



凯特精机4米高精度大型滚珠丝杠副出货交付

2024年1月，凯特精机FYD6310系列高精度大型腰返式双螺母滚珠丝杠副正式出货交付，其中，滚珠丝杠副长度为4米，动载荷可达6500kgf，产品精度达C3，应用于大型龙门加工中心等设备。



FYD6310大型滚珠丝杠副的下线出货，标志着凯特精机滚珠丝杠副的研发已突破公称直径63的大关，可与凯特精机其他已开发的40与50系列滚珠丝杠副及滚柱直线导轨副形成整机滚动功能部件配套的能力，助力高端国产机床的发展。

HTPM滚珠丝杠副按预紧方式分为增大钢球预紧（Z）、双螺母垫片预紧（D）和变位预紧（B）。此次正式完成生产的大型FYD6310腰返式滚珠丝杠副属于双螺母垫片预紧（D）方式。

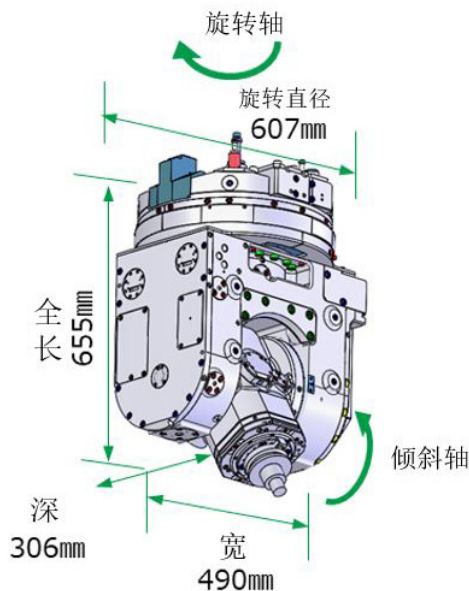
主要特点：两点接触，形式结构简单，轴向性好，预紧可靠，工艺性好，适用于重预紧、高刚度、重载荷传动。

尼得科机床推出新开发的紧凑型&强力万向铣头

尼得科集团旗下的尼得科机床株式会社开发出了MVR系列五面龙门铣床配件之一的“新型万向铣头（以下简称“UH”）”，在保持了以往产品的高输出功率、高速主轴的同时，将尺寸缩小为以往产品的约80%*1，实现了行业高水平的小型化。

UH的小型化，提高了工具与加工件之间的接近度，在理想的加工条件下实现了加工面的成色和高效加工，充分

发挥了“轻薄短小”的特点，为模具等的制造做出了较大贡献。



此次新开发的UH结构更加紧凑，以增加工具与加工件之间的接近度和可动范围，同时加长了安装工具的倾斜轴的突出部分，提高了与加工件之间的接近度，实现了短小工具的使用。并且，在需要使用长工具的加工过程中，主轴的刚性提高可实现从粗加工到细加工的各种加工操作。此外，旋转直径和干涉范围的改进使UH可接近壁面至220mm，减少了与工件之间的干涉范围，实现了小型、薄形和深角部的精细加工。

为了提高效率，将主轴转速提高到 $20 \sim 6,000 \text{r/min}^{-1}$ ，主轴输出功率提高到 $15 \text{kW} / 420 \text{r/min}^{-1}$ ，主轴最大扭矩提高到 $341 \text{N} \cdot \text{m}$ 的同时，通过各轴分度时间的高速化来缩短非加工时间，通过提高配件的刚性来缩短加工时间等，旨在提高生产率。此外，该UH还可以在高输出功率时，每度分度一次，从而提高加工的灵活性，并可以处理从铸件的重切削到模具高精度精加工的各种工件。

该UH适用的机型是尼得科机床株式会社生产的MVR系列和MVR·Hx系列的五面龙门铣床，对于已经交付的用户，也可以通过改装的方式进行安装。

SW在苏州成功交付全球第1000台 BA W06系列机床

近2024年2月28日，德国埃斯维机床有限公司（SW 公司）对外宣布：SW 全球第1000台BA W06系列机床在苏州工厂正式交付。

BA W06卧式加工中心，是多主轴的直线电机机床，其X轴、Y轴和Z轴的移动速度高达120米/分钟，处于行业领先水平。得益于SW 专利的整体框架式结构，BA W06还有着极高的精度和灵活性，3个轴的定位精度为0.006毫米。为适应新能源汽车轻量化加工需求，SW 对BA W06进行了多项性能升级，包括革新自动化设计、升级加工空间等，其可为新能源车电机壳体、变速箱壳体、发动机缸体、铸造减震塔和悬挂部件提供经济高效的加工方案。



目前在中国市场上，BA W06机床的忠实用户包括TUOPU拓普、Chervon泉峰汽车、IKD爱柯迪、Huasuo华朔科技、Millison美利信科技、Citic中信戴卡等业界知名企业。

舒勒伺服冲压线在新朋投入生产

近日，位于上海临港的上海新朋景硕汽车零部件有限公司举行了全新舒勒伺服冲压线的投产仪式。该设备由五台伺服直驱压力机组成，总冲压力达到了7700吨。舒勒最新的横杆机械手自动化系统负责将零部件直接从一台压力机输送到下一台压力机的模具中，且不需要在中间等

待。该生产线的产出率高达每分钟16冲次，可生产乘用车的钢制与铝合金外车身覆盖件。这条生产线由新朋景硕公司在2022年底订购。



上海新朋景硕汽车零部件有限公司的母公司为上海新朋联众汽车零部件有限公司，后者是多家全球著名跨国公司的主要车身零部件供应商。除冲压外，该公司还拥有开卷落料、车身焊装等多种加工工艺。舒勒与上海新朋联众汽车零部件有限公司已有十多年的业务往来，舒勒集团将持续深化与上海新朋联众汽车零部件有限公司合作。

多个机床工具企业项目上榜2023年度智能 制造系统解决方案揭榜挂帅项目名单

日前，工业和信息化部公布2023年度智能制造系统解决方案揭榜挂帅项目名单，共有161个项目上榜，多家机床工具企业及其相关项目位列其中，如天津市天锻压力机有限公司（25）、上海交大智邦科技有限公司（48）、福建省威诺数控有限公司（77）、泉州华数机器人有限公司（79）、江西佳时特数控技术有限公司（84）、机械工业第六设计研究院有限公司（91）、东风设备制造有限公司（98）、海克斯康制造智能技术（青岛）有限公司（153）等。

相关文件（工信厅联通装函〔2024〕18号）显示，为全面贯彻党的二十大精神，按照全国新型工业化推进大会部署要求，落实《“十四五”智能制造发展规划》，加快提升智能制造供给能力，经地方推荐、专家评审、社会公示等程序，遴选出161个智能制造系统解决方案揭榜挂帅项目（名单见附件），予以公布。要求各地工业和信息化、市场监管主管部门加强对揭榜单位的指导、监督和服务，在同等情况下，鼓励给予政策、要素等优先支持，强化优秀成果应用推广，更好支撑制造业智能化发展。



积极进取，勇于担当 促进产业向新而生

中国机床工具工业协会

2023年，是全面贯彻党的二十大精神的开局之年，是三年新冠疫情防控转段后经济恢复发展的一年。新一届政府全面深化改革开放，着力扩大内需、优化结构、提振信心、防范化解风险，推进了我国经济回升向好、高质量发展。2023年，机床工具行业经历了年初恢复性增长，但是受国际环境、地缘政治及下游装备投资乏力等因素影响，二季度开始持续下滑，形成全年营收持平或略有下降的运行趋势。

当前，我国经济正面临的困难，主要是有效需求不足、部分行业产能过剩、社会预期偏弱、风险隐患仍然较多，国内大循环存在堵点，外部环境的复杂性、严峻性、不确定性上升。面对挑战，中国政府聚焦经济建设这一中心工作，坚持高质量发展，坚持改革开放，坚持深化供给

侧结构性改革和着力扩大有效需求协同发力。2023年底召开的中央经济工作会议，提出“以科技创新引领现代化产业体系建设”作为2024年首要工作任务。

2024年，政府将以科技创新推动产业创新，特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能，发展新质生产力。还将完善新型举国体制，实施制造业重点产业链高质量发展行动，加强质量支撑和标准引领，提升产业链供应链韧性和安全水平。要大力推进新型工业化，发展数字经济，加快推动人工智能发展。打造生物制造、商业航天、低空经济等若干战略性新兴产业，广泛应用数智技术、绿色技术，加快传统产业转型升级。财政政策方面，政府将落实好结构性减税降费政策，重点支持科技创新和制造业发展；货币政策方面，政府将引导金融机构加



加大对科技创新、绿色转型、数字经济等方面的支持力度，并促进社会综合融资成本稳中有降。

中央经济工作会议明确提出科技创新推动产业创新、打造新兴产业、开辟新赛道，还提出要以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能。我们可以清晰地看到，2024年政府的工作重心在产业体系建设，聚焦点在新兴产业、数字经济、绿色低碳和智能化等。前不久召开的全国工业和信息化工作会议，也提出了同样的目标和任务。

2024年，机床工具行业仍然是机遇与挑战共存。我国超大规模市场基本盘依然存在，高水平科技自立自强依然是经济发展的重要任务，政府也将通过节能减碳来推动大规模设备更新等，这些措施将推动经济实现质的有效提升和量的合理增长。可以说，中国机床工具市场需求基本盘依然在，受政府投资增长、重点项目实施、相关政策推动，有望实现一定的增长。但是，需求增长可能仅限于新兴产业、绿色低碳和设备升级改造等为数不多的几个领域，传统市场领域的竞争将更加激烈。

2024年，机床工具行业的另一个关键点是国际化。从全球机床工具业发展规律、制造业发展轮动趋势来看，国际化是中国机床工具企业的必选题。众多行业企业已经在走出去方面进行了大量探索，但如何走得稳、站得住、行得远，则是企业的必答题。能否摒弃价格战、恶性竞争，走差异化、高质量、可持续的发展道路，需要整个机床工具行业共同解题。

2024年，中国机床工具工业协会将聚焦产业链高质量发展、关键技术与装备自立自强、新产能投资及旧设备更

新改造需求、战略性新兴产业市场、走出去国际化发展等行业难点和热点问题开展调查研究并提出建议；将围绕行业互联互通协议技术迭代和应用推广、探索促进行业人才培养新机制、通过履行规范行为促进行业自律等方面，开展服务行业与会员的工作。

2024年，协会将加强国际交流合作，用好国际国内双循环。以展览展示工作为抓手，全力恢复因疫情阻隔的线下国际交流合作。积极筹备第十三届中国数控机床展览会（CCMT2024），组织行业企业赴境外参加展会、参观交流。既要引进来，还要走出去，通过技术、标准等方面的合作，进一步提升中国在全球机床工具产业链中的地位。

新的一年，协会将继续以维护全行业共同利益、服务行业发展为宗旨，积极履行三大职能，协助行业企业开拓市场、促进行业先进技术应用，在政府、国内外同行业企业和用户之间发挥桥梁、纽带作用，推进探索行业发展战略路径与凝聚行业共识的工作，积极回应政府、行业 and 用户等各方关切，体现行业组织的责任与担当，切实推进行业的高质量发展。

最后，协会号召行业企业要结合自身实际，认真研判，领会政府精神，看准了就抓紧干，能多干就多干，努力以自身工作的确定性应对形势变化的不确定性。

新年到来之际，中国机床工具工业协会常设机构及各分支机构，向行业用户和广大会员、行业企业的全体人员致以节日的问候和诚挚的祝福！向所有关心、支持我国机床工具产业发展的各级领导和社会各界人士表示衷心的感谢！□





1. 机床工具（工业母机）产业持续获得政策助力

党的二十大报告指出，坚持把发展经济的着力点放在实体经济上。受政策指引，机床工具产业受到更多重视，相关支持政策陆续出台。2023年7月，财政部、税务总局发布《财政部 税务总局关于工业母机企业增值税加计抵减政策的通知》；随后9月，工业和信息化部、财政部、国家税务总局三部门发布《关于2023年度享受增值税加计抵减政策的工业母机企业清单制定工作有关事项的通知》；2023年9月，财政部、税务总局、国家发展改革委、工业和信息化部四部门联合发布《关于提高集成电路和工业母机企业研发费用加计扣除比例的公告》；2023年9月，工业和信息化部联合国家发展改革委、国务院国资委三部门出台《关于支持首台（套）重大技术装备平等参与企业招标投标活动的指导意见》。

2. 行业企业创新能力和产业化能力显著增强

2023年是贯彻二十大精神的开局之年，也是行业高质量发展备受瞩目的一年。行业企业深度聚焦航空航天、新能源、船舶、3C、半导体、医疗器械等用户市场需求，快速响应用户领域转型升级，新产品、新技术不断涌现，且创新成果产业化能力明显增强。2023年3月，中国机床工具工业协会2022年度先进会员（双十佳）评选结果出炉，获得“自主创新十佳”称号的产品作为行业最新研发成果的缩影引发行业及用户领域关注。其中，航天工程装备（苏州）有限公司HT-DLM10X560超长型材智能搅拌摩擦焊成套装备，广泛用于轨道交通、船舶、汽车、海洋工程领域需求；汇专科技集团股份有限公司UGT-500超声绿色高效钻攻中心，深度服务3C、汽车、航空航天、医疗等领域；合肥合锻智能制造股份有限公司HFP2600超高强度钢板间接热成形生产线应用于大型客机、载人航天等领域；齐重数控装备股份有限公司DVT400X20/32L-MC双柱立式车削加工中心满足风电、工程机械、能源、船舶、矿山、冶金、轨道交通等领域需求，等等。更可喜的是，“产品质量十佳”中有部分产品在此前年度曾获得过自主创新十佳称号，如科德数控股份有限公司的五轴立式车铣复合加工中心、江苏亚威机床股份有限公司

的数控飞摆剪切线等创新产品，实现了高质量批量应用，行业新产品、新技术的市场化、产业化能力显著增强。

3. 机床工具（工业母机）产业链受到资本市场关注

机床工具符合国家自主可控和制造业为主的政策导向，相关产业链也持续受到资本市场关注。2023年11月，由工业母机产业投资基金联合国家工业母机创新研究院主办的首届工业母机技术产业投资大会在苏州召开，探讨工业母机技术突破、产业发展、投资机遇等，以期共同推动国内工业母机产业高质量发展。具体到企业层面，2023年3月，乔锋智能装备股份有限公司深交所创业板首发获通过；2023年4月，北京博鲁斯潘精密机床有限公司完成了超过2.5亿元的D轮融资；2023年8月，广东宏石激光技术股份有限公司深交所主板首发获通过。等等。

4. 机床工具行业企业积极参与产业链协同创新

2023年1月30日，工信部和国资委联合发布2022年度重点产品、工艺“一条龙”应用示范方向和推进机构名单，共有16个重点方向入选，涉及数控机床等领域。其中，秦川集团工业机器人RV减速机，华中数控高档数控系统，宁波机床研究院机床主轴、滚珠丝杠、直线导轨，武汉锐科光纤激光器等项目，均涉及多家上下游企业，广州数控、科德数控、华工激光、交大智邦、埃弗米、海德曼、北平机床、星火机床、长春禹衡、新松机器人、凯特精机、博特精工等众多机床工具企业参与其中。

随着产业链协同创新趋势逐步加深，诸多行业企业纷纷开展上下游合作：2023年4月，重庆机床集团与浙江双环传动机械、广州数控、永业科技签署战略合作协议；同月，武重集团与华中数控签署战略合作协议。2023年7月，奔腾激光与上海建工（江苏）钢结构达成战略合作。2023年10月，宝鸡机床集团与南昌齿轮签订战略合作协议。等等。

5. 着力破解人才瓶颈，行业产教融合深入开展

推动行业高质量发展，高水平、高素质的技术技能人才不可或缺，行业企业积极探索尝试以组建产教融合共同体的方式破解人才短缺难题。2023年10月20日，由北京精雕科

技集团有限公司、南京航空航天大学、南京工业职业技术大学牵头，联合全国百余家行业组织、学校、科研机构、上下游企业等共同组建的全国机械行业高端数控装备产教融合共同体成立。2023年11月14日，由武汉华中数控股份有限公司、华中科技大学、武汉软件工程职业学院共同牵头，联合行业组织、本科学校、职业院校、科研机构和智能装备产业上下游近百家企业共同组建的全国高档数控系统和智能装备产教融合共同体在武汉成立。2023年11月19日，由亚威股份、扬州大学、扬州工业职业技术学院联合主办的“全国金属板材加工装备行业产教融合共同体”成立大会在扬州举行。等等。作为指导单位，中国机床工具工业协会对以上共同体的组建给予大力支持和引导。

6. CIMIT2023观众人数等三大指标创新高，CCMT2024面积扩容达20万平方米

于2023年4月10-15日举办的第十八届中国国际机床展览会（CIMIT2023），总人次、总人数、观众人数三大指标均创历史新高：总人次336504，较CIMIT2021增长28.61%，与CIMIT2019相比增长5.36%；总人数242246，较CIMIT2021增长21.11%，与CIMIT2019相比增长6.89%；进馆观众人数154957，较CIMIT2021增长26.98%，与CIMIT2019相比增长11.42%。

第十三届中国数控机床展览会（CCMT2024）将于2024年4月8-12日在上海浦东上海新国际博览中心举办。本届展会使用上海新国际博览中心E1-E7、N1-N5、W1-W5共17个室内展馆，展会总面积达20万平方米，将成为有史以来国内举办的规模最大的机床工具专业展览会。

7. 机床工具行业20个项目获得2023机械工业科学技术奖

经机械工业科学技术奖机床工具专业评审组评审推荐，机床工具行业20个项目获得2023年度机械工业科学技术奖，获奖比例为44.4%。20个获奖项目中，一等奖2项、二等奖9项、三等奖9项。由济南二机床集团有限公司完成的“大型智能、高速、全自动冲压生产线关键技术研发及产业化应用”荣获科技进步一等奖；由哈尔滨理工大学、中国航发哈尔滨东安发动机有限公司、株洲钻石切削刀具股份有限公司、国宏工具系统（无锡）股份有限公司、哈尔滨新力光电技术有限公司、航天科工哈尔滨风华有限公司共同完成的“航空航天能源装备关键件加工用刀具‘形-性-用’一体化设计及管控技术”荣获技术发明一等奖。

8. 机床工具协会团体标准工作持续深入开展

2023年4月，中国机床工具工业协会团体标准《用于数控系统的光栅传感器通信协议（NCEC）规范》正式发布，

开辟了国内数控系统和光栅传感器互联通信协议的先河。在4月CIMIT2023展会期间，中国机床工具工业协会与德国机床制造商协会，针对数控机床互联互通协议进行了线上交流。此后又分别于9月EMO2023展会期间和11月底，两协会在德国和中国进行了面对面会谈，就NC-Link与umati的最新技术进展及共同开展推广等事宜进行了交流。2023年8月，中国机床工具工业协会发布了2023年第二批团体标准批准公告，包括《二维激光切割机床 典型试件切割精度评定》和《数控机床数据 工业互联网标识编码规范》两项团体标准。2023年9月，中国机床工具工业协会在包头召开机床数控系统相关的三项团体标准启动会。2023年10月，中国机床工具工业协会团体标准《光栅位移传感器可靠性设计规范》启动会在井冈山召开。2023年12月，中国机床工具工业协会在无锡召开电火花机床相关的两项团体标准启动会。据悉，本年度，协会团体标准工作委员会秘书处共收到数控系统等7个分会提交的14项协会团体标准计划项目立项申请，经过相关流程审定，共有4个分会的10项申报项目列入团体标准计划项目。2023年，协会还通过NC-Link联盟大会、NC-Link技术生态大会、线上技术交流、专题标准宣贯会议等多种形式开展了团体标准的宣贯推广工作。

9. 多家机床工具企业上榜第五批专精特新小巨人企业

2023年7月，第五批国家级专精特新“小巨人”企业公示名单出炉。据粗略梳理，机床工具行业企业中，北京安德建奇数字设备股份有限公司、苏州三光科技股份有限公司、扬州锻压机床有限公司、山东威达重工股份有限公司、东风专用设备科技有限公司、呼和浩特众环工贸股份有限公司、西安爱德华测量设备股份有限公司、巨冈精工（广东）股份有限公司、沈阳马卡智工科技有限公司、南通超力卷板机械制造有限公司、本溪工具股份有限公司等多家企业上榜。

10. 行业企业加大海外市场开拓力度，2023年行业进出口贸易全面实现顺差

受疫情等影响，全球制造业产业链重构，东南亚、印度、墨西哥、欧洲等市场对行业企业的吸引力不断加大，不少机床工具企业加大海外市场开拓力度，企业国际竞争力不断增强。2023年10月，济南二机床集团有限公司正式成立济南二机床欧洲有限公司和济南二机床墨西哥有限公司，向全球用户表达了进一步加强国际化战略、服务全球客户的决心；亚威股份持续加大海外市场投入，已在全球60多个国家和地区设有销售代理机构，2023年上半年公司海外销售收入同比增长20.6%。等等。统计数据显示，从2023年上半年起机床工具进出口贸易中，9个商品门类全部保持顺差。□



立足新阶段 · 适应新变化 · 对标新要求

——中国机床工具工业协会九届五次理事会议召开

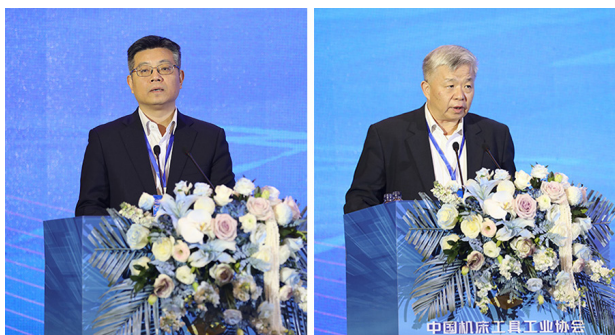
中国机床工具工业协会传媒部 兰海侠

2023年12月27~28日，中国机床工具工业协会九届五次理事会议在宝鸡市成功召开。来自协会第九届理事会轮值理事长、副理事长、常务理事、理事单位的主要负责人或高管，协会第二届监事会成员，特邀单位代表，协会常设机构各部室负责人，以及协会各分会秘书长、副秘书长等共350余人参加了此次会议。工业和信息化部装备工业一司一级巡视员苗长兴、装备工业一司通用机械处华霄桐，国家国防科工局战略规划处处长刘存龙，中国宏观经济研究院产业经济与技术经济研究所副主任徐建伟，陕西省工业和信息化厅副厅长刘波，宝鸡市人民政府副市长张昭等有关部门和政府机构领导受邀参会。中国机床工具工业协会常务副理事长兼秘书长毛予锋、执行副理事长王黎明、执行副理事长郭长城、执行副理事长王旭、副秘

书长穆东辉出席会议。

2023年，是全面贯彻党的二十大精神开局之年，是三年新冠疫情防控转段后经济逐步恢复的第一年，也是机床工具工业行业面对市场回暖迟滞、国内外形势复杂多变的一年。2023年，还是国家支持机床工具产业发展政策密集出台、行业高质量发展备受关注的年份。在这样一个较为特殊的年景下，业界急需进行广泛而深入的沟通和交流，行业企业急需更好地提振信心、勇毅前行，中国机床工具工业协会九届五次理事会的召开恰逢其时。

本次会议由秦川机床工具集团承办。27日上午的议程由机床工具协会当值理事长、秦川机床工具集团股份有限公司党委书记兼董事长马旭耀主持，下午的议程由机床工具协会执行副理事长王旭主持。



马旭耀（左）、王旭主持会议

陕西工业和信息化厅副厅长刘波、宝鸡市副市长张昭分别发表致辞，介绍了陕西省和宝鸡市高端制造业及机床工具产业发展情况，显示了地方政府对相关行业企业的大力支持。在相关主题报告中，工业和信息化部装备工业一司一级巡视员苗长兴肯定了我国机床工具行业近年的发展成效，并对相关政策进行了解读；国家国防科工局战略规划处处长刘存龙表示，近年来我国机床产品在质量和技术水平方面取得较大提升，并希望在今后的国防科技建设中发挥更大的作用；中国宏观经济研究院副主任徐建伟阐述了我国推进新型工业化面临的重点任务及相关任务解读。宝鸡市经信局局长巨绪昌介绍了宝鸡市机床工具产业发展历史、概况和特点。



苗长兴

刘存龙

徐建伟



刘波

张昭

巨绪昌

会议邀请了多家机床及用户企业代表进行主题交流。陕西法士特集团副总经理寇植达做《汽车变速器领域机床

工具应用现状与需求》的报告；陕西柴油机重工有限公司副总经理雷军做《需求推动深度合作，创新赋能高质量发展》的报告；秦川机床工具集团股份有限公司副总裁刘耀做《秦川机床转型升级与最新发展》报告；秦创原创新促进中心科技经济部副部长张江做《秦创原创新驱动发展平台总窗口，西咸新区数控机床产业政策推介》报告。用户代表概述了各自行业及产品发展现状以及对机床工具产品的需求、对行业企业的建议，机床工具企业介绍了在服务用户和科技创新方面所做出的努力，供需双方均表达了继续深入开展上下游联合攻关和产业链协同创新的意愿，并突出介绍了已经取得的进展。



寇植达

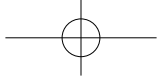
雷军



刘耀

张江

机床工具协会常务副理事长兼秘书长毛予锋做《中国机床工具工业协会2023年重点行业工作汇报》，介绍了协会2023年开展的重点行业工作，以及2024年将开展的工作计划。内容涵盖开展行业调查研究、支撑政府重大战略项目、搭建并推进行业工业互联网平台、持续探索人才培养新机制、开展国际交流合作、规范企业行为等方方面面。多年来，机床工具协会坚持发挥桥梁纽带作用，积极深入基层企业，摸清行业发展现状，预判行业发展趋势，针对行业发展的热点、难点、痛点，完成相关研究课题、开展相关行业活动、提出相关政策建议、宣传优秀典型案例等等，为政府、行业、机构及会员企业提供全方位、深层次服务。2024年，协会将重点调研行业企业新成果推广需



毛予锋



王黎明



郭长城



穆东辉

求、对相关产业政策实施的意见，着力推进行业互联互通协议的技术迭代和应用推广，积极探索行业自律、人才培养新机制等，努力提供更高质量的服务。

机床工具协会执行副理事长王黎明介绍2023年协会开展的相关展览业务。特别值得关注的是，第十三届中国数控机床展览会（CCMT2024）总面积大幅突破，达20万平方米，将成为有史以来国内举办的规模最大的机床工具专业展览会。诸多境内外知名企业积极参展CCMT2024，共有来自24个国家和地区的约2000家企业确认参展，目前筹备工作进展顺利。王黎明还介绍了欧洲国际机床展（EMO2023）以及协会组团赴境外参展的相关情况。

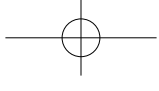
机床工具协会执行副理事长郭长城做2023年机床工具行业运行报告，用详实的数据分析了2023年1-10月机床工具行业生产、消费、进出口等基本情况，总结了当下行业运行呈现的特点，阐明了行业企业面临的形势、任务与要求，为企业在未来经营中制定科学发展战略提供参考。

会议审议通过《中国机床工具行业自律公约（征求意见稿）》等三项议案。在介绍自律公约出台背景时，机床

工具协会副秘书长穆东辉表示，我国机床工具行业正处于高质量发展的关键时期，行业企业的成绩和努力有目共睹，但同时个别行业企业在市场、人才、知识产权等方面仍存在不良竞争，给机床工具行业声誉带来负面影响，因而加强行业自律成为当务之急。

本次会议，主题鲜明，内容丰富，涵盖了宏观经济分析、产业政策解读、机床工具行业经济运行分析、产业链上下游协同创新交流、陕西省及宝鸡市机床工具产业发展特色等多个层面。在充分呈现我国机床工具行业取得的成绩与发展的同时，也彰显了近年来从中央到地方政府，对数控机床产业的高度重视，持续在政策层面给予积极助力。结合宏观经济形势和机床工具行业运行数据，当前行业企业正面临市场需求持续转型、运行成本加大、总体利润下降的严峻形势，企业经营出现分化，行业行至高质量发展阶段，如何立足新阶段、适应新变化、对标新要求，成为行业企业下面面临的一个重要课题，需要全行业共同努力给出更好的答案。

会议组织全体代表参观了秦川机床、宝鸡机床、陕柴重工、秦创原、法士特高智新工厂等企业。□



深入交流 共话未来

——2024年部分在华外资企业及驻华机构领导人联席会在京召开

中国机床工具工业协会传媒部 李华翔



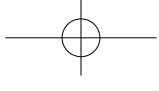
1月19日，由中国机床工具工业协会举办的“2024年部分在华外资企业及驻华机构领导人联席会”在京召开。中国机床工具工业协会毛予锋会长，王黎明、郭长城、王旭副会长出席会议。会议由王黎明副会长主

持。来自11个国家和地区的44家外国驻华企业及外国协会组织、机构的近70余位代表齐聚一堂，交流过去一年企业经营情况与体会，展望未来一年市场前景和期盼。

会上，王旭副会长代表协会致欢

迎词，毛予锋会长做了题为“2023年中国机床工具行业经济运行情况分析”的报告，王黎明副会长详细介绍了第十三届中国数控机床展览会（CCMT2024）的有关筹备工作。

毛予锋会长在报告中首先介绍了



2000-2022年中国机床消费及其全球占比情况，然后对2023年1-11月中国机床工具进出口、营业收入、利润总额、机床产量、订单等信息数据进行分析，认为2023年全年国内机床主机营业收入可望与2022年持平，行业总体上略有下降。

对于2024年的预判，毛予锋会长在会上指出，虽然有关国际经济机构分析认为，当前世界经济增长动力不足，以及局部地区冲突和地缘政治因素影响带来的全球经济的不确定因素的增加，但中国机床工具市场需求基本盘依然在，受政府投资增长、重点项目实施、相关政策推动，预计2024年金属加工机床的需求预期会好于2023年，新的一年有利因素将多于不利因素。

会议交流阶段，与会代表们踊跃发言，分享了各自企业在2014年的

总体运营情况，对当前的经济形势和市场进行了分析，并对行业热点问题发表了各自观点。

2023年，在华外企在中国市场的表现不尽相同，不同产品类别的销售业绩差异也较为明显。总的来看，受3C、汽车模具等市场下滑影响，再加上产业链转移重构等因素，通用类产品占比较大的企业经营业绩下降明显，而坚持产品多元化、定制化经营的企业经营业绩则基本保持平稳，其中检验检测量、数控系统、高端磨床等企业表现突出，实现了较高的增长目标。这些表现良好的企业依托雄厚的研发实力，深挖客户需求，在航空、新能源、医疗、半导体等新兴市场，以及用户产品升级改造中抓住机遇，赢得了更多的市场份额。

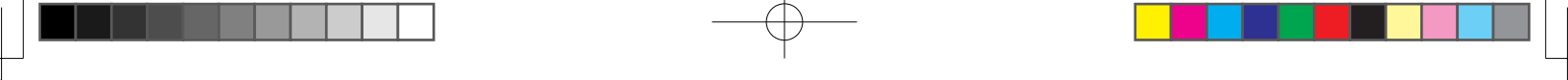
发言中，在华外企对于国内同行的快速进步也普遍表示认可。部分

与会在华外资企业认为，国内企业目前虽然在制造经验积累，软件开发，参数优化等方面还存在一定的短板，但进步很快，已经形成了对国外品牌的竞争，假以时日，其竞争实力不容小觑。

展望2024年市场前景，与会大多数在华外企代表持谨慎乐观态度，预测2024年市场状况将好于2023年，2024年下半年要好于上半年。部分代表表示，面对复杂的国内市场环境和竞争压力，企业需要认真思考如何通过数字化、自动化、智能化方面的不断进步，给中国客户带来更多的产品附加值。

会上，在华外企对即将召开的CCMT2024也充满了期待，希望届时能在这一规模最大的机床工具年度盛会上展最新研发的产品与技术，助力新时代中国制造业的健康发展。□





2023年机床工具行业经济运行情况

中国机床工具工业协会信息统计部

2023年，机床工具行业年初曾恢复性增长，但是受国际环境、地缘政治及下游装备投资乏力等因素影响，二季度开始持续下滑，全年营业收入、利润总额同比有所下降。

本报告采用的机床工具行业及主要分行业营业收入、利润总额和利润率，金属加工机床的生产额和消费额等数据，是中国机床工具工业协会根据国家有关部门公开发布的部分数据结合行业的专业要素分析计算得出。

一、机床工具行业运行情况

1. 营业收入

2023年，机床工具行业完成营业收入10974亿元，同比下降10.3%。

主要分行业的营业收入及同比变动情况，详见表1。

表1 2023年主要分行业营业收入及同比情况

指标名称	单位	金属切削机床	金属成形机床	机床功能部件及附件	切削工具	磨料磨具
营业收入	亿元	1586	891	572	1097	5305
同比增减	(%)	-7.2	7.5	-10.3	-0.2	-13.5

2. 金属加工机床生产额与消费额

2023年我国金属加工机床生产额为1935亿元，同比增长1.1%。消费额为1816亿元，同比下降6.2%。

金属切削机床和金属成形机床的生产额、消费额及同比变动情况，详见表2。

表2 2023年金属加工机床生产额与消费额及同比情况

产品名称	生产额		消费额	
	金额 (亿元)	同比 (%)	金额 (亿元)	同比 (%)
金属加工机床	1935	1.1	1816	-6.2
其中：金属切削机床	1135	-6.7	1108	-15.0
金属成形机床	800	14.6	708	11.8

3. 金属加工机床产量

根据国统局公布的规模以上企业统计数据，2023年金

属切削机床产量61.3万台，同比增长6.4%，自2023年9月以来，结束连续17个月的下降，恢复并保持增长；金属成形机床产量15.1万台，同比下降14.2%，延续自2022年6月以来的同比下降状态。

图1和图2，分别为近三年国统局公布的金属切削机床和金属成形机床产量的同比增速情况。

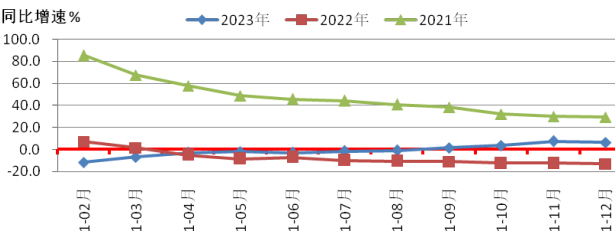


图1 金属切削机床产量同比增速情况

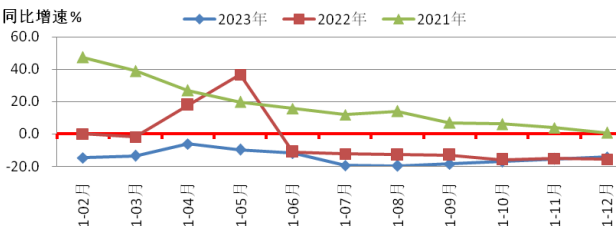


图2 金属成形机床产量同比增速情况

4. 利润总额与利润率

2023年，机床工具行业实现利润总额1132亿元，同比下降35.8%。

主要分行业累计实现利润总额、利润率及同比变动情况，详见表3。

表3 2023年主要分行业利润总额、利润率及同比情况

指标名称	单位	金属切削机床	金属成形机床	机床功能部件及附件	切削工具	磨料磨具
利润总额	亿元	114	54	41	121	682
同比增减	(%)	-13.4	1.3	-11.3	-3.2	-46.0
利润率	(%)	7.2	6.0	7.2	11.0	12.8
同比增减	百分点	-0.5	-0.4	-0.1	-0.3	-7.7

二、进出口情况

1. 总体情况

2023年，中国机床工具行业进出口总体小幅下降，其中进口明显下降，出口略有增长。

根据中国海关数据，机床工具商品进出口的金额及同比变动情况，详见表4。

表4 2023年机床工具商品进出口金额及同比情况

指标名称	单位	进出口合计	其中：进口	出口	贸易差
金额	亿美元	320.2	111.1	209.0	97.9
同比增减	(%)	-3.1	-10.3	1.2	18.3

机床工具主要商品门类的累计进口情况和出口情况，详见图3和图4。

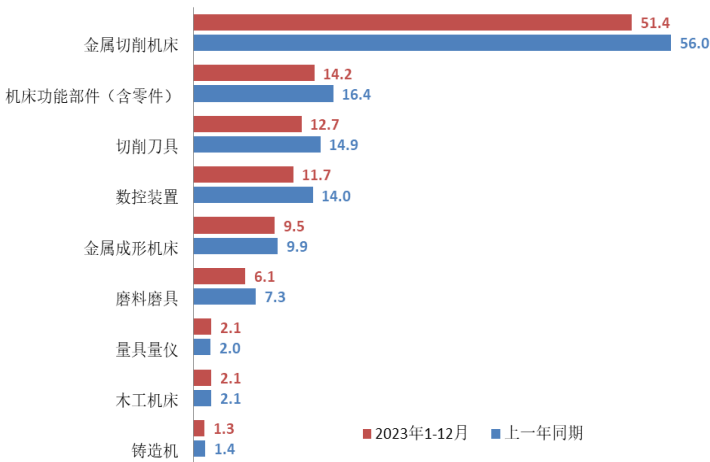


图3 机床工具产品累计进口情况（亿美元）

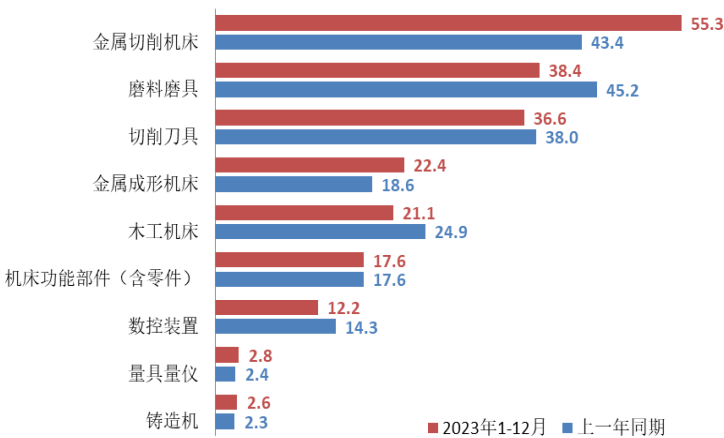


图4 机床工具产品累计出口情况（亿美元）

2. 金属加工机床进出口情况

2023年，金属加工机床总体进口明显下降，出口大幅增长。

根据中国海关数据，金属加工机床进口和出口的金额及同比变动情况，详见表5。

表5 金属加工机床进口和出口的金额和同比情况

产品名称	进口		出口		贸易差
	金额 亿美元	同比 (%)	金额 亿美元	同比 (%)	金额 亿美元
金属加工机床	61.0	-7.5	77.8	25.4	16.8
其中：金属切削机床	51.4	-8.2	55.3	27.6	3.9
金属成形机床	9.5	-3.8	22.4	20.4	12.9

(1) 进口金额排前五位的金属加工机床品种

2023年进口前五位品种的进口金额合计占比78.7%，详见表6。

表6 2023年进口金额排前五位的金属加工机床品种

排名	金属加工机床品种	进口金额（亿美元）	同比（%）	占比（%）
1	加工中心	19.9	-16.0	32.7
2	特种加工机床	9.1	-16.0	14.9
3	磨床	7.7	-3.8	12.7
4	齿轮加工机床	5.6	20.8	9.2
5	车床	5.6	8.5	9.2

(2) 出口金额排前五位的金属加工机床品种

2023年出口前五位的品种出口金额合计占比68.8%，详见表7。

表7 2023年出口金额排前五位的金属加工机床品种

排名	金属加工机床品种	出口金额（亿美元）	同比（%）	占比（%）
1	特种加工机床	22.9	17.6	29.4
2	车床	10.0	38.9	12.9
3	加工中心	9.0	95.1	11.6
4	成形折弯机	6.3	27.3	8.1
5	金属冷加工压力机	5.3	44.3	6.8

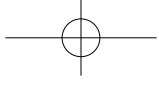
三、2023年机床工具行业运行特点

1. 整体需求减弱，订单总量下滑

2023年，全球制造业PMI均值为48.5%，较2022年下降3.3个百分点，全年各月均运行在50%以下，全球经济增长势头有所放缓。我国制造业PMI全年均值为49.9%，虽高于2022年0.8个百分点，但4月后仅有7月略高于50%。国内市场需求的恢复不及预期。协会重点联系企业的统计数据显示，金属加工机床的新增订单和在手订单，同比分别下降8.0%和14.3%。

2. 价格下行成本上升双向压缩利润空间

由于需求减弱，市场竞争加剧，部分产品价格下行，



用工成本上升等因素影响，2023年机床工具行业利润总额同比下降35.8%，较营业收入同比降幅高出25.5个百分点，利润率较上年同期降低4.1个百分点。

3. 各分行业间运行呈现分化

受军工、能源、汽车等领域对装备加工质量和效率提升要求的拉动，部分金属切削机床市场订单有所增加。金属成形机床前两年由于新能源汽车的拉动订单增长显著，2022年达到顶峰，2023年以来市场需求在不断回落，在手订单还比较饱满，但下一阶段可能进入下行。工量具在小幅增减之间波动，反映用户领域普遍不够活跃。磨料磨具行业上年市场旺盛，基数较高，2023年以来国内外市场双双转冷，伴随恶性竞争加剧，价格明显下降，该分行业营业收入和利润双双大幅下降。

4. 金属加工机床产量和生产额均小幅增长

国统局公布的规模以上企业统计数据显示，2023年金属加工机床产量76.4万台，同比增长1.6%。2023年我国金属加工机床生产额为1935亿元，同比增长1.1%。

5. 金属加工机床出口增长

自2011年以来，金属加工机床总体上呈现进口波动下降、出口持续上升趋势。2023年6月，随着金属切削机床转为贸易顺差，机床工具的9个商品领域全部实现贸易顺差。

2023年全年，金属加工机床出口同比增长25.4%，达到77.8亿美元。但同比增幅呈逐步减弱趋势。

四、对2024年机床工具行业运行情况的预判

2023年12月召开的中央经济工作会议指出，当前需要克服的困难和挑战，主要是有效需求不足、部分行业产能过剩、社会预期偏弱、风险隐患仍然较多，国内大循环存在堵点，外部环境的复杂性、严峻性、不确定性上升。但综合起来看，我国发展面临的有利条件强于不利因素，经济回升、长期向好的基本趋势没有改变，应增强信心和底气。

展望2024年，尽管存在诸多困难，机床工具行业也将迎来更多的发展机遇。宏观层面大力支持工业母机产业发展，税收、研发和人才培养等方面各项利好政策密集落地，必将有力推动机床工具行业实现高质量发展。各用户领域以智能化、绿色化为主要标志的转型升级，以及带来的设备更新、改造需求等，也将给行业带来新的市场机会。

综合各方面情况看，2024年机床工具行业将继续在承受压力的过程中不断恢复，如外部环境无重大变化，全年有望实现小幅增长。□

资讯

2024萨瓦尼尼上海展厅技术开放日成功举办

2024年1月16日，萨瓦尼尼邀请了各行业的钣金人士到萨瓦尼尼上海展厅，近距离观摩P2多边折弯中心演示各行业标准样件的折弯，并了解萨瓦尼尼柔性自动化设备和解决方案在行业中的应用。

萨瓦尼尼中国区总经理黄健东先生向到场来宾介绍了萨瓦尼尼公司60年的发展历程及对2024年的展望。萨瓦尼尼中国制造系统与应用经理赵劲峰先生讲解了萨瓦尼尼钣金智能制造技术和产品设计优化方案。之后，活动进入P2多边折弯中心现场演示环节。在现场，P2依次演示了各个行业的标准样件及多种特殊样件的折弯，展示了萨瓦尼尼多边折弯中心的性能水平以及设备的加工工艺和加工节拍，P2生产出来的工件展示了高水准的折弯精度与质量。

下午，萨瓦尼尼带领客户参观了摩登纳（中国）自动化

设备有限公司工厂。作为专注物流自动化30年的先进企业，摩登纳拥有大量自动化设备，其中就包括了萨瓦尼尼的各类设备。来访者们逐一参观了工件加工各个环节中的萨瓦尼尼设备。首先是配备ADLL自动上下料装置的L3光纤激光切割机，萨瓦尼尼的激光自动化配置能够与料库集成，保证激光系统的自动运转，有效降低人工成本。之后是由B3折弯机和机械手组成的ROBO- formER机器人折弯单元，机械手可代替多个工人完成大型厚重板材的上下料，搭配B3折弯机，可高效完成超高超厚工件的折弯，满足生产需求的多样化。最后是两条S4+P4钣金柔性生产线，该生产线集成MVC自动化立体料库，能够实现对金属板材的一站式冲压、剪切和折弯加工，整个流程无需对半成品进行中间处理，适配各类生产模式，同时有效提高生产效率。

机械系统可靠性理论与工程实践中 若干关键问题的思考（上）

重庆大学文理学院智能制造工程学院 张根宝
国家机床质量监督检验中心 赵钦志
重庆大学机械与运载工程学院 罗天洪

【摘要】针对目前机械系统可靠性理论和实践中存在的主要问题，从全新的视角出发对机电产品中机械系统的可靠性理论和方法进行了系统的思考并给出一些新的概念，目的是促进我国机电产品中机械系统可靠性的研究和应用。主要内容如下：首先讨论了关于机械系统可靠性的几个相关概念，包括：站在用户的角度对机械系统的可靠性进行了重新定义；提出“当量故障次数”的概念，在此基础上给出考虑了故障严酷度的平均故障间隔时间（MTBFS）的可靠度计算新方法；讨论了有助于消解“乘积负效应”的可靠性分配和预计方法；接着讨论了关于机械系统故障的几个相关概念，包括：提出一种适合机械系统可靠性分析的故障新定义，提出性能故障是机械产品系统重要故障模式的新观点，从机械系统运动的角度出发从理论上系统分析了机械系统所有可能的故障模式（全故障模式），从元动作的运动故障模式出发系统地讨论了组成元动作单元的结构方面的故障原因；最后，讨论了关于多学科综合复杂机电产品可靠性的系统工程方法论，包括：从机械传动系统/机械结构系统/流体驱动系统三个分系统的角度讨论了多学科综合复杂机电产品可靠性工程的系统性分析方法，介绍了一种基于元动作的机械系统可靠性新理论。为了促进学术研究和交流，在每个新概念后都附有笔者认为有进一步研究价值的研究课题，供读者参考。

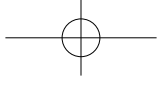
一、前言

可靠性是产品最重要的质量特性，也是用户最关注的质量特性。但长期的低端消费观念和低端制造模式造成国产机电产品的可靠性与国外产品有较大的差距，极大地影响了国产机电产品的市场竞争能力。众所周知，产品可靠性起源于20世纪40年代武器装备的电子系统^[1]，经过80余年的发展，电子产品的可靠性理论和方法已经比较完善，积累了大量的基础数据，对提高电子产品的可靠性发

挥了巨大的作用。但相比较而言，机械产品可靠性的研究工作起步较晚，理论和方法还不够成熟，基础数据积累比较少，是造成国产机电产品质量差，有效寿命短，故障频出的主要原因，在很大程度上影响了用户的感受体验和产品的市场竞争能力。为了提高机电产品中机械系统的可靠性，需要对机械系统可靠性理论和工程方法进行更加深入的系统性思考，形成更适合机械系统的可靠性理论和工程方法。为此，本文对复杂机械系统的可靠性理论和方法进行了深层次的系统

思考，从三个方面进行了可靠性相关概念的分析和重新定义，供相关政府管理部门进行决策和从事机械可靠性研究及工程应用的专家学者参考。这三个方面分别是：

（1）对机械系统可靠性基本概念的思考。包括：分析了传统可靠性定义存在的问题，站在用户的角度对机电产品中机械系统的可靠性进行了重新定义；在细化国家标准中故障严酷度的基础上，建立了“当量故障次数”的概念，并提出一种考虑了故障严酷度的平均故障间隔时间



(MTBFS)的可靠度计算新方法;提出“乘积负效应”的概念,并讨论了消解“乘积负效应”的可靠性分配和预计方法。

(2)对机械系统故障基本概念的思考。包括:建立了适合机械系统可靠性分析的故障新定义;提出性能故障是机械系统可靠性的重要故障模式的新观点;提出“全故障模式”的概念,从机械系统运动的角度出发从理论上系统分析了机械系统所有可能的运动故障模式;从元动作的运动故障模式出发,系统地讨论了与故障模式相对应的组成元动作单元的机械结构方面的故障原因,不仅建立了故障模式与故障原因之间的严格对应关系,而且使故障原因的划分更加合理,更加科学。

(3)对多学科综合复杂机电产品可靠性系统工程方法论的思考。包括:从机械传动分系统/机械结构分系统/流体驱控分系统三个分系统的角度,讨论了多学科综合复杂机电产品可靠性工程的系统性分析方法;介绍了一种基于元动作的机械系统可靠性新理论。

需要指出的是,本文属于综述性研究论文,目的是根据作者多年从事可靠性工作的经验,分析指出现行机械可靠性理论和方法中存在的问题,所提的观点涉及的范围很广(涉及到9个专题),有些分析可能并不深入,所提观点可能也不正确甚至是完全错误的,但其意义是可为国内同行进行进一步的研究提供思路,打下一定的基础,以推动国产机电装备可靠性理论和工程应用的发展,这也是作者在每个问题最后都给出进一步研究课题的原因。另外,综述性论文与学术性论文的写作方式不同,前者涉及的内容较多、视野较宽,并不只针对某一个具体的问题,并不强求给出明确的研究结论,而是“给出问题,建

议思路,促进研究”;后者则是“给出问题、解答问题、给出答案、进行验证”,需要针对一个具体的学术问题进行深入的研究,提出具体、可行的解决方案并进行验证。基于此,本文的写法方式有点类似教科书的写法,没有严格使用学术性论文的学术语言,敬请读者朋友谅解。

二、对机械系统可靠性基本概念的思考

1. 产品可靠性的定义

(1)现行可靠性定义存在的问题分析

机械系统属于机电产品的一个分系统,产品可靠性的定义必然应该适合机械系统。在国家标准《GB/T 3187-1982:可靠性、维修性术语》中,对产品可靠性的定义为^[2]:

产品在规定的条件下和规定的时间区间内完成规定功能的能力。

国军标《GJB451A-2005:可靠性、维修性、保障性术语》中也给出同样的定义。

这两个标准分别是1982年和2005年制定的,尽管后来经过多次换版,但对可靠性的定义基本上没有任何改变。事实上,最早的可靠性定义是由英国评论家和诗人Samuel Taylor Coleridge于1816年给出的。他认为:在统计学意义上讲,可靠性是测试或者测试设备的一致性。从当前阶段看,这个定义与用户需求和产品功能都没有直接挂钩,可供参考的价值不大。

认真分析一下就会发现,国家标准和国军标中给出的可靠性定义存在以下四个问题:

第一,可靠性定义的时代性。

时间已经过去40多年,在这些年中,科学技术突飞猛进,产品的技术水平得到很大提升,用户的需求也发

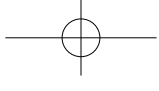
生了很大变化,企业管理和可靠性的理论及方法也取得很大进展,但可靠性的定义却没有结合产品的技术进步和用户需求的变化进行任何改进和优化,感觉不太合理;

第二,可靠性定义的完整性。

传统可靠性定义只站在产品功能的角度考虑问题(完成规定功能的能力),没有考虑产品的性能保障,属于狭义的可靠性概念。但在实际中,产品的设计制造水平得到极大提升,产品功能的保障能力也得到极大的提高,发生功能故障的概率(产品已经不能使用)已经变得很低,用户投诉量也变得很少。相反,笔者领导的课题组在对20余家国产机械设备的用户投诉数据进行统计分析时发现,产品发生性能故障的数量要大大高于功能故障,这说明保证性能可靠性的难度往往比保证功能可靠性的难度更大,也说明可靠性工程实施的重点应该放在性能可靠性上。因此,只考虑功能的可靠性定义是不完整的,会带偏可靠性研究和可靠性工程的实施;

第三,可靠性定义的严谨性。

在可靠性工程实践中,人们往往没有也无法严格区分功能故障和性能故障这两个基本概念,经常将振动、噪声、漏油、螺栓松动、调整不准确等故障现象统统作为功能故障来对待,这往往会造成概念上的混乱。事实上,设备的振动、噪声、漏油、螺栓松动、调整不准确等故障并不会影响产品功能的实现,而是属于产品性能的范畴。在实际中,功能故障一般具有突发型的特点,如机床的主轴突然断裂、传动齿轮轮齿断裂而失去传动动力等;而性能故障一般具有渐进型的特点,只会使得产品的性能逐渐变差,如机床导轨发生磨损会影响部件的移动精度,主轴轴承磨损或失去预紧会使得主轴精度逐渐降低。这两



类故障从表现形式到处理方法都是完全不同的。因此,在可靠性定义中必须严格区分这两类故障;

第四,可靠性定义的针对性。

在国家标准中,传统可靠性的定义是针对产品的而不是针对用户需求的。最近几十年来,制造企业已经将“以产品为中心”转变为“以用户为中心”,追求更高的客户满意度和用户忠诚度。很显然,虽然功能可靠性也是用户最为关心的质量特性之一,但追求用户满意度对制造企业的效益提升和用户忠诚更加重要。

(2) 对产品可靠性的重新定义

鉴于传统可靠性定义存在的上述问题,需要根据科学技术的发展状况,及时对产品可靠性的定义进行修正。因为可靠性属于质量的一个特性,下面我们简单分析一下质量的定义,对重新定义可靠性的概念具有积极的借鉴意义。

到目前为止,尽管质量的定义很多,但比较公认的是以下3个定义:

1) 国际标准的定义。国际标准ISO9000质量管理体系标准中对质量下的定义是^[3]:一组固有特性满足要求的程度。可以看出,这个质量定义主要是站在产品制造者的角度给出的(制造的产品性能指标能够满足设计要求),属于符合性的质量定义。

2) 朱兰的质量定义。美国质量管理大师朱兰博士给质量下的定义是^[4]:质量就是适用性。可以看出,这个质量定义是站在用户的角度给出的(产品的性能指标能够满足用户的使用需求),属于适用性的质量定义。

3) 田口玄一的质量定义。日本质量管理大师田口玄一给质量下的定义是^[5]:所谓质量是商品上市后给予社会造成的损失。但是,由功能本身所产生的损失除外。可以看出,这个质量定义是站在社会的角度给出的。田口玄一质量定义的最大贡献是将质

量的概念拓展到社会层面,并将质量变为可量化计算的概念,利用质量损失函数可以具体计算出质量缺陷给社会造成的损失,有力地推动了质量管理理论的发展。

可以看出,质量的定义比较多。既然可靠性是一种质量特性,那么我们就有足够的理由参照田口玄一对质量下的定义,给可靠性下个全新的定义:

定义一:可靠性。产品在规定的条件下和规定的时间区间内,在功能和性能方面的故障给用户和社会造成的损失。

与传统的可靠性定义相比,这个新定义有两大基本特点:第一,可靠性的概念从产品的功能拓展到性能,将产品的可靠性分为功能可靠性和性能可靠性两个大类,相应的产品故障也可分为功能故障和性能故障。对机械系统而言,产品使用过程出现最多的缺陷并不是使得产品不能继续使用的功能型故障,最大问题往往是性能不可靠带来的问题,如精度差、精度保持时间短、精度稳定性差、产品寿命短等。电子产品由于发展历史比较长,理论和方法比较完善,曾经有人提出电子产品性能可靠性的概念^[13],并给出电子产品性能可靠性的仿真计算方法。但反观机械系统,由于其可靠性理论发展滞后于电子产品,关于机械系统的性能可靠性,目前研究成果非常少见,笔者还没有见到关于机械产品性能可靠性比较完善的定义和分析计算方法。本文的第三节对性能故障进行了比较粗浅的讨论;第二,本定义将产品的故障和可靠性与其给客户和社会造成的损失挂起钩来,更加符合“用户第一”、“提升客户满意度”和“承担社会责任”的现代经营理念。此外,按照新定义还可以参照田口玄一的质量损失方法定量计算功能

故障和性能故障给用户和社会带来的损失,可以更好地提高客户满意度,树立企业良好的形象。

需要提醒读者注意的是,此处给出的可靠性新定义只是作者们自己的观点,目的是改变一成不变的可靠性概念,为学术研究注入新的活力和动力,至于可靠性新定义是否科学、准确和完整,则需要读者朋友讨论批评,共同努力加以改进和完善。

本文作者认为,在新定义下,可以采用两种方法定量评估可靠性:第一种方法是参照传统的平均故障间隔时间MTBF传统的计算公式或本文提出的基于故障严酷度的MTBFS可靠度计算方法计算产品的可靠度;第二种方法是参照质量损失函数的概念,建立可靠性损失函数,从而定量计算出功能故障和性能故障给用户和社会造成的损失。但这两种计算方法是否可以统一?如何统一?则需要进行进一步的研究。此外,这两种方法的具体算法还需要进行更进一步的研究。

2.可靠度MTBF的计算问题

平均故障间隔时间(Mean Time Between Failure: MTBF)是表征可修复产品可靠度的一种方式,与维修性一起用来表征产品的可用性。一般的MTBF传统计算公式为:

$$MTBF_{传统} = \frac{\sum t}{N} \quad (1)$$

$\sum t$ ——总的无故障工作时间,用总考察服役时间减去各次故障的故障停机时间得到;

N ——总考察服役时间内发生的故障总次数。

一般可修复机电产品的可靠度都是按照这个公式计算的。可以看出,平均故障间隔时间MTBF传统实际上想表达的是产品的可用性(想用时就可以使用,当然需要与维修性结合起来)。

但这个计算公式最大的问题是计算结果并不能充分说明产品的可用性问题（除了维修性的影响），因为它没有区分故障的严重程度及其影响，即没有考虑故障的严酷度（Severity）。例如，撞刀故障会损坏机床的结构，必须长时间停机进行维修或换件，造成的损失很大，但在计算MTBF传统时，撞刀故障仍然是按照一次故障进行的。而漏油并不影响产品的正常使用，基本上不会造成停机（但会影响客户的满意度），它造成的影响跟撞刀故障不可同日而语，但在计算MTBF传统时同样也算是一次故障。另外，紧固螺栓松动会使得机床的性能发生一定的变异，在计算MTBF传统时也算是一次故障，但实际上只需要进行简单的紧固就可以了，花费的维修时间很短，但它同样也会以一次故障的方式影响可靠度的计算结果。机床数控系统的误报警也是这样的，理论上也算是一次故障，但它对产品的使用基本没有影响，但对可靠度计算结果的影响与其它严重故障却是完全相同的。

因此，按照上述公式（1）计算得到的MTBF传统在很大程度上说明不了产品可靠性的关键问题，也代表不了产品的实际可用性，有必要进行改进。

于是，有人提出平均严重故障间隔时间（MTBCF：Mean Time Between Critical Failure，即任务可靠度）的概念^[5]，由于考虑了严重故障对任务可靠性的影响，计算结果比MTBF传统有一定的改进，但仍然不能彻底解决问题，因为它仅考虑了造成任务失败的严重故障的影响，其它轻微故障仍然按照常规方法进行对待，没有将各次故障的危害度与故障的计算次数结合起来。为了解决这一问题，本文基于“当量故障次数”的概念提出一种全新的、更具实用价

值的可靠度计算方法：基于故障严酷度（Severity）的MTBFS可靠度计算方法（Mean Time Between Failure based on Severity：MTBFS），计算公式如下：

$$MTBFS = \frac{\sum t}{\sum n} \tag{2}$$

式中：
 $\sum t$ —总的无故障工作时间，用总考察服役时间减去各次故障的停机时间得到；
 $\sum n$ —各个故障严酷度“当量故障次数”的查表值之和。

参照国军标《GJBZ13912006故障模式、影响及危害性分析指南》，为了更适应机械系统的可靠度计算，根据机械系统故障的特点，本文将国家标准中机电产品故障的严酷度从4级细化为10级，如表1所示。表中，严酷度等级对应的“当量故障次数”本质上是按照故障造成的后果人为的将一次故障次数划分为不同的级别，称为“当量故障次数”。

定义二：当量故障次数。根据故障的严酷度对故障发生次数的一种修正系数。
根据“当量故障次数”的概念，在计算MTBF时对每次故障都不再根据完整的“1次”来计算，而是根据故障严酷度乘了一个系数，使得“1次”故障不再是整数的“1次”。因而，在计算MTBF时，5次故障不再是5个1的简单相加。

表1 故障严酷度分级及当量故障次数

故障严酷度	故障分级	分级标准	当量故障次数
一级	一类致命故障	涉及人身安全，会导致人身死亡，如飞机的坠机事故	1.9次
二级	二类致命故障	涉及人身安全，会导致人身的重伤或残废，如断肢事故	1.8次
三级	一类严重故障	会造成设备整体报废，如设备起火烧毁	1.7次
四级	二类严重故障	会造成设备的重大换件维修，如运行部件的相撞击事故，部件损坏需要较长的维修时间	1.6次
五级	三类严重故障	会造成人身的较大损伤，如零件飞出伤人、零件跌落伤人、手指夹伤	1.5次
六级	一类一般故障	会造成人身的轻微损伤，如切屑飞出伤人，轻微影响人体的职业病	1.3次
七级	二类一般故障	需要更换小零件的故障，更换操作简单，更换时间短	1.0次
八级	三类一般故障	不需要换件只需进行小调整的故障，如紧固螺栓松动，门开关不灵活、电器短路	0.8次
九级	一类轻微故障	不影响功能和性能的小故障，如漏油、排屑不畅、积水	0.6次
十级	二类轻微故障	不影响功能和性能，只需小调整的故障，如数控系统报警	0.3次

对于总考察服役时间内发生的各次故障，可以按照表1的标准查找与故障严酷度对应的“当量故障次数”。在确定当量故障次数时，如果一次故障会产生表1中的两种以上的故障类别，则对它们的故障严酷度的“当量故障次数”相加。例如，假如一次故障造成的后果表现为二级严酷度和四级严酷度同时发生的效果，则这次故障的当量故障次数就为1.8+1.6=3.4次。

算例：
假设在总考察服役时间内，产品共记录到5次故障，无故障间隔工作时间分

别为：65小时、80小时、135小时、185小时、250小时，分别计算传统平均无故障间隔时间MTBF传统和基于故障严酷度的平均无故障间隔时间MTBFS。

(1) 传统计算方法

根据公式（1），可以得到考察期内该产品的MTBF传统是143小时，即：

$$MTBF_{传统} = \frac{65 + 80 + 135 + 185 + 250}{5} = 143 \text{ (小时)}$$

(2) 基于故障严酷度的MTBFS可靠度计算方法

假设5次故障的严酷度分别为：六级1次、七级1次、八级1次、九级1次、十级1次，查表1得与故障严酷度对应的“当量故障次数”分别为：1.3、1.0、0.8、0.6、0.3那么，根据公式（2），可以得到该产品的MTBFS就是178.75小时，即：

$$MTBFS = \frac{65 + 80 + 135 + 185 + 250}{1.3 + 1.0 + 0.8 + 0.6 + 0.3} = 178.75 \text{ (小时)}$$

与国外顶级机床相比，一般认为国产机床的可靠度比较差。事实上，与国外机床相比，国产机床只是小故障比较多，如果按照基于故障严酷度的MTBFS计算方法，国产机床的可靠度与国外机床的差距并不像一般人认为的那么大。从可靠性工程的角度讲，MTBFS比MTBF传统大，说明企业应该重点关注不起眼的小故障，相反，MTBFS比MTBF传统小，则说明应该重点关注严酷度发生频率比较大的大故障。

笔者曾经遇到过一个非常有说服力的案例：一家机床主机制造企业的钻铣复合加工中心产品在用户处使用一年后共记录到五次故障，具体记录表如表2所示。

表2 设备故障记录表

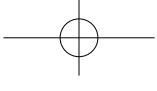
设备名称	XXX深孔钻铣高精多轴复合加工中心	设备型号	XXX	出厂编号	34001
制造单位	XXX公司	出厂日期	2013.07		
服役日期	2013.7~2014.6	现场工况条件	温度20~25° C		
序号	故障发现时间	故障部位	故障现象	采取措施	修复时间
1	2013.09.10	自动上下料装置	机械手定位不准	调节机械手指夹持工件位置，机械手重新校对零位。	3
2	2013.09.23	机床夹具	机床夹具松动	将夹具重新装配在机床工作台基座上，螺钉锁紧。重新校对中心，然后调整程序加工中心。	2
3	2013.10.11	润滑油供油	润滑油供油不正常	调整供油参数，增加供油时间，反复验证直至正常供油正常。	2
4	2013.11.26	机床侧板	机床侧板漏油	加工一档块，固定于测漏处，然后使用密封胶密封。	4
5	2014.4.16	刀库	换刀故障	刀柄螺钉紧固时涂防松胶，定期对刀具进行紧固	2
累计工作时间	1992小时	累计故障数	5	累计修复时间/h	13

按照传统的MTBF传统计算方法，得到该机床的MTBF传统为398小时（1992除以5），说明该机床的可靠性比较差，这也是用户的主要抱怨点，但机床制造企业却认为用户把产品的可靠性算低了。如果认真分析一下就会发现，所发生的5次故障都是非常轻微的小故障，只需要进行简单的调整和螺栓紧固就可正常使用。下面按照本文提出的方法计算MTBFS可靠度。由于2、3、5三个故障都属于螺栓松动和调整类的小故障，维修恢复时间都小于2小时，可以定为严酷度为10级的一类轻微故障，可得当量故障次数为0.3；故障1的修复时间为3小时，可以定为严酷度为9级的一类轻微故障，可得当量故障次数为0.6；故障4的修复时间为4个小时，可以定为严酷度为8级的三类一般故障，可得当量故障次数为0.8。将5个当量故障次数相加为2.3，用总有效工作时间1992除以2.3得到MTBFS为866小时。可以看出，该机床的可靠性并不像传统计算方法得到的那样低。事实上，如果主机制造企业能够提前到现场为用户服务，就可以避免这些故障的发生，该机床的可靠性绝对不会大大低于进口机床。

进一步的研究课题：“当量故障次数”的更合理的确定方法（见表1）或其理论基础；基于故障严酷度的MTBFS计算方法与提升产品可靠性方法之间的关系。

3.可靠性分配和预计中的乘积负效应问题

与电子产品不同，机械系统一般是个串联系统^[6]，也就是说，只要其中的一个组成单元（如传动链的某一个环节）出现故障，整个系统就呈现故障状态。对于串联系统而言，整体系统的可靠度是各个组成单元可靠度的乘积，如公式3：



$$R = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_i \dots \times R_n \quad (3)$$

由于各个单元的可靠度均是个0到1之间小数,只要增加一个单元,整体系统的可靠度乘积就必然会更小一些,本文称这一现象为“乘积负效应”。

定义三:乘积负效应。在可靠性预计和分配过程中,由于单元的数量增加而造成的整机可靠度快速变差或整机可靠度分配给更多单元时对单元可靠度要求太高的一种现象。

由于“乘积负效应”的存在,对于系统可靠性预计而言,单元越多,整体的可靠性就越难保证;对于系统可靠性分配而言,单元越多,对每个单元的可靠度要求就越高。

这种串联系统有三个特点:

特点1:因为每个单元的可靠度都小于1,上式的“乘积负效应”就使得整机的可靠度就必然小于每一个组成单元的可靠度;

特点2:单元数量越多,整机的可靠度就越难保证;

特点3:系统的层级越多,整机的可靠度就越难保障。

例如:

假设整机是由3个子系统组成,每个子系统的可靠度均为0.9,那么整机的可靠度就是0.73(3个0.9的乘积);但如果整机是由5个子系统组成,每个子系统的可靠度同样为0.9,那么整机的可靠度就只有0.59;

同理,如果系统由很多层组成,例如3层,其中,第1层有3个组成单元,第2层有2个组成单元,第3层有4个组成单元,总共有9个单元,假设各层各个单元的可靠度都为0.9。那么,根据可靠度预计公式,整机的可靠度就仅为:

$$R = 0.9^9 = 0.39$$

再假设整机的可靠度必须保障为

0.99,在这种条件下,按照可靠度分配公式,各个单元的可靠度就必须大于0.99888:

$$R_i = \sqrt[9]{0.99} = 0.99888$$

可以看出,位于最底层的各个单元的可靠度已经达到接近百分之百的可靠度,如果再分配到单元中的各个零件,零件必须达到的可靠度就会高到不可思议,甚至根本就没有办法去实现,还会造成可靠性保障的成本极其高昂。因此,必须在可靠性分配和预计中解决“乘积负效应”问题,否则在实践中就无法保障产品的可靠度。

本文作者认为,可以采取如下的设计制造措施消减“乘积负效应”问题。

1) 在产品设计上减少结构复杂度,将多个零件集成为一个零件(如特斯拉的电动汽车压铸一体化车身);

2) 在产品设计上减少结构层次,因为层次多组成单元就更多,层级之间的结合面也会极大影响整机的可靠度;

3) 只将整机可靠度分配到元动作单元上(见本文第四节的机械元动作可靠性理论),而不再分配到具体的零件上,这样可以更容易保障可靠性;

4) 在进行可靠性预计和分配时,尽量少用极值法进行分配和预计,尽量采用统计法进行分配和预计,因为所有单元都同时发生故障的概率是极小极小的;

5) 可以采取重点提升关键、重要环节的可靠度;

6) 可以采用基于故障严酷度的可靠性分配和预计方法。

关于“乘积负效应”问题,值得进一步研究的课题为:各个单元可靠度与单元结构层次之间定量关系的建立;如何利用各个单元故障函数(曲

线)之间的重叠部分来消减“乘积负效应”。

三、对机械产品故障相关概念的思考

1. 机械产品故障的定义

故障是与可靠性密切相关的一个概念,也是可靠性工程针对的主要对象。在国家标准GB/T 5226.1-2019和国际电工委员会标准IEC 60204-1:2016中,都给出相同的故障定义:

系统不能执行某要求功能的一种特征状态。

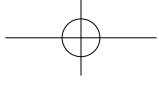
可以看出,故障的定义与系统的功能是紧密相关的,可以称之为功能故障。但跟可靠性的定义一样,这里对功能的理解不能只着眼于狭义功能上,而是要将功能的概念拓展延伸到产品的性能上,因为用户更关心产品的性能好坏。

例如:车床的功能是车削工件,只要主轴能够带动工件旋转和刀具能够带动工件移动,不管加工精度如何,机床总是能够完成规定的功能,就不存在功能故障。而只要工件不能转动或者刀具不能移动,就无法完成车削运动,机床就产生了功能故障。

那么,漏油、噪声、振动、主轴发热算不算功能故障呢?主轴回转中心不固定、刀具“爬行”移动、刀具不按规定的轨迹移动、刀具终点定位不准确、零件的磨损等算不算功能故障呢?

传统上,在开展可靠性工程时,人们将上述缺陷都列为功能故障(因为机械系统到目前还没有公认的性能故障的定义),但这并不符合产品的“功能”定义,因为这些缺陷并不影响车削运动这一规定功能的实现。

因此,应该对现有的故障定义进行修正和完善,在功能故障的基础上



增加性能故障的内容。为此,本文给出产品机械系统故障的新定义为:

定义四:故障新定义。系统不能执行规定的功能和/或性能变异超出规定阈值的一种特征状态。

根据这个定义,产品故障就应该严格区分为功能故障和性能故障两个不同的部分,这样就避免了概念上的混淆,也便于采用不同的可靠性工程方法去解决故障问题。例如,功能故障一般发生在单元的运动特性上,具有突发性的特点,应该采用统计方法去分析;性能故障一般发生在单元的机械结构上,具有渐变性的特点,应该采用基于故障征兆监测的可靠性分析方法。事实上,产品在服役过程中,由于性能不能满足客户的要求而被投诉的情况远比功能故障要多得多。

进一步的研究课题:采用什么方法预测及消除功能故障?采用什么方法预测及消除性能故障?

2. 机械产品的功能故障和性能故障

任何一个产品都有两项极其重要的技术指标:功能和性能。功能是产品能够干什么,性能是干的好坏的度量。仍然以车床为例,车床的功能是带动工件旋转和带动刀具移动从而实现车削运动,不能完成这一相对运动就是功能故障。车床的性能是保障加工运动的质量(即通常所说的技术指标),如轴表面的圆度、轴的直径精度、两端轴段间的同轴度、加工表面粗糙度、轴段的尺寸精度、轴段表面与端面的垂直度、轴段表面的圆柱度、轴段的跳动等,这些技术指标不能得到保障,就是产品的性能故障。此外,车床使用过程中发生的噪声、漏油、振动等缺陷,一般可归为产品的性能故障,因为它们并不影响产品功能的实现,只是影响产品的正常使用和用户的感受。

根据国家标准《GB3187—1982 可靠性基本名词术语及定义》中对可靠性的定义,一般的产品故障指的是功能故障。也就是说,只要产品能够实现规定的功能,产品的功能可靠性就没有问题。因此,功能故障反映的是产品是否能用的问题。例如,机床只要能够实现规定的切削运动,不管实现的质量如何,都不存在功能故障。因此,传统意义上的可靠性故障一般都指的是功能故障。由于性能故障的概念比较新,人们往往缺乏对性能故障的系统认识,在实际操作中,往往会将性能故障也归结为功能故障,造成概念上的混乱。在此,本文给出功能故障的定义是:

定义五:功能故障定义。产品处于不能完成规定运动功能的状态。

在这个定义中,将故障严格定义在运动功能上。但是,产品没有功能故障,是否就意味着产品可以正常使用呢?答案是否定的。因为产品能否正常使用在很大程度上还与其性能有密切的关系。

产品的技术性能一般有个可接受的变化范围,我们称为性能阈值,实际上就是性能的变动允差。例如,用户对加工精度的要求是不能低于某个规定的值,只要加工精度在此范围内,机床就属于正常状态,只要加工精度超出规定的范围,机床就必须停机维修了。在这种情况下,我们就定义为机床发生了性能故障,相应的可靠性就是性能可靠性。因此,性能故障反映的是产品是否好用的问题。例如一台数控机床的出厂文件中规定的加工精度是7级,属于该机床加工精度的最低级别,那么,高于7级的加工精度(如6级精度)用户都是可以接受的,这时,机床就不存在精度方面的性能故障。只有在加工精度低于7级精度时(如实测为8级精度),我们才认为机床发生了性能故障。

相应的,漏油、噪声、振动、主轴发热等现象都属于产品的性能缺陷,但不会对机床的正常使用产生不可接受的影响,因此用户在一定范围内还是可以接受的,都可以定义为机床的性能故障。在此,本文给出性能故障的定义是:

定义六:性能故障定义。产品的运动特性超出规定阈值的状态。

根据这个定义,性能故障与产品的运动特性的变异有关,运动特性的变异在允差(阈值)范围内,就认为产品的性能正常可接受,只有等运动特性的变异超出规定的范围时,才认为是发生了性能故障。

当然,机械系统功能可靠性和性能可靠性的计算、分析和处理方式都与电子系统是不同的。但凡是与机械运动有关的性能故障,都可以采用后文介绍的机械元动作理论和方法去解决。

进一步的研究课题:如何根据产品的类型合理划分功能故障和性能故障?如何量化确定性能故障的合理阈值?

3. 机械系统全故障模式的分析

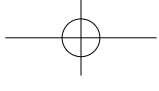
在可靠性工程中,故障模式是个非常重要的概念,因为故障模式是决定产品可靠性最重要的要素,也是分析和提升产品可靠性的切入点。

在国军标GJB451A—2005《可靠性、维修性、保障性术语》中,对故障模式的定义是:故障的表现形式。

更确切地说,“故障模式一般是对产品所发生的、能被观察或测量到的故障现象的规范描述”。

因为产品的可靠性是与功能、性能和故障是密切相关的,因此,必须准确定义故障模式。

由于机电产品是由机械传动分系统、机械结构分系统和流体驱控分系统(包括电流、润滑油、冷却液、压缩空气等)等三部分组成的,它们的



功能、结构原理、评价方式、故障表现形式等都不一样，故障模式自然就不一样。下面以机械传动分系统为例来分析传统故障模式定义应用到机械系统存在的问题。

在国军标GJB/Z 1391《故障模式、影响及危害性分析指南》中，关于故障模式的分析有一段话：

故障模式分析是从被分析产品的功能描述或硬件特征、故障判据的要求中，找出所有可能的功能或硬件故障模式。

但怎么找出“所有可能”的功能或硬件故障模式？标准中没有提供可供操作的方法。文献9和文献10仅给出故障的诊断和识别方法，可供读者参考。

另外，怎么从理论上证明已知的故障模式是“所有”的？是否有遗漏现象？标准中也没有提供具体的方法。文献11和文献12比较系统地讨论了全故障模式问题，但出发点是基于零件的历史失效形式（零件失效矩阵），但没有提供具体的方法可以从理论上分析得到一个零件所有可能的失效模式。

对于曾经发生过的故障模式，在进行可靠性设计和分析时，设计人员必然会采取一定的应对措施，或者避免该故障模式的发生，或者在故障发生后启动应对方案，完全消除故障的危害性。但对于从来没有发生过的故障模式，并不意味着该故障模式就不可能发生。例如，1986年1月28日，美国“挑战者号”航天飞机在发射过程中发生灾难性事故，使得7名航天员全部遇难，给人类探索太空造成重大挫折。主要原因是因为航天飞机上一个非常不起眼的橡胶部件——O型环出了问题，使得原本是密封状态的火箭推进器出现了泄漏，里面的高压高温气体大量外泄，最终导致了航天飞机的解体爆炸。橡胶密封圈出了密

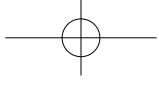
封故障，这在航天飞机历史上从来没有发生过，因此这种故障属于潜在故障，正是因为是潜在的故障，在产品设计和制造时就无法得到特别关注，也没有设定紧急预案。在可靠性工程中，对于从来没有发生过的故障模式就不会进行FMEA分析，因为FMEA分析的前提是针对明确的故障模式的。没有进行FMEA分析带来的后果是非常严重的：没有经过FMEA分析的故障模式，由于在设计制造中没有采取预防处理措施，一旦发生就会带来毁灭性的灾难（如挑战者号航天飞机的爆炸）。另外，如果不能从理论上证明“所有的”潜在故障模式，就无法对故障模式进行全面、系统、准确、科学的分类，也无法针对“所有可能”的故障采取针对性的预防措施。

但怎么判断已经掌握的故障模式就是“所有的”故障模式呢？到目前为止，还没有找到可行的方法（特别是对机械系统）。事实上，对于一个机械系统而言，常见的故障模式多达数百个，传统的故障模式的分类方法也不够科学，且分类概念非常模糊（无法准确区分故障模式和故障原因），无助于有条理的找到“所有”潜在故障模式（全故障模式）。表3给出了一种故障模式的传统分类方法^[7]。

表3 故障模式的分类

故障类型（7类）	故障模式（99种）
01-损坏型（17种）	01-机械零部件损坏；02-电子元器件损坏；03-液、气、油件损坏；04-电机损坏；05-护板、护罩损坏；06-线路、电缆断路；07-线路、电缆短路；08-导轨研伤；09-密封件缺损；10-熔断器损坏；11-继电器损坏；12-接触器损坏；13-对接插头损坏；14-阀损坏；15-轴承损坏；16-开关损坏；17-驱动器损坏
02-松动型（5种）	01-紧固件松动；02-锁紧部件松动；03-锁紧部件松动；04-线路与电缆连接不良；05-零、部件脱落
03-堵塞或渗漏型（3种）	01-液、气、油渗漏；02-液、气、油堵塞不畅；03-回油不畅
04-失调型（17种）	01-运动部件间隙过大；02-运动部件间隙过小；03-液压系统流量失调；04-压力调整不当；05-行程不当；06-电机过载；07-刀架失调；08-电气开关位置失调；09-控制线接错；10-主轴失调；11-运动部件速度失调；12-锁紧部件失调；13-气动系统压力失调；14-气动元件流量失调；15-工作台失调；16-进给系统失控；17-开关失灵
05-功能型（24种）	01-运动部件无动作；02-运动部件卡死；03-运动部件过紧；04-运动部件窜动；05-运动部件制动失灵；06-运动部件爬行；07-电机启动不起来；08-转位、移位不到位；09-转位、移位超程；10-转位、移位无动作；11-检测系统失灵；12-运动部件弯曲；13-结构件质量差；14-冰箱、空调不制冷；15-油膜测厚故障；16-定位失灵；17-气、液控制失灵；18-机电互锁机构失灵；19-回零不准；20-定向不准；21-传感部件失灵；22-电机不能正常工作；23-未按指令执行任务；24-数据丢失
06-状态型（22种）	01-温升过高；02-噪声超标；03-发出异响；04-运动部件动作冲击过大；05-振动或抖动；06-元器件参数漂移；07-元器件功能丧失；08-性能不稳定；09-性能参数下降；10-元器件装配不良；11-锁(预)紧件弯度过大；12-元器件接触不良；13-发生干涉；14-测量不准；15-电流异常；16-结构件有裂纹；17-变形；18-零部件接触不好；19-零部件装配不良；20-工作精度超标；21-几何精度超标；22-定位精度超标
07-其他型（11种）	01-误报警；02-不能正常操作；03-润滑不良；04-系统感染病毒；05-润滑油压过大；06-润滑油不清洁；07-防护密封不良；08-电气系统故障；09-误操作；10-外接电源故障；11-其他

可以看出，机电产品的故障模式非常多，表3只给出7种类型99种故障模式，事实上机械系统的故障模式远远不止这么多。这种传统的故障模式分类方法主



要存在的问题是：①只对已有故障模式进行了简单的分类，缺乏科学理论作为分类的依据；②无助于从理论上找到所有潜在故障模式；③故障模式与产品功能没有挂钩，不符合产品的可靠性定义；④没有严格区分功能故障和性能故障；⑤故障模式与故障原因无法准确进行区分，也无法建立故障模式与故障原因之间的对应关系；⑥故障的分类非常混乱，不够科学合理。这些缺陷的存在会影响人们对可靠性、故障模式、故障表现、故障原因的系统认识，会极大的影响可靠性工作的效率和质量。

怎么解决这个问题呢？

大家都知道，机械系统的主要特征是：运动形式决定产品功能、运动特性决定产品性能。因此，要全面分析产品的所有故障模式，就应该从形成功能和性能的运动学入手，从源头上去研究故障模式的科学分类问题。

对于机械传动系统来说，作者所在的课题组在2011年提出元动作理论和方法，可以从理论上得到所有可能的运动功能类故障模式，称为全故障模式分析方法。课题组围绕这一方法已经发表多篇高水平论文，得到国内外专家的肯定。关于元动作理论，读者可以参考本文第四节的内容或文献^[8]。

定义七：全故障模式分析。能够从理论上科学划分、合理分析和完整描述一个机械系统全部（包括显在和潜在的）故障模式的一种系统性分析方法。

根据元动作理论^[8]，元动作是机械传动系统最基本的运动单元，只要元动作单元发生故障，产品就处于故障状态。因此，机械传动系统的故障模式可以定义在元动作的运动形式上，故障原因可以定义在元动作单元的机械结构上。

从第四节图2所示的元动作概念模型可知，一个元动作的运动形式

不管是移动元动作还是转动元动作，都靠3个最基本的运动学参数来表征：“运动轨迹”、“运动速度”以及“位置定位”（对机床而言，加速度属于过渡过程，在正常加工运动中不会出现），只要这3个运动参数的任何一个发生变异，元动作的运动就会偏离预定的要求，这时就出现了运动故障，可能是功能故障，也可能是性能故障。下面对这3个运动学参数可能出现的所有变异情况进行全面的理论性分析。

（1）运动轨迹类故障分析

正常的元动作都有其设计规定的理论运动轨迹及其允差阈值，如果元动作的实际运动轨迹偏离了理论运动轨迹，就会对产品的性能产生一定的影响（对机床而言，就会产生零件的加工误差）。但只要实际运动轨迹偏离理论运动轨迹的偏差保持在轨迹的允差阈值范围内，并不会影响用户的正常使用，这时的轨迹偏差不能被称为是故障。只有当轨迹偏差超出理论轨迹的允差阈值，加工出来的工件精度才不能满足用户的需求，这时才可以认为发生了一个运动故障且为性能故障。对于元动作而言，只有一个运动轨迹类故障，即轨迹变异超标。

（2）运动速度类故障分析

在产品的设计时，设计师会根据产品的运动要求确定元动作的理论运动速度，如果元动作的实际运动速度与理论运动速度之间产生差异，就会给产品的运行性能产生一定的影响，但只要速度的变异不超过规定的值，用户是可以接受的。只有速度变异造成功能故障或用户不能接受的性能故障，才可以认为是发生了运动速度故障。运动速度可能发生的故障一般有以下几类：

①运动速度为零。如运动件不动作、主轴不转动、工作台不移动等，

属于功能性故障；

②运动速度远小于规定阈值。如主轴的理论转速为4500rpn，转速允差为 ± 10 转，那么，用户可以接受的实际转速就在4490 rpn到4510 rpn之间。如果实际转速小于4490 rpn，就属于小于规定阈值的性能故障；

③运动速度远大于规定阈值。如部件的理论移动速度为65m/min，速度允差为 $\pm 10\%$ ，那么，用户可以接受的实际移动速度就在58.5m/min到71.5m/min之间。如果实际移动速度超过71.5m/min，就属于大于规定阈值的性能故障；

④速度波动远大于规定阈值。如回转元动作件在运动过程中发生不稳定的跳跃式转动，移动元动作件在运动过程中发生爬行或蠕动现象等，且这种波动现象已经对产品的正常使用产生用户不可接受的影响，就属于速度波动方面的性能故障。

（3）位置定位类故障分析

机械系统在运行过程中，经常需要准确停留在某一个位置，如机床的刀具移动到预定的加工尺寸就必须停止，主轴回转停到一个特定的角度实现精确分度等。不管是移动元动作还是转动元动作，位置定位一般会发生以下三种误差情况：

①定位严重不足。运动件没有到达预定的停留位置，在机床中属于定位误差；

②定位严重超程。运动件的停留超过预定的位置，在机床中属于定位误差；

③超出重复定位阈值。运动件的停留位置反复在理论位置附近波动，在机床中属于重复定位误差。

由于这三种位置定位误差都有阈值的概念，所以都属于性能故障的范畴。

机械元动作在理论上可能发生的故障模式可以归纳为表4。

表4 全运动故障模式的数量

元动作故障模式	故障的具体表现	故障模式的类型	故障模式的数量	故障模式总数量	
运动轨迹类	实际运动轨迹超出理论运动轨迹允差阈值	性能故障	1个	单个故障模式总数量8	组合故障模式总数量56
运动速度类	运动速度为零	功能故障	4个		
	运动速度远小于规定阈值下限	性能故障			
	运动速度远大于规定阈值上限 速度波动远大于规定阈值允差				
位置定位类	定位严重不足，超出阈值下限	性能故障	3个		
	定位严重超程，超出阈值上限				
	超出重复定位允差阈值				

可以看出，利用这种分析方法，可以从理论上得到一个机械系统所有可能的故障模式，从理论上圆满解决了无法预测“所有可能”故障的难题。此外，如果只考虑单个故障，则一台机械产品可能发生的单个运动故障模式只有8种；如果考虑多种故障模式同时发生的可能组合（但这种情况在实际中基本上不可能发生），根据排列组合算法，则总的故障模式可以多达56种。与传统的故障模式数量多达数百个相比，利用本方法得到的故障模式分类不仅非常清晰，而且数量非常有限，便于有针对性地采取措施进行可靠性分析和控制。

需要进一步研究的课题：除了数控机床以外，其它机械系统全故障模式是否可以采用同样的分析方法？如何根据上面的准则对所有故障模式的重要度进行排序？如何科学区分故障模式和故障原因？

4.机械系统故障原因的分析

不管是进行可靠性分析和优化，还是对机械系统进行有针对性的故障维修，都需要知道故障发生的原因。根据国家标准对故障的定义，故障原因实际上是故障模式产生的诱因。

在上一节中，我们从运动学的角度出发，分析得到一个机械系统所有可能的故障模式（全故障模式），下面我们分析这些故障模式发生的原因，并将故障原因与故障模式准确对应起来。根据元动作理论，一个元动作的实现是靠元动作的机械结构单元来完成的，因此，对故障原因的分析就必然应该落脚在元动作的机械结构单元上。也就是说，机械传动系统的故障模式可以而且应该定义在元动作的运动上，而故障原因可以而且应该定义在实现元动作的机械结构单元上。

在传统的FTA和FMEA分析中，没有明确“故障模式发生在元动作的运动上，故障原因发生在元动作单元结构上”这一基本概念，往往造成故障模式和故障原因之间的混淆，也难于找到故障模式与故障原因之间的对应关系，故障原因分类的逻辑性不强，电子系统部分

的故障与机械系统部分的故障相混淆等：如在可靠性工程师手册（P72）中指出^[6]：下一约定层次产品的故障模式往往是上一约定层次的故障原因。这一说法不够严谨，混淆了故障模式和故障原因的概念，会造成不同的理解，最后使得分析工作非常混乱。传统故障原因的分类如表5所示^[7]。

表5 传统故障原因分类

原因代码	故障原因	原因代码	故障原因	原因代码	故障原因
1	断裂	15	脱落	29	窜动
2	变形	16	间隙不适	30	误操作
3	卡住	17	压力、流量不适	31	CNC参数错误
4	烧坏	18	行程不适	32	元器件损坏
5	击穿	19	堵塞	33	零部件损坏
6	磨损	20	渗漏	34	轴承损坏
7	点蚀	21	压力不稳	35	装配不当
8	蠕变	22	漂移	36	调整不当
9	错位	23	过热	37	设计不当
10	划伤	24	过压、过流	38	电压、电流不稳定
11	老化	25	润滑不充分	39	传感部件误动作
12	腐蚀	26	过载	40	不明
13	侵蚀	27	开路	41	其他
14	松动	28	短路	42	维护不当

比较表3可以看出，传统的故障模式和故障原因往往会混淆在一起，且很难找到故障模式与故障原因之间的对应关系。本文作者认为，故障模式是元动作运动学功能和性能不正常的表现形式，表现在运动形式和运动性能上；故障原因是造成故障模式的诱因，体现在元动作单元的机械结构上（因为机械结构决定了元动作的运动功能和性能）。这样就明确区分了故障模式与故障原因两个概念，不会造成概念上的混乱和误解。借助元动作理论，由于元动作单元中的零件数量很少，就可以很方便地找出故障模式和故障原因之间的对应关系。

在元动作可靠性理论中，一个元动作单元一般包括以下五类零件：运动输入件（数量一般为1件）、运动输出件（数量一般为1件）、中间传动件（数量一般在8个以内）、密封紧固件（数量一般在6个以内）、定位承力件（数量一般为1件），这样看来，一个元动作单元的零件总数量一般不会超过17个。假设不考虑零件同时损坏的情况，即使每个零件都存在4个故障原因（松动、磨损、变形、断裂等），都可以非常清晰的得到总的故障原因仅为68个。对比而言，按照传统的故障模式和故障原因划分方式，一个机械系统的故障原因可能有数百个之多。

在元动作单元层面，要找到故障模式与故障原因之间的对应关系也非常容易，分析结果可以归纳为表6所示。

（下转第63页）

新能源汽车带给机床产业的挑战与机遇

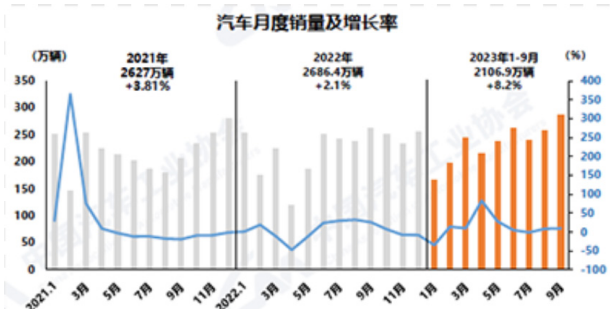
沈阳机床股份有限公司 刘士玉
通用技术集团机床工程研究院 陈洪军

【摘要】 新能源汽车的快速发展，带动汽车产业变革，使汽车工业进入百年一遇的变革时期，为其配套的机床产业将面临前所未有的挑战与机遇。

一、汽车产业发展态势

1. 汽车产销基本情况

根据中国汽车工业协会数据显示，2023年1~9月，汽车产销累计完成2107.5万辆和2106.9万辆，同比分别增长7.3%和8.2%，保持增长态势。



其中乘用车产销累计完成1816.8万辆和1813万辆，同比分别增长5.6%和6.7%；商用车产销累计完成290.7万辆和293.9万辆，同比分别增长19.8%和18.3%；新能源汽车产销累计完成631.3万辆和627.8万辆，同比分别增长33.7%和37.5%，市场占有率达到29.8%。创新驱动新能源车持续高速增长，新能源车销量预计2025年将突破1200万辆，年均增幅超过36%。

新能源汽车月度销量及增长率



2. 汽车是机床产业的重点下游客户

机床作为工作母机，汽车制造业是其最大的用户领域，根据中国机床工具工业协会的统计，机床行业下游需求主要包括汽车、电力设备、工程机械、船舶、航空航天等行业，其中汽车行业机床需求量占行业机床需求总量40%左右，其次为发电设备行业、工程机械、船舶及航空航天的需求，占比则依次约为10%、7%、6%和1%。新能源汽车迅猛发展，势必给机床行业带来更多市场机会，促进全产业链上下游高质量发展。

二、新能源汽车结构发生重大变化

从1908年亨利·福特推出世界上第一种以通用零部件进行大规模、流水线装配的汽车——福特T型车（Ford

Model T)至今百余年,乘用车的基本结构没有大的变化,从经济适用廉价的家用车,到超级跑车、F1赛车、顶级豪车,乘用车基本的机械结构相似,差距在于品牌、舒适性、驾驶感、奢华度等。

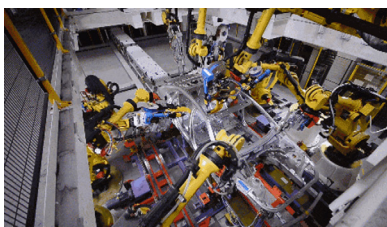


1. 新能源汽车传动机构变化

新时代在资本的强烈拉动下,新能源汽车快速发展,使汽车工业进入百年一遇的变革时期,燃油乘用车五大总成、八大系统的结构已发生了本质性的变化。纯电动汽车由电驱动控制系统、底盘、车身和辅助系统四个新的部分组成。

(1) 动力系统发生革命性变化,动力由燃油改为电池传动,新能源汽车的电动机、变速器、驱动方式、电池等分别采用了永磁电动机、自动变速器、前驱动、镍氢电池等为主。与燃油车相比,新能源汽车传动机构发生了变化。发动机、变速箱等部分零部件进行了简化或取消,增加了供电系统、驱动电机等新机构。

(2) 压铸技术推动车身制造变革,新能源汽车车身、前后桥、车架由燃油车的钣金焊接转化为一体压铸。钣金焊接结构制造工艺主要分为“冲压、焊装、涂装、总装”等四大工艺环节,整车厂需要将各类冲压件进行焊装,然后拼接成车身,再进行涂装、总装制造成整车。新能源汽车车身目前普遍采用一体压铸技术,优化汽车结构设计,将“冲压、焊装”合二为一,将多个零部件一次压铸成型。



2. 关于车身一体压铸

轻量化这一概念最早源于赛车领域,在动力输出不改变的前提下,车身重量减少,就意味着推重比增大、加速度提升。研究显示,燃油车车重每减少10%,油耗就能降低7.5%~9%;新能源汽车车重每减少10%,续航里程就能提高5.5%,纯电动车每减少100kg的重量,可以增加6%~11%的行驶里程,减少20%的日常损耗成本。



压铸工艺主要采用铝合金、锌合金、镁合金、铜合金等低熔点基材,其中铝合金的使用占比最高。毕竟铝合金的密度是 $2.63 \sim 2.85 \text{g/cm}^3$,为钢的 $1/3$ 。2020年,特斯拉优化汽车结构设计,首次将一体压铸技术运用于Model Y后地板总成,整合多个车身零部件一次压铸成型。虽然一体压铸有着技术工艺不成熟、门槛高、投资大、环保要求高、模具制造难、车辆维修成本高等的诸多争议,但其具有轻量化、效率高、节约生产成本等多方面优势,初步盘点如下:

(1) 车身轻量化,整体性能更强,在保证安全的前提下,轻量化不仅能够有效地减少停车距离,改善加速、制动和稳定性,从而改善整车驾驶特性;还可以减少轮胎和制动系统的压力,延长整车其使用寿命。与传统汽车相比,同样尺寸的车身可以节省30%~40%的重量。最新期间

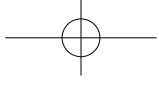
奥迪A8上采用ASF铝合金框架的设计理念,相比传统的钢结构为主减重40%,新款A8的白车身重量仅为241kg。



(2) 简化制造流程,提升生产效率,斯拉将Model Y一次压铸成型,车身零件数量比Model 3减少79个,焊点由700~800个减少到50个,零部件数量大幅减少。简化造车流程,简化了涂装与转配环节;大幅减少了生产线设备、人员和基础设施的需求;简化了生产流程,缩短了生产时间,Model Y后地板总成制造时间由传统工艺的1~2h缩减至3~5min,有效提升生产效率。



——组织模式变革,全面降低制造成本,克服压铸过程中环境非常恶劣、劳动强度大、危害身体健康等不利因素,一体压铸普遍采用智能制造,实现了绿色环保、24小时无人高效生产;有效降低材料成本,传统冲压焊接工艺原材料利用率仅为60%~70%,压铸工艺能有效减少边料的产生,边角余料可回炉再利用,材料利用率超95%;将“冲压、焊装”合二为一,简化了冲压、焊装生产线、降低设备投入、使用及维护成本;多个零部件一次压铸成型,全面简化零部件上下游供应链,简化了整



车安装调试环节，降低了制造及配套用地、用房成本，大幅降低用工数量与人力成本。颠覆了传统汽车产业生产组织模式。

一体压铸引发了车身制造的技术变革，继特斯拉之后，蔚来、小鹏、高合、理想、小康赛力斯等新势力紧跟其后，一汽、长城、长安、吉利、东风、大众、奔驰、沃尔沃等传统车企也开始跟进，布局和规划应用一体化压铸技术，明确提出要制造一体压铸的车型，可以预见2024年后将会涌现出相当一批的一体压铸车型。



三、配套机床产业将面临新挑战

汽车行业正面临最为激烈的竞争，大众汽车新车开发周期36个月，国产汽车开发周期24个月以内，甚至更短，汽车零部件快速迭代升级，精度要求越来越高，工艺要求日益复杂，生产线调整更频繁。在产业政策引导和支持下，新能源汽车产业得到了更大的发展，汽车行业不断加大对新能源汽车的投入力度，为其产业配套的机床产业将面临前所未有的挑战与机遇。

1. 传统汽车产业配套将步入增量市场

现阶段受政策导向，传统的燃油车行业其增量市场发展已受限，为传统汽车曲轴、连杆、凸轮轴、差速器等零部件配套专机、自动线机床产品

将失去增量市场，发展存量市场是机床产业发展的趋势。建议发展包括机床售后维修、系统操作培训、备品备件供应、机床大修保养、设备升级智能化改造、提供技术工艺解决方案等载体的系列增值服务。



2. 为新能源汽车产业配套前景广阔

一体压铸、以铝代钢，目前一体压铸技术处于高速发展期，主要应用于车身后地板及前舱，随着压铸能力的逐步提升及压铸工艺日渐成熟，未来有望拓展多个大型零部件，进一步简化车身结构，推动车身制造工艺变革。相关机构测算，到2025年，一体压铸市场规模将达220亿元，年均增长率33%。

一体压铸车身零件数量大幅减少，加工所需配套的金切机床的需求总量、品种规格等也将大幅减少，但一体压铸铝合金零件尺寸大、刚性差、加工内容多，精度及一致性要求高、工件不易装卡、加工难度大等对机床需求的要求及档次将日益提高。如特斯拉Model Y前机舱/后地板前机舱钻孔约260个，后地板钻孔约140个，加工节拍要求高、规划节拍150秒，用户要求工序集中。加工机床设备电主轴16000r/min以上、快移60m/min以上，换刀时间尽量短。空间角度的面与孔较多，加工设备优先考虑五轴加工中心，部分加工内容通用设备干涉、无法加工，需考虑特殊结构，发展配套专机、自动线产品。



发展新能源汽车配套专机、自动线产品虽然市场规模有限、客户总量小，投入大，技术、工艺、制造难度大；但其盈利能力强、拥有核心技术，是服务国家战略，发展中高档数控机床解决“卡脖子”问题的最佳路径。其优势如下。

(1) 市场相对竞争低、产品溢价率高，有稳定的市场预期、一流客户及成功案例可为企业贡献收入与利润。

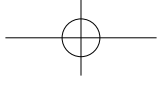
(2) 技术复杂，研发、制造、服务客户要求高，通过项目拉动，可为配套企业储备技术、工艺、制造、系统集成专业队伍。

(3) 客户工艺、交货期及服务要求高，倒逼机制可以拉动配套企业产品及配套全产业链的响应速度与服务水平。

(4) 通过持续改善产品稳定性、系统集成性、工艺可靠性，可提升配套企业产品质量与档次。

3. 铝合金加工带动技术工艺提升

铝合金和钢材相比，具有弹性模量较低，可焊性差及成本高等缺点，但铝合金有质轻、抗腐蚀性能好、美观等优点。铝合金塑性低，熔点低，在铝合金加工中，粘刀问题严重，除屑性能差，粗糙度效果不好，铝合金加工需要选择高速大进给加工。机床产业面向新能源一体压铸零部件配套，需要开展刀具、卡具、系统等技术研究，重点突破铝合金高速加工粘刀、切屑分离、提升表面质量、提升精度与一致性等工艺技术。□



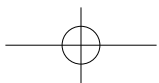
CCMT2024（第十三届中国数控机床展览会）将于2024年4月8-12日在上海浦东上海新国际博览中心举办。本届展会使用了上海新国际博览中心全部17个展馆，展出面积20万平方米，是迄今为止中国境内最大规模的机床工具专业盛会。来自全球25个国家和地区的近2000家机床工具企业将在CCMT2024展会上同台竞技，境内外知名企业将闪亮登场，各展风采。

为使广大参观者在展前概要了解展会和展品，主办方中国机床工具工业协会市场部及部分分会根据展商提交的展品资料，整理了部分主机、功能部件和工具类的展品综述。本期发布加工中心类、磨床类、激光加工类三大类展品综述，后续部分类别的展品综述将在下期刊登，希望对广大读者参观考察CCMT2024有所裨益。

需要说明的是，本文根据展商2024年1月28日前提供展品资料编辑整理，可能与实际展出展品存在一定差异，同时限于篇幅，不能一一尽列，敬请广大读者理解。

本刊编辑部

2024年2月



CCMT2024展品综述

——加工中心类

中国机床工具工业协会市场部 沈华红 执笔

一、概况

据已有资料,加工中心类机床展商近120家,展品240多台,展商数与CMT2023相比,增长23%,展品数增长43%。其中卧式加工中心近50台、立式加工中心110多台、五轴联动加工中心50多台。

二、加工中心类展品主要技术特色

本届参展的加工中心类产品,既体现了以往已有的技术特色,可谓“年年岁岁花相似”,同时随着新技术和新趋势的发展,又呈现出“今年花胜去年红”的景象。高精度、高效率的特点一如既往的突出,智能化、自动化、专业化的特色则更让人耳目一新。由于五轴和五轴联动加工中心是绝大多数加工中心厂家的主力产品,从另一侧面也可以说,参展五轴和五轴联动加工中心的技术特色基本上就是本届展会加工中心类展品主要技术特色,各家展品体现出的综合加工能力也让人倍加关注。

1. 高精度

随着高性能的电主轴、直线电机和力矩电机的普遍使用,无间隙、无磨损的直驱技术使用日趋成熟,全闭环控制反馈技术、热对称设计结构、高精密的轴承和导轨、滚珠丝杠中心冷却、专用温控热交换系统、热管理系统、热位移自动补偿技术等各种可靠的硬件和先进的软件配合起来相得益彰,加工中心机床在高精度的发展道路上行稳致远。

2. 高效率

新兴的新能源汽车、3C电子、航空、航天等行业,既提出了高效率加工的市场要求,而其产品材料的材质(如大

量的铝合金等材料)也提供了高效加工的可能性,各种适应市场高效率要求的加工中心设计和配套的系统及零部件应运而生:双主轴和多主轴的设计、10000~40000r/min的电主轴、提供和控制高运行速度和加速度(直线轴和回转轴)驱动的伺服驱动系统和数控系统、适合高速运行的机床结构、快捷如风的换刀机构、提供强力切削和大进给速度的大扭矩电机及刀具系统。我们也由此可以看到精彩纷呈的高效率加工中心展品。

3. 智能化

加工中心的智能化以数控系统为平台,依托日益强大的数控系统功能及自动检测、自动补偿、自动控制、自动管理、状态监控、3D仿真、RTCP自动标定等技术应用,机床智能化水平也日臻完善。数控系统供应商中不但有SIEMENS、FANUC、HEIDENHAIN、华中数控等为代表的厂家在持续推进机床智能化水平上不遗余力,更有马扎克、北京精雕、科德数控等厂家把数控系统研发和加工中心整机的研发及制造相结合,为加工中心的智能化增添不少亮色。另外,有些厂家自主研发的智能化软件系统也颇具特色,如格劳博GROB-NET4 Industry,智能化软件可利用网络技术使整个生产过程中拥有更加透明的生产流程,同时该模块可以匹配SIEMENS、FANUC和HEIDENHAIN等主流品牌的控制系统。

4. 自动化

伴随着机器人技术的发展和机器人使用成本降低,加工中心机床的自动化水平和自动化应用场景普及率得到大幅提高,我们从提供的本届加工中心资料可以看到,绝大多数机床展品在机床的整体设计时就预留设备的自动化软件

和硬件的布局接口:多种外设硬件单元(机器人、智能工件库、智能搬运车、桁架机械手等)、自动检测系统、相关过程控制的软件系统。如格劳博机器人单元GRC使得在一个系统中生产多种类型的工件成为可能,也可以在无人化生产的情况下自动更换工件。不少加工中心设备只要客户需要,就可以组成柔性单元或整条柔性生产线。

5. 定制化和综合加工能力

随着新兴的新能源汽车、3C电子、航空、航天等行业的快速发展,这些行业特定的需求就成为机床厂家的研发-制造-销售推广的针对性目标。可以加工叶片、叶轮等典型零件的加工中心(五轴联动加工中心)展品大量涌现,针对新能源汽车一体化压铸零件、整体副车架、电池外壳、复合材料结构及其它轻切高速加工对象的加工中心产品,成为各家必争的战略要地。

与加工中心的“定制化”能力相映成趣的是,本届加工中心展品又呈现了产品综合加工能力非常突出的一面,五轴(甚至六轴)和五轴联动加工中心展品占比非常高,不少五轴加工中心拥有高速稳定的回转工作台和高性能主轴头,具备立式和卧式加工中心的功能,同时可以轻松完成复杂的车削等工序。如特雷维桑五轴加工中心拥有的数控平旋盘(U轴)的车削功能,恒轮机床(Heller)HF 5500的五轴卧式摇篮加工中心,提供高精度高动态性能五轴联动加工的同时,集成了车削加工、滚齿加工、刮齿加工等功能,科德数控的DMC55Up五轴立式加工中心采用模块化设计,将多种工艺和工序集成,可实现车削功能、磨削功能、超声加工。斯达拉格Heckert_T45五轴卧式加工中心机床利用其900r/min的高速转台扩展其综合加工能力,成为一款“工艺密集型”加工中心。

三、典型加工中心类展品

1. 立式加工中心

(1) 大昌洋行(上海)有限公司Kern Micro HD超微型坐标级加工中心。直线轴行程350/220/250mm,进给速度60m/min,加速度2g,旋转轴行程/转速: $n \times 360^\circ / 200\text{r/min}$,摆动轴行程/转速 $\pm 110^\circ$ (可选配 $-170^\circ \sim 110^\circ$)/100r/min,摆动轴扭矩300N·m,配置不同的主轴轴承和刀柄,可以达到40000~80000r/min的高速主轴转速。新的KERN微间隙静压导轨结合强大的直线电机驱动构建了一个独特的驱动系统,在精度、稳定性、动态性能和无磨损方面设定了新的标准。紧凑设计,占地面积5m²,超高的机床稳定性和先进的KERN温度管

理,集成的210位刀库和60位工件库可实现无人值守的多班生产,预留附件和自动化系统的认证接口,机器运行期间,可无中断进行管理和维护。

(2) 山崎马扎克(中国)有限公司VARIAXIS C-600五轴联动加工中心。标配铣削主轴最高转速12000r/min,40%最大扭矩70N·m,适应各种材料的高速、高精度的精加工,可选高扭矩式样铣削主轴,40%最大扭矩161N·m,最高转速20000r/min。工作台的BC轴采用凸轮滚子传动机构,采用滑动摩擦,消除了背隙;BC轴的最大转速30r/min。丝杠采用低惯量伺服电机和高速滚珠丝杠技术,直线轴快移速度42m/min,短距离定位也能缩短定位时间。VARIAXIS C-600融合AI、数字孪生、自动化等新技术来辅助数字化的发展,并对以往的机床规格进行强化,使其焕然一新,变身成为了改变制造过程的新一代五轴加工机。



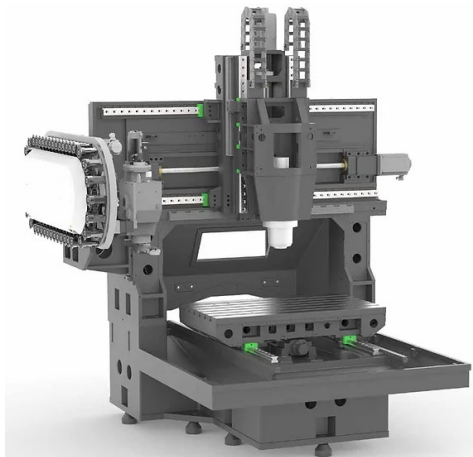
(3) 大隈机械(上海)有限公司MU-500V III五轴立式加工中心。X/Y/Z轴行程1050/560/460mm,A/C轴行程 $+20^\circ \sim -110^\circ / 360^\circ$,主轴最高转速15000r/min。具有高精度稳定性,经时热位移 $\leq 7\mu\text{m}$ (环境温度存在8℃的变化时),在更高的维度上兼顾高生产率/高精度与脱碳,功耗削减12%,紧凑且宽敞的加工空间,加工空间扩大68%(与最大工件直径 $\phi 600\text{mm}$ 的同系列机型相比),提供革新性HMI(人机界面),使初学者也可以在短时间内掌握五轴加工/多面加工的编程。



(4) GF加工方案Mikron MILL E 500 U 高效五轴加工中心。X/Y/Z行程为500/450/400mm, A/C轴行程为 $-120^{\circ} \sim 65^{\circ} / 360^{\circ}$, 最大承载为450kg。采用稳定的C型框架结构, 大型导轨和力矩电机驱动的双面支撑回转工作台, 配置60把容量刀库, 可选215刀位的塔式刀库, 电主轴最高转速为20000r/min, 最大扭矩为120N·m。主轴前端配三个预紧的复合滚珠轴承, 后端配高耐热性能的复合滚柱轴承, 确保主轴旋转系统达到超高刚性, 允许使用超长刀具铣削深型腔。可选配System 3R托盘库和夹紧系统, 满足自动化加工需要; 具有主轴中心冷却、冷却液温度控制、油水分离、干式加工等多种选配功能。是高动态性能、高效率的加工中心。

(5) 德国贝托特·哈默机械制造股份公司C42U五轴加工中心。直线轴X/Y/Z行程为800/800/550mm, 直线轴的快移速度45/45/40m/min, 选用15000r/min转速主轴, 选配的数控回转摆动工作台直径 $\phi 440$ mm, 力矩电机驱动, 摆动角度 $\pm 130^{\circ}$, A轴转速55r/min, C轴转速65r/min, 最大承重450kg。哈默C42U是一台高动态型的五轴五联动加工中心, 主轴具有防撞保护套, 用以吸收Z向碰撞时产生的冲撞能量; 哈默的工作台采用了先进的驱动技术, 为五轴加工提供了高水平的动态性能; 采用匣式嵌板结构, 可以实现从标准单机, 到柔性制造系统的快捷组合。

(6) 普锐米勒机床GT11超高性能高速加工中心。工作台尺寸1200×700mm, X/Y/Z轴行程为1150/700/520mm。采用龙门式结构, Y轴行程大, 三个直线轴采用滚柱导轨、丝杠中空冷却和全闭环控制, 配置电主轴, 最高转速20000r/min, 接口形式为HSKA63, 超宽的立柱和床身设计提高了机床刚性, 配置刀库容量为40把伺服刀库, 标配两个螺旋式排屑器和一个链板式排屑器。具有微量润滑、主轴中心出水、刀具测头等多种选配功能。



(7) 哈斯自动数控机床(上海)有限公司VF-2SSYT-V+PALLET POOL加工中心单元。配合3+1 多托盘实现大批量生产运行或高混合率/小批量加工应用。托盘(914×457 mm), 带螺纹孔样式, 可根据优先级和排序要求单独安排。完成的托盘自动返回到存放位置, 或者依次排列到工位, 接受卸载和重新装载。实现“熄灯”生产的全集成解决方案。VF-2SSYT机床标配12000r/min直驱主轴, 30+1超快侧挂式伺服刀库, 机床采用经典的C型结构, X/Y/Z轴行程为762/508/508mm。



(8) 台湾友嘉实业集团UCH-660 摆头式五轴立式加工中心。X/Y/Z轴行程1250/750/820mm, B/C轴行程为 $\pm 110^{\circ} / 360^{\circ}$, 主轴最高转速18000 r/min, 主轴功率29.5/37kW。采用立式动柱架构, 米字形结构提升立柱抗弯与抗扭强度, 配重采用气压缸支撑, 立柱外型金字塔型增加移动稳定性。底座一体式架构, 内部结构采用箱型体设计, 大幅提升承载力, 工作台采用高低轨设计增加刚性。具有车复合功能, 缩短产品工艺链。模块化设计, 可根据客户需要变更立柱、工作台、主轴头等互换部件。

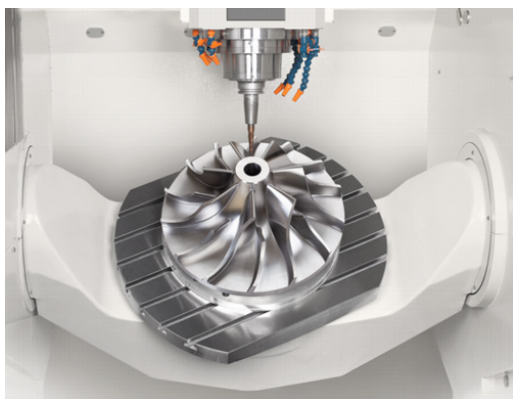
(9) 广东科杰技术股份有限公司JTDR-400五轴钻铣中心。X/Y/Z轴行程400/400/400mm, 主轴最高转速24000r/min, 快移速度48m/min, 最大加工速度30m/min, A/C轴最高转速为57/120r/min。高速换刀系统, DD直驱高速转台, 定位精准可靠, 移动速度高, 缩短空移时间, 是批量加工产品的选择, 优良的人机交互界面, 操作简单。适用于3C产品、汽车、仪器仪表、轻工轻纺、电子电器、航空航天和机械制造等行业的中小型箱体、盖、板、壳、盘等零件的加工。

(10) 北京北一机床有限责任公司BF-A150 高精度叶片五轴加工中心。最大顶尖中心距900mm, 最大旋转直径 $\phi 450$ mm, 最大工件重量200kg, X/Y/Z/U轴行程为850/520/420/500mm, A/A1轴行程 $n \times 360^{\circ}$, B轴行程 $\pm 91^{\circ}$ 。机床采用立式工作台的设计保证了最佳的排屑效

果,配置A和A1连续旋转驱动装置,实现同步双驱,头架和尾架之间的距离可根据需要调整,以适应不同的叶片加工,配置自主开发的叶片专用CAM软件。适用于航空发动机高精度叶片的高效加工。



(11) 北京精雕科技集团有限公司JDMR600精雕精密型五轴高速加工中心。X/Y/Z轴工作行程: 650/660/500mm, A/C轴回转角度: $-120^{\circ} \sim 90^{\circ} / 360^{\circ}$, 最大工作承重400kg, X/Y/Z轴定位/重复定位精度0.003/0.002mm, A/C轴定位/重复定位精度 $6'' / 4''$, 主轴最高转速20000r/min。动梁龙门式结构, 具有稳定的微米级加工能力。配置 $\phi 150$ 高速同步电主轴, 具有高转速低振动的特点, 具备精密铣削、镗孔、钻孔和攻丝等复合用刀能力。配摇篮式双轴直驱转台, A轴采用双驱技术, 最大负载400kg。配置北京精雕在机检测系统, 对工件、刀具、机床状态进行在机检测与修正, 降低关键要素“固有偏差”对零件精度的影响。适用于加工各类结构特征复杂、毛坯边界偏差离散、材质为硬料或难切削材料(淬火钢、不锈钢、钛合金等)的重型精密零件。



(12) 浙江日发精密机床有限公司RFMV80_5XP立式摇篮五轴加工中心。工作台直径 $\phi 630$ mm, 工作台最大承载500kg(水平 0°), X/Y/Z轴行程为800/1200/550mm, A/C轴行程为 $\pm 130^{\circ} / 360^{\circ}$, X/Y/Z轴定位/重复定位精度为0.005/0.003mm, A/C轴定位/重复定位精度为 $6'' / 4''$ 。机床全闭环控制, 整体布局为

桥式结构, 床身采用一体式高架墙结构, 横梁、工作台、拖板和滑枕等主要大件使用优质铸件, 设计结构和筋板布置合理, 并经有限元分析和优化设计, 提供了最佳的机械设计和轻量级结构, 同时保持最好的设备刚性。主轴采用内置式电主轴结构, 安装于滑枕底部, 可最大限度抑制热变形和振动。摇篮工作台借鉴意大利MCM摇篮设计结构, 并在此基础上优化结构, 加强刚性。

(13) 山东蒂德精密机床有限公司VB63F5数控立式摇篮五轴联动加工中心。X/Y/Z轴行程800/800/600mm, A/C轴行程 $\pm 120^{\circ} / 360^{\circ}$, 工作台尺寸 $\phi 630$ mm, 最大工件回转直径 $\phi 850$ mm。机床整体采用龙门式框架结构, Y轴采用双驱动结构设计, 床身采用高强度矿物铸件一体铸造, 机床配置了高速电主轴, 主轴内部温度控制采用了全封闭式循环冷却液恒温控制装置; 各导轨、滚珠丝杆等润滑点采用集中定时定量润滑泵站润滑, 同时配置高可靠性气动元件和高灵敏度压力检测开关, 保证机床在气压未达到要求压力时精确报警并停止任何动作。

(14) 深圳市创世纪机械有限公司T-6050-2华领智能双头立式加工中心。采用铸铁结构设计, 自主研发设计变频式刀库, 左右对称布置, 配置供气稳定的储气罐, 保障换刀过程稳定性, 配置双高速主轴单元, 标配BT40-12000 r/min直联主轴, 搭配7.5/11kW大扭矩主轴电机, 三轴均采用精密级滚珠丝杠、导轨, 三轴均采用FAG/NSK轴承。在精密零件、5G产品、五金、汽配、医疗器械行业以及3C、新能源等领域得到广泛应用。

(15) 中国航空制造技术研究院V5 1030 ABM五坐标立式加工中心。X/Y/Z轴行程3000/1000/800mm, A/B轴行程 $\pm 30^{\circ}$, X/Y/Z轴定位/重复定位精度0.03/0.02mm, A/B轴定位/重复定位精度 $14'' / 7''$ 。主轴采用两档变速, 最高转速6000 r/min, 主轴扭矩800N·m, A/B轴扭矩6000N·m, 可兼顾铝合金等轻金属材料 and 钛合金等难加工材料框、梁、肋、接头等零件的加工。主要适用于钛合金、高强度钢等材料结构件。



(16) 南通航智装备科技有限公司5DGB50五轴联动立式加工中心。X/Y/Z轴行程为800/850+180(换刀行程)/560mm, A/C轴行程为 $\pm 110^{\circ}/360^{\circ}$, 主轴最高转速18000r/min, 额定转速4300r/min。该机床为龙门式五轴联动立式加工中心产品, 可实现五轴联动。适用于蜗轮、叶片、复杂模具和空间凸轮等具有复杂曲面的零件加工, 应用于军工、航空、航天、发电和造船等行业。

(17) 上海拓璞数控科技股份有限公司VMC-C70D双主轴立式五轴加工中心。X/Y/Z轴行程700/1000/600mm, 摆动轴(A轴)行程 $-90^{\circ} \sim +120^{\circ}$, 工件加工最大尺寸为(直径 $\times$ 高) $\phi 699 \times 600$ mm。机床具有双工位, 采用大尺寸结构设计, 并通过有限元分析优化, AC轴双力矩电机直接驱动。适用于汽车工业、航空航天、工程机械等行业的精密制造。

(18) 汇专科技集团股份有限公司ULM-600超声高效精密雕铣加工中心。主轴可选HSK-E32/HSK-E40/HSK-A63, X/Y/Z加工行程为600/500/300mm, 定位/重复定位精度为0.005/0.003mm, 主轴最高转速40000r/min, 配置汇专自主研发智能化超声加工系统, 解决难加工材料的加工痛点, 可选配内冷超临界二氧化碳或微量润滑(MQL)冷却系统, 实现清洁切削, 两种丝杠导轨防护可选, 满足硬脆材料、金属材料加工需求, 可选配单/双刀库。

(19) 上海交大智邦科技有限公司SV300双主轴立式涡旋盘加工专用机床。工作台面尺寸 $\phi 250$ mm, 工作台承重80kg, X、Y、Z轴定位/重复定位精度为0.003/0.002mm, C轴定位/重复定位精度为 $3^{\circ}/2^{\circ}$ 。采用涡旋型线高效精密加工工艺——恒切削法向矢量X、Y、C插补, 刀具和涡旋壁在X轴方向和Y轴方向上相对移动形成进给运动, 内壁面、中心壁面、外壁面依次沿同一切向进给方向进行连续加工, 使整个加工型线过程中的切削量不产生变化, 大大地提高型线的加工精度及效率。主要性能以高速、高精加工涡旋盘叶片型面为主, 也可进行钻孔、攻丝、铣面等多种工序的加工, 设备性能参数匹配XYZC专用插补加工工艺的需求, 特别适宜新能源车用涡旋盘零件涡旋型面精加工。加工性能指标能达到(1)加工精度: 涡旋系列产品轮廓加工精度控制在 $15\mu\text{m}$ 内, $\text{CPK} \geq 1.67$; (2)加工自动化: 实现零件智能管控单元式生产, $\text{OEE} \geq 85\%$; (3)生产可靠性: 无故障运行时间 $\text{MTBF} \geq 3000\text{h}$; (4)生产效率: 采用双主轴同步高速加工模式, 单台精加工产能可达30万件/年。

(20) 山东豪迈数控机床有限公司XHS630-C五轴加

工中心。X/Y/Z行程为700/830/550mm, A/C轴行程为 $\pm 120^{\circ}/360^{\circ}$, 主轴最高转速为20000r/min, 直线轴定位/重复定位精度为0.006/0.004mm, 旋转轴定位/重复定位精度为 $7^{\circ}/4^{\circ}$ 。机床为5联动立式加工中心, 采用整体式龙门结构铸造床身及三角支撑横梁, 具有良好的热稳定性及结构刚性, 直线轴速度可达60m/min。搭载大扭矩电主轴及直驱摇篮转台, 可满足高速、大扭矩切削。通过进给自适应控制、负载自适应控制、主轴热补偿等, 进一步提高加工效率和精度。配备车削功能, 一次装夹可完成铣、车、钻、镗、铰等工序。适用于精密模具、透平机械、汽车、医疗器械、3C等行业。

(21) 大连三垒科技有限公司SHW125立卧转换五轴联动加工中心。工作台面有效尺寸(直径 $\times$ 宽度) $\phi 1250 \times 1100$ mm, X/Y/Z轴行程为1250/1250/1000mm, 配备了支持五轴联动的高档数控系统、B轴铣头、C轴连续驱动数控转台、高速电主轴等主要功能部件, 具有定位精度高、响应速度快、可实现五轴联动加工等特点。主要铸件均采用树脂砂造型的高强度铸铁材料, 采用合理的箱体及布筋结构, 具有良好的抗弯曲性能。配置电主轴、全闭环控制, C轴采用力矩电机驱动, 加速度为0.5g, 具有主轴中心出水功能, 适合中大尺寸的零件精密加工。

(22) 超同步股份有限公司E1-A215五轴加工中心。经典C型结构, 配置自主研发的高速高精度高动态响应电主轴, 电主轴采用高效异步内装电机最高转速18000 r/min, 高精度陶瓷轴承, 振动传感器、温度传感器及刀具内冷等功能可选配, 自主研发力矩电机直驱转台可实现负角加工。工作台直径 $\phi 630$ mm, X/Y/Z三轴加工范围为600/450/400mm, 工件最大重量500kg, B轴行程为 $-35^{\circ} \sim +110^{\circ}$, X/Y/Z轴定位/重复定位精度0.007/0.005mm, B/C定位/重复定位精度 $6^{\circ}/4^{\circ}$ 。

(23) 沈阳马卡智工科技有限公司SHARP125UT车铣复合五轴万能加工中心。工作台尺寸 $\phi 1250$ mm, B/C轴行程为 $-30^{\circ} \sim 180^{\circ}/360^{\circ}$, 工作台最高转速为300 r/min, 具有车、铣、磨一体化的复合五轴加工中心, 配有成熟的回转铣头和车削功能的回转工作台, 与三直线坐标实现五轴联动加工。大扭矩电主轴/机械主轴、 45° B轴高刚性摆动铣头。B轴采用双齿轮消除大扭矩机械驱动, 配置大扭矩电主轴或两档变速的机械主轴, 满足钛合金和高温合金强力切削需要。机床采用对称机构, 热源温度控制, 温度补偿等热亲和技术, 提升机床长期工作精度稳定性。

(24) 江西佳时特数控技术股份有限公司SF260

小型立式五轴高速铣削加工中心。X/Y/Z轴行程为700/500/360mm，五轴加工范围为 $\phi 340$ （直径） $\times 300$ （高）mm，主轴最高转速30000r/min（42000r/min可选配），快移速度60m/min，加速度1g，直线轴定位/重复定位精度为0.003/0.002mm，旋转轴定位/重复定位精度为 $6''/4''$ 。采用全密闭的力流结构设计，对机床的主要零部件及整机进行有限元分析，直线轴采用直线电机驱动，配合35#滚柱导轨，Z轴采用气体配重系统，全闭环控制。

（25）天津市天森智能设备有限公司VMC630V6六轴联动加工中心。机床配备天大精益品牌U1系列高档数控系统，采用全新PC数控系统平台，具有高速高精、多轴多通道、车铣复合控制、五轴RTCP和五轴倾斜面控制加工功能，系统采用模块化、可重构、开放式的体系结构，可配置多种外设单元。面向数字化车间提供多种网络通信能力，机床具备六轴联动加工功能，产品一次装夹可以完成铣、镗、钻、铰孔、攻丝、铣螺纹等加工工艺。能够适应汽车零部件、航空航天、医疗等现代模具产品的加工和制造。

（26）上海航天壹亘智能科技有限公司SMG80五轴联动（铣车复合）加工中心。X/Y/Z轴行程800/900/620，A/C轴行程 $\pm 120^\circ/360^\circ$ ，主轴最高转速（标配/选配）14000/20000r/min，X/Y/Z定位/重复定位精度0.008/0.005mm，A/C轴定位/重复精度 $8''/5''$ 。龙门框式、高强度铸铁底座和双立柱结构，配置摇篮式AC工作台，高精度、大功率电主轴，Y轴采用双驱同步控制方式。适用于加工大型复杂零部件如发动机机匣、整体叶盘、涡轮转子，复杂轴类、盘套类、复杂箱体类零件的精密加工。

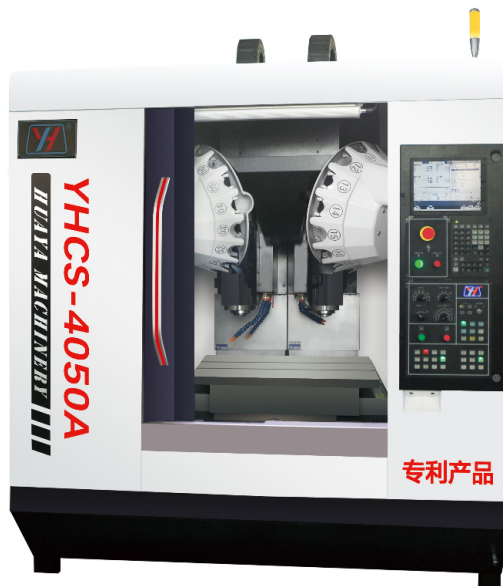
（27）阿帕斯数控机床制造（上海）有限公司U400S超高速全直驱五轴精密加工中心。X/Y/Z行程为1000/600/400mm，工件最大直径 $\phi 350$ mm，工件最大厚度为350mm。采用高刚性龙门式结构，高强度铸铁床身，摇篮式工作台，工作台面水平时低于A轴旋转中心50mm，伺服轴都应用直驱技术，快移速度可达60~90 m/min，伺服的强刚性保证了重切削、精密切削所需要的动态跟随精度及粗加工的强力去除能力。

（28）安徽鹏睿智能科技有限公司VS-1170X五轴加工中心。X/Y/Z三轴行程：1150/700/500mm，A/C轴行程 $\pm 110^\circ/360^\circ$ ，主轴最高转速20000r/min。采用大跨距床身滑鞍，工作台六滑块下锁式固定；金字塔型双层壁立柱，A字型主轴箱六滑块固定，肩抗式刀库，三轴传动一体铸造。配置AC轴摇篮转台，可4+1轴角度定位五面加工，满足复杂零件加工需求。

（29）东莞市宝科精密机械有限公司BF-V1立式加

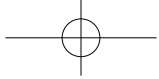
工中心。X/Y/Z轴行程1150/650/650mm，快移速度36m/min，主轴最高转速12000r/min，工作台最大承重900kg。整机设计采用大跨距支撑，超宽的底座及人字立柱，工作台不悬垂，所有铸件内部采用井字形筋骨布局，筋骨高度与厚度比3:1，经有限元分析，优化各机械部件设计。

（30）深圳市华亚数控机床有限公司YHCS 4050A高速双主轴钻攻中心。工作台尺寸（宽 $\times$ 长）420 $\times$ 900mm，工作台承重400kg，快移速度X/Y/Z1/Z2为60/48/48/48m/min，主轴最高转速20000r/min，刀库容量2 $\times$ 24把，换刀时间1.5s。采用双主轴、双立柱、双刀库结构，能实现双主轴联动加工，基于高速处理器系统自主开发的软件，可同时加工两个相同零件，并具有双主轴高速同频攻丝，效率提升100%。机床配置双刀库，可相频异步换刀，具有刀具长度自动补正功能，保证加工精度。

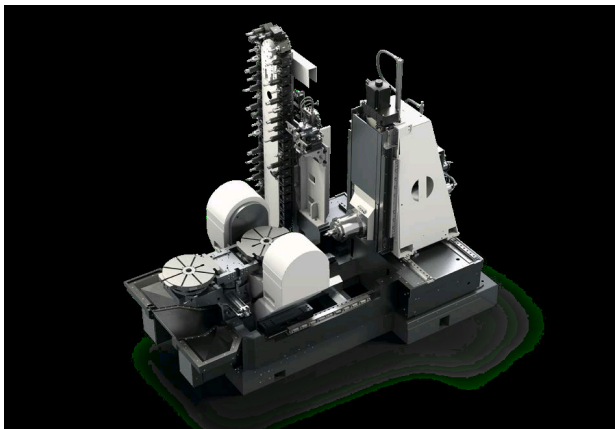


2. 卧式加工中心

（1）斯达拉格Heckert_T45五轴加工中心。X/Y/Z轴行程700/750/750mm，X/Y/Z轴进给速度80m/min，加速度0.8g/1.1g/0.8g，转台最高转速为900r/min，换刀时间3.8 s，托盘交换时间12.5s。是一款“工艺密集型”五轴卧式加工中心，带有高速摇篮机构，专为复杂工件的一次装夹整体加工而设计，其摇篮机构位于机床工作台两侧，两侧为同步驱动，可进行高动态联动加工，可利用自由曲面和多角度加工实现卓越的工件表面质量。在动态性能、稳定性和精度方面均有独到之处，同时占地空间最小化，模块化设计可实现机床的灵活配置，相较于采用旋转对称方法（如车削、车铣和滚齿加



工) 的传统五轴机床, 这款机床900 r/min的高速转台能扩展用户的加工能力。



(2) 格劳博机床(中国)有限公司G150加工中心单元。由自主开发生产的紧凑型机器人单元GRC-R12和五轴联动通用加工中心G150组成, 具备高精度切削能力的自动化解决方案——从单台加工中心到批量化柔性交钥匙生产线。加工中心G150的X/Y/Z轴行程为450/670/665mm, 电主轴16000r/min, HSK-A63, 206N·m, 32kW (40%ED)。格劳博机器人单元GRC-R12: 自动化工件搬运处理, 最大工件重量2.5 kg, 最大工件高度85mm, 每个抽屉最大承重100kg, 可用抽屉尺寸600×400mm, 最多抽屉为6个。格劳博机器人单元GRC可在一个系统中生产多种类型的工件, 也可以在无人化生产的情况下自动更换工件, 创新性的进给系统有两个“抽屉”型号供选择(拉出方向A或B), 可以实现更长时间的无人化生产, 并为工件或夹具的进给和释出提供紧凑的解决方案。另外, 结合格劳博自主研发的GROB-NET4Industry, 利用网络技术模块化应用程序使得直接或间接和机床操作相关的领域, 能够以实现最优产能规划的方式进行高精度加工和高质量运行。从生产规划, 监控和分析, 到工件加工过程的可视化、透明化生产。



www.cmtba.org.cn

(3) 格劳博机床(中国)有限公司G320 G系列双主轴加工中心。X/Y/Z轴行程为750/ 850/ 870mm, 电主轴最高转速12000r/min, 最大扭矩为206N·m, 最高功率为32kW。作为G系列模块化柔性加工中心系列最紧凑的型号, 相较于上一代, 更灵活、更动态、更高效, 并具丰富的扩展功能和设备特点, 同时适用于干式、微量润滑和湿式加工。G320平行布局的双主轴可以同时进行两个工件的加工, 实现在同一台机床上加工不同型号的工件而无需额外的准备上料过程。



(4) 山崎马扎克(中国)有限公司HCN5000 L+FMS卧式加工中心+柔性制造单元。由HCN-5000 L和FMS(12P)组成, HCN5000 L是整个HCN系列机型中, 从中小规格向中大机型转换的典型机型。主轴种类丰富, 能以最佳切削条件对各种材料进行加工。X、Y、Z轴快速进给速度达到60m/min, X轴线性导轨安装面采用带高度差的立柱倾斜式结构, 在维持高刚性的同时, 减轻了立柱重量。标配为1°×360°定位分度工作台, 备有可进行0.0001°×3600000°定位的NC旋转工作台。可选配丰富的自动化功能, 从单机到加工生产线, 实现适合不同生产形态的自动化。FMS线, 线体、小车和控制系统均为马扎克自行设计制造, 更具有高效率、高灵活性和高度扩展性。



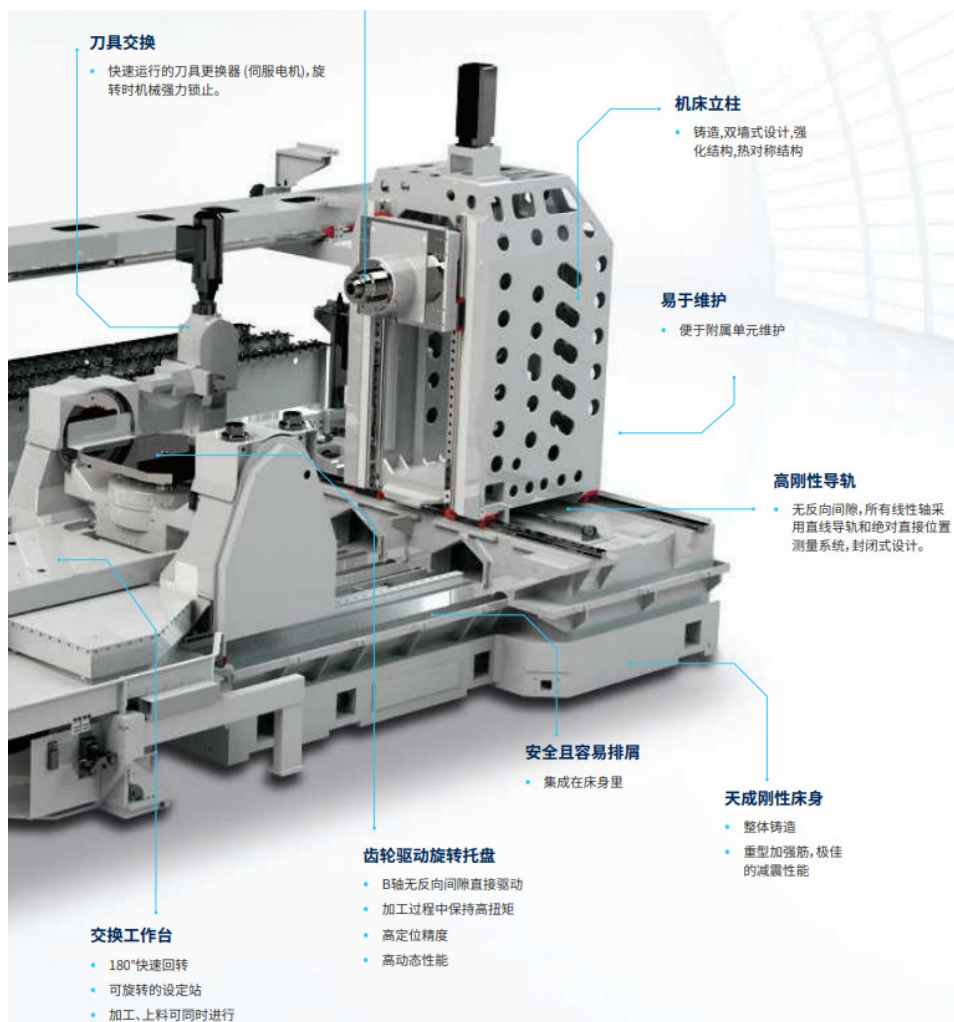
(5) 恒轮机床(常州)有限公司HF 5500 五轴卧式摇篮加工中心。X/Y/Z轴行程900/950/930mm,可加工工件(直径/高度) $\phi 900/870\text{mm}$,带支撑轴承的旋转数控转台和带高动态扭矩驱动的AB运动轴作为标配,Z轴龙门驱动给力增加,新型DC 主轴兼容高速和扭矩。提供高精度、高动态性能五轴联动加工的同时,集成了车削加工、滚齿加工、刮齿加工等功能,满足客户在各种领域的加工需求。带托盘更换装置或工作台装载功能的通用加工中心,通过工件或托盘自动化轻松实现自动化,NC 旋转工作台配有反向轴承和 AB 运动系统,具有最低的质量惯性矩,可实现快速定位。



(6) 埃斯维机床(苏州)有限公司BA space3卧式加工中心。X/Y/Z轴行程为3000/1800/875mm,A/C轴行程为 $\pm 105^\circ / \pm 135^\circ$,主轴最高转速17500r/min。机床为单主轴双工作台,采用SW专利整体框架式床身结构,配备直线电机及两轴旋转头实现五轴加工,快移速度可达120m/min,加速度可达2g,X轴龙门式驱动,大尺寸工作空间,主要用来加工新能源车零件,比如电池壳体及前后车身结构件,满足市场上对新能源汽车零件中更大尺寸零件加工

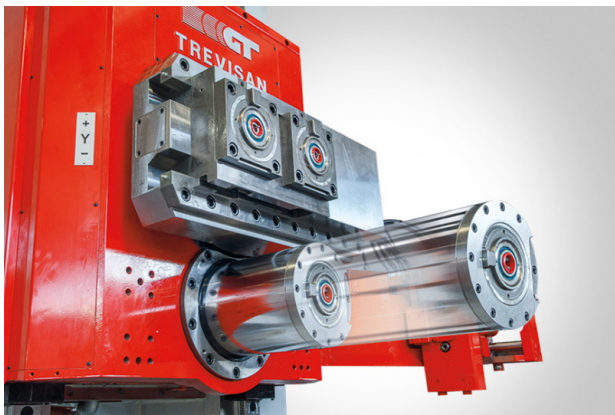
的需求。

(7) 惠乐喜机床公司NBH630BA 卧式加工中心。托盘尺寸为 $630 \times 630\text{mm}$,摇篮式工作台,有限元优化设计的组合机座、机械主轴允许粗加工和随后的精加工机械加工。用户友好、直观的HMI人体工程学设计。优化的驱动设计、按需制冷技术、自动待机模式,节能运行节省了资源。既可以独立灵活地单机部署,也用于与机器人处理和托盘存储系统的连接实现自动化解决方案。稳定的机器基础结构、高的主轴转速及强力主轴,在粗加工时高效切削,在精加工过程中具有极高表面质量和精度。

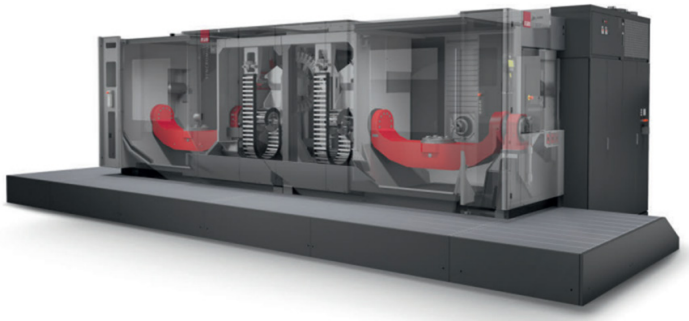


(8) 宝力机械有限公司H550Xd1日本「兄弟」卧式紧凑型加工中心。X/Y/Z轴行程550/400/400mm,X/Y/Z轴快移速度50/56/56m/min,B轴最高转速100 r/min,主轴最高转速10000r/min /16000 r/min (选配项)/10000 r/min 高扭矩(选配)。具有宽阔的夹具区域,搭载30把刀库、高速B轴工作台。充分发挥机电一体化开发优势,如高加减速主轴及换刀动作的高速化和优化,惯性估算功能等。另搭载以新开发的12000r/min标准主轴马达为主的高效率、高输出主轴马达和新开发的高刚性主轴,利用通过SPEEDIO培育的CAE分析技术,实现高速性能和机械刚性。配合支持7MPa高压切削液及具有高夹紧力的B轴工作台,发挥出色的加工能力。

(9) 特雷维桑机床有限公司DS 600数控卧式加工中心。工作台规格(长×宽)1100×1200mm,工作台最大承重2600kg,数控平旋盘(U轴)本体长度600mm,U轴行程200mm,最高转速450r/min,最大扭矩6080N·m;卧式镗铣主轴(W轴)主轴直径 ϕ 230mm,最高转速4000r/min,W轴(数控滑枕)行程350mm。该机床是一个主体,两个主轴,集成式车削装置,结合了对固定工件或旋转工件进行加工的优点,并且集中工序,工件一次装夹即可完成车削、铣削、镗孔、钻孔、攻丝等多种加工工艺,缩短非加工时间、减少重复装夹误差,提高产品精度。



(10) 菲珥公司Syncromill D 2000X 双主轴卧式加工中心。X/Y/Z轴行程为2000/850/700mm,快移速度为100/75/105m/min,加速度为1g/1.1g/1.8g,超大的工件转台回转直径 ϕ 2000mm,灵活的主轴配置(HSK63、HSK80和HSK100可选),微雾冷或水冷皆可,四轴或五轴,快速换刀,屑到屑换刀时间为3.7s,可配置转换工作台,变频液压、双面夹持、高效率、双主轴、超大转台、高转速、高刚度,满足大规模稳定生产需求,适合新能源汽车行业的大型一体化压铸车身铸件高效率加工,也适合车身零件、副框架、纵向构件、车辆结构部件、电池外壳、汽车横梁的的加工。



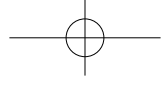
www.cmtba.org.cn

(11) 四川普什宁江机床有限公司TH6350 III 卧式加工中心。X/Y/Z轴行程为800/750/800mm,最大工件回转直径 ϕ 850mm,托板台面最大承重800kg。床身为高刚性正T型整体结构,床身采用3点支撑,无需制作专用地基,安装简便。机床配置圆盘式刀库和重型机械手,刀具最大重量可达25kg。工作台标配端齿盘分度,端齿盘规格由原来的 ϕ 400增大至 ϕ 600,提高了转台的抗倾覆能力,提高Z轴加工刚性。机床Y轴选用大规格伺服电机,取消液压平衡系统,提高Y轴精度稳定性和机床可靠性。适用于汽车、模具、泵、阀门、缝纫机等行业。

(12) 北京北一机床有限责任公司MAR-630H II-e 卧式加工中心。X/Y/Z行程为1000/900/1000mm,工作台尺寸为630×630(双工作台),承重为1200kg,主轴转速50~6000r/min,刀库容量40把。配置大扭矩高功率的NO.50主轴,还可以配置高速高效的NO.40主轴,标准机型配备了OKUMA先进的热位移补偿功能,整体床身的3点支撑,增加了矩阵式刀库选择。

(13) 科德数控股份有限公司KTBM120六轴五联动叶盘加工中心。工件最大回转直径 ϕ 1200mm,工件最大厚度270mm,工件最大重量500kg,X/Y/Z轴行程500/500/900mm+换刀行程,工件轴回转范围 $n \times 360^\circ$,转台B轴回转范围为 $\pm 85^\circ$ ($\pm 180^\circ$ 可选),摆动A轴回转范围 $\pm 180^\circ$ 。总体平床身立柱移动的布局,水平床身两侧使用大倾斜角度螺旋排屑,动柱直线导轨配有6个滑块,确保机床的铣削主轴到床身拥有最高的稳定性和最佳的力学传递。加工点在摆头中心轴、转台中心轴附近,受力方向在工件轴附近,具有良好的受力条件。45°摆头A轴、转台B轴、工件轴C轴、X轴、Y轴、Z轴均采用直驱技术,工件轴C轴不参与联动,其余五轴实现五轴联动,全闭环控制。机床刀库标配72把双排圆盘式刀库,圆盘刀库通过直线轴和旋转轴伺服驱动。

(14) 中国通用技术(集团)控股有限责任公司MDH50卧式加工中心柔性制造单元(大连机床有限责任公司)。该柔性制造单元由MDH50卧式加工中心、托板交换装置、圆周仓储系统、装卸料工作站和单元控制系统等组成,可实现多种零件的自动化柔性加工。主机与自动化装置,由大连机床自主研制,数控系统与料仓的控制系统由机床研究院自主研制,首次搭载了具有闭环检测功能的时栅导轨集成装置。仓储部分采用模块化、系列化设计,可根据客户需要,以圆周形式或直线形式组合,能够通过配置组合实现与不同形式、不同规格的卧式加工中心的配



用,具有高集成、高柔性、高自动化的特点,适用于多品种、中小批量的零件加工,可满足各类机加行业的客户工艺需求。

(15) 中国通用技术(集团)控股有限责任公司M/800HA卧式加工中心(机床工程研究院)。机床的总体结构为正T字形,高低轨、动柱式结构布局。采用斜床身设计,加大了X轴的跨距,对称框式结构立柱,转台为力矩电机驱动。三个直线轴丝杠为中空内冷丝杠,配置主动温控系统,对电机、丝杠、轴承等发热源进行温度主动调整,减少由热源引起的变形。

(16) 中国通用技术(集团)控股有限责任公司GMC125u/t五坐标加工中心(沈阳机床有限责任公司)。工作台尺寸(长×宽)1250×1250mm,承重为2500kg,加工最大零件的回转直径 ϕ 1400mm,X/Y/Z轴定位/重复定位精度为0.006/0.003mm,A/B轴定位/重复定位精度为6"/4"。该机床为卧式叉式单摆结构,实现五轴联动。采用整体床身底座、单立柱式结构,拖板带动摆头移动,整机热对称设计,热稳定性好。X、Y、Z坐标运动导轨采用重载滚柱直线导轨,立柱导轨采用三导轨支撑结构,工作台回转运动驱动形式采用主从电机双消隙传动结构,垂直轴采用氮气平衡机构,配置容量为120把矩阵式机器人刀库,刀具数量可根据用户需求定制,拓展性强,便于实现车间级中央刀库自动管理。通过功能模块组合实现机床的五坐标加工及五轴联动车铣复合加工功能,快速响应用户不断变化的需求。

(17) 宁波海天精工股份有限公司HF80H卧式加工中心。X/Y/Z轴行程1050/1050/1445mm,快移速度50m/min,主轴最高转速8000 r/min,BBT50刀柄,刀库容量40把。采用一体式铸造床身,整体抗弯、抗扭刚性好,立柱采用大阶梯、墙式结构,结构刚性最大化。直驱电主轴,A轴摆头应用零背隙凸轮滚子传动加上闭环反馈,具备好的精度保持性。三轴采用中空丝杠,冷却液通过丝杠中空部位,有效抑制温升,保持精度稳定。刀库采用伺服电机驱动,定点换刀,有效缩短换刀时间。龙门框架式APC旋转交换台,高承重。一次装夹可完成零件多面加工,具备镗削、铣削、钻孔、扩孔、铰孔、攻丝等多加工功能。

(18) 秦川机床工具集团股份有限公司HMC100/5S卧式五轴加工中心(陕西秦川精密装备有限公司)。X/Y/Z行程1500/1250/1500mm,A/B轴行程 $-100^{\circ} \sim +60^{\circ} / 360^{\circ}$,工件回转最大直径 ϕ 1400mm,主轴最高转速7000r/min,主轴扭矩(S1-100%)500N·m。整机采用T型结构,主轴箱

采用电主轴式摆动头结构,主轴在Y、Z平面内摆动为A轴,工作台装在前床身滑座上,台面旋转为B轴。机床X、Y、Z、A、B采用全闭环控制,可实现5轴联动、刀具补偿、丝杆螺距误差补偿和测量系统误差补偿等功能。

(19) 山东威达重工股份有限公司HMU1000五轴卧式加工中心。X/Y/Z轴行程1100/1250/1100mm,A/C轴行程 $-30^{\circ} \sim 180^{\circ}$,工作台最大承重1500kg,最大工件回转直径 ϕ 1200mm,X/Y/Z轴定位/重复定位精度0.008/0.005mm,A/C轴定位/重复定位精度10"/6"。床身采用高刚度、低应力结构大件铸造技术,制造出三点支撑结构床身,立柱和滑板组成框中框结构,滑板在全行程范围支撑。X、Z轴均采用双驱同步技术,配置自制45度直驱摆头、直驱转台及高速电主轴。

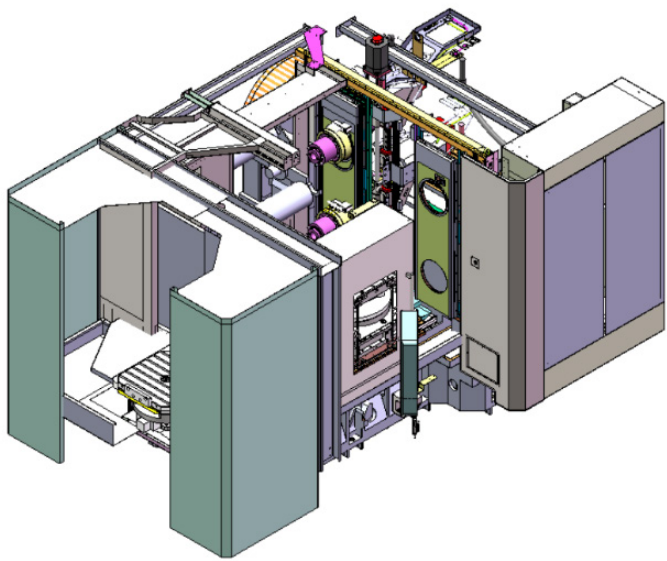
(20) 北京博鲁斯潘精密机床有限公司HMC60L-5i双主轴五轴联动高速精密加工中心。X/Y/Z轴行程630/600/600mm,主轴转速17000r/min,双主轴间距600mm,A/U轴最大转速50r/min,X/Y/Z快移速度120m/min,X/Y/Z轴定位/重复定位精度0.005/0.003mm,A/C/U轴定位/重复定位精度6"/3",交换工作台定位精度6",重复定位精度3",刀库容量112。采用双主轴+双摇篮式交换工作台系统,拥有17个数控轴,可切换A1/A2、C1/C2/C3/C4五轴联动机床在加工的同时,同步进行上下料。主要用于民用飞机涡轮涡扇、汽轮机涡轮涡扇批量高效制造或汽车铝合金发动机缸体、变速箱壳体、转向节等汽车零部件精密加工。

(21) 南通国盛智能科技集团股份有限公司DHM125X卧式五轴车铣复合加工中心。X/Y/Z轴行程1400/1200/1000mm,C轴行程 $-30^{\circ} \sim 180^{\circ}$,工作台直径 ϕ 1250mm,工作台最大载荷为2000kg,X、Y、Z轴的快移速度为60m/min,X、Y、Z轴的切削进给速度为60m/min。DHM125X卧式五轴车铣复合加工中心,B轴最大扭矩可达6000N·m,C轴最大扭矩可达3630N·m,主轴最高转速可达8000r/min;三轴丝杠油冷,主轴及工作台水冷,保证机床精度的稳定。

(22) 上海诺倬力机电科技有限公司NHM系列卧式五轴加工中心。X/Y/Z轴行程为600~1800/700~1400/800~1100mm,最高转速18000r/min,A/C轴行程 $-30^{\circ} \sim 180^{\circ} / 360^{\circ}$,X、Y、Z定位/重复定位精度为0.015/0.008mm,A、C定位/重复定位精度为10"/8"。是立卧转换式卧式五轴加工中心,主机结构均采用L型墙式结构,主轴基础件采用

热对称结构设计，应用有限元分析优化，三轴直线滚柱导轨，高精度定位夹紧机构，托盘的重复定位精度可达0.003mm，B轴C轴采用力矩电机结构形式，床身采用T字型整体式床身，床身与立柱结合面采用先进的注胶工艺，整体机床采用模块化设计，可选配托盘交换工作台以及工装夹具进行自动化上下料。

(23) 安徽卓朴智能装备股份有限公司HMC63P双交换台卧式加工中心。双交工作台结构，工件最大回转直径 $\phi 1400\text{mm}$ ，工作台承重1200kg，X/Y/Z行程为1050/750/900mm；主轴转速5300r/min，主轴功率15/18.5kW，电机扭矩143.3/236N·m。内部筋板优化布局，采用内部大V型主筋导轨截面，多层副筋正交结构，使床身具有较高的稳定性和抗震能力。正挂箱框型立柱结构，内部多点放射筋布置，底部大跨距大段差结构设计，刚性好，动态性能佳。主轴箱导轨对称式设计，导轨承力更靠近加工点，有效提高机床加工刚性。



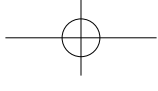
(24) 震环机床集团有限公司VMX530双工位加工中心。X/Y/Z轴行程600/350/400mm，床身采用整体式结构，立柱为移动框式结构，主轴在立柱中间上下坐标移动，立柱在拖板上左右及前后移动，工作台为固定式结构。转位工作台采用液压分度，端齿盘定位结构，回转台采用液压锁紧，保证重切屑的刚度，X/Y/Z轴采用滚柱导轨。双工位加工中心在加工过程中可以自动交换工作台和刀具，可一次装夹进行铣削，钻孔、扩孔、镗孔、攻丝等多种工序，适用于进行箱体类零件的复杂加工。

(25) 成都煜鼎特种加工技术有限公司PHU1510五轴卧式加工中心。针对新能源汽车大型框架类结构件如整体副车架、电池外壳等关键零部件加工需求而设计的高效精密加工设备，最大零件回转直径 $\phi 1500\text{mm}$ ，X/Y/Z行程为1500/1000/650mm，A/B轴行程为 $-185^{\circ} \sim +95^{\circ} / 360^{\circ}$ ，主轴最高转速12000 r/min。机床采用三直线轴和双回转轴的五轴总体结构设计，配合部分加长的刀具和特种刀具，可以实现工作直径最大为1500mm的超大规格零部件的高效精密加工；整体底座、整体框架支撑轻量化设计的运动轴系，获得更高的动态响应特性和加速度；A/B轴摇篮转台无间隙滚子蜗轮驱动，具有高动态响应特性、高刚性和持久的精度保持性；转台水平装拆零件，盘面8油路输出，实现工件自动加紧放松，满足自动化生产的需求；采用电主轴，配备中心出水、气膜保护等功能。

(26) 东莞市埃弗米数控设备科技有限公司HMU140P卧式五轴加工中心。X/Y/Z轴行程1400/1200/1200mm，A/B轴行程： $+60^{\circ} \sim -100^{\circ} / 360^{\circ}$ ，最大承重3000kg，A/B轴额定扭矩4000/5600N·m，刹车扭矩9000/13000N·m，X/Y/Z轴定位/重复定位精度0.008/0.005mm，A/B轴定位/重复定位精度8"/5"。设计时进行有限元动力学优化，搭载埃弗米自主研发的高刚性大扭矩的齿轮转台及单摆铣头，主要应用大型模具、汽配、产业机械、民用航空结构件等相关产业复杂零件的多面及五轴联动加工。

(27) 意特利(上海)科技有限公司SAKER4020SAKER高效五轴卧式翻板加工中心。X/Y/Z轴行程4100/2100/500~650mm，X、Y、Z轴快移速度50m/min，X、Y、Z轴最大进给速度40m/min，加速度0.5g，AC摆头:HS01/HS02，托盘长×宽：4000×2000mm，托盘承重能力4t。作为标准配置的自动化系统和最新开发的托盘交换性能是卧式翻板加工中心的重要组成部分，创新的移动式立柱装置的刚性床身和高动态性能的铣头，确保了高效的铣削过程。

(28) 沈阳精锐数控机床有限公司A85y翻板加工中心。X/Y/Z轴行程600/820/550mm，A/B轴行程为 $\pm 30^{\circ} / 360^{\circ}$ 。专为铝合金高效切削和柔性生产线组线开发的加工机床。三个直线轴、旋转工作台和单摆头组成五轴加工形式，主轴转速24000r/min，直线轴最大加速度1g，快移48m/min，定位精度最高0.005mm，铣削孔圆柱度0.005mm以内（孔直径 $\phi 100\text{mm}$ ）；采用十字滑板结构，双工位工作台板、顶置刀库、后排屑、操作在主轴侧面等布局形式，易于自动化成线。□



CCMT2024展品综述

——磨削类机床

中国机床工具工业协会市场部 沈华红 执笔

一、概况

据已有资料,本届展会(CCMT2024)磨削类机床展商近100家,展品200多台(不含齿轮磨床,将在齿轮类机床中介绍),展商数和展品数和CMT2023相比,均增长30%以上。其中平面类磨床33台(包括卧式平面磨、立式平面磨、成形磨、导轨磨、双端面磨、圆台磨等),内、外圆类磨床32台(包括外圆磨、内圆磨、复合磨、磨削中心等),以及无心磨床(包括贯穿式和切入式),螺纹磨床(包括内、外螺纹磨),工具磨床(包括刀片磨、锯片磨、钻头磨、铣刀磨、车刀磨、丝锥螺纹磨、段差磨等),和其他类磨床(包括坐标磨、曲轴磨、凸轮轴磨、中心孔磨等)。

二、磨削类展品主要技术特色

1. 精密高效化

随着下游产业的转型升级及新能源、新材料、高端装备制造制造业等新兴产业的快速发展,制造业对机床的加工精度、加工效率等要求也在逐步提高。磨床作为精加工设备,其精密特色在本届展会上将再放异彩。主要精度指标,如砂轮主轴、工件主轴的径向/轴向跳动、运动轴的定位、重复定位精度等,多在0.0015mm左右甚至更高。如大昌华嘉MOORE nanotech M600坐标磨, X/Y/Z轴定位精度 $\leq 0.0005\text{mm}$, X-Y/Y-Z/Z-X的垂直度 $\leq 0.5^\circ$;北二机床双驱式数控高速CBN外圆磨床,双主轴回转精度0.001mm;博谷智能VP85数控立式磨床,工作台面中心处的径向跳动/轴向跳动 $\leq 0.0002\text{mm}$ 。机床加工精度进一步得到提升,如上海机床厂有限公司H377A精密轴

系零件复合磨削中心,短外圆 $\phi 63 \times 200$ 标准试件的圆度0.0005mm;湖南高创海捷工程技术有限公司CKM315超精密外圆磨床,磨削外圆圆度 $\leq 0.0003\text{mm}$,磨削外圆柱度 $\leq 0.002/50\text{mm}$,表面粗糙度Ra0.06。

高速大功率电主轴、静压技术、直驱技术得到广泛应用,传动链短,传动精度、刚度、工作平稳性及动态特性高,为各机床厂家设计和制造高速高效磨床打下良好基础,生产出高速磨削、强力磨削、宽砂轮和多砂轮磨削等设备。如联合磨削WALTER HELITRONIC VISION 400 L工具磨,5个数控轴均采用直线电机和力矩电机驱动,拥有良好的动态特性,提高加工效率。

2. 柔性集成化

柔性化技术是制造业适应动态市场需要及产品迅速更新的主要手段之一,有利于提高磨床应用的灵活性。如转塔式砂轮架,最多可同时安装4个砂轮,加工外圆、内孔、端面、螺纹、异形轮廓表面等,也可安装CBN砂轮实现高速磨削,轴套类零件在一次装夹中实现各种内外圆、端面多部位磨削,可中小批量甚至大批量加工。砂轮架B轴技术日臻完善,可实现用一片砂轮磨削多直径和多锥面,而无需修整砂轮形状;X/Z/B轴插补,可实现B+的联动轮廓磨削和随动成形轮廓磨削。如达诺巴特LG 100外圆磨床,通过直驱B轴和多砂轮应用,实现多功能和高柔性;瑞士Rollomatic公司GrindSmart® 830XW工具磨,第6轴设计确保球刀、圆鼻和成形刀具上清边磨削的磨削点恒定,配备了15工位砂轮库和一个机械手上下料系统,可以实现4500件批量无间断的生产能力;北平机床BP850精密立式磨床,可扩展精密车削功能,提升了机床车磨复合柔性化加

工能力。

3. 磨床软件日趋成熟

随着数字技术的发展以及用户加工需求日益复杂化，磨床制造厂开发具有自主知识产权的软件，完善和丰富机床功能，提高机床的精度和性能，控制软件、仿真软件、检测软件、补偿软件等发展迅速，精彩纷呈。如联合磨削STUDER S131R配置HMI StuderSIM软件，该软件是专为内圆、圆弧、球面磨削应用而开发的，对各种磨削、砂轮修整及测量进行编程，编程结束后，对工艺进行模拟和优化；德国Schütte 335 Linear磨床，拥有自主研发的操作系统和编程软件SIGSpro，最大限度将工序、参数通过大容量数据库自动生成，具有以实体三维模型为基础的机床加工仿真；华辰装备亚 μ 级产品配置HC-SOFT自主开发的软件，向导式的编程界面，输入参数，即可实现代码生成、参数校验、模拟加工、数据导出等功能。

4. 智能化

磨床的智能技术如自动补偿、随动跟踪磨削技术、磨削软件、基于联网数据分析的设备智能运维技术，包括机床负载监控技术、生产管理、工艺优化、自学习功能、维护保养、在线编程等技术大量应用。如达诺巴特OVERBECK IRD 400内圆磨床，通过机床和过程监控设施，进行故障诊断、预防性维护以及对机床和工艺进行不断优化，为用户提供定制化的解决方案；湖南高创海捷CKM315超精密外圆磨床，配置精度补偿的在线测量仪，通过实时补偿软件，可以修正磨削精度。

5. 专业化

本届展会将有众多专用磨床与观众见面，为用户提供专业的特色服务，其精湛的专业技能深刻体现了制造者对服务领域需求的认知与机械设计制造技能的完美结合，满足用户个性化、定制化、差异化生产的需求，进而提高用户黏性。

三、典型展品

1. 平面类磨床

(1) 联合磨削集团BLOHM JUNG PROFIMAT XT 608生产型平面成形磨床。最大砂轮直径 $\phi 500\text{mm}$ ，最大砂轮宽度 160mm ，磨削范围 $600 \times 800\text{mm}$ 。机床采用模块化设计，工作台尺寸从 $400 \times 800\text{mm}$ 到 $600 \times 2000\text{mm}$ ，机床集成往复磨削、缓进给磨削、带连续修整的缓进给、高速往复磨削四种磨削工艺。采用直线电机驱动，优质球

墨铸铁和精密预载型线性导轨，可选配砂轮更换装置，最多带有8个砂轮库。搭载C.O.R.E.OS操作系统，显示触摸屏由三部分组成，提供单独调节的屏幕区域，包括工件绘图、3D模型、操作手册和原理图以及GripsProfile编程系统，还可提供符合工业4.0的可视化冷却过滤系统状态和过程监控显示。

(2) 浙江杭机股份有限公司MKL7150X10五轴航空叶片数控强力成形磨床。磨削宽度 500mm ，磨削长度 1000mm ，X/Y/Z轴行程为 $1050/550/400\text{mm}$ 。采用中腰立柱移动，卧轴矩台布局型式，工作台纵向移动、磨头垂直进给、立柱横向进给和砂轮主轴进行单独控制或联动。喷嘴随动机构数控控制，根据砂轮修整情况，实时调整喷嘴位置。有线性插补和圆弧插补等补偿功能，能实现自动磨削插补。主要用于磨削重型燃气轮机叶片圆弧叶冠、导向叶片内、外圆及安装板、圆弧槽等复杂曲面的高精度磨削加工，尤其适用于多方向、凸面、凹面、圆弧面等零件的表面加工，包括各种难加工材料的成形面。应用于燃气轮机、汽轮机、飞机发动机、模具制造等行业的叶片加工。

(3) 威海华东数控股份有限公司MG60220PC2高精度精密平面磨床。最大磨削尺寸(宽 $\times$ 长) $610 \times 2200\text{mm}$ ，可通过最大工件高度 570mm 。工作精度：磨削5块圆柱形试件，5件等厚度公差在 300mm 以内为 $3\mu\text{m}$ (热检)，磨削整块试件，整块试件等厚度公差在 300mm 长度上为 $3\mu\text{m}$ (热检)。该机床为立柱移动式平面磨床，采用T型布局，磨头体为箱体结构，主轴为特制磨头主轴，采用动静压技术，套筒式结构装入，立柱为框形箱体，采用双层壁结构，提高结构刚性。工作台采用平-V导轨且贴四氟乙烯耐磨带，使用双油缸液压驱动。工件可直接固定在工作台面或电磁吸盘上。适用于机械加工工厂、量模具厂及汽车行业磨削中大型零件。

(4) 中国通用技术(集团)控股有限责任公司MGK7450X2H数控高精度立式磨床(天津第一机床)。采用国产自研力矩电机直驱静压工作转台，内反馈油膜自平衡技术；横梁立柱一体化设计，床身冷却，热平衡及精度补偿技术；采用内油腔正压防护技术，配置刀库、在线测量、磨削震动检测等功能；定制化人机对话界面，包含多种磨削加工宏程序和工艺参数，操作人员简单易学，操作方便。主要用于机床、船舶、模具、轴承、阀门和机械制造业的精密盘类、环类、套类、回转支承等零部件精密磨削加工。

(5) 北京广宇大成数控机床有限公司MGK28125高精度数控立式磨床。最大工件回转直径 $\phi 1250\text{mm}$ ，最大工

件高度500mm, 最小磨削工件内孔 $\Phi 350\text{mm}$ 。工作台回转精度(轴向/径向)0.002mm, 砂轮主轴回转精度轴向/径向0.002mm。MGK28系列机床立柱采用墙板式箱型结构, 工作台采用三面闭式静压自驱式回转技术, 由大功率力矩电机直接驱动, 砂轮主轴采用动静压滑动主轴, 内置同步电机驱动, 配置圆形电永磁吸盘, 可在工作台两侧布置单点或多点金刚笔修整器、滚轮修整器、成形滚轮修整器、圆弧修整器, 满足用户对砂轮直线、斜线、曲线等多种形线的精密修整。可根据需求在立式和卧式及主轴数量上进行组合选择, 在主轴布置形式上还可以选取转塔, 每个转塔上可布置2~3根主轴。在一次装夹下可以实现零件上内孔、外圆、端面、台阶面、锥面、轴承沟道、非圆曲面等磨削要素的磨削加工。广泛应用于轴承、风电、工程机械、阀门、汽车、军工、机器人等重要国民经济领域。

(6) 无锡市明鑫机床有限公司MX1600-1高精度数控立式磨床。加工范围为磨削孔径 $\phi 300\sim\phi 1500\text{mm}$ 、最大磨削外径 $\phi 1600\text{mm}$ 、最大磨削端面外径 $\phi 1600\text{mm}$ 、最大磨削深度1000mm。机床采用双磨头结构, 模块化设计, 左右磨头可根据加工零件需要采用多种组合结构布局。立磨头回转可选配自动回转角度及回转某角度后自动液压夹紧固定。回转工作台采用静压轴承, 套筒轴系径向双支承, 保证较高抗颠覆性能, 套筒轴系轴向双支承保证轴向精度及均匀浮起量。回转台面周边轴向八块支承, 用于承受较大的重量。机床配备单点直线砂轮修整器, 可选配圆弧砂轮修整器、金刚滚轮修整器。磨头可按用户要求配备在线动平衡及AE装置。

(7) 浙江博谷精密机械科技有限公司VP85数控立式磨床。采用液体静压转台, 台面尺寸 $\phi 750\text{mm}$, 回转直径 $\phi 850\text{mm}$, 工作台面中心处的径向/轴向跳动 $\leq 0.0002\text{mm}$, 边缘处的径向/轴向跳动 $\leq 0.001\text{mm}$, X/Z轴定位/重复定位精度 $\leq 0.004/0.002\text{mm}$ (VDI/DGQ3441标准), 含有6个砂轮库。总体采用立式布局、双立柱结构, 砂轮主轴具有分度功能, 固定分度位置 0° 和 22.5° , 配备冷却过滤装置, 保证机床加工过程中热稳定性及加工精度。主要用于盘类、环类、套类、轴颈类零件的端面、台阶面、圆锥面、内孔、外圆等表面的磨削加工, 能够一次装夹, 完成内径、外径、端面多工序多结构要素磨削加工。

(8) 北平机床(浙江)股份有限公司BP850精密立式磨床。最大磨削直径 $\phi 800\text{mm}$, 最大工件高度500mm。加工精度: 内圆圆度 $\leq 0.0006\text{mm}$, 内圆圆柱度 $\leq 0.0015\text{mm}$ ($\phi 300\times 100\text{mm}$ 试件), 粗糙度 $Ra\leq 0.2\mu\text{m}$ 。采用计量级花岗岩/铸件复合床身, 气/液静压转台, 力矩电机和

直线电机驱动, 转塔式三工位砂轮交换机构, 配置六工位的砂轮库, 可实现机内自动更换砂轮, 换砂轮时间 $<10\text{s}$ 。整机有好的吸震和抗热变形性能, 能实现四轴联动复合磨削, 提升磨削精度及磨削效率。搭载聚焦弧形齿盘创新工艺开发的磨削软件, 可扩展精密车削功能, 大幅提升设备车磨复合柔性化加工能力。

(9) 宇环数控机床股份有限公司YHJMKG5325数控定梁龙门导轨平面磨床。最大磨削工件尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高) $4100\times 2500\times 1000\text{mm}$, 最大磨削工件重量15000kg。龙门间距2700mm。加工工件的直线度水平面 $0.005/1000\text{mm}$, 加工工件的直线度垂直面 $0.003/1000\text{mm}$ 。本机床采用龙门式布局, 由双立柱、横梁及床身组成封闭刚性框架结构, 机床水平轴采用液体静压方式, 工作台与床身采用优质HT300铸铁材料, 横梁为箱型结构, 采用直线导轨, 整体刚性强, 力学性能好。配置卧式周边磨头和立式万能磨头。可选配在线动平衡系统, 保证磨削的精度与表面质量。适用于磨削中、大型工件平面及各种机床导轨。

(10) 南京南特精密机械有限公司GLW-96I/400 CNC直线导轨专用磨床。可加工导轨最长为4000mm、导轨规格为15~65mm。机床采用静压主轴, 两个立式主轴用于加工导轨面, 另外一个磨头位于机床后面用于加工上下表面, 三面同时磨削, 工作台移动水平面直线度和侧面直线度均达到 $0.003/1000\text{mm}$, 最小进给量为 $1\mu\text{m}$ 。磨削工件精度可达导轨组合高度误差为 $0.003\sim 0.005/4000\text{mm}$ 。

(11) 浙江固本精密技术有限公司SGR-600CNC数控卧轴圆台磨床。采用液静压转台, 工作台角度可倾斜调整; 主轴使用超精密斜角滚珠轴承, 跳动在 0.001mm 以内, 高刚性双层壁立柱和主轴座支撑, 最小进刀: 上下 0.001mm 、前后 0.001mm , 砂轮自动变速, 刚玉砂轮自动修整/自动补偿。配置专门设计开发的圆台磨削软件, 功能丰富, 操作简便, 人机界面简洁、友好。



(12) 新乡日升数控轴承装备股份有限公司2M8470C双端面研磨机。最大加工直径 $\phi 180\text{mm}$ ，最大加工高度45mm。本机采用立式布局，上、下研磨盘及内环均采用交流变频无级调速，保证了研磨各种材料和各种形状工件的工艺转速。砂轮采用CBN砂轮或金刚石砂轮，提高研磨效率和精度。气动控制实现上研磨盘摆入、摆出和上升、下降动作，便于操作。先进的探头式尺寸测量方式，配备进口尺寸测量控制器，对加工工件实现在线测量。机床控制具有防止工件误叠功能，有效避免因工件粘连使工件及砂轮损坏。在加工空调压缩机阀片时，工作精度能达到：平行度0.001mm、平面度0.001mm、等高度0.002mm、表面粗糙度 $Ra\ 0.2\mu\text{m}$ 。适用于钢、铸铁、铜、硬质合金、陶瓷、单晶硅等材料的加工。可以广泛用于液压气动元件、汽车零部件、轴承、量刀具、仪表、硬质合金刀片、陶瓷阀芯、磁性材料等产品的双面研磨加工。

2.内、外圆类磨床

(1) 达诺巴特集团(中国) LG 100外圆磨床。顶尖间最大距离1000mm，最大磨削直径 $\phi 290\text{mm}$ 。机床采用天然花岗岩床身，运动轴采用直线电机驱动，具有良好的精度和热稳定性。采用水冷电主轴，能够在保持最大扭矩条件下进行常规磨削(60m/s)和高速磨削(140 m/s)。通过直驱B轴和多砂轮应用，实现多功能和高柔性。用于高精度工件磨削，如液压件、汽车零部件和刀具等。

(2) 达诺巴特集团(中国) OVERBECK IRD 400内圆磨床。磨削内圆最大直径 $\phi 200\text{mm}$ ，最大长度200mm，工件最大回转直径 $\phi 560\text{mm}$ 。机床采用天然花岗岩床身，直线电机驱动，适合非圆磨削。可配置主轴转塔、测头和自动上下料系统，最多可配置4个磨削主轴。可对轴承环、齿轮、切削工具、注塑件等工件的内圆、外圆和平面磨削，适合单件制造和批量生产。



(3) 哈挺集团克林伯格股份公司KELLENBERGER 100万能磨床。中心高为200mm，顶尖距600/1000mm，C轴分辨率为0.1"。机床采用静压导轨和分离式结构设计，阻断了传递给床身的振动和热量，全静压的磨削系统保障

机床实现高精度和高产能。配置BLUE Solution软件，支持用户直接导入DXF文件，自动生成技术数据，并可直观展示磨轮的当前位置。是一种新型、高性能、经济型磨床，适用于各种大中型通用磨削。具有高度可配置性，适用于半导体、航空航天、汽车、高端工具和模具等行业的通用磨削。



(4) 联合磨削集团STUDER KC33数控万能内外圆磨床。中心高175mm，顶尖距650/1000mm，最大工件重量80/120kg，可保证工作精度达0.0025/0.003mm(测量长度650/1000mm)。机床能够满足一次装夹完成工件的内外圆磨削。可配置固定式或自动转塔式砂轮架，转塔式砂轮架可以实现在 -15° 至 $+195^{\circ}$ 范围自动旋转， 1° 分度；有外圆与转台两种砂轮架配置形式，转台砂轮头架可配置一个外圆磨削主轴和一个内圆磨削主轴，头架转台自动旋转 1° 分度，可选手动旋转 2.5° 分度，外圆砂轮头架回转角度 0° 、 15° 或 30° 。其人造花岗岩床身也进行了升级，加入了冷却润滑系统，纵向和横向导轨直接成型于床身上，使得导轨系统在整个速度范围内能够提供良好的精度，同时具有较高的承载能力和减振性能。KC33是在国内组装的产品，性价比高，适于单件和批量磨削中型尺寸的工件。

(5) 联合磨削集团Studer S131R内圆磨床。工件台上方的回转直径为 $\phi 300\text{mm}$ ，最大工件重量为100kg。工作台采用力矩电机驱动，回转范围为 -60° ~ 91° ，重复定位精度 $1''$ ，通过B轴和X、Z轴联动插补，实现精密的圆弧、锥面磨削。磨削主轴转塔能够配置四根主轴和一根测量探针，具有加工监测、消除空行程、在线测量、接触感应、砂轮自动平衡等自动功能。高精度C轴配置有直接测量系统，可用于非圆成形和螺纹磨削。配置专为内圆、圆弧、球面磨削应用开发的HMI StuderSim系统。床身采用STUDER开发的人造花岗岩材料，X轴和Z轴导轨采用特殊材料，集成了静压导轨和专有专利表面结构导轨的双重特点，直线电机驱动，快移速度为120m/s。适用于采用工业陶瓷、蓝宝石和硬质合金等超硬材料的钟表，以及加工陶瓷或钛合金材质的人工关节、医疗器械等零件的加工。



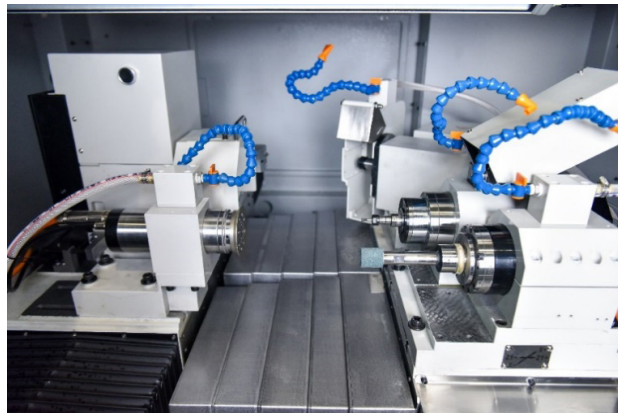
(6) 上海机床厂有限公司H377A精密轴系零件复合磨削中心。是全面升级的新一代工序复合机床，具有更大的机床规格：中心高300mm、最大磨削长度1600mm、承重能力300kg；更高的机床精度：工件头架回转精度0.0004mm、砂轮转塔回转重复定位精度1"、1200mm标棒纵向直线度0.002mm。新一代工件头架具备锥度调节功能，更好地保证了卡盘及顶尖磨削的工件锥度；工作台新增第二导轨，可搭载多种功能配件如各类型修整器，满足多样化的磨削工艺需求。机床全新搭载基于动力学特性的磨床在线性能评估系统，实现了磨床加工状态和性能监控评估，随时确保机床健康工作。加工精度：标准试件外圆圆度0.0004mm，内圆圆度0.0005mm。适用于国防、航空、刀具、量具、机床、汽车等行业的精密机械加工。

(7) 北京北一机床有限责任公司（北二机床）B2-GPD20双驱式数控高速CBN外圆磨床。最大磨削工件直径 $\phi 200\text{mm}$ ，最大磨削工件长度500mm，夹具夹持直径范围 $\phi 10\sim\phi 60\text{mm}$ ，CBN砂轮最大线速度120m/s，双主轴回转精度0.001mm，X/Z轴定位精度0.004/0.008mm，重复定位精度0.002/0.004mm，工件磨削圆度0.001mm。通过双主轴同步驱动控制技术研究、CBN高效磨削和精密修锐技术的研究、右主轴的设计研发、双驱动夹具装置的研发，实现了工件一次装夹，完成全部轴颈的磨削，提高了加工效率和加工精度。此磨削工艺满足所有轴类两端需要高精度磨削的零件加工，适用于新能源汽车、船舶、工具、量具、通用机械制造等行业。



(8) 无锡市昌亿机床制造有限公司MK2110+B数控内圆磨床。磨削直径范围为 $\phi 10\sim\phi 100\text{mm}$ ，磨削最大深度为150mm，磨削端面宽度为100mm。加工精度：内孔圆度为0.002mm，圆柱度为0.003mm，粗糙度为 $Ra0.4\mu\text{m}$ 。本机床为X进给、Z砂轮、B分度轴、C轴分度轴四轴联动的数控内圆磨床，工件主轴（C轴）可实现垂直方向任意角度分度功能，可加工异形件的随动磨削。具有自动完成自动进刀、退刀、粗磨、精磨等磨削循环，自动修整砂轮，自动补偿等功能。配备自动换刀刀库，含4把不同规格的砂轮，可实现一次装夹，适应多种磨削需求的迅速切换。主要用于磨削工件的内圆孔、内锥孔、内端面、外端面、渐变内圆弧、内球面等的磨削。

(9) 陕西诺贝特自动化科技股份有限公司NH11高精精密端面内外圆磨床。最大磨削直径 $\Phi 100\text{mm}$ ，旋转直径 $\Phi 200\text{mm}$ ，工件长度100mm。机床采用砂轮架横向移动、工件纵向移动的方式进行磨削，保证机床高的动态刚性。采用双V结构的导轨，具有受力特性和导向性能好等特点，导轨面贴塑可降低导轨间的阻尼，从而提高运动件的动态响应，机床全部导轨面和接触面均采用手工精密刮研而成，确保机床能够长期稳定进行高精度磨削。配置FANUC Oi-F plus系列数控系统，可实现自动修整砂轮形状、自动磨削和磨削补偿及在线检测功能。机床头架可配置自动化相关附件，如液压、气动卡盘。适用于汽车、轴承、压缩机等行业的零部件加工。



(10) 广州市敏嘉制造技术有限公司WNM400精密复合磨床。两顶尖距400mm，外圆磨削长度300mm，最大工件长度380mm，磨削圆度0.0003mm。转台交换砂轮，可复合磨削，伺服尾座，方便灵活。采用花岗岩床身，超精密高刚性导轨，直线电机驱动，头架、尾座为静压电主轴，可高精度磨削外圆、内孔、端面，也可非圆磨削，不受中心孔精度制约。

(11) 湖南高创海捷工程技术有限公司CKM315超精密外圆磨床。工件最大回转直径 $\phi 300\text{mm}$ ，两顶尖最大距离 400mm ，磨削工件直径 $\phi 6\sim\phi 100\text{mm}$ ，砂轮线速度 $35\sim 50\text{m/s}$ 。机床加工精度：磨削外圆圆度 $\leq 0.0003\text{mm}$ ，磨削外圆圆柱度 $\leq 0.002/50\text{mm}$ ，表面粗糙度 $Ra 0.06\mu\text{m}$ 。首次展出的产品，机床所有运动轴系，全部采用预压力静压支撑结构，相关直线运动的执行零件精度控制在 $1\sim 3\mu\text{m}$ 之内，旋转运动的执行零件精度控制在 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 之内，驱动方式采用直线电机、力矩电机或同步电机，全闭环控制。配置精度补偿的在线测量仪，可以在磨削过程中实时检测出工件的圆度误差以及误差所产生的角度位置，通过实时补偿软件，可以修正磨削精度，直到达到所需要的精度等级。适应金属、陶瓷、玻璃、钛合金等多种材料的小型轴类零件超精密磨削加工，满足包括国防、航空航天、汽车、机器人以及精密伺服阀等多个行业，对小型精密轴类零件高精度磨削加工的要求。

3. 无心磨床

(1) 无锡机床股份有限公司CL400K无心磨床。磨削直径 $\phi 4.5\sim\phi 40\text{mm}$ ，最大磨削长度 395mm ，CBN砂轮线速度为 $70\sim 120\text{m/s}$ ，加工工件圆度 $\leq 0.0005\text{mm}$ 。机床采用矿物铸件床身，双面移动布局，可实现贯通式磨削和切入式磨削两种磨削方式，修整器四面冷却。适用于环类、轴类零件的外圆磨削以及各种阶梯形、锥形和成形旋转面的切入磨削。尤其适用于控制阀塞、油泵活塞、压缩机曲轴、圆柱滚子、凸轮轴、轴承外圈和齿轮轴等零件的高精度磨削。

(2) 深圳市兴富祥科技有限公司HFC-1808GMNC-17A数控无心磨床。标准刀架加工直径范围 $\phi 1\sim\phi 50\text{mm}$ ，特殊刀架加工直径范围 $\phi 40\sim\phi 100\text{mm}$ ，主轴旋转精度 $< 0.0015\text{mm}$ 。主轴采用SNM-220H高级合金钢，经调质、深冷及精密研磨而成，应用高液静压支撑，形成 $20\sim 25\text{kg/cm}^2$ 高压油膜，使主轴悬浮于其中，保证了主轴工作精度及工作寿命；上滑板配合燕尾式滑轨，下滑板采用双 Λ 型导轨，提供平滑且精准的进刀，上滑板具有 $+6^\circ\sim -5^\circ$ 的调节范围，用于调整砂轮和工件之间的接触面，米汉纳铸件床身，经正常化处理及1.5年自然时效，消除铸件内应力，导轨面经高频淬火、精密研磨、人工刮研，提高了床身结构的稳定性和耐磨性。提供定制化的自动收料系统，适合不同工件的自动化加工，适用于大批量、重切削、高精度、复杂外形的轴类件加工需求。应用于活塞销、活塞杆、棒料、齿轮轴、槽阀、滑阀等零件的批量加工。



4. 螺纹磨床

(1) 秦川机床工具集团股份有限公司SK7420Bx750数控丝杠磨床（陕西汉江机床有限公司）。可磨螺纹的最大/最小直径为 $\phi 200/\phi 2\text{mm}$ 、最大长度为 700mm 、螺距为 $0.25\sim 24\text{mm}$ 、最大导程角为 $\pm 25^\circ$ ，砂轮最大线速度为 45m/s 。磨削滚珠丝杠的加工精度为：螺旋线精度为P1级，中径尺寸变动量 0.01mm ，表面粗糙度 $Ra 0.32\mu\text{m}$ ，CPK值 ≥ 1.67 。各驱动轴采用直驱电机，砂轮主轴电机采用大功率直驱同步电机，配备CBN砂轮。同时配有高压冷却系统，减少因磨削时工件表面散热不均引起的烧伤、裂纹等现象，配有工件自动对刀装置、工件自动夹紧装置、自定心中心架。通过客户配置桁架机械手，可实现工件的批量化、无人化智能加工。主要应用于电动助力转向器丝杠加工行业。

(2) 华辰精密装备（昆山）股份有限公司HC-450/1000T 亚 μ 螺纹磨床。最大工件直径 $\phi 200\text{mm}$ ，最小工件直径 $\phi 2\text{mm}$ ，可磨导程范围 $0.25\sim 200\text{mm}$ ，可磨螺纹头数2~6，磨削滚珠丝杠等级 $\leq P2$ 。床身为人造大理石，采用导轨面复印成形技术和先进的生产工艺过程控制方法，确保其物理性能和机械性能的稳定性，直线度 $< 0.002\text{mm/m}$ ，床身可预埋冷却管路，用于导轨面恒温控制。砂轮主轴采用高精度滚动轴承（可选动压轴承），使用华辰专用的低齿槽转矩的直驱力矩电机。配置HC-SOFT自主开发的软件，向导式的编程界面，通过一键导入工件图纸、输入参数，即可实现代码生成、参数校验、模拟加工、数据导出等功能。适用于精密磨削加工各种外螺纹工件的滚道，如滚珠丝杠、传动螺杆等。华辰亚 μ 磨削产品已形成完整的产品体系，包括亚 μ 磨削中心、亚 μ 外圆磨床、亚 μ 端面磨床、亚 μ 随动磨床、亚 μ 中心孔磨床、亚 μ 螺纹磨床。此次展出还有HC-350/1000U 亚 μ 磨削中心和HCG1600亚 μ 中心孔磨床。

(3) 浙江日发精密机床有限公司SK7620数控内螺纹复合磨床。最大磨削直径 $\phi 150\text{mm}$ ，最大磨削长度 150mm ，最大螺旋升角 $\pm 25^\circ$ ，砂轮最大线速度 $\leq 60\text{m/s}$ 。加工精度：内螺纹基本导程极限偏差 $2\mu\text{m}$ ，

表面粗糙度 $Ra0.32\mu m$ ，螺纹中径一致性 $0.008mm$ ，外圆和端面：外圆圆柱度 $0.005mm$ ，外圆/端面粗糙度： $Ra0.32/Ra0.4\mu m$ ，外圆与端面垂直度 $0.005mm$ ，外圆尺寸一致性 $0.005mm$ 。机床配置内磨砂轮架和外磨砂轮架，内、外双砂轮复合磨削，可实现一次装夹，完成螺母的外圆、端面、内螺纹的加工。内磨砂轮修整采用金刚石滚轮插补修整，外磨砂轮采用金钢笔修整。机床采用西门子828D数控系统，全闭环控制，通过用户界面可选择不同加工类型，可任意编排加工工艺，实现四轴三联动控制。主要用于滚珠丝杠螺母外圆、端面及圆弧形内螺纹滚道的复合精密磨削加工。

(4) 无锡泰诺工具有限公司WGM-2000F数控螺纹磨床。工件尺寸 $\phi 250 \times 2000mm$ ，工件模数M0.5-M6（单边M12），螺旋角 $\pm 25^\circ$ ，磨螺纹螺距 $0.25 \sim 6mm$ 。工作精度：丝杠 $\leq C3$ 级，蜗杆 $\leq DIN3974$ 齿形4级、螺旋线4级、粗糙度 $\leq Ra0.32\mu m$ 。机床采用品字形的整体优质铸件床身，卧式结构，全闭环控制，六轴三联动，X/Z/A轴采用直驱技术，砂轮修整利用专用的工作轴，设有独立修整主轴，转速可调。全自主开发了砂轮修型软件和系统操作界面，界面友好、简单，可定制编译。操作者可直接使用菜单式输入齿形和根据CAD图纸进行齿形导入两种方式生成砂轮程序，非常方便。可加工各种形状的螺纹、丝杆、蜗杆、滚丝轮/滚轧轮等。

5. 珩磨机

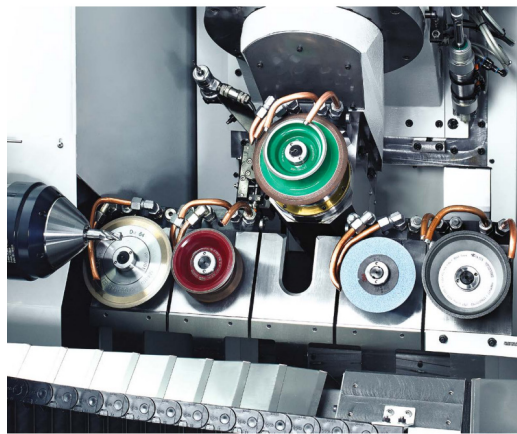
(1) 上海善能机械有限公司SSV2050立式双轴珩磨机。转台最大承重 $120kg$ ，冲程长度 $400mm$ ，零件直径范围 $\phi 4 \sim \phi 45mm$ ，零件最大高度 $120mm$ 。可根据客户需求定制珩磨系统，包括多主轴、在线测量系统、自动上下料等，珩磨精度圆柱度 $0.002mm$ ，尺寸公差 $0.003mm$ ，粗糙度 $Ra0.1\mu m$ 。机床采用整体式铸造底座，模块化设计，超精密转台，提高工位转换精度，高精度双立柱配置，减少工序转换时间，提升加工效率。新一代工业化操作界面风格，更易操作，全过程信息记录，智能化监测机床状态，选装后置在线闭环测量系统或塞规自动尺寸控制系统，提高加工尺寸一致性。



(2) 苏州信能精密机械有限公司HMT1300C数控卧式深孔珩磨机。珩孔直径为 $\phi 20 \sim \phi 300mm$ （可扩展至 $\phi 500mm$ ），最大珩孔深度 $1000mm$ ，标准夹具最大夹持外径 $\phi 400mm$ 。采用焊接床身，在粗、精加工后均进行退火及时效处理，保证床体的安装精度。主轴采用变频电机，配合大减速比减速机驱动，实现的大扭矩输出、电子刹车消除了珩磨结束时的孔壁划伤现象。往复机构采用伺服电机配合减速机驱动，可设定珩磨往复次数、往复长度，短冲程，定点珩磨等，能在孔的任意位置加工，以保证孔径一致性和加工精度。进给机构采用伺服系统配合精密丝杠，可实现微进给。在珩磨过程中，针对不同孔径与余量的零件，可以任意调整珩磨头涨缩，保证油石与孔壁的接触压力，以达到高效切削。

6. 工具类磨床

(1) 德国Schütte 335 Linear 5轴数控磨床。主轴采用内倾 30° 的结构设计，使机床具有良好的刚性，且结构紧凑。磨削轴的磨削点优化设计，减小了回转误差。恒定的热稳定性，所有驱动轴和床身均恒温控制，机床的床身与内置油箱融为一体，内置油箱可容纳400多升的恒温冷却液。标准配置5库位的砂轮库，可选配12或24库位的砂轮库，冷却液分配器与砂轮杆同时更换，确保磨削过程保持最佳的冷却效果。为了更好地装夹多种类型的产品，可以选装一个或两个数控滑台。可选配不同的自动系统，带料盘或带链轮的拾取系统，或机械手单元。自主研发的操作系统和编程软件SIGSpro，最大限度将工序、参数通过大容量数据库自动生成，用户能够实现快速编程，具有以实体三维模型为基础的机床加工仿真。主要应用于制造和修磨金属切削刀具和木工刀具，同时，能为多种器械和植入物等医疗产品的制造提供现成解决方案。

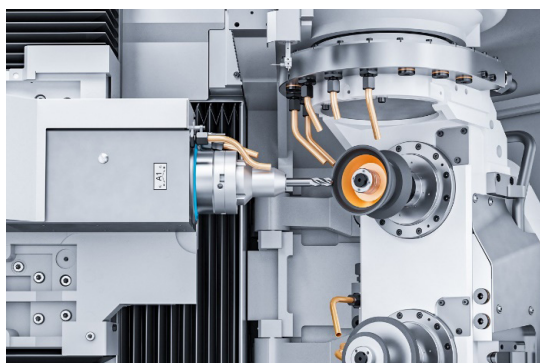


(2) 瑞士Rollomatic公司GrindSmart® 830XW。磨削直径范围为 $\phi 1 \sim \phi 32mm$ ，是一台六轴联动磨床，配备

了15工位砂轮库和一个机械手上下料系统，可以实现4500件批量不间断的生产能力，砂轮法兰交换仅需5s。由于多了第六轴，可以使砂轮磨削轴倾斜一个角度，从而提高加工球头铣刀，边角圆弧铣刀的精度，编程更简易，磨削运行中的空走行程也更短。可生产刀具的直径范围很广泛，从 $\phi 0.1\text{mm}$ 至 $\phi 20\text{mm}$ 。机床采用静压导轨和直线电机驱动，配置VirtualGrind Pro软件、在线刀具测量系统和远程生产管理监控。

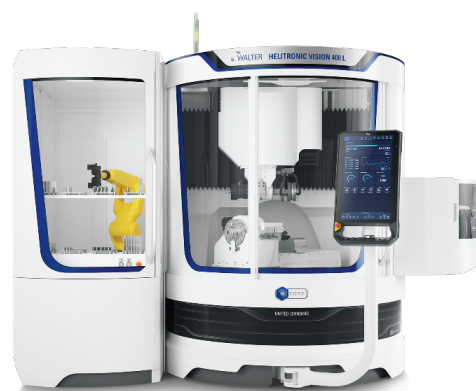
(3) 昂科机床(上海)有限公司ANCA GCX齿轮刀具磨床。该设备采用了模拟探针在线测量、在线修整轮和电机恒温控制等技术，实现了齿轮刀具在磨床内完成研磨、测量、补偿生产的全过程，尤其适用于滚插刀和插齿刀的加工。最大刀具直径 $\phi 260\text{mm}$ ，实现DIN AA等级的高质量刀具生产。机床采用双对称龙门架结构，床身为聚合物混凝土材料，X、Y、Z轴应用ANCA LinX直线电机，A、C轴应用力矩电机驱动，A轴位置精度达到 $\pm 1''$ ，砂轮主轴采用MTC电机恒定温度控制，配置AEMS砂轮修整音频监测系统和iBalance砂轮动平衡系统。GCX Linear软件包有多个用于制造和修磨齿轮刀具的软件组件，包括设计、模拟、磨削编程、砂轮编辑和砂轮修整、刀具齿形和齿距测量，直接磨削路径补偿等，支持制造全程的模拟。

(4) 孚尔默(太仓)机械有限公司VGrind argon五轴工具磨。加工范围：刀具最大外径 $\phi 200\text{mm}$ ，最大长度 360mm ，C1轴旋转范围 $+15^\circ \sim -200^\circ$ 。机床有两个立式磨削主轴，砂轮位于C轴枢轴点，线性轴行程距离更短，提高加工效率和加工精度。具有4工位砂轮库，内部托盘装载机可容纳最多300个毛坯或刀具。配置砂轮测头，对砂轮进行测量和磨损控制。搭载成熟的软件，具有3D刀具和机床模拟功能，同时带防碰撞监控。



(5) 联合磨削集团WALTER HELITRONIC VISION 400 L工具磨。加工直径范围 $\phi 3 \sim \phi 315\text{mm}$ ，最大加工长度 420mm 、最大重量不超过 50kg 的刀具。采用矿物铸件龙门式结构，5个数控轴均配置直线电机和力矩电机的直驱装

置，并由集成的高分辨率闭环测量系统加载和控制，标准配置两个皮带驱动的主轴，可以选择一个主轴为电主轴，每个主轴最多可装3片砂轮。可选配多种增效选项，如4工位或8工位砂轮更换装置、机器人装载机、激光轮廓检测等。适用于各个行业的旋转对称刀具生产和重磨，也可用于大批量修磨。可加工材料包括高速钢、硬质合金、金属陶瓷、陶瓷等。



(6) 瑞士TTB公司EVOLUTION NEXT TTB高精度刀具磨床。加工刀具范围从微刀(0.02mm)到中等大小直径(14mm)，齿轮刀具模数从 $M0.05$ 到 $M1$ 。可以实现五轴联动的5轴或者6轴机床，带4个磨削主轴，重复定位精度 $< 0.0003\text{mm}$ ，每个主轴最多可配3个砂轮，采用TTB专用的轴驱动系统，线性轴无间隙。配置2~4个托盘装载机，最多可容纳814个工件。采用模块化设计，提供灵活的扩展选项。用于超高精密刀具和齿轮刀具(滚刀、插刀、车齿刀)的加工，可手动或自动上下料。

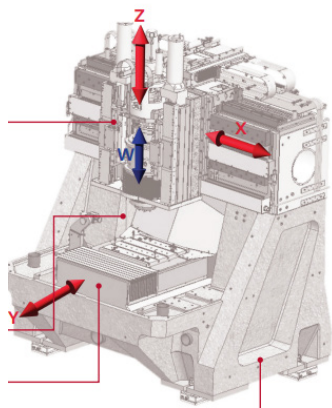


(7) 北平机床(浙江)股份有限公司T6五轴数控工具磨床。工件磨削范围 $\phi 0.8 \sim \phi 16\text{mm}$ ($\phi 25\text{mm}$ 可选)，机床定位/重复定位精度 $0.003/0.002\text{mm}$ 。采用天然花岗岩床身，配置双砂轮组的电主轴和4组砂轮库，搭载3D模拟磨削工艺软件和智能化刀具管理系统，可实现自动磨削、

检测、激光打标等工序集成的智能化生产，可进行实时数据采集、远程诊断、维护、监测、管理等工作。能选配自动上下料系统，适用于航空航天、汽车、模具、3C、医疗等行业的铣刀、钻头、丝锥及非标成形刀具大批量自动化生产。

7. 其他类磨床

(1) 大昌洋行(上海)有限公司MOORE nanotech M600超精密四轴坐标磨削中心。X/Y/Z/W行程为1000/400/250/90 mm，X/Y/Z轴定位精度 $\leq 0.0005\text{mm}$ ，主轴最高转速60000r/min，5kW持续功率。机床底座、导柱和龙门采用整体人造花岗岩设计，减少各部件之间的连接，提高了机床的静态和动态稳定性。所有轴均采用全静压约束轴承，确保在轮廓加工中实现超精密插补运动精度。Z轴和W轴同轴排列，在W轴往复运动期间，Z轴沿与W轴相反的方向移动，产生反作用惯性力，这种创新的布局能够在插磨过程中实现更高的轮廓精度和更好的表面粗糙度。该磨床能够在完全无人值守的情况下运行（从粗加工到精加工），同时在需要精密和超精密磨削的各种淬硬钢、金属和其他材料中实现亚微米的轮廓精度和位置精度。



(2) 苏州哈勒智能装备有限公司HALLER-C3五轴弧面凸轮磨床。X/Y/Z轴行程为325/200/395mm，

主轴接口方式HSK40，最高转速30000r/min。具有五轴联动加工功能，X/Y/Z轴采用直线电机驱动，配置自动探测系统，可检测工件起始位置。拥有自主开发的弧面凸轮磨削软件，操作简单。定制化的弧面分割器凸轮/转台滚子凸轮曲线设计软件，可以根据用户不同需求，设计生产磨削软件加工时所需要的五轴曲线代码，并可以实现进出口区域修正。基于CAD-CAM技术，开发满足需求的五轴后处理软件，开放式编程，可以满足客户多样化需求。

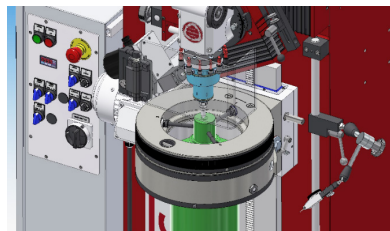


(3) 江苏特贝尔精密机械科技有限公司MKA2110CNC-250D数控(随动)内凸轮磨床。头架中心高度为180mm，磨削孔径范围 $\phi 8 \sim \phi 100\text{mm}$ ，最大磨削深度 $\leq 250\text{mm}$ ，最大回转直径 $\phi 320\text{mm}$ 。工作精度：圆度 $\leq 0.0015\text{mm}$ ，圆柱度 $\leq 0.0025/50\text{mm}$ ，表面粗糙度 $Ra 0.1 \sim 0.4\mu\text{m}$ 。采用磨床专用总线控制系统及绝对式伺服电机，头架结构有B型轴承回转和D型力矩主轴回转结构形式，X轴采用精密滚柱导轨，Z轴精密铲刮贴塑平V导轨。机床具有砂轮自动修整及补偿功能，外接 $1\mu\text{m}$ 波段补偿开关、安全急退保护等功能。操作简便，易学易上手，便于实现自动化加工。广泛适用于盘类零件内孔、内凸轮孔、外内凹凸轮轴、内螺纹等的磨削。

(4) 浙江杰克智能装备有限公司JKMG8220-300曲轴偏心随动磨

床。加工零件最大长度300mm，加工偏心轴直径范围 $\phi 5 \sim \phi 50\text{mm}$ ，加工零件最大重量20kg，偏心轴最大偏心量20mm，砂轮最高线速度（适用于CBN砂轮）90m/s。加工精度为：偏心轴直径尺寸误差 $\pm 0.002\text{mm}$ （无量仪控制），偏心轴圆柱度（直径法） $\leq 0.001\text{mm}$ ，偏心轴偏心量误差 $\pm 0.0012\text{mm}$ ，表面粗糙度 $Rz \leq 1.2\mu\text{m}$ 。机床配置LYNUC数控系统，4轴2联动，砂轮架进给X轴、拖板移动Z轴、工件主轴C轴、砂轮主轴S轴，其中X与C轴联动进行随动磨削。砂轮架进给采用静压导轨+直线电机的精密进给系统，实现了高加速性能的微米级进给。机床防护采用干湿分离，合理将磨削区与工作区隔离，有效避免油水混合。

(5) 豪马国际有限公司P系列中心孔磨床(瑞士FISCHER)。可磨削中心孔(顶尖孔)直径范围 $\phi 2 \sim \phi 300\text{mm}$ ，工件最小直径 $\phi 5\text{mm}$ 。磨削精度：中心孔圆度(视工件而定) $< 0.0005\text{mm}$ ，中心孔粗糙度 $Ra 0.1 \sim 0.2\mu\text{m}$ 。采用精密的气动磨头主轴，主轴头可以在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 旋转，转速范围为0~60000r/min，当磨较小直径的中心孔(顶尖孔)时，可选配转速为0~80000/130000r/min的主轴，磨轮线速度最高可达约82m/min。机床采用整体铸造结构，标准机型允许工件长度为1000mm；同时立柱允许加高，因而工件长度可以加大到1250mm、1500mm，最大3000mm(可选项)。特殊设计的顶尖支撑结构，允许最大的工件重量高达400kg。□



CCMT2024展品综述

——激光加工类设备

中国机床工具工业协会市场部 沈华红 执笔

一、概况

据已有资料，激光加工类机床展商近30家，展品近50台。主要展品有激光切割机7台，激光切管机4台，激光精密加工机床15台（包括超快激光加工机床、水导激光、激光车床），以及激光打标机、激光增材和激光焊接机等。

二、激光加工类展品主要技术特色

激光加工是利用高强度的激光束，经光学系统聚焦后，通过激光束与加工工件的相对运动来实现对材料（包括金属与非金属）进行加工的技术，广泛地应用于切割、蚀刻、焊接、增材及精细微处理等诸多工业生产领域，被称为“最快的刀”、“最准的尺”、“最亮的光”。随着国产激光产业的发展越来越有活力，光纤激光器的功率技术和与之相适应的光学元器件技术不断取得突破，机床数控技术、定位与监测技术、光机电协同控制技术的进步，国内激光加工设备行业已形成完备的产业链，国际竞争力不断增强。

1. 万瓦级激光器成为“标配”

大功率光纤激光器在切割速度、应用成本、能量转换效率、材料适应性等方面具备综合优势，已成为展品中出现最广泛的激光切割机的首选。激光功率的不断提高，使得其可实现更高的切割速度、更佳的切割质量和更理想的切割效率。与此同时，随着切割板厚极限的不断突破及稳定切割速度的不断提升，激光切割将逐渐形成对传统厚板切割工艺（如等离子、火焰、锯切等）的竞争甚至替代优势。本届展会展出的激光切割设备普遍配置了

20000W/30000W/40000W级激光器，部分切割机可配置60000W以上激光器，如广东宏石G4020V V1.0领航款6G全直驱激光切割机，配置了60000W激光器，而奔腾激光（浙江）BOLT 7 6025型激光切割机，配置了85000W激光器，是当前国际上应用于激光切割的最高功率的成套设备，60000W切割30mm碳钢板速度可以达到5m/min，速度远快于等离子、火焰等切割方式，而且随着其切割的极限厚度超过300mm，切割范围已超过火焰切割。

2. 高动态特性

由于采用先进结构形式和新材料的应用，同时，结合直驱直联的驱动方式，使机床具有高动态特性，体现在高转速/线速度/加速度以及高频动作。如广东宏石G4020V V1.0领航款6G全直驱激光切割机，采用直线电机驱动技术，实现高加速度及定位速度，最大联动速度300m/min，最大加速度为6g。

3. 超短脉冲激光日新月异

随着短脉冲、超短脉冲激光技术的发展和进步，激光精密切割技术将在诸如以硬质合金、金刚石、陶瓷、蓝宝石、半导体材料及各种纤维复合材料等难加工材料的高精细、高效率切割中占有越来越重要的地位，尤其是皮秒、飞秒等超快激光加工，凭借其超越衍射极限的加工精度、短流程的工艺方法和极高能量密度等特点，已经成为难加工材料精密加工的有效方式。本届展会中科微精、广东原点、深圳牧激、长沙中拓、深圳力博等展商的精密激光加工机床，均可选配皮秒甚至飞秒激光器，超短脉冲激光促进了难加工材料迈向更为精细加工和成形，使得超硬PCD、CBN、硬质合金、陶瓷、金刚石等材料的刀具，实

现更为高效率 and 更为复杂轮廓的加工。

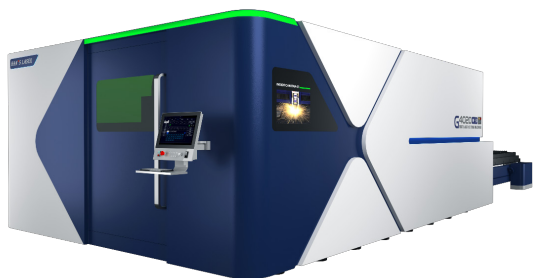
4. 激光增材制造发展迅速

随着金属零件使用性能和结构复杂程度的提高,采用铸造、锻造等传统工艺实施制造的难度、成本和周期迅速增加,而兼具技术先进性和资源经济性的激光金属增材制造技术(LAM)为高性能、复杂结构制造提供了新型解决方案:实现拓扑优化结构、点阵结构、梯度材料结构、复杂内部流道结构等不再困难,结构功能一体化、轻量化、超强韧、耐极端载荷、超强散热等新型结构得以应用,相应结构效能大幅提高。本届展会增材制造设备包含激光选区熔化技术(SLM)和激光熔覆沉积技术(LCD),如中科煜宸LDM 8060送粉式金属3D打印机,海天精工C400M SLM金属3D打印机。

三、典型展品

1. 激光板材切割机

(1) 大族激光智能装备集团有限公司G4020HF 50全磁悬浮高速激光切割机。加工幅面(长×宽)为4000×2000mm,激光器功率为30000W。采用大族自主开发的数控系统,插补周期小于0.25ms,三轴无接触全磁悬浮驱动,实现最大加速度5g,最大定位速度300m/min。机床采用一体全中空结构床身,床身复合结构抗阻尼设计,高刚性自适应结构横梁,确保龙门轴两边高度平行运动稳定可靠。采用等容积比液压升降技术,交换工作台同步稳定、精度高。采用绝对式集成测量系统,全闭环反馈控制,实现更高的切割精度。具有完整的万瓦级切割专家工艺数据库,拥有零秒穿孔、厚板稳定切割、低气压切割、洁净切割等多种独特工艺技术。



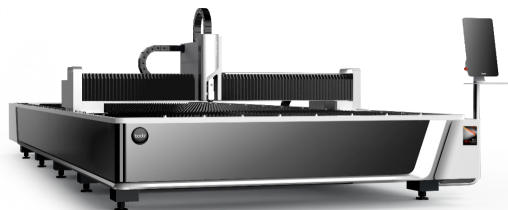
(2) 江苏亚威机床股份有限公司HLF-1530数控激光切割机。加工范围3000×1500mm,X/Y轴最大加速度2.0g,最大联动速度170m/min,定位精度±0.03mm,重复定位精度±0.02mm,薄板高速切割,中厚无感穿孔精密加工。配置Siemens 840DSL数控系统,专用高性能NCU处

理器实现纳米级插补,独立CNC控制技术确保各轴极速响应;采用高刚性轻量化钢横梁及床身结构,自主研发切割头360°全方位防撞技术,将碰撞时切割头损伤降到最低。搭载“焦点补偿”、“自动清洗标定”、“智能控速”、“脉冲调制技术”、“低气压切割”以及“雷暴穿孔”等多种工艺,实现全板厚范围的极速稳定切割,整体加工性能再次提升20%;配套兼容排屑机、余料再切割、自动更换割嘴、坡口切割等功能部件,同时兼容亚威上下料、料库、分拣码垛等自动化设备,可搭载远程诊断健康保障系统、生产管理系统、亚威智云工业互联网平台,实现车间透明化运行管理。

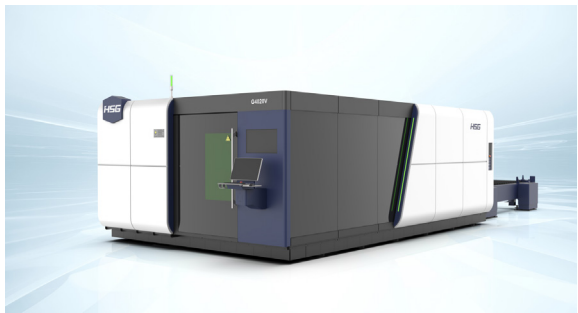


(3) 济南邦德激光股份有限公司P系列激光板材切割机。P4切割机加工幅面为4000×2000mm,P系列板材切割机最大联动速度为200m/min,最大加速度4g。采用榫卯焊接床身,一体式拉伸铝横梁,配置双摆切割头和多工位自动更换喷嘴,分区除尘。配置BodorThinker 4.0自主研发智能控制系统,具有光眼寻边、激光头主动防撞、无废边切割、余料排版、厚板切割过热补偿、起步清渣、切割气压自动调节等功能;标配BodorCutting 3.0切割工艺库,具备强大的兼容性及数据处理能力。

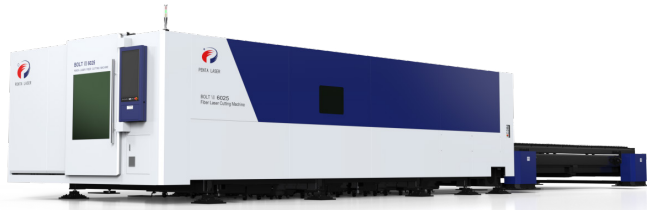
(4) 济南邦德激光股份有限公司A6P激光扫描切割机。创新研发推出光束整形技术,提高光束的灵活性和机动性,将静态光斑切割升级为动态光斑切割,1000多种路径专利算法,扫描频率200次/s,每切割1m,光斑行走30m,大幅提高加工材料对激光能量的吸收效率。相同条件下,和通用的激光切割对比,切割速度最大提升200%,切割厚度最高提升150%。扫描切割时,光束自带倾斜角,大幅减少回反光,真正实现对高反材料的批量切割。



(5) 广东宏石激光技术股份有限公司G4020V V1.0领航款6G全直驱激光切割机。加工幅面(长×宽)4064×2040mm,工作台最大载重约5000kg,可配激光器功率范围为6000~60000W。X、Y、Z轴采用直线电机驱动,全闭环控制,最大联动速度300m/min,最大联动加速度6g。床身采用厚板焊接而成,横梁支撑面宽为470mm,横梁接触宽度为650mm,采用中空结构,床身不易受热影响,双边四滚柱导轨。配置液压升降交换系统,单台面交换,没有高低工作台之分。具有自动更换喷嘴、视觉寻边、视觉余料等智能模块。



(6) 奔腾激光(浙江)股份有限公司BOLT 7 6025型激光切割机高速高精超厚板智能激光切割机。激光器功率为85000W,加工幅面(长×宽)为6×2.5m,X、Y轴最大加速度4g,X轴与Y轴最大联动速度240m/min。Bolt7主要配备与普雷斯特联合研发独家切割头,切割头在保持优良光束质量同时,功率水平提升到85000W,具备自动聚焦、快速穿孔、无渣穿孔、紧密切孔、尖角切割、亮面切割、360°防碰撞等高精密功能,吸收更多反射光,拥有更加广泛的焦点范围,可以满足不同厚度材料切割。机床采用龙门移动式结构,直线电机驱动,运动系统部分与承载交换工作台分离,提高机床的动态性能,减少整体向内的应力,横梁及Z轴采用航空铝材质,钢结构轻量化设计,重量轻,吸震性好,刚性好。配置全新SM控制软件,高速、云服务、远程运维系统。



(7) 南通麦斯铁数控机床有限公司MLC128025激光切割机。加工区域8050×2550mm,加工板材尺寸8000×2500mm,激光功率12000W,X、Y轴单轴最大定

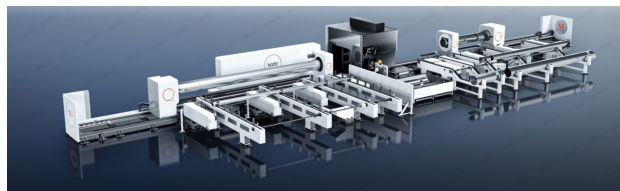
位速度为140m/min,最大联动速度为200m/min,最大定位加速度2.0g。采用光纤激光切割头,切割区域内的床身表面全部覆盖20mm厚的石墨板,切割区采用分区除尘设计,分时、分区、分段抽尘结构;具备远程诊断、数据采集功能。

2.激光管材切割机

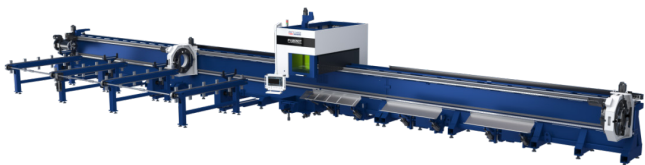
(1) 广东宏石激光技术股份有限公司TX9036S重型坡口激光切管机。可加工圆管直径范围 $\phi 20 \sim \phi 360\text{mm}$,方管 $20 \times 20 \sim 250 \times 250\text{mm}$,管材长度12000mm,管材重量1200kg,最大加速度为0.6g,可选激光器功率范围6000~12000W。采用侧挂式床身结构,卡盘全行程移动,由多个卡盘夹住管材,进行全方位多点支撑,在对重管进行支撑的同时起到管材变形校正的功能。将C3、C4卡盘合二为一,两个卡盘整体同步旋转和移动,单独控制卡爪张开与夹紧,具备夹持、支撑两种功能,实现“0”尾料和12米长管整管切割。其配备的HSG-LA4管材坡口切割头,可实现 $0^\circ \sim 45^\circ$ 的管材坡口切割。支持槽钢、角钢、工字钢等型材加工,同时可加工25#H型钢。应用于工程机械、重工机械、建筑机械、钢结构建筑和桥梁工程等领域。



(2) 济南邦德激光股份有限公司M列激光切管机。可以加工截面形状有圆管、方管、矩形管、槽钢、角钢、工字钢等,坡口角度范围 $\pm 45^\circ$,坡口形式有V型坡口、Y型坡口、X型坡口、K型坡口,M5激光切割机管材尺寸范围:圆管 $\phi 60 \sim \phi 530\text{mm}$,方管 $\square 60 \sim \square 530\text{mm}$,管材壁厚3~20mm,可加工管材最大长度为12000mm,管材最大重量为3000kg,最大落料长度12000mm。采用高精度榫卯焊接床身,四卡盘结构,能实现四卡盘双工序并行加工和零尾料的加工。工作时全程无须人工干预,后两卡盘完全可以自由移动,确保下料绝对安全,规避人身伤害风险。上料下料侧均排布伺服随动托辊,并附有对中装置,有效解决管材的下垂和甩动带来的切割精度不良问题。



(3) 大族激光智能装备集团有限公司PX12036T重型激光切管机。加工范围：圆管（长度×直径）12000mm× ϕ 40~ ϕ 360mm、方管（长度×边长）12000mm× $\square$ 40~250mm、矩形管外接圆直径 $\leq \phi$ 360mm，单根管材载重 $\leq$ 1000kg，可配激光器功率范围为3000~12000W。配置自主开发的HANS数控系统，床身采用整体式焊接结构，多次振动时效处理，可长时间保持床身精度。采用模块化设计，可配置全自动、半自动、手动上下料，自动上下料系统与机床实现模块对接，加工时间自动备料，集成浮动支撑组件，对加工过程中管材起支撑作用。第三卡盘为双面卡盘（卡爪+滚筒），实现高精度、零尾料、高效率加工。主要用于碳钢管、不锈钢管、铝合金管（方管、圆管、腰圆管）等金属管材的切割。



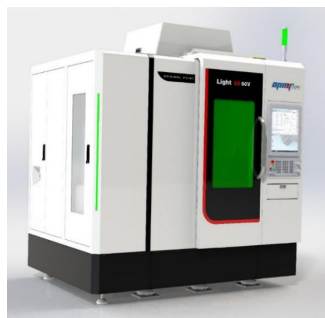
(4) 江苏亚威机床股份有限公司YTF激光切管机。加工范围圆管 ϕ 50~ ϕ 560mm，方管 $\square$ 50~400mm，卡盘夹持管材重量为1600kg，定位精度 ± 0.05 mm，重复定位精度 ± 0.03 mm。机床选用侧挂式床身，方便搭配自动上下料结构，有利于各种管材的平行进出料；三卡盘设计，可实现“零”尾料加工；搭配摆动切割头，可实现管材的坡口切割；自动化配套，提高整体加工效率，特别是超长管、重型管、大管径管材的安全高效上下料。



3. 激光精密加工机床

(1) 广东原点智能技术有限公司Light 5X 60V立式五轴联动激光加工机床。X/Y/Z行程为600/250/300mm，加工最大刀具直径 ϕ 200mm，最大刀具长度为350mm。床身为天然大理石材料，直线轴和旋转轴应用直驱技术，光路采用模块化设计，并配置CCD定位相机和探针。配置自主研发的高端通用数控系统，与CAM加工软件深度融合，突破了复杂结构刀具端刃和侧刃之间的平滑过渡连接，以

及轮廓间的圆弧过度连接的算法开发技术瓶颈。实现了整体PCD微刃刀等复杂型面结构和难加工材料的高质、高效制造，刀具加工后可达到轮廓度 ≤ 0.005 mm，表面粗糙度 $Ra < 0.3 \mu m$ ，最大加工刃数达到180刃，最小切削刃宽度0.01mm，相较传统加工工艺，加工时长从675min/支缩短到85min/支，总体加工效率提升约7倍。应用于汽车工具、PCD、CBN、硬质合金、陶瓷、金属等材料加工，配合专用加工软件，可以实现超硬材料、硬质合金、超硬涂层和陶瓷复杂型面刀具等复杂轮廓与型面加工。



(2) 深圳市牧激科技有限公司530DH超精密双激光五轴加工机床。是一款采用两套激光系统，具有五轴联动功能，能实现粗、精加工一体的超硬刀具加工机床。最大加工刀具尺寸为长度615mm、直径 ϕ 300mm，最小加工刀具直径为 ϕ 0.3mm，可加工PCD、PDC、CBN、PCBN、MCD、CVD刀具/刀片，加工刀具尺寸精度为 ± 0.005 mm，轮廓精度为0.005mm。机床的床身采用天然花岗岩，X、Y、B、C轴采用直驱技术，全闭环控制，X/Y/Z轴的定位精度为0.002mm，B轴定位精度3"，C轴定位精度6"。自主研发加工软件，有铣刀、车床、铣磨头、断削槽、微铣刀圆弧后刀面等功能，可实现刀具装夹误差以及PCD等焊接变形刀具进行切削路径补偿。在线检测，样刀数据库，4K监视系统，反切刃口加工工艺，能实现从轮廓度为0.005mm的电子刀具，到特种多刃铣磨一体整体式刀具加工。采用精密激光器和功率激光器双激光系统，集成粗加工和精加工一体化设计，减少刃口损伤，提高加工效率。可加工3C电子刀具、汽车刀具、木工刀具等。



(3) 长沙中拓创新科技有限公司ZT-JGQG 6S光纤切割机。采用光纤光源，大理石床身，X、Y/Z轴行程200/50mm，切口宽度为0.05~0.1mm，增加A轴作为旋转轴，旋转范围 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，可切割带后角的刀头和产品，采用闭环控制，重复定位精度 $\leq 0.002\text{mm}$ 。配置激光专用水冷机，24小时工作，可切割任意形状，软件自动手动和自动两种模式，用于PCD、PCBN、CVD、蓝宝石、PDC、硬质合金、陶瓷等硬脆材料的精密切割。

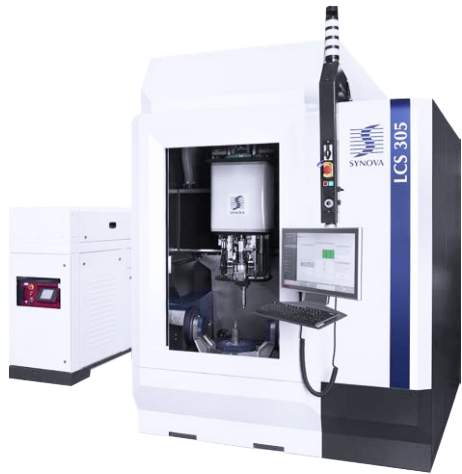
(4) 深圳市力博刀具技术有限公司普希德五轴超硬刀具激光加工机床。X、Y、Z轴行程为380mm，A/B轴行程为 $360^{\circ} / \pm 70^{\circ}$ ，激光器功率为100W，最大加工刀具直径/长度为 $\Phi 350\text{mm}/365\text{mm}$ ，最大刀具重量为15kg。机床采用天然大理石床身，直线电机驱动和全闭环控制。福临系列5轴联动激光机的主要用途：不区分刀具种类，螺旋、轮廓、台阶、多刃等，均可实现刀具一次装夹，粗精一体化加工，具备在线预检测功能，可对应不同牌号的PCD、CBN、单晶钻石均可获得比较好的刃口光洁度。

(5) 西安中科微精光子科技股份有限公司五轴超快激光微加工设备。X/Y/Z轴行程为1000/450/350mm，A/C轴行程为 $\pm 120^{\circ} / n \times 360^{\circ}$ ，工作台直径 $\phi 190\text{mm}$ ，工作台最大载荷为20kg。具备五轴四联动功能，配置高速异形三维轨迹控制扫描模块，能够精准协同控制激光扫描轨迹和激光能量，可实现锥度可控的圆孔（正锥孔、倒锥孔、直圆孔）、圆锥型和簸箕型等非规则排列异型孔的一体加工。具备相机视觉和激光测距功能，实现零件基准图像的高精度定位和加工焦点校正；具备穿孔状态智能感知功能，实现制孔穿透特征的自动判读；具备光束折弯与空间姿态定位功能，实现多联导叶、腔体类零件的干涉结构加工。可实现超短脉冲激光与长脉冲激光双光源光束拟合与精准控制，兼顾超短脉冲激光和长脉冲激光加工特性。可对高温合金、单晶高温合金、玻璃、陶瓷基复材、带涂层异种材料的高精度低热损伤加工，主要用于叶片类气膜孔、喷嘴类微孔、阀套类型孔及精密微结构蚀刻和切割。

(6) 广东原点智能技术有限公司Micro3D L530V五轴飞秒激光加工机床。X/Y/Z轴行程为300/300/260mm，A/C轴行程为 $\pm 120^{\circ} / n \times 360^{\circ}$ ，最大扫描加工尺寸（长 $\times$ 宽 $\times$ 高）为 $50 \times 50 \times 6\text{mm}$ ，X/Y/Z轴定位精度/重复定位精度为 $0.003/0.002\text{mm}$ ，A/C轴定位精度/重复定位精度为 $5''/3''$ ，激光脉宽 $\leq 350\text{fs}$ 、功率 $\geq 20\text{W}$ 。机床采用飞秒激光器，搭配高精度3D扫描聚焦系统。床身为天然大理石材料，三个直线轴和两个旋转轴分别采用直线电机和力矩电

机驱动，配有内置相机和探针，可选配高精度3D实时测量控制系统，提高加工精度。配置自主研发的高端通用数控系统，可以实现曲面复杂轮廓的高精度加工，广泛应用于刀片、模具加工等行业的硬质合金材料加工，配合专用加工软件，可以实现各种硬质合金刀片及模具复杂轮廓与型面的加工。

(7) 南京中科煜宸激光技术有限公司LCS305水导激光加工设备（瑞士SYNOVA公司）。X/Y/Z轴行程500/380/380mm，A轴行程 $+135^{\circ} \sim -20^{\circ}$ ，C轴行程 360° ，工作容积（H $\times$ ϕ ）为 $260 \times \phi 130\text{mm}$ 。采用直线电机和力矩电机驱动，矿物铸造床身，温度控制范围为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，全自动偏移校准系统集成激光喷嘴校准、自动射流角度校正、激光功率计和接触式探针。切割面光滑，边缘锋利 $Ra \leq 0.2\mu\text{m}$ ，柱形激光实现平行切口（无V形），加工精度为 $\pm 0.005\text{mm}$ 。解决了干式激光器的热损伤、微裂纹、碎屑沉积、锥度和精度不足等问题。专为自动生产大尺寸刀具、多齿金刚石刀具以及其他3D加工而设计的激光微射流LMJ加工系统。激光微射流加工系统提供了激光实现全反射的媒介，保持平行水射流中的激光束完全平行，冷却被加工材料消融后的加工面，同时将激光加工后的废屑带走，保证了加工面质量。



(8) 广东原点智能技术有限公司WJC532V水导激光五轴加工机床。X/Y/Z轴行程为420/580/380mm，A轴行程为 $-120^{\circ} \sim +30^{\circ}$ ，C轴行程为 $n \times 360^{\circ}$ 。X/Y/Z定位精度/重复定位精度为 $0.005/0.003\text{mm}$ ，A/C轴定位精度/重复定位精度为 $5''/3''$ ，激光器波长（可选配）为532nm，水束直径为 $\phi 0.030 \sim \phi 0.1\text{mm}$ 。采用水波导技术，在稳定的微细射流中利用光的全反射来传导激光，对材料进行近乎无损伤的加工。独特的水导激光加工头和高压水射流

稳定技术,使得水射流能够承受更高的激光功率,切割更厚的材料,极限厚度能切割100mm厚金属材料,独有的光学设计和喷嘴加工方法,提高了喷嘴寿命和加工稳定性。可以对超硬材料和难加工材料进行打孔和切割,加工区域无锥度、没有熔渣、重铸层以及热影响区,加工表面质量 $Ra0.8\mu m$,切割深宽比可达100:1,微孔加工深径比可达30:1。主要应用于航天航空、半导体、医疗器械、珠宝、3C电子等行业。

(9) 长沙中拓创新科技有限公司ZT-JGC200型激光车床。X/Y/Z轴行程为220/100/60mm,镭射功率为300W,重复定位精度 $\leq 0.005mm$,旋转轴(A轴)跳动 $\leq 0.005mm$ 。采用光纤激光器,旋转轴应用直驱技术,工作台双层防护,定制的聚焦系统。配置Windows平台开发的数控系统、接触式测头、自动上下料和直径 $\phi 16mm$ 的PDC材料206个以上工位的工件库。外圆与端面倒角在一次装卡内完成加工,主要用于PCD、PDC、CVD等材料的粗研,减少加工磨削的余量。

4. 激光打标机

西刻标识设备(上海)有限公司L-Mark便携式激光打标机。打标范围为 $170\times 170mm$,激光功率为20W。基于光纤激光技术,打标窗口大,机身小巧便携,带有红光指示,可以形成明暗对比,在比较硬的材料上也能打标。适合全自动、无人化生产方式,可以配备多种高性能模块,实现内置读码、视觉检测、自动对焦、3D打标等功能,适用于汽车等批量柔性化生产。

5. 激光增材制造

(1) 南京中科煜宸激光技术有限公司RS450F铺粉式金属3D打印机。最大成型尺寸 $450\times 450\times 500mm$,激光功率 $6\times 500W$ 单模光纤激光器,光斑直径 $\phi 0.06\sim\phi 0.1mm$,铺粉层厚为 $0.02\sim 0.1mm$,工件成形精度 $\leq 0.1mm$,成形尺寸 $>100mm$ 时,成形精度 $\leq 0.1\%$ 。采用单刮刀双向铺粉,六套成型光路,成形效率倍增。配备振镜扫描系统,光斑轨迹路径采用专业运动控制卡,粉末处理系统集成上粉、清粉和储粉等功能于一体。采用了氩气气体保护,多级分段式气氛清洗模式,配置三级过滤,其中F9级滤芯采用“两用一备”的使用方式,成形过程中成形室内的含氧量,最低可控制在 10^{-4} 以下。配置自研RC-ROS-SLM和RC-Argus-SLM软件,提供多种成熟材料的工艺数据包,方便用户操作,一键打印,具有智能识别、预处理、远程控制、人工辅助等功能。适应于航空航天、高端模具、医疗,汽车,3C等多个领域。



(2) 南京中科煜宸激光技术有限公司LDM 8060送粉式金属3D打印机。成型尺寸为 $800\times 600\times 900mm$ 。成型速度快,是SLM技术(激光选区熔化)成形速度十倍以上,但其尺寸精度(误差为 $\pm 1mm$)和表面光洁度一般,打印的零件必要时需要进一步机械加工,粉末利用率高,可减少贵重金属粉末的消耗。该机床为五轴四联动机床,由机械系统、箱体净化系统、光路系统、控制系统及配套软件等组成。采用多元智能传感器技术,实时监测记录设备运行状态参数。软件系统包括:工艺路径规划软件RC-CAM、设备健康管理软件RC-Argus,可实现对三维加工文件的模型分层处理、路径策略填充、加工参数设置、生成并导出加工代码、加工代码路径演示、路径规划策略保存等功能,配置典型材料激光增材制造工艺数控库。可实现客户对钛合金、铝合金、高温合金、不锈钢等常规金属增材制造材料的激光快速成形需求,同时,该系统可满足客户对梯度材料、高熵合金材料、难熔金属、熔覆涂层等特种材料开发的功能需求。



(3) 宁波海天精工股份有限公司C400M SLM金属3D打印机。成型空间 $400\times 400\times 430mm$ (含基板),激光功率 $4\times 500W$,最大扫描速度 $7m/s$,成型速率 $100cm^3/h$,铺粉层厚为 $0.02\sim 0.12mm$ 。主体结构采用不锈钢材质,配

置四台500W或1000W光纤激光器，具备多种激光技术方案、闭环恒风速、参数自检测等功能，可选配双向铺粉和“永久”型循环过滤系统。配置自主研发的HTPrinter、HTCamera等配件及打印质量监测软件，可实现24小时无人化值守的高效生产。可成形材料有模具钢、不锈钢、铝合金、高温合金、钛合金等，广泛用于模具、鞋模、手板工艺、航空、汽车和新能源等领域。

6. 激光焊接机

（1）埃马克两合责任有限公司ELC 6激光焊接机。工件尺寸最大外径 $\phi 300\text{mm}$ ，最大高度300mm，轴向焊接直径 $\phi 75 \sim \phi 200\text{mm}$ ，径向焊接直径 $\phi 75 \sim \phi 250\text{mm}$ ，固体激光器 $< 8000\text{W}$ ，焊接最大压紧力为10kN（30kN可选）。该机床专为带有圆周焊缝的动力总成部件而开发的，是连接两半部件的高效解决方案，工件抓取、预热、压装以及焊接都是通过转台快速、精准地进行的。激光束能量精确、集中，焊接速度快，焊接部件变形小。工件先进行预热和压装，通过感应技术确保部件达到理想的加工温度，然后再将两个部件连接在一起，焊接前，对轮廓进行精确扫描，并将数据转送给焊接光学系统和数控轴，检查焊缝位置并重新调整部件位置。焊接时，垂直布置的工件旋转，激光光学镜组只向工件径向移动，聚焦能量的焊接过程从侧面在圆周焊缝处进行，高温测温计可控制焊接

过程的温度。



（2）奔腾激光（浙江）股份有限公司“飞鸿”系列手持激光焊接机。激光功率为1000~3000W，功率调节范围为10%~100%，光缆长度10m，可选单轴或双轴摆动焊接头。采用激光源水冷一体机设计，移动轻便，上下分层隔离热源，保障激光源工作环境。双轴摆动焊接头具有多种光斑模式自由选择功能，内置高精度振镜电机，数显屏设计，实时掌握焊接数据，循环水路设计，保证焊枪稳定运行，多重安全保护设计，保护使用安全性。配置各种材料：碳钢、不锈钢、铝、镀锌板的焊接工艺数据库，适用于航空航天、高铁机车、汽车制造。□

上接第32页

表6 元动作故障模式与故障原因之间的对应关系

故障模式	故障原因					
	输入件	输出件	中间件	紧固件	支撑件	装配
1、实际运动轨迹偏离理论运动轨迹	输入波动零件损坏	零件磨损	变形磨损	无关	变形磨损	不精准
2、运动速度为零	断裂	断裂	断裂	无关	无关	无关
3、运动速度远小于规定阈值	输入运动过慢	磨损	磨损	无关	无关	不精准
4、运动速度远大于规定阈值	输入运动过快	无关	无关	无关	无关	不精准
5、速度波动远大于规定阈值	输入运动波动	无关	变形磨损	无关	变形磨损	不精准
6、定位严重不足	输入运动不足	变形磨损	变形磨损	变形紧固失效	变形磨损	不精准
7、定位严重超程	输入运动超程	变形磨损	变形磨损	紧固失效	变形磨损	不精准
8、超出重复定位阈值	输入运动波动	变形磨损	变形磨损	紧固失效	变形磨损	不精准

到目前为止，尽管研究工作还很肤浅，但笔者还没有见到可以对故障模式与故障原因进行如此清晰分类的研究成果。

需要进一步研究的课题：基于元动作的故障模式与故障原因对应关系更精准、更定量化的分析方法；机械元动作单元故障机理的理论分析。（未完待续）

创新制造 洞察未来

——来自EMO2023展会的报道

中国机床工具工业协会调研组



EMO2023 Hannover在中断四年后，于德国当地时间2023年9月18日正式开幕，来自42个国家的约1850家参展商，在世界领先的生产技术贸易博览会上展示他们最新的加工制造装备、解决方案和服务。来自150个国家的观众来到汉诺威参加本届展会。中国机床工具工业协会毛予锋常务副理事长兼秘书长一行赴EMO2023展会调研走访、交流，同时机床协会还组织了行业专家、国内展商和重要客户等方面的调研、参展团组赴会。这也是自2020年以来，机床协会首次组织赴境外调研、参展活动。由于受疫情后的客观条件限制，下面就本次参展活动的概貌、出访团组的国际交流活动和展品技术趋势等几个方面进行介绍。

一、EMO2023展会概貌

2023年欧洲机床展览会（EMO2023），带来了包括金属切削机床、金属成形机床、增材制造技术与设备、数控系统、工业机器人、功能部件、传感器和诊断技术、测试和测量技术、工量具、磨料磨具、机床附件等3000多台套展品，分门别类布置在15个展馆中。展品包括金属切削机床、板材成形机床、切削刀具、控制系统、工业软件、检测技术、机床功能部件和附件，增材制造技术和产品，冷却剂、润滑剂以及安全和环保产品。其中，中国大陆展商254家，中国台湾地区参展商144家。

展会以“创新制造：洞察未来（Innovate manufacturing: Future insights）”为主题，以反映行业技术发展进步，以及对用户不断改进生产制造系统、工具和测量系统的需求的适应性。围绕展会主题，聚焦“商业的未来”、“互联的未来”、“生产可持续性的未来”，并设立了增材制造、互联互通、协作机器人、可持续发展等展示专区，展现行业在应对未来制造技术挑战的思考以及创新成果。

从展会主题和前期主办方的设计可以看出，EMO2023具有以下几个主要展示方向：

1. 关注生产技术的未来

在全球“创新制造”的大趋势下，本届展会介绍了最新的机床装备、技术解决方案、发展趋势和创新方向。EMO2023 Hannover覆盖了整个生产技术价值链，以一种“智能工厂”的形式呈现给各方面的参观者。本届展会重点关注技术、对话和网络，深入探讨三大主题：即商业的未来、互联互通的未来和生产可持续性的未来。

2. 汉诺威EMO提供的产品种类繁多

基于面向未来的定位，展会展示了从生产系统和工具到测量设备、软件和控制的全方位生产技术，种类繁多

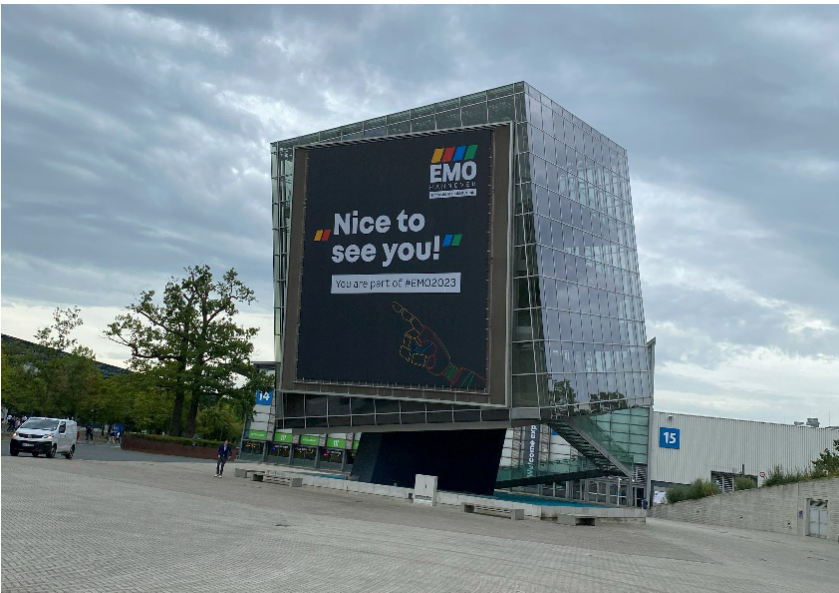
多，反映了当前工业生产面临的挑战，包括效率提高、灵活性、质量改进、自动化、电动化、能源效率和循环经济。另外，展会上还提供了丰富的研讨、发布和讲座等交互活动，大大拉近了产业与需求之间的距离，这也是疫情后产业内外迫切需要面对面对交流的内在动力和真实感受。

3. 与创新创业公司的合作在 EMO 发挥着越来越重要的作用

60 多家新兴公司在 9 号展厅的创业区展示他们的产品。EMO 创业之夜让参展商和访客了解新兴公司并建立新的联系。位于 8 号展厅的机械工程青年教育与发展基金会特别培训展台展示其如何应对金属加工行业技术工人短缺的问题，支持培训师和教师使用现代培训方法，并展示金属加工行业对年轻人的吸引力。

4. 电动汽车驱动生产技术投资

受全球工业整体形势的影响，尽管目前全球需求低迷，但从中长期来看，机床行业仍将受到电动汽车在内 的新兴发展领域投资拉动，进而推进自动化、增加数字化、电动化、关键基础设施的开发和可再生能源投资。有关经济研究人员预计，2024 年全球机床市场将复苏，增长 7%，受益于客户向新领域的拓展，而机床行业提供了用户在新兴领域开发所需的技术。机床行业尤其受到汽车行业向电动驱动器转变的影响。有关专家预计到 2040 年，电池和燃料电池汽车的销量将增长至 8500 万辆，占据 75% 的市场份额。电动机、电力电子产品、电池和燃料电池，尤其是它们正成为这个快速增长的行业的 关键部件。这些部件的制造需要投资，目前相当多的制造商已经在解决电动汽车问题。



5. 创新成为本届展会上最引人注目的焦点

本届展会创新的壮观展示、来自世界各地参观者的高度兴趣及展厅内良好氛围，都展示了主办方将创新融入展会的决心与成效。本届展会国际化特征明显，约有 1850 家参展商参加，其中约 70% 来自 45 个不同的国家，包括中国、意大利、台湾、瑞士和日本。在约 92000 名参观者中，54% 来自境外 130 个国家。在这里，参观者最多的五个国家是土耳其、中国、荷兰、意大利和波兰。大约三分之一的参观者来自亚洲。另外，展会再次为制造领域顶级技术创新提供了一个完美的平台，在这里参观者看到了未来生产的一切：自动化、工厂内部网络和可持续生产的新解决方案。当数字化进入工厂时，新解决方案和提高效率的潜力是无限的。根据调查数据显示，约有 30% 的参观者将“获取创新和趋势信息”作为首要任务。另一个目标是为他们的问题找到具体的解决办法。

6. 专注于自动化、数字化和可持续发展

技术工人的短缺是自动化成为展会焦点的另一个原因。超过三分之一的参观者认为这是一个关键问题。近四分之一的人提到数字化和网络化。参观者能够在众多的展台上找到他们想要的东西。EMO 展会上统计有几百个机器人展品。其

中，一个新的方面是，这些机器人展品不再需要具备编程技能，就可以将cobot（协作机器人）用于不同的应用，如装卸、质量控制、喷漆、清洗以及连接测量设备。cobot配备了模拟人类触觉的传感器。这使它们能够补偿工件公差或在工作空间中的障碍物周围工作。例如，与员工合作，这有助于实现无外壳操作。cobot在制造业中继续受到越来越多的欢迎，尤其是在那些现在很难找到员工的中小公司中。

另一个重点是互联技术。这里的主要是开放的数据交换—基于OPC UA的机床配套规范umati。在不影响制造过程的情况下，从数字化部件中获取大量数据是一个关键因素。透明过程数据的可用性对于过程监控和相关质量管理至关重要。

68%的参观者将生产可持续性的未来列为重要议程，德国境外的参观者占四分之三，这意味着他们的代表性比德国同行更强。一个关键方面是效率。这里面涉及产品的碳足迹，关键零部件的能源效率等。数字化和自动化正在继续快速发展，确保可靠的制造工艺，这提高了生产力，同时也减少了碳足迹。

7. EMO是决策者的交易会

对于参展商来说，在EMO2023上展示他们的产品并展示其能力是很重要的。某种意义上看，EMO是一个代表国际最高水平的，面向机械工程、汽车和供应商行业的，金属加工、精密机械、光学、航空航天等技术领域的，行业高管和决策者广泛参与的交易会。近60%的参观者是企业高管或高层管理人员，不到一半的人拥有采购决策权，一半的参观者表示，他们带着具体的投资计划来到EMO，平均而言，这些计划投资每项约为300万欧元。超过四分之一的人表示他们已经在交易会上下了订单，

另有四分之一的参观者打算在贸易展结束后下单。1975年，第一届EMO在德国汉诺威举行，50年过去后，下一届EMO将于2025年9月22~27日举行。

二、出访团组的国际交流活动

尽管2023年的前景稳定，但全球机床行业的预测受到各种国际和经济挑战的影响。基于行业的集体力量，协作、创新和适应性将仍然是行业继续驾驭这一不断变化的格局的关键。为了深化与国外协会的长期关系，并紧跟国际机床行业的动态，协会出访团组在参加EMO展期间，安排了一系列国际交流活动。

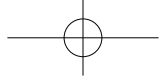
1. 深入参与各种活动，掌握行业动态

应主办方邀请，协会参访人员参加了本届EMO的开幕式及开幕式晚宴，为本次出访拉开了序幕。CECIMO新闻发布会为我们提供了一个宝贵的了解机会。CECIMO主席Dr. Heinz Jürgen Prokop博士在开幕致辞中强调了在当前政治和经济的不确定性背景下，国际合作的必要性。CECIMO经济委员会主席Marcus Burton先生进一步表示，CECIMO除了为行业争取有利条件，更加重视与全球机床协会的国际合作。他在发言中表示对2023年欧洲机床产量的增长持乐观态度，同时对2024年也充满期待。但他也明确指出了一些潜在的风险，如全球经济增长放缓、利率上升和乌克兰冲突所带来的地缘政治变化等。



中国机床工具工业协会(CMTBA)毛予锋常务副理事长兼秘书长借参加新闻发布会的机会向大家分享了中国机床的行业动态。他表示，2023年见证了中国工业结构调整和机床消费市场的转变。其中包括整体汽车产量下降，但新能源汽车的使用出现了显著增长。除了消费市场的变化，他还强调了几个重大挑战，这些挑战导致了机床行业前景的不确定性。这些挑战包括脆弱的经济复苏、持续的通货膨胀、金融市场不稳定和不断增加的债务压力。

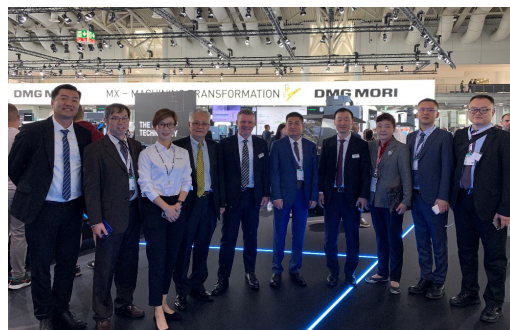
日本机床制造商协会(JMTBA)会长Kazuo Yuhara在演说中强调了对绿色、数字化和弹性相关领域投资需求影响的积极预期。美国制造技术协会(AMT)会长Douglas K. Woods先生则指出，美国货币政策收紧的影响变得明显，导致机床消



费略有下降。然而，2024年的指标表明，机床生产和进口将复苏，而出口将企稳，导致消费增加。

在国际总经理会议上，毛予峰会长分享了中国机床行业的现状，中国经济和中国机床行业各类别机床的进出口额的有关数据和预判。

此外，协会的参访人员还应邀参加了发那科客户活动日活动、国际技术经理会议、UCIMU-SISTEMI PER PRODURRE 主办的技术与创造力新闻发布会、国际机床工具统计数据会议、TMTS 2024推介会、JMTBA组织的JIMTOF2024推介会等活动和会议。



2. 多方会面进一步加强行业交流

展会期间，协会出访团组在展会上设置了信息台，接待了参展的观众和展商，积极推广CCMT和CMT展会，全面展示了它们的规模和影响力。



毛予锋常务副理事长兼秘书长带队走访境内外重要展商，在展会上与重要企业负责人进行交流，了解市场形势、发展趋势和参展感受，分享相关信息，推介中国市场和机床工具产业。通过深入交流，相关展商感受到加强行业交流、国际交流和市场研究的紧迫性和必要性，并表示未来将进一步加强参与协会相关交流的工作。

王黎明执行副理事长带队与CCMT2024的境外代理进行了会晤，介绍了CCMT展馆及当前的相关情况，并与他们讨论展团招展进度。在此过程中，不仅重聚了老关系，还建立了新的合作伙伴关系，宣传和推广了CCMT和CMT，进一步与展团代理讨论并签署了CCMT2024的代理协议。在展会期间，协会与西班牙、瑞士、美国和台湾的展团成功签署了代理协议。

在CICEMO的双边会议上，协会与CECIMO和UCIMO的相关人员进行了深入的交流，共同探讨了双边机床市场的机遇与挑战，并深化了对互联互通umati和NC_Link的发展方向和应用领域的理解。各方均对中国的机床市场表示肯定，赞赏了中国在电动汽车行业的发展成果，希望今后在行业数据和进出口数据上得到更新更详细的交流和分享。

与VDW双边会议中，VDW向协会参访人员介绍了新任会长Dr. Heering先生，双方讨论了umati和NC_Link机床行业的认可度和发展方向，以及今后如何有效的合作和连接。

此外，协会参访人员也与德国组展机构MMG探讨CCMT2024招展和组展情况。通过此次参访，我们不仅进一步宣传了CCMT和CMT的品牌，同时也与多方建立了紧密的

联系和合作关系，为未来的发展奠定了坚实基础。



三、展会上的产品技术发展趋势

EMO2023上，范围包括金属切削机床、金属成形机床、增材制造技术与设备、数控系统、工业机器人、功能部件、传感器和诊断技术、测试和测量技术、工量具、磨料磨具、机床附件等3000多台套展品，分门别类布置在15个展馆中。我们根据现场调研和交流反映出的趋势性、方向性情况，总结梳理如下。

- (1) 自动化、数字化、无人化/少人化制造技术应用日趋广泛。
- (2) 服务于新能源汽车领域的制造技术渗透率在快速提升。
- (3) 高效加工成为实现低碳减排的技术底座。
- (4) 增材制造区展示生产技术协同效应。
- (5) 开放式数据通信彻底改变了制造与测量技术。
- (6) 经济适用将主导后疫情时代一段时期内的制造业投资思路。
- (7) 追求完整产品技术生态成为产业主流发展模式。

从展会上的具体情况看，上述产品技术发展趋势主要表现为：

1.自动化、数字化、无人化/少人化制造技术应用日趋广泛

本届展会上的一个特点就是集中展示（展会9号馆）面向自动化、数字化、无人化/少人化制造技术应用解决方案、产品。主要涉及：数控系统及控制、工业机器人、设计制造与控制用工业软件、工业互联网协议及解决方案等方面。其中，大多数展品、技术与展商提供了成熟应用案例。这一技术发展趋势不仅预示着自动化、数字化、无人化/少人化制造技术领域研究日渐成熟，应用不

断推广，同时也表明当前及未来需求侧和用户方面对于该领域的需要十分迫切，机床行业企业应尽早布局，顺势而为。



2.服务于新能源汽车领域的制造技术渗透率在快速提升

从历史经验看，汽车制造在制造技术总需求的比例约为40%~60%。近期，随着新能源汽车（电动汽车和氢能汽车等）在汽车的渗透率提升，相关服务于新能源汽车的制造技术在总体产品技术中的渗透率快速提升。近年来的需求数据反映，新能源汽车制造技术采购需求几乎成为汽车主要投资方向。本届展会上，更是反映出这一市场变化。比如，加工中心产品技术基本以展示新能源汽车轻量化压铸零件高效精密加工解决方案，包括电机壳体、支架、电池盒、控制盒、空调零件等；车削机床主要展示传动轴、刹车盘等零件加工方案；齿轮加工机床主要展示轻量化、高精度减速齿轮加工解决方案；磨床主要展示精密螺纹传动部件磨削加工技术，等等。据德国同行表示，未来欧洲的汽车制造商也将加大在新能源汽车领域的投资，预计涉及新能源汽车制造技术的需求还将持续增长。



3. 高效加工成为实现低碳减排的技术底座



低碳减排是当前国际上制造业发展的方向，符合可持续发展的目的。在低碳减排中，减少碳足迹和碳排放就是重中之重。从EMO展会上展示的制造技术影响作用看，可以梳理出以下实现路径：首先是通过提高加工综合效率，实现单位能耗下的产出最大化，从根本上减少能源消耗，这就依赖高速加工技

术、轻量化制造技术、智能制造控制技术，实现对整个制造系统效率的实时管控和最优化；其次，就是尽量减少碳排放环节，将传统离散型的制造系统转变为复合型、集约型的制造系统，由于减少了制造转移环节进而减少碳足迹，比如采用绿色认证的功能部件，集成度高的复合加工机床，智能制造系统和智能工厂等。

4. 增材制造区展示生产技术协同效应

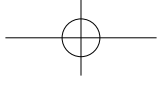
增材制造技术是未来先进制造技术的重要组成部分之一，增材制造现在是汉诺威EMO的固定项目，在本届展会上也是有重要的展示。除了一般性的增材制造装备和单元技术展示以外，增减材复合制造技术也日趋成熟，应用案例十分丰富。另外，增材制造技术展示出生产技术协同效应。增材制造正在被用于大型结构和高效生产的航空航天、汽车、能源和高科技设备等商业案例中。在EMO展会上，展示集成自动化如何改善零件生产的成本构成，并在增材制造中提供更大的设计自由度。另外，增材制造工艺链与减材制造仍有许多重叠之处，许多增材制造出的零件在使用之前仍需进行机加工。通过产业技术间的协同效应，增材制造零件的优势才能发挥最大的作用，如制造出轻量化的夹具、更具冷却效应的工具和按需准备的备件等。

5. 开放式数据通讯彻底改变了制造与测量技术

本届展会上，主办方特别组织了具有国际化背景的工业互联网展示平台，将当前国际主流的开放式数据通讯协议及相关应用案例集中展示出来。这里面有欧盟主导的OPC UA、德国主导的umati、中国主导的NC_Link和美国主导的MT Connect等。主要展商的展台上也有应用上述通讯协议的产品展示，如Mahr、Wenzel和蔡司采用OPC UA GMS（几何测量系统）和I++DME接口确保了不同机器和制造商之间高效、精确的数据交换，实现简化和标准化的数据访问，为数字工厂中的测量技术集成打开了大门。从实际案例看，开放式数据通讯协议标准的广泛使用，提高了设备使用效率和制造系统的整体水平，使在线协同制造与测量技术成为可能，方便了制造业数据在“端、边、云”之间的高效传递和有价值使用，打破了不同技术体系的限制，提升了数据使用效率。同时，也要看到，国际化的开放式数据通讯协议属于国际工业互联网基础设施，在推进过程中首要关注主权管辖、数据安全、运行效率，形成兼顾不同国家国情和公平效率的合作模式，构建具有商业价值的推广模式。



（下转第77页）



涡轮盘内榫槽精密数控拉床的研发与应用

长沙思胜智能设备有限公司 陈留洋 赵建华
中南大学 陈雪林

一、研发背景

榫槽是航空发动机、燃气轮机关键部件中涡轮盘连接叶片的关键结构，数量多、精度要求高。涡轮盘材料为高温合金，如钛合金、镍基合金等，单位切削热力大，热力耦合剧烈，造成了切削变形大，刀具寿命低，其高效精密制造技术一直是研究前沿。拉削工艺在加工高精度要求的多个重复结构等方面具有突出优势。因此，涡轮盘榫槽通常采用拉削工艺。当前涡轮盘榫槽的加工高度依赖进口设备，相关制造商均为国外知名百年老企，如霍夫曼（Hoffmann Ltd.）、弗斯特（Forst Ltd.）等。

长沙思胜智能设备有限公司传承于原长沙机床厂，1955年机械工业部在此设立“长沙插、拉、刨”研究所，成为插、拉、刨床的产品标准唯一制订单位。为突破涡轮盘榫槽精密加工机床技术瓶颈，振兴民族品牌，冲破国际垄断，长沙思胜智能设备有限公司依据《2019国防科工局军工行业国产高档数控机床供应目录》、《2021军工行业高档数控机床需求指南（第16批）》中“卧式数控高

速拉床”项目，成立项目研发小组，自2021年开始进行内榫槽高效精密数控拉床的研制，实现了涡轮盘榫槽加工装备研制技术的自主可控，如A轴、C形摇篮重复高精度定位方法（内榫槽机床实物如图1所示）。该设备可用于拉削环类零件内型榫槽，可满足尺寸、形状精度和表面粗糙度等技术要求。

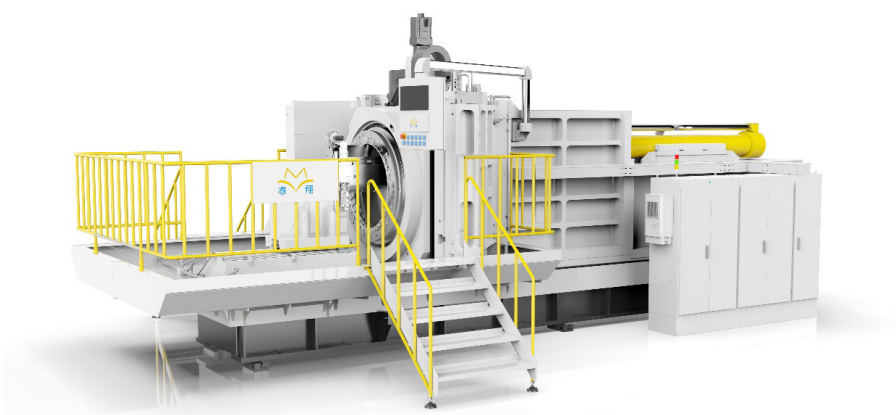


图1 思胜LKG6040实物图

二、产品性能

通过对比国内外相关设备，综合立式与卧式布局拉床的优点，比如①考虑到加工复杂曲面结构的零件（如涡轮盘，转向齿条）需要较大的行程，通常采用卧式布局；②长沙思胜智能设备有限公司自主研发的内榫槽拉床（LKG 6040）采用卧式结构。内榫槽拉床主要部分包括床身部件、数控轴让刀进给（Y轴）、偏角（C轴）、分度（A轴）、液压系统、电气系统、润滑系统、冷却系统、刷屑系统、排屑系统、拉刀等。相比于已有的拉床，该设备配备的液压系统具有压力监控功能，能够实时监控拉削负载。该拉床采用工件固定、刀具运动的工作方式，其上下料方式：单机每次加工一个工件，人工上下工件。该设备整体结构如图2所示。

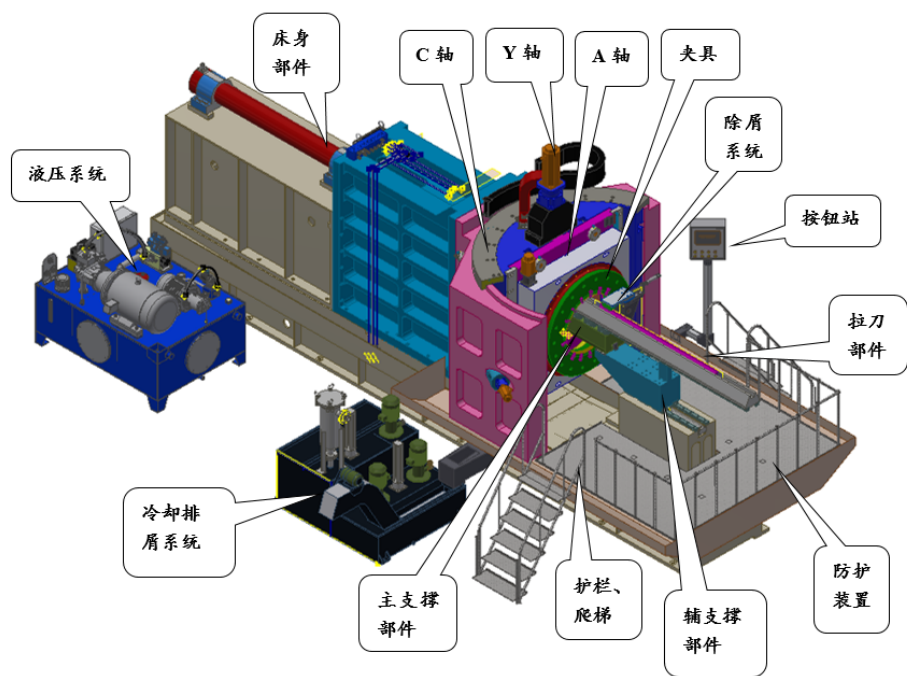


图2 内槽数控拉床整体结构图

该数控机床为内槽专用拉削机床，操作高度范围为1060~1100 mm，工作空间尺寸（长×宽×高）为8400×4900×4000 mm，净重约为50t，主要技术参数如表1所示。为满足拉削运动平稳，无极调速的技术要求，机床拉削（X轴）与辅溜板（X1轴）均采用液压传动方式。

考虑到机床的刚度和位置精度技术要求，该槽拉床配备超负荷监测

装置，其中让刀进给（Y轴）、偏角（C轴）与分度（A轴）均采用：①闭环控制的伺服传动方式；②机械锁紧、液压松开方式。

表2、表3、表4分别为Y轴、C轴与A轴的技术参数。

该机床采用西门子828D数控操作系统，人机界面能实时显示工件拉削速度或回程速度，可直接观察到各轴的运行状态，能监测各种故障、自动显示出

故障的所在位置并发出预警信息。操作系统通过传感器监测拉削力，并依据拉削力值判断拉刀的实际状况，人机界面显示出“拉刀正常”、“拉刀待修磨”和“拉刀异常”的状态。

该机床采用电液伺服阀控制拉削行程与速度等参数，可在操作屏上修改。在拉力和滑板行程范围内，通过更换部分工装和刀具，可实现拉削不同尺寸和槽型的零件。

表1 机床主要技术参数

额定拉力	主溜板行程	零件内径范围	零件外径范围	零件厚度范围	主溜板行程速度
400 kN	2000 mm	φ 900 ~ φ 650 mm	φ 670 ~ φ 920 mm	30 ~ 95 mm	工作：1 ~ 10 m/min 回程：2 ~ 18 m/min

表2 让刀机构（Y轴）技术参数

行程	垂直重复定位精度	伺服电机功率	锁紧力
170 mm	≤0.01 mm	5 kW	4 x 100 kN

表3 槽偏角调整机构（C轴）技术参数

旋转角度	分度定位精度	伺服电机功率	锁紧力
47° ~90°	≤3 ′	4.9 kW	4 x 100 kN

表4 周向分度机构（A轴）技术参数

旋转角度	分度定位精度	重复定位精度	伺服电机功率	锁紧力
360°	≤10″	≤5″	3.3 kW	50 kN

该拉床操作方式分为自动循环、半自动循环及调整。拉床的加工过程为：

- (1) 刀具处于拉削工位，人工上料，压紧工件；
- (2) 根据零件图要求，调整各轴位置参数；
- (3) 液压松开、偏角位、机械锁紧，辅溜板支撑锁紧，液压松开、

- 让刀位、机械锁紧，液压松开、分度一槽、机械锁紧；
- (4) 循环启动，除屑装置进、拉刀返回，除屑装置退、液压松开、进刀位、机械锁紧，冷却开、拉刀拉削，冷却关、液压松开、让刀位、机械锁紧，液压松开、分度一槽、机械锁紧；
- (5) 循环(1) - (4) 动作，直

至圆周上的所有内榫槽都拉削一次。循环启动后，当旋钮指向“调整”状态时，可单独完成每个动作调整。经过功率、压力与扭矩校核计算，确定了相关电机与泵的技术参数，如表5~表7所示。经过当旋钮指向“半自动循环”档时，机床拉削一个循环后停止，当旋钮指向“自动循环”档时，机床重复半自动循环。

表5 主传动用油泵技术参数

流量	最大工作压力	额定工作压力	液压站油箱容量
320 L/min	16 MPa	11 MPa	≥800 L

表6 电机技术参数

主传电动机总功率	主传电动机转速	辅传电动机功率	辅传电动机转速	冷却电机功率	冷却电机转速
45 kW	1470 r/min	5.5 kW	1420 r/min	2.2 +2.2 kW	2840 r/min

表7 传动泵技术参数

辅传动泵排量	辅传动泵最大工作压力	辅传动泵额定工作压力	润滑泵电机功率	润滑泵流量	润滑泵容积
31 mL/r	6 MPa	4 MPa	100 W	150 mL/min	3 L

三、关键技术

相比于现有的内榫槽拉床，长沙思胜智能设备有限公司与中南大学唐进元教授团队成立精密高效内拉榫槽机床研发小组，依据内榫槽数控拉床切削的动态切削力学特点，对整机结构与关键零部件的力学、模态进行了分析，优化了机床关键件结构，提升关键零件的制造精度。该数控内榫槽拉床突破了以下关键技术，并应用于新装备的研发中，简述如下。

1. 双导轨主、辅溜板高刚度结构设计方案

该内榫槽拉床溜板采用主、辅溜板双导轨整体钢件，提升拉刀工作台刚度，降低刀盒受力产生的偏移量。采用重载滚柱导轨导向，安装于主支撑座上，与主油缸、刀盒连接轴锁紧，工作行程2000 mm，最大行程2050 mm，数控系统可显示实时位置，配有零位感应开关。辅溜板安装

于辅支撑座上，上方装有滚动块，刀盒在返回状态时支撑，拉削时与主支撑座机械锁紧，液压松开，形成支撑刚度，行程400 mm。拉刀盒安装于主支撑座上，拉刀安装在拉刀盒内，刀盒的平行及垂直精度均≤0.015 mm。刀具安装在刀盒槽内，用楔块锁紧。主溜板牵引进行拉削，如图3所示。将主、辅溜板与刀盒三维模型导入有限元计算软件中，设置材料属性，划分网格，依据榫槽拉削时主、辅溜板的受力特点施加额定400 kN的切削力载荷，其变形如图4所示。结果显示最大变形出现的连接块，为0.107 mm，拉刀盒处的x、y、z向变形（见图5）分别为0.02 um、0.4 um、31 um，其中z向为拉削速度方向，对加工精度影响小，完全满足机床加工精度的要求。

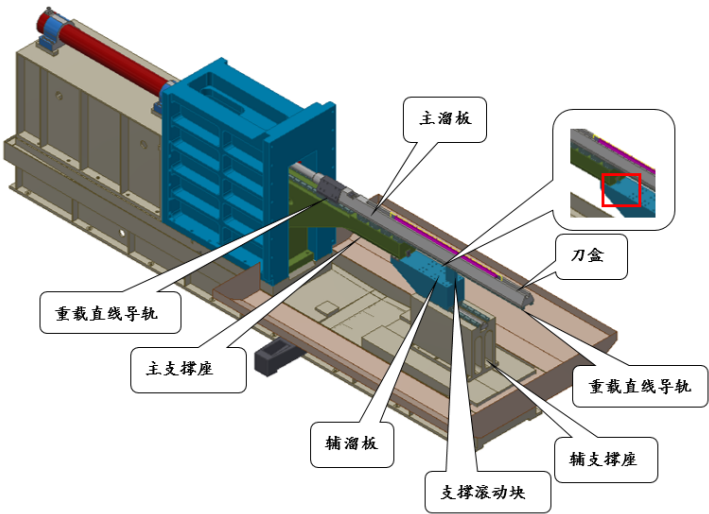


图3 主、辅双溜板双导轨结构

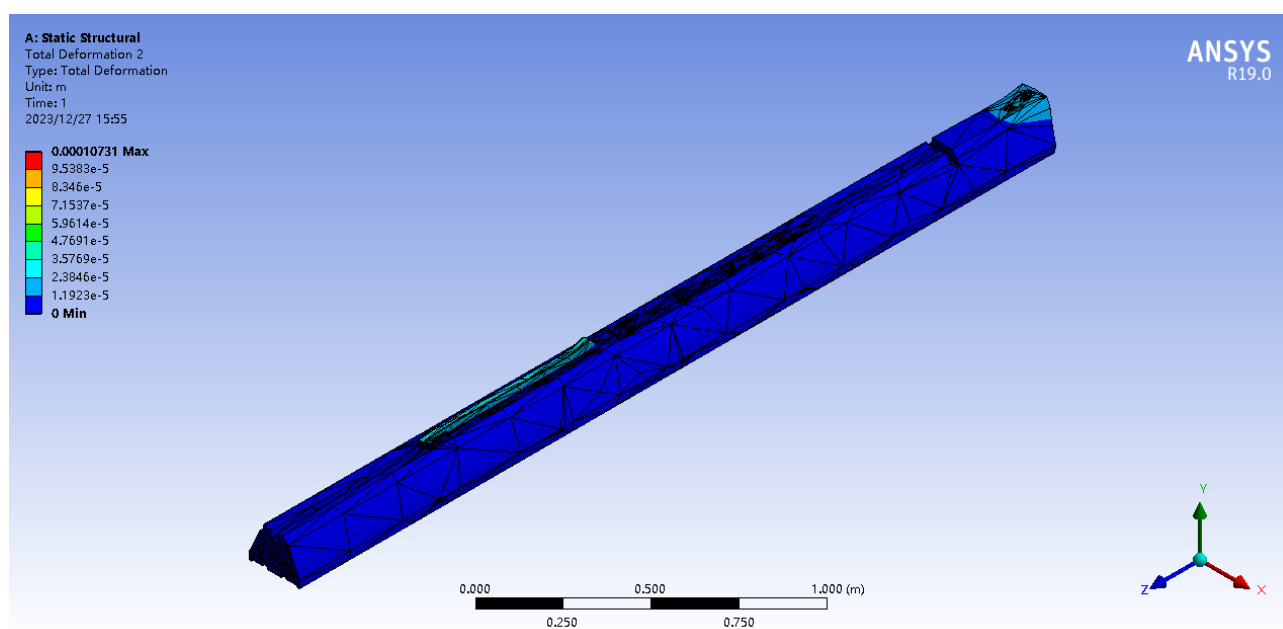
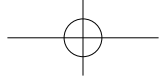


图4 溜板变形云图

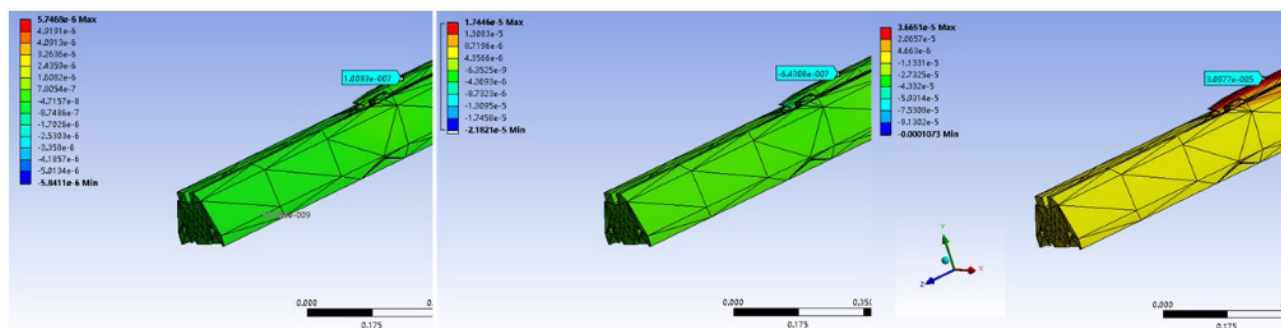


图5 溜板与刀盒x, y, z向变形云图

2. 高精度分度装置与方法

内榫槽的高精度要求对榫槽拉床的分度与转接夹紧装置提出了低变形、精准定位的要求。项目研发小组分别从以下4个方面开展研究,实现了C形摇篮与A轴的高重复定位精度,简介如下:

(1) 榫槽偏角调整机构。该偏角轴C型座装于床台正面,采用矩形圆弧导轨压板导向定位,伺服电机蜗杆驱动C型工作台,行程 47° 至 90° ,伺服磁栅尺闭环控制,机械锁紧,液压松开。

(2) 让刀机构。让刀轴装于C型工作台正面,采用矩形导轨压板导向

定位,伺服电机丝杆驱动,当拉削完一刀后,将工件提升至合适的位置,然后拉刀退回,工件分度后再回复到加工时的位置,进行下一个榫槽的拉削,此时伺服光栅尺闭环控制,机械锁紧,液压松开。

(3) 周向分度机构。采用数控分度,闭环控制,机械锁紧。分度工作台十字键定位装于让刀工作台上,转台采用专用轴承副导向定位,伺服蜗杆驱动转台 360° 旋转,锁紧机构锁紧后保持原分度精度。

(4) 高精度分度转接夹紧装置。夹紧装置装于分度工作台上,采用外止口定心平面键槽定向,夹

紧装置内止口装入工件,端面支撑,根据零件不同的偏心距(P点高度),设计夹紧装置定位止口高度,配有相应的压块压紧工件,更换夹具可实现不同产品内榫槽加工。以上机构均配有行程保护开关,如图6所示。依据拉削时榫槽各结构的受力特点,对分度装置进行了有限元分析,得到变形云图如图7所示,其中最大变形量为 $18\text{ }\mu\text{m}$ 。切削处x、y、z三个方向的变形量分别为 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 、 $4.1\text{ }\mu\text{m}$,如图8所示。在额定 400 kN 载荷下,该分度机构产生的微小变形满足加工精度的要求。

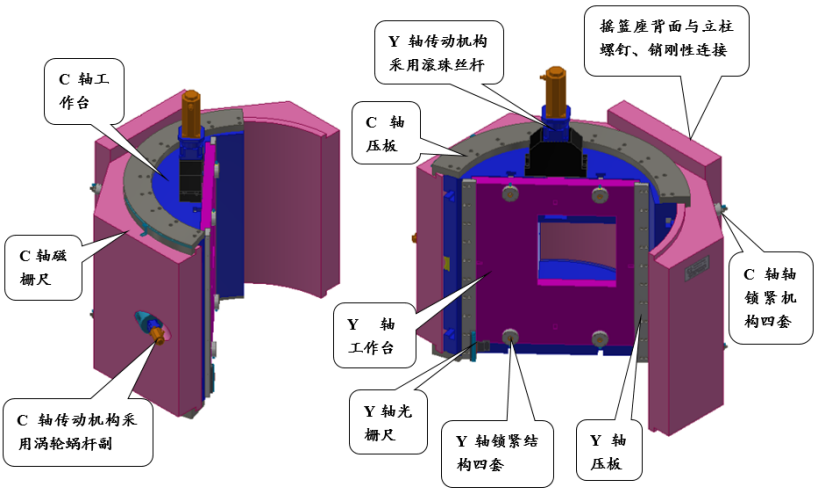


图6 高精度分度装置结构图

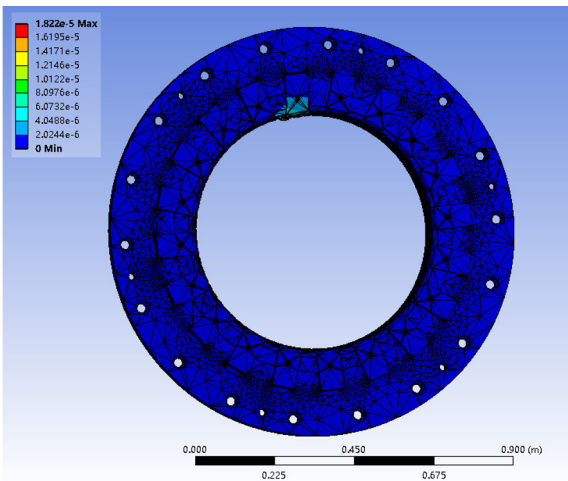


图7 分度装置总变形云图

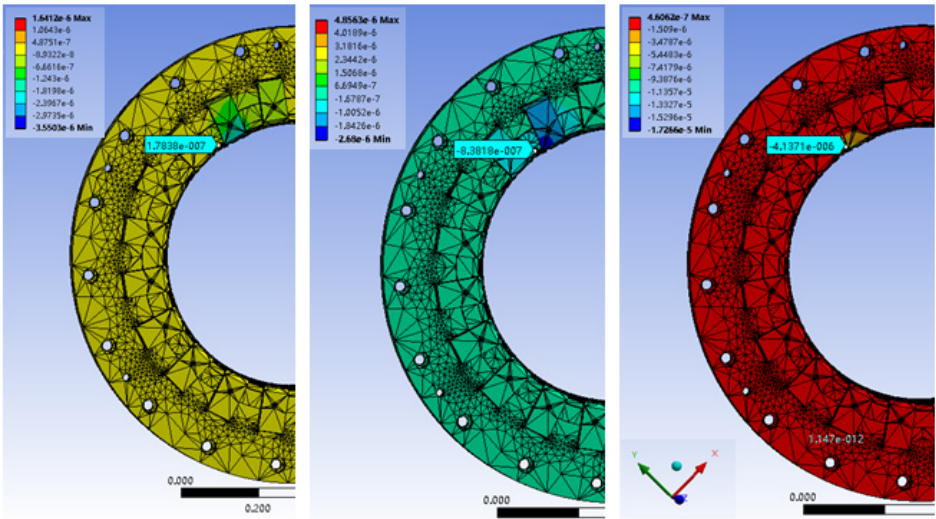


图8 分度装置在切削处x、y、z三个方向的变形云图



图9 内槽数控拉床实物图

该内槽数控机床在国内外有着广阔的市场需求，能够满足各类内槽槽产品加工的要求，可替换进口的涡轮盘内槽槽机床，实现装备的国产化，对我国航空发动机、燃气轮机等“卡脖子”装备的创新具有重要的意义。

该装备研发成功后，湖南省高新装备处，长沙市科技局，长沙县科技局，中南大学，湖南大学，中国航发南方工业有限公司等单位的领导、专家参加了该高精度内槽槽数控拉床的验收、推介会（如图9所示），一致认同该内槽槽数控机床的成功研发破解了国外对槽槽加工设备的垄断，提升了民族工业国产化水平。长沙思胜智能设备有限公司将继续加大科技创新的投入，推进我国数控机床装备的发展。□

基于机器人最优路径的学习曲线探究

通用技术集团机床工程研究院有限公司 齐彦
北京机床研究所有限公司 汪韬

【摘要】随着机器人产业的蓬勃发展，人类的生产生活方式已发生了极大的改善，机器人已经进入了实用化的时代。本文基于示范产线进行应用研究，通过对机器人本体进行应用设计优化，基于机器人最优路径的学习曲线探究，将实际测量及理论计算相结合，修正工时定额，可对实际生产线作业提供一定的指导。

日前，人工智能和计算机技术的发展迅速，加快推进机器人的应用拓展，对工业机器人的使用也变得更加普遍，常见的工业机器人的用途主要包括：弧焊（Arc welding）、点焊（Spot welding）、搬运（Handing）、涂胶（Sealing）、喷漆（Painting）、切割（Slicing）、测量（measurement）等^[1]。本示范产线主要应用机器人的搬运功能。示范产线主要技术参数见表1。

表1 技术参数

设备A（料盘检测）	FANUC Oi MD+十字滑台
设备B（国产机器人上下料试验台）	GSK 988TA+GSKRB03A1
设备C（国产桁架上下料试验台）	GJ430双通道（2+3轴）
上下料工业机器人	FANUC Robert
服务器	联想IBM X3650 M5
客户端	55寸触控一体展示机、75寸工业监视系统

1. 基于机器人本体的优化设计

优化设计一：对于机器人自身而言是有六个轴，包含旋转（S轴），下臂（L轴）、上臂（U轴）、手腕旋转（R轴）、手腕摆动（B轴）和手腕回转（T轴）。6个关节合成实现末端的6自由度进行手腕、手臂的控制，由于考虑到示范产线包含不同物理空间多台设备协调加工的情况，为了适应机器人的空间范围，因此，特定义了机器人的第七轴，通过在机器人底座处加装地轨，进而带动机器

人的本体移动，以便机器人可以在地轨上完成线性运动。

优化设计二：为方便机器人手爪抓取料盘，特将常用的夹取式手爪设计成托举式手爪，通过料盘两端通孔穿过手爪上的固定销钉，即可实现稳固的托举料盘的动作。特别是在设置机器人参考点的时候，两个固定销钉可以为精准定位提供有力支持。

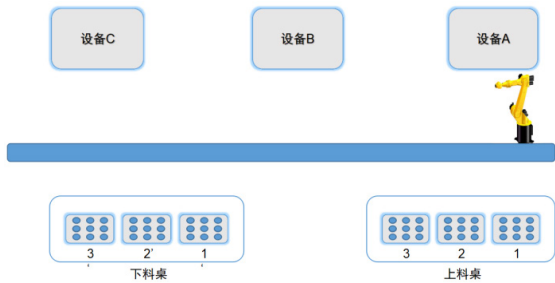


图1 示范产线简图

2. 机器人路径的优化设计

针对机器人路径规划的研究，目前常用的方法有拓扑网格法^[2]，就是用节点和边线来描述空间物体之间的关系，不关心节点位置，此建模方法适合于相对简单的路径规划，但是拓扑网格规划又十分的费力，对于复杂环境很不适用。适用性没有栅格法^[3]那样广泛。遗传算法是现在求最优解较为经典的算法，但又极易陷入到局部最优解。

结合实际产线的使用需求，考虑实际排产影响因素，

上下料耗时，识别工序，加工工序约束等情况，优化排产算法，为排产调度算法的研究提供有益参考^[4]。

(1) 方案一：单步循环上下料

当人工在上料桌1号.2号.3号位置装载好料物后，机器人到上料桌取走1号位置料盘，到设备A处校验料盘上是否有料，校验原则为：料盘上九个料坑必须都有料。校验完毕后，机器人将1号位料盘取走，运放到设备B加工处，机器人等待设备B加工完成后，运送到设备C加工处，机器人等待设备C加工完成后，机器人将1号位料盘运送到下料桌，对应的1'号位置，随即完成下料，之后，机器人再到上料桌2号位置取料重复上述过程。

(2) 方案二：交替顺序上下料

当人工在上料桌1号.2号.3号位置装载好料物后，机器人到上料桌取走1号位置料盘，到设备A处校验料盘上是否有料，检测满足要求后，机器人将料盘运送到设备B处进行加工，随即，机器人并不等待，而是继续回到上料桌2号位置，取走2号位料盘继续到设备A处进行有无料检验，随即机器人到设备B处将1号位置料盘运转到设备C处进行加工，之后，机器人又回到设备A处将2号位处料盘运转到设备B处，随后，机器人来到设备C处将加工完的1号位料盘转运到下料桌，完成下料，循环往复，直至将上料桌三个位置的料都加工完成后运送到下料桌。

经过实际验证，最大运动速度下（100%，400mm/sec），方案一完成全部3个位置料物加工到下料共计需要14分45秒，而方案二需要8分57秒，时间缩短63.94%，大大提升了加工效率，由此可见，方案二的机器人路径更具优势。因此，最终选择采用方案二作为机器人路径^[5]。

3. 基于学习曲线的工时定额修正

通过结合实际确定机器人最优路径，更重要的是要指导实际生产，尤其是单一型号多批产量任务，对此加工工时就是影响影响产线效率以及经济效益的一个因素。为此，工时定额便是一项衡量指标。

学习曲线最早在飞机制造业中发现，当飞机的产量积

累增加1倍时，平均单位工时就下降约20%^[6]。此规律在生产行业普遍存在，在一定时间内连续进行具备固定模式的重复工作，工作效率会按照一定比率递增，在大批量生产中，随着生产产量的增加，使得单位任务量工时呈现下降趋势，即单件产品加工生产工时表现为下降趋势。通常学习曲线包含两个阶段，分别是学习阶段和标准阶段，在标准阶段，产品的产量虽然持续增加，但是所用单位产品生产时间基本保持不变，学习效应可以忽略，该阶段的生产时间为标准生产时间^[7]。单件产品工时与累计产量之间的函数表达为：

$$y = a(x)^m$$
 公式（1）

式中y为第x台的工时，a为第1台的工时，m为学习系数，当学习率一定，学习系数是个定值^[8]。

以往给出的工时定额多是静态制定，即某项作业内容一旦确定就不再发生变化，而实际上操作者随着实际操作经验的丰富，完成单项作业时间减少。例如上料时，伴随对料盘及物料的熟悉程度，会缩短上料时间。Ye和Cai^[9]等都对企业车间生产学习效应做过一定研究，但未进一步考虑学习率因素的影响。

由于试件均为同型号，加工工序相同，由3人完成上料台三个位置上料工作。连续十天分别记录每天完成数量（每日8小时工作制即1440min），获得所需参数见表2。线性回归分析结果如表3所示。

表2 实际统计数据

时间	日产量 (件)	累计产量 (件)	日工作时间 /min	累计工作时间 /min	累计平均每 件生产时间 /min
1	288	288	1440	1440	5
2	350	638	1440	2880	4.51
3	398	1036	1440	4320	4.17
4	400	1436	1440	5760	4.01
5	432	1868	1440	7200	3.85
6	478	2346	1440	8640	3.68
7	510	2856	1440	10080	3.53
8	526	3382	1440	11520	3.41
9	532	3914	1440	12960	3.31
10	540	4454	1440	14400	3.23

表3 线性回归分析结果 (n=10)

	非标准化系数		标准化系数	VIF	R^2	调整 R^2	F
	B	标准误	Beta				
常数	4.712	0.120	-	-	0.893	0.879	(1,8)=66.559,p=0.000
累计产量	-0.000	0.000	-0.945	1.000			

因变量：累计平均每件生产时间
D-W值：0.637

设累计产量为X，平均每件生产时间Y，通过SPSS获得线性回归分析结果，拟合方程的系数 R^2 为0.893，趋近1，则可认为Y与 X呈线性关系，对模型进行F检验时发现

模型通过F检验（ $F=66.559$ ， $p=0.000<0.05$ ），也即说明累计产量一定会对累计平均每件生产时间产生影响关系。拟合方程为：

$$Y=4.712X-0.893$$

$$\text{批量比} = X\text{实际数量}/X\text{标准数量}$$

$$\text{批量系数} = (\text{批量比})^{-m}$$

$$\text{修正工时定额} = Y\text{实际数量} \times \text{批量系数}$$

结合表及拟合数据结果分析可得，随着加工数量的增加，操作者操作不断熟练，单件试件的生产时间逐渐缩短。生产线及人工完成一系列任务从第1天至第7天产量呈现线性增长，到第8天之后加工产量趋于平稳，因此，判定签7天为学习阶段，第7天以后为标准阶段，标准批量为510件。

如果依据经验给定标准工时每件2min,批量为300件，那么300件的修正工时定额计算为：

$$\text{批量比} = 300/510=0.588$$

$$\text{批量系数}=(\text{批量比})^{-0.893}=1.607$$

$$\text{修正工时定额}=2 \times 1.607=3.214\text{min}$$

当拟合方程的系数调整 R^2 为0.879时，修正工时定额计算为：

$$\text{批量系数}=(\text{批量比})^{-0.879}=1.595$$

$$\text{修正工时定额}=2 \times 1.595=3.19\text{min}$$

可见，当学习率降低时，工时定额增加，在实际生产中，当生产环境一定时需要通过一定的训练，进而增加学习率，可以有效减少人工成本。结合工时定额修正方法能够很好地指导实际生产，对于生产中时间及成本的预先计算能够提供理论依据与参考。

4. 小结

本文以实际工程应用为出发点，对机器人本体进行了优化，进行了最优路径选择，结合理论计算与实验验证，基于学习曲线修正工时定额，同时考虑学习率这一关键因素，对于批量同型号产品的生产可有效合理地计算成本。目前该示范产线已经在检测基地正常运行。□

参考文献

- [1]王田苗,陶永 我國工業機器人技術現狀與產業化發展戰略[J]機械工程學報. 2014,50(09)1-13
- [2]梁健,李曉杰,謝炯 拓撲優化在工業機器人造型設計中的應用[J]機械設計. 2020,37(09)128-133
- [3]羅竹青 基於柵格法的機器人路徑規劃調節[J]信息與電能 2009.11 29-31
- [4]徐夢穎 基於改進遺傳算法的機器人路徑規劃[J]石河子大學學報(自然科學版) 第39卷, 第3期 2021 391-396
- [5]F. S. Patrick. Critical Chain Scheduling and Buffer Management: Getting out from between Parkinson’s Rock and Murphy’s Hard Place[J]. PM Network, 1999, 13(4): 57-62
- [6]王尚昇,吳德宣 學習曲線及其回歸分析[J] 江蘇大學學報(社會科學版). 1999,(03) 66-69
- [7]陳志祥 學習曲線及在工業生產運作研究中的應用綜述[J]中國工程科學. 2007,(07)82-88+94
- [8]蔡京廷 R公司文胸生產車間排產的優化研究[D]西安工程大學 2013

上接第69页

6.经济适用将主导后疫情时代一段时期内的制造业投资思路

参观本届展会的一个突出观感就是，展品技术面向市场应用推广的比重明显提升，大多数展品及技术方案是为了实现直接销售，而不仅仅是为了展示前沿技术。可以说，本届展会的一个突出风格就是“经济适用”。后疫情时代中的相当长一段时期，下游制造业面临严重的开工不足和需求转换压力，影响到对制造装备采购更加精打细算，审慎投入。本届展会上的展品，如前所述面向市场新兴热点领域的解决方案，还有就是面向现成的销售产品，主办方也特意将采购者和投资者作为欢迎重点。这些变化都反映出未来新增投资需求会围绕“经济适用”的思路展开。

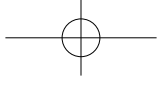
7. 追求完整产品技术生态成为产业主流发展模式

最后，也是近年来国内外机床产业反映出的共同特点，为了应对地缘政治冲突、国际供应链的不稳定，以及

存在国际产业转移的不确定性，各主要机床产业制造区域都将构建完整产品技术生态作为首要战略问题，并加以重点投入。从本届展会上，无论是主机企业，还是系统部件企业，均展示了围绕自身核心技术产品构建的上下游生态系统，并基于这个生态形成优于竞争对手的核心竞争力和发展韧性，对抗产业发展的不确定性冲击。

四、结束语

EMO2023展会上反映出当前国际机床工具及先进制造技术领域的新情况、新特征和新趋势，值得我们仔细研究和思考。在后疫情时代，国内外产业发展环境都在时刻发生变化，传统产业退出、转型，新兴产业发展壮大，国际产业布局调整、转移等，正在倒逼我国机床工具产业持续转型，只有以创新驱动为核心，坚持走自立自强道路，面向新型工业化发展方向，培育形成产业新质生产力，才能更好地适应境内外市场需求的新变化，实现机床工具产业高质量发展目标。□



压缩机薄壁壳体的夹具设计

沈阳盛益维装备有限公司 杨勇
沈阳三一重型装备有限公司 初光宇
沈阳凯姆罗机电设备有限公司 计宏亮

【摘要】材料强度低的薄壁异形零件，且公差带窄，精度稳定性 ($C_p \geq 1.67$) 要求高，是机加领域中最最为头疼的难题。通常遇到此类零件的加工，机床的选型及夹具的设计是工艺设计中的核心，工程师们为此付出了巨大的心力，也各自都有一些心得体会。本文作者以一款压缩机壳体加工为例，介绍不同的工装设计对加工精度的影响。

经济型压缩机在家用电气领域中被广泛应用，随着用户对产品的品质要求越来越高，反馈到压缩机的各个配件，其精度和尺寸公差稳定性 ($C_p \geq 1.67$ 值) 要求也越来越高。

目前，市场上此类零件多采用进口或国产一流的品牌车床加工，但是随着人工和设备运行成本的不断压缩，国内的二、三流车床也加入到了此领域。为了满足此类设备的加工要求，生产厂家开始进一步优化工装夹具，同时严控加工成本，在此背景下，开发设计了相应的夹具。

1. 零件加工要求

(1) 零件说明

零件材料：YL113。

YL113 化学含量：硅 Si 9.5~11.5；铁 Fe ≤ 1.0 ；铜 Cu 2.0~3.0；镁 Mg ≤ 0.1 ；锰 Mn ≤ 0.5 ；锌 Zn ≤ 2.9 ；镍 Ni ≤ 0.3 ；铅 Pb ≤ 0.1 ；Al 余量。

YL113力学性能参数：

抗拉强度：230MPa，屈服强度：170 MPa，断后延伸率：1%，硬度 80HBS，抗剪强度：205 MPa，旋转弯曲疲劳强度：145 MPa；弹性模量 70Gpa，泊松比0.33。

依据机械工业部的压铸合金标准，比较适宜于用废铝来熔炼，通常感性认知比较软，非常容易变形和磕碰损坏。参考零件如图1所示。

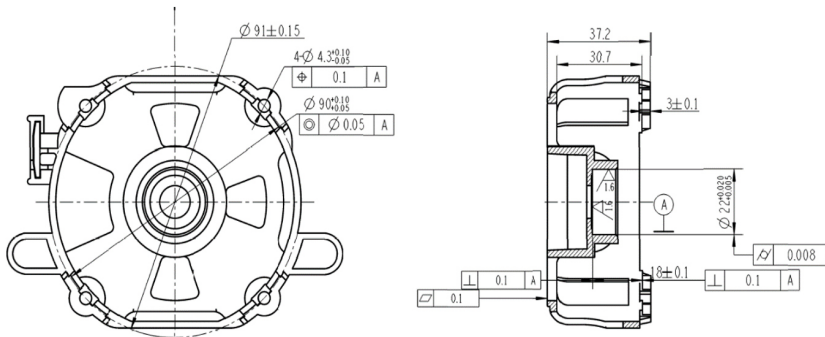


图1

(2) 零件工艺



压铸：采用专用金属模具，高压精铸而成。

喷砂：采用专用设备，祛除压铸飞边毛刺，同时表面变成磨砂亚光状态。

精车：保证本序精度，且 $C_p \geq 1.67$ 。

注：每道工序上机之前，均有操作工对其进行检查，剔除周转过程中损伤以及变形的产品。

精车工序定位夹紧及加工部位示意图，如图2所示。

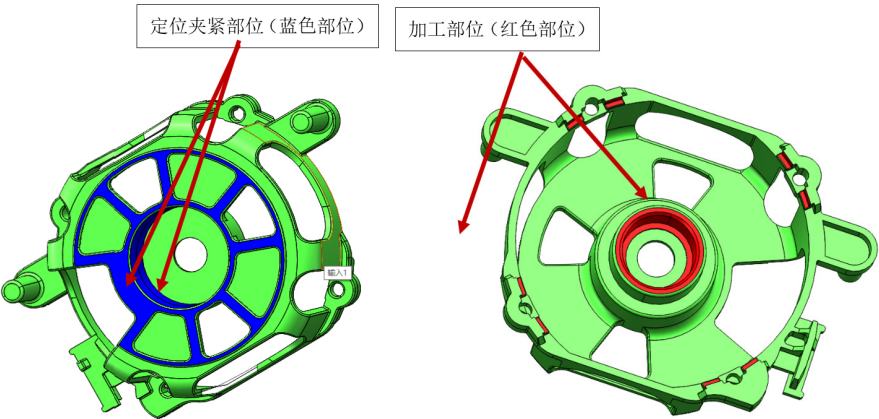


图 2

(3) 零件验收要求

本夹具用于加工内孔和四段圆弧面，保证公差和圆柱度的要求，且Cp≥1.67。具体要求见表1。

表 1

序号	名称	定位尺寸/mm	加工尺寸/mm
1	内孔	φ 32压铸孔及端面	A基准孔 φ 22 ^{+0.020} _{+0.005}
2	端面台阶	φ 32压铸孔及端面	φ 90 ^{+0.10} _{+0.05}

2. 夹具设计

(1) 方案一

采用（千岛）6吋四爪自定心卡盘，重复定心精度0.01mm，利用一副软爪进行改造，四爪固定后自车φ32圆柱芯轴，内涨φ32压铸孔定心，卡爪端面精车作为装置面，限制工件的轴向窜动和翻转，完成工件的定位。另配置四个锥形导柱为工件提供辅助支撑，加强整体安装的刚性。

锥形导柱的设计需留有余量，整体工装安装在机床上，调机时进行自车，以保证四个锥形导柱的高度一致。理论上锥形导柱虽是辅助支撑，但是实际应用中由于导柱的高度非自适应调节，是过定位支撑，这样调机人员在自车时，需要多次反复进行自车，以保证工件端面接触卡爪的装置面同时，导柱的端面与工件仍有接触。

方案一夹持示意图，如图3所示。

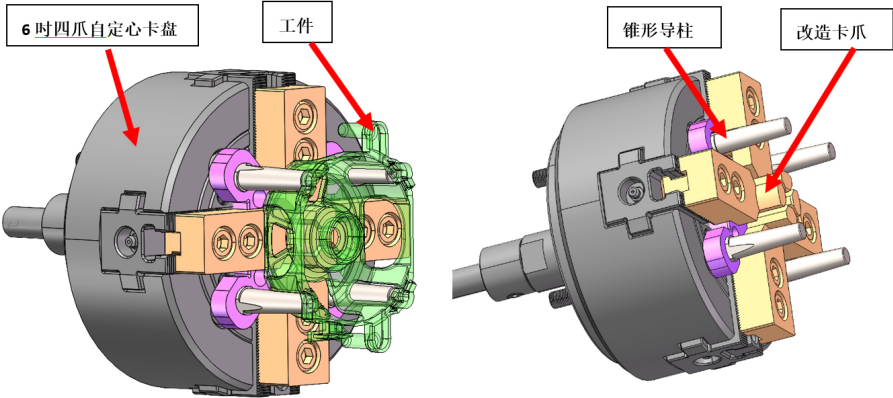


图3

(2) 方案二

采用矩形弹簧，拉紧锥头螺杆，使得弹簧夹头膨胀，夹紧工件φ32压铸孔，实现定心，夹紧力可以通过调整矩形弹簧的压缩量来实现，夹具体的端面作为工件的装置面，完成工件的轴向定位。旋转尼龙法兰盘，螺钉压紧完成工件的安装。

此方案设计时需严格计算弹簧夹头的膨胀范围，保证在矩形弹簧的压缩量内有足够的膨胀行程。锥头拉杆的锥度为16°，弹簧夹头的内锥孔为14°，防止弹簧夹头涨开后，与锥头拉杆配合的内锥孔角度变大（即大于14°），导致锥头拉杆锥面与弹簧夹头内锥面接触增大，面面摩擦锁死，使得弹簧夹头不能缩回复位。

此方案的压紧机构，设计的非常简单巧妙，采用尼龙法兰盘对工件的端面压紧，压紧点选取的位置均为实心部位，可以将压紧力直接传导在夹具体的装置面上。因工件上留给设计使用的空间较小，最初设计的铰接压板、转角压板、复动压板等机构，经反复测算空间均不能满足，且压板与工件的接触为点接触，容易给工件造成局部压痕，影响验收。经过多方论证，后设计为法兰端面压紧，且采用材料，利用内六角螺钉头部直径的变化，设计旋转压紧，螺钉的位置设计在工件的四肋条的间隙中，大大的节省了压紧机构的空间。工件在夹紧状态时，只有压紧端面与工件接触，螺钉下方法兰处于悬空状态，确保接触点的紧密可靠。

同时整体方案还考虑了夹具与刀具的空间干涉问题，设计完成后经对比，不存在刀具干涉问题。

该方案夹持示意图，如图4所示。

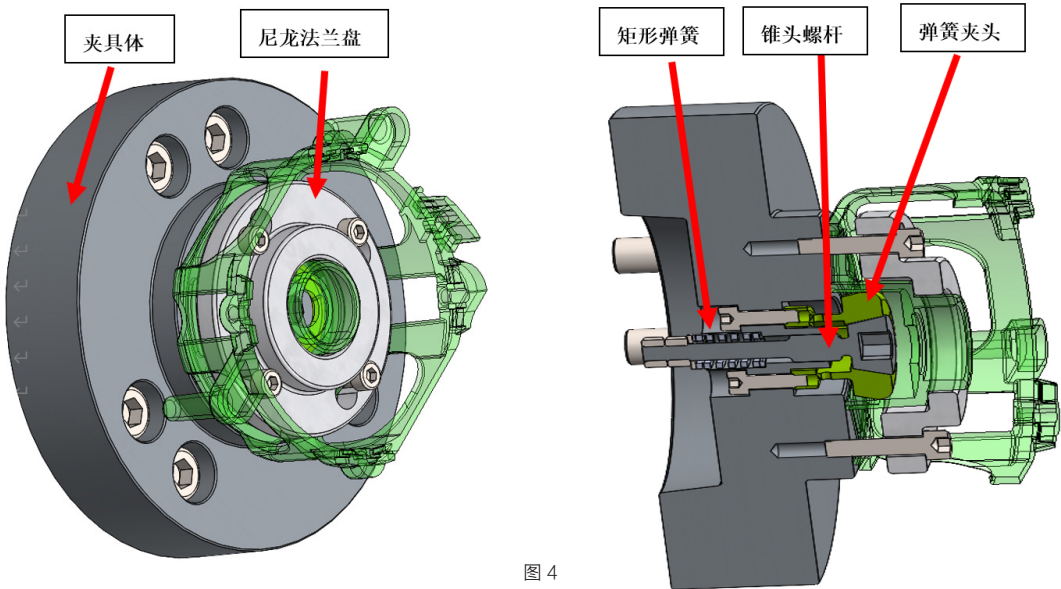
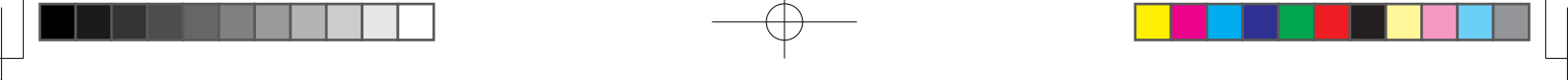


图 4

3.性能对比

对上述两个方案进行对比，具体如表2所示：

表 2

方案	应用工况和加工精度	安装时间	成本
方案一	调机时需要锥形导柱自车，保证卡爪的端面与工件接触的同时，锥形导柱端面与工件相接触。一次调整后，同批次可以不用调整，但是不同批次毛坯的差异导致需要不断修整锥形导柱；不同批次的毛坯 $\phi 32$ 定心孔拔模锥度不同，需要对卡爪的圆柱芯轴面进行细微的修整（自车）；夹持时内胀力较大， $\phi 32$ 压铸孔变形，在线检测和线下检测，圆柱度平均相差 0.005mm；受卡爪的重复定位精度影响，导致批量加工，基本公差变化 0.015mm。	液压自动夹紧，大约 1s	整体造价（不含液压站和旋转油缸）约 0.8 万
方案二	夹持时内孔不变形，内胀力可调整；第一次装夹调整弹簧夹头的内胀力，保证工件内孔既不变形，又可以用手轻松拔出。如果不同批次的毛坯相差较大的情况下，需要进行二次内胀力的调整——现场使用中没有发生需要二次涨紧力调整的情况；调机时尼龙法兰盘的压紧螺钉处于压紧状态时，可以在螺钉上涂少许防松螺纹胶，保证工件的压紧力恒定；基本公差稳定，批量加工变化 0.003mm。	手动旋紧，约 1s	造价 0.2 万

4. 结语

通过以上方案的应用对比得出，相同的定位夹持原理，不同的结构设计，加工后的结果相差很大。在当下行业竞争激烈的情况下，标准夹具元件的正确应用，灵活的改型设计，可以为企业赢得丰厚的利润，未来的业内竞争，不仅是产品的质量，开发创新将占据重要的一席之地。

参考文献

[1] 陈宏钧.机械加工工艺装备设计员手册.机械工业出版社.2008.5
[2]朱耀祥、浦林祥.现代夹具设计手册.机械工业出版社.2009.10
[3]吴宗泽.机械零件设计手册.机械工业出版社.2003.11
[4]蔡兰.机械零件工艺00性手册.机械工业出版社.2006.12