

中国机床工具工业协会团体标准“机床装备技术就绪度评价规范”顺利通过立项评审



2025年7月11日，中国机床工具工业协会组织编制的“机床装备技术就绪度评价规范”团体标准（以下简称“技术就绪度标准”）立项评审会在京举办。评审专家组、行业骨干企业、重点领域用户、高校等单位的29位代表参加了评审会。

技术就绪度标准由中国机床工具工业协会牵头，北京精雕、济南二机床、秦川机床、北一机床、通用技术集团机床公司、广州数控、北京工业大学、南京工艺、广东凯特和来自航空、航天、航发等领域的用户单位共同参与，起草单位涵盖各种机床主机、数控系统及功能部件的研制企业、重点用户和科研院校等，代表性较强。

会上，成立了由行业专家组成的立项评审专家组。评审专家组成员听取了汇报，对标准的立项必要性、与相关标准的关系、主要技术内容等展开了质询交流和讨论，并对后续工作提出相关建议。经评议，评审专家一致认为技术就绪度标准切合行业发展需求，同意立项。

（来源：协会行业发展部）

德马吉森精机支持引入软件开发平台，推动制造基地数字化转型

德马吉森精机将利用其在自有工厂数字化转型 (DX) 领域的专业知识，支持引入制造支持软件开发平台“TULIP”。Tulip 支持“低代码”应用程序开发，无需专业编程技能。该公司拥有丰富 Tulip 实施经验的生产工程师将构建一个支持客户数字化转型的系统，到 2028 年将该平台的用户数量增加至约300家，是目前的六倍。

Tulip是一个业务支持软件开发平台，它将工厂的企业资源规划 (ERP)、制造执行系统 (MES) 与现场机床、测量仪器、刀具、现有系统等连接起来，以实现数字化转型。DMG森精机正在其伊贺工厂（三重县伊贺市）利用 Tulip 推进数字化转型。该应用程序由熟悉现场环境的生产工程师开发，目前已运行约1,300个许可证。

例如，在伊贺工厂，约7,000件刀具的使用寿命、位置、库存等信息由不同的系统管理，并在检查各个系统的同时进行刀具选择和更换等生产准备工作。通过引入 Tulip，这些系统、ERP 和 MES 相互连接，并开发了利用这些数据的应用程序，从而实现了刀具信息处理的自动化和简化，显著减少了生产准备工作量。

拓璞数控五轴机床获世界人工智能大会 SAIL之星奖

7月26日，2025世界人工智能大会揭晓其SAIL奖（Super AI Leader，卓越人工智能引领者奖），上海拓璞数控科技股份有限公司凭借“五轴智造万物”桌面五轴机床项目，从全球顶尖科技项目中脱颖而出，成功入围SAIL奖TOP10（前10）榜单，并荣膺SAIL之星奖。



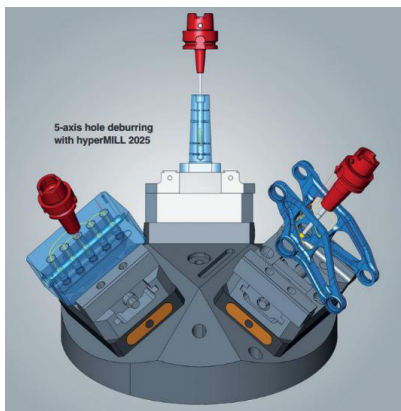
据介绍，该项目结合深度学习普适逼近性和五轴加工通用性两大技术优势，重塑数控加工技术链条，突破传统的“工艺规划-CAM-后置处理-速度规划-运动控制”的数控加工模式，解决传统加工制造中存在的专家经验依赖度高、编程效率低、工艺复用难等问题，实现深度强化学习技术和大模型技术在智能制造领域的产业落地。

据悉，SAIL奖项自2018年设立，由全球数十位权威专家评选，包括中国科学院院士、中国工程院院士以及国内外知名科研院校学者等。SAIL之星奖通常是从入围SAIL奖的项目中选出，经过严格的评审程序，最终确定获奖名

单。SAIL之星奖是SAIL奖的一部分，属于SAIL奖的子奖项，是对SAIL奖获奖项目的进一步细分和认可。SAIL奖设立以来，曾设有卓越s、应用a、创新i、先锋l四个单项奖，分别表彰不同维度的突破。2025年大会进一步增设“科学之问”等前沿议题，深化基础研究。

Open Mind最新版本提升去毛刺加工效能

近日，CAD/CAM软件开发商Open Mind Technologies 宣布在其hyperMILL 2025 CAD/CAM软件套件中推出一系列增强功能与创新技术，包括改进的5轴孔去毛刺功能。



hyperMILL的高效编程与加工策略支持精准、高效的2.5轴、3轴、精密5轴及车铣复合加工。

hyperMILL 2025创新的5轴自动刀具定向模式，通过路径预分析计算联动与分度加工的加工程序，减少5轴加工所需输入量，在编程复杂零件时节省时间，确保在最复杂部件上生成高效可靠的刀具路径。

全新5轴孔去毛刺策略可快速、简且安全地去除孔及交叉孔的锐边毛刺。通过CAM Plan编程辅助与分析技术自动识别所有孔位，模型中的锐边将被标记以供选择目标边缘。

该孔去毛刺技术自动计算刀路，支持3轴与5轴模式。同时hyperMILL现提供5轴去毛刺策略，用于零件边缘的快速高效去毛刺。用户可选择3轴加工或5轴选项——后者能触及更多零件边缘，自动生成所需倾角并实现碰撞避让。

在型腔铣削方面，hyperMILL 2025针对高进给刀具的算法经重新开发，实现3D优化粗加工，在提升粗加工效率的同时增强加工控制性。

此外，hyperMILL 2025 还包含多项新技术，例如改进的5轴轮廓铣削循环、全新的5轴ISO加工循环，以及针

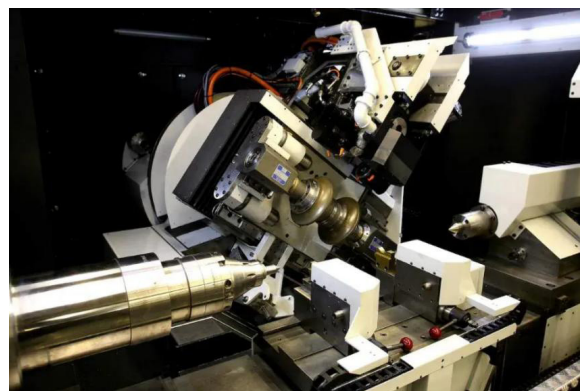
对主/副主轴应用的车削后处理器增强功能。

PTG Holroyd为领先中国制造商提供高性能螺旋轮廓磨削解决方案

英国普泰格·霍洛伊德精密公司（PTG Holroyd Precision）将向中国领先的螺旋部件制造商供应其超精密Zenith 400螺旋轮廓磨床。

Zenith 400专为精密磨削重量700kg、直径420mm、长度2.2m且最大轮廓深度100mm的部件而开发，兼具高材料去除率与强力半精加工能力。其生产速率和精度可满足最严苛的制造策略需求。

该设备计划于2025年夏季在客户重庆生产基地完成安装，配备霍洛伊德专利双砂轮系统。此功能使操作者能选用两种方案：500mm陶瓷结合剂可修整氧化铝砂轮（为生产策略与产品开发提供卓越灵活性），或镀金刚钻石CBN粗磨/精磨砂轮（实现高性价比批量生产）。



Zenith 400在螺旋轮廓磨削领域提供卓越灵活性，其先进研发与生产软件使其完美适配从研发到量产的所有用户需求。

普泰格集团（PTG）整合PTG Holroyd、PTG Powerstir搅拌摩擦焊及霍洛伊德精密转子三大品牌，处于专业应用高精度机床设计、制造与供应前沿。产品线包含用于生产压缩机转子、泵用螺杆和高精度齿轮等复杂螺旋部件的先进机床，以及Powerstir系列用于交通工具领域先进合金摩擦焊接的机床。

霍洛伊德精密转子在英国、美国和中国设有生产基地，制造用于广泛行业的特种超精密螺旋部件。普泰格同时提供先进技术咨询服务。

《破茧：国产机床的蝶变之路》

——“坚守与突破”主题系列专访（2）

高端数控机床的崛起，不仅依赖主机技术的突破，更离不开关键辅件的精密支撑。排屑过滤、精密温控等辅机系统，如同机床高效运行的“隐形守护者”，其性能直接影响着加工的精度、效率与稳定性。曾几何时，这些领域核心技术受制、标准缺失，是中国机床产业链的痛点所在。然而，一批中国辅机企业正以数十年如一日的专注与锐意创新，悄然改写着市场格局。

继首期聚焦机床及功能部件制造商的破局之道后，本期“坚守与突破”系列，我们将目光投向产业链中至关重要的辅机领域——探访烟台博森科技与三河同飞制冷。

· **博森科技：**三十载风雨兼程，博森科技创始人周庆学带领团队，怀揣“为机床行业做最好的辅机”的朴素信念起步。一次德国同行不屑参观的经历，点燃了他们死磕品质、对标国际的决心。深度合作中，德企严苛标准倒逼博森实现了工艺、设备与管理的全面跃升，最终独立起草国家行业标准，确立了行业标杆地位。如今，在二代掌舵者周博引领导下，智能化升级与数字云工厂建设正为这家老牌企业注入新动能，新落成的智能工厂更昭示着迈向百年的雄心。

· **同飞股份：**在精密温控这一关键领域，同飞股份将“较真”刻入基因。从一根铜管的层层把关，到独创“236”质控体系，他们将温度控制精度锁定在 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 以内。不信邪地攻破了困扰行业多年的高速数控机床温控“最后一公里”难题，性能比肩国际顶尖。从数字化智能工厂建设到布局海外市场，同飞以扎实的技术与可靠的产品，让“中国温控”成为全球高端制造产业链上的可靠选择。

博森与同飞的路径各异，却共同诠释着“坚守”与“突破”的真谛：博森三十年心无旁骛聚焦主业，同飞二十多年执着于毫厘温差间的精度守护，这份专注与品质偏执是抵御诱惑的定力；博森以严苛标准锻造核心竞争力并主导行业规则，同飞以核心技术攻关突破国际壁垒打开全球市场，对标世界一流、持续创新升级正是他们构筑新优势共同的引擎。

他们的蝶变证明：中国机床产业的强大，离不开无数在关键辅件领域默默耕耘、精益求精的“隐形冠军”。他们扎根专业、死磕细节、锚定目标、不断进步的实践，正是整个产业链协同、升级不可或缺的基石。

本期报道，带您走进这两家辅机领域的佼佼者，探寻他们如何于“看不见的地方”下苦功、求突破，为中国制造的精密基础贡献坚实力量。

为机床行业做最好的辅机

——访烟台开发区博森科技发展有限公司董事长 周庆学

中国机床工具工业协会 李华翔 吴晓键

在2025年第十九届中国国际机床展览会（CIMT2025）上，国内机床辅机企业竞相展示在排屑过滤领域的技术创新与成果，彰显了机床辅机领域的创新活力。烟台开发区博森科技发展有限公司（以下简称：博森科技）携其“机床冷却净化系统”智能化升级的核心方案亮相——正压纸带过滤机、智能型自动补液装置及车间集中排屑过滤系统，集中呈现了公司在切削液过滤技术与金属切屑自动化绿色化处理方面的创新实力。

为深入解读博森科技的创新实践，我们近日走访了博森科技位于烟台开发区金沙江路的生产基地。公司创始人周庆学董事长（下文称为：老周总）热情接待了我们，详细介绍了公司的发展历程与未来蓝图，分享了其专注专业、对标国际、持续创新的发展理念。

一、从零起步的奋斗之路

回望创业起点，老周总的思绪回到了1992年。那时，他放弃了黑龙江国有企业的技术岗位，举家迁至烟台工作。自幼受家庭熏陶对机械的热爱，在次年4月的北京机



床展（CIMT1993）上为他点燃了创业的火花。

“展会上看到国产数控机床刚刚起步，而这类机床必须配备排屑过滤设备，”老周总回忆道，“这无疑是一个绝佳的辅机市场机遇。当时生产厂家屈指可数，我当即下定决心投身于此。”

说干就干。1993年5月，怀揣仅有的1550元启动资金，老周总创立了博森公司（原名：烟台开发区博森机床辅机有限公司）。创业维艰：公司最初仅有15名员工，蜗



居在烟台开发区珠江路旁一处240平方米的租赁厂房里。彼时，中国机床行业核心技术依赖进口，配套辅机领域近乎空白，全国生产厂家不过三家。既无行业经验可循，又受限於微小规模和微薄利润，博森的生存压力巨大。

为了打造出真正满足客户需求的辅机产品，老周总事事亲力亲为。他常常独自伏案于绘图板前，一笔一画精心勾勒设计图纸。从产品结构构思、工装模具研发，到后续产品的更新迭代，这些核心技术工作都由他一手包办。

“公司刚起步，所有业务都得我独自奔波，”回想那段岁月，老周总感慨万千，“出差坐火车，从没想着坐卧铺。现在想想确实很苦，但当初感觉好像也无所谓。”

在老周总的带领下，博森人凭借不懈的努力和奋斗，推动公司逐渐成长壮大。随着业务稳步增长，1997年，公司搬迁至松花江路，厂房面积扩展到600平米，员工增至30余人。此时，企业的产品线已初具规模，能够以多样化的产品和服务满足不同行业客户的需求，在国内机床行业也赢得了一定的知名度。然而，面对初步的成功，老周总并未止步，心中那份对卓越的追求始终未曾消退。

二、立志比肩国际标杆

这份追求卓越的执着，源于一次刺痛的经历。老周总清晰地记得：“一家德国同行企业前来参观，他们走到车间门口，甚至没有踏入，仅仅驻足一分钟便转身离去。对方那不屑一顾的眼神深深刺痛了我，至今难忘。那一刻我暗下决心：一定要生产出与德国品质比肩的产品，赶上他们！”

这次经历对老周总触动至深，让他深刻领悟到：唯有将产品做精做专、将企业做强，才能在行业中赢得真正的尊重与话语权。

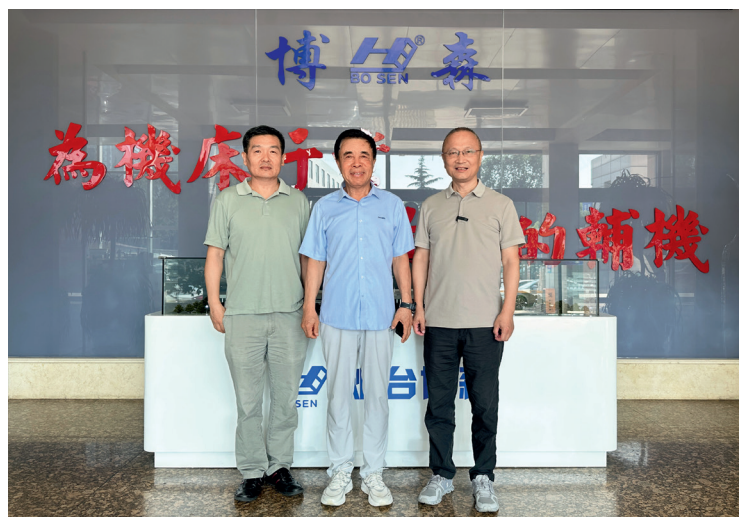
基于多年的实践与思考，他提出了“为机床行业做最好的辅机”这一核心企业理念。通过建立标准化质量管理体系、严格把控供应链等举措，并加大先进设备投入，引进了首台激光切割机，博森科技的产品品质实现了稳步提升，赢得了包括济南二机床、沈阳一机床、大连机床、宁江机床等在内的当时一批国内知名企业的认可。

2007年，一家在华设厂的德国知名机床主机企业想在国内寻找辅机配套供应商，最终找到了博森科技。经过仔细考察和严格的样机验证，博森最终达到了对方要求。令人印象深刻的是，这次合作让老周总切身感受到了德方近乎严苛的质量标准。

“与这家德企的合作堪称‘扒层皮’，”老周总形

容道，“从焊缝间隙、漆膜厚度、配色方案到标牌细节，严苛的要求渗透到每一个环节。初期确实倍感压力，但正是这种近乎偏执的标准，倒逼我们实现了质的飞跃：为此我们重建了涂装工艺体系、完善了质量检测流程...”

老周总坦言，正是这段与德国企业的深度合作，才使博森的产品品质实现了真正意义上的跃升。



随后，越来越多的国际知名机床主机企业开始陆续采用博森科技的产品，其优良的品质和企业美誉度得到了广泛认可。伴随产品和技术获得突破，公司经营规模不断扩大，2010年博森科技的产值首次突破1亿元。更为重要的是，2011年，博森科技受工业和信息化部以及中国机床工具工业协会委托，独立起草了行业标准——《数控机床自动过滤装置》和《数控机床自动排屑装置》。该标准于2014年7月1日正式颁布实施，填补了国内排屑过滤行业在技术标准、鉴别标准上的空白，公司行业领先地位得到进一步确立。这些都为公司后续发展打下了坚实的基础。

三、开启智能化新篇章

2015年，博森公司迎来了第二代掌舵者——总经理周博。子承父业、拥有海外留学经验的他，为博森注入了新的管理理念。他运用现代科学理论，确立了文化、品牌、管理、创新“四位一体”的先进管理体系。

伴随机床行业向智能化、绿色化转型升级，排屑过滤设备领域的技术创新也步入快车道。在此背景下，总经理周博在传承企业核心理念的基础上，前瞻性地提出“为机加工行业提供最优化的排屑过滤解决方案”的新使命，并

致力于打造“智能化、现代化、绿色、安全、舒适”的智能工厂。

为实现这一宏图，他力推数字化管理变革。在其主导下，公司成功构建了以客户需求为源头的“一体化数字云工厂平台”。该系统贯通了从客户需求、下单、研发设计、生产制造、采购仓储、客户交付到售后运维的全业务流程，整合了全生产要素与价值链，成为行业数字化建设的标杆。

在硬件升级方面，博森科技大力推进自动化生产（如率先应用焊接机器人、机器人智能冲压生产线）；在软实力提升上，持续深化技术攻关与创新研发。迄今为止，博森科技作为国家级专精特新小巨人企业，已累计荣获国家专利120余项、软件著作权20余项，为其数字化战略提供了坚实的技术支撑。



这份引领企业穿越周期的定力与远见，源于老周总三十余年深耕奠定的坚实基础，以及对机床辅机领域的极致专注。在“专注成就专业”理念深植企业运营中的同时，他始终以包容的胸襟洞察全球行业动态，尤其注重汲取德国、日本等先进国家同行的设计理念与制造精髓。面对技术与市场的迭变，老周总凭借国际化视野与敏锐判断，带领博森科技精准把握产业脉搏，将国际经验融入本土创新，持续推动产品体系升级。

如今，博森科技已形成覆盖反冲式排屑过滤装置、高速离心机、立式/卧式纸带过滤装置、链板/磁性/步进排屑装置、废液提升装置、负压过滤装置等全场景产品线，深度服务于数控机床、汽车、高铁、航空航天、军工、环保等高端领域。得益于对全球技术趋势的深刻理解，企业始终以专业化而非规模化为核心。

“多年来，不少人建议我拓展业务领域，但我坚持聚焦一事——做强、做精、做专，而非盲目求大。企业应首

先追求核心竞争力，规模壮大应是水到渠成的结果。”老周总表示。

正是这种聚焦战略与持续创新的叠加效应，驱动着博森迈入了发展的快车道。目前，公司业务蒸蒸日上。与之相伴的是，生产现场物料摆放得满满当当，现有场地已难以承载日益增长的生产需求和智能化升级的远景规划。

四、迈向百年企业新征程

2024年11月17日，烟台博森迎来了里程碑时刻：博森科技新建的博森瓦尔德智能工厂项目成功封顶！这标志着公司在智能制造领域迈出了至关重要的一步。

作为山东省2024年绿色低碳高质量发展重点项目，该项目占地面积约80亩，规划建设办公楼1栋、副楼1栋、大型厂房2栋，以及机器人焊接生产线、智能立体仓库、涂装生产线、自动化冲压线等多条智能化生产线。

在项目现场，内装工作紧张有序推进，智能立体仓库已率先安装就位。老周总介绍：“今年10月之前，老厂的人员和设备将分阶段陆续迁至新厂。”新工厂的投用，将极大缓解当前的产能压力，为更多的合作伙伴提供更好的产品和服务。

立足新起点，博森的视野更加宏阔。老周总表示，未来博森科技将持续致力于国内外高端装备制造业自动化智能环保装备的研发、生产与销售，深度开发工业智能环保装备的重点新增项目。公司将紧抓新旧动能转换与智能工厂升级的时代机遇，加速从“中国制造”向“中国智造”转型，为助推中国排屑过滤行业开拓国际业务构建新平台，为中国机床行业的高质量发展贡献更大力量。□



毫厘温差间的匠心坚守

——访三河同飞制冷股份有限公司装备制造事业部总经理 王红杰

中国机床工具工业协会 李华翔 吴晓健

在工业制造的世界里，温度控制是个常被忽视却决定成败的环节。精密设备高效作业、芯片制造、精密加工，哪一样都离不开稳定的温控系统。三河同飞制冷股份有限公司（以下简称：同飞股份）做了二十多年温控设备，靠的不是浮躁的营销，而是源于内功深厚的技术积淀，以及对品质细节的苛求与打磨——他们把温差控制在 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 以内，这个精度，获得了业内的一致认可与称赞。

在今年4月举办的第十九届中国国际机床展览会（CIMT2025）上，同飞股份带来的新型环保冷媒+高效变频技术成为展会一大亮点，充分展现了他们在装备制造温控领域的技术积累和创新能力。现场展示的全新一代变频水冷却机TF EcoCool系列产品集成以上创新升级，赢得众多客户的广泛关注。

近日，我们走访了同飞股份的位于三河的现代化生产园区。装备制造事业部总经理王红杰介绍了公司在技术创新、品质管控、数字化转型及国际化发展等方面的实践与成就。

一根铜管里的较真劲儿

一台温控设备的好坏，从原材料就得开始把关。就说设备里最普通的铜管，看着简单，里面的门道可不少。同飞股份使用的铜管来自山东一家精密铜管厂，但不是拿来就用。公司的SQE工程师会进行前期的供应商前期入厂审核。

进入总部生产车间，铜管还要过第二关。ZQE检验员拿着微米级的设备再复核一遍，确认没问题了，才会让它进入生产线。车间生产高度自动化，生产流程由智能设备闭环驱动，实现少人值守甚至无人化作业，AGV小车沿着固定路线把铜管送到指定工位，CCD视觉系统会自动识别需要的扩口角度，误差控制在毫厘之间。焊接的时候更讲究，六轴机械臂在物联网系统的监控下作业， 300°C 的钎焊温度分毫不差，焊接口光滑平整，根本不用后期再打磨。



最后一道检验更严格。整台机组被放进模拟机舱，连续48小时不停机运行，监测温度变化、设备噪声、能耗数据。只有所有指标都达标，才能贴上合格标签。“不是我们太较真，是工业生产容不得半点马虎。”王红杰总经理常说，“客户买回去是要用上十年八年的，我们得保证这十年里，它能稳稳当当干活。”

谈到同飞股份独创的“236”质控模式，王红杰总经理表示，这套从采购到生产再到售后的体系，听着复杂，其实就是两个核心——围着客户需求转，盯着技术创新干；三个闭环——采购抓质量、生产控精度、售后保服务；六个控制点从人到技术、从供应链到客户体验，全流程都卡得严严实实。正是这套体系，让同飞的设备在市场上站稳了脚跟。

攻破温控“最后一公里”

做温控设备的都知道，高速数控机床是个“难伺候”的主角。低负载运行时，设备发热量突然减少，制冷量很容易过剩，导致水温波动。就这么一个小问题，成了行业里多年的“最后一公里”难题，国外品牌也没彻底解决。

同飞的研发团队不信这个邪。他们把压缩机搬进实验室，拆掉外壳，在关键部位贴上16个温度传感器，连着三天三夜盯着屏幕上的曲线，记录下上万组数据。最后，通过优化PID控制算法，硬是把这个难题解决了。

测试那天，当屏幕上的温度曲线在100%负载下依旧平稳运行时，项目经理在团队群里发了句：“成了！”后来他们才知道，这个技术指标不仅追平了日本大金这样的国际大牌，还在实际应用中更适应国内工厂的复杂工况。现在，不少机床厂指名要装同飞的温控设备，就因为“稳当”。



“这样的技术攻关，在同飞是常事。”王红杰总经理说。为了让设备在低温环境下正常工作，他们在实验室里模拟-50℃的极端温度，连续测试设备的稳定性；为了降低3dB的噪声，工程师们前后尝试了数十上百种型号的风扇，累计完成数百次实验并形成详细报告；为了让设备更节能，他们研究了上百种工况，优化管路设计，让冷却液流动更顺畅。这些攻关均指向同一目标：确保温控设备在极限工况下的精度与可靠性。

真本事叩开全球市场之门

2017年冬天，在德国斯图加特，同飞股份德国子公司的办公室里，三个工程师正和客户开会，桌上摊着厚厚一叠图纸。客户是当地一家有百年历史的机床厂，要求制冷机组在48℃环境下还能保持±0.05℃的精度，而且必须通过欧盟CE国际认证。

这要求可不低。就拿管路走向来说，客户提出0.5mm的调整建议，团队里的工程师觉得没必要，双方争到凌晨。最后大家决定按客户的要求改，再做一次对比测试。结果出来，调整后的设备散热效率提高了3%，工程师服了：“人家对细节的追求，确实值得学。”

三个月后设备验收，客户现场测试了一整天，各项指标全部达标。发来的邮件里写着：“你们不仅达到了德国标准，还往前多走了一步。”

现在，同飞的设备已经卖到了全球30多个国家。在德国的汽车零部件工厂里，他们的制冷机组为生产线降温；在美国的新能源储能现场，液冷系统正保障着电芯的稳定运行；在中国的航空航天工厂，定制化的制冷设备配合着高端机床运转。“不是我们多厉害，是中国制造的口碑慢慢起来了。”王红杰说，“国外客户认的是产品，你做得好，他们自然会选择你。”

同飞车间里的数字化革命

走进同飞22万平方米的生产园区，最先注意到的是穿梭不停的AGV小车。98台小车每天跑上万次，把零件从仓库送到生产线，再把半成品运到下一个工位，全程不用人工插手。“以前车间里得有几十个搬运工，现在一个都不用了。”车间主任笑着说，“这些小车比人靠谱，不会记错料，不会累，还能24小时连轴转。”

办公室里，U9 cloud系统正在处理数据。120万条订单、生产、库存数据，两个小时就处理完毕，以前这活儿得三个人干三天。BI大屏上，订单准确率、库存周转率、生产周期这些指标实时跳动，哪个环节出了问题，马上就



能发现。”以前领导要个经营数据，我们得加班加点统计，现在打开大屏一看就清清楚楚。”财务部长说，“月结时间从7天缩到2天，人工统计少了90%，这在以前想都不敢想。”

数字化带来的不只是效率提升。以前生产计划排得再细，也难免有变动，现在系统能根据实时数据调整；以前零件库存要么多了占地方，要么少了耽误生产，现在系统能精准计算用量；以前设备出故障得等维修工到现场，现在物联网系统能提前预警，维修人员带着工具和零件上门，一次就能解决问题。

“数字化不是赶时髦，是实实在在解决生产中的问题。”王红杰说，“不管在哪里建厂，依托这套体系，我们的产品质量都能做到始终如一。”

把“温度承诺”做进全球市场

2017年，同飞股份先在德国斯图加特埋下一颗种子，随后新加坡、泰国陆续落地。七年里，公司只做一件事：把“温度”这件事做到极致，并把它送到客户最需要的地方。高端机床主轴怕热胀？同飞的 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 变频机组已经在德美日工厂24小时运转。储能电站的电池仓需要恒温？同飞把温控方案装进40尺集装箱，一起出海。数据中心要液冷？同飞带着模块化液冷系统走进新加坡机房。氢能加注站温差大？国内加氢站正在同步测试新一代低温机组。

从欧洲认证到美国UL，从韩国工厂到美国储能巨头，同飞靠的不是低价，而是“说到做到”的温度承诺。

同飞的目标只有一个：让“中国温控”成为全球工业

温控首选品牌。无论您在欧洲的机床厂，还是在美州的储能基地，只要看见同飞的蓝色标识，就能安心——精准控温，不止是技术实力，更是同飞已兑现的承诺。

从一根铜管的检测，到一台设备的出厂；从国内车间的数字化改造，到全球市场的布局，同飞做的其实是一件事——给客户一个关于温度的承诺。就像董事长在内部分享会里说的：“我们卖的不只是冷水机，是让客户放心的保障。客户把生产线交给我们，我们就得保证温度稳定，让他们的设备能安心干活。”

现在，全球越来越多的工厂里，都能看到同飞股份的温控设备。当机床主轴高速旋转，当冷却液流过设备，屏幕上那条平稳的温度曲线，正在悄悄告诉世界：中国制造，已经可以稳稳地托住世界的精度。而对同飞股份来说，下一段关于温度的旅程，才刚刚开始。□



THMD63125VI摆头式精密卧式五轴加工中心的研发与应用

四川普什宁江机床有限公司 赵周杰

THMD63125VI摆头精密卧式五轴加工中心采用机电一体化布局，配置国产华中HNC848D数控系统，五轴控制五轴联动。工件一次装夹后，可完成钻、扩、铰、攻丝、铣、镗和轮廓曲面的粗、精加工。可一次装夹完成五个面的加工。该加工中心主要应用于航天、航空、航发等关键类零件(如航天舱段类、航发机匣类)的加工。

如图1所示，机床主轴头为叉型摆动数控铣头(即为A轴主轴头)，采用双力矩电机驱动，应用了相位同步技术。转台采用直驱力矩电机转台。机床具有高精度、高动态性、高刚性、高稳定性的特点。

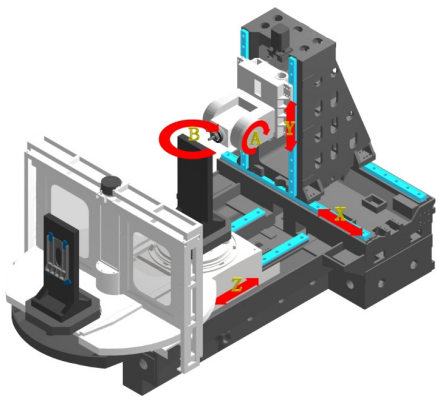


图1

1. 机床结构特点

机床床身、立柱、滑座均采用高质量的铸铁，立柱采用整体框式结构，具有最佳热对称性和结构稳定性。机床配置的主轴头为叉型摆动数控铣头(即为A轴主轴头)，转台为连续分度直驱转台。机床滚珠丝杠副采用两端固定和预拉伸的结构形式，同时配置高刚性多联丝杠轴承组，保证了机床的传动刚度和精度。利用工件测头、标准球，通过自动测量循环，实现RTCP快速校准补偿功能。同一机床配置多刀测量系统，利用刀具测头，通过自动测量循环，实现了多类型刀具(如角度头刀具)的自动测量及补偿。

2. 技术创新点

该设备的研制具有完全独立自主知识产权，并获得发明专利授权2项。

(1) 主轴采用了内置电主轴，主轴轴承采用了液压预紧装置，根据不同的切削转速匹配不同的主轴轴承预紧力，不同的主轴刚性，提高主轴轴承的适用寿命。

(2) 自主设计研制的主轴摆头轴(专利：ZL201922142943.9)和翻转工作台(专利：ZL20212318294 0.1; ZL202123185236.1)翻转轴采用双力矩电机驱动，应用了相位同步技术(两个电机一个驱动模块)，避免了同根轴上电机不同步发热大，提高了双电机的使用效率。

(3) 摆动头锁紧装置采用机械+气动，具有结构紧凑力矩大的特点，同时松开采用气动，不会因稍微的泄露污染环境。

(4) 采用多管路内置技术，突破了深小孔、深孔错层距离小的加工工艺。除了满足机床功能外还配有了自动夹具接口，为后续产品连线提供硬件接口基础。

(5) 摆动主轴头摆动轴采用了盘线技术，代替传统的拖链方式，结构紧凑。

(6) 研制了在精密卧式五轴加工中心为基础的车铣复合加工中心，车铣复合转台工作台面 $\phi 1000\text{mm}$ ，转速突破 300r/min ，并配有转台平衡报警智能化功能。

(7) 在配置国产数控系统的精密卧式五轴加工中心上首先使用了主

轴热补偿功能。

3. 技术水平

(1) 直线轴定位精度由0.008mm提高到了0.006mm以内(执行VDI/DGQ3441标准);重复定位精度由0.004mm提高到了0.003mm以内(执行VDI/DGQ3441标准)。国外机床定位精度0.007mm以内,重复定位精度0.005mm以内。

(2) 摆动轴定位精度由15"提高到了6"以内(执行VDI/DGQ3441标准);重复定位精度由7"提高到了3"以内(执行VDI/DGQ3441标准)。国外机床定位精度5"以内,重复定位精度3"以内。

(3) RTCP精度可达0.03mm以内(GB/T39953-2021标准要求0.05mm,国外机床可达0.03mm以内)。

(4) S试件加工精度可达0.07mm以内(GB/T39967-2021标准要求0.12mm)。

(5) 机床MTBF(平均无故障时间)达到了2000h。

(6) 利用工件测头、标准球,通过自动测量循环,实现RTCP快速校准补偿功能。

(7) 配置了多刀测量系统,实现了多类型刀具(如角度头刀具)的自动测量及补偿。

(8) 为了满足高精度、高动态性、高刚性的加工需求,摆动轴设计采用了双力矩电机驱动(取代一般的蜗轮蜗杆传动或者齿轮传动),无磨损,高精度圆光栅反馈,十字交叉滚子轴承支撑,恒温强制冷却,结构对称设计,确保精度稳定持久。

(9) 摆动轴线与主轴轴线的垂直度允差0.01mm和相交度0.02mm,加工难度大。采用高精度卧式加工中心,转台回转分度一次装夹完成加工。

(10) 为了满足航天航发单一工序加工时间长,机床热稳定性要求高,故采用了主轴热补偿技术。该系列机床主轴的热补偿,由热补偿控制装置内置的主轴热变形数学模型,根据检测到的机床相关测点的温升,实时计算出机床主轴的热变形量,并按照预定的补偿算法,向机床数控系统PLC送出补偿控制信号,由PLC处理后控制机床各轴进行补偿运动,达到主轴热补偿的目的。热补偿是通过实时平移机床坐标原点的方法来实现的。加工精度要求0.01mm可以稳定保证。

4. 技术创新工作简述

(1) 基于模块化设计方法,开展最佳热对称性和结构稳定性驱动的摆头式精密卧式五轴加工中心整机设计。床

身底座采用T型布局、立柱为整体框式结构,安装方便,保证机床热对称性和制造精度。机床的床身、底座、立柱、工作台、主轴箱等均选用高质量铸铁,确保精度稳定性。采用拓扑优化方法,开展强度和刚度耦合约束的关键零部件轻量化设计,确保机床的床身、立柱、工作台、主轴箱等关键零部件(见图2)在满足设计强度和刚性的条件下实现最轻量化制造。

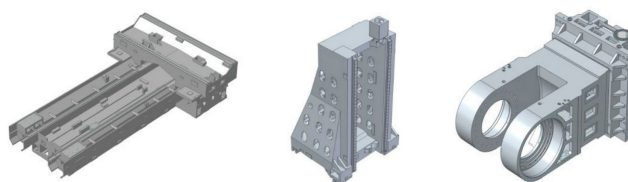


图2

(2) 针对摆头式精密卧式五轴加工中心整体结构及其传动特点,提出采用双固定端预拉伸的关键传动件支撑结构,结合丝杠螺母连接座一体式铸造、精密刮研手段提高装配精度、增加滚珠丝杠支撑轴承数量等措施,有效提升传动刚性及准确性,提升整机精度。

(3) 基于可靠性设计理念,开展摆动主轴头的一体化设计,使主轴头结构紧凑(见图3)。采用双力矩电机驱动,高精度圆光栅反馈,十字交叉滚子轴承支撑,多管路传递内置,恒温强制冷却等研制技术,提高摆头的稳定性和整体刚性。提出基于双力矩电机驱动的主轴头传动方式,替代一般的蜗轮蜗杆传动或者齿轮传动,缩短传动链,减少加工过程传动件磨损,提高了主轴头的精度稳定性和可靠性。

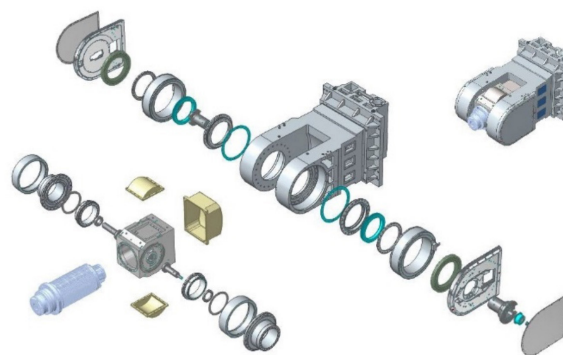


图3

(4) 如图4所示,主轴头的两个力矩电机采用并联布置,一个驱动器驱动。两个力矩电机并联布置时,如果电气相位角不一致,由于感应电流的速度差异,会导致力矩电机的功率因数和转矩常数降低、噪声增大、过热、过载并触发驱动系统报警等一系列问题,所以必须检查各电机相位角情况。研究双力矩电机相位差消除原理,应用双力

矩电机并联的相位同步技术，发明了一种双力矩电机相位差消除方法（专利ZL202311574294.4），将双力矩电机相位差（相位角）的偏差值小于 $\pm 5^\circ$ ，提高驱动同步性，保证主轴传动定位的精确性，提升了机床传动精度及效率，降低了噪音及发热。

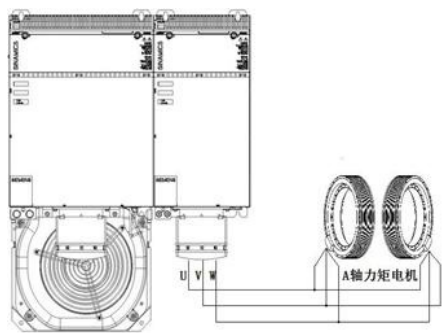


图4

(5) 针对高精度转台连续分度要求，提出高精度圆柱滚子组合轴承作为回转轴系的支承轴承、力矩电机直连的驱动方法实现转台的 360° 连续旋转，具有动态响应能力好，无反向间隙，无传动机械磨损等显著优势。结合高精度圆光栅的闭环反馈控制方法，保证转台的连续分度定位精度。转台采用了机械夹紧、气动放松的刹紧机构，可适应工件强力铣削。铣削转台最高转速 $20r/min$ ，可选配车铣复合转台，车削时最高转速 $250r/min$ 。研制车铣复合转台时，为了解决转台高速旋转条件下，无论加工对称零件或异形零件（零件外形不对称），都存在因零件质量分布不均匀而产生较大振动的问题，严重影响车削加工精度、刀具及机床寿命。为保证加工精度，往往需要降低转台的回转速度，牺牲加工效率。为此公司开发了一种用于高速车铣复合加工中心转台的智能预平衡系统（如图5所示，已形成专利技术，授权号ZL202311842954.2），满足车铣复合加工精度与效率兼顾的要求。

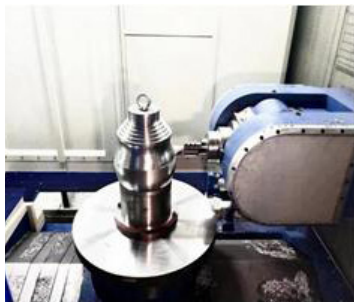
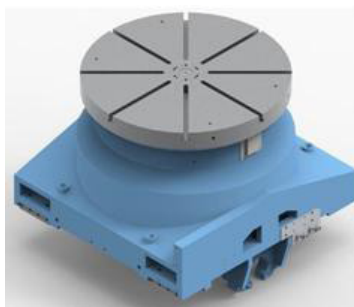


图5

(6) 如图6所示，利用刀尖点跟随（RTCP）技术，通过初始值设定、试件切削获取刀尖点标定值，研究基于工件测头+标准球的自动循环测量的刀尖点误差迭代计算及自动补偿策略，提出实现RTCP快速校准补偿的方法，开发RTCP快速校准补偿功能模块。



图6

(7) 针对摆头式精密卧式五轴加工中心的多刀类型配置，依据不同类型的刀具特点，开发不同类型刀具测头模块（见图7），研究基于刀具刀尖点位置、形状等几何特征采集，结合刀具自动循环测量信息，基于“反馈—补偿—反馈”的模式，实现多类

型刀具的自动补偿功能的方法，实现多类型刀具的适时自动测量及补偿。

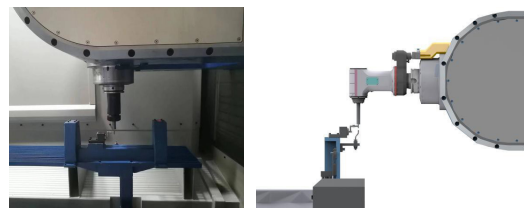


图7

(8) 基于机床主轴系统热态特性分析，获取影响主轴热变形的关键位置信息，结合热传递、流体力学等理论，构建主轴热变形预测模型。应用该模型，提出基于主轴热变形预测反馈的热误差实时补偿方法，开发热误差补偿软硬件装置，实现通过温度信息实时预测主轴空间内热误差值，并传送至数控系统。通过数控系统控制各伺服轴朝误差相反方向运动，实现热误差实时补偿功能，减小温度变化对机床精度的影响，提高机床加工精度稳定性。

5. 产品应用及产业化前景

THMD63125VI精密五轴卧式加工中心通过国家机床质量监督检验中心及使用单位检验、验收，各项精度指标均满足技术指标要求，并已有多台产品通过用户验收。通过推进本成果在其他航空、航天等重点领域设备制造企业的推广应用，可整体提升国内航空、航天等重点领域设备制造企业的技术和制造水平，并同时满足汽车制造业、船舶制造业、工业母机制造业等领域的相关需求。□



图8

AT202/AT210金属陶瓷刀具的研发与应用

赣州澳克泰工具技术有限公司

金属陶瓷是以TiC、TiN、Ti(C,N)等作为陶瓷基体相，过渡族金属(Ni、Co)作为粘结相，以及二次碳化物(如Mo₂C、WC、TaC、NbC、VC等)作为添加剂，通过粉末冶金方法制成的非均质复合材料，具有硬度高、摩擦系数低、耐磨损性优异等优点，广泛应用于低碳钢、合金钢等材料的高速精密切削加工领域。

目前，世界各国都在加紧进行TiCN基金属陶瓷刀具的研发，据《金属陶瓷刀具市场数据深度调研与发展趋势分析报告》显示，尤其以日本为代表，其金属陶瓷刀具已经占国内切削刀具的33%，美国市场金属陶瓷刀具占切削刀具总量的12%，且这以比率还在继续上升。而我国，金属陶瓷刀具仅占切削刀具总量的5%，但以每年14%的速率增长，充分说明TiCN基金属陶瓷刀具市场前景广阔。

为打破国外在此项技术壁垒，推动加工高精尖产品金属陶瓷刀具国产化进程，减少对国外高端刀片的进口被动局面，赣州澳克泰工具技术有限公司组建研发团队，历时400多天，对标日韩及欧美一线品牌，

成功开发出国内首款梯度结构TiCN基金属陶瓷涂层刀具(如图1所示)。该刀具可在高端精密加工领域中实现稳定高效率加工。显著降低了国内企业对日韩欧美高端刀具的进口依赖，有力推动了切削刀具全面国产化的进程。

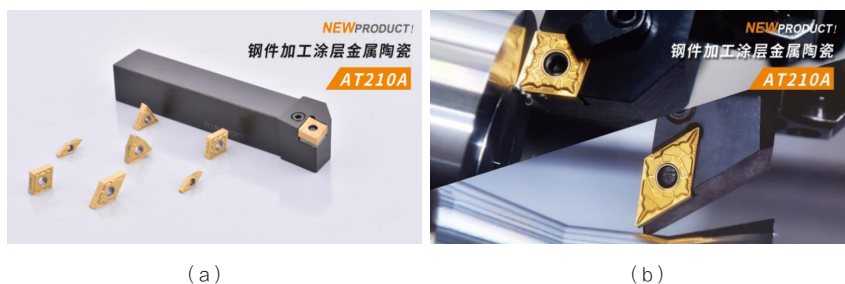


图1 AT210A金属陶瓷刀具

一、金属陶瓷刀具开发背景

随着新能源汽车、精细电子信息及增材制造业的兴起，金属零部件的表面精加工比重日益上升。Ti(C,N)基金属陶瓷因具有优异的高温硬度、化学稳定性、抗高温塑性变形能力及其与金属间低的摩擦系数的优点，其作为精密切削刀具在某些切削应用领域展示出了独特优势，已成为极具潜力的WC-Co硬质合金替代材料。

我国高端TiCN基金属陶瓷刀具与国外发达国家同类产品相比，差距较大，主要体现在：

(1)金属陶瓷中芯-环结构固溶体成分梯度产生的界面热应力，对服役过程中的内应力和微裂纹极为敏感，这种结构与成分的非均质特性。易使裂纹萌生于界面，最终导致材料的过早失效。

(2)TiCN高温下的失稳分解与烧结后均质内环缓慢析出的技术矛盾，难以实现TiCN基金属陶瓷材料的稳定化生产。

(3)硬质相的成分梯度使涂层在基体表面无序沉积，导致涂层结合力低，服役过程中容易出现涂层剥落，难以实现材料的高效精密切削加工。

为实现高效精密TiCN基金属陶瓷材料产业化，澳克泰技术团队针对上述瓶颈问题，从TiCN基金属陶瓷基体-高性能涂层-精密刀具制造全产业链入手，以材料设计、组织结构调控和切削实验优化等方面为切入点，开展高强韧TiCN基金属陶瓷基体、先进涂层技术和高效精密切削技术体系等关键技术创新，形成了TiCN基金属陶瓷刀具与涂层材料成套制备技术，构建优质、高效的高端制造工程体系，支撑国家智能制造发展，对高端制造产业的快速发展具有重要意义。

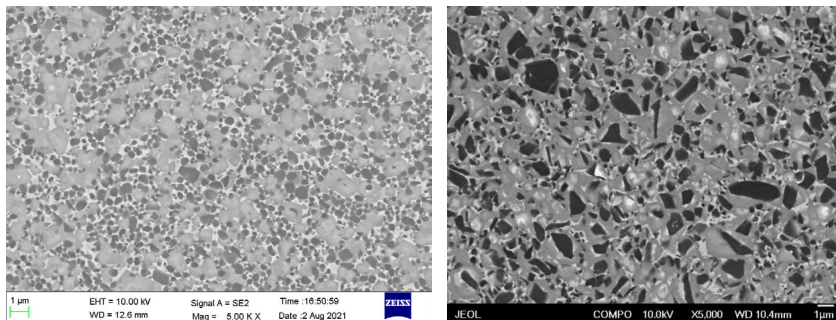
二、金属陶瓷刀具的研发难点

1. 梯度结构超细晶TiCN基金属陶瓷材料结构调控及其制备新技术

Ti(C,N)基金属陶瓷具备典型的“芯-环”组织，其中“芯部”是未完全溶解的硬质相颗粒，环形相是在固相和液相烧结阶段通过“溶解-析出”机制而形成。环相能优化材料的组织分布，提高陶瓷相与金属的结合强度，但环相与芯相间的晶格常数及成分差异，导致陶瓷相内存在晶格畸变与物理性能差异，易于诱导裂纹源的萌生。与此同时，TiCN在温度大于1100℃后极易发生脱氮，体系脱氮会降低高温固溶相的形成驱动力，甚至产生脱碳相，提高材料的孔隙率，恶化最终性能。

针对“基体强韧性低”的关键瓶颈，项目提出构建一种无芯环或弱芯环结构，超细晶TiCN基金属陶瓷功能梯度材料。无芯环或弱芯环结构较常规环芯相结构的成分梯度差异小且晶格错配度更低，可有效降低外环与芯相的错配度，提高环芯相界面结合强度。与此同时，无芯环结构的设

计可以提高合金的热导率，实现高速切削条件下的热传导。TiCN基金属陶瓷材料的功能梯度化设计可以满足工具不同的部位具有不同的使用功能。创新“固溶体成分结构精准调控”、“高温精准固氮术”、“多气氛梯度烧结工艺”、“精密压制控形-烧结控性”等关键技术，攻克了TiCN基金属陶瓷材料产业化难题，解决超细晶TiCN基金属陶瓷合金高强韧化及其微观结构和性能精确调控的关键技术瓶颈，实现高硬度、高强度和高韧性的超细晶TiCN基金属陶瓷材料的批量稳定化生产。



(a) 均质弱芯-环相

(b) 传统金属陶瓷

图2 TiCN基金属陶瓷SEM电镜

2. 高性能多元、多层复合结构涂层智能设计及制备新技术

涂层沉积过程涉及复杂的化学反应，影响因素多、特定成分及结构难获得、精确工艺参数难确定。采用热力学计算及实验佐证方式获得各相自由能参数，建立热力学数据库及相图，可有效指导化学气相沉积涂层的成分、结构和工艺参数的确定。

针对“涂层设计开发难”的关键瓶颈，基于集成计算材料工程思想，通过多场作用下跨尺度模拟计算技术，利用相图热力学、第一性原理等计算方法，构建完整和准确的多元耐磨涂层热力学数据库及相图，理论预测新型结构高耐磨硬质涂层的性能，解决涂层成分-工艺-结构-性能难以精准预测的关键难题。在此基础上，依据理论计算结果与神经网络的正交试验获得高性能涂层材料成分及制造过程参数的智能选择方法，突破硬质涂层结构和性能高一致性难控制的关键技术瓶颈，并明确复合涂层表界面结构及其构效关系，建立涂层高结合力强共格微观结构及其厚度的调控方法，形成高性能多元、多层复合涂层智能制造关键技术及控制理论，实现高硬度、高结合力和抗高温氧化的系列高性能硬质涂层大规模生产。

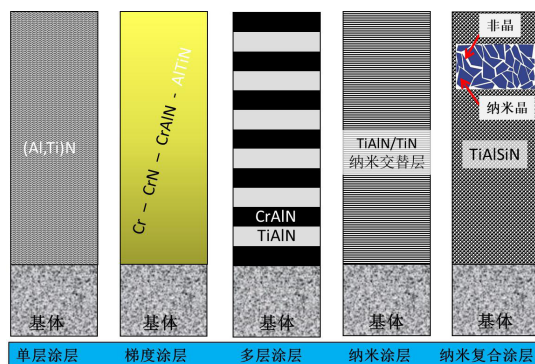


图3 不同涂层结构示意图

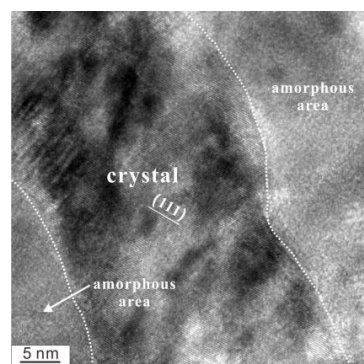


图4 CVD-TiSiN纳米复合涂层HRTEM照片

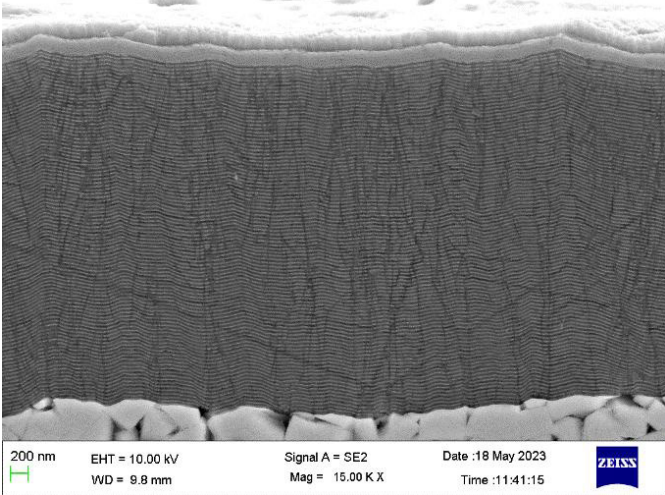


图5 PVD-TiAlN/TiSiN纳米交替涂层断面形貌

3. 高效精密切削数据库的构建

澳克泰技术团队通过钛基金属陶瓷刀具切削试验，获取了切削力、切削热、刀具振动、磨损、表面质量等多源数据，阐明了高速加工时切屑形貌的变化规律及切屑形成的绝热剪切机理，明确了切削参数及槽型结构与工件表面质量和加工精度的相互关系。基于加工过程中刀具的失效演变和失效机制，提出了多元、多层复合结构协同膜基匹配性设计新方法，解决了“被加工材质-基体-涂层-槽型结构-切削参数-失效形式的匹配”关键技术难题，建立了切削过程中涂层刀具选择依据及性能综合评价体系，攻克了刀具设计到高精加工应用的关键难题，构建了高效精密切削数据库。针对不同的切削材质和切削工况形成了一整套切削解决方案。研制的产品实现了航空航天、轨道交通、精密制造等高附加值难加工部件的高效、高速、精密、绿色、长寿命、低成本切削。

三、金属陶瓷刀具的典型应用领域

基于市场需求和技术升级趋势，金属陶瓷切削工具凭借其高性能和高性价比优势，可有效替代进口品牌在中高端加工领域的应用，降低用户采购成本。同时，随着现代加工向高速、高精度、高表面质量方向发展，金属陶瓷材料既克服了传统硬质合金刀片在精加工中易磨损的缺点，又解决了纯陶瓷刀片脆性大的问题，成为理想的切削工具选择。

澳克泰AT202/AT210A金属陶瓷刀具一经推出便受到广泛关注。该产品填补了江西省内TiCN基金属陶

瓷材料的产业化引用空白，并率先实现国内首款梯度结构TiCN基金属陶瓷涂层刀具的产业化。与国际知名企业日本京瓷对比的第三方切削报告显示（见图6），项目刀具性能优于国外同类先进技术。项目产品被台州长义机械、台州艾格赛机械、诸暨均同机械制造有限公司等高端制造企业广泛采用，应用于难加工关键部件的整体切削。

检验结论	澳克泰工具技术有限公司生产的WNMG 080408 F2K数控车刀，牌号AT210A，切削4140合金钢材料，三个刃累计切削时间为46.5min，后刀面最大磨损VB0.35mm、崩刃；京瓷公司生产的WNMG 080408 HQ数控车刀，牌号PV730，切削4140合金钢材料，三个刃累计切削时间为27.3min，后刀面最大磨损VB1.22mm、崩刃。 测试的澳克泰刀具的单刃平均切削寿命是京瓷刀具切削寿命的170.3%。 检测结果详见报告内页。
说明	1、样品信息由委托单位（客户）提供。 2、检验结果仅适用于收到的样品。 3、“/”表示此栏无内容。

批准:

审核: 周运涛

编制: 李敏

图6 与京瓷切削对比

四、产品应用及产业化前景

基于市场需求和技术升级趋势，金属陶瓷切削工具凭借其高性能和高性价比优势，可有效替代进口品牌在中高端加工领域的应用，降低用户采购成本。同时，随着现代加工向高速、高精度、高表面质量方向发展，金属陶瓷材料既克服了传统硬质合金刀片在精加工中易磨损的缺点，又解决了纯陶瓷刀片脆性大的问题，成为理想的切削工具选择。

赣州澳克泰工具技术有限公司面向行业精密加工需求，成功推出具有自主知识产权的Ti(C,N)基金属陶瓷刀具AT202与涂层金属陶瓷AT210A两大创新产品。其中AT202产品采用“芯-环”硬质相精密调控技术，通过构建均匀致密的硬质相-粘结相复合结构，实现了耐磨性和抗冲击性能的协同提升；AT210A则创新结合梯度功能材料设计和界面强化理念，结合纳米多层复合涂层技术，实现了国内首款梯度结构Ti(C,N)基金属陶瓷涂层刀具的产业化，填补了该领域的技术空白。经行业验证，两款产品凭借独特的性能优势，在高线速加工条件下，应用于通用机械、精密电子和新能源等领域的关键零部件精密加工时，可显著提升加工效率和工件表面质量，为高端装备制造业的精密化、高效化、绿色化发展提供强力技术支撑。□

YKW5165A数控插齿机的研发与应用

宜昌长机科技有限责任公司

YKW5165A数控插齿机是宜昌长机科技有限责任公司研发的中型数控插齿机床。该机床融合成熟的控制技术与公司近六十年齿轮机床研发制造经验，集成国际先进设计理念，具备卓越的加工品质。其核心功能包括电子螺旋导轨、独立伺服让刀、内外齿自动转换、大行程自动调整、刀架自动提拉、斜向让刀、刀具自动上停等功能，可满足汽车、工程机械、风电、船舶等领域高精密齿轮的大批量生产需求。



机床可实现七轴五联动。刀架圆周运动采用力矩电机直驱，分度精度高；刀架主轴运动采用高转矩力矩电机直驱；工作台采用主轴轴承支承，高精度蜗轮蜗杆副传动，使工作台具有很高的动、静刚性；独立的伺服让刀使机床内外齿转换更加方便。

1. 主要技术与结构特点

(1) 刀架体静压：机床的刀架结构采用静压导轨和静压轴承，最大切削线速度90m/min，能满足高速冲程的需要。

(2) 工作台轴承结构：工作台采用主轴轴承进行定位、支撑，运动阻力小，旋转精度高，更好地满足了工作台高精、高效的传动要求。

(3) 机床具有电子螺旋导轨功能：机床主运动Z3轴（刀轴上下运动）采用高转矩力矩电机直驱；刀轴圆周运动C2轴采用力矩电机直驱；通过数控系统实现刀轴上下运动（Z3轴）、工作台圆周运动（C1轴）、刀轴圆周运动（C2轴）、刀具让刀运动（B轴）四轴联动，可加工任意角度的螺旋齿。

根据机床的结构特点，找出各轴的运行轨迹特征，进行软件编程并嵌入到数控系统上，用户只需输入相关参数，就能实现任意角度的内齿、外齿加工，具有众多优势：①加工范围广：任意螺旋角的内齿、外齿、多联齿、深孔内花键等的自动调整加工，同时对于小导程螺旋齿轮也能加工。②加工精度高：主轴、刀具旋转采用力矩电机直驱驱动，减小了传动误差，提高了加工精度。③螺旋角的自动校准优化：通过工艺参数的优化，实现 $fh\beta$ 值（螺旋线倾斜偏差）的自动调整改善，同时预设 $fh\beta$ 补偿值，可实现热处理变形的调校，校正精度可达到微米范围。

(4) 机床具有独立伺服让刀功能：机床采用独立的伺服电机与凸轮机构实现机床主运动的让刀运动，内外齿加工转换时通过油缸推动凸轮自动实现。

(5) 机床具有刀架提拉功能：机床具备刀架提拉功能，解决了深孔内齿的加工难题，尤其是对有严格相位要求的双联齿轮加工提供了可靠的保证。

(6) 机床具有大行程自动调节功能：机床采用伺服电机实现大行程的自动调整，曲柄盘锁紧碟簧通过油缸自动松开，伺服电机精确调节大行程长度，提升了机床的自动化水平和人性化。

(7) 机床主运动自动平衡：机床主运动为曲柄盘偏心运动，在高速旋转时容易引起机床共振，通过采用自动平衡机构，在偏心轴的另一侧设置配重块，实现机床行程调整与偏心轴自动平衡。

(8) 机床刚性好，抗振性强，动态精度高：本机床采用国际流行的立柱进给方式，通过高刚性、大惯量的立柱进给机构设计，实现了机床进给运动更高的动态精度。

(9) 机床的传动精度高，工作精度稳定：机床传动链简洁，各主要运动均采用国内外最先进的传动机构。通过高转矩力矩电机直驱技术、高精度滚珠丝杠传动技术、高精度转台轴承控制技术、镶钢导轨制造加工技术等，使得机床定位精度高、运动刚性好，传动平稳，加工精度达到国家标准5级（GB/T 10095-2008）。

(10) 数字控制稳定可靠，操作方便快捷：机床控制系统采用数字控制，与伺服驱动器和伺服电机的完美组合为机床提供强大的动力；配合伺服驱动器的前馈控制功能，确保了最大的工件精度和生产效率；本机床实现参数化编程，操作简单方便，专用的人机操作界面，具有很强的工艺指导性；方便的加工工艺参数存储功能对用户的加工数据管理和工艺参数调整提供了有效的方法和便利。

(11) 液压系统稳定可靠：液压系统包括两部分，一是静压系统，主要给刀架静压导轨和静压轴承供油；二是功能液压部分，主要提供其它液压控制动作、机床润滑；液压系统采用油冷机制冷，油温恒定（ $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ）。

(12) 润滑系统：机床润滑分为压力润滑和间歇润滑两个独立单元。压力润滑主要是刀架轴承、让刀轴承、工作台；间歇润滑采用集中润滑装置，主要对床身导轨面、滚珠丝杆等润滑。

(13) 防护考虑周全，操作维修方便：本机床结构布局合理，工作区防护安全，操作便捷，维护简单。机床设计时，利用人机工程学原理，在满足机床性能要求的同时，充分考虑操作者的工作习惯、操作疲劳极限等诸方面因素，使操作者尽可能在安全舒适的环境下工作；同时机床的控制系统也具有强大的保护功能，在诸如超程、过载、失压或其它故障发生时均立即停机报警，确保人机安全。

2.技术创新点

(1) 刀架体采用静压技术，通过油膜支撑减小运动发热和摩擦，提高运动速度及精度，切削线速度可达 $90\text{m}/\text{min}$ ，实现高速冲程的要求。

(2) 工作台采用主轴轴承进行定位支撑，运动阻力小，旋转精度高，满足高精、高效的传动要求，改变了传统加工方式实现大圆周小进给加工。

(3) 电子螺旋导轨功能，机床主运动和刀架体运动均采用高转矩力矩电机进行直驱，通过数控系统高同步动态控制技术实现电子螺旋导轨功能，可加工任意角度的螺旋齿轮，机床柔性化更高。

(4) 机床独立伺服让刀功能与主运动进行联动，通过数控轴参数的优化设计控制让刀起始点，调整凸轮的相位，确保加工时的让刀的起始位置。

(5) 刀架提拉功能，实现深孔内齿、双联或多联齿轮、有严格相位要求的双联齿轮加工，提供了更加柔性的设计空间，工件可以一次装夹、测量、对刀完成，降低了劳动强度，安全操作性更佳。

(6) 大行程自动调节提升了机床的自动化水平和人性化，可以通过配置自动料仓实现机床自动上下料。

(7) 主运动自动平衡功能。机床可自动配重实现高速

旋转时运动平衡，避免机床共振，提升旋转精度。

(8) 机床高刚性结构设计。通过对各个部件、关键结构和数控轴参数的优化设计，机床具有很高的动、静刚性。

(9) 强大的软件功能，任意变更切削参数、工件硬度，机床可进行自动补偿。

(10) 系统控制稳定可靠，操作方便快捷，采用参数化编程，专用的人机操作界面，具有很强的工艺指导性。

3.技术水平

本机床是一款高精、高效，自动化水平高的高端齿轮机床，其技术水平如下：

(1) 自动抓取结构运用于自动上下料，定位精准，抓取迅速，可靠性高，可配合机械手臂、机械导轨等使用。

(2) 可快速调整卡爪位置的抓取机构，大幅度提高手爪的换型效率，保证重复定位精度。

(3) 新颖的操作界面，自动编程，降低了工人的劳动强度。

(4) 机床主运动采用了自动平衡机构，高速加工时机床更稳定，精度更高。

(5) 采用直驱技术，无间隙分度运动，减少了传动链误差，解决了长齿宽斜齿加工的难点。

(6) 采用液压拉刀机构简化刀具的安装，直接通系统控制实现刀具的松开与锁紧。

(7) 机床传动链精度控制在 $2''$ 以内，适用于加工5级精度齿轮，齿面粗糙度可达 $Ra1.6$ 。

(8) 机床可加工最大工件直径 650mm ，最大模数 12mm ，最大齿宽 200mm ，最大冲程数 $600\text{str}/\text{min}$ 。刀柄采用HSK接口，具备刀具自动对中、刀具自动保护、多轴同步、自动换刀等功能。

4.产品应用及产业化前景

YKW5165A数控万能插齿机在功能上实现了任意螺旋角度齿轮的柔性加工，满足了汽车、工程机械、风电、船舶等领域高精密齿轮的制造需求。

机床主轴冲程 $600\text{str}/\text{min}$ ，刀具切削速度可达 $90\text{m}/\text{min}$ ，加工效率是普通插齿机的1.5倍，加工精度可达GB5级。还可采用高速干式切削，保证高效率、高质量、高的刀具耐用度以及切削过程的高可靠性，用户工件加工质量稳定可靠。

本产品投入市场后，打破了国外对电子螺旋导轨功能数控插齿机的技术垄断，满足了国内高端制造业对高精密螺旋齿的柔性制造装备的需求，有效降低了国内齿轮制造企业的成本，提升了国内齿轮制造高端装备的国际市场竞争力，实现了相关行业“制造”向“智造”的转变，促进了相关产业的转型升级。□

YKZ7250数控蜗杆砂轮磨齿机的品控管理

秦川机床工具集团股份有限公司

YKZ7250数控蜗杆砂轮磨齿机是秦川机床工具集团股份有限公司自主研发的一款新型高效、高精度磨齿机。该磨齿机采用全新结构设计，创新性地运用同相位布局及砂轮主轴高刚性双支撑结构，并成功研制了大功率、高刚性的砂轮主轴与工件主轴。在此基础上，成功攻克了高精度高效率连续展成磨削、齿面主动控制磨削与修整、加工误差自动补偿、砂轮与工件高速自动啮合、故障预警及远程诊断等关键技术。设备集成了工件自动装夹、自动对刀、自动磨削及自动修整功能，实现了全流程自动化控制，特别适用于汽车、风电、工程机械、减速器等行业大批量、高精度渐开线圆柱齿轮的磨削加工。

该机床具备强大的齿轮磨削能力，最大磨削直径 $\phi 500\text{mm}$ （可扩展至 $\phi 560\text{mm}$ ），加工模数：1~8mm。在技术性能上，其磨削精度稳定达到GB10095.1-2008标准的3~5级，砂轮最高线速度可达80m/s，磨削效率与加工精度均达到国际先进水平。凭借优越的性能和高性价比，该产品不仅可逐步替代进口设备，更具备参与国际市场竞争的实力，市场前景广阔。



为保障机床产品的高品质，公司系统性地强化了质量管理体系运行，实施了严格的产品质量管控措施，并重点配置了保障质量所必需的关键加工设备、专用工艺装备及高精度检验检测设备。通过这一系列针对性举措，产品质量得到显著提升。

1.质量管理体系运行情况

近年来，公司全面推行“创新突破、质量为本、匠心智造、顾客满意”质量方针，围绕生产经营任务和质量管理成本控制目标，以“体系有效运行为生产经营保驾护航”为原则，以“品质提升、顾客满意”为目标，通过质量改进、专项质量控制、强化供应链管控，全面扎实推进质量提升工作。

2.产品质量管控措施

通过开展“高质量发展年”、“结构调整年”等系列专项行动，围绕重点产品、主要客户市场和重点经营工作开展质量提升行动：

(1) 聚焦客户反馈的售后服务问题。以问题为导向，强化质量改进，促进过程控制，将质量管控贯穿研发、生产、采购、销售及服务全流程。通过系统策划，搜集、整理在销售服务、设计开发、生产制造、装配调试、采购外协、检验试验过程中存在的突出共性问题，制定《质量改进提升项目计划》，建立项目团队，落实改进任务，每年形成30多项改进成果，有效助推产品质量升级。

(2) 扎实推进BIQ全员共铸质量活动。下发FMN质量信息处理单，要求各部门对现场质量问题，采取临时措施、原因分析、制定预防纠正措施、批次跟踪验证等措

施，有效识别生产过程质量问题。

(3) 建立完善的质量信息系统。聚焦用户反馈的“难点、痛点”问题，优化质量分析、建立质量信息库，快速响应、闭环管理，提高用户问题解决效率，提升产品市场竞争力，提高客户满意度。

(4) 重点用户重点产品质量保障。下发《质量控制计划》，确保产品稳定性、可靠性。

(5) 开展供应商管理“五步法”。根据年度生产任务和主机产品的外协业务量，质管部联合生产准备室、采购部强化供应链的质量管控，保证磨齿机产品外协零部件的质量提升与成套交付。

(6) 质量管控上下游互动。组织召开专题质量座谈会，围绕售后、装配及生产过程中存在典型问题，从过程质量控制、工艺纪律检查、供应商考核、现场不合格分析、质量成本等方面进行了深入交流沟通。

(7) 通过第三方和用户审核，不断完善质量管理体系。通过中国质量认证、华城等质量管理体系的第三方审核，通过在通力、迅达、蒂森、陕汽、法士特、库卡等用户企业的验证和迭代，不断提升质量管理体系运行的有效性和适宜性。

(8) 多措并举，构建过程控制+专检，专项检查+专项整治，零件抽查+产品抽查，全员共铸质量的质量管理模式。同时，严格控制4M变更。

(9) 持续推进专项检查。每月进行制造过程检查，下发检查通报，整改跟踪验证，对生产过程进行有效管控，避免了批量问题发生。

(10) 针对新产品售后、装配、采购、外协、加工过程中存在问题，组织召开样机转小批综合质量评审，加快样机的快速改进，提升用户满意度。

3. 基础设施及设备保障

公司高度重视技术改造，通过系统性投入全面强化了综合能力：新建机床装配恒温车间、完善优化齿轮恒温车间、重型联合厂房、热处理车间及铸造第一联合厂房等基础设施，满足了关键零部件精密加工的环境要求；引进高精度齿轮测量中心、3米齿轮综合误差检查仪、激光干涉仪等先进精密检测与试验设备，显著提升了质量把控能力；新增蜗轮母机、蜗杆磨床、数控落地镗、井式渗碳炉等精密关键加工设备，以及高精度圆柱齿轮磨床、圆锥齿轮磨床、拉刀形磨床等专业加工装备，大幅扩充了核心制造能力；同时配备整机试验台和机床性能试验台，完善了产品研发与性能验证体系。这一系列举措，有效提升了公司在加工制造、试验检测及技术创新

方面的综合能力与水平。

公司目前拥有加工、装配车间总面积达9.7万平方米（其中恒温面积约1.6万平方米），配置各类关键设备200余台；设有1600平方米的试验与试制中心，配备基础性、基准性试验台及仪器50余台（套）；并建有国家二级计量单位认证的计量测试站，其恒温面积达1800平方米，配备精密检测仪器100余台（套），全面满足各类高精度齿轮机床的检测需求。

加工设备方面，公司拥有包括数控内外圆磨床、五面体加工中心、蜗杆磨床、内齿轮磨齿机、成形砂轮磨齿机、蜗杆砂轮磨齿机等供科研试验专用的数控机床。试验仪器方面，公司拥有包括双频激光干涉仪、实时测量分析系统、传动链测试仪以及国内众多知名厂家的电子量仪等，同时还自主研发了高速砂轮主轴试验台、CBN砂轮制造修整试验台、机床动态特性测试仪、蜗轮副动态检测仪及自制高速进给试验台、回转工作试验台、高速电主轴试验台等。

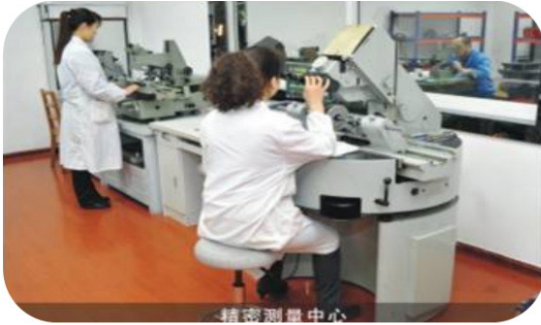
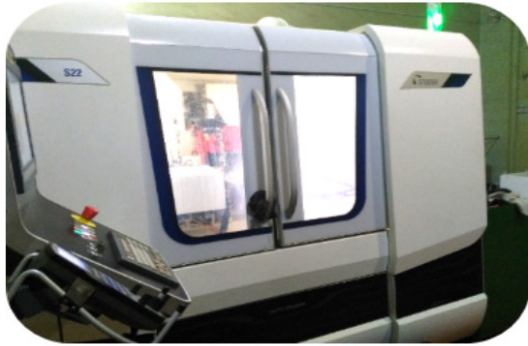
公司质量管理部下设检验计量室（获CNAS认可），专门负责公司所有零件加工、外购外协件检验及产品装配的质量检查，确保生产过程每个环节检验受控。在每个生产车间设有专职检验员对零件制造过程进行检测，确保零件、装配部件直至整机产品符合设计图纸及产品开发要求。公司重视检测设备、仪器的配备，近几年连续购买了高精度三坐标测量仪、齿轮测量仪等高精度检测设备。

4. 产品开发模式及设计手段

公司建立了市场导向型产品开发模式，通过深度市场调研精准把握客户需求，并与客户紧密协同设计——基于客户对功能、精度的定制化要求，完成机械、液压、电气等系统的图纸设计与评审；样机在厂内试制验收后交付客户现场验证确认，经多轮改进后，再通过厂内或客户现场的批量加工验证，全面考核机床精度、功能及可靠性，最终实现产品的持续优化与行业认可。同时，为缩短设计周期并提升质量，全面应用三维设计软件、传动设计分析工具及CAE仿真技术，对机床结构、应力、模态等进行数字化建模分析与优化，显著提升了设计效率与技术水平。

5. 市场应用情况

YKZ7250蜗杆砂轮磨齿机产品性能优异，市场持续认可。自投入市场以来，凭借其高稳定性、高可靠性以及优异的加工效率与精度，赢得了用户的广泛信赖。杭州、河北、株洲等地多家用户持续增购便是市场认可的有力证明。产品开发始终坚持用户需求导向，积极响应客户反



馈，提供个性化解决方案，持续提升机床可靠性，成功践行了“帮助客户赚钱”的目标。经客户验证和批量应用，该系列机床可稳定满足5级精度齿轮的精密磨削要求，在质量可靠性与性能稳定性方面获得高度评价。

公司售后服务体系完善，响应及时高效。建立了完善的售后服务制度并严格执行，包括建立详尽的顾客档案和践行“匠心智造 用户先赢”的核心价值观。为确保用户设备高效运转，公司优先保障现场备件供应，设立客户服务专线并执行节假日值班制度，有效保障了服务的及时性与

准确性，显著提升了客户对售后服务的满意度。

深化客户互动，持续改进提升。公司通过年度顾客满意度调查、组织总店客户走访、举办“客户走进秦川工厂开放日”等活动，持续加强与客户的紧密联系，深入理解客户需求及产品使用情况。同时，定期组织销售与服务人员的业务技能培训，提升沟通能力与服务水平。公司高度重视客户反馈和市场信息，将其作为持续改进产品质量、精准开发适应行业发展和客户新需求的新产品的重要依据。以上系统性举措赢得了广大客户的一致好评。□

资讯

美尔克推出新型高性能砂轮

美尔克正通过推出Mirka Cafro Ultra-Flute砂轮系列扩展其产品组合。该系列专为硬质合金刀具的精密磨削加工而设计。此创新产品线为用户提供一系列耐用且精密的砂轮选择，专为满足大规模连续生产的严苛要求而设计。

Mirka Cafro Ultra-Flute采用一体式结构设计，其研磨轮缘具有多孔结构，可优化从磨床到材料的动力传递效率。该设计确保在更短时间内实现高材料去除率，从而提升整体加工效率。

产品开发以耐用性为首要目标，其刃口保持能力可实现快速、高效且一致的加工性能，从而缩短生产周期。由于修整间隔延长导致的停机时间减少，这些砂轮同时有助于提升生产效率。



Mirka Cafro Ultra-Flute还为用户提供静音运行、使用无振动及功率吸收稳定的特性，有效降低工作期间的能耗。此外，搭配自动刀具装载机使用时，可发挥最佳性能并获得持续精细的表面处理效果。

YT4L-2500数控闭式四点六连杆多工位压力机及其冲压线的品控管理

扬州锻压机床有限公司

本项目“YT4L-2500数控闭式四点六连杆多工位压力机及其冲压线”属于国家战略新兴产业的重点装备（见图1）。产品以25000kN公称力多连杆压力机为核心，集磁力分张、物料自动抓取、双张剔除、伺服输送、对中定位、

三次元机械手多工位送料、检验平台、废料输送装置、自动换模装置于一体，构建了一条针对汽车底盘结构件、车身结构件、新能源汽车电池包结构件（其中包含1480MPa高强度钢材料结构件）的高效精密智能冲压生产线。



图1

本项目突破多连杆主驱动机构设计、主传动结构优化、抗偏载（上下流测6:4）、离合制动等多项关键技术，获得发明专利6项，实用新型专业20余项；实现从主机设计、核心部件到智能系统的全链条突破，打造了国际领先的多连杆和伺服气垫的重型高效智能化高强度冲压线。

产品核心特点主要表现为：

- （1）高效率：创新六连杆主驱动机构满足高强钢高效深拉深工艺需求，生产线运行节拍达8~28次/分钟。
- （2）高精度：台盘重复定位精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ；伺服步进送料重复定位精度 $\pm 0.1\text{mm}$ 。
- （3）柔性化：支持多类型、变规格高强钢汽车结构件

全自动冲压成形。

(4) 智能化：实现生产系统智能控制、远程信息咨询、故障专家会诊、设备维护指导及生产信息管理。

本项目推动我国自主研发的冲压生产线进入高端精密冲压件智能化柔性生产装备行列，可推广至家电、航空航天、轨道交通、海工装备等领域，打破美日欧在高端金属成形领域的技术垄断。

一、质量管理工作概述

1. 执行的质量和环保标准

扬锻以“零缺陷”为质量目标，构建了一整套覆

盖设计、采购、生产、检测全流程的质量管控体系。多年来，扬锻严格遵循 ISO9001 标准，在设计开发、加工装配、安装和服务等各个环节实施标准化管理和过程控制，同时结合舒勒质量标准，形成领先的企业标准，促使质量管理体系不断优化，确保压力机品质的稳步提升。

公司产品的核心和关键件均自主生产，配备有百余台各类进口高精尖加工和检测设备。围绕压力机大件焊接、齿轮加工等工艺，构建了覆盖压力机研发、生产、管理全流程的数字化平台，通过CAX/CAM/PLM/ERP/MES 系统集成，实现了纵向设备互联、横向部门协同及端到端的产品全生命周期管理。主要执行标准见附表。

序号	标准
1	《机械电器安全 第一部分：通用技术条件》（GB5226.1-2008）
2	《机械压力机噪声限制》（GB 26483-2011）
3	《锻压机械安全技术条件》（GB 17120-1997）
4	《气动系统通用技术条件》（GB/T7932-2003）
5	《液压系统通用技术条件》（GB/3766-2001）
6	《液压元件通用技术条件》（GB/T7935-2005）
7	《压力机用光电保护装置技术条件》（GB 4584-2007）
8	《闭式压力机 第1部分：型式与基本参数》（JB/T 1647.1-2012）
9	《锻压机械焊接技术条件》（JB/T 8609-2014）
10	《机械压力机 安全技术要求》（GB 27607-2011）
11	《机械压力机噪声极限》（GB 26483-2011）
12	《闭式压力机 第2部分：技术条件》（JB/T 1647.2-2012）
13	《闭式四点多连杆压力机 第2部分：精度》（JB/T 10783.2-2007）
14	《闭式四点压力机 精度》（JB/T 5200-2012）
15	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）
16	《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ 2034-2013）

2. 通过的国家有关许可认证、质量认证、环境认证

在环境管理体系方面，公司注重体系的完整性，强调对法律法规的符合性和污染预防，要求对生产活动进行全过程控制。企业目前已通过质量管理体系认证、环境管理体系认证、职工健康安全管理体系认证，项目产品将严格按照相关标准进行。

3. 原辅材料的来源和供应

产品主要原材料为Q235B碳钢、QT600-3球铁、45号钢、42CrMo、铜合金、灰铸铁等，均能在国内市场购买，主要辅材也可在国内配套。

公司严格执行供应商管理程序，保证原材料、外购件质量。

公司已经与西门子、施耐德、三菱等建立了长期的供

货关系，生产用原材料、配套件完全能够保证质量要求。

公司将严格执行ISO9001：2008，GB/T19001-2008质量管理体系，加强现场管理和过程控制，确保产品质量零缺陷。强化考核与评估，建立科学的奖惩制度，加强技术分工管理。优化工艺流程，增添关键加工设备，培训生产技术人员，保证产业化目标的实现。

4. 生产场地及辅助设施

项目产品的生产地位于扬州市高新技术产业开发区华钢路1号，目前生产场地面积约166750m²，拥有德国舒勒标准重型装配车间，并配备行业最大350T行车等。

2025年4月11日新开工102亩智能化冲压生产线项目，计划总投资约5亿元。项目全部建成达产后，可形成年产100台套智能化重型高速多工位生产线的生产能力，预计新增年开票销售约10亿元，将进一步提升扬锻国内外市场

份额，为塑造国际品牌提供有力支撑。

5. 为保障该项目质量，研发相关工艺装备、检验检测设备

(1) 动态性能测量技术

为保证压力机的整机性能和各项指标，正确、科学地测定压力机的静载变形显得尤为重要。针对该YT4L-2500为数控闭式四点六连杆多工位压力机，由于吨位及台面较大，因此我们设计了专用的工装来测量滑块及工作台的挠度。测量装置如图2所示。



图2

该测量装置主要由垫板、加载液压缸、墩冲垫、泵车、液压控制管路、电气控制等主要部分组成。按照优于国家标准（GB/T 29546-2013）的测量要求来摆放垫板及加载液压缸的位置，通过液压及电气的控制测量压力机的挠度。

(2) 压力机关键结构件加工工艺技术

① 突破关键件精密加工技术，设计齿轮加工系列专用工装，提高产品质量和生产效率。设计数控立车专用的扇形配重工装，并进行离心力的计算，保证装夹配重车削时，加工重心与工作台的旋转中心重合。加工示意图如图3所示。

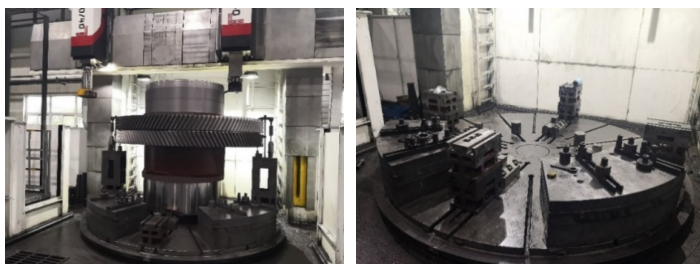


图3

② 检测数控铣齿机立柱移动与主轴箱上下移动及工作台旋转的精度，在适用范围内保证0.02以内，用来控制铣

齿时齿轮的齿形齿向精度。

③ 由于铣齿机工作台的装夹行程不够，因此设计了专用的辅助工作台工装，将辅助工作台装夹在铣齿机工作台上后再装夹工件。辅助工作台用三菱数控龙门精加工。加工示意图如图4所示。



图4

④ 在铣齿机上钻基准齿的销孔后再三菱龙门找出偏心外圆的基准，最后在数控立车上保证两侧偏心外圆的同轴度。加工示意图如图5所示。



图5

二、客户和行业的认可

机床的真正价值在于能够持久保持高精度、高效率生产，同时具备出色的可靠性和低维护性。扬锻YT4L-2500自2017年投入市场以来，已累计交付60余台套，以其高质量不断突破机床价值高度。

“2017年投产以来一直满负荷运行且无故障，自动化程度高，制件精度稳定，安全性能出色，操作维护简便，完全可以满足我们的生产需求”、“与日本顶级品牌相比，扬锻设备在效率和稳定性上毫不逊色，同时具有显著的成本优势”等客户评价，充分证明了扬锻产品的可靠性。凭借强大的自主创新实力和深厚技术沉淀，扬锻实现产品品质、加工精度和服务能力均达到行业顶尖水平，从价值本质上推动生产效率提升、生产成本降低，并增强客户在全球市场的竞争力。□

2024年机床工具行业上市公司运行情况

中国机床工具工业协会信息统计部

行业上市公司是行业重要企业群体，我们选取行业特征突出的上市公司作为重点关注对象，本文根据重点关注上市公司（以下简称：行业上市公司）2024年度报告，汇总分析行业上市公司的运行情况。

2024年度行业上市公司，较2023年新增一家（301603乔锋智能），减少一家（600243青海华鼎），总数仍为58家，其中深交所主板23家，创业板22家；上交所主板4家，科创板9家。行业上市公司的具体地区和行业分布情况见表1。

表1 行业上市公司的地区和行业分布情况

地区分布情况		行业分布情况	
地区名称	上市公司数	行业名称	上市公司数
华东地区	20	金属切削机床	20
华中地区	15	磨料磨具	13
华南地区	13	数控装置	8
华北地区	5	工量具	7
东北地区	3	金属成形机床	4
西北地区	2	机床附件及功能部件	4
		木工机械	2
总计	58	总计	58

一、行业上市公司资产负债情况

截至2024年末，行业上市公司的资产总计为2932.8亿元，较年初增长3.4%。负债合计为1361.8亿元，较年初增长5.4%；其中合同负债为141.5亿元，较年初下降5.6%。资产负债率为46.4%，较年初增长0.9个百分点，较年初增长的企业占比58.6%，较年初下降的企业占比41.4%。总体上负债增长快于资产增长，资产负债率增长。各分行业2024年的资产负债情况见表2。

表2 各分行业2024年资产负债情况表

行业名称	资产总计（亿元）			负债合计（亿元）			资产负债率（%）		
	期末	期初	增减%	期末	期初	增减%	期末	期初	增减百分点
金属切削机床	1306.5	1223.2	6.8	647.1	607.3	6.5	49.5	49.7	-0.1
金属成形机床	119.5	114.3	4.5	61.3	56.3	8.8	51.3	49.3	2.0
工量具	194.1	185.3	4.7	64.6	58.7	10.2	33.3	31.7	1.6
机床附件及功能部件	101.7	94.6	7.5	29.6	27.3	8.5	29.1	28.9	0.3
磨料磨具	725.4	723.7	0.2	282.4	262.9	7.4	38.9	36.3	2.6
木工机械	76.1	78.8	-3.5	26.1	27.1	-3.6	34.4	34.4	-0.0
数控装置	409.6	416.8	-1.7	250.6	252.5	-0.8	61.2	60.6	0.6
机床工具行业合计	2932.8	2836.7	3.4	1361.8	1292.2	5.4	46.4	45.6	0.9

资产负债率超过70%的，年初有5家，年末增至8家，无超过100%的情况，资产负债率分布情况见图1。

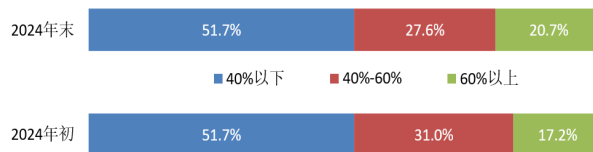


图1 资产负债率分布情况

二、行业上市公司营业收入、利润总额与亏损面

2024年，行业上市公司实现营业收入1295.2亿元，同

比下降1.4%。其中，32家同比增长，占55.2%；26家同比下降，占44.8%。

实现利润总额42.3亿元，同比下降58.6%。其中，23家同比增长，占39.7%；35家同比下降，占60.3%。

2024年的亏损面为31.0%，同比扩大20.7个百分点。

各分行业2024年营业收入、利润总额和亏损面情况见表3。

表3 各分行业2024年营业收入、利润总额和亏损面情况表

行业名称	营业收入（亿元）			利润总额（亿元）			亏损面（%）		
	本期	同期	同比%	本期	同期	同比%	本期	同期	同比百分点
金属切削机床	600.5	549.0	9.4	38.8	40.1	-3.3	25.0	10.0	15.0
金属成形机床	55.7	48.9	14.0	3.9	4.5	-12.8	25.0	0.0	25.0
工量具	74.5	74.7	-0.3	8.6	9.9	-12.2	0.0	0.0	0.0
机床附件及功能部件	52.1	46.2	12.8	6.4	3.6	75.9	0.0	25.0	-25.0
磨料磨具	275.1	331.8	-17.1	-5.5	33.5	-116.6	46.2	15.4	30.8
木工机械	60.3	63.1	-4.5	4.7	9.1	-48.3	50.0	0.0	50.0
数控装置	177.1	200.2	-11.5	-14.6	1.4	-1106.5	62.5	12.5	50.0
机床工具行业合计	1295.2	1313.8	-1.4	42.3	102.1	-58.6	31.0	10.3	20.7

三、行业上市公司利润率、毛利率与加权平均净资产收益率

2024年，行业上市公司的利润率（利润率=利润总额/营业收入）为3.3%，同比下降4.5个百分点。其中，42家同比下降，占72.4%；16家同比增长，占27.6%。

毛利率为23.9%，同比下降2.8个百分点。其中，38家同比下降，占65.5%；20家同比增长，占34.5%。

各分行业2024年的利润率和毛利率情况见表4。

表4 各分行业2024年利润率和毛利率情况表

行业名称	利润率（%）			毛利率（%）		
	本期	同期	同比百分点	本期	同期	同比百分点
金属切削机床	6.5	7.3	-0.8	25.0	26.5	-1.5
金属成形机床	7.0	9.2	-2.2	28.0	29.2	-1.3
工量具	11.6	13.2	-1.6	28.3	27.6	0.7
机床附件及功能部件	12.3	7.9	4.4	30.0	31.0	-1.0
磨料磨具	-2.0	10.1	-12.1	19.0	28.1	-9.1
木工机械	7.8	14.4	-6.6	24.9	25.2	-0.3
数控装置	-8.2	0.7	-9.0	22.4	23.4	-1.0
机床工具行业合计	3.3	7.8	-4.5	23.9	26.7	-2.8

利润率分布情况见图2。与上年相比，利润率在0%以下企业数占比上升20.7个百分点；0%~10%占比下降12.1个百分点；10%~15%占比上升1.7个百分点；15%以上占比下降10.3个百分点。

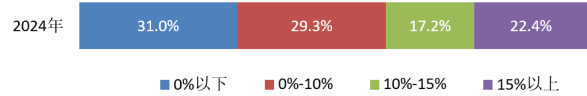


图2 行业上市公司利润率分布情况

2024年，加权平均净资产收益率同比增长的有24家，占41.4%；同比下降的有34家，占58.6%。

加权平均净资产收益率分布情况见图3。与上年同期相比，加权平均净资产收益率0%以下的企业数占比上升20.7个百分点；0%~5%占比下降1.7个百分点；5%~10%占比下降10.3个百分点；10%~15%占比下降8.6个百分点；15%以上占比保持持平。

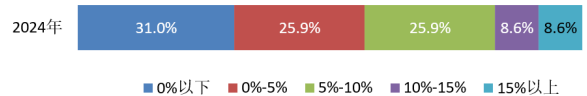


图3 加权净资产收益率分布情况

四、行业上市公司现金流情况

2024年，行业上市公司经营活动产生的现金流表现为净流入，流入净额为105.6亿元；有48家表现为净流入，占82.8%。投资活动产生的现金流表现为净流出，流出净额为145.1亿元；有52家表现为净流出，占89.7%。筹资活动产生的现金流表现为净流入，流入净额为10.3亿元；有27家表现为净流入，占46.6%。就行业上市公司总体而言，与上年同期比较，经营性现金流变化不大，投资性现金流明显增长，筹资性现金流则由净流出变为净流入。各分行业2024年的净现金流情况见表5。

表5 各分行业2024年净现金流情况表

行业名称	净现金流（亿元）		其中：（亿元）					
			经营净现金流		投资净现金流		筹资净现金流	
	本期	同期	本期	同期	本期	同期	本期	同期
金属切削机床	-8.7	5.0	23.5	45.9	-42.8	-30.7	10.6	-10.2
金属成形机床	-3.7	1.2	6.5	6.3	-7.0	-3.7	-3.2	-1.3
工量具	-6.4	0.4	10.5	7.1	-20.1	-15.4	3.2	8.8
机床附件及功能部件	1.0	-2.4	5.3	5.8	-2.7	-5.4	-1.6	-2.7
磨料磨具	1.9	-17.7	44.7	25.1	-41.3	-39.4	-1.6	-3.3
木工机械	-7.4	-1.5	9.3	12.8	-11.6	-7.4	-5.1	-6.9
数控装置	-5.9	-1.3	5.7	5.3	-19.7	-13.6	8.1	7.1
机床工具行业合计	-29.3	-16.2	105.6	108.2	-145.1	-115.8	10.3	-8.5

2024年，机床工具行业上市公司整体营业收入和利润，都滑入下降区间。利润总额降幅明显高于营业收入降幅，市场竞争进一步加剧，利润空间明显收窄。

各分行业间分化明显。受下半年机床市场需求转暖影响，金属切削机床、金属成形机床和机床附件及功能部件分行业2024年营业收入实现增长，利润总额同比情况也相对较好。而磨料磨具和数控装置分行业，主要受非机床领域市场需求收缩影响，整体处于亏损状态。

行业上市公司的运行趋势与全行业整体情况基本一致，但其营业收入和利润总额的降幅都低于全行业整体降

幅，毛利率仍明显高于全行业整体水平。

2024年是机床工具行业充满压力和挑战的一年。有效需求不足背景下，内卷式恶性竞争有所加剧，主要经济指标下行。

展望2025年，尽管仍存在诸多困难，但各领域智能化、绿色化转型升级，新能源汽车、航空航天、造船、电工电器、人工智能等用户领域的快速发展，都给机床工具行业带来了新的需求。特别以两新政策为代表的系列稳增长政策效应持续发挥，机床工具行业将有望实现平稳增长。□

附：2024年重点关注上市公司主要经济指标一览表

序号	证券代码	证券简称	营业收入（亿元）		利润总额（亿元）		加权平均净资产收益率（%）	
			本期	同比 %	本期	同比 %	本期	同比百分点
金属切削机床小计			600.5	9.4	38.8	-3.3	—	—
1	000410.SZ	沈阳机床	15.0	0.2	0.1	-61.8	0.67	-2.71
2	000837.SZ	秦川机床	38.6	2.6	0.9	17.8	1.12	-0.17
3	000988.SZ	华工科技	117.1	13.6	13.0	16.8	12.65	1.01
4	002008.SZ	大族激光	147.7	4.8	18.4	122.8	10.95	5.34
5	002122.SZ	汇洲智能	9.4	16.9	-3.7	-342.5	-17.74	-24.16
6	002248.SZ	华东数控	3.3	19.7	0.1	151.8	12.86	36.40
7	002520.SZ	日发精机	18.0	-13.4	-6.3	6.4	-75.78	-23.78
8	002903.SZ	宇环数控	4.7	12.4	0.1	-79.1	1.7	-3.48
9	002943.SZ	宇晶股份	10.4	-20.4	-4.2	-484.4	-34.7	-43.69
10	300083.SZ	创世纪	46.1	30.5	3.6	98.7	4.73	0.63
11	300809.SZ	华辰装备	4.5	-6.9	0.7	-51.5	3.91	-3.86
12	301200.SZ	大族数控	33.4	104.6	3.3	139.8	6.24	3.67
13	301603.SZ	乔锋智能	17.6	21.0	2.3	18.8	12.71	-2.04
14	601882.SH	海天精工	33.5	0.9	5.9	-15.1	21.05	-7.31
15	688170.SH	德龙激光	7.2	22.9	-0.1	-117.7	-2.73	-5.72
16	688305.SH	科德数控	6.1	33.9	1.5	29.6	8.23	-1.19
17	688558.SH	国盛智科	10.4	-6.0	1.4	-10.6	7.97	-1.26
18	688559.SH	海目星	45.2	-5.8	-2.1	-171.3	-6.27	-21.01
19	688577.SH	浙海德曼	7.7	15.3	0.3	-6.5	2.83	-0.55
20	688697.SH	纽威数控	24.6	6.1	3.6	1.6	19.83	-1.30
金属成形机床小计			55.7	14.0	3.9	-12.8	—	—
21	002559.SZ	亚威股份	20.6	6.7	0.5	-41.1	4.31	-1.38
22	003025.SZ	思进智能	6.2	28.4	2.1	86.2	16.38	6.84
23	603011.SH	合锻智能	20.7	17.4	-0.7	-204.7	-4.09	-4.85
24	603088.SH	宁波精达	8.2	15.4	1.9	4.5	22.39	-1.62

序号	证券代码	证券简称	营业收入（亿元）		利润总额（亿元）		加权平均净资产收益率（%）	
			本期	同比（%）	本期	同比（%）	本期	同比（%）
量具小计			74.5	-0.3	8.6	-12.2	—	—
25	002026.SZ	山东威达	22.2	-6.2	3.4	72.2	8.53	3.55
26	002175.SZ	东方智造	3.3	18.5	0.2	-58.7	2.82	-4.76
27	002843.SZ	泰嘉股份	17.3	-6.2	0.6	-48.9	3.47	-10.86
28	300488.SZ	恒锋工具	6.1	8.4	1.5	-2.6	8.72	-1.45
29	688028.SH	沃尔德	6.8	12.5	1.1	6.1	5.11	-0.02
30	688059.SH	华锐精密	7.6	-4.4	1.2	-34.2	8.27	-5.19
31	688308.SH	欧科亿	11.3	9.8	0.6	-67.2	2.24	-4.37
机床附件及功能部件小计			52.1	12.8	6.4	75.9	—	—
32	300503.SZ	昊志机电	13.1	30.6	0.9	144.6	7.27	23.52
33	300580.SZ	贝斯特	13.6	1.0	3.3	9.4	9.7	-0.97
34	300971.SZ	博亚精工	3.9	-9.9	0.5	-34.8	4.42	-2.55
35	300990.SZ	同飞股份	21.6	17.1	1.7	-16.5	8.48	-2.30
磨料磨具小计			275.1	-17.1	-5.5	-116.6	—	—
36	000519.SZ	中兵红箭	45.7	-25.3	-3.6	-140.2	-3.19	-11.36
37	000795.SZ	英洛华	40.1	-0.7	2.7	142.7	9.1	5.82
38	000969.SZ	安泰科技	75.7	-7.5	4.4	21.5	6.98	2.02
39	002046.SZ	国机精工	26.6	-4.5	3.3	9.0	8.31	0.17
40	002282.SZ	博深股份	16.8	4.6	2.2	64.9	5.62	1.95
41	300179.SZ	四方达	5.2	-3.2	0.6	-56.6	9.8	-2.39
42	300345.SZ	华民股份	10.3	-12.2	-4.0	-52.1	-40.98	-19.03
43	300554.SZ	三超新材	3.5	-27.5	-1.8	-840.8	-19.23	-22.79
44	300606.SZ	金太阳	4.9	-12.8	-0.2	-136.5	-2.41	-10.70
45	300700.SZ	岱勒新材	3.6	-57.6	-2.7	-322.9	-21.99	-33.45
46	300861.SZ	美畅股份	22.7	-49.7	1.7	-90.7	2.25	-25.40
47	301071.SZ	力量钻石	6.9	-8.7	2.4	-43.2	3.78	-3.09
48	600172.SH	黄河旋风	13.0	-17.4	-10.6	-26.0	-49.12	-21.51
木工机械小计			60.3	-4.5	4.7	-48.3	—	—
49	002757.SZ	南兴股份	33.3	-8.2	-1.3	-156.7	-8.08	-15.36
50	002833.SZ	弘亚数控	26.9	0.4	6.0	-13.0	18.44	-3.47
数控装置小计			177.1	-11.5	-14.6	-1106.5	—	—
51	002527.SZ	新时达	33.6	-0.9	-2.7	28.2	-20.66	1.49
52	002747.SZ	埃斯顿	40.1	-13.8	-7.7	-565.0	-36.19	-41.30
53	300024.SZ	机器人	41.4	4.3	-2.3	-477.9	-4.41	-5.54
54	300161.SZ	华中数控	17.8	-15.7	-0.9	-384.2	-3.4	-5.04
55	300508.SZ	维宏股份	4.7	5.5	1.0	139.9	13.17	7.32
56	300607.SZ	拓斯达	28.7	-36.9	-2.5	-298.6	-10.61	-14.32
57	301112.SZ	信邦智能	6.7	33.6	0.1	-84.3	0.41	-3.08
58	301510.SZ	固高科技	4.2	3.4	0.6	1.6	3.82	-1.77
机床工具行业合计			1295.2	-1.4	42.3	-58.6	—	—

注：本文中部分指标存在总计不等于分项之和，同比、增减变动数据不等于表中报告期、基期绝对数据计算结果的情况，是数据四舍五入所致。

2025年上半年工具进出口海关数据分析

中国机床工具工业协会工具分会

中国机床工具工业协会工具分会秘书处收集整理了2025年上半年工具（刀具、量具、量仪）进出口海关数据，并进行了计算和分析，供业界参考。

2025年上半年刀具出口额132.68亿元，同比增长7.08%；进口额42.24亿元，同比下降2.67%。量具和量仪出口额9.83亿元，同比下降5.23%，其中量具出口额6.52亿元，同比下降13.81%；量仪出口额3.31亿元，同比增长17.89%。量具和量仪进口额6.44亿元，同比下降2.28%，其中量具进口1.44亿元，同比增长18%，量仪进口5亿元，同比下降6.89%。

刀具进出口分析

2025年上半年刀具出口额是进口额的3.14倍，出口继续增长，进口稍有下降。

2025年上半年刀具出口主要品种及金额方面，钻头（45.92亿元）、圆锯片（23.37亿元）、互换工具（14.88亿元）、刀片（14.26亿元）、铣刀（12.67亿元）、攻丝工具（5.07亿元）、超硬孔加工刀具（3.94亿元）、超硬互换工具（3.21亿元）、双金属带锯条（2.52亿元）。

大部分刀具品种出口同比增长，其中，钻头同比增长7.65%，其他铣削工具同比增长15.2%，超硬材料制工作部件的镗孔或铰孔工具同比增长101.81%，其他材料制工作部件的未列名可互换工具同比增长5.5%，丝锥同比下降1.66%，涂层刀片同比下降3.23%，非涂层刀片同比增长0.89%。

表1 2025年上半年刀具出口分类

序号	商品编码	商品名称	金额(元)	元/件	占比
1	82075090	其他材料制工作部件的钻孔工具	4,591,609,891	3.87	34.61%
2	82023990	未列名圆锯片，包括部件（kg）	1,677,050,874	45.53	12.64%
3	82079090	其他材料制工作部件的未列名可互换工具	1,487,577,867	2.04	11.21%
4	82077090	其他铣削工具	1,266,970,430	12.32	9.55%
5	82081011	经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刀及片（kg）	929,376,428	1176.06	7.00%
6	82023100	带有钢制工作部件的圆锯片（kg）	660,115,111	52.78	4.98%
7	82074000	攻丝工具	507,128,692	6.88	3.82%
8	82075010	超硬材料制工作部件的钻孔工具	393,809,413	19.65	2.97%
9	82081019	其他硬质合金制的金工机械用刀及片（kg）	359,013,073	376.10	2.71%
10	82079010	超硬材料制工作部件的未列名可互换工具	320,952,232	6.24	2.42%
11	82022010	双金属带锯条（kg）	251,895,544	83.94	1.90%
12	82078090	其他车削工具	205,591,765	34.07	1.55%
13	82081090	其他金工机械用刀及刀片（kg）	137,322,999	138.62	1.04%
14	82076090	其他材料制工作部件的镗孔或铰孔工具	127,431,496	8.44	0.96%
15	82077010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的铣削工具	118,422,782	92.08	0.89%
16	82078010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的车削工具	113,278,333	25.60	0.85%
17	82022090	其他带锯片（kg）	103,201,082	28.23	0.78%
18	82076010	超硬材料制工作部件的镗孔或铰孔工具	16,868,437	67.35	0.13%
总计			13,267,616,449	----	100.00%

表2 2025年上半年刀具进口分类

序号	商品编码	商品名称	金额(元)	元/件	占比
1	82081011	经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)	1,356,660,779	3894.18	32.12%
2	82075090	其他材料制工作部件的钻孔工具	591,087,038	4.24	13.99%
3	82074000	攻丝工具	439,237,821	55.79	10.40%
4	82077090	其他铣削工具	436,802,481	39.83	10.34%
5	82081019	其他硬质合金制的金工机械用刀及片 (kg)	427,198,244	1699.02	10.11%
6	82079090	其他材料制工作部件的未列名可互换工具	249,725,286	1.82	5.91%
7	82076090	其他材料制工作部件的镗孔或钻孔工具	120,924,820	7.10	2.86%
8	82079010	超硬材料制工作部件的未列名可互换工具	103,660,557	272.43	2.45%
9	82023990	未列名圆锯片, 包括部件 (kg)	101,684,237	51.93	2.41%
10	82081090	其他金工机械用刀及刀片 (kg)	95,716,645	1317.43	2.27%
11	82078090	其他车削工具	93,800,685	32.72	2.22%
12	82022090	其他带锯片 (kg)	65,903,283	135.97	1.56%
13	82077010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的铣削工具	36,960,551	1140.05	0.88%
14	82023100	带有钢制工作部件的圆锯片 (kg)	26,172,315	209.98	0.62%
15	82022010	双金属带锯条 (kg)	24,892,215	176.59	0.59%
16	82075010	超硬材料制工作部件的钻孔工具	23,181,874	7.37	0.55%
17	82076010	超硬材料制工作部件的镗孔或钻孔工具	17,936,091	1364.69	0.42%
18	82078010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的车削工具	12,318,153	255.15	0.29%
总计			4,223,863,075	----	100.00%

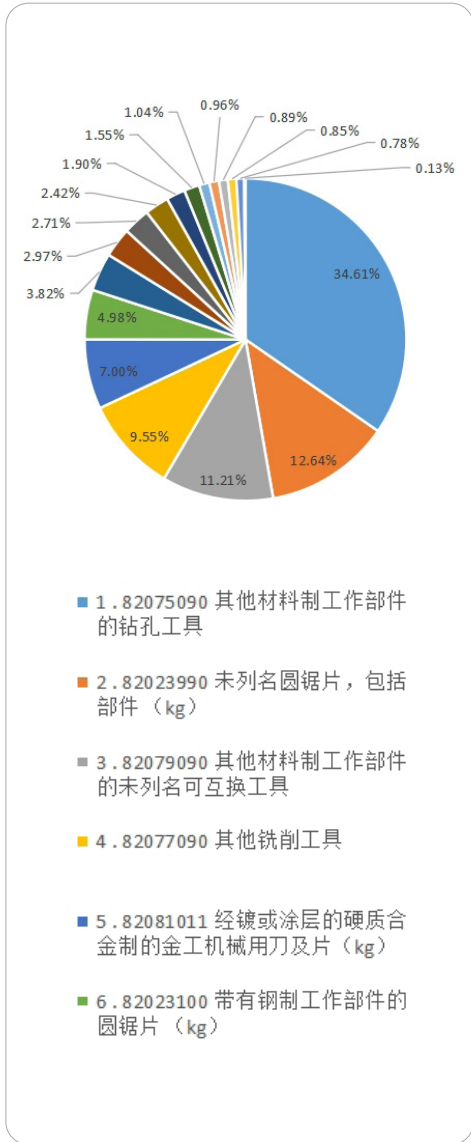


图1 2025年上半年刀具出口分类

2025年上半年刀具进口主要品种及金额有，刀片（18.8亿元）、钻头（5.91亿元）、攻丝工具（4.39亿元）、铣刀（4.37亿元）、互换工具（2.5亿元）、镗铰刀（1.21亿元）、超硬互换工具（1.04亿元）。

涂层刀片进口同比下降5.79%，非涂层刀片进口同比增长0.55%。超硬车刀下降6.94%，双金属带锯条下降37.42%，车刀下降0.23%，铣刀下降10.24%，丝锥增长4.12%，钻头增长5.95%，互换工具下降0.81%。

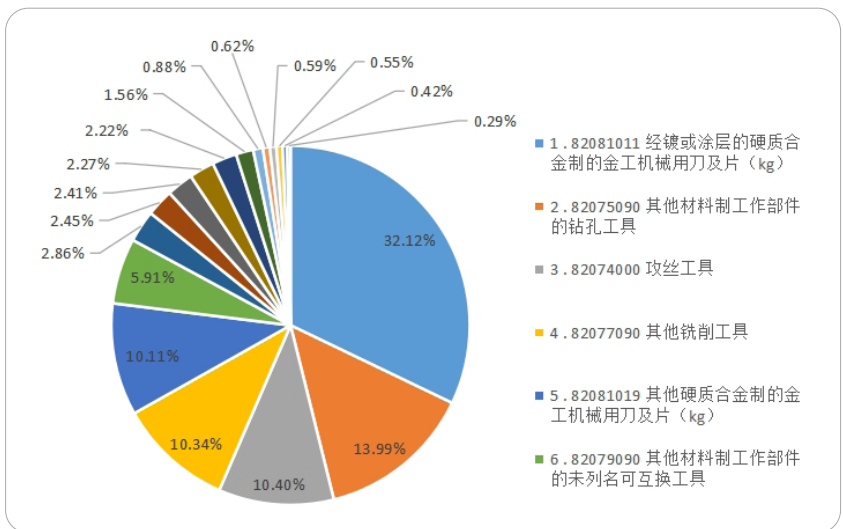


图2 2025年上半年刀具进口分类

2025年上半年硬质合金刀片进口额17.84亿元，是出口额12.88亿元的1.39倍，进出口刀片金额之比进一步缩小。涂层硬质合金刀片出口额同比下降3.23%，进口额同比下降5.79%，出口出现下降，进口继续下降。非涂层硬质合金刀片出口额同比增长0.89%，进口额同比增长0.55%。

刀具进出口单价方面，比较相同商品编码产品，进口刀具价格远高于出口价格。例如，涂层刀片的进口平均价格约为出口平均价格的3.31倍，未涂层刀片为4.52倍，丝锥为8.1倍。

出口单价变化较大的刀具品种主要是：铣刀单价同比下降10.3%，钻头单价同比下降3.45%，丝锥单价同比增长3.78%，双金属带锯条单价同比下降9.6%，涂层刀片单价同比下降12.95%，非涂层刀片单价同比增长4.48%。

表3 2025年上半年刀具进出口单价比较

序号	商品编码	商品名称	进口单价 (元)	出口单价 (元)	进口/出口 单价比
1	82022010	双金属带锯条 (kg)	170.91	176.59	0.97
2	82022090	其他带锯片 (kg)	132.19	135.97	0.97
3	82023100	带有钢制工作部件的圆锯片 (kg)	209.98	52.78	3.98
4	82023990	未列名圆锯片，包括部件 (kg)	51.93	45.53	1.14
5	82074000	攻丝工具	55.79	6.88	8.10
6	82075010	超硬材料制工作部件的钻孔工具	7.37	19.65	0.37
7	82075090	其他材料制工作部件的钻孔工具	4.24	3.87	1.10
8	82076010	超硬材料制工作部件的镗孔或铰孔工具	1364.69	67.35	20.26
9	82076090	其他材料制工作部件的镗孔或铰孔工具	7.10	8.44	0.84
10	82077010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的铁削工具	1140.05	92.08	12.38
11	82077090	其他铁削工具	39.83	12.32	3.23
12	82078010	带有天然或合成金刚石、立方氮化硼制工作部件的车削工具	255.15	25.60	9.97
13	82078090	其他车削工具	32.72	34.07	0.96
14	82079010	超硬材料制工作部件的未列名可互换工具	272.43	6.24	43.64
15	82079090	其他材料制工作部件的未列名可互换工具	1.82	2.04	0.89
16	82081011	经镀或涂层的硬质合金制的金工机械用刀具及片 (kg)	3894.18	1176.06	3.31
17	82081019	其他硬质合金制的金工机械用刀具及片 (kg)	1699.02	376.10	4.52
18	82081090	其他金工机械用刀具及刀片 (kg)	1317.43	138.62	9.50

量具和量仪进出口分析

2025年上半年量具和量仪出口额为9.83亿元，同比下降5.23%。其中，量具（千分尺、卡尺及量规）出口额6.52亿元，同比下降13.81%；量仪（坐标测量仪、轮廓投影仪）出口额3.31亿元，同比增长17.89%。

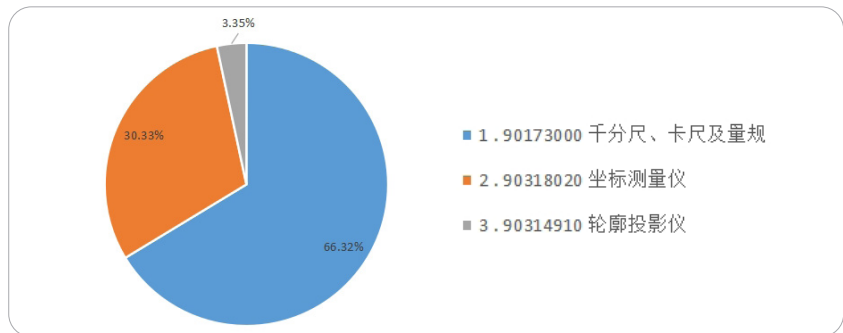


图3 2025年上半年量具、量仪出口分类

2025年上半年量具和量仪进口额6.44亿元，同比下降2.28%。其中，量具进口1.44亿元，同比增长18%，量仪（坐标测量仪、轮廓投影仪）进口5亿元，同比下降6.89%。

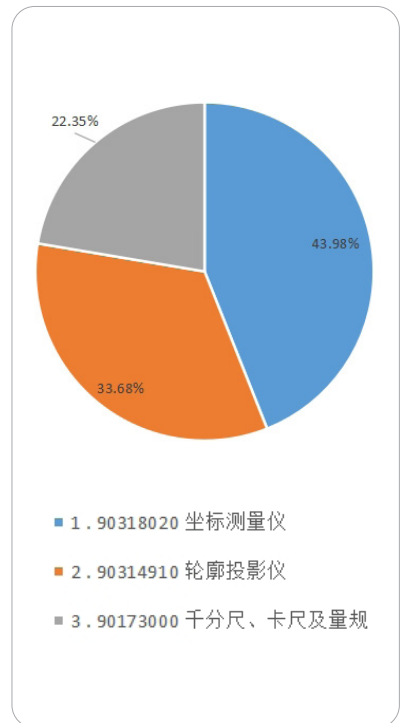


图4 2025年上半年量具、量仪进口分类

量具出口额（6.52亿元）远大于进口额（1.44亿元），量仪出口额（3.31亿元）小于进口额（5亿元）。量具和量仪进出口单价方面，比较相同商品编码产品，进口量具和量仪价格远高于出口价格。□

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

2024年意大利机床行业举步维艰， 2025年预期小幅改善，但前景仍不明朗

意大利机床协会（UCIMU）

2024年对意大利机床、机器人和自动化系统制造业而言极为艰难，几乎所有经济指标均大幅下滑，仅出口实现温和增长。

尽管如此，该领域的意大利产业仍稳居国际舞台核心地位：全球生产排名第五，出口排名第四。2025年预测显示行业将较2024年略有改善，但预期成果并不亮眼。意大利机床、机器人和自动化制造商协会（UCIMU-SISTEMI PER PRODURRE）主席里卡多·罗萨（Riccardo Rosa）在会员大会上概述此形势，意大利钢铁企业联合会（FEDERACCAI）主席安东尼奥·戈齐（Antonio Gozzi）也出席会议。



2024年实际业绩

UCIMU经济研究与商业文化中心数据显示：2024年意大利机床、机器人和自动化系统产值63.27亿欧元，较2023年下滑16.9%。

颓势主因为国内市场需求崩塌——本土制造商供货量骤降39.5%至20.54亿欧元，拖累国内消费萎缩36.3%（仅37.07亿欧元）。进口也受重创，降至16.53亿欧元（-31.8%）。

海外市场表现截然不同：出口额温和增长1.2%至42.73亿

欧元，创行业历史新高。出口产值比从2023年的55.5%升至2024年的67.5%。2024年意大利主要出口市场：美国（6.29亿欧元，+10.9%）；德国（3.65亿欧元，+1.6%）；中国（2.40亿欧元，-16.3%）；法国（2.04亿欧元，-17.6%）；土耳其（1.90亿欧元，-10.3%）；印度（1.85亿欧元，+58.3%）；墨西哥（1.76亿欧元，-9.9%）；波兰（1.69亿欧元，-21.5%）；西班牙（1.57亿欧元，+21.1%）；瑞典（0.92亿欧元，+71.4%）。产能利用率年均值从2023年的86.2%降至77.3%。订单储备同步萎缩——保障生产时长从7.3个月降至6.5个月。行业营业额未超过93.4亿欧元。

2025年预测

根据UCIMU经济研究与商业文化中心提供的预测数据，2025年意大利机床、机器人和自动化产业应呈现小幅复苏迹象。所有经济指标有望回归正值区间，但涨幅可能极为有限。

具体预测如下：

产值：将达64.9亿欧元（+2.6%）；出口：预计再次增长（+1%），创43.15亿欧元新高；本土市场供货量：得益于缓慢复苏的国内消费支撑，将应增至21.75亿欧元（+5.9%）；国内消费：将攀升至39.1亿欧元（+5.5%）；进口：同样显现积极信号，预计实现17.35亿欧元（+4.9%）。

产业政策评论与建议：过渡5.0计划、 德国标杆与结构性措施

UCIMU（意大利机床制造商协会）主席里卡多·罗萨在其首次会员大会上表示：“经历了复杂的2024年后，2025年本应带给我们更多欣慰，但考虑到接连出现的、从

贸易到军事冲突等真正令人担忧的现象，此刻我们比以往任何时候都需持谨慎乐观态度。这一切使我们工作难度加大，并要求企业付出巨大努力来提升竞争力。为此，我们必须持续投资于创新、背景知识和专业培训。”

罗萨主席说：“得益于互联互通、数据管理、传感器、远程视觉与控制系统以及人工智能，尖端机床成为了工厂实现数字化和绿色转型的真正推动者。我们主要由中小企业构成的这个小型产业圈，对意大利制造业的提升做出了巨大贡献，其贡献方式也让我们感到自豪，但我们认识到，这一发展也归功于那些支持并刺激了市场的4.0和5.0措施。”

UCIMU主席继续说道：“在我们当前经历的这种关键时期，国内外需求极其疲软，激励措施对于支持逐步且必要的变革不可或缺。另一个原因是：德国——我们在欧洲的首要参照对象——即将推出一项支持和重振其工业的计划。”

“如果德国这台‘火车头’重新启动，我们——作为这列至今从未停止前进的火车的第一节车厢——必须做好准备并与其保持连接，以便能继续参与‘德国制造’的生产链。‘德国制造’的生产链（撇开关税问题不谈）延伸路径极长，将我们的产品销往世界各地。”

“我们要求我国政府在今年就‘过渡5.0计划’立即采取行动，以使其适用期延长至截止日期之后。但如果这不可行，我们至少要求将尚可动用的资金转化为新的措施。在此前提下，我们认为有必要从现在开始思考，需要哪些国家政策来伴随行业从2026年及以后的发展。”

“根据经验，我们相信需要结构性措施，使企业能够有信心地规划投资，从而避免意大利制造商（他们专长于按订单生产）出现不可持续的工作高峰。事实上，中小企业常常面临丢失订单的风险，甚至是重要订单，因为像我们这种高度定制化产品的交付周期，无法确保在激励措施规定的时间范围内完成交货——而这些措施（除其他外）却有利于进口产品。这实质上造成了双重损害/腹背受敌的局面。”

经济与地缘政治背景：汽车业/关税与不稳定

在此背景下，欧洲企业必须问自己两个重大问题：“欧盟制造的汽车生产及其所有供应商和相关配套活动将发生什么，或者我们希望它们发生什么？对于那项可能在全球所有领域引发多米诺骨牌效应的、令人担忧的关税政策，我们将采取什么行动？”

里卡多·罗萨指出：“关于动力总成电气化——我们



再次强调，必须坚持技术中立原则。这尤其重要，因为这一转型过程的可持续性不仅要考虑环境影响，还必须考虑经济和社会后果。作为欧洲的企业家和公民，我们非常清楚年轻人对汽车的兴趣远低于前几代人，但我们却在决定将整个市场拱手让给亚洲，我们正在冒险让欧元区经济的一个基础部分变得荒芜（萎缩），而这将是人口贫困化的前提。这种情况绝不能发生。”

“需要新的欧盟政策来配合工厂向不同类型生产的转型。此外，用于重整军备、国防和航空航天的资金和发展计划确实可以为欧元区工业注入新的动力，但在这些领域，不应仓促行事。进入这些世界中大企业（巨头）的行列，意味着要经历严格的评估和认证。这些要求往往从一开始就对许多中小企业构成了重大障碍。”

里卡多·罗萨说：“谈到关税，美国是我们在2024年的第一大出口市场，售出了超过6亿台机器。我们的产品非常受欢迎，而且美国工厂非常需要进口机器，因为他们的国内生产不足以满足需求。因此，我们可以认为，进口关税壁垒对我们的打击不会特别大。更成问题的问题可能是关税对我们参与的供应链中的产品所产生的间接影响。”

“另一方面，极其不利（打击巨大）的是不确定性——这才是阻碍生产技术投资的真正因素，无论这种不确定性是源于特朗普总统长期威胁的贸易战，还是更糟糕的中东地区的不稳定。”

里卡多·罗萨表示：“这一切证明了地缘政治现在是如何强力地渗入我们的日常生活和企业活动中。我们都必须做好准备，学习如何通过与同事、机构的观点交流和对话，以及依靠我们所属的代表性组织，来解读变化和理解事件。”

“我们必须投资于员工和年轻人的职业培训——他们是企业的未来。”里卡多·罗萨总结道，“尖端机床需要能够管理、编程和使用它们的人才。因此，UCIMU已经强化并将在未来进一步加大对UCIMU学院（UCIMU Academy）项目的投入。该项目致力于通过各项举措弥合劳动力供需断层，包括发展与高中、大学、高等技术学院（ITS）以及与金属加工领域相关的学术基金会的合作伙伴关系，为我们的工厂输送人才。”□

磨床市场预计到2031年将达67.5亿英镑

信息来源：The Insight partners 网站

洞察伙伴公司（The Insight Partners）最新报告显示，全球磨床市场将迎来显著扩张，预计到2031年市场规模将超84.4亿美元（67.5亿英镑）。

该报告指出，2025至2031年预测期内复合年增长率（CAGR）将达4.9%，这一强劲增长由关键工业领域日益增长的需求所驱动。

分析涵盖了磨床行业的市场趋势研判、核心企业识别及未来机遇探索，并强调磨床在众多应用场景中对材料精密加工、成型及表面改善的关键作用。



汽车行业推动增长

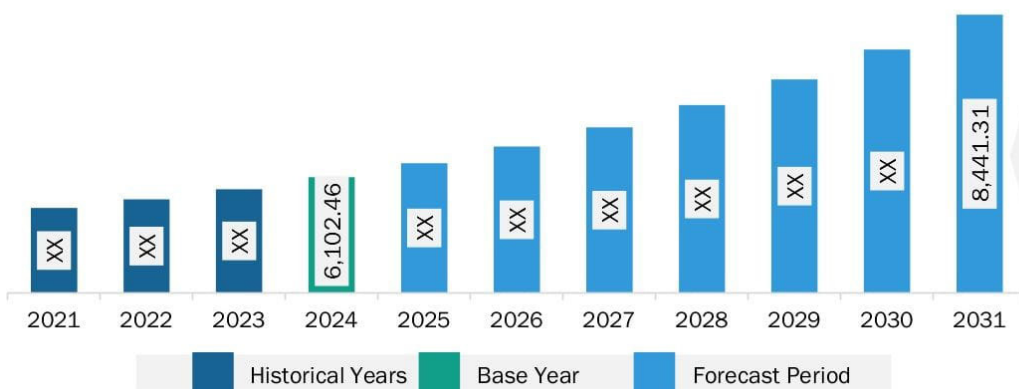
报告明确指出，蓬勃发展的汽车产业是市场增长的主引擎。“磨床市场正稳

步增长，其驱动力来自汽车、航空航天、建筑及制造业等领域日益增长的需求”，报告中如此表述。

汽车领域持续增长的投资进一步佐证了这一趋势。例如，报告提及2021年马自达-丰田合资装配厂在亨茨维尔的建成。电动汽车普及率的提升同样影响显著：2025年1月纯电动汽车（BEV）市占率约达15%，较2024年1月的10.9%显著上升。2025年1月新售纯电动车约124,341辆，同比增长约34%，占据约15%市场份额。欧洲汽车制造商协会（ACEA）报告显示，德国（53.5%）、比利时（37.2%）和荷兰（28.2%）等主要欧洲市场的强劲双位数增长，进一步印证了该趋势。

ACEA数据显示，2024年全球汽车销量达7460万辆，较2023年增长约2.5%。欧洲汽车市场增长0.8%，总销量1060万辆；北美市场展现韧性，销量增长约3.8%。报告阐释道：“这表明该行业对磨床存在巨大需求。伴随巨额投资的全球汽车产业扩张持续推动磨床市场发展，因磨床广泛应用于包括表面精加工在内的汽车制造全流程。”

2021 - 2031



Market Size 2024
US\$ 6,102.46
million

Market Size 2031:
US\$ 8,441.31
Million

CAGR (2023-2031)
4.9%

航空航天与医疗技术领域蕴藏机遇

除汽车行业外，报告指出磨床在航空航天领域的应用日益增多，用于制造发动机部件、机身结构、机翼和起落架等关键飞机组件。空客等公司在中国扩大制造业务，进一步印证了这一趋势。

医疗技术行业对精密度日益增长的需求同样带来重大机遇。医疗支出增加以及监管标准演变（如印度《新药品、医疗器械和化妆品法案》）正推动高品质医疗器械需求。报告指出：“因此，医疗技术领域对精密制造需求的提升，预计将在预测期内为磨床市场创造增长机遇。”

技术进步重塑市场格局

物联网（IoT）和人工智能（AI）等先进技术的融合正在变革磨床行业。“几乎所有行业都在采用物联网、人工智能和机器人技术，磨床行业也不例外。智能磨削技术的发展已成为关键突破，显著提升了传统磨削工艺的能力，”报告阐释

道。配备传感器以实现实时数据分析和预测性维护功能的智能磨床，正全面提高各类材料加工应用的效率与生产力。

区域洞察

2024年亚太地区占据最大市场份额，欧洲及北美紧随其后。报告预计亚太地区在预测期内将实现最高复合年增长率，显示出该区域的强劲增长潜力。

挑战与主要企业

报告指出磨床存在初始成本高、维护要求严格等挑战。不过，持续开展的研发工作与AI、物联网技术的结合应用，有望缓解这些挑战并进一步推动市场增长。主要企业包括：天田机床（Amada Machine Tools）、捷太格特（JTEKT Corp）、达诺巴特（DANOBAT Group）、德马吉森精机（DMG Mori）、大隈株式会社（Okuma Corp）、凯伦伯格瑞士（Kellenberger Switzerland AG）、法孚（Fives SAS）、勇克机床（Erwin Junker）、印度

机床（HMT Machine Tools）、斯图特（Fritz Studer）、费尔曼（Fehlmann AG）、建德磨床（PALMARY Machinery）、埃马克（EMAG Systems）、罗比集团（Robbi Group）、利兹尼（LIZZINI）以及MAG工业自动化（MAG IAS GmbH）。

行业动态

报告同时强调近期行业动态：大隈美国公司计划在北卡罗来纳州新建全球服务维修中心；埃马克集团通过在迪拜设立新销售公司拓展中东市场。

结论

制造业持续增长及高强度工业部件需求上升，预计将加速先进磨床的普及。报告总结道：“基于这些因素，高强度工业部件需求持续走高。对耐用工业部件的需求促使企业采用强化材料及部件制造工艺。因此，磨床在制造业中日益凸显的重要性，有望为市场创造持续增长机遇。” □

宇环数控海外扩张提速 越南孙公司注册完成

信息来源：中金在线

2025年6月9日，宇环数控(002903.SZ)越南孙公司“新越智能装备有限公司”正式完成注册登记，落户越南河内市。该孙公司注册资本25.25亿越南盾(折合10万美元)，由全资子公司宇环国际控股，开展精密数控机床销售、设备技术服务及进出口业务。这是继2023年7月完成新加坡全资子公司注册后，宇环数控在国际化战略棋盘上落下的又一关键棋子。

根据宇环数控2024年年报披露，公司近年来持续深化“资本赋能+实业深耕”双轮驱动战略，先后设立新加坡平台公司、收购湖南南方机床部分股权，并于今年推进越南公司落地，为公司全球市场拓展提供组织基础和资本保障。越南孙公司作为宇环数控在东南亚的前沿窗口，将有效承接下游客户全球制造基地的服务需求，提升公司响应能力和国际化服务能力。

在市场拓展不断加速的同时，宇环数控在高端装备制造领域也持续深耕。2024年，公司实现营业收入4.73亿元，同比增长12.41%，创下历史新高。同时，公司坚持技术创新导向，围绕高精度磨削设备及关键部件“卡脖子”技术持续发力，全年研发投入达4,945.86万元，占营收比重10.47%，2024年共6项新产品通过省级鉴定，其中4项达到国际先进水平。与此同时，宇环数控凭借出色的工业设计实力与创新能力，成功获评“湖南省数控机床工业设计中心”和“湖南省机械工业科学技术创新企业”等称号。

产品结构方面，公司聚焦高端复合立式磨床、数控双端面磨床及多轴多面抛光设备等，广泛应用于消费电子、汽车零部件、航空航天、半导体等多个关键领域。2024年，公司精密复合立式磨床成功进入航空航天与高端轴承加工市场，实现对进口产品的部分替代。与此同时，公司通过收购南方机床，补足拉削装备领域产品线，进一步构建从磨削、研磨到拉削的高精度加工装备矩阵，提升了整体解决方案能力。



年报显示，宇环数控在新能源、精密制造、新材料等新兴产业订单同比增长显著，其中来自汽车零部件制造和能源电力行业的营业收入分别同比增长131.52%和910.20%。境外收入同样实现13.5%的增长，反映出公司海外市场战略正逐步落地见效。

随着《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》等政策落地，被誉为“工业母机”的机床行业将迎来新发展机遇。同时，工信部明确表示将着力促进装备制造业稳定增长，谋划新一轮装备制造业稳增长政策，推动出台增量措施。像宇环数控这类具备规模优势和研发能力的行业龙头企业将直接受益。

当前，宇环数控正在形成“政策驱动+国际布局+技术领先+国产替代”的发展合力。越南孙公司注册完成，不仅体现出公司对智能制造与国际化战略的坚定执行，也标志着由“布局”向“运营”的战略盘型转变。未来，随着政策红利持续释放和越南市场进一步打开，依托国产高端设备技术创新优势和不断加深东南亚渠道布局，宇环数控将不断提升全球市场影响力和市场占有率，持续释放增长动能。□

最新生产技术趋势舞台已就绪

——来自EMO Hannover 2025展前预览会的报道

信息来源：德国机床协会（VDW）官网



近日，马克斯·赫林博士（Dr. Markus Heering）成为炙手可热的访谈对象。这位EMO Hannover 2025主办方——德国机床制造商协会（VDW）执行董事，不仅在其横跨三大洲、27国35城的世界巡访中回应众多记者、企业、参展商及行业代表的提问，更在今年7月10日至11日法兰克福展前预览会（展会最重要媒体活动）上成为镜头

焦点。他谈及国际关税政策、德国机床制造商在亚洲市场的竞争态势，以及将于9月22~26日在汉诺威举行的全球顶尖生产技术展会中探讨的最新技术趋势。

EMO正打造为行业国际参与者对话的核心平台。“EMO汇聚无与伦比的国际专业智慧，”赫林在预览会上强调。活动吸引来自中国、印度、美国、南非、墨西哥、

巴西及欧洲邻国等24国约150位参与者。开幕访谈中，主持人斯文·克劳斯首先问及赫林世界巡访的观感。这位VDW负责人表示，各国产业界对EMO的积极筹备及展会引发的期待令他印象深刻。尽管当前全球局势动荡且挑战重重，赫林称“EMO有望传递积极信号”。无论是技术创新还是全天候自动化：“参展商与观众都期待带着积极信心离开展会。”

每90秒诞生一项创新

赫林阐释EMO呼应自动化、数字化、人工智能（AI）及可持续性是当前大趋势。26家参展商在预览会上的90秒推介环节印证此观点，他们向观众预告九月展会的亮点展品。这场紧凑而专业的展示引发深度讨论，延续至晚间美国游船交流环节。推介内容涵盖新机型与功能、刀具、自动化或快速换装系统，聚焦流程优化、智能软件机器人应用及工厂自动运输系统。可持续性方案也被热议，包括长寿命设备改造、设备二次生命周期管理，以及如何降低机床碳足迹。次日参观达姆施塔特理工大学示范工厂ETA Factory时，可持续与能效议题继续成为焦点。

人工智能定调未来

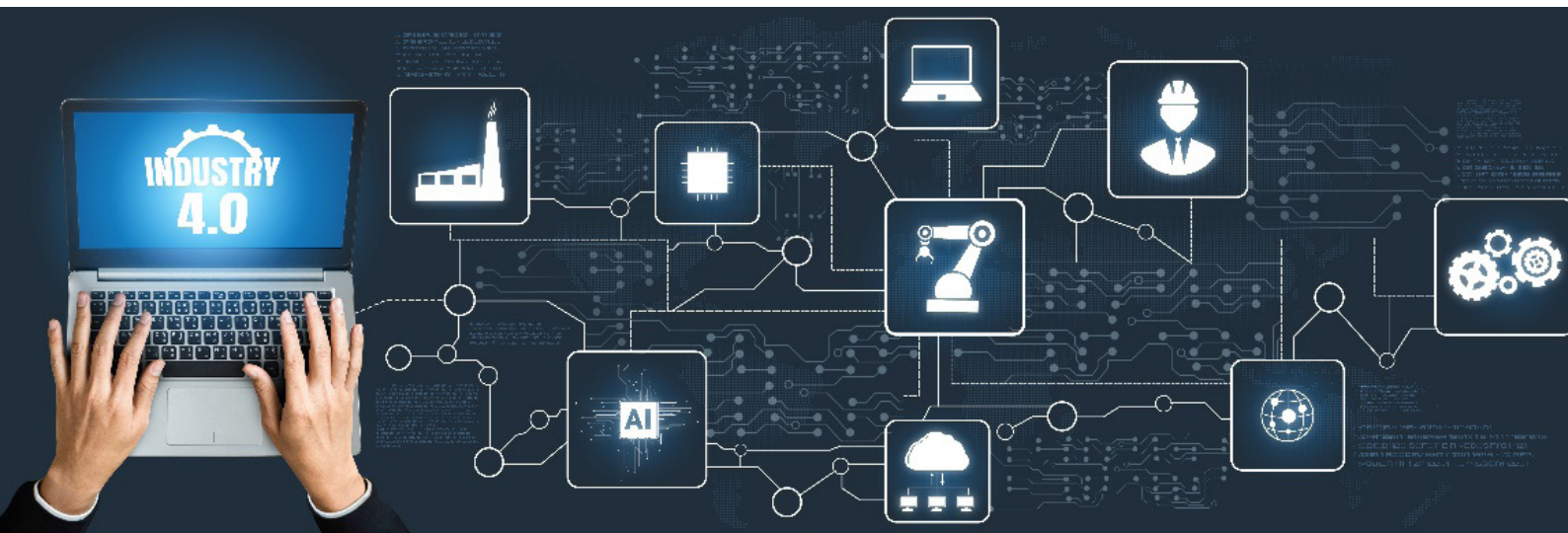
三轮推介中，应对技术人才短缺的创新方案备受关注，例如配备“直观机床控制”的设备展示“高新技术的易用性”。集成聊天功能的机床引发热议——该技术不仅用于培训，还能主动提示操作员补充切削液并实时指引存放位置。人工智能的生产前景成为专题讨论核心。法兰克福数据与AI咨询公司Statworx创始人塞巴斯蒂安·海因茨

（Sebastian Heinz），与慕尼黑理工大学机床与生产工程学教授迈克尔·策（Michael Zah）共同呼吁重视AI。他们认为欧洲企业需加速AI创新以匹敌亚美供应商，尤其中小企业当前过于谨慎。质量监控与预测性维护领域潜力显著。两位专家共识：AI不会取代人力。“AI会犯错，”策教授指出，“识别错误是关键能力，需专项训练。”海因茨认为AI最大优势在于加速创新与激发新思路。双方坚信：“拒绝AI非明智之选，”策教授总结，“先行者已获先机，落后者将失阵地。”

伙伴国加拿大

加拿大代表贾森·迈尔斯（Jayson Myers）对当前AI热潮态度从容。作为EMO 2025合作国代表，他登台介绍其机构NGen（下一代制造加拿大）——致力于推动全球领先先进制造解决方案的非营利性行业组织。该网络涵盖约11,000家成员，包括加拿大各地制造商、技术供应商、高校及研究机构，并主导合作项目。“AI非终极答案，”迈尔斯表示，“AI是解决方案的组成部分。”技术重点均等分布在自动化与机器人、物联网与网络、现代材料、生物与纳米技术、网络安全及测量技术领域。NGen组织15~20家加企参展EMO联合展台，并担任与约5,000家金属加工技术供应商的合作桥梁。

迈尔斯强调，自2018年成立以来，NGen已投资约250个研发与商业化合作项目，撬动超10亿美元项目投资及75亿美元销售额。此番创新探索与国际合作倡导，正契合马克斯·赫林反复强调的EMO核心价值：“EMO设定行业议题，构建讨论平台，缔造合作新机。” □





西班牙MHAYA先锋计划（CDTI资助） 进入收官阶段

来源：西班牙机床工业协会（AFM）官网

MHAYA先锋计划由尼古拉斯·克雷亚（Nicolás Correa）公司牵头，联合日德科-阿里萨（Nidec-Arisa）、M.托雷斯（M. Torres）、伊巴尔米娅（Ibarmia）、扎耶尔（Zayer）、ATS公司、奥纳电火花（Ona Electroerosión）及达诺巴特（Danobat）等企业共同参与。该项目始于2023年，计划于2025年年中收官。项目总预算达670万欧元，其中450万欧元由西班牙工业技术发展中心（CDTI）提供资助。特克纳利亚（Tecnalia）作为主要签约研究中心，携手布尔戈斯大学、Ideko及巴斯克大学共同推进。

该项目旨在研发认知型机床，通过将现有机床升级为智能生产中心，使其能够根据加工过程与生产环境的动态变化进行自我调适。未来的MHAYA机床将有能力将习得知识转化为具体行动，优化制造流程——在显著降低能源与材料消耗的同时，提升产品质量。

为实现这一目标，研究工作主要围绕标准化接口与语义、数据安全、可追溯性与互操作性，以及自然人机交互等领域展开。

研究重点聚焦于三大方向：

（1）开发机床传感系统及其处理技术：涵盖传感器、信号处理、数值与物理建模，以及用于实时数据处理的边缘计算（Edge Computing）。

（2）开发基于数据驱动模型与数值模型融合的预测性与预判性智能：包括数字孪生（Digital Twins）、自学习技术、诊断与预测模型、预判性策略等。

（3）开发智能、自主的响应与校正机制：将信息物理系统（CPS）和智能组件集成入机床；自适应控制；动态配置与补偿；以及新型API与用户界面。

该项目预计将于2025年夏末完成。随后，项目牵头方尼古拉斯·克雷亚公司将举办终期成果展示会，联盟企业将携相关演示样机悉数亮相。其间，CDTI已于2025年5月组织项目中期考察，走访达诺巴特工厂，实地观摩该公司取得的研发进展。

值得一提的是，在AFM集群将于10月29日至31日在圣塞巴斯蒂安举办的“先进制造大会”（Advanced Manufacturing Congress）上，本项目所取得的丰硕成果与关键结论也将得到正式发布与分享。□

CIMT2025特种加工机床评述

中国机床工具工业协会特种加工机床分会
中国机械工程学会特种加工分会

由中国机床工具工业协会主办的第十九届中国国际机床展览会（CIMT 2025）于2025年4月21日至26日在北京举行。本届展会展出总面积达31万平方米，来自全球31个国家和地区（含中国）的近2450家展商参展。

CIMT 2025以“融合创新，数智未来”为主题，融合了创新技术的“高精、高效、数字、智能、绿色”机床工具精品，以及全球机床工具界的最新成果得到了集中展示。

据不完全统计，本届展会参展的国内外特种加工机床厂商近百家，展出特种加工机床220多台，主要包括电加工机床、激光加工机床、增材制造机床和超声加工机床。

展会期间，中国机床工具工业协会特种加工机床分会与中国机械工程学会特种加工分会组成特种加工机床评述组，通过现场观摩、资料收集及与参展厂商的技术交流，并结合特种加工技术与装备的最新发展动态和市场需求，撰写形成了本评述报告。

一、电加工机床

（一）数控电火花成形机床

本届展会汇聚了国内外23家厂

商，展出了38台数控电火花成形机床。总体而言，本届展品虽然在装备技术及工艺指标方面创新性突破不多，但体现了设备厂商在降低生产成本、提升生产效率、服务用户需求等方面的研究在持续深入。国内展品中中高端机床数量明显增加，性能正逐步向国外机床靠拢。

1. 国外数控电火花成形机床

（1）以智能化、自动化驱动生产效率提升。智能化、自动化是近年来数控电火花成形机床发展的重要趋势之一，厂商在该方面持续优化，进一步提高用户操作便捷性，从而降低用人成本，缩短生产制造周期。日本牧野公司新推出的EDAF2i Ultra数控电火花成形机床优化了智能Hyper i控制器，通过简洁的人机界面只需三步即可完成加工设定，减少40%的操作步骤。日本沙迪克公司推出了A35LBs数控电火花成形机床（见图1），可与S220自动化单元组建“一拖二”形式的柔性工作站及生产线，满足高性价比及通过自动化提升效益的需求，同时优化了LN Pro AI技术，通过AI推导自动生成最佳加工条件，可明显缩短加工时间。瑞士GF加工方案推出

了FORM P600数控电火花成形机床（见图2）与WPT1组合的柔性自动化加工单元，提供了实现无人值守的全自动加工解决方案。



图1 沙迪克A35LBs数控电火花成形机床

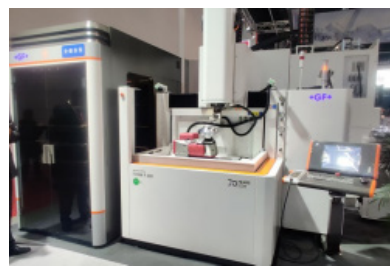


图2 GF FORM P600数控电火花成形机床

（2）面向高表面质量的脉冲电源及机床优化。日本牧野公司EDAF2i Ultra机床搭配了HQSc“无屑”加工技术，结合大理石台面可保证持续稳定放电，显著提高了镜面加工效率，可以得到没有针孔的高质量放电纹面，精确控制放电纹面的光洁度，也可根据用户需求定制亲肤

耐刮纹面。日本沙迪克公司的Smart Pulse电源内置多种加工控制回路，结合Arc-less4放电控制、直线电机及陶瓷零件等技术及装置，可实现从哑光到亮光面的各种加工表面稳定加工。瑞士GF加工方案的FORM P600则集成了智能高速脉冲电源（ISPG）及iGap工艺，可优化每一次放电，改善放电分布，最大限度提高材料去除率，并保持高精度的表面质量。

（3）节能技术推动生产成本降低。随着能源价格的攀升，如何在自动化生产过程中有效地提高能源利用效率并控制生产成本已成为加工企业的共识。瑞士GF加工方案的FORM P600机床利用Econowatt智能加工模块对能耗进行管理，综合能效相比上一代优化了43%左右。日本沙迪克公司的AL60G+数控电火花成形机床利用变频器合理控制加工液箱和加工槽的待机、加工准备状态的功耗，耗电量降低30%。

（4）提供针对复杂型腔及难加工材料的解决方案。近年来中国对航空航天、汽车模具等领域的高精密部件需求持续增加，国外电火花加工设备厂商积极迎合用户需求，有针对性地提供相关设备以及工艺数据库方案。瑞士GF加工方案FORM P600机床配置高精度、高刚度C轴附加配置A/B旋转工作台，可进行六轴六联动加工，进行如航天航空发动机带冠叶盘等整体特种零件、螺旋内齿轮廓以及旋转环槽加工、弧形加工和3维矢量加工。德国艾克索公司展示了其EDM 313 MF30数控电火花成形机床针对闭式叶轮五轴联动加工的解决方案。日本沙迪克公司AL60G+机床最新支持铜石墨（CuCr）对超硬合金的加工工艺。日本牧野公司的EDAF2i Ultra机床则增加了对国产材料的工艺数据支持。德国欧吉索公

司展出了专为亚洲市场开发的新机型Gantry 450C数控电火花成形机床。

2. 国内数控电火花成形机床

（1）全面拥抱自动化产线化应用，可升降油槽已成标配。本次展会18家国内厂商几乎全部展出了可自动升降油槽的数控电火花成形机床，其中5台设备配套了机床内置电极库，带外置ATC/AWC自动化单元共6套。苏州汉奇数控设备有限公司（见图3）和广东商鼎智能设备有限公司均展示了两台机床共用一套电极库的“一拖二”自动化生产方案。苏州新火花机床有限公司展示了自主研发的MES（制造执行系统）将其SDM400-T数控电火花成形机床（见图4）、数字化工件库、工业机器人及E-LINK管控系统组成电火花柔性智能加工系统。广东台正精密机械有限公司展示的旋转电极刀库配备了VGA小车（见图5）用于运送物料。北京市电加工研究所有限公司采用AP400精密数控五轴联动电火花成形机床（见图6）与NC-LINK携汇智联技术（北京）有限公司、北京精雕集团及北京工业大学共同开展了AI赋能数控机床的自动化智能体探索，该智能体专为加工高精度特殊材料复杂形状的闭式叶轮而设计。



图3 苏州汉奇数控电火花成形机床自动化生产方案



图4 苏州新火花SDM400-T数控电火花成形机床



图5 广东台正配备VGA小车的自动化单元



图6 北京市电加工AP400数控电火花成形机床

（2）中高端机床的五轴联动应用已成趋势。本次展会共有6台设备现场演示了五轴联动加工，其余大部分中高端设备也可选配五轴加工部件，这得益于数控系统性能的逐步提升。其中北京迪蒙数控技术有限责任公司展出的SF-4和ADV600型两台欧索高端精密数控电火花成形机床可支持六轴六联动。

（3）机械精度普遍得到提升。为提高加工精度，国内厂商开展了床身的优化设计并选用优质铸件材料，可配备工作液和床身冷却系统、闭环伺服控制系统以及机床精度补偿功能，实现镜面、精边、清角等多种高精度加工。北京迪蒙数控技术有限责任公司的SF-4和ADV600，以及深圳米尔迪克精密机械科技有限公司的AD45和AR50型精密数控电火花成形机床定位精度达到了5 μm、重复定位精度可达2 μm，实现了高性能电火花机床的国产化。部分参展厂商的中高端电火花成形机床的机械精度参数也可达到相近的数值，体现了国产设备机械性能的整体进步。

(4) 加工性能指标普遍提高。国产机床的加工性能指标逐渐提高，目前电极损耗基本已达到 $\leq 0.1\%$ 。苏州汉奇数控设备有限公司的HQ-U40基于精微电源最佳表面粗糙度可达 $Ra0.05 \mu m$ ，清角尺寸可达 $10 \mu m$ 。上海汉霸数控机电有限公司的GS45L数控电火花成形机床Z轴采用直线电机全闭环控制，结合床身温控系统，可将连续加工精度偏差控制在 $\pm 5 \mu m$ 。中国通用技术（集团）控股有限责任公司的AFU600数控电火花成形机床针对硬质合金加工可获得 $Ra \leq 0.15 \mu m$ 的优质表面，部分加工性能指标与国外机床的指标相当，并已能满足高端应用需求。

(5) 智能化脉冲电源持续升级。随着数字化脉冲电源的普及和工艺技术的不断发展，国内厂商逐步丰富和完善专用放电回路，以应对不同的加工需求，使用场景更加丰富。如部分设备配备并优化了镜面加工、难加工材料（包括硬质合金、钛合金、高温合金及导电陶瓷等）加工、高速石墨加工、小电流加工、防积碳拉弧以及超高精度加工等专用回路，结合配套的工艺数据库，可实现智能化的脉冲控制，是机床加工性能指标提升的关键技术保障。

(6) 数控系统功能进一步丰富和完善。目前国内设备的数控系统持续迭代升级，集成了更丰富的加工工艺数据库，不断拓展应用场景。另外，国产操作系统也强调使用的简易性，普遍提供自动化、智能化的数控编程操作流程。多家厂商提供并优化了AUTO自动加工功能，只需要进行简单的加工对象设置，便可自动生成放电参数及程序，降低人工干预和经验依赖。高性能的数控系统为高精度的多轴联动加工提供支撑，同时随着自动化应用的普及，国内数控系统也

普遍支持联网通讯、远程监控、云端控制等功能。

(二) 电火花微小孔加工机床

本届展会汇集了11家国内外厂家共20台数控电火花微小孔加工机床。以电火花小孔加工机床为主，多数机床的主要性能及工艺水平没有明显突破，仅有部分小孔机床的新品新特性较明显，在设备功能方面存在优化和升级。

1. 电火花小孔加工机床

(1) 针对复杂型面群孔加工的多轴数控电火花小孔加工机床持续升级。本次展会涌现出比以往更多的用于复杂型面群孔加工的电火花小孔加工机床，如航空发动机涡轮叶片的气膜孔加工通常要求六轴及以上的电火花机床，并要求高精度高效率及自动化，同时机床在功能上也持续升级。英国温伯乐技术集团（Winbro）新推出的HSD351电火花小孔加工机床使用了更紧凑的机床布局，比上一代机床提升了直线轴的定位精度和重复定位精度，配备了14站可自动更换的电极仓，升级了图形界面，可以3D方式查看和识别不合格孔，并提供了自动恢复/重新加工功能。苏州电加工机床研究所有限公司推出的SE-GK020C七轴数控高速电火花小孔加工机床（见图7）相比上一代升级集成了水滴孔、簸箕孔等异形孔加工功能，标配了高精度穿透检测、UG编程加工功能，支持电极刀库和导向器库及零件自动检测，方便组建连接自动化生产线。北京市电加工研究所有限公司和北京迪蒙数控技术有限责任公司展出的HS600数控电火花小孔加工机床具有七轴六联动功能，配备20工位电极库，4工位导向器库，搭载自主开发软件可实现零件形位在线检测及孔位智能纠偏，可实现产线化扩展连接。苏州中谷实业有限公司的

ZGDS406六轴数控电火花小孔机床（见图8）使用了浸液式加工方案，用于提高小孔出入口质量。苏州亚马森机床有限公司展示了MS-DC325A摇篮式六轴电火花小孔机床，内置不同材料的专家工艺数据库，可自动调取加工参数，同时具有自动分中、自动寻边、自动检测电极损耗量、穿透检测等功能。北京迪蒙卡特机床有限公司和苏州苏极电机机械科技有限公司也展示了配备电极库的六轴数控电火花小孔加工机床（型号分别为A10.5-D和AX-640），针对气膜孔加工提供解决方案。

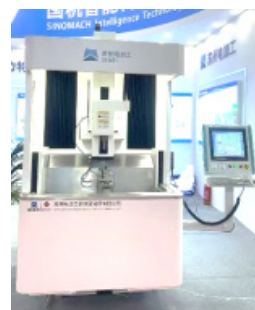


图7 苏州电加工SE-GK020C电火花小孔加工机床

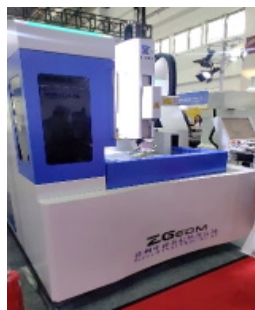


图8 苏州中谷ZGDS406电火花小孔机

(2) 自动换管新方案提升生产效率。苏州亚马森机床有限公司的MS-DC435C、苏州苏极电机机械科技有限公司的SD-430Q和江苏冬庆数控机床有限公司的DD703配置了新的自动换管方案。电极仓可一次放置30~100根电极，换管时间30~60 s，其特点在于装置集成度高，可安装电极数量多，适用单一规格小孔的批量化自动加工，减少人工干预，提升生产效率。

(3) 更大的孔径加工范围。电火花小孔加工机床的电极直径范围通常为0.2~3.0 mm, 本届展出的部分机床范围可扩展至0.1~3.0 mm, 包括苏州亚马森机床有限公司的MS-DC325A、MS-DC435A和苏州苏极电机机械科技有限公司AX-640多轴数控电火花小孔机。瑞士SARIX展示了新款紧凑型SX30- μ m高速电火花小孔加工机床, 电极直径范围也为0.1~3.0mm, 定位精度可达 $\pm 3\mu\text{m}$, 可使用矿物油作为工作介质, 实现高品质小孔的高效加工。

2. 电火花微孔加工机床

苏州苏极电机机械科技有限公司的AX-320电火花微孔加工机床电极直径范围0.03~0.5 mm, 针对异形孔、台阶孔、倒锥孔加工, 新集成了显微镜模块, 结合升级的数控系统可实现微孔的视觉在线检测及在线修正。

(三) 数控电火花线切割机床

本届展会共有31家国内外厂商展示了71台数控电火花线切割机床, 其中单向走丝电火花线切割机床13台, 往复走丝电火花线切割机床58台。参展的国内外电火花线切割机床的加工性能、智能化等技术水平都有所提高, 特别是多个厂家参展的带自动穿丝装置的往复走丝电火花线切割机床, 成为本届展会的亮点。

1. 单向走丝电火花线切割机床

本届展会共有国内外11家厂家展示13台单向走丝电火花线切割机床(其中国外6台、国内7台)。随着加工零件轮廓面的复杂度、精度和表面质量要求越来越高, 零件形状向大型和微细进一步拓展以及难加工材料的普遍使用, 使得单向走丝线切割机床近年来向着精密、微细、高效加工及互联等技术方向不断发展。

(1) 精密微细加工能力进一步

提高。国外单向走丝电火花线切割机床厂商通过提升机床运动控制器、电机驱动性能, 适配精密部件和装置等措施来提高微细零件的加工精度。如日本沙迪克公司的ALN400G机床搭载K-SMC运动控制器, XYUV轴采用高精定位直线电机驱动, 以及iGroove+ Edition新技术的应用, 其精密微细加工能力比上一代机型有较大提升, 加工指标接近油基细丝超精密机床的水平。日本牧野公司的U86大型单向走丝电火花线切割机床(见图9)使用最新的Hyper i控制器, 工作台上安装一套A/B旋转轴, 7轴数控, 可对涡轮盘榫槽、叶片等进行精密加工。



图9 牧野的U86机床

(2) 实用加工技术细节不断完善。近年来各厂商均对加工中的一些实用技术细节进行了深入研发, 如电极丝旋转、智能调节上下喷嘴压力、热变形控制、纳米级位置反馈和补偿以及数字式脉冲电源等技术细节, 集小微而成, 明显提升机床的加工性能。如日本沙迪克公司的ALN400G机床, 使用i Groove电极丝旋转技术, 保证切割路径上从零件上部到底部都在使用电极丝无损耗面切割放电, 对粗加工精度、表面条纹和表面平整度等有较好改善。日本牧野公司U86大型单向走丝电火花线切割机床上、下机头冲液分别使用数字变频控制的独立水泵, 可智能调节上下水压, 减少断丝风险, 提高了中空零件和有段差零件的加工稳定性。机

床使用全新数字电源, 超高频率脉冲设计, 机床的精加工能力上有极大提升。

(3) 检测与控制策略不断优化。日本牧野公司EW200B全新数字电源、日本发那科公司SF3、MF2精修电源通过减小脉宽、提高脉冲频率以及优化放电状态的检测与控制策略, 对加工效率的提升及复杂零件的稳定加工起到积极作用。日本沙迪克公司ALN400G采用Digital HF编程技术, 实时监控放电状态并自动调节伺服进给和放电参数, 维持最佳放电状态, 提高加工速度的同时提高加工精度。瑞士GF的高端机床使用新开发的放电检测系统, 实时自动调整放电能量, 避免加工过程中的断丝, 保持理想的切割速度, 有效提升了变厚度工件、中空工件、冲液不佳或工件形状导致的充液困难状况下的稳定切割效率, 新的检测与控制策略可以控制电极丝的放电位置, 甚至可以在加工侧面获得不同加工形貌。

(4) 自动化与互联技术进一步发展。随着自动化设备的普及和物联网技术的发展, 单向走丝电火花线切割机床除了不断提高自动穿丝、零件自动装夹和换取、废料自动拾取的单机自动化程度外, 还与机械手、料库等组成的单机自动化生产单元, 并通过集成金切加工机床、检测设备等组成的柔性生产制造线, 以满足客户的自动化生产定制需求。瑞士GF结合其在电火花线切割、电火花成形、高速铣削、精密换装夹具等方面的优势, 为客户提供整体自动化生产加工方案设计, 可以定制化服务, 满足不同用户自动化及数字化工厂的需求。日本发那科公司的 α -c400ic机床使用升级后的AWF3自动穿丝技术, 可实现喷嘴开放状态下的断线点穿丝或微小孔穿丝等难易度较高的自动穿丝。日本牧野公司U86机床可

选配HyperConnect、OPC UA/MT Connect等互联功能模块软件，对生产线登录设备进行集中管理，提供远程智能互联服务，可以从外部访问机床的运行状态，对机床控制软件升级、故障信息发送、故障情况分析、机床问题解决等提供快速服务。

(5) 国产机床性能仍需加快提升。北京安德建奇数字设备股份有限公司最新推出的AW600单向走丝电火花线切割机床，具有自动升降液槽门、AWF智能穿丝装置、前后台控制结构的数控系统；苏州三光科技股份有限公司展示了新设计的LA500B单向走丝电火花线切割机床，带自动穿丝装置及LRT1节能型脉冲电源；上海汉霸数控机电有限公司的DS430单向走丝电火花线切割机床（见图10），X、Y轴为直线电机驱动+光栅尺闭环控制。总体看，自动穿丝、直线电机、升降液槽等新技术已经在国产机床上得到很好应用，机床加工性能及稳定性不断提高，但与国外机床相比还存在较大差距。尤其是精密切割精度差还困扰着国产机床，在切割带尖角或小圆弧连接小圆弧轨迹的零件时，精度远低于0.005mm，表面质量也有下降，因此，国产机床性能亟需加快提升。

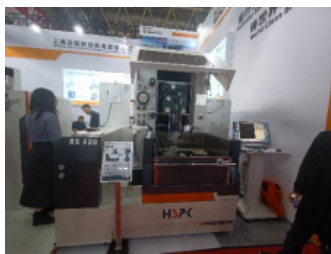


图10 上海汉霸DS430机床

2. 往复走丝线切割机床

本届展会上，有24家企业展出了58台具有多次切割功能的往复走丝电火花线切割机床（俗称“中走丝机床”），一些新产品和新技术在本届展会上得到了集中亮相，表明了中走丝机床在应用

领域、智能化、加工性能、核心部件等方面在不断创新和突破。

(1) 加工应用领域不断拓展。近年来中走丝机床生产厂家不断关注新能源汽车、光伏发电、半导体碳化硅、金属陶瓷、超硬、耐高温等新兴产业领域的应用。展会上，苏州三光的碳化硅专用切割机床HB600，主要用于半导体碳化硅晶圆片的切割；北京安德建奇展出了MWE7 Pro-400中走丝机床（见图11）切割碳化硅材料的样品（半导体晶圆生产过程所使用的晶舟）；北京凝华和北京安德建奇还分别展示了人造金刚石刀具、金属陶瓷零件等加工样品；无锡航来创LC400MA中走丝机床特殊设计的下臂可深入到装夹在A轴上的桶状零件的内部，结合A轴的轨迹控制，实现在桶状零件端面上切割完整齿形的功能；苏州中谷、江苏冬庆分别展示了对A轴上装夹的柱状零件进行螺纹、螺杆等形状的精密切割，进一步丰富了中走丝机床的功能并拓展了中走丝机床的加工应用领域。



图11 安德建奇MWE7 Pro-400中走丝机床



图12 苏州三光HG400中走丝机床

(2) 自动穿丝技术进入实用阶段。本届展会上，共展出了7台带自动穿丝装置的“中走丝机床”，在结构细节上具有一定差异，主要体现在

各厂家为简化穿丝系统、提高穿丝成功率和规避专利技术等方面采取了不同的技术方案，自动穿丝技术的应用，将加速中走丝机床自动化生产单元、柔性生产线、一体化解决方案等技术的进步。北京安德建奇展示的带自动穿丝装置的中走丝机床MWE7 Pro-400，穿丝装置使用整体穿丝导管，导管从上机头位置自动下深到工件表面穿丝点进行穿丝的新一代自动穿丝系统，穿丝导管内孔带宝石眼膜，可实现全自动、半自动穿丝和自动拆丝，以及实现多个孔位自动跳步加工。苏州三光HG400自动穿丝中走丝机床（见图12），其下臂收丝部分采用一个小车装置从下机头的下导轮处将电极丝夹紧后，由小车将电极丝直接送到收丝桶固定丝位置处。昆山瑞钧展出的灵动切割工作站（自动化生产单元）（见图13）由自动穿丝装置的精密中走丝机床FR400+六轴协作机器人+多工位零点夹具组成，主要应用于比如批量零件齿轮的键槽切割等，实现自动上下料、切割流程全自动化。北京凝华的NH400W中走丝自动切割零件专机（见图14），零件托盘及欧姆龙SCARA四轴机械手自动上下料机构集成在机床内部，实现零件自动装夹并取料归位，对三根电机轴端的安装面进行放电切割加工，为大批量零件在中走丝机床上加工应用提供了一体化解决方案。可以看出，用于批量零件加工的带自动穿丝装置的中走丝机床自动化生产单元将是未来发展方向之一。



图13 昆山瑞钧FR400灵动切割工作站

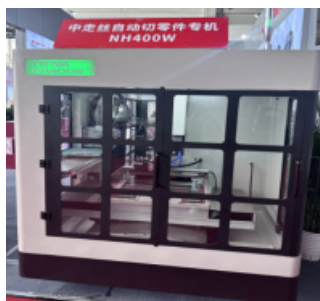


图14 北京凝华NH400W中走丝自动切割专机

(3) 加工性能进一步提高。随着电感式纳秒脉冲电源及抗电解电源等技术在中走丝机床上普遍运用，放电脉冲宽度不断降低到几百、几十纳秒，有效放电电流也在不断降低，叠加多次切割修刀技术，中走丝机床加工零件的表面粗糙度不断得到提升，如江苏冬庆DK7732ZG（见图15）、福建合盈HY420SY等中走丝机床的最佳表面粗糙度可达到 $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$ 。伴随着中走丝机床最佳表面粗糙度加工能力的提升，还需同步解决低表面粗糙度下的表面质量一致性及水纹等问题。



图15 江苏冬庆DK7732ZG中走丝机床

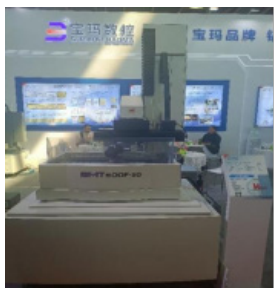


图16 苏州宝玛BMT500F-SD中走丝机床

(4) 关键部件技术上不断创新。近年来，各企业通过对关键部件的不断改进优化，明显提升了使大厚度、大斜度、特殊材料切割的效率和

精度。苏州宝玛的BMT500F-SD大斜度中走丝机床（见图16），最大加工斜度 $\pm 30^\circ$ ，采用了高刚性U/V轴及四连杆机构设计方案、AR倾斜自动补偿功能以及双向自动张紧丝机构。浙江霸器的BQ1063-76大斜度中走丝机床，在机床的上/下主导轮处以及上下臂后部安装了电机，以实现精确偏摆。浙江三奇的SS02机床（见图17），配置拐角、腰鼓度控制策略，加工200mm厚工件腰鼓度控制在 $6 \mu\text{m}$ 以内。杭州华方HF450CB中走丝机床（见图18）采用新发明的“两级双向自动张力系统”结构部件，将双向重锤+弹簧的张力控制方式同时应用到中走丝机床上，有效消除电极丝低频及高频张力震动。为适应不同加工场景而研发的高效放电加工液以及无锡协业新推出的防水大电流双支撑导轮进电组件等都为中走丝放电加工技术不断进步提供有力支撑。



图17 浙江三奇SS02中走丝机床



图18 杭州华方HF450CB中走丝机床

激光切割、激光精密加工、激光焊接等主流设备品类。总体来说，激光加工设备呈现出显著的技术提升，在加工质量、生产效率等方面持续优化，同时在激光器性能提升、加工自动化程度、系统智能化水平等方面取得突破。国产设备在核心技术自主化、功能创新等方面进步明显，国产替代进程正在加速。

（一）激光切割机床

激光切割机床凭借速度快、精度高、适应性强等优势，正朝着高功率、大幅面、厚板加工与复合功能集成化方向快速发展。中高功率激光设备已成为市场主流，板材与管材的切割厚度极限不断被突破。

武汉华工激光工程有限责任公司展出的第五代智能三维五轴激光切割设备AUTOBOT 3015专为汽车热成形开发而设计（见图19），整机采用龙门双驱结构，可保证长期高速高精度稳定切割，五轴系统和激光头均为自研，最大合成定位速度达170m/min，最大合成加速度达1.7G，旋转工作台2.5s即可完成单次变位，切割精度达到0.05mm。济南邦德激光股份有限公司展出的U10复合型激光切割机（见图20）可对不同尺寸的型材、管材和板材进行加工，多工位的设计可进行不同钢材的混料加工，实现上料、切割和下料同步进行，并搭载了智能纠偏定位功能，避免切割错位，降低激光头碰撞风险。奔腾激光（浙江）股份有限公司的PLA3015紧凑型仓储式料塔激光切割单元（见图21），通过AGV与智能仓储系统的协同，实现从板材上料到成品分拣的全流程自动化，有效降低了人力成本，提升了场地利用率，智能切割头配备自动更换喷嘴及AI自动光心校准功能，进一步提升激光切割机的智能化程度。

二、激光加工机床

本届展会上，约36家国内外企业展示了66台套激光加工机床，涵盖



图19 华工激光AUTOBOT 3015三维五轴激光切割设备

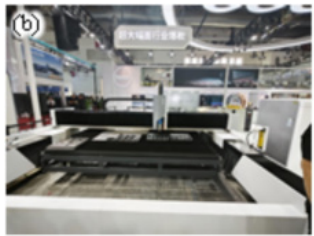


图20 邦德激光U10激光切割机；

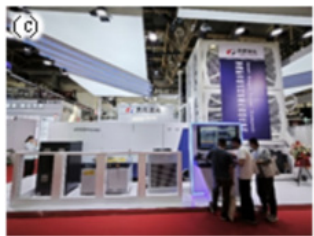


图21 奔腾激光PLA3015紧凑型仓储式塔激光切割单元

大族激光展出的0806D光纤激光切割机（见图22）采用龙门式架构，铝合金一体铸造衡量，保证机床刚性的同时，确保长期使用的稳定性。配备伺服电机双驱精密丝杆结构和先进的气路控制系统，既能实现高速高精度可靠运行，又能提升切割的工作效率。G6025S高速光纤激光切割机拥有万瓦级切割专家工艺数据库，实现零秒穿孔、厚板切割、低气压切割等工艺。江苏亚威精密激光科技有限公司展出的HLF高性能激光切割机配备西门子数控系统和伺服驱动电机，微秒级伺服控制周期更快，纳米级插补控制路径更精准。YTG 6012激光切管机（见图23）采用自动上下料结构，有利于各种管材的平行进出料，其下料长度达到3000mm，特别是超长管、重型管、大管径管材的安全高效上下料。中拓创新的ZT-JGQG6S型光纤激光切割机采用自主研发激光

光源，功率和切割性能均优于进口光源，切割速度快，热影响区小，切缝窄，适用于贵重且难切割材料的加工。



图22 大族激光MPS 0806D激光切割机



图23 亚威激光YTG 6012激光切管机

本次展会还展出了激光切割领域前沿的技术和设备。例如南京中科煜宸的三轴水导激光加工设备（见图24）采用龙门式构型，可对陶瓷、金刚石进行高精度微切割，为特种材料加工提供方案。京码股份有限公司展出了激光雷射水导切割钻孔机加工的成品，该设备能以冷加工来处理多种材料，包括厚金属及第三代半导体，运动平台的精度在 $\pm 0.003\text{mm}$ 之间。



图24 中科煜宸RJ203三轴水导加工设备

从本次展会可以看出激光切割设备的发展趋势：① 智能化与全流程自动化深度融合，通过AI工艺优化、智能纠偏定位及AGV仓储协同技术等，构建从自动上料、实时路径规划

到成品分拣的全流程无人化生产闭环，显著提升效率并降低人工依赖；② 激光精密控制与无损加工能力双向突破，以水导激光冷加工技术为代表，突破传统热效应限制，为陶瓷、金刚石、第三代半导体等高价材料提供低损伤切割方案，拓展特种材料加工新场景；③ 设备功能多样化与生产灵活性全面提升，设备集成型材/管材/板材混料加工能力，支持超厚板材、超长管材及复杂异形件处理，结合模块化设计、万瓦级工艺数据库与冷加工/低气压切割等差异化工艺，形成覆盖传统工业制造与半导体、超硬材料等新兴领域的柔性生产能力，推动激光技术向多元化、高附加值应用场景拓展。

（二）激光精密加工设备

近年来，随着超快激光器（飞秒、皮秒级）、自适应光学系统、多轴联动数控平台等关键技术的突破，激光精密加工设备在加工精度、效率及适用材料范围上实现了大幅提升。超快激光器凭借其极短的脉冲宽度和极高的峰值功率，在加工过程中能够避免热影响区的产生，从而实现高精度的微纳加工，尤其适用于硬脆材料和超硬刀具的加工，推动了激光精密加工在航空航天、医疗、电子等高端制造领域的应用。

瑞士GF加工方案的LASER S 500（U）激光加工机床在五轴联动的基础上采用直线电机和力矩电机驱动，结合热平衡水冷系统和对称布局设计，有效抑制了温升和振动，能实现高精度加工，适用于IC封装、晶圆卡盘等高精密场景，兼具微雕刻、微成型和表面处理功能。德国DMG公司的LASERTEC 50 Shape Femto激光设备（见图25），具有可变脉冲长度和突发模式的可调谐激光源和CCD快速定位功能，其3D激光烧蚀

技术实现无接触、零电极损耗的加工效果，突破了硬质合金、陶瓷等材料的传统加工限制，尤其擅长微型模具和精密雕刻，满足航空航天、医疗领域对终极表面质量的要求。德国VOLLMER展出的VLaser 370激光机床，专为超硬刀具制造设计，能够通过非接触方式对PCD或其他超硬材料刀具的切削刃进行加工。



图25 德国DMG LASERTEC 50 Shape Femto激光机床

原点智能展出的Light 5X 60V（见图26）获得机床工具行业2024年度自主创新十佳奖项，其三台立式五轴激光加工机床采用自主研发的数控系统，能够将所有激光源、镜头和外围设备集成与软件系统中，提升兼容性。中科微精展出的Micro 3D L 530V（见图27）配备了前沿的激光控制软件及高效的在线测量系统，可实现各类硬质合金刀片及模具复杂轮廓与型面的高精度加工。Micro 3D L 530V支持3D动态振镜与多轴联动，兼容纳秒和飞秒激光，可分别实现对平面和自由曲面的精密刻蚀，为模具纹理精密加工量身打造。华工激光展出的复杂曲面六轴激光微孔加工装备，采用多轴联动与激光脉冲输出协同控制，并搭载新一代高性能切割头和AI智能交互系统，解决了曲面工件上的切孔和修边等要求。瑞珀精工展出的立式五轴激光刀具加工机LFS-M系列和U系列，整合激光加工工艺自主研发了CAM软件，能够满足各种超硬材料、复杂刀具的加工

需求。牧激科技展出的330QH多功能五轴激光加工设备，配备背光源检测系统，能对加工完成的刀具进行自动尺寸检测、轮廓检测。北京市电加工研究所有限公司展出的LA500五轴精密数控激光加工机床，配备可变脉宽高功率纳秒脉冲激光器，适用于PCD、PCBN、硬质合金、高温陶瓷等硬脆材料复杂刀具的精密加工。



图26 原点智能Micro 3D L570V自主研发数控激光加工中心



图27 中科微精超快激光双工位设备MicroDrill 40P

总的来看，激光精密加工设备正朝着更高精度、智能化和国产化方向加速发展，其中超快激光技术（如飞秒/皮秒激光）凭借冷加工特性成为主流，既能实现硬脆材料与超硬刀具的无热损伤微纳加工，又可显著提升工件使用寿命，满足高端制造对精度的严苛需求；同时，五轴联动数控平台通过集成动态补偿、实时监控及自动化上下料等智能技术，大幅强化了复杂精密加工的效率和设备适应性；而国内企业近年来在超快激光器、数控系统等核心领域接连突破，推动国产设备性能快速逼近国际水平，加之产业升级对高端装备的迫切需求，本土品牌的市场占有率与技术竞争力正持续攀升。

（三）激光焊接设备

激光焊接作为激光制造技术的关键应用领域，近年来在装备性能、工艺精度与智能控制方面持续突破，逐步迈向高功率、高速度、高一一致性的方向发展。本届展会中，各企业通过技术创新与系统集成，推动了激光焊接设备在效率、精度和场景适配能力上的突破，为制造业升级提供了关键支撑。

瑞士菲索玛特公司推出的FLW 400柔性激光焊接机床（见图28），专为对称回转体部件设计，采用Trumpf固定碟片激光器与模块化旋转工作台，通过深熔焊与精密焊接平衡技术提升焊缝强度，独立工位并行完成装配-预热-焊接，还配备了智能化控制系统，可实现激光能量的闭环监测。北京龙雕伟业数控设备有限公司参展的超高功率光纤激光切割机，搭载了智能总线式切割系统和自动调焦激光切割头，效率高适用广。亚威激光推出的YLRW系列机器人激光焊接系统展现了定制化和拓展能力，可根据用户要求选择高精度机械手，并通过单轴、双轴、三轴或多轴焊接变位机匹配不同工件的焊接要求。大族激光推出的机器人激光焊接机展现了高集成化和智能化，集成控制系统、冷却系统、气控系统和操作系统于一体，采用摆动激光，并配置了CCD焊缝观察系统，能够实时观察焊接位置及焊接效果。



图28 瑞士菲索玛特FLW 400柔性激光焊接机床
京创（天津）激光和邦德激光推

出的手持式激光焊接机体积小且操作简单。京创激光科技有限公司研发的手持式激光焊接机，采用了一体化设计，可实现焊接、除锈清洗、切割功能一体；邦德激光推出的Pro 1500自冷却手持激光焊，通过数字技术和传感器整合，以单一旋钮替代传统复杂操作，通过“按压确认+旋转调节”便可实现极简交互。

本次参展的激光焊接设备呈现了智能化、柔性化和多场景深度适配发展的趋势。未来激光焊接设备可深度融合多模态传感技术，实现焊接参数的自适应闭环调控；柔性制造能力进一步突破，覆盖更复杂的异形结构加工需求；功能集成度持续提升，推动焊接设备向“一机多能”的复合加工平台演进。激光焊接技术将不再局限于单一加工环节，而是作为智能制造的核心节点，加速高端制造向智能、柔性、高效方向演进。

（四）激光加工机床发展趋势

从本次展会展出的激光加工机床来看，当前激光加工技术正朝着“高精度、高性能、高集成化、高智能化与高自主化”的方向加速演进，其发展趋势归纳如下：

（1）五轴技术奠定精密化基础。近年来，五轴联动技术的不断成熟与普及，已成为激光加工实现高精度与高复杂性制造的核心基础。本届展会中，多款激光加工机床采用五轴联动结构，能够实现空间多角度同步运动，加工精度达 ± 0.03 mm，有效满足对复杂曲面、斜面及空间异形结构的高精度加工需求。与传统三轴结构相比，五轴系统在加工效率上提升约30%，且在曲率连续变化的工件上具有显著优势。此外，配合轻量化运动平台和高响应伺服驱动系统，有效降低了运行惯性，提高了系统的动态稳定性。

（2）核心部件自主化分层攻坚。国内主流激光机床制造商正加快推进核心部件的自主研发与国产替代进程，如华工激光、大族激光等头部企业已实现包括激光器、振镜、五轴数控系统等关键部件在内的全链条自主设计与制造，部分产品达到100%国产化。然而，从光束质量、动态跟踪精度、响应速度等关键性能指标来看，国产设备仍与德国、美国等国际先进产品存在差距。与此同时，大量中小型企业仍高度依赖进口激光器、扫描振镜等核心部件因此，实现核心部件的多层次突破，构建稳定的自主供应体系，是未来产业发展的重中之重。

（3）复合化技术破解材料瓶颈。面对多种先进功能材料的高性能加工需求，激光加工机床正向多技术复合化方向演进，以突破单一激光工艺在热影响区、加工精度及材料适应性方面的瓶颈。本届展会中，多款五轴水导激光机床引发关注，其通过将激光束与水束同轴传输，兼具冷却与熔渣排出功能，有效控制热输入，实现对铜、铝等高反材料的高质量加工。更值得关注的是，以水导激光为代表的复合技术正推动激光加工向复合能场方向深入发展。当前，包括激光-等离子体、激光-电弧、激光-能场等多种复合加工方式正逐步应用于高反材料、难加工合金和复合材料等领域，展现出在能量耦合、工艺控制与多尺度制造方面的广阔潜力。

（4）智能化全流程集成重构制造范式。激光加工设备正加快向智能化与系统集成方向发展，通过构建自动化协同系统，推动制造流程从“离散工序”向“闭环一体化”演进。本届展会中，参展企业展示了融合自动物流系统、视觉识别、智能工艺优化模块的一体化智能产线，通过工业网络实现信息实时互通与多机协同控

制，通过多工序协同与路径优化，显著减少工序切换时间。

（5）未来聚焦自主化与多技术融合，未来激光加工机床的发展将持续聚焦于关键技术自主化突破与跨学科融合创新。在高端应用领域，五轴超快激光系统逐渐成熟，适用于半导体材料、蓝宝石、超硬合金等高精度无损加工。此外，人工智能与机器学习技术的导入，使激光加工系统具备自适应参数调节、加工路径优化与缺陷预测等功能，大幅提升系统响应能力与过程鲁棒性。然而，高功率激光器、纳米级扫描振镜、特种材料光学窗口等核心元器件的自主可控仍是打破国际技术垄断、重构全球产业格局的关键。因此，推动激光加工机床实现从“部件自研”到“系统创新”的整体跃升，将成为未来高端制造装备发展的主攻方向。

三、增材制造机床

本次展会中，共有6家增材制造机床厂商展示了7种增材制造机床产品，另外还有部分厂家以成形样件、视频与图文宣传资料的形式对增材制造机床产品进行了介绍。展出的金属增材制造机床主要为激光粉末床熔融增材制造机床和激光定向能量沉积增材制造机床。目前，市场上依然存在着采用电子束、电弧作为能量源的金属增材制造机床产品，但是其市场份额较小，在大型展会上曝光度较低。而以激光为能量源的增材制造机床越来越成为主流，本次展会中展出了3台激光粉末床熔融增材制造机床、3台激光定向能量沉积增（减）材制造机床和1台熔融沉积式增材制造机床。

本届展会设置了专门的增材制造机床展馆区域，充分体现了展会主办方对其在高端制造领域战略价值的认

可。尽管由于目前国内增材制造领域专业展较多，本届展会增材制造机床的展品数量有限，但从展商结构来看，还是呈现了显著的国产化主导特征，除极少数外资品牌外，参展的激光粉末床熔融、定向能量沉积等设备均为国产自研，且技术参数与功能配置已接近或达到国际先进水平，印证了国产增材制造机床充分的竞争力。

（一）激光粉末床熔融增材制造机床

激光粉末床熔融技术凭借高精度成形能力、复杂结构兼容性 & 材料适应性广等核心优势，成为金属增材制造领域的主流技术方向。其通过激光逐层熔化金属粉末并堆叠成形的工艺特点，可实现精细内腔、点阵结构及多材料复合构件的制造，尤其适用于航空航天、精密模具及医疗植入等对精度和性能要求极高的场景。

天津镭明激光公司展示了LiM-X400M+激光粉末床熔融机床（见图29），可选装500W/1000W激光器2套或4套，通过双向铺粉技术充分发挥了激光器极限效率，“嫁接工艺”能够实现在加工好的零件底座上定位并直接打印成形，进一步提高了成形的自由度，避免传统分体加工的装配误差，特别适合复杂组件的一体化制造。南京中科煜宸激光技术有限公司展示了RM450A铺粉3D打印设备，配有500W激光器2套。该设备具有基板加热功能，可以有效缓解成形热应力。双激光协同作业可实现效率与精度的平衡，基板加热功能有效降低金属熔融冷却过程中的热应力，减少零件开裂、变形等缺陷，提升成形件致密度和力学性能。宁波海天增材科技有限公司的C650M中大型SLM金属3D打印机（见图30）是本次展会中所展出的最大尺寸的激光粉末床熔融增材制造机床，超大成形舱满足大

型构件一体化打印需求，为大型构件的一体化成型提供了可能。



图29 天津镭明激光公司展出的LiM-X400M+激光粉末床熔融机床



图30 宁波海天增材公司展出的C650M中大型SLM金属3D打印机

西安铂力特、华工激光等公司以样件的形式介绍了增材制造机床产品。本次展会展出的激光粉末床熔融增材制造机床体现出了明显的行业趋势：大型化和智能化。现场展示的3台设备都是多激光配置，其成形尺寸较前几届展品有明显提升。虽然现场最大的设备只配有4套激光器，很多厂商都在产品手册中介绍了配有十余套激光器的多光束并行式超大型增材制造机床。成形尺寸的比较如今已非产品竞争的主要维度，不断涌现的粉末运输智能控制、在线监测与检测、智能产线规划等特色功能极大地丰富了激光粉末床熔融增材制造机床的应用价值。

（二）激光定向能量沉积（减）材制造机床

激光定向能量沉积技术（LDED）凭借高效材料沉积、多材料复合成形及增减材一体化加工等独特优势，在大型结构件制造、表面修复及新材料研发领域表现突出。该技术通过激光束将金属粉末或丝材直接熔融并沉积到基板上，可实现高沉积

速率（部分设备可达数千克/小时），同时支持实时混合多种材料，满足梯度材料构件或表面耐磨/耐腐蚀涂层的制备需求。此外，与减材工艺结合形成的“增减材复合制造”模式，可在一次装夹中完成成形与精密加工，显著提升复杂零件的制造效率。

南京中科煜宸激光技术有限公司展示了RC-LDM400送粉3D打印设备（见图31），主要针对高校研发需求所开发，高功率激光器配合大尺寸成形舱，兼顾中小件快速成形与细节精度；集成加热与电磁搅拌模块，可调控熔池凝固速率与组织均匀性，适用于铝合金、钛合金等难成形金属的高性能制造；多通道送粉器支持6种粉末同步输送，为新型合金成分设计与高通量材料研发提供了理想平台。北京煜鼎增材制造研究院股份有限公司展示了激光高通量制备与增材制造系统LAM-HTMP System 6000（见图32）。该设备是一套系列化、多功能高性能材料高通量制备与增材制造综合系统，可在单一设备上完成从新型合金成分设计、快速凝固成形到表面性能优化的全流程研发，大幅缩短新材料从实验室到工程应用的周期。广东今科机床有限公司展示了JK65-5AXIS五轴定向能量沉积增减材复合制造机床，可实现复杂曲面的无支撑成形，增减材复合工艺通过“先增材成形毛坯+再减材精密加工”模式，减少材料浪费的同时保证尺寸精度，特别适合高附加值零件的近净成形制造。



图31 中科煜宸公司展出的RC-LDM400送粉3D打印设备



图 32 煜鼎增材公司展出的激光高通量制备与增材制造系统LAM-HTMP System 6000

（三）其他增材制造机床与相关产品

本次展会上唯一一台具有非金属增材制造能力的机床来自马路（Markforged）科技公司，型号为FX10。该设备采用熔丝制造工艺，适用于短碳纤维填充尼龙复合材料和碳纤维材料的成形，通过视觉模组和激光测微计可以高精度捕捉成形零件影像用于校准和验证，还配有内置单独密封的材料仓，能够实现四个线轴的自动材料更换和快速加载。值得一提的是，该设备可以更换打印引擎，成形金属零件胚体，配合清洗和烧结模块完成金属零件生产。因此该设备被宣传为首台工业级金属和复合式3D打印机床。

目前国内增材制造机床的市场竞争十分激烈，国外进口产品已无明显的能力和成本优势。部分参展方表示其中国市场推广重心将在于增减材机床产品，也有参展商表示增材制造相关技术受到了出口限制。DMG MORI公司具有庞大的机床产品库，本届展会中未现场展出增材制造机床产品，通过样件和视频的方式对其多款粉末床熔融式和定向能量沉积式增材制造机床进行了宣传介绍。马扎克（Mazak）公司介绍了集成热处理与后处理的复合式增材制造机床产品。西门子（Siemens）公司在展会上宣传了针对增材制造机床的控制与监控方案。虽未直接销售设备，其控制系

统、监控方案已成为国内增材制造产线的主流选择之一，反映出软件与工艺解决方案的竞争已成为行业“第二战场”。

四、超声加工机床

参加本届展会的国内外超声加工机床、超声清洗设备及机床附件式超声加工装备厂商有20家，其中国内厂商14家、国外厂商6家，展品主要包括超声绿色加工机床、超声切割机床、超声铣削机床、手持式超声强化装备、机床附件式超声铣削装备、超声清洗装备、机床附件式超声加工装备等。

（一）数控超声加工机床

超声数控机床在超声加工领域有着最广泛的应用，超声加工设备普遍呈现出大振幅、高效率 and 智能化等特点，实现了对硬脆材料等难加工材料的高效精密加工。本届展会中共有8家厂商展出19台超声加工机床。总体上看，参展机床在加工效率、产品表面加工质量、刀具使用寿命等方面均有所提升。

（1）实现了高效高质量绿色加工。参展厂商对机床的加工效率持续优化，在一定程度上降低了工件报废率，并节约了成本。汇专科技集团股份有限公司展出的超声绿色立卧转换五轴联动加工中心（见图33），同时把超声加工系统、微量润滑冷却技术及超临界CO2低温冷却系统融入机床设计，在实现高效高质量加工的同时可以实现绿色加工。



图33 汇专公司的超声绿色立卧转换五轴联动加工中心

（2）控制系统进一步优化。江苏集萃华科智能装备科技有限公司的智慧超声波五轴加工中心（见图34）配备了西门子sinumerik ONE系统，具备智慧警示和自诊断功能，极大简化了操作与维护流程；集成集萃华科ProcessBox工艺盒子，可收集多元数据并通过机器学习优化数控程序，减少辅助加工时间，提升效率，降低成本，将传统机床升级为智能化的超级机床。



图34 集萃华科公司的GV800+JUS智慧超声波五轴加工中心

（3）机床精度和稳定性不断提高。西安超克能超声技术研究院有限公司的超声立式加工中心对硬、脆和黏等特殊材料及复合材料可进行钻、铣、磨削等加工方式，机床具有高刚性、高强度，几何形位精度佳，保证机床长期的稳定性和高精度。山东豪迈数控机床有限公司的XSG系列超声精密加工中心（见图35）采用了龙门结构、直线电机驱动以及全闭环控制，定位精度在3微米量级，重复定位精度在2微米量级。超声部分主要依靠最大转速60000 r/min超声波气浮主轴，可产生30~100 kHz超声高频振动，主要面向硬脆材料和复合材料。



图35 豪迈数控公司的超声精密加工中心

（4）实现了硬脆材料高深径比微孔加工。汇专科技集团股份有限公司展出的超声雕铣加工中心UEM-

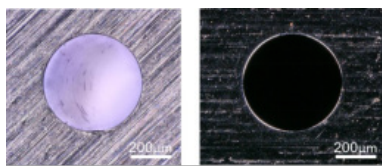
600采用了超声整体式主轴，最高转速可达50000r/min，在石英玻璃、陶瓷、碳化硅（HV3200）乃至氮化硅等新一代半导体硬脆材料加工方面具有显著优势，在单晶硅曲面电极加工上实现0.45mm、深径比55:1的超深微孔加工。苏州尚匠超声设备有限公司研制的超声振动加工中心可在碳化硅、氧化锆、氧化铝等硬脆材料实现0.1~0.6mm微孔加工，孔损伤得到有效抑制，在半导体领域应用成效显著。

(5) 金属材料微孔加工技术取得突破。苏州尚匠超声设备有限公司的超声振动加工中心通过优化超声振动频率和振幅控制，针对钛合金、高温合金、硬质合金、钨钢等高硬度金属材料，实现了高精度微孔加工（见图36），最小孔径可以达到0.08mm，而且毛刺得到有效抑制。同时，通过多轴联动提高了加工效率，也减少了刀具磨损。



(a) 硬质合金

(b) 钨钢



(c) 钛合金微孔入口 (d) 钛合金微孔出口

图36 苏州尚匠超声振动加工中心加工的金属材料微孔

(6) 实现了智能化控制。宁庆空天智能装备（南京）股份有限公司的超声龙门加工中心针对碳纤维、玻璃纤维和蜂窝复合材料，搭配在线测量和非接触式对刀仪，在线检测刀具平衡与磨损，运用集成传感器等技术提高精度和加工效率，并提供了虚拟机床方案，打造机床数字化双胞胎实现生产流程可视化。日本FANUC公司的超声加工中心，针对硬脆材料

钻孔，采用了第三方提供的最大转速24000 r/min超声高速电主轴，并集成了AI伺服监控，通过使用深度学习算法，将同正常加工数据的偏离值量化，无需传感器实现了可视化主轴和进给轴的变化，并能监视切削载荷，在刀具磨损、重复加工等异常状况发生时进行通知。深圳青鼎装备推出了行业内首个基于超声加工技术的刀具磨损状态智能监控系统（见图37）。该系统可对加工过程中超声频率、电学性能、刀具负载等参数进行识别，可有效监测刀具磨损、崩刃、断刀等。该技术的研发与应用可有效利用刀具使用寿命极限，并确保超声加工质量和效率，为高附加值零件的精细加工提供稳定保障。

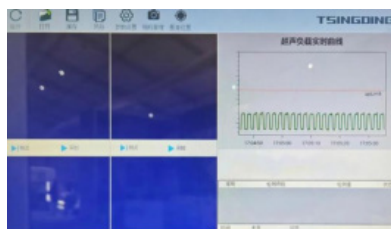


图37 深圳青鼎装备基于超声加工技术的刀具磨损状态智能监控系统

(7) 实现了超声高速加工。德国exeron公司推出的超声高速加工中心，采用了最大转速42000 r/min的超声加工电主轴。台湾友嘉国际数控机床有限公司的超声加工中心采用了主轴附加超声刀柄式的模块式设计，具备高速、无线传输的特点。

(8) 超声加工机床逐步向大型复杂结构件矢量化融合加工领域拓展。中国机械总院集团江苏分院有限公司研发了Gm6025大型超声复合钻铣五轴龙门数控机床（见图38），能够一次性加工各种大尺寸的复合材料工件。设备已实现RTCP（Rotational Tool Center Point，旋转刀具中心点）刀尖跟随程序控制与五轴联动矢量化加工，满足了难加工材料自由曲面、复杂结构件的联动加

工以及实际生产的精度效能需求，达到了五轴联动矢量化加工的国际先进水平。



图38 中国机械总院集团江苏分院有限公司的Gm6025大型超声复合钻铣五轴龙门数控机床

(二) 超声清洗设备

超声清洗也是超声加工技术的重要应用方向，本届展会共有3家厂商展出5台超声清洗设备。

(1) 设备功能不断优化。美国清洗技术集团的篮筐清洗系统在单个清洗腔内完成清洗、漂洗和干燥，并采用喷淋、浸没、超声波三重清洗工艺；该公司还研发了多频超声波清洗系统，每个水槽工作时有多达7个超声波频率供选择，还可实现恒温控制水槽温度，提升了自动化控制水平。

(2) 实现了自动化、模块化设计。美国清洗技术集团的MAQ-4-1622模块化水槽清洗系统采用串联式多槽清洗系统，可增加所需水槽的数量进而增加清洗、漂洗或干燥等功能；该系统采用全球兼容的西门子控制系统，提升了自动化控制水平。

北京泰拓精密清洗设备有限公司的TCM系列全工艺模块化在线组合清洗系统采用全工艺模块化单元设计，用户可视实际需求自由配置组合成不同工艺的清洗系统。

(3) 设备性能进一步提升。江苏港星方能超声洗净科技有限公司的CNC数控高压清洗机采用FANUC Oimate-MF系统，高压泵采用德国WOMA品牌，加装温控系统，有效保证高压泵使用寿命，旋转接头可承受最高700公斤水压。

(4) 自动化程度大幅提高。无

锡杰瑞德自动化科技有限公司有多款超声波清洗机，包括通过式超声波清洗机、旋转紊流超声波清洗机、多槽机械臂超声波清洗机等，集超声波清洗、喷淋清洗、切风、热风、干燥等工艺于一体。张家港市港威超声电子有限公司的CG-TQ-5多工位真空碳氢超声波清洗机由脱气超声槽、真空超声槽、真空干燥槽作为主要工作槽，另由循环过滤系统、真空负压系统、蒸汽浴洗系统、回收系统、水冷却系统等作为主要辅助功能。

（三）超声去毛刺机床

本届展会有1家厂商展出1台超声去毛刺机床。孚尔默（太仓）机械有限公司ultra TEC A25S超声去毛刺机床采用高频超声变幅杆，在水槽中受发生器激励产生特定频率和振幅，形成空化气泡非接触去毛刺，保持刃口锋利无热应力，支持钛合金精密部件处理。

（四）机床附件式超声加工装备

机床附件式的装备因其具有使用灵活、可适配各种数控机床的特点，日益成为超声系统最重要的研究和应用方向。本届展会共有6家厂商展出多个超声波主轴、超声波刀柄以及超声加工系统等机床附件式超声加工装备。

1. 超声主轴

深圳迈菲精密有限公司的超声主轴（见图39）有超声电主轴与超声机械主轴，其可以等比替换现有普通主轴，刀具接口包括BT30、HSK-E32等，超声频率覆盖20~60kHz，采用进口无轴承式高速旋转接头，创新结构设计，可调节刀具中心跳动至1 μ m以下；具有低速高刚性及高速低热伸长特性，兼备低速攻钻与高速铣削优势，可

根据客户需求进行定制化。



图39 迈菲公司的超声机械主轴

2. 超声刀柄

（1）结构刚性和加工精度进一步提升。深圳迈菲精密有限公司的超声刀柄（见图40）采用高刚性结构设计，工作频率覆盖20~75kHz，可对钛合金、不锈钢等金属材料、玻璃、陶瓷等硬脆材料及复合材料进行精密加工，尤其适合复杂曲面和微小结构的高效、高精度加工需求；通用性强，产品小型化可兼容多种CNC设备，也可满足个性化需求。



图40 迈菲公司HSK系列和BT系列超声刀柄

（2）加工性能进一步改善。汇专科技集团股份有限公司展出的超声刀柄（见图41）工作频率为16~70kHz，最高转速为30000r/min，其能够有效降低切削阻力，提升切削区域的冷却效果，大幅提升加工效率，延长刀具寿命，广泛用于3C、精密模具、半导体、医疗等领域的钻削、铣削、攻丝等工艺。苏州尚匠超声设备有限公司的超声振动加工刀柄能够使刀具具有104~105倍g的加速度，可对工件进行高频的切削和分离式间歇性加工。刀具的有效切削时间很短，大于70%的时间里刀具与工件完全分离，使得刀具所受到的摩擦变小，所产生

的热量大大减少，切削阻力显著下降，可充分改善刀具切削性能。



图41 汇专公司的HSK系列超声弹簧筒夹刀柄和超声内冷刀柄

（3）智能化水平进一步提高。深圳迈菲精密有限公司展出的超声波智慧刀柄基于AI实时监测，实时传输在线检测信号，能够精准分析加工数据，通过直观界面呈现刀具健康状态，让加工更智能和高效。

（4）产品种类、加工范围逐渐扩大。西安超克能超声技术研究院有限公司展出了多款超声刀柄包括超声内孔表面强化刀柄、超声表面强化刀柄、超声车削刀柄、超声切削刀柄等，可安装于不同机床上实现对钛合金、碳纤维、玻璃等难加工材料的加工，提高了加工效率与加工质量，可实现超低表面粗糙度、高压应力、高抗疲劳性的零件加工，相较于磨削、滚压和传统喷丸工艺有很大的提升与改进，已经达到了镜面的水平。

3. 超声加工系统

常州正河源数控工具有限公司展出了超声波铣削系统，该系统可以更换BT系列刀柄及HSK系列刀柄从而实现不同机床的适配性，同时展出了适配公司超声系统的超声波发生器，以满足超声加工的需求。

汇专科技集团股份有限公司展出了双超声（兼具超声切割与铣削功能）绿色系统，超声振动能量转化效率高、振幅大、刀具连续切削温升低，超声切割铣削最高转速为24000r/min，最大超声振幅50 μ m。

4. 超声车刀

深圳迈菲精密有限公司展出的双激励椭圆超声车刀通过双激励源驱动刀具产生椭圆振动轨迹，刀尖在切削过程中沿椭圆轨迹高频振动，形成间歇切削效果，降低切削力和摩擦热，显著提升切削性能和加工质量，并更换适应不同规格的刀粒。

5. 超声五轴头

宁庆空天智能装备（南京）股份有限公司的超声五轴头采用抗振与高刚性结构，集成了超声传感功能，具有高转速、高刚性、高精度的特点，能够实现高动态响应与多自由度联动、及高密封防护等级。

6. 超声振动平台

苏州尚匠超声设备有限公司展出的二维超声振动平台通过调控双向超声振动振幅和相位，驱动工件与切削工具之间的相对运动轨迹呈现椭圆形状，提高运动轨迹的交叉和重叠，从而形成有利于降低表面粗糙度和降低切削热的加工效果，此外，工件超声振动对工具没有尺寸要求，提高了加工过程控制能力。

五、结语

从CIMT 2025特种加工机床展品来看，总体呈现出技术持续创新、功能不断拓展、智能化绿色化协同发展

的态势，产品结构、控制系统、机床精度及外观设计均有所提升。特别是国产装备性能持续提升，逐步实现自主可控，国产替代趋势显著。然而，在高端核心技术、关键零部件制造及机床整体可靠性方面，国产装备与国际先进水平之间仍存在一定的差距。面对智能制造的快速发展以及制造业高质量发展的需求，特种加工机床制造商需进一步增加研发投入，提升自主创新能力和核心竞争力，为用户提供功能更加丰富、性能更加优良的装备，更加注重用户的个性化需求，积极为用户提供综合性解决方案，推动我国从制造大国向制造强国迈进。□

资讯

华工科技智能制造华东总部基地在苏州高新区投产



6月18日，华工科技在苏州高新区举办华工科技智能制造华东总部基地竣工投产仪式，开启深度融入长三角产业发展新篇章。华东总部基地一期投产两大项目，一是聚焦AI工业检测与智能制造的苏州华工自动化公司升级扩产项目，二是华工激光与立铠精密合资设立的苏州立华智维增材制造产业化项目。

近年来，华工科技深度融入国家区域发展战略，除在湖北省建有六大产业

基地外，先后落子广东、江苏、山东等地，形成了资源互补、产业协同的良好发展格局。长三角是公司核心业务应用场景最多的区域之一，近年来以江苏为代表的长三角地区聚焦前瞻性和先导性，培育发展人工智能、量子信息、第三代半导体、先进碳材料、纳米新材料、智能制造、航空航天与深海深地等新兴产业，构筑起了引领型发展新优势。

华工科技董事长马新强在致辞中表示，此次华东总部基地竣工投产，将作为华工科技具有战略意义的区域创新引擎，与华工科技中央研究院紧密联动，通过创新资源的共建共享、科技产业的协同发展，全力构建开放型的智能制造区域创新平台，提升华工科技在智能制造、增材制造领域的竞争实力，助力苏州加快建设智能制造、增材制造产业集群。

从CIMT2025看国内机床企业发展路径

通用技术集团机床工程研究院 谭智

2025年4月21日至26日在北京举办的CIMT2025，以“融合创新，数智未来”为主题，聚焦信息化与制造技术的深度融合，吸引了来自30个国家和地区的2400多家企业参展，展品涵盖机床主机、数控系统、功能部件等全产业链。

笔者近年来持续关注五轴加工中心的发展情况。据观察，在2024年上海CCMT展会上，国内企业展出五轴机床94台，国外企业展出43台；而本届展会则达到近400台，数量显著增长。这表明五轴机床已逐步打破神秘化，越来越多的企业开始规模化推出此类产品。

除传统优势企业，广东今科、北京博鲁斯潘、江苏博阳、南通国盛、广东科杰等一批新兴企业都在积极布局五轴机床市场。同时，国内机床企业在产品结构、材料选用、加工精度等方面均有了显著的提升。

总体来看，国产机床企业正从早期的技术引进与集成设计，迈向具有自主特色的发展阶段，展现出多路径并行、协同突破的良好态势。

一、典型应用驱动，打造产品差异化路径

在制造业中，机床作为“工业母机”，其重要性不言而喻，不仅是精密制造的贴身伴侣，更是衡量一个国家制造业水平的关键指标。机床的运动精度、几何精度及加工精度曾是行业趋同的发展重点，然而在当下竞争激烈的市场环境中，机床实际使用过程中可靠性、精度保持性以及加工效率的考量愈发重要。

1. 聚焦场景需求，推动正向设计

企业的内功修炼体现在制造管控能力上，可以更好地

保障机床的可靠性和精度保持性，而要想在加工效率上取得突破，则需要对典型应用场景和工艺有深入了解，这正是机床正向设计的源头。

从本次展会可以看出，产线集成、多主轴多工作台产品的增多，充分体现了用户对加工效率的持续追求。对于机床制造企业而言，聚焦典型应用成为突出企业及产品定位、增加市场辨识度的关键策略。

机床产业的发展与汽车、飞机、航天等产业紧密相连。当这些产业蓬勃发展时，机床产业也会随之高效发展。通用技术集团在航空航天等领域不断深耕，取得了显著突破。沈阳黎明、成飞、西飞等企业为其提供了强力支撑。

新能源汽车市场的快速发展给机床行业带来了新的机遇和挑战。新能源汽车零件数量显著减少了近50%，大量使用一体化结构件，大型集成、复杂、异形零件成为新需求，同时带动了一体化的成型机床、摩擦焊等设备的需求增加。这要求机床制造企业针对工序集成自动化设计新的解决方案，以满足汽车产业的发展需求。

巨冈机床研制的直驱五轴加工中心，凭借其先进的技术，可以对车身一体化压铸件进行多方位加工，实现不同工艺的一次性完成，这一创新产品在提高生产效率的同时，也保证了加工精度。凭借着这一优势，巨冈机床成功进入了蔚来、理想、小鹏、赛力斯等电动汽车制造商的供应商体系，为其进一步发展奠定了坚实基础。

格力机床聚焦航空航天、新能源等高端领域，围绕一体化解决方案开发相关产品。在此次展会上，展出了多款产品，其中聚焦新能源电池托盘加工的高速双五轴桥式龙门数控机床GA - FMB3020D备受关注。该产品采取双主轴结构，结合了高速直驱技术和桥式龙门结构的优势，能

够高效、精准地满足新能源产业对机床的高精度、高效率要求。



济南二机的压铸一体加工五轴机床则针对压铸行业的需求，提出了高效的解决方案。其产品能够实现铸件的一体化加工，减少了中间工序，提高了生产效率和产品质量。

2. 定位细分市场，塑造竞争优势

在激烈的市场竞争中，部分企业基于典型应用需求及自身产品积累，对产品给出了特色鲜明的定位，形成了差异化竞争优势。

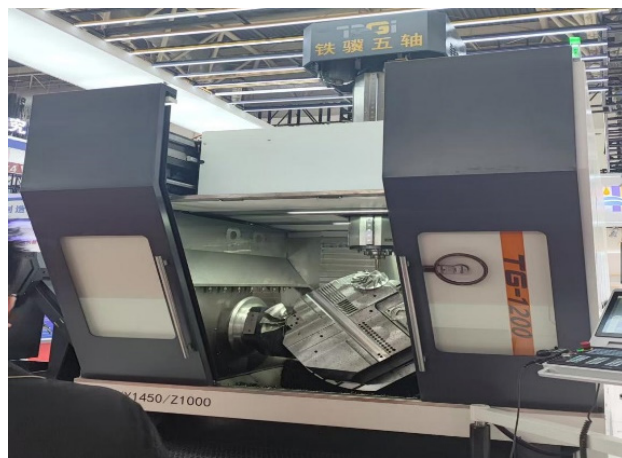
拓璞数控针对传统龙门机床难以兼顾速度、精度与跨度等问题，进行了大胆的技术创新。通过碳纤维轻量化设计、高刚度结构优化及智能控制技术，推出了新产品。该产品聚焦半导体真空型腔加工，轮廓精度达到0.02mm，能够满足半导体行业对高精度模具的需求；在汽车覆盖件模具精加工方面，关键部位精度控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内，为汽车制造企业提供了高精度的模具解决方案。拓璞数控还宣布未来只做进给速度在80m/min以上的五轴龙门数控机床，这一鲜明的定位突出了其产品的速度优势，满足了高端市场对机床加工效率的严苛要求，进一步强化了其在市场中的差异化竞争优势。

汇专利用其在超声加工系统技术方面的优势，聚焦航空航天精密零件加工、芯片制造以及医疗领域的微创器械加工等方面，打造差异化竞争力。通过将超声技术与机床融合，提供高精度、高表面质量的加工解决方案，持续强化企业在高端制造领域的竞争优势。

宁庆空天锚定航空航天领域的核心技术需求，针对复杂曲面结构件、高精传动部件等典型零件的严苛应用场景，构建“需求洞察 - 仿真设计 - 工艺验证”全流程优化体系。依托自主研发的多轴联动加工技术与智能检测系统，在钛合金、高温合金、复合材料等高性能航空航天材

料加工领域形成技术壁垒，可实现微米级加工精度与镜面级表面质量控制。公司已建立起“高精尖材料加工专家”的差异化品牌定位，成为国内航空航天产业链关键零部件制造的标杆企业。

东莞华汇铁骥数控机床有限公司以“高精度、高刚性、高效率、重切、重载、高稳定性”为核心产品基因，深度聚焦高效切削应用场景，重磅推出铁骥五轴机床。在产品环节，通过拓扑优化技术重塑机床结构，选用高强度合金钢结合有限元分析精准布局支撑部件，配合纳米级磨削工艺与热稳定性控制技术，构建起“结构强化 - 材料优选 - 工艺精控”三位一体的精度保障体系，确保机床在持续高负荷运转下，仍能保持 $\pm 0.001\text{mm}$ 级的重复定位精度，实现长达5年的精度持久稳定。凭借重切能力达普通机床3倍、切削效率提升40%的显著优势，铁骥五轴机床可高效完成航空航天复杂曲面件、汽车模具深腔加工等高精度、高负荷任务，在机械制造、模具加工等领域成为企业提升生产效率与产品良品率的核心利器，以差异化的产品定位成功塑造行业竞争新优势。



二、专机研发起步，拓展通用产品体系

机床作为精密制造的工具，其研发和制造是一门实践性极强的科学。许多发展较快的机床企业正是从专机研发入手，在满足特定行业和客户需求的专机研发过程中，不断积累核心技术，逐步提升自身的技术水平和研发能力。

1. 深耕专用领域，积累核心技术

上海拓璞专注于为航空航天领域提供高端机床解决方案。面对该领域对精度和复杂性的严苛要求，拓璞紧抓C919大飞机带来的发展机遇与挑战。机身蒙皮的铣削需解决“三超”曲面（超尺寸、超柔性、超薄）加工难题，长期被法国迪菲厄公司垄断。上海拓璞追随着C919的破冰之

旅，毅然投身于双五轴镜像铣削这一垄断性领域的技术攻关。其实，在早期为中型运载火箭贮箱筒段进行铣削加工时，上海拓璞就已经积累了深厚的技术基础。通过持续研发与优化工艺，上海拓璞逐渐掌握了双五轴镜像铣削的核心技术，成功打破了国外企业的垄断，为C919大飞机的制造提供了关键的支持。

北京精雕最初是从雕刻机行业起步的，凭借其独特的技术和对细节的精准把握，在市场上赢得了一定的份额。随着市场需求的不断变化和技术的不断进步，精雕逐渐将业务拓展到手机机壳加工领域。在手机机壳加工过程中，对零件的精度、表面质量和生产效率都提出了极高的要求。精雕通过深入研究手机机壳加工的工艺特点和市场需求，不断优化自身的产品性能，开发出一系列适用于手机机壳加工的高精度机床，而后开始切入主流机床市场。凭借在专机研发过程中积累的核心技术和对市场需求的敏锐洞察力，精雕推出了一系列具有竞争力的主流机床产品。这些产品在加工精度、稳定性和效率等方面都达到了行业先进水平，逐渐在主流机床市场中站稳了脚跟。

除传统企业外，广东原点智能、南通国盛等新兴企业通过模块化设计快速切入细分市场。原点智能的Light 5X 60V五轴激光加工机床，采用天然大理石床身与自主数控系统，专攻超硬材料（如碳化硅）加工，已打入欧洲半导体设备供应链；南通国盛则聚焦新能源汽车领域，推出定制化五轴机床，可适配电池托盘与电机壳体的高精度加工，效率较传统设备提升50%。

2. 由用转研并举，实现自主制造

在机床行业中，有些企业最初是机床的深度用户，在长期的使用过程中对机床的性能、特点和应用有了深入的了解。这些企业基于自身的使用经验和市场需求，逐渐转型为机床制造商，将自身的技术优势和对市场的理解融入到机床产品的研发和制造中。

山东豪迈是国内知名的机械制造企业，作为五轴机床的重度用户，他们购买了大量的瑞士米克朗和德国哈默等国际知名品牌的机床。在长期的使用过程中，山东豪迈的工程师们对机床的使用特性有了深入的了解，他们深知机床在不同加工场景下的优势和不足。

山东豪迈并没有满足于仅仅作为机床的用户，而是摇身一变成为了机床主机厂。2020年决定研制高端通用机床并对外销售，近几年来，已先后为歌尔股份、华建铝业和山东矿机提供了服务，与进口机床打过多次擂台，迅速引起国外著名品牌的特别关注。山东豪迈在转型过程中，充分发挥自身对机床使用特性的深入了解，结合市场需求和

技术创新，研发出了具有自主知识产权的五轴机床产品，逐渐在市场上赢得了一定的份额。

三、核心部件突破，迈向高端整机发展

机床核心功能部件的性能决定了整机的技术上限，国内一批企业通过深耕上游关键部件，逐步构建起全产业链技术壁垒，形成了“零部件自主化→系统集成→整机高端化”的独特发展路径，在关键领域形成国产替代能力。

1. 从上游切入，构建全链优势

大连科德数控从数控系统研发起步，逐步构建起覆盖床身、导轨、主轴、转台等核心部件的全链条能力。其展出的KMU180T五轴车铣复合加工中心采用模块化设计，可完成航空发动机机匣、整体叶盘等复杂零件的高效加工，定位精度达0.005mm，重复定位精度0.002mm。针对C919大飞机需求开发的KTBM1200五轴叶盘铣削中心，通过双摆铣头技术实现 ± 0.01 mm轮廓精度，填补了国内三超曲面加工空白。在本届展会上，科德数控重点展示了KHM80U五轴卧式加工中心。该机型采用矿物铸石床身技术，具备1g加速度和20m/min切削速度，特别适用于新能源汽车电机壳体等薄壁件加工。企业通过“功能部件自研率85%、整机国产化率超90%”的技术优势，已实现1300余台五轴机床在航天科工、中国航发等领域的批量应用。

科德的独特路径在于“全栈自研”：从导轨、液压系统到摇篮转台，所有核心部件均自主生产。例如其研发的静压导轨采用纳米级油膜控制技术，摩擦系数仅为传统滚柱导轨的1/10，显著提升机床动态精度。这一模式使其在细分领域形成技术护城河，如转子叶尖磨床对标西班牙达诺巴特（Danobat），车铣复合机床则瞄准奥地利WFL的M35 Millturn系列，专攻飞机起落架加工的高端市场。

2. 以关键突破，支撑整机升级

上海阿帕斯以雅科贝思直线电机起家，凭借直驱技术颠覆传统机床传动架构。其自主研发的直线电机采用“磁悬浮+液冷散热”技术，推力密度达30N/cm²，较传统丝杠传动效率提升40%，且实现零反向间隙；针对传统直驱机床“重切能力弱”的痛点，通过创新冷却结构设计，实现500cc/min粗加工排屑能力。在CIMT2025上，阿帕斯联合上海星合展出的U800H高速直驱摇篮五轴加工中心，采用全直驱方案（X/Y轴直线电机+A/C轴力矩电机），快移速度达60m/min，加工航空发动机叶片时轮廓精度达 ± 0.015 mm。

阿帕斯的技术突破源于对核心部件的极致优化：热管

理创新采用仿生蜂窝结构散热通道，将电机温升控制在3°C以内，避免热变形对精度的影响；控制算法升级基于FPGA开发多通道解耦控制算法，解决直驱系统刚性耦合难题，动态响应带宽提升至500Hz。这一技术路径使其在新能源汽车一体化压铸模具加工领域迅速崛起，客户包括特斯拉上海超级工厂和比亚迪弗迪动力。

四、结语

从CIMT2025可以看出，国产机床行业正处于由“量”的积累向“质”的突破转变的关键阶段。展会所展现出的技术成果和产品进步，标志着我国机床企业正在摆脱对传统路径的依赖，逐步探索出具有中国特色的发展模式。

无论是聚焦典型应用场景、以用户需求为导向的产品正向设计，还是依托专机研发不断积累核心技术并拓展通用

化产品线，亦或是从上游关键功能部件入手，构建自主可控的产业链体系，国内机床企业在多条技术路径上均实现了协同突破。这些实践不仅体现了企业在技术创新能力上的显著提升，也反映出我国制造业基础能力的整体增强。

当前，全球制造业正处于新一轮科技革命和产业变革的交汇点，智能制造、数字孪生、工业互联网等新技术正深刻重塑机床行业的竞争格局。面对复杂多变的国际市场环境和日益增长的高端制造需求，国产机床企业必须进一步强化自主创新意识，加快关键核心技术攻关，提升产品质量与服务响应能力，打造真正具备全球竞争力的品牌。

未来，机床企业将不再只是设备供应商，更应成为面向制造全过程的解决方案提供商。通过持续的技术迭代、工艺融合与系统集成，推动“中国制造”向“中国智造”转型。正如本届展会主题“融合创新，数智未来”所揭示的那样，国产机床产业正站在转型升级的历史节点，向着高质量、高水平、可持续发展目标稳步迈进。□

资讯

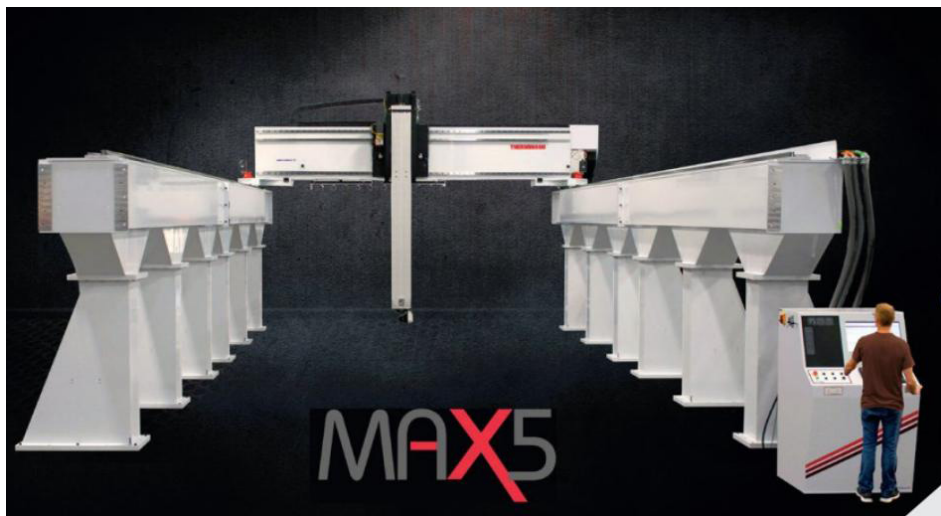
Thermwood 发布 MAX5 CNC 数控机床

Thermwood 公司已宣布推出其 MAX5 大型五轴 CNC 数控机床。对于那些需要大尺寸、高强度和精度的行业来说，MAX5 据称将重新定义大型五轴 CNC 铣削加工的可能性。

MAX5 专为应对严苛的 3D 加工应用而设计，非常适合为航空航天、船舶制造、汽车和建筑行业生产大型零部件。从巨型模具到复杂的结构件，MAX5 都能提供强大的动力、精确度和耐用性。

“MAX5 是 Thermwood 将数十年的工程专业知识应用于现实行业反馈的成果，这些反馈要求更大的机器来处理超大型项目，同时保持我们客户所了解和期望的 Thermwood 机器一贯的高品质，” Thermwood 的创始人、董事长兼首席执行官 Ken Susnjara 说道。“它不仅是一台大型机器——它是一款强大的集成解决方案，旨在突破 CNC 制造可能性的边界。”

通过利用先进的 3D 建模和有限元分析 (FEA)，



MAX5 在结构上进行了优化，即使在复杂、高应力的多轴操作中也能保持巅峰性能。

MAX5 的每一个部件均由 Thermwood 内部设计、制造并提供支持——为客户提供无与伦比的集成性、可靠性和支持。这种单一来源方案确保了完整的系统责任制、更轻松的升级以及与值得信赖的合作伙伴合作所带来的信心。

从CIMT2025看陶瓷磨具发展现状及趋势

中国机床工具工业协会磨料磨具分会

2025年4月21-26日，第十九届中国国际机床展览会（CIMT2025）在北京举行。本次展会的空前规模使参展的陶瓷磨具厂商数量显著增加，为我们提供了难得的观察窗口。本文重点关注CIMT2025中适配磨床的普通陶瓷磨具展品的变化趋势和未来发展方向。

陶瓷磨具是以陶瓷结合剂为粘结剂的磨具，此类产品的强度优于树脂磨具，具有不易堵塞、切削锋利、磨削效率高、热膨胀量小等特点，主要适配于各类机床，作为切磨抛的工具使用。中国是全球最大的陶瓷磨具生产国和消费国。受益于汽车、航空航天、电子信息等高端制造业的快速发展，陶瓷磨具在金属加工等传统领域需求稳定，同时向精密制造领域延伸。

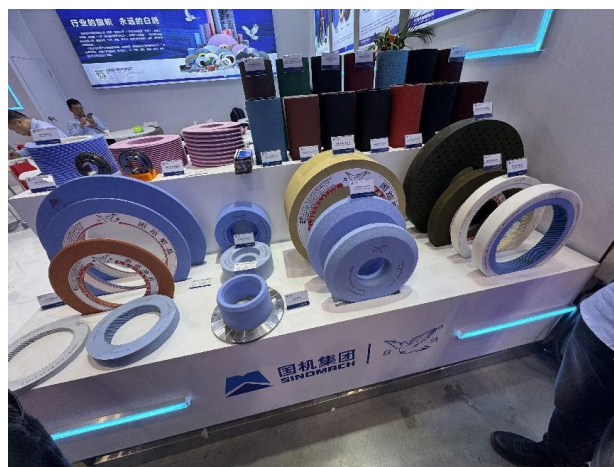
一、主要参展企业及展品简述

本次涉及陶瓷磨具展品的参展企业共有22家，代表性企业包括白鸽磨料磨具有限公司、山东鲁信四砂泰山磨具有限公司、苏州远东砂轮有限公司、江西冠亿研磨股份有限公司、四砂泰利莱（青岛）研磨股份有限公司、圣戈班磨料磨具（上海）有限公司、3M中国、莱斯豪尔等。

1. 白鸽磨料磨具有限公司

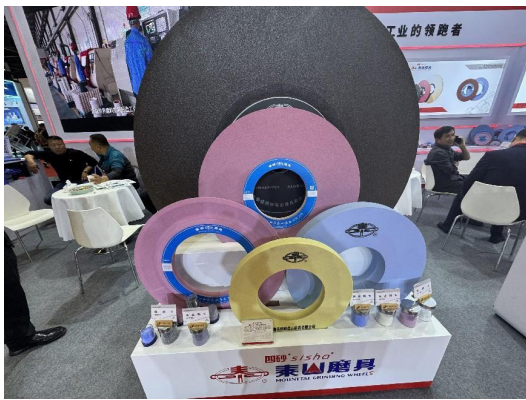
前身为1956年建成的中国第二砂轮厂，是国家“一五”期间重点建设项目之一，现隶属于国机精工集团股份有限公司。本次白鸽展出了高精陶瓷微晶刚玉磨齿砂轮。高精度齿轮是汽车、轨道交通、机器人及风力发电等行业的关键部件，其国产化水平是国家高端装备制造业实力的重要标志。该产品针对高档轿车、新能源、高铁等领域对精密齿轮磨削的技术需求，通过新型微晶陶瓷刚玉

应用研究、专用结合剂、结构及制备技术研究，以及齿轮精密加工及应用技术研究，解决了精密齿轮磨削领域的核心关键技术瓶颈，研制出高效高精密齿轮加工微晶陶瓷刚玉砂轮。其性能技术指标达到国际先进水平，实现了高精密齿轮磨削工艺国产化，解决了我国高精密齿轮硬齿面磨削加工的“卡脖子”关键技术。



2. 山东鲁信四砂泰山磨具有限公司

前身为1950年成立的中国第四砂轮厂，现隶属鲁信创投集团，本次展出了缓进给强力磨砂轮。这种磨削方式通过减小工件进给速度并增大磨削深度进行加工，通常应用于航空发动机叶片叶根、大型汽轮机、燃气轮机叶片叶根的成型磨削，因此对砂轮的组织结构、排屑、散热均有很高要求。四砂泰山的展品由锋利的氧化铝和特种新型磨料组成，配以组织极为松散的气孔结构，保证了金属工件在大进给切削时不易堵塞和烧伤。



3. 苏州远东砂轮有限公司

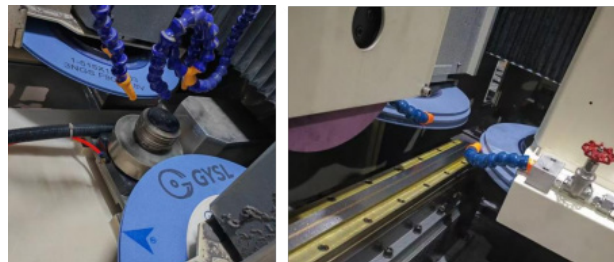
前身为成立于1951年的苏州砂轮厂，现隶属创元科技股份有限公司。公司具有从陶瓷微晶刚玉磨料到磨具制造的完整产业链，本次展出了高效磨轧辊陶瓷微晶砂轮。高表面质量的冷轧带钢、热轧带钢生产，在很大程度上依赖于高表面磨削质量的轧辊。能否获得高精度、无振纹等优异表面加工的轧辊成为制约其后续生产的关键因素。该产品采用远东自研的陶瓷微晶磨料，制作出高效磨轧辊系列砂轮，应用于多种复杂难加工材质钢材轧辊的中、粗、精磨削。产品具有强度高、形状保持性好、磨削效率高、单次进刀量大、修整间隔短、不易烧伤、不易产生振纹、加工粗糙度较低等优点，能够满足大尺寸及多种材质轧辊的粗/精磨削要求。与普通高温陶瓷结合剂白刚玉外圆磨砂轮相比，客户加工效率提高20%~30%，加工成本降低20%~40%，产品磨削性能达到国际同类产品水平。



4. 江西冠亿研磨股份有限公司

公司初创于1998年，是目前国内较大的陶瓷磨具研发制造企业。本次公司携多款低温结合剂陶瓷磨具参展，代表性产品是高效低温直线导轨磨砂轮。直线导轨在机床制造、汽车装备制造、医疗设备制造、航空航天等领域是重要的基础配件，其制造过程中的磨削加工工序极为重要。该产品以成组方式应用于直线导轨磨

削作业，基于锂玻璃料结合剂低温技术，根据“三单元砂轮构架直线导轨磨床”特点设计。砂轮组织硬度分布均匀，磨削负荷小，不烧伤工件，能够更好地满足超高精度、超高承载直线导轨的磨削需求。



5. 四砂泰利莱（青岛）研磨股份有限公司

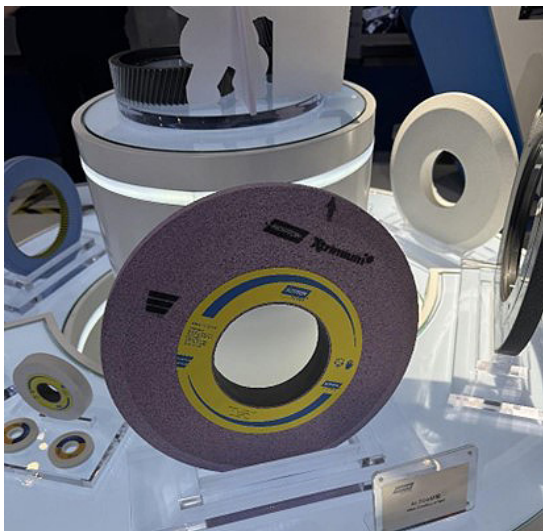
公司是施华洛世奇-泰利莱集团的控股企业。泰利莱作为奥地利老牌陶瓷磨具制造商，其产品在内具有一线品质。四砂泰利莱是兼具陶瓷微晶刚玉磨料、陶瓷磨具和超硬磨具的综合型生产企业，其陶瓷微晶刚玉砂轮100%采用自主研发生产的磨料制作。本次展会公司携多款陶瓷刚玉磨料和磨具产品参展。其优势在于可依托泰利莱自有的下游产业链和先进研发体系，快速反馈新产品特点及问题，及时调整工艺配方。



6. 圣戈班磨料磨具（上海）有限公司

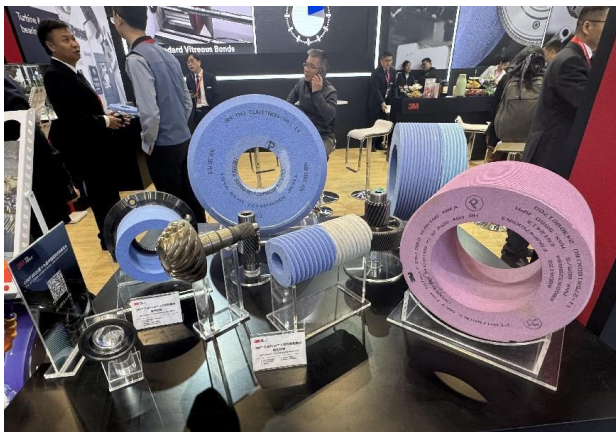
隶属于法国圣戈班集团。该集团在收购美国诺顿后成为磨料磨具行业领军企业之一，本次展会以圣戈班—诺顿名义参展。圣戈班诺顿是全球较早提出磨削整体解决方案概念的服务商之一，也是SG磨料（陶瓷微晶磨料）的创始者。其优势在于拥有百年历史的“磨料—磨具—磨削”研发实验体系。本次展会公司携多款以Quantum™和TG®（二者均为陶瓷微晶磨料）为原料制作的砂轮产品参展。结合Vitrium3™陶瓷结合剂技术，产品具有很高的金属去除率和形状保持性，可实现80m/s的磨削速度。此外，参展的多款砂轮还采用了WORTOX 2™气孔组织结构技

术。该技术结合了工程级的3D磨料配比分布工艺，渗透性优异，能让冷却液充分进入磨削区域并容纳更多金属屑，有效避免砂轮表面堵塞和工件烧伤。



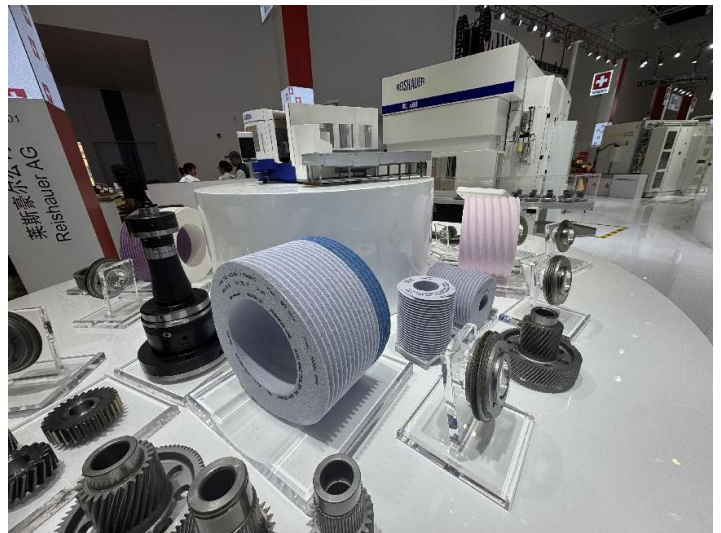
7.3M中国

3M作为成立于1902年的工业巨头，产品覆盖生产生活的方方面面，也奠定了其在磨料磨具技术创新和品质上的领先地位。本次展会3M携轴承、航空涡轮机、汽车、新能源等多个领域的解决方案亮相。其砂轮产品综合应用了微复制技术、Trizact™金字塔技术、Cubitron™ II磨料技术。3M研发的Cubitron™ II砂轮重新定义了磨削过程。该产品具有高气孔率特点，在结合剂磨粒混合物中采用萘作为制孔剂，人工形成砂轮气孔，保证了散热排屑能力；同时确保每个磨料颗粒在垂直力作用下更容易碎裂，形成自锐效果。每颗精密磨粒都具有统一大小和精密成型的三角形，自锐性的三角形如刀片切过工件，产生热量被直接输送到切屑中，大大降低了烧伤问题。三角形磨粒尖端断裂后，仍能形成新的锐利边缘，有效延长了磨具使用寿命。



8.德国莱斯豪尔

莱斯豪尔是工装与机床完美匹配的典型企业。本次展会公司带来了代表性的Reishauer磨齿机用蜗杆磨砂轮产品。依托对磨削工艺的深入研究，产品以尽可能少的结合剂和尽可能高的气孔率为设计基础，使用了四类氧化铝混合物磨料制备砂轮。尤其是组合式砂轮（如磨削和抛光组合砂轮、粗磨和精磨组合砂轮等），可在相同夹具上实现磨削和后续抛光。莱斯豪尔还可根据客户具体要求，在一定程度上调整砂轮工艺配方，满足不同齿轮磨削机的要求。



二、国内外展品对比

1. 国内陶瓷微晶磨料砂轮快速发展

陶瓷微晶磨料主要采用“溶胶—凝胶”和“引晶—凝胶”两种方法制作，以高硬度、优异韧性和锋利度为特点，尤其具有自锐机制（受压时微破碎持续提供新切削刃），使该磨料切削表现卓越，因此获得国内外先进陶瓷制造企业青睐并广泛应用。对比五年前，砂轮中陶瓷微晶磨料占比约10%为主流，现已逐步提升至30%-50%。同时，与之适配的配方设计、低温结合剂技术和制造工艺也快速成熟。当前，在以陶瓷微晶磨料制砂轮为核心业务的企业中，国内在2016年后才进入快速发展期，而国外已有近40年发展史，技术储备充足。两者在砂轮设计工艺、结合剂技术、磨削参数积累等方面存在二到三代的技术差，导致国内陶瓷微晶磨料砂轮相较国际同类产品，在质量稳定性和性能层面仍有一定差距。因此，国内陶瓷微晶砂轮在高端应用领域（如进口高档精密数控机床配套砂轮）竞争力仍显不足，但在中端应用领域凭借高性价比优势正快速替代进口产品。

2. “整体磨削解决方案服务商”理念落地

根据客户磨削应用场景需求提供整体解决方案，是磨具企业从“研发到售后”整体实力的体现，也是企业从“产品供应商”转向“服务供应商”的重要一步。陶瓷磨具产品高度专业化、定制化的特点非常适合践行这一理念。在CIMT2025上，几家国内龙头企业均提出可根据客户需求提供整体磨削解决方案，形式包括直接与下游对接联合研发，或客户提供磨削参数后开发。这体现了国内企业在技术储备、实验能力、产品质量、服务意识等方面的较大发展。几家参展的国际企业在这方面起步较早，绝大多数成立于百年前，磨料磨具行业几乎所有产品的雏形都出自它们。其研发体系已非常成熟，一般都有1-2代技术储备以保持市场领先地位。这些企业的参展展品不以单一产品创新为核心宣传点，而是展示针对特定专业领域的磨削解决方案，承诺能为服务对象提供涵盖“设计、工艺、性能、品质、安全、绿色、售后”于一体的磨削解决方案。

三、未来陶瓷磨具发展趋势

1. 国内外差距缩小，进口替代加快

陶瓷磨具是磨料磨具产品中最能体现企业科研实力和品控能力、且种类较多的产品之一。随着国产机床技术突破加快，适配磨具产品迎来变革突进新机遇。在当前逆全球化趋势下，产业链供应链安全问题日益凸显，倒逼我国制造业转型升级加速以解决“卡脖子”问题。某些重要领域一旦实现国产化即不再进口，使国内企业在进口替代层面取得了良好成果。本次展会期间，多家参展企业展示了供应国内大型机床企业配套使用的专用陶瓷磨具产品。面对进口替代挑战，几家在研发端长期领先的跨国企业的策略是推出符合中国市场需求的专供产品。这类产品的共性是在保持高稳定性基础上，性能较

高端产品稍降，但性价比更高。

2. 专业化定制渐成主流

本届展会“磨削整体解决方案服务商”增多，标志着过去大量标准化产品已不适应当前机床行业发展趋势。根据客户需求提供非标定制化产品服务成为参展企业核心卖点，这对企业“数据采集—设计生产—使用指导—售后服务”等各环节要求较高。多数企业强调陶瓷磨具制作过程中“设计”的核心地位，突出展示自身对配方设计的理解和技术创新点。现场已有企业采用3D打印技术制作特殊磨削用的异形小磨头。

3. 研发聚焦“高速、高效、高精、稳定、绿色”

评价一款陶瓷磨具是否领先，是对其安全性能、组织及硬度均匀性、制造精度及工作层形状保持性、平衡性、磨削效率、耐用度、使用寿命、磨削工件表面质量、不同批次产品一致性等指标的综合考量。目前国内陶瓷砂轮线速度仍以60m/s以内为主，国外产品则以80m/s为主。差距一方面来自砂轮自身工艺，另一方面源于与机床的适配要求不同。未来，随着国产机床技术发展，适配的国内陶瓷磨具产品必将向“高速、高效、高精、稳定、绿色”方向发展。这对磨料磨具行业在高性能磨料开发、高性能结合剂研制、砂轮新型结构理解等方面提出了更高要求。

四、结语

CIMT2025汇集了全球最具代表性的陶瓷磨具制造商，从侧面反映了中国作为全球最大磨料磨具生产和消费国的吸引力。我国陶瓷磨具行业正经历深刻变革，以“高速、高效、高精、稳定、绿色”为特点的定制化产品已成为企业研发焦点。从“卖产品”到“提供服务”已成为企业未来发展需攻克的核心命题。相信在下届展会上，我们将看到更多个性化产品和“专精特新”企业。□

资讯

欧洲产业界呼吁构建务实AI标准体系

近期，捷克工业联合会联合欧洲20余家商业协会及创新企业，共同向欧盟委员会及AI办公室提交声明，呼吁调整《人工智能法案》标准制定策略。签署方警示：当前标准化进程正陷入过度规定化与体系碎片化困境，对中小企业造成不成比例的合规负担。若缺乏清晰可用的实施工具，恐将引发法律不确定性、合规瓶颈及创新迟滞等系统性风险。

声明提出三大核心建议：

- (1) 将AI法案纳入《数字综合法案》简化框架。
- (2) 推迟特定条款生效时间，直至欧洲标准组织(ESO)完成技术标准及通用AI(GPAI)实践守则制定。
- (3) 标准体系应优先实现：①国际协调性：对接全球治理框架；②绩效导向性：聚焦结果而非过程管控；③风险分级制：建立可扩展的合格评定机制。

高速龙门加工中心主变速设计

通用技术集团机床工程研究院有限公司 尹晓霞 刘福权

【摘要】随着我国机床行业加速向高端化、智能化方向转型，高速龙门加工中心作为先进制造装备典型代表，在高端机床市场的重要性日益凸显。作为龙门加工中心核心组件，主变速箱性能直接影响加工效率与精度，其主轴转速和扭矩输出参数必须满足龙门机床复杂的加工要求。本文对高速龙门加工中心的主变速设计进行研究。

一、市场现状分析

近年来随着国家新能源汽车、军工及航空航天等行业的迅速崛起以及国家基础设施建设的逐渐深入，龙门加工中心越来越受到广大用户的欢迎。主传动系统作为龙门加工中心的核心部分，直接影响到机床的加工精度、加工效率与加工能效^[1]。现如今，涉及国家经济命脉与国防安全的关键领域，包括航空发动机、精密模具、重型机械及交通运输装备制造业，对高速龙门加工中心的需求量日益增加，但国内企业研制的此类机床，其主传动系统变速箱大部分均依赖进口，存在随时面临突发性供应链中断的风险。所以掌握龙门加工中心主传动变速箱的核心技术并形成产业规模，对提升我国高端装备自主可控能力具有战略价值。

针对以上问题，本文提出了拥有自主研发的龙门加工中心主变速箱的主传动系统，该主传动系统不仅可以实现龙门加工中心的主轴两档变速，最高工作转速可达到6000r/min，同时可以保持主轴460N·m稳定扭矩输出。此外，该系统中的变速箱输出轴通过安装旋转接头实现机床主轴内冷与外冷结构统一的功能。经实际测试验证，本文提出的主传动系统应用可显著降低机床内冷功能的运行成本，提升设备加工效率与精度保持性，从而大幅度增强龙门加工中心在高端装备制造市场的综合竞争力。

二、国内外技术水平及发展趋势

高速龙门加工中心作为机床家族中主要一员，是近年众多装备制造企业较具市场竞争力的产品之一，而主传动系统作为决定机床加工范围与精度的核心功能部件，其性能至关重要^[2]。

近年来，国产龙门加工中心主传动系统在技术层面取得显著进展。然而，在长时间连续加工工况下，其精度保持性仍存在提升空间。在传动效率方面，国内企业通过改进齿轮、丝杠等关键传动部件，并优化控制系统，有效提升了传动效率。在扭矩性能上，部分国产龙门加工中心通过创新传动结构设计，搭配大扭矩电机的应用，成功实现了较高的扭矩输出，能够满足中大型零件重切削加工需求。

相比之下，国产龙门加工中心主传动系统与日本、德国等国际领先产品仍存在差距。国外龙门加工中心主传动系统凭借高精度传动部件和先进制造工艺，传动精度可达微米级，能够稳定保证加工零件的高精度要求；同时，通过对传动结构优化设计，搭配高性能传动材料应用，有效减少能量损耗，提升传动效率。

目前国外龙门加工中心主传动形式在技术水平上处于领先地位，在精度、效率、转速与扭矩等方面具有显著优势。国内虽然取得了一定的进步，但在部分关键性能指

标上与国外仍存在差距。然而，随着技术的不断发展，龙门加工中心主传动形式呈现出高速化、高精度化、智能化和直驱化的发展趋势。国内企业和科研机构应抓住机遇，加大研发投入，加强技术创新，提高自主研发能力，在追赶国外先进技术的同时，积极探索新技术、新方法，推动我国龙门加工中心主传动技术的发展，提升我国数控机床产业在国际市场竞争力，以满足我国制造业不断升级的需求。

三、高速龙门加工中心的主传动系统形式设计

1. 主传动系统形式种类介绍

高速龙门加工中心的主传动系统主要有以下几种形式：

(1) 主电机+进口减速箱+皮带传动

该主传动系统主变速箱放置在方滑枕前端，如图1所示，一方面通过减少传动部件之间的层级连接，有效降低传动过程中的能量损耗，进而提升主轴组转速上限，为实现高效高速加工提供了结构基础。另一方面该系统采用皮带传动方式，巧妙地利用皮带与皮带轮之间产生的摩擦力，将减速箱输出的动力以柔性方式传递至主轴。这种柔性传动方式具备一定缓冲吸振能力，能够在一定程度上减轻传动过程中因冲击和振动对加工中心整体结构的影响，对于保护主轴及其他关键部件、延长设备使用寿命具有积极作用。同时，皮带传动的结构相对简单，安装与维护操作相对便捷，在一定程度上降低了设备运维成本和技术门槛。然而由于皮带传动过程中不可避免地存在弹性滑动和打滑现象，不仅造成能量损失，还会导致主轴转速出现波动，影响传动准确性。此种传动方式还会因电机与主轴组间距过近，主电机热量易传导至方滑枕，导致滑枕热变形。同时，不对称布局使滑枕受热不均，电机高速运转产生的热量会使主轴组零件热伸长，严重影响加工精度。

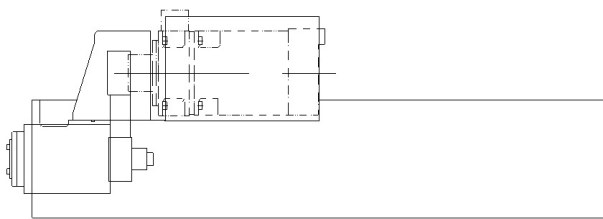


图1 主电机+进口减速箱+皮带传动示意图

(2) 主电机直连（高速无减速箱）

该主传动系统如图2所示，由电机直接与主轴组通过联轴器进行连接，通过电机与主轴的直接耦合，最大限度地减少中间传动环节，降低能量损耗，使得机床在高

速运转时依然能够保持稳定的性能输出，为精密高速加工提供了坚实基础。其次，由于传动部件大幅减少，整个传动系统结构得以简化。相较于传统复杂的多级传动结构，这种设计在一定程度上降低各传动部件之间的配合误差和磨损风险，进而有效降低设备故障率，显著提升了龙门加工中心运行的可靠性和稳定性。此外，该传动系统为设备日常维护和检修带来了便利，缩短停机维护时间，提高生产效率。然而，此种传动系统主电机位于主轴箱内部，电机在运行过程中会持续产生热量，由于主轴箱内部空间相对封闭，散热条件极为有限，导致热量难以有效散发。长时间的热量积聚不仅会使电机自身性能下降，更会引发主轴箱产生严重热变形。主电机与主轴组的直接连接要求极高的安装精度，任何细微的偏差都可能导致传动系统运行不畅，甚至引发振动和噪声问题。而且，受限于电机直连的结构特点，扭矩的提升空间十分有限。在一些需要大扭矩切削的加工场景中，这种传动形式的主轴扭矩不足，难以满足高强度加工需求，从而限制了龙门加工中心应用范围和加工能力。

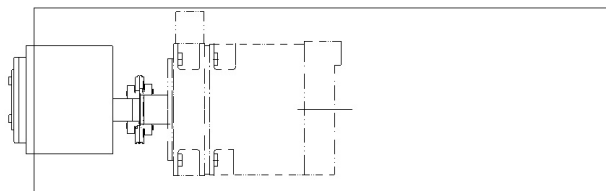


图2 主电机直连示意图

(3) 主电机+进口减速箱+碳纤维联轴器

该主传动系统如图3所示，其优势在于主电机通过进口变速箱、碳纤维联轴器组成传动链路，将动力传递到主轴组。其中，碳纤维联轴器是整套系统的核心部件。凭借其优异的机械性能，能够高效补偿侧偏、轴偏、角偏等传动过程中常见的位置偏差。在机床实际运行时，这些微小偏差若得不到有效控制，极易引发背隙增大、应力集中、部件微位移等问题，进而影响加工精度与设备寿命。而碳纤维联轴器凭借出色的动态补偿能力，从源头上规避了上述风险，显著提升了传动系统的稳定性与可靠性。然而，这套传动方案也存在明显局限性。一方面，若用户提出增加内冷需求，则需更换主电机与减速箱为中空形式，降低生产组织效率，提高人工成本与经济成本。另一方面，由于进口变速箱维修技术高度专业化，必须由原厂技术团队进行检修，用户无法自主开展维护工作。这种依赖性不仅导致维修响应存在不确定性，更使得全生命周期维护成本大幅攀升，为用户长期使用带来显著经济压力。

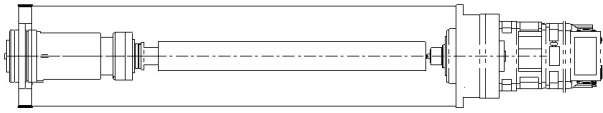


图3 主电机+进口减速机+碳纤维联轴器示意图

为解决以上三种主传动系统缺陷问题，本文提出一种主电机、自制变速箱与碳纤维联轴器的新型主传动系统。该系统的核心变速箱完全是自主研发，不仅可以保证主轴运转速度和扭矩可控，还可以通过安装旋转接头的方式实现内冷、外冷统一的功能，满足用户的需求，降低了成本。

2.主电机+自制变速箱+碳纤维联轴器

该主传动系统如图4所示，该系统具备诸多显著优势，首先体现在变速箱的自主研发与制造能力上。该变速箱可以实现龙门加工中心的主轴两档变速，最高转速6000r/min，主轴扭矩460N·m，凭借自主掌控的变速箱自制技术，不仅能够深度把控产品的核心部件质量，规避被仿冒的风险，更在设备出现故障时，能够迅速开展自主维护工作，大大缩短了维修周期，有效降低了停机带来的生产损失；在结构布局方面，主电机放置在主轴箱前侧靠上的位置，此时通过在变速箱输出端安装旋转接头，成功实现了龙门加工中心内部冷却系统与外部冷却系统的有机统一，有效降低了龙门加工中心内冷功能选配的成本，同时显著提升主传动系统的生产组织效率，极大地增强龙门加工中心在实际生产应用中的性能表现和经济效益，提高了市场竞争力。

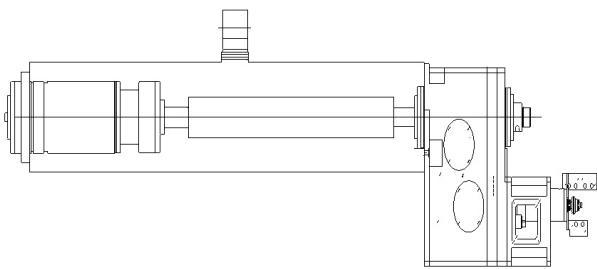


图4 主电机+自制变速箱+碳纤维联轴器示意图

3.变速箱齿轮强度校核

齿轮强度一般指齿轮齿面接触强度与齿轮齿根弯曲强度^[3]。齿轮强度校核基本流程如下：首先确定承载高载荷与高速运转的齿轮，并依据工作条件确定齿轮材料及热处理方式；然后通过齿轮设计准则确定齿轮模数与齿轮分度圆直径等关键参数，进而计算出齿轮其他重要参数；最后明确齿轮齿面接触、齿轮齿根弯曲疲劳许用应力，对齿轮齿面接触、齿轮齿根弯曲疲劳强度进行校核。

如图5所示，根据齿轮强度校核流程可知，只需对齿轮 I（高速运转的齿轮）与齿轮 II（承载能力最高的齿轮）进行强度校核。若齿轮 I 与齿轮 II 满足强度要求，则该齿轮变速箱合格，具体计算方式如下：

确定齿轮 I 的材质、精度等级与已知参数，齿轮 I 选择20CrMo，热处理方式为S0.9-G58，齿轮精度为4级，齿厚极限上偏差为L，下偏差为M，齿轮模数 $m=2.5$ ，齿数 $Z_1=36$ ，齿宽 $b_1=25$ ，螺旋角 $\beta=10^\circ$ ，啮合角 $\alpha=20^\circ$ ，与其配合的大齿轮的材质、模数、宽度、热处理方式与齿轮 I 相同，齿数 $Z_2=77$ ，齿轮精度为4级，齿厚极限上偏差为M，下偏差为N，输入扭矩 $T=115\text{N}\cdot\text{m}$ ，输入转速 $n=6000\text{r}/\text{min}$ 。

根据两齿轮已知条件依照第三版机械设计手册^[4]图16.2-7与图16.2-8，选择齿轮 I 的变位系数 $X_1=0.3$ ，大齿轮变位系数 $X_2=-0.3$ ，齿轮 I 的节圆直径 $d_1=m \cdot Z_1 / \cos(\beta)=91.388$ ，大齿轮的节圆直径 $d_2=m \cdot Z_2 / \cos(\beta)=195.47$ ，两齿轮齿顶圆直径 $d_{a1}=d_1+2 \cdot m \cdot (h_a+X_1)=97.888$ ， $d_{a2}=d_2+2 \cdot m \cdot (h_a+X_2)=198.97$ ，由 d_{a1}/d_1 与 α 确定，根据第三版机械设计手册图16.2-12可知， $\epsilon_1/Z_1=0.03$ ， $\epsilon_2/Z_2=0.006$ ，则齿轮端面重合度 $\epsilon_\alpha=Z_1 \cdot (\epsilon_1/Z_1)+Z_2 \cdot (\epsilon_2/Z_2)=1.542$ ，传动比 $u=Z_2/Z_1 \approx 2.14$ ，轴向重合度 $\epsilon_\beta=b_1 \cdot \sin(\beta) / \pi \cdot m \approx 0.553$ ，节圆端面压力角 $\tan \alpha_t = \tan \alpha / \cos \beta$ ，得出 $\alpha_t \approx 20.3^\circ$ 。根据上述参数分别计算齿轮齿面接触疲劳强度与齿轮齿根弯曲疲劳强度：

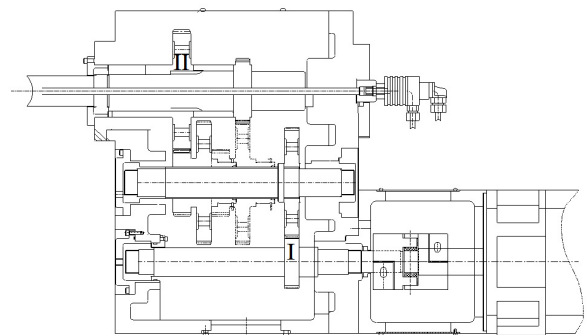


图5 变速箱结构示意图

(1) 齿轮齿面接触疲劳强度

a) 计算齿轮 I 上圆周力 F_t ，计算公式如下：

$$F_t = 2 \times \frac{T}{d_1} = 2517\text{N}$$

b) 计算齿轮 I 节点线速度 v

$$v = n \times \pi \times d_1$$

得出 $v=28.71\text{mm}/\text{s}$ ；

c) 确定齿轮使用系数 K_a ，参照第三版机械设计手册中表16.2-36，确定齿轮 I 的使用系数 $K_a=1$ ；

d) 计算齿轮 I 动载系数 K_v ，对传动精度系数 $C \leq 5$ 的高精度齿轮，在良好的安装和对中精度以及合适的润滑条件下，动载系数 K_v 取1.0到1.1之间，这里取1.05。

e) 确定齿轮 I 齿向载荷分布系数 $K_{H\beta}$ 、 $K_{F\beta}$ 与齿间载荷分配系数 $K_{H\alpha}$ 、 $K_{F\alpha}$ ，齿向载荷分布系数依照修形齿轮选取， $K_{H\beta}=K_{F\beta}=1.1$ 。齿间载荷分配系数依照经表面硬化斜齿轮选取， $K_{H\alpha}=K_{F\alpha}=1$ ；

f) 计算齿轮 I 节点区域系数 Z_H ，计算公式如下：

$$Z_H = \sqrt{\frac{2 \times \cos(\beta_b)}{\cos^2(\alpha_1) \times \tan(\alpha_1')}}}$$

得出 $Z_H=2.48$ ；

g) 确定齿轮 I 材料弹性系数 Z_E ，因两齿轮材料均为 20CrMo，根据机械设计手册表16.2-43可知， $Z_E = 189.8\sqrt{N/mm^2}$ ；

h) 确定齿轮 I 重合度系数 $Z_{\varepsilon\beta}$ ，根据机械设计手册图16.2-16可知 $Z_{\varepsilon\beta}=0.85$ ；

i) 确定试验齿轮 I 疲劳极限 σ_{Hlim} ，根据机械设计手册图16.2-17选择渗碳淬火钢保证适当的有效深，故 $\sigma_{Hlim1} = \sigma_{Hlim2} = 1550$ ；

j) 计算齿轮 I 接触强度计算的寿命系数 Z_{NT} ，计算公式如下：

$$Z_{NT} = \left(\frac{2 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.0191}$$

得出 $Z_{NT}=0.962$ ，式中 N_L 为齿轮接触应力的循环次数，根据机械设计手册表16.2-44可知， $N_L=1.5 \times 10^7$ ；

k) 确定齿轮 I 油膜影响系数 Z_{LVR} ，因为高转速的齿轮需要使用硬齿面，所以参照机械设计手册图16.2-20可知， $Z_{LVR}=1$ ；

l) 确定齿轮 I 工作硬化系数 Z_W ，因齿轮齿面硬度为 58HRC \approx 560HBS $>$ 470HBS，由机械设计手册图16.2-21所示， $Z_W=1$ ；

m) 确定齿轮 I 尺寸系数 Z_X ，根据机械设计手册图16.2-22可知，依照齿轮模数小于7选取，则 $Z_X=1$ ；

n) 确定齿轮 I 最小安全系数 S_{Hmin} ，参照机械设计手册表16.2-46，根据齿轮较高可靠度低档选取， $S_{Hmin}=1.25$ ；

o) 计算齿轮 I 接触应力 σ_H ，计算公式如下：

$$\sigma_H = Z_H \times Z_E \times Z_{\varepsilon\beta} \times \sqrt{\frac{F_t}{b \times d} \times \frac{u+1}{u} \times K_a \times K_v \times K_{H\beta} \times K_{F\beta}}$$

得出 $\sigma_H=521.25$ ；

p) 计算齿轮 I 许用应力 σ_{Hp} ，计算公式如下：

$$\sigma_{Hp} = \frac{\sigma_{Hlim} \times Z_{NT} \times Z_{LVR} \times Z_W \times Z_X}{S_{Hmin}}$$

得出 $\sigma_{Hp}=1192.88$ ；

q) 计算齿轮 I 安全系数 S_H ，计算公式如下：

$$S_H = \frac{\sigma_{Hlim} \times Z_{NT} \times Z_{LVR} \times Z_W \times Z_X}{\sigma_H}$$

得出 $S_H=2.86$ ；

因为 $S_H > S_{Hmin}=1.8$ ，所以齿轮 I 的接触疲劳强度满足要求，齿轮 II 按上述步骤急性计算，齿轮 II 接触疲劳强度也满足要求。

(2) 齿轮齿根弯曲疲劳强度

a) 计算齿轮 I 的复合齿形系数 Y_{FS} ，首先计算出齿轮 I 的当量齿数 Z_v ，计算公式如下：

$$Z_v = \frac{Z_1}{\cos^3(\beta)}$$

得出 $Z_v=37.692$ ，根据机械设计手册图16.2-24所示，结合齿轮 I 的变位系数得出齿轮 I 的复合齿形系数 $Y_{FS}=3.98$ ；

b) 计算齿轮 I 的抗弯强度计算的重合度系数 Y_ε ，由于 $\varepsilon_\alpha \in (1, 2)$ ，计算公式如下：

$$Y_\varepsilon = 0.25 + \frac{0.75}{\varepsilon_\alpha}$$

得出 $Y_\varepsilon=0.736$ ；

c) 计算齿轮 I 的抗弯强度计算的螺旋角系数 Y_β ，计算公式如下：

$$Y_\beta = 1 - \frac{\beta \varepsilon_\beta}{120}$$

得出 $Y_\beta=0.954$ ；

d) 计算齿轮 I 的抗弯强度计算的重合度与螺旋角系数 $Y_{\varepsilon\beta}$ ，计算公式如下：

$$Y_{\varepsilon\beta} = Y_\varepsilon \times Y_\beta$$

得出 $Y_{\varepsilon\beta}=0.702$ ；

e) 确定齿轮 I 的弯曲疲劳强度基本值 σ_{FE} ，参照机械设计手册图16.2-26中渗碳淬火钢，心部硬度 $>$ 30HRC 可知， $\sigma_{FE}=1050$ ；

f) 计算齿轮 I 的抗弯强度计算的寿命系数 Y_{NT} ，计算公式如下：

$$Y_{NT} = \left(\frac{2 \times 10^6}{N_L} \right)^{0.115}$$

得出 $Y_{NT}=0.793$ ；

g) 确定齿轮 I 的相对齿根圆角敏感系数 $Y_{\sigma RELT}$ ，由于齿轮 I 的齿根圆角小于1.5，参照机械设计手册表16.2-48可知， $Y_{\sigma RELT}=0.95$ ；

h) 确定齿轮 I 的相对齿根表面状况系数 $Y_{\sigma RELT}$ ，根据机械设计手册可知，因为齿轮 I 的齿根表面粗糙度小于2.6，故 $Y_{\sigma RELT}=1$ ；

(下转第75页)

汽车制动主缸体加工预顶紧可调夹具的设计应用

东北工业集团吉林东光奥威公司
山东蓬翔汽车有限公司

刘振利 程乾龙 董可心 孙小 李丕雷 李政
赵有正

【摘要】该夹具主要应用于汽车制动主缸体在加工中心设备上生产加工。当主缸体放置在夹具上时，可对其进行扶正并预先顶紧，保证主缸体能夹紧在正确位置上。同时，根据不同主缸体长度的需要，可对夹具进行调整以满足夹紧要求，从而提高加工刚性和强度。

1.问题的提出

汽车制动主缸体（简称主缸体）上有螺纹孔、储液孔等尺寸需要加工（见图1），通常采用加工中心设备完成，一般为多工位定位、同时夹紧的方式（见图2）。主缸体在夹具上采用1面2销定位。由于主缸体长度方向较长，定位外圆较短，当其放到夹具法兰盘后、未夹紧之前，受重力影响会下沉，导致夹紧顶尖不能准确顶到主缸体的中心孔内，使主缸体无法处于正确的夹紧状态，加工时易产生废品。同时，不同型号主缸体的长度不一致。使用同一套夹具夹紧不同长度的主缸体时，夹紧顶尖的伸出长度也不一致。若夹紧顶尖伸出过长，即使主缸体处于正常夹紧状态，在加工时受到切削力的作用，也会因夹紧力不足导致主缸体向下移动，影响加工

质量（见图3）。

这种情况需要设计一种既能保证夹紧顶尖准确顶入主缸体中心孔，又能调整夹具夹持范围以适应不同长度主缸体加工，并在主缸体下方提供支撑力以增强加工稳定性的夹具。

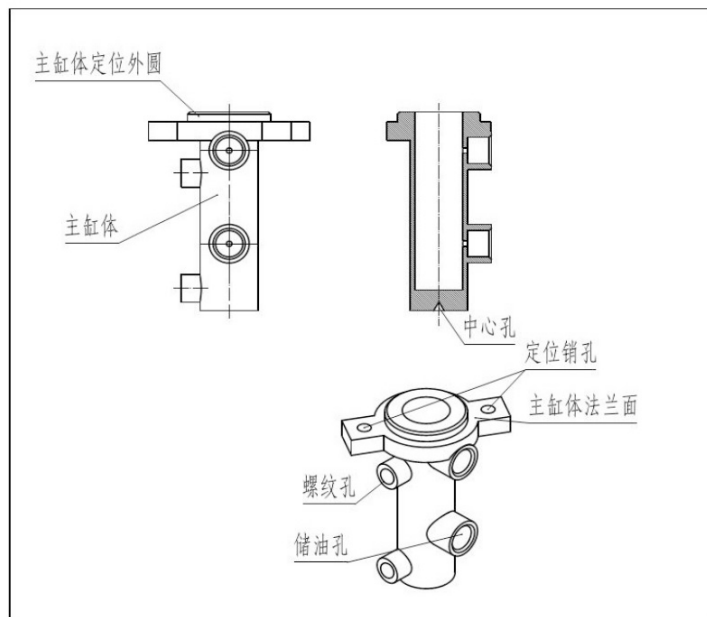


图1 工件示意图

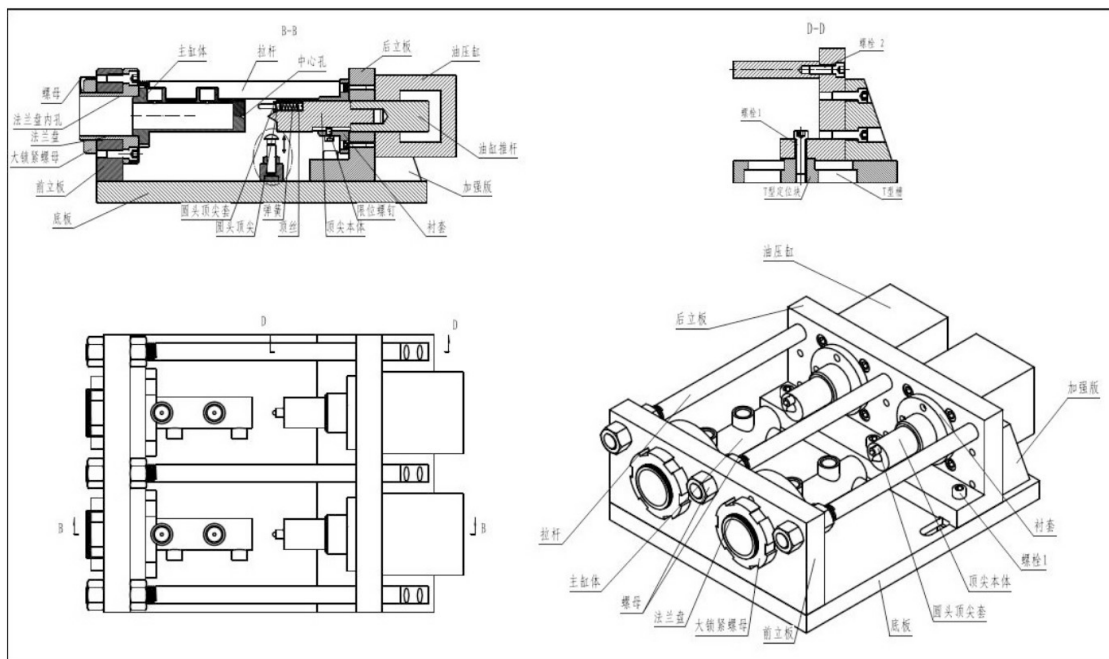


图2 视图和轴测图

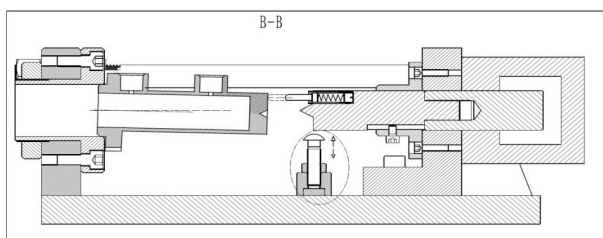


图3 主缸体装夹前状态示意图

2. 设计原理和使用方法

参见图2、图5、图6：

- 前立板安装在底板一端。
- 后立板通过螺栓1和T型定位块安装在底板的另一端（T型定位块安装在底板的T型槽内）。
- 加强筋连接在后立板上。
- 拉杆一端通过螺栓2与后立板连接，另一端穿过前立板，由螺母锁紧前立板（拉杆用于拉紧前立板和后立板）。
- 法兰盘通过定位销安装在前立板上，使用大锁紧螺母锁紧（法兰盘上安装有菱形定位销，见图4）。
- 主缸体通过其定位外圆放置在法兰盘的内孔中，主缸体上的定位销孔装入法兰盘的菱形定位销上，主缸体法兰面与法兰盘接触，实现1面2销定位。
- 衬套安装在后立板上。
- 油缸推杆穿过油缸和后立板衬套。
- 油缸通过螺栓安装在后立板上。

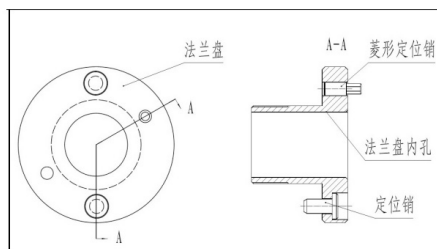


图4 法兰盘示意图

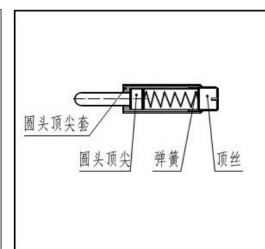


图5 预件示意图

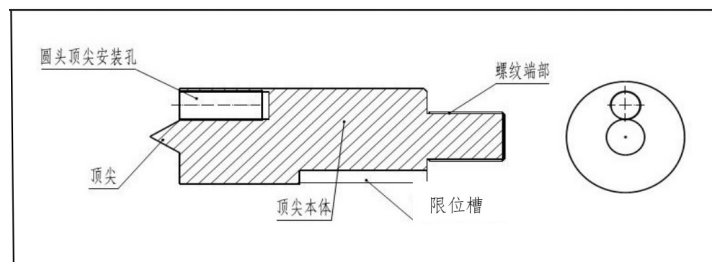


图6 顶尖本体示意图

具体操作方法：

该夹具以两个工位说明操作方法（批量生产时一般为四个或更多工位）。将某型号主缸体通过其定位外圆放入法兰盘内孔，主缸体定位销孔装入法兰盘的定位销，主缸体法兰

面接触法兰盘。由于主缸体定位外圆长度较短，且与法兰盘内孔间存在间隙（尽管定位间隙很小），主缸体中心孔一端受重力影响会下沉（见图3），中心孔位置低于顶尖轴心。若无预顶功能，因夹具采用油压缸同时夹紧方式，无法人为扶正每个工位的主缸体，夹紧时顶尖便无法顶入中心孔，导致主缸体夹偏。使用本夹具时，按动夹紧开关后，油压缸的油缸推杆带动顶尖本体向主缸体方向运动。圆头顶尖首先接触主缸体中心孔端部，推动主缸体向前向上移动，直至主缸体法兰面与法兰盘完全接触，使主缸体扶正处于正常定位位置。顶尖本体继续移动，圆头顶尖在阻力作用下向圆头顶尖套内回缩，此时顶尖即可顶入中心孔内，保证主缸体正确夹紧。再按动辅助支撑器开关，使辅助支撑器向上移动顶住顶尖本体。辅助支撑器遇阻锁紧，防止主缸体加工时受力向下运动，增强刚性（见图7）。

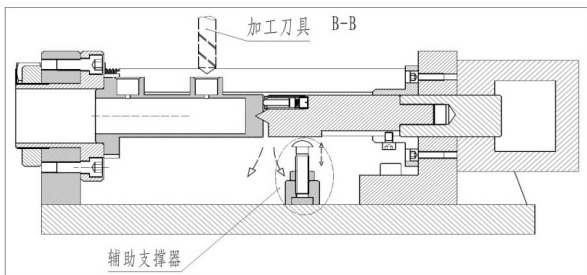


图7 主缸体装夹后状态及加工受力示意图

主缸体加工完成后，按动辅助支撑器松开开关和油压缸松开开关。油压缸的油缸推杆带动顶尖本体向后立板方向运动，松开夹紧。圆头顶尖在弹簧作用下回弹至原位，完成整个操作循环。

当夹具用于加工不同长度的主缸体时，若主缸体较短，后立板安装过于靠后（靠近底板后端），装夹时顶尖本体伸出过长。加工时受切削力作用，主缸体和顶尖本体向下趋势过大，将影响夹紧力和加工精度（见图3）。为避免此情况，可根据主缸体长度调整夹具：

(1) 松开螺母和螺栓1。

(2) 推动后立板沿底板向前或向后移动（T型定位块在T型槽内滑动）。

(3) 调整至所需长度空间后，锁紧螺母和螺栓1。

完成调整后，夹具即可适应不同长度主缸体的定位夹紧，保证加工稳定性。

3. 总结

采用该结构制作的夹具能够自动扶正工件（主缸体），保证工件处于正确定位状态，确保定位面（主缸体法兰面）与法兰盘贴合后再夹紧工件，避免了主缸体被夹偏及需手工扶正的现象（当装夹工位较多时，手工也无法扶正）。此外，本夹具具有适应不同长度主缸体夹紧加工的柔性调整功能。□

上接第72页

i) 确定齿轮 I 的抗弯强度计算的尺寸系数 Y_X ，齿轮 I 的模数小于5，参照机械设计手册图16.2-28可知， $Y_X=1$ ；

j) 计算齿轮 I 的弯曲应力 σ_F ，计算公式如下：

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b_1 m} \times K_a \times K_v \times K_{F\beta} \times K_{F\alpha} \times Y_{Fs} \times Y_{\epsilon\beta}$$

得出 $\sigma_F=118.144$ ；

k) 计算许用弯曲应力 σ_{FP} ，具体公式如下：

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{FE} \times Y_{NT} \times Y_{\sigma_{rect}} \times Z_{R_{rect}} \times Y_X}{S_{F_{min}}}$$

式中 $S_{F_{min}}=1.4$ ，得出 $\sigma_{FP}=565$ ；

l) 计算安全系数 S_F ，计算公式如下：

$$S_F = \frac{\sigma_{FE} \times Y_{NT} \times Y_{\sigma_{rel}} \times Z_{R_{rel}} \times Y_X}{\sigma_F}$$

得出 $S_F=6.695$ ；

因为 $S_F > S_{F_{min}}=1.4$ ，所以齿轮 I 的齿根弯曲疲劳强度满足要求，同理，齿轮 II 的齿根弯曲疲劳强度也满足要求。

综上所述，齿轮 I 与齿轮 II 满足强度要求，则该齿轮变速箱满足设计要求。

四、结语

本文设计的高速龙门加工中心的主传动形式不仅可以满足床最高工作转速可达到6000r/min，同时确保主轴输出460N·m稳定扭矩，为高速高精工提供强劲动力保障。作为龙门加工中心主传动核心部件的变速箱完全是本公司自主研发，打破了长期依赖进口的“卡脖子”局面。

此外，该变速箱输出轴通过安装旋转接头实现龙门加工中心主轴内冷与外冷结构统一的功能。这一设计不仅大幅降低了内冷系统的运行成本，还显著提升了主传动系统的生产组织效率，有效增强了龙门加工中心在实际生产中的加工性能和经济效益，有力提升了产品的市场竞争力。□

参考文献：

- [1] 李江艳. 龙门式五面加工中心展品评述[J]. 制造技术与机床, 2010(10): 40-45.
- [2] 钟洪. 机床主轴功能部件技术发展现状与展望[J]. 世界制造技术与装备市场, 2014(01): 95-100.
- [3] 默静飞等. 大功率高速传动齿轮箱关键技术分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(06): 158-159.
- [4] 成大先. 机械设计手册. 北京: 化学工业出版社, 2004

西门子SINUMERIK ONE数控系统 温度补偿功能剖析及应用

沈阳中捷航空航天机床有限公司 刘传

【摘要】本文主要以五轴机床的温度补偿为例，分别通过与轴的实际位置有关、与轴的实际位置值无关、刀具方向上的温度补偿三种补偿方式深入剖析了SINUMERIK ONE数控系统温度补偿的方法，解决了机床轴热变形导致精度衰减的问题。

机床温度补偿是一项关键技术，主要用于减少温度变化对机床加工精度的影响。由于机床在运行过程中会产生热量（如电机、主轴、导轨等部件的摩擦和驱动发热），同时环境温度波动也会导致机床结构发生热变形，这些因素会直接影响工件的加工精度。温度补偿技术通过监测和预测温度变化，实时调整机床的运动参数，以抵消热变形带来的误差。下面将详细介绍在西门子SINUMERIK ONE数控系统上实现温度补偿的方法。

1. 温度补偿参数设置

首先，温度补偿功能在SINUMERIK ONE数控系统上是标配功能，不需要额外订购授权功能，下面是主要温度补偿参数的定义介绍：

（1）通道参数设置

MD20390 \$MC_TOOL_TEMP_COMP_ON 激活刀具长度的温度补偿

（2）轴参数设置

MD32750 \$MA_TEMP_COMP_TYPE 温度补偿类型。有以下温度补偿类型：

- 位0 = 0: 不激活与位置无关的温度补偿
- 位0 = 1: 激活与位置无关的温度补偿
- 位1 = 0: 不激活与位置相关的温度补偿

位1 = 1: 激活与位置相关的温度补偿

位2 = 0: 不激活刀具方向上的温度补偿

位2 = 1: 激活刀具方向上的温度补偿

MD32760 \$MA_COMP_ADD_VELO_FACTOR 可以限制一个插补周期内因温度补偿而产生的最大移动距离（即最大温度补偿值）。所得温度补偿值高于该值时，会分成多个插补周期移动，系统此时不输出报警。该值作为最大轴速度（机床数据32000 \$MA_MAX_AX_VELO）的百分比值输入。该值同时确定了温度补偿曲线的最大倾角 $\tan\beta$ 。

（3）设定参数设置

SD43900 \$SA_TEMP_COMP_ABS_VALUE 和位置无关的温度补偿值。

SD43910 \$SA_TEMP_COMP_SLOPE 和位置相关的温度补偿曲线的斜角，在和位置相关的温度补偿中，温度变化产生的实际位置误差曲线通常近似一条直线，该直线由参考点P_0和斜角 $\tan-\beta$ 定义。

SD43920 \$SA_TEMP_COMP_REF_POSITION 在和位置相关的温度补偿中，温度变化产生的实际位置误差曲线通常近似一条直线，该直线由参考点P_0和斜角 $\tan-\beta$ 定义。

MD 42960 \$SC_TOOL_TEMP_COMP[2] 与刀具相关的温度补偿值（由于通常Z轴是数控系统第三个轴，刀具轴基本上是Z轴，因此通常把补偿值写到[2]中）。

2. 温度补偿的三种方式

(1) 与位置有关的温度补偿

该类补偿通常用于直线轴行程较短，有固定膨胀点位，且定位精度变化与温度变化呈线性比例关系的应用场景。这种情况通常可以用 $y=kx+b$ 公式来设置补偿公式，其中 y 为温度补偿量， k 为温度补偿热膨胀系数， x 为基于机床坐标轴原点的位移量， b 为机床轴在坐标原点（即机床轴坐标为0时）的温度补偿值。

在SINUMERIK ONE系统中，通常需要设置如下机床参数

b : SD43920 \$SA_TEMP_COMP_REF_POSITION

k : SD43910 \$SA_TEMP_COMP_SLOPE

由于这种补偿方式原理和补偿方式较为简单，因此在这里不做实例演示。

(2) 与位置无关的温度补偿

该类补偿通常用于大型机床，无固定膨胀点位，且定位精度变化不仅与温度有关，还与位置等其他因素有关的应用场景。这种方式补偿原理较为简单，即直接将补偿值补入数控系统里，但数据处理、曲线拟合较为复杂，通常需要大量计算及数学建模，在SINUMERIK ONE系统中，通常需要设置如下机床参数补偿值：SD43900 \$SA_TEMP_COMP_ABS_VALUE。

下面是一台40米大型龙门的温度补偿实例，首先通过温度传感器和基准位置孔采集了温度数据和轴热误差数据，通过matlab建立数学模型拟合出了温度补偿公式，最后通过PLC里面的FB3将补偿值写入SD43900 \$SA_TEMP_COMP_ABS_VALUE。

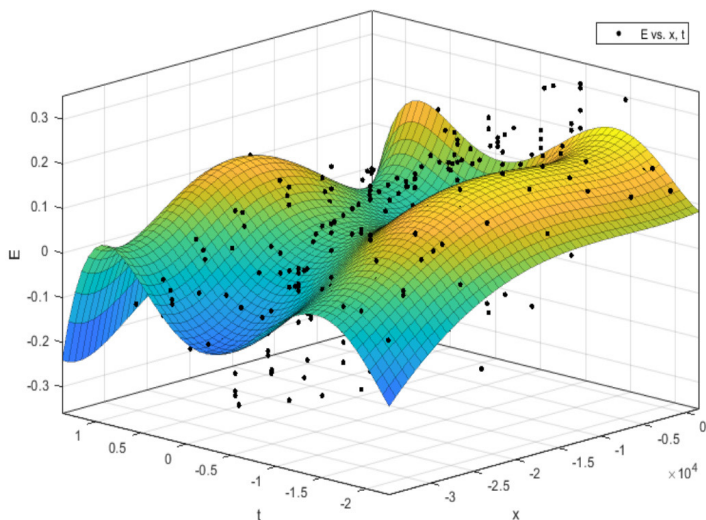


图1matlab数学建模拟合

```
A DB31.DBX 60.5
A DB31.DBX 1.6
A DB38.DBX 60.5
A DB38.DBX 1.6
S DB126.DBX 242.1
```

```
A DB126.DBX 242.2
R DB126.DBX 242.1
```

```
A I 3.7
A DB126.DBX 245.5
R DB126.DBX 242.1
```

```
CALL "PUT", DB188 FB3 -- write NC Variable
IN0 :=DB126.DBX242.1
IN1 :=2
IN2 :=DB187.A1_SE_TEMP_COMP_43900 P#DB187.DBX0.0
IN3 :=
IN4 :=
IN5 :=
IN6 :=DB187.A9_SE_TEMP_COMP_43900 P#DB187.DBX10.0
IN7 :=
IN8 :=
```

图2 PLC编程写入温度补偿值

(3) 刀具方向上的温度补偿

该类温度补偿主要用于五轴类机床的刀具轴，主要补偿的是主轴由于热伸长产生的变形量，该类温度补偿可以随着五轴机床开启TRAORI动态转换后，自动转化为刀具方向的补偿量。在SINUMERIK ONE系统中，通常需要设置如下机床参数：

MD20390 \$MC_TOOL_TEMP_COMP_ON=1

MD32750 \$MA_TEMP_COMP_TYPE=4H (X、Y、Z轴都需要设定)

SD42960 \$SC_TOOL_TEMP_COMP[2]

该类温度补偿方法同样是通过PLC程序中的FB3程序块，将补偿值写进SD42960 \$SC_TOOL_TEMP_COMP[2]中，补偿值根据机床五轴转换角度，会自动投影到X、Y、Z三个坐标轴上，实现五轴机床的主轴热伸长补偿。

3. 结语

机床温度补偿技术通过软硬件结合的方式，显著提升了加工精度和稳定性，尤其在高精度制造领域不可或缺。随着传感器技术、人工智能和数字化技术的进步，补偿系统的响应速度和精度将进一步提升，成为智能制造的核心技术之一。□

参考文献：

Function Manual: SINUMERIK ONE Basicsfunctions

P3: Basic PLC program for SINUMERIK 840Dsl

H2: Auxiliary function outputs to PLC

K1: Mode group, channel, program operation, resetresponse

K3:Compensations

电液同步数控折弯技术的应用

滕州市三合机械股份有限公司 朱绪刚 彭娜 王丹

1. 技术方案

我司研发的电液同步数控折弯机工作行程长，在行程的任一点都可以产生最大公称力；折弯行程、压力、速度可调，具有快速趋近、慢速折弯功能，符合工件折弯的工艺要求。机身采用C型结构，可实现折弯机的多台联动，拓宽了加工范围。数控系统选用著名的意大利ESA系列品牌闭环同步控制系统及折弯机专用软件来控制双缸同步，并配合高精度的光栅尺，形成全闭环控制；同时配置高清晰大屏幕显示屏，操作十分方便。产品模具信息可通过USB闪存驱动器进行程序外部存储。软件内含自动编程功能，操作者可通过数控系统自动获取最优化的折弯工艺方案。另外，折弯机的下工作台设有挠度自动补偿功能。

2. 结构特点

(1) 产品结构构成

机器外观图如图1所示。

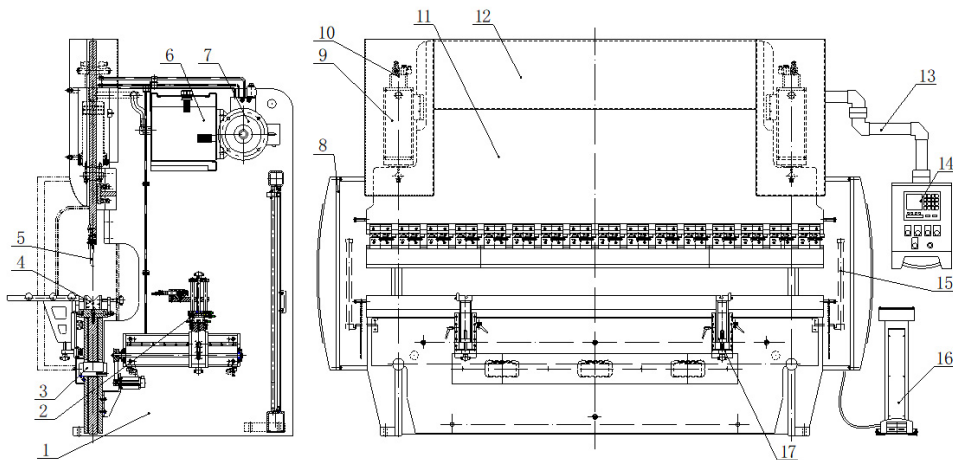


图1

1、机架 2、后挡料机构 3、挠度补偿油缸 4、下模 5、上模 6、油箱 7、主电机 8、防护门 9、油缸 10、同步阀块 11、滑块 12、上防护 13、双拐支臂 14、操作站 15、光幕 16、脚踏开关 17、前滑动托架。

(2) 机床的“C”型结构

床身采用了“C”型结构，因此能通过两台或多台并排放置来加工大型工件，实现联机操作。床身采用全钢板焊结构，通过时效振动消除内应力，具有足够的强度和刚性。

(3) 下工作台的挠度补偿机构

工作台补偿机构见图2。

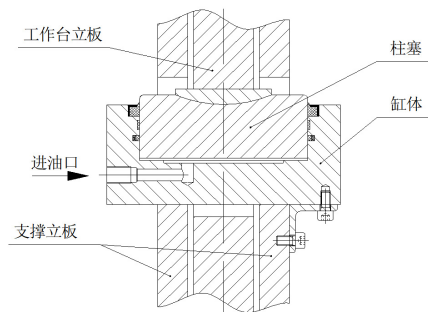


图2

工作台立板与前后支撑立板的矩形通孔内安装补偿油缸。油缸的柱塞顶在工作台立板上部，缸体固定在前后支撑立板上。工作时，补偿油缸对工作台产生一向上作用力，此力与主油缸对工作台的向下作用力相当，甚至使工作台立板在工作时产生一向上弯曲曲线，从而补偿工作台立板与滑块在工作时产生的挠度变形。

此闭环控制的工作台挠度补偿机构为独特设计，精度高，能有效降低下模的挠度变形。补偿量由数控系统

自动设定，保证了全长折弯角度的一致性，提高了工件的直线度。

(4) 机械式上楔块补偿机构及模具组成

利用压板和带有楔块调整的快速夹紧装置将上模直接安装在滑块上。每一套快速夹紧装置均安装一个可横向调节的斜铁，其上刻有刻度值，便于调整参考。调整时，先将固定斜铁的螺钉松开，然后轻敲斜铁使其产生位移，对折弯上模进行挠度补偿。

下模直接放置在工作台面上，利用调节螺杆推动下模前后移动，以便对准上模模具受力中心。上模楔块补偿结构见图3。

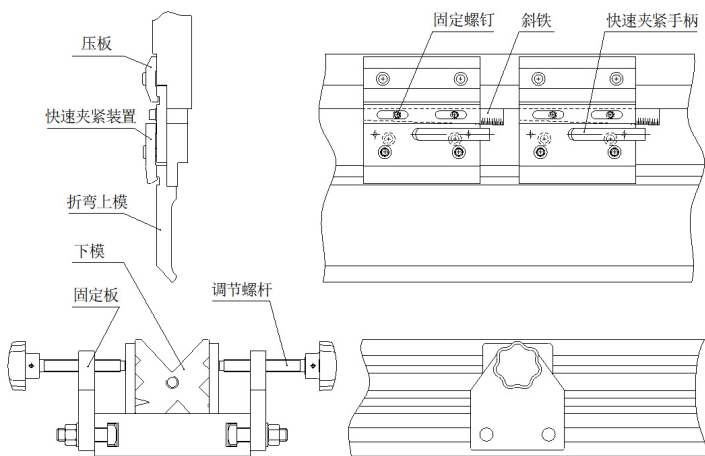


图3

(5) 上滑块的直线度调整机构

在滑块内侧设有一T型加强筋。加强筋两端与滑块焊接，中间部分与滑块板面留有一定间隙，并通过螺钉连接。利用螺钉的拉、顶作用可调整滑块安装上模基面的直线度。此结构不仅利于滑块直线度的调整，降低了该安装基面的加工难度，而且增强了滑块的整体强度。滑块加强筋结构调整见图4。

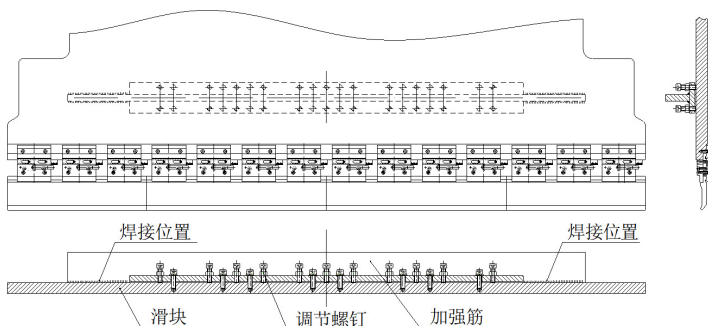


图4

(6) 后定位挡料机构

后挡料采用数字式交流伺服电机驱动，具有闭环控制和回退控制功能。挡块为机械式结构，调整方便，精度高，具有足够的机械强度和刚度。X轴采用精密滚珠丝杠传动和双直线导轨导向，速度快，精度高。

后挡料机构由伺服电机通过齿形同步带带动滚珠丝杠，使横梁及挡块一起前后移动（X轴）。挡块可回转掀起以加高挡料高度，移动距离可直接在操作面板上设置。上调节把手可调节挡块组件上下移动（R轴）；挡块后面的微调旋钮，可微量调整挡块前后移动（X轴）；下调节把手可调节整个横梁上下移动，以满足不同工件的折弯需求。挡料速度可由编程控制，并具有退让功能。后定位挡料机构见图5。

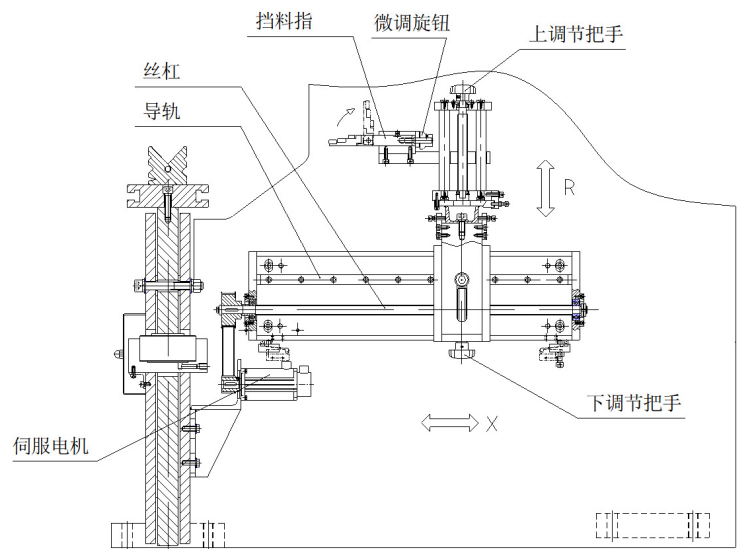


图5

(7) 数控系统

数控系统采用意大利ESA系列折弯机专用高档数控系统，屏幕大，界面友好。系统具有自诊断功能，可为所有功能部件提供检测及诊断。产品模具信息可通过USB闪存驱动器进行程序外部存储。内藏式PLC减少了电路设计复杂度，增加了扩展功能，提高了可测量性和适应性。

系统内含自动编程功能，使操作者可通过数控系统自动获取最优化的折弯工艺方案。

数控系统适应工业环境，抗干扰能力强，运行可靠稳定。

(8) 数字闭路液压系统

a) 主传动采用最新的全闭环电-液同步控制系统控制同步运行，抗偏载能力强，同步精度高。液压控制阀组选用德国力士乐产品。

b) 机架两侧安装两条高精度光栅尺进行滑块行程闭环检测。高精度的导向系统、位置测量系统和液压均衡功能，能满足全长或偏心加工的需要。

c) 通过数控系统实时调整液压系统以保持两油缸同步及滑块的高精度定位。整个液压系统结构紧凑、牢固、控制精度高，且维修方便。

(9) 光栅尺的固定支架和床身分开的结构

机架喉口设有两块“C”型板。“C”型板下部固定在床身下部，上部则与床身主体分离。光栅尺安装在“C”型板上部，使检测机构不受床身压力变形的影响，确保制件精度。光栅尺的固定结构见图6。

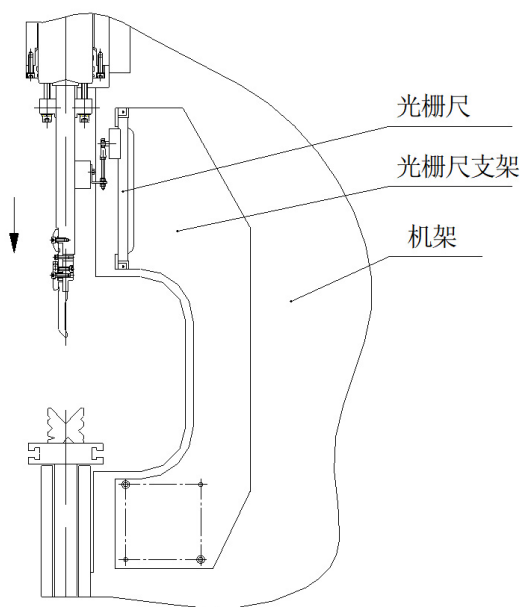


图6

(10) 设备的安全性

机床左右两侧安装防护门，并设有安全光幕。上部及左右油缸装有防护装饰板。后部设有网状防护门，并具有开门断电功能。这些措施保证了机床的使用安全性。

3. 技术参数性能指标

- 最大折弯公称力：1000 kN；
- 最大折弯长度：3200 mm；
- 滑块最大行程：250 mm；
- 工作台的平面度：纵向 0.08 mm，横向 0.02 mm；
- 与上模贴合的支撑面对工作台面的平行度：纵向 0.18 mm，横向 0.04 mm；

- 滑块行程对工作台面的垂直度：0.25 mm；
- 滑块运行的同步精度： ± 0.01 mm；
- 折弯工件的角度误差：在全长上 $\pm 1^{\circ} 30'$ ；
- 折弯工件的直线度：在1000 mm长度上 0.75 mm。

4. 主要创新点

(1) 全闭环电-液同步控制系统的运用

机床采用全闭环电-液同步控制系统控制同步运行，配合高精度光栅尺形成全闭环控制，同步控制精度高，折弯精度高，抗偏载能力强，同步精度可达 ± 0.01 mm。

(2) 滑块的行程大

机床最大工作行程为250 mm，在同规格机床中具有优势。大工作行程拓宽了工件的加工范围。

(3) 光栅尺的固定支架和床身分开的结构

光栅尺固定支架与床身主体分离的设计，使检测机构不受床身压力变形影响，确保了制件精度。

(4) 工作台的挠度补偿结构

工作台采用数控补偿系统，补偿量可由数控系统设定，保证了全长折弯角度的一致性。该闭环控制挠度补偿机构设计独特，精度高。

(5) 上滑块的直线度调整机构

滑块内侧的T型加强筋和连接螺钉的拉、顶结构，便于调整安装上模基面的直线度，降低了该基面的加工难度，并增强了滑块强度。

(6) 内藏式PLC的结构

选用内藏式PLC减少了电路设计，增加了扩展功能，提高了可测量性和适应性。系统内含自动编程功能，使操作者可通过数控系统自动获取最优化的折弯工艺方案，降低了操作难度。

5. 市场前景

电液同步数控折弯机操作方便快捷，功能先进、外形美观，抗偏载能力强，行程大，加工范围宽，加工精度高，是钣金制造行业的理想设备。产品经用户使用反馈效果良好，完全满足客户要求。此产品响应了国家大力发展高新装备制造的政策，具有广阔的市场发展前景和社会经济效益，推广价值显著。□