与调校方法，主要对齿轮的齿形齿面进行磨削精加工。本文主要依据机床金刚轮主轴精度失效形式和精度修复及调校过程实施方法开发，并通过对磨齿机设备金刚轮主轴精度再修复关键性技术难点和解决措施的判断和评估，阐述了该设备金刚轮主轴精度修复及调校方法开发过程和实施效果，最终使主轴恢复至满足加工精度要求的状态。

## 1. 项目背景

进口磨齿机磨削加工工件的精度主要由砂轮主轴、工作台、金刚轮主轴及各轴的运动精度保证，而这其中砂轮主轴和金刚轮主轴的精度是最为关键的部分，是齿轮齿面粗糙度、齿形齿向精度的关键。据统计，2021年中至2022年底约一年半时间内，因加工粗糙度不达标引发的故障达16次。而厂家给金刚轮主轴设定的年限为每天8小时制的6~7年寿命，寿命到期后就得进行更换，一根金刚轮主轴的价格是62000元，周期至少8周以上，21台进口磨齿机一共配备了26根金刚轮主轴，全部更换需要总计多达160多万元。金刚轮实际安装示意图及粗糙度不合格检测报告见图1。

## 2. 现状概述

工件加工后在表面粗糙度检测过

程中，测量精度等级在0.8Ra，精度要求表面粗糙度在0.5Ra内。检测发现，金刚轮主轴径向跳动量为0.008 mm，端面跳动量为0.01 mm，均超出其设计精度要求（ $\leq 0.003$  mm）。金刚轮主轴精度超差已不能满足生产要求。此前，国内尚未掌握该主轴的修复技术，只能更换新主轴或返厂维修，导致成本高昂、周期漫长。

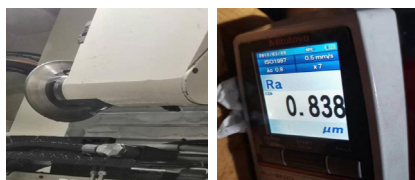


图1

对多件精度失效的金刚轮主轴拆卸后分析研究发现，引起金刚轮主轴精度失效的原因主要有以下几点。

(1) 金刚轮主轴轴承长期使用后本身的自然磨损。滚动轴承在工作中有轻微运转响声或者不正常的噪声，

而噪音也是高精度设备造成精度误差的一个重要因素，说明轴承存在不当游隙，造成外部振动、冲击、温度变化，影响表面粗糙度精度。

(2) 金刚轮装配调试不佳。轴承装配过紧或过松、配合面不清洁，轴部件形位公差偏差较大，安装后轴承受到挤压变形导致安装不良，在高速作用下主轴产生热量，异常高温造成硬度下降，加速主轴精度丧失，降低使用寿命。

(3) 磨削过程中产生的杂物进入金刚轮内部，在滚动体或内、外滚道工作面上产生疲劳剥落，使轴承负荷变大，进一步加速疲劳加剧，将直接影响或损坏轴承精度。

(4) 润滑油质量不符合要求，发生变质或粘度过高。

(5) 电机长期使用由于离心力、磁场力的作用，轴便会产生弯曲，从而产生振动，当电机振动时，会随负

荷的变化而变化，将直接影响加工工件的质量，降低其加工精度。

### 3. 金刚轮主轴拆卸与材料分析

对金刚轮主轴进行拆卸结构分析（见图2）。



(a) HOFIER金刚轮解剖图 (b) NILES金刚轮解剖图  
图2

对主轴材质进行检测，根据检测结果主轴为调质材料，硬度为56HRC。

#### (1) 金刚轮主轴的修复

①将主轴放置在平台上，通过大理石V型铁、扭簧表等检测工具，检查主轴精度是否满足使用要求。

②对磨损严重、精度丧失的主轴，可采用电刷镀或热喷涂工艺进行表面修复后再加工；或者选择合适的材料对应原始金刚轮主轴尺寸进行相应的车削、淬火、磨削等加工处理，使主轴最终达到合格精度和硬度要求。

#### (2) 主轴轴承的选配与调试实施方法

①轴承的选型。在国内市场寻求可替代的高精度、高转速要求的轴承，经过选型及测试最终选用精度要求更高散热性能更好的陶瓷轴承替代原厂的德国进口轴承。

②轴承精度的调校。在轴承中间加装内外隔圈的办法进行对轴承游隙精度的精确调整和配装，根据配装的间隙测量在通过磨床对隔圈进行精确的配磨（见图3），正常需要重复几次或几十次不断的测量和配磨，以此来达到轴承预紧后的

精度要求；最后在通过精密的纯手工研磨工序对隔圈进行最终的配比来进行装配间隙的超精密调校，最终达到金刚轮主轴径向和轴向精度0.003mm的高精度要求。



图3

③安装完成后，通过自主研发的测试装置进行主轴磨合试验，分别检测和跟踪在金刚轮主轴在500转、1000转、2000转、3000转、5000转这五档转速的主轴的温升变化、精度变化、稳定性，要求主轴温度控制在40℃以下，测试时效为4~6h。

#### (3) 金刚轮主轴气密的改装

①对金刚轮主轴进行气密封改造，采用独立气源通过压缩空气进入主轴内部对高速旋转的轴头进行吹气密封。并加装气动三联件，通过除去管道内部的灰尘并将管道内的水分分离出来，同时保证输出气压压力的稳定。

②加装油雾润滑系统，通过油雾器将润滑油雾化后随压缩空气送入主轴内部，对难以直接润滑的部件进行润滑，显著延长主轴寿命。

③主轴气密控制装置改装后的效果。主要目的是防止磨削沙粒或修整砂轮时砂轮磨粒进入旋转主轴内部，从而损伤主轴，这种方法可以成倍增加金刚轮主轴使用寿命。如图4所示。



(a) (b)  
图4

## 4. 总结及成果

(1) 2022年至2024年间，采用本方法已成功修复5根进口金刚轮主轴，运行稳定，累计节省进口部件采购费用约30余万元。

(2) 缩短了设备至少5周的停机时间，这种自主修复精度调校的方法修复一根金刚轮主轴只需要花费3~5天的时间。

(3) 提升了设备90%运行效率，保证了产品100%的加工质量，工件加工的齿面粗糙度由原来的0.8Ra提升至0.4Ra。解决了设备加工粗糙度不合格的质量问题。如图4所示。



(a) (b)  
图5

(4) 形成了一套快速有效的进口金刚轮主轴自主修复与精度调校方法，突破了原厂“到期必换”的技术限制与维修垄断。

(5) 提升了至少50%的维修效率和故障诊断时间，有效地保证了设备稳定运行。□

#### 参考文献：

- [1] HOFLER磨齿机床说明书, Hofler公司出版, 2014.5 德国
- [2] 机修手册 金属切削机床修理 机械工业出版社出版 ISBN 7-111-03488-0/TH-402
- [3] 机械设计手册 机械工业出版社出版 ISBN 7-111-01754-4/TH\*299

# 展成法加工滚子链轮的运用

四川省攀枝花市攀钢集团工程技术有限公司修建分公司机动工程处 周德华 雷宁

【摘要】本文介绍了展成法加工滚子链轮所涉及的计算和挂轮，同时对展成法的原理进行了分析。

## 一、序言

滚子链轮是很常见的工件，通常采用指形铣刀或三面刃盘状链轮铣刀来进行仿形铣削，或采用插削加工。而仿形法加工的刀具成本比较高，插削法的加工效率又比较低。为此，介绍一种用立铣刀以展成法铣削滚子链轮的加工方法。

## 二、展成法加工的原理分析

在滚子链传动中，链轮作定轴转动，链条滚子与轮槽对滚来实现其传动功能。现假设把链条拉直并固定，使链轮在链条上面作对滚动作。此时链轮每转动一个齿，链轮的中心就沿直线方向移动一个链条的节距。链轮转动一周时，链轮的中心就沿直线方向移动 $P_z$ 距离， $P_z$ 即链条节距与链轮齿数的乘积。如果把链条滚子换成立铣刀，把链轮换成坯件，并使它们满足上述运动关系，则立铣刀在与坯件接触时，会把坯件上多余的部分铣掉，形成链轮的齿槽，如图1所示。在铣床上实现上述运动，只需把坯件装在分度头上，再用一组挂轮把分度

头与纵向丝杠连接起来即可。铣刀开始切入见图1a；铣刀铣至齿槽中部见图1b；铣刀切出工件见图1c。

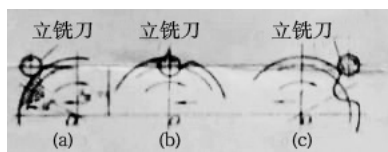


图1

## 三、立铣刀直径的确定

在展成法加工中，选用刀具必须按链轮齿槽圆弧的直径选用相同直径的立铣刀，其铣刀直径 $d_{刀}$ 按下式计算：

$$D_{刀} = 1.005d_r + 0.10\text{mm}$$

式中：

$d_{刀}$ ——立铣刀直径；

$d_r$ ——链条滚子直径。

如果没有合适直径的立铣刀，可用稍大直径的立铣刀按 $d_{刀}$ 数值改制。

## 四、有关挂轮的计算

滚子链轮齿槽的展成法加工，需借助立式铣床的纵向工作台丝杠挂轮来实现，其挂轮原理参见图2。所需挂轮的选配由下列公式计算得出：

$$i = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_3 \times Z_4} = \frac{K \times P_{丝}}{P \times Z} \times A$$

式中：

$Z_1$ ——主动齿轮齿数；

$Z_2$ ——被动齿轮齿数；

$Z_3$ ——主动齿轮齿数；

$Z_4$ ——被动齿轮齿数；

$P_{丝}$ ——工作台纵向丝杠的螺距；

$P$ ——链条节距；

$z$ ——链轮齿数；

$K$ ——分度头定数，一般取 $K=40$ ；

$A$ ——修正系数。

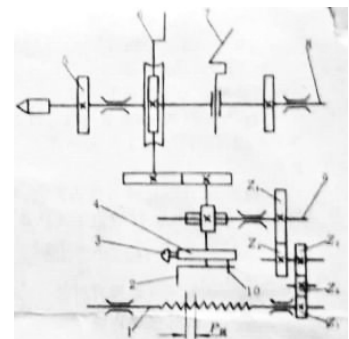


图2

1.纵向工作台丝杠 2.分度手柄 3.分度头固定销  
4.分度板 5.刻度环 6.蜗杆脱落手柄 7.主轴锁紧手柄 8.主轴 9.侧轴 10.定位销

式中修正系数 $A$ 的介入是为了把链轮齿顶部分多铣去一些，使加工出的齿形更接近标准齿形，从而使链轮与链条啮合时，能保证链条的滚子不与齿顶圆弧接触，就能自如地进出齿槽的工作段，达到平稳传动的目

的。修正系数A的选取值与链轮齿数有关,根据实际加工多次修正后的经验,建议采用如下数据。当链轮齿数 $z=12$ 时,修正系数 $A=1.05$ 。当链轮齿数 $z=13\sim 16$ 时,修正系数 $A=1.04$ 。当链轮齿数 $z=17\sim 50$ 时,修正系数 $A=1.03$ 。

## 五、工件的装夹及要求

工件在分度头上的装夹方法一般有两种。第一种是直接用分度头上的三爪自定心卡盘夹固工件;第二种装夹方法是采用心轴,与工件内孔的配合公差一般选用 $\frac{H7}{f6}$ 心轴前端车有螺纹,供压紧螺母使立铣刀锥柄与分度头锥孔配作,并在尾部加工出螺纹供拉紧时用。把分度头装在工作台上,装上心轴后套装工件,找正、压紧。

工件装夹后,要用百分表检查并找正坯件的轴向和径向跳动量,应在工件图样要求的公差之内。

## 六、调整分度头及挂轮

将分度头主轴扳成与工作台垂直,分度头中心位置应装在距纵向工作台行程限位以内的两个链条节距处,并应用分度头的加长侧轴,通过一组挂轮和纵向丝杠连接好。

装配挂轮后,根据链轮齿数确定分度板的孔数,并调整定位叉的位

置,分齿时,分度手柄的转数可用下列公式计算。

$$n = \frac{K}{Z}$$

式中:

$K$ ——分度头定数,一般取 $K=40$ ;

$Z$ ——滚子链轮齿数;

$n$ ——分度手柄转数。

## 七、对刀并确定切深

具体地分为以下几个步骤。

(1) 开动机床,调整铣刀与工件之间的位置,使立铣刀的周齿轻轻接触工件的最高点,这时分度头主轴要锁紧。

(2) 纵向工作台移动适当距离,然后移动横向工作台进刀,其进刀量 $H$ 值由下式计算。

$$H = \frac{(d_a - d_f)}{2}$$

式中:

$d_a$ ——实测链轮坯件外径;

$d_f$ ——链轮齿根直径。

(3) 进刀后将分度头主轴松开,将摇把插销插入分度板孔内,即可进行链轮的展成法加工。

## 八、铣削加工

铣削时,工作台只作纵向移动。当立铣刀铣完一个齿槽完全离开工件

后,降低工作台,使铣刀端齿高于工件的上端面,再退纵向工作台到原来的位置。升高工作台,分齿后依次继续铣削,加工出其余各齿。

## 九、注意事项

(1) 安装挂轮时要注意链轮坯件的旋转方向是否合适。即准备在哪一侧加工,就看工件在这一侧的旋向是否与工作台的纵向进给相反。如相反,说明旋向正确。反之,就是错误的。这时就需要增加或减少中间挂轮来改变坯件的旋向。

(2) 滚子链轮齿槽较深时,可分几次进刀来铣削加工,以免损伤立铣刀。

(3) 当铣完一个齿槽后,把工作台首先降下来,使立铣刀端齿高于坯件的上端面后再作纵向退刀。否则,由于设备纵向丝杠与螺母之间、挂轮之间及分度头的传动部分都有一定的间隙,直接退刀时就会破坏已加工出的齿形部位。

(4) 分度头中心位置必须装在距纵向工作台行程限位以内的至少两个链条节距处,否则挂轮困难或挂不上。□

### 参考文献

- 张俊生《金属切削机床与数控机床》[M]—北京:机械工业出版社(50~68; 119~121)

(上接第76页)

## 三、结语

连接卡箍正朝着高性能、多功能、智能化、标准化方向发展,在材料上不断探索高强度、耐腐蚀、轻量化且成本可控的行性材料,结构设计趋于合理化优化升级,工艺

过程趋向于智能化,试验测试趋向于全面化,总之,卡箍将在多方面创新升级,以适应现代工业与生活多元场景的更高要求,持续推进技术发展。□

### 参考文献:

- 张奔,王安强,黄益民,刘永涛,岳珠峰.卡箍装配缺陷对管道强度的影响分析.机械设计与制造,2010, No.1001-3997(2010)12-0085-02.
- 郑敏,张爽,吴超.国内外管路连接卡箍发展动态研究.航空标准化质量,2010, NO.1003662518.
- 柴清东,朴玉华,马辉.卡箍-管路系统固有特性计算与试验方法.航空动力学报,2019, NO.72756873504849574853484856.