

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

No.1 2022
2022年2月
February 2022

主管: 中国机械工业联合会
主办: 中国机床工具工业协会
地址: 北京市西城区莲花池东路102号
天莲大厦16层
邮政编码: 100055
电话: (010) 63345259
电子邮箱: wmem@cmtba.org.cn

出版: 中国机床工具工业协会
《组合机床与自动化加工技术》杂志社

主任: 毛子锋
副主任: 王黎明 郭长城 王旭

编委:
于成廷 吴柏林 张志刚 李忠波 何敏佳 张世顺
蔚飞 严鉴铂 黄正华 刘德永 陈焱 张波
冷志斌 陈虎 汪爱清 王焕卫 芦华 吴强
唐毅 陈吉红 杜琢玉 王本善 赵延军 王社权
姜华 商宏谟 安丰收 邓家科 穆东辉 于建华

特邀编委(各分会秘书长26人):
吴俊勇 邹春生 刘春时 房小艳 周慧 胡春美
陈瑞雷 李升 王珏 卢智良 刘庆乐 查国兵
陈鹏 崔瑞奇 边海燕 王兴麟 何培彦 张新龙
肖明 叶永生 武平 陈远东 孙兆达 李鸿基
王丽娜 陈长江

总编辑: 李华翔
责任编辑: 梅峰
国际标准代号: ISSN 1015-4809
国内统一刊号: CN 11-5137/TH
国内发行: 北京报刊发行局
订阅处: 全国各地邮局
邮发代号: 80-121

广告代理: 台湾总代理-宗久实业有限公司
地址: 台湾省台中市南屯区文心路一段540号11F-B
电话: +886 4 23251784
传真: +886 4 23252967
电子邮箱: Jessie@acw.com.tw
广告负责人: 吴佩青(Jessie)

承印: 北京久佳印刷有限责任公司

零售价: 中国内地RMB10.-
中国香港HK\$70.-
其他地区US\$10.-



《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》(理工C辑)、《中文科技期刊数据库(全文版)》全文收录期刊、万方数据-数字化期刊群之中国核心期刊数据库引文期刊。

目录 CONTENTS

2022年第1期(总第178期)

WMEM世界制造技术与装备市场

新年寄语 New Year's Greetings

- 12 保持战略定力, 奋发有为开创改革发展新格局 李忠波
Maintain strategic determination and strive to create a new pattern of reform and development.
- 13 夯实基础, 协同创新, 推进行业高质量发展 机床协会
Lay a solid foundation, cooperate in innovation, and promote the high-quality development of the industry.

资讯 News

- 15 2021年中国机床工具行业要闻回顾 机床协会
Review of key news of China's machine tool industry in 2021.

特别报道 Special Report

- 17 中国机床工具工业协会召开第九次会员代表大会选举产生第九届理事会
Report on the 9th Congress of CMTBA

本刊专访 Interview

- 20 产学研合作正在路上
——访北京工业大学机电学院范晋伟教授 李华翔 黄绍娟
Interview with Professor Fan Jinwei, School of Mechanical and Electrical Engineering, BJUT

专题综述 Topical Review

- 22 滚动功能部件成套评测方法与装备及性能提升关键技术 欧屹
A complete set of evaluation methods & equipments for rolling functional components and key technologies for performance improvement
- 28 齿轮精密制造关键工艺、机床及数控系统 韩江等
Key processes, machine tools and numerical control systems for precision gear manufacturing

产业政策 Industrial Policy

- 32 《“十四五”智能制造发展规划》政策解读
Policy Interpretation of the "14th Five-Year Plan for Intelligent Manufacturing Development"

产销市场 Production & Market

- 36 2022年机床工具行业走势研判 机床协会
Research and Judgment of Machine Tool Industry Trends in 2022

编者的话

送走难忘的2021年，迈入希望的2022年。新的一年，受外部复杂多变的经济大环境，以及后疫情所带来的不稳定因素的影响，行业企业仍将面临巨大的挑战和压力。

2021年中央经济工作会议指出：“我国经济发展面临需求收缩、供给冲击、预期转弱三重压力”，外部环境“更趋复杂严峻和不确定”。稳增长将是2022年的突出任务。对于2022年机床工具行业走势，中国机床工具工业协会研判指出：今年政策面推动经济增长的力度将超过常年，这也将有力拉动机床工具的市场需求，因此预计2022年我国机床工行业将延续2021年的良好运行态势（详见P36-P38）。这也让人们对于今年重要的行业展会更加充满期待。

2022年4月11~15日，第十二届中国数控机床展览会（CCMT2022）将在上海新国际博览中心拉开大幕。本届展会规模大，展品技术先进，技术讲座、交流会、论坛等配套活动丰富多样，展出面积12万平方米，来自世界24个国家和地区的1300多家机床工具企业将在CCMT2022展会上同台竞技、各展风采。本届展会将集中展示全球机床工具的最新展品与技术，促进展会各方的交流与合作。作为展会的主办方，中国机床工具工业协会诚挚地邀请业内外人士光临本届展会。

本期在“展会报道”栏目中，协会行业专家结合机床工具技术发展趋势，总结出CCMT2022展会的六大看点（详见P43-P60）；在“专题综述”栏目中，针对当前行业技术热点，行业专家为本刊撰写了“滚动功能部件成套评测方法与装备及性能提升关键技术”、“齿轮精密制造关键工艺、机床及数控系统”两篇文章。敬请广大读者关注！

本刊编辑部

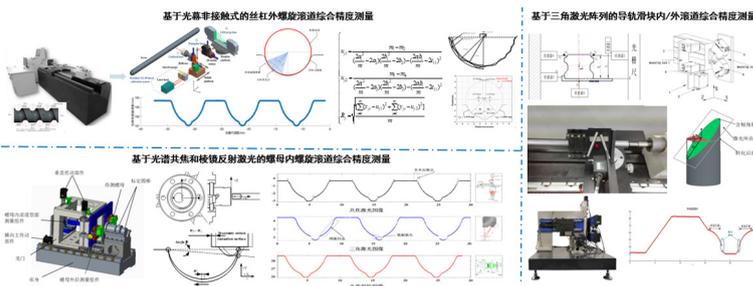
版权所有，未经本刊书面许可，不得转载。

本刊已许可中国学术期刊（光盘版）电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

内容导读

15 2021年中国机床工具行业要闻回顾

22 滚动功能部件成套评测方法与装备及性能提升关键技术



28 齿轮精密制造关键工艺、机床及数控系统



32 《“十四五”智能制造发展规划》政策解读



36 2022年机床工具行业走势研判

43 制造技术发展趋势及CCMT2022展会看点



WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

Competent Authority: China Machinery Industry Federation

Sponsor: China Machine Tool & Tool Builders' Association

Add: 16/F., Tianlian Mansion,
102 Lianhuachi East Road,
Xicheng District, Beijing,
100055 P.R. China

Tel: (010) 63345259

E-mail: wmem@cmtba.org.cn

Publisher: CMTBA
Modular Machine Tool & Automatic
Manufacturing Technique

President of E-C: MAO Yu-feng

Vice President of E-C: WANG Li-ming

GUO Chang-cheng WANG Xu

Committeemen:

YU Cheng-ting, WU Bai-lin, ZHANG Zhi-gang,
LI Zhong-bo, HE Min-jia, ZHANG Shi-shun, YU Fei,
YAN Jian-bo, HUANG Zheng-hua, LIU De-yong,
CHEN Yan, ZHANG Bo, LENG Zhi-bin, CHEN Hu,
WANG Ai-qing, WANG Huan-wei, LU Hua, WU Qiang,
TANG Yi, ZHEN Ji-hong, DU Zhuo-yu, WANG Ben-shan,
ZHAO Yan-jun, WANG She-quan, JIANG Hua,
SHANG Hong-mo, AN Feng-shou, DENG Jia-ke,
MU Dong-hui, YU Jian-hua

Specially invited Committeemen:

WU Jun-yong, ZOU Chun-shen, LIU Chun-shi,
FANG Xiao-yan, ZHOU Hui, HU Chun-mei,
CHEN Rui-lei, LI Sheng, WANG Yu, LU Zhi-liang,
LIU Qing-le, ZHA Gua-bin, CHEN Peng, CUI Rui-qi,
BIAN Hai-yan, WANG Xing-lin, HE Pei-liu,
ZHANG Xin-long, XIAO Ming, YE Yong-sheng,
WU Pin, CHEN Yuan-dong, SUN Zhao-da, LI Hong-ji,
WANG Li-na, CHEN Chang-jiang

Chief-Editor: Li Huaxiang

Executive Editor: Mei Feng

ISSN 1015-4809

CN 11-5137/TH

Post Distribution Code: 80-121

Advertising agency:

WORLDWIDE SERVICES CO.,LTD

Add: 11F-B, No.540, Sec.1, Wen Hsin Rd., Taichung, Taiwan

Tel: +886 4 23251784

Fax: +886 4 23252967

E-mail: Jessie@acw.com.tw

Contact: Jessie



WMEM官方网站

目录 CONTENTS

2022年第1期 (总第178期)

- 39 2021年机床工具行业经济运行情况 机床协会
Economic operation of the machine tool industry in 2021

展会报道 Exhibition Report

- 43 制造技术发展趋势及CCMT2022展会看点 机床协会
Manufacturing technology development trend and highlights of CCMT2022

研发与应用 Research & Application

- 61 链片智能生产线的研发与应用 艾绍阳
Research and application of intelligent production lines for manufacturing chains
- 63 轻型动梁龙门加工中心的研发与特点 赵旭靖
Research and characteristics of light dynamic beam gantry machining center
- 67 光学元件超精密加工成套装备的研发与应用 林鸿榕等
Research and application of complete sets of equipment for ultra-precision machining of optical components
- 72 钻切铣复合机床的技术应用 康彬等
Technical application of drilling, cutting and milling composite machine tools

产品与技术 Products & Technology

- 76 数控机床定位精度校准的全新理念和工具 周汉辉
A new concept and tool for positioning accuracy calibration of CNC machine tools
- 79 Fanuc数控系统使用性能的提升手段 蔺丽莉
Means to improve the performance of Fanuc CNC system
- 82 精密铝合金结构件的无人化制造技术 张幼龙等
Unmanned manufacturing technology for precision aluminum alloy structural parts
- 87 PBC130s精密数控卧式镗铣床的研制 郭鑫
Development of PBC130s Precision CNC Horizontal Boring and Milling Machine
- 91 MG28250数控立磨B轴转塔精度修复与调试 伏宇璐等
Precision repair and debugging of B-axis turret in MG28250 CNC vertical grinding machine

营销案例 Marketing Case

- 94 新产品上市 助跑营销工作室
—— 一个幸福而又充满挑战的时刻, 接下来你该怎么做?
Marketing strategies after the launch of new products

企业风采 Enterprise Style

- 96 普什宁江: 持续深耕, 创新奋进 宁江机床
Report from Pushi ningjiang Machine Tool Co., Ltd.
- 98 Fastems携手苏州新鸿基实现高度自动化生产 芬发自动化
Fastems joins hands with user enterprises to achieve highly automated production

消息 (100)



保持战略定力 奋发有为开创改革发展新格局

中国机床工具工业协会当值理事长
北京北一机床有限责任公司党委书记、总经理 李忠波



值此新春之际,我谨代表中国机床工具工业协会和北一机床向广大会员、行业企业全体人员致以诚挚的问候!向关心、支持、帮助中国机床工具行业发展的各级领导、社会各界人士表示衷心的感谢!

回首2021,面对复杂多变的国际环境、日益激烈的全球化竞争,中国机床工具行业克服新冠肺炎疫情反复、原材料价格上涨等重重困难,依然保持了较快增长,取得了令人欣喜的成绩。

2021年,是中国共产党成立100周年,是实现行业“十四五”规划的开局之年,中国机床工具行业认真贯彻

党中央的决策部署,胸怀“国之大者”、践行“两个维护”,坚持稳中求进的总基调,坚定不移地推进高质量发展进程。机床工具行业坚持专注创新驱动,转型升级步伐加快;产业结构持续优化,内生动力成效显著;产品品质不断提升,品牌影响力不断扩大。

2021年,北京北一机床有限责任公司通过深化改革、强化管理,市场竞争能力显著增强,产品规格及性能进一步突破。通过技术创新,持续满足市场新的需求,解决了一些关键加工领域的核心技术。

展望2022,制造行业以高质量发展为大前提,进入了一个新的时代,核心是为解决客户问题、解决社会问题做出更大贡献。

2022年,党的二十大即将召开,在政策方面会继续推动经济增长,这将拉动机床工具行业发展。国内的关键制造领域将会加大与国内机床行业的合作,促进国产机床设备的高端应用,拉动国产数控系统和国产功能部件的发展,这将为国内的机床工具行业发展创造前所未有的机遇。

2022年,新冠疫情的持续会给全球经济带来进一步的影响,全球供应链短缺问题会继续加大。中央经济工作会议也指出,中国经济发展面临需求收缩、供给冲击、预期转弱的三重压力。面对多重压力与挑战,中国机床工具工业协会将坚持“维护全行业共同利益、服务行业发展”的宗旨,更好地发挥桥梁和纽带作用,为行业的可持续发展做好支撑和服务,为推动中国制造业发展做出新的贡献!

祝愿全体会员企业事业蓬勃发展!

祝愿伟大的祖国繁荣昌盛!

夯实基础，协同创新，推进行业高质量发展

中国机床工具工业协会

百年变局，世纪疫情；建党百年，开启新征程。

挥别紧张繁忙、积极进取的2021年，在我国经济发展面临需求收缩、供给冲击、预期转弱三重压力的形势下，我们机床工具行业走进了继续奋进的2022年。

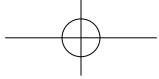
随着疫情在全球范围内不断地反复和扩散，世界各主要经济体和地区基于自身情况，在应对疫情时采取的不同策略、做法，以及现实的效果，都对全球政治、经济和产业发展造成更加不确定性的影响，世界经济前景、贸易关系和产业链供应链稳定都面临前所未有的挑战与调整。世界银行日前发布的最新一期《全球经济展望》报告中指出，“2021年全球经济预计将增长5.6%，但全球复苏依然不均衡，各国需要加强政策协调；由于疫情在中国得到很好控制，经济复苏已从公共投资扩大到消费领域，预计明后两年中国经济将继续保持增长和弹性；2021年东亚和太平洋地区的复苏将最为强劲，这主要得益于中国的强劲增

长。预计2021年中国对全球经济增长的贡献将超过1/4。”

2021年是中国共产党建党100周年，也是中国现代化建设进程中具有特殊重要性的一年，我国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要正式发布。如何面向新形势、构建新格局、承担新使命，夯实基础、协同创新，切实推进行业高质量发展，是中国机床工具工业协会（以下简称“协会”）的首要关注和中心工作。

聚焦制造业是大国博弈的一个重要方面，这将对产业链供应链创新链格局重塑产生重大影响。2021年，协会经过充分准备和精化细化，在积极响应国家发展战略和汇聚行业智慧的基础上，完成了《机床工具行业“十四五”发展规划纲要》，并向全行业发布，得到各方积极响应。行业“十四五”规划立足于新形势、新任务，积极响应国家和产业战略发展需要，参考与对标国际发展趋势，按照目标导向和问题导向的原则，从行业发展顶层设计





的角度，提出一揽子促进机床工具行业高质量发展的战略性目标、任务和政策建议，真抓实干、协同创新，夯实行业高质量发展的基础，共同推动机床工具行业产业基础高级化和产业链现代化目标的实现。在政府有关部门的大力支持下，在行业同仁的共同努力下，围绕行业“十四五”发展规划纲要的落实工作正在稳步实施。协会在2022年将加强组织协调，推动相关重要任务及时启动和稳步开展。

2021年，市场需求超预期，行业企业生产任务繁重，经营运行状况持续改善。在需求结构变化和水平升级的情况下，立足实现制造强国目标，全行业也必须认识到，行业仍存在结构不合理、创新能力与体系薄弱和产业链供应链短板凸显等问题。2021年三季度以来，出现的拉闸限电和工业原材料大幅度涨价等问题，对机床产业运行与市场需求都产生了明显的影响，考虑基数效应，全年行业营业收入增速呈现了前高后低特点，预计行业全年主要经济指标好于预期。

为实现全行业高质量发展，解决产业结构问题，2022年协会将重点从加强人才培养、完善创新体系、深度融合信息技术（行业IIoT）、产品品质升级、加强产业发展研究、搭建交流服务平台等六个方面入手开展工作，为支撑政府部门、行业企业和重点用户领域提供服务。

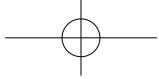
中国共产党第二十次全国代表大会将于2022年下半年在北京召开。党的二十大是我们党进入全面建设社会主义现代化国家、向第二个百年奋斗目标进军新征程的重要时刻召开的一次十分重要的代表大会，是党和国家政治生活

中的一件大事。全国各行各业都在党中央的领导下，力争以优异成绩迎接党的二十大召开。面向机床工具行业的高质量发展，全行业也要抓住历史发展机遇，积极对接重点领域用户需求，抓紧解决自身短板弱项，以积极进取的精神面貌和真抓实干的务实作风，做强实业、做好企业、做大行业，成为支撑国家战略发展的可靠基石。

第十二届中国数控机床展览会（CCMT2022）将于2022年4月11-15日在上海举办。CCMT2020展会因突发疫情而被迫停办，所以CCMT2022展会的再度举办就显得尤为难得和珍贵，目前部分区域疫情反复，给展会举办带来不确定性，但目前我们仍以积极扎实务实的工作要求准备前期各项工作。CCMT2022展会继续沿用“聚焦——数字·互联·智造”的主题，积极响应并落实装备数字化工程行动方案。截至目前，已有来自境内外23个国家和地区的1300余家展商确认参展，展会总面积将达12万平方米。

新的一年，中国机床工具工业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，在新年到来之际，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. “十四五”规划纲要提出推动高端数控机床产业创新发展

2021年3月,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》正式发布。《纲要》提出要大力推动制造业优化升级,推动集成电路、航空航天、船舶与海洋工程装备、机器人、先进轨道交通装备、先进电力装备、工程机械、高端数控机床、医药及医疗设备等产业创新发展。8月,国资委党委召开扩大会议,强调针对工业母机、高端芯片、新材料、新能源汽车等加强关键核心技术攻关,工业母机被放在首要位置,引发资本市场关注及业界热议。

2. 2021年行业整体延续恢复性增长态势

2021年行业延续了2020年下半年以来恢复性增长态势,市场需求持续改善,进出口大幅增长,机床工具行业运行保持稳定恢复态势。1-10月行业运行呈现以下特征:整个行业继续保持稳定恢复和增长,盈利状况得以改善;机床工具产品进出口呈持续增长态势,贸易顺差不断扩大;金属加工机床订单情况可喜,金属成形机床恢复和增长有望加快;上市公司增长较快,但多数企业盈利能力仍然较弱。同时,行业运行不利因素有所增加,疫情多次大范围反复,自然灾害频发,工业原材料价格上涨,国际物流受限,出口成本上涨等,给机床工具行业的运行带来较大冲击。

3. 资本市场对机床工具行业关注度有所上升

国家对制造业尤其是装备制造业高度重视,随着相关政策逐步落实和资本市场改革,机床工具行业对资本的吸引力正在增强。2021年,中国机床工具工业协会有3家会员企业成功上市:5月,三河同飞制冷股份有限公司在深

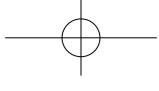
交所创业板上市;7月,科德数控股份有限公司在上交所科创板上市;9月,纽威数控装备(苏州)股份有限公司在上交所科创板上市。此外,3月,机床制造企业北京博鲁斯潘精密机床有限公司完成数亿人民币战略融资。11月,国家制造业基金拟增资3亿元,认购日发精机全资子公司日发机床24.52%的股权。等等。

4. 第十七届中国国际机床展览会(CIMT2021)成功举办

第十七届中国国际机床展览会(CIMT2021)于4月12-17日在北京成功举办。作为后疫情时期率先正常举办的国际知名机床展会,CIMT2021受到了全球业界及用户领域的关注,展会火爆程度超出预期,专业观众质量保持提升,现场成交活跃。本届CIMT展出总面积达13.5万平方米,共有来自27个国家和地区的1503家机床工具制造商参展。展会新品荟萃,数字化应用工具更加普及,智能制造技术持续升级,充分显示出未来数控机床产业的发展方向。在全球疫情尚未结束的特殊历史时期,CIMT2021如期成功举办,具体特殊重要的历史意义。

5. 协会持续推进行业标准化建设工作

2021年,中国机床工具工业协会批准发布了第三批协会团体标准,涉及铣床分会、特种加工机床分会和重型机床分会申报的《立式加工中心产品质量评价规范 第1部分:设计与工艺关键过程控制及评定》等七项团体标准。2021年10月,由于受到疫情影响,中国机床工具工业协会牵头制定的NC-Link(数控装备工业互联互通协议)采用远程连接的方式参加了EMO MILANO 2021(米兰)欧洲国际机床展览会,与德国机床制造商协会进行了第三次联合展



示，实时演示了NC-Link和umati协议的交互通讯效果。

6. 多家行业企业相关项目获“2020年度国家科学技术奖”和“2021年度中国机械工业科学技术奖”

2021年，海天精工、北京机床所、华中数控、广州数控、沈阳高精等行业企业参与的项目获得“2020年度国家科学技术奖”相关奖项。其中，“高性能龙门加工中心整机设计与制造工艺关键技术应用”获得2020年度国家技术发明奖二等奖；“面向复杂数控装备的监测评估关键技术及标准体系”和“五轴联动数控机床S形试件检测方法及其加工精度提升技术”获得2020年度国家科学技术进步二等奖。由机床工具专业评审组评审推荐，北京工研精机、沈阳机床、烟台环球、长春禹衡、科德数控、华中数控、北京市电加工所等行业企业参与的14个项目获得“2021年度中国机械工业科学技术奖”。其中，“多维超声精密加工系统设计理论与方法”获得技术发明奖一等奖；“数控机床及其关键功能部件可靠性技术与试验装备”和“航天复杂构件五轴高质高效精密加工成套工艺与制造系统及应用”获得科技进步奖一等奖。

7. 多家行业企业上榜第三批专精特新“小巨人”企业

专精特新“小巨人”企业正在成为机床工具行业的一支生力军。2021年下半年，工信部发布第三批专精特新“小巨人”企业名单。北京市电加工研究所、四川普什宁江机床有限公司、宜昌长机科技有限责任公司、湖南中大创远数控装备有限公司、齐重数控装备股份有限公司、广东凯特精密机械有限公司、山东沂水机床厂有限公司、中山迈雷特数控技术有限公司等数十家机床工具企业入选。2021年以来，多场重要会议提及专精特新中小企业发展战略，多个部门表示支持专精特新中小企业高质量发展。政策助力下，专精特新“小巨人”企业将进一步聚焦实业、做精主业。

8. 通用技术集团深度布局数控机床产业

2021年6月，中国通用技术（集团）控股有限责任公司（简称“通用技术集团”）与天津市国资委共同出资100亿元，在天津成立其二级机床企业——通用技术集团机床有限公司，将聚焦高档精密数控机床、关键功能部件及工业互联网服务等领域。3月，通用技术集团牵头发起成立“数控机床产业技术创新战略联盟”，旨在整合数控机床技术创新链上下游资源，形成数控机床产业链集群。

9. 机床工具行业部分企业实现股权变动和战略重组

12月1日，由山东省财政厅全资控股的山东省财欣资产运营有限公司凭借10%股份（对应认缴出资额3267.78万元），成为济南二机床第二大股东，济南市国资委的持股比例由100%降至90%。9月，天水星火机床有限责任公司战略重组青海青重机床制造有限责任公司，收购其100%股权，青海青重全部人员、设备、技术搬迁至星火机床产业园。10月，创世纪发布公告，拟以发行股份方式购买港荣集团、国家制造业基金和荣耀创投持有的深圳创世纪19.13%的少数股东股权，提升子公司持股比例。2021年12月，汉川数控机床股份公司全部实物资产、无形资产完成拍卖，正康旅智（汉中）公司以4.8亿元的底价中标，后者是万向三农集团100%控股公司。

10. 外资企业持续布局中国市场

12月10日，DMG MORI（德马吉森精机）集团在浙江嘉兴平湖为其新工厂——DMG MORI制造技术（平湖）有限公司举行了奠基仪式。该新工厂投资7500万欧元，规划建筑面积35000m²，计划于2023年春季开业，将主要生产5轴加工中心，可提供加工技术解决方案和技术服务。此前的2月，牧野汽车装备（武汉）有限公司首台国产机床设备下线，标志着牧野汽车装备智能研发制造基地项目正式进入运营阶段。据3月日本媒体报道，日本发那科计划投资约15.6亿元在上海扩建工厂，这将是该公司在中国的最大单笔投资，扩建之后的工厂面积将达到原来的5倍。9月，斗山机床（中国）有限公司烟台工厂举行了七期厂房竣工仪式，将使其年生产能力增加1200余台。等等。

11. 北京精雕等企业冲破疫情阻隔积极开拓海外市场

在疫情形势依然严峻、各国管控措施非常严格的情况下，北京精雕科技集团有限公司克服困难，成功参展了于10月在意大利米兰举办的EMO MILANO 2021展会，以进一步开拓欧洲市场、拓宽国际化空间。展出了两台复合型精雕五轴高速加工中心JDGRT150、JDGRT300和在五轴精密加工领域的多项应用实例，受到了欧洲客户和代理商的诸多赞誉和认同，为进一步开拓欧洲市场奠定了基础。此前的4月，厦门金鹭、欧科亿通过委派当地代理商的方式参加了第21届俄罗斯国际机床展览会。□

中国机床工具工业协会召开第九次会员代表大会 大会选举产生第九届理事会

中国机床工具工业协会传媒部 梅峰



2022年1月6日，中国机床工具工业协会在北京召开了第九次会员代表大会，本次会议经国资委、民政部和中国机械工业联合会的批复和同意召开，并在充分保障会员依法行使民主选举权利的基础上，依据《社会团体登记管理条例》和协会《章程》选举产生了中国机床工具工业协会第九届理事会、第二届监事会。

因新冠疫情影响，本次会议采取线下+线上形式召开，设立北京会场召开线下会议，北京地区以外的会员代表通过会议系统线上参加视频直播会议。

工业和信息化部装备工业一司王卫明司长，国家发展改革委产业发展司霍福鹏副司长，中国机械工业联合会党委副书记、执行副会长薛一平，中国和平利用军工技术协会宋宝丽理事长等相关领导，国务院发展研究中心产业经济研究部副部长许召元研究员、北京工业大学范晋伟教授等专家受邀出席大会。

王卫明司长在讲话中从当前形势、国家要求角度，介绍了机床行业发展面临的机遇和挑战，肯定了机床工具行业近年来取得的成绩，并对工业母机发展指明了方向、提

出了更高的要求，对机床协会的工作任务提出明确目标，并结合近年工作同参会代表交流了“工业母机的战略地位和发展形势、04专项实施成效和产业化及推动机床工具行业高质量发展”等三个方面的认识。

霍福鹏副司长介绍了国家发展改革委推动机床装备产业高质量发展的有关工作，并提出三点希望：一是希望行业提振发展信心，把握发展机遇，为工业经济平稳运行提供保障；二是希望协会继续发挥桥梁纽带作用，为行业高质量发展提供有力支撑；三是希望行业重点企业加强技术创新，加快高质量发展。

薛一平副会长在讲话中对中国机床工具工业协会的行业服务工作给予了肯定，并对下一阶段行业重点工作提出了目标、方向和要求。中国机械工业联合会人事委员会部马静处长宣读“关于同意中国机床工具工业协会换届方案的批复”。

中国机床工具工业协会毛予锋常务副理事长代表第八届理事会作“理事会工作报告”，从12个方面总结了过去四年的主要工作，指出了存在的问题与差距，并提出了下一阶段协会的发展方向。王旭理事长代表第八届监事会作“监事会工作报告”。王黎明秘书长代表第八届理事会作“会费收支报告”。第八届理事会执行副理事长郭长城作协会章程修改的说明，会费标准及交纳办法修改的说明，协会换届选举办法和计、监票人推荐名单的说明。

本次大会采取网络投票方式。本次大会应到代表760名，实到代表608名，超过应到代表总数的三分之二，出席会议人数符合协会章程规定。

会上，全体参会代表对第八届理事会工作报告、监事会工作报告、会

费收支报告、换届选举办法和计监票人名单进行表决并正式通过。

大会选举全部采用线上投票方式，除轮值理事长实行差额选举外其余均实行等额选举。根据计票结果，大会选举产生第九届理事会理事251名、第二届监事会监事7名，理事会选举产生常务理事51名、特邀常务理事32名，轮值理事长5名，副理事长16名，常设机构常务副理事长兼秘书长（专职）1名、执行副理事长（专职）3名。（详见文后名单）

新当选的第九届理事会轮值理事长李忠波代表轮值理事长和理事会发言表示，协会作为行业组织应不断提高为行业和会员企业服务的能力和水平，行业企业和会员的需求就是协会的服务方向和重点。在政府有关部门制定产业政策的过程中，协会要积极参与，代表行业发出声音，为会员企业争取利益。同时协会要进一步加强自身建设，以建设现代社会组织为目标，充分发挥桥梁和纽带作用，推进行业转型升级和高质量发展。

会上，李忠波理事长对以下两项工作议案进行了说明：提议由专职常务副理事长毛予锋担任中国机床工具工业协会法定代表人；提议聘请于成廷、吴柏林、张志刚为第九届理事会名誉理事长。两项议案提交理事会，并获表决通过。

第九届理事会常务副理事长兼秘书长毛予锋就以下两项议案进行了说明：提名穆东辉同志担任协会副秘书长；提出试行新闻发言人制度。两项议案提交理事会，并获表决通过。

大会内容丰富，同期安排了产业经济形势专题报告和技术专题报告等。许召元研究员从“十四五”及中长期我国宏观经济态势、后工业化时代的“共同富裕之路”、新阶段我国产业发展的国际环境、把握有利环境促进机床产业高质量发展四个方面介绍了“十四五”期间我国宏观经济和产业发展态势；北京工业大学范晋伟教授作专题技术报告，围绕数控机床精度提升关键技术主题，与大家分享最新的研究成果。

最后，王黎明执行副理事长汇报将于4月11~15日在上海举办的CCMT2022（第十二届中国数控机床展览会）的筹备情况，大会各项议程圆满完成。□



毛予锋



王黎明



郭长城



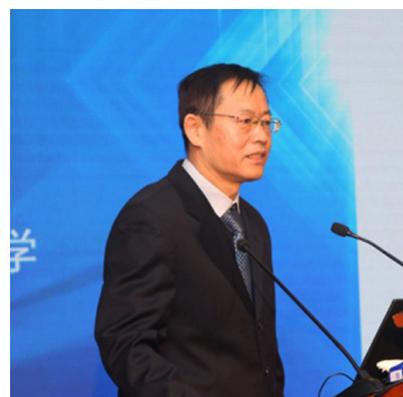
王旭



第九届理事会轮值理事长 李忠波



许召元研究员



范晋伟教授

中国机床工具工业协会第九届理事会负责人

轮值理事长：

北京北一机床有限责任公司总经理 李忠波
 广州数控设备有限公司董事长 何敏佳
 济南二机床集团有限公司董事长 张世顺
 北京精雕科技集团有限公司董事长 蔚飞
 秦川机床工具集团股份公司董事长 严鉴铂

常设机构领导班子成员：

中国机床工具工业协会 毛子锋 常务副理事长兼秘书长
 中国机床工具工业协会 王黎明 执行副理事长
 中国机床工具工业协会 郭长城 执行副理事长
 中国机床工具工业协会 王旭 执行副理事长

副理事长：

北京机床研究所有限公司董事长 黄正华

重庆机床（集团）有限责任公司董事长 刘德永
 大族激光科技产业集团股份有限公司副总裁 陈焱
 济南铸锻所检验检测科技有限公司董事长 张波
 江苏亚威机床股份有限公司董事长 冷志斌
 科德数控股份有限公司总经理 陈虎
 南京工艺装备制造有限公司董事长 汪爱清
 宁波海天精工股份有限公司总经理 王焕卫
 上海机床厂有限公司总经理 芦华
 苏州电加工机床研究所有限公司董事长 吴强
 通用技术集团机床有限公司董事长 唐毅
 武汉华中数控股份有限公司董事长 陈吉红
 武汉重型机床集团有限公司董事长 杜琢玉
 浙江日发精密机械股份有限公司总经理 王本善
 郑州磨料磨具磨削研究所有限公司董事长 赵延军
 株洲钻石切削刀具股份有限公司总经理 王社权

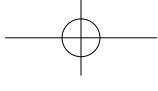
中国机床工具工业协会第二届监事会负责人

监事长：

四川普什宁江机床有限公司总经理 姜华

副监事长：

成都工具研究所有限公司董事长 商宏谟
 沈阳机床（集团）有限责任公司董事长 安丰收
 武汉华工激光工程有限责任公司总经理 邓家科



产学研合作正在路上

——访北京工业大学机电学院范晋伟教授

中国机床工具工业协会传媒部 李华翔 黄韶娟

知识经济的到来,为我国实现历史性跨越提供了难得的机遇,而要实现这种跨越,需要强化校企合作,大力推进产学研合作。产学研合作作为高等学校在知识经济时代谋求大发展提供了新的契机,具有鲜明的时代特征。

多年来,随着经济发展与科技进步,作为行之有效的创新模式,产学研合作在我国也逐渐发展起来。实践证明,产学研是发展高科技,实现产业化的重要举措,也是培养科技人才、使教育与科技产业结合的最佳渠道。对此,来自北京工业大学机电学院的范晋伟教授有着切身的体会。

精密加工科研领域的默默前行者

范教授从事一线科研和教学工作近三十载,主要集中在数控机床精密加工等领域,研究方向包括:数控机床误差建模、分析与补偿,数控机床精度设计理论与方法,数控机床可靠性建模、评估与优化分配,数控系统、伺服控制及网络化应用技术等。

长期的坚守,持续的钻研,丰硕的研究成果为范教授赢得了荣誉:1996年“数控机床关键技术”获得国家教委科技进步三等奖;2016年“曲轴柔性精密高效磨削加工关键技术与成套装备”获得中国机械工业科技进步特等奖一项。这些荣誉的背后浸透着辛勤的汗水,其科研实力也被越来越多的行业企业所认可。他先后参与多个04重大专项、国家自然科学基金、科技重点研发计划项目,与北京第二机床厂、北京一机床、齐二机床厂、北京机床研究所、上海机床厂、四川金鸿、无锡机床厂、宁江机床厂、上海光机所、长春光机所、大族激光、大连科德、普什宁江、北京精雕、航天科工31所、41所等公司院所开展了广泛合作与成果推广应用。



在今年1月6日召开的中国机床工具工业协会第九次代表大会上,作为嘉宾,范教授做了题为“数控机床精度提升关键技术”专题报告,介绍了他在数控机床精度提升方面的最新研究成果,引起了与会者的广泛关注。

产学研合作进程的积极推动者

产学研合作涉及企业、高等院校、科研院所、政府和中介机构等主体,是一个以创新为核心的整体活动系统。国内外的实践表明,产学研结合成功运作需要经济体制、企业体制、科技体制和教育体制的配套改革来适应。从教育体制改革看,必须推进驾驭创新,优化教育结构、改革教育模式,提高教育质量,形成同经济社会发展相适应的教育体制。

过去很长一段时间,国内高等教育相对滞后于企业的发展需要,与先进工业国家相比,在教学手段、培养方式、教材设置、师资配备等多方面都存在着系统性的差

距，迫切需要改革来加以改变。

2011年4月，北京工业大学首批入选教育部“专业学位研究教育综合试点”，为其实施开展教育改革奠定了基础，从此拉开了学校探索工程教育改革模式的大幕。

范教授主导了北京工业大学机电学院产学研基地建设的全过程。机电学院通过教育理念上的观念转变，建立了一套全新的专业硕士培养体系。具体做法主要包括：建立了2+1学制框架；制定出模块化课程体系，培养学生全面掌握机械工程问题所需的系统知识；与北京北一机床股份有限公司构建机械工程协同创新产学研联合培养基地；构建校内基地，解决基础认识、工程实践衔接，弥补企业难以开展的实验能力训练。校企双方共建组织管理机构，共同承担科研项目，以合作课题为牵引，开展研究生培养工作；实行双导师制度，企业深入参与人才培养的全过程；共同制定人才培养计划，共同评价人才培养质量。



产学研基地共建工作最终取得了良好的成效，荣获第一届“全国示范性工程专业学位研究生联合培养基地”荣誉称号，研究生工程能力得到显著提升，受到了用人单位的广泛认可。这种教育模式改革也产生了广泛影响，范教授曾代表学校在多个重要会议上介绍了有关的经验，中国工业报、科技日报、教育报、人民日报文教周刊等多家媒体也做了相关报道。

行业团体标准的重要参与者

多年来，范教授除了做好自己的科研和教学工作，还经常受邀参与一些机床行业相关领域国家科研项目的专家评审工作，其科学严谨、求真务实的评审态度，赢得了评审组织单位的广泛认可。

一项好的科研成果最终能否转化为生产力，建立一套健全的科技评价体系至关重要。长期以来，由于受体制问题等因素的影响，科技成果的价值大多单纯以获得国家经费多少、发表论文数量、参与人学术地位高低、所获

的奖励和数量来确定。这种评价体系仅体现科研成果的技术价值，而忽略了市场价值，结果导致科研不是面向市场需求，仅是单纯追求学术价值，从而造成研究与生产实际脱节。这些问题都亟待改变。

2018年9月，中国机械工程学会开展了短板装备的梳理和论证工作，提出了制定《制造成熟度标准规范》的工作计划。范教授作为主要负责人，牵头编制了《机床装备制造成熟度评价规范》团体标准。

该标准面向机床装备产业化进程中从技术萌芽到产业化的整个孕育周期，提炼出3个阶段、9个等级和50个关键要素；涵盖了一套机床装备制造成熟度等级的划分原则、评价标准、判定量表、计算方法和定级规则，在科学技术成果向产业化转移之间，搭建起一座贯通的桥梁。

标准采用了一套技术、性能、经济、风险等指标，能够为主机厂在机床产品研发过程中，提供监控、评价、管理、指导以及规避开发风险的手段；为政府相关部门在项目筛选、招标、进度检查、验收等过程中的评估提供依据；为机床用户单位在装备采购过程中，评估装备制造商的制造能力提供依据；为提高用户采购产品安全性和成功率、避免和减少风险提供保障。

此外，范教授还组织参与了“立式加工中心质量评价规范”等重要行业标准的制定和推广工作，同样取得了良好的效果。

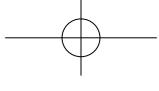
感悟与展望

当前，受全球化市场竞争的加剧，地缘政治的不利影响，以及市场需求的快速升级，机床制造行业面临着越来越大的市场竞争压力，迫切需要相关创新科研成果和技术人才来支撑其后续发展。

“一个好的科研成果的诞生，是个长期积累的过程，至少需要5到10年的刻苦钻研。”范教授感言道：科研人员一定要耐得住寂寞，社会各界也要为此营造良好的环境，这样的科研人员多了，创新技术成果多了，一个国家才能真正有力量。

今天，以企业为主体，以科技为支撑，以高校科技成果转移为纽带形成紧密的产学研联合，共同推动经济、教育、科技快速发展。这是已被实践所证明的成功经验，也是世界经济发达国家普遍推行的组合形式。如今的高校必须是面向国际、国内大市场，主动加入经济建设的主战场的产学研结合型的高校。

未来，我们也希望能有更多像北工大一样的高校不断地涌现出来，在产学研合作中勇担技术创新的主体责任，积极助力我国制造业的高质量发展。□



滚动功能部件成套测评方法与装备 及性能提升关键技术

南京理工大学 欧屹

作为高端装备“工作母机”，数控机床是国家装备制造业最重要的基础装备，其性能和拥有量是衡量国家综合国力的重要标志。以滚珠丝杠副和滚动直线导轨副为代表的滚动功能部件是保障数控机床制造精度、系统刚性和加工精度保持性的最核心部件，也是军民两用高端装备的关键基础部件：航空大飞机副襟翼作动器、航天火箭发动机喷嘴控制用驱动器、空间站对接用操纵器、核动力堆控制棒驱动机构、导弹尾翼调整作动器、火炮随动转台驱动机构等均应用丝杠副；大型桥梁新一代阻尼器、高铁车辆悬架系统、新能源汽车转向制动系统等也开始大量应用丝杠副和导轨副。据统计，滚动功能部件在高端装备行业的国内市场需求达200亿元/年。但由于在精度保持性、功能可靠性、寿命、精度、刚度等关键性能指标上落后于境外产品，境内产品市场占有率低，已成为以数控机床为代表的装备制造业走向高端发展的瓶颈。

一、行业存在的难题

滚动功能部件关键性能提升是解决国产滚动功能部件大批量配套应用国防军工、打破高端装备进口受制于人的关键所在。这是一个包括“设计-制造-检测”的闭环体系，需要研发滚动功能部件关键性能指标的测评关键技术与成套装备，健全行业测试评价体系，攻克设计、加工、装配等多环节的性能提升核心技术，提升产品服役性能。上述问题长期面临着三方面技术难题：

1. 可靠性能提升：面向复杂工况的可靠性测评方法和装备缺失

滚动功能部件应用工况复杂多变：在数控机床等高端制造装备的服役过程中所受载荷和速度变化大，工作周期

长，磨损后以精度失效为主；在桥梁、航天、兵器领域的服役过程中面临高承载和强振动冲击的复杂工况，要求具备极高的功能可靠性；在航空、核电、高铁、汽车等领域的服役过程多伴随极限负载、宽温变、腐蚀等特殊环境，对使用寿命提出了极高的要求。04专项实施前，国内外丝杠副和导轨副产品的可靠性指标差距明显，可靠性测评与提升技术研究十分薄弱，可模拟复杂实际工况的可靠性试验装备严重缺乏，可靠性试验周期长。

2. 核心精度指标提升：内外滚道型面质量控制能力是根本要素

实现高精度、高性能滚动功能部件产品的批量稳定生产，境外先进企业依靠的是稳定高品质滚道型面的设计、加工、检测能力。丝杠滚道型面的高精测量和高效稳定加工是提升丝杠批量加工精度亟需攻克的两大行业技术难题。

3. 刚度性能提升：满足高档数控机床高速动态工况条件进给系统需求

刚度和额定静载荷是反映丝杠导轨副承载能力的关键性能指标。04专项实施前，针对丝杠副的刚度和导轨副的刚度一直缺乏有效的检测方法和装备，是亟需攻克的技术难题。综合刚度测不准、测不全、效率低的现状严重阻碍了国内高刚性产品的设计研发，高刚性设计也只能停留在理论层面。

二、滚动功能部件性能指标与标准体系

1. 性能指标体系

针对滚珠丝杠副及滚动直线导轨副产品的性能指标主要包括：精度指标、运动性能指标、传动特性指标、承载

性能指标，以及上述性能在一定负载条件下随里程增加而退化的情况，也就是通常的寿命及可靠性。

其中：精度特性包括滚珠丝杠副的行程误差、行程变动量、静态尺寸精度、返向间隙，滚动直线导轨副的行走平行度、滑块偏摆/俯仰/扭转、基准面直线度、滑块组合尺寸一致性；运动性能指标包括丝杠导轨副不同运动条件下（速度、加速度、安装润滑）的温升、噪声、振动特性，以及在极限条件下滚珠丝杠副的DN值、滚动直线导轨副的运动速度；传动特性指标包括滚珠丝杠副预紧转矩、预紧转矩变动量、正反传动效率，滚动直线导轨副预紧拖动力，预紧托动力变动量以及丝杠导轨副摩擦系数；承载性能指标包括滚珠丝杠副的接触刚度、扭转刚度、丝杠拉压刚度、螺母刚度，滚珠直线导轨副的法向拉压刚度、偏摆刚度、俯仰刚度、倾斜刚度，以及丝杠导轨副的额定静载荷。

上述四大类性能一般是指产品验收或装机后的性能检测，在实际加工过程中，这些性能指标会随着运行里程增加而发生变化，通常采用寿命及可靠性指标评价，滚动功能部件可靠性是指滚动功能部件在满足使用与安装条件下，滚动功能部件发生失效前完成要求的功能和保持要求的精度的能力。滚动功能部件可靠性包括功能可靠性和精度保持性两个部分。滚动功能部件在满足使用与安装条件下，滚动功能部件发生功能故障前完成要求的功能的能力称为滚动功能部件功能可靠性。在3C自动化、航空航天、汽车等以传动为主的行业，主要关心可靠性指标，随着应用要求的提升，温升超标、噪声异常等也归入这类可靠性指标的评价中。滚动功能部件在满足使用与安装条件下，滚动功能部件发生精度失效前保持要求的精度的能力。具体体现出来为：精度特性保持能力、预紧力（矩）衰退特性。上述五类性能指标共同构成了滚动功能部件产品性能指标体系。

滚动功能部件在高档数控机床加工过程中是一个复杂的滚滑复合空间运动、高周接触变形、载荷波动分部的物

理过程，所体现出来的精度、刚性、运动流畅性、正反向运动一致性等高性能指标根本上都是由内外滚道和滚动体的接触保证的，内外滚道的滚道型面质量决定了产品的最终性能。滚道型面的一致性决定了载荷分布的均匀及预紧力的波动，滚道的实际轮廓参数决定了承载能力及刚性，滚道的位置精度决定了滚动功能部件的运动精度，滚道的粗糙度影响了耐磨损程度，滚道的波纹度影响了运动稳定性，滚道的对称性决定了正反向运行的一致性。因此，滚道型面指标，也是滚动功能部件性能测试中不可回避的重要内容，其中，滚道型面参数包括：适应比、接触角、滚道对称性、粗糙度、波纹度、轮廓度等。

2. 标准体系

2012年前，丝杠副和导轨副领域的国际ISO标准中，滚珠丝杠副有5项，滚动直线导轨副分属直线轴承标准；国家及行业标准仅有13项，主要包括丝杠副和导轨副产品的基本术语、参数与安装连接尺寸、额定载荷理论计算、精度验收条件等相关标准，但可靠性、综合性能、刚性、摩擦力（矩）等重要服役性能指标的测试评价标准空白，未能形成标准体系。

经过04专项10年攻关，针对滚珠丝杠副与滚动直线导轨副标准体系不健全，关键服役性能指标的测评标准严重缺失的问题，现已构建了一整套科学规范的丝杠副和导轨副测评标准体系，陆续制定并发布了22项行业标准、修订了4项国家/行业标准。构建了“术语-型谱参数-测试验收(可靠性及额定动载荷、精度及性能、刚性及额定静载荷)-应用维护”的标准体系架构。上延至术语和型谱参数，新制定6项行业标准，下延至产品应用维护并形成行业标准讨论稿2项。形成包含39项的丝杠副和导轨副标准体系，如表1所示。上述标准体系已在行业得到广泛应用，并首次以统一的标准开展行业产品性能测评，解决了标准不统一的行业共性难题。2020年4月已成立滚动功能部件国际标准化工作组（SAC/TC22-IWG6），目标占领国际标准制高点。

表1 标准体系架构表

		术语		型谱参数		可靠性及额定动载荷				精度及性能检测		刚性及额定静载荷		产品应用维护
		基本	扩充	参数与安装连接尺寸	理论计算	试验测试			精度测试	性能测试	理论计算	试验测试	安装调试	
					额定动载荷	功能可靠性	精度保持性	寿命						
滚珠丝杠副	滚珠丝杠副	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	
	高速滚珠丝杠副									1	1			
滚动直线导轨副	滚珠直线导轨副	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
	高速直线导轨副										2			
	滚柱直线导轨副										1			

三、滚动功能部件性能发展趋势

1. 注重高速动态特性，响应高档机床需求

国际领先企业响应机床发展需求，着力开发高动态响应的丝杠副产品，不仅DN值最高达到20万（端返），16万（内循环），线速度最高达到100m/min，而且着重于动态力学特性的提升，例如NSK的过象限稳定技术。THK通过在丝杠副内部增加保持链，减少钢球之间的碰撞，消除钢球进出反向结构产生的噪音及障碍，实现高速静音滚珠丝杠副。对于中径 $\phi 25$ 以下的产品，DN值达到13万，中径 $\phi 32$ 及以上产品，DN值达到16万；NSK优化内循环反向器，使反向器反向通道与螺母滚道接口处光滑相接，消除了国产产品在接口处无法避免的台阶问题，提升了钢球反向时的流畅度。其内循环反向产品的DN值达到了18万，噪音约65dB与端面反向结构产品一致。对机床动态特性的提升，需要滚动功能部件做出重要贡献。

2. 持续关注寿命与可靠性提升

高水平产品可靠性超过20000h，境外先进企业十几年时间内持续注重高可靠性、高寿命技术的研发。近年，通过热处理技术（NSK的TF热处理工艺，AM的表面渗氮）、表面改性技术（NSK表面容油）、优化滚动体提升额定载荷（THK新产品）等方法，提升产品的寿命及可靠性。在大承载丝杠方面，NSK、THK明确提出了液压替代用丝杠产品，专门设计、专用工艺提高其重载产品寿命。高可靠性、高寿命是以后产品高水平竞争的重要赛道。

3. 检测技术与产品深度融合，催生智能滚动功能部件

智能滚动功能部件趋势明显，智能功能部件日渐走入市场。国际先进企业均推出了各自的智能滚动功能部件方案，具体技术分析见后。为智能装备提供智能部件是发展的趋势。NSK通过收购英国Spectris公司（BKV品牌）的状态检测系统（CMS业务），快速推出了独立的振动检测与评价系统，通用于丝杠导轨，用于手持式外接诊断。THK通过外接振动传感器，使用数据租赁的方式，向用户提供导轨健康检测和诊断业务。INNA通过外接传感器，将振动信号与润滑系统建立连接，直接提供优化润滑策略。

四、滚动功能部件性能测试评价方法、成套装备及性能提升关键技术

1. 可靠性测评成套试验方法和装备及研磨改性提升技术

高精度保持性、功能可靠性和长寿命是高端装备的关键服役性能。正常工况下的滚动功能部件精度保持性、寿命和可靠性试验往往需要长达几个月甚至数年时间，整个服役周期中的有效状态数据获取难度极大，小样本下的加速试验评估方法及标准尚未建立。因此，企业难以获得产品的精度保持性、功能可靠性、寿命、额定动/静载荷等实测数据，无法有针对性地定位薄弱环节、攻克可靠性提升的关键工艺瓶颈。

针对数控机床等高端制造装备在服役过程中所承载负荷和速度变化大的工况特点，我们研制了滚珠丝杠副精度保持性试验台、可靠性试验台、寿

命试验台、综合性能试验台、滚动直线导轨副精度保持性试验台、可靠性试验台、寿命试验台、综合性能试验台、导轨副阻尼器可靠性试验台和钳制器可靠性试验台等共计12种可靠性成套测试装备，与国外最新的同类试验装置相比，不仅能够模拟多种复杂工况，并且具备精度与性能的在线监测能力。

针对滚动功能部件可靠性试验时间长、有效信息获取难度大的问题，突破基于全周期分段步加策略的小子样加速试验方法，将工件沿轴线方向分成若干子段，在等效载荷作用下以等效速度依序往复复合，仅通过一次试验即可高效获得全周期不同时间历程下的精度和表面完整性演变数据；制定了基于载荷、速度与疲劳寿命映射模型的“A+A”加速试验方法，引入并制定了滚珠丝杠副和滚动直线导轨副产品的寿命加速系数，试验周期缩短50%以上。

在大量寿命试验数据的基础上，聚焦磨损和疲劳两种主要失效形式，提出了基于型面质量优化的可靠性提升技术，开发了一种适用于多螺距范围的空间三维螺旋滚道表面研磨改性工艺，使丝杠滚道周期行程误差平均降低24.1%，残余压应力平均增加96.8%，助推丝杠副精度保持性从1000h增加至4000h以上，MTBF从4000h增加至10000h以上。

综上，采用“攻克可控加载技术→发明可靠性成套测试装备→提出小子样加速试验方法→实测额定动/静载荷→建立可靠性测评和增长体系→优化丝杠研磨改性工艺及装备”的技术路线，南京理工大学团队解决了滚动功能部件可靠性测评装备和方法严重缺失的难题，促进了丝杠副和导轨副产品可靠性的持续增长与提升。



图1 滚动功能部件可靠性测评成套试验方法和装备

2. 内/外滚道综合精度非接触测量方法和滚道型面质量控制关键技术

内/外滚道型面精度与动态行程误差是影响滚动功能部件传动精度最核心的性能指标。只有深入开展滚道型面质量控制技术研究与能力提升，从设计、制造、测量等多方面控制，才能有针对性地提升国产滚珠丝杠副的性能，提高产品的市场竞争力，满足工业母机的应用需求。

面向工业母机高动态响应需求的滚动功能部件滚道型面设计理论，包括：不同性能需求要求下适应比影响规律及其选取准则，不同精度机床用

滚动功能部件滚道型面偏差及对称性偏差设计方法及规范；高精度内外螺旋滚道成型磨削工艺理论与专用机床融合设计方法，包括：内外螺旋滚道非干涉磨削过程磨削干涉机理及成型过程，螺纹磨削工艺系统动静刚性与滚道型面质量耦合分析研究，螺纹磨削专用设备及工艺系统误差建模与分析，专用磨削设备优化及设计准则；内/外滚道型面精度测量与评价方法，包括：螺旋角从零到无穷的空间滚道型面轴/法向检测通用理论，高速、高精度、智能化滚动功能部件双圆弧型面拟合算法，滚动功能部件波纹度检测方法 with 评价方法，针对高档

数控机床用滚动功能部件滚道型面质量分级标准。

南理工团队使用光幕式位移传感器，发明了基于多误差源解耦补偿的丝杠外螺旋滚道综合精度非接触测量装置（见图2），解决了大规格长尺寸丝杠样件滚道型面难以连续检测的难题；提出了标准钢球标定法，建立了考虑螺旋升角及综合安装误差的外螺旋滚道型面及动态行程误差的多源误差修正模型，提出了针对丝杠滚道轴向型面检测数据的圆弧划分和权重处理方法，以及滚道轴向和法向型面转换算法，将测量精度从10 μm提升至4 μm。

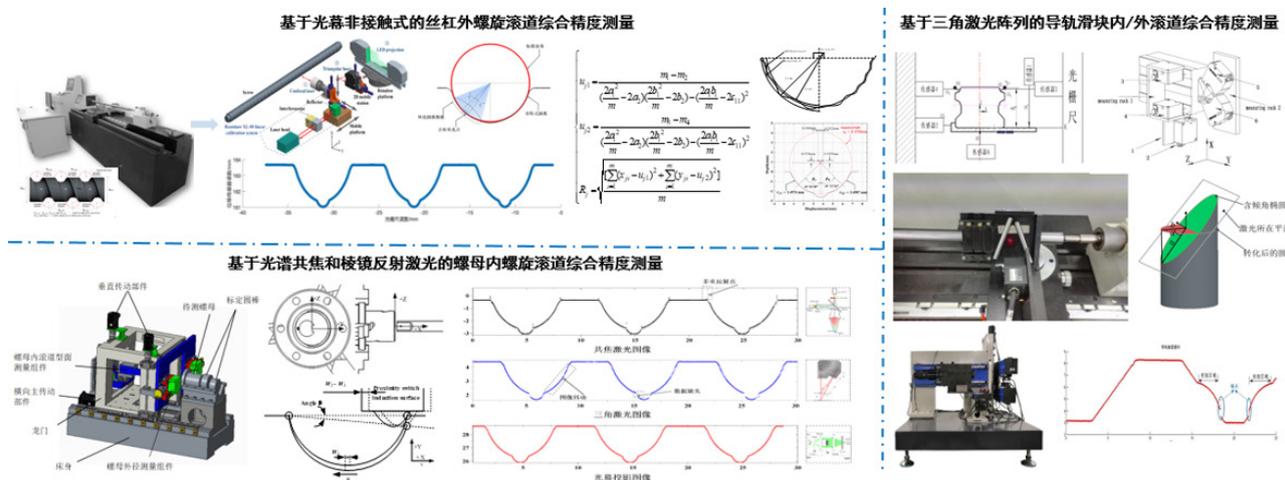


图2 内/外滚道综合精度非接触高精测量方法与装置

3. 滚动功能部件综合刚度高精高效测量方法和装备及高刚性设计技术

综合刚度是反映滚动功能部件乃至高端装备多维方向上承载能力的关键性能指标。04专项实施前,境内滚动功能部件刚度标称数据多依据经验值或类比参考而定,与实际值相差甚远,严重影响了用户的选型依据和使用信心。其主要原因是境内长期缺乏滚珠丝杠副刚度检测装置与方法。

经过科研攻关,研发了基于加载力及形变位移多维方向解耦的导轨副综合刚度检测方法,基于可控加载与微变形补偿的滚珠丝杠副综合刚度检测方法,在此基础上研发了丝杠副、滚动直线导轨副综合刚度检测装备,通过优化多组位移传感器的布局,实

现了丝杠微小倾斜量的同步测量;特殊设计的丝杠/螺母位移测量专用模块和传感器定位结构,可消除丝杠拉压刚性、螺母法兰刚性等对接触刚性测量重复性的影响,通过微变形补偿使重复测量精度从10%提升至3%以内。实现了刚性、额定静载荷的实测。

在大量刚性测试及刚性数据库的支持下,结合滚道型面和滚动体误差修正了变形协调方程,建立了滚动功能部件内外螺旋滚道和滚动体间的载荷分布模型。通过优化滚道适应比、接触角和滚动体尺寸,提高滚道型面加工精度、表面质量和对称性等手段,形成了尺寸精度和工艺可控的高刚性设计技术,已应用于多家骨干企业高刚性产品的设计优化,大幅提升了滚动功能部件的刚度值。

如图3所示,针对南京工艺的4010滚珠丝杠副产品,在不改变其结构和外形尺寸的条件下,通过优化滚道型面参数、提高型面加工精度等方法,将丝杠副的轴向刚度达到国际同类产品先进水平;针对汉江的DZ45A型滚动直线导轨副产品,通过优化滑块结构尺寸,改进导轨和滑块的热处理工艺,极大提升了产品的刚度,根据测评数据,该导轨副的垂直静刚度提升约60%;针对广东凯特的LGR系列滚柱导轨副产品,通过控制滚道加工精度、优化滚动体长度等方法,使产品在同等预紧力下的刚度超过台湾上银同类产品水平,且产品寿命更长,性能全面达到国际先进水平,该系列产品获中国机床工具工业协会“产品质量十佳”。

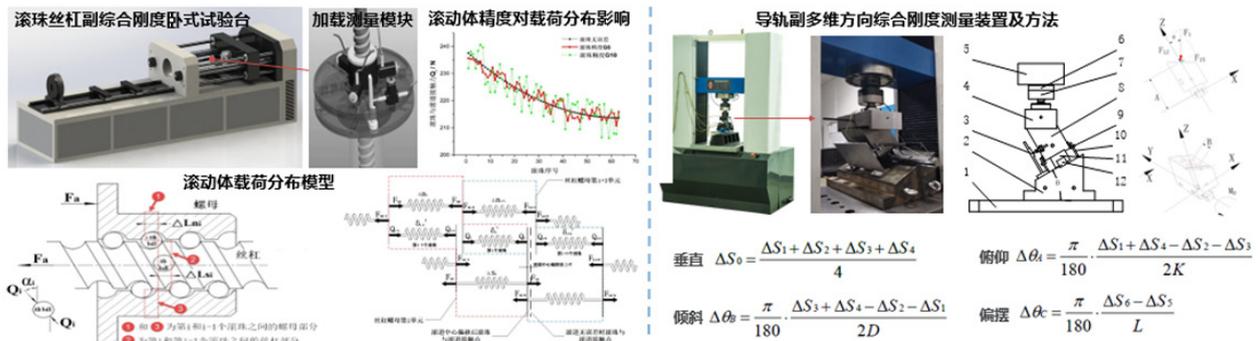


图3 丝杠/导轨副综合刚度检测与建模

4. 滚珠丝杠副预紧力精确计算方法与高精装配技术

如图4所示,采用“预紧力及空载扭矩同步在线测量→动态摩擦系数实测→预紧力精确计算→零部件参数信息匹配→丝杠副高精装配”的技术原理和方法,研发了滚珠丝杠副摩擦力矩和预紧力同步测量装置,实现了以预紧力精确调控为目标的滚珠丝杠副高精装配。针对日本THK传统公式计算预紧力时未考虑预紧力大小、运转速度及润滑状态的不足,建立了丝杠副预紧力与空载扭矩映射模型和摩擦系数计算方法;揭示了摩擦系数

随预紧力、转速和润滑状态的变化规律,实测了不同工况下滚珠丝杠副的动态摩擦系数,确立了预紧力测量的最佳工况条件,创新提出了基于摩擦系数的滚珠丝杠副预紧力精确计算模型,将滚珠丝杠副预紧力计算精度较日本THK传统计算公式的80%提升至90%以上。

在此基础上,构建了滚珠丝杠副零部件结构参数及公差与预紧力的匹配度函数,实现了零部件自动筛选,保障了滚珠丝杠副预紧力的精确调控和高精装配。

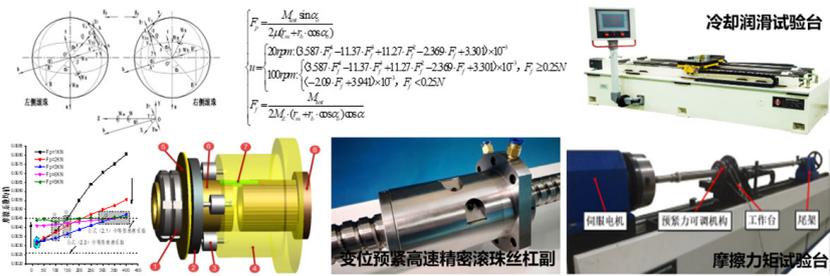


图4 滚珠丝杠副预紧力精确计算方法与高精装配技术

五、平台与成套装备辐射

南京理工大学在江苏省苏州张家港市分别建成省部级和行业重点实验室（见图5），以及行业第三方检测平台：“数控机床功能部件共性技术工

业和信息化部重点实验室”、“机械工业数控机床功能部件性能测试与可靠性技术重点实验室”，所研制的21种成套服役性能测试装备是实验室的主体。南理工所建成的行业和工信部重点实验室已经成为行业技术辐射的

中心，为相关领域的发展提供了核心技术研究成果、科研开发平台和高精高效试验平台，为我国丝杠副和导轨副产品自主开发能力的提升奠定了关键技术基础，也填补了行业长期缺乏第三方科研平台的短板。



图5 省部级和行业重点实验室

相关成果还被推广应用于国内多家丝杠副和导轨副领军企业，如南京工艺和汉江机床，并在企业内建成了服务于产品研发、产品质量提升、用户应用研究的实验室。如图6、图7、图8所示，分别建立了南京工艺装备制造有限公司滚动功能部件综合性能实验室、汉江机床滚动功能部件性能实验室，丽水滚动功能部件测试分中心。



图6 南京工艺装备制造有限公司滚动功能部件综合性能实验室



图7 汉江机床滚动功能部件性能实验室



图8 丽水滚动功能部件分中心（建设中）

成果同时也应用于国家机床质量监督检验中心的检测实验室建设，填补了国内企业研发和测试能力欠缺的短板，为国产丝杠副和导轨副产品质量的提升奠定了关键的测试基础条件。□

齿轮精密制造关键工艺、机床及数控系统

合肥工业大学现代集成制造与数控装备研究所 韩江 田晓青 夏链 李光辉 蒋泓

【摘要】介绍了圆柱齿轮数控加工主要工艺方法、装备及特点。阐述了齿轮精加工两种主要加工技术——磨齿和强力珩齿，重点介绍合肥工业大学现代集成制造与数控装备（CIMS）研究所在该领域主要研究工作进展。针对齿轮机床数控系统关键技术及发展，着重介绍了CIMS研究所的主要研究工作和取得的成果。展望了齿轮数控机床未来发展。

齿轮是机械系统的关键基础零部件之一，在汽车、工程机械、机器人、航空航天、能源装备、国防等领域发挥着重要的作用。齿轮被广泛应用于各类机器，在不同构件之间实现动力的传递，齿轮的加工质量直接影响其实际工作状况，包括传动精度、振动噪声、疲劳寿命等。因此，对齿轮的加工效率和精度的要求也越来越高。齿轮数控机床是实现齿轮高速高精加工的重要工艺手段和装备，对提高齿轮加工质量和效率具有十分重要的作用，而高性能的齿轮机床数控系统是实现高速高精度齿轮加工的核心。本文主要针对圆柱齿轮的加工开展介绍。

一、齿轮制造工艺与装备

通常的齿轮加工工艺流程中，齿坯经过滚、插、车、剃等加工，以及热处理后为了消除存留的齿形误差而进行的以磨齿、强力珩齿为主的精加工。图1为齿轮加工主要工艺流程图。

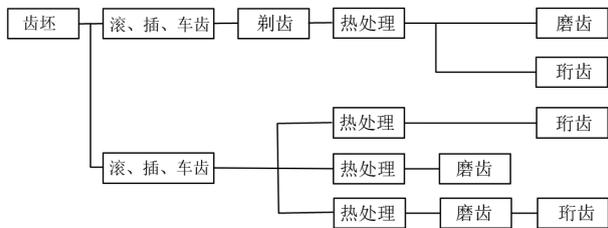


图1 齿轮加工工艺

滚齿是齿轮加工中生产率较高、应用最广的加工方法之一，滚齿工艺既能够加工圆柱齿轮，也可加工蜗轮及其他类型齿轮，且可以获得较高运动精度，但相对表面粗糙度较差。插齿加工齿形精度和粗糙度较好，但齿轮运动精度较差，插齿主要适用于齿轮的内齿加工以及一些受结构干涉的外齿加工。车齿主要利用齿轮型刀具与工件之间进行强制啮合，按空间展成法切制齿轮齿面，具有材料去除率高、成形精度好等优点，近期应用和发展较快。三种加工方法如图2、图3和图4所示。上述数控加工机床国外著名厂家有：美国的格里森（Gleason）公司、德国的利勃海尔（Liebherr）公司、日本的三菱重工公司等；国内著名厂家有：重庆机床（集团）公司、秦川机床股份公司、南京二机齿轮机床公司、天津第一机床总厂公司等。



图2 滚齿加工



图3 插齿加工



图4 车齿加工

磨齿是利用砂轮对齿轮的轮齿进行磨削加工的方法，是齿形加工中精度最高的一种方法，如图5所示，适用于精加工淬火后硬度较高的齿轮，其加工精度高、技术要求高、价格昂贵，应用广泛。国际上著名厂家如瑞士莱斯豪尔（Reishauer）公司和Oerlilion-Maag公司、德国卡帕（Kapp-Niles）集团等。国内著名厂家有：秦川机床股份公司、重庆机床（集团）公司、南京二机齿轮机床公司等。近些年来，在国家科技重大专项（高档数控机床与基础制造装备）的支持下，国产数控磨齿机取得了长足发展，但高档磨齿机的技术水平与国际著名厂家差距依然较大，高档数控磨齿机市场被国际著名厂家占据较大份额，国内每年进口大量高档磨齿机。

强力珩齿是通过珩磨轮与被珩齿轮做啮合运动，利用其齿面间的相对滑动速度和压力来进行珩削的一种齿面精加工方法，其独有的人字交错齿面纹理使其传动噪声小，被越来越多的应用到齿轮精加工当中，如图6所示。国外著名企业包括：美国格里森（Gleason）、瑞士法斯勒（Fassler）（已被美国格里森兼并）、德国的普拉威马（Praewema）等。国内目前还没有市场应用的内啮合强力珩齿机床产品，市场被国外著名厂家垄断。



图5 磨齿加工

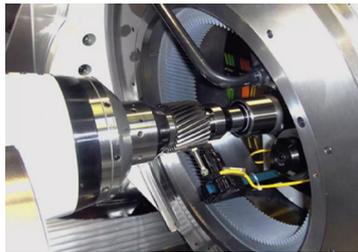


图6 珩齿加工

在国家重大科技专项（高档数控机床与基础制造装备）支持下，南京二机齿轮机床公司与合肥工业大学CIMS研究所产学研合作，成功研制开发了Y4830CNC型数控内齿珩轮强力珩齿机（如图7所示），项目通过了国家验收，目前该机床正处于试切加工调试阶段，不久将推向市场。Y4830CNC型机床的自主研发成功是一次重大突破，填补了我国在相关技术方面的空白。



图7 Y4830CNC型数控内齿珩轮强力珩齿机

从上可以看出，作为机床领域的高档数控磨齿机、数控强力珩齿机基本被国外著名企业所垄断，急需国家给予高度重视和支持，国内厂家任重道远。

二、磨齿加工工艺关键技术

磨齿是当今齿轮精加工的主要工艺，它可以可靠有效地加工硬齿面齿轮，修正热处理产生的变形和粗加工的各项误差，提高加工精度。面向齿轮的磨削工艺按切削运动原理分为展成磨削和成形磨削两大类。由加工过程的连续性和非连续性特征，可以对磨齿工艺进行更加细致的分类，例如碟形砂轮磨削、蜗杆砂轮磨削、珩磨、成形砂轮磨削和环面蜗杆砂轮磨削。

成形磨齿的磨削过程是将工件的一个或多个齿侧面磨削完成后，再对未磨削齿侧面进行精加工。由于砂轮与齿轮工件之间线接触的特性，其在加工过程中可以实现高材料去除率，成形砂轮磨齿机常用于加工内齿和大规模外齿圆柱齿轮。蜗杆砂轮磨齿机属于连续展成磨削，其磨削过程可以看作一个螺旋角很大的齿轮与工件相啮合，由于蜗杆砂轮沿工件轴向的进给运动是必要的，因此工件的任一齿侧面在磨削结束前都未完全磨削，其具有加工精度高、表面粗糙度好及加工经济高效等优势，被广泛应用于齿轮的精加工当中。蜗杆砂轮磨削带齿向修形的斜齿轮时，会出现齿面扭曲，降低齿面精度和齿轮的传动性能，因此需要补偿齿面扭曲，传统方法通过修整砂轮实现扭曲补偿。合肥工业大学CIMS研究所研究了基于柔性电子齿轮箱的齿面扭曲补偿技术，如图8所示，通过补偿电子齿轮箱主从动轴附加运动量，实现补偿齿面扭曲的补偿。由于齿面接触应力的影响而产生的弹性变形、加工误差和装配误差以及齿轮刚性周期变化的影响，齿轮工作时的实际啮合点会偏离理论啮合点，从而产生振动和噪声，对齿面进行修形是降低齿轮传动时振动和噪声的有效办法，还可以改善齿面啮合状态，提高齿轮副传动系统的传动性能。通常蜗杆砂轮磨齿机加工修形齿轮采用的思路是，建立齿轮型金刚轮/齿条型金刚轮-砂轮-工件的数学模型，根据齿面共轭理论可由双参数形式曲面上的点计算各轴转角和移动距离，蜗杆砂轮必须沿工件轴线全行程移动才能完成工件所有齿面的磨削，而工件某一齿面上的转动轴和移动轴位置并不是随时间连续变化的，因此我们提出一种考虑接触迹线的蜗杆砂轮磨削齿面修形方法，采用标准金刚轮和标准蜗杆砂轮对工件修形，最终利用高阶修正技术实现目标齿面修形。

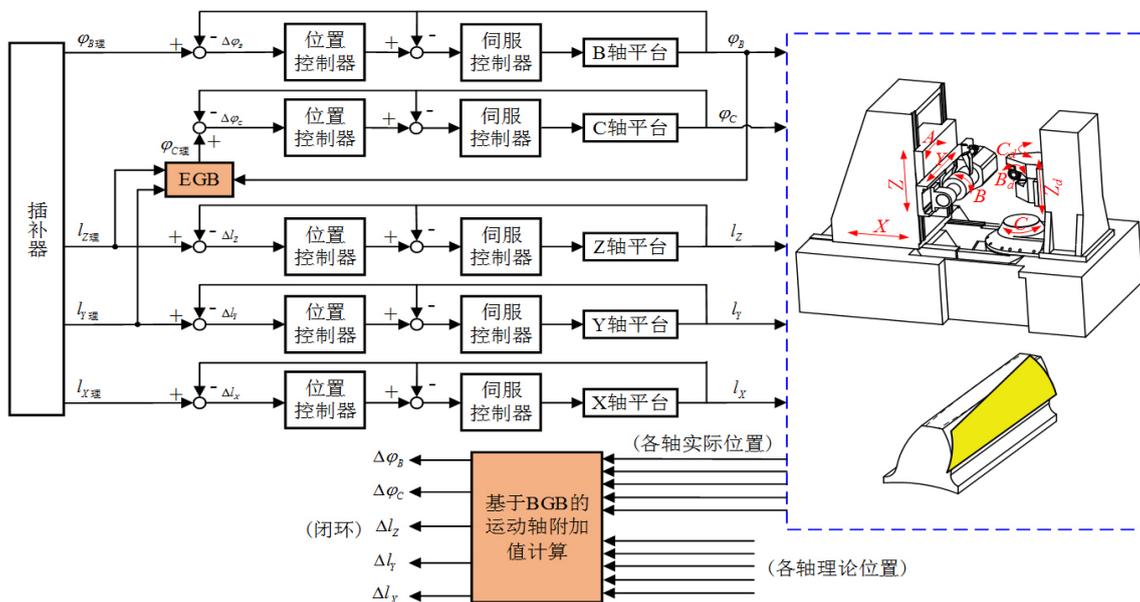


图8 基于柔性电子齿轮箱的齿面扭曲补偿技术

在国家金属切削机床标准化总会（SAC/TC22）领导下，合肥工业大学CIMS研究所，会同重庆机床（集团）公司、秦川机床股份公司、通用技术集团机床工程研究院等，提出国际标准ISO/PWI 5701《磨齿机精度检验》的提案申请和草案拟定研究，团队分别在ISO TC39/SC2的第86次-90次国际会议上做新国际标准提案的技术及阶段进展汇报，目前已通过PWI阶段投票。

三、强力珩齿加工工艺关键技术

强力珩齿是由珩磨轮表面磨粒对工件齿面的压力和相对滑动而对材料余量进行去除的一种齿轮精加工方式。内啮合强力珩齿珩削精度相对较高，在珩削过程中珩磨轮速度低，同时拥有较强的误差修正能力和较高的珩削精度。与磨齿相比，珩齿在保证齿形精度的同时，具有更高的经济性，而且能使被加工齿轮具有低噪音的光滑表面。尤其是新能源汽车动力传动齿轮高速低噪声要求，采用内啮合强力珩齿工艺具有独有的优势，因而得到广泛的推广应用。但目前国内对内啮合强力珩齿工艺加工技术掌握基本

是空白，与国外差距很大。

在国家自然科学基金和国家重大科技专项等项目支持下，合肥工业大学CIMS研究所开展了数控内齿珩轮强力珩齿机理和基于电子齿轮箱的内啮合强力珩齿柔性修形与精度控制技术研究。基于空间曲面共轭啮合理论，建立了内齿珩磨轮齿面和工件齿面的瞬时接触线和工件齿面珩削纹路的三维可视化模型；提出了一种变轴交角修整珩磨轮的工艺策略，在珩磨轮每次修整时，轴交角作为珩磨轮径向修正量的函数不断的变化，该工艺可以保证齿型形状、接触状况、受力状态几乎保持不变，同时大幅提高珩磨轮可修整次数。通过对内齿珩轮强力珩齿啮合磨削运动学和力学特性的分析，根据粗糙度与齿面波纹高度的关系分别建立沿齿形和齿向方向的工件齿面粗糙度模型，分析了轴交角的变化对粗糙度所造成的影响。通过对数控内齿珩轮强力珩齿工艺中各项主要的珩齿工艺参数输入因素和各项主要的齿面轮廓误差的分析，建立各项齿面轮廓误差的预测模型，对内齿珩轮强力珩齿工艺参数进行优化选择。以珩磨轮与工件间轴交角与中心距为控制参数，提出一种对珩削工件齿面纹理的分布情况及纹理变化趋势的控制方法，如图9所示。

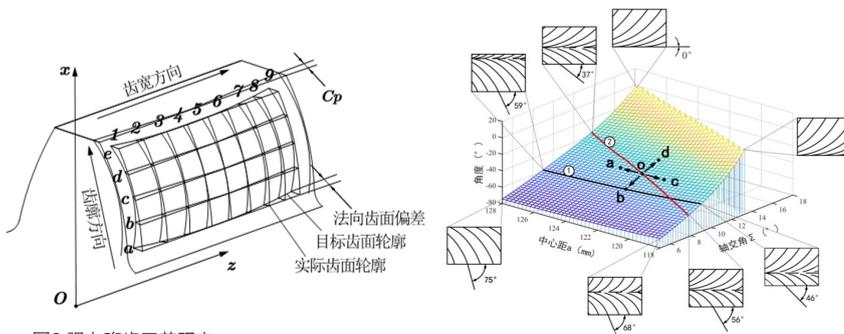
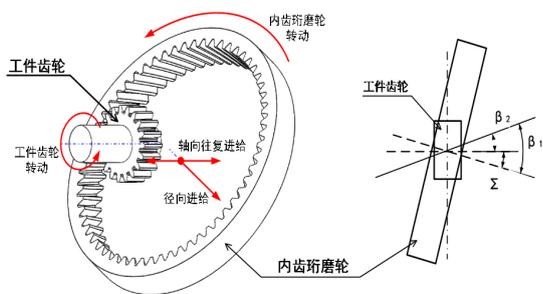


图9 强力珩齿工艺研究

四、齿轮加工机床数控系统

数控系统是高档齿轮加工机床的核心，由于齿轮数控加工工艺复杂、精度及稳定性要求高、独有的电子齿轮箱多轴高精度控制等技术难点，国外高档齿轮机床数控系统如西门子840D数控系统处于产品与技术垄断地位，我国市场批量化自主知识产权高档齿轮机床数控系统基本是空白。

合肥工业大学CIMS研究所从上个世纪80年代后期开始，在国内较早地开展了齿轮数控系统的研制和开发工作，提出了全功能的齿轮机床数控系统结构，基于软件插补的方式实现齿轮加工过程中工件回转、径向、轴向、切向运动多轴对刀具主轴的跟踪运动控制，实现了电子齿轮箱功能，成功研制了STAR系列齿轮加工机床数控系统，实现了流量计用非圆齿轮铣齿、插齿和滚齿机配套加工，取得了显著经济社会效益。特别是在国家重大科技专项（高档数控机床与基础制造装备）支持下，合肥工业大学CIMS研究所与广州数控设备有限公司产学研紧密合作，成功研发了自主知识产权的第一代齿轮机床（滚齿、铣齿、插齿）专用数控系统GSK25iG并实现产业化推广应用，填补国内空白；与重庆机床（集团）公司生产的YK5132B 数控插齿机（见图11）、浙江佳雪机床有限公司生产的YGS3610(B)CNC六轴数控滚齿机（见图12）等配套，并完成批量加工和检测，验证了所研发数控系统具有较高的功能性能指标、精度和可靠性，达到了日本FANUC 31i数控系统水平。系统开展了齿轮机床数控系统关键技术研究，提出和发明了柔性电子齿轮箱，并获批国家发明专利和美国发明专利，研发齿轮数控机床加工综合误差在线估测和补偿技术。



图11 YK5132B数控插齿机



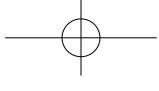
图12 YGS3610(B)CNC数控滚齿机



图10 YS3118CNC5数控滚齿机

五、结束语

我国在齿轮精密制造关键工艺技术、高端齿轮加工机床及数控系统方面已取得很大的进展和成绩，但对标国际先进水平，我们仍有很大的差距。随着新能源汽车动力传动、航空航天、高铁传动、机器人等领域高速、高精度、低噪声、长寿命齿轮的广泛应用的更高需求，热处理前车齿工艺应用快速发展，热处理后强力珩齿应用将越来越多，磨齿与强力珩齿的协同工艺应用将很普遍，对高档齿轮机床及数控系统的智能化等提出更高要求。新一代智能齿轮数控机床及数控系统必将是信息技术、智能技术与制造控制技术的深度融合，朝着高速、高效、高精度及智能化、复合化、绿色化等方向不断发展。□



《“十四五”智能制造发展规划》政策解读

信息来源：工信部装备工业一司

近日，工业和信息化部、国家发展和改革委员会、教育部、科技部、财政部、人力资源和社会保障部、国家市场监督管理总局、国务院国有资产监督管理委员会等八部门联合印发《“十四五”智能制造发展规划》（以下简称《规划》）。为便于理解《规划》内容，做好贯彻实施工作，现就相关问题解读如下。

一、《规划》的编制背景

作为制造强国建设的主攻方向，智能制造发展水平关乎我国未来制造业的全球地位。发展智能制造，对于加快发展现代产业体系，巩固壮大实体经济根基，构建新发展格局，建设数字中国具有重要意义。

“十三五”以来，通过试点示范应用、系统解决方案供应商培育、标准体系建设等多措并举，形成了央地紧密配合、多方协同推进的工作格局，我国智能制造发展取得长足进步。一是供给能力不断提升，智能制造装备国内市场满足率超过50%，主营业务收入超10亿元的系统解决方案供应商达43家。二是支撑体系逐步完善，构建了国际先行的标准体系，发布国家标准300余项，主导制定国际标准42项；培育具有行业和区域影响力的工业互联网平台近100个。三是推广应用成效明显，试点示范项目生产效率平均提高45%、产品研制周期平均缩短35%、产品不良品率平均降低35%，涌现出网络协同制造、大规模个性化定制、远程运维服务等新模式新业态。

国际方面，全球新一轮科技革命和产业变革深入发展，新技术不断突破并与先进制造技术加速融合，为制造业高端化、智能化、绿色化发展提供了历史机遇。国际环

境日趋复杂，全球科技和产业竞争更趋激烈，大国战略博弈进一步聚焦制造业。美德日等工业发达国家均将智能制造作为抢占全球制造业新一轮竞争制高点的重要抓手。国内方面，我国已转向高质量发展阶段，正处于转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期。站在新一轮科技革命和产业变革与我国加快转变经济发展方式的历史性交汇点，要坚定不移地以智能制造为主攻方向，推动产业技术变革和优化升级，推动制造业产业模式和企业形态根本性转变，以“鼎新”带动“革故”，提高质量、效率效益，减少资源能源消耗，畅通产业链供应链，助力碳达峰碳中和，促进我国制造业迈向全球价值链中高端。

二、《规划》的总体考虑

《规划》的总体考虑主要有以下3点：

一是突出系统观念。智能制造是一项持续演进、迭代提升的系统工程，需要长期坚持、分步实施，并行推进数字化、网络化、智能化。在深入研究了智能制造理论体系、战略路径、目标体系和推进体系的基础上，提出围绕智能制造系统的建设，着力打造涵盖创新、应用、供给和支撑4个体系的智能制造发展生态。同时，聚焦新阶段新要求，统筹考虑区域、行业发展差异，充分发挥地方、行业和企业积极性，分层分类系统推动智能制造创新发展。

二是突出问题导向。当前，我国智能制造发展已由理念普及、试点示范转向系统创新、深化应用的新阶段。但与制造业高质量发展的要求相比，仍存在供给体系适配性不高、创新能力不强、应用深度广度不够等突出问题。《规划》针对性地提出了“加快系统创新”“深化推广应

用“加强自主供给”“夯实基础支撑”等任务。

三是突出融合发展。既突出要加强跨学科、跨领域合作，推动新一代信息技术与先进制造技术的深度融合；又强调要发挥龙头企业牵引作用，带动上下游企业同步开展智能化改造，推动产业链供应链深度互联和协同响应，实现大中小企业融通发展。

三、《规划》的指导思想 and 目标

《规划》以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中、六中全会精神，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，构建新发展格局，深化改革开放，统筹发展和安全，以新一代信息技术与先进制造技术深度融合为主线，深入实施智能制造工程，着力提升创新能力、供给能力、支撑能力和应用水平，加快构建智能制造发展生态，持续推进制造业数字化转型、网络化协同、智能化变革，为促进制造业高质量发展、加快制造强国建设、发展数字经济、构筑国际竞争新优势提供有力支撑。

《规划》提出推进智能制造的总体路径是：立足制造本质，紧扣智能特征，以工艺、装备为核心，以数据为基础，依托制造单元、车间、工厂、供应链等载体，构建虚实融合、知识驱动、动态优化、安全高效、绿色低碳的智能制造系统，推动制造业实现数字化转型、网络化协同、智能化变革。未来15年通过“两步走”，加快推动生产方式变革：一是到2025年，规模以上制造业企业大部分实现数字化网络化，重点行业骨干企业初步应用智能化；二是到2035年，规模以上制造业企业全面普及数字化网络化，重点行业骨干企业基本实现智能化。

《规划》提出了2025年三项具体目标：

(1) 转型升级成效显著。70%的规模以上制造业企业基本实现数字化网络化，建成500个以上引领行业发展的智能制造示范工厂。制造业企业生产效率、产品良品率、能源资源利用率等显著提升，智能制造能力成熟度水平明显提升。

(2) 供给能力明显增强。智能制造装备和工业软件技术水平和市场竞争力显著提升，市场满足率分别超过70%和50%。培育150家以上专业水平高、服务能力强的智能制造系统解决方案供应商。

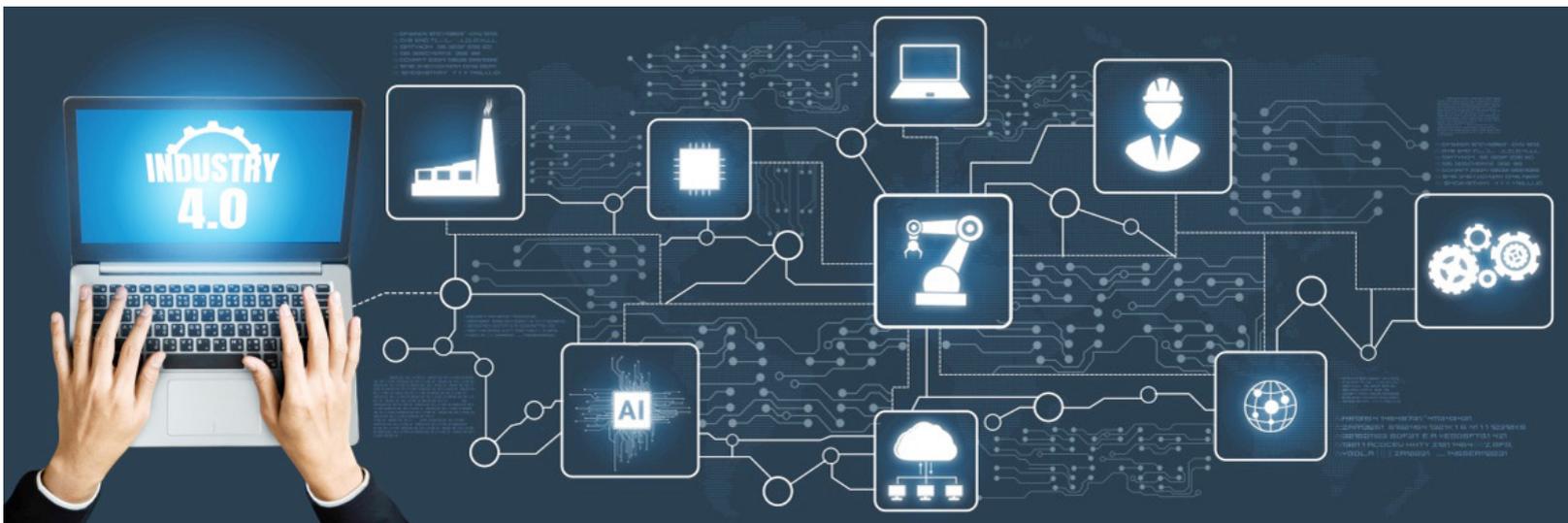
(3) 基础支撑更加坚实。建设一批智能制造创新载体和公共服务平台。构建适应智能制造发展的标准体系和网络基础设施，完成200项以上国家、行业标准的制修订，建成120个以上具有行业和区域影响力的工业互联网平台。

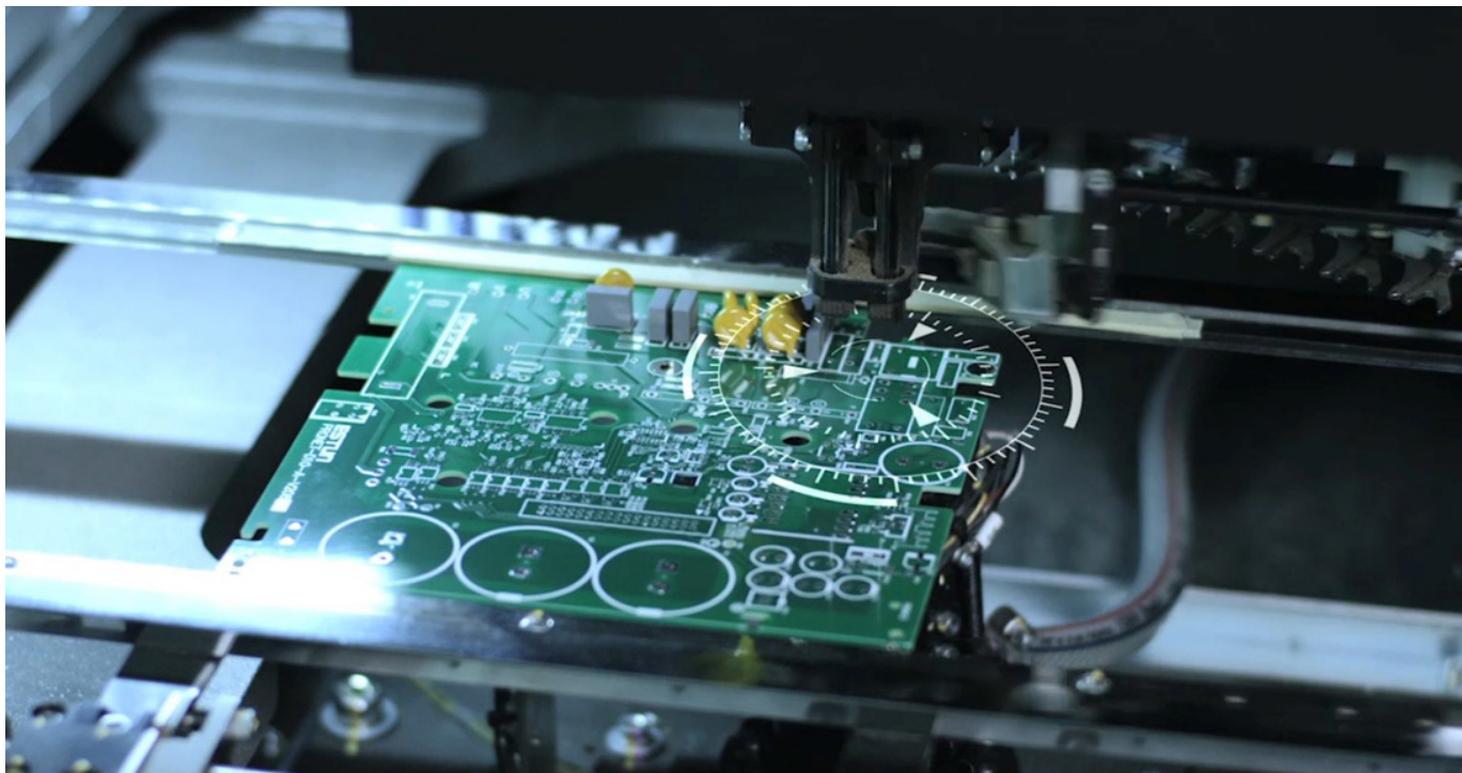
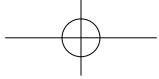
四、《规划》的重点任务

结合我国智能制造发展现状和基础，《规划》紧扣智能制造发展生态的四个体系，提出“十四五”期间要落实创新、应用、供给和支撑四项重点任务。

任务一：加快系统创新，增强融合发展新动能

一是攻克4类关键核心技术，包括：基础技术、先进工艺技术、共性技术以及人工智能等在工业领域的适用性技术。二是构建相关数据字典和信息模型，突破生产过程数据集成和跨平台、跨领域业务互联，跨企业信息交互和协同优化以及智能制造系统规划设计、仿真优化4类系统集成技术。三是建设创新中心、产业化促进机构、试验验证





平台等，形成全面支撑行业、区域、企业智能化发展的创新网络。

任务二：深化推广应用，开拓转型升级新路径

一是建设智能制造示范工厂，开展场景、车间、工厂、供应链等多层级的应用示范，培育推广智能化设计、网络协同制造、大规模个性化定制、共享制造、智能运维服务等新模式。二是推进中小企业数字化转型，实施中小企业数字化促进工程，加快专精特新“小巨人”企业智能制造发展。三是拓展智能制造行业应用，针对细分行业特点和痛点，制定实施路线图，建设行业转型促进机构，组织开展经验交流和供需对接等活动，引导各行业加快数字化转型、智能化升级。四是促进区域智能制造发展，鼓励探索各具特色的区域发展路径，加快智能制造进集群、进园区，支持建设一批智能制造先行区。

任务三：加强自主供给，壮大产业体系新优势

一是大力发展智能制造装备，主要包括4类：基础零部件和装置、通用智能制造装备、专用智能制造装备以及融合了数字孪生、人工智能等新技术的新型智能制造装备。二是聚力研发工业软件产品，引导软件、装备、用户等企业以及科研院所等联合开发研发设计、生产制造、经营管理、控制执行等工业软件。三是着力打造系统解决方案，包括面向典型场景和细分行业的专业化解决方案，以及面

向中小企业的轻量化、易维护、低成本解决方案。

任务四：夯实基础支撑，构筑智能制造新保障

一是深入推进标准化工作，持续优化标准顶层设计，制修订基础共性和关键技术标准，加快标准贯彻执行，积极参与国际标准化工作。二是完善信息基础设施，主要包括网络、算力、工业互联网平台3类基础设施。三是加强安全保障，推动密码技术应用、网络安全和工业数据分级分类管理，加大网络安全产业供给，培育安全服务机构，引导企业完善技术防护体系和安全管理制度。四是强化人才培养，研究制定智能制造领域职业标准，开展大规模职业培训，建设智能制造现代产业学院，培养高端人才。

五、《规划》部署的专项行动

围绕创新、应用、供给和支撑等四个方面，《规划》部署了智能制造技术攻关行动、智能制造示范工厂建设行动、行业智能化改造升级行动、智能制造装备创新发展行动、工业软件突破提升行动、智能制造标准领航行动等六个专项行动：

一是开展智能制造技术攻关行动，重点突破基础技术、先进工艺技术、共性技术以及适用性技术等4类关键核心技术，生产过程数据集成、业务互联、协同优化以及

仿真优化等4类系统集成技术。

二是开展智能制造示范工厂建设行动，面向企业转型升级需要，打造智能场景、智能车间、智能工厂和智慧供应链，形成多场景、全链条、多层次应用示范。

三是开展行业智能化改造升级行动，针对装备制造、电子信息、原材料、消费品等四个传统产业的特点和痛点，推动工艺革新、装备升级、管理优化和生产过程智能化。

四是开展智能制造装备创新发展行动，加快研发基础零部件和装置、通用智能制造装备、专用智能制造装备以及新型智能制造装备等四类智能制造装备。

五是开展工业软件突破提升行动，加快开发应用研发设计、生产制造、经营管理、控制执行、行业专用及新型软件等六类工业软件。

六是开展智能制造标准领航行动，从标准体系建设、研制、推广应用和国际合作等四个方面，推动智能制造标准化工作走深走实。

六、《规划》的保障措施

为确保各项目标和重点任务的顺利实施，《规划》提出了四个方面的保障措施：

一是强化统筹协调，加强部门协同和央地协作，充分发挥专家、研究机构和智库作用等，鼓励企业结合自身实际加快实施智能制造，形成系统推进工作格局。

二是加大财政金融支持，加强国家科技重大专项等对智能制造领域的投入，鼓励产业基金、社会资本加大投资，积极拓宽企业融资渠道。

三是提升公共服务能力，鼓励各方建设智能制造公共服务平台，支持第三方机构开展智能制造能力成熟度评估，研究发布行业和区域智能制造发展指数。

四是深化开放合作，加强国际交流和知识产权保护，鼓励国外机构在华建设智能制造研发中心、示范工厂、培训中心等，推动智能制造装备、软件、标准和解决方案“走出去”。□



2022年机床工具行业走势研判

中国机床工具工业协会

【编者按】本文来自2022年1月6日召开的中国机床工具工业协会第九次会员大会资料，今编发刊出供业界参考。

2021年以来，我国统筹推进疫情防控和经济社会发展，经济保持稳步恢复，发展质量进一步提高。在良好的宏观经济条件下，机床工具行业延续2020年下半年以来恢复性增长态势，市场需求持续改善，进出口大幅度增长，机床工具行业运行持续保持向好趋势。

一、行业运行基本情况

根据中国机床工具工业协会重点联系企业统计数据，以及协会企业调研情况和部分分会提供的资料，对机床工具行业2021年前10个月运行情况概要分析如下。

2021年1~10月，行业整体运行仍保持平稳增长，受上年基数因素影响，各项主要指标同比增速继续逐月回落，但同比增幅仍然较高。

1. 营业收入普遍大幅提升

2021年1~10月，重点联系企业营业收入同比增长31.6%，增幅较1~9月回落2.7个百分点。各分行业营业收入同比均有较大幅度增长。其中，金属切削机床同比增长35.3%，金属成形机床同比增长21.5%，工量具同比增长17.7%，磨料磨具同比增长33.6%，滚动功能部件的增幅最大，为79.9%。

图1是2021年1~9月与2020年、2019年重点联系企业累计营业收入同比增速的对比。

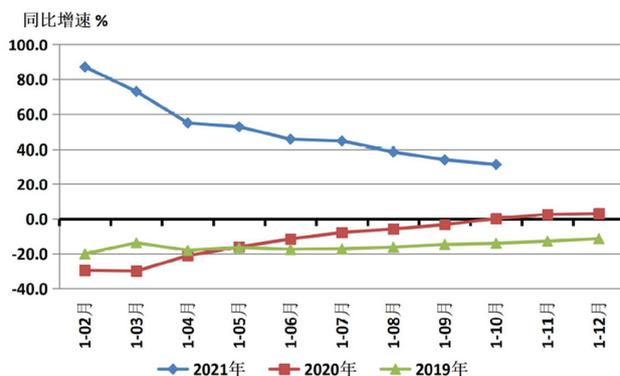


图1 重点联系企业营业收入同比增速情况

2. 各分行业全面实现盈利

2021年1~10月，重点联系企业实现利润总额同比显著增长，且所有分行业全部实现盈利。机床行业长期以来亏损或利润微薄的情况有所改善。

3. 订单同比增幅较高

2021年1~10月，重点联系企业金属加工机床新增订单同比增长29.4%。截至10月底，在手订单同比增长22.4%。其中，金属切削机床新增订单同比增长28.9%，在手订单同比增长12.8%；金属成形机床新增订单同比增长30.7%，在手订单同比增长48.6%。金属成形机床在手订单同比增速突出，为下一阶段稳定运行打下了很好基础。

4. 机床产量明显增长，成品库存有降有升

据国家统计局公布数据，2021年1~10月，金属切削机床产

量49.2万台，同比增长31.9%；金属成形机床产量17.4万台，同比增长6.1%。

图2、图3分别是2021年1~9月与2020年、2019年金属切削机床产量和金属成形机床产量同比增速的对比。

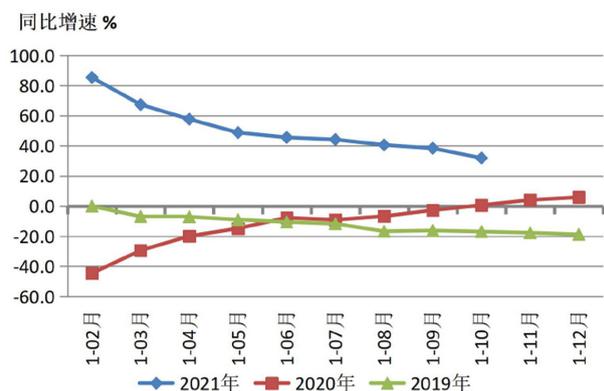


图2 金属切削机床产量同比增速情况

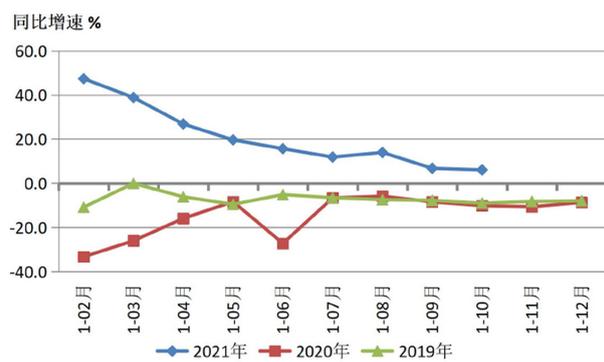


图3 金属成形机床产量同比增速情况

协会重点联系企业统计数据显示，2021年1~10月，金属切削机床产量同比增长27.4%，产值同比增长37.7%；金属成形机床产量同比增长23.0%，产值同比增长27.0%。以上各项产值增速明显高于对应产量增速，表明单台机床价值有所提高。

2021年1~10月，重点联系企业存货同比增长11.6%。其中，原材料同比增长19.0%，产成品同比增长2.1%。金属加工机床产成品存货同比增长6.7%。其中，金属切削机床同比增长7.3%，金属成形机床同比增长3.3%。

二、进出口情况

根据中国海关数据，2021年1~10月机床工具进出口总体延续上半年良好势头，继续快速增长。进出口总额269.5亿美元，同比增长32.2%。2021年1~10月机床工具进出口保持了自2019年6月以来的顺差态势，顺差为39.0亿美元。

进口方面，2021年1~10月总体呈现明显增长的态势。

机床工具商品进口115.2亿美元，同比增长23.1%。其中：金属加工机床进口额62.0亿美元，同比增长27.1%（其中，金属切削机床进口额51.8亿美元，同比增长29.1%；金属成形机床进口额10.2亿美元，同比增长18.2%）。切削刀具进口额13.9亿美元，同比增长16.7%。磨料磨具进口额6.3亿美元，同比增长26.8%。

金属加工机床进口额排前五位的是：加工中心22.6亿美元，占比36.5%；特种加工机床10.4亿美元，占比16.7%；磨床7.4亿美元，占比11.9%；车床4.9亿美元，占比7.9%；锻造或冲压机床2.5亿美元，占比4.0%。

2021年1~10月进口来源居前三位的分别是：日本37.8亿美元，同比增长34.1%；德国24.4亿美元，同比增长12.5%；中国台湾15.6亿美元，同比增长34.4%。

各商品类别的累计进口情况见图4。

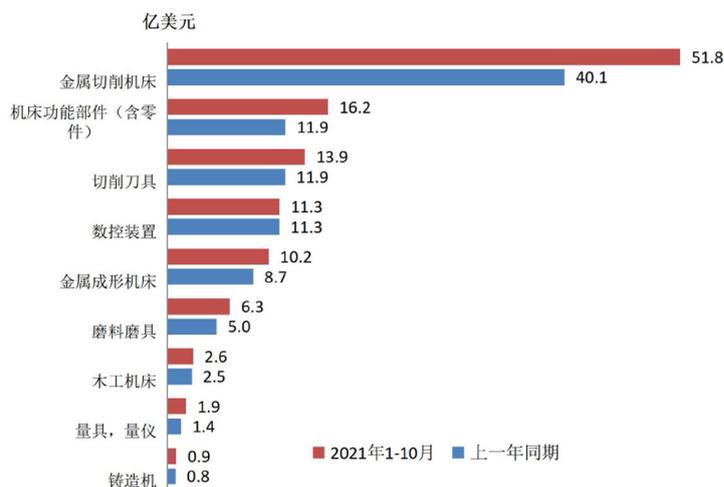


图4 2021年1~10月中国机床行业分类进口情况

出口方面，2021年1~10月继续保持大幅增长的趋势。机床工具商品出口154.3亿美元，同比增长39.8%。其中，金属加工机床出口额42.4亿美元，同比增长33.9%（其中，金属切削机床出口额32.3亿美元，同比增长33.9%；金属成形机床出口额13.1亿美元，同比增长33.8%）。切削刀具出口额31.1亿美元，同比增长36.4%。磨料磨具出口额33.0亿美元，同比增长63.2%。

金属加工机床出口额排前五位的是：特种加工机床13.3亿美元，占比31.4%；车床4.1亿美元，占比9.8%；成形折弯机3.3亿美元，占比7.8%；其他成形机床2.9亿美元，占比6.7%；加工中心2.3亿美元，占比5.4%。

2021年1~10月份出口去向前三位的分别是：美国19.5亿美元，同比增长26.5%；越南11.4亿美元，同比增长27.7%；印度10.0亿美元，同比增长62.8%。

各商品类别的累计出口情况见图5。

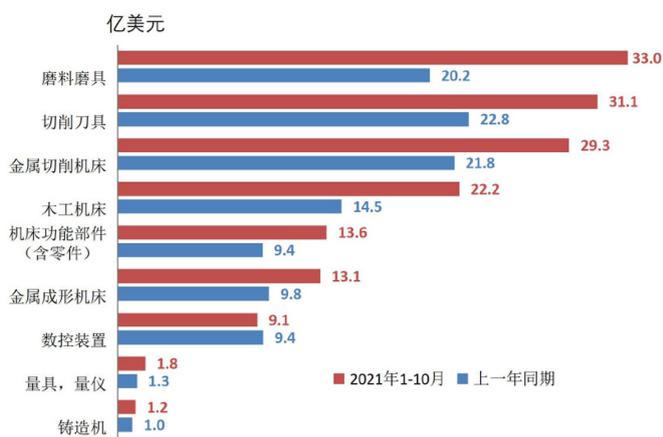


图5 机床工具产品累计出口情况 (亿美元)

三、2021年上半年机床工具行业上市公司运行情况

机床工具行业上市公司集中了一批行业优质和典型企业。这一企业群体的运行情况对分析判断行业发展态势具有重要意义。

我们选取行业特征比较突出的53家企业作为行业上市公司的重点监测和分析对象。这53家上市公司中, 深交所主板22家, 创业板18家; 上交所主板6家, 科创板7家。

其中, 金属切削机床企业占30%, 金属成形机床企业占8%, 工量具企业占13%, 磨料磨具企业占26%, 数控装置企业占11%, 机床附件和功能部件企业占8%, 木工机械企业占4%。

截至2021年上半年末, 重点监测的上市公司资产总计2181.2亿元, 较年初增长8.9%。负债合计1076.5亿元, 较年初增长11.2%。资产负债率为49.4%, 较年初增长1个百分点。

重点监测的上市公司2021年上半年累计实现营业收入528.1亿元, 同比增长40.5%。累计实现利润总额54.3亿元, 同比增长53.6%。累计实现净利润46.4亿元, 同比增长62.3%。2021年上半年的亏损面为13.2%, 同比收窄7.6个百分点。

重点监测的上市公司2021年上半年营业收入利润率为10.3%, 同比增长0.9个百分点, 同比增长的企业占64.2%。

从以上重点监测的上市公司资产、营业收入和利润等各项指标的数据来看, 2021年上半年机床工具行业上市企业的整体运行情况都较上年同期有大幅提升。但从利润率和加权平均净资产收益率等指标的绝对数据看, 多数企业的盈利能力仍然偏弱。

四、行业运行特点

1. 整个行业运行情况继续保持稳定恢复和增长

从上述统计数据来看, 机床工具行业整体和各分行业2021年前10个月主要指标同比都实现了大幅度增长, 盈利状况得到改善。机床工具行业整体上保持着相对稳定的恢复和增长态势。

2. 机床工具产品进出口呈持续增长态势

2021年前10个月机床工具产品进出口同比大幅增长, 出口增速远高于进口增速, 贸易顺差不断扩大。金属加工机床进出口彻底扭转了前两年负增长趋势。

3. 金属加工机床订单情况可喜

2021年1~10月, 金属加工机床订单保持较大幅度同比增长态势。其中金属成形机床行业在手订单同比增速上明显高于金属切削机床行业, 预示该行业的恢复和增长有望加快。

4. 上市公司增长较快, 但多数企业盈利能力仍然较弱

从资产、营业收入和利润等各项指标的数据来看, 2021年上半年机床工具行业上市企业的整体运行情况都较上年同期有大幅提升。但从利润率等指标看, 多数企业的盈利能力仍然偏弱。

5. 行业运行不利因素有所增加

2021年以来, 疫情多次大范围反复, 自然灾害频发, 工业原材料价格上涨, 国际物流受限, 出口成本上涨等不利因素对机床工具行业的运行带来较大冲击, 其中有些因素是三季度后新出现的。同时, 在国内外疫情影响下, 产业结构不合理, 产业链、供应链某些薄弱环节制约凸显。

近期拉闸限电和工业原材料大幅度涨价问题已有所缓解, 但对机床工具行业运行及市场需求的后续影响仍不容忽视。

五、2022年机床工具行业形势预判

2021年前10个月机床工具行业市场需求比较旺盛, 行业运行平稳恢复, 稳中向好, 增长趋势明显, 不考虑通胀因素, 我们预计2021年全年机床工具行业营业收入同比增长将在20%以上。

由于2020年疫情引起的基数效应影响, 协会重点联系企业2021年各月累计营业收入增速逐月降低。月度环比在上半年始终保持了增长, 但7、8两月的月度环比曾分别出现了23.2%和9.6%的下降, 增势出现了波动。

(下转第98页)

2021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

2021年是“十四五”开局之年，我国疫情防控和经济发展全球领先，经济保持稳步恢复，发展质量进一步提高，全年国内生产总值同比增长8.1%，两年平均增长5.1%。货物进出口同比增长21.4%。规模以上工业增加值同比增长9.6%，两年平均增长6.1%。其中装备制造业增加值比上年增长12.9%。

在良好的宏观经济条件下，2021年机床工具行业延续2020年下半年以来恢复性增长态势，市场需求持续改善，进出口大幅度增长。机床工具行业运行继续保持向好趋势。

一、行业运行基本情况

协会重点联系企业统计数据反映，2021年1~12月，行业整体运行保持稳定增长，运行效益持续提升。全年总体呈现增速前高后低，分行业间差异逐渐加大的特点。总体来看，各项主要指标整体仍保持在较高水平。

1. 营业收入普遍大幅提升

中国机床工具工业协会重点联系企业2021年1~12月累计完成营业收入同比增长26.2%，增幅比上年扩大23.2个百分点。所有分行业同比增幅均在10%以上。部分分行业营业收入同比变动及增幅情况如表1所示。

表1 2021年1~12月重点联系企业部分分行业营业收入同比情况

分行业名称	同比增长(%)	增幅变动(百分点)
1 金属切削机床	28.9	18.5
2 金属成形机床	20.6	30.0
3 工量具	13.4	14.5
4 磨料磨具	28.7	32.5

图1是2019~2021三年期间重点联系企业营业收入同比增速情况的对比。

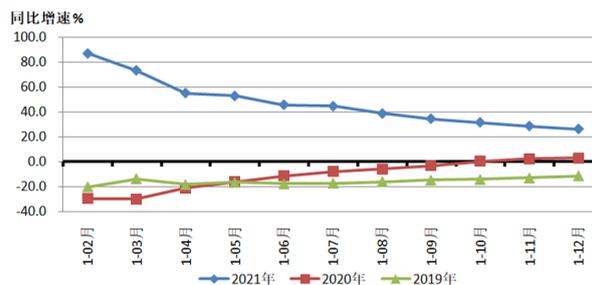


图1 重点联系企业营业收入同比增速情况

由图1可见，2019年机床工具行业还处于下行区间，各月的累计营业收入同比增速均为负值。2020年在年初新冠疫情暴发，在疫情防控迅速见效情况下，从年初同比大幅度下降变为降幅逐月缩小，10月以后的三个月已转为正增长。由于2020年特殊的基数效应，2021年各月累计同比增速则呈现前高后低特点，但至年底仍处于较高的同比增速，表明机床工具行业保持着良好的增长态势。

2. 盈利状况持续改善，亏损面总体上收窄

2021年1~12月，重点联系企业实现利润总额在基数较低情况下，同比增长68.9%，多数分行业实现盈利，机床行业长期以来亏损或利润微薄的情况有所改善。

同期，协会重点联系企业中亏损企业占比为19.8%，比上年同期收窄2.7个百分点。其中，金属切削机床行业亏损面为22.1%，比上年同期收窄8.1个百分点；金属成形机床行业亏损面为28.6%，比上年同期扩大7.1个百分点；工量具行业亏损面为9.1%，比上年同期扩大3.0个百分点；磨料

磨具行业亏损面为18.2%，与上年持平。

3. 金属加工机床产量明显增长

根据国统局网站公布的规模以上企业统计数据，2021年金属加工机床产量情况详见表2。

表2 2021年规模以上企业金属加工机床产量情况

序号	机床类别	产量 (万台)	同比增长 (%)	增幅变动 (百分点)
1	金属切削机床	60.2	29.2	23.2
	其中, 数控金属切削机床	27.0	35.1	18.9
2	金属成形机床	21.0	0.7	9.4
	其中, 数控金属成形机床	2.4	19.9	22.8

图2和图3分别为2019、2020、2021三年金属切削机床和金属成形机床产量同比增速情况的对比。

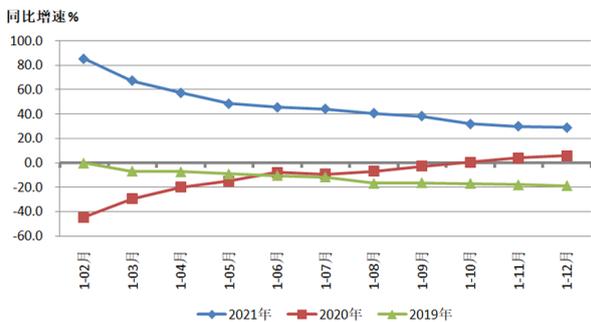


图2 金属切削机床产量同比增速情况

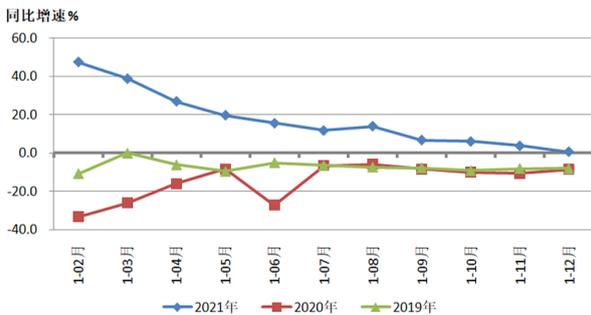


图3 金属成形机床产量同比增速情况

从图2、图3看，金属切削机床和金属成形机床近三年的产量同比增速变化，与营业收入的同比增速变化趋势相似。但相对而言，金属切削机床产量同比增速更强一些。

协会重点联系企业2021年1~12月累计数据显示，金属切削机床产量同比增长21.5%，增幅比上年同期扩大4.8个百分点，其中数控金属切削机床产量同比增长26.1%，增幅比上年同期扩大4.6个百分点；金属成形机床产量同比增长15.6%，增幅比上年同期扩大10.0个百分点，其中数控金属成形机床产量同比增长12.8%，增幅比上年同期扩大

3.8个百分点。

4. 金属加工机床订单同比明显增长

根据协会对重点联系企业金属加工机床订单情况的统计，截至2021年12月，金属切削机床、金属成形机床订单同比情况详见表3。

表3 2021年金属加工机床订单情况

序号	机床类别	订单类别	同比增长 (%)	增幅变动 (百分点)
1	金属切削机床	新增订单	19.0	3.7
		在手订单	3.8	-5.7
2	金属成形机床	新增订单	22.1	0.0
		在手订单	30.2	1.0

从订单情况来看，同比增幅总体上比较显著，特别是金属成形机床更为突出。但金属切削机床在手订单同比增幅较小。2021年11月、12月，表3中各项订单指标连续两个月同比下降，呈现出市场需求减弱迹象。

5. 存货同比有所增长

2021年12月，重点联系企业存货同比增长12.4%。其中，原材料同比增长17.1%，产成品同比增长3.3%。金属加工机床产成品存货同比增长7.9%。其中，金属切削机床同比增长7%，金属成形机床同比增长13.4%。

二、进出口情况

1. 总体情况

2021年我国外贸进出口实现较快增长，规模再创新高，质量稳步提升。机床工具行业进出口全年均保持快速增长，进出口总额再上一个新台阶，其中出口额达到历史新高，比历史次高点的2019年高50多亿美元。

根据中国海关数据，2021年机床工具进出口总体呈现快速增长的态势，进出口总额331.3亿美元，同比增长29.6%，与2019年相比，增长20.3%。其中，进口138.4亿美元，同比增长20.4%，与2019年相比，增长4.1%；出口192.9亿美元，同比增长37.2%，与2019年相比，增长35.5%。

2021年机床工具进出口保持了自2019年6月以来的顺差态势。顺差为54.4亿美元，呈现逐渐增大的趋势。2021年呈现贸易顺差的有磨具磨料（34.5亿美元）、切削刀具（21.6亿美元）、木工机床（23.9亿美元）、金属成形机床（4.5亿美元）、铸造机（0.4亿美元）六个商品领域。

图4和图5分别是机床工具主要产品类别累计进口情况和出口情况。

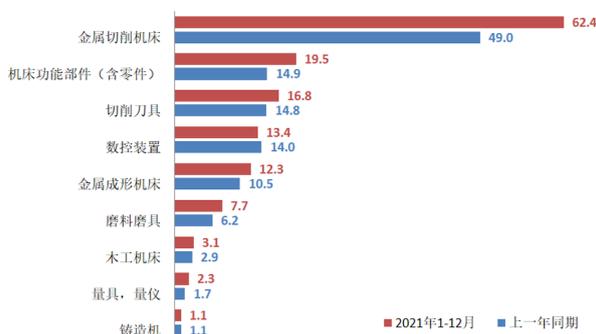


图4 机床工具产品累计进口情况 (亿美元)

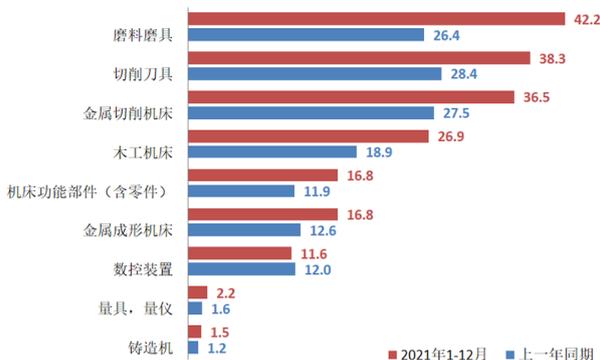


图5 机床工具产品累计出口情况 (亿美元)

由图4、图5可见,金属切削机床仍是2021年进口额最大的产品门类,出口也有大幅度增长。金属成形机床出口继续快速增长,并且顺差继续扩大。

磨料磨具是出口额最大且出口增速最快的产品门类,出口额42.2亿美元,同比增速59.6%。其次是切削刀具,出口额38.3亿美元,同比增速35.2%。

2. 金属加工机床进出口情况

2021年1~12月金属加工机床进出口同比均呈较大幅度增长趋势,但增幅比1~9月有所收窄。

2021年1~12月金属加工机床进口额74.6亿美元,同比增长25.4%,增幅较1~9月收窄2.1个百分点。其中,金属切削机床进口额62.4亿美元,同比增长27.3%,增幅较1~9月收窄1.7个百分点;金属成形机床进口额12.3亿美元,同比增长16.5%,增幅较1~9月收窄3.7个百分点。

2021年1~12月金属加工机床出口额53.2亿美元,同比增长32.7%,增幅较1~9月收窄2.6个百分点。其中,金属切削机床出口额36.5亿美元,同比增长32.7%,增幅较1~9月收窄1.4个百分点;金属成形机床出口额16.8亿美元,同比增长32.6%,增幅较1~9月收窄5.3个百分点。

在贸易差额上,金属切削机床仍有较大逆差,逆差额为25.9亿美元,金属成形机床为顺差4.5亿美元,金属加工机床总计逆差为21.4亿美元。

(1) 金属加工机床进口来源前十位的国家和地区

2021年1~12月金属加工机床进口来源前十位的国家和

地区,进口金额合计占比为93.6%。其中,日本、德国和中国台湾依次占居前三位,三者金额合计占比高达70%以上(详见表4)。

进口来源前十的国家和地区,除新加坡之外,同比均呈增长的态势,泰国同比增长最高(185.9%)。其中,从日本进口额同比增长32.7%,增幅较1~9月收窄10.5个百分点。从德国进口额同比增长10.8%,增幅较1~9月扩大8.8个百分点。

表4 2021年1~12月金属加工机床进口来源前十位的国家和地区

排序	国别 (地区)	进口金额 (亿美元)	同比 (%)	占比 (%)
1	日本	28.8	32.7	38.6
2	德国	15.2	10.8	20.4
3	中国台湾	8.7	27.5	11.7
4	韩国	4.3	56.8	5.8
5	瑞士	4.2	16.1	5.6
6	意大利	3.1	9.3	4.2
7	新加坡	1.7	-0.8	2.3
8	美国	1.5	5.9	2.0
9	奥地利	1.3	31.0	1.7
10	泰国	1.0	185.9	1.4

(2) 金属加工机床出口去向前十位的国家和地区

2021年1~12月金属加工机床出口去向前十位的国家,出口额合计占比为51.4%。其中,越南、美国和印度依次占居前三位,三者合计占比22.7%(详见表5)。

出口去向前十的国家和地区,除越南之外,同比均呈增长的态势,出口墨西哥金额同比增长最高(68.4%)。其中,出口美国金额同比增长28.7%,增幅较1~9月份收窄4.5个百分点。出口印度金额同比增长55.2%,增幅较1~9月份收窄8.8个百分点。

表5 2021年1~12月金属加工机床出口去向前十位的国家和地区

排序	国别 (地区)	进口金额 (亿美元)	同比 (%)	占比 (%)
1	越南	4.3	-3.4	8.0
2	美国	4.0	28.7	7.4
3	印度	3.8	55.2	7.2
4	俄罗斯联邦	3.3	50.0	6.2
5	韩国	2.5	27.5	4.7
6	泰国	2.0	31.3	3.8
7	德国	2.0	40.7	3.8
8	日本	1.9	35.2	3.5
9	土耳其	1.8	50.4	3.3
10	墨西哥	1.7	68.4	3.3

(3) 进口金额排前五位的金属加工机床品种

2021年1~12月进口前五位品种的进口金额合计占比达77.2%,同比均明显增长。其中前三种比较集中,合计进口金额占比达64.5%。加工中心进口金额同比增长幅度最大,为43.9%,占比也最大,为35.7%(详见表6)。

表6 2021年1~12月进口金额前五位的金属加工机床品种

排序	金属加工机床品种	进口金额(亿美元)	同比(%)	占比(%)
1	加工中心	26.7	43.9	35.7
2	特种加工机床	12.3	23.4	16.5
3	磨床	9.2	14.8	12.3
4	车床	6.2	24.3	8.3
5	锻造或冲压机床	3.3	11.4	4.5

(4) 出口金额排前五位的金属加工机床品种

2021年1~12月出口前五位的品种出口金额合计占比达61.0%,五个品种出口金额的同比增长率均超过30%。其中特种加工机床出口金额占比最大,为30.9%,车床的出口金额同比增长率最高,为40.1%(详见表7)。

表7 2021年1~12月出口金额前五位的金属加工机床品种

排序	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	16.5	31.8	30.9
2	车床	5.3	40.1	9.9
3	成形折弯机	4.2	32.9	7.9
4	其他成形机床	3.6	32.9	6.8
5	加工中心	2.9	38.8	5.5

三、全年行业运行特点

1. 主要经济指标前高后低,但仍保持高位增长

得益于我国疫情防控和经济发展良好局面,2021年我国机床工具行业延续了2020年下半年以来的回稳向好趋势。受上年基数影响,营业收入等主要经济指标同比增速前高后低,但全年同比增速仍处高位。同时,2021年机床工具各分行业的增长也比较均衡,各行业普遍实现了明显增长。行业近十年来的下行走势有望扭转。

2. 下半年出现增长势头减弱迹象

2021年下半年以来,不利因素增多,多地出现疫情反复和自然灾害,部分地区拉闸限电,对市场需求和行业运行造成不利影响。原材料价格持续居高不下,对行业成本造成很大压力。重点联系企业的新增订单和在手订单的同比增速回落加快,多个分行业利润增速降至低于收入增速,行业增长势头有所减弱。

3. 进出口增长显著,贸易顺差继续扩大

2021年机床工具进出口双双快速增长,并且出口增幅接近进口增幅的两倍。2021年的贸易顺差比2020年扩大一倍以上。金属加工机床的出口增幅大于进口增幅。

四、形势研判与展望

1. 有利因素

(1) 2021年底召开的中央经济工作会议显示,稳增长

将是2022年的突出任务。年初以来,国家及各地稳增长措施已纷纷出台落地。2022年是“十四五”规划实施第二年,并将召开党的二十大。可以预期政策层面推动经济增长的力度将超过常年。

(2) 党中央、国务院及相关部委就稳增长、保市场主体陆续出台新的政策措施。减税降费和信贷融资支持力度更大,企业尤其是中小企业营商环境将得到越来越多的重视和改善。

(3) 宏观经济指标对行业发展比较有利。2021年全国完成固定资产投资(不含农户)544547亿元,比上年增长4.9%,增速比上年提高2.0个百分点。第二产业投资167395亿元,比上年增长11.3%。制造业投资比上年增长13.5%。制造业采购经理指数PMI在2021年9、10两月低于荣枯线后,已连续三个月在荣枯线以上。2022年1月PMI为50.1%,保持在扩张区间。

(4) 目前行业运行基础较好。2021年行业全年主要经济指标实现了较大幅度的增长,在8、9月份出现一定波动后,四季度已经恢复增长态势,为2022年打下了良好基础。从协会近期对部分行业骨干企业的调查来看,各企业2022年1月延续了2021年增长态势,营业收入和利润等经济指标比去年同期有一定的增长,多数企业对2022年企业运行持乐观态度。

2. 不利因素

(1) 中央经济工作会议指出,当前我国经济发展正面临需求收缩、供给冲击、预期转弱三重压力。

(2) 新冠疫情持续反弹,影响企业运营。国内新一轮疫情虽然得到有效控制,但在目前的疫情管控态势下,对企业经营及商务活动还有一定影响。国外疫情的严峻形势制约了企业开拓海外市场。

(3) 原材料价格持续居于高位,存货增长明显,加剧企业资金紧张,挤压企业利润空间。2020年10月起国内工业基础原材料全面上涨,产品价格涨幅,无法抵消原材料成本快速上涨的压力,严重影响企业效益。

(4) 国际供应链日趋紧张,经营风险加大。机床行业的供应链呈国际化分布且构成较为复杂。受国际政治和新冠疫情影响,关键技术的封锁限制情况时有发生,海外生产运输受阻,关键配套件采购周期加长,企业经营风险加大。

3. 对2022年行业形势的预判

综合考虑各种有利与不利因素,预计2022年我国机床工具行业运行继续呈恢复调整态势。但因2021年基数较高,2022年全年营业收入等主要指标可能与2021年持平或略有增长。希望行业企业着眼高质量发展,着力解决转型升级中的深层次问题,争取在2022年取得更大发展。□

制造技术发展趋势及CCMT2022展会看点

中国机床工具工业协会

第十二届中国数控机床展览会（CCMT2022）将于2022年4月11~15日在上海新国际博览中心举办。

根据展商申报和展会筹备情况看，本届展会规模大，展品技术先进，技术讲座、交流会、论坛等配套活动丰富多样，精彩纷呈。展出面积12万平方米，来自世界24个国家和地区的1300多家机床工具企业将在CCMT2022展会上同台竞技，众多境内外知名企业将闪亮登场，成为展会关注焦点。

展会主题“聚焦——数字·互联·智造”，反映了当今世界工业变革的方向，贴合机床工具行业技术发展趋势。围绕这个富有时代感的展会主题，参展商组织众多精彩展品，展示机床工具行业在数字化、互联互通、智能制造方面所取得的最新成果，帮助我们开阔视野，增长知识，启迪思路。

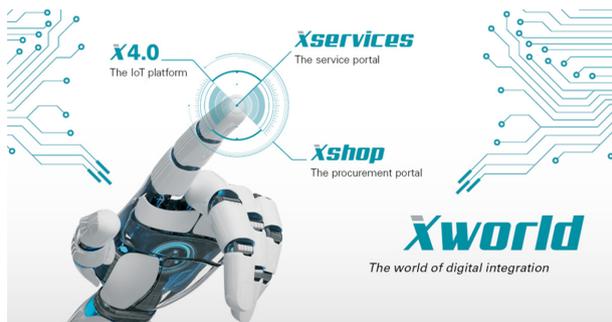
本文基于展商提供的展品信息，结合机床工具技术发展趋势，梳理汇总了本届展会六大看点，供广大观众观展参考。

一、数字化制造技术加速发展

数字化、网络化制造技术可以提高生产力、减少故障的发生、提高生产效率，在近些年得到快速发展。越来越多的工业领域的生产方法正在转向数字化。世界知名的机床工具制造企业、专业的软件开发公司纷纷按照各自对于数字化、网络化制造的理解，推出有自己特色的数字化、网络化制造解决方案，亮相本届展会。

Index公司的数字化集成方案iXworld是一个基于云的平台，包含了iX4.0物联网平台、iXservice数字化服务门户、iXshop数字化采购门户。其中iX4.0物联网平台能够

集成企业的加工设备，通过iX4.0 Apps实现机床管理、绩效管理 and 状态监控。



Heller公司的Heller4Industry由Heller4Operation、Heller4Services、Heller4Performance三个模块构成。其中Heller4Operation为用户界面，实现刀具和工件的快捷、稳定而简便的装卸操作。Heller4Services汇总了Heller的数字化服务，通过可视化显示机床状态的特定信息，如运动轴、主轴或其他组件的状态显示来确定磨损状态，引入预防计划外停机的措施，减少机床故障时间。Heller4Performance工艺流程和性能优化分析，将实时数据同步传输至互联网并通过外部云平台进行评估和展示。

Emag的EDNA数字化系统，包括EDNA IoT Core、EDNA Cortex、EDNA Data Apps、EDNA Lifeline Dashboards、EDNA Health Check等5个模块，实现机床联网，机床数据收集、处理和分析，加工过程可视化，机床状态监控和预测性维护保养。

Grob公司的数字化制造系统，GROB-NET4Industry有GROB4Line、GROB4Analyze、GROB4Simulate、GROB4Coach、GROB4Interface、GROB4Connect、

GROB4Pilot、GROB4Automation、GROB4Track、GROB4Care、GROB4Portal、GROB4Optimization-MSP等10多个模块，实现从生产规划、复杂编程、加工仿真、设备监控与分析、加工过程可视化到维修保养的全方位数字化解决方案。



Hermle公司的数字化解决方案由Digital Production、Digital Operation及Digital Service模块组成，为客户提供智能订单管理及透明生产流程、智能机床调节、无纸化制造、完善技术周期和远程或预防性维护数字化服务。其中Digital Production模块中的订单智能管理（HACS）预先计算运行时间及刀具使用，直观分配数控程序，定义订单的工件计数、订单优先级及计划，流程规划动态变更；中央监控工具（HIMS）监视机床实时状态，机床历史状态评估；刀具管理（HOTS、HTMC）计算提取刀库中的刀具几何尺寸，优化刀库占用情况。



C.O.R.E.是联合磨削（United Grinding）集团新推出的一个集成化机床操作系统。它不仅赋予联合磨削集团各个品牌机床统一的操作界面，还可实现标准化的数据采集、智能化的数据处理，使用现代物联网和数据应用程序，与第三方系统进行数据交换。未来，联合磨削集团将在C.O.R.E.这些基本功能基础上，持续增加数字化技术功能。

DMG Mori的基于CELOS平台的集成数字化制造解决方案，涵盖了规划、生产、监控、服务四个阶段。通过集成在CELOS平台中的CAD/CAM软件、仿真程序、数字化

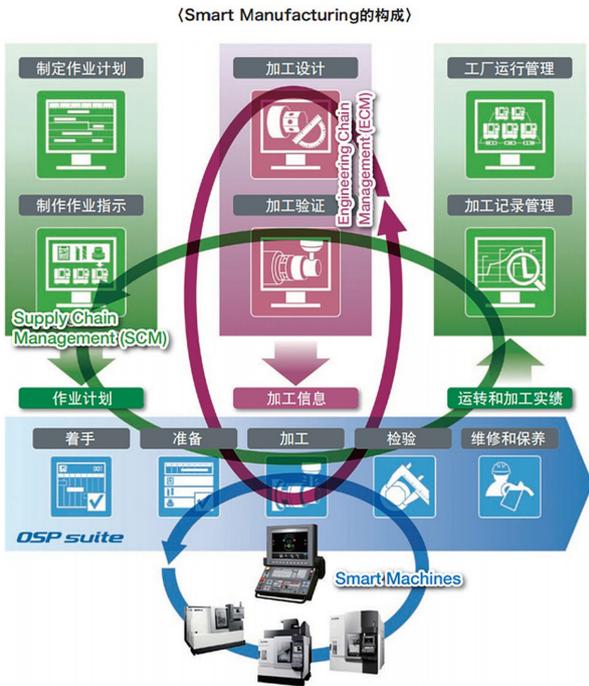
工具软件以及加工、监控、通讯等27个应用程序，实现产品从编程、生产到售后服务的数字化制造解决方案。

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

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



Okuma的数字化工厂（Okuma Smart Factory）由 Smart Manufacturing（智能化制造）和 Smart Machines（智能化机床）构成。按照确定时间生产所需产品的机制，整合供应链管理和工程链管理的功能，向制造链下发作业计划和加工信息，并通过可视化监控管理工厂的运行情况，最大限度发挥工厂的制造能力，实现多品种、短交期，以及灵活应对需求变动，高生产效率的生产。



上海航天壹亘智能科技有限公司 iMCS智能总控系统，通过智能采集与互联、设备控制、大数据深度学习以及数字双胞胎等技术，实现对车间生产过程的管控，包括生产执行监控、生产资源管理、生产过程分析、生产过程仿真、智能排产、自适应调度、状态监控、质量预测、加工优化、智能决策等功能，达到提升加工效率、降低制造成本、提高产品质量及提升管理水平的目的。



www.cmtba.org.cn

苏州屹高自控设备有限公司的机床数据监控模块，通过4G通讯模块实时采集机床状态数据，上传到云服务器，后台软件对这些数据进行分析处理，实现机床运行状态的可视化监控，对机床故障、运行数据进行分析，便于提高加工效率。

智能云产品架构



在机床上面安装智能云数据采集器，采集器自带4G通讯模块，采集数据实时上传云服务器，通过后台大数据处理分析，客户通过电脑浏览器网页访问或者小程序实时查看机床状态及数据分析。

平台功能介绍

- 全厂总览
- 效率排行
- 异常分析
- 车间班次
- 机床管理



1. 点击想要查看的单机机床可以通过筛选时间段查看机床状态时间、状态比例、时间轴、产品效率。
2. 产品效率可以通过绿线折线图反映出工件工时。

南京诚达工业互联网有限公司的CNC数据采集系统 Cylink_MDA，支持多种数控系统的数据采集，数据实时上传云端，为设备运行状态的可视化监控、故障诊断和异常排查提供服务。



上海微茗智能科技有限公司展出的车间协同智能管理系统，以设备物联为基础，实时数据采集，基于人、机、料、法、环、测相关数据实现业务协同交互，实现数字化管理。基于云服务器，利用云技术软件架构，通过微茗IoT数据采集产品(S2或MT Pad)、轻量化MES生产制造管理系统，实现车间数字化、智能化生产。产品以边缘计算及软件服务(SAAS)应用层为核心，聚焦机床行业，专注金属加工多品种小批量、少品种大批量、单件流的生产应用场景，通过标准化、轻量化的应用App，MT Pad、S2硬件等产品实现中小微企业的生产管理信息化转型升级。



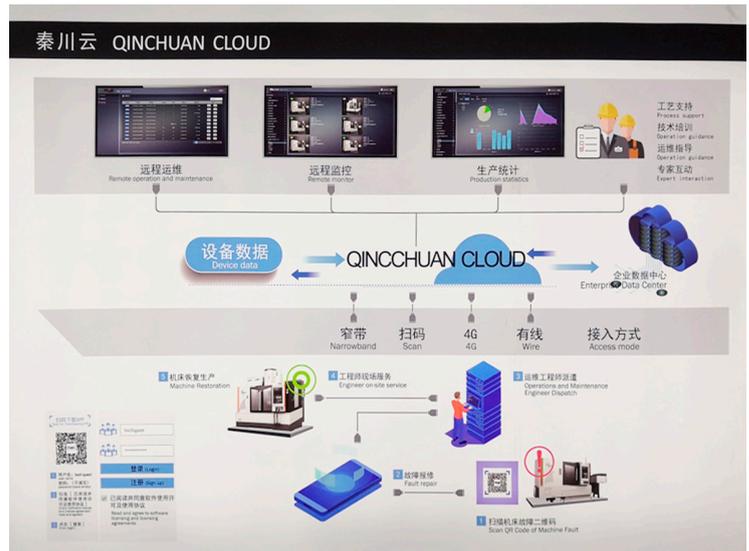
深圳吉兰丁智能科技有限公司展出的数据应用解决方案，实时采集制造过程中机床设备、刀具、加工件品质等核心关键数据，并基于数据进行建模形成相应的控制软件，实时反馈调整，对加工参数进行优化，从而提升加工效率和加工质量，降低生产成本。



台州屹捷的“基于数字孪生的智能制造工厂平台”，具有信息采集、智能决策、可视化监测以及远程故障分析、设备管理等功能。通过嵌入设备中的传感器和数据采集系统，采集和感知设备的生产状态；分析系统对采集的设备信息进行分析，洞察设备实时状态并做出相应决策。



秦川机床、武重、上海机床、福建嘉泰、宁波海天、格力智能等诸多机床制造企业都在开展数字化制造技术的研究。



上机SOMS 机床智能运维服务

基于物联网的机床SOMS云平台，根据大数据分析结果持续改善单机、产线运行质量，帮助机床用户掌控设备运行信息，提前预测设备健康状态，对设备健康问题在线诊断，提高设备运行效率及加工质量。

- SDS服务调度系统**
包括单号、状态、公司名称、设备位置、故障信息、派工信息等信息的增值服务
- TPM设备全生命周期管理**
通过IoT设备，将机床设备连接到平台，企业可通过平台，对设备进行运行管理：机床实时状态监控，计划维修，备件管理，统计分析
- PMS生产管理**
生产看板，排产管理，质量管理，进度管理，人员管理，设备管理，物流管理
- 账户管理**
各企业可根据自己独立的账户，登录企业专属的管理界面



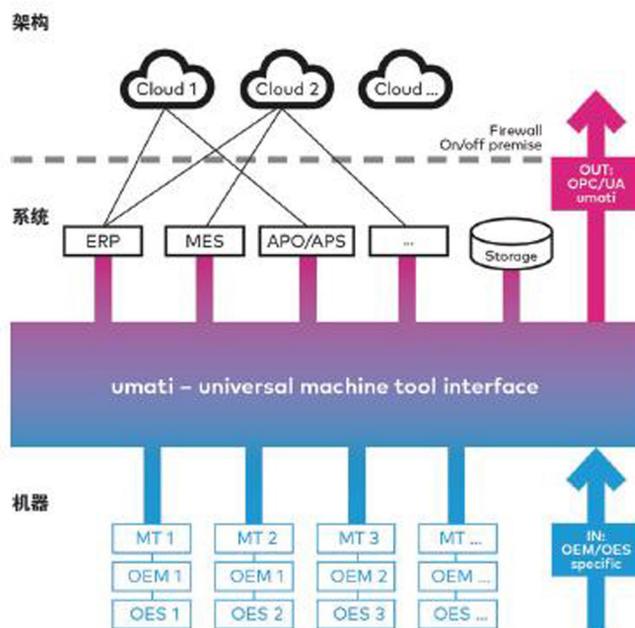


网络化是实现数字化制造的基础。前面介绍机床制造企业的数字化制造解决方案，基本上是基于企业自身机床产品提出的，因此这些设备网络化实现比较方便。但是对于机床用户来说，拥有的制造设备来自不同的机床企业，采用不同的数控系统，数据格式各不相同，要实现网络化就非常繁杂，成本也高。统一定义信息格式，采用开放的、标准化的接口，保障数据在各种制造设备之间顺畅地互联互通，简化制造设备与用户IT基础设施的连接并降低其费用，减轻人力资源负担、提高项目实施速度和降低成本，对于实现智能制造也是至关重要的。

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

美国制造技术协会（AMT）牵头研制的的数据交换标准协议MTConnect，用于数控机床、PLC、工业机器人、测量设备在内的数控设备之间的数据交换。在本届展会上，AMT将展示一套基于MTConnect互联互通协议（标准）的“AMT会员公司智能制造虚拟工厂”。

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



UMATI基于OPC 统一构架（UA），可便捷安全地把机床和设备无缝连接到客户端或用户端的IT生态系统中去，用于机床与生产环境内外围的IT系统的连接。

二、智能技术日益成为高端装备的标志

制造业正面临着越来越多的挑战，深受产品多样化、产品寿命周期短、人口老龄化、劳动力短缺等问题的困扰。智能制造成为了迎接这些挑战的一个必然选择。智能机床则是实现智能制造的基础。

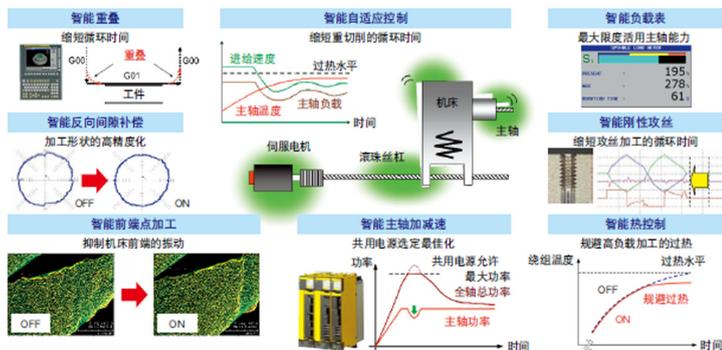
智能机床能够将环境、加工对象、机床设备的温度、负载、位置变化，通过传感器和计算机技术进行识别、分析、判断，并做出相适应的调整、优化、补偿、预测、提示、建议、报警，从而提高加工精度、产品质量、生产效率、效能、安全性。

智能化技术构成了数控机床产品竞争力的新的重要因素，已经成为高端数控机床的标志。

当前，世界领先的机床制造厂商都在大力研发智能机床产品。他们近年来取得的众多成果将在本届展会得到充分展现。如通过监测速度、加速度、负载、功率、振动等信息的变化，优化切削参数，抑制振动，提高加工效率；通过热变形补偿和控制、机床空间精度测量和补偿等，提高加工精度；通过虚拟仿真，防止刀具、工件和部件相互间的碰撞和干涉，保障机床运行安全；改善人机界面，扩大数控系统的功能，提高宜人性，实现辅助加工和管理功能。

北京Fanuc展出的Oi-F Plus数控系统，搭载了新的数

字控制和智能伺服技术，根据温度和负载的变化，智能优化控制；高效加工技术，缩短循环时间；表面精细处理技术，实现高品质加工；通过预防维护，防止机床突然停机。同时展出的31i-MODEL B Plus搭载了发那科最新的数字控制技术和智能伺服技术；具有智能重叠、智能自适应控制、智能主轴加减速、智能热控制等智能功能，机器人快捷连接（CNC-QSSR）功能。可以根据用途制作机床软件包（每个加工阶段的功能群），以及组件（每个机床结构的功能群）。全新设计的iHMI界面，宜人易用，加工现场“计划”、“加工”、“完善”各个阶段所需的功能集中到“Home”页面上，如刀具信息管理、加工时间预测等，还支持丰富的现场网络，方便实现设备联网。



Siemens公司展出Sinumerick 808D、Sinumerick828D以及Sinumerick one数控系统。其Top Speed功能，能够显著提升机床的加工速度；Top Surface（臻优曲面）功能可提升表面加工质量；DYNPREC（动态精度）功能提高加工精度；智能负荷控制（ILC）和智能动态控制（IDC）功能用于改善机床的动态性能。

Sinumerick ONE是西门子新一代数字化原生数控系统。NC性能和PLC性能表现更为强劲，结合创新的功能将进一步提高机床的加工速度、加工精度和表面质量。Sinumerick ONE提供的数字化双胞胎，可帮助机床制造商和机床用户改变工作流程，降低新产品开发的费用和

风险，缩短上市时间，助力机床的数字化转型。

Heidenhain的TNC 640数控系统的动态高效（Dynamic Efficiency）功能，将主动振颤控制（ACC）、自适应进给控制（AFC）、摆线铣、优化轮廓铣（OCM）四个功能集成在一起，能最大限度地发挥机床和刀具潜能，同时减轻机械负载，提高加工效率。实际应用中，材料切除速度可提高20%~25%。

TNC 640的动态碰撞监测（DCM）功能，能在碰撞即将发生之前，停止机床运动，并发出警报信息，从而提高操作人员和加工设备的安全性。

华中数控智能数控系统iNC，搭载了AI芯片，通过采集数控系统内部电控数据、插补数据，以及温度、振动、视觉传感器的数据，应用大数据智能技术，获得智能化控制知识，并根据实时工况和状态信息，优化加工参数，提高加工效率和加工质量。

Mazak公司展出的Variaxis i-800 NEO高速、高精度立式五轴加工中心，一次装夹，可实现多面铣削加工，应用先进的刀具和高速加工技术，大幅减少加工时间。配置Mazatrol Smooth Ai，具有多项增强智能功能。如Solid Mazatrol利用3D CAD数据和增强人工智能加工工艺选择来优化加工程序，提高加工效率；Smooth Ai Spindle主动检测主轴的振动型号，应用人工智能技术优化切削参数，提高表面质量；Ai Thermal Shield检测温度变化，应用人工智能学习算法，对热位移进行补偿，保证稳定的加工精度。另外，Mazatrol Smooth Ai还具有数字双胞胎虚拟仿真、生产项目管理等功能。



Okuma公司的智能化技术，规则热变形控制技术（Thermo-Friendly）、几何误差测量补偿技术（5-Axis Auto Tuning System）、伺服导航技术（Servonavi）、防撞技术（Collision Avoidance System）、加工参数优化技术（Machining Navi）。其中规则热变形控制技术、

几何误差测量补偿技术、伺服导航技术三项功能主要用来提高和保持机床的精度；防碰撞技术用以保障机床设备的安全，加工参数优化技术用以优化切削参数，提高机床的加工效率。

Hermle公司展出的C42 U五轴联动加工中心，配置有多项智能技术，ACC（Active Chatter Control）振颤抑制、AFC（Adaptive Feed Control）自适应进给、AVD（Active Vibration damping）阻尼减振、CTC（Cross Talk Compensation）（刀具中心点偏移补偿）、LAC（Load Adaptive Control）负载自适应控制。

其中，ACC（振颤抑制）技术能够根据主轴转速和刀片的数量计算补偿值，减少或消除由于切削引起的振颤，从而可以使用更高的进给速度、更大的进给量，延长刀具寿命，提高生产效率，降低成本。AFC（自适应进给）技术能够根据主轴功率优化进给速度，提高加工效率和可靠性。AVD（阻尼减振）技术能够补偿由于突然加减速引起机床振动而导致的刀具中心点的精度变化，提高表面质量、加工精度、进给速度和加工效率。

CTC（刀具中心点偏移补偿）技术能够补偿由于惯性和结构弹性导致的轴加减速时产生的刀具中心点偏移，从而提高轮廓准确度、加工精度、进给速度和加工效率。

LAC（负载自适应控制）技术能够根据工件的重量自动调整旋转轴的参数设置，从而获得更优的动态特性，提高加工精度、表面质量。

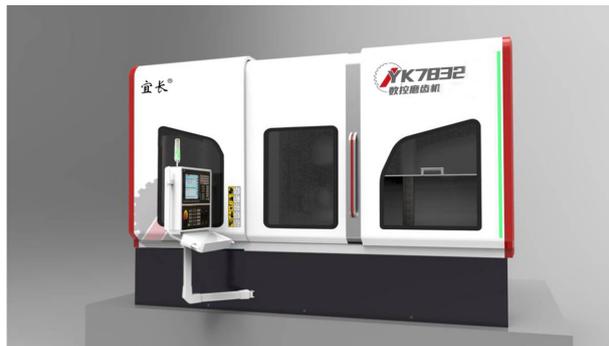
秦川机床智能数控丝杠磨床SK7432×15GX，具有自动夹紧、自动对刀、自动测量工件中径和锥度、自动中心架、智能检测等功能，配备智慧磨削软件，通过人机交互方式灵活方便地实现各种砂轮形状的修整和不同工件的磨削。建立机床精度分析模型，采用运动精度预估、几何精度误差补偿以及热变形补偿等技术，提升设备加工精度。

迪能激光展出的D-Soar Plus-G高功率高速光纤激光切割机，具有主动防御系统，防碰撞保护，行程智能控制和智能报警功能。定制开发的总线控制系统，集成了高效套料、智能排版软件，还可以扩展对接机械手、折弯、焊接等系统配套设备，也可升级扩展对接生产管理MES系统及ERP系统。



www.cmtba.org.cn

宜昌长机展出的YK7832数控强力齿条磨齿机，六轴三联动，具有砂轮与齿条自动对刀、齿条磨齿余量自动均匀分配、砂轮自动修整及动平衡、直线导轨抑制振动、AE防碰撞保护等功能；配置有恒温、大流量冷却装置，热变形小，精度高。

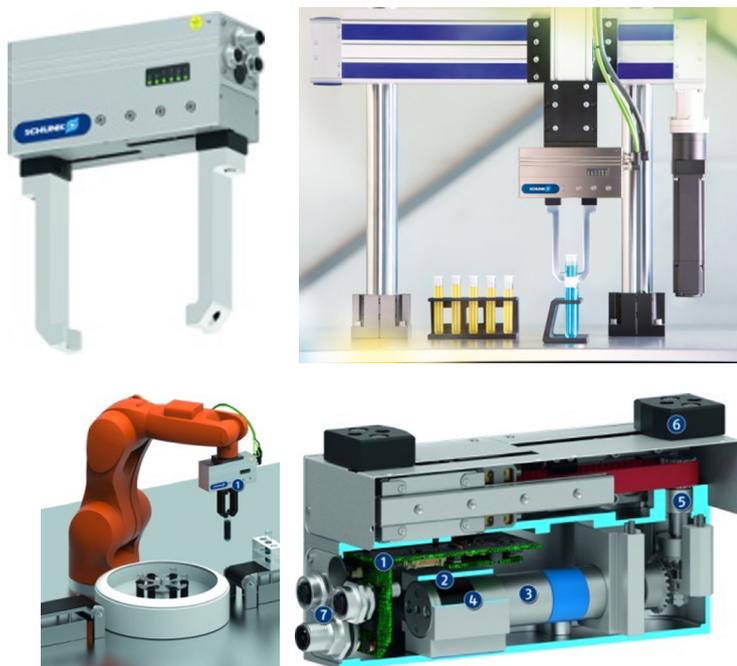


机器人控制技术对于智能制造来说是必不可少的重要组成部分。因此机器人的视觉以及抓取力的控制技术引人关注。莱尼特种电缆（中国）有限公司展示集成了传感器的智能测量和视觉解决方案，包括机器人引导、部件识别、缺陷测试和装配检测。其下架系统、夹具和零件定位校正解决方案，通过电子零件校准系统指导机器人，然后通过集成在夹具中的激光或红外传感器，对零件位置进行6D校准（平移和旋转），自动调整抓取位置。



雄克公司展出的EGI智能机械手，行程可自由编程，适用于抓取多种工件，抓取力可调，可精密抓取对力敏感的工件。控制和电子元件全部集成在机械手内部，无需外部控制器，具有智能、可靠、高灵活性的特点。

2022年第1期·WMEM | 49



雄克展出的iTENDO2智能刀柄，配有传感器、蓄电池和传输单元，能够监测刀具的振动，实时将数据发送给监控系统，在切削刃或刀具状态发生变化时，借助闭环反馈控制实时做出反应，从而避免工件或刀具受损。iTENDO2智能刀柄规格为HSK-A 63，可与雄克标准刀柄互换，操作便捷，无需花费时间重新进行系统编程。与上一代智能刀柄产品相比，iTENDO2最高转速可达30000r/min。

上银科技展出的i4.0BS智慧丝杠具有寿命预诊、智能润滑、温度提醒、振动提醒功能，通过专用传感器并搭配专家算法，能有效监测滚珠丝杠效能。操作人员藉由手机或显示器能得知滚珠丝杠的寿命状态、温升值、振动量、最佳润滑时间，以维持加工质量与效率。



三、软件技术丰富和完善机床功能

提高数控机床的性能，硬件一直是行业研究的焦点。随着数字技术的发展，以及用户加工需求日益复杂，软件技术成为丰富和完善数控机床功能的关键。包括CAD/CAM软件、控制软件、仿真软件、检测软件、补偿软件、管理软件等，对于数控机床性能的发挥，功能的完善影响很大。软件展品也成为用户和行业关注的焦点之一，包括随机配置的软件。

北京新吉泰软件有限公司展出数控加工仿真软件VERICUT 9.2、车铣复合编程软件GibbsCAM 2022、五轴编程软件Cimatron 16。其中，VERICUT包含多个模块，可以仿真数控车床、铣床、加工中心、车铣复合、多轴复杂机床、线切割、放电加工等多种加工设备的数控加工过程，还可以进行NC程序优化、缩短加工时间、延长刀具寿命、改进表面质量，检查过切、欠切，防止机床碰撞、超行程等错误，为数控加工制造提供完善的解决方案。

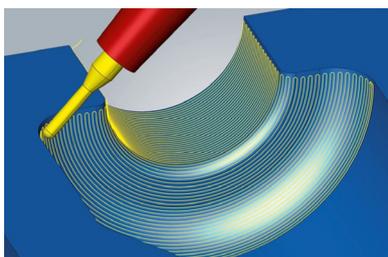
欧特克软件（中国）有限公司（Autodesk）将通过两个样件，来演示Autodesk PowerShape的实体造型和独特的包裹功能、PowerMill软件的五轴编程功能；以及Autodesk Netfabb 3D打印软件应用拓扑优化与晶格优化相结合方式实现轻量化设计。

其新推出的PowerMill 2022自动编程软件，新增了多项功能。如NC程序和刀具路径的后台检查功能，以节省加工时间；增强的投影精加工功能，可简化平面、直线和点投影精加工刀具路径的创建；等高倒扣面加工功能，通过使用具有改进的碰撞回避功能的等高精加工，简化对包含倒扣面的零件的加工；可用于四轴和旋转刀具路径的自动碰撞回避功能，提高安全性；改进刀具路径限制，提高加工品质等。

美国CNC Software的Mastercam 2022，新增了“使用溢出UV创建和控制流线”、“3D高速等高刀路增强”、“自动选择加工、空切范围和避让范围”、“使用车铣复合中心架”等功能，简化复杂曲面建模、优化等高刀路切削顺序、丰富软件加工策略、优化NC程序，编程简单快捷，提高加工效率和安全性。

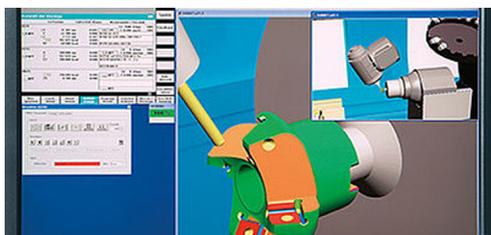
Openmind软件技术公司的HyperMill CAM软件，完全整合在hyperCAD和SolidWorks中，避免了从CAD到CAM的数据文件转换和传递，包含了两轴半、三轴和五轴轴铣削以及车铣，以及高速切削（HSC）、高性能切削（HPC）等加工操作的模块。其最具特色的五轴联动加工策略，可实现外形复杂工件的连续加工，通过固定曲面、

曲线的操作，使编程更容易，降低刀具破损风险，减少刀具振动。最新版本HyperMill 2022.1，增加了五轴径向加工、五轴弯管精加工、增材制造、车床正副主轴零件对接等多项功能。



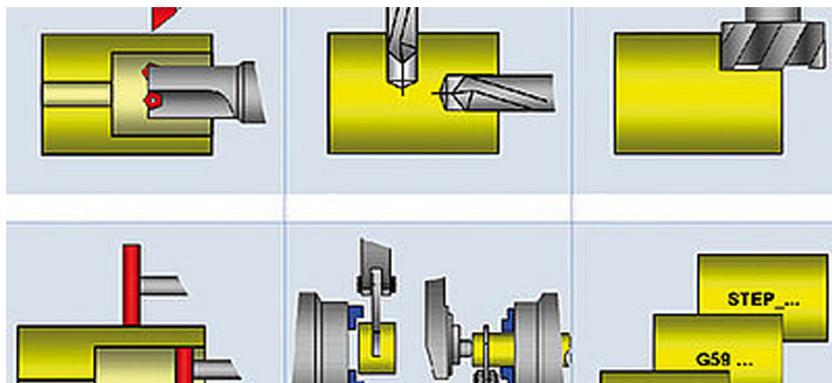
博力加软件（上海）有限公司展出的PolyWorks|Inspector™ 3D尺寸分析和质量控制软件，具有参数数据处理能力、认证的数学算法，以及综合的视觉、听觉反馈功能，控制工具或零件尺寸，判断和避免制造及装配问题。通过实时测量指导装配，并经由使用便携式测量设备和三坐标测量机监督装配产品的质量。同时展出的PolyWorks|DataLoop™ 数字化管理解决方案，可在整个企业内共享3D测量数据和结果，进一步帮助企业进行数字化转型。

Index公司VirtualLine虚拟机床软件解决方案，基于西门子软件原有数据、Index控制系统和机床几何数据而开发，包含了Index机床全部功能，并进行精确的加工模拟，缩短换装时间、优化加工程序、避免碰撞风险，还可以用于教育和培训。

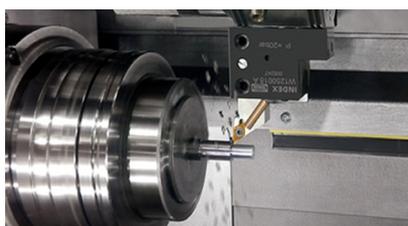


Index的编程辅助工具VirtualPro，通过大量功能强大的输入界面，可编程进程和几何功能，将

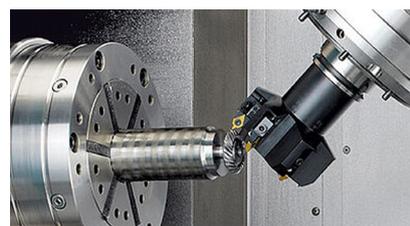
编程变得异常简单，操作人员能够方便、快捷地获得所希望的工件程序。



此外，Index还有滚铣、锥齿轮加工、滚刀剥离和成形插削、断屑、雕刻、螺旋轮廓铣和摆线铣、流线铣等工艺技术软件包可供选配，丰富机床的功能。



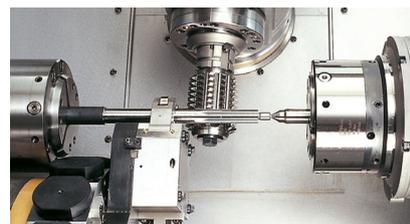
(断屑)



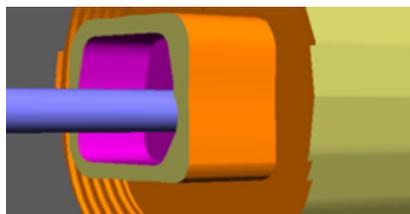
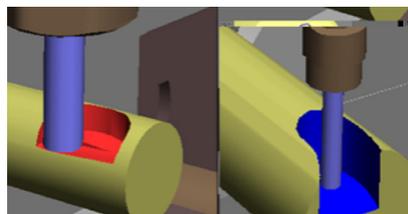
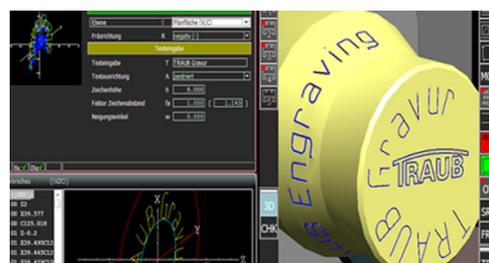
(锥齿轮加工)



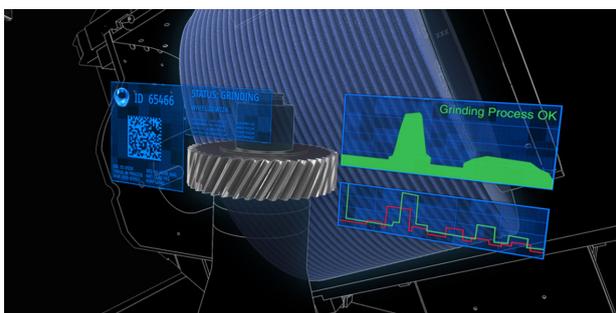
(滚铣)



(插铣)

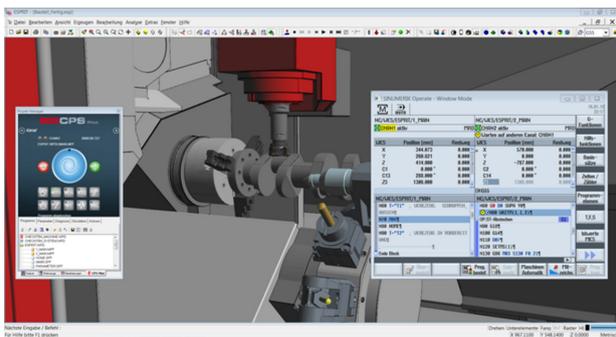
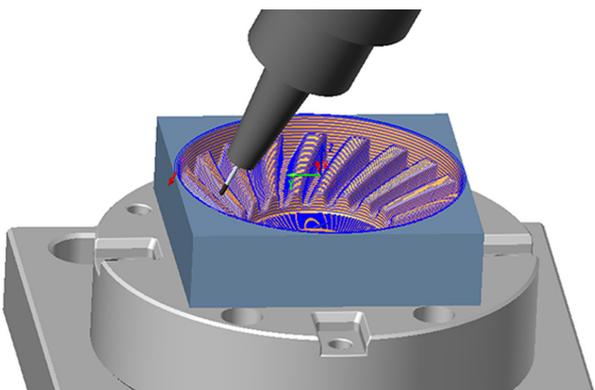


Reishauer公司的Argus过程和组件监控系统，通过过程监控（APM）和组件监控（ACM）两个模块，对磨削和修整过程以及机床关键部件进行测量和监控，优化加工流程，自动识别并剔除不合格工件，及早发现机床的问题，根据诊断和计划相结合安排维修维护，减少意外停机。



EMCO集团CPS Pilot是安装在电脑里的EMCO虚拟机床，操作人员可以通过这个虚拟机床对加工程序进行规划、创建、模拟和修改，达到优化加工程序和培训操作人员的目的，而无需占用机床。

北京精雕的JDGR50精密高速五轴加工中心，搭载了其自主开发的专用五轴联动加工CAM软件Surmill，具有多种五轴编程策略，满足多场景五轴编程需要，支持多种格式文件，可以实现加工过程的数字化仿真，辅助优化工艺要素，提升工艺过程安全性。



大族粤铭展出的全自动光纤激光切管机HyTube6522，配置专业管材切割编程软件，可实现全时切割、高效切割，配有完整的切割工艺参数库，并且备有人性化的参数界面，根据管材类型实现“一键式设定”加工工艺。还可选配管材界面自动识别系统，实现多种管材混合上料，自动提示管材类型，自动调取工艺库，提示可供选择的加工程序。

52 | WMEM · 2022年第1期



秦川机床展出的YK7336数控成形砂轮磨齿机，配置有自主开发的成形砂轮截形计算软件、误差分析和误差调整软件等一系列软件包。这些软件包涵盖了标准齿轮、齿形和齿向任意形状修形、齿顶和齿根过渡曲线的精确计算，并提供了多种参数输入形式。结合机床一些配置，可实现磨削工件自动对刀、磨削误差分析等功能。

南京二机展出的数控内齿珩轮强力珩齿机Y4830CNC，配置自主知识产权的用户软件，能够自动实现强力珩削工艺以及自动余量补偿。工作台进给轴采用直驱技术，智能化夹持力控制及自动热变形补偿技术，确保高精度齿轮的珩削要求。工件相位检测及自动对齿技术，实现珩齿加工的自动化。



台州北平展出的数控内外圆磨床BP21，配有专用的内外圆复合磨削软件，操作界面友好，人机交互性强，大幅简化编程等操作过程，降低磨削加工对人的依赖性。其BPX5B五轴数控工具磨床，配有自主研发的3D智能刀具磨削软件，让操作编程更加便捷化。还可接入北平智慧云平台，实现磨削加工、自动检测、激光打标等工序集成的自动化生产，实现实时数据采集，进行远程诊断、维护、监测和管理等工作。



www.cmtba.org.cn

宜昌长机的YK3620卧式滚齿机，七轴四联动，刚性强，可干切加工各种直/斜齿轮、花键、联轴齿轮，以及锥度花键和台阶齿轮，选配专用的软件包，可加工鼓型齿、人字齿、蜗轮等零件。



北京德铭纳BT-150DZ全自动数控金刚石工具磨床，集成了自主开发的磨削工艺软件和砂轮修整软件，实现金刚石刀具、合金回转类刀具、合金非标以及标准刀片的高精度磨削加工，以及砂轮在线修整。



上海机床展出的MK1632A数控端面外圆磨床搭载有自主开发的“磨削之星”软件，人机交互界面简洁，具有图形编程功能，可实现砂轮自动修整和修整后自动补偿，自动测量工件，工件自动轴向定位等功能。还可选配自主研发的“设备联网智能网关”采集机床数据，通过4G信号传输到上机SOMS平台，可为有需求的客户提供技术咨询、机床状态在线监控、机床远程运维等服务。



联合磨削集团展出了外圆磨、内圆磨、工具磨等多种类型的磨床，都配置了丰富的软件。如S31数控内外圆磨床，性能好，功能强，软件配置丰富，采用Studer Pictogramming图标编程，编程简单方便；STUDER Quick-Set快速对刀软件可帮助减少设置和转换时间；高速加工(HSM)软件可帮助实现高效、高精度的非圆磨削。可选Studer WIN编程软件，集成了螺纹磨削、成形磨削等软件包。

Emag的虚拟机床仿真软件VirtualMachine，用来检查复杂的加工过程，模拟数控程序执行，详细观看生产过程，预防碰撞发生，并且以此可在埃马克机床上真正实现投产之前对程序进行优化，提高生产效率。

四、自动化技术推动无人化生产发展

无论是工业4.0，还是“中国制造2025”发展战略，都需要高度自动化的技术与装备做支撑。现代科技和自控理论的发展，为自动化技术提供了坚实的基础，人们对自动化的不懈追求，源源不断创生新的技术与产品。自动化技术与产品是展会最活跃的元素之一，如单机自动化、柔性制造单元、自动生产线、工业机器人、自动化元器件等，展现了自动化技术与装备领域的最新发展成果。

南京二机的数控双工作台蜗杆砂轮磨齿机Y7226CNC，采用双工件主轴设计，一个工件主轴在磨削加工的同时，另一个工件主轴可进行工件装卸以

及对齿，减少辅助工作时间，提高机床加工效率。可配备机器人（桁架式或关节式）及料仓，实现自动化生产。



南通麦斯铁的自动折弯机器人工作站，由折弯机与六关节工业机器人组成，结合机器人折弯软件包MR-Bend以及折弯机器人离线编程软件包MR-ROBERT的功能，将折弯机和机器人合二为一，实现拆垛、上料、折弯跟随、码垛全自动加工，提高生产效率。

杭州蕙勒智能科技有限公司的单机自动加工单元，由一台车床和一套桁架机械手组成，完成零件从毛坯到成品的自动化上、下料与加工。



江苏金方圆展出的ABM自动折弯单元，配置专为折弯工况而设计的埃斯顿ER80六轴机器人系统，搭载江苏金方圆自主研发设计的高精度第七轴装置，机器人可在任意位置完成工件的折弯，同时还可满足拓展生产线的的需求。



Haas公司将展出六关节机器人（Haas Robot）、六工位托盘库（Pallet Pool）、自动上料机（APL）等多种自动化解决方案。其中Haas Robot是面向Haas机床的一种全包式机器人自动化解决方案，包括自动装载和卸载零件所需的机器人、手臂末端零件夹持器、底座、零件弹簧推料机、护栏等。通过Haas新推出的电气接口箱，简化了数控设备和机器人之间的通信，可直接从Haas控制系统设置和控制机器人，不需要复杂的PLC连接或第三方集成器。



六工位托盘库（Pallet Pool）用于Haas卧式加工中心EC-400，满足大批量生产或高混小批量无人值守加工的解决方案。用户可为每个托盘分配指定零件加工程序，当托盘移至加工区域时，控制系统将自动调用指定的零件加工程序。



APL自动上料机是在Haas加工中心和数控车床上实现自动化零件生产并提高生产力的简单而经济的方法。它是专为用于Haas机床而设计和制造的，可与Haas控制系统无缝集成，通过简单、直观的界面进行设置。该界面使

用图形、动画和详细的文本来指导操作人员完成快速设置和APL编程。

和机械展出的十一轴全自动激光切管机SLT-102-Fiber，可通过CAD/CAM系统，直接读取CAD图纸的数据，对各种形状的碳钢、不锈钢、铝等材质的管材进行切断、挖孔精准加工。配置自动供料架系统和自动出料系统，可实现从自动备料架进料、材料自动校准、自动送料及倾转、激光切割至自动下料，全自动化加工，提高加工效率。



宁波伟立展出的DFMS柔性系统LPS-630，由24工位630×630托盘库、600刀位中央刀库、两个装卸工位、关节机器人构成。整个柔性系统由宁波伟立自主开发的SOFLEX控制系统管理控制，实现生产计划与订单管理、多种生产模式的过程控制、NC程序管理、产品品质管理、刀具和夹具以及其他生产资料管理、与其他外部设备的信息交互，并实现可视化信息看板与生产报表管理。LPS-630柔性系统可自由组合多台加工中心形成柔性加工线。

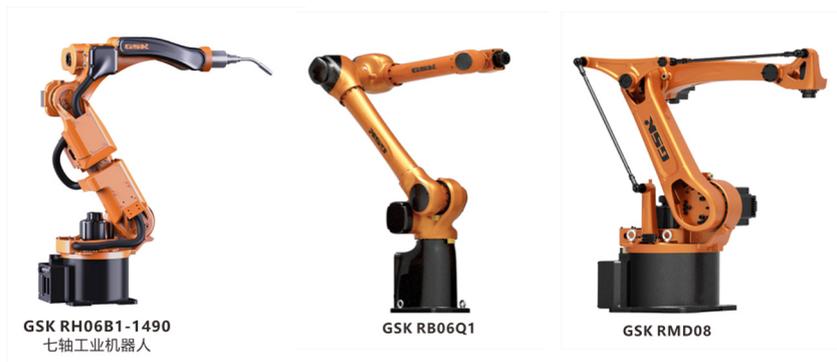


宁波伟立还将展出一体化柔性托盘系统DRPS-WL-VF和3S柔性智能工作站3S-L25。

Mazak的Pallettech模块化托盘柔性线，托盘数量可根据需要进行增减，最少6个，最多可达240个，可灵活应对中批量、大批量、多品种少量、变品种变量的生产系统的生产模式。托盘柔性线包含整线独立工作所必须的硬件和软件，工件装夹方便快捷；通过增加托盘、更改加工程序和更改夹具，就可以应对新产品的更新化。通过FMS控制中心与工厂网络连接，可实现24小时连续加工。本届展会，Mazak将展示Pallettech模块化系统与其高速高精密卧式加工中心HCN6000 L集成的应用示范。



广州数控展出多款工业机器人，其中GSK RB06Q1轻量型工业机器人主要应用于打磨、抛光、机床上下料、冲压自动化等领域。GSK RMD08工业机器人采用了四轴设计，具有结构简单、故障率低、占地面积小等优点，主要应用于码垛、拆垛、冲压上下料等领域。GSK RH06B1七轴机器人，应用于激光焊接。



沈阳中科数控也将展出RLS关节机器人自动化系统、TLS桁架机器人搬运系统、ASS自动料库系统。



广州里工实业有限公司展出的“高寻”复合自主移动机器人，基于自动驾驶技术和工业4.0标准，具有构建环境地图、自主规划路径、自主执行路径、安全避障等功能，适用于生产制造环节中的物料流转、智能上下料及设备操控等

场景，满足无人值守工厂快速化部署、多样性功能，以及实时状态监控的需求。

“高侍”无人值守机器人可满足小批量、柔性化的自动上下料需求，可适配各类三轴、四轴、五轴加工中心，以及各类车床、慢走丝设备、三坐标检验设备。



雄克公司展出的ADHESO 无源吸附式机械手，基于吸附原理，利用分子间作用力，搬运各类不同材料的工件。因其吸附结构的高度可变性，ADHESO 机械手可以根据不同的应用场景单独定制。雄克目前可提供4种标准尺寸的ADHESO机械手，并配有对应的ISO法兰，帮助用户经济、高效地完成各类抓取任务。

这种无源吸附式机械手的特点是，无需能源供给，运行成本低；无明显抓取痕迹，对于敏感型工件抓取优势显著；无颗粒排放，适用于食品等高洁净度要求应用环境；高重复精度；应用灵活，适应不同的应用场景。



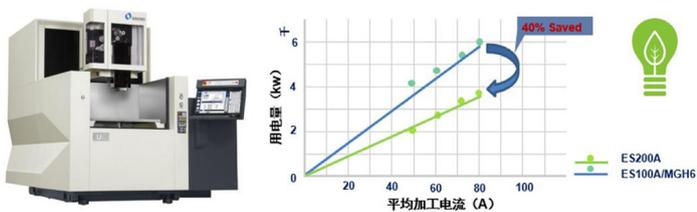
五、绿色制造技术体现责任和担当

截止2020年，全球有40多个国家和经济体正式宣布了碳中和目标，应对气候变化的全球共识和趋势已无法逆转。中国提出了二氧化碳排放力争在2030年前达到峰值，力争在2060年前实现碳中和的目标。

自1978年改革开放以来，我国GDP每年以近10%的平均速度增长。然而，我国过去在高能源消耗、高污染排放和廉价劳动力驱动下的经济高速增长模式是不可持续的。国际形势和国内需求都要求中国寻求新的发展模式和践行新的发展理念，碳达峰、碳中和目标将全面推动我国实现经济高质量发展。首先，倒逼产业转型升级，提升国际经济竞争力。传统产业的低碳转型和新兴产业的创新发展，有助于推动国内产业转型并提高长期持续的经济竞争力。其次，促进就业和经济繁荣。

相关研究表明，工业生产是第一碳排放源，在能源使用造成的碳排放中，每年有近36%来源工业生产。工业企业低碳转型是碳中和的重点实现路径。为制造业提供绿色制造技术则是机床工具行业应尽的责任，应有的担当。

Makino的高精密数控线切割机床U6，搭载绿色节能新电源ES200A，容量更大，标配电流80A（峰值100A）；通过更精细的数字化控制技术对电压和电流进行控制，控制更精准，损耗小，工作状态更稳定；得益于其新一代数字电源控制技术，虽然电源容量增大，综合耗能却更低，与之前的系统电源相比，综合节能40%。



Mazak的Smooth Monitor AX软件，能够收集和工厂的机床生产数据，并将机床生产状态和电量消耗可视化。通过对生产数据的收集分析解决生产问题，从而提高整个工厂的生产效率。据称，该项技术的应用能够减少23%的CO2排放。此外，在机床待机状态下，切断不必要

的电力供应以减少能源消耗，如照明灯、显示屏、排屑器等。待机模式下，能耗能降低45%。



成果

相比于先前生产模式
CO₂排放量减少23%

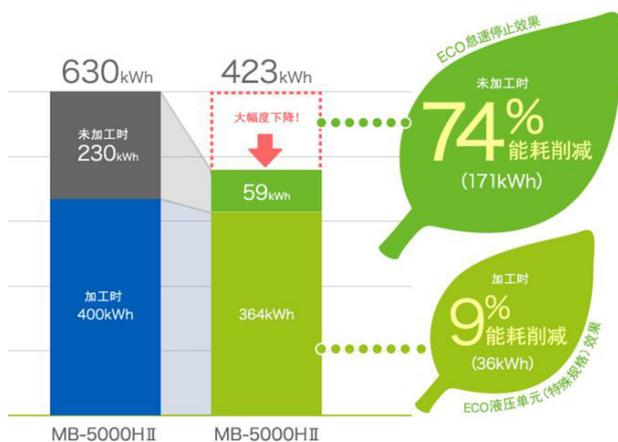
待机模式下
能耗降低45%

Okuma公司的新一代节能系统ECO Suite包含了ECO怠速停止、ECO能耗监视、ECO液压单元和ECO操作4个功能模块。



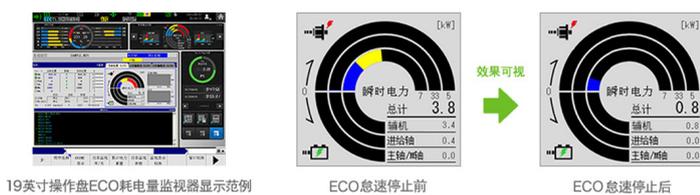
“ECO怠速停止”应用了“Thermo-Friendly Concept”智能技术，监控主轴的冷却状态，保持主轴精度的条件下，适时关闭冷却装置，并及时关停非工作外围设备，大大降低了未加工时耗电量。加工准备时间越长，“ECO怠速停止”的节能效果越显著。





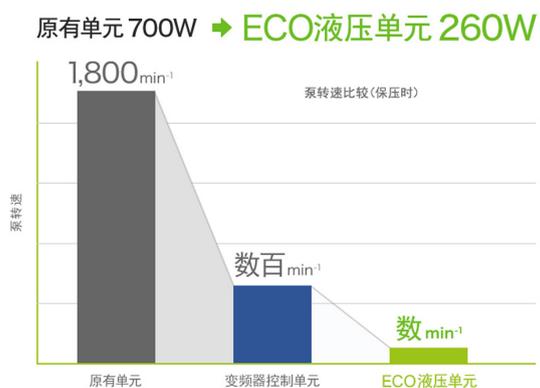
(MB-5000HII工作一个月的节能效果)

“ECO能耗监视”能单独显示主轴、进给轴、外围设备的耗电量。可在操作界面中确认“ECO怠速停止”功能来关停非工作外围设备达到的节能效果。



19英寸操作盘ECO耗电量监视器显示范例

“ECO液压单元”采用低速、低噪音、低振动的高效节能液压单元，通过高效液压泵融合机床伺服控制技术，实现超低速运转下的精密控制，结合运转状况优化泵的运转。



(ECO液压单元节能63%)

“ECO操作”模式下，机床自动采取节能运转模式，排屑器、油雾收集器在加工结束后自动停止运转，仅运行所需的外围设备。

DMG Mori机床的绿色制造技术 (Green tech) 具有帮助用户降低能源消耗的功能。



DMG Mori CELOS的27个应用程序中，节能 (Energy Saving) App能够按时间或者程序段记录机床的功率消耗，采用停机、预热、待机等模式管理机床、气动液压系统、显示屏、照明灯，实现降低机床的能源消耗和运行成本，同时提高生产力的目标。据称，节能模式下，机床的能耗将降低30%。



Index公司机床在设计之初就遵循提升环保兼容性的同时降低能耗的原则，主要体现在ECO fluid、ECO energy、ECO design、ECO cool、ECO control等多项措施上。其中ECO fluid根据使用情况对泵的运行进行控制降低其能耗，从而使冷却液供应和液压供应的能耗达到最佳水准；ECO energy使用同步电机和提升效率降低能耗，同时所有驱动装置配备电能回馈装置以回收制动能量；ECO design减轻机床组件重量，降低能耗，通过技术和工艺整合，在一台机床上进行智能化多工位加工的方式实现节能；ECO cool采用中央控制的机床冷却系统，使余热得到再利用；ECO control通过智能化待机方案降低消耗，自动关闭周边设备。

瑞士Tornos采用变频器驱动高压泵，从而优化加工润滑油的供给。优化高压泵电机的转速，能够严格按需供给润滑油，显著降低能耗，节省成本。通过优化分析和计算，减轻机床关键部件的移动质量，提高运动部件的加速度，同时降低能耗。应用更高效的同步电机驱动技

术，能够回收再利用70%的制动能。Tornos自动车床上搭载的TB-DECO软件包能够计算每个刀具分度过程的最小进给速度，而无需修改零件的循环时间。据称这项技术可节约大约7%的能耗。

大族粤铭的高功率光纤激光切割机Mach4020，配置有自动节能装置，设备空闲时间超过5min，即自动进入休眠状态。

伺服压力机通过伺服电机控制滑块的运动，压力曲线可任意编程，任意设定和改变加工过程中的速度，实现位置、速度的闭环反馈控制，获得任意的滑块运动特性，具有节能环保的特点。江苏亚威的SKE1、SME2系列伺服压力机，采用低转速、大扭矩专用伺服电机驱动，智能伺服控制，节省能源消耗，提高经济效益。

干切削技术环境污染小，可省去切削液相关的装置，降低产品的成本，加工产生的切屑干净整洁，便于回收处理，是绿色制造技术的一个重要发展方向。本届展会上，应用干切削技术的展品众多。如重庆机床的数控滚齿机YH3120CNC、YE3115CNC、YE3140，南京二机的数控干式插齿机YD5126CNC、数控干式滚齿机YDB3132CNC，北京若墨自动化的高速数控滚齿机YK3120CNC6Z，宝鸡虢西的数控齿轮角机GYK9335，宜昌长机YK8115数控刮齿机，日本浜井产业株式会社的N60卧式精密滚齿机，均应用了干切技术。

有研究表明，电机耗电量占工业电能总需求的70%，因此，提高电机的能效成为节能低碳的一项重要措施。提高电机能效的关键在于整体系统，如变速控制电机、数字化系统元件和工具，以及在电机系统中使用电能缓冲技术等措施的相互配合。

北京Fanuc公司αis系列主轴电

机和伺服电机，采用有限元优化软件对磁力进行解析，通过优化电机磁路来最大限度提升扭矩，提高效率。它具有电源再生功能，可回收电机制动能。

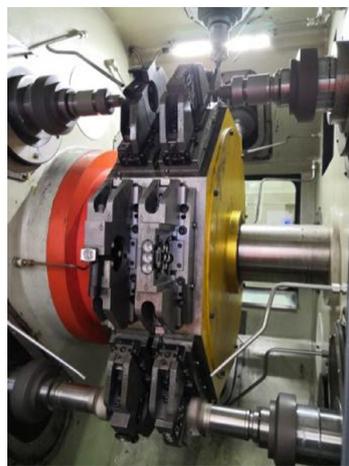
格兰富水泵（上海）有限公司展出的浸入式水泵，集成的变频电机MGE配备高效IE5（国家能效一级）永磁电机，能有效降低能耗。

六、专精特新产品为用户量身打造解决方案

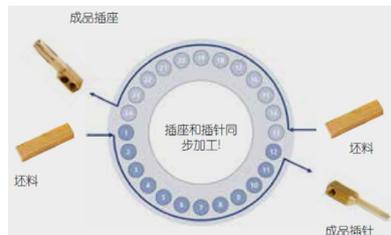
个性化、低成本产品需求增大是制造业面临的挑战之一。以市场为导向，深入了解用户的需求，为用户提供个性化低成本产品和系统解决方案，成为企业增强市场竞争力，提高可持续发展能力的重要手段。本届展会上，诸多专精特的企业和展品参加展示，为那些需要高效高性能专用设备的客户提供了难得的机会。

针对一些小型精密形状复杂零件的大批量生产的需求，如水暖管件、电子和电器连接器、光波导线连接器等零件，多轴车床、多工位组合机床能很好地满足用户对于生产能力、效率、精度的要求。

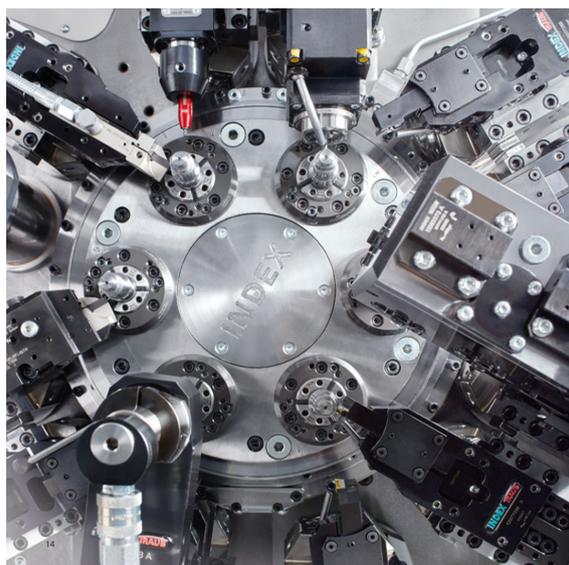
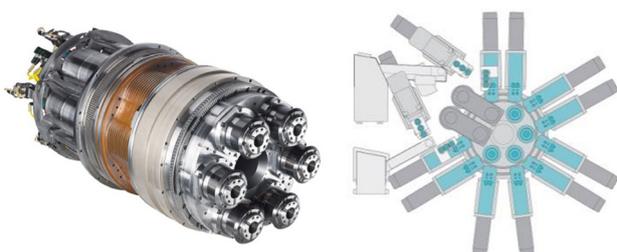
浙江双正的全自动倒挂式多工位组合加工机床SZ10B-1209H3-18W，主要由一个10工位倒挂圆盘工作台、多种功能动力头构成。动力头可沿X、Y轴运动，并做0°~30°摆动。圆盘工作台围绕立式主轴进行360°定位旋转，圆盘上10个工位，其中1个工位循环上下料，9个加工工位。每个工位最多可以安装两个工件，与对应的动力头和刀具配合，实现同时对18个工件进行钻、铣、镗、螺纹车削等加工，加工节拍4~10s。该机床特别适合于水暖、阀门卫浴、燃气、汽配等行业铜铁、铝、钢件材质大批量零件的高效加工。



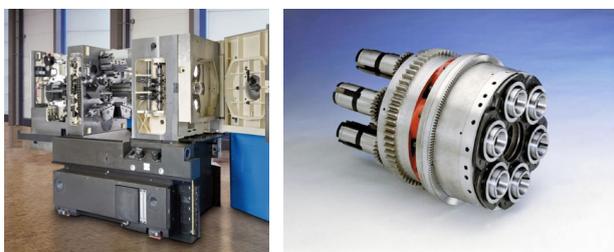
Mikron公司展出的多工位组合机床MultiStar LX-24，有24个工位和最多44个刀具主轴，每个工位都可以同时从上、下和侧面进行加工，完成钻、车或螺纹切削加工。还可附加24个中间工位，在加工过程中同时进行测量、监控和清洗工序。机床采用凸轮驱动，控制刀具轴的快进和工进；用调频电机通过齿形带驱动成对刀具主轴，协调加速和进给，独立控制刀具主轴的转速，实现更高的加工效率。根据工件的加工工艺，可以将加工区分为2个、3个或4个分区。每个分区分别以相同的生产节拍加工相同或不同的工件。特别适合喷射系统喷嘴和燃烧器、电子和电器连接器、光波导线的插入式连接器、阀、圆珠笔尖或医疗器械零件的高效大批量加工。



Index公司展出的多轴数控车MS24-6, 将多轴机床的高效和经济性与单轴数控机床的精度和灵活性融合在一起, 六根液冷电主轴环形布置在主轴轮毂上, 最多可以配置两个具有C轴功能的同步副主轴, 以及12个刀架。每个同步副主轴可以配置最多6个背面加工刀具。满足车、铣、钻、镗、滚齿、铣齿等各种工艺要求, 实现工件的完全加工。MS24-6可以根据需要扩展成为2×3轴机床。



Schutte公司展出的多轴车AG20, 将凸轮传动的快捷和可靠, 以及数控技术的灵活和精确结合在一起, 8根主轴环形布置在主轴轮毂中; 每根主轴均可配置横刀架和纵刀架, 并通过凸轮传动实现工进和往返移动。横刀架用于圆周加工, 安装在主轴箱上; 纵刀架确保端面加工刀具的准确导向。还可配置最多4个数控十字刀架和1根副主轴, 完成背面加工以及自由轮廓车削、攻丝、横向钻孔、铣削等, 实现工件的完全加工。AG20多轴车还可以根据需要组成2×4轴机床。



针对精密零件的车削、铣削加工要求, 普什宁江机床的高精度车床Micro T400, 应用高精度液体静压主轴、静压导轨、静压丝杠副、静压防护、高精度驱动、床身抗震变形、高精度检测等技术, 主轴跳动0.2 μm, 直线轴定位精度3 μm, 加工硬度58~68HRC材料, 尺寸精度<2 μm、圆度<1 μm、表面粗糙度Ra<0.2 μm, 实现以车代磨, 专用于高精度零部件的加工。

江苏博谷智能的高精密硬车削机床Microtech CNC 100SP, 采用超精密液体静压主轴、超精密液体静压导轨、床身及供油系统恒温冷却、天然花岗岩床身, 具有优异的减振性能和热稳定性, 直线轴、回转轴均全闭环高精度光栅反馈, 主轴跳动0.15 μm, 机床定位精度可达1 μm, 重复定位精度0.5 μm。

通用技术的精密级卧式加工中心MDH65M, 采用高精度大承载的滚柱导轨、高精度中空冷却丝杠、温度补偿功能, 直线轴定位精度为3.5 μm, 重复定位精度2 μm, 回转工作台定位精度4", 重复定位精度2"。

大昌华嘉展出多台精密加工机床, 如肖布林的精密车床Schaublin 842, Moore的单元金刚石超精密车床250UPL v2, Kern的超精密立式加工中心KERN EVO。其中Kern EVO采用整体人造大理石床身, 刚性、阻尼、热稳定性好; 高精度滚柱滑座和菱形直线导轨以及无反向间隙预紧, 机内和机外两套温控系统, 机内温控系统能使温度变化范围控制在±0.02℃, 数字直流伺服系统, 矢量主轴控制, 主轴转速50000r/min (最高可达160000r/min), 分辨率为0.1 μm的 Heidenhain 光栅尺和特选的高精度滚柱丝杠, 可以实现定位精度2 μm, 重复定位精度1 μm, 工件保证精度4 μm, 以及持久的精度保持性; 数字直接驱动系统优化了动态加工的轮廓跟踪性能, 粗糙度可以达到Ra ≤ 0.1 μm。可以根据需要加装第四、五轴, 实现五轴联动加工。



沈阳精锐的A55y翻板五轴加工中心，专用于加工铝合金板类工件，机床采用卧式布局，工件水平姿态装夹，竖直姿态加工，方便工件的安装，以及切屑的排除。双交换工作台利于提高生产效率。三个直线轴、旋转工作台以及单摆铣头构成的五轴联动加工方式，具有一次装夹，完成钻、铣、镗、铰、攻丝以及复杂曲面的多面多工序加工。该机床适用于航空、航天、电子、3C行业铝合金板类构件的高精度、高效加工。



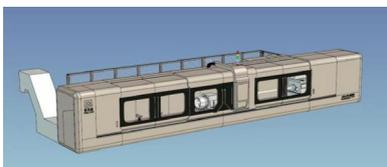
针对车桥轴管、泵体类、套筒类等轴类零件两端要求加工的需求，一种结构特别的中置主轴箱，两端同步加工的双头数控车床应运而生。这种双头车应用两端双卡盘主轴箱从工件中间部位装卡工件，分置于主轴箱两侧的双刀塔同步加工工件；一次装夹，可实现轴类工件两端的外径、内孔、圆弧、螺纹、锥面、端面等的加工，从而提高加工精度和加工效率。如台州屹捷展出的YJ-CK180ST、安徽力成的DNL061数控双头车。



60 | WMEM · 2022年第1期



山东普利森展出的TZK25G/1X3M数控深孔刮滚机床特别适用于气缸、油缸等精密管件的刮削、滚光组合加工，装备气动推镗拉滚刀具或者液压镗刮滚刀具，可一次完成缸体内表面的高效镗孔、刮削和滚光加工。



武重展出的YK31200A六轴四联动高精度重型数控滚齿机用于大型

齿轮的高精度加工，如风电、船舶、军工、矿山机械中的高精度大型齿轮，最大加工直径 $\phi 2m$ ，最大模数24mm。



广州敏嘉展出的SMK204和SWM1503数控螺纹磨床，专业用于高精度滚珠丝杠副的磨削加工。其中SMK204数控复合磨削中心，用于丝杠螺母、转向器螺母的磨削加工，可实现一次装夹完成丝杠螺母的内螺纹、外圆和端面的加工。还可以对内螺纹砂轮进行复杂形状的修型。SWM1503高精度数控外螺纹磨床，专业用于螺杆、蜗杆、丝杠等工件的磨削加工，可以自动完成加工过程中的全部动作，包括进刀、磨削、退刀、砂轮修正、砂轮主轴摆动等。

联合磨削的S131R新一代内圆圆弧磨床，配置了工件头架B轴，通过B轴与X、Z轴的插补联动，实现对圆弧、球体、锥体的高精度磨削加工。机床应用直驱技术，采用StuderGuide®导轨系统，稳定性和刚性好，主要应用于工业陶瓷、硬质合金、蓝宝石等超硬材料的高精密加工。配置HMI StuderSim用户界面，易于使用和编程；StuderSIM编程和模拟软件可在机床控制器或外部计算机上创建和模拟磨削和修整程序。

检测对于保障产品质量意义重大。随着技术的发展，检测的手段和方法越来越丰富，满足用户对于检测越来越高的个性化要求。

(下转第78页)

链片智能生产线的研发和应用

宝鸡机床集团有限公司 艾绍阳

一、概述

随着社会的发展，科学技术不断进步，机械制造业生产方式正在全面向自动化、智能化生产转型升级。自动化、智能化可提高机械制造领域的生产效率和生产质量，同时降低工人劳动强度，解决了企业招工难等问题。因此，自动、智能生产线越来越受到机械制造企业的青睐。

链片智能生产线在企业转型升级过程中应运而生，生产线的研发和应用加快企业转型升级的步伐，同时解决了企业诸多难题。

二、链片智能生产线简介

链片智能生产线是针对自动扶梯梯级链片零件自动加工而集成。根据链片零件的加工要求，本智能生产线配置2台CK518数控立式车床、配专用液压夹具的2台VMC1580立式加工中心、1台210kg关节机器人、抽检台、翻转台、缓冲台、料库等，由总控系统协调通过四道工序，可完成多种链片工件自动加工。

链片智能生产线采用一字排开布局，整体布局紧凑，方便管理（见图1、图2）。

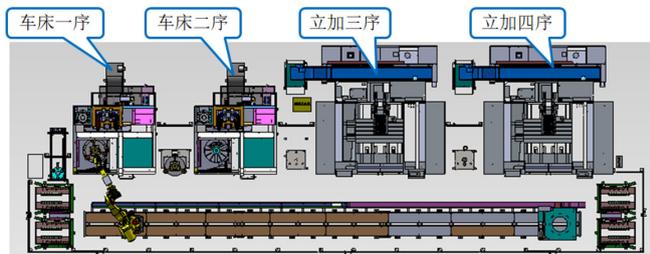


图1 生产线平面布局图



图2 生产线现场实拍

三、链片智能生产线特点

链片智能生产线设计以工艺要求为基础，以设备的生产能力为条件；具有经济性、安全性、良好的操作性和可靠性等特点。主要表现在以下几点：

1. 先进工艺方式，提高生产效率

链片智能生产线可加工多品种盘类零件，最大工件重量可达90kg，生产线布局合理，采用先进工艺方式（见图3），合理平衡各工序机床加工能力，发挥各设备最大潜能，加工效率较之前手动加工提高20%以上。

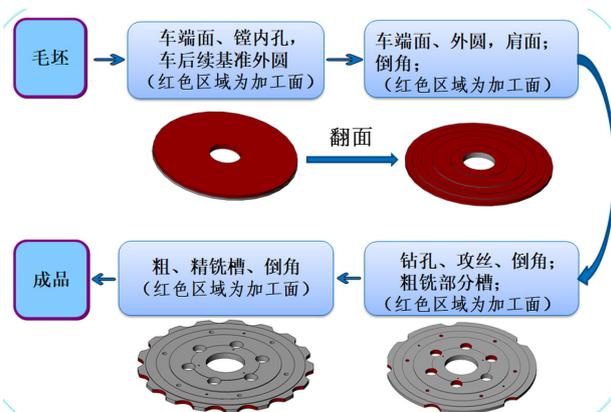


图3 生产线工艺流程

2. 先进部件设计思路, 保证设备流畅运行

根据链片工件及加工特点, 自动化设备采用以下独特结构, 保证生产线安全可靠:

(1) 45° 倾斜式料库 (见图4), 保证工件摆放可靠, 方便机器人抓取。

(2) 多段拼接式机器人行走轨道 (见图5), 有效增加机器人的服务范围, 提高设备利用率。

(3) 内嵌式手爪结构 (见图6), 保证工件运转过程安全可靠。



图4 倾斜式料库

图5 拼接轨道

图6 机器人手爪

3. 独特夹具结构, 保证工件合格率

立加机床设计专用的自动液压夹具 (见图7), 液压夹具采用大行程涨持结构, 有效解决机器人上芯轴困难的问题; 采用加工过程中交替换压板技术避免刀具干涉; 气密检测、辅助支撑等功能保证产品质量; 工作台面布置合理, 保证排屑流畅, 进而保证自动线稳定运行。采用模块化设计, 实现多品种链片零件的共线自动化加工, 产品合格率100%。

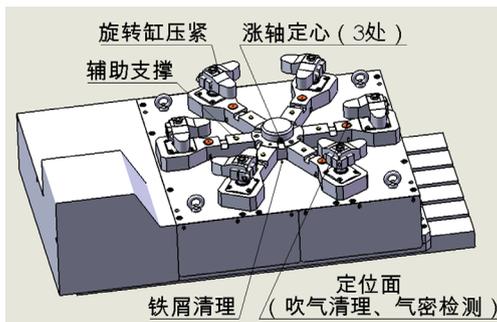


图7 液压夹具

4. 采用先进总控技术, 保证自动线可靠运行

自动生产线中各设备与总控PLC通过标准总线协议实现互联互通, 由总控系统负责现场设备的逻辑协调工作, 实现生产优化、柔性调度控制、信息采集功能。

(1) 自动线总控采用同一总线标准, 该方式外围接线少, 地址分配灵活, 修改方便, 减少现场布线的施工量, 缩短现场调试的时间。同时故障率大大减少, 信号传输更稳定性, 自动线运行可靠。

(2) 人机交互HMI: 数据的输入与显示; 系统或设备的操作状态方面的实时信息显示; 在HMI上设置触摸控件

可把HMI作为操作面板进行控制操作; 报警处理等; 屏幕具有可视化操作的功能, 人机操作更友好。

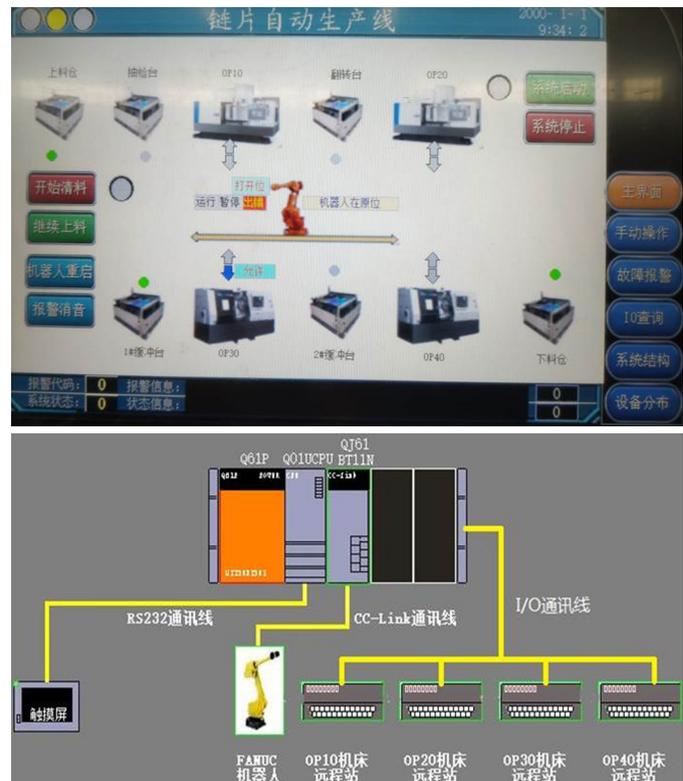


图8 总控画面及原理

五、应用和推广情况

自动、复合、柔性加工自动线是制造业的发展趋势, 也是加快发展我国装备制造业的需要。目前数控机床正在由单机向成套、成线、柔性、复合化生产方面发展。为了提高生产效率, 降低劳动强度, 特别是针对劳动力成本上升的严峻形势, 市场对高档数控机床自动化生产系统的需求量与日俱增, 市场需求巨大。

链片智能生产线通过不断完善, 大幅度提升设备使用率及产品生产效率, 此智能生产线研发成果可推广应用至各行业机械设备的齿轮、法兰盘等零件自动加工。随着项目产品的日益成熟和产业化推广, 市场前景将会非常广阔。

链片智能生产线的集成是企业坚持自主创新, 推进中高档数控机床、生产线集成产业化、推进国产数控系统应用道路上迈出的坚实一步, 坚定了企业加快自主创新、转型升级步伐的信念。为巩固成果, 企业不断加大产学研力度, 加强不同专业间的技术融合, 充分利用智能生产线集成经验, 针对性地开发制造出满足不同用户需求的自动生产线。切实推进核心智能装置与智能制造装备研发、产业化、推广应用一条龙发展, 不断提升国内制造业整体自动化、智能化水平, 从而缩小与国外先进制造之间的差距。□

轻型动梁龙门加工中心的研发与特点

沈阳机床（集团）有限责任公司 赵旭靖

近年来，随着国家基础设施建设的逐步深入，以及汽车、军工等行业的火爆，轻型动梁龙门产品越来越受到用户的青睐。相对于轻型定梁龙门产品，轻型动梁龙门产品的加工零件尺寸范围明显增大，而价格并没有增加太多，性价比很高。相比于动梁重型龙门产品来说，价格优势明显，所以在不久的将来，动梁轻型龙门产品有望将成为市场的主导产品。

我司在多年龙门产品的设计经验及成型产品GMC-RL龙门式数控镗铣床的基础上，开发出轻型动梁龙门加工中心。本产品应用范围广，加工能力强；主要适用于航空航天、造船、发电、军工、重机、机车、机床、纺织机械、印刷机械、模具制造等行业。机床具有钻、镗、铣、扩、铰、刚性攻丝、直线插补、圆弧插补、螺旋线插补、三坐标联动等功能。主要对各种基础大件、板件、盘类件、壳体件、模具等多品种精密零件进行数控加工，具有高精度、高速度、高柔性、环保型特点。其性能指针和精度指针完全符合国家标准。产品经模块化设计，可以按市场需求进行产品系列化和客户化制造，其良好的性能价格比是国内外客户的最佳选择。

轻型动梁龙门加工中心的核心技术主要有W轴双丝杠同步驱动技术、镶条涂覆料的精密灌注技术、升降横梁重心驱动技术、高速主轴直连定位驱动技术等。技术难点主要有横梁重心的确定、平衡油缸的设计、高速主轴驱动技术等。只有掌握好核心技术，攻克技术难点，才能让轻型动梁龙门加工中心具有竞争力，更好地得到市场认可。

一、机床总体概述

轻型动梁龙门加工中心是我公司通过引进德国希斯重型机床技术，结合自研GMC-RL系列产品，开发的动梁动台龙门式加工中心产品。

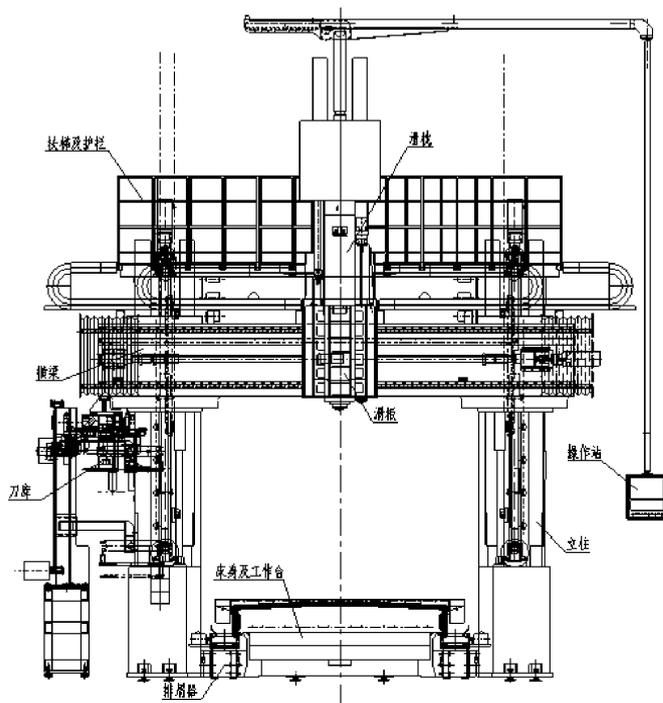
本产品应用范围广，加工能力强，主要适用于航空航

天、造船、发电、军工、重机、机车、机床、纺织机械、印刷机械、模具制造等行业。机床具有钻、镗、铣、扩、铰、刚性攻丝、直线插补、圆弧插补、螺旋线插补、三坐标联动等功能。主要对各种基础大件、板件、盘类件、壳体件、模具等多品种精密零件进行数控加工。具有高精度、高速度、高柔性、环保型特点。其性能指针和精度指针完全符合国家标准。产品经模块化设计，可以按市场需求进行产品系列化和客户化制造，其良好的性能价格比是国内外客户的最佳选择。

机床的设计符合ISO国际标准，所有零部件和各种仪表的计量单位均采用国际单位制（SI）标准。

二、机床特点及参数

1. 机床外观图



2. 机床主要结构及技术特点

本机床总体布局为龙门框架移动，工作台固定的布局形式。龙门框架作X轴移动，动梁龙门的横梁在立柱上作W轴移动，抱围式滑枕在滑板作Z向垂直移动，滑板连同滑枕在横梁上作Y向移动。

机床主要技术特点如下：

(1) 床身工作台配置为直线导轨，采用四条国际知名品牌线轨，经合理预紧，配合集中式润滑单元对各个滑块的定时定量润滑，可以充分保证系统刚性和长寿命。线轨床身内部为加强型米字筋，经过有限元分析和优化，床身刚性能够得到有效保证。

(2) X轴驱动采用双电机齿轮齿条驱动技术，加速阶段双电机共同出力，以提高响应快速性；进给阶段采用单电机驱动，背力减小间隙，确保传动准确性并提高伺服轴定位精度。

(3) 立柱为阶梯型方箱结构，两条阶梯导轨前后分布，确保W轴运动部件重心落在两条导轨之间，提高驱动的稳定性和精度。立柱铸造材料为优质灰口铸铁，确保了立柱刚性和结构工艺性的完美结合。

(4) 动横梁是本机床最关键的运动部件之一，我公司的横梁设计技术是希斯先进技术的完美应用。上下两条世界知名品牌直线导轨，可以在保证横梁承载能力的同时，将滑动摩擦转化为滚动摩擦，提高系统响应的快速性。Y轴伺服电机通过进口减速机降速传动滚珠丝杠，带动滑板在横梁上左右移动，实现Y轴进给运动。

(5) 横梁升降配有两根重载平衡油缸，结合蓄能器可以有效平衡动横梁自身重力，提高横梁运动的动态特性。并且平衡油缸支撑点在横梁及其上移动部件延长线上，防止横梁前倾，保证W轴运行精度。

(6) Z轴导轨为四面封闭式环抱滑动导轨副，即铸铁-贴塑摩擦副传

动，有良好的吸震性，保证加工时切削平稳。主传动采用主轴交流伺服电机作为动力源，通过进口变速箱将动力传递到主轴组。主轴组采用台湾知名品牌制造，具有高精度，高性能。进口变速箱及主轴组有恒温冷却，确保滑枕温度均匀，提高了主轴精度的稳定性和机床的加工精度。

(7) 滑枕配有液压油缸平衡，运动惯量小，运动灵活，定位可靠，稳定性好。主轴抓刀是靠主轴上的蝶形弹簧以拉紧力通过四瓣爪式拉刀机构作用在刀柄的拉钉上，是刀具与主轴锥孔紧密配合来实现抓刀的。机床具有主轴定向功能。

(8) Z轴驱动。伺服电机通过进口减速机降速传动滚珠丝杠，滚珠丝杠带动滑枕在滑鞍上上下移动实现Z轴进给。并且Z轴电机带有自动抱闸功能，在断电的情况下，自动抱闸将电机轴抱紧，使之不能转动。

综上所述，轻型动梁龙门产品增加横梁移动，加工范围更广，产品性价比很高，与市场同类产品相比，具有明显的价格优势，且稳定性高，故障率低，精度高，所以对于中小型机械加工企业来说意义重大，能快速为用户实现增值，市场前景非常好，能大幅提升我公司轻型动梁龙门产品的市场占有率，提供公司的产品竞争力。

3. 机床参数表（见表1）

表1

GMC3060WRL产品主要技术规格参数				
项目			单位	参数
工作台参数	工作台尺寸		mm	3000×6000
	龙门宽度		mm	3750
	最大载荷		t	25
	T型槽尺寸		mm×n	28
加工范围参数	工作台最大行程——X轴		mm	6200
	滑板最大行程——Y轴		mm	4500
	滑枕最大行程——Z轴		mm	1250
	横梁升降行程——W轴		mm	1300
	主轴端面至工作台距离	MAX	mm	2785
MIN		mm	235	
主轴部参数	主轴锥孔（7：24）			BT50
	转速范围		r/min	40~4500
	最大输出扭矩		N·m	1232 / 1478（连续 / 30 min）
	主轴电机功率		kW	41 / 49（连续 / 30 min）
	滑枕截面尺寸		mm	400×400
进给参数	切削进给速度范围（X、Y、Z轴）		mm/min	1~6000
	快移速度	X轴	m/min	10
		Y轴	m/min	12
		Z轴	m/min	12
		W轴	m/min	3
机床重量		t	137	
电气容量		kVA	150	
数控系统			西门子840DSL	

4. 国内外同类型产品参数对比 (见表2)

表2

	中捷机床 (GMC3060WRL)	日本大隈 (MRC-BⅢ35E)	日本三菱 (MVR40)	海天 (GRU35EX60)
龙门跨距 (mm)	3750	3550	3750	3800
主轴转速 (r/min)	40~4500	10~4000	20~6000	4000
主轴最大扭矩 (N·m)	1232/1478	—	—	866/1023
主电机最大功率 (kW)	41/49	30/22	22/30	22/26
工作台最大行程X (mm)	6200	6500	6200	6500
滑板最大行程Y (mm)	4500	4200	4400	4600
滑枕最大行程Z (mm)	1250	800	1000	1000
横梁最大行程 W(mm)	1300	1300	1300	1250
滑枕截面 (mm)	400×400	—	—	420×430
X、Y、Z、W快移 速度 (m/min)	X:10m/min Y/Z:12m/min W:3m/min	X,Z: 15m/min Y:20m/min W:3m/min	X/Y:22m/min Z:10m/min W:4.8m/min	X,Z:10m/min Y:15m/min

通过参数表可以看出，我们与国内同类型的产品参数差别不大，一些参数还优于对手。在国内我司研发的轻型动梁龙门产品还是处于领先地位的。但是和国际先进的产品相比，尽管参数上差别不大，但是快移速度、精度及稳定性等方面还存在一定的差距，未来还需要努力提升产品的品质。

三、主要研发内容及技术难点

该产品的主要技术问题及难点如下：

1. 横梁重心的确定

采用平衡油缸技术的W轴驱动，主要的支撑点在平衡油缸位置，所以横梁及其上移动部件的总重心越靠近平衡油缸支撑点越好，这样横梁就不会前倾。所以在设计之初，在保证强度及结构合理性的基础上，将横梁尽可能做薄。其上移动部件重量也尽量减轻，使横梁及其上移动部件的重心非常靠近平衡油缸支撑点，横梁不会前倾。

2. 横梁驱动形式的选择

目前，国内外动梁龙门产品W轴横梁驱动主要有两种方式：

(1) 由双电机减速机通过两根丝杠直接带动横梁。这种方式的好处是横梁直接由丝杠带着移动，无其他辅助支撑，运行平稳，精度高、节省空间。缺点是由于电机需要带动整个横梁移动，需要承受横梁及其上移动部件的全部重量，所以电机、减速机、丝杠选型时需要选择比较大的型号，价格昂贵。并且横梁的中心都在丝杠的支撑点上，会造成横梁前倾，影响精度。目前重型动梁龙门产品主要运用这种形式，如德国希斯、我司的重型动梁龙门产品等都采用

这种结构。

(2) 由双电机减速机通过两根丝杠带动横梁移动并且由两个平衡油缸辅助支撑。这种结构的优点是由于有平衡油缸平衡掉横梁及其上移动部件的大部分重量，所以电机、减速机、丝杠的负载小，可以选择型号偏小的，节省成本。缺点是平衡油缸无论与横梁哪个位置接触，都会占用一定的空间，会影响美观。平衡油缸与丝杠共同作用在横梁上，同步移动非常重要。一旦平衡油缸的油压控制不好，会造成平衡油缸和电机不同步，影响机床精度，严重的会造成横梁扭曲。目前国内外的轻型动梁龙门产品主要运用这种形式，如德国科堡、海天精工等都采用这种结构。

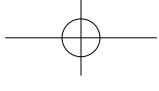
由于目前科技的突飞猛进，现在各种电磁阀及油泵的性能有了飞跃的发展，使平衡油缸与电机的同步技术越来越成熟。未来的动梁龙门产品将会越来越多的使用平衡油缸技术在W轴驱动上，这将是未来的发展趋势。

3. 平衡油缸的设计

平衡油缸平衡掉横梁的重量越多越好，最理想的状态是平衡掉横梁及其上移动部件的全部重量。但是如果全部平衡掉，油缸的缸径会很大，空间不够。并且压力也需要很大，需要选择很大的油泵，会提高整体成本。还要考虑平衡油缸上下移动时的压力差，不能产生反作用力。综合考虑，平衡油缸选择缸径 $\phi 120\text{mm}$ 的，压力22MPa，平衡掉横梁及其移动部件85%重量。

4. 液压形式的选择

平衡油缸的压力供给主要有两种形式：一种是比例阀控制。原理就是通过光栅尺检测横梁移动的不同位置，通过比例阀控制油泵提供不同的压力。优点是结构简单，成本低，安装方便，缺点是油泵需要一直工作，



影响寿命, 过于依赖电气控制, 存在安全隐患。另一种是蓄能器控制。当油泵向平衡油缸提供足够的压力后, 自动断开, 平衡油缸与蓄能器联通, 通过蓄能器进行保压。优点是安全可靠, 即使断电也不影响蓄能器工作。油泵不用一直工作, 延长了使用寿命, 缺点是安装不是很方便, 成本高。但是总体考虑, 还是选择平衡油缸机构, 提高安全系数, 保证机床的平稳运行。

5. 外观的保证

本机床将平衡油缸置于立柱两导轨之间, 丝杠座边上。结构紧凑, 与横梁的支撑点位置也比较合理。在横梁行程和平衡油缸行程中取平衡点, 保证平衡油缸顶面不高于机床。安装立柱防护拉板后, 将平衡油缸整体都遮挡住, 在机床正面看不到平衡油缸, 保证了机床的整体美观。

四、关键技术及创新点

1. 关键技术

(1) W轴双丝杠同步驱动技术。W轴采用双电机减速机通过两根丝杠带动横梁上下移动。但是由于横梁上有移动部件(即滑板滑枕)。当移动部件处于横梁不同位置时, 两根丝杠受力不均, 电机减速机负载不均, 造成丝杠运转不同步, 横梁产生一定的倾斜, 严重的会损坏横梁, 所以采用镜像光栅尺系统, 时时检测横梁两端的运行位置, 一旦位置有偏差, 会有信号反馈, 光栅尺进行补偿, 保证横梁两端运行同步。

(2) 镶条涂覆料的精密灌注技术。镶条采用先进的灌胶技术。旧有的镶条贴塑技术是在镶条与导轨贴和面粘上塑面, 通过装配人员的刮研, 使镶条和导轨紧密贴合。这种方式不仅周期长, 任务重, 而且和装配人员的经验与

手法有很大的关系。采用灌胶技术, 选用德国进口的导轨涂覆料, 把镶条与导轨装配好后灌入涂覆料, 保证镶条与导轨贴合紧密。并且节省时间, 减少了人为因素对精度的影响。

(3) 升降横梁重心驱动技术。由于结构限制, 动梁产品的横梁及其上移动部件的重心靠外, 与丝杠支撑点有一定的距离, 就会造成横梁前倾, 影响精度。为此, 我们在横梁下面增加了两个平衡油缸, 防止横梁前倾, 并且横梁的大部分重量由平衡油缸来承担, 所以电机、减速机、丝杠的负载小, 可以选择型号偏小的, 节省成本。

(4) 高速主轴直连定位驱动技术。本产品主轴采用新型的高速主轴直连技术。传统的主轴连接方式都是电机减速机通过一根很长的传动杆连接主轴。这种结构的弊端是结构笨重, 需要做动平衡才能保证精度, 不合适高速切削机床。本产品采用电机减速机下面连接新型的碳纤维联轴节, 重量轻, 构造牢固, 传递扭矩好, 适合应用于高速主轴。

(5) 横梁的绘制。由于平衡油缸是支撑在横梁底面上, 所以横梁的结构一定要合理、材质坚固并且要考虑到重心的位置。通过以往重型动梁龙门产品横梁的设计经验以及结合国外同类型产品横梁的设计方案, 绘制立体图, 进行有限元分析。做出最合理的筋格布局。在平衡油缸支撑点的位置出两个通长的筋, 保证支撑点的强度。

(6) 平衡油缸的设计。首先需要确定平衡掉横梁的多少重量。按照以往的经验, 一般平衡掉移动部件70%~85%的重量。具体平衡掉多少还要结合缸径的大小、泵的压力等各种因素综合考虑, 最后定在平衡掉横梁及其上移动部件85%的重量。在这种情况下, 平衡油缸的缸径不是很大, $\phi 120\text{mm}$, 压力也不是很高, 压力22MPa, 都是在可以接受的范

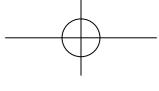
围内。其次需要考虑平衡油缸的放置位置及方向。目前, 在国内外动梁龙门产品中, 平衡油缸摆放的位置及方向各种形式都有, 考虑到机床外形美观、平衡油缸支撑牢固、运行平稳, 我们将平衡油缸缸体藏到横梁里, 贯穿横梁, 但顶面不超出横梁顶面。缸杆连接到立柱上, 置于立柱两个导轨之间, 扣上防护拉板后, 完全遮挡住平衡油缸, 保证美观的同时也兼顾了机床整体的稳定性。

2. 创新点

(1) 万向轴承在平衡油缸的应用。由于不可避免的安装误差和加工误差, 会造成平衡油缸缸体与横梁的结合面和平衡油缸缸杆与立柱的结合面不平行。导致缸杆与缸体之间不是垂直往复运动, 而是会有一个微小的角度, 尽管角度会非常微小, 但对精密机床来说, 也是致命的缺陷。长此以往, 缸杆与缸体的磨损会加剧, 密封性会受到破坏, 严重的还会对平衡油缸造成损坏, 影响机床的使用寿命。针对这种情况, 我们做出一个小小的改动, 在平衡油缸缸杆与立柱结合处设置一个万向轴承, 使缸杆与立柱结合面在360度内都可以有角度偏差。将两个结合面的角度偏差转化到万能轴承上, 保证缸杆与缸体的垂直运动。

(2) 平衡油缸的保压。本产品采用蓄能器保压。当机床开始工作时, 由泵站向平衡油缸充压, 达到规定压力值后, 泵站与平衡油缸的油路断开, 与蓄能器联通。通过蓄能器使横梁不管移动到任何位置, 平衡油缸都有足够的压力保证平衡掉80%多横梁的重量。由于不可避免的损耗, 平衡油缸内的油量会逐渐减少, 当减少到一定的量时, 通过检测机构, 使泵站与平衡油缸再次联通, 向平衡油缸充压, 周而复始, 保证平衡油缸内油量的充足。

(下转第71页)



光学元件超精密加工成套装备的研发与应用

中国机械总院海西（福建）分院有限公司 林鸿榕 刘文志 高源

一、概述

精密和超精密加工，是现代机械制造业最主要的发展方向之一，在提高机电产品的性能、质量和发展高新技术中起着至关重要的作用，并且已成为在国际竞争中取得成功的关键技术。我国目前正处于工业化进程的中期阶段，是从解决短缺为主的脱贫到发展经济强国致富之路的关键阶段，下游强劲的发展势头带动了对数控机床的巨大需求，我国未来数控机床市场巨大，中高档数控机床的比例将显著增加，经济型数控机床比例将基本持平，而非数控普通机床的需求将大幅降低。国务院《中国制造2025》战略纲领中明确提出：“2025年中国的关键工序数控化率将从现在的33%提升到64%”，这对我国数控机床行业的发展起到了极大的助推作用，预计到2020年我国数控机床行业的资产规模将达到2720亿元，行业未来发展空间巨大。

高档数控机床发展最重要的标志是超精密加工机床的发展，而超精密加工技术及装备的发展直接影响到一个国家尖端技术的发展，其精度从微米级到亚微米级、到纳米级，在高技术领域和军用工业以及民用医疗工业中都有广阔应用前景。因此，超精密加工技术及装备是现在世界各主要发达国家致力发展的方向，各国对此都极为重视，投入很大力量进行研究开发，同时实行技术保密，控制关键加工技术及设备的出口。随着航空航天、高精密度仪器仪表、光学和激光等技术的迅猛发展，在军用工业、航天、航空工业中，激光制导武器、人造卫星、航天飞机、新能源等产品在制造中都有大量的精密和超精密加工的需求，对各种高精度复杂零件、光学零件、高精度平面、曲面和复杂形状的加工需求也日益迫切。

光学元件超精密加工成套装备是针对具有结构异形、各点矢高和曲率半径均不相同特点的非球面元件，基于“精密磨削成形-高效抛光去除”的加工工艺路线，以提高加工精度和生产效率、实现产能需求为目标，而开发的以高端数控装备配套高自动化程度辅助制造软件为核心的高效高精度大口径光学元件超精密生产成套装备。可满足传统研抛制造方法不再适用的大非球面度、大陡度、大孔径非球面元件的超精密加工需求，稳定实现该类元件的高效、高精度、批量制造，解决大型光学系统建设面临的重要问题。

二、超精密加工装备简介

光学元件超精密加工成套装备由非球面超精密成形磨床、五轴数控气囊式抛光机床，以及数控离线砂轮修整机床组成。

1. 超精密非球面成形磨床

海西分院开发研制的UPG60非球面超精密成形磨床，磨削非球面光学元件最大尺寸（长×宽×高）：800mm×600mm×500mm，三坐标行程（X×Y×Z）：1000mm×550mm×650mm，机床定位精度 $<2\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $<1\mu\text{m}$ ，加工光学元件面形精度 $PV\leq 2.75\mu\text{m}$ （530mm×530mm），表面粗糙度 $Ra0.05\sim 0.1\mu\text{m}$ ，曲面轮廓度 $\leq 2\mu\text{m}/500\text{mm}$ 。同时，UPG60光学元件超精密磨床具有高效、高精度、高自动化程度等特点，可实现光学玻璃、陶瓷等硬脆性材料的平面及非球面超精密加工，在机床结构、关键部组件等方面均有创新。

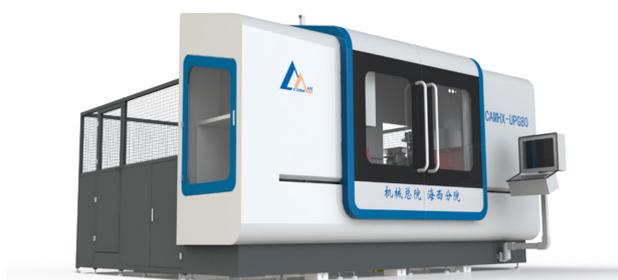


图1 非球面超精密成形磨床

2. 五轴数控气囊式抛光机床

机械科学研究总院海西（福建）分院开发研制的BP480五轴数控气囊式抛光机床，能实现精密级的平面、球面、非球面工件高效抛光加工，加工范围700mm×700mm×500mm，XYZ三轴运动分辨率0.1μm，A轴行程±360°，B轴行程±90°，A/B轴定位精度≤24"。产品经福建省产品质量检验院进行性能检测，各项指标符合企业标准和设计要求，可为光学玻璃、陶瓷等硬脆性材料的非球面及平面超精密加工用户提供超精密磨削抛光装置，近期将交付中国工程物理研究院激光聚变研究中心使用。



图2 五轴数控气囊式抛光机床

3. 数控离线砂轮修整机床

机械科学研究总院海西（福建）分院开发研制的CAMHX-MGC53数控离线砂轮修整机床是一台高精度数控磨削零件的辅助加工机床，用于实现光学元件超精密磨削金刚石的离线快速精密修形与修锐，以及光学元件侧面磨削和数控倒角的粗加工工作。该数控离线修整机床为专用设备装置开发，是为了解决砂轮在使用过程中由于砂轮片磨粒棱角变钝所导致的砂轮磨削能力下降及砂轮形状变化等问题，通过对砂轮进行修整，可以使其恢复良好工作状态。这也是为了适应现代化高科技发展需要而兴起的一种机械加工新技术，是先进制造技术的重要支柱之一。

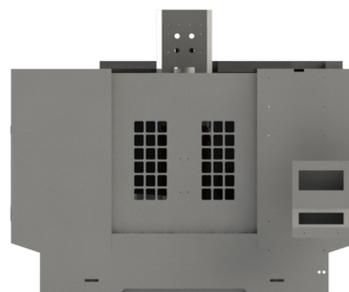


图3 数控离线砂轮修整机床

三、超精密加工装备主要技术参数

1. 非球面超精密成形磨床



图4 非球面超精密成形磨床实物图

表1 CAMHX-UPG60非球面超精密成形磨床技术参数

工作台	工作台尺寸（长×宽）	1000mm×600mm	
	工作台平面度	≤0.005mm	
机械参数	X/Y/Z直线轴	X、Y、Z直线轴行程	1000mm、550mm、650mm
		X、Y、Z直线轴最大速度	15m/min、8m/min、8m/min
		X、Y、Z直线轴定位精度	≤0.002mm、0.002mm、0.002mm
		X、Y、Z直线轴重复定位精度	≤0.001mm、0.001mm、0.001mm
		主轴	主轴转速
主轴电机功率	40kW		
主轴轴向误差	≤0.0001mm		
主轴径向误差	≤0.0001mm		
主轴轴承法向刚度	≥2000N/μm		
其他	可加工非球面元件尺寸	800mm×600mm×500mm	
	对刀重复精度	≤20μm	
电气系统	系统分辨率	0.1μm/0.001°	
	NC型号	SINUMERIK 840D	
	功能要求	能实现四轴联动控制	
电气参数	元件自动对刀功能	√	
	砂轮在位修整功能	√	
	主轴在线平衡功能	√	
	磨削液长时洁净循环功能	√	
	冷却系统精密温控功能	√	
工艺参数	砂轮	砂轮规格	φ400×25/40×φ127
		气囊在位修整形状精度	≤50μm
	加工精度	面形精度PV	≤5μm
		表面粗糙度Ra	0.05~0.10μm
元件亚表面缺陷深度	≤5μm		

2. 五轴数控气囊式抛光机床



图5 五轴数控气囊式抛光机床实物图

表2 CAMHX-BP480五轴数控气囊式抛光机床技术参数

机械参数	工作台	工作台尺寸(长×宽)	600mm×600mm
		工作台平面度	≤0.020mm
	X/Y/Z 直线轴	X、Y、Z直线轴行程	600mm、600mm、400mm
		X、Y、Z直线轴最大速度	100mm/s、100mm/s、 100mm/s
		X、Y、Z直线轴定位精度	≤0.01mm、0.01mm、 0.01mm
		X、Y、Z直线轴重复定位精度	≤0.005mm、0.005mm、 0.005mm
	A/B旋 转轴	A、B旋转轴行程	±360°、±90°
		A、B旋转轴最大速度	≥40r/min、40r/min
		A、B旋转轴定位精度	≤24"、24"
		A、B旋转轴重复定位精度	≤12"、12"
	主轴	主轴转速	双向旋转, 10r/min ~2000r/min
		主轴周期性轴向窜动	≤0.005mm
	其他	可加工非球面元件尺寸	430mm×430mm
		对刀重复精度	≤20μm
	电气参数	数控系 统	系统分辨率
NC型号			SINUMERIK 840D sl
电气系 统		功能控制要求	能实现五轴联动
		元件自动对刀功能	√
工艺参 数	气囊工 具	气囊规格	配置R40、R80、R160气囊
		气囊在位修整形状精度	≤50μm
	加工精 度	面形精度PV	≤2λ (λ=632.8nm)
		表面粗糙度RMS	≤1nm
其他	材料去除效率	0.1mm ³ /min ~ 30mm ³ /min	

3. 数控离线砂轮修整机床



图6 数控离线砂轮修整机床实物图

表3 CAMHX-MGC53数控离线砂轮修整机床技术参数

机械参数	工作台	工作台尺寸(长×宽)	1380mm×600mm
		工作台平面度	≤0.025mm
		真空吸盘台面尺寸(长×宽)	500mm×500mm
	X/Y/Z 直线轴	真空吸盘真空压力	-0.8Bar
		X、Y、Z直线轴行程	1200mm、700mm、600mm
		X、Y、Z直线轴最大速度	20m/min、20m/min、 20m/min
		X、Y、Z直线轴定位精度	≤0.010mm、0.010mm、 0.010mm
	U旋 转轴	X、Y、Z直线轴重复定位精度	≤0.005mm、0.005mm、 0.005mm
		U轴旋转范围	≥60°
		U轴旋转速度	40r/min
		U轴单向定位精度	≤30"
	主 轴	U轴重复定位精度	≤15"
		主轴转速	0r/min ~ 7000r/min
		主轴电机功率	5kW
		主轴轴向误差	≤0.005mm
金刚石 砂轮主 轴	主轴径向误差	≤0.007mm	
	金刚石砂轮主轴转速	1000r/min ~ 3000r/min	
	金刚石砂轮主轴功率	4kW	
砂轮修 整器主 轴	金刚石砂轮主轴旋转误差	≤0.002mm	
	砂轮修整器主轴转速	1000r/min ~ 3000r/min	
	砂轮修整器主轴旋转误差	≤0.003mm	
其他	砂轮修整器主轴刚度	≥30N/um	
	可磨削加工元件尺寸	550mm×550mm×200mm	
	圆弧砂轮可修整半径	R20mm~R220mm	
	砂轮法兰夹具调整精度	圆跳误差调节精度优于3um	
电气参数	数控系 统	系统分辨率	0.001mm
		NC型号	SINUMERIK 828D
	电气系 统	功能要求	能实现三轴联动控制
		电源	380V±10%, 频率50Hz
工艺参 数	砂轮	圆弧砂轮插补修整功能	√
		光学元件侧边磨削加工	√
	加工精 度	光学元件数控倒角加工	√
		磨削液循环过滤处理功能	√
其他	金刚石平行砂轮规格(修整)	金刚石砂轮修整精度	轮廓平行度误差小于等于 3um
		金刚石杯型砂轮(加工)	圆跳误差小于等于2um
	平面砂轮修整精度	圆弧砂轮修整精度	轮廓度误差小于等于10um
		元素加工精度	圆跳误差小于等于2um
侧边平面度误差小于等于 10um	相邻侧边垂直度在 90°±2.5' 范围内		

四、超精密加工装备特点

1. 非球面超精密成形磨床

(1) 高刚度液体静压导轨

液体静压导轨是精密超精密机床的关键零部件之一,运动时利用高压油膜实现纯液体摩擦,具有寿命长、精度高、刚度大和抗振性好等诸多优点,其优异的性能的极大地提升了精密超精密机床的加工精度。本设备三

轴均采用液体静压导轨，其中200×100mm型号的导轨法向静刚度在供油压力32bar情况下能达到2000N/um以上，有效保障设备的加工精度和稳定运行。

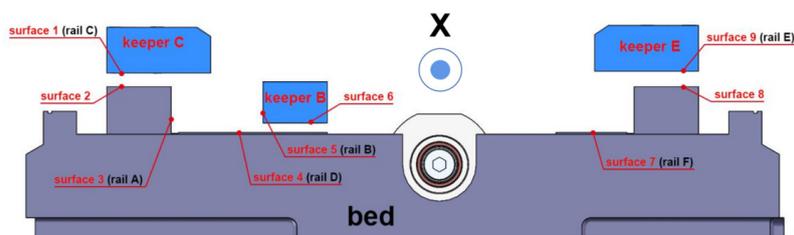


图7 液体静压导轨结构图

(2) 高精度液体静压主轴

液体静压主轴采用液体静压轴承作为支承件，液体静压轴承依靠外部液压供油系统强制地将润滑油注入产生压力油膜，用压力油膜分隔相对运动的运动件和支承，实现了全液体摩擦，因此其具有的摩擦阻力小、使用寿命长、转速范围广、抗振性能好、主轴回转精度高、适应性好等优点，在磨削方面得到广泛应用。本设备采用的是具有热补偿的液压电主轴，其主轴静刚度达到1000N/um，主轴回转轴向误差和径向误差均优于0.1um，同时因静压油膜具有误差消除效应，可以更有效地减小脆硬功能材料表面的加工损伤，保证设备的加工精度。

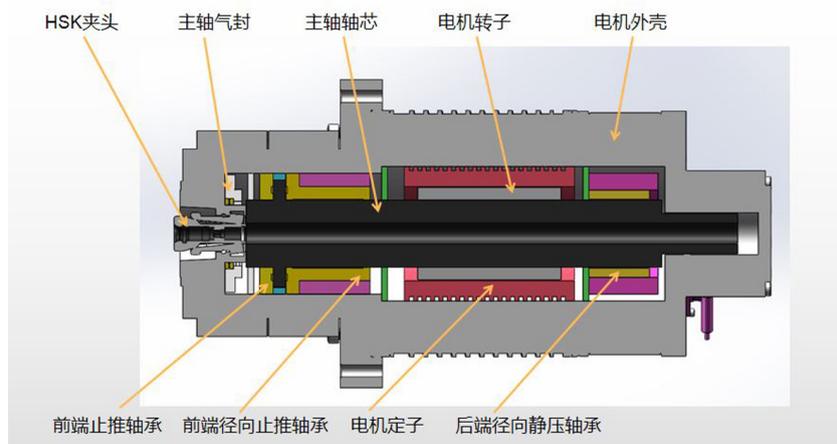


图8 液体静压主轴结构图

2. 五轴数控气囊式抛光机床

(1) 高稳定性气囊工具

气囊抛光技术作为一种新兴的抛光技术，采用充气的气囊工具，能够符合具有不同曲率的局部表面，显示了强大的光学制造能力，具有柔性好、去除效率、保形效果好和高精度可控等优点，可通用于高效去除的均匀抛光和面形收敛的修正抛光。本设备采用的是自主研发的新型半柔性气囊工具，具备R40、R80、R160三个尺寸型号，可针对于不同口径尺寸的光学元件，满足其加工精度和效率的需求，经验证，本设备对大口径非球面光学元件的材料去除效率达到30mm³/min以上，元件面形精度优于2λ (λ=632.8nm)，效率高于传统的数控小磨头技术10倍以上。

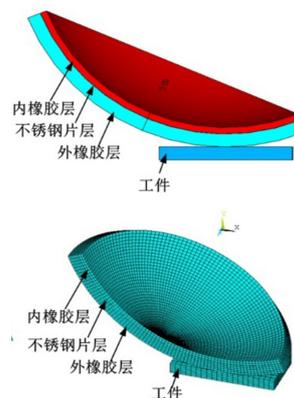


图9 高稳定性气囊工具结构图

(2) 气囊工具修整技术

在光学元件气囊高效抛光过程中，气囊抛光垫表面磨损程度逐渐增大，抛光垫表面逐渐变平釉化，从而影响实际抛光过程的效率与精度，也会降低被加工材料的表面质量，此外抛光工具的使用寿命也会随之降低。为了解决上述问题，本设备采用了气囊抛光工具修整工艺技术，使用高精度气囊工具修整装置对气囊抛光工具表面进行修整，使得抛光垫表面重新变的粗糙，保证抛光过程的效率与精度。经验证明，气囊工具修整后形状精度优于30μm，符合使用要求。

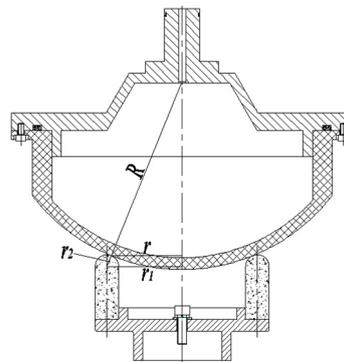
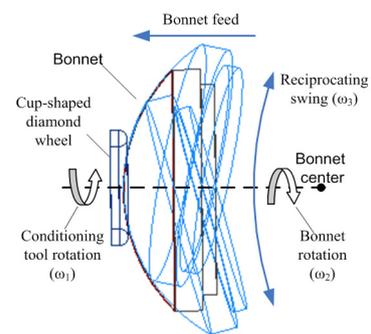
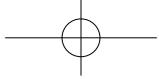


图10 气囊工具修整技术原理图



3. 数控离线砂轮修整机床

砂轮离线快速精密修整技术是为了解决砂轮在使用过程中由于砂轮片磨粒棱角变钝所导致的砂轮磨削能力下降及砂轮形状变化等问题，通过对砂轮进行修整，可以使其恢复良好工作状态。本设备采用的是X、Y轴插补圆弧修整技术，能实现光学元件超精密磨削金刚石砂轮的离线快速精密修形与修锐，可修整半径范围覆盖R20mm~R220mm，是为了适应现代化高科技发展需要而兴起的一种机械加工新技术，是先进制造技术的重要支柱之一。

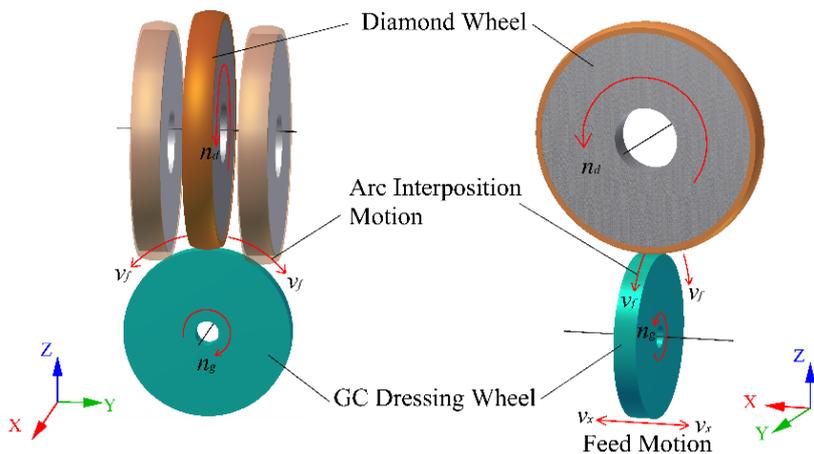


图11 砂轮离线快速精密修整技术原理图

五、应用情况

光学元件超精密加工成套装备是面向国家重要光学工程等领域面临的关键技术和瓶颈问题，研究高精高效光学元件制造工艺并开发配套控制软件，实现以高端数控装备配套高自动化程度辅助制造软件为核心的高效高精度大口径光学元件磨抛技术，提升大口径光学元件的磨削加工精度与效率，为激光领域提供高档数控超精密加工国产化装备，并逐步替代进口。

光学元件超精密加工成套装备提出的“规模化独特产品+整体解决方案”属高端数控应用装备，在加工工件尺寸、面形精度等方面的技术参数与瑞士、德国等世界一流产品一致，整体技术水平达到国际先进水平。该成套装备的研发与应用填补了我国高端数控设备领域的空白，缩小与国际水平的差距，从而整体提高我国大型超精密高端装备产品的品质和技术水平，增强国际竞争力。其产业化的实现填补了我国该领域空白，改变产品依赖进口局面，有利于促进机械制造业技术水平提升，对本地上下游相关产业群的发展具有积极的带动作用。

2021年，结合厦门大学及中物院共同承担国家重点科研项目，推动光学元件超精密磨床研制，依托中物院光学元件加工中心示范效果，组成专业化营销团队，突破重点企业销售市场。

2022年，计划增加流动资金投入，扩大生产规模，增强重点行业及重点企业市场攻关能力，形成自销及代理两者相结合销售模式，在重点行业布局销售网络。打造海西分院品牌超精密数控装备，占领行业高地，力争实现4000万元产值目标。□

上接第66页

五、结束语

当前，国内经济正在进行改革，去产能化，存在一定的下行压力。重型龙门产品已经没有往日风光。用户更倾向于功能全面，价格低廉，性能稳定的多功能轻型加工中心。此时推出轻型动梁龙门产品正合时机。而采用各种先进技术的轻型动梁产品价格低廉、性能稳定、加工范围广，能满足各种用户的不同需求。

轻型动梁龙门加工中心设计过程

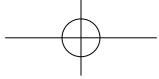
中采用先进的三维辅助设计方法及专业的计算软件进行优化设计；对关键技术的攻关按照相关专业技术合理配置研发人员，成立相应的攻关小组。经过本项目的研发，我技术部门对高速直连主轴驱动技术和双丝杠同步驱动应用技术进一步成熟掌握；对于轻型龙门机床精度的进一步提高也有了相应的思路和想法，这足以证明技术开发规划的重要性和前瞻性。

通过项目的完成，不但取得了技术进步，也获得了显著的经济效益和

社会效益。更重要的是，通过项目的开发过程中的论证、分析和实践，极大地提高了我的技术水平，丰富了我的设计经验，这无疑为我在今后的产品开发过程中取得更大成就奠定了坚实的技术基础。□

参考文献：

- [1] HYDAC蓄能器
- [2] 成大先.机械设计手册.北京：化学工业出版社，2004
- [3] 王三民.机械设计计算手册.北京：化学工业出版社，2008
- [4] 李洪.使用机床设计手册.沈阳：辽宁科学技术出版社，1997



钻切铣复合机床的技术应用

滕州市三合机械股份有限公司 康彬 孙翠洪 乔健

一、概述

制造业发展到当前阶段，产能过剩，利润微薄，降本增效成为当前工业制造业企业突围的出路。对于钢板作为生产原材料制造的企业来说，如何提高材料利用效率、减少加工周转时间，降低人工劳动，提高生产效率，每个企业都会依据自身情况的不同都有不同的做法。

三合机械一直在降本增效方面持续地做着改进工作，其中包括了在切割套料中合理排版提高材料利用率、多采用加工中心、多功能机等降低加工周转工序、减少辅助工时等具体的举措。

我们公司在参加国外机床展览会的时候就发现：有美国厂商开发出立式加工中心与等离子切割机复合加工的设备，但价格昂贵。公司结合企业加工生产状况并且经论证，开发此机型设备很有必要，市场前景较好，使用该设备会让用户企业在钣金下料、机械加工方面的效率有很大提升。

开发此类具有切钻功能的复合机床，从行业的角度看，第一它可以作为定制款为大企业服务，针对企业用量比较大、特殊形状、工序要求较多的板类零件或其它薄零件提供优化的操作程序、工装夹具配件，使其加工更加高效、更加适合具体的要求。第二它可以为中厚板材经销商提供板材零售分割服务，拓展业务范围，使切钻铣机床并入互联网，我们可以为经销商编制、改动切割套料程序，减少他们专业人员的配置，经销商既可以为用料大客户提提供半成品板服务，也可通过网络承接来自小企业的批量小、品种多的小订单。采用复合机床进行加工生产，减少了工件装卸、更换和调整刀具的辅助时间，以及中间周转

过程中产生的误差，提高了零件的加工精度，缩短了产品制造周期，提高了生产效率和制造商的市场反应能力，相对于传统工序分散的生产方法具有明显的优势。

随着现代机械加工要求的不断提高和环保要求的提升，复合型的、多轴联型的、绿色环保的数控机床越来越受到大中企业的欢迎。未来绿色制造的大趋势将使具有节能环保的机床加速发展、占领更多的市场。我们的机床配有集渣机构、除尘设备，迎合了市场需求，具有良好的市场前景。项目达产后，不仅能为我们企业自身带来一定的经济利润、增加制造用工需求，同时也会为上下游的供应商增加就业机会和经济增长点。

二、设备介绍

本机床采用龙门式横梁为主体不动，钻铣头和切割头在横梁上沿导轨移动，其次布局送料架夹持板料往前移、往后退，再细划各功能动作的细节过程，最后辅以换刀、切割、冷却、收集、吸尘等附加功能。在开发过程中我们解决了三大难题：铣削动态夹持的问题。研发组通过对国内外相关的成熟技术进行对比分析并消化吸收，再向科研院所的专家学者进行咨询并进行相关机构可靠性研讨，认为五个液压夹持钳为主力、钻铣头下设辅助滚压盘的结构方式比较稳妥可靠。为了钳口适应6~40mm不同板厚的夹持，上钳口设计出独特的曲线。对这两项的结构，利用三维立体设计软件多次演示，反复进行动态受力模拟和分析验证。为了更紧凑的布局刀库、钻铣头和切割头，研发课题组在常规主轴单元动力传动形式的应用基础上，采用内置打刀缸的主轴单元。

本机床是集切割、钻、铣于一体的数控钻切机床，集冷、热加工为一体的高效加工设备。作为多功能的、理想的板材加工系统，它集合了数控钻铣床的快速钻削、铣削、攻丝和等离子切割技术的多项功能为一体，一次装夹能对工件完成下料、钻、攻等多道工序，省却了二次或三次加工、减少了工件周转次数，使得生产效率上升到了一个新的台阶。它配备的具有16把刀位的快速换刀系统，使机器的功能更加强大，换刀更加迅速，基本能应付得了加工钣金类零件的多种工序要求。机床整体布局图如图1所示。

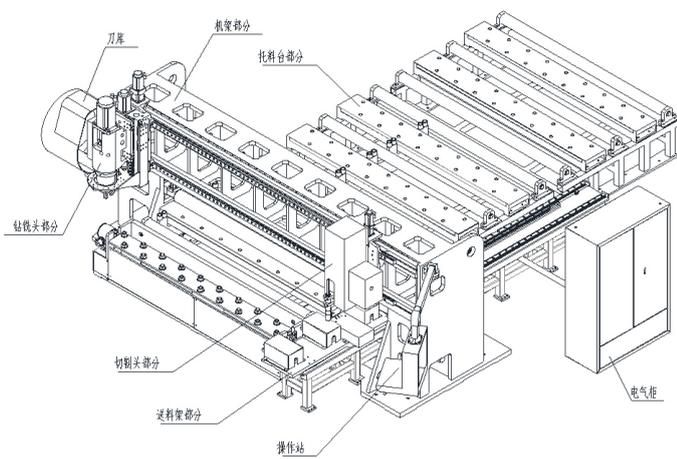


图1 整体布局图

产品主要构造由机架部分、钻铣头部分、切割头部分、送料架部分、前接料架部分、后托料架部分组成，采用了电、液、气动力，辅加了扫屑辊、刀库、冷却系统、吸尘净化系统。机器有三个方向的主运动，另外还有两大辅助运动。

各部分结构简介如下：

如图2所示，机架部分由碳钢板焊接加工而成，正面镶有两根平行的滚动导轨，上部装有齿条，左侧端头装有圆盘式刀库，机架头下部装有扫屑辊。

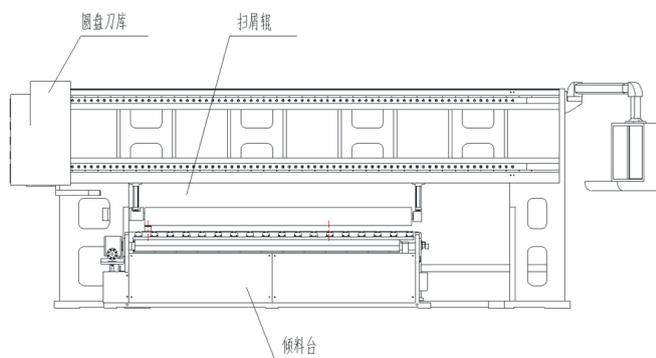


图2 机架结构简图

钻铣头部分设有导轨、丝杠、直联伺服电机，配有

液压缸做动力升降的辅助滚压盘（见图3）。当主轴抓刀后，钻铣头部分在横梁上移到预定位置时，滚压盘由液压缸带动下下降至预定位置，机头箱通过伺服电机、丝杠移动带动主轴下降完成钻孔等切削加工功能。切割头部分前端附着割炬，由另外一个伺服电机通过丝杠带动下下降到所需位置，再通过套料软件的程序控制切割出所需形状。

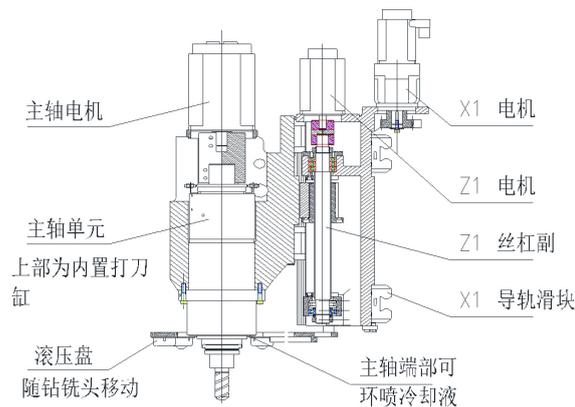


图3 钻铣部分简图

送料架部分由夹钳作为主体的夹持部件、齿轮齿条传动部件、电机液压缸等动力部件组成。当板料被送至夹钳口，夹料液压缸动作，夹持力由压力检测开关限定，Y向电机动作，通过齿轮齿条带动板料沿导轨前后移动。

前接料架部分由两部分合成，类似排屑器的小件收集器及板条托架。被切割的小件从倾斜台处滑入收集器槽，再随链板被传动到料箱内。大件及切割余框被推至板条托架上。

后托料架部分用来放置原材板料，为了减少原材料前后滚动及右移至钳口的运动磨擦力，托料架上设置了长的圆滚筒及诸多个滚球。

机架的左端头配备了圆盘式刀库，右端头装有悬臂式操作台。

在工艺实施方面，机床关键结构部件及承重部件，采用高强度、高刚性的钢板焊接式结构，铣削头主轴箱选用高强度箱体式结构，通过计算机仿真分析（CAE）最大限度地保证机床在钻切、铣削时的抗弯和抗扭曲强度；箱体运行导轨采用对称设计，保证机床在运动中保持最佳的稳定性，为实现孔的钻攻和板料的铣削功能奠定了基础，保证了加工的精度和尺寸的稳定性。

XY两个方向因行程较长而采用了齿轮齿条的传动方式，以确保传动过程中的精度及加工时需要的扭矩。

环保方面的设计，割炬下方设有集尘渣吸尘空间，通过风管被吸尘器抽走大部分的烟尘，并经湿式除尘法净化，再排到大气中，在一定程度上减少切割粉尘对环境的污染。

节约能源方面，X/Y/Z向伺服电机经过计算优选，既能保证传动的足够扭矩，又减少了对能源的消耗。

导轨是机床运动精度的直接体现，导轨的质量和精度是机床实现切削功能的根本基础。机头移动方向、送料方向、钻头、割炬升降方向均采用精密线性导轨，承载好、精度稳定，具有良好的刚性和运动精度。

为了保证机床的精度，零件从加工和装配方面严格按照工艺操作规程操作，关键零部件的加工由数控龙门铣和落地镗来保证。机床装配在高清洁度安装车间进行，保证了安装部件的洁净。

本机床具有自身特有的加工系统程序，加工程序流程图如图4所示，包括两种加工流程，钻铣加工和切割加工所有控制程序的开发研制是自主研发的，并已取得软件著作权，著作权号：2021SR0512247

钻铣步骤：确定加工刀具参数，识别加工工艺表，确定刀位，然后刀库配刀，根据工艺表生成加工程序，将加工程序反馈至钻切铣复合数控系统，钻切铣复合数控系统将加工信号发送至主轴开始工作，主轴开始工作后判断是否完成，未完成将继续完成，如果完成将发送完成信号至钻切铣复合数控系统，同时伺服电机通过网线将加工数据反馈至钻切铣复合数控系统；

切割步骤：确定钢板参数后产生工件参数表，根据切割电流、速度电机喷嘴型号确定切割工艺表，确定切割路径生成切割程序，切割程序通过网线反馈至钻切铣复合数控系统。钻切铣复合数控系统将钻铣完成信号发送至等离子切割后开始进行切割加工，根据切割程序切割完成后，切割后的成品及废料经前接料架自动翻转卸料，同时等离子切割加工将切割数据反馈至钻切铣复合数控系统。

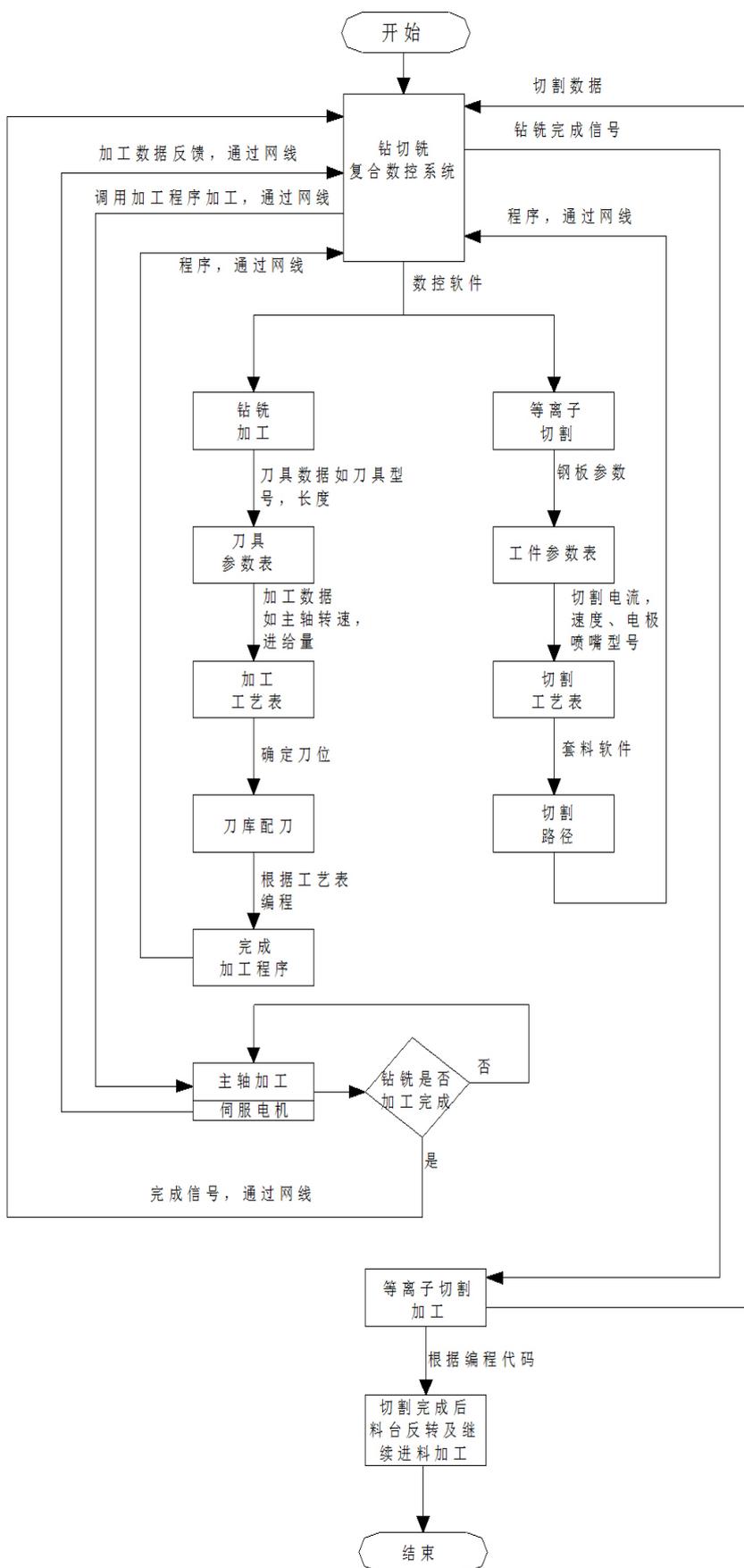
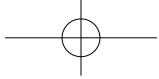


图4 软件加工流程图



机床已达到的技术质量指标如下：

工作台区域 (mm)	3000 × 6000
有效切割、钻孔宽度 (mm)	2500
X向 (横梁) 行程 (mm)	3000
Y向 (料道) 行程 (mm)	2500
Z1向 (钻铣) 行程 (mm)	250
Z2向 (割矩) 行程 (mm)	250
工作台高度 (mm)	650
最大切割板厚 (mm)	40
最大钻孔板厚 (mm)	40
铣削头最高转速 (r/min)	6000
最大钻孔直径 (mm)	30
最大攻丝直径 (mm)	M16

三、技术创新

本机床创新性体现在铣削时能随动夹持板料，并且把冷却、集渣、集尘综合布局了进去，利于环保。

主要创新点为：

(1) 该产品把立式加工中心的功能和等离子切割的功能通过软件完美无缝对接，实现了中厚板材类零件的从原材料板材直接加工出合格的零件，实现了下料和多工序金切复合和冷热加工的复合，提高了产品质量和加工效率。达到了快速、省工、经济的板材下料目的。双头关键部件如图5所示。

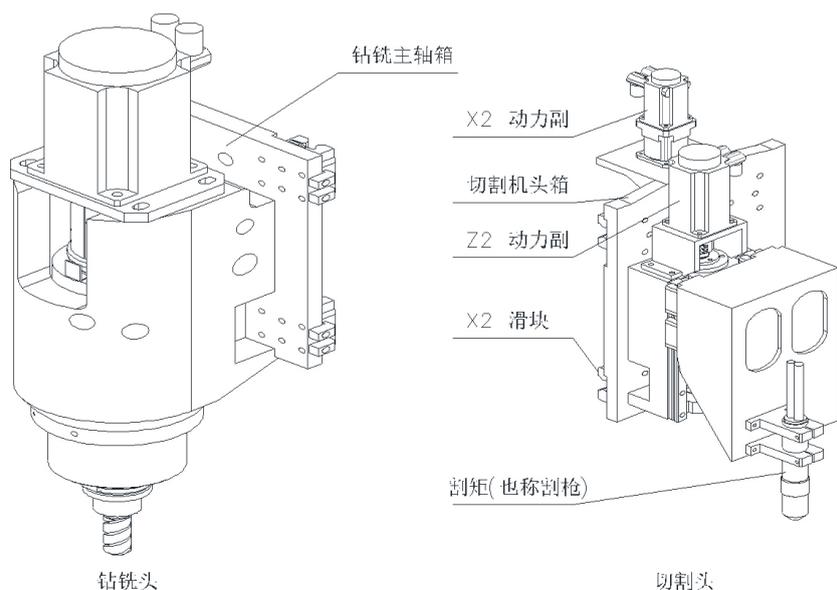
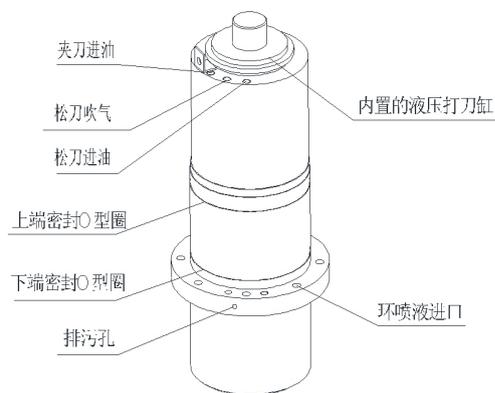


图5 双头关键部件图

(2) 采用多个夹钳为主夹持、随动滚压盘为辅助压料的夹紧方式，实现了原料板材在移动中被铣削的夹持方式。使随动铣削功能得到应用。

(3) 采用内置液压打刀缸的主轴单元（见图6），使铣削机头结构更加紧凑外形更小，为刀库换刀功能增加了稳定性，并为切割功能提供了更多的行程。



内置打刀缸后，主轴电机可以通过连轴器与主轴直连，节约空间，使整体结构紧凑，占用空间小

图6 主轴单元示意图

(4) 采用五个夹钳夹持大面积板材，伺服电机带动齿轮沿齿条运动来实现板料的进退、辅助以数个滚球支撑，减少了板料移动中的摩擦力。

(5) 运用倾料台的下降及定向旋转使被切割后的小板料从主板分离后滑入集料器，省却了人工拾取工件的过程。

四、市场前景

本机床技术先进、附加值高，主要客户对象为国内中厚板材供应商，也可销往欧洲市场、北美市场以及南非市场，产品适销对路，市场广阔，可以为国家创收外汇，项目具有较好的社会效益。在研发过程中，公司贯彻技术进步的方针，积极采用具有国内外先进水平的制造工艺和装备，以保证产品的高质量和低成本。本机床的工艺及装备水平居国内同行业先进水平。

在研发时充分考虑了环境保护和劳动安全卫生等因素。对各种可能产生的污染和危害均采取了有效的防范措施，达到了国家规定的有关标准和要求。同时该产品产业化后，可直接提供大量就业岗位，拓展相关延伸供应链，带动相关产业的进一步发展。□

数控机床定位精度校准的全新理念和工具

英国雷尼绍公司 周汉辉

【摘要】长久以来，数控机床定位精度的检测与评定都是采用单光束激光干涉仪，检测结果也就根据该测量位置的测量结果来对该机床的定位精度下结论。但在机床精度验证的实际应用中，经常出现换一个检测位置机床同一轴线的定位精度不一定相同，有时还相差很大，这一问题在五轴机床的加工中尤为突出。国际处于领先地位的机器制造商已经转变观念，通过采用新版国际标准中测量不确定度的控制的方法，结合雷尼绍公司XM-60多光束激光干涉仪的先进功能，可以有效控制机床空间上的定位精度。

1. 背景

从上个世纪人类发明数控机床开始，数控机器的定位精度一直是一台机器质量好坏的标志性指标。在人们的认知中，对机器轴的某个位置检测定位精度合格，就认为该轴基本满足加工要求。

由于长久以来人们采用的都是单参数测量定位精度，检测结果中缺乏对该轴空间误差信息的体现，当在检测位置对检测的定位误差进行线性螺距补偿后，该机器一般也就会通过验收。

但实际上，还是有相当一部分已经通过上述定位精度验收的机器出现零件加工的质量问题，有相当一部分机器是因为存在有较大的各种角度误差，而无法做到在机器空间中精度都满足要求。

如图1所示，机器原本存在有定位误差的同时，还存在有不同大小的角度偏差，如果只在位置A对机器进行线性误差补偿，在位置B定位误差依然会存在，有时还不小。

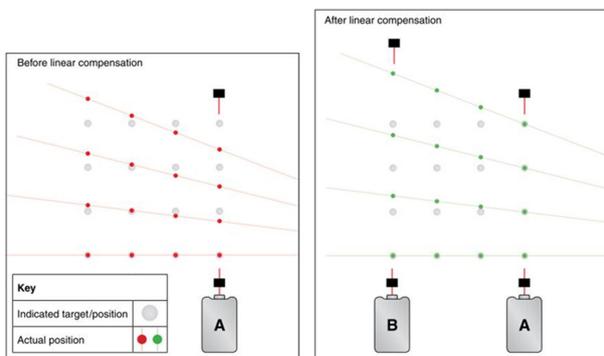


图1 空间不同位置定位误差不同示意图

2. 不确定度分析带来全新校准理念

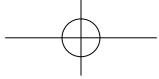
随着问题暴露的越来越多，将计量领域常用的检测不确定度概念引入数控机床的精度检测就非常必要了。也就是说，在给出定位精度测量结果的同时，还应该附上一份测量不确定度报告，以表明测量工具、测量方法及测量环境等带来的误差大小；如果在同一轴线的位置A与位置B存在较大的定位精度差异，如果只在两者之一的位置作为评价该轴精度好坏的依据，那另一位置的测量结果就应该属于测量方法不完善所带来的测量不确定度。从计量行业传统做法上，该机床的测量不确定度应该至少要小于机器测量结果的三分之一，最好是小于十分之一，该次检测结果才是有效的，机床可以看作合格。

早在2005年，国际标准ISO230-9对机床检测中的不确定度估计的计算方法作出了一系列规定。随后，ISO230-2标准在2006年正式将机床测量定位精度的不确定度报告纳入。在具体的不确定度分析条目中，就有一项与角度误差相关的不确定度误差，只要在位置A测量直线轴定位误差的同时能将该轴各位置的最大角度值也测量出来，而位置A与位置B间的距离是可知的，那在位置B对应影响定位精度的最大不确定度误差就可以计算出来了。

2016年，在国际标准对数控轴线的评定引入不确定度分析后，我国国家标准GB17421.2-2016经过修订后，也正式将该理念纳入。

3. 新理念将给数控机床发展带上新的台阶

(1) 作为制造大国，我国数控机床的发展一直是参差不



齐,有些装配质量不高的机器通过在某个位置简单的螺距误差补偿,就号称与那些经过精心装配的机器精度档次一样。因为单纯从一个位置进行螺距误差补偿后的结果在大多数情况下的确显得与其它高精度机床看上去一样。

如果按照新版国家标准通过角度测量并进行不确定度分析,马上就能看出两者的区别,对于加上AB间偏置而得到较大的不确定度的机床,说明机器角度误差带来的阿贝误差太大,在位置B测量出的定位精度不能代表该机床空间位置的定位精度实际值,从而避免滥竽充数。

(2) 如果没有不确定度分析要求,某些机器使用了精度未经验证或本身性能不达标的仪器检测,从该类仪器得到的数据看上去是满足要求的,也就可以声称精度合格,达到鱼目混珠的目的,消费者会受到伤害。

而采用不确定度分析要求后,只有使用具备一定精度并能进行精度溯源的检测仪器才能满足标准要求。如

某些仪器自身精度不高,或是需要多次测量再通过某种数学模型推算定位和角度误差的仪器,因它们自身测量结果的不确定度未知,是无法进行不确定度分析的。

(3) 测试机器几何误差和定位误差的仪器有直接测量法或间接测量法两类,一般直接测量法的仪器都可以进行精度溯源,比较方便得到测量不确定度结果。

而间接测量法多数是采用机器重复运动,多次测量,结合数学模型来推导辨识各项误差值,仪器自身测量结果与机器多次运动的重复性相关,不具备精度的溯源性。建议使用直接测量法的仪器来对机器进行精度评估。

4.XM-60多光束激光干涉仪可自动准确给出不确定度报告

(1) XM-60多光束激光干涉仪(见图2),在测量直线定位精度的同时,也将机器各定位点的俯仰

角、扭摆角、滚动角及直线度等六项几何误差都同时测量出来;所有误差项目都是直接测量出来,且都具备精度测量的溯源性。

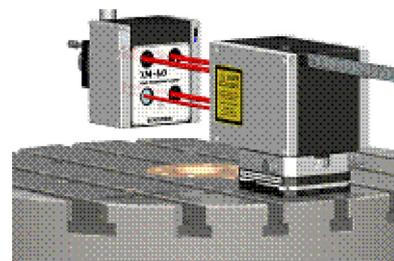


图2 XM-60多光束激光干涉仪

(2) XM-60配套软件可以完全对测量定位精度相关的不确定度因素测量出来,如温度、激光束因直带来的余弦误差、以及各方面的角度误差等等,为不确定报告的自动生成提供了准确的数据,软件界面见图3。

(3) XM-60采用光纤传输激光到发射头,既避免激光头的热源对干涉镜和测量环境的影响,同时保

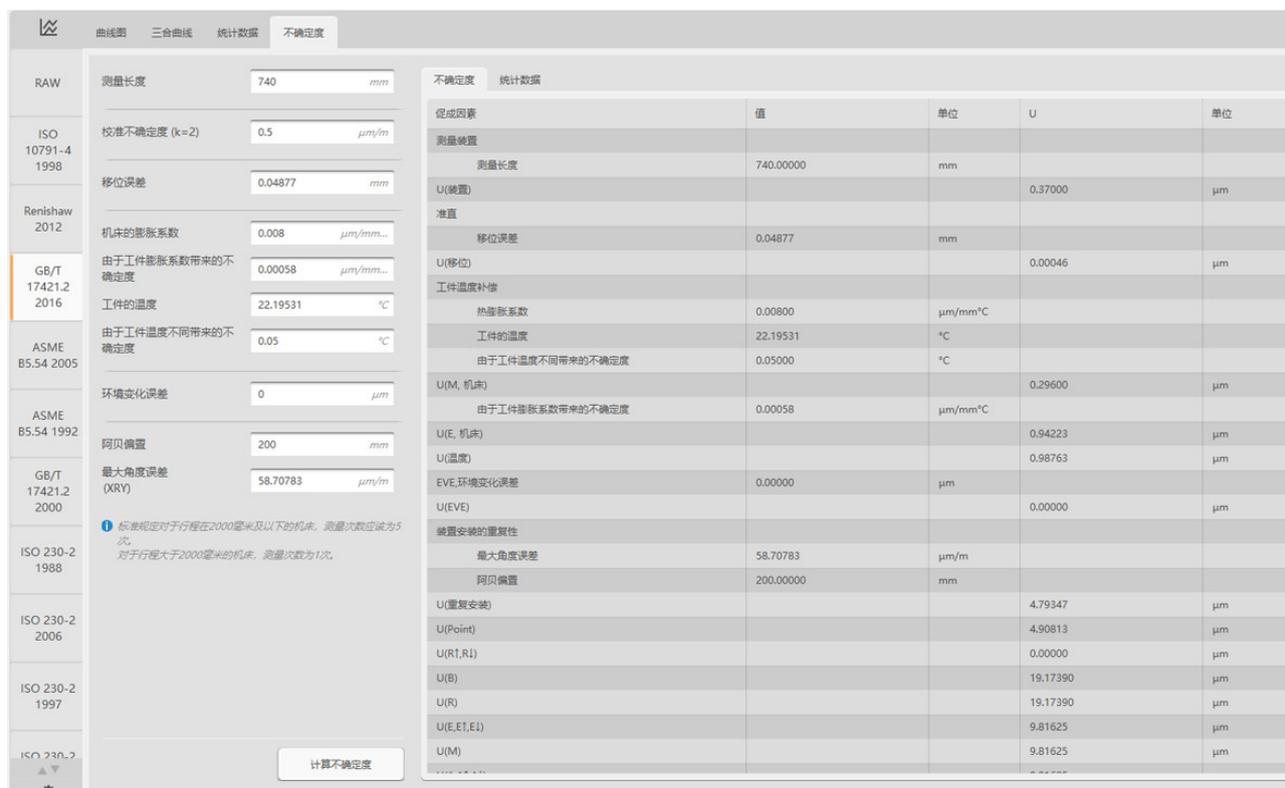
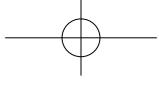


图3 不确定度报告自动生成软件



证测量移动镜上不受任何电缆的拖拽，从而在极大提高测量效率的前提下保证了测量稳定性、可靠性。

5.解密国际上机床行业巨头的做法

国际上机床制造业巨头在机器校准中已开始大量采用多参数、直接测量法，多参数同时测量可以方便计算阿贝误差，直接测量的结果具备精度溯源性，保证测量结果的可靠。

除方便本文描述的测量不确定度分析外，还充分利用了XM-60的其它功能：

(1) 对于需要保证空间误差而不打算拆开机器返修的机床，XM-60可以方便迅速地帮助完成机器的空间误差补偿；

(2) 对于需要拆开机器返修的机器，XM-60的偏置计算功能可以分析机器需要修理的部位。如定位精度不好是光栅尺需要调整更换还是导轨直线度需要修刮准直等等；

(3) 良好的几何精度基础将减少对空间误差补偿的需求，国际上机床行业巨头大量采用多参数测量，并非每台机器进行空间误差补偿，而是控制机器基础件的几何精度，分析主要空间几何误差产生的根源，为批量生产、装配精度保持性打下基础。

6.结语

机器精度检测中不确定度概念的引入一开始会给不熟悉不确定度计算的人员带来困扰，这也是国际标准推行16年后国家标准也引入近6年了，我国机床制造业质量检测还没有全面利用不确定度分析来进行质量控制。更大层面上是不确定度的计算牵涉到需要测量更多的机床误差参数，需要仪器操作者具备更强的数学计算能力，推广到机器检测一线还受到一线人员主动性的限制，从而制约了我国机床质量检测的健康发展。

如今，由于XM-60多光束激光干涉仪可以自动同步测量多参数，

又具备定位精度测量相关不确定度参数的可溯源分量的测量和自动分析，从而大大降低了对仪器使用者的能力要求，方便了机床标准的推广。

相信随着机器校准的全新理念的引入，机器制造业将迅速与国际标准和国家标准的要求接轨，当机器不确定度分析结果不能满足标准要求时，就会促使机器制造人员去设法改进机器的制造质量，从而帮助提升我国机床制造业的整体质量控制水平。

有关利用XM-60多光束激光干涉仪对机器进行空间误差补偿、完成机器误差源分析和对五轴机器动态直线度的评估等内容，近期将会另文描述，敬请关注。□

参考文献：

- [1] GB17421.2-2016 数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定
- [2] ISO/TR 230-9:2005根据ISO230簇基本公式进行的机床检验测量的不确定度估算
- [3] 雷尼绍CARTO软件使用说明书，2021年

上接第60页

卡尔蔡司面向测量及检测应用的新型工业CT系统Zeiss Metrotom 1解决方案，使用计算机X射线断层扫描(CT)技术，只需一次扫描，配合检测软件GOM Volume Inspect (体积检查)，就能有效完成复杂的测量和检查任务，精确评估几何形状、孔隙或内部结构和装配情况，并可以使用多种标准自动进行评估，确保零件无瑕疵。这种隐藏的缺陷和内部结构是当前检测接触式或光学测量系统无法检测到的。

海克斯康的新能源汽车三电精密检测方案，结合Global S 9158三坐标测量机、触发式测头、线激光传感器HPL 106，使用Compass快速扫描技术，快速测量电机定子绕组轮廓高点

以及绕组内外径、定子绕组Hair Pin关键部位尺寸、电机壳体与变速器同轴度等影响电机性能、功率和振动噪声的因素。该方案具有测量效率高、测量更全面、便于追溯和实现数字化等优点。



上海申克的新能源车电机转子动平衡机510RBTU，配置德国申克的CAB870自动平衡机专用测量系统，用于各种新能源汽车的驱动电机转子的双面不平衡量测量和轴向钻孔校正，可连接转子生产线，自动完成不平衡量的测量、去重和复测，实现自动化生产，满足规模化生产的需求。动平衡机采用矿物铸件床身，不受磁场的影响，带有故障诊断和状态显示功能。□

Fanuc数控系统使用效能的提升手段

北京信息职业技术学校 蔺丽莉

【摘要】专用加工工艺操作界面、PLC及宏程序融合堪称为Fanuc数控系统应用的灵魂，也将是实现数控机床智能化的关键途径。以多槽零件的槽深控制为载体，探寻了专用加工工艺界面开发及其与PLC、宏程序融合的关键技术，通过工艺界面，以简单的参数输入取代了繁琐的数控加工程序编制过程，迅速完成可变深度的槽体零件加工。

党的十九大明确指出，我国经济已经由高速增长阶段转向高质量发展阶段，并明确提出要加快建设制造强国，加快发展制造业，坚持质量第一、效益优先。数控机床作为高端制造的“工业母机”，是国民经济和社会发展全局的基础性、先导性和战略性新兴产业，坚持高质量发展将是今后一段时期数控机床发展的主导方向。

高端国产数控机床落后，有多种原因，但其中一个很重要原因是国产机床针对国家重点领域需求用户的工艺适用性不足。这一方面是由于国产机床缺少在这些用户处进行应用和技术迭代改进的机会，另一方面也是由于开发专用数控加工工艺操作系统是一项涉及多个方面的综合性内容，没有现成的途径可循，技术复杂，开发难度高，致使许多机床主机厂望而却步。

宏程序具有计算机辅助编程系统不可替代的独特功能，尤其适用于相似零件的加工，因而是数控机床与专用户适配的关键所在。更重要的是，宏程序与PLC的融合，将能够灵活的获取量仪的信息并自动调整机床加工过程，因此说，宏程序与PLC的融合，是机床智能化发展的关键所在。

而在专用户应用领域，要实现无编程化加工，还需进一步将加工工艺、操作界面开发技术与宏程序、PLC程序有机融合于一体，其技术难度和复杂性可想而知。以图1所示简单的典型槽类零件簇加工为对象案例，揭示出操作界面开发核心技术及其与宏程序、PLC程序的融合方法，从而为其它各类零件簇的专有加工工艺操作界面的开发提供一种参考思路 and 开发线索，就

是本文的目的所在。

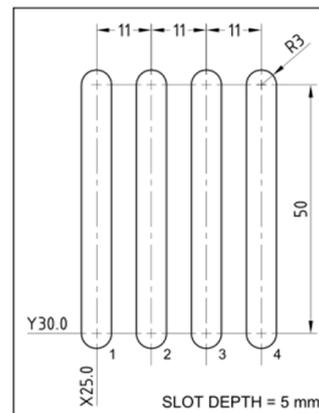


图1 四平行槽零件

一、加工工艺界面设计

运用Fanuc Picture软件工具，结合典型零件簇加工工艺中的可变参数，设计操作界面。

1. 界面主要功能

(1) 监测各轴坐标值。

- (2) 监测轨迹速度值。
- (3) 监测主轴转速值。
- (4) 监控槽深值。

2. 界面设计方法

使用Fanuc Picture的静态文本，注释各监测窗、监控窗数据的意义。使用数值/字符串指示控件，显示各类监测值。使用可调用十键盘的数字指示控件，实现槽深值的监控任务。使用屏幕设置控件，针对拟支持的数控系统，完成对屏幕像素参数的设置。使用屏幕结构定义控件，定义屏幕和子屏幕的名字以及屏幕调用采用的数控系统软键编号。

3. 界面样例

依照以上提及的功能和方法，在Fanuc Picture开发环境下设计出的操作界面如图2所示：



图2 槽簇零件加工操作界面

二、与PLC及宏变量的关联方法

在各个监测、监控控件的动作属性中，首先选择动作类型为函数。

对于轴绝对坐标的监测，在函数名称一栏，选择absolute[x]函数，用于从数控系统中读取参数x所指定轴的绝对坐标值。当x取1、2、3分别对应X轴、Y轴和Z轴。

对于绝对速度监测，在函数名称一栏，选择actf，用于读取数控系统中存储的刀具轨迹的实际速度。

对于主轴速度监测，在函数名称一栏，选择acts，用于读取数控系统中存储的主轴实际速度。

对于槽切深宏变量值的监控，则要依次在读函数中选择rdmacro[number_pmc_address]，在写函数中，选择wrmacro[number_data1_data2_pmc_address]。

其中函数的参数意义如下：

Number-用于指定数控系统的宏变量编号。

可使用的宏变量分为局部变量(#1, ..., #33, #100, ..., #149,) 和公共变量(#500, ..., #531)。局部变量在一个加工程序内部使用，加工程序运行后，给局部变量赋值，加工程序执行完毕后，局部宏变量就自动清零。公共变量则各个加工程序可共同使用，不仅一个程序结束后依然保持原值，而且在数控系统断电重启后，依然会保持之前的值。

pmc-用于指定将数控系统发来的函数处理结果通知所存放的PLC内存种类。

5代表R寄存器。

6代表D数据存储器。

12代表:E(PMC-SB7, PMC 30i系列)扩展寄存器。

99代表处理结果不通知PLC。

Address-处理结果通知在PMC中存放的起始地址，占用2字节。

data1-为转换成整数的变量值，填入0代表由键盘输入。

data2-为小数点后的位数，填入零代表由键盘输入。

本案例中，使用宏变量#501，寄存槽的深度加工进刀量，用户界面中槽深度值与宏变量的连接关系如图3所示。



图3 操作界面槽进刀值与宏变量的连接函数关系

读函数rdmacro[501_9_400]，代表读取数控系统宏变量#501的值，函数操作结果通知存放在PLC的D数据存储器区的第400个字节起始的地址中。

写函数wrmacro[501_0_0_99_0]，代表从十字键盘读取数值和小数位，写入数控系统宏变量#501，函数操作结果不通知PLC。

三、图形操作界面导入数控系统的步骤

在Fanuc Picture中正确完成图形操作界面后，需要生成数控系统可读的存储格式文件，后缀为MEM。然后再导入数控系统中。从FanucPicture的Project下，选择存储卡文件制作菜单，出现如下对话框（见图4）。

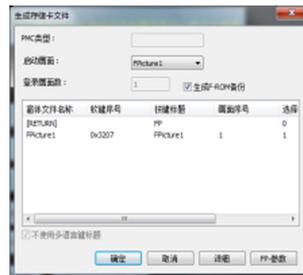


图4 生成存储卡文件对话框

本案例中，用户操作图形界面的名称为FPicture1，将其设为启动界面，按确定后，如果设计无误，则会出现存储卡格式文件制作成功的提示（见图5）。



图5 存储卡文件制作成功提示

存储卡格式文件制作成功后，需要点Fanuc Picture的Project下的MEM文件输出菜单，将其连同指定

数控系统的驱动程序一起，写到存储卡中保存（如图6所示）。



图6 存储卡文件输出存储对话框

此时，该文件可以临时存储在计算机中的一个任意目录中，但文件名必须为FPF0FPDT.MEM或CEX0FPDT.MEM。当屏幕数据要从存储卡下载到数控系统的F-ROM前，一定要把该屏幕数据写在存储卡的根目录下。在数控系统上电时，按住十键数字键盘的[7]和[6]按键，激活数控系统的引导程序，就可将屏幕数据从存储卡下载到数控系统的F-ROM。

四、在数控系统中运行的数据监控

1. 槽深进刀量的修改

数控系统上电启动后，首先自动调入所开发的加工工艺监测界面，如图7所示。



图7 数控系统中显示的工艺操作界面

从操作界面可以看到，槽切削深度的当前宏变量值为-12.000毫米。点击这个值，调出十键输入对话框，如图8所示。



图8 修改宏变量值的十键输入对话框

通过十键输入对话框，在新数据一栏输入-16.000，按输入键，可以看到，宏变量改为-16.000，如图9所示：

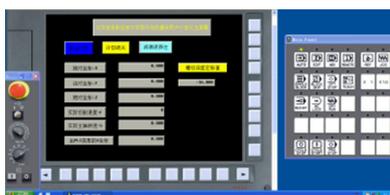


图9 宏变量值当前为-16.000

在数控系统的操作面板上，按系统设置键，按左右翻页键，再按宏程序键，可以看到数控系统中存储的宏变量#501已经改为了-16.000（见图10），印证了通过加工工艺操作界面可以正确操控宏变量。



图10 通过数控系统查看宏变量#501的值为-16.000

2. 槽加工的执行

槽加工宏程序如图11所示。



图11 槽加工宏程序

观察图11所示槽型零件的数控加工程序中，宏变量#501代表了槽深加工的进刀量，因此只要通过加工工艺

界面修改宏变量#501的值，就可对不同深度的槽实现加工，无需重新修改或编制加工程序，因而达到了提高了数控系统加工操作的效率的目的。

槽加工过程的图形化显示界面如图12所示。



图12 槽加工过程监控界面

从槽加工过程的监控画面可以看到，槽深加工的进刀深度为-16.000毫米，与预期的目的完全吻合。同时，本项目在数控系统中还开发了监控宏变量#501的PLC程序，如图13所示。在PLC程序中，用数据寄存器D9002开始的地址存储命令指令，D9002存储的数值为21，代表将执行宏变量读取命令，D9006存储的数值为6，代表读取的字节为6个字节，其中前4个字节为宏变量数值，后2个字节代表小数点位数，D9006存储的数值为501，代表读取的宏变量为#501，通过功能指令SUB40将以上值赋给数据存储单元，为宏变量的读取做好准备，通过功能指令SUB51，执行宏变量为#501的真正开始执行宏变量#501的读取。读取后的宏变量值将存放在PLC数据存储区D9012中（见图13）。

（下转第95页）

精密铝合金结构件的无人化制造技术

武汉华中数控股份有限公司 张幼龙 张玲 吕环环 肖明

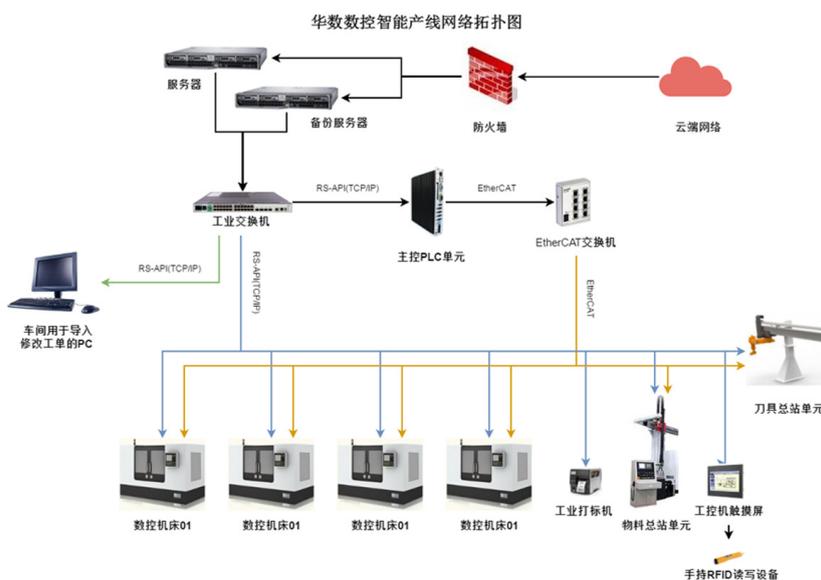
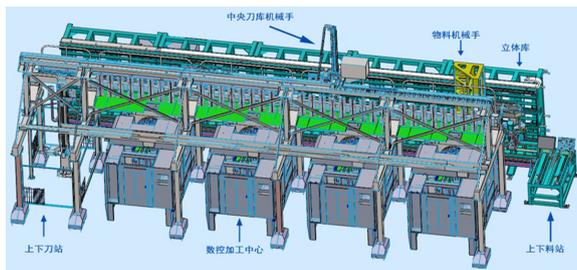
日夜不停转的机器，无数机械臂上下飞舞，带有ID的物料以稳定速率前进，流水线有条不紊运行，当工序依次走完，成品由自动化小车分拣送至无人仓库……生产车间热火朝天，却见不到几个工人。这就是现代“黑灯工厂”的真实场景。

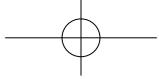
“黑灯工厂”直译自英文Dark Factory，即智慧工厂，亦即从原材料到最终成品，所有的加工、运输、检测过程均在空无一人的工厂内完成，无需人工操作，把工厂交给机器，所以可以关灯运行。故得名“黑灯工厂”。

2021年年初，由武汉华中数控股份有限公司、沈阳华飞智能科技有限公司、沈阳精锐数控机床有限公司等企业与某重点电子通讯企业联合，针对电子行业铝合金复杂精密结构件加工材料的切削去除率高、薄壁深腔加工易变形、六面特征装夹频繁等工艺难点，以及由此造成的加工设备利用率低、加工周期长、应急响应迟缓、自动化水平低的瓶颈问题，研发出国产高档数控机床和智能柔性加工生产线，实现了对铝合金复杂精密结构件的高效、多品种、变批量、多工艺融合的柔性化、规模化、自动化、智

能化、无人化加工生产，达到了“黑灯工厂”的运行效果。经过了一年的运行试生产，加工制造出数千件各类铝合金精密结构件，加工质量完全满足生产需求，加工效率大幅提升。

该工厂由两条数控柔性智能加工生产线组成，每条生产线由配置华中8型数控系统的4台五轴卧式加工中心、1套生产线中央刀库及刀具机械手、1套生产线物料库及物料机械手和生产线管控系统组成。





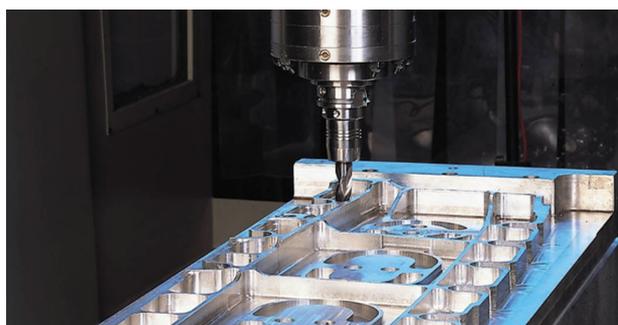
现场实景图

那么，这些铝合金精密结构件应用于在哪些领域？有什么工艺特点和市场需求？对数控系统关键技术有什么要求？该“黑灯工厂”在加工这些铝合金精密结构件上又有哪些优势？黑灯工厂如何实现自动化和智能化加工生产？

下面为您一一揭晓。

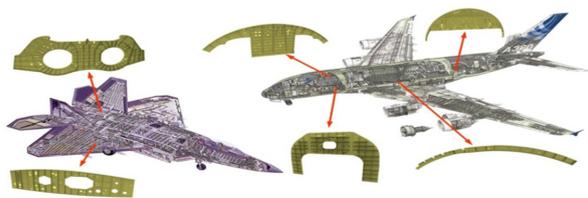
一、精密铝合金组件的市场需求

随着我国经济结构的转型，即渐渐由制造大国向制造强国转型的，精密结构件产业面临着新的发展机遇，我国铝合金精密结构件的产量在金属精密结构件中的占比已经大幅度提升。随着航空航天、汽车、通讯等技术的飞速发展，航空结构件、消费类电子精密结构件及模组、新能源汽车结构件及模组等产品市场爆发，我国铝合金精密结构件制造行业迎来前所未有的发展机遇。



1. 航空航天领域的铝合金、钛合金和辅材的复杂结构件市场需求

航空复杂结构件的梁、框、肋、壁板、接头、长桁等主要以铝合金、钛合金和复合材料组成，航天复杂结构件的壳体类、复杂筒类、功能关键部件等主要以铝合金和复合材料组成。

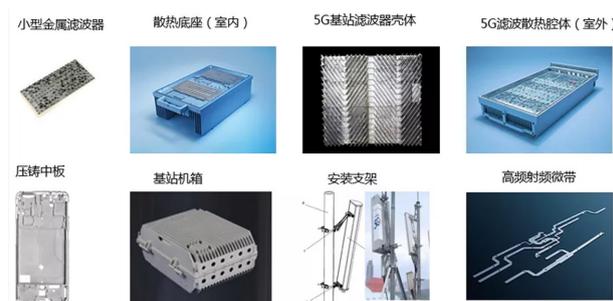


2. 通讯、电子领域精密铝合金组件市场需求

在通讯领域，随着5G的发展，以手机、智能手表、笔记本电脑等为代表的5G智能终端的需求也越来越大，所需的铝合金结构件需求量增长较多。

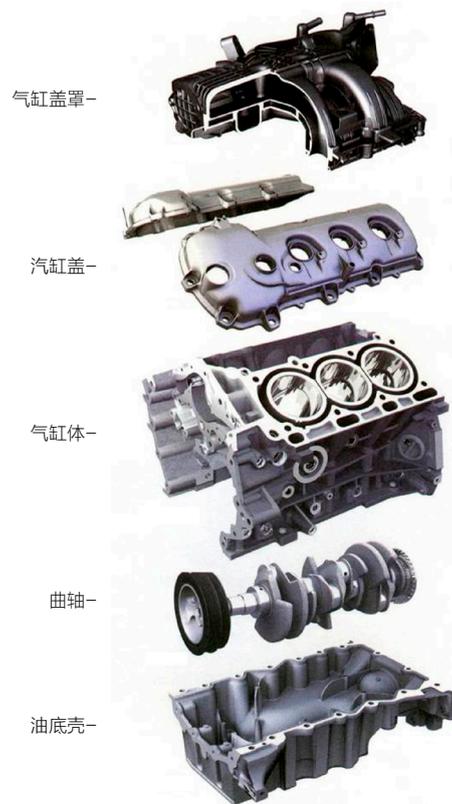


而5G基地站的快速建设，5G散热壳体、5G通讯腔体滤波器、天线底板、5G接插件等结构件的需求加大。

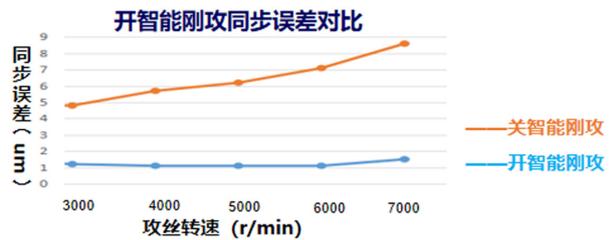


3. 汽车领域精密铝合金组件市场需求

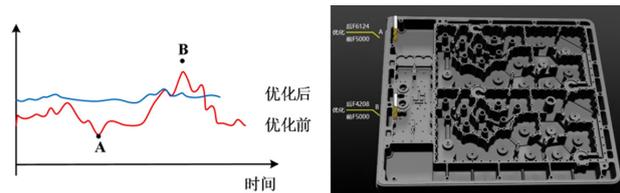
随着汽车产业的快速发展，轻量化技术、材料、工艺的研究和开发已经成为世界各大汽车生产厂家提高竞争能力的关键之一。铝合金作为关键的轻量化材料，被各大汽车企业用于替换原有的钢制件。目前，铝合金主要用于制造发动机的缸体、缸盖、轴承座、离合器壳、变速箱壳、活塞、汽车轮毂等。



发动机主要构成分解图

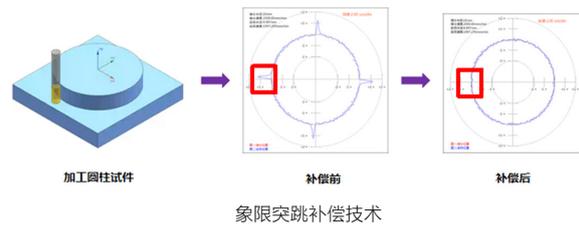


攻丝同步补偿技术



优速铣技术

针对铝合金组件的多面加工技术特点，机床应用了华中8型系统的诸多典型五轴功能：RTCP功能、直角头双向刀长补、摆头分度、动态精度测定、数显手摇、斜面对刀、全闭环模式下零位保护功能、刀轴方向长度补偿、五轴倾斜面加工、法向进退刀、线性插补、大圆插补等。



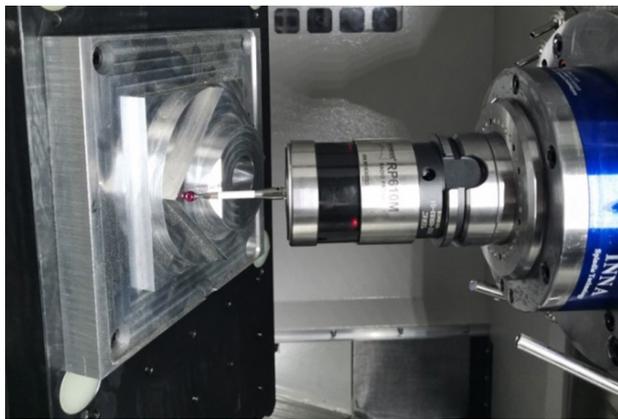
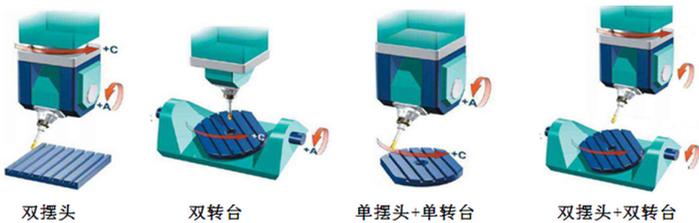
象限突跳补偿技术

2. 黑灯工厂如何实现多品种、变批量、无人化混流加工？

在劳动力愈发昂贵的今天，制造业已渐渐进入无人工厂时代。车间里那张巨大的万物联通的网，连接着指挥总控系统和数控机床、数控系统、机械手、刀库、物料仓等各类设备。

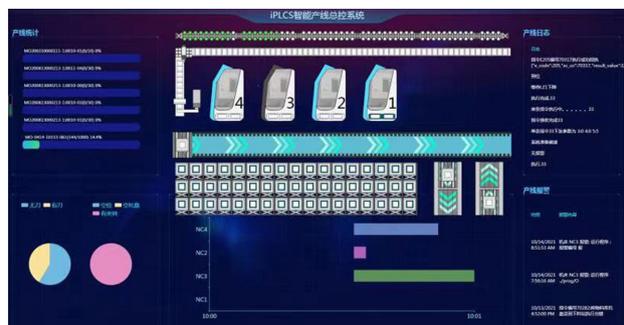
电子通讯类产品因其更新迭代快而一般具有小批量、多品种等特征，此类产品行业，往往又存在着生产周期长、换型频次高、紧急插单情况频发、生产计划变更频繁、标准作业不易制定等问题。如何解决这些问题，实现高效加工？如果只是在生产现场进行临时调整的话，并不能很好地消除生产管理过程中的全部浪费，无法从根本上解决企业的痛点。

华中数控针对此类零件加工需求，开发了一套柔性加工生产线管控系统。



五轴RTCP技术

针对铝合金组件的钻孔攻丝多、快速定位多、精度要求高等技术特点，机床应用的华中8型系统典型高速高精技术有：攻丝同步补偿、倍速回退、空行程叠加、伺服抑震滤波器功能、优速铣、恒进给控制、象限突跳补偿、前馈补偿等。



生产线管控系统架构图

该系统具有无人化生产管控、混流并行柔性化加工生产管控、生产过程故障容错并联管控、生产线大数据互联互通、生产线内的排产规划、生产线自动化生产管理、生产线智能化等功能，整条产线的主轴利用率达到85%以上。

3. 黑灯工厂产线如何实现中央刀库与机床刀库的融合？

谍战电影中不乏擅长多种武器的高手，对付不同的对手选择不同的阵型，配备不同型号的枪或炮，精准打击，数控加工亦如此。在小批量多品种的产品加工过程中，由于零件的多品种特性，会导致加工中需要使用到的刀具种类多，但是由于受到加工中心物理刀库容量的限制，一台数控机床刀库的刀具一般在20-32把，无法满足多品种小批量多工艺加工的刀具需求。



拥有最多1000把刀的生产线中央刀具库设计，是华中数控参与建设的智能柔性加工生产线的最大亮点。生产线的中央刀具库建立在机床上方，不占地面空间。生产线管控系统的刀具管理系统统一控制生产线中央刀库和各个加工中心的本地刀库，根据排产计划对各个加工中心的刀具进行统一调配和管理，同时自动修改数控系统的刀具参数，实现柔性化加工生产。

例如，智能产线上的中央刀库有216把刀，每台数控机床的刀库有20把刀，中央刀库和机床刀库加起来的总刀库容量最多可达1000把。生产线的总刀库可被视为各个加工中心的虚拟刀库，不受机床物理刀库容量的

限制。所有刀具的刀柄采用RFID电子标签，生产线管控系统根据加工工艺的要求，通过生产线的中央刀库对数控机床的刀库自动配置刀具、自动设置数控系统的刀具参数和进行刀具的寿命管理。



中央刀库和刀具搬运机械手



带有RFID的刀柄及读写装置

刀库位置编号	刀具编号	刀具类型	刀柄长度 (mm)	刀柄直径 (mm)	长度量纲 (mm)	半径量纲 (mm)
002	CR032104100004	机夹刀	130.05	10.03	0	0
1102	CR032104040006	机夹刀	130.02	10.02	0	0

刀具管理系统

四、结语

精密铝合金结构件在高精尖领域应用广泛，华中数控用潜心磨砺20余年的数控系统技术给这座智能工厂赋能，实现“黑”科技工厂的降本增效。未来，随着产品迭代的加快，以5G滤波器、新能源汽车等为代表的精密铝合金类零件加工越来越多，这种智能产线模式还将在汽车、通讯、航空航天等领域得以批量推广应用。

智，本义是聪明，智力强。引申义有智慧、智谋、计谋、策略、有智慧的人。科技发展到“智能”阶段，人可以将很多聪明能力移植给芯片、加载于一个虚拟的大脑。数控系统是数控机床的大脑，未来，数控系统的智能将为制造插上怎样的腾飞翅膀，值得期待！ □

PBC130s精密数控卧式铣镗床的研制

沈阳机床（集团）有限责任公司 郭鑫

一、前言

沈阳机床（集团）有限责任公司（以下称沈阳机床）现为中国通用技术（集团）控股有限责任公司旗下的装备制造企业。多年来，沈阳机床致力于各类金属切削机床的研发制造，并形成了一大批具有自主知识产权的核心产品。中捷牌数控卧式铣镗床就是沈阳机床的核心产品之一。这类机床具有镗削、铣削、钻削、攻螺纹等多种加工功能，广泛应用于交通、能源、工程、模具等各类通用机械加工行业。

沈阳机床现有的数控卧式铣镗床以先进的结构和高效的加工性能占有了一定的市场，但相比国际的中高端产品还有一定的差距。根据客户产品使用情况调研，公司现有数控卧式铣镗床在主轴转速、各轴快移速度、定位精度和机床稳定性等方面与国外机床存在一定差距。以定位精度为例，韩、台同类产品直线轴定位精度可达到0.01mm、工作台回转定位精度可达6"，在市场上竞争优势明显，此类精度的卧式铣镗床产品只能依赖进口。由此，开发一款精度高、刚性足、稳定性强的精密数控卧式铣镗床是急迫又必要的。

本文介绍的PBC130s精密数控卧

式铣镗床主要技术指标处于国内领先、国际先进水平，该机床的成功研制，将打破国外机床在该应用领域的垄断地位，为国产机床占领高端市场份额，提升高端装备技术水平，掌握相关行业制造核心技术做出了贡献。

二、产品特点和主要参数

PBC130s精密数控卧式铣镗床总体为横、纵床身呈T字型结构，主轴箱侧挂布局方式。工作台沿横床身导轨横向移动(X轴)，主轴箱沿立柱导轨垂直方向移动(Y轴标)，立柱沿纵床身导轨前后移动(Z轴)，机床主轴可纵向移动(W轴)，工作台可360度回转(B轴)，机床的主轴为精密机械主轴，配置速度、位置编码器和油冷却系统，利用循环油冷却技术保证主轴的热平衡。PBC130s精密数控卧式铣镗床整机外观如图1所示。



图1 PBC130s精密数控卧式铣镗床

机床的X、Y、Z轴为主要进给

轴，驱动采用交流伺服电机经进口精密减速机直连丝杠的方式实现进给运动，可实现机床的高速、高精、高动态响应。机床的W轴为定位轴，通常不用于加工进给，仅用于加工前改变主轴前后位置，因此W轴移动由伺服电机直接驱动滚珠丝杠带动主轴作前后移动。在装配时对各轴丝杠进行预拉伸以提高丝杠副的刚度，同时减少丝杠长时间运转的热变形影响。机床的B轴，即工作台回转经过进口精密减速机降速后，由一对小齿轮带动大齿圈来驱动。整机各移动轴均采用滚滑复合导轨副，导轨为高碳合金工具钢，表面磨削至粗糙度0.4，保证机床总体精度稳定性、刚性和抗载能力，既能提升快速移动速度和稳定性又可以保证承载能力和整机刚度。

机床的各轴均为闭环控制，定位精度高、稳定可靠，其中X、Y、Z轴均采用绝对式光栅尺进行位置测量，B向工作台回转采用进口圆光栅进行角度测量，这充分保证了机床X、Y、Z、B轴实现四轴联动的高精度加工，W轴采用磁栅测量方式实现闭环反馈，提升W轴定位精度。机床的基础件（床身、立柱、滑座等）全部采用优质铸铁及树脂砂造型，并进行合理的时效处理，使机床整体强度高、稳定性好且具有较好的吸震性，从而

减少加工过程中的振动对工件精度的影响。机床的床身导轨（X轴和Z轴）采用防锈金属伸缩防护罩，立柱导轨（Y轴）采用铠甲式防护，同时整机采用钣金包围形式的防护罩，充分提升了机床的外观效果。

PBC130s精密数控卧式铣镗床主要参数和性能已经超过了韩、台同类产品，表1为PBC130s产品的技术参数表，同时列比了国内销量及认可度较高的韩国某公司和台湾某公司同规格产品的参数对比。

表1 PBC130s精密数控卧式铣镗床主要技术参数

项目	单位	PBC130s	中国台湾某公司同规格产品	韩国某公司同规格产品	
工作台面积	mm	1600×1800	1400X1600	1600×1800	
工作台承重	kg	15000	10000	10000	
工作台行程 X	mm	2000	2000	2000	
主轴箱行程 Y	mm	1600	2000	1500	
立柱行程 Z	mm	1600	1400	1200	
主轴行程 W	mm	800	700	700	
工作台回转 B	°	360	360	360	
转数范围(无级)	r/min	10~3500	10~3000	10~3000	
切削进给速度	X、Y、Z轴	mm/min	1~15000	1~10000	1~10000
	W轴	mm/min	1~10000	1~5000	1~10000
	B轴	r/min	0~3	0~1.5	0~1.5
快速移动	X、Y、Z轴	m/min	15	10	10
	W轴	m/min	10	8	10
	B轴	r/min	3	1.5	1.5
定位精度	X、Y、Z、W轴	mm	0.01	0.012	0.01
	B轴任意角度	"	5	8	6
重复精度	X、Y、Z、W轴	mm	0.008	0.008	0.008
	B轴任意角度	"	3	4	4

通过对比表分析，我公司新研制的PBC130s精密数控卧式铣镗床参数在同规格产品中具有明显优势，如主轴转速3500r/min、三轴移动速度15m/min、工作台回转速度3r/min、承载15t、工作台回转定位精度5" 和重复定位精度3"，这些参数已经超过了韩、台同类产品。

三、关键技术介绍

PBC130s精密数控卧式铣镗床研制过程中攻克了多个技术难题，如主轴与主传动分离的高速主传动技术、主传动系统热平衡技术、垂直方向无配重驱动技术、滑动导轨滚动体多点卸荷技术、工作台精密联动技术、预知设计分析等，图2为PBC130s精密数控卧式铣镗床的裸机图。在产品试制过程中，针对新结构和新技术提出了一些合理、高效的装配工艺方法，在整机装配完成后，对各项精度进行了检验，检验结果均达到设计要求。以下分别从高速主传动系统、垂直方向驱动系统、高精度联动回转工作台、运动部件高动态响应技术、关键部件预知分析、先进装配工艺方法等部分详细介绍。

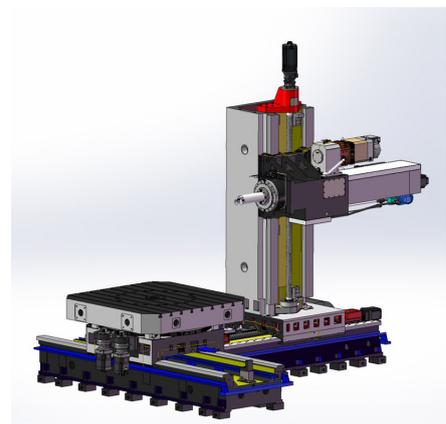


图2 PBC130s精密数控卧式铣镗床裸机图

1. 高速主传动系统

数控卧式铣镗床产品的主传动系统决定了整台机床的加工水平。目前，国内的数控卧式铣镗床产品主传动系统大多集成在主轴箱体内部，主轴运转通过主轴箱内部多组齿轮啮合降速，这种结构的主轴箱特点是较为笨重，且主轴高速运转时箱体内部齿轮组的啮合传动会使整个主轴箱温度升高，从而导致主轴热伸长，影响加工零件精度，很难加工高精度的零部件。通过主轴与主传动部分的分离设计，可以有效的使主电机和主减速部分产生的热量远离主轴，使主轴箱体内部热量积聚有效减少，这种采取主传动系统外置的方式还可以减小主轴箱的体积，使整个主轴箱轻量化，便于实现主轴箱移动方向的高动态响应，主轴箱部分模型如图3所示。

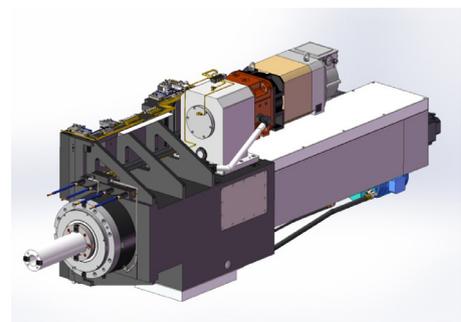
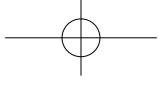


图3 PBC130s精密数控卧式铣镗床主轴箱三维图

在主轴与主传动分离设计的基础上，还进行了主轴的热平衡设计，通过油冷却机和相应管路的布置将主轴



和主传动部分将热量带出主轴箱。主轴支撑套外部设计有螺旋循环槽，让冷却油在螺旋槽内循环将热量带走以达到冷却效果。主传动部分同样采用循环油冷却将热量带走。通过不断循环的冷却油保证了主轴箱体的恒温特性，使主轴处于一种热平衡状态，避免了热伸长的发生。

2. 垂直方向驱动系统

数控卧式铣镗床主轴箱沿垂直方向的运动一般采滚珠丝杠驱动并配置重锤或油缸平衡。采用重锤平衡的结构需要定期维护和更换重锤链条及导向块，导致机床停工损失无法避免。由于重锤自身的惯性，导致了机床Y轴和Z轴方向的移动速度和响应速度较慢。当Z轴频繁换向时，重锤的晃动对加工精度影响较大。采用油缸平衡的结构避免了重锤晃动的影响，但油缸工作稳定性差、响应速度慢，主轴箱移动速度和进给速度较慢。为了避免重锤晃动对加工精度的影响并提升机床响应速度，PBC130s精密数控卧式铣镗床采取了无配重设计，机床主轴箱的驱动由交流伺服电机经进口精密减速机将扭矩传递给滚珠丝杠，从而带动主轴箱做上下移动的。特别地，选用的电机及减速机均带有制动功能，这两重制动机构均为常闭状态，在Y向没有进给指令时，驱动电机和减速机的抱闸机构都处于锁紧状态，防止主轴箱下沉，当机床突然断电时不会因主轴箱下沉影响Y轴坐标位置，机床通电后可继续加工，无需重新对刀。当接到Y向进给指令后，驱动电机、减速机的抱闸机构立即变为张开状态，此时主轴箱可沿Y方向运动，同时在垂直轴伺服系统中通过转矩极限偏移来设置电子配重，使得垂直轴伺服的扭矩上限和扭矩下限按照该偏移值进行平移，由于抱闸动作延时，系统还设置了补偿延长时间轴下垂的位移。机床立柱部分三维模型

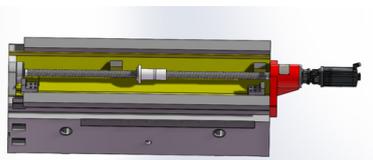


图4 PBC130s精密数控卧式铣镗床立柱部分三维图

3. 高精度联动回转工作台

PBC130s精密数控卧式铣镗床能够完成X、Y、Z、B四轴高精度联动加工得益于它的高精度联动回转工作台，该回转工作台采用大型推力圆柱滚子轴承支撑，全部为滚动摩擦副，这种结构的特点是摩擦小、回转速度快、承载大、刚性强，工作台回转运动平稳、定位精度高。同时，大型推力圆柱滚子轴承的使用实现了工作台的非浮起转动，这就避免了工作台浮起对工件加工精度的影响，使工作台回转可以参与到联动加工中，能充分保证回转加工的精度。为了保证工作台特定角度加工时的刚性，还配置了浮动夹紧装置，在工件固定位置加工时，夹紧装置可以充分保证工作台刚性。工作台由静止启动时，夹紧装置松开，其中一个电机为驱动电机产生驱动力矩，另一个电机为从动电机，产生大小为额定力矩15%的反向力矩，当驱动轮力矩大于从动轮力矩时，两个电机则同时驱动工作台回转。工作台匀速运转时，主动轮驱动工作，从动轮制动消除，瞬时扭矩为两台电机扭矩之差。工作台由匀速运转减速到静止时，其中一个电机为驱动电机产生减速力矩，另一个电机为从动电机，产生大小为额定力矩15%的反向力矩，当驱动轮力矩大于从动轮力矩时，两个电机则同时制动工作台回转。工作台停止旋转时，两个电机在数控系统同步控制下，驱动两个小齿轮产生反向扭矩，消除水平两方向上的齿轮间隙，同时夹紧装置工作，保证工件固定位置加工时工作台刚性。PBC130s精密数控卧式铣镗床

应用的高精度联动回转工作台已经获得国家专利，其结构如图5所示。

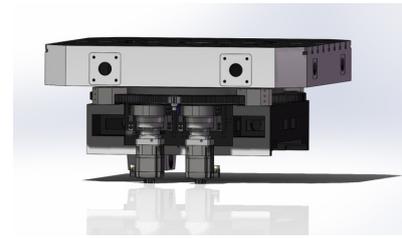


图5 精密数控回转工作台三维图

4. 运动部件高动态响应技术

PBC130s精密数控卧式铣镗床各轴的移动速度在同类机床中相对较高，这就需要机床在加速时间和加速位移一定的情况下，提升加速度来实现高动态响应。一般中小型机床，如立式加工中心和卧式加工中心等多采用直线导轨，摩擦阻力小，可以实现很大的启动加速度，但对PBC130s精密数控卧式铣镗床的体积框架结构来说，直线导轨无法满足这款机床高刚性的定位，所以PBC130s精密数控卧式铣镗床X、Y、Z三轴特采用高碳合金工具钢导轨并配置多组滚柱导轨块进行卸荷。驱动方面，X、Z直线轴的驱动采用交流伺服电机经精密减速机驱动滚珠丝杠旋转，进而滚珠丝杠的丝母与滑座连接带动滑座移动，这样的设计可以实现大扭矩的进给运动。此外，在装配时对丝杠进行预拉伸，以提高丝杠副的刚度并补偿丝杠热变形的影响。机床导轨形式及驱动形式见图6。

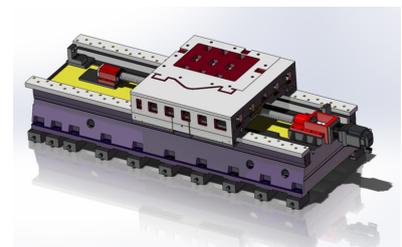


图6 机床导轨形式及驱动示意图

高碳合金工具钢导轨经淬火、精加工后硬度可达HRC60±2，正向与聚四氟乙烯贴塑板组成导轨副，具有良好的耐磨和抗震性。在滑座与导轨正、侧向的接触处配置滚柱导轨块，

MG28250数控立磨B轴转塔精度修复与调试

中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司 伏宇璐 张振忠 董凯

【摘要】立式数控磨床MG28250属于高精度设备，对于高精度设备的B轴转塔精度修复问题，一直以来都没有一个比较详尽的指导性文录，本文对立式数控磨床MG28250转塔精度修复问题进行了详细的分析，包括故障原因和分析以及精度恢复的维修过程，以及对维修人员维修过程中各种注意项点的整理，通过本文，维修人员能够按图索骥，同时也能够举一反三，在修理其他高精度设备的转台时，作为参考。

一、设备简介

MG28250立式数控磨床主要用于盘套类、箱体类零件内孔、外圆、锥面、端面等磨削加工。它主要由两个磨头组成——卧磨头和立磨头。卧磨头主要用来磨削平面，立磨头主要磨削内孔和外圆，上下安装角度为180度垂直安装，因此需要通过B轴转塔旋转来进行两个磨头之间的工作切换。B轴转塔主要由驱动模块控制伺服电机，带动蜗轮蜗杆进行旋转控制，其位置检测有编码器和光栅组成了全闭环系统（见图1）。

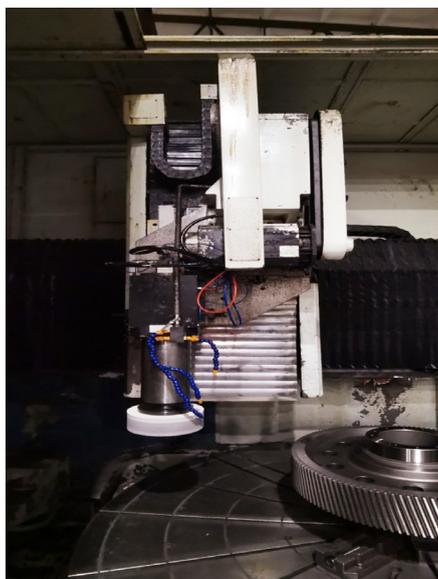


图1

二、故障现象

B轴转塔在两个磨头旋转切换的过程中，抖动严重，使设备产生共振，并且旋转到零位后的定位角度误差过大。而B轴允许的定位偏差范围是0.01mm，已经不能满足生产要求。

三、故障分析

引起上述故障现象最主要的因素：一个是光栅和伺服电机的老化磨损，力矩不够，一个是B轴转塔内部的蜗轮蜗杆间隙过大导致。通过优化伺服电机参数，更换伺服电机轴承，检测伺服电机力矩，同时屏蔽光栅，由全闭环改为半闭环等一系列措施，排除伺服电机故障和光栅原因后故障仍然存在，遂判断为B轴转塔的蜗轮蜗杆磨损故障。导致机械内部存在无法消除的间隙，引起的定位误差大和抖动故障。

四、修理过程

B轴旋转的蜗轮蜗杆要求非常高，因此其相关的尺寸和装配要求是旋转精度的保证，B轴旋转精度修复主要从B轴蜗轮蜗杆的精度修复和伺服电机的调整两方面着手解决。

1. 轴转塔的拆卸

(1) 拆卸电机、皮带、皮带轮、阀件、管路等转台上

的附件。

(2) 编码器连接板的拆装。连接板和转台拆卸时无需做记号，由于转台可360°旋转，安装结束后角度需要调整垂直度并设置成0度。编码器连接板安装时要先上中间的螺栓，但不要紧固，等四周的螺栓紧固后再紧固编码器上的螺栓，防止编码器受影响（见图2）。

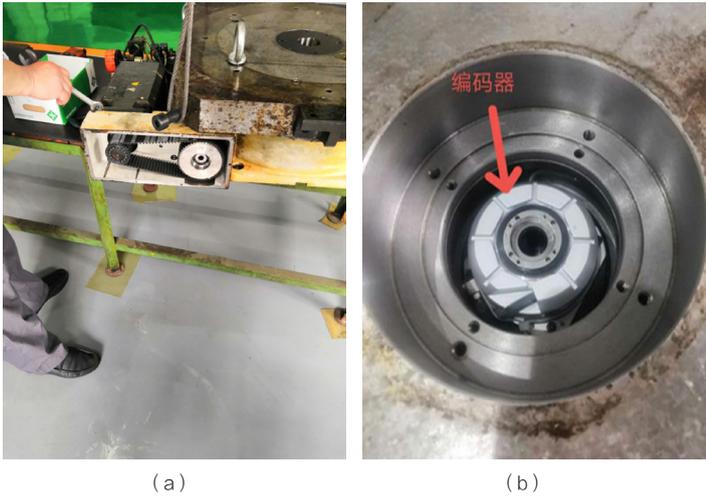


图2

(3) 双头蜗杆的拆卸。首先拆卸锁紧螺栓，锁紧螺栓主要是间隙调整后紧固用，起防止精度走失出现变化的作用，是蜗轮蜗杆精度的保证，再拆卸锁紧套，锁紧套采用锥度锁紧，松开外六角螺栓后敲击下就能松开锁紧套。拆卸双头螺栓调整间隙的一端时，要先拆卸定位螺丝，然后在安装孔里塞一铁棒，当蜗杆脱离蜗轮后，用铜棒将蜗杆敲出（见图3）。



图3

(4) 拆卸台面24颗螺栓，所有螺栓拆卸完毕后，可以用千斤顶寻找受力点分开转台和底座，也可以用吊车

好转台，用铜棒敲击底座四周位置，使其分离。拆卸前和拆卸后，都要观察下转台和底座的接合面距离，防止安装时未完全接触到造成旋转不灵活。安装时要准备一箱润滑脂，润滑脂使用多功能锂基极压润滑脂。将底座内部和铜套上均匀分布，涂抹时要防止垃圾进入损坏铜套。敲击转台时要注意敲击在非接触面上，不要敲击在旋转面上（见图4）。

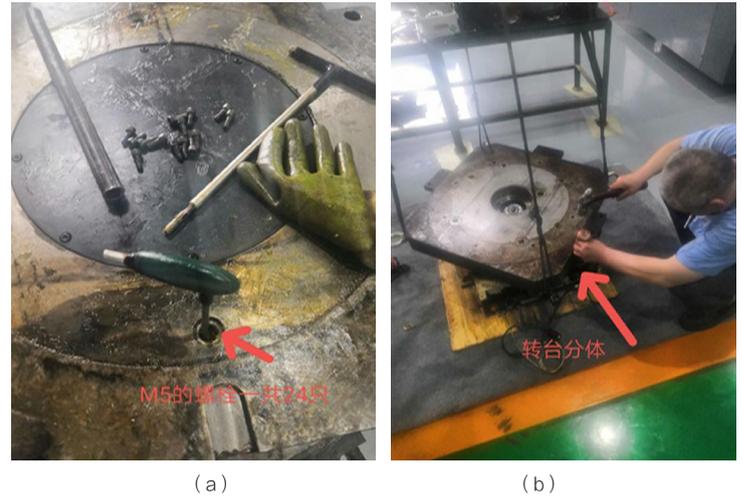


图4

(5) 转台轴承的拆卸检查。轴承有三种规格的螺栓紧固在不同的位置上，拆卸时要注意做好记号，由于该轴承比较特殊，只能对一边的平面轴承进行清洗、加油脂，另外一边滚柱镶入在里面，如果强行拆卸会损坏轴承。安装时螺栓受力要均匀，手动旋转轴承轻松无阻力，如果旋转力矩较大将影响转台的旋转，这时需要更换轴承（见图5）。

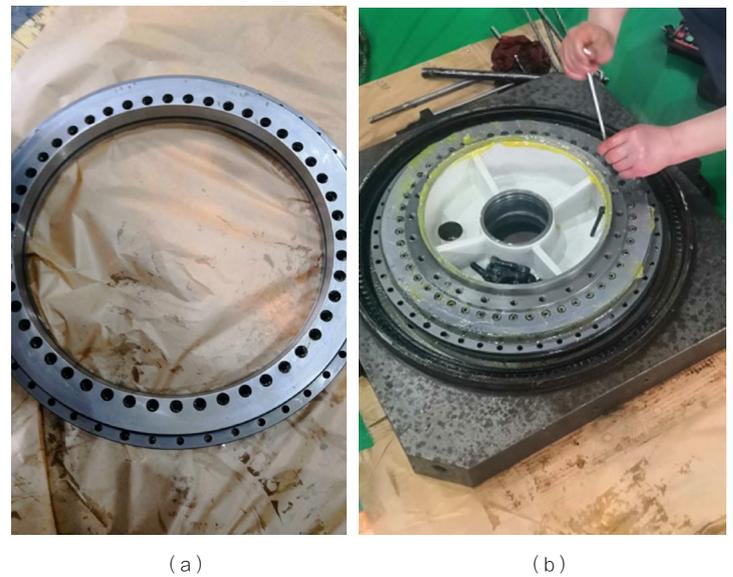


图5

2. B轴转塔蜗轮蜗杆的修复调试

(1) B轴锁紧油缸的检测。将锁紧油缸接入液压站，压力调整到5~6MPa，供油半小时观察锁紧油缸有无泄漏，再重复启动停止液压按钮，动态检查锁紧油缸是否有泄漏。如果有泄漏就需要更换密封圈，拆卸时要先拆卸编码器，再拆卸紧固螺栓取出密封圈更换（见图6）。



图6

(2) 蜗轮的拆卸与修复。蜗轮有紧固螺栓固定在转台上，其同心度有加工面来保证，拆卸过程中要注意不要碰撞加工面。当蜗轮磨损后可以采取机加工修复并采用刮削、研磨修复。精度要求高，并要求蜗轮修配时与蜗杆同步进行，保证蜗轮蜗杆之间有合适的配合间隙，正常配合间隙要求在0.005mm~0.01mm。这样转塔在旋转时才能保证精度，旋转过程中不会产生抖动（见图7）。



图7

(3) 蜗轮蜗杆的间隙调整双头蜗杆采用错位的方法消除间隙，调整时为减少调整时间防止转台和电机端蜗杆跟转，如果条件许可的话，可以将电机通电锁紧电机一端的

蜗杆，然后用记号笔在调整块上做一记号方便调整。调整过程：①用专用的调整工具旋转调整块角度；②调整后拧紧螺栓紧固；③电机断电手动旋转蜗杆或手推转台测量蜗轮蜗杆的间隙，要求间隙在0.005~0.01mm内，如果间隙过大或过小重复第1、2步；④接入系统，先慢速手动旋转转台观察旋转时有无卡顿，再正常程序自动旋转转台无伺服报警；⑤安装锁紧套（见图8）。



图8

五、注意事项

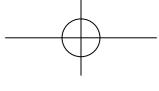
如发生伺服报警，说明旋转力矩超过设定要求，如果间隙在要求范围内，就有可能蜗轮蜗杆精度超差，需要修复蜗轮蜗杆精度或适当放大间隙。间隙放大后存在的问题：

- (1) 速度过快旋转B轴时会产生振动，这是编码器检测不到数据，需要放慢速度。
- (2) 对磨削有角度的加工件有轻微的影响。
- (3) 砂轮相对要损耗快一些。

试机验收，全部安装完毕检查无误，空运转一小时无问题后检测B轴转塔的重定位精度是否符合精度要求，检查转动过程中有无异常，最后再用直尺测量工作台面和横梁导轨的平行度，要求误差范围在0.006/300mm。

六、结语

MG28250数控立式磨床B轴转塔精度修复以后，B轴旋转转动平稳，各项精度达到技术要求，在这次维修过程中，将每个维修点都进行了详细的描述，对作业中的动作要点也特别的提出。其中包含维修中涉及到的各种测量方法及装配要求。通过修复，不仅仅能够学到对精密设备转塔精度恢复的方法，也能够开阔视野，对今后的维修工作也有很好的启发作用。□



新产品上市

—— 一个幸福而又充满挑战的时刻，接下来你该怎么做？

助跑营销工作室

推出新产品并让它走向市场是每个企业都必须面对的课题。

当新产品终于走上市场的那一刻，企业是幸福的，但同时又带着一丝惶恐，它能成功吗？要想让它打入市场，下一步我们应该如何去做？这是每个企业都必须回答的问题。

这时有人会说，这不是很简单吗？给销售们讲讲产品，再做做战前思想动员，大家就往上冲呗。那么，事实真是这样吗？让我们来看一个真实的案例。

一次失败的新产品推广活动

一家世界知名的工业耗材制造商开发了一款全新耗材，期望将其推向市场取代原有耗材。它选定了一家核心代理商在区域市场的最终用户中进行推广试验。

老王是这家知名公司的市场部人员，负责这家代理商的区域推广试验项目。

老王制定了自己的工作计划，那就是不光要拜访代理商的老板，推动老板积极行动起来，更要和代理商的销售人员们一起行动，参与到销售人员的实际推广活动中去。

推广工作开始了，代理商的老板作了战前动员，销售人员们也个个跃跃欲试。但一段时间过去了，结果却令人大失所望，为什么会是这样的结果呢？

老王参与了整个过程，对这一结果并没有感到意外。

老王和代理商的销售人员们一起拜访客户时发现，这些销售人员往往是靠找老乡的方式切入目标客户的，所以，目标的选择就是有自己老乡的客户，却并没有考虑这个客户能有多少耗材用量，老王和代理商的老板商定头一

年的推广目标是10万平米新耗材，然而这些销售人员们找到的很多客户一年的耗材用量只有一二百平米，也即是说要完成10万平米的目标至少需要500家左右这样的客户，然而代理商的销售人员不过10人左右，要在短时间内开发这么多的客户几乎是不可能的事，目标也根本无法实现。

另外，这些销售人员也没有考虑目标客户和新产品是否匹配，也就是说新产品是否适合这些客户的使用情况，结果是找到的很多客户根本不适合使用新产品，销售们做了很多无用功。

销售们靠找老乡去推广新产品，然而这些老乡们很多并不是决策者，在企业里他们是一些微不足道的小人物，只找他们离客户最终的采用决策还差着十万八千里呢，所以短期内不会有结果。

有一些销售人员确实见到了客户采购的关键人物，但又一个致命问题出现了，销售们根本不清楚说服客户采用新产品的理由是什么，也就是从客户角度出发为什么要采用新产品，从而也就无法有效地推动客户做出改变。

一场轰轰烈烈的战役失败了，它浪费了大量的人力物力和时间。

通过这个案例我们可以看到，新产品的推广不是一件简单的事，其中新产品推广的前期准备工作对推广活动的成败起着至关重要的作用，找到正确的目标客户，找到客户中正确的人，充分理解产品及客户的处境对于新产品推广的成败意义重大，在这些问题上没有做好准备就盲目开始行动，结果只能是失败和资源的巨大浪费。

让我们再来看看另一个真实的新产品推广案例，看看我们从这个案例中能得到些什么。

世界知名工业设备制造商新产品推广案例

有一家世界知名的工业设备制造商，以制造高端产品闻名于世界工业设备市场，在进入中国市场一段时间后发现中国的中低端设备需求也很庞大，于是开发出一款中端产品投放市场以帮助公司扩大销售。

但新产品投入市场后却并没有带来预期的销售增长，这究竟是因为什么呢？

原来，这家公司将新产品分别推荐给经销商和竞争对手的经销商，希望这些经销商能销售自己的新产品。但自己的经销商们尝试着用新产品替代这家公司原有的高端产品，因为新产品的价格比原有高端产品便宜，针对原有使用高端产品的终端用户销售新产品替代高端产品可以带来更高的利润回报，可是他们遭遇了失败，因为新产品的技术性能无法达到原有高端产品的水平，因此终端用户拒绝采用新产品替代高端产品。而在竞争对手的经销商那里新产品同样遇到阻力，因为竞争对手的经销商已经在销售和同类产品类似的同档竞品，已经获得了客户和不错的经济回报，销售新产品替代原有的竞品对这些经销商而言并没有带来新的利益反而对他们原有的利益形成威胁，所以他们不仅不愿意推销新产品，还利用得到的新产品相

关信息制定市场阻击政策，阻击新产品的销售。

经过一段时间的推广后，这家制造商调整了推广思路，它取消了向竞争对手的经销商销售新产品，而把产品推广渠道选定为自己的经销商，同时，它向自己的经销商指明新产品不是用来替换原有的高端产品的，新产品的目标客户是那些使用中端产品的最终用户，也就是使用竞品的那些最终用户，新产品的目的是帮助自己的经销商获取对手使用中端产品的客户，帮助自己的经销商开拓新的市场。

经过一段时间的努力，局面终于出现了改观，新产品的销量逐步提升，而原有的高端产品的销量也没有因此下降。新产品的推广获得了成功。

这个案例告诉我们新产品推广时明确目标市场、正确选择销售渠道是影响营销成败的重要因素，面对这些关键问题我们需要有清晰严谨的思路，否则就会差之毫厘谬之千里。

通过上面两个案例的研究，我们可以看到新产品推广真不是一件简单粗暴的事，其中有许多需要处理好的关键问题，而新产品推广对每个企业来说又都是必须面对、必须解决好的重大问题，因此努力探讨这一问题的真谛有着非常重大的意义，每一个企业家和营销人员都应为此付出更多。□

上接第81页



图13 读取宏变量#501的PLC程序

以上读取宏变量#501的PLC程序执行后，按系统键、左右翻页维修键、数据键，打开PLC的数据存储区，搜寻D9012可以看到，D9012存储值为-16000，D9016存储值为3，分别代表读取的宏变量#501的值为-16000，小数点位在后三位，即宏变量#501的实际数值为-16.000。

读取结果如图14所示。

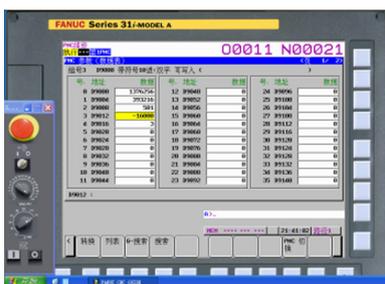


图14 PLC程序读取的宏变量#501的结果

所开发的用户工艺加工操作界面，除了能对宏变量进行修改和监控外，还能够实时的对机床各轴的绝对坐标、轨迹加工速度、主轴转速等进行监测。此外，界面还设置了自动润滑油加注控制及监测项，调用PLC的定时时钟，每2分钟自动的为导轨进行依次润滑油加注，即节能又会防止遗漏润滑油的加注的失误操作，延长导轨使用寿命。

五、结束语

在数控系统中开发用户专用加工工艺操作界面，不仅会使得机床能够针对特定用户有很好的操作事宜性，而且也会充分发挥出数控系统的多项功能，满足非编程加工的需求等。用户专用加工工艺操作界面开发技术是机床主机厂工程师十分渴望掌握的技术。加工工艺界面开发的核心技术主要包括图形界面的设计、变量、按钮与PLC变量的关联、变量值的检查、宏程序的设计及与界面的关联等内容。这些技术分别在以上各节中给与了陈述。正如学习游泳，必须到水中练习一样，掌握工艺界面开发全套技术也需要在数控系统中不断摸索和体会，但在试开发的过程中，一定要高度关注人身和机床的安全。□

普什宁江：持续深耕，创新奋进

四川普什宁江机床有限公司

四川普什宁江机床有限公司始终坚守“三线企业”基因，开拓攀登、团结协作、持续深耕，经过50多年的技术积累和沉淀，形成了“精密+可靠性”双核文化，公司核心产品技术迈入“专精特新”行列，“宁江机床”品牌形象及影响力不断提升。

坚守“精密”做专主业

公司始终秉承“精密、高效、成套、智能化”的技术和产品发展方向，坚守精密，对标国外一流产品技术，做精、做专精密卧式加工中心、精密数控车床、小模数高效滚齿机床、专用设备及生产线等四大系列中小型精密机床主导产品，不断逼近世界一流机床产品。精密卧式加工中心代表行业参加了国家“十一五”成就展，柔性制造系统代表行业参加了国家“十二五”成就展。公司获四川省内首家机械类“智能制造系统解决方案供应商”授牌。

精密卧式加工中心系列产品

源于公司高精度坐标机床近50年的技术沉淀以及承担和实施国家重大专项课题的技术积累，系列产品包括精密卧式加工中心、精密坐标磨床、



FMS柔性制造系统系列产品

坐标镗床、精密五轴联动加工中心，具备工作台宽度300mm至1250mm完整系列产品的研制能力；坚持导轨面手工刮研工艺；产品定位精度达到0.003 mm、直线轴重复定位精度可达0.001mm，MTBF从900多小时提升至2000小时以上。

经过20多年的潜心研究，普什宁江公司匠心打造了集自动化、柔性化、智能化于一身的柔性制造系统FMS。该系统将数控设备、控制系统和工件自动储运系统有机结合，可按任意顺序加工（混流加工），能适时自主调度管理（智能调度），快速解决用户个性化定制。目前，公司研制的FMS在航空航天、汽车、船舶、机床等重点行业获得大量应用并成功帮助用户升级生产方式；基于

FMS的数字化车间整体技术方案（加工系统、物流系统、控制与管理系统、ERP、PDM、MES的集成应用）也在多家企业推广应用。



数控坐标磨床

数控坐标磨床的研制始于上个世纪70年代，经过持续不断的技术创新及产品迭代升级，直线轴定位精度/重复定位精度达到0.004mm/0.002mm，填补了国内空白，在细分领域实现自主可控。



小模数高效精密滚齿机系列产品

小模数高效滚齿机床系列源于上个世纪60年代就开始生产的高精高效滚齿机床，目前具备模数 $\leq 3\text{mm}$ 的完整系列产品的研制能力。近年该规格系列产品不断完善，持续的质量改进及新技术研究应用提高了产品覆盖能力及市场占有率，夯实了小模数滚齿机床的行业领先地位。成功开发了一款小模数数控滚齿机，最大加工模数 0.5mm （钢件）， 0.8mm （铜件），最大零件加工直径 30mm ，滚刀主轴转速 15000r/min ，工件主轴转速 1500r/min ，批量加工齿轮达6级精度。



中小精密数控车床系列产品

中小精密数控车床系列源于公司上个世纪60年代就开始生产的凸轮式纵切产品，经过不断的迭代升级和集成创新，形成最大加工棒料直径 $\leq 25\text{mm}$ 的纵切车床系列产品。自主研发的高精度车床，核心技术指标达到：主轴跳动 $0.2\mu\text{m}$ ，分辨率 $0.1\mu\text{m}$ ，最大加工直径 $\Phi 200-400\text{mm}$ ，定位精度 $\leq 0.003\text{mm}$ ，重复定位精度 $\leq 0.0015\text{mm}$ ，满足航空

航天、轴承、丝杠等领域对高精密或超高精密淬火零件（ $\leq \text{HRC}68$ ）进行硬切削的需求。



打造“可靠性”，做强产品

深入实施产品转型升级，专注产品技术的创新研制和可靠性提升。公司建立健全了完善的可靠性保障体系，特聘行业内可靠性知名专家重庆大学张根保教授长期指导，形成了可靠性管理标准和规范；建立了稳定、高效、持续合作的“产学研用”核心技术创新攻关模式，持续深耕拓展，确保理论有深度、实践有保障、创新有成效。公司《高性能数控系统关键技术及产业化》项目获国家科技进步二等奖、《精密卧式加工中心关键技术研究及重点领域应用》项目获机械工业科技进步特等奖、《精密卧式加工中心正向设计方法及工程应用》项目获天津市科学技术进步一等奖、《数控机床精度检验系列国家标准》项目获中国机械工业科学技术二等奖。

公司先后承担并参与国家科技重大专项和高质量发展项目30多项，匠心打造“可靠性”文化。新一代精密卧式加工中心、五轴联动加工中心及基于加工中心的柔性制造系统产业化效果显著；坐标镗床、坐标磨床实现系列产品的迭代升级；数字化车间技术及应用日臻成熟；精密数控齿轮

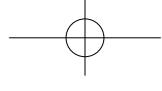
加工机床产品规格系列不断完善，小模数数控滚齿机床的行业领先地位不断夯实；数控车床系列产品开发自动化模块附件，市场竞争力不断提升。作为第一起草单位，公司组织制定的国家标准GB/T38177-2019《数控加工生产线/柔性制造系统》、国家标准GB/T 34880.1-2017《五轴联动加工中心检验条件 卧式机床精度检验》获批发布实施并广泛应用，为指导和规范我国五轴联动卧式加工中心和柔性制造系统的设计、制造、检验提供了依据，有力推动了高端机床产品的技术进步。

公司紧跟航空航天、国防工业等重点领域需求，开发五轴加工中心、柔性制造系统，帮助用户改变离散制造模式，实现制造自主可控和智能化转型升级。公司以承担国家科技重大专项为契机，开展了数字化设计技术、热平衡与补偿、振动抑制和精度稳定性技术、精密测量技术、柔性集成技术、信息化技术、智能控制技术，以及国产数控系统功能部件配套应用技术等多项技术研究及成果应用，产品可靠性不断提升。

形成“精密+可靠性”双核文化，增强市场竞争力

围绕专精特新“小巨人”企业目标，公司团结带领全体干部员工锐意进取、改革创新、攻坚克难，认真落实“精密”、“可靠性”融合发展，不断提高产品市场竞争力，形成了公司特有的“精密+可靠性”双核产品文化。

“十四五”期间，公司将进一步加快“数字宁江”建设，做强专精特新“小巨人”企业，努力打造“中国精密机床研制和服务的首选地”，奋力助推宁江机床“百年老店”梦想的实现。□



Fastems携手苏州新鸿基 实现高度自动化生产

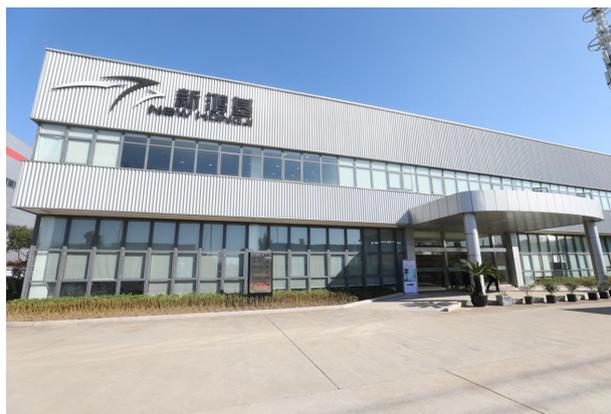
芬发自动化（上海）有限公司

2020年，苏州超越上海成为了全球工业产值最高的城市，从发展劳动密集型制造转向创新型驱动的高端制造，苏州创造了一个“地级市”的世界奇迹，这背后的重大支撑便是来自于民营制造企业的崛起与担当。我们今天要说的就是一家具有苏州速度、世界格局的民营制造企业——苏州新鸿基精密部品有限公司（以下简称“新鸿基”），它在2020年同样做出了一个影响未来发展的重大突破。

专业从事精密零部件制造近30年来，新鸿基是一家典型的“专精特新”型企业。不片面追求做大规模，而是集中攻克各类精密复杂零部件的机加工技术，瞄准细分行业，为客户提供深度个性化服务，牢牢把比较优势握在手中。其在光学镜筒、医疗结构件、薄壁零件以及易变形类零件的加工能力始终处于同行业领先地位，客户遍及世界一流的高端医疗、光学、航空企业。得益于十余年精益制造管理的有效实施，在寸土寸金的苏州，凭着7000余平的厂房面积，120人的规模，新鸿基轻松实现人均年产值超

百万，拥有84项技术专利，还获得了国家高新技术企业的称号。

“10年前，我们便有清晰的规划：向智能化升级，我们一直在为此而准备，并等待一个契机，直到2020年。”苏州新鸿基精密部品有限公司总经理李坚介绍说。



上接第38页

从宏观经济环境看，2021年下半年以来，国内外风险挑战增多，全球疫情扩散蔓延，世界经济恢复势头有所放缓，国际大宗商品价格高位运行，国内部分地区受到疫情、汛情的多重冲击。中国制造业PMI在连续18个月位于临界点之上后，2021年9、10两月位于收缩区间，11月重回临界点之上，为50.1%。2021年前11个月全社会固定资产投资增速为5.2%，其中第二产业固定资产投资增速为11.1%，设备工器具固定资产投资增速为~3.7%，汽车制造业固定资产投资增速为~3.2%，均为近年来较低水平。同时，近几个月来机床工具行业部分用户领域运行出现波动。

2021年中央经济工作会议指出：“我国经济发展面临需求收缩、供给冲击、预期转弱三重压力”，外部环境

“更趋复杂严峻和不确定”。稳增长将是2022年的突出任务。要求财政提高支出强度、加快支出进度，适度超前开展基础设施投资。会议提出，各地区各部门要担负起稳定宏观经济责任，各方面要积极推出有利于经济稳定的政策，政策发力适当靠前。

2022年是“十四五”规划实施第二年，并将召开党的二十大。可以预期政策层面推动经济增长的力度将超过常年，这也将有力拉动机床工具的市场需求。

综合考虑各种有利与不利因素，预计2022年我国机床工具行业将延续2021年的良好运行态势，但因2021年基数较高，2022年全年营业收入等主要指标可能与2021年持平或略有增长。□

30年的积累，从传统单机到自动化升级

“我认为一个企业要想达成智能制造，必须要经历四个阶段，标准化、数字化、自动化、智能化。这是一个缺一不可、发展迭代的过程，也是一个紧密融合、互为补益的过程。新鸿基的前30年都在标准化和数字化阶段成长积累，如今持戈试马，再上新征程，我们充满信心！”李总介绍说。

从人员管理流程的制定，到生产要素管理规程的编制，再到产品工艺的规范统一，新鸿基的标准化建设覆盖了公司的方方面面，标准化体系顺畅运行后，新鸿基又马不停蹄地开展了数字化升级。在李总看来，作为标准化的延续，数字化是管控标准化能否被正确执行的关键途径。截至今年，新鸿基的ERP系统（企业信息管理系统）、MES系统（生产信息化管理系统）已经应用接近18年的时间，并且一直在伴随公司发展持续升级，2019年加入了QMS系统（质量管理体系），搭建了一个完整的企业数字化网络。

如何克服人的改变对生产、对效率的影响？在下一步的自动化升级中，这个需求更为突出。“作为多品种、小批量的机加工企业，如何实现无人化、自动化、持续化的生产，是我们最大的诉求，也是困扰了我多年的问题。在遇到Fastems 柔性自动化系统后，我彻底得到了答案。”李总继续介绍说，“我认为柔性制造技术是目前为止能够实现多品种小批量自动化生产最为成熟的一项技术。FMS柔性制造系统出现的50多年来在欧美等国家得到了大规模应用。Fastems是这一领域最为知名的公司，我们信任其专业性和技术实力，尤其是当我在德国实地考察了一些柔性线应用后，更坚定了我选择与Fastems 合作的信心。”

上马这样一个投入巨大、影响重大的项目，李总及其团队既慎重又果敢。“新鸿基的领导团队对于智能制造有着比同业更清晰的认知，我们的技术团队与他们在6个月时间内进行了多轮系统且深入的探讨，修改了18版方案，新鸿基最终一次性签订了两期高端定制化FMS生产线的购买和实施协议，尤其是中央刀具库的装配，更是Fastems在国内的首例应用。这是当前民营企业中完全来自自筹资金的最大规模的高端柔性线，在建成后，新鸿基将实现24小时无人值守、几十种产品同时生产，设备综合利用率将达到95%，其产能跃升极具想象空间。”芬发自动化上海有限公司总经理丁永平先生介绍说。



柔性制造带来颠覆性加工思维

走进车间，一条颇具规模、正在高效运行的生产线便映入眼帘。这是新鸿基刚刚运行了近半年的柔性线一期，目前集成了3台高性能机床设备（2台五轴加工中心，1台卧式加工中心）。背后的立体库拥有超高超大的库容量，可集成100多个物料托盘和100多个机加托盘，在立体库内部还有一台每分钟150米速度的高效堆垛机，用于托盘的自动传送。所有的托盘、夹具和物料/毛坯、在制品都集中存放于立体库中，在需要装夹时夹具及其匹配的物料会被自动送出至装载站以供装夹，从而减少人工依赖，降低人工出错的风险。

“Fastems柔性线给我最大的惊喜是托盘交互功能所实现的零件交替生产，这是一种完全颠覆单机生产思维和方式的重要改变。”新鸿基生产部经理赵小卫是柔性线项目的技术执行人，身处加工一线的他感受最深，“在单机生产中，当一个零件在调试、装夹、检测时，设备只能停机等待；而在柔性线生产中，当一个零件切削完成进入换装或检测工序，柔性线的托盘管理系统就能够自动将另一个型号零件传输至机床进行加工，大大提升了设备利用率。前后生产数据的对比，也充分证实了这一优势，目前柔性线的设备综合利用率为75%左右，相较单机时的40%提升了近一倍。在人员配置方面，柔性线也已经做到了机器全天不停，夜班4-6小时无人生产，并且这一数字将在12月上旬随着托盘数量增多和导入更多产品后达到8个小时。”

事实上，除了敏捷高效、模块化的硬件设施，Fastems的软件优势也是其助力用户灵活换产的关键。Fastems柔性制造系统所配备的MMS 软件，是当前工业领域最先进的生产计划、模拟及执行管理软件，不仅可以管理并清晰显示产线中的机床、刀具、夹具、物料站等所有生产要素的加工状态、使用效率等，助力企业达成生产

的可视化、数字化，还能够实现自动排单功能，操作人员只需在控制面板上输入加工什么产品、多少件、什么时候生产、什么时候结束等信息，系统就会将所有订单自动排好，并预先计算好所需的用料数量、刀具数量、时间节点等，如果有急单、插单情况系统会顷刻间动态调整，这一功能恰好是多品种、小批量生产企业实现快速换产、不间断生产最为需要的。

“MMS软件已经与我们的ERP系统连接，能够实时监控、分析生产状况，当前产线运行时间还较短，自动排单功能正在逐步调试完善中，依靠技术人员对零部件进行工艺、装夹方式的梳理调试，加上柔性线交替生产的功能，目前此柔性产线已经实现同时生产45种、共180余道工序的不同产品，我们非常期待在后续调试完善后，会对我们的生产管理带来质的飞跃。”赵经理补充说道。



柔性理念的全面覆盖

“行稳致远，智造未来”，是新鸿基2019年公司年会的主题，如果说当时还只是自动化在技术层面的“单点渗透”，那么在柔性线运行的今年，自动化已经成为一种

“全面覆盖”的生产、工作理念。

首先是工艺设计，不同于单机时更多考虑装夹、切削是否便捷，新鸿基现在所有新品的工艺编排都必须基于自动化生产的逻辑，例如工装设计时首选零点快换系统；操作工序中要考虑是否有与其他零件切换加工的可能性等。

其次是考核标准，“之前，我们的考核是以机床计划加工时间为总基数，机床实际切削时间与这一计划时间的占比去计算设备利用率，在接触了Fastems 8760理念后，我们才意识到这其中有很多因故障、工人放假等因素造成的机床停机时间被掩盖了，计划时间和制定计划的人是充满变量的，原来算法的不合理性显而易见。实际上每年365天 X 24小时的时间是不变的，让每台设备最大程度地工作才是最客观的核算目标。”李总介绍说，“目前，我们对于生产的所有考核标准都已经替换成了‘8760’，从而能更清晰地了解到设备真实的利用率，客观地评估产能。我们清楚地看到，现有设备还大有潜力可挖，如果按原来算法我们要满足目标产能可能得再买新设备了。可见柔性理念对于企业的发展决定还有着很大的帮助。”

“正是新鸿基领导团队对智能制造的前瞻布局，对制造、对管理的深刻理解，以及执行的有效性，才实现了真正意义上的计划自动化、传输自动化和监控自动化，也让Fastems的优势在这里得以完美呈现。”丁总感慨道，“柔性线二期的3台智能加工设备均已调试完成，连线将在2022年5月完成，届时，该条产线的最大亮点也会如约呈现：在设备上方将有一个配备1000把刀的行架中央刀具库，实现送刀、装刀、刀具信息传送，寿命管理等全自动管理，从根本上解决人工失误导致的撞机或者停机，同时达成24小时无人值守的全自动化生产，请与我们共同期待！”□

资讯

2022年1月新能源汽车产销继续保持增长

中国汽车工业协会最新数据显示，2022年1月，汽车产销环比有所下降，同比呈小幅增长，其中新能源汽车表现依然突出，同比继续保持快速增长势头。

1月，新能源汽车产销环比有所下降，同比继续保持高速增长。产销分别达到45.2万辆和43.1万辆，环比下降

12.6%和18.6%，同比增长1.3倍和1.4倍。在新能源汽车主要品种中，与上月相比，纯电动汽车产销有所下降，插电式混合动力汽车呈小幅增长；与上年同期相比，纯电动汽车和插电式混合动力汽车产销依然延续高速增长势头。