

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing
Engineering & Market

No.6 2022
2022年12月
December 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：张芳丽
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：中国台湾总代理-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6期（总第183期）

WMEM世界制造技术与装备市场

资讯 News

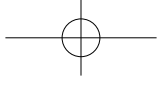
- 10 机床工具行业企业认真贯彻落实党的二十大精神
Enterprises in the machine tool industry earnestly implement the spirit of the 20th CPC National Congress
- 11 CMT2023展会招展布展工作接近尾声 等4则
CMT2023 exhibition recruitment and exhibition arrangement are nearing the end etc. 4 news

产销市场 Production & Market

- 14 2022年前三季度机床工具行业经济运行情况 机床协会
Economic operation of machine tool industry in the first three quarters of 2022
- 17 2022年上半年机床工具行业上市公司运行概况 机床协会
Operation overview of listed companies in machine tool industry in the first half of 2022

特别策划 Special Planning

- 增材制造发展动态及技术应用
Development and Technology Application of Additive Manufacturing
- 21 2022年第二季度全球增材制造设备出货量呈现分化趋势 3D科学谷
In the second quarter of 2022, the global shipments of additive manufacturing equipment show a trend of differentiation
- 23 探索LPBF成为批量生产的增材制造技术，洞悉光束整形的应用技术逻辑 3D科学谷
Explore LPBF as an additive manufacturing technology for mass production, and understand the application technology logic of beam shaping
- 27 增材制造为制造业提供更多创新潜能 李雷
Additive manufacturing provides more innovation potential for the manufacturing industry
- 28 航空航天制造业常见的增材制造合金材料及工艺特性 3D科学谷
Common additive manufacturing alloy materials and process characteristics in aerospace manufacturing industry
- 31 基于3D打印的泵壳快速铸造方法 武志良 邓方刚
Rapid casting method of pump shell based on 3D printing



WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

编者的话

10月16日上午,举世瞩目的中国共产党第二十次全国代表大会在北京隆重召开。为深入学习贯彻党的二十大精神,行业企业在各级党组织的精心组织和安排下,持续以各种形式进行认真学习,并表示要以党的二十大精神为指引,加强技术创新,提升管理水平,为企业持续高质量发展贡献力量,助推全行业整体提升。

2022年前三季度,机床工具行业积极克服疫情等诸多不利因素的影响,经济运行总体向好并呈现出以下特点:前三季度疫情对行业影响较严重,8月后营业收入恢复增长;金属切削机床仍处下行区间,需求正在逐步改善;机床工具行业出口呈现亮点,顺差继续扩大;金属加工机床单台价值明显提高;存货增幅较大,加大了企业的资金占用。

机床工具行业克服疫情影响等不利因素,整体取得了相对较好的经营成果。上市公司作为行业内优质企业,可从一个侧面展现行业的运行状态。协会信息统计部从各上市公司2022年半年报入手,汇总分析了重点监测的上市公司运行情况。

持续3年的新冠疫情终于走向末路,全球业界瞩目的第十八届中国国际机床展览会(CIMT2023)有望顺利开幕。由中国机床工具工业协会主办并与中国国际展览中心集团有限公司共同承办的CIMT2023,将于2023年4月10-15日在北京中国国际展览中心(顺义馆)举办。截至发稿,已有来自27个国家和地区的1700多家企业申报参展,总展出面积达14万平方米。

本期特别组织策划了“2021年度先进会员(十佳)”、“第四批专精特新小巨人企业”、“增材制造发展动态及技术应用”等多个主题策划,从产品、技术、企业等不同视角宣传报道行业企业及应用,供业界参考借鉴。

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。

目录 CONTENTS

2022年第6期(总第183期)

特别报道 Special Report

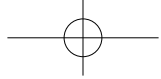
- 34 2022年机床工具专业“机械工业科学技术奖”项目申报及获奖情况分析 沈华红
Analysis on the application and awarding of "Science and Technology Award of Machinery Industry" in 2022 for machine tool specialty
- 40 NC-Link: 协同创新 开放合作持续推进工作机制和技术支撑能力体系建设 协会行业部
NC Link: Collaborative innovation, opening up and cooperation, continuously promote the construction of working mechanism and technical support capability system
- 43 应对贸易摩擦应未雨绸缪 李雷
Take precautions against trade frictions
- 45 2021年全球新装工业机器人达历史高点,中国占比过半
In 2021, the world's newly installed industrial robots reached historical high, with China accounting for more than half of the total

专题报道 Topical Report

- 49 北京精雕科技集团有限公司 JDMR600精雕高速加工中心
Beijing Jingdiao Technology Group Co., Ltd., JDMR600 Jingdiao High Speed Machining Center
- 51 常州市新墅机床数控设备有限公司 D100A-12-VDI40U 模块化高速伺服动力刀架
Changzhou Xinshu Machine Tool NC Equipment Co., Ltd., D100A-12-VDI40U Modular High Speed Servo Turret
- 52 大族激光智能装备集团有限公司 RDC卷料激光切割自动生产线
Han's Laser Intelligent Equipment Group Co., Ltd., RDC Coil Laser Cutting Automatic Production Line
- 54 华辰精密装备(昆山)股份有限公司 MK84125高速精密数控轧辊磨床
Huachen Precision Equipment (Kunshan) Co., Ltd., MK84125 High Speed Precision CNC Roll Grinder
- 56 纽威数控装备(苏州)股份有限公司 汽车发动机高效加工卧加自动生产线
Neway CNC Equipment (Suzhou) Co., Ltd., Horizontal Automatic Production Line for Efficient Processing of Automobile Engines

产业聚焦 Industry Focus

- 59 专精特新“小巨人”企业将有效助推行业高质量发展 张芳丽
Special new "small giant" enterprises will effectively promote high-quality development of the industry
- 62 新诺精工: 专注加工中心研发, 持续提升产品可靠性
SINO: Focus on the research and development of machining center, and continuously improve the product reliability



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, ZHAO 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 Ping, CHEN Yuan-dong, SUN Zhao-da,
LI Hong-ji, WANG Li-na, CHEN Chang-jiang

Chief-Editor: Li Huaxiang

Executive Editor: Zhang Fang li

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6期 (总第183期)

- 64 奥图股份: 以创新驱动发展 以匠心赋能客户
Aotto: Innovation driven development and ingenuity empowering customers
- 66 成都工研所: 坚持走高质量发展之路
Chengdu Tool Research: Adhere to the road of high-quality development
- 68 力成专机: 专注轴类零件高效专机
LECN: Focus on efficient special machine for shaft parts
- 71 江苏宏达: 专注数控转塔刀架
Jiangsu Hongda: Focus on CNC turret
- 73 畅尔: 深耕主业, 做精专业
CHR: Deeply cultivate the main business and become professional
- 75 力鼎智能: 技术立足 品质致胜
LeadWin: Based on technology, win with quality
- 77 陕西诺贝特: 坚守工匠精神, 做中国好机床
Shaanxi OBOT: Adhere to the spirit of craftsmanship and make good Chinese machine tool
- 78 长沙思胜: 三代人对拉床的守望传承
Changsha Sisheng: Three generations' watch on broaching machine

产品与技术 Products & Technology

- 80 以硬实力铸就工业机器人关节减速器高端品牌 秦川集团
Build a high-end brand of industrial robot joint reducer with hard strength
- 83 不同厂家滚动直线导轨副摩擦磨损对比分析 翟蛟龙等
Comparative analysis of friction and wear of linear rolling guides from different company
- 87 浅谈金属切削机床的性能试验 韩玉稳 董应明
On the performance test of metal cutting machine tools
- 90 中间锥套扩涨式液压紧配螺栓机加工工装设计 朱达新 唐菊萍
Design of tooling for expanding hydraulic fitting bolt of intermediate taper sleeve
- 93 改变思路, 提升长轴件打中心孔效率 华斌
Change the thinking and improve the efficiency of center drilling for long shaft parts
- 95 浅谈不锈钢的机械切削加工 周德华
Talking about mechanical cutting of stainless steel
- 98 GNC62数控系统及通用驱动器应用 陈连君等
Application of GNC62 CNC System and universal drivers

消息 (22、26、33、39、47、97、100)



机床工具行业企业认真学习贯彻 党的二十大精神

10月16日上午，举世瞩目的中国共产党第二十次全国代表大会在北京人民大会堂隆重开幕。为深入学习领会党的二十大精神报告精神，全面掀起学习大会精神热潮，机床工具行业企业高度重视，积极组织党员干部、职工群众通过电视、网络、广播等媒介，第一时间收听收看了大会开幕会盛况。会议之后，行业企业在各级党组织的精心组织和安排下，持续以各种形式认真学习领会、贯彻落实二十大报告精神，并表示要以党的二十大精神为指引，加强技术创新，提升管理水平，为企业持续高质量发展贡献力量，助推全行业整体提升。

11月2日下午，中央宣讲团成员、中央财经委员会办公室分管日常工作的副主任韩文秀来到济南二机床，就党的二十大精神与职工代表进行了面对面宣讲交流。济南二机床党委副书记、总经理高守源，副总经理赵明纪，纪委书记刘虎陪同宣讲团参观了生产现场，并参加了宣讲活动。韩文秀希望，济南二机床胸怀“国之大器”，加大技术创新，研制出更多优质的产品，用实实在在的业绩贯彻落实好党的二十大精神，为建设社会主义现代化强国贡献力量。通过学习，干部职工备受鼓舞，表示要以党的二十大精神为指引，加强技术创新，提升管理水平，弘扬工匠精神，为企业持续高质量发展贡献力量。

为贯彻落实党中央关于二十大精神宣讲工作重要部署，推动党的二十大精神走进基层、走进群众，通用技术集团党组书记、董事长于旭波深入企业作党的二十大精神宣讲报告。于旭波从深刻领会党的二十大精神重大意义、深刻领会党的二十大精神主题、深刻领会过去五年和新时代十年伟大变革、深刻领会开辟马克思主义中国化时代化新境界的历史责任、深刻领会以中国式现代化推进中华民族伟大复兴的历史重任、深刻领会全面建设社会主义现代化国家的目标任务、深刻领会推进党的建设新的伟大工程的重要部署、深刻领会关于青年和青年工作的重要要求、深刻领会

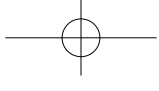
二十大对国资国企作出的重大部署等九个方面，对党的二十大精神进行了全面系统深入的宣讲解读。集团所属各企业通过多种方式进行了学习。同期，“通用技术齐二机床”微信公众号开设党的二十大精神报告自测题专栏，充分发挥移动新媒体便携化、便利化的优势，创新学习方式、丰富学习载体，倡导党员干部和职工群众充分利用碎片化时间进行持续关注和深入学习。

11月8日，秦川集团党委组织党员干部以视频形式聆听学习贯彻党的二十大精神中央宣讲团国资国企系统报告会，中央宣讲团成员、中央政策研究室副主任田培炎作宣讲报告。宣讲深入浅出、内容丰富，对国资国企系统具有很强的针对性和感染力。大家纷纷表示，要按照党中央要求，在全面学习把握落实大会精神实质上下功夫，以实际行动把大会提出的目标任务落实到企业科技创新、改革发展、党的建设等各个领域，在新时代的“赶考路”上奋力谱写中国式现代化“秦川篇章”。

11月19日下午，京城机电副总经理、北一机床党委书记、董事长李忠波，北一机床党委副书记、总经理傅伟男等，与北一机床党员干部职工参观“奋进新时代”主题成就展，沉浸式学习领会党的二十大精神，深刻感悟过去五年工作和新时代十年伟大变革，凝聚奋进新征程、建功新时代的精神力量。广大党员干部职工纷纷表示，要进一步深入学习贯彻党的二十大精神，强化责任担当，凝聚打造具有全球竞争力的机床制造与服务供应商的磅礴力量。

武重集团党委组织所属各单位、各支部学习宣传贯彻党的二十大精神。武重集团机床公司装配二公司通过召开支部大会进行集中学习，各支委深入班组通过班组会进行宣传，在外安调职工利用网络主动学习，并结合工作实际开展了主题党日活动，结合学习制定了四季度八个重难点项目具体推进计划，统筹推进抓落实。全体党员干部职工群众纷纷表示，要提高政治站位，学深悟透党的二十大精神内容，将学习成效转化为工作动力，发挥党员带头作用，主动担当作为，攻坚克难。

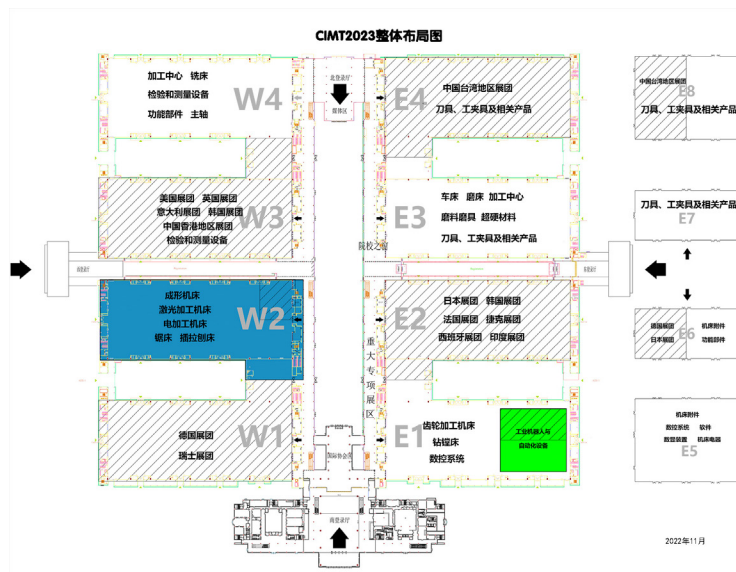
为了将党的二十大精神走深走实，11月21日，浙江畅尔智能装备股份有限公司畅尔学堂特邀请了缙云县委



组织部常务副部长尚雄作“畅想中国梦 铸造国重器——学习贯彻党的二十大精神”专题讲座，畅尔公司党支部全体党员、积极分子和高层管理干部参加了学习。通过学习，大家深深认识到，要把学习的认识、思想的提高转化为真抓实干的效能，以更饱满的精神状态不断创新，积极推动企业高质量发展，努力在中国式现代化的征程上贡献畅尔力量。

CIMT2023展会招展布展工作接近尾声

由中国机床工具工业协会主办并与中国国际展览中心集团有限公司共同承办的第十八届中国国际机床展览会（CIMT2023），将于2023年4月10-15日在北京中国国际展览中心（顺义馆）举办。本届展会将使用中国国际展览中心（顺义馆）全部8个室内展馆（E1-E4，W1-W4），并在展馆东侧搭建4个临时展馆（E5-E8），展会总面积达14万平方米。



目前，展会的境内外招展工作已经接近尾声。共有来自27个国家和地区的1700多家企业申报参展。境外展区有来自德国、日本、瑞士、美国、韩国、西班牙、意大利、英国、印度、法国、捷克、中国香港和台湾地区等13个国家和地区的机床协会和贸促机构组织展团参

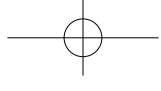
展，展团内部的展位分配正在进行中；独立申报境外参展企业共有196家，已分配面积10566平方米。全球知名企业如德马吉森精机、格劳博、联合磨削、埃马克、海德汉、马扎克、大隈、牧野、迪恩、友嘉、帕马、昂科、GF、托纳斯、ABB、哈挺、哈斯、格里森、肯纳、伊斯卡、达诺巴特、尼古拉斯、雷尼绍、海克斯康、蔡司等均已申报参展。

境内展区有1000多家企业申报参展，其中独立申报参展企业700多家；中国机床工具工业协会下属的工具分会、机床附件分会、特种加工机床分会、数控系统分会、滚动功能部件分会、主轴分会、磨料磨具分会、超硬材料分会、数显装置分会、机床电器分会等10个分会组织其所属专业领域的300多家会员企业报名参展。

境内的行业重点骨干企业悉数参展。申报面积超过100平方米的共有238家企业。其中，申报面积超过1000平方米的有通用技术集团、秦川机床、邦德激光等3家企业；申报面积500-1000平方米的有星火、蒂德、北京发那科、威达重工、北一机床、海德曼、科德数控、亚威股份、齐重数控、乔锋、北京精雕、海天精工、纽威、南通国盛、创世纪等15家企业；申报面积300-500平方米的有百超迪能、大族激光、济南二机床、金方圆、格力、宏山激光、意特利、瑞铁机床、珊达、宜昌长机、扬力集团、奔腾激光、金威刻激光、嘉泰激光、日发精机、CY集团、中大创远、震环机床、豪特曼、迈雷特、古田、武汉益模等22家企业。

境内展区独立参展企业进入面积分配方案的有500多家，目前已完成并发出近300家分配面积在27平方米以上企业的展位方案，已分配面积26442平方米，还有200多家分配面积在27平方米以下企业的方案待发出；已完成并发出10个组团分会的总体分配方案，已分配面积8235平方米，各组团分会内各企业的展位分配方案正在制定中。

截至目前，展区的面积满足率约为50%，有300多家企业还在等候参展名单中。有关展会组织筹备工作的进展情况，敬请关注展会官网www.cimtshow.com和协会微信订阅号“中国机床工具工业协会cmtba”、报纸、杂志、视频号等官方媒体。



协会数控系统分会召开第九届会员大会暨换届大会

2022年11月19日，中国机床工具工业协会数控系统分会第九届会员大会暨换届大会在浙江玉环召开，中国机床工具工业协会会长毛予锋出席了会议，会议由分会秘书长肖明主持。



会上，毛予锋作了题为“2022年前三季度机床工具行业运行情况”的专题报告，分析了全球机床生产与消费情况和2022年前三季度我国机床工具行业的运行，通过实际的数据对行业运行特点进行了深度总结，对2022年的行业运行趋势也做出了基本判断，全年有望与上年持平或略有增长，但金属切削机床预计低于行业整体运行水平。



数控系统分会理事长陈吉红以“奋进中的中国数控系统产业”为题作了分会第八届理事会工作报告。过去的四

年，在协会总会领导下，在广大会员单位支持下，数控系统分会以“提供服务、反映诉求、规范行为”为基本职能，坚持服务为本，开展了多项工作，充分发挥了桥梁和纽带作用，分会凝聚力得到明显提升。



本次会议进行了数控系统分会第九届理事会换届选举，通过差额选举产生了十四家理事单位，等额选举产生了一家理事长单位及六家副理事长单位，名单如下：

理事长单位及代表：

武汉华中数控股份有限公司 陈吉红

副理事长单位及代表：

科德数控股份有限公司 陈虎

广州数控设备有限公司 何敏佳

超同步股份有限公司 项久鹏

沈阳中科数控技术股份有限公司 于东

山东山森数控技术有限公司 张士银

北京计算机技术及应用研究所（航天数控） 赵甫

经理事长提名，第九届理事会秘书长由武汉华中数控股份有限公司肖明担任，副秘书长由超同步股份有限公司李龙云担任。

会议邀请了台州市机床行业协会代表和玉环市机床行业协会代表出席。他们结合本地机床行业发展特色，在台州市场对高档数控系统的需求不断上涨的大背景下，积极鼓励分会企业同当地机床厂一起深度融合，共同助力本地机床行业向高端化、智能化方向发展。

到会的会员单位代表作了现场交流发言，上海维宏、



山东山森代表“专精特新”企业做了主题发言，安盟信息等六家新会员企业分别介绍了公司业务组成，表达了与分会其他会员企业互通互动的愿望。在总会毛予锋会长和分会陈吉红理事长的见证下，山东山森与滕州华数智能研究院、德欧电气与华大电机分别签订了战略合作协议。

会议还邀请了国家数控系统工程技术研究中心、海德曼机床、海天金属、苏州伟创科技作了技术分享，分享内容囊括NC-Link标准及其产业化推广、国内外数控系统使用情况及建议、新能源汽车一体化压铸技术发展趋势及数控设备需求、伺服驱动及应用，内容详实，精彩纷呈。

当天下午，与会代表集体参观了温岭深澳机床、海德曼机床以及中星数控。

协会组合机床分会召开九届三次理事会（扩大）会议

2022年11月8日，中国机床工具工业协会组合机床分会九届三次理事会（扩大）会议在浙江杭州召开。会议主题是“数字智能，组合创新”。通用技术集团大连机床有限责任公司、东风设备制造有限公司、江苏高精机电装备有限公司、江苏恒力组合机床有限公司等41家会员单位的59位代表参会。中国机床工具工业协会执行副理事长郭长城出席了会议，会议由分会理事长、大连组合机床研究所所长姜怀胜主持。



会上，郭长城作了题为“机床工具行业形势分析和展望”的专题报告，分析了2021年以来中国机床工具行业企业结构与经营指标、行业市场现状及行业发展趋势，

对机床工具行业发展的有利因素和不利因素进行了深入剖析，同时对机床工具行业的前景进行了预测与展望。组合机床分会秘书长刘庆乐作了分会理事会工作报告，总结了在新冠疫情等不利因素影响下，组合机床分会完成的重点工作和组合机床行业企业的发展状况，对分会工作和会员单位的发展面临的棘手问题提出了合理化建议和切实可行的措施。到会的会员单位代表作了交流发言，就组合机床行业生产技术、市场经营、通用部件与专机定价、付款方式、供货周期等问题进行了深入研讨，分享了企业经营管理、技术创新和技能人才培养等方面的经验做法。



会议还邀请大连迈思信息技术有限公司董事长王德权教授作了题为“工业元宇宙——虚拟数字化智能工厂平台，实现虚拟现实和工业互联网深度融合”的技术报告，邀请大连元利流体技术有限公司董事长高永刚作了题为“碳中和背景下绿色机床之智能低碳高压冷却系统研讨”的报告。





2022年前三季度机床工具行业经济运行情况

中国机床工具工业协会信息统计部

2022年前三季度，我国高效统筹疫情防控和经济社会发展，国民经济持续恢复，总体运行在合理区间。机床工具行业积极克服疫情等诸多不利因素的影响，经济运行呈现逐步恢复向好态势。

一、行业运行基本情况

1. 努力克服疫情影响，营业收入恢复小幅增长

2022年1-9月，中国机床工具工业协会重点联系企业营业收入同比增长1.2%。其中，金属切削机床分行业同比下降5.9%，金属成形机床分行业同比增长25.9%，工量具分行业同比下降1.9%，磨料磨具分行业同比增长16.2%。

1-9月重点联系企业营业收入同比增幅较1-8月扩大0.9个百分点，而1-7月和1-6月均为同比下降。从月度来看，7、8、9月重点联系企业当月营业收入同比分别为下降2.5%、增长7.0%、增长8.3%。营业收入累计数和当月数在三季度均由降转升，且增幅逐月扩大，体现出行业努力克服疫情影响带来的各种困难，总体回稳向好的趋势。

图1是2022年1-9月与2021年、2020年重点联系企业累计营业收入同比增速的对比。

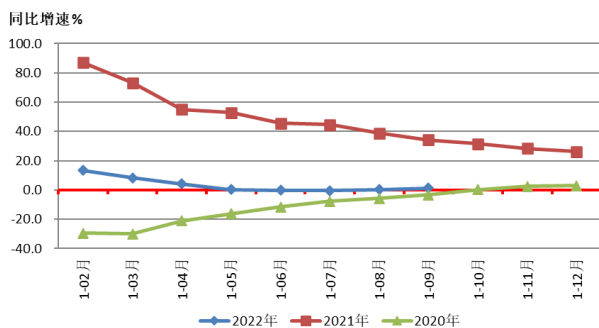


图1 重点联系企业营业收入同比增速情况

2. 利润总额保持增长

2022年1-9月，重点联系企业利润总额同比增长30.0%。其中，金属切削机床分行业同比增长37.1%，金属成形机床分行业同比增长42.7%，工量具分行业同比下降12.0%，磨料磨具分行业同比增长155.8%。行业整体上利润总额保持增长，但利润水平仍然较低。

3. 亏损面较上半年有所收窄

2022年1-9月，重点联系企业中亏损企业占比为25.3%，较上年同期扩大0.8个百分点。较今年上半年收窄2.0个百分点。

4. 金切机床订单下降，成形机床订单增长

2022年1-9月，重点联系企业金属加工机床新增订单同比下降5.9%，在手订单同比增长2.9%。其中，金属切削机床新增订单同比下降14.0%，在手订单同比下降1.6%。金属成形机床新增订单同比增长12.6%，在手订单同比增长11.9%。在新能源汽车需求增长等因素带动下，金属成形机床订单情况好于金属切削机床。

5. 机床产量下降，存货增长明显

据国统局公布数据，2022年1-9月规上企业金属切削机床产量41.6万台，同比下降11.1%；金属成形机床产量15.2万台，同比下降13.1%。

7、8、9月当月，金属切削机床产量同比分别为下降14.8%、下降13.5%、下降12.0%；金属成形机床产量同比分别为下降20.0%、下降20.0%、下降19.0%，月度降幅略有趋缓。

图2、图3分别是2022年1-9月与2021年、2020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。

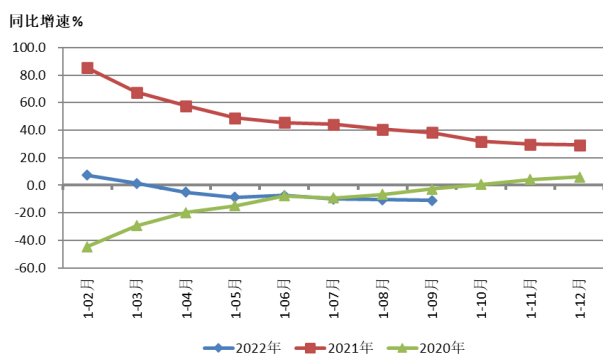


图2 金属切削机床产量同比增速情况

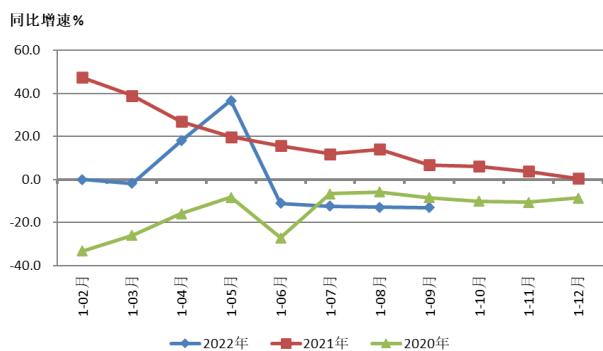


图3 金属成形机床产量同比增速情况

重点联系企业统计数据也显示出相同的变化趋势：2022年1-9月，金属切削机床产量同比下降19.7%，产值同比下降3.8%；金属成形机床产量同比下降10.4%，产值同比增长25.8%。产量和产值变动方向的明显分化，与产品结构升级带来的单台价值上升和原材料价格上涨带来产品价格提高等因素相关。

2022年1-9月，重点联系企业存货同比增长13.5%，其中，原材料同比增长8.3%，产成品同比增长9.6%。金属加工机床产成品存货同比增长8.2%，其中，金属切削机床同比增长6.1%，金属成形机床同比增长18.4%。

二、进出口情况

根据中国海关数据，2022年1-9月机床工具行业进出口总额252.8亿美元，同比增长4.3%。其中进口总额94.9亿美元，同比降低9.6%；出口总额157.9亿美元，同比增长15.0%。进口有所下降，出口保持两位数增长。

2022年1-9月机床工具进出口保持了自2019年9月以来的顺差态势，顺差为62.9亿美元，顺差额同比增长95.3%。呈现贸易顺差的有磨料磨具(29.6亿美元)、木工机床(18.3亿美元)、切削刀具(17.9亿美元)、金属成形机床(6.0亿美元)、机床功能部件(含零件)(0.7亿美元)、铸造机(0.5亿

美元)、量具量仪(0.3亿美元)、数控装置(0.2亿美元)等商品领域。金属切削机床为逆差10.5亿美元，但逆差额在持续缩小。

进口方面，2022年1-9月总体上下降。其中，金属加工机床进口额50.3亿美元，同比下降11.2%。其中，金属切削机床进口额42.6亿美元，同比下降10.1%；金属成形机床进口额7.7亿美元，同比下降16.6%。切削刀具进口额11.5亿美元，同比下降9.5%。磨料磨具进口额5.8亿美元，同比增长0.9%。

2022年1-9月金属加工机床进口额排前五位的是：加工中心18.4亿美元，占比36.7%；特种加工机床8.0亿美元，占比15.9%；磨床6.1亿美元，占比12.2%；车床3.8亿美元，占比7.5%；齿轮加工机床3.4亿美元，占比6.7%。

2022年1-9月机床工具进口来源前三名的分别是：日本30.6亿美元，同比下降11.3%；德国20.8亿美元，同比下降6.1%；中国台湾12.4亿美元，同比下降13.4%。

各商品类别的累计进口情况见图4。

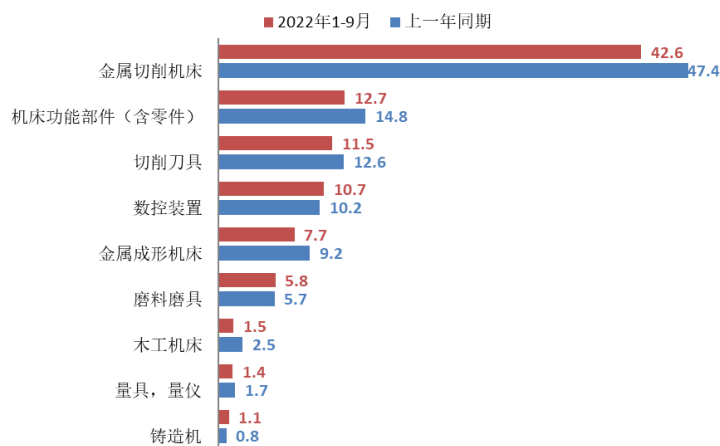


图4 机床工具产品累计进口情况(亿美元)

出口方面，2022年1-9月份出口仍保持大幅增长的趋势。其中，金属加工机床出口额45.8亿美元，同比增长21.0%。其中，金属切削机床出口额32.0亿美元，同比增长22.6%；金属成形机床出口额13.7亿美元，同比增长17.6%。切削刀具出口额29.3亿美元，同比增长6.2%。磨料磨具出口额35.3亿美元，同比增长20.7%。

2022年1-9月金属加工机床出口额排前五位的是：特种加工机床14.5亿美元，占比31.6%；车床5.1亿美元，占比11.2%；成形折弯机3.6亿美元，占比7.8%；其他成形机床3.3亿美元，占比7.2%；加工中心3.2亿美元，占比7.0%。

2022年1-9月机床工具出口去向前三名分别是：美国19.9亿美元，同比增长14.2%；印度11.3亿美元，同比增长28.4%；越南10.3亿美元，同比下降1.9%。

各商品类别的累计出口情况见图5。

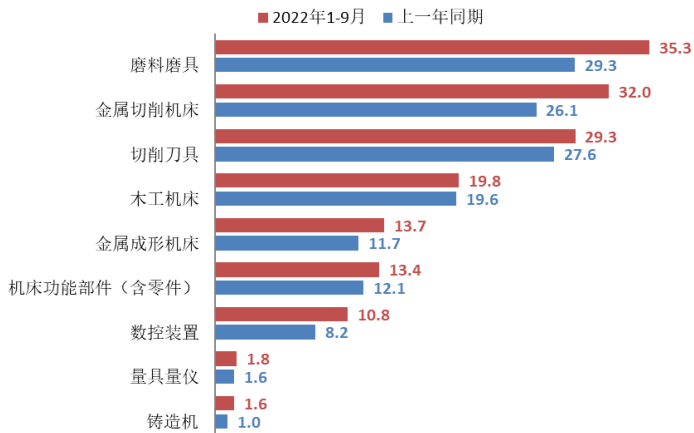


图5 机床工具产品累计出口情况 (亿美元)

三、行业运行特点

1. 前三季度疫情对行业影响较严重，8月后营业收入恢复增长

在2022年年初全国经济良好开局带动下，1-2月机床工具行业实现了两位数增长。3月下旬开始，上海、北京等多地爆发疫情，机床工具行业企业的生产经营普遍受到严重冲击，造成4、5月份重点联系企业的月度营业收入指标大幅下滑，6、7月份月度指标降幅逐步缩小，但累计增速变为下降。8月份开始，营业收入的月度和累计增速已全部恢复增长。但机床产量、机床新增订单等仍处于同比下降状态。

图6反映了2022年3月以来行业受疫情影响及恢复的整个过程。

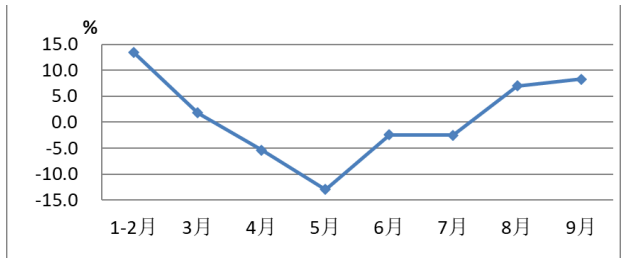


图6 2022年前三季度机床工具行业月度营业收入同比

2. 金属切削机床仍处下行区间，需求正在逐步改善

1-9月，重点联系企业中金属切削机床分行业的营业收入同比下降5.9%，金属切削机床产量同比下降19.7%，新增订单同比下降14.0%，在手订单同比下降1.6%。但进入三季度以来，金属切削机床收入降幅在逐月收窄，新增订单和在手订单降幅都在收窄。综上，金属切削机床分行业仍在持续下行，但下行速度明显放缓，积极因素逐步形成。目前市场需求不足仍是主要矛盾，后期运行压力较大。

3. 机床工具行业出口呈现亮点，顺差继续扩大

1-9月份，在国外市场需求恢复、国内有效疫情防控和行业开拓国际市场的持续努力等因素带动下，机床工具行业的出口总额一直保持两位数平稳增长。同时，继续保持了自2019年6月以来的顺差态势，1-9月机床工具进出口顺差为62.9亿美元，同比增长95.3%。

4. 金属加工机床单台价值明显提高

1-9月金属切削机床和金属成形机床产量均同比下降，但根据协会重点联系企业统计数据，机床单台产值明显提高。其中有原材料价格带动的机床价格上涨因素，但用户需求明显升级，成套、成线订单大幅度增加，产品自动化、智能化需求提高，也是重要的带动因素。

5. 存货增幅较大，加大了企业的资金占用

1-9月份重点联系企业的存货指标同比一直处于两位数增长状态。存货增长的原因主要是疫情影响下供应链不稳定，原材料价格波动上涨，采购件供货周期延长，以及市场需求的波动性增加。存货的上升加大了企业资金占用负担。

四、全年行业运行态势展望

从宏观层面看，今年以来受国际形势复杂演变、国内疫情冲击等超预期因素影响，我国经济下行压力有所加大，但二季度后期以来国民经济持续恢复。三季度GDP同比增长3.9%，比二季度加快3.5个百分点。三季度全国规模以上工业增加值同比增长4.8%，增速比二季度回升4.1个百分点。经济回稳明显。

从一些先导性宏观经济指标看，制造业采购经理指数（PMI）今年以来一直在荣枯线上下波动，10月份为49.2%，继9月达到50.1%之后又重回收缩区间，表明企业经营活动总体有所放缓。1-9月全社会固定资产投资同比增长5.9%，较1-6月回落0.2个百分点。其中，与机床工具行业高度相关的制造业投资同比增长10.1%，汽车制造业投资同比增长12.7%，设备工器具购置固定资产投资同比增长3.7%。投资形势基本平稳，其中汽车制造业和设备工器具购置投资较1-6月有明显增长。

从协会重点联系企业1-9月统计数据看，营业收入已连续两个月运行在增长区间，行业总体上呈企稳回升态势。但目前机床工具行业仍面临市场需求和投资偏弱、疫情影响、供应链不稳定等问题，下一阶段运行压力仍然较大。

综合各方面情况判断，四季度机床工具行业将延续恢复态势，全年有望与上年持平或略有增长，但金属切削机床预计低于行业整体运行水平。□

2022年上半年机床工具行业上市公司运行概况

中国机床工具工业协会信息统计部

2022年上半年，国内疫情散发多发，部分机床工具行业企业集中的地区疫情比较严重，企业生产经营受到很大冲击，行业供应链也受到很大影响。但机床工具行业克服了疫情影响等不利因素，整体取得了相对较好的经营成果。机床工具行业上市公司，作为行业内的优质企业和典型企业，可从一个侧面展现行业的运行状态。

本文从各上市公司2022年半年报入手，汇总分析重点监测的行业上市公司的运行情况。

一、概况

根据本行业产品特征，我们对国内上市公司的机床工具产品收入在总收入中的占比情况进行了梳理分析，甄选了行业特征比较突出的57家企业作为行业上市公司的重点监测和分析的对象。2022年上半年较2021年增加1家（新上市），减少1家（退市），总数保持不变。这57家上市公司中，深交所主板23家，创业板20家；上交所主板6家，科创板8家。

从行业上市公司的地区分布来看，华东地区居首，占35.1%；华中地区其次，占26.3%；华南地区第三，为19.3%。具体分布情况如图1所示。

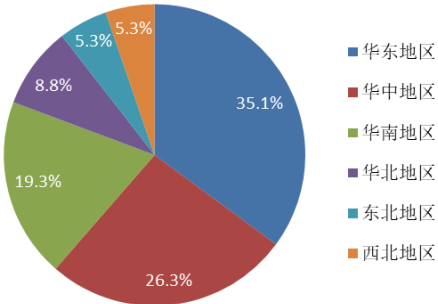


图1 行业上市公司地区分布情况

从行业上市公司的细分行业分布来看，金属切削机床

行业居首，占33.3%；磨料磨具行业其次，占24.6%；工量具和数控装置均占12.3%；金属成形机床和机床附件及功能部件均占7.0%。具体行业分布情况如图2所示。

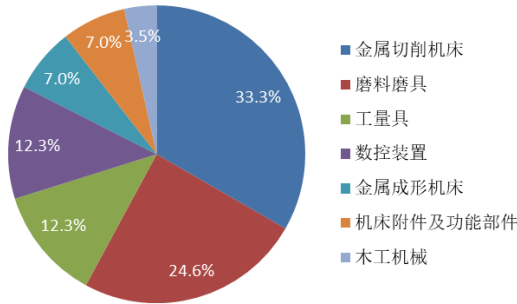


图2 行业上市公司细分行业分布情况

二、行业上市公司主要财务指标情况

1. 资产负债情况

截至2022年上半年末，重点监测上市公司的资产总计为2572.5亿元，较年初增长7.7%。负债合计为1218.4亿元，较年初增长6.0%。资产负债率为47.4%，较年初下降0.7个百分点，较年初增长的企业占52.6%，下降的企业占47.4%。各分行业的资产负债情况见表1。

表1 各分行业资产负债情况表

行业名称	资产总计 亿元			负债合计 亿元			资产负债率 %		
	期末	期初	增减 %	期末	期初	增减 %	期末	期初	增减 百分点
金属切削机床	1118.0	1003.5	11.4	596.5	560.0	6.5	53.4	55.8	-2.5
金属成形机床	106.0	95.6	10.9	48.2	43.0	12.2	45.5	45.0	0.5
工量具	132.3	119.8	10.4	43.1	34.9	23.5	32.6	29.1	3.4
机床附件及功能部件	84.7	84.2	0.6	26.4	26.6	-0.8	31.2	31.6	-0.4
磨料磨具	686.4	657.5	4.4	272.8	262.0	4.1	39.7	39.9	-0.1
木工机械	69.5	69.0	0.7	22.4	23.4	-4.1	32.3	33.9	-1.6
数控装置	375.7	359.7	4.4	209.1	199.5	4.8	55.6	55.5	0.2
机床工具合计	2572.5	2389.3	7.7	1218.4	1149.4	6.0	47.4	48.1	-0.7

从分布情况看，资产负债率在40%以下的企业占比为49.1%，较年初增长3.5个百分点；介于40%–60%之间的企业占比为35.1%，较年初下降5.3个百分点；高于60%的企业占比为15.8%，较年初增长1.8个百分点，其中有一家企业超过100%。整体呈现出两头扩展、中间收窄的变化。资产负债率的整体分布情况见图3。

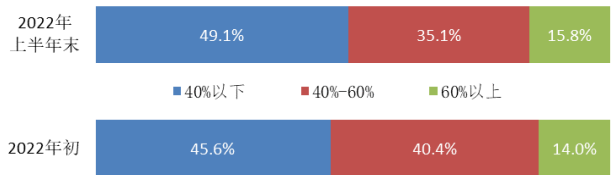


图3 资产负债率分布情况

2. 收益情况

2022年上半年，重点监测的上市公司实现营业收入609.1亿元，同比增长8.7%。其中39家企业同比增长，占68.4%；18家企业同比下降，占31.6%。

实现利润总额75.2亿元，同比增长14.6%。其中32家企业同比增长，占56.1%；25家企业同比下降，占43.9%。

2022年上半年的亏损面为12.3%，同比扩大1.8个百分点。

各分行业的收益情况见表2。

表2 各分行业收益情况表

行业名称	营业收入 亿元			利润总额 亿元			亏损面 %		
	本期	同期	同比 %	本期	同期	同比 %	本期	同期	同比 百分点
金属切削机床	275.5	262.1	5.1	29.5	29.1	1.3	10.5	10.5	0.0
金属成形机床	23.4	19.6	19.3	3.0	2.4	24.8	0.0	0.0	0.0
工量具	30.2	28.6	5.8	6.2	4.7	32.1	0.0	14.3	-14.3
机床附件及功能部件	15.9	17.1	-7.1	2.1	3.8	-44.2	0.0	0.0	0.0
磨料磨具	164.4	131.9	24.7	29.2	18.3	59.8	14.3	7.1	7.1
木工机械	24.6	25.7	-4.4	4.8	5.3	-9.7	0.0	0.0	0.0
数控装置	75.1	75.2	-0.2	0.4	2.0	-78.3	42.9	28.6	14.3
机床工具合计	609.1	560.2	8.7	75.2	65.6	14.6	12.3	10.5	1.8

3. 效益情况

2022年上半年，重点监测上市公司的利润率（利润率=利润总额/营业收入）为12.3%，同比增长0.6个百分点。其中25家企业同比增长，占43.9%；32家企业同比下降，占56.1%。

毛利率为27.9%，同比下降0.3个百分点。其中21家企业同比增长，占36.8%；36家企业同比下降，占63.2%。

各分行业的利润率和毛利率情况见表3。

表3 各分行业效益情况表

行业名称	利润率 %			毛利率 %		
	本期	同期	同比 百分点	本期	同期	同比 百分点
金属切削机床	10.7	11.1	-0.4	27.6	28.2	-0.7
金属成形机床	12.8	12.2	0.6	29.6	30.3	-0.7
工量具	20.5	16.4	4.1	32.1	32.9	-0.8
机床附件及功能部件	13.4	22.3	-8.9	33.7	40.3	-6.6
磨料磨具	17.7	13.8	3.9	29.0	26.5	2.5
木工机械	19.5	20.6	-1.1	26.5	29.1	-2.6
数控装置	0.6	2.7	-2.1	23.5	25.5	-2.0
机床工具合计	12.3	11.7	0.6	27.9	28.2	-0.3

从利润率的分布来看，2022年上半年利润率在0%以下的企业占比为12.3%，较上年同期扩大1.8个百分点；位于0–10%之间的占比为28.1%，同比下降3.5个百分点；位于10%–15%之间的占比为12.3%，与上年同期持平；位于15%以上的占比为47.4%，同比扩大1.8个百分点。整体分布略往两头的区域扩展。利润率的整体分布情况见图4。

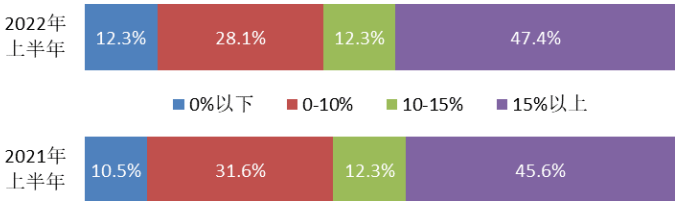


图4 行业上市公司利润率分布情况

2022年上半年，加权平均净资产收益同比增长的企业有20家，占35.1%；同比下降的有37家，占64.9%。从具体分布来看，0%以下的企业占比为12.3%，同比扩大1.8个百分点；位于0–10%之间的占比为77.2%，同比扩大1.8个百分点；位于10%–15%之间的占比为7.0%，同比下降3.5个百分点；位于15%以上的占比为3.5%，与上年同期持平。整体略往左侧偏移。加权平均净资产收益的整体分布情况见图5。

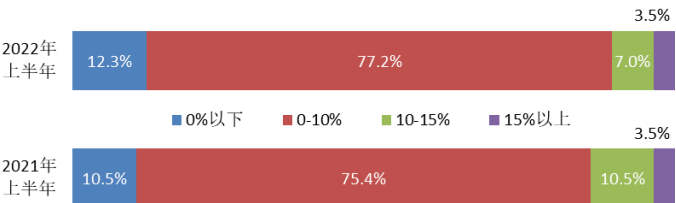


图5 加权净资产收益率分布情况

4. 现金流情况

2022年上半年，重点监测的上市公司经营活动产生的现金流表现为净流出，流出净额为15.4亿元；投资活动产生的现金流表现为净流出，流出净额为33.1亿元；筹资活动产生的现金流表现为净流入，流入净额为82.6亿元。

各分行业的现金流情况见表4。

表4 各分行业净现金流情况表

行业名称	净现金流 亿元		其中：(亿元)					
			经营净现金流		投资净现金流		筹资净现金流	
	本期	同期	本期	同期	本期	同期	本期	同期
金属切削机床	33.5	-10.0	-10.2	0.2	-21.2	-10.5	64.9	0.2
金属成形机床	1.1	-7.3	-1.8	0.5	-1.8	-6.7	4.7	-1.0
工量具	3.2	-2.3	4.6	3.7	-6.9	-8.7	5.5	2.7
机床附件及功能部件	1.0	8.2	1.8	2.1	0.5	-8.9	-1.2	15.1
磨料磨具	3.2	-29.0	0.3	4.4	-2.6	-29.2	5.5	-4.2
木工机械	-1.9	-3.2	3.3	5.1	-1.2	-6.1	-4.1	-2.2
数控装置	-5.9	11.2	-13.4	-5.7	0.1	1.2	7.3	15.7
机床工具合计	34.1	-32.4	-15.4	10.3	-33.1	-68.9	82.6	26.3

三、部分上市公司2022年上半年运行情况

下面我们选择部分关注度较高的行业上市公司，介绍一下主要指标情况。

表5 部分上市公司主要经济指标

证券代码	证券简称	营业收入 亿元		利润总额 亿元		加权平均净资产收益率 %	
		本期	同比%	本期	同比%	本期	同比 百分点
000410.SZ	*ST 沈机	8.64	3.0	0.12	106.8	——	——
000837.SZ	秦川机床	21.39	-28.4	1.76	-30.6	4.72	-4.4
000988.SZ	华工科技	62.18	34.0	6.54	69.8	7.35	2.2
002008.SZ	大族激光	69.37	-7.3	6.85	-31.5	5.10	-3.6
002026.SZ	山东威达	13.65	-1.9	2.08	-1.2	5.23	-1.5
002046.SZ	国机精工	19.81	18.8	1.70	4.5	4.62	0.1
002520.SZ	日发精机	10.02	5.3	0.46	-64.3	0.98	-2.4
002559.SZ	亚威股份	10.49	2.0	0.60	-37.3	4.01	-1.5
002747.SZ	埃斯顿	16.55	6.0	0.89	17.8	2.92	-0.6
002843.SZ	泰嘉股份	2.88	14.1	0.47	36.5	6.98	0.9
002903.SZ	宇环数控	2.40	0.5	0.53	0.3	6.22	0.0
300083.SZ	创世纪	25.56	9.1	3.66	23.0	8.56	-1.9
300161.SZ	华中数控	6.27	-5.6	-0.69	-57.0	-3.03	-0.3
300488.SZ	恒锋工具	2.55	12.1	0.79	10.3	5.67	-0.1
300503.SZ	昊志机电	5.01	-19.0	0.19	-85.2	1.23	-8.4
300508.SZ	维宏股份	2.12	-2.3	0.33	-35.6	5.02	-2.6
300580.SZ	贝斯特	4.90	-5.1	0.91	-25.5	4.03	-1.7
300809.SZ	华辰装备	1.56	-37.9	0.33	-56.3	1.90	-2.6
300990.SZ	同飞股份	4.01	3.4	0.54	-28.1	3.08	-4.7
301200.SZ	大族数控	17.25	-9.4	4.01	38.1	7.72	-6.2
600172.SH	黄河旋风	12.75	-3.5	0.62	161.1	2.12	1.4
601882.SH	海天精工	15.15	19.5	2.89	61.5	14.93	3.9
603011.SH	合锻智能	7.34	63.5	0.74	181.7	3.15	1.9
688028.SH	沃尔德	1.59	5.6	0.26	-30.3	2.43	-1.1
688305.SH	科德数控	1.41	34.0	0.31	30.6	3.32	-0.6
688308.SH	欧科亿	5.26	6.1	1.30	7.2	7.46	-0.2
688558.SH	国盛智科	5.68	2.4	1.13	1.0	6.75	-1.0
688559.SH	海目星	11.95	116.3	0.93	152.0	5.81	3.5
688577.SH	浙海德曼	2.83	4.5	0.36	-18.3	3.98	-1.0
688697.SH	纽威数控	8.45	5.8	1.32	71.2	8.96	-4.0

(数据来源：各上市公司2022年半年度报告)

四、2022年上半年上市公司总体运行情况评价

2022年上半年，重点监测的行业上市公司营业收入、利润总额和利润率等主要指标同比都保持增长，运行情况明显好于机床工具行业整体水平。增长的动力主要来源于新能源汽车和动力锂电池等领域的高速发展，以及光伏和半导体等领域的需求增长。

2022年上半年，重点监测的行业上市公司中，营业收入同比增长的企业占比68.4%，利润总额同比增长的企业占比56.1%，利润率同比增长的企业占比43.9%，毛利率同比增长的企业占比36.8%，加权平均净资产收益率同比增长的企业占比35.1%。下游投资需求因疫情和经济形势的不确定性而受到抑制，能源、原材料价格在国际大宗商品价格上涨的带动下普遍上涨，需求不足和成本上升的双重挤压，也明显加剧了行业上市公司的运行压力。

综合各方面情况判断，全年机床工具行业运行压力仍然较大。但随着各级政府稳增长和保市场主体各项政策措施的落实，行业总体上呈企稳回升趋势明显。作为行业企业中的优质群体，重点监测的行业上市公司定将抓住机遇，克服压力，降本增效，带动整个行业稳健前行。□



增材制造发展动态及技术应用

近年来，随着增材制造（3D打印）技术的不断发展和成熟，其应用领域越来越广泛，特别是金属3D打印技术及在航空航天等领域的应用受到业界越来越多的关注，其市场需求也不断扩大。据中国增材制造产业联盟估算，2021年我国增材制造企业营收约为265亿元，近4年平均增长率达30%，较全球年均复合增长率20.4%高出10个百分点。在10月发布的2022年度“机械工业科学技术奖”中，有多个增材制造项目获奖，其中“低成本高性能钛金属粉末近终成形制造关键技术”和“材料-结构-性能一体化激光选区熔化技术及应用”获得技术发明二等奖。

为使业界更多地了解增材制造技术及应用发展情况，本期特别策划“增材制造发展动态及技术应用”专题，收录几篇相关文章，供业界参考。

“2022年第二季度全球增材制造设备出货量呈现分化趋势”一文，介绍了2022年第二季度全球增材制造领域运行情况，值得注意的是，以铂力特为代表的中国企业产品研发及应用取得良好进展。

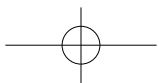
“探索LPBF成为批量生产的增材制造技术，洞悉光束整形的应用技术逻辑”一文来自3D科学谷，介绍LPBF增材制造工艺的技术特点、研发进展情况及其批量应用的动态和前景。

“增材制造为制造业提供更多创新潜能”一文，以波音公司以增材制造技术制作飞机部件为例，介绍增材制造与传统工艺对比，在效率、成本、实现设计创意等诸多方面的优势，相关技术在航天领域同样适用。

“航空航天制造业常见的增材制造合金材料及工艺特性”一文，集中介绍在航空航天领域，目前较多采用且相对成熟的增材制造工艺，常用的合金材料种类及其工艺特性。

“基于3D打印的泵壳快速铸造方法”一文，介绍了砂型3D打印技术在小批量铸件开发中的应用，表明该工艺在降低成本的同时，可实现较好的精度和稳定性。

专题策划：张芳丽



2022年第二季度全球增材制造设备出货量 呈现分化趋势

3D科学谷

2022年第二季度，就在全球增材制造（工业3D打印）设备行业似乎已从疫情中完全恢复并开始加速之际，与区域性疫情爆发直接相关的中国国内出货量急剧减少，导致2022年第二季度工业3D打印机系统的全球出货量下降。据3D科学谷全球战略合作伙伴CONTEXT称，西方其他挥之不去的问题——包括供应链中断问题和全球通货膨胀——也对世界各地3D打印机系统供应商提出了挑战。

受新冠疫情影响，以上海为中心辐射区域的塑料3D打印系统出货量下降，导致全球工业类别3D打印设备总数下降；金属3D打印机的出货量继续增长，部分原因是航空航天需求激增。

需求，远铸智能全新INTAM™系列高性能3D打印材料，助力多样化工业应用。另外一家企业，升华三维积极精进其流程链方面的全方位实力，发展成为具备金属/陶瓷材料开发制备、金属/陶瓷3D打印机研发生产、切片软件开发到3D打印工艺、脱脂及烧结工艺一整套金属/陶瓷间接3D打印工艺链及解决方案的3D打印企业。

总体来说，在限制出行的情况下，中国不少3D打印企业在发展受到极大挑战的情况下，并没有放弃，而是集思广益去寻找发展机会。

一系列的措施对销量的影响是明显的。至关重要的工业级3D打印系统出货量同比下降3%，主要是因为塑料3D打印系统的出货量下降13%。中国境内销售额下降29%与上海上半年的疫情形势直接相关。

全球最大市场北美的出货量也出现下降——尽管这种变化更多的与通胀压力有关。虽然塑料3D打印设备出货量的减少拖累了整个行业，但金属3D打印的出货量依然强劲，本季度工业级金属3D打印设备的出货量增长了12%。

尽管出货量减少，但工业3D打印设备收入同比增长了13%，这主要源自通货膨胀导致的价格上涨，以及对更大尺寸、更快吞吐量、价格更高的金属3D打印系统的需求增加（后者通常与3D打印系统中的激光器数量相关）。这些因素的结合导致加权平均价格上涨了17%，由此使许多设备供应商在2022年第二季度实现了强劲的收入增长。

Chart 1: Global Industrial 3D printer system shipments (Units) by material and process

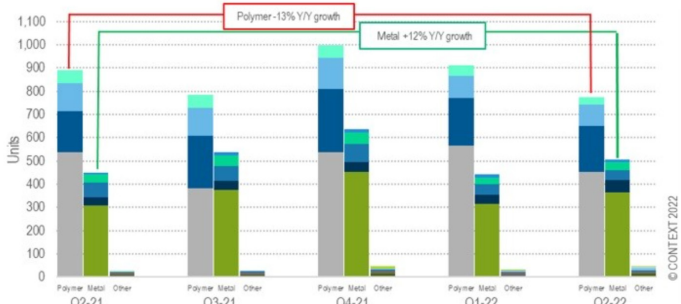


图 全球2022年第二季度工业级3D打印出货量

1. 探求可控的发展空间

据观察，来自中国的3D打印企业在严格的疫情控制管理下展现了极大的韧性与毅力。这其中，面向生产级别的

2. 金属粉末床熔融3D打印系统

工业类3D打印设备中最大的增长来自金属PBF



(Powder Bed Fusion, 粉末床熔融) 3D打印机的销售, 总收入同比增长了32%。EOS再次成为全球市场增幅最大者, 此外, SLM Solutions和Velo3D等公司的增幅也十分可观(分别为66%和175%)。

惠普在芝加哥IMTS2022国际机械制造技术展览会上推出的Metal Jet系统, 令金属粘结剂喷射技术成为人们关注的焦点。尽管如此, 金属3D打印领域目前仍以PBF为主(此类设备占同期销售的所有金属3D打印系统的72%)。

工业金属PBF打印机出货量增长了19%, EOS、TRUMPF(通快)和SLM Solutions都经历了巨大的单位出货量增长。在前10名供应商中, 有8家在2022年第二季度的3D打印机出货量超过了2021年第二季度。随着全球商业太空领域的快速发展, 航空航天产业仍是金属PBF供应商的主要市场。

西安铂力特增材技术股份有限公司在2022年第二季度重磅发布了激光大幅面金属3D打印设备BLT-S1000。同时, 铂力特在科研、机车、医疗、航天、汽车领域获得了更多用户的信赖。

在科研领域, 铂力特助力天津大学电弧增材技术的新研究, 为工程应用提供新的方向。2022年第二季度, 铂力特如期完成中车研究院高强铝合金验收及试验件测试任务。在医疗领域, 铂力特携手威高骨科加速推进“金属3D打印技术+医疗”科研步伐。在航空航天领域的最新进展包括, 铂力特助力西工大“飞天一号”火箭成功发射, 助力九州云箭可回收液氧甲烷发动机增材制造, 助力“启明星50”大型太阳能无人机重要零件研发。在汽车领域, 铂力特提供技术支持和完成了3D打印汽车轮辐, 组装成轮毂

后通过了中国标准的性能测试实验。

此外, 铂力特在3D打印镍钛合金血管支架技术方面的探索取得进展。他们依据镍钛血管支架(展品)应用特点开发出形状记忆合金工艺, 可实现0.1-0.2mm的精细结构成形, 材料具有超弹性, 经变形训练后具有良好的形状记忆效应。

Mimaki和DMG MORI(德马吉森精机)已经在增材制造市场迅速崛起, 他们在日本的市场份额正在增长。此外, 尼康凭借其在光学领域的造诣收购SLM Solutions, 并将对后者的金属3D打印过程实时监测、质量控制带来新的提升。电子领域知名制造商JEOL最近也推出了金属PBF 3D打印机。日本家喻户晓的品牌(例如佳能、爱普生和理光等)也表现出了越来越强烈的增材制造发展实力。

3. 其他类别3D打印机发展趋势

设计级3D打印系统的出货量增长良好(同比增长15%), 这主要归功于Stratasys对塑料3D打印技术的扩展。该领域的另一个发展趋势是跨国研发合作, 来自中国的“联泰科技与赢创联合研发实验室”由赢创与中国3D打印设备企业联泰科技共同设立, 聚焦高性能光敏树脂配方, 开发适用于3D打印规模级应用的解决方案。

专业级3D打印系统的出货量在2022年第二季度下降了9%, 并且最近相对持平, 在过去四个季度的基础上下降了5%。许多专业级的支持者已开始扩展到设计类。个人级及DIY级的出货量在本季度有所增长, 但在过去四个季度的基础上, 个人级3D打印机的出货量下降了6%, DIY级出货量下降了1%。□

资讯

日本机床工业最新运行情况分析

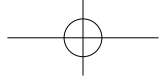
11月1日, 日本机床工业协会公布了机床工具业最新运行情况, 9月份机床订单总额为1508.5亿日元, 环比增长8.3%, 这一数字比去年同期增长了4.3%, 而且是连续第23个月同比增长, 订单连续20个月超过1000亿日元。

9月, 日本国内外的机床订单均处于较高水平, 我们也会密切关注世界经济的前景和货币政策的趋势。

9月, 日本国内机床订单较8月份增长1.2%, 达到524.2亿日元, 这一数字较上年同期下降了8.9%, 是19个月来的首次同比下降。主要行业方面, 工业机械行业的订

单增长了2.8%, 机动车辆下降了10.8%, 电气和精密机械下降10.9%, 航空、船舶和运输设备的增长24.1%。

9月, 日本国外机床订单较8月份增长12.4%, 达到984.3亿日元, 这一数字较上年同期增长13.1%, 第23个月连续增长。从地区来看, 来自亚洲市场的订单环比增长8.6%, 达到475亿日元, 同比增长25.3%; 来自欧洲地区的订单环比增长19.9%, 达到189.6亿日元, 同比增长6.5%; 来自北美地区的订单环比增长18.4%, 达到301.4亿日元, 同比增长11.6%。(梅峰编译)



探索LPBF成为批量生产的增材制造技术 洞悉光束整形的应用技术逻辑

3D科学谷

【前言】通过将可编程光纤激光器与偏转单元的变焦光学相结合，光斑直径可以在此过程中无限调整，从而以高度动态的方式加倍，凭借其高动态偏转镜，偏转单元还可以非常快速地驱动尖角、监控质量，在工艺领域的每个点都确保了恒定的光斑尺寸和功率密度，从而大幅提高3D打印（增材制造）质量和产量，解决3D打印进入诸如汽车等应用领域产业化所面对的多个挑战。

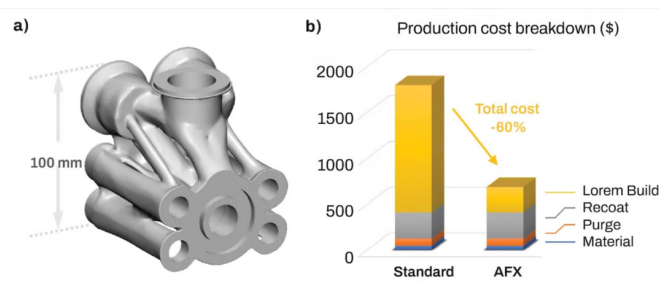


图1 典型的增材制造歧管部件，由铝制成，重量为558g。由于体积大，适用于AFX激光器，打印速度平均可提高5倍(a)，总成本降低了60% (b)。

1. 以大幅降低生产成本为目标

3D打印（增材制造）涉及多种技术，所使用的材料与所生产的产品一样具有多样化。激光因其出色的转向性和高功率而成为一种增材制造工具，为实现大批量制造所需的生产力提供了可能性。

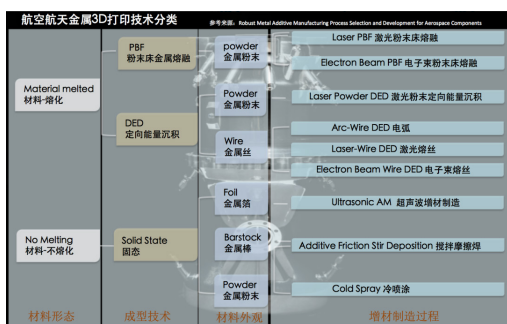


图2 多种金属增材制造技术

激光粉末床熔融（Laser Powder Bed Fusion, LPBF，激光粉末床熔融）3D打印由亚琛工业大学 Fraunhofer ILT（弗劳恩霍夫激光研究所）发明，目前已发展成熟，成为金属增材制造的领先工艺。最初，LPBF仅用于原型设计和开发目的。今天，工业LPBF设备可以进行产业化生产，甚至可以加工铜等具有挑战性的材料，可用于多个商业领域，包括医疗、航空航天、汽车和机械等。

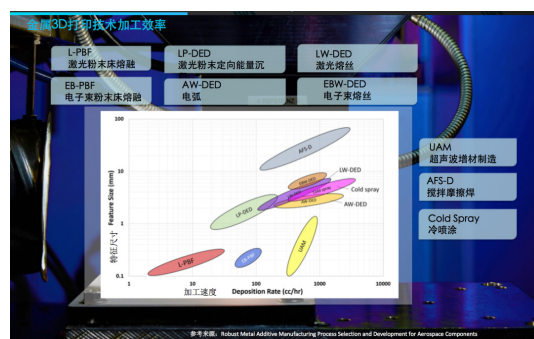


图3 当前不同类型的金属增材制造技术的加工效率对比

虽然增材制造的设计自由度对工业制造来说很有吸引力，但目前通过LPBF制造零件的成本仍被认为太高。通常认为需要在生产成本上减少一个数量级，才有助于在传统流程链上得到广泛采用。

根据亚琛弗劳恩霍夫激光研究所主导的futureAM（面向未来的下一代增材制造项目），当前的增材制造技

术已经走过了四个阶段，即：从公众还不清楚3D打印技术能带来什么的第一阶段；到3D打印技术被应用于工业制造的第二阶段；再到3D打印在某些应用领域发挥越来越重要作用的第三阶段；以及到了第四阶段，3D打印技术在某些应用层面上因技术本身的发展潜力出现天花板，难以在目前的技术基础上再深度探索新的市场潜力。

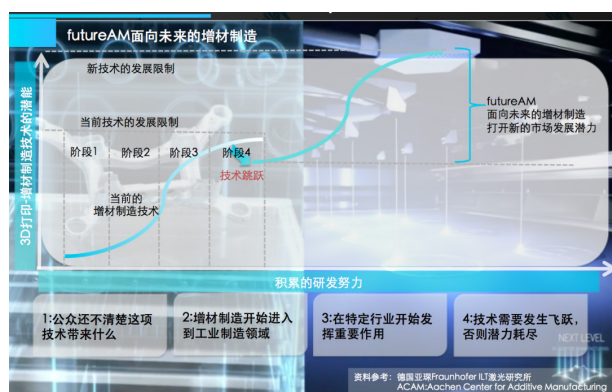


图4 增材制造技术飞跃打开新的应用空间

在增材制造发展的道路上激光源起着关键作用。通常，激光的输出功率可以用高频进行时间调整，而其空间强度分布是固定的。为了提高生产率，必须即时调整光束轮廓以匹配所需的结构尺寸。

为了创建非常精细的结构（例如晶格或薄壁），LPBF激光粉末床熔融3D打印设备使用具有高斯强度分布的衍射限制单模激光器。在生产大块截面时，这种光束形状会产生严格的速度限制。

由于光束直径小，光束必须经过较窄的阴影才能到达密集的部分，从而导致区域扫描速度较低。线扫描速度与激光功率密切相关，激光功率通常限制在几百瓦，因为高斯峰值强度会导致锁孔，产生过多的飞溅和烟灰，从而导致构建过程不稳定。

散焦和放大光束都不能解决这些问题，因为保留了高斯光束轮廓。理想情况下，光束轮廓的形状和直径是可以调整的，而不会增加精致的自由空间光学设置的复杂性。

初步分析表明，环形和鞍形光束（即中心具有一定强度的环形光束）最适合在熔融粉末内产生均匀的横向温度分布。因此，理想的LPBF激光源将提供单模光束以产生精细特征，并提供一系列具有环形和鞍形的较大光束以产生更大的特征。

2. 全光纤光束整形

nLIGHT（恩耐）公司开发的Corona光纤激光器系列具有独特光束整形技术，能够满足上述要求，其中包括称为AFX的LPBF优化版本，最大输出功率为1.2 kW。

AFX馈电光纤有一个单模纤芯（14 μm 模场直径），周围环绕着一个环形纤芯（40 μm 直径）；输出光束在单模和环形纤芯之间的分配可以快速且可重复地改变，这使得光束轮廓可以在真正的单模（高斯）和40 μm 环之间进行调整，其间具有各种形状。相应的光束直径（二阶矩， $D4\sigma$ ）范围为15–45 μm ，导致光束区域的动态范围约为10倍。所有AFX光束形状都可以通过激光通信接口进行电子控制，就像激光功率或调制速率一样容易，切换时间小于25ms。

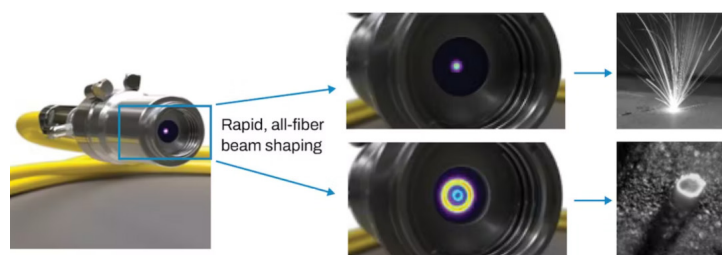


图5 AFX激光器采用全光纤光束整形，可以快速切换输出光束的大小和形状。光束轮廓可以在真正的单模和环形之间进行调整，获得介于两者之间的各种形状。当与工件相互作用时，环形和鞍形光束产生的烟灰和飞溅显著减少。

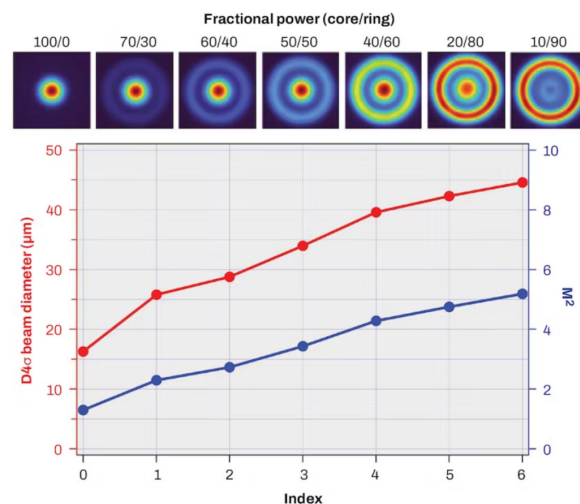


图6 AFX指数设置，其中顶部图像显示了中央单模核心和环形核心之间指定的功率分配的近场空间分布。

通过光束整形，熔化轨道的几何形状发生了变化，温度调节也发生了变化。在最初的显微镜检查结果中，显示了不同的晶粒尺寸和不同的晶粒纹理。晶粒尺寸和织构对于所打印的零部件至关重要，例如影响到了零件的极限抗拉强度或极限应变。

通过选择特定的工艺参数和光束轮廓来战略性地控制晶粒生长，可以微调由此产生的组件属性。例如，可以使组件的特定部分特别坚硬或柔韧，而无需任何额外的后处理，使用复杂的曝光策略也可以在单个组件内改变属性。

由此克服了此前基于粉末床的选区激光熔化金属3D打印（LPBF）应用的关键工艺限制：例如熔池中缺乏均匀性和生产速度降低，使用单模激光器的传统AM工艺，可能会出现一系列缺陷（例如由于过热而形成小孔、熔道深度不足、凝固熔体周围的粉末剥落区）。这些问题通过nLIGHT可编程AFX-1000光纤激光器和RAYLASE带变焦轴的AM MODULE NEXT GEN偏转单元的产品组合将得以有效解决。

加速寿命测试表明，超过2000万光束变化时性能没有变化。在到达标准QBH兼容输出连接器之前，光束永远不会离开光纤列，从而消除了污染或错位。

3. 提高 LPBF 速度和稳定性

德国弗劳恩霍夫IAPT及几家设备厂商已经证明并量化了AFX全光纤光束整形在 LPBF提高生产力和零件质量方面的优势。具体来说，AFX显著提高了LPBF构建速率，同时保持了出色的材料质量。

与标准单模光束相比，AFX优化的光束轮廓显著降低

了熔池不稳定性，减少了对材料质量和产量产生负面影响的烟灰和飞溅物的产生。反过来，这种优势使激光功率、扫描速度和LPBF构建速率能够显著提高。

Aconity3D公司验证表明，AFX可以将钛合金的构建速率提高7.8倍，从标准单模光纤激光器的5.4 cm³/hr到AFX的42.1 cm³/hr。这一增加源于熔化体积增加了4倍，扫描速率增加了近2倍，同时保持了出色的材料质量（>99.8% 密度）。

慕尼黑工业大学（TUM）的研究表明，AFX可以同时提高不锈钢316L的LPBF的构建速率（约2倍）和工艺窗口。AFX 能够使用更高的激光功率和更快的扫描速度以及更大的工艺窗口（即在一定功率范围内具有良好的零件质量）。

具体来说，试图增加单模高斯光束的功率会导致不希望的成球或键孔效应，这限制了LPBF的生产率。相比之下，指数设置为4-6的AFX功率可以在没有此类工艺不稳定性的情况下增加，从而实现更高的构建速率。

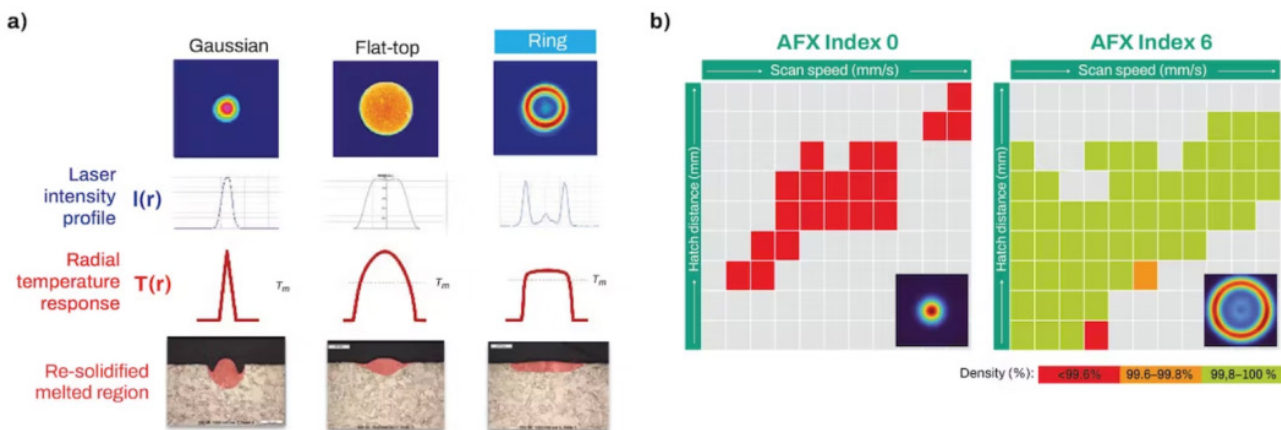


图7 熔池中的温度分布和重新凝固材料的形状很大程度上取决于激光强度分布。高斯光束和平顶光束都导致中心内过热，导致轨道横截面欠佳。相比之下，环形轮廓会产生平坦的温度分布，从而产生宽而平坦的轨道横截面 (a)。AFX环形光束结合了高扫描速度和较大的舱口间距，与高斯光束相比具有更高的生产率。工艺窗口明显更大，且不降低零件密度。

德国亚琛弗劳恩霍夫激光研究所激光粉末床熔融研究小组证明AFX提高了镍基合金625.4的构建速度、工艺窗口和材料质量。使用AFX提高的构建速度可令打印部件的总体成本大幅降低。

4. 材料特性的局部控制

除了生产力和成本优势之外，AFX 还通过控制局部微

观结构和材料特性为LPBF 制造开辟了一个新维度。

增材制造可以创建定制的双金属和多金属材料，可以在设计中离散地添加材料以优化热或结构特性，可以制造结构护套、法兰、凸台或其他特征的产品，以优化整个子系统的重量。这些可以包括离散金属过渡或功能梯度材料（FGM）。无疑，AFX让合金的制造更加自由。



图8 金属增材制造材料

AFX独特的模式配置文件可控制熔池内的热梯度和凝固动力学，这决定了材料的微观结构，提供了全新的设计可能性。由于AFX光束形状可以即时更改，因此可以局部设计微观结构，从而在整个零件中赋予新的功能和优化的特性：

经过对Inconel 718的LPBF的AFX环形模式轮廓与具有相似有效直径的散焦高斯（单模）光束进行比较，发现AFX环形光束可以提高屈服强度和屈服伸长率。这些关键材料属性通常是反相关的，需要进行权衡，但AFX已将它们解耦。这种能力有望提供新组件功能和性能，特别是单个零件内的可变材料特性。

慕尼黑工业大学（TUM）研究发现，AFX可以控制不锈钢316L的微观结构和材料性能。不同的AFX光束形状可以优化熔体轨迹的几何形状和温度分布，从而控制晶粒生长

方向和织构，进而决定材料特性。通过对晶粒生长的这种战略控制，可以微调由此产生的组件特性。例如，可以使组件的某些部分特别坚硬或柔韧，而无需任何额外的后处理。使用复杂的曝光策略，也可以在单个组件内改变属性。

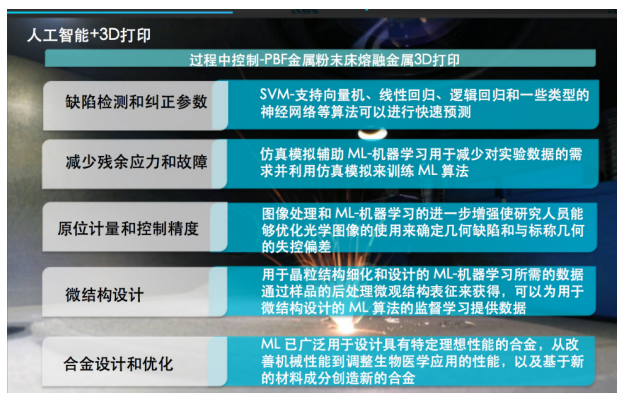


图9 增材制造技术用于合金设计与优化

AFX光纤激光器可显著提高多种金属和合金的LPBF生产率，从根本上改变LPBF制造零件的经济性。关键促成因素是针对 LPBF 优化的光束形状，包括真正的单模（14 mm高斯）、紧凑型环（40mm直径）以及介于两者之间的多种形状。光束轮廓可直接从馈电光纤快速调谐，无需自由空间光学器件或其他降低性能、影响稳定性（可靠性）的组件。AFX光纤激光器的功率达1.2kW，且可扩展到更高的功率和其他光束形状。□

资讯

济南二机床成功参展EuroBLECH 2022 宣布成立海外新公司

近日，第26届国际金属板材加工技术展览会（EuroBLECH 2022）在德国汉诺威展览中心落下帷幕。展会期间，张世顺董事长隆重宣布成立济南二机床欧洲有限公司和济南二机床墨西哥有限公司。

EuroBLECH 2022展会的主题是“通往智慧未来的大门”。济南二机床此次参展，定位于全球可信赖的冲压合作伙伴，全方位展示了近年来济二在冲压线、多工位、级进模、自动化系统以及智能制造等领域的最新技术成果及业绩。

展会期间，济二展台宾朋满座，国际知名车企及配套商客户、供应商、业界同行及媒体朋友纷纷到济二展台参观交流。济二的智能冲压制造系统和整体制造实力获得了参会同行与用户的点赞。展会首次采用视频直播看展会的新形式，向企业技术人员直播展会实况。张世顺董事长在展会期间与多位行业CEO进行了交流，并率队拜访了大

众、戴姆勒、沃尔沃等客户。赵晋荣副书记与参展的国际供应商就技术发展和供应链系统进行了深入交流，并率队考察了多家供应商。

德国当地时间10月26日，在40多位国际客户、合作伙伴和行业媒体的见证下，张世顺董事长在展会上正式宣布成立济南二机床欧洲有限公司和济南二机床墨西哥有限公司，向全球用户表达了进一步加强国际化战略、服务全球客户的坚强决心，以及企业作为“可信赖的全球冲压设备合作伙伴”的服务理念。

伴随着新公司的成立，济南二机床将拥有北美、欧洲、墨西哥三大子公司，结合海外六大服务中心，企业的国际营销网点建设、售后服务体系日臻完善。未来，济二将加快推进国际化经营战略的实施，持续以先进的产品技术、强大的研发制造实力，为全球客户提供更加优质高效的解决方案和服务。

增材制造为制造业提供更多创新潜能

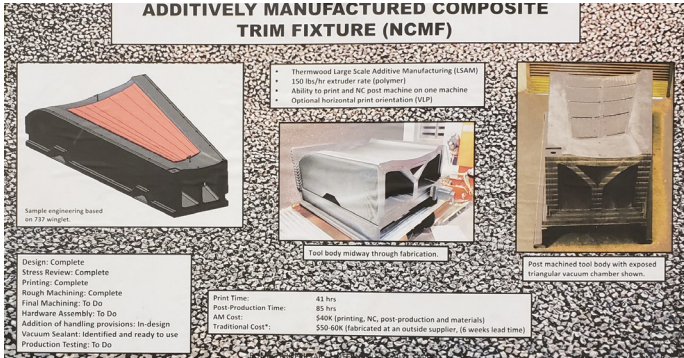
中国机床工具工业协会市场部 李 雷

在9月举办的美国芝加哥IMTS2022国际机床展览会上，增材制造再次成为制造技术的最大亮点，主办方不仅在未来制造中心（ETC）展示了增材制造在太空领域的应用，还将由德国美沙法兰克福展览公司主办的增材制造行业博览会（Formnext）引入展会，成为IMTS的展中展——AM4U。

增材制造在越来越多的领域帮助人类实现创意，尤其在航空航天领域的应用已经非常普遍。对于航空航天领域的一些零件，通过增材制造，能够减少加工时间、降低制造成本、减少组件中零件使用数量，具有很大的成本和效率优势。

波音公司将增材制造技术纳入其制造环节30年之后，于2020年初在美国华盛顿州成立了波音增材制造工厂——BAM，凸显波音公司高度重视增材制造在未来航空航天领域将发挥关键作用。BAM工厂目前正在制造和测试的零部件包括777飞机舱门、Starliner宇宙飞船零部件以及737飞机翼端帆等，材料不仅有金属，还使用了聚合物。

波音通过外协厂制造737飞机翼端帆的交货期是6周，制造成本为5-6万美元；现在在BAM工厂通过增材制造需41小时，外加85小时后处理时间，制造成本约为4万美元。按照每周5天，每天8小时工作计算，传统制造需240小时，增材制造所需时间仅是传统制造的一半，制造成本能够降低25%-50%。

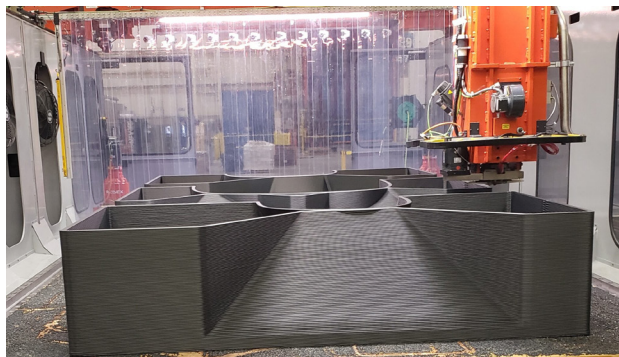


BAM加工飞机翼端帆时，AM和传统机加的对比

增材制造带来的价值不仅仅是制造成本和效率上的优势，从整体上看，能够减少数万个紧固件和零件，缩短了工艺流程，同时，也无需考虑与之相关的管理费用，这将能节省一笔巨大的开支。波音公司认为，研发下一代飞机离不开先进制造技术，能够使未来的飞机零部件重量更轻、零部件数量更少、生产时间更短，更具成本优势。

增材制造在航天零件加工领域也具有很大优势。BAM为Starliner飞船太空舱制造的一个导向管，之前采用金属材料，增材制造使用聚合物材料，制造周期缩短了若干周。更重要的是，重量大幅降低，这是太空飞行最关注的参数。

最近美国发布了关于发展城市无人空中交通概念图，也就是通过纯电动无人驾驶垂直起落飞机实现未来城市的立体交通网络，让人们享受安全、环保、便捷的空中TAXI。空中无人机的制造商WISK是波音公司投资4.5亿美元的一家合资企业，目前BAM工厂也在为WISK无人机制造长达3.6米的客舱部件。



WISK空中TAXI客舱部件

在科技日新月异的年代，制造方式得以实现多样化发展。BAM的尝试只是当今制造业革新的一个缩影，其所有增材制造零件的设计、所用材料、制造过程等都需经过大量测试和验证，并需得到监管机构的认证。或许到实际大范围应用尚需时日，但却能启发整个制造业进行深刻思考——增材制造能为制造业带来哪些创新潜能？□

航空航天制造业常见的增材制造合金材料及工艺特性

3D科学谷

【摘要】在传统制造中，有数千种合金材料可供选择。相比之下，AM（增材制造）目前可选择的合金范围则十分有限。此外，航空航天零部件要满足在恶劣环境（高压、腐蚀性流体，或 -252°C 低温再到通常超过 1000°C 的高温）下工作的性能要求，且必须经常运行在高负载状态下，这对最终用途的合金选择提出了苛刻的要求。

本文将与读者分享航空航天制造业常见的3D打印合金材料及增材制造工艺特性。

AM（增材制造）为高复杂性航空航天组件大批量生产提供了可能，这在传统制造技术无法实现。虽然在主要的航空航天公司和许多初创企业中存在许多工艺示例，但LPBF（Laser Powder Bed Fusion，激光粉末床熔融）金属3D打印是目前最主要的工艺，其次是DED（Direct Energy Deposition，定向能量沉积）金属3D打印技术，包括LW-DED（激光线材沉积DED）和LP-DED（激光粉末沉积DED）。

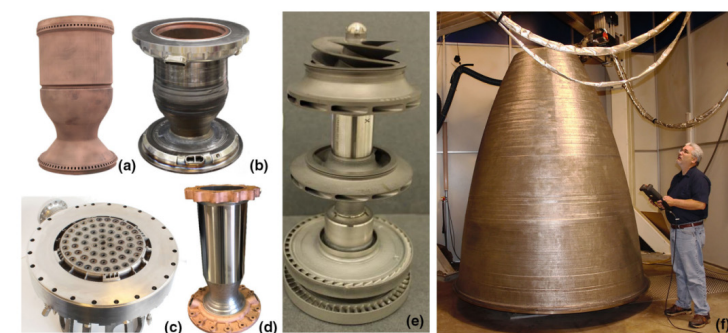


图1 NASA液体火箭发动机中使用的AM增材制造组件示例

(a) LPBF工艺制造的带有内部通道的GRCop-42铜合金燃烧室；(b) EBW-DED（电子束直接能量沉积）工艺沉积燃烧室外壁（燃烧室为GRCop-84铜合金材料）的护套；(c) Inconel 625 LPBF喷射器；(d)冷喷涂 NASA HR-1护套到带有内部通道的GRCop-42 LPBF腔室；(e) LPBF制造的燃油泵旋转组件；(f) 使用LP-DED加工JBK-75材料全尺寸RS-25喷嘴衬里。

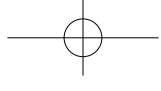
一、航空航天部件常用的AM工艺及合金材料

航空增材制造需求的金属材料选择已扩大到包括铝合金、不锈钢、钛合金、镍基和铁基高温合金、铜合金和耐火合金的范围。



图2 航空航天领域的3D打印金属材料

其中一些合金材料的应用可以追溯到传统的加工方法，它们仍继续用于航空航天部件的制造中。新的和现有的合金材料都在不断地开发和发展中，因而本文列举的合金材料无法全部覆盖。此外，目前应用的许多合金材料尚处于开发阶段，可能不完全符合使用特定增材制造工艺的



航空航天应用的要求。目前研究最多的几种航空航天部件增材制造工艺主要是LPBF、LP-DED和AW-DED。

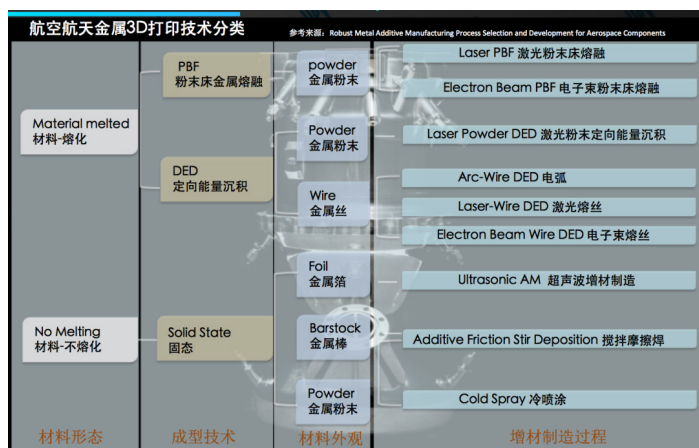


图3 航空航天领域的金属3D打印技术分类

根据所使用的增材制造工艺，原料涉及到预合金粉末（通常通过气体雾化生产）、线材、片材或实心棒材等。虽然与锻造合金相比，可用合金的数量有限，但仍有许多常用和知名的高温、主流的航空航天合金可供使用，而需要注意的是它们的成熟度各不相同。

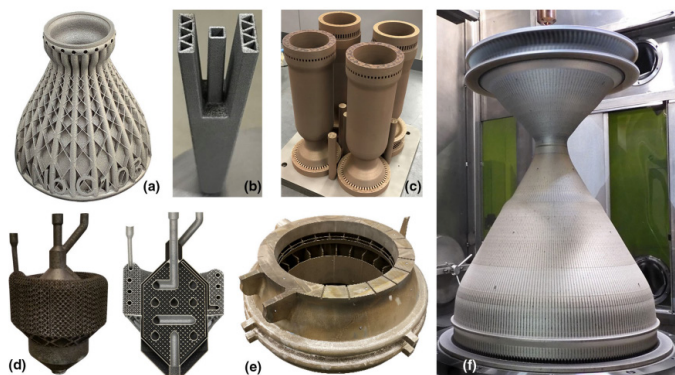


图4 用不同金属和合金制造的复杂航空部件：

(a)使用LPBF加工的C-103的主动冷却推进器；(b)使用LPBF加工的钨主动冷却控制面；(c)使用LPBF加工的GRCop-84铜合金燃烧室；(d)使用LPBF技术优化的AISI10Mg 低温推进剂喷射器及其内部特征；(e)使用LPBF加工的600 mm直径Inconel 718集成热交换器；(f) LP-DED工艺制造的NASA HR-1的推进室。

二、不同材质及其工艺特性

1. 镍基高温合金

镍基高温合金在AM增材制造领域广泛流行，Inconel 625和Inconel 718用于许多应用。选择镍和铁基高温合金是因为它们在高温和高压下具有良好的机械性能，并且部件经常用于恶劣环境（耐腐蚀和抗氧化）。

A-286、JBK-75和NASA HR-1等铁基高温合金通常用于高压氢应用（例如火箭发动机），以降低与氢环境脆

化（HEE）相关的风险。此外，这些超合金具有高抗蠕变性。这些特性的结合有助于显著提高现代飞机发动机的效率。

高温合金是制造高压燃气涡轮发动机中燃烧室、涡轮机、外壳、圆盘和叶片等许多部件的关键金属。

其他高温和低温应用包括，用于液体火箭发动机的阀门、涡轮机械、喷射器、点火器和歧管。目前，从重量来看，超过50%的先进飞机发动机由镍基高温合金构成。

2. 钛合金

强度重量比是选择航空航天部件材料的另一个关键指标，这也是钛合金大派用场的原因。钛合金被高度集成在航空航天应用中——提供出色的耐腐蚀性和中温用途——并且一直是增材制造中备受关注的主题。

具体来说，Ti-6Al-4V是起落架、轴承架、旋转机械、压缩机盘和叶片、低温推进剂罐和许多其他航空航天部件的常用合金。Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo（Ti6242）用于压缩机叶片和旋转机械，而铝化钛（ γ -TiAl）被较多用于涡轮叶片。

3. 铝合金

铝合金因其具有良好的强度重量比，也是一种常见而成熟的航空航天材料。增材制造零件生产中使用的铝合金包括基于合金元素的1xxx、2xxx、4xxx、6xxx、7xxx系列，其中许多是使用固态增材制造工艺制造的，可用于AFS-D和UAM工艺来加工。

铝合金		铝合金牌号	
6000系列		纯铝	
6000系列铝合金代表6061，主要含有镁和硅两种元素，故集中了4000系列和5000系列的优点6061是一种热处理强化产品，适用于对抗腐蚀性、氧化性要求高的应用，可使用性好，容易涂漆，加工性好。		1xxx系列：纯铝（铝含量不小于99.00%）	
7000系列		2xxx系列：以铜为主要合金元素的铝合金	
7000系列铝合金代表7075，也属于铝铜合金，是铝镁铜合金，是可热处理合金，属于超硬铝合金，有良好的耐磨性。		3xxx系列：以锰为主要合金元素的铝合金	
		4xxx系列：以硅为主要合金元素的铝合金	
		5xxx系列：以镁为主要合金元素的铝合金	
		6xxx系列：以镁为主要合金元素并以Mg2Si相为强化相的铝合金	
		7xxx系列：以锌为主要合金元素的铝合金	
		8xxx系列：以其他元素为主要合金元素的铝合金	
		9xxx系列：备用合金组	

铝合金已经发展到可通过LPBF和DED熔化工艺进行部件加工以减少开裂，可打印的种类包括AlSi10Mg、F357、A205、7A77、6061-RAM2、Scalmalloy等。然而，铝合金也存在许多缺点，因其高温性能较差，存在焊接修复方面的问题，而且高强度铝合金的抗应力腐蚀开裂能力较差也是种挑战。

4. 不锈钢

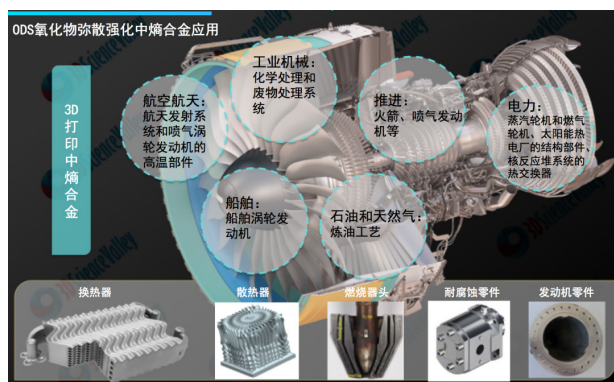
与钛或超合金相比，不锈钢具有良好的强度重量比、

耐高温能力以及较低的成本，因此广泛用于飞机和航天器部件。不锈钢在适当的环境下表现出高耐腐蚀性、抗氧化性和耐磨性。



不锈钢用于发动机和排气系统、液压部件、热交换器、起落架系统和结构接头的制造。钢也被用于航空部件，例如铰链、紧固件、起落架和飞机上的其他部件。各种不锈钢和特种钢通常与AM一起使用，包括奥氏体（即316L）和沉淀硬化（PH）。然而，尽管有这些优点，但钢的密度相对较高，因此其用途仅限于减少系统质量。由于某些合金容易开裂，钢在增材制造中应用有限。

值得一提的是，NASA格伦研究中心的创新者为增材制造技术量身定制开发了一种新的氧化物弥散强化中熵合金（ODS-MEA）。这种ODS合金（Oxide Dispersion-strengthened Alloy，氧化物弥散强化合金）的纳米级陶瓷颗粒分布在金属中。



最初这种合金是为了提高极端温度下的机械性能（如抗蠕变性、拉伸强度、微观结构完整性）而开发的。这种合金在燃气轮机、火箭发动机、核反应堆和其他高温应用的金属部件中显示出应用前景。该合金可以制造成复杂的几何形状，并且可以抵抗应力开裂和树枝状偏析。NASA的工艺证明，可以制造在1100°C时蠕变断裂寿命提高10倍的组件，比目前使用的3D打印部件的强度提高了30%。

新的ODS-MEA合金可以应用于目前使用ODS合金的场合，比如涉及极端热环境的应用，包括发电、推进（火箭、喷气发动机等）、核能、燃气轮机部件（提高进气温度可提升效率），等等。

5. 钴基高温合金、铜合金

对于不需要高导热性的高温应用，可以使用钴基合金（包括CoCr和Stellite）。然而，当导热性成为优先事项时，铜合金会脱颖而出。它们的高导热性自然适用于热交换器。对于火箭应用，最高热通量出现在推力室组件内，因此该区域是承受高压的区域。反过来，在这些环境中使用的铜合金需要高强度和高导热性（同时满足与所选推进剂的材料兼容性需求）。

3 铜、铜合金增材制造工艺	
工艺	材料
粉末床工艺 选区激光熔化、电子束熔融	Cu1、Cu2、CuCrZr、CuNiSi、CuSn10等粉末
定向能量沉积 LENS 316L、420等	纯铜、CuNi、GRCop-84等铜、铜合金粉末
超声波增材制造 UAM	纯铜、紫铜片材（可与铝等金属焊接在一起）
材料挤出工艺 FFF、FDM	纯铜丝材
光固化工艺 数字光处理 DLP	纯铜粉与树脂混合浆料
粘结剂喷射工艺	纯铜粉末、316青铜、420青铜、钨青铜
对3D打印生坯进行脱脂和烧结* *粘结剂喷射纯铜3D打印零件或将需要热等静压才能满足致密度要求。	
左图图片来源（上下）1. 通快；2. Optomec；3. Fabriconic；4. Markforged；5. HOLO 6. Digital Metal。	

应用成熟且常见的AM增材制造铜合金包括GRCop-42、GRCop-84、C18150（Cu-Cr-Zr）、C18200（Cu-Cr）和GlidCop。

6. 其他

增材制造可以创建定制的双金属和多金属材料。可以在设计中离散地添加材料以优化热或结构特性。可以制造结构护套、法兰、凸台或其他特征的产品，以优化整个子系统的重量。这些可以包括离散金属过渡或功能梯度材料（FGM）。

可用于航空航天部件的其他金属合金包括难熔金属，如铌、钽、钼、铪和钨及其合金。铌基C-103在辐射冷却喷嘴、空间反应控制系统和高超音速机翼前缘等应用中很常见。其他铌基合金（WC3009、C129Y、Cb752、FS-85）用于飞行器热保护系统以及空间反应堆堆芯结构。

钽基合金（Ta10W、Ta111、Ta122）通常用于具有腐蚀性的高压和超高温环境。钼基耐火材料用于超高温应用，例如碱金属热管和核热推进燃料元件。□



基于3D打印的泵壳快速铸造方法

北京浩鹏科技有限公司技术中心 武志良
陆军装备部驻武汉地区军代局业务处 邓方刚

【摘要】传统的砂型铸造工艺在铸件生产时，首先需要制作模具，存在周期长、费用高等问题，不能完全满足新产品研发的周期要求。采用 3D 打印砂型或者砂芯，一方面减少对技术工人的依赖，增强了产品品质。另一方面速度快，缩短了交货期。最后，为产品设计的灵活性提供了保障，3D 打印能够及时应对设计变更，提升产品研究的验证效率。

1. 引言

本文主要介绍了三维铸造工艺设计、砂型 3D 打印技术、光学三维扫描技术在小批量铸件开发中的应用，结合泵壳的制造过程，比较了 3D 打印砂型和传统铸造工艺的特点，结果表明，采用砂型 3D 打印的数字化铸造技术，能够明显缩短交货期、降低产品研发成本，而且精度高，工艺性能稳定。

3DP 砂型 3D 打印的原理：将树脂砂铺在 3D 打印平台上，用刮板机刮平，层厚大约在 0.28-0.5mm。打印头根据三维模型的二维切片生成的路径喷射呋喃树脂胶，将树脂砂粘接在一起，然后如此往复，完成整个三维模型的打印。3DP 打印砂型的优点就是成本低，效率高，力学性能好。

通过比较3DP砂型打印快速铸造和传统铸造工艺流程不难看出，3D 打印砂型快速铸造实现了无模制造，节省了模具设计、制造、造型、制芯等工序，同时 3D 打印砂型精度高，质量稳定，节约生产制造周期。

2. 铸造工艺设计

在砂型和砂芯 3D 打印之前，需要在产品三维数模上进行工艺设计，包括预留加工余量、浇铸系统设计，必要时进行铸造仿真模拟，及时发现铸造缺陷。

(1) 添加加工余量

某水泵壳体，材质为HT200，考虑到铸件在凝固过程中有收缩，所以需要对产品数模进行一定比例的放大，灰铁的收缩率为1%。在 UG NX11 软件中，比例因子选择 1.01。见图1。

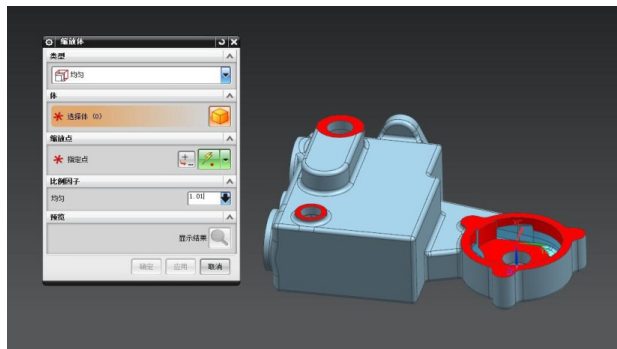


图 1

然后需要根据二维图纸，对安装面增加加工余量，目的是保证成品的尺寸公差。加工余量的大小对产品质量和生产效率有很大影响，加工余量过大，不仅增加机械加工的工作量，增加能源消耗，也降低了生产效率。而加工余量过小，机械加工无法加工掉铸造缺陷，也无法补偿加工过程中产生的装夹误差，从而产生废品。所以我们参考砂型铸造的精度，加工余量增加 5mm。见图 2。

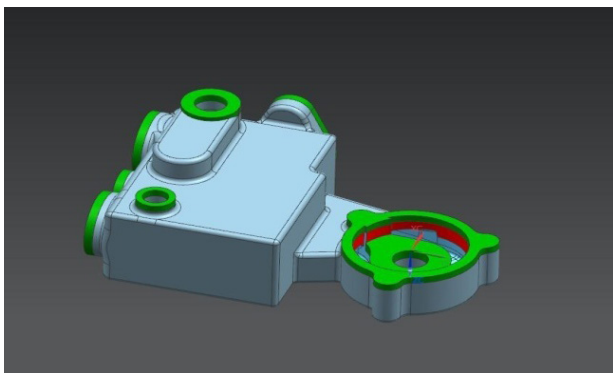


图 2

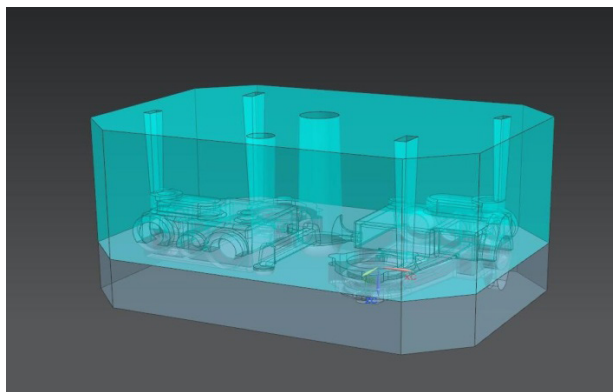


图 4

(2) 浇铸系统设计

浇铸系统是铸型中液态金属流入型腔通道的总称，浇铸系统的设计主要考虑金属液流动的速度和方向平稳、连续、均匀，不冲击砂芯和型壁，不产生飞溅和涡流，不卷入气体。浇铸系统要结构简单，不影响铸件的外观。对于案例中的壳体设计浇铸系统采用收缩式，也就是直浇道的横截面大于横浇道的横截面，也大于内浇道的横截面。见图 3。

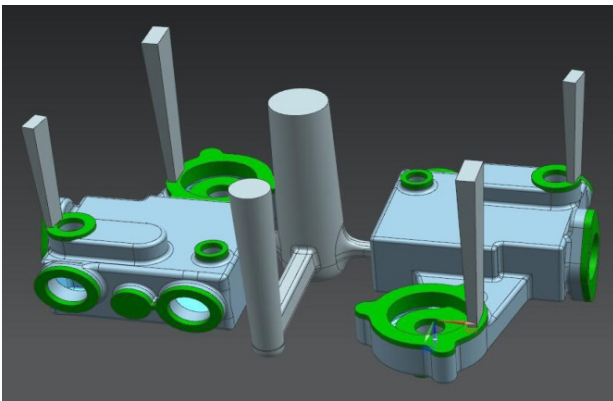


图 3

4. 合型、浇铸

砂型打印完成之后，清理表面的浮砂，然后合型，围箱浇铸。浇铸重量 10kg，浇铸温度为：1370–1380℃。浇铸完成后，冷却12小时，然后敲掉砂型和砂芯，做抛丸处理，并打磨掉浇铸口，检查铸件有无气孔、砂眼、夹渣、缩孔、缩松、裂纹等铸造缺陷。最后对配合面进行数控加工，确保尺寸公差在要求范围内。见图 5。



图 5

3. 砂型（芯）设计与 3D 打印

我们采用 UG NX 11 软件，对三维数模进行砂型和砂芯分模设计，需要考虑产品结构、3D 打印设备的打印范围等因素。对于本次壳体的砂芯和砂型设计，考虑到尺寸最大是 200mm。一次成型两件也在 3D 打印设备范围内，所以砂型和砂芯采用整体打印。分上下两部分合模，方便清理浇道内多余的砂子。

打印砂型的精度是 $\pm 0.5\text{mm}$ ，3D 打印砂型的材料是呋喃树脂自硬砂，砂子粒度为 70 目。3D 打印设备成型尺寸为 2000mm × 1000mm × 800mm，砂型的抗拉强度在 1.4–1.9MPa，发气量 12–15ML/g。要打印的砂型和砂芯。见图 4。

5. 尺寸检测

尺寸检测的方式很多，可以采用三坐标、二次元、光学三维扫描仪等。其中光学三维扫描仪具有精度高、操作方便等优点，而且是全尺寸检测，所以广受欢迎。光学三维扫描属于非接触式扫描，可以对柔软、易碎的物体进行测量，其缺点是很难扫描高反光、高透光的表面，而且扫描后的点云质量一般，需要喷显像剂才能提高扫描的点云质量。光学扫描仪根据光源的不同，分为白光、蓝光、激光等不同的类型。白光和蓝光都属于结构光，适合扫描小件，精度高，但是使用不如激光扫描仪方便。激光三维扫描仪在中大型产品的扫描上比较出色。对于本次泵壳的尺寸检测，采用蓝光三维扫描。因为产品小，精度要求高。蓝光三维扫描仪的设备参数见下表。

3D 分辨率	0.05mm
3D 数据精度	0.02mm
扫描范围	200mm × 180mm
扫描速度	0.0002s
电源电压	12V
耗电量	24W
数据格式	STL、OBJ、ASC、PLY、IGS 等
光源	蓝色 LED

将数控加工后的泵壳进行 3D 扫描，获取点云数据，在Geomagic Qualify 软件中，将产品的 3D 数模和点云数据导入，根据基准进行对齐，做 3D 尺寸比较。最后得到全尺寸的检测报告。见图 6。

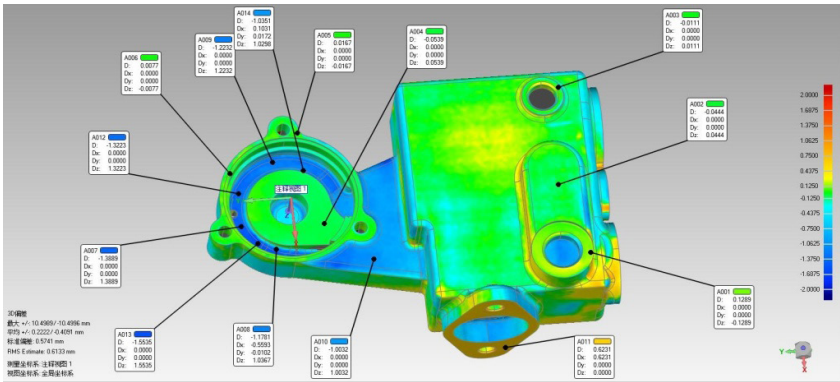


图 6

结论

本文介绍通过砂型 3D 打印技术在快速铸造方面的应用，将泵壳的开发周期从 2 个月降低到 20 天内，铸件的开发周期缩短了接近 70%。同时因为减少了模具设计、开发、制造等工序，降低了成本。最后，砂型 3D 打印快速铸造的工艺减少了砂芯的数量，也就减少了组芯的误差，能有效保证铸件的精度，适合在新产品开发中推广应用。□

参考文献

[1]黄天佑.材料加工工艺[M].清华大学出版社.2004 年
[2]赵彬.基于三维打印的铝合金单缸缸盖快速铸造方法[J].铸造. 2019,68(10)
[3]张渝.3D 打印技术及其在快速铸造成形中的应用[J].铸造技术. 2016,37(04)
[4]周淑容,郑浩.基于 3D 扫描的误差影响因素[J].模具制造. 2021,21(10)
[5]徐文博.基于增材制造的复杂零件快速铸造工艺与数值模拟研究[D].西安科技大学.2018

资讯

秦川机床·江丰电子半导体靶材高端装备协同创新中心揭牌成立



党的二十大报告指出，高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务。11月21日，秦川集团与江丰电子签署共建“集成电路制造用超高纯金属溅射靶材高端装备协同创新中心”框架协议。秦川集团和江丰电子分别作为高端装备产业和国家新材料产业的代表性企业，肩负着推动国家高质量发展的历史使命和责任。协议的签订将进一步促进双方的深化合作，协同创新、联合攻关，实现资

源共享、优势互补、合作共赢，为制造强国贡献力量。
秦川集团党委书记、董事长严鉴铂，江丰电子董事长兼首席技术官姚力军出席签约仪式，并共同为“秦川机床·江丰电子半导体靶材高端装备协同创新中心”揭牌。



秦川集团党委副书记、总裁李强与江丰电子党委书记、总工程师王学泽签署共建框架协议。
宁波江丰电子材料股份有限公司是专业从事大规模集成电路制造用超高纯金属材料及溅射靶材研发生产基地，国内高纯金属溅射靶材龙头企业，国产集成电路材料核心企业。

2022年机床工具专业“机械工业科学技术奖”项目申报及获奖情况分析

中国机床工具工业协会市场部 沈华红

10月底，2022年度机械工业科学技术奖评奖公示期结束，业界人士注意到，有多项机床工具项目获奖，今对“2022年度机械工业科学技术奖”机床工具专业申报及获奖情况做简要分析。

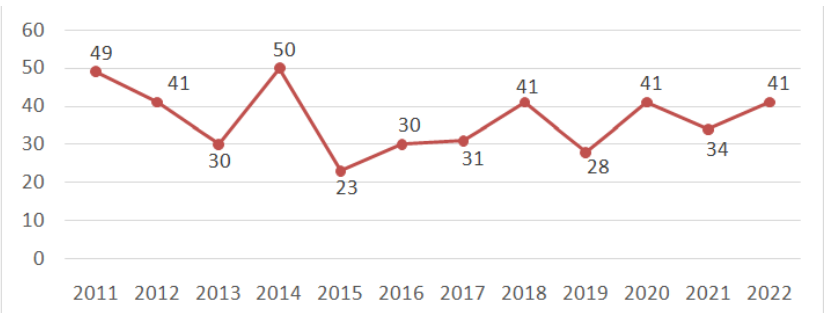
一、项目申报情况

2022年度机械工业科学技术奖机床工具专业组申报项目合计41项，与上年度相比增加7项，增幅20.6%。今年机械工业科学技术管理委员会增加了网评流程，网评通过率整体控制在70%，通过网评的会评项目29项。在29个项目中，有4个项目申报技术发明奖，25个项目申报科技进步奖。

2011年至2022年申报机械工业科学技术奖（机床工具专业）项目数量情况见表1。

表1 2011-2022年机械工业科学技术奖（机床组）项目申报数

年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
项目数	49	41	30	50	23	30	31	41	28	41	34	41



在进入会评的29个项目中，企业申报的项目22项，占比75.9%，企校（校企）联合申报7项，占比24.1%，企业成为2022年申报“机械工业科学技术奖”

的主要力量，体现了企业是技术创新的主体。

参与评审的项目在行业和专业属性方面，金切机床类项目10项，占比34.5%；金属成形类项目8项，占比20.6%；铸造类项目5项，占比17.2%；工具类（刀具、磨料磨具）项目2项，占比6.9%；自动控制和生产线类项目2项，占比6.9%；机床功能部件和附件类项目2项。参评项目在行业和专业覆盖面上比较广，金切机床、成形机床和铸造类项目是申报机床工具组科技奖的主力军，铸造类项目今年增加比较多。

二、获奖情况及分析

经机械工业科学技术奖机床工具专业评审组评审以及机械工业科学技术奖评审委员会审核批准，申报单位确认，最终确定16个项目获奖，获奖比例为39%。16个获奖项目中，特等奖1项，一等奖1项、二等奖7项、三等奖7项。2022年度机械工业科学技术奖机床专业获奖项目见表2，2011-2022年历年机床工具专业获奖情况见表3。

表2 2022年机械工业科学技术奖（机床工具专业）获奖项目

序号	项目名称	项目完成单位	奖项	等级
1	强激光光学元件超精密制造技术、成套装备研究及应用	1 中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 2 中国兵器科学研究院宁波分院, 3 哈尔滨工业大学, 4 厦门大学, 5 中国工程物理研究院机械制造工艺研究所, 6 上海中晶企业发展有限公司, 7 北京微纳精密机械有限公司, 8 中国工程物理研究院	科技进步奖	特等奖
2	高速精密数控机床误差控制关键技术及应用	1 西安交通大学, 2 广州数控设备有限公司, 3 浙江海德曼智能装备股份有限公司, 4 宝鸡机床集团有限公司, 5 武汉华中数控股份有限公司, 6 无锡超通智能制造技术研究院有限公司	科技发明奖	一等奖
3	功能微结构精密磨削用金刚石仿形砂轮关键技术及应用	1 郑州磨料磨具磨削研究所有限公司, 2 哈尔滨工业大学, 3 河南省力量钻石股份有限公司, 4 河南黄河旋风股份有限公司	科技进步奖	二等奖
4	伺服冷精锻自动化智能生产线关键技术研发及应用	1 江苏兴锻智能装备科技有限公司, 2 江苏大学	科技进步奖	二等奖
5	超大超重型转子槽高效精确铣削加工机床关键技术及应用	1 通用技术齐齐哈尔二机床有限责任公司	科技进步奖	二等奖
6	智能化液态、半固态模锻液压机生产线	1 天津市天锻压力机有限公司, 2 天津大学, 3 天津职业技术师范大学, 4 天津中德应用技术大学	科技进步奖	二等奖
7	大型高精度数控立式磨床开发与应用	1 无锡市明鑫数控磨床有限公司, 2 无锡市明鑫机床有限公司	科技进步奖	二等奖
8	高速、精密数控车磨复合加工机床	1 通用技术集团机床工程研究院北京工研精机股份有限公司, 2 北京航空航天大学	科技发明奖	二等奖
9	高端装备主轴单元系统关键技术研究及应用	1 洛阳轴承研究所有限公司, 2 洛阳开远智能精机有限公司, 3 河南科技大学, 4 西安交通大学	科技进步奖	二等奖
10	高效精密热模锻智能化柔性生产线	1 扬力集团股份有限公司	科技进步奖	三等奖
11	JST27-2200 智能化多连杆伺服压力机	1 天津市天锻压力机有限公司	科技进步奖	三等奖
12	新型外热送风水冷长炉龄大吨位冲天炉系统的研发与应用	1 青岛青力环保设备有限公司	科技进步奖	三等奖
13	基于多轴独立视觉补偿技术的高精密钻孔、铣边工艺研发及装备产业化	1 苏州维嘉科技股份有限公司	科技进步奖	三等奖
14	XK2730×80 数控定梁龙门移动式镗铣床	1 齐重数控装备股份有限公司	科技进步奖	三等奖
15	基于工艺数据库的多库联动铸造生产线	1 无锡锡南铸造机械股份有限公司	科技进步奖	三等奖
16	IMPRESS-IIIPLUSDCC4500 大型冷室压铸机	1 宁波力劲科技有限公司	科技进步奖	三等奖

表3 2011-2022年机床工具专业历年获奖情况

年	获奖数	特等奖	一等奖	二等奖	三等奖	获奖比例
2011	27	-	2	11	14	55%
2012	21	-	3	7	11	51%
2013	17	-	2	6	9	57%
2014	25	1	2	10	12	50%
2015	13	-	2	5	6	57%
2016	15	-	3	5	7	50%
2017	15	1	1	6	7	48%
2018	20	1	4	5	10	49%
2019	13	-	3	3	7	46.4%
2020	16	-	4	4	8	40%
2021	14	-	3	4	7	41.2%
2022	16	1	1	7	7	39%

尽管2022年度机械工业科学技术奖机床工具组申报项目不多，但项目质量较高，获得特等奖1项，一等奖1项。获奖结果具有以下几个特点：

第一、本年度获奖项目比例历年偏低。获奖比例低或将成为今后机械工业科学技术奖评选中的常态。其原因，一是由于奖励办公室执行国家相关政策要求，对于获奖项目比例有严格要求。二是今年执行新的规定，本年度各等级指标数根据申报单位在申报时所填报的等级予以设定，申报单位可以选择一等奖以上、一等奖或二等奖、二等奖、二等奖或三等奖、三等奖和均可6种选项，如果发生

评审等级低于提名等级的项目不予确认。2022年度,机床工具组会评项目中,有7个项目由于申报的等级高于实际评审的等级,项目申报单位对于项目获奖有较高的期望,从而放弃获得低于申报等级的奖项。由于规则是按本行业申报项目总数的一定比例分配获奖名额,为争取更多的行业创新成果获得表彰的机会,还需要行业企业、研究机构、大专院校更加广泛的参与。

第二、获奖项目覆盖的行业和学科广泛。金切机床、成形机床、铸造机械、工具类(刀具、磨料磨具)、控制技术生产线、功能部件和附件项目均有获奖。

第三,高等级获奖项目集中来自企校、校企联合申报项目。本年度获得特等奖和一等奖的项目来自企校和校企联合申报。获得二等奖的7个项目中,5个项目来自企校联合申报,2个来自企业申报。获得三等奖的7个项目全部来自企业申报。企业在编写申报材料时,有可能对技术描述集中在应用效果方面,而对技术理论和数据上的分析有欠深入,今后申报时需多加注意。

第四,2022年申报机械工业科学技术奖(机床工具组)的项目质量很高,竞争激烈。由于各个等级对获奖比例有严格要求,同时,发生评审等级低于提名等级的项目不予确认,使得很多优秀的项目落选,令人惋惜。

三、部分获奖项目介绍

1. 强激光光学元件超精密制造技术、成套装备研究及应用

荣获技术进步特等奖。由中国工程物理研究院激光聚变研究中心、中国兵器科学研究院宁波分院、哈尔滨工业大学、厦门大学、中国工程物理研究院机械制造工艺研究

所、上海中晶企业发展有限公司、北京微纳精密机械有限公司、中国工程物理研究院共同完成。项目遵循工艺牵引、装备与工艺深度融合的总体思路,提出基于超精密形面创成的确定性控形流程制造新方法,创新高动态特性超精密光学制造机床设计,发明高性能工具及核心功能部件,构建强激光光学元件超精密制造技术体系,自主研发成套装备,社会效益巨大。创新点如下:

(1)提出“光学表面超精密创成+全空间频段误差确定性控制”的强激光光学元件全流程工艺方法,自主研制了26台套超精密光学元件加工系列装备,建成了平面、非球面等3条强激光光学元件先进制造示范线,实现了纳米级形状精度、纳米级波纹度、亚纳米级粗糙度的大口径强激光光学元件高效高精度制造。

(2)研制了高精度快速抛光机床,解决了基准面精密快速成形加工问题;研制了单点金刚石超精密机床,解决了大口径晶体亚纳米表面粗糙度切削加工难题。

(3)针对非轴对称非球面光学元件高效制造,发明了特殊的抛光算法,研发出气囊、磁流变、离子束等系列数控抛光设备,保证了元件高效制造需要。

(4)发明了大尺寸柔性抛光盘形状误差在位检测及精密修整技术,研制了平面快速抛光机床和全口径补偿抛光机床,提高了抛光材料去除效率,大幅提升了平面类元件制造效率。

2. 高速精密数控机床误差控制关键技术及应用

荣获技术发明一等奖。由西安交通大学、广州数控设备有限公司、浙江海德曼智能装备股份有限公司、宝

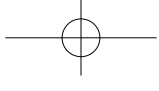
鸡机床集团有限公司、武汉华中数控股份有限公司、无锡超通智能制造技术研究院有限公司共同完成。项目在国家973及04专项等支持下,围绕机床热误差、空间轮廓误差、主轴高速不平衡误差等影响数控机床精度及稳定性的难题,在机床空间及动态误差的建模与补偿批量化工程应用、主轴高精度在线动平衡等方面取得了首创性技术突破,实现了国产数控系统等功能部件误差控制能力和机床精度及稳定性的显著提升,开发自主可控的国产数控机床,解决了航空航天、精密模具、汽车制造等行业关键零部件的精密制造难题。主要发明如下:

(1)提出了机床热误差标准化建模与智能优化方法,发明了具有参数自校正功能的热误差建模和补偿软硬件模块,首次实现了同类机床热误差模型的批量化稳定应用。

(2)发明了机床摩擦动态误差自适应控制技术,提出了考虑刀具空间矢量的机床空间几何误差测量与辨识方法,解决了机床配国产数控系统的空间轮廓误差补偿批量化应用难题,使普通机床体对角线误差 $<25\mu\text{m}$ 、圆度误差 $<2.5\mu\text{m}$,达到精密机床等级。

(3)提出了一种基于动力学传递系数的主轴不平衡矢量的无试重辨识方法,发明了高效精密喷液式在线平衡终端和系统,实现了机床电主轴转子系统30000r/min下的在线动平衡,精度超过G0.4级,主轴在线动平衡误差控制处于国际先进水平。

(4)发明了误差智能建模与补偿模块、在线动平衡装置等软硬件系统,突破了国外主流数控系统误差补偿接口限制,提升了广数和华中等国产数控系统误差控制能力,开发了GSK25i等4款国产高端数控系统,在海德曼、宝鸡机床等20余种国产机床上实现批量化工程应用。



3. 功能微结构精密磨削用金刚石仿形砂轮关键技术及应用

荣获技术进步二等奖。由郑州磨料磨具磨削研究所有限公司、哈尔滨工业大学、河南省力量钻石股份有限公司、河南黄河旋风股份有限公司共同完成。金刚石仿形砂轮是实现高性能功能微结构器件制造的核心，其加工精度和质量对微结构的性能发挥具有决定性作用。项目攻克了高端金刚石仿形砂轮核心关键原材料设计制备、微细仿形结构高精度加工与检测、超声流固复合磨抛工艺和装置等核心技术，取得了如下创新成果：

(1) 构建了砂轮动态硬度及载荷分布模型，揭示了仿形砂轮磨损失效及形性演变机制；开发了新型结构金刚石高效合成技术和新型结合剂，实现了金刚石磨粒与粘结剂界面的化学冶金键合。

(2) 开发了金刚石仿形砂轮精密成形技术、自适应往复交叉加工和摩擦驱动修整与检测技术，实现了高精度制造与检测。

(3) 提出了微结构磨削角概念，建立了面向微结构的超声复合磨削模型，揭示了在其影响下的磨粒动态轨迹演变和低损磨削机制；开发了裂纹损伤在线预警监测系统，实现了微结构表面裂纹崩碎损伤的有效监控；发明了低损高效超声流固复合磨抛工艺及装置，加工效率和质量显著提升。

4. 伺服冷精锻自动化智能生产线关键技术研发及应用

荣获技术进步二等奖。由江苏兴锻智能装备科技有限公司、江苏大学共同完成。本项目重点在冷精锻装备的伺服化、自动化生产线集成，智能化技术应用等方面进行创新，实现了高强度铝合金锻件高节拍、高精度、高稳定、自动化生产的目标。主要科

技创新工作包括：

(1) 突破了多电机伺服直驱架构下高刚性机架与高刚性传动机构的关键技术，使用低速大扭矩直驱技术，研制出了16000kN 肘杆式冷温精锻伺服压力机。

(2) 提出了四电机直驱高效率传动技术方案，突破了四电机同步驱动与控制技术，解决了齿隙非线性等关键技术难题。

(3) 研制了具有接触感知功能的伺服直驱三次元十轴步进梁机械手和伺服冷精锻自动化智能生产线。

(4) 开发了基于工控机和国产实时操作系统 (Sylix OS) 的伺服压力机控制系统及智能化生产线运维服务平台。

(5) 研发了6000Nm~35000Nm峰值扭矩的内嵌式 (IPM) 低速大扭矩伺服电机系列产品和高过载、大功率伺服驱动器系列产品。

5. 超大超重型转子槽高效精确铣削加工机床关键技术及应用

荣获技术进步二等奖。由通用技术齐齐哈尔二机床有限责任公司完成，项目针对电机、汽轮机制造企业的生产需求和超大超重型转子槽高效精确铣削加工机床设计制造中存在的突出问题，研发超大超重型转子槽高效精确铣削加工机床关键技术，形成具有自主知识产权的超大超重型转子铣削加工专机设计制造与装调工艺技术，研制电机和汽轮机超大超重型转子铣削加工专机产品，通过成果推广应用，解决超大超重型转子槽高效精确铣削加工中亟待突破的关键技术瓶颈问题，为大型能源装备研制和生产提供技术保障。主要创新点如下：

(1) 超大超重型转子槽高效精确铣削加工机床设计制造技术。研制出基于立柱的箱中箱整体结构、主轴箱中心热对称分布、四导轨冗余结

构的重型转子轮槽铣床，转子加工范围最大长度15000mm，最大直径3400mm，工件重量300t，实现了超大超重型转子槽铣削加工机床设计制造技术上的突破。

(2) 超大超重型转子自适应静压支撑与回转精度保障技术。转子主支撑采用静压球面轴瓦技术，保证了轴瓦与转子轴的接触面积，降低了调整难度，确保支撑更加安全可靠。

(3) 超大超重型转子回转进给分度系统与精度可靠性保证技术。该系统由伺服电机直联高精度、低背隙减速机驱动，采用双列圆柱滚子轴承与双角接触球轴承相结合，使系统主轴获得高刚度，通过双左右旋转齿轮相互啮合，利用碟簧预紧调整齿轮轴向距离，消除主轴的转动间隙，保证了回转进给分度系统的无间隙传动，分度最大扭矩达到 175680Nm，分度精度达到 $\pm 3''$ 。针对转子外圆加工误差、挠曲变形和转子滑动引起的分度误差对转子槽加工精度的影响，研发出双反馈系统误差检测校验技术。

6. 智能化液态、半固态模锻液压机生产线

荣获技术进步二等奖。由天津市天锻压力机有限公司、天津大学、天津职业技术师范大学、天津中德应用技术大学共同完成。本项目应用轻量化车轮锻造技术与数字化控制系统，所建成的锻造生产线以液态模锻液压机为核心技术装备，优化了智能模锻液压机的主机结构设计、锻造过程的速度和压力的控制算法；再进行辅助装置的集成研发；最后，通过MES和工业以太网实现生产线的数字化控制，保证了液态模锻铝合金轮毂产品的稳定性和可靠性。主要创新点如下：

(1) 研制出液态、半固态模锻专用液压机，并基于MES系统，依据



铝合金轮毂成形工艺技术要求,将液压机与定量炉、取料机器人、冷却系统、自动喷淋装置、称重装置、刻字装置等集成,形成液态模锻工序生产单元。

(2) 开发了恒升压速率与变升压速率的液态、半固态模锻成形控制系统,实现了液态、半固态模锻铝合金轮毂一次成形。

(3) 开发了具有配方信息、工件信息和工艺数据智能化运维数据的管理系统,实现了液态、半固态模锻铝合金轮毂的工艺分析和质量追溯。

7. 大型高精度数控立式磨床开发与应用

荣获技术进步二等奖。由无锡市明鑫数控磨床有限公司、无锡市明鑫机床有限公司共同完成。项目开发了5轴数控双立柱定梁机床结构、高精度大直径重载荷闭式静压工作台、高精度高刚性磨头主轴、高灵敏度进给系统、高刚性砂轮修整器等机床部件,满足了超大型风电主轴轴承的精密加工要求;研发了磨架液压自动平衡、断电自锁保护等关键技术以及带有二次开发交互界面的数控系统。产品具有高效率、高精度、高承载能力、自适应、大型化等特点。项目的主要创新点如下:

(1) 单工位多复杂型腔精密立式磨床结构创新设计。设计了双立柱定梁、双磨架和高精度数控回转塔结构的布局方式,考虑承受动静态交变载荷的高刚度底盘及立柱设计,研究了放射状磁极电永磁吸盘T形槽排布规律、电磁有效吸力与工件重量之间的参数匹配、导磁块安装方式等,开发了磁力调整与消磁装置。

(2) 高性能大型精密功能部件的研究开发。高精度高刚性磨头主轴系统,高刚性砂轮修整器,高刚性高精度静压工件回转主轴,进给系统刚

性和灵敏度设计。

(3) 功能模块与磨床主结构相互作用下的精度控制。依据静力学分析、模态分析和谐波响应分析,开展了磨架和工作台的结构优化设计。建立了磨床主体结构的虚拟样机,利用有限元分析和实验相结合的方法进行磨床主体结构在静动态载荷下的优化设计和可靠性设计。对整机热源敏感性进行分析和测试,优化机床结构。

(4) 考虑动态多物理场特性的精密磨削工艺改进。对多刚体运动下的几何误差和载荷误差科学评估,创建基于动态效应和热变形分析的磨削工艺库,建立几何误差、载荷误差、热变形等影响磨床精度误差的主要误差源的综合精度误差模型。可实时高效、精确地对磨床误差进行补偿,提高磨削精度,提高磨床的工艺性能。

8. 高速、精密数控车磨复合加工机床

荣获技术发明二等奖。由通用技术集团机床工程研究院北京工研精机股份有限公司、北京航空航天大学共同完成。项目依托04专项,针对汽车CVT自动变速箱关键零件批量加工的需求,从设计、制造、精度与可靠性保障等方面开展了系统研究工作,成功研制出 μ 4000TG车磨复合机床,可在一次装夹中实现外圆、端面、内孔及内沟槽的高效、高精度连续工序的车削、磨削加工,满足了零件精密加工要求。主要创新点有:

(1) 建立了从零件加工需要与整机结构相适应的整机正向设计技术体系,设计了车磨复合加工机床。机床采用高刚度、高阻尼性的人造矿物铸件床身,床身上镶嵌着各个重要零部件的安装基面,安装基面彼此独立。X向导轨、直线电机及副工作台固定在安装基面上;工件主轴固定在十字溜板上,随十字溜板一起运行;

各个加工工位包括内孔磨削轴(转速达45000r/min)、硬车削装置(可车削硬度HRC58~63的零件)、测量装置、沟槽磨削装置(转速达36000r/min)、锥面磨削轴(内置动平衡及AE声纳系统)等固定在副工作台上。机床集硬车削、外锥面磨削、内孔磨削、球道磨削等多种加工方式于一体,实现了工件在一次装夹中完成全部加工的要求,确保了批量零件的高精度、高效率加工。

(2) 创新性设计了五爪弹性气动夹紧装置,解决了轴套类、盘套类零件在硬车削中大切削力下的装夹精度。该夹具采用双作用气缸+矩形弹簧执行松开夹紧功能,夹紧安全可靠;应用五角气缸杆推动五爪活塞轴杆同步运动,夹紧一致性好、导向精度高;中心配置接长冷却接头,内磨加工时冷却散热快,解决了工件磨削时发热烧伤问题。

(3) 创新性设计了直线型沟槽磨削装置,解决了小直径内孔沟槽难加工的问题。该装置由伺服电机、同步带轮、同步带、砂轮轴系、底座、砂轮架等组成增速机构,变速比为4:1,砂轮的最高转速可达到36000r/min。砂轮架采用38CrMoAl材料经锻造而成,有效提高了砂轮架的刚度,减小了磨削振颤。

(4) 加工系统整体温度控制技术。通过采用结构优化及整体温度控制专利技术,使加工区的温度可控,有效控制了机床的热变形,在使用中降低了机床对于周围环境温度的要求,具有很好的现场适应性。

(5) 建立了硬车削及CBN砂轮高精、高速、高效的加工工艺体系,在用户生产中取得良好的应用效果。

9. 高端装备主轴单元系统关键技术研究及应用

荣获技术进步二等奖。由洛阳轴



承研所有限公司、洛阳开远智能精机有限公司、河南科技大学、西安交通大学共同完成。本项目针对数控机床等高端装备所需核心关键功能部件电主轴开展设计及精密加工制造等系统研究，开发基于智能化需求的高性能数控机床系列主轴单元及精密轴承。掌握了高端装备主轴单元及电主轴的设计方法，形成了一系列具有自主知识产权的核心技术，提高了智能制造等相关功能部件企业的竞争力，为国产高性能主轴的推广打下了坚实基础。本项目关键技术如下：

（1）高速电主轴系统工作状态的瞬态动力学分析。基于有限单元建模方法建立主轴动力学分析模型，提高了建模的快速性和分析的准确性。研究高速电主轴在工作状态的固有频率等动态性能，为主轴的优化设计以及状态分析提供依据。

（2）高刚度电主轴轴系单元系统设计技术。建立电主轴轴系模型，

进行轴径、支撑跨距和一阶临界转速目标函数的优化设计。采用前端卸荷的轴系结构，实现主动卸荷。此轴系结构紧凑，作用在转轴轴系上的附加质量小，且动作可靠。

（3）高速电主轴电机永磁转子设计技术。采用主副永磁体结构，能够平衡主轴在高速旋转过程中产生的应力，在电磁性能方面，磁阻更小，在增加恒功率段弱磁调速范围的同时优化气隙磁密波形，减小漏磁，降低电流谐波量，减小转矩脉动，平衡转子各处应力。

（4）超高速轴承长寿命、低功耗优化设计技术。研究了载荷、转速、预紧载荷等工况条件下轴承结构参数与轴承温升和摩擦力矩的关系，建立了超高速球轴承低功耗设计方法，掌握了工况条件、轴承结构参数及润滑参数对轴承温升和摩擦力矩的影响规律，形成了以额定动载荷和摩擦力矩为指标的超高速球轴承长寿命、低功耗设计技术。

（5）高端装备主轴单元润滑及冷却技术。建立高速电主轴在脂润滑下的有限元数学模型，从转速、填脂量、润滑脂粘度等多方面，对轴承腔内润滑脂分布、油膜特性进行数值分析，探明了摩擦和发热机理以及电主轴的热态性能，确定了特定工况下润滑脂最佳粘度和填脂量。对于电机部分，在定子外周采用“凹”字形截面的螺旋流道，提高热交换率，实现电机定子强制冷却。对于轴承部分，采用外圈轴承座“双环形槽”结构，进出油口“三进三出间隔”结构，连续通过冷却油，实现均匀、高效强制冷却。

（6）基于负泊松比材料的高速主轴轴承智能预紧技术。提出了一种基于泊松比可控结构轴承隔套的预紧力自适应调节方法。该隔套在离心力作用下会发生轴向变形，产生轴向力使轴承预紧力得以改变，从而可实现在不同转速下预紧力的自适应调节。□

资讯

澳克泰工具亮相泰国国际机床及金属加工展

泰国国际机床及金属加工展（METALEX Thailand）于2022年11月16-19日在泰国曼谷国际贸易展览中心成功举办，赣州澳克泰工具技术有限公司参加了此次展会，并取得了良好的展出效果。

泰国曾经是传统的农业国家，但今天，在其国民经济中，工业的贡献率已经高于旅游业和农业。可以说，工业已然成为泰国最重要的经济支柱之一，其中食品、服装加工和汽车装配等产业是泰国工业发展的重心。特别是近年来，泰国的汽车工业迅速发展，汽车年产销量均超过两百万辆，泰国已成为东盟国家中最大的汽车生产国和第二大汽车销售市场。全球多家知名汽车品牌都在泰国开办有工厂。

本次展会，澳克泰工具展出的产品主要有车削、铣削、孔加工和螺纹加工刀具。此外，还重点展示了小零件加工刀具、整硬刀具等一系列产品及解决方案，为前来参

观的嘉宾呈现了中国刀具产品的高效率和工艺可靠性。

近年来，澳克泰工具不断为重点领域高端用户提供“高效率、高精度、高可靠性和专业化”数控刀具产品，不仅持续深耕国内市场，还稳步开拓国际市场，产品已远销40多个国家和地区。近3年实现出口额2226万元、3919万元、6538万元的快速成长，年均增长率达70%左右。澳克泰工具的远期目标是，与国际同行一流品牌同台竞技，逐步建立起国际品牌形象。

澳克泰工具经过10余年的稳步发展和技术积累，已经建立起了较为完整的硬质合金刀具生产线，做到了产品覆盖面较广、产品种类较为丰富。接下来将进一步规范经销与服务体系，提升优质解决方案能力，并将始终坚持产品自主研发和创新，深化客户服务体系，为重点领域用户提供更多更好的产品和解决方案。

NC-Link: 协同创新 开放合作 持续推进工作机制和技术支撑能力建设

中国机床工具工业协会 行业发展部

数控装备工业互联互通协议（以下简称“NC-Link”）是针对制造业加工装备和工业软件的互联互通要求而制定的标准规范，由中国机床工具工业协会（以下简称“协会”）牵头，组织数控行业骨干企事业单位与高校共同研发、制定，已于2021年1月1日起实施。标准工作启动以来，协会一直着力推进标准的完善和应用，一方面联合华中数控、广州数控等15家行业企业及相关机构，成立数控机床互联互通协议标准联盟（简称“NC-Link联盟”），作为NC-Link标准的技术工作平台；另一方面，牵头成立行业数字化转型公共服务平台公司——携汇智联技术（北京）有限公司（以下简称“平台公司”），承担NC-Link标准的产品研发和市场化推广工作，逐步形成了“公益+市场”推广的“组合拳”，建立推广的工作机制和能力体系。

一、形成NC-Link技术支撑体系

在工业和信息化部的指导和支持下，在协会、行业企业、科研机构、高等院校的共同参与和推动下，NC-Link联盟、平台公司持续开展NC-Link标准相关技术开发工作，逐步建立起NC-Link技术支撑能力。

一是建立NC-Link技术社区，开展NC-Link相关技术资源分享和研发技术支持。协会以参与NC-Link标准研制的数控企业、机床企业、高等院校等核心单位为班底，在NC-Link联盟基础上成立NC-Link技术社区，并通过NC-Link技术社区（如图1所示）面向行业开展公共服务，打造NC-Link标准应用推广的“主阵地”和“朋友圈”，共同推进NC-Link标准技术的开发迭代与应用推广。

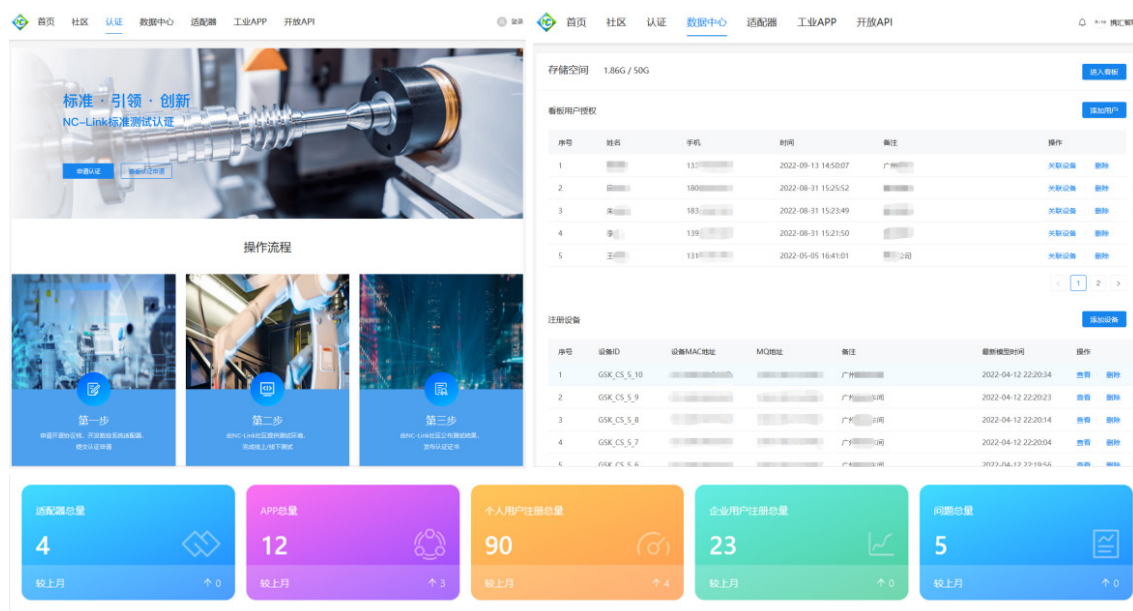


图1 NC-Link联盟技术社区

（左上：装备互联平台服务板块，右上：数据中心服务板块，下：NC-Link社区注册连接数量）

二是建成NC-Link互联平台，开通北京、深圳两个数据访问节点。其主要功能是逐步形成NC-Link标准相关商业资源和用户的汇聚。目前，平台已接入机床上下游企业1470多家，工业软件企业、IoT企业、高校等相关单位30余家；建立软件应用适配NC-Link标准的工作机制，上架14个工业APP；构建NC-Link标准设备驱动库，完成4类设备的驱动测试上架。尤其是NC-Link标准设备驱动库的建立，一旦针对某型机床开发了驱动，就可

进行复用，为基于NC-Link标准的车间互联互通解决方案快速复制提供了技术条件。

三是形成机床装备适配NC-Link标准的通用技术框架，让机床适配NC-Link的技术工作大大减少。平台公司通过自主研发的协议互联互通技术框架，建立了多源异构装备协议兼容适配开发模式，为后续不断拓展NC-Link标准对各类专有协议、通用协议的兼容适配能力打下基础。

数控机床互联互通协议标准（NC-Link）联盟成员名单（持续更新中）

管理員小窗 2022-06-16 14:21:48

序号	单位
1	中国机床工具工业协会
2	武汉华中数控股份有限公司
3	沈阳华中数控股份有限公司
4	广州数控设备有限公司
5	沈阳（上海）智能系统研发设计有限公司
6	科德数控股份有限公司
7	华中科技大学
8	全国机床数控系统标准化技术委员会
9	北京航空航天大学
10	北京兰光创新科技有限公司
11	四川普什宁江机床有限公司
12	武汉华工激光工程有限责任公司
13	天津市泰森数控科技有限公司
14	北京北一机床有限责任公司
15	中国电子科技网络信息安全有限公司
16	北京亚迪世纪科技发展有限公司
17	佛山华数机器人有限公司
18	佛山智能装备技术研究院
19	新代科技（苏州）有限公司
20	宝鸡机床集团有限公司
21	广州中国科学院工业技术研究院
22	嘉泰数控科技股份有限公司
23	联想（北京）有限公司
24	华为技术有限公司
25	山东华数智能科技有限公司
26	德州华数智能科技有限公司
27	艾普工华科技（武汉）有限公司
28	无锡尚客智能科技有限公司
29	云和信（西安）智能科技有限公司
30	北京数码大方科技股份有限公司
31	上海维宏电子科技股份有限公司
32	南汇智联技术（北京）有限公司
33	上海纳尔数控科技股份有限公司
34	超同步股份有限公司
35	沈阳精锐数控机床有限公司
36	北京工业大学



图2 NC-Link联盟成员单位（截止到2022年8月，联盟成员36家单位）

二、NC-Link推广合作工作持续深入

协会注重借助CMT（中国国际机床展览会）、CCMT（中国数控机床展览会）展会等多种渠道开展NC-Link标准宣传及合作，初步在行业内外形成了对NC-Link标准的共识。2021年4月，协会在深圳组织召开基于NC-Link的制造业数字化转型专题研讨会议，工业和信息化部辛国斌副部长及深圳市聂新平副市长等领导出席会议，持续推动NC-Link在深圳地区的推广应用。此外，协会参与中国信通院组织的工业互联网联盟工作，在2021年与中国信通院联合举办了机床互联互通应用大赛，并在当年的工业互联网联盟大会上，对NC-Link标准进行了专题解读。

协会十分重视NC-Link标准国际合作，与德国机床制造商协会（VDW）的互联互通标准umati开展常态化技术合作。2022年4月与德国机床制造商协会（VDW）召开线上会议，交流NC-Link与umati的最新进展情况，探讨深度合作推广事宜。9月，美国芝加哥国际制造技术展览会（IMTS 2022）和德国斯图加特国际金属加工展览会

（AMB）分别如期举办，VDW邀请协会在这两个展会上进行了联合展示。近期在11月8-13日举办的日本国际机床展览会(JIMTOF 2022)上，协会又一次以远程连接方式展示了NC-Link与umati协议的互联互通成果。至此，NC-Link互联互通标准技术已在世界四大机床名展中全部亮相。

得益于对NC-Link标准推广机制及技术能力的建设，今年与德国umati协议的互联互通呈现出新的亮点：一是覆盖面全。今年是以NC-Link联盟参展，相关技术工作由平台公司承担，接入国内不同地区的18台数控设备,包含五轴加工中心、车铣复合机床、车削中心、数控折弯机、激光切割机、机器人等，来自联盟的江苏亚威机床股份有限公司、沈阳精锐数控机床有限公司、武汉华中数控股份有限公司、广州数控设备有限公司、智能云科信息科技有限公司等参加了展示。二是NC-Link标准技术支撑体系得到实战验证。本次参展的各类设备，在实现国内厂商之间基于NC-Link互联互通的基础上，由NC-Link装备互联平台统一接入umati展示平台，对技术支撑能力及其可行性进行全面验证。

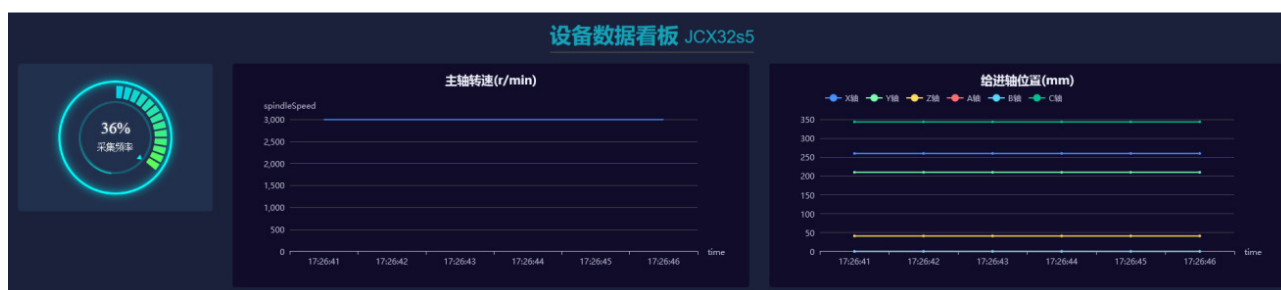


图3 展示接入NC-Link装备互联平台的设备数据



图4 在JIMTOF展会与umati数据中心实现互联互通

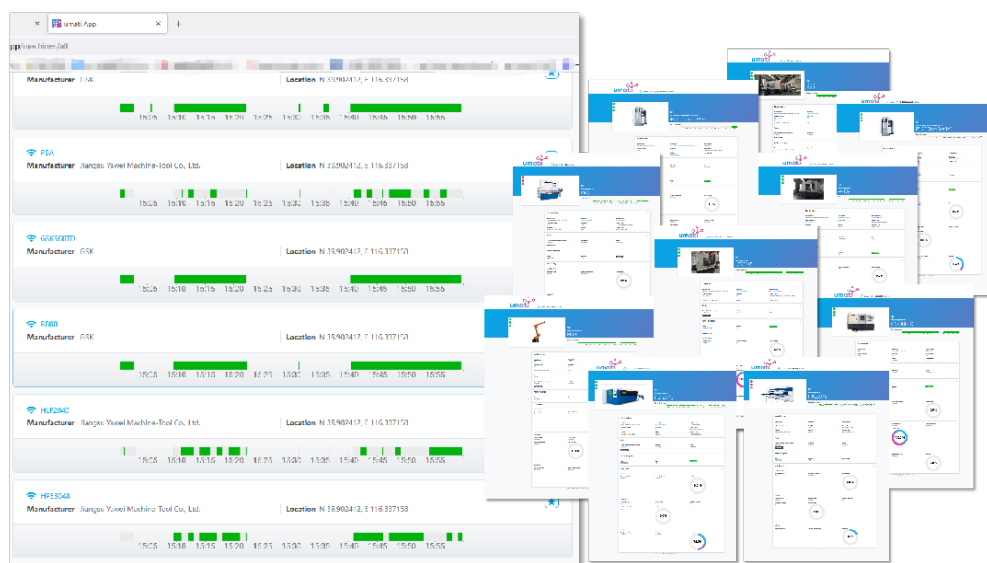


图5 远程查看通过NC-Link协议连接的数控设备

通过近两年的建设，已经初步建立NC-Link标准工作机制和技术支撑体系，摸索了推广路径，从市场的角度也形成了对NC-Link标准的认知，接下来的重点任务是要逐步形成NC-Link标准应用的规模，进一步验证和完善标准及其技术能力，同时要摸索出商业模式，形成标准推广的

良性循环。

协会还将召开2022年NC-Link联盟大会，对后续的标准工作进行部署。诚邀行业内外企业加入NC-Link联盟，共同参与NC-Link的完善和技术研究工作，发展壮大NC-Link生态圈。□

应对贸易摩擦应未雨绸缪

中国机床工具工业协会市场部 李雷

在中国迈向制造强国的进程中，难免会遭遇来自国际竞争对手通过贸易或非贸易壁垒手段实施的阻碍。同时，随着中国机床工具产品出口量扩大以及在国际市场份额占比逐渐提升，企业也开始受到贸易摩擦的影响。贸易摩擦案件一旦进入正式调查程序，无论结果胜败，企业都将付出大量人力、物力、财力去应诉。所以，了解当前贸易摩擦案件形势，评估贸易风险，建立预警机制，完善应对方案对于出口企业显得尤为重要。为此，我们编辑此文供企业参考，希能未雨绸缪应对摩擦。

一、国际贸易摩擦案件种类基本概念

1. 倾销/反倾销

倾销是指一国（地区）的生产商或出口商以低于正常价值的价格（国内市场销售价格、结构价格或第三国出口价格）将其商品销售到另一国（地区）市场的行为。

反倾销是指对外国（地区）商品在本国（地区）市场上倾销造成的损害所采取的救济措施。

2. 补贴/反补贴

补贴是指出口国（地区）政府或者其任何公共机构提供的并为接受者带来利益的财政资助以及任何形式的收入或者价格支持。

反补贴是指进口国（地区）主管机构依法对接受补贴的进口产品进行调查，并通过征收反补贴税或价格承诺等方式，抵消由禁止性补贴和部分可诉性补贴造成不利影响的一种贸易救济措施。

3. 保障措施

保障措施是指世贸组织成员方在进口产品数量激增并对其境内相关产业造成严重损害或严重损害威胁时，采取

的进口限制措施。

二、机床工具行业企业遭遇的贸易摩擦

1. 301征税——涉及5000亿美元中国出口美国的商品

鉴于整个机电行业受到美国高度关注，机床工具行业所有税号也全部列入美国2018年7月对华发起的301调查征税清单中。

301条款是美国《1974年贸易法》中第301条款的简称，是美国的贸易政策工具之一。其主旨在于保护美国在国际贸易中的利益。根据这项条款，美国可以对它认为是“不公平”的其他国家的贸易做法进行调查，最后由总统决定是否采取提高关税、限制进口、停止有关协定等报复措施。

301清单征税实施之后，美国进口的机床工具产品中来源地为中国的份额从2017年的近15%降为10%左右。

2. 美国发起对中国产聚合金刚石复合片337调查（知识产权侵权）

2020年11月20日，美国合成公司向美国商务部发起ITC 337调查，提出中国8家公司分别对其五项专利技术侵权，要求禁止来自中国的竞争对手产品在美国销售。

在商务部指导下，中国机床工具工业协会超硬材料分会组织企业协同律所积极应诉抗辩，2021年终裁判定侵权不成立。中国企业虽然获胜，但在应对过程中耗费了巨大的财力、物力以及时间成本。

3. 印度对中国产树脂砂轮薄片发起反倾销调查

2021年6月7日，印度商工部贸易救济局发布公告，对原产于或进口自中国的树脂砂轮薄片（直径4-14英寸不等）发起反倾销调查。

在协会磨料磨具分会和中国机电产品进出口商会（简



称机电商会)的组织下,28家中国企业参与提交调查问卷,16家企业进行集体行业损害抗辩。

2022年8月5日,印度商工部发布终裁,建议对中国企业出口印度树脂砂轮薄片征收0-690.12美元/吨的反倾销税。因相关企业积极参与应诉并提供有力证据,其中有9家应诉企业拿到了低于690.12美元/吨的单独税率,浙江金华一家企业甚至拿到0税率。

目前案件在等待印度财政部决定是否最终执行加征税措施。一旦加征税,可能意味着绝大部分中国企业的相关产品将很难在印度市场销售。

三、贸易摩擦的影响及风险来源

我国遭遇的贸易摩擦主要是反倾销调查和反补贴调查,发起国以美国、印度为主。涉及面广、产品类别多,包括钢铁、金属制品、化学原料和制品、非金属制品、有色、电气、造纸、通用机械、塑料制品等众多领域。

最近3年,美国、印度对一般类机械发起的贸易摩擦案件涉及产品有发动机、割草机、注塑机、扫雪机等。

由于机床工具是机械基础装备,可以说,上述所有的涉案行业都可能是用户,由此也可以预计,一旦用户失去出口市场将间接影响对机床工具的新增需求。

企业在外贸活动中需关注以下风险:

1. 出口管制

中美经贸摩擦和新冠肺炎疫情对全球贸易与产业格局产生着深远影响。中美在出口管制和经济制裁领域的立法建设和执法力度均有所加强,第三国交易受到广泛波及。中国企业在参与全球贸易活动过程中面临的风险不断加大。

机床工具行业一方面在出口时需要遵守中国《出口管制法》,另一方面,在进口机床及关键零部件时也必须满足境外制造商“最终用户访问”要求。美国对俄制裁措施,也对我国企业开展对俄贸易时带来一定风险。

2. 其他贸易壁垒

除关税外,其他贸易壁垒还包括:国家安全相关的壁垒,以美国为代表的国家对出口企业进行安全审查、232调查等贸易制裁措施;把人权问题引入贸易壁垒领域,如“新疆棉”争端;对国企享受政府补贴后出口的限制措施;要求碳关税、碳足迹认证等绿色壁垒等。

3. 知识产权相关风险

我国连续12年成为美国337调查的主要目标国。案件主要针对技术性密集产品和高附加值产品。

337调查之后,企业可能面临丧失市场的风险,而且易引发不良连锁反应,导致多个国家、多种救济程序、多项权利同时并发,企业应接不暇。

此外,中国企业在海外参展还曾遭遇过知识产权纠纷。也有企业因未及时应诉,而后期要面对外国法院判决在中国执行,造成更大的财产损失以及失去当地市场的风险。

四、未雨绸缪,应对建议

根据当前贸易摩擦案件的特点,以及我国外贸企业存在的或多或少薄弱环节,总结以下建议供企业参考。

从产品的角度,应重视自主研发,掌握核心技术,无论是对于企业长期发展还是应对贸易摩擦都是非常重要的。

从供应链的角度,应充分考虑出口管制政策可能带来的不利影响,在外贸合同中补充合规条款、调整备货策略,降低风险。

从企业内部管理的角度,应确保财务数据合规。此外,企业还应注意网站等公开宣传口径应符合WTO公平贸易规则。

从交易的角度,可通过购买信用保险来保障收汇安全;加强对客户的资信调查;加强合同风险管理,避免部分客户利用合同漏洞实施欺诈等行为。

从开拓市场的角度,采取多元化市场战略;关注海外竞争品价格、利润、市场占有率等动态信息;进入目标市场前,进行知产调查和分析,规避设计或者无效储备,同时也要提前进行知识产权保护。

海外参展前,了解展会举办地和展会组织机构内部的知识产权争议解决规则;准备好展品技术或设计的知识产权证明材料;准备应急预案;储备律师资源,以便第一时间调动律师资源来协调解决问题。

企业遭遇贸易摩擦后,也无需退缩,可在政企“四体联动”机制下,与地方商务主管部门、商协会、律所等积极配合,完成应诉必要的信息收集、问卷填写等环节工作,通过政治交涉、法律抗辩、公关游说、业界合作等多条渠道提出行业在国际舞台公平贸易的诉求。

当前单边主义、去全球化风潮抬头,但是从制造大国到制造强国,国际市场竞争力是一个重要的衡量指标,行业企业应强化自身建设,通过国际市场的考验实现自我发展的目标。□

(本文参考了中国机电产品进出口商会法律专家近期对行业培训的内容。)

2021年全球新装工业机器人达历史高点 中国占比过半

本文根据国际机器人联合会IFR网站信息编译 李 雷

国际机器人联合会IFR近期发布数据显示，2021年全球新装工业机器人达51.7万台，同比增长31%，创历史新高，近五年年均增长11%。

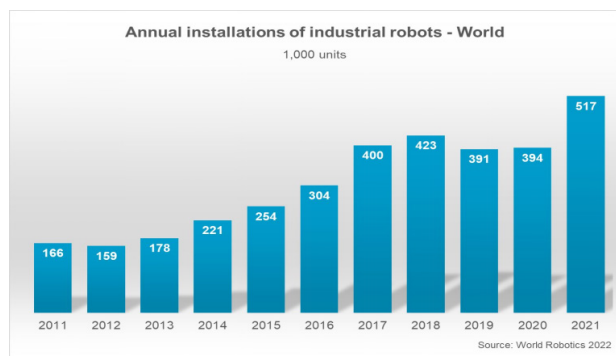


图1 全球工业机器人年装机量（单位：千台）

在这一数据背后，中国无疑是最大的亮点。2021年新装机量遥遥领先于其他国家和地区，并首次在全球市场占比超过50%。体现出中国制造业向自动化发展的迅猛之势。

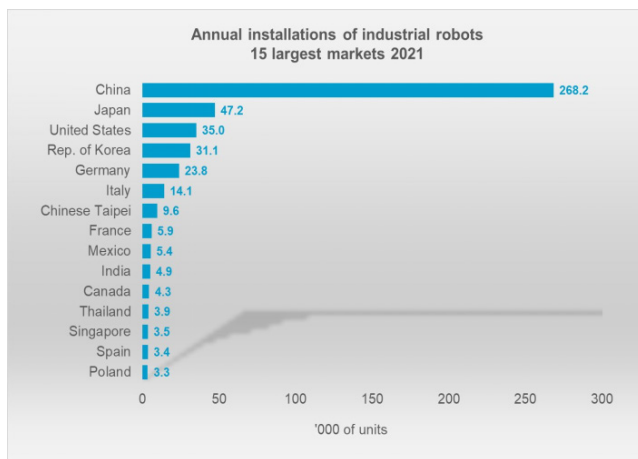


图2 全球前十五位工业机器人市场（单位：千台）

尽管过去两年因新冠疫情影响，全球制造业供应链受到较大冲击，但2021年主要用户领域对机器人的需求仍显

示出强劲增长态势。图3为近三年全球主要工业机器人应用领域的装机量，在中国市场的拉动下，电气/电子行业对机器人的需求量最高，之后依次为汽车、金属和机械制造¹、塑料和化学制品、食品等。

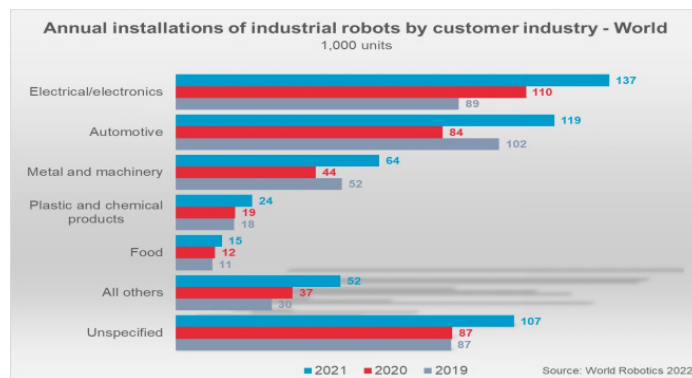


图3 近三年全球主要用户行业装机量（单位：千台）

中国作为制造业大国，制造业转型以及劳动力紧缺，推动了机器人产业和机器人市场的发展。2021年中国新装工业机器人268195台，强劲增长51%。首次在全球市场占比超过50%。

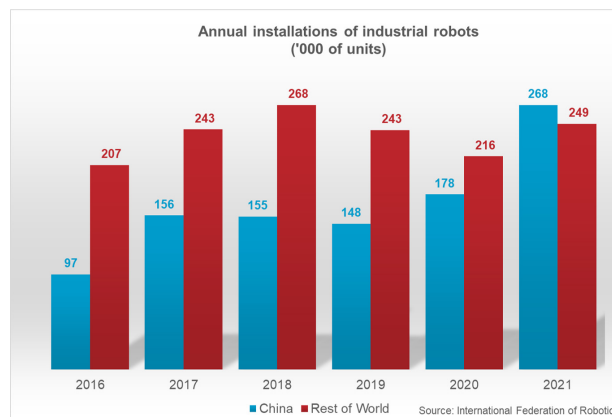


图4 中国（蓝柱）与世界其他国家/地区（红柱）年装机量对比（单位：千台）

中国是全球电子产品的主要生产国，2021年电子行业新装机量占中国工业机器人新装机量的三分之一，达88153台，同比增长56%，其中自主品牌占27%。

中国也是世界最大的汽车消费市场和最大的燃油车及新能源汽车生产基地，发展潜力巨大。多年来，汽车工业始终是拉动机器人需求增长的重要驱动力，尤其是新能源汽车产业快速增长，结束了连续三年的下降趋势，2021年新装机量达61598台，比2020年几乎翻了一倍，超过了2017年的历史峰值水平42396台。2021年中国自主品牌工业机器人在汽车工业新装机量占比为26%。

2021年，金属和机械制造业的机器人安装量增加了60%，达到34476台。占市场总安装量的13%。在金属和机械制造业，自主品牌机器人占66%。

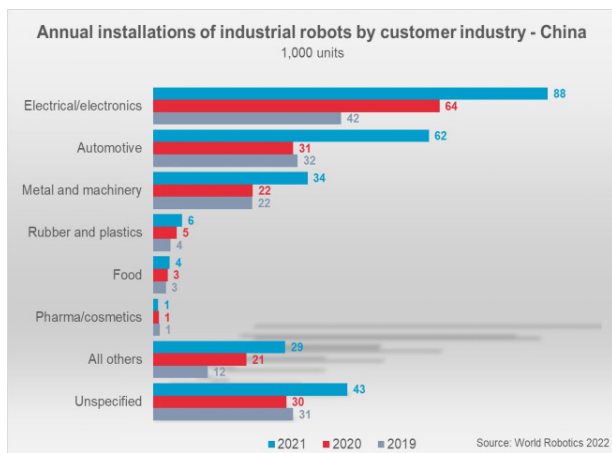


图5 中国工业机器人用户领域需求（单位：千台）

2021年，日本继续成为全球第二大工业机器人市场，虽然2019和2020连续两年新机装机量下降，但2021年实现了22%的增速，达到47182台；在用保有量为393326台，同比增长5%。日本不仅是重要的应用市场，也是世界主要的机器人生产国，其2021年工业机器人出口186102台，达到历史峰值。

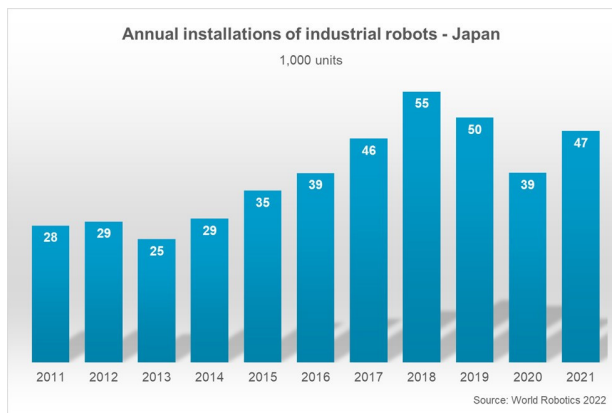


图6 日本工业机器人年装机量（单位：千台）

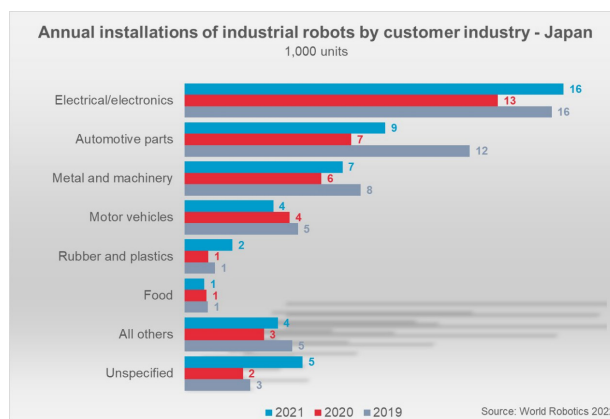


图7 日本工业机器人用户领域需求（单位：千台）

2021年，美国新装机量为34987台，同比增长14%。略高于2019年新冠疫情前33378台的水平，但仍大大低于2018年40373台的历史高点。汽车工业继续保持美国第一大工业机器人应用领域，2021年新装机9782台，但同比下降了7%，汽车工业对机器人的需求已经连续5年下降。金属和机械行业是美国工业机器人第二大应用行业，装机量激增66%，达到3814台。之后是塑料和化学制品行业，装机3466台，同比增长30%；食品和饮料行业装机3402台，同比增加25%，也达到了历史峰值。此外，新冠疫情使医疗卫生领域对机器人的需求日益增长。

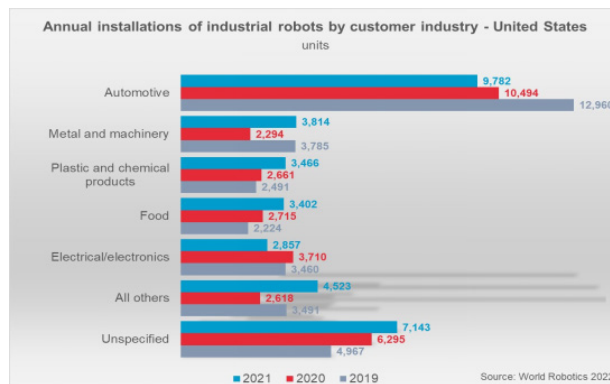


图8 美国工业机器人用户领域需求（单位：千台）

装机数量连续四年下降之后，韩国在2021年的装机量达到31083台，同比增长2%，为全球第四大工业机器人市场。韩国的半导体、电子产业在全球具有很强的优势，汽车产业也有一定规模，在这些行业的驱动下，韩国工业机器人密度位居全球第一位，2020年为制造业每万人921台，远远高于第二位新加坡，605/万人和第三位日本，390/万人。目前韩国工业机器人保有量为366227台，同比增加7%。

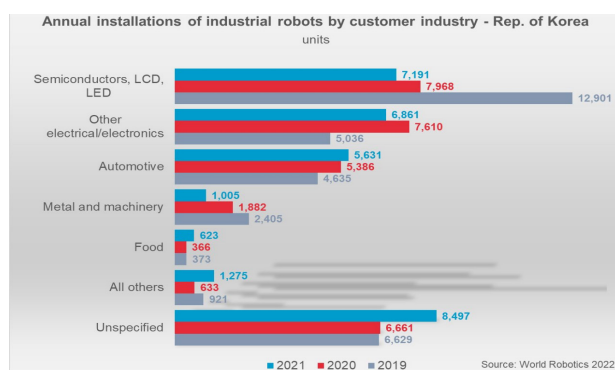


图9 韩国工业机器人用户领域需求（单位：千台）

2021年，德国工业机器人装机数同比增长6%，达到23777台，为历史峰值2018年之后第二高点。2018年德国汽车工业经历了一轮大规模投资，拉动工业机器人装机量达26723台。2021年德国工业机器人保有量为245908台，同比增长7%。2021年出口22870台，同比增长41%，已超过疫情前水平。

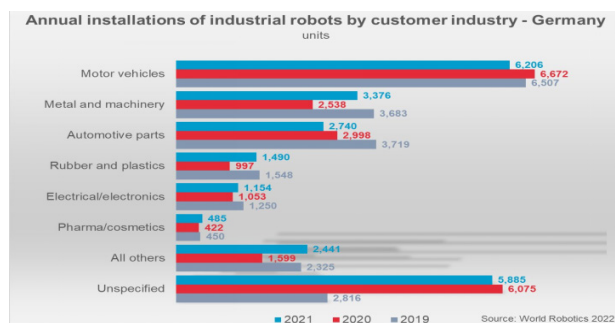


图10 德国工业机器人用户领域需求（单位：千台）

2021年，全球经济面临着诸多难题，包括能源价格居高不下，原材料和电子元件供应链紧张，地缘政治的不确定性，新冠疫情对商业活动与交流的限制，劳动力紧缺等，但这些问题却为工业机器人领域带来了更广的发展空间，市场需求创新高。中国需求的快速增长势头尤为瞩目，并且，在2021年年底，中国工信部、发改委、科技部等15个部门印发《“十四五”机器人产业发展规划》，部署了从技术提升、应用拓展等多层面推动机器人产业高质量发展方向。可以预期，中国作为最大的工业机器人消费市场，未来将继续成为全球机器人产业发展重要的推动力量。

中国机器人产业联盟预计中国2022年市场将实现8-10%的增长，与此同时，IFR预计，2022年全球工业机器人市场增长10%。2022至2025年间，年增长率在5-7%之间。□

注1：金属及机械制造业包含：黑色金属冶炼和压延加工业、有色金属冶炼和压延加工业、金属制品业、通用设备制造业和专用设备制造业

资讯

交大智邦、宁江机床、华中数控合作研制轿车动力总成生产线已在上汽通用投入使用

上海交大智邦科技有限公司联合四川普什宁江机床有限公司、武汉华中数控股份有限公司等单位研制的国产装备轿车动力总成加工生产线，已在上汽通用汽车有限公司投入使用。12月6日，央视新闻频道《焦点访谈》栏目报道了系列科技成果转化成为现实生产力的典型案例。汽车动力总成加工领域的国产力量，正在不断进行科技创新，实现加工的高可靠、高效率、高质量、高柔性。

上海交大智邦联合宁江机床、华中数控等研制的这条轿车动力总成加工生产线，由5台PT-50卧式加工中心和多台关节、桁架机械手组成，其中OP30/OP50/OP90三道工序的卧式加工中心配套华中HNC-848D高档数控系统。从数控系统、电主轴到工装夹具、刀库，国产化的功能部件组成的高端加工中心完全能够满足高档汽车动力总成的加工需求。

动力总成是汽车的“心脏”，包括产生并传输动力的发动机、变速箱、差速器等核心功能部件。近年来，

在国家重大科技专项的支持下，汽车动力总成生产领域形成了一批“精密卧式加工中心及柔性制造系统”等代表性装备产品，在关键技术创新、首台套示范应用上取得重要突破。

汽车制造是高端数控机床最大的用户行业，生产发动机零件的高端数控机床，对工艺性能要求极高，具有高可靠、高柔性、高效率、高质量等大批量加工要求，几乎涵盖了车、铣、钻、铰、镗、磨等全部切削加工技术，是智能制造、互联网+等革新技术高度集成的高端产品应用典范。

在当今国际形势复杂多变的背景下，国产数控机床和国产数控系统的应用不仅会成本更低，还将大大减轻依靠进口设备可能面临的风险。面对未来更加广阔的市场空间，华中数控作为国产数控系统领军品牌，还将持续加大科技创新投入，与机床厂和行业用户“深度融合、联合攻关”，将国产装备“连点成线”，实力诠释“用中国大脑装备中国制造”。（武汉华中数控）



10月10日，中国机床工具工业协会公布了“关于2021年度中国机床工具工业协会先进会员（十佳）的表彰决定”，共20家会员企业榜上有名（含10家“自主创新十佳”，10家“产品质量十佳”）。此次评选工作克服了疫情、高温等重重困难，在行业企业和用户企业的共同支持下，按照《机床工具行业先进会员（十佳）评定管理办法》的规定，经过材料申报、形式审查、专家初评、用户使用效果调查、专家合议、专题会议审议、公示等环节，完成了全部评选流程。

评定结果正式发布后，在业界引起了高度关注。为了更好地宣传这些先进会员企业，协会传媒部针对十佳企业及其产品组织了专题宣传报道，以协会行业发展部提供的资料为素材，经与相关企业确认后在协会主办的全媒体平台公开发布，供业界参考。

2021年度自主创新十佳（以企业名称汉语拼音首字母排序）

北京精雕科技集团有限公司 JDMR600精雕高速加工中心
常州市新墅机床数控设备有限公司 D100A-12-VDI40U 模块化高速伺服动力刀架
大族激光科技产业集团股份有限公司 RDC 卷料激光切割自动生产线
华辰精密装备（昆山）股份有限公司 MK84125 高速精密数控轧辊磨床
济南二机床集团有限公司 XH2412G×80 轨道辙叉数控高效龙门铣床
纽威数控装备（苏州）股份有限公司 汽车发动机高效加工卧加自动生产线
四川普什宁江机床有限公司 NJ-K084小直径油泵柱塞组件数控精密旋合装备
苏州电加工机床研究所有限公司 SE-WK007数控电火花精密微孔加工机床
浙江金马逊机械有限公司 超薄壁高精度系列弯管装备
株洲钻石切削刀具股份有限公司 ZSD 径向力双重平衡型浅孔钻系列刀具

2021年度产品质量十佳（以企业名称汉语拼音首字母排序）

长春禹衡光学有限公司 HKD 高精度高分辨力绝对式光栅旋转编码器
广东凯特精密机械有限公司 CP25 气压钳制器
广州数控设备有限公司 GSK988TA 车削中心数控系统
汉江工具有限责任公司 10/20/22系列 高精高效齿轮刀具
湖南中大创远数控装备有限公司 YKA2260 全数控螺旋锥齿轮铣齿机
江苏亚威机床股份有限公司 AMS.HS-30510 板料冲剪自动化加工生产线
科德数控股份有限公司 KMC600S U 高动态五轴联动立式加工中心
宁波海天精工股份有限公司 GLU13Ⅱ×30 定梁龙门加工中心
秦川机床工具集团股份公司 YKZ7230 数控蜗杆砂轮磨齿机
陕西诺贝特自动化科技股份有限公司 OBOT-DA25 双主轴数控排刀机床

/ 2021自主创新十佳 /

北京精雕科技集团有限公司

JDMR600精雕高速加工中心

一、产品亮点

JDMR600系列高速加工中心由北京精雕科技集团有限公司独立自主开发，是一款适用于大型精密模具和金属批量加工的五轴高速加工中心。产品创新性地将“在机测量和智能修正”技术集成于JD50数控系统和精雕CAD/CAM软件中，一方面成功解决了精密加工过程的精度不匹配问题，消除了人工操作的误差，提高了加工精度；另一方面改变了传统离线检测的方式，使生产过程得以稳定和连续。虚拟加工技术在计算机中全面镜像加工的物理环境，通过软件端模拟，实现工艺要素优化，提升工艺过程的安全性和一次加工的成功率，有效减少了由于反复试加工而造成的时间和材料浪费，大大降低了生产成本。上述两项技术均为行业首创，有助于开创机械加工新模式。



二、产品结构特点及技术创新点

1. 结构特点

JDMR600精雕高速加工中心采用动梁龙门结构，配摇篮式双轴转台，A轴转台采用两端同步驱动技术，机床负重能力达400kg。双驱技术由北京精雕率先在国内使用，

获得了国家发明专利授权。这是一项涉及结构设计、制造、安装、控制技术等方面的高端技术，是研发大型机床的前提，也是提高机床性能的重要措施。转台A、C轴均配有抱闸机构，保证定位加工时转台刚性，有效提高了机床的加工精度；机床的顶门可开启，方便使用天车进行重型工件上下料。

2. 技术创新点

(1) 应用“在机测量和智能修正”技术，实现“制检合一”的自动化连续生产过程管控。

“在机测量和智能修正”技术是一项北京精雕独创的高新技术，应用于精雕精密加工中心。通过精准测量和过程管控，替代传统的离线检测方式，为解决工件装卡和过程检测问题提供了新的方向，实现了制检合一的制造模式，促进工厂检验向智能化转变。该技术保证了加工中心测量精度的准确度和稳定性，助力切削工艺的智能化，大幅提升了生产良率和品质管控效率。该技术入选“2018年中国智能制造十大科技进展”。

(2) DT编程技术助力虚拟加工平台的建设，提高五轴工艺开发效率。

DT编程虚拟制造技术平台是由北京精雕自主研发的，融合了精雕CAD/CAM软件、虚拟加工技术、JD50数控系统等技术，以及机床、刀具、夹具等各种生产要素，具备零件夹具模型设计、加工轨迹规划、刀具优选、加工参数优选、加工仿真分析、可制造性分析等虚拟加工功能，是数字孪生技术的完美呈现。它通过构建与真实现场一模一样的数字化仿真环境，进行五轴工艺的线上开发与优化，提高五轴工艺开发效率，同步引入现场管理技术，不仅可以避免各种风险损失，还使得各项工作同步进行，很好地提升加工制造效率。

该技术创新性地改变了传统的加工试制过程，减少反

复的人工操作，在提质增效的同时减少材料的浪费，实现绿色、节能制造。操作人员通过在电脑前的模拟操作便可完成整个加工流程的模拟，创造了全新的制造业加工模式。

(3) 刀具断刀在机监测系统，降低加工风险，提高生产效率。

在JDMR600精雕高速加工中心中应用了刀具断刀在机监测系统，该系统为北京精雕自主研发，可在机实时监测和判断切削过程中的刀具状态，并准确记录刀具的断刀时间，有效解决长时间加工过程中，操作人员无法及时判断刀具是否断刀的问题，帮助客户降低加工风险，提高生产效率。

(4) 工业设计理念根植于机床整体设计过程，提升品牌影响力。

项目在整个设计过程中，深入贯彻北京精雕的工业设计理念，从美学效果、人机工程和环保性等角度出发，进行该机的设计。从美学角度，机床采用圆润充盈的外观，体现了五轴高速加工中心加工复杂曲面的特长，律动的线条象征高精密加工平稳流畅的特点。从人机工程角度，根据目标用户的人体测量数据，设定控制台、工作台和观察视窗等要素的位置，减少使用者的身体运动和疲劳感，并设计了多个检修门，满足加工和全面维护的需求。从产品的环保性角度，采用全封闭护罩，隔绝加工过程中产生的油雾和噪音进入外界环境，油雾分离系统集中收集油雾，保证使用者的身体健康，护罩表面采用环保喷塑工艺，使外表面历久弥新。

(5) “ μ 级管控”的质量管控理念，提升产品的设计制造精度。

北京精雕的主要加工工艺和国际领先水平没有本质区别，主要区别在于生产管控。为了满足精密加工中心的生产要求，北京精雕结合公司发展战略和产品特点，创新性地提出了“ μ 级管控”的质量管控理念，并面向产品设计、工艺研发、生产制造过程进行全面推广实施，对产品性能和品质保证起到关键作用。

(6) 强大的应用技术支持能力，为产品长远立足于市场提供根本支持。

北京精雕在20多年的发展中，始终把顺应市场，挖掘市场及客户需求作为企业经营目标，不但认真地做好机床，而且还下大力气去研究精密加工技术的应用；不仅为客户提供细致的技术方案，还使用优质资源来确保技术方案和设备能在客户处落地，真正推动精雕客户的发展，从而赢得客户的信任，为精雕产品长远立足于市场提供了根本支持。

三、围绕该产品所开展的技术创新工作

在与客户沟通过程中，北京精雕发现，客户在中大型工件精密加工方面具有很大的需求，尤其随着汽车等工业领域

的不断发展，这一需求更加迫切。北京精雕为了满足客户需求，丰富精雕高速加工中心的产品系列，拓宽应用领域，立项开展了JDMR600五轴高速加工中心的研究工作。

北京精雕十分重视该研发项目，组建了包括机械、数控、软件等领域的高精尖人才研发团队，从结构设计、工艺优化、配件选型、软件匹配等多方面入手进行机床研发，并在研发过程中利用已有先进的检验检测仪器和试验设备，反复进行试验论证，进行了机床振动测试、刀库跑合测试、机床样件加工检测等试验，确保机床加工精度和稳定性达到要求。在加工和装配过程中，采用高精度的数控铣床、数控加工中心等设备，利用激光干涉仪、动平衡分析仪、球杆仪等高精度高分辨率的设备来保证机床整体可靠性。

项目团队还应用“在机测量和智能修正”技术，通过精准测量和过程管控，替代传统的离线检测方式，为解决工件装卡和过程检测问题提供了新的方向；应用虚拟加工技术，同步引入了现场管理技术，极大提升了加工制造效率，规避了加工过程中的风险；自主研发了断刀检测系统，并实现了在机床上的应用。另外，为了符合高端机床的要求，项目组将工业设计理念贯穿在整个设计过程中，不仅设计了全新的机床外观，而且从人机工程角度出发对机床进行了布局规划，同时兼顾了环保要求。

四、产品应用领域及应用效果

该产品被应用于模具加工、汽车零件制造等领域，客户的产品质量和生产效率显著提高，获得了认可。研发成功投放市场两年后，累计实现销售收入约5000余万元，用户主要分布在长三角、珠三角及京津冀地区。随着用户对机床复合加工能力、加工精度、加工效率要求的不断提升，以及对国内机床产品认可度的提升，相信JDMR600系列高速加工中心产品凭借其优良加工性能，市场需求量和占有率将不断提高。□



| 2021自主创新十佳 |

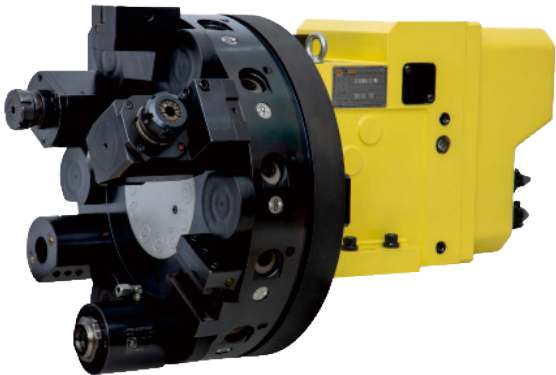
常州市新墅机床数控设备有限公司

D100A-12-VDI40U 模块化高速伺服动力刀架

一、产品亮点

常州市新墅机床数控设备有限公司开发的VDI轴向伺服动力刀架是高档数控车削中心的重要部件。配套VDI动力刀架的机床，工件一次装夹可完成圆周面的车、铣、镗、钻孔、铰孔、攻丝等多种工序，可较好地保证零件加工精度和加工效率。

VDI轴向伺服动力刀架具有结构紧凑，布局合理、外形美观的特点。产品采用模块化、系列化设计开发模式，可靠性高，可适应用户不同规格、不同种类的动力电机、VDI动力刀座与刀具型式，通用性强，DIN1809/5480及端齿型刀柄可进行快速模块化切换。刀架转位采用伺服电机驱动，换刀速度快，相邻刀位换刀仅需1.0s，可完成4、6、8、12、24等分的分度功能。定位精度高，重复定位精度可达1.6"（0.002mm）。液压锁紧机构，加工刚性好，可靠度高。动力传动结构内部采用独特的中心大过渡轴承齿轮，传动路线最快捷，整机噪音小。动力采用1:1齿轮传动，加工刚性强，最高转速可达6000r/min，加工适应范围广。产品安装连接符合国际标准，VDI刀柄型式的刀座接口，满足国际通用要求。



二、产品结构特点及技术创新点

1. 结构特点

（1）整个传动系统采用稀油润滑结构，在连接底板和盖板之间形成较大的储油空间。有稀油润滑的传动系统无论在降噪、传动稳定性还是使用寿命上都得到了极大的改善。

（2）轴系支撑采用简支梁结构，这种结构比安装单个深沟球轴承更加稳定。滚针轴承有专门的润滑油路。

（3）大过渡齿圈做成组装式的轴承，采用特制的滚针轴承保持架，因此轴承运转比较稳定，降噪效果明显。

（4）驱动齿轮与传动轴采用渐开线花键传动方式，内外花键采用齿侧面定位，这样与刀座接口连接后，传动轴在驱动齿轮里可以偏离回转中心摆动，从而消除了刚性连接造成的干涉噪音。

（5）液压离合器的密封结构，采用格莱圈和O型圈密封，避免了各装配面的渗漏；离合器和离合油缸只有安装基准轴线，两者安装后更容易保证同轴，从而离合油缸的可靠性也大大提高；离合油缸及离合器安装比较方便，但结构依然非常紧凑。

2. 技术创新点

（1）开发融合可靠性综合设计的伺服动力刀架模块化系列设计技术

根据市场调研和主机企业的需求数据，归纳整理各类规格刀架的性能指标和功能要求，建立刀架的功能模块体系，开发伺服刀架和伺服动力刀架的模块化设计技术，编制伺服刀架和伺服动力刀架的系列型谱，并在设计过程中融合可靠性综合设计技术，保障产品的固有可靠性，提高市场响应速度，实现国产伺服动力刀架模块化系列化设计。

（下转第53页）

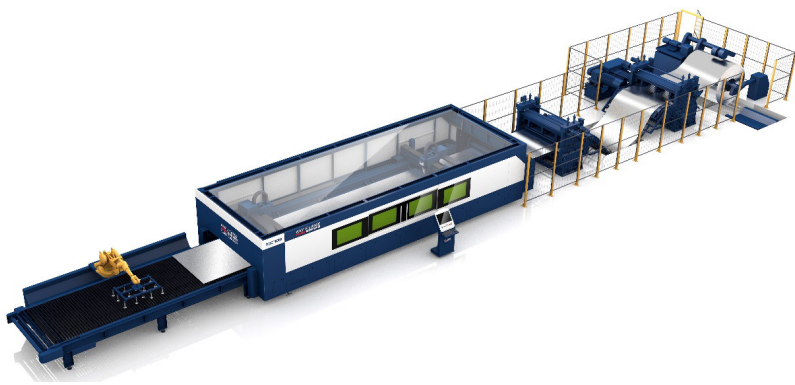
/ 2021自主创新十佳 /

大族激光智能装备集团有限公司

RDC卷料激光切割自动生产线

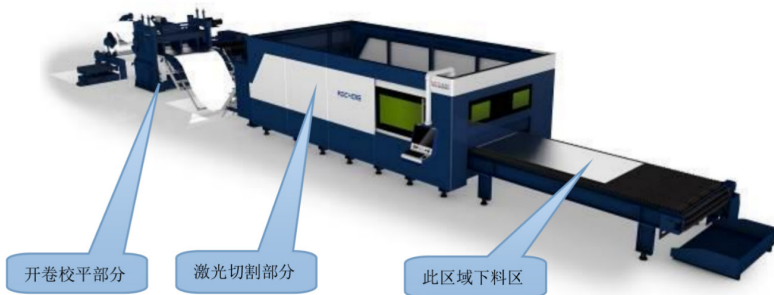
一、产品亮点

RDC卷料激光切割自动生产线具有“柔性和快速加工”特性，将卷料开卷和光纤激光切割结合在一起，进行快速在线切割和不间断高效切割，实现柔性化生产，提高板材利用率，替代了传统的金属模具，同时满足定制化小批量生产客户的需求，可缩短生产周期、节约生产成本。



二、产品结构特点及技术创新点

1. 产品结构特点



(1) 卷料切割生产线主要由CAD/CAM编程系统、自动开卷、校平系统、伺服自动送料、激光切割系统组成，可实现按计划运转，具有高效率、高精度、低成本、操作方便的特点，大大提高了生产效率，减轻劳动力负担，降低生产成本，减少占地面积，是一种新型的加工方式，在金属板材加工方面有着广泛的应用，特别是在汽车制造等多个领域具有重要意义；

(2) 从生产排程、排版编程到原材料存储、原材料上料、切割、切割后工件及废料的转运，实现自动化和按计划加工；

(3) 从开卷到切割高效转运，根据工件类型不同可实现同步切割，也可送进后切割，加工后的成品件，能自动下料码垛；

(4) 配备自动开卷装置、自动送料装置、切割系统、下料系统；能够与生产系统进行对接，执行生产计划，实现高效生产管理。

2. 技术创新点

(1) 单/双头在线切割，切割时间更短，效率更高；

(2) 双头异步在线切割，复杂工件一次加工成型，材料利用率最大化；

(3) 生产任务扫码录入，实现工件的快速加工；

(4) 余料切碎功能，尾料回收更加便捷；

(5) 打标、切割一体化，打标/切割同步进行；

(6) 机械手自动下料码垛系统；

(7) 无划伤随动切割，实现板材无损切割。

卷料激光切割生产线将卷料开卷与激光切割相结合，改变了传统的加工模式商业群，将成品的生产可以前移至钢材配送商，同时也提高

生产效率、减少板材搬运成本。该项技术成功突破后，有效满足钢材配送、汽车制造、厨具、办公家具等行业的应用需求。

三、围绕该产品所开展的技术创新工作

(1) 培养高素质的创新型技术人才，加强对卷料激光切割生产线相关人员的技术培训与提升。

(2) 加大科技创新投入，为卷料激光切割生产线的技术创新、研发提供财力支撑。

(3) 组建一支专业的卷料激光切割生产线研发与生产团队，组织和动员高校的科技人员开展多元化的创新服务，精细化深耕行业市场需求，拓宽行业应用。

大族激光持续研发和创新激光切割技术，深研行业、对话市场，向智能自动化、数字化、柔性化发展，应对行业高效率、高精度、高品质、低成本的压力与挑战，满足用户个性化定制需求，不断为客户提供“先进装备+激光技术”价值服务。

四、产品应用领域及应用效果

1. 应用领域

产品适用于汽车零部件、机箱机柜、家具家电、橱柜厨具、防火防盗门窗、电梯、航天航空、游艇、国防、工程机械、机车、农林机械、家用电器、粮食机械、纺织机械、工具加工、石油机械、装饰广告、激光对外加工服务等各种机械制造加工行业。

2. 应用效果及市场前景

大族激光卷料激光切割生产线不仅解决了板材开卷与加工的问题，而且提效降本，减少生产环节与人工成本，促进金属加工领域各环节灵动快速形成垂直生态链，促进生产智能化、柔性化、自动化，在无需大量追加投资的条件下为新产品开发提供制造解决方案。在智能制造的大趋势与高景气度下，RDC卷料激光切割生产线为金属加工客户加速转型升级，促进智造发展，不断替代传统加工模式，市场需求大且前景广阔。□

上接第51页

(2) 全面实施刀架生产周期的可靠性保障技术

针对伺服刀架和伺服动力刀架的产品特点，系统地开发可靠性综合设计技术；开发基于可靠性试验和故障分析与故障溯源相结合的制造、装配过程可靠性保障技术，制定关键工序的工艺规范和质量检验标准；开发外购外协可靠性保障技术，对电气、液压等外购外协部件实行严格的质量检验和合格供应商管控。将上述各项技术在刀架生产周期的各阶段实施工程化应用，实现对产品可靠性的有效保障。

3. 技术特点

(1) 刀架类型：VDI轴向伺服动力刀架；中心高系列63mm、80mm、100mm、125mm；(2) 刀具最大容量12把；(3) 性能指标：动力刀具最高转速6000r/min、5000r/min、4000r/min、3500r/min；(4) 最高转速下整机噪声声压级指标 $\leq 80\text{dB(A)}$ ；(5) 精度指标：定位精度 $\leq 4''$ 、重复定位精度 $\leq 1.6''$ ；

(6) 可靠性指标：MTBF $\geq 5000\text{h}$ 。

三、围绕该产品所开展的技术创新及产品应用效果

通过对该产品进行大量试验，分析试验结果，及对结构进行改进研究，掌握了刀架各环节的基础理论及可靠性保障技术，掌握了关键零件性能及精度保障技术，研制了关键加工设备及关键零件加工专用工装。从研发到制造、装配、检验，各环节均涉及了关键技术，在可靠性研究方面也积累了丰富的经验。

VDI轴向伺服动力刀架通过可靠性保障技术的应用，有效提升了产品的可靠性指标，市场竞争力大幅提升。产品以高精度、高可靠性的优势赶超了同类产品，在某国产数控卧式车床上进行配套使用。经过严格的测试和试运行，配套该刀架的高端机床均达到机床企业出厂标准。

目前已有越来越多的机床厂开始使用这款动力刀架，且都得到了市场认可。期待在不久的将来，有更多国产动力刀架替代进口同类产品。□



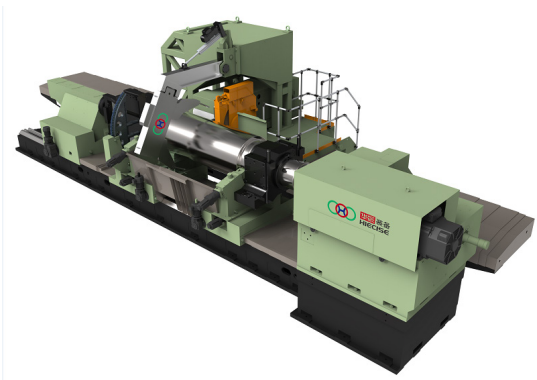
/ 2021自主创新十佳 /

华辰精密装备（昆山）股份有限公司

MK84125高速精密数控轧辊磨床

一、产品亮点

MK84125高速精密数控轧辊磨床是华辰精密装备（昆山）股份有限公司面向国内ESP无头带钢、高强度汽车板、大型船舶（航母）高强度舰板等高端金属板带轧制生产线研制的重大智能精密磨削装备，产品研制了恒温控制高速主轴系统，轧辊磨床行业国际首创高速磨削应用；研发了轧辊磨床三点在位翻转式随动测量系统，实现大型轧辊磨削在位高精度测量与补偿；行业首次研制并应用了重载轧辊磨削专用CBN砂轮，解决了行业高速钢、高镍铬钢、无限冷硬钢等超硬轧辊的高速高精磨削难题。平辊磨削试件精度最高可达：圆度0.0015mm，圆柱度达到0.002 mm/1000mm，高速磨削砂轮线速度80m/s。同时，机床可磨削圆柱形辊面、正弦曲线（中凸、中凹）、抛物线、CVC曲线、高次方曲线、用户自定义曲线辊面，并能自动进行误差补偿磨削，辊型精度最高可达2 μ m/m。产品经2020年度中国机械工业联合会组织的科技成果鉴定，鉴定委员会主任谭建荣院士及鉴定团队一致认为，“项目难度大、创新性强，高速重载精密磨削技术达到了国际领先水平，实现了高端轧辊磨床自主研发与制造，填补了国内高端板带箔材行业核心磨削装备的技术空白”。项目产品先后获得江苏省首台套产品、江苏省科学技术进步二等奖、中国机械工业科技进步一等奖等重大科技奖励和认定。



二、产品结构特点及技术创新点

1. 产品结构特点

高速精密数控轧辊磨床是钢铁及有色金属领域板材、带材轧制产线的核心大型装备，属于金属切削机床，由床身、头架、尾架、托架、拖板（工作台）、主轴系统、测量系统、液压系统及电气数控系统组成，分为承载系统、驱动系统、磨削系统、测量系统、控制系统、安全系统六个子系统。轧辊磨床工作行程通常在2~8m、磨削圆度2~5 μ m/m、辊型精度2~5 μ m/m，磨削效率、自动化程度要求极高。可磨削圆柱形辊面、正弦曲线（中凸、中凹）、抛物线、CVC曲线、高次方曲线、用户自定义曲线辊面，采用数控磨削时，可进行自动测量，自动进行误差补偿磨削，并可显示和打印磨削状态和磨削结果。

2. 技术创新点

创新点1：发明了恒温控制高速主轴系统，保证了轧辊磨削的表面质量与效率；研发了重载服役卸荷导轨、专用偏心套、可变角度B轴等关键部件，保证了轧辊磨床的运动精度；进一步提出了整机性能优化方法，提升了轧辊磨床在各速度域、载荷域下的系统刚性与运行稳定性。

创新点2：建立了轧辊磨床软着陆与自动翻箱系统，研发了在位翻转式测量臂，提出了轧辊随动测量与补偿方法，实现了高光泽轧辊表面弱特征机器视觉检测与智能识别，满足了大型轧辊带轴承箱自动磨削及磨削质量在位测量与补偿的需求，大幅提高了轧辊磨床的自动化程度与智能化水平。

创新点3：提出了重载轧辊磨削专用CBN砂轮精准化设计方法，开发出面向“装备-砂轮-工艺”成套测试及应用的数字化平台，建立了面向各类轧辊材料（高速钢、高镍

铬钢、无限冷硬钢等)的CBN砂轮配方体系,并在国内多家重点钢铁企业得到应用与推广。

2019年12月经国家机床质量监督检验中心权威检测,各项技术指标符合标准规定要求,X轴定位精度 $\leq 0.0063\text{mm}$;重复定位精度 $\leq 0.0038\text{mm}$ 。轧辊磨床平辊磨削试件精度达到:圆度 0.0015mm ,圆柱度 $0.002\text{ mm}/1000\text{mm}$,高速磨削砂轮线速度 80m/s 。

三、围绕该产品开展的技术创新工作

创新是企业健康发展、做优做强的驱动力和基础,企业只有不断进行产品、技术、工艺、管理等方面的创新,才能在众多的竞争对手中保持竞争优势。公司从成立伊始就不断进行和持续完善企业创新管理体制建设,实施自主品牌战略和知识产权战略,自主品牌汇峰(华辰)牌数控轧辊磨床获得江苏省名牌产品认定,公司累计注册8项商标;注重知识产权保护,鼓励员工发明创造,已获得知识产权89项,其中发明33项,实用新型45项,外观专利1项,软件著作权11项。先后制订了高于国家标准的企业标准“全自动高精度数控轧辊磨床精度检验”、“工作台移动式高精度数控轧辊磨床精度检验”。公司通过中国质量认证中心组织的质量管理体系认证,严格按照体系生产,从设计开发、生产制造、采购供应到售后服务整个过程实现全面质量管理,为公司产品销售、创建名牌产品保质保量。企业建立独立的财务核算体系,规避风险,保证资金合理高效的使用。

2017年,公司联合清华大学和昆山华辰新材料科技有限公司,针对轧辊磨床关键功能部件研发与整机集成、轧辊磨床自动化与智能化关键技术、高效CBN专用砂轮开发等进行联合技术攻关,最终完成了项目产品的研发和产业化应用,磨削精度及磨削效率相比原来产品有大幅度提升,在行业里实现了迅速推广和示范应用。产品技术性能指标全面达到或赶超国际同类产品高端品牌,处于国内先进水平,树立了国产高端数控轧辊磨床的标杆;彻底打破了我国钢铁领域高端轧辊磨床严重依赖进口的局面,实现了高端轧辊磨床的进口替代,为中国钢铁企业转型升级以及“补短板”提供了有力保障。项目产品先后获得江苏省首台套产品、江苏省高新技术产品、江苏机械行业科技进步特等奖、江苏省科学技术进步二等奖、中国机械行业科技进步一等奖等重大科技奖励和认定。

四、产品应用领域、应用效果及产业化前景

1.产品应用领域

项目产品是国内ESP无头带钢、高强度汽车板、大型船舶(航母)高强度舰板、不锈钢、电工钢、硅钢等高端金属板带轧制生产线大型成套装备中的关键设备,主要用于高端金属板材、带材轧制产线对轧辊表面以及精度的磨削修复。

2.应用效果

产品经山东钢铁集团有限公司生产线试用,满足用户的使用要求,取得了高精密的磨削效果,填补了国内高速精密数控轧辊磨床制造的空白。山东钢铁、首钢集团、宁波钢铁、日照钢铁、扬州恒润等用户先后对产品给予了充分肯定。2015年山东钢铁集团有限公司在新建日照钢铁精品基地一期项目建设中,对公司技术方案论证和现场考察不久后,就迅速签订1台项目产品。2017年3月分别与首钢京唐钢铁、日照钢铁各签订了2台项目产品。2018年5月在河钢集团1000万吨乐亭钢铁沿海精品钢铁基地项目上,一举中标5台高速产品和1套磨辊间管理系统,已于2020年11月完成验收,设备已经陆续投产,磨床功能及精度接近进口水平,使用状态良好。2019年2月,公司与宁波钢铁签订1台项目产品,2020年1月,又与扬州恒润签订5台产品(其中高速磨削4台)。进一步打开国内ESP无头带钢、高强度汽车板、大型船舶(航母)高强度舰板、不锈钢、电工钢、硅钢等高端板材市场。产品的先进性和可靠性得到客户的充分验证,项目产品技术成熟可靠。

3.市场及产业化前景

项目目标产品为国内ESP无头带钢、高强度汽车板、大型船舶(航母)高强度舰板、不锈钢、电工钢、硅钢等高端金属板带轧制生产线大型成套装备中的关键设备,主要用于高端金属板材、带材轧制产线对轧辊表面以及精度的磨削修复。随着我国钢铁产业精密板带轧制线的不断转型升级和技术改造,项目市场前景广阔。

随着国内高精密金属板带制造行业大面积加快结构调整的步伐,目标产品将迎来需求增长、销售上升、规模化效益突显的黄金时期。在可以预见的时期内,目标产品将处于产品经济寿命的成长期。公司将抓住这一契机,加快目标产品的产业化步伐,有信心也有能力凭借领先的技术、优良的价格和周到的服务赢得更大的市场。□

| 2021自主创新十佳 |

纽威数控装备（苏州）股份有限公司

汽车发动机高效加工卧加自动生产线

一、产品亮点

汽车发动机高效加工卧加自动生产线由45台HE系列高效卧加组成，并配备9条桁架自动线。桁架配备超精密、低噪音的直线驱动模块结构，桁架定位精度小于 $\pm 0.05\text{mm}$ ，保证自动线的高效、稳定、流畅运行。自动线总长度340米、输送线长度130米、单件换料时间小于76秒，可满足30万件的年产量要求。自动线线内配翻转机构、直线料仓、抽检工位、清洗工位、激光打码。采用工厂级MES实现车间状态监控、程序管理、车间看板管理等，实现数字化、智能化生产管理。



图1 汽车发动机高效加工卧加自动生产线

二、产品技术特点

HE系列高效卧式加工中心作为一款专门面向汽车发

动机缸体缸盖行业开发的高端机床，具有底座高刚度、移动立柱轻量化等特点，具备高效率、高精度、高稳定性等特征。

该系列化产品采用模块化设计理念，基于平台化设计原则，采用通用型床身和立柱，综合兼容B轴转台、A轴转台、五轴转台、机械主轴、电主轴的配置，提高各种配置之间的通用性、兼容性，提高了综合效率。

HE系列高效卧式加工中心主要技术参数如下：

表1 HE系列高效卧式加工中心主要技术参数

项目	参数	项目	参数
快移速度	60m/min	转台回转定位精度	8"
加速度	0.6G	转台回转重复定位精度	5"
三轴定位精度	0.005mm	T-T换刀时间	2.25s ($\leq 25\text{kg}$)
三轴重复定位精度	0.003mm		1.6s ($\leq 10\text{kg}$)

HE系列高效卧式加工中心主要技术特点如下：

1. 基于通用型开发平台，对转台、主轴、冷却等功能部件以及防护部件进行模块化设计，实现功能模块的任意组合，满足客户自动线组线时不同配置的需要；
2. 机床立柱采用高低轨结构的轻量化设计，实现了60m/min的快移速度及0.6G的加速度快速响应；
3. 机床Z轴采用双驱动、双排屑结构，使机床具备大流量冲洗的能力，可及时快速地将机床加工产生的铁屑排

出机床，确保机床能够24小时不停机，具备连续、稳定的加工能力；

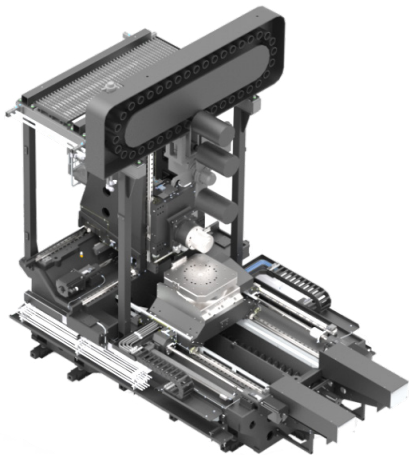


图2 HE系列双驱、双排结构卧式加工中心主机结构

4. 机床采用双层钣金防护结构，确保机床在进行大流量冲屑时切削液的零泄漏，满足现代化生产车间环保需要；同时将外层防护设计为活动、可拆卸式的结构形式，便于用户进行快速维护；

5. 机床采用高性能的污水回收装置，及时将机床内部的废屑废液抽取，并通过空中走管的方式输送到污水处理中心进行集中处理，实现切削液的循环利用，体现了绿色、环保、节约的设计理念。

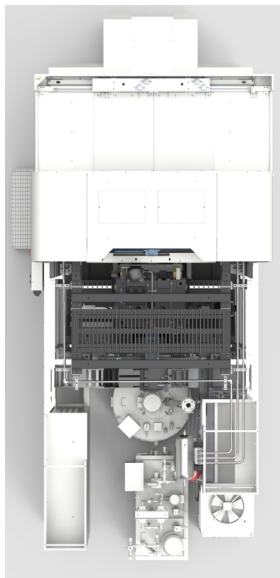


图3 HE系列高效卧式加工中心后侧污水回收装置

三、产品生产及质量控制

适应自动线组线机床大批量生产、多样化配置以及快速交付的需要，在提高产品性能的同时，变革产品生产理念、创新质量控制方式、优化生产组织流程，为产品性能提供有力保障。

1. 产品生产理念方面，将通用化、模块化的产品理念贯穿至设计和生产环节，实现机床关键零部件的批量化生产、流水线装配，降低生产制作难度，提高生产组织效率；

2. 质量控制方式方面，变传统的“入厂检验”模式为“驻厂检验”模式，零件实现入厂即安装，实现快速流转；机床功能部件在进行流水线生产的同时，实现快速检验，快速流转，提高了整机交检的一次合格率；

3. 生产组织流程方面，按照协调统一的生产组织表，产品在流水线化生产的同时，有序进厂，有序安装，有序交付。



图4 HE系列高效卧式加工中心机床生产现场

四、HE系列机床与自动线组线应用

机床与桁架自动线等运输执行机构进行连线加工，采用桁架机械手结构，进行了顶部上下料的结构布局，同时从系统通信、加工调度、维护保养等各个方面进行协调，以提升机床组线的加工效率和产品的稳定性。该加工自动线主要适用于箱体类零件的复杂孔系及表面加工，移动部件可实现高速运动，动态响应快，大幅提高机床的生产效率，是面向中国制造未来发展的高端装备。□

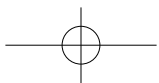
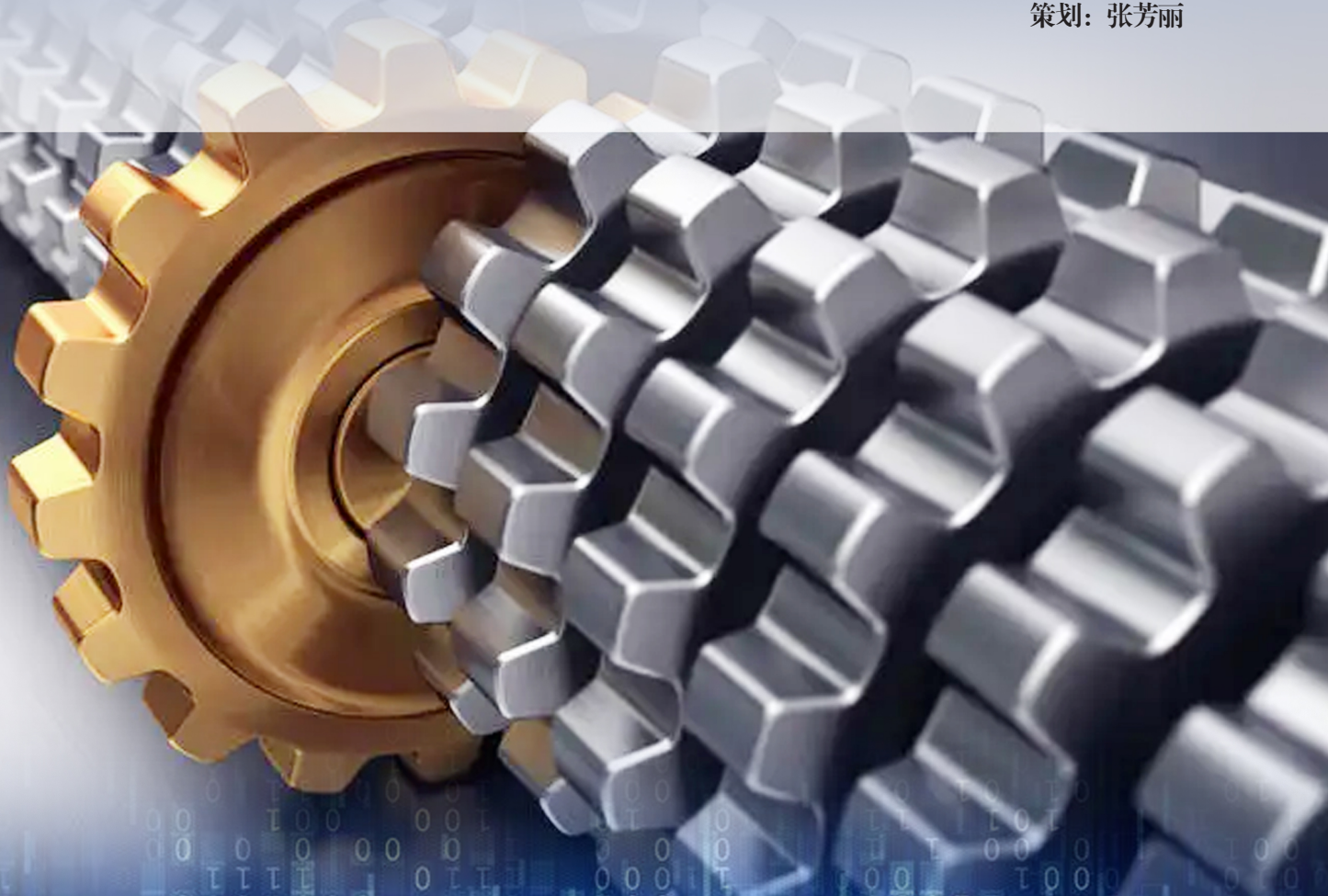


专精特新“小巨人”企业专题

【编者按】9月19日，国家工信部发布的《专精特新中小企业发展报告（2022年）》显示，第四批专精特新“小巨人”企业认定通过4328家，数量接近前三批认定通过的企业数之和。至此，国家级专精特新“小巨人”企业认定数量累计已达8997家。

在第四批名单中，成都工具研究所有限公司、浙江畅尔智能装备股份有限公司等数十家机床工具企业上榜。为了更好地宣传报道这些专精特新“小巨人”企业，中国机床工具工业协会传媒部面向第四批上榜企业征集了宣传素材，并收到十余家企业的积极响应。这些素材经编辑整理后将在协会主办的全媒体平台（微信公众号、网站、报纸、杂志等）陆续发布，供业界参考。

策划：张芳丽





专精特新“小巨人”企业将有效助推行业高质量发展

中国机床工具工业协会传媒部 张芳丽

9月19日，国家工信部发布的《专精特新中小企业发展报告（2022年）》显示，第四批专精特新“小巨人”企业认定通过4328家，数量接近前三批认定通过的企业数之和。至此，国家级专精特新“小巨人”企业认定数量累计已达8997家。

相信业界已注意到，在第四批名单中，成都工具研究所有限公司、浙江畅尔智能装备股份有限公司等数十家机床工具企业上榜。为了更好地宣传报道这些专精特新“小巨人”企业，中国机床工具工业协会传媒部面向第四批上榜企业征集了宣传素材，并收到十余家企业的积极响应。这些素材经编辑整理后将在协会微信公众号、网站、报纸、杂志等全媒体平台陆续发布，供业界参考。

通过梳理企业来稿发现，第四批专精特新“小巨人”企业大多具有以下共同特点：专注细分领域市场、做精主业和主打产品；注重企业自主创新和持续投入，并取得可喜成效；重视人才队伍培养，关注梯队建设，拥有良好、合理的人才结构。因此，大多企业具有较好的成长性和可持续发展基础。

一、以优质产品赢得用户信赖

深耕主业、精准定位细分市场是专精特新企业的共同特点，而良好的产品质量是企业生存和发展的基础，唯有抓好产品质量才能赢得用户的信赖和市场口碑。这些专精特新“小巨人”企业在专注用户服务和管控产品质量等方面有诸多好的做法可供借鉴和参考。

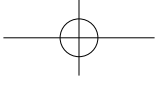
安徽新诺精工股份有限公司的前身黄山皖南机床有限公司（原上海第七机床厂）始建于1928年，近10多年深耕加工中心产品市场，发展成为自主研发立式、卧式和龙门加工中心，数控铣床及数控车床等系列产品的国家高新技术企业。公司狠抓产品质量，核心业务采用ERP/OA、CRM、SRM、PLM等信息系统支撑，以数字技术赋能提质增效。为了提高产品竞争力，新诺持续提升产品可靠性和性价比，为客户提供更灵活的配置选择，以及相关功能的微定制、微迭代服务，并持续打磨一体化机加工和自动化解决方案能力，最终以高可靠性的产

品解决客户实际需求。

陕西诺贝特自动化科技股份有限公司成立于2011年，是一家专业从事中高端精密数控机床及自动化设备研发、生产、销售和服务的高新技术企业，为客户提供数控设备成套化解决方案。公司于2018年通过ISO9001质量管理体系认证，研发的卧式加工中心KHC1300和刀塔车床TX80S被认定为2021年度陕西省重点新产品，并以OBOT-DA25双主轴数控排刀机床获得2021年度中国机床工具工业协会先进会员企业称号（质量十佳）。

济南奥图自动化股份有限公司成立20多年来，紧跟新材料、新工艺的发展，不断了解和探索客户需求，对标国际先进水平，持续研发出解决客户痛点、满足甚至超越客户预期的各类自动化产品。奥图一直奉行真正为客户创造价值的原则，苦练内功，从研发、设计、生产、调试、交付到售后，持续以匠心优化每一个环节。在为客户赋能的同时，自身也得到了长足发展。

浙江畅尔长期专注高端拉床研制，定位于以高端装备替代进口。创



立20年来深耕细分市场，不断加码科技创新，致力于我国“卡脖子”技术难题攻关和国产化拉床的研制。产品主要用于航空航天、汽车、家电等领域核心零部件的精密加工，技术水平达到国内领先，部分达到国际先进。畅尔在聚焦主业的发展过程中，瞄准优势和趋势，拓展边界；在潜心主业的同时，对标国际，集中攻关航空装备。

安徽力成智能装备股份有限公司创办19年来，专注于轴类零件及等速万向节制造细分市场，拥有智能搓齿机、高效车削单元、汽车等速万向节专机、精密磨床及自动化连线等8大类100多种产品，广泛服务于汽车、摩托车、工程机械、纺织机械、五金家电、水暖阀门等行业用户。近两年，尽管受疫情反复、原材料涨价、国际物流受限等不利因素影响，力成专机积极拓展新能源汽车领域用户，契合用户实际需求，主营业务收入平均增长率仍达34.3%。

力鼎智能装备（青岛）集团有限公司深耕机械制造领域近20年，不断聚焦细分行业，为新能源、商用车、乘用车、农用车、工程机械等行业客户提供智能一体化产线及交钥匙产品。他们坚持以技术立足、品质致胜的产品理念，融合国内外先进技术，专注于为客户提供高质量产线，致力于成为智能产线优秀提供者。

深圳市威远精密技术有限公司创立28年来，坚持以滚压滚珠丝杠副为主导产品的经营方向，心无旁骛专注做丝杠，走出了一条国产化道路，为推动行业发展，为国产替代进口做出了显著贡献。

超同步股份有限公司以全系列交流伺服电机、交流伺服驱动器、电主轴、伺服刀塔、直驱转台等机床功能部件为主打产品，同时研制五轴机床、车铣复合机床等高端智能装备。

企业多项核心技术处于国际先进水平，关键产品可部分替代进口同类产品。坚持以优质产品服务于智能装备制造、工业机器人、新能源汽车等领域。

二、以持续创新稳固发展基础

自主创新为企业良性发展提供了原动力，持续的研发投入为创新注入源源不断的活水。这些专精特新“小巨人”企业多在创新研发方面进行大量持续投入，也因此取得丰硕成果，这些成果将为企业后续可持续发展奠定坚实基础。

成都工研所是国家高新技术企业，同时也是“国家精密工具工程技术研究中心”、“四川省企业技术中心”、“精密工具生产力促进中心”、“博士后创新实践基地”等的依托单位。通过多年来在研发方面的持续大量投入，取得了丰硕成果：先后获得国家发明奖3项、国家科技进步奖7项，部、省级科技进步奖120余项。目前拥有专利59项，其中发明专利25项。在坚持创新研发的同时，不断加强成果转化，提升产业化水平。2021年主营业务收入占营业收入比重达到90%以上，主营业务收入增长率达到19%左右。

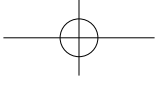
陕西诺贝特始终致力于机床关键技术攻关。公司研发团队整体实力较强，在数控机床自主研发、机床精度控制、加工工艺等方面具有优势。通过自主创新和经验积累，形成了高精度主轴制造、高精度导轨制造、刮研装配制作以及自动化组线应用等核心技术，主导产品已达到国际先进或国内领先水平。通过自主创新，公司已取得36项专利，其中发明专利6项、外观设计专利8项和实用新型专利22项。

奥图自动化每年的研发投入在主营业务收入中占比6%以上，且近3年呈连续增长势头。公司目前拥有有效自主知识产权116项，其中专利85项（含发明12项、实用新型67项、外观设计6项）、软件著作权31项。承担了政府各级计划23项：其中国家级1项、省级15项。借助这些成果，奥图有多个产品在国内细分市场领域占据主要地位。创新为奥图的良性发展提供了原动力。

畅尔作为技术研发型企业，近3年研发经费投入占营业收入比重均保持在10%以上，先后建立了国家级博士后工作站、省级企业研究院等科研载体，并与国内外科院校建立长期的产学研合作关系。公司拥有丰富的重大项目科研开发经验，取得一系列自主创新成果，已主持承担省部级项目30余项。通过持续创新，掌握了一批具有自主知识产权的关键核心技术，累计获国家专利近200项，其中发明专利32项。

江苏宏达数控科技股份有限公司以精密化、智能化、复合化为产品主攻方向，通过自主创新、产学研合作和引进吸收等措施，缩短与发达国家数控刀架技术的差距。近3年以营业收入的8.5%作为研发经费投入，不断研发出具有国际先进水平的新产品，替代进口并参与国际竞争，为我国数控机床行业的高速、高质量、高水平发展做出贡献。公司拥有专利38件，其中包括直驱式伺服刀架、直驱动力刀架、液压分度刀架等发明专利10件。

长沙思胜智能设备有限公司持续加强校企合作和创新投入，过去3年，平均研发经费投入占营业收入比重连续突破8%，在技术研发上取得了54项专利和软件著作权，其中11项发明专利、37项实用新型专利、6项软件著作权。先后开发出



高速热后拉床、高精度数控螺旋拉床、高精度双伺服内拉床等众多填补国内空白的产品。

深圳威远将技术攻关目标集中于突破瓶颈，2008年自筹资金研发出滚压滚珠丝杠专用材料。在国家钢研院、宝钢特钢事业部的支持下，完成了从技术研发到工艺论证，以及材料各种性能的实验，最终形成“一种用于滚珠丝杠的材料”，宝钢将此材料的钢号命名为“WY 1060”，以纪念威远公司对此做出的贡献。

河南厚德钻石科技有限公司积极响应科技创新战略，长期深耕于专精特新产品系列之一的“陶瓷领域专用整形金刚石”，获得发明专利1项，实用新型专利5项，被广泛应用于高端陶瓷加工领域。2021年承担的河南省揭榜挂帅项目正在实施，自主研发3项具有市场潜力和产业化前景的新技术。

济宁科力光电产业有限责任公司坚持以较大研发投入支撑持续创新，先后承担了国家及省市级项目20余项，其智能化安全光电传感器等产品多次荣获国家安监局及省、市级科技奖励。已累计申请专利和软件著作权70余项，其中发明专利24项。近3年平均研发经费占营业收入比重达11%。

三、以人才建设增强发展后劲

为实现企业长期可持续发展，多家企业在人才培养和梯队建设方面持续发力，并形成自己的核心技术及经营管理团队。

近年来，浙江畅尔先后培养培育国家级、省市各级高层次人才20余名。畅尔现有专业研发人员占比达30%以上，其中博士、硕士及中高级

职称人数超过半数，打造了一支具有国际先进水准，兼具科技创新型、产业化生产型的复合型拉削装备技术创新团队。正是这一批人才的凝聚，推动了企业科研成果不断走在全国同行业前列，最大化发挥了人才效应。为了更好地确保企业后续发展，未来几年，畅尔将以加快提升人力资源职业能力为目标，完善人才激励机制，加大资源的合理配置和人才构造的优化力度，侧重经营管理人才、科研人才、技能人才的开发与培养，充分挖掘青年人才，以人才优势引领竞争优势。

力鼎智能高度重视人才梯队建设，研发人员占全部职工比重高达45%。近年来，他们先后与各大高校合作，致力于培养一批高素质、高技能人才。今后将继续围绕实践教育及人才培养等方面，与高校保持全方位合作，实现资源共享、互利共赢。

长沙思胜源自原十八罗汉企业长沙机床厂改制重生，继承了原厂的技术及产品市场，拥有可靠的技术人才基础，专注于拉床的研发和制造。他们本着“科研创新立企”的发展宗旨，注重对每位员工的培养，持续进行创新突破。他们实行“老带新”制度，即每一位高级工程师对点选择一位初级科研人员进行手把手帮扶。此外，给公司骨干员工每年提供两次外派学习培训的机会。

厚德钻石坚持“人才强企”，在人才培养和人才梯队方面建立了一套长期发展战略，有计划地对中层干部、管理人员和骨干操作人员进行有针对性、专业化的培训和选拔，创造激励人才成长的良好环境，建立后备人才造血机制，组建了一支综合素质高、学历结构合理、专业技术过硬、能适应企业结构调整和产业结构转型的人才队伍。

科力光电始终把吸引集聚高水

平、高素质学术带头人和青年学术骨干作为人才队伍建设的首要任务。近年来，建立了一支具有国家顶尖技术水平的光电传感及安全控制技术创新团队，共计52人，其中博士4人、硕士22人、本科26人，含泰山产业领军人才2人。

浙江迈兴途智能装备股份有限公司通过多年的技术积累，逐步建立起数控机床加工设备的研发创新体系，拥有省级技术研发中心，在产品核心技术机械设计、自动化、机械制造等方面建立有研发团队。截至2022年6月30日，公司拥有专职研发人员51人，占职工总数的62%，其中具有大学本科或中级职称以上的工程技术人员35人，已形成多项处于国际先进或领先水平的技术成果。

江苏赛扬精工科技有限责任公司拥有8名高级工程师和15名资深的中级研发人员，已经获得各项专利46项，其中发明专利32项，参与制定了多项国家标准，其中《超硬磨料制品金刚石或立方氮化硼磨具 形状和尺寸》国家标准已发布实施。同时，依托苏州大学、复旦大学等检验检测平台，与武汉理工大学等院校建立了良好的产学研合作关系。

《专精特新中小企业发展报告（2022年）》指出，走专精特新道路已经成为近年来我国中小企业发展的一个鲜明特征，“十四五”时期，我国将持续促进专精特新中小企业群体总量扩大和质效提升，将其锻造为稳增长底气、产业自强支撑、高质量发展增量。专精特新中小企业深耕于细分领域，创新能力强，质量效益好，且处在产业链供应链的重要环节。经过几年的培育，专精特新“小巨人”企业在行业中的占比和影响力不断扩大，将有效提升产业链供应链稳定性和竞争力，最终有效助推行业高质量发展。□

/ 第四批专精特新 /

新诺精工：专注加工中心研发，持续提升产品可靠性

安徽新诺精工股份有限公司



安徽新诺精工股份有限公司（以下简称“新诺”或“新诺精工”）是切削解决方案提供商，于2017年8月通过对黄山皖南机床有限公司收购重组后成立。企业占地面积13.88万平方米，注册资本8015.64万元，坐落在世界自然和文化遗产保护区黄山南麓。新诺精工是中国机床工具工业协会第九届理事会理事单位、安徽省技术创新示范企业和专精特新企业，2022年获批工信部第四批国家级专精特新“小巨人”企业（已通过公示）。企业曾获“中国驰名商标”、中国机床工具工业协会先进会员2019年度“产品质量十佳”和2020年度“综合经济效益十佳”等荣誉。



董事长：汪晓东

一、主攻加工中心产品，持续提升产品可靠性和性价比

新诺精工的前身黄山皖南机床有限公司（原上海第七机床厂），始建于1928年，自1958年起研制普通铣床，之后深耕加工中心产品市场10多年，发展成为自主研发立式、卧式和龙门加工中心，数控铣床及数控车床等系列产品的国家高新技术企业。公司通过质量管理体系ISO9001、职业健康安全管理体系及环境管理体系认证，两化融合管理体系评定和知识产权管理体系认证，核心业务采用ERP/OA、CRM、SRM、PLM等信息系统支撑，数字赋能提质增效，提升企业竞争力。



新诺以立式加工中心产品的全价值链专业化为基础，积极布局车床、龙门、卧加等产品序列，努力做客户首选的数控机床民族品牌。抓住“横向行程覆盖化、纵向加工专门化”两个关键点，不断完善立加产品序列，加速建立产品“护城河”；持续提升

产品可靠性与性价比，为客户提供更灵活的配置选择，以及相关功能的微定制、微迭代服务；持续打磨一体化机加工方案与自动化方案能力。以高可靠性的产品，还原客户真实场景，解决客户实际需求。



2021年度，新诺精工取得不俗的销售业绩，其中单项主导产品立式加工中心产销量名列前茅，并连续3年在安徽省机床工具行业金属切削机床领域名列前茅。

二、重视自主创新及产学研合作

新诺精工始终坚持以自主创新为主，并高度重视产学研用协同创新。

近5年来，公司组建了4个省级研发平台：省认定企业技术中心和工业设计中心、安徽省数控铣床工程技术研究中心、安徽省高速精密数控铣削机床工程研究中心。通过不断科技创新，公司先后荣获多个奖项：2021年度生产力促进（发展成就）奖（中生协发[2022]44号），安徽省新产品证书9项，安徽工业精品2项，安徽省首台套重大技术装备3项，安徽省科学技术成果登记证书29项。获得第七届和第八届安徽省优秀专利奖和“荣事达杯”安徽省第八届工业设计大赛优秀奖。

新诺分别与沈阳工业大学和合肥工业大学建立产学研合作关系，先后承担了2项安徽省科技重大专项，其中“V系列高速立式加工中心关键技术研发及产业化”荣获2020年度安徽省科技进步二等奖。公司还与德国、日本、中国台湾等切削行业研发机构均形成互动合作。

近3年，企业平均研发经费在年营业收入中占比为3.5%，2022年进一步加大了研发投入，预计全年研发经费占营业收入比重超过4%。



www.cmtba.org.cn

新诺精工是安徽省知识产权优势培育企业，现拥有自主知识产权58项，其中发明专利19项、实用新型专利35项。近3年来参与制修订国家和行业（团体）标准 7 项，其中主导参与制订行业团体标准 1 项。

三、注重人才培养，鼓励持续创新

新诺精工现有职工560人，其中研发人员95人，占职工总数的17%。早在企业创办之初，曾参与“黄山当代”技校联合，走出一条校企合作之路。近年来，通过陆续与沈阳工大、合肥学院等多家高校建立人才合作关系，同时依托4个省级研发平台，培养了一批青年技术骨干。公司积极开展人才引进工作，通过实施“人才工程”，引进高端专业人才，建立了优秀人才库和人才绩效评价奖励制度；引入竞争机制，充分调动和发挥科技人员积极性；对开发出新产品、新工艺的科研人员，给予重奖，鼓励持续创新。

2021年，为了提高企业吸纳人才、培养人才的能力，成立了沈阳新诺精工科技有限公司，切实提升企业的关键性生产技术和工艺，面向重点行业、重大工程需求，开展用户工艺技术研究，推动整机应用和产业化。

新诺精工人才战略主要体现在两个方面，一是贯彻“五定”：即定岗、定基薪、定目标、定绩效、定奖金，打造战略目标整体牵引，兼顾内部公平的薪酬与激励体系；二是推广“BP（业务伙伴）”：根据各项业务开展需要，分层、分目标设置HRBP（人力资源业务合作伙伴），助力业务效率提升与相关管理者的个人成长。

四、业务增长稳定，成长性好

近三年企业净资产年均增长率为78.67%，主营业务收入年均增长率29.67%，知识产权拥有量年均增长率30.02%，2022年已授权发明专利6项。公司各项指标增长态势稳健，创新能力较强，企业成长性优良。近3年主要指标如下表所示：

序号	主要指标	单位	2019年	2020年	2021年
1	全职员工数量	人	386	394	541
	其中：研发人员数量	人	65	75	89
2	主营业务收入增长率	%	0	37.78	51.22
3	知识产权拥有量	项	26	43	47
4	知识产权拥有量增长率	%	15.38	65.38	9.3
5	研发费用总额占营业收入总额比重	%	3.34	3.41	3.52

奥图股份：以创新驱动发展 以匠心赋能客户

济南奥图自动化股份有限公司

济南奥图自动化股份有限公司（简称“奥图”或“奥图股份”）始创于2000年，秉承“致力创新、追求卓越”的理念，坚持“产品领先”的发展战略，在冲压自动化领域及其上下游产业链深耕细作，不断探索新工艺，开发新产品，为汽车、机

械、家电、物流等行业持续提供优质的自动化整体解决方案。

目前，奥图拥有Aotto自动化冲压生产线、Aovita端拾器、Aosaff安全防护围栏、Atrey激光装备和AWIZ智能制造系统等五大品牌产品。



一、奥图主导产品及解决方案

奥图股份主导产品是汽车车身冲压件智能制造自动化系统，在相关细分领域中，奥图产品处于国际先进技术水平行列，可为客户提供以下几类解决方案。

Aotto冷加工自动化解决方案：冲压生产线、汽车纵梁

加工自动生产线、激光落料生产线、机加工自动化及传统制造业智能化升级改造；Aotto热加工自动化解决方案：超高强钢热冲压自动化生产线、热锻生产线等；Aosaff安全防护系统解决方案：标准化、模块化，用于车间内人机分离、功能分区等；Aovita机器人智能抓取一站式供应平台；Awiz 智能制造管理系统。



热成形生产线现场

其中超高强钢热冲压自动化生产线属于国内汽车车身冲压件智能制造装备产业链关键领域“补短板”产品，质量追溯系统、热成像精度标定和板料定位系统则为国内首创，国际先进。近几年国内市场占有率大幅提升，可替代进口并实现了出口。公司长期为一汽、东风、长安、比亚迪等国内知名汽车厂提供协作配套，也是德国舒勒、斯特曼等品牌的首选配套商之一。

二、创新驱动发展

20多年来，奥图紧跟新材料、新工艺的发展，不断了解和探索客户的需求，对标国际先进水平，持续研发出解决客户痛点、满足甚至超越客户预期的各类自动化产品，每年的研发投入占到主营业务收入的比例在6%以上，近3年呈连续增长势头。

公司目前拥有有效自主知识产权116项，其中专利85项（发明12项、实用新型67项、外观设计6项）、软件著作权31项；承担了政府各级计划23项：其中国家级1项、省级15项（含省科技重大专项3项）、市级7项。

创新为奥图的良性发展提供了原动力。目前奥图自动化有多个产品在国内细分市场领域占据主要地位。

汽车轻量化催生了奥图热成形线的研发及成功推进，并由此创造了单线年冲次145万次的国际先进水平。2021年销售了21条热成形线，预计2022年将实现50%以上的增长。

为节能减排，公司2009年起研发新能源无轨重载运输车并推向市场，已销售上百台；近期全电动重载AGV研发成功，产品一经推上市场，就引起了新老客户争相订购，仅宁德时代就一次性采购了6台。

三、荣誉不负努力

20多年来，奥图一直奉行真正为客户创造价值的原则，苦练内功，从研发、设计、生产、调试、交付到售后，持续以匠心优化每一个环节，使客户的

利益最大化。在为客户赋能的同时，奥图也得到了长足的发展。

奥图设备的先进性、可靠性获得了国内外客户的认可和有关机构的肯定，先后获得多种荣誉、奖项：国家级高新技术企业，工信部第四批专精特新“小巨人”企业，山东省智能制造标杆企业、省隐形冠军企业、省瞪羚企业、省“现代优势产业集群+人工智能”试点示范企业、省制造业高端品牌培育企业，济南市互联网+示范工程企业等。

获得过中国机械工业科技进步奖二等奖1项、山东省科技进步奖二等奖1项、山东省机械工业科技进步奖8项、济南市科技进步奖6项、山东省智能制造创新大赛一等奖2项、山东省软件新动能·创新创业大赛奖项2项、山东省“首台（套）技术装备4项、济南市“首台（套）技术装备3项”、山东省智能制造试点示范项目2项、济南市智能制造试点示范项目2项等。



四、发展渐入佳境

公司现有员工308名，其中科研人员77名，占公司员工总数的25%。研发力量较强，技术梯队合理；产品成熟、客户稳定。近3年来，企业合同额持续增加，年均增长74%，盈利能力逐年增强，已进入高速发展阶段。持续创新、持续改进，使得奥图已经与国际一流企业在同一平台竞争。

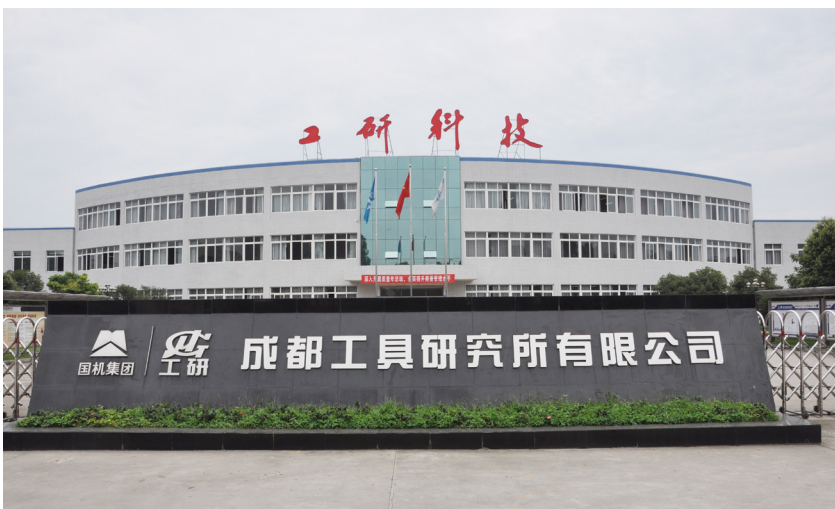
奥图将会继续为中国智能制造发展而努力，立足中国，面向世界，将更多更好的解决方案提供给国内外客户，为客户创造价值，与客户共同发展。□

成都工研所：坚持走高质量发展之路

成都工具研究所有限公司

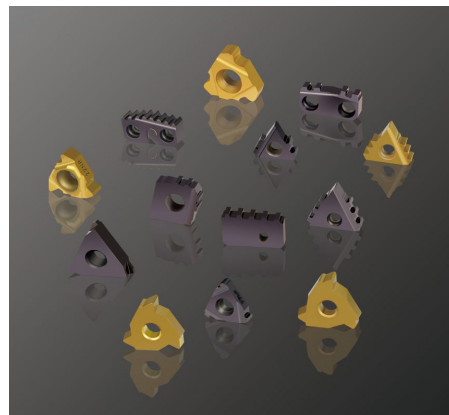
一、走专精特新之路，坚持高质量发展

成都工具研究所有限公司（简称“成都工研所”）创建于1956年，现隶属于中国机械工业集团有限公司，主要从事切削刀具、测量仪器、材料表面强化改性技术等共性技术研究及其高新技术产品的开发生产，在国内工具行业中具有较高知名度，一直是我国工具行业技术归口单位，技术实力处于国内领先水平。



在专业化方面，成都工研所始终坚持“专精特新”发展之路，坚持高质量发展。公司处于切削工具制造细分领域，主导产品为“硬质合金成形及专用刀具”，已有66年研发历史，其中“硬质合金石油管螺纹梳刀”一直是我国的行业龙头产品，国内市场占有率名列前茅。

成都工研所主导产品属于高端新材料产业链，具体为硬质合金切削刀片；同时也属于高档数控机床和机器人产业链，具体为高档数控机床关键执行部件。硬质合金螺纹梳刀、硬质合金深孔钻为产业链关键领域中的“补短板”产品。



硬质合金螺纹梳刀



硬质合金深孔钻

二、持续研发投入取得丰硕成果

成都工研所是国家高新技术企业，同时也是“国家精密工具工程技术研究中心”、“精密工具生产力促进中心”、“四川省企业技术



中心”、“博士后创新实践基地”等的依托单位。成都工研所一直注重创新研发工作，在科研方面持续大量投入。公司一直承担着国家、省部级各类重大科研任务，牵头实施国家科技重大专项、国家重点研发计划等关键核心技术攻关项目。近3年研发经费占营业收入比重均达到10%以上。公司成立至今先后获得多项国家发明奖、国家科技进步奖、省部级科技进步奖等。目前拥有近60项专利技术，其中发明专利近30项，拥有与主导产品有关的I类知识产权近10项，国家、行业标准5项，同时拥有4项自有品牌。

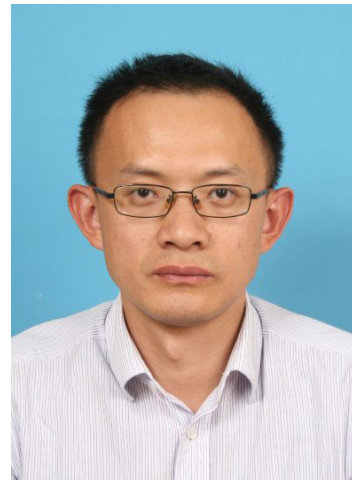


公司在坚持创新研发的同时，不断推动成果转化，提升产业化水平。2021年主营业务收入占营业收入比重达到90%以上，主营业务收入增长率达到19%左右。

三、注重人才培养，努力提升素质

成都工研所坚持把“人才强企”作为重要的战略举措，以发展战略和业务

计划为牵引，积极开展引才引智，不断健全人才培养机制，持续优化绩效管理体系，积极探索多元化激励机制，努力激发人才创新创造活力，为公司高质量发展提供坚实的人才保障。公司不断招收优秀应届毕业生充实科研人才队伍，还提供在职硕士、博士的深造机会，努力提高科研人员的整体素质。目前，成都工研所拥有一支优秀的科研人才队伍，包含国家与省部级专家人才、专业技能人才、工匠人才、高级职称人才等各类优秀人才。2021年成都工研所研发人员100多人，约占职工总数24%。



技术带头人：陈云，中共党员，博士，正高级工程师，国家重点研发项目负责人和四川省青年科技创新团队负责人，四川省学术和技术带头人后备人选，中国模具工业协会装备委员会副主任，《工具技术》核心期刊青年编委，科技部、四川省、重庆市等科技评审专家，四川大学等高校研究生企业导师，公司精密复杂刀具领域技术带头人。主要从事工作是精密、复杂、高效、清洁切削与刀具领域的基础理论、产品研发与应用推广。□

/ 第四批专精特新 /

力成专机：专注轴类零件高效专机

安徽力成智能装备股份有限公司

2022年9月，国家工业和信息化部完成了第四批专精特新“小巨人”企业培育的审核工作，安徽力成智能装备股份有限公司（简称“力成专机”）成功通过第四批专精特新“小巨人”企业认定，这是力成专机继获评国家知识产权优势企业后获得的又一国家级荣誉。

力成专机2003年始创于美丽的浙江玉环岛上，2010年迁至位于长三角城市群的安徽池州九华山脚下，10多年来一直专注于轴类零件高效专机及自动线的研发和全面解决方案的探索。公司同时拥有高新技术企业、省级两化融合示范企业、省级专精特新中小企业、省级技术创新试点企业和国家知识产权优势企业等荣誉。

一、专注细分市场实现持续增长

创办19年来，力成专机专注于轴类零件及等速万向节制造细分市场，拥有智能搓齿机、高效车削单元、汽车等速万向节专机、精密磨床及自动化联线等8大类100多种产品，产品广泛服务于汽车、摩托车、工程机械、纺织机械、五金家电、水暖阀门等行业的900多家国内外知名零部件生产企业，主要客户有西班牙CIE、日本HONDA、日本NIDEC、德国KOEPPFER、韩国IMT、广汽、东风汽车、庆铃汽车、江淮、奇瑞、比亚迪、长城汽车、万向集团、双环集团、冠盛集团等。

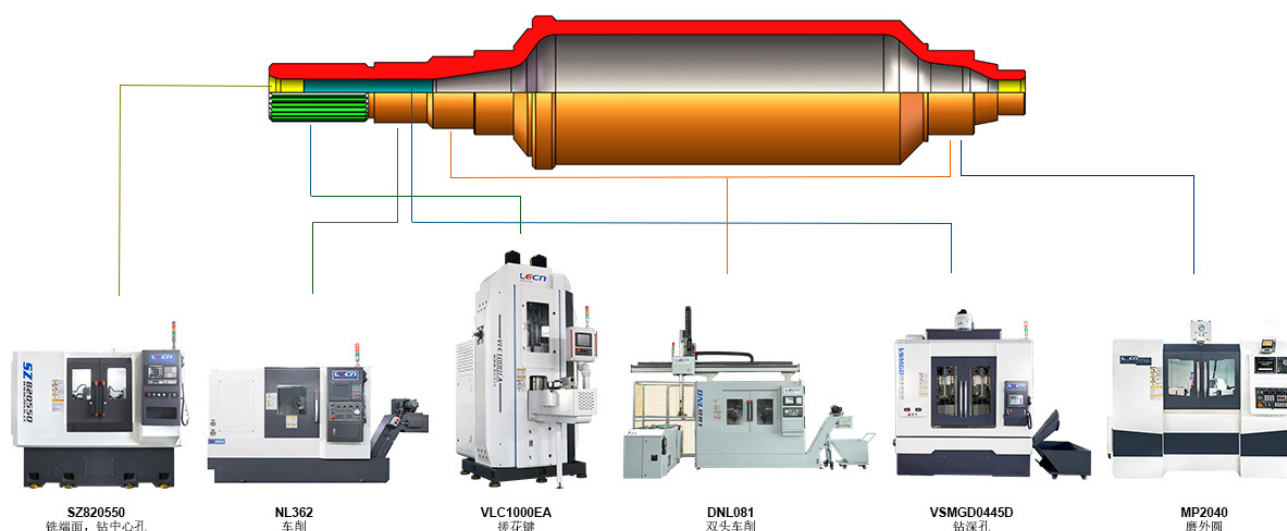


近两年，尽管存在疫情多次反复、原材料价格上涨、国际物流受限等不利因素，力成专机积极拓展新能源汽车领域用户，提高产品自动化搭载率，契合用户实际需求，主营业务收入平均增长率仍达34.3%。就2022年上半年来看，营收同比增长21.6%，全年有望实现持续高增长。

二、精细化管理快速交付特色化产品

按照现代精密装备技术条件，力成专机已建立生产和

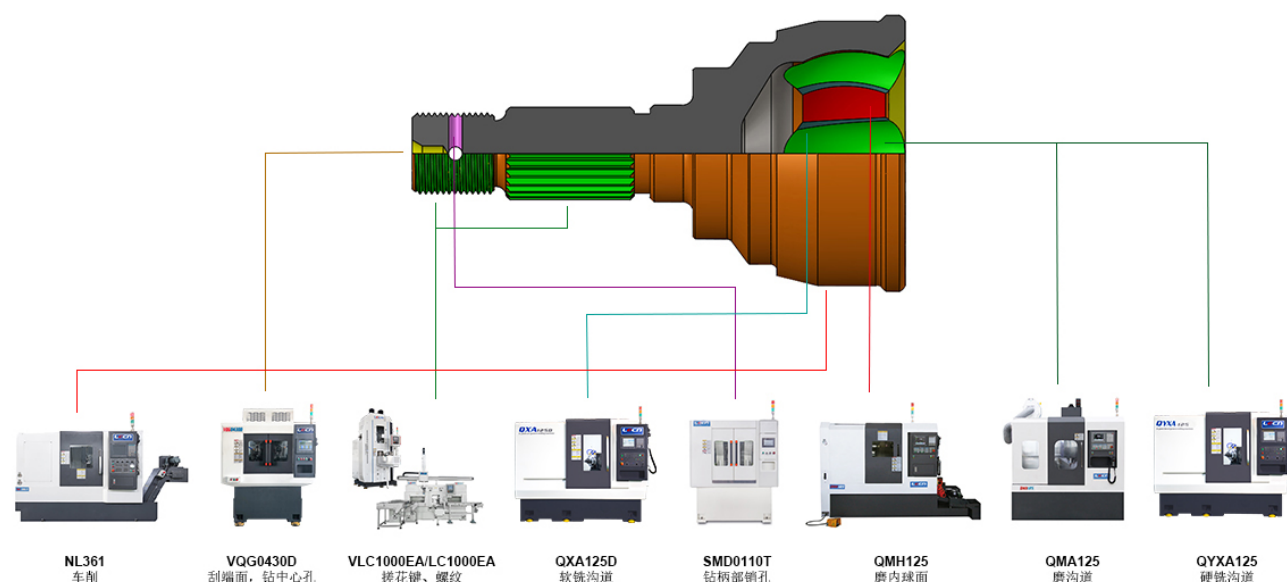
办公场所3万余平方米，包含设计中心、运营中心、检测中心、精密加工、恒温部装、整机组装等。配备有立卧式加工中心、卧式镗铣床、龙门导轨磨床等关键加工装备，以及齿轮检测中心、三坐标测量仪等检测手段。通过ISO9000质量管理体系控制，核心业务采用CAX（研发设计）、CAM（生产制造过程）、ERP/OA（经营管理）以及SRM（供应链管理）等信息管理系统支撑，大大缩短了产品的开发周期与生产准备周期。可依据客户不同的实际需求，提供特色化解决方案，为客户定制个性化产品。



▲ 汽车新能源电机轴LECN成套加工装备

即使面对专机定制等订单多样化的运营环境，力成专机借助供应链体系及内部管理系统，仍可实现在售产品1.5个月、定制产品3个月快速交付，并可提供交钥匙工程。稳定

的产品质量和快速交付能力，使力成的LECN品牌在业内广为知晓，深得用户口碑。其中智能搓齿机产品国内市场占有率约达50%，并已出口到英国、韩国、泰国等国际市场。



▲ 汽车等速万向节之钟形壳LECN成套加工装备

三、持续创新保障力成可持续发展

从外部引进实战型人才、内部“师傅带徒弟”以及产学研相结合是力成专机对人才模式的大胆革新。引进人才不以资历高低为标准，而是以实战技能为方向。以“师傅带徒弟”的方式来维持现有技术的传承，将公司一线高级装配工、机加技工调入技术中心，参与公司新产品的

研发，理论与实践得以有效融合。先后培养了市“322”技术创新团队、省“115”技术创新团队，省技术领军人才、工程师和高级技师等一批技能型人才和团队。新旧技术血液相融合，形成了稳定的人才梯队，为力成专机的持续创新打下了良好基础。

力成专机年平均研发投入占营业收入总额7%左右。内部利用公司省级工程技术中心、省级认定企业技术中心和省级工

业设计中心研发平台，外部与合肥工业大学、安徽工业大学等科研院所开展产学研合作，持续开展轴类零件及等速万向节制造装备核心技术研究，不断推进复合加工、嵌入式机器人、智

能化界面、双头主轴高压刀塔等功能部件、自动化技术和柔性自动线等新技术新工艺的应用，淘汰落后的产能和技术，努力使产品节能降耗、环保、智能，降低用户使用和维护成本。



LECNC数控立式搓齿机

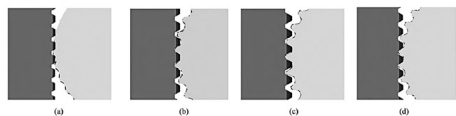


LECNC数控卧式搓齿机

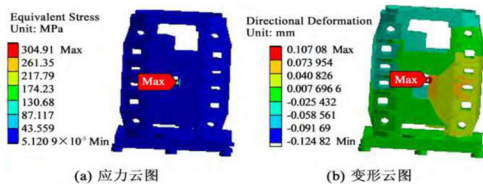
数控搓齿机行业标准制定者
安徽省科学技术二等奖
中国齿轮协会科技成果金奖
安徽省重点新产品
安徽省工业精品
安徽省首台（套）重大科技装备

力成专机有两种研发模式，一种是为用户定制研发，一种是面向行业市场研发。满足特定用户需求的过程也是引导市场需求的过程，当“小众”需求上升为“大众”需求，“力成专机”已经先人一步成为市场主流产品。“不以模仿和抄袭山寨为目标”，力成专机始终坚持正向研发。譬如，力成专机与合肥工业大学合作开展智能搓齿机基础理论研究，对搓齿机进

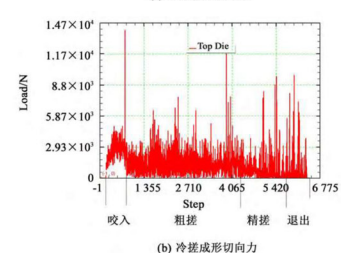
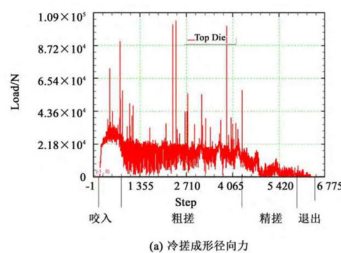
行强度和模态分析来优化整机设计，使用Deform-3D对冷搓过程进行模拟仿真，了解模具参数、工艺参数对挤压成形力的影响；使用 DEFORM对冷搓加工过程进行微观模拟，了解工艺参数对加工零件晶粒尺寸的影响等。由此形成了自主知识产权，技术水平达到国际同类产品领先程度，并可替代进口，突破了国外对智能搓齿机的技术垄断。



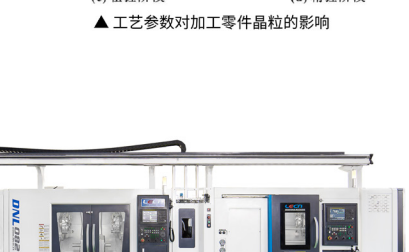
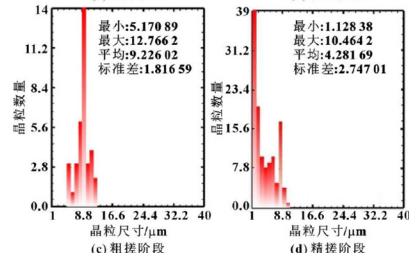
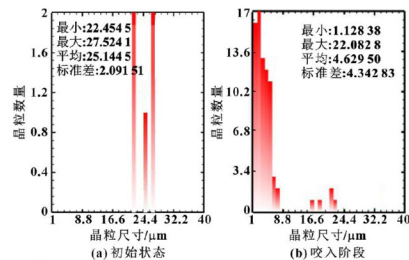
▲ 冷搓成形过程的4个阶段模拟
(a) 分齿咬入 (b) 粗搓成形 (c) 精搓成形 (d) 退出



▲ 搓齿机整机有限元应力分析



▲ 模具、工艺参数对挤压成形力的影响

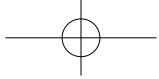


▲ 工艺参数对加工零件晶粒的影响

持续创新收获了丰硕的科技成果。目前，力成专机已获得108项授权专利技术，其中授权发明专利6项，所有主导产品均具有自主知识产权。相关产品先后获得安徽省科学技术二等奖、中国齿轮协会科技成果金奖、省工业精品、省重点新产品、省首台套重大科技装备等荣誉。并开创了行业机床标准化的先河，主导制定了4项数控搓齿机行业标准，为专用机床、行业机床的高质量发展添砖加瓦。



未来，力成专机将继续坚持“专精特新”的发展战略，持续深耕于轴类零件高效专机及自动线细分市场，力争成为数控机床行业国家级专精特新“小巨人”的排头兵。□



/ 第四批专精特新 /

江苏宏达：专注数控转塔刀架

江苏宏达数控科技股份有限公司

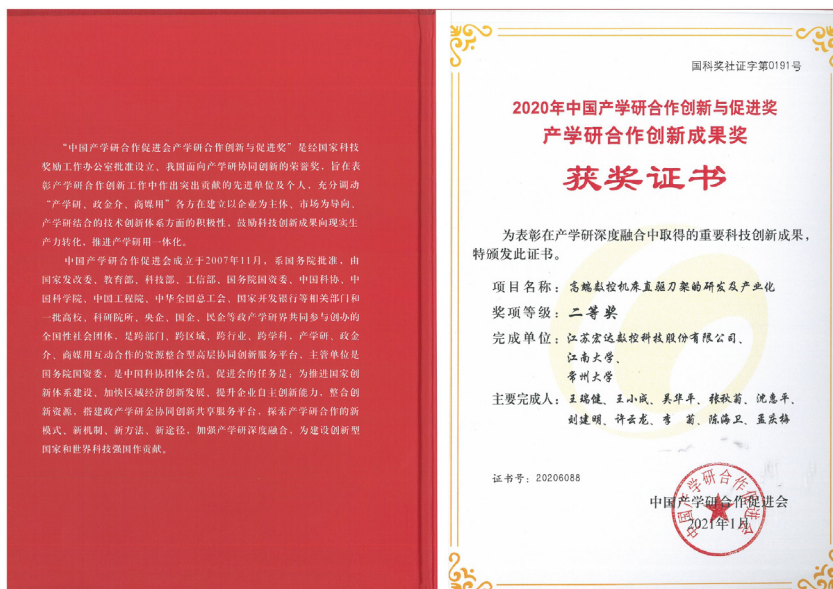
江苏宏达数控科技股份有限公司成立于1995年3月，专业从事数控转塔刀架的研发、生产及销售，是我国数控转塔刀架的骨干企业之一。本公司是中国机床工具工业协会的会员单位、“数控转塔刀架”国家标准起草单位之一、江苏省高新技术企业。公司多次承担国家、江苏省和常州市科技计划项目。近几年公司加快产品结构调整，逐步淘汰低档次、低技术含量的四工位刀架产品，向适用于多功能、高速、高精度和复合加工机床的动力刀架方向发展，目前产品以中高档为主，达到数控机床配置全系列，多规格全覆盖，实现国内领先，接近世界先进水平，其中直驱刀架产品获国家重点新产品、江苏省高新技术产品称号。目前公司具有年生产销售4万余余套数控转塔刀架的能力，为国内刀架行业龙头企业。

一、以较高研发投入支撑不断创新

公司以精密化、智能化、复合化为主要研发方向，通过自主创新、产学研合作和引进吸收等措施，缩短与发达国家数控刀架技术的差距。近3年以营业收入的8.5%作为研发经费投入，不断研发出具有国际先进水平的新产品，替代进口并参与国际竞争，为我国数控机床行业的高速、高质量、高水平发展做贡献。

公司以数控转塔刀架直驱化为主要研发路线，适应机床行业高速、高精、复合化的发展方向。其中，直驱动力刀架作为最主要的关键功能部件，用于一次装夹完成车、铣、攻丝、滚齿等各种复合加工。该产品采用伺服直驱和液压锁紧技术相结合的方式，使产品内部结构简单化，具有高刚性、高精度、高转速的特性，处于国家重点支持的功能部件范围内。

目前公司拥有专利38件，其中包括直驱式伺服刀架、直驱动力刀架、液压分度刀架等发明专利10件。公司承担省重点研发项目1项，国家创新基金项目2项，国家重点新产品1项，参与了2项国家标准制定。



江苏宏达数控科技股份有限公司企业标准

Q/320405 AAB001—2020

数控直驱动力刀架

2020-10-30 发布

2020-11-28 实施

江苏宏达数控科技股份有限公司 发布



二、加强人才储备，推动企业可持续发展

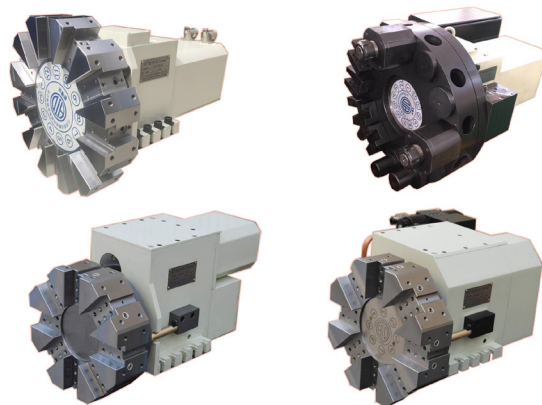
公司于2014年经江苏省科技厅批准成立了“江苏省数控机床关键功能部件工程技术研究中心”，以此为基础吸收高端工程技术人才，与高等院校建立长效的合作机制。企业科研开发队伍共有43人，占企业员工总数30%，中高级职称工程师27人，拥有多位具有丰富经验的数控转塔刀架设计与制造专门人才。同时聘请数名国内机械设计、自动化控制专家长期进行指导培训，推动企业技术进步，拟创建国家级数控功能部件工程研发中心，为企业可持续发展储备足够的人力资源。

技术带头人王小成，是国家金切标委会机床附件分会委员，江苏省数控机床关键功能部件工程技术研究中心主任。

2006年设计“HAK33063，HAK33080”两种规格的数控回转动力刀塔，获江苏省高新技术产品，项目2009年获得国家重点新产品项目立项。2007年参与了常州市知识产权计划项目的实施，2009年完成项目验收。2009年参与了“数控自动回转动力刀塔”国家中小企业创新基金项目的实施，2011年圆满完成项目验收。2011年参与了常州市市级科技计划（工业支撑）“高精度等分微分数控回转工作台实施”。2014年参与了常州市科技计划（工业支撑）“多功能加工中心用皇冠型刀塔关键技术的开发与应用实施”。

2015年王小成主持研发的直驱转塔刀架，经中国机械工

业联合会专家组鉴定为国际先进水平。工作期间共申请专利20项，其中发明专利5项，实用新型15项（均已授权）。

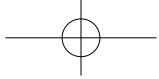


三、企业近年发展前景

未来，公司将坚持走科技创新、产学研联合开发之路，加大科技投入，加快人才的培养和建设，引进一批高素质高层次的科技型人才，力争在省级工程技术研发中心的基础上，再进一步建立国家级功能部件创新研发中心，进一步提升企业研发的创新能力，加速企业发展步伐。

充分整合国内外创新资源，以刀架直驱化的研发为核心，加强上下游各类衍生产品的研发和投入，加快开发各类市场需要的新产品，努力保持本企业在国内同行业中研发能力较强、技术水平领先的地位，打破德、意等同行在高端刀架产品方面的长期技术垄断。

公司筹划在近3年加入新三板，再转板至创业板上市。再经过5年的发展，使公司在管理水平、业务发展、队伍建设、社会效益、经济效益等各方面都跃上一个新的台阶，为科技进步和社会发展做出更大贡献。企业后续发展中，也希望得到相关部门在产业政策方面的引导和鼓励以及在技术创新升级方面的激励和支持。□



| 第四批专精特新 |

畅尔：深耕主业，做精专业

浙江畅尔智能装备股份有限公司

浙江畅尔智能装备股份有限公司（简称“畅尔”）创立于2003年，长期专注高端拉床研制，产品主要用于航空航天、汽车、家电等领域核心零部件的精密加工，技术水平达到国内领先，部分达到国际先进。畅尔是国家专精特新“小巨人”企业、国家高新技术企业、浙江省首批“隐形冠军”企业、浙江省“机器换人”工程服务公司等。



畅尔定位于以高端装备替代进口，深耕细分市场，不断加码科技创新，致力于我国“卡脖子”技术难题攻关和国产化拉床的研制。



董事长：林绿高

一、扎根实体，深耕主业，做精专业

畅尔自创立就一直把发展的着力点放在实业上，以做优做专拉床为主业，从事拉床细分领域市场已有近20年，主营业务收入占营业收入比重保持在80%左右。经审计，近3年企业销售收入增长率为26.2%。

在聚焦主业的发展过程中，瞄准优势和趋势，拓展边界。畅尔团队率先开展“拉床+机器人”成套装备的研发，产品实现从单机到拉床自动化再到成套生产线的转型升级，为领域内客户提供了“机器换人”成套解决方案，从而不断扩大了企业在细分领域的市场份额。如研制的“多机器人协同汽车制动钳支架加工生产线”已供应给宝马、奔驰、奥迪等高档汽车零部件生产商实现配套生产，替代进口设备。



支架生产线

潜心主业的同时，对标国际，集中攻关航空装备。

航空发动机被誉为“现代工业皇冠上的明珠”，其加工轮盘榫槽的高档机床为我国“卡脖子”装备之一。作为民族企业，畅尔以“十年磨一剑”的精神，在榫槽加工高端拉床研发中取得重大突破。2020年，成功研发了“用于航空发动机等榫槽加工五轴数控卧式侧拉床”，

产品解决“卡脖子”技术难题，经鉴定，达到国际先进水平，已为国内航发客户提供配套。随着该国产装备应用推广的深入，畅尔持续以航空装备攻坚为重点，沉下心来致力于关键技术问题攻关，力争为国之重器添动力。



五轴卧式侧拉床

二、锚定创新，强化科研，引领发展

畅尔作为技术研发型企业，近3年研发经费占营业收入比重均保持在10%以上，先后建立了国家级博士后工作站、省级企业研究院、省级工程研究中心及研发中心等科研载体，并与国内外科研院校建立长期的产学研合作关系。公司拥有丰富的重大项目科研开发经验，取得一系列自主创新成果，已主持承担省部级项目30余项，荣获省科技一等奖、中国机械工业奖等科技奖励20余项，列为国家重点新产品2项，装备制造业重点领域首台（套）4项，浙江制造精品3项，省级新产品24项。

畅尔不断加快专利布局 and 标准引领，积极提升行业话语权，掌握一批具有自主知识产权的关键核心技术，已累计获得国家专利近200项，其中发明32项；主持或参与国家标准3项、行业标准10项和团体标准3项。是浙江省自主知识产权优势企业、浙江省企业标准“领跑者”、浙江省

智能制造标准先进企业。

三、聚焦所需，精准育才，科学励才

为实现企业长期可持续发展，人才培养和发展始终是畅尔牢牢把握住的战略方向。近年来，畅尔先后培养培育国家级、省市各级高层次人才20余名。畅尔现有专业研发人员占比达30%以上，其中硕士、博士及中高级职称人数占70%，打造了一支具有国际先进水准的、兼具科技创新型、产业化生产型的复合型拉削装备技术创新团队。正是这一批人才的凝聚，推动企业科研成果不断走在全国同行业前列，最大化发挥了人才效应。

未来几年，畅尔将以加快提升人力资源职业能力为目标，完善人才激励机制，加大资源的合理配置和人才构造的优化力度，侧重经营管理人才、科研人才、技能人才的开发与培养，充分挖掘青年人才，变人力资源为人才资源，以人才优势引领竞争优势。□



/ 第四批专精特新 /

力鼎智能：技术立足 品质致胜

力鼎智能装备（青岛）集团有限公司

力鼎智能装备（青岛）集团有限公司（简称“力鼎智能”）成立于2004年，是一家国家高新技术企业，先后荣获“市级企业技术中心”、“省级智能制造系统解决方案供应商”、“省市级专精特新”、“国家专精特新小巨人”等荣誉称号。力鼎智能坚持以技术立足、品质致胜的产品理念，融合国内外先进的技术，专注于为机械制造领域客户提供加工、装配以及物流智能一体化产线，致力于成为机械制造领域智能产线优秀提供者。



董事长：刘宗毅

湖北三环、阿雷斯提、美国康迈、青岛海通、大同齿轮、建富齿轮、河南凤宝、大同机车等在内的众多国内外知名企业提供了智能一体化产线及交钥匙产品。



为了更好地服务客户，力鼎智能推行项目责任制，始终以“项目100%按期完美交付”作为公司运营的首要目标。项目负责制有效打破了部门壁垒，实现扁平化管理，减少中间环节，有效加大了执行力。同时实现了各部门资源的优化配置，充分调动了相关责任人的聪明才智、业务潜能和工作积极性。

一、聚焦细分行业，打造行业标杆产线

从大浪淘沙的机电设备销售行业中“摸爬滚打”出来的力鼎智能，更加懂得市场的变化与需求，也更能理解深度业务的逻辑。深耕机械制造领域近20年，力鼎智能不断聚焦细分行业，为新能源、商用车、乘用车、农用车、工程机械等行业客户，包含中车、吉利、宝马、北汽、重汽、一汽、东风、长城、中联重科、潍柴、方盛、五征、



二、健全多元化创新体系，整合优质资源

面对日益增多的市场需求和激烈的竞争，力鼎智能始终认为还是要掌握属于自己的技术，只有把核心技术紧紧握在自己手里，企业才能走得更加长远。

为抓紧解决技术上的难题，彻底突破技术壁垒，近年来公司大力推行创新驱动发展战略，加大创新投入，近3年研发费用投入占营业收入比例均达到8%，先后组建了青岛总部研发中心、大连研发中心、苏州研发中心等3大研发中心和市级工程研究中心、市级企业技术中心等创新平台，建立了强大的创新平台支撑。

构建了产学研结合的技术创新体系，和中国海洋大学、山东大学等多所国内知名院校，在产品研发、技术攻关、高层次人才输送培养等众多方面展开了广泛合作，大大提升了企业的科研水平和创新能力，加速了人才的引进、培养和科技成果的转化。

公司整合全球高端技术资源，先后与韩国、日本、德国的国际知名企业，如FANUC（发那科）、KUKA（库卡）、SIEMENS（西门子）、SCHUNK（雄克）等进行技术合作，与德国知名企业FLT（斐博来普乐）达成全面战略合作，共同开拓全球市场，实现了德国技术和中国制造的完美结合，助推力鼎智能实现国际化发展。



从制造大国走向制造强国，其中一个重要方面，就在于培育智能时代的工匠精神。复盘力鼎近20年走过的道路，正是力鼎精益求精的工匠精神和钻之弥坚的自主技术创新，才是如今得以“破茧蝶变”以及力争“让中国没有难做的制造”的底气。力鼎已经建立起了自身坚实的技术屏障，正在逐步成为一家精益求精的技术驱动型高潜力企业。

三、高度重视人才建设，以坚实基础坚定发展

力鼎智能高度重视人才梯队的建设，研发人员占全部职工比重高达45%以上。近年来，先后与各大高校合作，

致力于培养一批高素质、高技能人才。今后将继续围绕实践教育及人才培养等方面，与高校保持全方位的合作，实现资源共享、互利共赢。另一方面，力鼎智能在公司内部也建立导师制和三倍速人才培养体系，激励和帮助员工持续提升个人管理素质与工作技能。通过校企合作、内部培训两步走的策略，逐步为公司未来发展的人才储备工作打下坚实基础。

在复杂严峻的发展环境中站稳脚跟、活出精彩，靠的是专注和坚守。2022年，力鼎已然迎来十八岁成年礼，已具备足够底气和信心面对种种风险挑战，跨越行业寒冬。力鼎智能将持续不忘初心，坚定使命，顽强生长，坚定增长，为实现中国智能制造高质量发展而不懈努力！□

/ 第四批专精特新 /

陕西诺贝特：坚守工匠精神，做中国好机床

陕西诺贝特自动化科技股份有限公司

陕西诺贝特自动化科技股份有限公司（简称“陕西诺贝特”）成立于2011年，是一家专业从事中高端精密数控机床及自动化设备的研发、生产、销售和服务，为客户提供数控设备成套化解决方案的高新技术企业。公司产品主要包括小型精密数控刀塔和排刀车床、加工中心、高精度磨床、纵切车床、自动化设备和连线五大品类，广泛服务于汽车、医疗、3C电子、仪器仪表、模具、航空航天等精密零部件加工领域。



2018年公司通过ISO9001质量管理体系认证，2020年被认定为陕西省智能制造试点示范企业，2021年荣获第九届陕西质量奖提名奖，2022年凭借在专业化程度、经济效益及创新能力方面的优势荣获第四批国家级专精特新“小巨人”企业称号，2022年公司检测中心获得CNAS（中国合格评定国家认可委员会）认证，顺利跻身国家认可实验室行列。2021年，公司研发的卧式加工中心KHC1300和刀塔车床TX80S被认定为陕西省重点新产品；并以OBOT-DA25双主轴数控排刀机床获得2021年度中国机床工具工业协会先进会员企业称号（质量十佳）。

公司自成立以来，一直致力于机床关键核心技术攻关。公司研发团队创新能力强，对产品的整体设计、材质选择、结构组成、过程控制等环节都具有较高的水平，在数控机床自主研发、机床精度控制、加工工艺等方面具有很强的优势。通过自主创新和经验积累，形成了高精度主

轴制造技术、高精度导轨制造技术、刮研装配制作技术以及自动化组线应用等核心技术，主导产品已达到国际先进或国内领先水平。近3年公司经营状况整体呈现平稳良性发展势头，营业收入年平均增长率为24.13%。

公司注重“产学研”合作，与西安理工大学等在数控机床领域具有领先优势的高校及科研院所均建立了良好的合作关系，与哈尔滨工业大学机器人研究所建立联合实验基地。公司拥有西安市高精度智能机床工程技术研究中心，西安市精密级智能设备工程研究中心，2022年承担陕西省重点产业链（数控机床产业链）“卡脖子”补短板关键核心技术产业化项目建设。在知识产权积累方面，公司已取得36项专利，其中包括6项发明专利、8项外观设计专利和22项实用新型专利；公司拥有计算机软件著作权10项，已形成对自身核心技术和产品的专利保护体系。

诺贝特是国内独有的全机型、全硬轨结构数控机床制造企业，拥有丰富的制造经验、成熟的制造工艺及装配技术，与知名品牌及一流的元器件供应商合作，以严格的出厂测试、检验手段及一流的工艺制造机床，实行先进的6S管理模式，保证了产品加工处于国内较先进水平。

机床作为工业母机，是整个制造业的基础，特别是高档数控机床和智能自动化设备具有高、精、尖特点，符合国家创新发展战略和军民融合战略。公司将以获批专精特新企业为契机，继续坚守“小巨人”的工匠精神，通过进一步加大新产品、新技术、新工艺的研发，加强技术改造与升级，做中国好机床。公司以提高我国装备制造业综合竞争能力和产业水平为己任，专注于高档数控机床及其智能产品的制造与服务，致力于成为高端装备和智能装备行业国际一流的制造商与服务提供商，力争形成符合机床行业需求个性化特征的“敏捷制造，高效制造，绿色制造”的现代机床制造体系。□

长沙思胜：三代人对拉床的守望传承

长沙思胜智能设备有限公司

2022年是长沙思胜智能设备有限公司（简称“长沙思胜”）成立的第七个年头，也是原中国机床“十八罗汉”企业之一的长沙机床厂改制重生的第十六个年头。

长沙思胜智能设备有限公司成立于2015年，坐落于长沙县黄兴镇干杉工业小区，传承于原长沙机床厂，继承了原长沙机床厂的先进技术与产品市场，是一家有着丰富智能设备制造经验、可靠技术基础、专业从事于拉床研发与制造的科技型企业。

一、传承长沙拉床，振兴民族品牌

长沙思胜研发并成功投产的数控高精度双伺服内拉床、热后高速硬拉床、方向盘专用拉床等产品，已在一汽、二汽、本田、比亚迪以及采埃孚、双环、上汽齿等众多知名汽车和零部件制造企业广泛使用，国外也远销缅甸、巴西、墨西哥等地，深受用户青睐。



数控高精度双伺服内拉床

长沙思胜是中国机床工具工业协会理事单位，曾获“长沙市科技创新小巨人企业”、“长沙市智能制造试点示范企业”，2018年获中国机床工具工业协会CCMT“春燕奖”、“湖南省小巨人企业”、“长沙市企业技术中心”、“湖南省制造业单项冠军”等荣誉称号，2019年公司受聘为国家金属切削机床标准化制定单位。2022年8月，公司成功入选国家第四批专精特新“小巨人”企业。

长沙思胜一直坚持着“传承长沙拉床，振兴民族品牌”的企业使命，秉持着“思想先行，胜券在握”的发展理念。运营中，不断拓宽产品销售渠道，适应新型营销模式，通过线下与线上相结合的模式扩大销量。通过加强企业公众号等自媒体内容，加大企业曝光量，在平台视频浏览量突破50万的过程中，市场份额逐年递增。2021年，市场销售额突破6000万，在国内拉床产销量中名列前茅。

二、创新为先，加强合作

在产品创新上，不闭门造车，坚持同国内外优秀的院校学者及企业专家进行合作研发，现已同西北工业大学、中南大学、湖南大学等建立起长期的产学研合作关系，与西班牙知名

拉床企业EKIN形成战略合作伙伴关系，对标国际高端拉床技术水平。

科技的时代，唯有不断创新，不断突破，才能奋勇向前，抢占市场先机。过去3年，公司平均研发经费投入占营业收入比重连续突破8%，在技术研发上取得了54项专利和软件著作权，其中11项发明专利，37项实用新型专利，6项软件著作权。先后开发出高速热后拉床、高精度数控螺旋拉床、高精度双伺服内拉床等众多填补国内空白的产品，获得了业内人士的高度认可。

三、建立人才制度，加强骨干人才培养

科技的时代也是人才的时代。公司现有员工100余人，其中从事技术开发的人员30余人。本着“科研创新立企”的发展宗旨，长沙思胜注重对每位员工的培养。

在员工培训上，实行“老带新”制度，即每一位高级工程师对点选择一位初级科研人员进行手把手帮扶。此外，给公司骨干员工每年提供两次外派学习培训的机会。通过交流学习，不仅加快公司科研部门人才的成长速度，还强化了科研部门之间的交流与合作，实现多方共赢。

四、不断进取，研发高端装备

虽然长沙思胜在国内拉床领域的业绩、技术、规模上均取得了一定成绩，但是相较于国外先进拉床制造企业还有很大差距，尚有多种高端拉床暂未触及，比如航空、国防所用的飞机发动机和船舶、电厂使用的燃气轮机中涡轮盘榫槽拉床及叶根拉床。

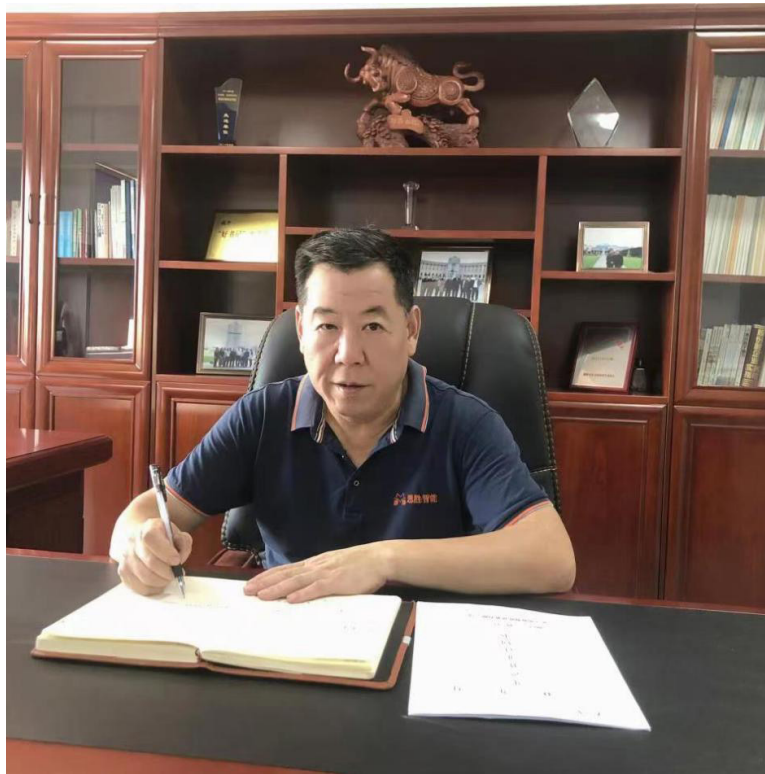
知耻而后勇。作为民族制造业的一员，长沙思胜已在2021年成立航空发动机涡轮盘榫槽拉削高档数控装备研发项目组，研发数控侧卧式榫槽拉床，用于飞机发动机涡轮盘、舰艇燃气轮机涡轮盘榫槽加工。

目前，项目即将进入试制阶段，已与中国航发达成合作意向，通过与院校、刀具以及国内数控系统等单位的深度合作，联合开发六轴航空发动机涡轮盘榫槽拉削高档数控拉床，该项目预计投入研发资金约6000万元。

五、怀揣梦想，接力前行

公司现任董事长陈建波19岁进入长沙机床厂，接过父亲手里的接力棒，从一名装配钳工学徒入手，一步一步做到了拉床分厂厂长。在时代的洪流下，长沙机床厂的余晖逐渐暗淡，但他觉得长沙机床厂的深厚技术底蕴不应被遗忘。于是，他召集了之前的同事和伙伴们，努力创办起一

个新厂，并一步一步发展成为今天的长沙思胜。



董事长：陈建波

他说，在创办新厂的过程中，遇到了各种各样的困难，但是只要心里那个拉床梦不灭，再多的困难那也是成功路上的试金石。如今，他已年过六旬，慢慢地把身上的担子交付给儿子陈留洋，要用年轻人的思维方式为这个传统企业带来新的活力。



陈建波、陈留洋父子在调试设备

三代人，只为了一个拉床梦。传统产业并不会因科技发展而消亡，反而会在技术和生命的传承里熠熠生辉。“传承长沙拉床，振兴民族品牌”，长沙思胜一直在路上。□



以硬实力铸就工业机器人关节减速器高端品牌

秦川机床工具集团

【编者按】日前，央视财经频道《天下财经》节目以“陕西：精密制造为智能制造‘强筋健骨’”为主题，揭秘了多年来秦川集团在机器人关节减速器领域的技术研发、智能制造和场景应用等方面情况，引起了业界及上下游产业广泛关注。协会传媒部特组织了本篇约稿，以期展现企业通过核心技术创新推进产业基础高级化、产业链现代化的作为及成果。



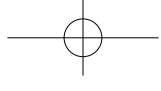
作为国产化最受关注的核心技术制高点，机器人减速器一直是企业竞争的焦点。作为国内最早从事工业机器人关节减速器的企业之一，近年来，秦川集团加速高端制造业务发展，持续聚焦工业机器人关节减速器研发和量产，形成了具有自主知识产权和市场竞争力的四大系列产品，成为国内唯一可满足5-800kg负载、匹配全系列工业机器人的关节减速器产品供应商，其产品广泛应用于弧焊、打磨、喷涂、码垛机器人行业及非标自动化集成领域，集成产品在新能源、光伏、木工机械、精密回转机构等工作场景应用效果良好。因其良好

的产品性能，秦川工业机器人关节减速器产品多次荣获中国机器人产业联盟“最佳机器人零部件”“机器人减速器好产品”等奖项。

功能部件 | BX工业机器人关节减速器

使用场合：工业机器人、机床、回转工作台等需要精密回转的场合





破瓶颈 打造工业机器人关节减速器国产化装备

在一台工业机器人中，伺服电机、控制器、减速器是其最核心的三个关键零部件，而机器人关节减速器因其传动比范围大、精度较稳定、疲劳强度较高，且具有更高的刚性和扭矩承载力，广泛用于机器人机座、大臂、肩部等重负载的位置，也正因此，在设计上需要使用更为复杂的过定位结构，制造工艺和成本控制难度较大。同时，减速器类产品的制造设备受限较大。

为打破行业垄断，制造具有中国品牌的机器人核心零部件，秦川集团充分发挥公司复杂型面数字制造工艺装备优势，针对机器人关节减速器的两级行星齿轮传动系统，即渐开线外啮合行星齿轮传动和摆线针轮行星传动，确定了针对摆线轮、针齿壳、偏心轴、行星架和行星齿轮5大零部件的关键工艺，研发出了MK2336、VG80、QYF007、QYF007T等专用加工装备。

对于机器人关节减速器在精加工阶段的关键设备高精度磨齿机，秦川集团产品可与国际先进品牌形成角力。作为机床工具行业的龙头企业，秦川集团的磨齿机产品入选工信部“制造业单项冠军”，其在齿轮加工机床市场的占有率超过60%。YK7332AT数控高效成形磨齿机可以对摆线齿轮、针齿壳、渐开线圆柱齿轮和花键等零件进行高精度加工，解决减速器关键零件加工的卡脖子问题。秦川集团得天独厚的装备制造优势既可以实现减速器供应链的安全保障，同时产品的工艺迭代还可随着精密磨齿机等设备的升级而达到更高品质。

做标准 构筑秦川特有的技术门槛

由于工业机器人减速器高精度、高刚度的特点，以及在批量化生产的工艺、设备方面没有现成经验可循，秦川集团从一开始就坚持正向研发，在守正中创新，走直线追赶之路。

为了满足用户定制化需求，为用户提供全方位解决方案，秦川集团提出自主研发减速器数字化正向设计平台，以快速满足多品种、换型快的市场需求，实现减速器产品的数字化生产和服务。依托50多年在齿轮传动研发设计、铸造、热处理、制造、检测和试验等方面的经验积累，秦川集



团采用具有国际先进水平的齿轮传动系统设计软件及有限元分析系统进行正向研发，依据载荷谱进行减速器产品数字化建模、装配和虚拟样机仿真，对样机的设计、加工、装配、试验等数据进行分析优化，形成数字化的减速器产品。之后，进行机器人运行试验、振动分析、运动仿真、姿态调整等工作，并获得减速器的相关数据。最后，通过测试试验结果对数字化正向设计虚拟样机进行再优化和再调整，从而实现减少试验次数、缩短试验流程、提高新产品研发水平。正向设计的结果与实际测试验证重合度达到96%以上。

秦川集团以国内关节减速器联盟标准主要起草单位身份参与制定《机器人用精密摆线行星齿轮减速器》标准，进一步扩大在该领域话语权。目前，公司牵头和参与起草国家和行业标准4项，获授权专利8项。在工信部发布的“2016年智能制造综合标准化与新模式应用项目的公示”中，秦川集团“工业机器人减速器数字化车间”名列其中。2017年，“机器人精密摆线针轮减速器”项目入选工业强基工程，同年，在科技部高技术研究发展中心公示的国家重点研发计划“智能机器人”重点专项名单中，“机器人关节减速器数字化及高效精密制造”榜上有名。2022年，公司参与申报的“工业机器人精密减速器测试方法与性能提升技术研究”项目荣获机械工业科学技术奖一等奖（科技进步奖）。

举全力 做强核心零部件产业的“主力军”

有数据显示，2021年我国工业机器人减速器总需求量为93.11万台，同比增长78.06%。其中增量需求82.41万台，同比增长95.05%；存量替换量为10.70万台，同比增

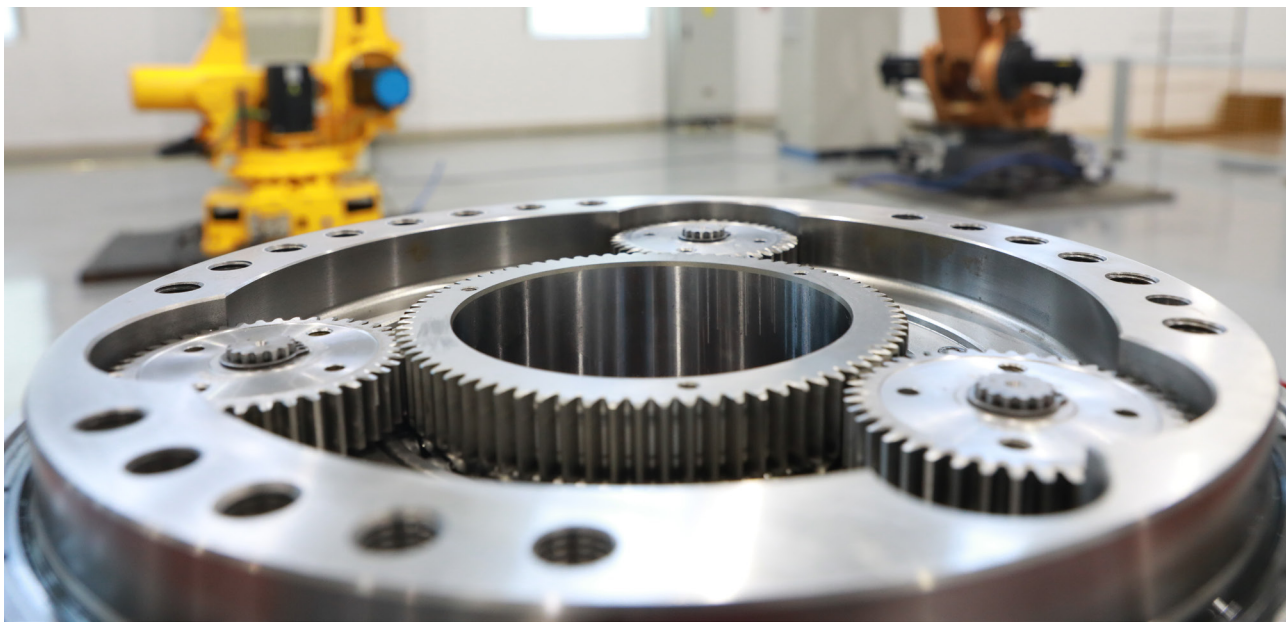
长6.57%。面对巨大的国产替代空间，秦川集团将工业机器人关节减速器项目作为集团“5221”战略布局中高端制造领域的重点支撑，并举集团全力将其打造为核心零部件产业的“主力军”。

2018年，秦川集团开工建设工业机器人关节减速器厂房2.8万平方米，生产作业面积2.2万平方米，累计投入各类加工、检测、测试设备150台（套），为机器人关节减速器产业的产能提升打下坚实基础。

2020年，公司发布公告以4.29亿元收购沃克齿轮100%股权，沃克齿轮作为集团最大的产品中试基地，一方面可以对公司的机床产品进行及时的反馈升级迭代，助力公司研发性能更优的减速器产品；另一方面，沃克齿轮在齿轮方面厚重的技术积累及规模化的生产经验，也能助力公司机器人关节减速器业务进行规模化生产并优化成本质量。比如，对于减速器关键零件材料，秦川集团利用沃克齿轮在热处理方面的技术优势，成功解决减速器关键零件新材料在热处理方面的瓶颈。其耐磨性测试表明，使用新材料后，传动精度和反向间隙数据明显优于老材料。

此外，集团还借助秦川数控和秦川思源量仪在一体化测控技术开发与设备研制领域的的能力，根据机器人减速器的产品要求，自主设计制造了机器人减速器产品试验台，包括零部件测量平台和整机测试平台。通过实验室测试及部分客户的挂机实验，回转精度、刚度要求等性能指标完全满足设计要求，并得到用户认可。

截至2021年，秦川集团已累计销售超过12万台（套）工业机器人关节减速器，约占国产同类产品市场份额的20%-25%，产品在国内外机器人本体制造商及集成商中得到广泛应用，部分型号产品已实现小批量出口。□



不同滚动直线导轨副摩擦磨损对比分析

江阴兴澄特种钢铁有限公司
南京理工大学机械工程学院
江南造船（集团）有限责任公司

翟蛟龙
赵鑫
林道杰

【摘要】滚动直线导轨副作为承载件，其磨损会造成精度和刚度等下降，直接影响数控机床的加工精度。基于摩擦力检测与磨损形貌观测试验，将导轨副滚道摩擦力与磨损机理联系起来，对比分析不同厂家A和B的导轨副摩擦磨损形貌和性能。两家导轨副的摩擦力在波动和峭度值方面有着较大的差异，但二者的磨损机理没有显著差别。滑块滚道磨损以粘着磨损、磨粒磨损和疲劳磨损为主，导轨滚道磨损以磨粒磨损和粘着磨损为主。滑块滚道反向过渡区的剧烈磨损是造成某些导轨副摩擦力不稳定的主要原因。

一、引言

滚动直线导轨副是根据滚动轴承基本原理改进而成的功能部件，起到承载和运动导向的作用，具有动摩擦因数小，定位精度及可靠性高等优异特性。滚动直线导轨副在机械传动中起到承载作用，磨损会造成导轨副寿命、精度、刚度、预紧力、可靠性等下降，影响数控机床加工水平。

目前，导轨副摩擦磨损试验研究关注于由于摩擦磨损产生的性能变化，主要研究磨损量的计算、磨损量与预紧力及性能之间的关系等。冯虎田团队针对导轨副精度保持性问题，建立了能描述导轨副精度损失规律的模型；基于试验发现，随着外载荷、运行速度和表面分形参数G的增大以及分形参数D的减小，导轨副预紧力退化加快。王民团队研究磨损退化对导轨副性能的影响，将磨损量与导轨副各性能联系在一起；通过对直线导轨副表面微观形貌的分形表征，建立分形磨损模型进行分析，得到不同工况下磨损量和精度退化之间的规律。国外Tao W等验证考虑滚子变形和Palmgren公式的接触模型联合Archard磨损模型的导轨副磨损模型；在其基础上Zou等提出考虑摩擦磨损的接触刚度预测模型，发现由于滑块的往复运动，导轨副磨损区域的时变特性不能通

过传统的Archard模型反映。

磨损形貌的检测是通过光学或电学仪器观察表面形貌的损伤，可以用于判断磨损机理。Barge等建立了考虑磨粒对材料表面犁沟切削影响的计算模型，分析了犁沟现象以及载荷、材料和磨粒的硬度等因素对材料表面应力分布、残余应力和磨损量的影响；赵义鹏通过试验结果对滚动直线导轨副在精度保持性下磨损预测模型的粘着磨损和磨粒磨损的占比参数进行补充；徐斌对导轨副钢球和滚道接触表面特定区域进行微观形貌观测，研究导轨副磨损机理及其对精度的影响。

以上研究大多通过Archard磨损理论进行磨损分析，但相应的试验验证不足，也未将摩擦力与磨损表面联系起来。本文将基于摩擦力检测实验及导轨副滚道磨损形貌观测试验，对比分析不同厂家滚动直线导轨副摩擦磨损的形貌。

二、导轨副摩擦磨损试验流程

为研究滚动直线导轨副的磨损形貌和磨损机理，现针对不同厂家无预紧力导轨副开展跑合加载条件下的摩擦磨损试验，样本如表1所示。试验检测对象为导轨副摩擦力和滚道形貌。

表1 不同厂家产品型号

厂家	等级	长度	C/kN	C0/kN	材料
A	P级	2000mm	37.4	55.2	GCr15
B	普通	2000mm	28	46.8	S55C

试验流程如图1所示，滚动直线导轨副跑合一定公里数后，检测导轨副摩擦力，通过观察试验期间磨损最剧烈的滑块滚道形貌，分析其与性能数据变化的关系；检查导轨副是否跑合结束，若未结束，则继续跑合，重复上述步骤；若跑合结束，切割导轨滚道并通过扫描电镜(SEM)分析磨损机理；结束试验，分析试验结果，得出结论。

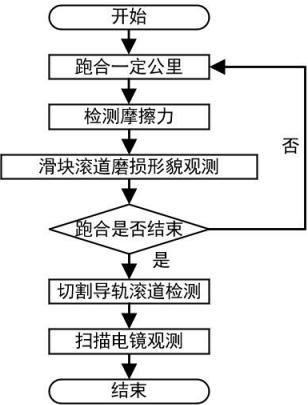


图1 导轨副摩擦磨损试验流程

三、导轨副摩擦力分析

滚动直线导轨副摩擦力产生的原因是多方面的，主要有滚动体与滚道之间的摩擦、滚动体进出反向器而产生的阻力以及滚动体自旋运动而产生的摩擦。摩擦力又称作预紧拖动力，摩擦力不均匀或者摩擦力数值特别大都会影响导轨副的运行精度、装配精度和预紧力，所以要对摩擦力进行检测，以此评价导轨副性能的好坏。另外，跑合时摩擦力的波动趋势，可以反映滚动体与滚道接触的均匀性以及磨损的快慢，判断导轨副是否有破损或故障、钢球卡滞的现象。

1.摩擦力检测试验方法

加载试验使用导轨副可靠性试验

台进行，如图2所示。导轨副通过挂壁式安装在试验台底板上，跑合龙门通过旋转手轮施加载荷，由电机带动齿轮齿条完成驱动跑合。试验载荷为30%额定动载荷，速度为60m/min。试验截止条件定为全寿命，经计算，全寿命截止里程为680km，润滑脂手动润滑。

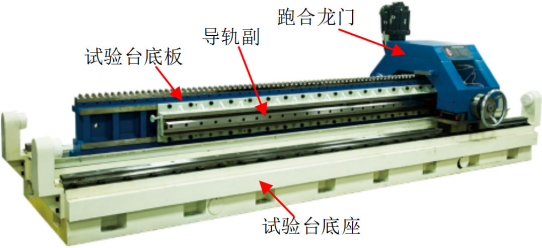


图2 导轨副可靠性试验台

依据行业标准JB/T 13818-2020[12]，检测导轨副跑合过程中的预紧拖动力，即摩擦力，使用导轨副预紧拖动力试验台检测，如图3所示。移动平台由测力计推动滑块移动检测摩擦力大小。

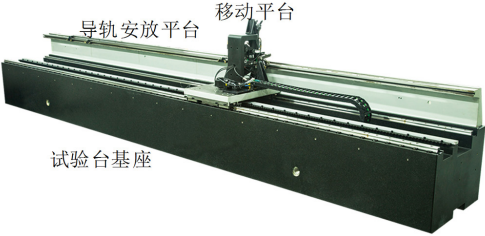


图3 导轨副预紧拖动力与精度测量试验台

2.摩擦力检测结果

(1) 导轨副摩擦力数据

A厂家导轨副摩擦力数据如图4所示。由图可知，摩擦力从0.5~1.5N的波动增加到1~3N的波动，在试验末期摩擦力出现了剧烈的波动。

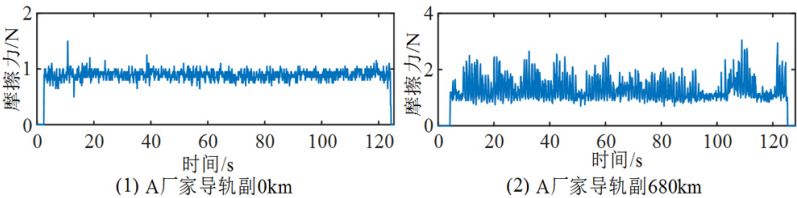


图4 A厂家导轨副试验前后摩擦力变化

B厂家导轨副摩擦力数据如图5所示。由图可知，摩擦力从1~2N的波动增加到0.5~2N的波动，试验末期的摩擦力波动也有轻微加剧。相较之下，A厂家导轨副在试验截止处的摩擦力变化更剧烈。两厂家首末测得的摩擦力存在较大的差异，反映了两家导轨副在耐磨性能上的不同。

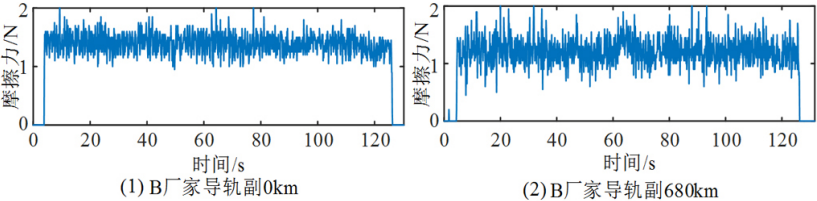
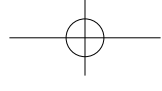


图5 B厂家导轨副试验前后摩擦力变化



(2) 导轨副摩擦力的时域分析

时域分析是利用统计学的方法计算相应统计学参数判断运行状态,具有对数据的评价能力。常用时域统计参数有均值、峭度等,均值表现了数据总体的平均大小,峭度反映数据整体发生突变的程度。其中,峭度的计算公式为

$$k_u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^4$$

摩擦力时域特征以均值和峭度值作为分析对象。均值代表了磨损对导轨副运动所受阻力的影响,变化如图6所示。两家导轨副正反摩擦力平均值都保持在1~2N之间,差异性不大,对磨损并不敏感。

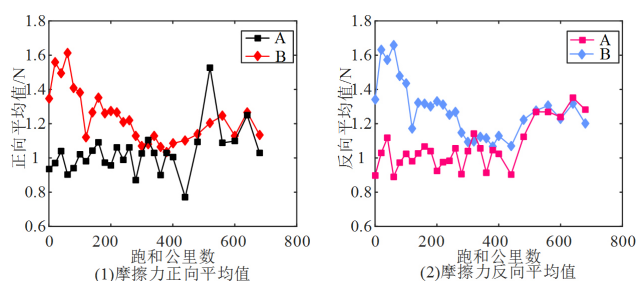


图6 两厂家导轨副摩擦力正反均值

摩擦力峭度越大,代表包含的非规律大幅值越多,说明滑块运动时受到的阻碍次数越多,导轨副运行越不顺畅。如图7所示,A厂家正反向峭度值都高于B厂家,说明摩擦力跳动很大,其运动非常不顺畅。A厂家导轨副在反向运动情况最为恶劣,其峭度值在整个试验期间剧烈波动,最大值超过100。B厂家导轨副正反峭度值维持在3~4N之间,最大值仅达到21.8663,相比之下,B厂家导轨副滑块运动没有较大的阻碍。可知A厂家导轨副运行流畅程度差于B厂家。

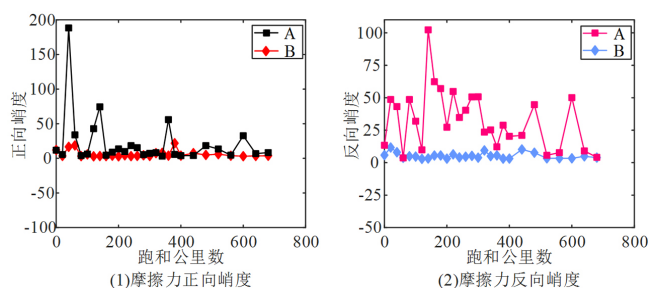


图7 两厂家导轨副摩擦力峭度

四、导轨副滚道磨损形貌观测

表面形貌是机械磨损机理最直接和最主要的判别依据,不同的磨损过程对表面形貌的损伤形式差别较大。导轨副滚道的表面形貌包括滑块滚道和导轨滚道的表面形貌。导轨副在运行期间产生的磨损会反映在滚道的表面形

貌上,对其进行观察有利于判断磨损机理并研究磨损对于性能退化的影响。

1. 磨损形貌观测试验方法

滚道磨损表面观测设备为3800万高清光学显微镜设备,可将滑块以及导轨滚道放大30~200倍进行观察拍照。

通过FEI Quanta 250 FEG场发射环境扫描电镜,可对试验结束后的导轨、滑块滚道表面磨损形貌进行检测,判别疲劳点蚀、黏着磨损、磨粒磨损的类型以及长度标定和磨斑测量。

2. 磨损形貌观测试验结果

(1) 滑块磨损形貌观测试验结果

按照min-max归一化方法求解无量纲指标作为摩擦力波动指标,以此比较不同厂家导轨副磨损对摩擦力整体波动的影响。观察摩擦力波动指标,其变化趋势如图8所示。由图可知,A厂家导轨副在60km处和520km处的反向摩擦力发生了较大的波动,在60km后导轨副摩擦力的波动恢复正常,缓慢增长,而在520km后导轨副摩擦力的波动程度急剧增长。

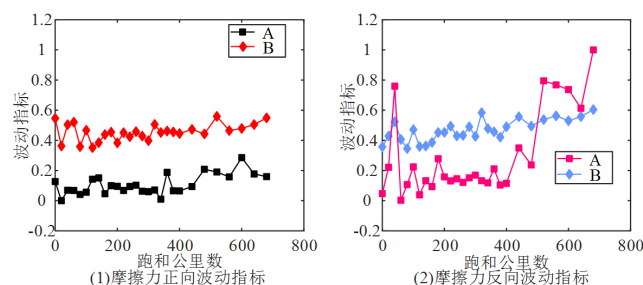


图8 不同厂家摩擦力波动的变化

观察处于该阶段的滚道,导轨副内部滚道区域如图9所示,滑块滚道按位置分为承载区和过渡区。在过渡区,滚珠速度突变大,对滚道的冲击碰撞力大,容易出现滚道损伤。

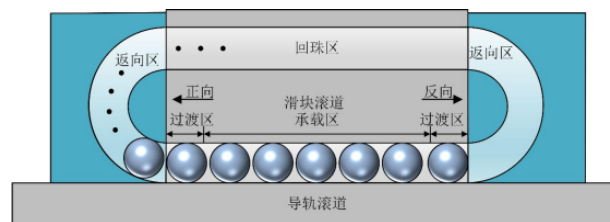


图9 滚动直线导轨副内部滚道区域划分示意图

结合摩擦力的频域最大幅值可知,由于内部出现了滚动循环故障,导致摩擦力的波动陡增。如图10所示,在跑合60km处,在A厂家导轨副滑块滚道反方向过渡区表面出现损伤,跑合到520km时,导轨副滑块滚道的反向过渡区发现滚道损伤面积增长。此损伤导致A厂家导轨副磨损较剧烈,滑块滚道表面磨损痕迹明显。

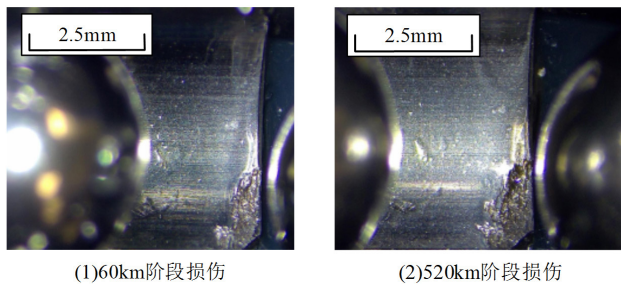


图10 A厂家导轨副滑块内部损伤面积变化

其摩擦力如图11所示,反向摩擦力此时已经发生了剧烈的波动,由于剥落导致滚动在运行时不能顺畅地进入返回区形成阻碍。此阶段后,摩擦力的波动没有随跑合而消失,反而继续增长,这表明此处的损伤面积所带来的影响已经无法随着磨合而消除,导轨副出现了内部循环故障。

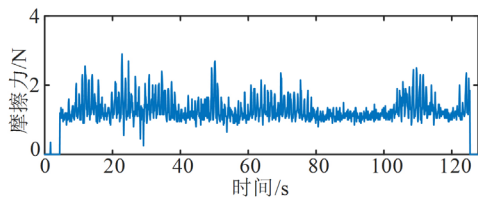


图11 A厂家导轨副520km处反向摩擦力数据

B厂家导轨副在跑合过程中表现稳定,滚道的前后对比如图12所示,在理论寿命处B导轨副滚道面仅仅出现了轻微的条状磨损痕迹,并无破坏现象产生。

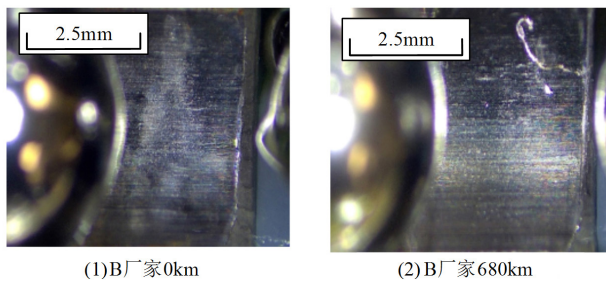


图12 B导轨副滑块试验前后滚道

跑和后对滑块进行切割取样和扫描电镜的观测。滚道微观形貌如图13、14所示,不同厂家导轨副滑块滚道的微观形貌出现了犁沟、撕裂擦伤和剥落坑,分别如图中的箭头1、2和3所指。因此,滑块的磨损机理包括粘着磨损、磨粒磨损和疲劳磨损三种。

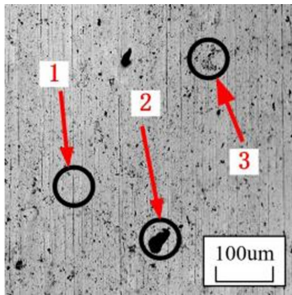


图13 A厂家导轨副滑块滚道

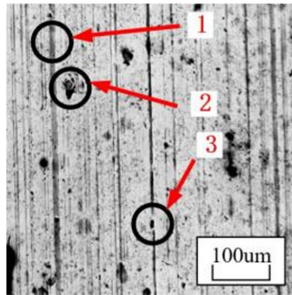


图14 B厂家导轨副滑块滚道

(2) 导轨滚道磨损形貌观测试验结果

滚道微观形貌如图15所示。A导轨上滚道加减速区和匀速区的磨损比B导轨上滚道加减速区和匀速区的磨损更加严重。A和B导轨表面的未跑合区微观形貌基本一致。导轨的加减速区比匀速区磨损更加严重,因为该区域在动静摩擦力的交替下,不易形成油膜。导轨匀速区可以看到明显的沿跑合方向的犁沟和典型的粘着撕裂,存在塑变皱褶和撕裂坑,是磨粒磨损和粘着磨损造成的。相比未跑合区密集条纹,跑合区的犁沟条纹变得分散,可以理解为一开始滚道表面高低不平,存在一些杂质颗粒,跑合阶段伴随着轻微的磨粒磨损和粘着磨损,犁沟条纹逐渐变宽且出现粘着斑点。在稳定磨损阶段,伴随着中度的磨粒磨损和粘着磨损,滚道表面因为犁沟和粘着撕裂,粗糙度进一步增加。

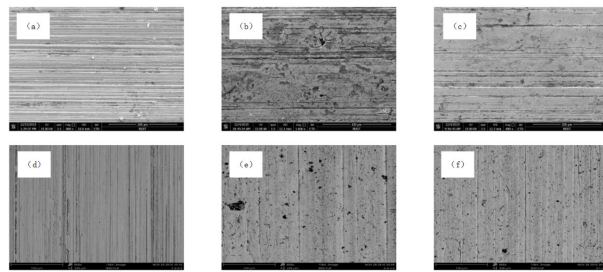


图15 A、B导轨副磨损后导轨滚道不同区域磨损形貌

(a) A导轨上滚道未跑合区 (b) A导轨上滚道加减速区
(c) A导轨上滚道匀速区 (d) B导轨上滚道未跑合区
(e) B导轨上滚道加减速区 (f) B导轨上滚道匀速区

五、结论

本课题针对不同滚动直线导轨副产品摩擦磨损形貌对比分析问题,对摩擦磨损后滑块及导轨滚道的特征形貌进行检测,确定了其摩擦力与磨损机理的关系。

研究发现,不同厂家导轨副摩擦力在波动、时域峭度值方面有着较大的差异。A厂家导轨副摩擦力从跑合前的0.5~1.5N波动增加到跑和后的1~3N波动,在跑合结束时波动更剧烈。B厂家则从1~2N的波动增加到0.5~2N的波动,优于A厂家导轨副。A厂家反向摩擦力峭度值波动剧烈,最大值超过100。而B厂家导轨副正反峭度值则维持在3~4之间,最大值仅达到21.9,优于A厂家。

不同导轨副滚道磨损机理没有显著差别,滑块滚道磨损以粘着磨损、磨粒磨损和疲劳磨损为主,导轨滚道磨损以磨粒磨损和粘着磨损为主。

A导轨副的摩擦力有突变,滑块滚道过渡区磨损表面有明显的严重磨损。在跑合60km处,A厂家导轨副滑块滚道反方向过渡区表面出现损伤,跑合到520km时,滑块滚道的反向过渡区发现滚道损伤面积扩大。此损伤导致了A厂家导轨副磨损较剧烈,摩擦力产生突变。□

浅谈金属切削机床的性能试验

云南省机电一体化应用技术重点实验室/云南省先进制造技术研究中心 韩玉稳 董应明

1. 金属切削机床性能试验项目

金属切削机床（以下简称机床）性能试验项目一般有：功能性试验，噪声试验，机床空运转绝对振动试验，空运转相对振动试验，温升和热变形试验，回转精度试验，静刚度试验，动刚度试验，传动效率试验，直线运动均匀性试验，数控坐标最小设定单位试验，数控坐标原点返回试验，负荷试验，精度试验，可靠性试验。

机床性能试验的每个项目的内容包括：作用（目的）、条件、原理（依据）、过程、分析、结果等，内容较多，本文仅介绍各试验项目的作用，部分试验项目提供某镗铣床的试验结果供参考。

2. 机床性能试验项目的作用

- (1) 功能性试验
- 手动和数字控制操作机床，试验主运动系统、进给系统、功能附件等各个部件动作的灵活性、平稳性、准确性和可靠性。
- (2) 噪声试验
- 机床噪声是评价机床动态性能的主要指标之一，机床噪声的大小直接反应出机床设计制造水平。
- 机床的主轴在空运转旋转状态下，对机床整机进行声压级测试，在最大噪声状态下进行噪声频谱分析，找出机床的主要噪声源，控制降低机床的噪声污染。

图1为测量位置的转速-声压级图，图2为主轴6000r/min运转的时域及频谱。

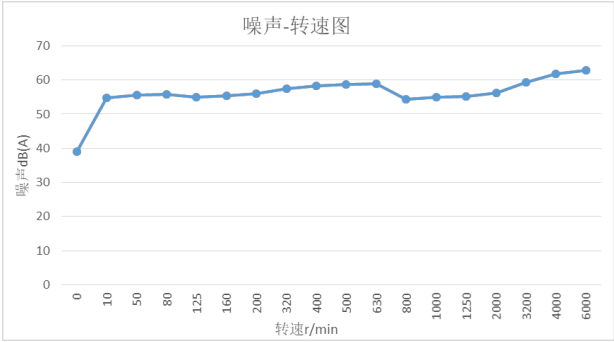


图1 测量位置正反转时的转速-声压级图

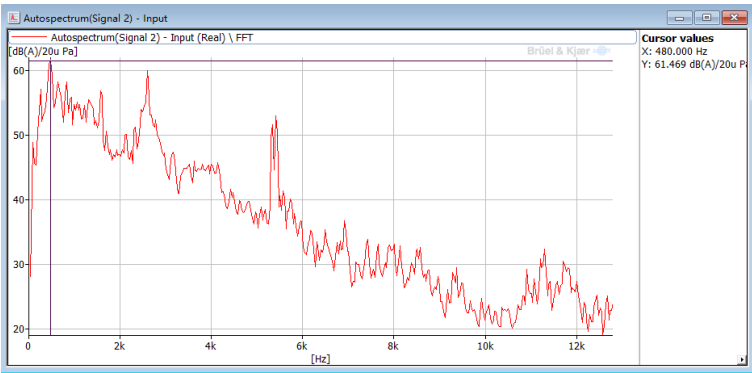


图2 主轴6000r/min运转的时域及频谱图

(3) 机床空运转绝对振动试验

机床在空运转状态下的绝对振动速度的大小，直接影响到机床零件的疲劳使用寿命和机床精度的可保持性。机床振动在一定形态上反映出机床结构设计水平，制造零件质量水平，装配质量水平，它的好坏直接反应加工零件的精度和表面粗糙度。

机床主轴在各级转速下，测量机床主轴前法兰盘在三个坐标方向上的绝对振动速度（有效值），并在各级转速状态下，做绝对振动频谱分析。

图3 主轴法兰盘处测量位置的绝对振动速度-转速关系图，图4为对应测量位置处的X向绝对振动时域图。

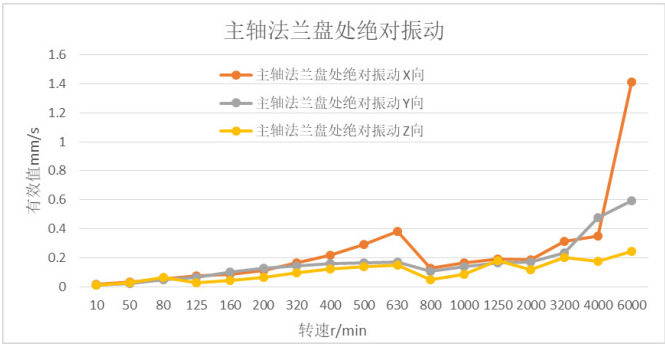


图3 主轴法兰盘处测量位置的绝对振动速度-转速关系图

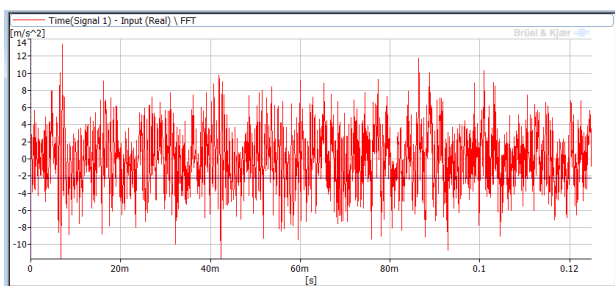


图4 主轴转速6000r/min主轴法兰盘处测量位置的X向绝对振动时域图

(4) 空运转相对振动试验

机床主轴相对于工作台（或刀架）的振动大小直接影响到被加工零件的表面粗糙度和几何精度，是机床主要动态性能指标之一。

机床主轴分别在各级转速下正、反转运行时，测量主轴相对于工作台（或刀架）的振动（幅值），并在最大幅值的运动状态下，进行相对振动的频谱分析。

(5) 温升和热变形试验

机床受内部、外部热源的影响，不仅会引起机床几何精度、运动精度、位置精度的变化，造成机床加工精度的不稳定，而且温升过高，会引起润滑油油脂变质，造成有关部件的疲劳和磨损，破坏机床的正常工作。

温升和热变形试验内容包括：

a) 主轴高速温升试验：机床主轴在最高转速下运转，每间隔一定时间测量主轴轴承的温度和室温。经一定时间的运转后，轴承温度上升幅度不超过每小时5℃时，可认为已达到稳定温度。轴承的最高温度和温升值应符合相关机床产品标准的规定。

b) 液压油箱的温升试验：液压系统在额定工作压力下连续运行至油液达到热平衡后，检验油液的温度和温升，油液的最高温度和温升值应符合相关机床产品标准的规定。

c) 主轴热位移试验：依据《GB/T17421.3-2009机床检验通则第3部分：热效应的确定》进行，主轴按一定比例或恒定转速运转，同时测量环境温度、主轴轴承温度、主轴在圆周方向和轴向的热位移；该试验的时间最少为4h。

多次试验表明，不同型式的机床轴承达到稳定温度后，主轴在径向和轴向还会继续产生热位移。

d) 线性进给轴热位移试验：该项试验仅适用于数控机床，依据《GB/T17421.3-2009机床检验通则第3部分：热效应的确定》进行，进给部件按一定快速移动的比例来回运行，同时测量环境温度、丝杆轴承等的温度、进给轴的热位移；该试验的时间最少为4h。

(6) 回转精度试验

机床主轴回转精度的好坏，直接影响到被加工零件的几何精度，特别是在镗孔时将影响到被加工孔的圆度，通

过试验找出影响主轴回转精度环节误差，便于改善结构设计和装配质量。

通过试验可得到主轴轴线运动的径向误差和轴向误差，如图5、图6所示。

该项试验和上述“（4）空运转相对振动试验”的作用相似，两个试验可任选1个进行。

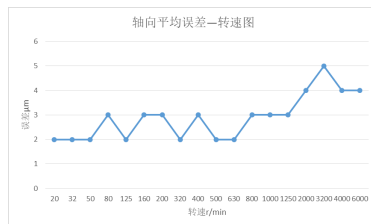


图5 主轴轴向运动平均误差-转速图

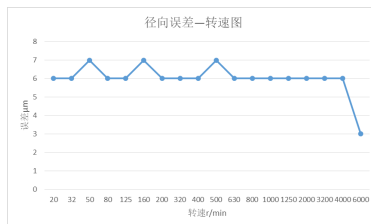


图6 主轴径向运动误差-转速图

(7) 静刚度试验

机床在承受切削力作用下抵抗变形的能力，直接影响到机床的加工效率，间接反映了机床抵抗切削颤振能力，同时也反映了机床结构设计，机床各主要部件的刚度强弱和刚度分配是否合理，材料的选用是否达到最佳等。

在机床主轴与工作台（或车床的刀架、尾座等）之间，根据主轴的各向最大抗力，对主轴施加一定的静载荷，分别测量主轴相对于工作台（或车床的刀架、尾座等）在X向、Y向、Z向的位移，以得到主轴部件相对于机床工作台（或车床的刀架、尾座等）的径向静刚度和轴向刚度。

对主轴施加的静载荷的方向依机床型式的不同而不同，如车床和升降台铣床的静载荷加载为主轴的三个方向同时受力；坐标镗床、加工中心则是分别对主轴的径向和轴向分别加载。

主轴相对工作台变形量关系曲线见图7所示。

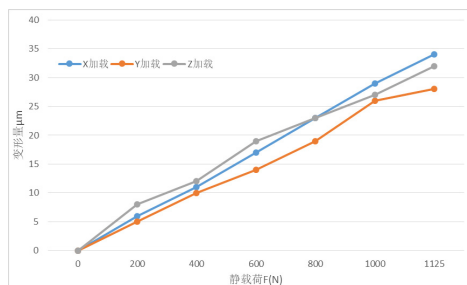


图7 主轴加载力与变形量关系曲线

(8) 动刚度试验

该试验亦成为绝对激振试验，常用的有正弦激振、脉冲激振方法。

通过对机床主轴系统在径向的X和Y向进行绝对激振，得到机床主要部件在不同方向的传递函数，又通过对传递函数的分析，得到机床各部件的最大的动柔度（动刚度）和薄弱环节，并评价主要部件的动刚度是否匹配。

激振试验与切削试验互为补充，是评价机床动态特性的主要方法之一，通过试验结果计算出动柔度的幅频、相频及幅相特性曲线的各种有关数据，根据这些曲线和数据求出机床主轴的动态参数—动柔度（动刚度）、各阶共振频率、阻尼比，间接评价机床的切削抗振性，对低阶共振固有特性进行优化改进，提高机床切削抗振能力。

《JB/T 2322.1-2002 卧式车床性能 试验方法》和《JB/T 13812- 2020加工中心 性能试验方法》分别规定了车床和加工中心的动刚度（绝对激振）试验方法，其它型式的机床可参考采用。

主轴的动刚度如表1所示。

表1 轴的刚度

序号	X向		Y向		Z向	
	频率Hz	动刚度 N/um	频率Hz	动刚度 N/um	频率Hz	动刚度 N/um
1	21.00	10.9	21.00	18.1	34.00	102.5
2	32.00	20.2	28.00	20.4	69.00	29.3

（9）传动效率试验

机床空运转功率损耗，是评价机床能否有效地利用电机的输出功率，机床的传动、结构设计是否合理，装配是否良好的重要指标之一。

一般只对主传动系统进行试验，测量主轴在各级转速下的空载功率。

（10）直线运动均匀性试验

机床在精加工时，其轴线的运动均匀性直接影响到被加工零件的表面粗糙度及波纹度，通过试验确定机床各轴线不产生爬行的最小进给速度。

（11）数控坐标最小设定单位试验

包括数控直线进给轴、数控回转进给轴的最小设定单位试验。

依据相关的产品标准，机床各数控直线进给轴、数控回转进给轴线运动分别按设定最小单位进给运动，通过试验检测计算出机床各轴线最小设定单位的运动误差，验证其运动误差是否符合产品有关标准的允许值。

（12）数控坐标原点返回试验

该试验依据相关的产品标准进行，包括数控直线进给轴、数控回转进给轴的原点返回试验。

机床坐标轴原点返回的误差直接影响到不同班次加工相同批量零件尺寸的一致性，通过该项试验可定量评价机床各坐标轴返回基准点的误差。

（13）负荷试验

负荷试验是机床在模拟工况的负荷下，检测机床的加工性能是否符合相关标准和设计要求，不同型式、不同用途的机床的负荷试验项目不同。

机床的负荷试验项目一般有：承载工件最大重量的运

转试验，主传动系统最大扭矩的试验，主传动系统最大切削抗力试验，最大切削抗力试验，主传动系统达到最大功率的试验，抗振性切削试验。

（14）精度试验

性能试验的精度试验一般指定位精度及工作精度试验。

定位精度试验：依据相关的产品标准，测量各数控直线进给轴、数控回转进给轴的定位精度、重复定位精度、反向差值等。评价数控机床部件沿其轴线方向运动的定位精度是否符合相关标准的要求。

工作精度试验：依据相关的产品标准，检测机床加工试件的精度，加工的精度是否符合产品标准的要求。

（15）可靠性试验

可靠性试验根据不同要求一般有下列3种形式。

a）机床连续空运转运行试验

机床连续运行试验，是机床性能的重要指标，是对机床电气控制系统、机床装配质量、制造质量、电气装配质量、PLC控制编程、润滑系统的可靠性直接考察。

机床模拟实际加工不做切削的连续空运转试验，整个运转过程中不能人为停机，连续运转时间应符合产品标准的规定。机床出厂前及产品的型式试验，一般都做机床连续空运转运行试验。

b）试验场试验

现场试验的项目有：空运转试验，切削力加载试验，静刚度试验，扭矩和功率加载试验，典型试件切削试验，空运转试验，安全试验。

c）现场跟踪统计试验

对现场实际加工运行的机床进行跟踪测量统计，测量、记录机床试验周期内的加工工件的切削参数、加工运行时间、机床的负载功率、主轴轴承温度、电气柜温度、环境温度、故障部位、故障时间等。

上述的b）、c）两项依据《GB/T 23567.1-2009 数控机床可靠性评定 第1部分：总则》进行，根据试验结果，计算机床的平均故障间隔时间MTBF。

3.结束语

我国的机床装备制造业在不断进步和发展，不同型式、不同用途的机床也越来越多，新产品层出不穷，但仅按机床产品标准对机床进行检验，不能真实完全反映机床的性能水平。

本文介绍的项目为常见的机床性能试验项目，但机床性能试验项目较多，对人员和仪器有专门的要求，机床生产厂家在新产品试制定型和机床结构、性能较基型有重大改动时，应选取合适的性能试验项目进行试验，为机床结构的优化改进、性能提供必要的技术支撑。□

中间锥套扩涨式液压紧配螺栓机加工工装设计

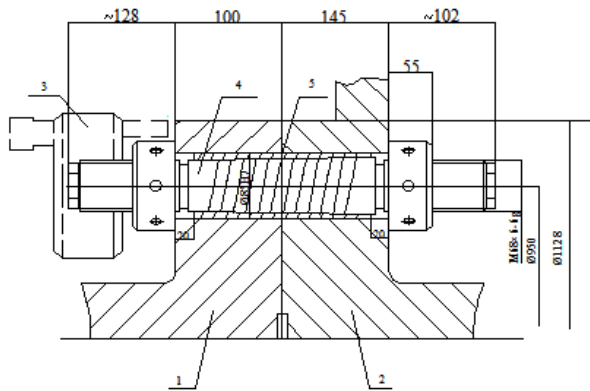
江苏省江阴中等专业学校机电系 朱达新 唐菊萍

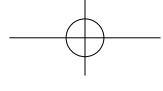
【摘要】针对中间锥套扩涨式液压紧配螺栓机加工技术难点等进行分析，提出了生产工艺、工装设备方面的改进措施，阐述了工装设计的必要性，并重点介绍了工装的结构和技术要求。

中间锥套扩涨式液压紧配螺栓作为一种优质、高效的紧固元件被广泛应用在船舶等大型轴系的连接中，是一种较为新型的连接形式之一。该螺栓工作可靠且安装简单方便，具有精确的配合、便捷的安装及高效的更换效率等特点，目前已经成为中大型轴系连接的主流。

1. 技术难题

中间锥套扩涨式液压紧配螺栓的工作原理是通过拉紧螺栓的外锥面与中间锥套的内锥面配合，在液压拉伸器的拉紧力的作用下，使中间锥套扩涨，以便中间锥套的外径达到孔的尺寸。中间锥套与拉紧螺栓在一定公差范围内的配合提供了法兰平面的压紧力，中间锥套的外圆通过剪切力有效地传递扭矩，以此解决轴系推进的法兰连接问题。参考图1、图2、图3，它的加工难度也相对来说较大，从以下几点即可以看出。





在 $\phi 0.01\text{mm}$ 之内。

(2) 表面粗糙度要求高

中间锥套外圆粗糙度要求在 $Ra\ 0.4\ \mu\text{m}$ 以下,中间锥套内锥度和拉紧螺栓外锥度的粗糙度也要控制在 $Ra0.8\ \mu\text{m}$ 以下。

(3) 壁薄易变形问题

中间锥套是薄壁件,最薄的中间锥套的单面壁厚仅仅有 3mm ,装夹压力稍大即容易产生变形,加工难度大。

(4) 高压环境下密封问题难解决

中间锥套扩张式液压紧配螺栓安装时一般需要 $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力,在高压环境下密封的解决较为困难。

2. 生产工艺、工装设备方面的改进

由于受机床设备的限制,普通车床加工精度偏低,工艺方面很难达到理想的加工精度要求,因此加工工艺需要完善。对于 $\pm 0.008\text{mm}$ 的公差测量难度大,而且同时要保证工件的长度要求(0.2mm 范围),一般难以控制,因此须设计工装来保证。

改进工艺、工装设备以确保加工质量。针对上述问题,查阅国内外对该产品的加工工艺流程、加工方法及现行的工艺进行分析,得出影响该工程的加工质量的因素主要在以下几方面。

拉紧螺栓、中间锥套工艺有待于完善和合理性提高,因此必须制订更为合理、详尽的工艺文件,并送检验部门审核。设计测量工装、装夹工装,用以保证尺寸和互换性及 80% 的接触面;提高加工精度、解决工件壁薄、易变形、密封难等问题。分析影响粗糙度的加工因素,合理选用切削用量及刀具和砂轮的材料、几何参数,确保表面粗糙度。

加工紧配螺栓,应先了解加工过程和各个环节的重要性。对此在加工时具体实施以下一些措施对液压紧配装置螺栓进行加工质量控制。

3. 安排合理的工艺流程

根据车间的加工能力规划合理的工艺流程,一要考虑质量问题,二要考虑拉紧螺栓和中间锥套的互换性问题。如采用“轧丝”工艺,这样不但缩减时间、控制加工质量,而且很好地解决了螺母与拉紧螺栓之间的互换性问题。

工艺员制订拉紧螺栓工艺和中间锥套工艺;接下来粗车,保证中间锥套、拉紧螺栓、螺母的外形尺寸;再半精车、精车、精磨、钳工,液压拉伸试验和最后检验。

4. 工装设计

采用普通车床加工难以控制中间锥套和拉紧螺栓 $\pm 0.008\text{mm}$ 的误差要求;同时测量的难度大(特别是内锥度

大端的 $\pm 0.008\text{mm}$ 公差)。而且中间锥套是薄壁件,装卡力量稍大就会产生变形,严重影响加工精度,同时还应保证内外锥度的接触面 $\geq 80\%$ 以上,以确保密封问题。为此需设计测量工装、装夹工装及测量工具组合成一套装夹工装,工装的设计目的是为了控制加工精度和解决变形问题。

(1) 测量工装

测量工装的设计目的是测量拉紧螺栓的锥度大端尺寸,如图4所示。拉紧螺栓与之相配长度到达“ $1''$ ”mm后即可保证 $X \pm 0.008\text{mm}$ 的公差要求,同时有效地控制了拉紧螺栓之间的互换问题。

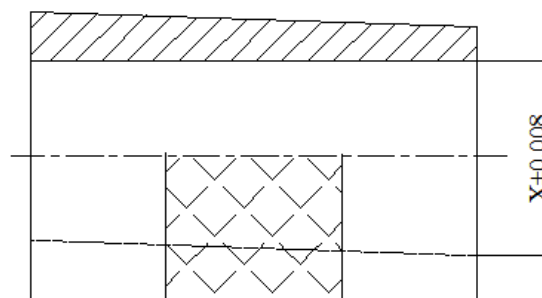


图4 测量工装

(2) 装夹工装

装夹工装是为磨中间锥套内锥度而设计的,如图5所示。保证中间锥套外圆与工装内孔 $0.05\sim 0.10\text{mm}$ 间隙,通过螺纹旋紧,使得锥套轴向受压缩力作用后受力面积大,变形几乎为零,设计很好地解决了薄壁变形的难题。

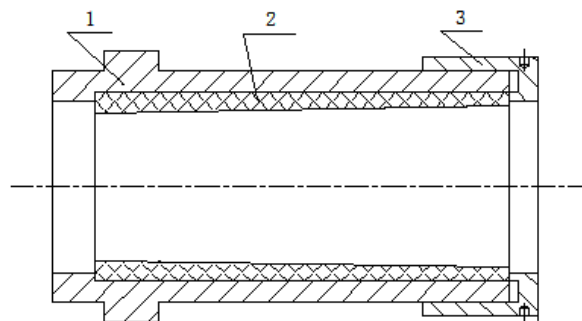


图5 装夹工装

1.套管 2.中间锥套 3.锁紧螺母

(3) 测量工具

测量工具如图6所示,测量中间锥套的内锥度大端尺寸。中间锥套与之相配长度差达到“ $1''$ ”mm后即可保证 $X \pm 0.008\text{mm}$ 的公差要求,避免了测量误差,同时有效的控制了中间锥套内锥度的一致性。

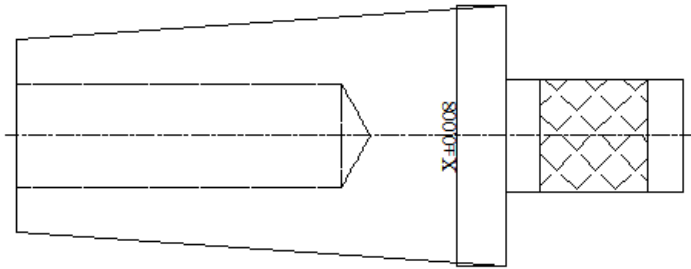
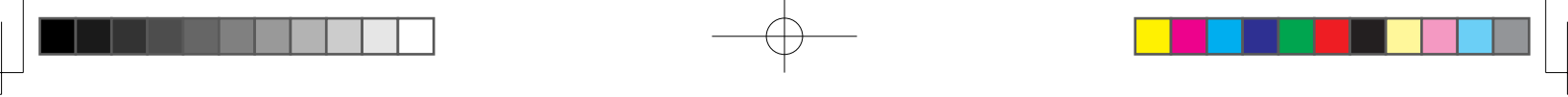


图6 测量工具

(4) 装夹

工装应用于车、磨中间锥套外圆，这是典型的芯轴定位装夹法，如图7所示，中间锥套两端各留2mm余量，工装大端即为要求尺寸。工件装夹后，车掉两端多余部分即可精确保证内锥度大小端尺寸，同时在车磨过程中，芯轴对避免薄壁件的变形有较好的控制作用。

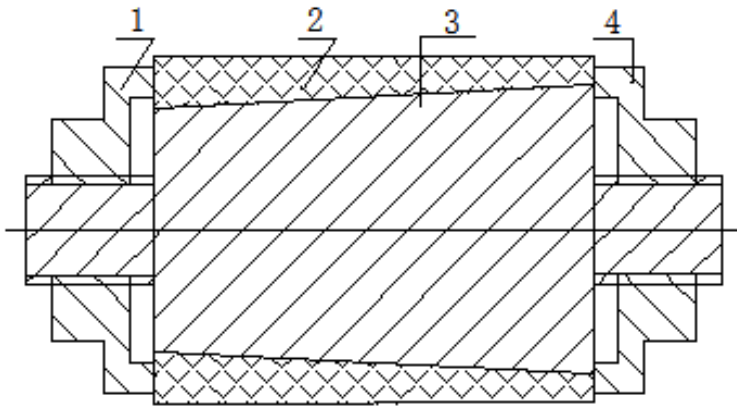


图7 装夹示意图

1.锁紧螺母 2.中间锥套 3.锥度芯轴 4.旋出螺母

5.刀具及辅材的选用

刀具的材料和几何参数对最终工件的表面粗糙度有直接的影响，选择以下几何参数能很好控制质量。

(1) 车刀

材料采用W9Cr4V2硬质合金。车刀几何参数见表1。

表1 车刀几何参数

角度名称	前角 (γ°)	后角 (a_0°)	主偏角 ($K\gamma$)	副偏角 ($K\gamma'$)	刀尖圆弧半径 (γ^e)
角度大小	-8°	11°	75°	15°	0.3mm

(2) 砂轮

影响表面粗糙度主要因素有：砂轮材质、粒度，进给量（f）和修深度

（h），切削速度和切削液。

在实际加工过程中材料采用白刚玉，粒度60。在加工锥套内锥度、拉紧螺栓外锥度中， $f=20\mu\text{m/r}$ ， $h=5.5\mu\text{m}$ 。经表面粗糙度测量仪测量均达到 $Ra0.8\mu\text{m}$ 以下。在中间锥套外圆加工中， $f=15\mu\text{m/r}$ ， $h=0.3\mu\text{m}$ 。经测量，均达到 $Ra0.4\mu\text{m}$ 以下。

由于采用适合的工装和测量工具及合理的工艺流程，使中间锥度和拉紧螺栓的锥度大端都控制在0.005mm，圆度和椭圆度均控制在0.003mm，较好地解决了薄壁变形问题。粗糙度方面均达到 $Ra0.8\mu\text{m}$ 以下（锥套达到 $Ra0.4\mu\text{m}$ 左右），在接触面色粉检查中均达到95%以上，很好地解决了高压密封和互换性问题。

6.结束语

紧配液压螺栓机加工技术含量高，通过上述技术革新后，由于使用了合适便捷的工装，采用了合理的工艺流程，加工时间也缩短了，加工质量也得以提高，产品校验合格率为100%。另外，机床的周转次数明显减少，机加工人员的劳动强度降低了，极大地提高了劳动生产率，经济效益显著提高。□

参考文献：

[1] 技工学校机械类通用教材编审委员会. 车工工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，2006.
[2] 廖兴祥. 液压紧配螺栓的拆卸及安装实例[J]. 航海技术，2020(06)：57-59.
[3] 李永真. 一种立车侧刀架轴切换装置[J]. 世界制造技术与装备市场，2022(03)：81-83.
[4] 张传思，张建中. 一种卧式加工中心交换工作台定位夹紧机构设计[J]. 世界制造技术与装备市场，2022(02)：97-99.
[5] 孟锐. 薄壁件高速铣削加工工艺[J]. 金属加工(冷加工)，2022(03)：34-36.



改变思路，提升长轴件打中心孔效率

江铃汽车股份有限公司车桥分公司 华 斌

【摘要】改变思维方式，改进零件加工方式，提升长轴类零件打中心孔效率。

一、序言

2001年5月，我所在的机修车间车工班接到一个任务，批量加工一种长轴零件。虽然其结构非常简单，对久经沙场的我们而言基本是小菜一碟，但迫于高强度的加工负荷，承担加工任务的两位师傅和当时年轻的我都感到压力。

长轴类零件外圆的车加工，必然会涉及加工中心孔的工艺，以保证加工的稳定性和加工刚性。但长轴在普通车床上加工就牵涉到工件的安装问题，为此，我们对加工方式提出改进方案，从而大大提高了加工效率，可靠保证了中心孔的深度，间接保证了加工长度公差。

二、任务描述

中等批量车加工一种长轴工件，外径为 $\Phi 22$ ，总长度为600mm，加工区域为长度的139mm，车加工一段 $\Phi 15$ （ $-0.04/-0.08$ ）长度124mm和一个长度为15mm的 13.8° 的圆锥。

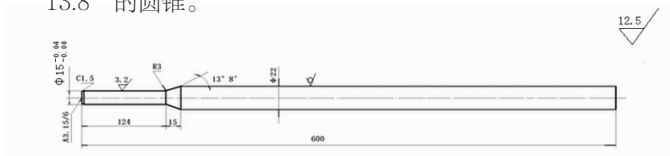


图1 长轴零件图

常规的加工方式是：（1）在车床上集中打中心孔；（2）在车床上车外圆和锥度。具体步骤是，在车床上打中心孔后，再用三爪卡盘装夹，采用一夹一顶的方式加工外圆。使用C6140车床，卡盘直径250，卡盘孔径80mm，尾座上安装钻夹头，钻夹头上安装一个3.15mm的中心钻，尾座的位置固定；用卡盘扳手将三爪尽量张开后，将零件塞入卡盘，再锁紧工件，开启主轴，摇动尾座手轮打

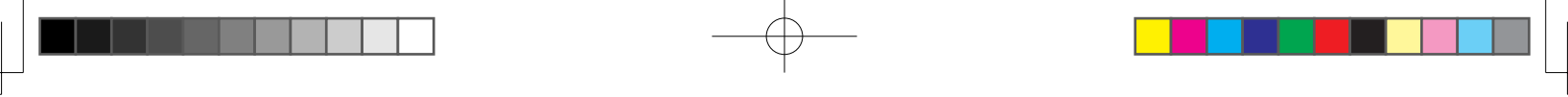
中心孔；打中心孔的过程中深度控制是靠个人感觉，一般是根据手轮旋转圈数 $\times$ 丝杆螺距得出，不太准确；完成中心孔的加工后，反转手轮退到最后，再停止主轴，将卡爪退到最大时取出长轴工件。整个加工过程繁杂，动作幅度大，劳动强度高，但效率低下，且质量不易保证，中心孔的深度深浅不一，对后续的加工长度有影响。

开始我们是一个人专门打中心孔，打完一个批次的中心孔后再和其他两人一起车外圆。但后来发现，有外圆长度不稳定的现象，原因是打的中心孔深度稍有不均匀。于是叫我专门打中心孔，我打的中心孔深度非常稳定，但这就让最年轻的人做了相对轻松的事情。之后就改为每个人单独完成打中心孔和车外圆的工作，从早上一上班就开始打出一批中心孔的料，然后撤换中心钻，换成顶尖，开始进行车外圆等工作。过程中这批次的料要拿上拿下，放远了不方便，放近了碍手碍脚，我们也是叫苦不迭。

每天800根的生产需求，要三个人在一个班次用普通车床不停地加工，才勉强完成。当时最年轻的我和年富力强的师傅们，在下午快下班前一个小时，已经累得不能扳紧卡盘，造成好几次在加工时工件被切削阻力推入卡盘的安全事故。领导对此非常重视，希望我们机修车间的车工能更好更安全更稳定地加工出合格产品，因此迫切需要寻找更合适的加工方式。

三、改进中的分析

通过对原加工工艺进行分析认为，中心孔必须要加工，否则长径比约为10的长轴很难稳定加工，震颤和椭圆等现象会非常严重。要加工中心孔，又要操作简单，就要改变思路，优化操作过程。



1. 对原工艺的分析

原工艺加工时间分配：

序号	工步	时间 (秒)	时间 占比
1	张开和夹紧工件	30	45%
2	主轴开启和停止	8	12%
3	打中心孔	8	12%
4	伸出和退出尾座套筒	12	18%
5	取件和上下料	6	10%
	合计	66	

分析发现，（1）主轴开启和停止的时间占整个加工时间的12%；（2）完整的打中心孔的时间，仅占到12%；（3）伸出和退出尾座套筒的时间占18%；（4）张开和夹紧工件的时间占45%；（5）取件和上下料的时间仅占10%。

2. 分析过程

由上可知，装夹和停车是消耗时间最多的过程，其次是伸缩尾座套筒的时间。车床尾座固定后，要倾斜工件装夹，就必须将三爪完全张开，即使这样，尾座还是伸出很多，造成时间消耗。中心孔的深度影响后续加工质量，需要确保尺寸的稳定。确定了主要矛盾，就明确了下一步的改进方向。

四、重要改进方式

针对以下主要消耗时间的关键点：

- （1）如果主轴不停车，就能节约12%的时间；
- （2）如果没有打开和收紧三爪的时间，就能节约45%时间；
- （3）如果减少手摇尾座手轮的时间就能减少18%左右的时间。

进行逆向思维，如何达到不停车快速加工，并确保尺寸稳定？

关键设计点是：改变工件旋转为

刀具旋转，制作一个车床夹具；将中心钻安装在车床主轴上，就是用三爪装夹中心钻，将工件安装在刀架上的夹具中，夹具中有限位块，不让工件有轴向偏移，由V型槽保证安装后不会偏离轴线；为保证中心孔深度，曾经做过一个声光报警的装置，用行程开关控制，中心孔打到深度后，会有一个红色发光二极管和一个蜂鸣器发出声音提示可以退出加工量，思路虽新颖，但车间噪音大，操作者可能会有反应延迟，中心孔的深度还是不易控制好；于是考虑了一个刚性限位的方式，在中拖板下钻孔攻丝，安装一个长度限位杆，加工到位后，限位杆撞到床身，大拖板不能移动，说明加工到位了，可以退出加工过程。整个夹具实际上就是一个金属条一个V型孔，一个挡板加一个锁紧螺丝，一根限位杆。结构简单紧凑，易于制造和调试。

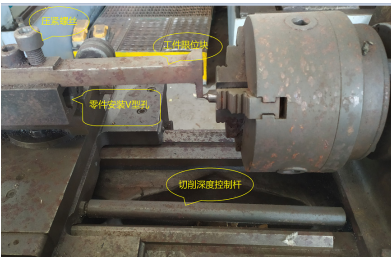


图2 长轴零件不停车夹具

序号	改进后加工工步	时间 (秒)	时间 占比
1	夹紧和松开工件	8	35%
2	无需主轴开启和停止	0	0%
3	打中心孔	8	35%
4	无需伸出和退出尾座套筒	0	0%
5	取件和上下料	7	30%
	合计	23	

使用中发现，中心钻的安装长度是靠深度尺测量中心钻的钻尖到卡盘

的长度来保证的，实际上中心钻的钻尖圆柱长度是有一定制造误差的，这个误差会影响批次之间的中心孔深度。为此，我又设计制作了一个中心钻安装长度固定工具，结构简单，操作简便。利用中心钻的60°主切削刃口作为定位元件，与工具的60°锥面贴合，更换中心钻时只要将中心钻塞入该工具，锥面锁紧螺丝的锥面与中心钻大圆柱面接触后会产生一个轴向分力，将中心钻可靠地推进安装工具，然后端面贴靠三爪卡盘后，用扳手锁紧中心钻，松开锥面锁紧螺丝，将工具取下，即完成安装。保证每个批次的中心孔都是一样的深度。

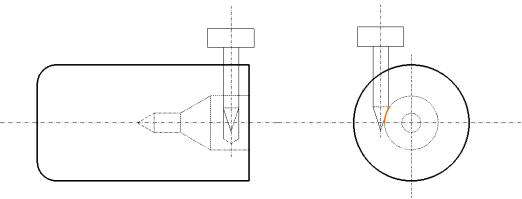


图3 中心钻安装长度固定工具使用示意图

五、改进后达到的效果

设计制作一个不停车打中心孔夹具，做到：（1）主轴不停车；（2）快速装夹；（3）夹紧点靠近加工点；（4）尽量少的移动行程；（5）操作简单、制作方便。后续，该长轴的加工工艺也改为一台设备专门打中心孔，一个人一个班能加工900根长轴的中心孔，并且劳动强度显著降低，中心孔深度的精度可以稳定在0.25mm，得到大家的好评。

六、结束语

解决问题要找到需求无法满足的根源，通过逆向思维，更好地达成目标。该夹具和安装工具的设计制作是在20年前，至今一直用得很好，高效可靠，希望能抛砖引玉，与大家共勉！□



浅谈不锈钢的机械切削加工

四川省攀枝花市攀钢工程技术有限公司 周德华

【摘要】通过多年来在不锈钢零部件加工实践中的技术摸索，总结出加工不锈钢工件的成功经验，进一步探讨更科学合理的加工方法。

一、前言

在攀钢工程技术有限公司下属机动工程处的机械加工任务中，主要工件是连接件，大多是用于炼铁厂煤化区域化生产工艺设备上的，还有些是机电公司用于仪表仪器上的。这些零部件大部分都是不锈钢材料制成的，因为需要具有较高的耐酸性和耐腐蚀性能，同时还必须具有消磁性能。这样的工件精度要求较高、加工难度较大，所以这就要求机加工过程中必须采用特殊的加工手段来解决存在的困难。

二、不锈钢的性能特点

不锈钢是指在钢中含有铬量大于12%或含镍量大于8%的合金钢。这种钢在大气中或在腐蚀性介质中，有一定的耐蚀能力。不锈钢按其化学成分可分为铬不锈钢（1Cr13等）和铬镍不锈钢（1Cr18Ni9Ti等）两大类。按金相组织分为铁素体不锈钢、马氏体不锈钢、奥氏体不锈钢、奥氏体+铁素体不锈钢和沉淀硬化不锈钢。由于在切削不锈钢时，加工表面硬化严重，表面硬度比基体提高1.4~2.2倍，切削力大，切削温度高，刀具在亲和作用下易产生粘结、扩散和月牙洼磨损及积屑瘤，所以它们的切削加工性较差，给车削加工造成困难。特别是奥氏体不锈钢和奥氏体+铁素体不锈钢，切削加工更为困难。

不锈钢的切削难点表现在以下几个方面：

1. 塑性大，加工硬化严重。不锈钢的塑性韧性大，切削时的伸长率是45号钢的3倍，冲击韧性是45号钢的4倍，而且粘附性强，在切削过程中容易形成积屑瘤，使工件表

面加工质量降低。而且，当切削温度升高后，其加工硬化加剧，导致材料硬度强度逐步提升，从而又使切削力大大增加，刀具前刀面与铁屑间的摩擦以及刀具与工件后刀面的摩擦的磨损加剧，从而降低了工件的表面质量，使硬化层深度也比加工一般钢材大，给以后的切削加工带来困难。

2. 导热系数小。由于不锈钢工件材料的塑性变形大，刀具间的摩擦较大，产生的切削热较多，但导热系数较低，只有45号钢的三分之一到四分之一，因此，加工过程中产生的切削热很难散发出去。从而导致切削温度高，工件受热变形，尺寸精度难以控制。

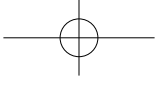
3. 刀具容易磨损。由于不锈钢的导热性差，切削区域热量无法及时传导出，加之不锈钢中由碳化物形成的硬质多，使刀具的机械磨损加剧，切削区域温度升高，切削物与刀具间的压力较大，使刀具产生扩散磨损和机械磨损，导致刀具磨损加快，甚至“烧坏”刀尖。

三、切削刀具的选用

在保证高质量切削加工的前提条件下，要提高生产率，就必须有高质量、高性能的生产工具。在不锈钢加工过程中，合理选择刀具材料是保证高效率加工的重要条件。

1. 刀具材料的选择

鉴于不锈钢材质的特性，在加工不锈钢工件时，要求刀具材料必须耐热性强、耐磨性好、强度高，与不锈钢亲和作用小。目前常用的刀具材料有高速钢和（含



TaC或NbC钨钴类)硬质合金两种。一般而言,选用YG8、YG6X、YW1、YW2等,选用813、643、798、YM10(YM4)、YS8(YM051、YM052)等新牌号硬质合金更好。

高速钢是综合性能比较好、应用范围比较广的一种刀具材料,热处理后硬度可达62~66HRC,耐热性为600℃左右,特别适用于制造结构复杂的成型刀具、孔加工刀具。随着高速钢切削性能的不断改善,用于切削不锈钢的效果越来越好。我们常选用高性能高速钢,它是在通用高速钢中增加碳、钒,添加钴或铝合金元素的新钢种,其耐磨性与耐热性有显著提高。但是,高速钢刀具切削不锈钢时的切削速度低于硬质合金刀具,所以限制了其应用。

硬质合金是由硬度和熔点很高的碳化物和金属通过粉末冶金工艺制成的,其种类有多种,在不锈钢加工中一般选用钨钴类和钨钛钴类两种。

钨钴类(YG)硬质合金抗弯强度与韧性好,可减少切削时的崩刃;导热性好,有利于降低切削温度。使用这种刀具材料,可以采用大的前角,刀刃容易刃磨锋利,切屑也不容易与刀具产生粘结,主要用于不锈钢的粗加工、断续切削等。

钨钛钴类(YT)硬质合金有较高的硬度,特别是有较高的耐热性,较好的抗粘结性和抗氧化能力。但是,由于脆性较大,在粗车不锈钢时因切削力大而容易崩刃。所以,一般只用于不锈钢的精加工。其中钨钛钴类刀具对含钛不锈钢有较强的亲和力,所以不适用于切削含钛的不锈钢。

此外,选用涂层的硬质合金来切削不锈钢,能够显著提高刀具的切削性能,主要牌号有:YB125、YB215及YB415等。目前新研制开发的TiCN、TiAlN涂层在切削不锈钢时其性能更好,切削力、切削温度下降25%,切削速度、进给量可提升一倍以上。

2. 刀具几何角度的选择

合理选择刀具几何角度非常重要,其切削部分的几何角度直接影响着切削加工时的切削力、表面粗糙度、加工硬化趋势、生产率、刀具耐用程度等诸多方面。合理选择刀具几何角度不仅可以提高工件的加工质量和加工效率还可以显著降低加工成本(如降低刀具的更换频率和废品率等)。因此,根据不锈钢材料的加工特性,在合理选择车削不锈钢的车刀切削几何角度时,要以保证车刀有足够的锋利程度、切削强度、散热性等为原则来选择刀具的几何角度。

(1) 前角:不锈钢的强度、硬度比较低,由于其塑性韧性较大,应选取较大的前角和负倒棱相结合的办法来

减少前刀面对切削层的塑性变形。可刀具前角的适当提高会降低刀具的塑性变形能力、切削热及切削力,加工硬化也随之减轻。同时,可降低切削力和切削温度,相应的,刀具耐用度也会显著提高。为了减小塑性变形、加工硬化,在保证切削刃强度的前提下,应尽量采用较大的前角。粗车时前角 $\gamma_o = 15^\circ \sim 20^\circ$,精车时前角 $\gamma_o = 20^\circ \sim 30^\circ$ 。负倒棱一般取:粗车时 $bf = (0.8 \sim 1)f$;精车时 $bf = (0.5 \sim 0.8)f$ 。

(2) 后角:由于不锈钢的弹性和塑性都高于一般的碳素钢。进行切削时,不应选取较小的后角,这样会增加后刀面与切削面的接触,使切削温度升高,加剧刀具的磨损,使工件表面光洁度显著降低。所以,切削不锈钢时车刀应选取较大的后角,以减少后刀面与工件之间的摩擦。但是,这样会降低刀具切削刃的强度与散热。粗车时后角 $\alpha_o = 5^\circ \sim 8^\circ$,精车时后角 $\alpha_o = 10^\circ \sim 12^\circ$ 。

(3) 主偏角:应将车刀的主偏角磨得小一些,这样,可以增大刀刃的工作长度,有利于散热,主偏角 $k_r = 45^\circ \sim 75^\circ$, $k'_r = 8^\circ \sim 15^\circ$ 。

(4) 刃倾角:由于采用较大的前角,刀尖强度会有所削弱。因此,刃磨负值的刃倾角可增加刀尖的强度,一般情况下:粗车时选取 $\lambda_s = -3^\circ \sim 5^\circ$,精车时 $\lambda_s = 0^\circ \sim 3^\circ$ 。

(5) 刀尖圆弧半径:为了使刀尖的强度较好,应取较大的刀尖圆弧半径 $r_\epsilon = (0.5 \sim 1) \text{ mm}$ 。

(6) 车削不锈钢车刀的断屑槽型,应采用全圆弧型或直线圆弧型。断屑槽宽度为 $(3 \sim 5) \text{ mm}$,槽深为 $(0.5 \sim 1) \text{ mm}$,圆弧半径为 $(0.2 \sim 0.8) \text{ mm}$ 。粗车时,断屑槽浅而宽。精车时,断屑槽窄而深。如再发现不断屑时,可适当降低转速或增大进给量来使其断屑。

四、切削用量的选择

当刀具几何参数确定后,还需选定合适的切削用量才能进行切削加工。选择合理的切削用量,将直接影响工件的加工质量、生产率及刀具寿命。在实际工作中,我们常常是通过切削用量手册、实践经验总结或工艺试验来选择切削用量。

1. 切削速度:由于不锈钢的工艺性差,为了提高刀具的耐用度,切削速度不宜过高。因车削不锈钢的切削速度只有车削普通碳钢切削速度的40%~60%,太高了会使刀具磨损加快,一般硬质合金车刀的切削速度为 $(50 \sim 100) \text{ m/min}$,高速钢车刀的切削速度为 $(10 \sim 20) \text{ m/min}$ 。

2. 进给量:一般根据工件及刀具刚性来决定进给

量。加工不锈钢时由于材料性能特殊，进给量不宜太小，以免刀具在硬化层上切削而加剧刀具磨损，一般为（0.2~0.5）mm/r。刀具不要在切削表面停留，以防加剧切削表面硬化，给下一次进刀切削带来困难。

3.背吃刀量：即使是同一不锈钢工件加工，根据加工要求的不同，选择的背吃刀量也不尽相同。粗车时可选择较大的背吃刀量，这样，可以减少走刀次数，提高生产率，还可以减少刀具与工件的切削次数，降低刀具的磨损。精车时，可选择较小的背吃刀量。一般情况下，粗车时：ap=（2~5）mm；半精车时：ap=（0.~50.6）mm；精车时：ap=（0.2~0.4）mm。

五、切削液的选择

车削不锈钢时产生的切削热较多，散热较差，粘附性较强，因此，要求切削液要有较高的冷却性能、润滑性能及洗涤性能。而且，冷却润滑液必须始终连续不断地浇在车刀刀尖与工件摩擦处，断续的冷却可能造成硬质合金刀片因受热不均而产生裂纹、崩刃或损坏。一般采用的冷却液有如下两类：

1. 乳化液

乳化液是不锈钢切削加工最常见的一种冷却润滑液。乳化液具有良好的稳定性，在切削过程中能牢固吸附在表

面，形成一种坚固的油皂薄膜，起着很好的冷却、润滑作用。粗车不锈钢时，用较小浓度的乳化液冷却，润滑液对刀具的使用寿命、切削效率能发挥很好的作用。精车不锈钢时，选用较大浓度的乳化液冷却，不但可以起到润滑作用，同时可以提高加工件的表面质量。

2.煤油加植物油

煤油与植物油按一定比例（0.4:0.6）进行勾兑，勾兑时用手去感觉摩擦油的细嫩程度，较细嫩的油的渗透性、冷却性、润滑性都比较好，很适用于不锈钢的精加工，以获得较好的表面质量。

除了选用合理的切削液外，加工时切削液的供给还必须充分。在产品质量要求不断提升和科技飞速发展的今天，最好能够采用较为先进的喷雾冷却、高压冷却等高效冷却方法，以便近一步提高产品质量、延长刀具使用寿命。

六、结束语

不锈钢工件的加工在机械加工中较为常见，但由于材料本身的性能较特殊，以数字化设备来加工就不算太难，相对于普通设备在加工过程中的技术要求却不一般。以上谈及的加工技术，只是在平时工作中积累的一些经验，供加工企业参考。□

参考文献：

- 1.《实用车工手册》编写组编.《实用车工手册》—北京：机械工业出版社，2009.3
- 2.张能武主编.《车工36“技”：计算方法、计算实例》，—北京：电子工业出版社.2009.4
- 3.机电工业考评技师复习丛书编审委员会编.《车工》，—北京：机械工业出版社出版.1991.12
- 4.雒运强、李保章编.《实用车削操作技巧450例》，—北京：化学工业出版社.2006.6
- 5.金福昌主编.车工（技师、高级技师）.—北京：机械工业出版社.2007.4
- 6.中国机械工业教育协会组编.《金属工艺学》.—北京：机械工业出版社.2001.6
- 7.陆剑中、孙家宁主编.《金属切削原理与刀具》.—3版.—北京：机械工业出版社.2001.6
- 8.郑修本主编.《机械制造工艺学》.—2版.—北京：机械工业出版社.1999.5
- 9.何建民编.《车工操作技术与窍门》.—北京：机械工业出版社.2005.6
- 10.机械工业职业技能鉴定指导中心编.《车工技能鉴定考核试题库》.—北京.机械工业出版社.2001.7

资讯

合锻智能获中国工业大奖项目提名奖

日前，中国工业经济联合会发布《第七届中国工业大奖、表彰奖、提名奖候选企业和项目名单公示》，合肥合锻智能制造股份有限公司“高速热冲压液压机关键技术研

究及产业化”入围中国工业大奖提名奖候选项目。这是合锻智能再次荣获中国工业大奖提名奖，在2016年第四届中国工业大奖评选中，合锻智能曾获中国工业大奖企业提名奖。



GNC62数控系统及通用驱动器应用

科德数控股份有限公司 陈连君 李国学 王 阳 侯颜博

【摘要】数控系统是数控机床的重要组成部分，是决定机床装备的性能、可靠性和成本的关键因素之一，也代表着国家工业发展水平。本文主要介绍GNC62数控系统及使用GLINK通讯转接卡对通用伺服驱动器的支持使用，以及应用于科德数控股份有限公司KMC800S系列机床中的实际效果。

引言

众所周知,数控机床是国家工业发展的基础,是衡量一个国家工业发展水平的重要指标之一。目前我国高端数控机床还不能完全满足重点领域需求,因此,大力发展国产高端数控机床迫在眉睫。

GNC62数控系统是科德数控股份有限公司开发的新一代旗舰级数控产品,在高速高精五轴车铣复合加工中心、五轴工具磨床、龙门加工中心等产品的应用上都表现出良好控制性能^[1]。

GNC62数控系统具有以下基础技术: GLINK光纤运动控制现场总线,采用100Mbps高速光纤介质达到高速的信息交互、GRTK实时内核,实现每秒数千次的精确控制任务调度,可以使运动控制、逻辑控制、人机交互操作等高效有序运行;内部采用80位浮点运算,运算最小单位达0.1nm,配合高精度编码器使用,为机床提供精度保证^[2]。

一、GLINK通讯转接卡

GLINK转通用接口模块,是科德数控股份有限公司针对自身具有自主

知识产权的GLINK总线而量身定制的转换模块。能够将数字GLINK 总线转换为传统的模拟量、脉冲串指令,并附带编码器反馈、PLC 输入输出等接口,能够完全满足通用伺服的应用需求。这是能够使科德数控系统控制传统模拟量、脉冲串指令接口的通用伺服,拓展了科德数控系统针对伺服的兼容范围,使科德数控系统能够无缝兼容第三方非总线类伺服。

GLINK 转通用接口模块是科德数控系统的选配部件,用户可以根据自身的伺服驱动器的指令接口选择是否配备。此模块具有配置方便、应用简单、接线快捷等特点。

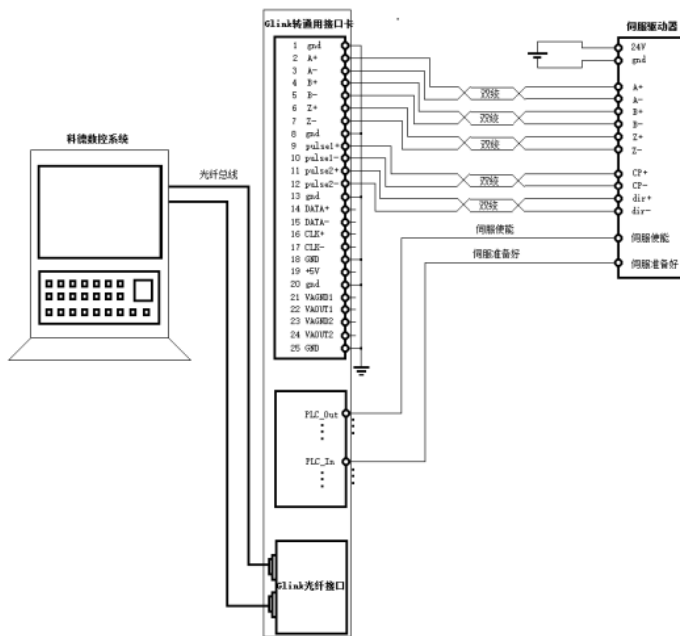


图1 脉冲模式下连接实例

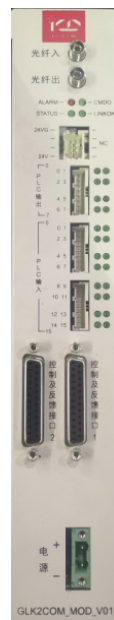


图2

GLINK 转通用接口模块内部含有控制芯片, 可以将GLINK总线传下来的速度指令转换成脉冲数。公式如下;



$$\frac{\text{转速} \times \text{编码器脉冲数}}{60} = \text{频率} = 4 \times \frac{200\text{MHz}}{\text{分频数}} \Rightarrow \text{转速} = \frac{4800\text{MHz}}{\text{编码器脉线数} \times \text{分频数}}$$

公式1 速度指令转换

在使用GLINK 转通用接口模块时需要设置相关参数：

表1

参号	参数名	参数说明
98C1	控制模式	00000000H：模拟量输出（速度） 00000001H：脉冲串输出（位置） 其他：未定义，默认脉冲串输出
98C2	脉冲输出模式	00000000H：0~+10V 00000001H：-10~+10V 其他：未设定，默认 0~+10V。
98C3	模拟电压通道选择	00000000H：0 通道 00000001H：1 通道 00000002H：2 通道 00000003H：3 通道 00000004H：所有通道 其他值未定义
98C5	编码器控制	指示所采用的编码器接口 bit31：编码器 1 接口使能 1：编码器 1 使用 0：编码器 1 不使用 bit30：编码器 1 接口类型 1：绝对值（SSI） 0：ABZ 脉冲 Bit15：编码器 2 接口使能 1：编码器 2 使用 0：编码器 2 不使用 Bit14：编码器 2 接口类型 1：绝对值（SSI） 0：ABZ 脉冲

二、机床应用

1. 机床简介

科德数控股份有限公司为客户定制开发的五轴联动数控短电弧精密铣削复合机床，配套使用GNC62数控系统。该机床主要应用于零件电弧加工。

该类型机床具有以下优点。

改良的龙门框架及整机结构设计，三个轴在刀具上，两个旋转轴在工件上，达到较优的主轴支撑，拥有更好的主轴刚性；AC轴采用直驱技术，具有满足铣削和车削要求的良好精度和动态性能；通过双驱技术实现重心驱动，使机床得到更强、更平稳的驱动，有效抑制振动，消除反向间隙。

Z轴方向配套国内某小型电机及驱动器，用于短电弧加工，配备短电弧系统。

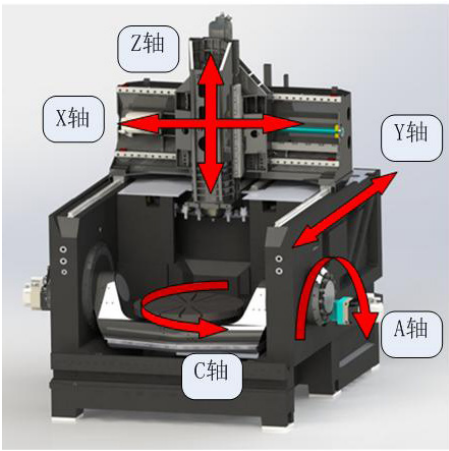


图3 机床整体结构

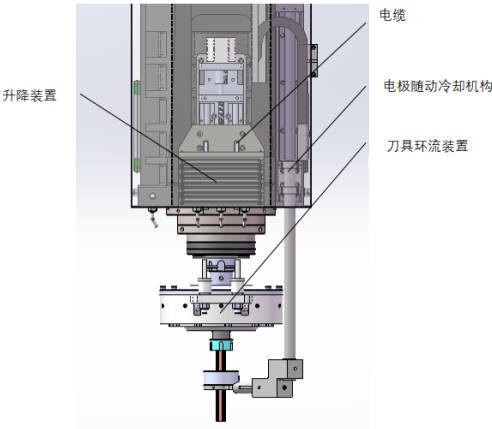


图4 刀具部分

2. 性能调试

在电气连接完成后，需要进行参数配置及调试，主要设置零点偏移、死区补偿及性能调试。

（1）在系统中设置位置开环，观察此时电机运行的实际转速，如图5。



图5 补偿前速度偏差

（2）根据电机转速偏差设置“零点补偿”，写入参数后再次观察

此时电机运行的实际转速，如图6^[3]。



图6 补偿后速度偏差

(3) 设置完“零点补偿”后，观察“0”速时电压偏差值，并将其写入死区补偿中，参数如下^[4]。图7。

表2		
名称	范围	单位
模拟速度指令死区1	0~13000	mv
模拟速度指令死区2	-13000~0	mv

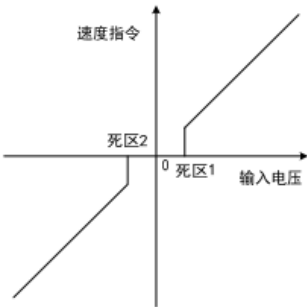


图7 死区补偿

(4) 性能调试：位置闭环，调试速度环及位置环参数。调试完成后可以运行程序测试跟随性及稳定性以满足机床要求^[5]。

三、总结

本文主要介绍了GNC62系统及GLINK 转通用接口模块在机床上的应用，进行了实际使用及参数调试。GLINK 通讯转接卡丰富了GNC62系统对其他厂家的伺服及变频器使用，为机床设计提供了更多选择。但由于GLINK 转通用接口模块模拟量存在一定误差及通用驱动器普遍反馈分辨率较低，因此相对于伺服控制精度较低，一般应用于对控制精度及性能要求不是很严格的场合。□

参考文献：
[1]陈虎.五轴数控系统探秘:科德GNC60数控系统编程手册.武汉:华中科技大学出版社.2018.4
[2]陈虎.深入浅出五轴数控系统:科德GNC60数控系统技术教程.武汉:华中科技大学出版社.2018.4
[3]孙宇,王志文,孔凡莉,兰振平.交流伺服系统设计指南.机械工业出版社.2013.11
[4][美] 乔治·埃利斯 著.汤晓君 译.控制系统设计指南(原书第4版).机械工业出版社. 2016.07
[5]秦忆.现代交流伺服系统 [M] . 武汉:华中理工大学出版社, 1995

资讯 扬州集团“万吨级”专用伺服液压机顺利下线

近日，扬力集团为人防工程领域开发的万吨级复合材料专用伺服液压机在江苏扬力液压装备有限公司顺利下线。



该机床采用了多拉杆、多缸均布的结构设计，融入开模缸控制系统动态调平技术、蓄能装置恒压控制技术、多泵合流控制技术、泵保压控制技术、吨位分级控制技术等多项核心技术。机床刚度高、精度好、压制力恒定，其下行速度无极调整，并可设置四个以上的吨位分级，非常适合复合材料加热后的快速压制和缓速成形。

万吨复合材料热成形伺服液压机的成功下线彰显了扬力在超大吨位液压装备领域的综合实力，是扬力在非金属材料热成形装备领域取得了又一次重大突破，丰富了国内复合材料热成形设备的品种，也是扬力集团高质量发展进程中的重要成果。