

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing
Engineering & Market

No.3 2021
2021年6月
June 2021

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

顾问: 吴柏林 于成廷
主任: 毛予锋
副主任: 王黎明 郭长城
编委:

龙兴元 张志刚 杜琢玉 何敏佳 王旭 王俊峰
王焕卫 闫宁 关锡友 芦华 李屏 李金泉
李保民 杨平 吴日 吴国兴 冷志斌 张明智
张波 陈吉红 姜华 黄正华 商宏谟 蔚飞
魏华亮

特邀编委:

刘宇凌 李先广 姜怀胜 李维谦 于德海 刘春时
李宪凯 邹春生 张自凯 崔瑞奇 徐刚 张新龙
赵博 李志宏 桂林 汪爱清 王跃宏 张国斌
初福春 王明远 刘庆乐 王兴麟 边海燕 董华根
胡红兵 武平 肖明 陈长江

总编辑: 李华翔

责任编辑: 梅峰

国际标准代号: ISSN 1015-4809

国内统一刊号: CN 11-5137/TH

国内发行: 北京报刊发行局

订阅处: 全国各地邮局

邮发代号: 80-121

广告代理: 台湾总代理-宗久实业有限公司

地址: 台湾省台中市南屯区文心路一段540号11F-B

电话: +886 4 23251784

传真: +886 4 23252967

电子邮箱: Jessie@acw.com.tw

广告负责人: 吴佩青(Jessie)

承印: 北京久佳印刷有限责任公司

零售价: 中国内地RMB10.-

中国香港HK\$70.-

其他地区US\$10.-



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

目录 CONTENTS

2021年第3期(总第174期)

WMEM世界制造技术与装备市场

资讯 News

- 10 特标委专家就3项增材制造设备行业标准进行研讨等4则消息

特别报道 Special Report

- 12 创新人才转型升级
——2021机床制造业CEO国际论坛成功举办 机床协会传媒部
Report of the 2021 Machine Tool Manufacturing CEO International Forum
- 18 CIMT2021展会综合报道 梅峰
Comprehensive report of CIMT2021 show

研发与应用 Research & Application

- 24 u1000/5ST-400V精密五轴立式加工中心的研制和应用 工研精机
Development and application of U1000/5ST-400V precision five-axis vertical machining center
- 28 多机器人协同汽车制动钳支架高速精密加工全自动生产线的研发与应用 浙江畅尔
Research and application of high-speed precision machining automatic production line with multi-robot cooperation for automotive brake clamp support
- 33 JFT系列绝对式光栅尺的研发与应用 王洋等
Research and application of JFT series absolute grating ruler
- 36 高品质精密重载滚柱导轨副的研制与应用 南京工艺
Development and application of high quality precision heavy-duty roller guide rail pair
- 40 CKX40精密数控车床的研发与应用 浙江金火
Research and application of CKX40 precision CNC lathe
- 42 超重型双辊轮强力旋压机的研制 何发诚等
Development of super heavy duty double roller powerful spinning machine

产销市场 Production & Market

- 45 2021年一季度机床工具行业经济运行情况分析 机床协会
Analysis of economic operation of machine tool industry in the first quarter of 2021

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing
Engineering & Market

编者的话

当前,世界经济形势复杂多变,产业链调整、地缘政治冲突、逆全球化等不确定因素逐渐增多,给正处在转型路上的机床工具企业的发展带来了更多挑战。面对严峻的形势,一方面我们要接受现实,未雨绸缪,提早应对;另一方面要提振信心,苦练内功,积极适应市场新的需求。

作为市场的晴雨表,4月中旬第十七届中国国际机床展览会(CIMT2021)的成功举办再次展示了中国巨大的市场潜力,也给行业带来了巨大信心。

CIMT一直是全球机床制造企业展示其创新产品,演绎其创新能力的国际大舞台。CIMT2021共吸引27个国家和地区的1503家展商参展,其展品的创新主要体现在高速、高精、复合、绿色、智能等方向,智能制造和互联互通方面的新进展成为人们关注的焦点。

本期我们利用较大篇幅,通过“特别报道”、“展品评述”栏目,从多个角度对CIMT2021展会进行集中报道,重点介绍电加工机床、激光加工机床、增材制造、工业机器人、龙门式加工中心等展品情况。在“研发与应用”栏目,针对部分协会评选出的2020年度十佳产品的研发与应用情况加以介绍。

展望未来,中国作为全球制造业大国,其市场规模和需求潜力依然巨大。去年11月15日《区域全面经济伙伴关系协定》(RCEP)的正式签署也为国内机床工具企业在东南亚市场的开拓带来重大利好。广大机床工具企业应加快向中高端迈进的转型步伐,更加贴近市场和用户,不断满足快速升级的市场需求,为中国制造业高质量发展保驾护航!

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。

HIWIN® 上银®

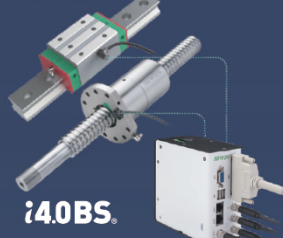
实现您的智能工厂

HIWIN为工业4.0提供高附加价值的整体解决方案
全方位系列产品,实现您的智能工厂。



关节式机器人手臂
Articulated Robot

i40GW

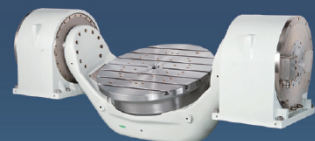


i40BS

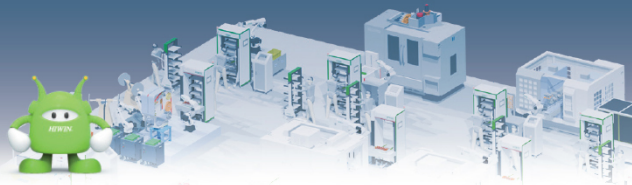
智慧型滚珠丝杠
intelligent 4.0 Ballscrew
智慧型直线导轨
intelligent 4.0 Guideway



史卡拉机器人手臂
SCARA Robot



Torque Motor 回转工作台
Torque Motor Rotary Table



上银科技(中国)有限公司
HIWIN TECHNOLOGIES (CHINA) CORP.
江苏省苏州市苏州工业园区夏庄路2号
Tel: (0512) 8068-5599
Fax: (0512) 8068-9858
www.hiwin.cn
business@hiwin.cn



扫一扫
关注上银

全球营运总部

上银科技股份有限公司
HIWIN TECHNOLOGIES CORP.
www.hiwin.tw
business@hiwin.tw

关系企业

大银微系统股份有限公司
HIWIN MIKROSYSTEM CORP.
www.hiwinmikro.tw
business@hiwinmikro.tw

HIWIN中国专属经销商

天津龙创恒盛实业有限公司
Tel: (022) 2742-0909

深圳海威机电有限公司
Tel: (0755) 8211-2558

昆明万辰科技有限公司
Tel: (0871) 6830-1918

请向合格经销商购买

江苏台银机电股份有限公司
Tel: (021) 5480-7108

上海玖钰机械设备有限公司
Tel: (021) 5978-9980

乐为传动科技(苏州)有限公司
Tel: (0512) 6667-0809

上海诺银机电科技有限公司
Tel: (021) 5588-2303

厦门聚锐机电科技有限公司
Tel: (0592) 202-1296

全球销售暨服务据点

德国
www.hiwin.de

日本
www.hiwin.co.jp

美国
www.hiwin.com

意大利
www.hiwin.it

瑞士
www.hiwin.ch

捷克
www.hiwin.cz

法国
www.hiwin.fr

新加坡
www.hiwin.sg

韩国
www.hiwin.kr

以色列
www.mega-fabs.com

广告

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

Edit-Committee Consultants: WU Bai-lin, YU Cheng-ting

President of E-C: MAO Yu-feng

Vice President of E-C: WANG Li-ming,
GUO Chang-cheng

Committeemen:

LONG Xing-yuan, ZHANG Zhi-gang, DU Zhuo-yu,
HE Min-jia, WANG Xu, WANG Jun-feng, WANG
Huan-wei, YAN Ning, GUAN Xi-you, LU Hua, LI Ping,
LI Jin-quan, LI Bao-min, YANG Ping, WU Ri, WU
Guo-xing, LENG Zhi-bin, ZHANG Ming-zhi, ZHANG
Bo, CHEN Ji-hong, JIANG Hua, HUANG Zheng-
hua, SHANG Hong-mo, YU Fei, WEI Hua-liang

Specially Invited Committeemen:

LIU Yu-ling, LI Xian-guang, JIANG Huan-sheng, LI
Wei-qian, YU De-hai, LIU Chun-shi, LI Xian-kai, ZOU
Chun-shen, ZHANG Zi-kai, CUI Rui-qi, XU Gang,
ZHANG Xin-long, ZHAO Bo, LI Zhi-hong, GUI Lin,
WANG Ai-qing, WANG Yue-hong, ZHANG Guo-
bin, CHU Fu-chun, WANG Ming-yuan, LIU Qing-le,
WANG Xing-lin, BIAN Hai-yan, DONG Hua-gen, HU
Hong-bing, WU Ping, XIAO Ming, CHEN Chang-jiang

Chief-Editor: Li Huaxiang

Executive Editor: Mei Feng

ISSN 1015-4809

CN 11-5137/TH

Post Distribution Code: 80-121

Advertising agency:

WORLDWIDE SERVICES CO.,LTD

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

Tel: +886 4 23251784

Fax: +886 4 23252967

E-mail: Jessie@acw.com.tw

Contact: Jessie



WMEM官方网站

专题综述 Topical Review

- 47 机床工具行业国产化思考 陈洪军 徐吉存
Reflection on the localization of machine tool industry

展品评述 Exhibits Review

- 52 第十七届中国国际机床展览会特种加工机床评述 特种加工机床分会
Review of the special processing machine tool exhibits in CIMT2021
- 64 从CIMT2021看机器人产业的发展与变化 孙兵
Feeling the development and change of robot industry from CIMT2021
- 73 从CIMT2021部分展品浅析机床工具行业发展趋势 丁浩龙
A brief analysis of the development trend of machine tool industry from
CIMT2021 exhibits
- 78 CIMT2021观展体会 黄韶娟
The experience of CIMT2021 show
- 82 CIMT2021龙门式加工中心展品评述 杨荷妹
Review of gantry machining center exhibits in CIMT2021

产品与技术 Products & Technology

- 86 微型滚珠丝杠副动态预紧转矩测量仪研制 焦圣松
Development of dynamic preload torque measuring instrument for miniature ball
screw pair
- 91 直驱式重型旋轮头的研制 何发诚等
Development of direct drive heavy duty roller head
- 93 数控钻攻中心加工刀纹问题剖析 于春明
Analysis of machining cutter grain problem in CNC drilling and tapping machining
center
- 96 刀库电气调试中的“找规律法”
A method for electrical commissioning for machine tool store

消息 (32、72、85、92、100)

特标委专家就3项增材制造设备行业标准进行研讨

近日，全国特种加工机床标准化技术委员会（以下简称“特标委”）在浙江杭州召开了标准专家会，针对《增材制造设备 面曝光光固化三维打印机》、《激光选区烧结成形机床 通用技术条件》及《熔融沉积成形机床 通用技术条件》等3项机械行业标准进行研讨。会议由特标委主办，由先临三维科技股份有限公司、北京易加三维科技有限公司共同承办。



本次研讨的3项行业标准中，《增材制造设备 面曝光光固化三维打印机》是新制定项目，该设备广泛应用于生物医疗和文化创意领域，具有很好的经济效益和发展潜力。

《激光选区烧结成形机床 通用技术条件》于2006年首次发布，是我国最早制定的3D打印机床标准之一。与会专家针对设备的加工能力、运行工况、制件性能等提出了修改意见。《熔融沉积成形机床 通用技术条件》也是2006年发布的，本次修订对设备的运行可靠性，超程保护、断料保护、暂停续打等功能，喷头等重要零部件，最大成形尺寸与最小分层厚度等技术内容进行了补充和完善，以期规范产品设计、制造、检测、销售、服务的全过程。

特标委副主任委员、清华大学林峰教授在会议总结中表示，对3项标准的研讨明确了脉络与重点，希望标准起草单位认真整理、分析相关意见，落实标准试验验证工

作，以科学、严谨的态度完善标准技术内容，早日形成标准征求意见稿。（来源：协会特种加工机床分会）

舒勒伺服动态联动激光开卷落料线落户天津

5月27日下午，在由鞍钢股份与舒勒集团联合发起的“新工艺新技术新材料发布会”上，来宾们见证了鞍钢首条舒勒激光开卷落料线落户鞍钢钢材加工配送（长春）有限公司天津分公司工厂。



据悉，鞍钢和舒勒于2018年就该项目开展合作，鞍钢引入舒勒激光开卷落料线，这是舒勒在亚洲的首条采用双激光切割工艺、宽度最高达1880mm的开卷落料线。该激光开卷落料线采用动态联动技术（DFT），通过激光直接在钢或铝合金带料上进行飞行切割，无需模具，生产率高，特别适用于需要经常更换产品的生产流程，能够对包括铝合金、高强度钢在内的多种材料进行处理。

相比传统的基于模具的落料设备，激光开卷落料可以为轮廓设计带来较好的灵活性，飞行切割可以提升材料利用率。舒勒应用大功率光纤激光器对料卷进行CNC加工，实现不间断落料，这一新工艺在生产率、落料质量与轮廓精度方面表现良好，可代替传统落料方式，适应多种材料的加工处理，有助于在厂房建设、物流成本、冲压车间维护等方面降本增效。（来源：机经网）

厦门金鹭、欧科亿亮相2021俄罗斯机床展览会

由俄罗斯机床工具协会与AO EXPOCENTRE共同主办的第21届俄罗斯国际机床展览会（Metalloobrabotka）于2021年5月24-28日在莫斯科EXPOCENTRE展览中心成功举办。

受到全球新冠疫情持续蔓延的影响，俄罗斯境外机床企业参展纷纷受阻，展会规模较往届有所下降。目前，国内出境参展也几乎处于停滞状态，经中国机床工具工业协会与展会主办方多次沟通协调，协会会员企业厦门金鹭特种合金有限公司、株洲欧科亿数控精密刀具股份有限公司通过委派当地代理商的方式参加了此次展会，取得了良好的展出效果。



本次展会，厦门金鹭携车削刀具、铣削刀具、孔加工刀具等先进刀具产品亮相，重点展示了模具、航空、汽车等行业典型零部件解决方案，以及用于先进材料与苛刻环境加工的解决方案。

欧科亿也展示了适销对路的产品。据了解，虽受新冠疫情影响，但欧科亿近期出口额却呈上升趋势，展示了企业良好的发展势头。展望未来，欧科亿相关负责人表示：企业将推进产品结构向深加工、系统集成方向升级，实现产品“强链”、“补链”和“延链”，力求将自身打造成为国内领先、国际知名的数控刀具综合供应商和系统服务商。

（来源：协会展览部）

特种加工机床分会团体标准通过专家审查

由中国机床工具工业协会特种加工机床分会制定的《数控往复走丝电火花线切割机床 性能评价规范》团体标准于2021年4月13日在北京通过专家审查。



数控往复走丝电火花线切割机床是我国独创的电加工机床产品。经过近半个世纪的发展，通过借鉴、创新、提升，数控往复走丝电火花线切割机床的装备技术和工艺水平有了突破，由以往的一次切割加工发展到现在的多次切割加工，零件加工的精度、效率和一致性有了很大的提高。但行业内企业的发展不平衡，产品的档次差别较大，已有的一些精度检验标准和技术条件标准无法完全体现优异的整机性能，单纯的产品检验标准并不能完全满足企业提质增效和不断提高的用户需求，更不能成为高端用户选择设备的必要条件。在当今高质量发展的新形势下，在机床的加工性能、加工精度的一致性和稳定性方面制定相应的技术要求和规范，并在主机的机械精度方面作进一步提升，是十分必要的。

《数控往复走丝电火花线切割机床 性能评价规范》团体标准的制定，将进一步促进数控往复走丝电火花线切割机床生产企业的转型升级和自主创新，加速产品的质量提升和技术进步，进一步推动电加工机床行业的创新扩散及全面协调的可持续发展。

（来源：协会特种加工机床分会）

创新·人才·转型升级

——2021机床制造业CEO国际论坛成功举办

中国机床工具工业协会传媒部



2021年4月11日，在CIMT2021开幕的前夕，由中国机床工具工业协会主办的“2021机床制造业CEO国际论坛”成功召开。本届论坛围绕“创新·人才·转型升级”的主题，邀请七位境内外知名机床工具企业CEO作为演讲嘉宾，从不同层面阐述其在创新、人才和企业升级方面的有益尝试、实践经验和取得的成效，供业界交流参考。中国机床工具工业协会当值理事长、广州数控设备有限公司董事长兼总经理何敏佳主持论坛。

当今世界新技术、新模式不断涌现、迭代，形成新的能量场，科技革命和产业变革加速演进，企业的内外部环

境呈现出多变、不确定、复杂和模糊性，竞争压力不断加大，并成为企业创新的一大原动力。创新，无疑是当今世界经济发展与社会进步最受关注的主题之一，创新已成为经济发展新引擎。但创新的根基是人才，创新驱动实质是人才驱动。

中国机床工具工业协会常务副理事长毛予锋先生在会议致辞中表示，在过去的2020年，我们一起经历了不同寻常的考验。在新冠肺炎疫情在全球蔓延的过程中，对包括机床工具制造业在内的全球产业链供应链产生严重冲击，并发酵扩展到贸易、经济和政治形势等领域。受此影响，

2020年全球知名机床展会陆续宣布停办。中国在以习近平同志为核心的党中央领导下，上下一心、群策群力，率先控制住疫情，并在力所能及的范围内积极援助和支持国际抗击新冠肺炎；率先复工复产、率先实现经济正增长，成为推动全球经济复苏的主要力量。2020年中国是全球唯一实现经济正增长的主要经济体，全年GDP总值达101.6万亿元，增速达到2.3%，2020年中国经济总量占世界经济的比重预计超过17%。从国际主要机床出口情况看，德国和日本对中国大陆的机床出口占到各自出口总额的19%和31%。由此可以毫不夸张地说，中国不仅在疫情遭遇战中为国际社会顶住了冲击，稳住战线，取得关键胜利，而且在全球经济、贸易和产业复苏中贡献了中国力量和发展方案，中国市场的发展机会也非常值得期待。



中国机床工具工业协会当值理事长何敏佳



中国机床工具工业协会常务副理事长毛予锋

受益于此，CIMT2021成为全球后疫情时期中，首先正常举办的国际知名机床展会，境内外展商参展积极踊跃，展位面积供不应求。本届展会展览面积达到13.5万平方米，共有来自27个国家和地区的1500余家展商参展，其中境外展商数量达到42%。

在中国最近发布的《国民经济和社会发展第十四个五

年规划和2035年远景目标纲要》中，将高质量发展、创新发展、科技自立自强等作为未来十五年的发展主线，明确了机床工具产业向高端发展的方向；将构建国家战略科技力量和实施制造强国战略结合起来，形成强大的国内市场；针对工业互联网等新兴信息技术的发展，提出了数字产业化，产业数字化等。无论是国有企业、民营企业，还是外资企业，将来都会在中国统一大市场的高质量发展中得到丰富的机会和回报。

转型崛起，以创新引领机床产业高质量发展



中国通用技术（集团）控股有限责任公司陆益民总经理

作为大型央企，通用技术集团全面整合国内机床装备业务无疑是业界的一件大事。本届论坛上，中国通用技术（集团）控股有限责任公司陆益民总经理的演讲让我们看到国企勇挑重担的责任和风采。在新形势下，通用技术集团围绕服务国家战略，将振兴和发展机床装备制造产业作为主责主业，成为其三大主业之一。集团汇聚国内机床重点企业，制定机床产业创新发展战略，发挥新型举国体制的优势，通过组建通用技术机床产业集团、建设创新研发体系、调整转型产品结构、提升经营管理方式，以创新引领机床产业高质量发展。陆总重点介绍了通用技术集团的战略谋划，针对集团机床产业高质量发展，提出了发展路径、重点任务和重要措施，并对企业未来的发展进行了展望。陆总表示，机床产业作为集团的第一主业战略布局，已经全面吸纳整合了北京机床所、齐齐哈尔二机床、哈量机床、大连机床、沈阳机床及天津一机床，以及沈机集团下属的昆机和云机等资源，这些企业都有非常悠久的历史，长期以来为中国的工业化发展、为国民经济社会发展做出了突出贡献。

回顾过去总结经验非常必要，但面向未来才是制胜的

关键。陆总指出，通用技术集团经过这一两年的整合，在机床板块基本形成了面向市场不同层次的产品结构和发展体系，为新形势下机床产业发展奠定了良好的基础。集团制定了机床装备业务板块的三大发展战略：一是整合重构产业发展体系，二是以创新驱动带动高质量发展，三是以数字化、网络化和智能化“三化”建设推动需求升级。

创新驱动带动高质量的发展是通用技术集团的重中之重，为此，集团成立机床工程研究院和数控机床产业技术创新联盟等创新平台，解决行业发展的共性技术和整个产业发展的核心能力问题。在“三化”建设促进转型升级方面，集团将全面推进传统产业与信息化的深度融合，全方位改变原有的制造模式，以“三化”建设密切与客户的关系，强化产业协同，不断探索服务优化，帮助客户实现制造转型升级。

陆总最后表示，在全球新冠疫情爆发大的背景下，整个机床行业是各类装备制造发展的引擎，通用技术集团未来会坚持创新、绿色、高质量的发展路线，以新的发展理念构建新的发展格局，与世界各地的机床企业共同携手，努力打造创新链、产业链和供应链，最大程度满足市场和用户的需求，为全球经济的可持续发展做出应有的贡献。

聚焦改革与创新 推进企业转型升级



秦川机床工具集团股份有限公司总裁李强

秦川机床集团是我国精密数控机床与复杂工具研发制造基地、中国机床工具行业的龙头骨干企业，产业链完整、产品线众多，有较强的系统集成能力。集团聚焦改革与创新，通过推进内部改革，全面增强发展活力。通过聚焦需求，强化创新引领；以战略规划引领，为企业长远发展赋能，推进企业转型升级，逐步迈向高质量发展，并成为行业发展的排头兵。更为可喜的是，在行业发展面临巨大挑战中，秦川机床通过一年多的改革和发展，在2020年上半年就完成了全年的扭亏目标。2020年实现了营业收入

40.95亿元，同比增长30%，实现净利润达到1.53亿元。这一巨大变化正是来源于企业以体制机制创新和人才活力激发为基本理念的改革创新、转型升级的努力。

本届机床制造业CEO国际论坛上，秦川机床工具集团股份有限公司总裁李强深刻阐释了模式创新、体系创新对企业迈向高端、实现转型升级的重要意义。秦川机床集团现有机床主机、高端制造、关键零部件、智能制造等四大业务板块。为了更好地实现高质量发展，集团将通过三方面工作提升竞争力，一是聚焦战略，创新体制机制；二是构建体系，激发人才活力；三是迈向高端，推进转型升级。值得一提的是，自2019年10月秦川集团和法士特全面战略协同以来，整个秦川集团已经和法士特产业链实现了上下游无缝对接，围绕产业链部署创新链，围绕创新链布局产业链。集团高度重视企业文化重塑，从企业使命、企业愿景、企业核心价值观和企业精神层面进行重新梳理，统一了发展方向和价值取向。

在引智聚才方面，秦川共搭建了3大平台，分别设立了陕西秦川智能机床研究院有限公司，研发智能机床；联合高端机床创新研究院成立秦川高端齿轮装备公司，开发新一代高端齿轮磨床原型机和解决关键技术难题；联合西安交大、西安理工大、中国航发等19家单位共建“陕西省高档数控机床共性技术研发平台”。在激发人才活力方面，借鉴法士特的管理经验，引进宽带薪酬体系，为研发工程师创造上升发展通道，现阶段效果非常明显。这一系列举措加快了秦川机床集团产品的转型升级和进步，目前秦川集团可提供8种规格滚齿机、多种规格铣齿机、车齿机，8种规格蜗杆砂轮磨齿机、10种规格成型砂轮磨齿机，新开发了珩齿机，以及齿轮加工检测等工艺装备。在磨齿加工领域，齿轮三截面扭曲控制技术已率先在国内用户现场实现批量生产和应用。

在智能制造领域，集团实现了数控机床与工业互联网、大数据、云技术、传感技术、人工智能技术的结合，一方面实现了主机产品的智能化，另一方面实现了机加工系统解决方案和机床上“云”解决方案。

面向“十四五”规划，李总表示，集团将以规划引领，赋能长远发展。“十四五”期间，秦川机床将以主机业务为引领，以高端制造与核心部件为支撑，以智能制造和核心数控技术为突破，深入贯彻市场化经营、差异化竞争、跨越式发展理念，着力构建秦川本部、宝鸡机床、沃克齿轮、汉中企业及智能制造四个业务板块，辐射带动工具和核心零部件特色产业协同发展，形成一体化发展模式。作为高端工艺装备提供者，秦川机床要积极为国家 and 用户提供关键领域的关键装备，实现企业最大的价值，担

负起企业的最大责任。

在中国，为中国，助力中国发展



达诺巴特集团中国总经理Jo Santens先生

中国市场对西班牙达诺巴特集团有着巨大的吸引力，在中国市场实现本土化是达诺巴特的首要战略任务。在2021机床制造业CEO国际论坛上，达诺巴特集团中国总经理Jo Santens为听众描述了该公司的未来蓝图，分析了企业战略发展方向、外部环境影响和未来预期。

谈及战略发展，Jo Santens先生表示，我们要考虑到方方面面。第一需要考虑的因素是经济因素，特别要关注后疫情时代经济因素的变化；第二要看到很多贸易协定对整个机床行业的影响；第三要关注产业向服务业转型的趋势。

Jo Santens先生进一步指出，除了经济因素，我们还要关注政策因素，中国是增长型市场，有更加积极的产业政策，会让本土的产业进一步受益，我们需要的是如何更好地跟中国打造商业关系。此外在生产方面，会出现新的标准和规范，以及新的能源标签，需要我们更加关注环境保护，我们也在思考如何更好地使用机床以及如何更好地优化使用能源。在法律法规方面，专利以及知识产权保护非常重要；在技术层面，更多的机会是在软硬件、数字化、新材料、服务模式上，我们正加强研究与探索。

环境与社会发展因素对机床企业未来发展同样至关重要，达诺巴特集团已经看到五代人携手一起工作，以适应人口结构的变化，以及新的工作形式和结构发生的重大变化。Jo Santens先生表示，集团高度重视技能型员工的短缺以及员工忠诚度问题，并提出了终身学习的重要性。现在我们要为中国提供服务，应更加关注本地市场，关注中国客户对于高水平设备和技能的需求，我们希望将我们的产品开发和产品功能核心都落在中国，我们要更多地依靠中国本土人才，实现更好的流程和控制。

尽管当前疫情影响还未完全消除，但Jo Santens先生非常看好中国机床市场的发展前景。他说，我们今天的努力工作就是为未来做好准备。特别值得关注的是，中国数字化进程非常迅速，中国已经被许多制造商看做自己的市场，而且被当作研发中心来对待。达诺巴特同样高度重视，集团决定2021年在中国创建研发中心即创新中心，2022年计划在昆山设立生产工厂，中国已经是达诺巴特的第一大增长市场，我们的目标就是让我们的客户更加成功。

将经验和创新有效结合



GF加工方案中国总经理陈以祥

“GF是一家创立于1802年的老牌瑞士工业集团，至今已经有219年的历史，早在1931年就在苏伊士的证券交易所上市。大家熟知的GF加工方案是瑞士GF的三个业务单元之一，另两个业务单元是GF管路系统和GF成型方案。2020年，GF加工方案业绩同比增长10%，在中国市场的成绩也表现出色。GF加工方案关注细分市场领域，致力于为行业提供量身定制的解决方案。用不同技术的组合设计解决方案赢得竞争优势是GF加工方案企业发展的重要方向。”在2021机床制造业CEO国际论坛现场，GF加工方案中国总经理陈以祥先生向与会听众介绍道。

从传统的机床制造商向综合智能解决方案供应商转型是GF加工方案现阶段的发展战略。陈总分享，进行智能制造核心步骤的第一步是工艺可塑性可行性分析，然后是围绕产品，以设备优化后的加工工艺为牵引，研究技术方案，进行系统集成和自动化工艺流程开发。接下来进行流程标准化，有序衔接各个工序，确保工艺流程上传下达，互通有无。以自动化为手段，最终目的是达到加工高效、质量稳定和少人化，实现线内互联以及工厂所有基础设施高度互联。

人才是企业发展的第一生产力。“质量和创新、提供完整解决方案的能力以及高效的团队是GF加工方案取得市

场认可的核心要素。”陈总总结到，“GF加工方案在企业自身发展的同时，始终不忘行业使命，积极推进与各地职业技术学院的合作项目。我们深入到院校进行品牌文化宣传，并且联合瑞士总部开展培训学习计划，目的是吸引更多的人才，为行业注入新的活力，为未来发展储备坚实的技术人才力量。GF加工方案不仅在战略上高效布局中国，同时更以长远的眼光，力求将瑞士文化中不断追求精密的匠心精神融入中国的职业教育，携手全国的职业院校培养更多新一代的技能人才，共同推动中国制造业的不断前行。”

高端五轴机床关键技术研究及典型应用



科德数控股份有限公司总经理陈虎

在2021机床制造业CEO国际论坛上，科德数控股份有限公司总经理陈虎做了“高端五轴机床关键技术研究及典型应用”的主题演讲，他针对航天航空等重要领域的典型零件制造，分享了科德数控在高端五轴机床关键技术研究方面的设计理念、应用实践和迭代经验，分析了国产高端五轴机床发展方向和应用前景。

科德数控对五轴数控机床是情有独钟，一直以来，公司致力于用自主研发的国产数控系统制造五轴数控机床，已经发展成为国产化率最高的数控机床研制企业之一。用中国的高端五轴数控机床装备中国工业是科德数控的发展使命。陈总表示，中国市场将迎来五轴机床应用的迸发期，同时五轴机床具有独特的优越性，包括：工件和刀具间便利的姿态调整，避免干涉；充分实现刀具更好的切削条件，包括规避刀尖点极低的实际切削线速度；可以使用更短的刀具进行加工，提升系统刚性；减少刀具的数量，减少专用刀具的应用；工序集中减少装卡次数，减少基准转换，提高位置精度。目前中国正处于五轴机普及的前夜，这不仅是中国制造业转型升级的需求，也是应对中美

贸易摩擦的需要。特别是中国在此技术领域已经取得明显的进步，如：国产数控系统全面支持五轴；线轨、丝杠、电主轴等功能部件产业化成熟；直驱简化回转坐标设计等。陈总深入剖析了五轴联动的高动态需求，并从工艺角度出发对五轴机结构选型做了举例说明，不仅要关注五轴机高动态需求中数控系统的贡献，还要重视五轴机高动态需求中伺服驱动及电机的贡献。

在拥抱智能化和信息化的同时，我们更关注的是要为用户提供自动化的加工解决方案。陈总最后表示，我们愿意与朋友们共同打造国产高档五轴数控机床的优质生态圈，共同迎接五轴数控机床的春天。

物联网助力智慧机床和智慧工厂发展



北一大隈（北京）机床有限公司总经理北河胜义

随着“人类社会与自然界共生”的发展需求不断增加，且全球人口老龄化和劳动力短缺问题日益突出，提高劳动生产率成为一大课题。这些因素，正驱动着世界各国向第四次工业革命迈进。

日本的机床行业在德国推出“工业4.0”概念以前，就开始积极地面向客户定制化展开各种各样的工作。如何灵活运用IoT，北河胜义先生以日本大隈的智慧机床和智慧工厂为例进行了说明。日本大隈在日本建设的工厂Dream Site 1（DS1）从2013年开始运行，发挥出了业界构筑智慧工厂的先导作用。在DS1中，工厂整体实现了可视化并开始推进工厂最优化。在2017年3月完成的DS2，为了提高工厂在单位时间内的处理能力，推进了数据化和自动化。DS2工厂是生产中小型车床、磨床的工厂，与此前的工厂相比，生产效率提高两倍、生产周期缩减1/2。另外，2019年开始运转的DS3工厂，推进了加工自制的智能化、自动化和工艺集成，能迅速应对市场不确定性带来的需求，旨在打造更加具有灵活性的工厂。以超复合加工机床“激光EX”为首，通过“智慧机床”推进工艺集成，大

幅缩短了制造周期。另外，DS3工厂新的生产革新，推进了加工和检测的融合。

北河 胜义先生表示，当下新型冠状病毒带来的不确定性在增加。如何迅速的应对来自客户的要求至关重要，超短交货期的要求也在增加，因此需要具备应对紧急需求灵活处理的能力。后疫情时代，缩短制造周期，根据运行状况把工艺和物流最优化很重要。北河 胜义先生强调，为了实现客户定制化，有效进行现场优化，企业应该明确灵活运用IoT的目的，需要对涵盖整个现场的工厂进行改革，从部分的可视化分析向工厂整体的可视化分析推进，以实现工厂最优化。在大隈，为了能够向世界制造业革新作出贡献，正在不断创造出高附加价值的产品和技术，并致力于自身的不断成长。

拥抱数字化 产业融合跨界



携汇智联技术（北京）有限公司总经理陈振华

当今世界处于以信息化全面引领创新、以信息化为基础重构国家核心竞争力的新阶段，正迎来新一轮信息革命浪潮，带来产业技术路线革命性变化和商业模式突破性创新。基于此，携汇智联技术（北京）有限公司总经理陈振华先生以“顺势拥抱数字化，产业融合跨界”为主题，从

“新发展阶段”、“新发展理念”和“新发展格局”三个方面阐述机床工具产业未来增量的发展路径。

陈总在演讲中表示，中国未来会迎来十五年的市场增量发展的机遇期。在“十四五”规划中提出，2035年我国国民收入要达到中等发达国家水平，因此，中国未来市场发展规模是非常巨大的，而且在“十四五”规划里也明确指出，我国是世界制造业规模最大的国家，也是拥有最全的工业门类的国家，下一阶段，除了把数控机床作为一个重点发展的产业以外，也要大力推进航空航天、新能源、工程机械、新基建以及医疗装备等行业的发展。

何为“新发展理念”？陈总认为，机床行业变革已经开启，产业链生态圈将逐步扩大，唯有产业融合拥抱数字化才能参与产业新赛道。新一轮信息革命对企业提出了更高的要求：生产方式智能化、产业形态数字化以及产业组织平台化。信息技术和传统产业融合，是一个漫长的过程，但是目前的市场形势让我们必须加速这个融合过程。

面对智能化浪潮来袭，中国机床工具工业协会在机床工具产业数字化转型上也探索了新的路径。陈总介绍，经过几年的准备，围绕行业企业痛点难点，在2019年底协会组建平台公司筹备组，于2020年正式成立行业公共平台公司，联合行业骨干企业，整合市场资源，立足机床装备，打造新型数字化基础设施，创建制造业知识经济新模式，分级进行数据治理，通过云原生数字化转型降低数字化成本，并且通过“机床数字生态共同体”的新模式，最终赋能机床工具全价值链的转型升级。

为了做好疫情防控，本届论坛只邀请150位业界企业家、用户领域代表和部分专家学者、媒体代表来到论坛现场。但为了让更多不能亲临现场和感兴趣的业界同仁都能及时参与会议活动，主办方中国机床工具工业协会特开设论坛直播，与线下论坛同步开放。数据显示，至记者发稿，已有2万余人观看了直播，线上线下同步进行的CEO国际论坛在业界引起广泛而热烈的互动和反响。□



CIMT2021展会综合报道

中国机床工具工业协会传媒部 梅峰



第十七届中国国际机床展览会（CIMT2021）于4月12~17日在北京·中国国际展览中心（新馆）成功举办，本届展会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公司共同承办。

本届展会使用中国国际展览中心（新馆）全部8个室内展馆和4个临时展馆，展出总面积达13.5万平方米。共有来自27个国家和地区的1503家机床工具制造商参展，其中境内870家、境外633家。美国、德国、日本、瑞士、意大利、韩国、西班牙、英国、法国、捷克、印度、中国台湾地区和香港地区共13个国家和地区的机床协会和贸促机构组团参展。

本届展会认真落实相关部门防疫要求，设立专门负责人，制定防疫应急机制，做到人人都是防疫员、安全员，为业界奉上了一场安全的展会。

CIMT2021——具有特殊历史意义的一届展会

当前，全球新冠肺炎疫情依然严峻、国内防疫常态

化，CIMT2021成为全球后疫情时期，率先正常举办的国际知名机床展会，受到了全球业界的关注。境内、外展商参展积极踊跃，展位面积供不应求。展会的如期成功举办，展会的如期成功举办，在特殊历史时期，具体特殊的重要意义。

中国国际机床展览会（CIMT）于1989年创办，32年来，一直坚持走国际化、专业化的道路，着力展示全球最先进的制造技术和装备，并得到各国家和地区机床协会、贸促机构，境内外机床工具企业和广大用户企业的鼎力支持，为中国的改革开放、装备制造业创新和升级做出了巨大贡献。

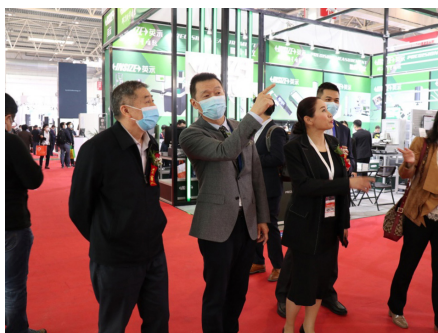
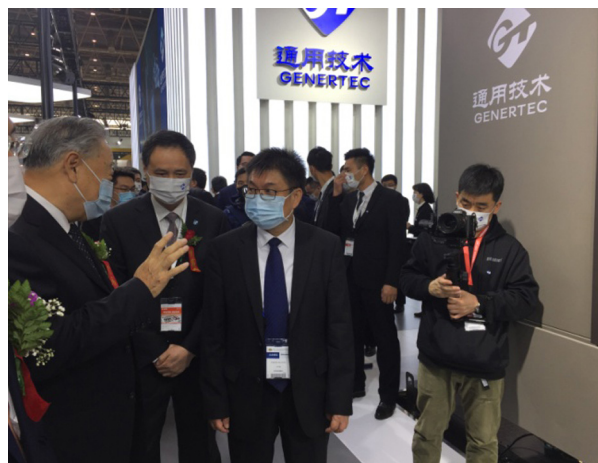
2021年是中国共产党建党100周年，是我国现代化建设进程中具有特殊重要性的一年。供给侧的改革将继续深化，高质量发展将成为发展主题。本届展会继续以“融合共赢，智造未来”为主题，就是顺应中国机床工具消费市场的发展趋势。在政府深化市场化改革、扩大高水平开放、推动制造业高质量发展、加快建设制造强国的背景下，中国国际机床展览会（CIMT）过去是，现在是，未来也仍将是观察、研究、对接中国机床工具消费市场的最

佳窗口和平台。

各级领导、境内外各界人士亲临展会现场

CIMT2021展会期间，国家发改委、工信部、商务部、科技部、国防科工局等有关部门的领导，以及地方政府相关部门领导等亲临展会现场，关注行业发展。部分国家和地区展团代表及驻华使馆代表受邀出席了开幕式。

亲临展会现场参观指导的有：教育部原部长、中国工程院院士周济；商务部原部长陈德铭；原轻工业部部长曾宪林；原国家经济贸易委员会副主任于珍；国务院派驻国有重点大型企业监事会原主席贾成炳；山东省副省长凌文院士；中国机械工业联合会会长王瑞祥、执行副会长陈斌；科技部重大司刘敏司长、邱刚副司长；工业和信息化部装备一司一级巡视员苗长兴，工信部规划司何映昆副司长、贺晓文二级巡视员，工信部军民融合推进司副司长李多奎等，工信部装备工业发展中心、政策法规司产业组织处相关人员；商务部外贸司杨国良副司长；国务院发展研究中心产业部许召元副部长、李燕二级巡视员；北京市顺义区副区长徐晓俊；发改委产业司相关人员；商务部办公厅及产业安全与进出口管制局、国家制造业转型升级基金公司、国投招商投资管理有限公司、中国国际工程咨询公司等相关部门领导或人员。



中国和平利用军工技术协会理事长宋宝丽、秘书长陈晶晶，中国内燃机工业协会常务副会长兼秘书长邢敏，中国仪器仪表学会会长吴幼华，中国铸造协会副会长张志勇，中国农机工业协会秘书长洪暹国，中国轴承工业协会秘书长牛辉，中国液压气动密封件工业协会秘书长饶涛，以及各地方行业组织负责人或代表亲临展会现场。

各级领导十分关注机床工具行业最新产品和技术，有的部委专门组织不同部门的人员多次参观展会，带着想法和问题；很多基金公司带着投资目标来到展会，与展商深入交流，探寻机床工具行业投资合作项目。

受邀为展会开幕式剪彩的嘉宾有：中国通用技术（集团）控股有限责任公司党委书记、董事长于旭波，瑞士驻华大使馆商务参赞莫海岩，意大利对外贸易委员会北京办事处首席代表、中国区及蒙古国总协调官张保龙·布鲁诺，中国机床工具工业协会当值理事长、广州数控设备有限公司董事长何敏佳，中国机床工具工业协会轮值理事长、济南二机床集团有限公司董事长张志刚，中国机床工具工业协会轮值理事长、陕西秦川机床工具集团有限公司董事长严鉴铂，捷克驻华大使馆

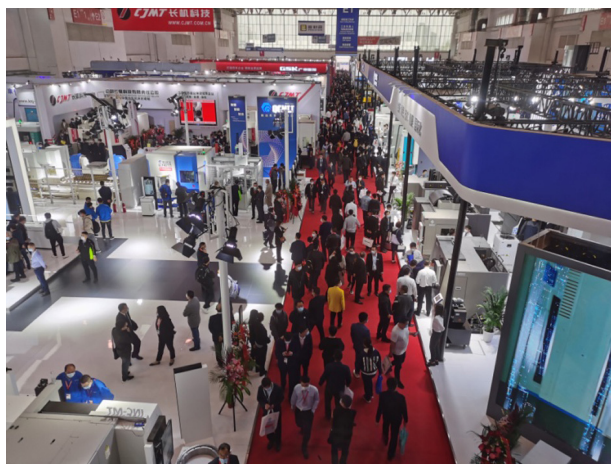
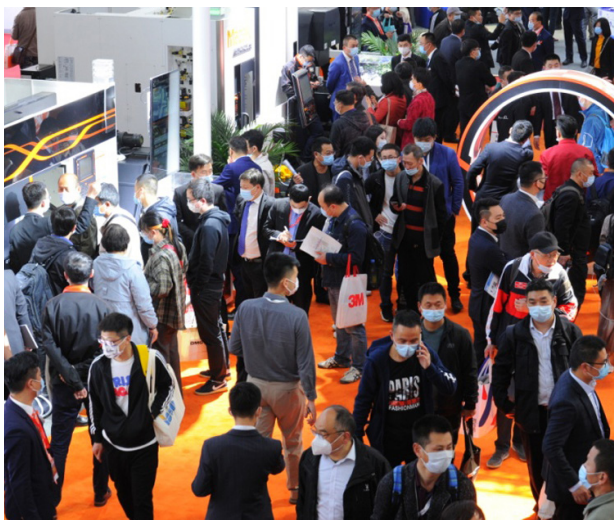
参赞霍岚珂，美国机械制造技术协会亚太区总经理李星斌，山崎马扎克株式会社中国区总经理董庆富，北京北一机床有限责任公司总经理李忠波，江苏亚威机床股份有限公司董事长冷志斌，斗山机床（中国）有限公司总经理金哲俊，北京发格自动化设备有限公司首席执行官李嘉达，北京精雕科技集团有限公司执行总裁张保全，大族激光智能装备集团有限公司总经理陈焱，雷尼绍（上海）贸易有限公司狄藏南，上海法孚自动化成套设备有限公司中国区销售总监文森特，德国IMAG公司中国总代表、慕尼黑展览（上海）有限公司首席运营官路王斌，台湾机械工业同业公会上海联络处主任委员胡展飞。

受疫情影响，美国、德国、日本、瑞士、意大利、西班牙、英国、法国、印度、中国台湾等境外协会或机构负责人不能亲临展会，但他们都精心录制了视频，向CIMT2021如期召开表示祝贺。

观众高质量的一届展会

据中国国际展览中心（新馆）门禁系统数据显示，4月12~17日累计进馆总人数200017人。受新冠疫情影响，境内外人员往来受到限制，特别是在以往境外观众中占比较高的韩、日、印度、东南亚及中国台湾地区采购商和参观团组大幅减少，导致进馆总人数相比下降11.74%。

虽然海外观众人数受到了影响，但是内外贸系统中的各用户行业、企业均派来了专业采购团组，并且都是直接带着采购任务前来。在防疫要求下，观众进入展馆采取实名制，较好提升了本届展会的观众质量，来到现场参观展会的几乎都是专业观众，他们都是带着目标和任务来到展会，提前做好了规划，进行设备的采购和考察交流。因此，展商和观众的直观感受是，本届CIMT展会的火爆程度超乎预期。



这一点在多家展商的相关报道中得以体现。4月15日，日发精机与某客户在展会现场签订了1条自动化柔性生产线，总金额9196.92万元；通用技术集团沈阳机床展期内接待客户近1900家，意向客户500家，现场签约金额超过1亿元；秦川机床集团表示，展会期间来访客商络绎不绝，签订合同6800余万元。

境内外知名企业悉数参展，凸显未来发展战略

在全球疫情尚未得到有效控制的背景下，依然有来自27个国家和地区的1503家机床工具制造商参展，境内外知名的机床工具企业悉数参展，并都将CIMT2021展会作为重要平台来发布其未来发展战略。

1. 境内展商

通用技术集团、秦川机床、济南二机床、武汉重型、北一机床、江苏亚威、北京精雕、科德数控、大族激光、宁波海天、扬力集团、上海机床、重庆机床、浙江日发、天水星火、山东威达重工、蒂德精密、济南邦德激光、珠海格力、南通国盛、普什宁江、深圳创世纪、广州数控、华中数控、株洲钻石等境内主流机床工具企业均参加本届展会。

通用技术集团携旗下北京机床研究所、沈机集团、沈机股份、大连机床、齐二机床、哈量集团、天津一机7家企业整体亮相，这是集团装备制造板块成员企业首次以集团统一形象参展，展会期间组织召开新闻发布会，集团领导坐镇展会现场，充分体现了集团将发展高端数控机床作为第一核心主业的坚定决心。秦川集团此次参展是受新冠疫情影响后，企业深化改革，创新发展，整合上下游资源，打造黄金产业链，“智”向高端制造的集中展示。在W4馆一个面积不大的展位上，一台颇具历史感的升降台

铣床映入参观者的眼帘，这是四川长征机床集团有限公司在2017年进行破产重整后的首次复出，祝愿这家曾经的国内机床骨干企业能够重振旗鼓，越走越好！

本届展会，境内机床企业的展品在整体技术、结构外观等方面较上届都有提升，同时还显示出一个特点，几乎所有的主流机床企业都在展会上推出了五轴联动机床产品，结构形式各异，却各有特点，产品性能趋于稳定，这一趋势必将加速推动国产五轴联动机床的发展进步与应用普及。

2. 境外展商

马扎克、德马吉森精机、大隈、牧野、联合磨削、WFL、埃马克、哈斯、哈挺、萨瓦尼尼、斗山、现代威亚、三菱、百超、友嘉、上银、发那科、西门子、海德汉、蔡司、海克斯康、力丰、THK、雷尼绍、伊斯卡等境外知名展商悉数参展，展现了对中国市场的高度重视。

德马吉森精机在展会期间对外发布，计划于今年在紧邻上海的平湖投资7500万欧元，开始建设面积达35000平方米的高度自动化且全面数字化的5轴铣削加工中心工厂；达诺巴特集团在展会期间召开新闻发布会，发布了达诺巴特集团中国2.0发展战略，这是其在华30年来的首次大幅度战略性调整，覆盖组织架构更新、人才管理、研发中心建立等多领域的一系列革新举措，充分展现了对中国市场的坚定信心；卡尔蔡司在展会期间表示，要立足中国看未来，紧密结合中国高质量发展大趋势，关注中国产业转型升级，与德国总部同步开发新产品；瑞士百超集团于2020年全资收购深圳迪能激光科技有限公司，以百超迪能的形象在本届展会上亮相，进一步深耕中国市场。

境外展商在本届展会上除展出各类具有技术优势的新品外，还有一个新的特点：部分重点境外企业着重推出在中国生产的本地化产品，更加贴近中国用户需求，本土化发展战略更加深入。

展品互联互通迈向智能化

本届展会，1503家展商携10多万台套机床工具产品集中展示，展品水平和品种、规格的覆盖面均创出新的水平。展品中囊括了主机、数控系统、功能部件、量具量仪、机床电器以及刀具、附件等产业链中的主要产品；其中，主机产品门类齐全，包括金属切削类、金属成形类、特种加工类，以及三坐标测量机、火焰切割、感应加热、木工机械、铸造机械等其他类型设备。

展品看点可主要概括为六个方面：数字化应用工具竞相争辉、互联互通标准推进智能制造协同发展、自动化与

复合集成技术助推制造效率提升、智能技术引领高档数控机床未来发展方向、专精特新产品展示细分市场服务能力、增材制造开拓制造技术模式。

1. 机床工具行业互联互通成为关注焦点之一

本届展会，位于E1馆的中国机床工具行业工业互联网专题展区受到行业企业的广泛关注，该展区由中国机床工具工业协会主办设立，由“中国机床工具行业工业互联网平台展示区域”和“NC-Link 应用展示区”构成，在CIMT2021展会上首次推出。

展会现场，来自30多家参展商的96台机床通过NC-Link协议接入和采集数据，并在展会上进行展示。另外，来自多个智能工厂的1349台设备通过NC-Link以远程方式接入至展会现场进行展示。本届展会，共有1455台设备通过NC-Link协议接入和展示，覆盖30多家参展商和企业，包括华中数控、广州数控、i5、发那科、西门子等在内的8个国内外数控系统品牌。本届展会，中国机床工具工业协会与德国机床制造商协会（VDW）进行了联合展示，实现了NC-Link与umati的互联互通。

展会期间，机床工具云携手华为等合作伙伴一同亮相CIMT2021，向观众呈现了中国机床工具工业协会牵头组织创建的机床工具行业工业互联网平台机床工具云（MachineTool Matrix）。携汇智联公司向业界展示了基于“端-边-云”体系架构，由连接生态、知识生态、应用生态构成的未来中国机床工具产业数字生态；展示了展馆内多台机床装备“NC-Link + WiFi6”的无线连接场景；展示了由华为Atlas500Pro边缘服务器、边缘侧运行智能产线APP、WiFi6无线连接、数控机床、检测设备等构成的机床工具云在工厂边缘侧应用场景；展位上还设置了机床工具云三个云端应用APP“CIMT2021线上展会”、“设备全生命周期管理”、“协同制造管理”的操作体验屏，带给现场观众云端工业APP的真实体验。

2. 智能技术广泛应用到机床工具产品

当前，智能制造已经成为制造业转型升级的一个必然选择，这也是全球制造业的共识。智能机床则是实现智能制造的基础。世界领先的机床工具制造商、控制系统提供商都在大力研发智能机床产品，智能化已经成为高档数控机床的标志和发展方向。纵观本届展会展品，行业主流企业的产品均不同程度展示着智能技术的各种应用。

华中数控“华中9型智能数控系统”产品在CIMT2021上正式发布，集成AI芯片，融合AI算法，实现数控系统的自主感知、自主学习、自主决策和自主执行，这是新一代人工智能技术与先进制造技术深度融合的典范，为数控机床

床智能化构筑开放平台，为先进制造的数字化、网络化和智能化开创路径。

马扎克在本届展会上不仅展出大量的自动化、柔性化技术及产品，还从高效编程，到智能互联、远程运维，再到智能工厂与系统优化，集中展示了众多数字化与智能化技术创新成果，强调以智能互联、数字孪生（DIGITAL TWIN）和人工智能（AI）推进金属加工领域的智能化转型。

秦川集团携 YK3126 智能滚齿机、BL5i智能车床、BM8i智能加工中心、SK7020智能螺杆转子磨床、MK1620智能端面外圆磨床等众多智能产品亮相，向观众集中展示秦川集团深耕先进装备制造领域的技术成果。

海德汉的TNC 640数控系统具有动态碰撞监测（DCM）功能；FANUC Oi-F Plus数控系统具有主轴负载、进给轴加减速、主轴加减速、温度控制、反向间隙补偿等智能功能；OKUMA的车铣复合机床MULTUS U3000具有热误差补偿、几何误差补偿、防碰撞等智能功能；济南二机床的TH6513A精密卧式铣镗加工中心，集成了其自主研发的机床PHM健康管理系統；北二机床展出的B2-K1026随动式数控磨床具有磨削过程中程序变换编辑、机床状态监控、故障自诊断及异常报警等控制功能；日本YASDA（安田）的立式铣镗加工中心YBM640V搭载其独创的控制系统YASDA MiPS，具有维护演示、自诊断、刀具管理、主轴功率监视等数字化管理功能；日本牧野的五轴卧加A500Z，采用冷却装置主动控制运动轴的温升，保证机床的精度稳定，具有语音人机交互、防碰撞等智能功能；德国哈默公司的五轴立式加工中心C 650 U，具有切削振动抑制、机床振动抑制、自适应进给、负载自适应控制、诊断维护系统以及远程维护等智能功能；萨瓦尼尼展出的PX精华型折弯中心，集成了其专利的智能化板材特性自动补偿技术MAC 2.0；济南邦德S4020激光切割机的智能激光切割系统，具有切割图形智能排版、智能寻边、自动定位、加工参数工艺库、激光头自动调焦、自动交换切割头等智能功能。

3. 首发新品闪耀展会现场

每届CIMT展会，展商们都会将自己的新产品新技术作为展示的重点，全球首发新品、中国首发新品等在展会上集中展示，据不完全统计有上百件首发新品在本届展会上推出。

本届展会部分首发新品有：格劳博全新G150五轴联动通用加工中心、斗山NHP8005高速高性能卧式加工中心、埃斯维BA W06-21卧式多主轴加工中心、WFL M20车铣复合加工中心、达诺巴特ESTARTA-175无心磨

床、巨浪凯龙全新MILL 3000五轴加工中心、大族激光SF高功率激光切割机、托纳斯全新大直径瑞士型自动车床Swiss DT 32、伊斯卡全新NEOLOGIQ系列（大进给铣刀NEOFEEED）、雄克ADHESO无源吸附式机械手、雷尼绍FORTiS™系列新一代封闭式绝对直线光栅、株洲钻石YBC*03系列新一代P类材料车削新品、海克斯康3S柔性智能工作站、京瓷大切深加工用高进给立铣刀MFH Boost等。

丰富多彩的活动会议为展会增色

据主办方统计，本届展会共有82场会议、活动、新闻发布会、技术交流讲座等在展馆会议区成功举行，丰富多彩的展会配套会议及活动丰富了展会文化，为展会增色添彩。

4月11日，由中国机床工具工业协会主办的“2021机床制造业CEO国际论坛”邀请七位境内外知名机床工具企业CEO作为演讲嘉宾，围绕“创新·人才·转型升级”的主题，从不同层面阐述企业在创新、人才和企业升级方面的有益尝试、实践经验和取得的成效，供业界交流参考，150余位业界企业家、用户领域代表和部分专家学者、媒体代表来到论坛现场。论坛直播吸引了近3万人关注。

4月12日，中国机床工具工业协会举办了“2020年度中国机床工具行业先进会员（十佳）表彰”颁奖仪式，对2020年度“自主创新十佳”、“产品质量十佳”、“综合经济效益十佳”、“产品出口十佳”企业进行表彰，为获奖企业颁发奖牌。

4月13日，由中国和平利用军工技术协会与中国机床工具工业协会联合主办的“2021年重点领域国产数控机床应用座谈会暨供需对接会”成功举办，重点领域用户及企业代表、机床工具企业负责人共250余人参加会议。会上，机床工具企业与用户企业共开展精准的供需对接，重点用户与机床行业骨干企业举行了项目合作签约仪式，达成意向合作金额2.8亿元。

4月13日，中国机床工具工业协会与中国轴承工业协会联合组织召开了“机床与轴承技术发展对接交流会”，来自机床工具行业和轴承行业30多家企业的50多名代表参会，共同推动机床与轴承行业的融合发展。

4月14日，“CIMT2021机床工具行业国际化经营座谈会”成功举办，座谈会是协会为企业交流国际化经营搭建的交流平台，是展会的重要配套活动，迄今已经是第十四次举办，北京电加工研究所、山东普利森、沈阳机床、济南二机床等40多家企业代表参会。

4月14日，中国机床工具工业协会与全球跨行业产业

合作组织圆桌GIO联合举办了“工业新型基础设施技术沙龙”，活动以“如何构建工厂数据基础设施”为主题，旨在引领机床工具行业加速数字化转型，百余位机床工具企业、机床用户企业、IoT企业、相关科研院所、相关政府部门的代表参加了会议。

4月15日，由中国机床工具工业协会主持召开的“数控机床互联互通协议标准联盟会员大会暨NC-Link协会标准宣贯会”顺利召开，来自全国各地的31家联盟会员企业、数控系统分会会员企业的60多人参加会议。

为展商展品进行多维度宣传

本届展会，主办方通过其主办的微信公众号、CIMT官网、《中国机床工具》报、《WMEM》杂志等媒体对展会、展商、展品进行了多角度全方位的宣传推广，同时制作了《参观指南》、《参展商名录》及电子版等免费发放给观众和展商，展会期间出版了三期《展览快讯》，及时报道展会盛况、展商动态、展会新品和观众反馈等。

开展前一个月，主办方在协会微信公众号上密集发布“展商风采”，共对142家展商的500多个展品进行了免费宣传，引发了高度关注。在微信公众号上增加“观展小助手”小程序，帮助观众展前了解展品，在展中查找展商，随时随地查阅展会相关信息等，为参观提供便利。

主办方在展馆设有“新闻中心”，设置必要的上网、传真等硬件设备，并提供最新的宣传信息，为各界媒体的宣传报道工作提供便利。展会前后，新华社、中央广播电视总台、经济日报、中国贸易报、中国商报、中国工业报、北京日报等社会媒体及众多业界专业媒体均派驻记者对展会盛况进行深度报道，体现了对实体产业的关心和对机床工具及装备制造业的关注。

展会服务细致入微

如此大型的展览会，做好展会服务和后勤保障工作非常重要。主办方在开展前数月就开始了全面准备工作，从规划到内测到不断优化，认真开展场地确认、交通通讯、后勤接待、隐患排查、物资准备、服务人员培训等各种前期准备。坚持以最成熟、优质、高效的服务队伍，最安全、细致、贴心的工作措施，全力以赴做好各项服务工作。

展会期间，主办方招募了百余位志愿者，分别在展馆内外及班车点为到馆嘉宾提供细致周到的服务。在酒店预订服务中，为参展商推荐了展馆周围的数十家酒店，且每家酒店均配备了专业的服务人员。在车辆统筹服务中，

配备了免费班车、接驳车、VIP商务用车等近百部车辆，保障需求。且安排专人负责场馆内交通指挥、车辆停放管理、兼职人员调动等工作，为展商和观众提供了良好的参展、观展体验。

主办方在展馆设立贸联办公室，为各重点领域用户团组提供对接交流服务。多方协调努力，改善展馆周边的餐饮等条件，同时展馆内还增设了免费领水处和临时餐饮点，为大家提供更加便利、宜人化的服务。

无论是现场搭建、会议服务、酒店接待、车辆服务、餐饮服务还是人员服务，均实行规范化的服务流程、流程化的运营管理，全面贯彻节约、省心、省时、有保障的服务理念。

线上展作为CIMT2021的补充和延伸

为了进一步扩大展会宣传范围和效果，CIMT2021首次推出了配套的线上展览会，作为CIMT2021的补充与延伸。CIMT2021线上展会于4月18日正式开幕，展期一个月。截至4月17日，CIMT2021线上展会已有超过960多家展商携2200多件展品上线参展。

线上展会期间，观众可以快速搜索并浏览参展商的企业介绍、宣传视频；可以通过表格、图片、视频、三维模型等方式详细查阅展品的技术参数、亮点特色等。部分展商会在直播间做直播宣传，让观众更直观地了解其产品及服务。更有展商为了真实复现其精心布置的展区，对现场展台进行了三维实景复刻，呈现给观众更真实的现场体验氛围（<https://www.cmtba.show>）。

继往开来再出发

展期六天的第十七届中国国际机床展览会（CIMT2021）已圆满结束，相信所有参与其中的业界人士仍感意犹未尽，主办方衷心感谢全球业界的新老朋友对本届展会的大力支持！

作为后疫情时期首先召开的国际知名机床工具展览会，得到了业内外各方的极大关注，业界人士渴望线下深入交流的期许在本届展会上得到了酣畅淋漓的释放。展场内外随处可见面对面对面交流的喜悦，观众们了解到了行业的最新技术成果，采购到了满意的机床工具设备；展商为观众提供了先进技术和适用设备，满载而归，多方共赢。

继往开来再出发，CIMT展会主办方中国机床工具工业协会将再接再厉，不负行业重托，把展会越办越好！

CIMT2023，再相聚！□

μ 1000/5ST-400V 精密五轴立式加工中心的研制和应用

北京工研精机股份有限公司

一、概述

目前,世界机床装备制造业向着性能、稳定性、智能化不断提高的方向发展。“十三五”期间,我国数控机床重点聚焦于航空航天、汽车两大服务领域,着力攻克数控机床的可靠性和精度保持性技术,加大应用验证和示范,满足国家自主可控的战略新需求,为中国制造业的转型升级提供支撑。作为复杂平滑曲面加工重要手段的五轴或多轴联动加工技术正越来越受到机床行业的重视,五轴联动加工中心已经成为当今数控机床的一个重要发展方向。五轴联动数控机床对一个国家的航空航天、军事、科研、精密器械、高精医疗设备等行业,有着举足轻重的影响力。

从国产的五轴联动加工中心的性能特点分析,国内机床在主轴转速、快移速度和定位精度等方面与国外同类产品还存在较大差距,并且国内用户采购国外高端五轴加工中心又受到诸多限制,因此发展国产高端五轴加工中心设备并形成产业化刻不容缓。

北京工研精机股份有限公司依托“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项支持的国产数控机

床、数控系统和共性技术等技术成果,结合航天领域产品的加工特点,研制出 μ 1000/5ST-400V精密五轴立式加工中心(见图1)。该机床配备在湖北三江航天红峰控制有限公司的自动化生产线中进行示范应用,主要验证国产高档数控机床与数控系统在航天惯控和伺服机构复杂精密结构件中的加工适应性,进一步提升国产高档数控装备制造、数控系统集成的示范应用水平,促进国产高端装备工程化应用,从而实现航天精密零部件制造与加工国产装备的规模化、批量化应用。



图1 μ 1000/5ST-400V五轴立式加工中心

二、机床主要技术参数

工作台面尺寸	ϕ 400mm
X/Y/Z轴行程	1000/560/550mm
X/Y/Z轴快速移动速度	36m/min
A/C轴允许旋转角度	-130~+130/360°
主轴最高转速	20000r/min
主轴锥孔	HSK-A63
刀库容量	24
换刀时间(刀对刀)	2.33s
最大刀具直径	Φ 80mm/ Φ 125(相邻无刀)mm
X/Y/Z轴定位/重复定位精度	0.006/0.004mm
A/C轴定位/重复定位精度	5/3"
数控系统	华中数控HNC 848C、西门子840D SL、海德汉TNC640

三、关键技术

1. 主机整体结构优化设计

如图2所示,床身采用三点支撑,高刚性设计,机床调整简单,用户也可利用辅助支撑作为地基安装机床,实现机床高加速度运行;立柱固定在床身后侧,采用高刚性轻型设计的顶置式结构滑座,带着主轴箱在立柱上左右移动;扁长的主轴箱结构,主轴重心尽量靠近导轨,使得主轴悬伸小、受弯矩小,主轴箱上安装导轨增强了Z向刚性,提高了运动稳定性。

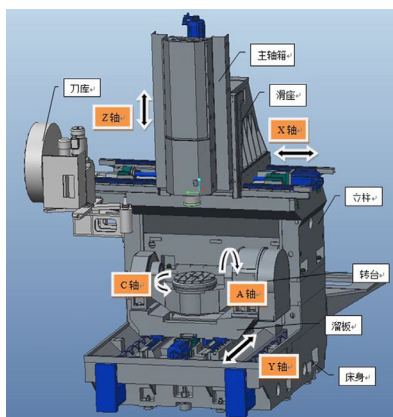


图2 机床总体布局及结构

2. 电主轴优化设计

机床配置我公司自主研发的高速高性能电主轴。

(1) 电主轴单元结构及输出特性

主轴前后端由2组高速角接触球轴承组成,前后组成大O型结构,前端轴承固定支撑,后端轴承采用弹簧浮动支撑结构,满足高转速要求。主轴尾部装有主轴定向装置,松刀油缸,主轴前端部使用了气封方式进行旋转密封等。

主轴内置ATE电机,如图3所示,主轴电机最大输出扭矩 $123.3\text{N}\cdot\text{m}$,最大输出功率 63kW ;额定转速 4910r/min ,额定扭矩 $97.2\text{N}\cdot\text{m}$,额定功率 50kW ;主轴电机最大转速 27000r/min 。

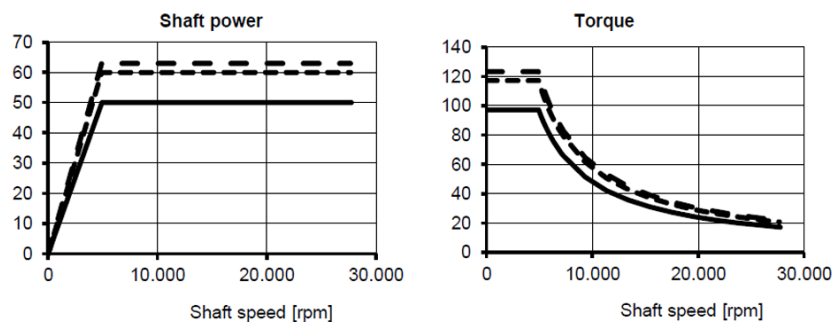


图3 主轴电机输出功率扭矩图

主轴与电机转子间采用较大过盈量,以防止高速运转时由于离心力作用,转子膨胀造成直径增大,与主轴间过盈量太小,不能很好地传递扭矩。主轴采用两次动平衡,动平衡精度高。主轴与转子热装后平衡一次,所有回转零件装配好后,几何精度检验完后再平衡一次。这样可保证平衡后的主轴基本不变,最大可能地提高主轴运转平稳性,降低噪声,减小振动。

(2) 电主轴的静动态特性分析

在电主轴单元的设计中,应用有限元分析的手段,对主轴的变形量进行分析,对主轴悬伸量,主轴跨距等的确定及主轴结构的优化设计起到了很好的作用。

由图4和图5可知,主轴系统的一阶固有频率 $F_1=500\text{Hz}$,其对应使用转速为 30000r/min ,主轴最高转速(24000r/min)低于一阶固有频率,主轴的动态特性满足设计要求。

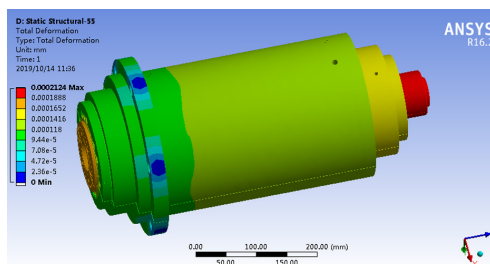


图4 主轴静刚度分析

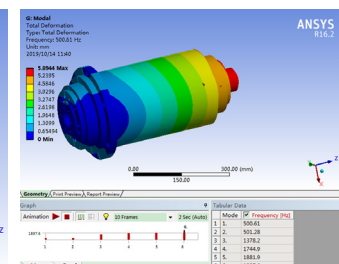


图5 主轴动态特性分析

(3) 电主轴的热变形分析

我们首先分析主轴单元的发热状况,然后在这种主轴结构的前后轴承及电机处,施加热载荷,运用有限元方法模拟主轴高速运转时的发热情况(见图6),计算热对主轴精度的影响。

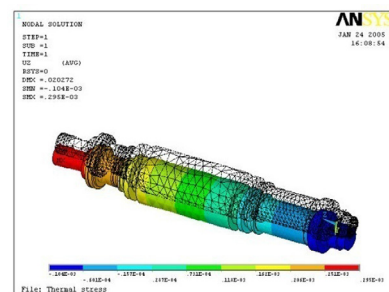


图6 主轴冷却前的热伸长

为了使主轴单元能够稳定地连续进行高速、高精度加工,对主轴单元采用了水冷机的强制冷却,采用三路冷却,分别通过前轴承套循环槽、电机定子套循环槽、后轴承套循环,带走电机、轴承运转时的热量,强制控制主轴升温。同时有两路压缩空气由主轴单元前端进入电机内腔,从前向后通过电机内腔向外排出,把电机内部热量通过空气带走。在主轴单元的前轴承套和后轴承套上,预留了测温孔,可以随时监控主轴前后轴承的升温,以便控制调节水冷机的冷却温度,同时,根据检测得到的主轴热伸长与温度变化的关系,使用数控系统

相关功能,可以对主轴的热伸长进行实时补偿。使主轴单元始终保持稳定的工作温度。由图7可以看出,改进设计后机床的热伸长状况显著改善,后端最大热伸长为0.0935mm,主轴前端最大热伸长是0.0233mm。

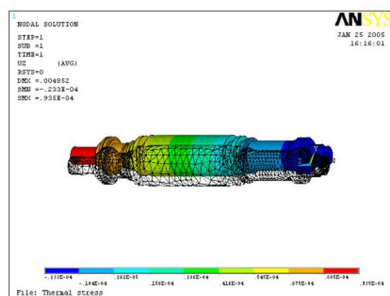


图7 主轴冷却后的热伸长

(4) 电主轴性能试验

图8是电主轴在机床上空转性能试验现场。由各仪器显示的试验数值可知,当主轴转速20000 r/min时,前后轴承最高温度是25.3°C,电机线圈温度是38.2°C,最大振动值0.112mm/s,性能优良。

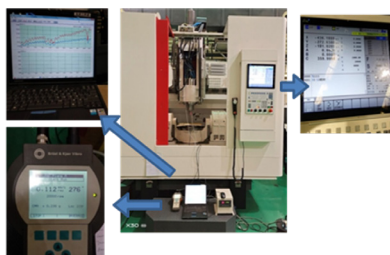


图8 主轴机床上空运转性能试验现场

图9是主轴动态加载试验。加载扭矩是以主轴电机最大输出扭矩的70%来确定,连续加载72h。

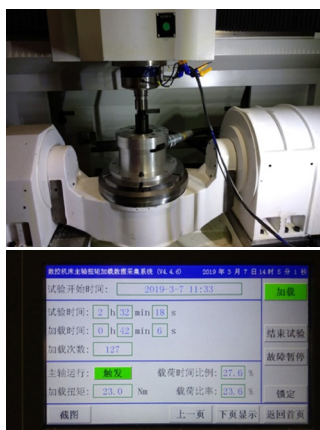


图9 主轴动态加载试验

图10是主轴热伸长测量试验现场。测量结果显示主轴20000 r/min 时,1.2h左右伸长量达到最大值0.055mm,之后伸长量减小逐渐趋于稳定。

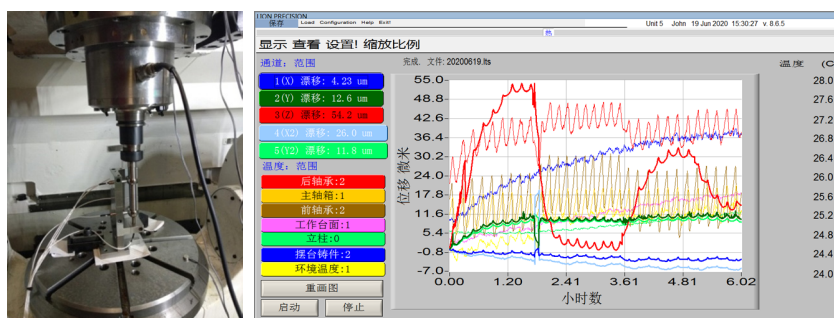


图10 主轴热伸长测量试验

3.直驱摇篮摆台优化设计

本转台是我公司自行研制的两轴力矩电机数控转台,可同加工中心三个直线轴配套组成五轴联动加工中心。可解决复杂曲面零件的加工问题。

本转台采用力矩电机直接驱动,配有高精度角度编码器,对比蜗轮蜗杆驱动的数控转台具有更高的转速、快速双向反应能力、零背隙、高动态反馈及更高精度的优点。本转台采用转盘轴承,具有刚性高、承载能力强、运转精度高的特点,能够承受径向载荷、双向轴向载荷、倾覆力矩并且无游隙。本转台采用圆周径向夹紧方式,使转台运转轴具有高夹持力,同时夹紧动作具有更小的变形位移量。A、C轴力矩电机均配备冷却水套,采用恒温水强制冷却,保证持续加工时的温度恒定,以减少热变形量。

(1) 关键零件的有限元分析

如图11所示,在设计过程中,对关键的零件进行有限元分析,并根据分析结果进行优化设计。通过有限元分析,发现受力的薄弱环节,改善设计,消除较薄弱的地方,使设计达到精度设计要求。

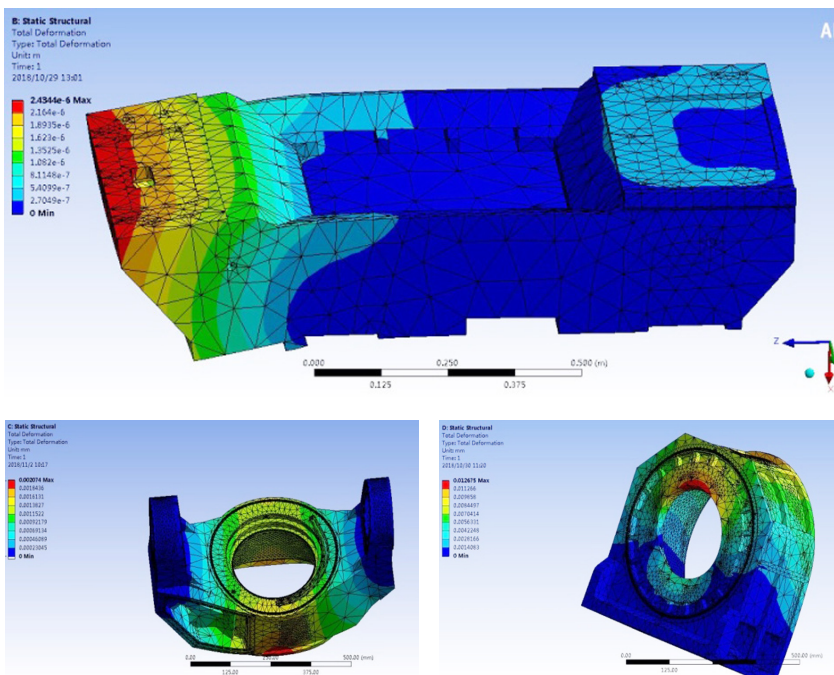


图11 溜板、摇篮、电机座有限元分析

(2) 转台整体有限元分析

图12是转台摆动90° 负载300kg的变形量分析图。图中最大变形量4.93 μ m, 出现在转台C轴铸件上, 转台底座部分最大变形约为1 μ m, 出现在左侧转台安装面上。

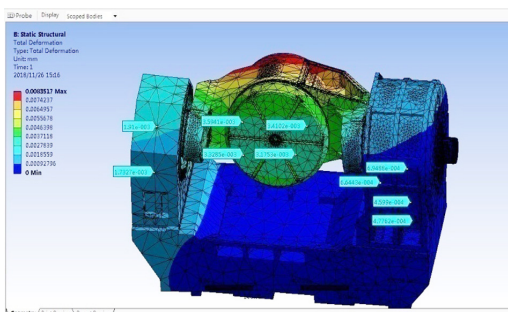


图12 转台摆动90° 变形量分析图

四、应用情况

第一台机床于2019年5月在湖北三江航天红峰控制有限公司开始投入使用（见图13）。红峰公司根据机床结构及精度，结合产品结构，充分发挥设备性能，以铝合金基座体、钛合金壳体为典型案例开展了铝合金、钛合金高效加工技术研究，并以这两种件及本体支架台体类零件共2类7种典型零件进行了机床的验证与示范应用。



图13 机床用户现场图片

1. 铝合金基座体高效加工与应用验证

基座体结构如图14所示，采用铝

合金加工成型，基座体具有结构复杂、材料去除量大、薄壁易变形等特点，且对零件加工精度、质量及加工效率等各方面具有更高的要求。因此，红峰公司选择 μ 1000/5ST-400V开展铝合金高效加工。

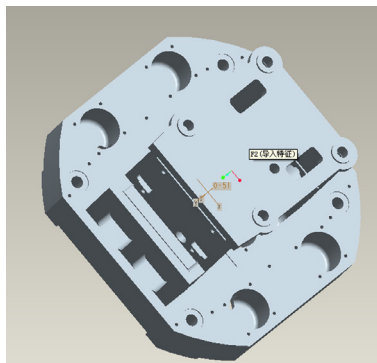


图14 铝合金基座体

2. 铝合金台体类零件高效加工与应用验证

本体骨架为台体类零件，采用铸铝ZL101A加工而成。本体骨架为异形半球体零件，包括设计基准在内的15个精加工面分布在球体内各处，基准面平面度0.008，各安装面与基准面的平行度0.012，相互垂直度0.012，定位装夹存在较大难度，设计要求不易保证。前期零件采用米克朗五轴立式加工中心UCP600，利用工作台的旋转和翻转实现零件一次装夹加工多个面，符合设计要求，如图15所示。

由于UCP600使用多年，设备存在一定程度的磨损，造成工作台的工作台翻装精度下降，本体骨架各精加工面需要多次计量多次返修才能满足零件的精度要求，加工效率低，零件的加工精度不容易保证。采用 μ 1000/5ST-400V后，由于A、C轴的定位精度5"，重复定位精度3"，比UP600精度高，零件加工不需要多次计量多次返修，设备加工效率高，实现了对进口设备的替代。

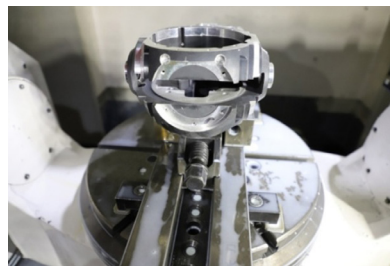


图15 铝合金本体骨架类零件

3. 钛合金壳体类零件高效加工与应用验证

壳体分为上下部分，如图16所示，材料采用钛合金TC4-R，壳体零件具有壁薄，刚性弱等工艺问题。这些薄壁部位一般结构复杂，槽腔较深，转角较小，因此加工难度大。由于结构件各孔的形状和相互位置精度较高，加工中各尺寸公差不容易保证。壳体采用钛合金型材加工，材料去除量大，要求数控设备具有多坐标、高速、高刚性、大功率、高精度，因此选取壳体作为钛合金高效加工的典型案例。

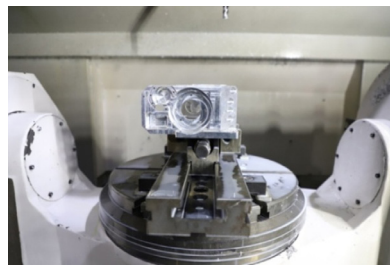


图16 钛合金壳体类零件

壳体前期采用米克朗五轴立式加工中心UCP600，由于机床的刚性较差，零件的加工吃刀量不能过大，设备加工效率低。现根据 μ 1000/5ST-400V机床高刚性、大扭矩、高速、高精的结构特点，将壳体调整至该设备上加工外形、内腔、各安装孔，吃刀量较UCP600大，加工效率较UCP600高。

湖北三江航天红峰控制有限公司于2020年7月又购买了三台该机床。目前，三台机床已在用户处进行应用验证。□

多机器人协同汽车制动钳支架高速精密加工全自动生产线的研发与应用

浙江畅尔智能装备股份有限公司

一、概述

汽车工业经过长期的发展已经形成了一条庞大的产业链，对国家的工业结构升级和相关产业发展有很强的带动作用。近年来，全球汽车制造业逐步向中国等发展中国家转移，给我国的汽车工业发展带来了机遇，也带来了挑战。

从全球来看，汽车工业整体面临着劳动力成本上升、原材料成本上涨、经济形势严峻等考验。伴随着汽车市场的竞争愈发激烈，众多整车客户对汽车安全等性能愈加关注，导致汽车零部件企业的压力空前加大，对零部件加工的可靠性、精确性、性价比等提出了更高的要求。另一方面，面对劳动力市场的“用工荒”，越来越多的企业都提出了“黑灯工厂”需求，汽车零部件企业也不例外。为此一大批汽车零部件企业迫切需要高效、高可靠性、高自动化和柔性化的机器人集成智能化装备，来提高产品档次，增产扩能，提升市场竞争力。

制动钳是汽车制动系统的核心关键部件，由壳体、支架等零件构成。多机器人协同汽车制动钳支架加工生产线可实现支架的高速、精密、高效率、全自动化加工。国外对于该生产线的研制仅德国一家制造企业，属全球垄断经营，而国内对于集成拉削工

艺的自动化成套装备、生产工艺、机器人应用及控制技术的研究与国际先进水平相比存在不小的差距，还远远无法满足市场需求，从而导致国内完全依靠进口。据市场调研，为宝马、奔驰、奥迪等高档轿车配套生产制动钳的企业中，制动钳支架的加工仍大量采用传统方法，整道加工至少需要5种不同机床，配置8~10名工人，节拍为5min/件，加工效率低，精度低，成本高。为此浙江畅尔智能装备股份有限公司成功研发了多机器人协同汽车制动钳支架高速精密加工全自动生产线。

该生产线由双立柱立式外拉床、转台式四工位铣钻攻集成加工专机、六轴工业机器人、双轴桁架机器人、单轴桁架机器人、物流系统和自动控制系统等组成，可集钻孔、铣削、平面拉削等多道加工工艺于一体，加工节拍 $\leq 24s/2$ 件，可实现“机器换人”，技术达到国际同类产品先进水平，价格和制造周期上均占有明显优势，不仅成功替代进口，占领国内市场，而且在国际市场中也展现了很强的竞争力。

二、产品简介

多机器人协同汽车制动钳支架高速精密加工全自动生产线（如图1所示）是针对汽车核心零部件制动钳支架（如图2所示）的自动化加工，以集成多种加工工艺、机器人应用、控制系统、在线检测等技术为研究基础，率先在国内同行中开发“机器人+高端拉床+专用机床”的高端制造模式，是一条达到国际同类产品先进水平的拥有核心自主知识产权的智能化加工生产线，具有高精度、高经济性、高效率、柔性化等特点，是汽车零部件大批量加工实现“机器换人”的典型案列。

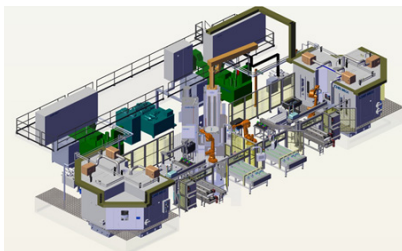


图1 多机器人协同汽车制动钳支架加工全自动生产线



图2 制动钳支架加工毛坯和成品

该产品依托浙江省重大科技专项研发而成，可集工件准确定位、精密拉削成形、铣钻攻丝、在线检测、多机器人协同于一体，实现了制动钳支架的高速精密拉削。产品加工节拍最高可达12s/2件，一条生产线可替代传统加工方式8至10名工人，拥有授权国家发明专利近20项。该产品打破德国技术壁垒，成功替代进口，曾获浙江省科学技术进步奖一等奖、装备制造业重点领域首台（套）、中国机械工业奖、浙江制造精品等荣誉。

如图3所示，“多机器人协同汽车制动钳支架高速精密加工全自动生产线”由双立柱立式外拉床、转台式四工位铣钻攻集成加工专机、六轴工业机器人、双轴桁架机器人、单轴桁架机器人、物流系统和自动控制系统等组成。各机构实现独立的数字化控制，其中：工件精确定位机构实现工件关键尺寸参数的自动化判定以及其尺寸精度的实时反馈；拉削装备依靠研制的拉刀周期行进式的振动拉削驱动机构，实现工件加工面的快速高精度拉削工作。研制的组合机床设有多个工位，一次装夹定位连续完成工件检测、钻铣、钻孔攻丝、去毛刺等加工任务；专用机器人依靠独立运动控制，实现工件在各工位间的自动调度。

该生产线的先进性主要体现在以下几个方面：

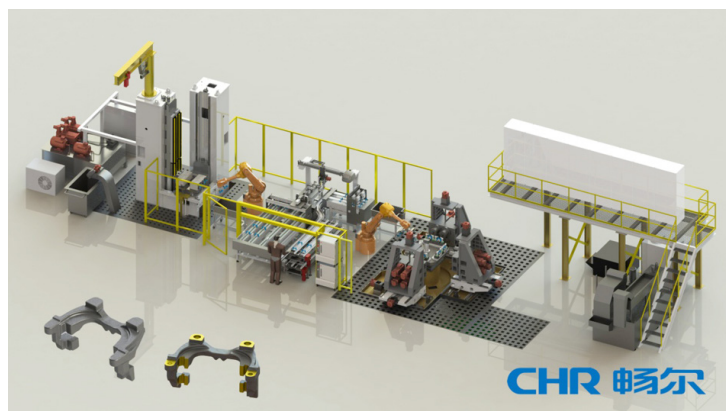


图3 汽车制动钳高速精密加工全自动生产线三维设计图

1. 完备的整体加工解决方案

该生产线提供了以高速拉削为主导，集成拉削、车削、铣削、钻孔及攻丝等加工工艺为一体的整体加工解决

方案。基于高速加工节拍，优化了上料、铣平面、钻孔、攻丝、下料等工序时间和工位安排，设计的转台式四工位铣钻攻集成加工专机的四工位回转台上布置了三个加工工位，实现与双立柱立式外拉床产能相匹配24s/2件的节拍。其中专用机床具备了上料、铣平面、钻孔、攻丝、下料等功能，而优化开发的双立柱立式外拉床，通过组合夹具设计及振动拉削技术融入，满足了工件一次装夹定位多次精密拉削成形的要求。产品开发了链条式刀库和自动换刀装置，具有换刀可靠、换刀时间短、刀具重复定位精度高；采用位移检测、视像检测和工件空间平面相对位置判定技术，实现工件在各个工位的自动精确定位和工件关键尺寸自动监测，并采用多台机器人协同上下料，工件输送快捷准确。最后采用基于现场总线的分布式控制技术，实现整条生产线的自动控制。

2. 优化设计了高端拉床及新型复合机床。

针对高端拉床的优化：根据制动钳支架全自动生产线中双立柱立式外拉床的拉削刀具存在摩擦磨损较大，寿命较低，加工稳定性及精度较差等不足，研制了双阀电液伺服激振式振动拉削驱动机构及配套夹具，实现了精密快速拉削。研究引用并结合流体力学中的多通道汇流耦合原理及电液伺服驱动理论、双阀电液激振系统的数学模型和拉刀刀齿切削理论，研制了双阀电液激振式振动拉削实验系统（见图4），为振动拉削机构的应用奠定了数据基础。拉削力实验结果、拉削精度实验结果范例如图5、图6所示。

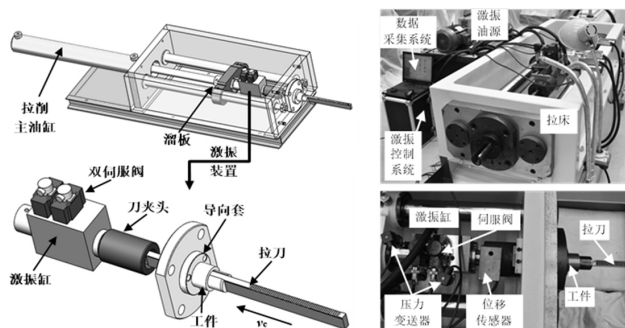


图4 双阀电液激振拉削实验系统示意图

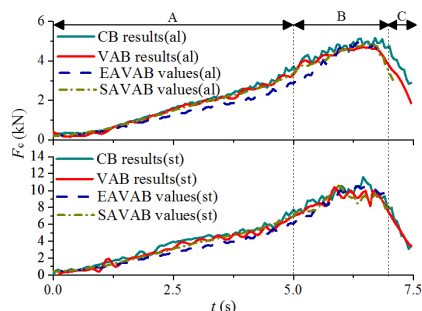


图5 拉削力实验结果

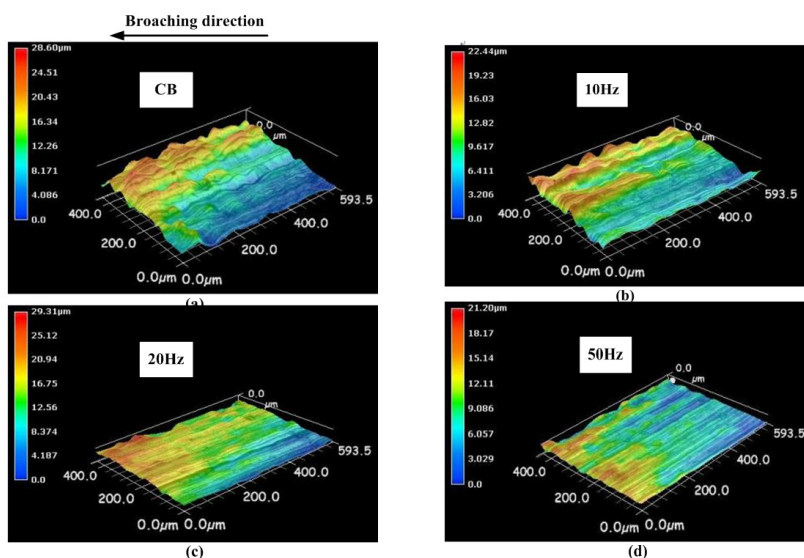


图6 拉削精度实验结果

针对新型复合机床的开发：从工件上料及铣平面、钻孔、攻丝、下料的多工位加工组合进行设计研究，研制了转台式四工位十二主轴铣钻攻丝加工专机（见图7）；通过研究转台式四工位加工复合机床的刀具、工装和附具自动更换方式和刀具的磨损补偿，开发了链条式刀库和自动换刀装置，具有换刀可靠、换刀时间短、刀具重复定位精度高等特点；新型复合机床在实现一机多加的基础上，有效整合各加工工序时间，确保快速作业，实现了与双立柱立式外拉床生产节拍匹配。该设备的开发成功可替代原有进口的2.5台stama526双主轴加工中心或4台Vigel双主轴加工中心。

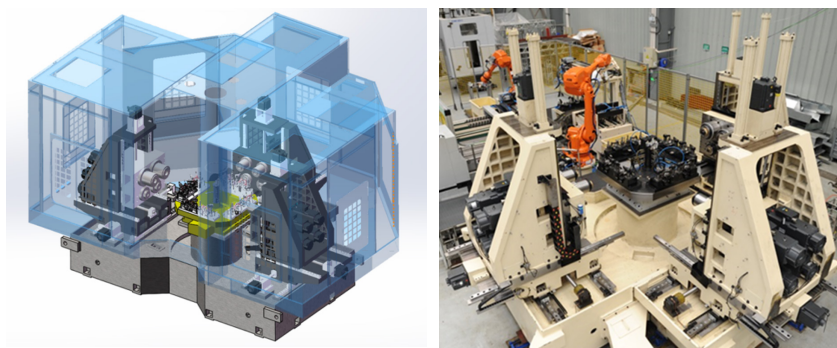


图7 新型复合机床三维图和实物图

3. 先进的自动化物流及工件质量在线监测技术

该生产线研究开发了基于尺寸链耦合原理和机器人应用的自动化物流及工件质量在线监测技术，为生产线实现自动化加工及产业化应用的关键所在。

基于生产线在线监测原理（见图8），采用尺寸链耦合原理、位移传感检测原理、视觉检测原理和机器人协同调度技术，开发了各工位工件位置丝级精度的上下料系统和工件关键尺寸的检测系统。生产线中整合了在线检测装置（见图9），包括接触式传感器和视觉检测，检测支架拉削加工后槽形的喇叭口，四工位集成复合机床加工后的安装孔孔距检测、螺纹检测，以及在物料输送系统上料处采用视觉传感器的混料检测，实现实时监控和反馈。

其次，针对转台式四工位铣钻攻集成加工专机须完成铣面、打孔、攻丝等多工序加工及多种型号零件加工，要求对多种刀具的加工过程进行监控管理。研发了刀具监控系统，采用Toolinspect刀具监控，将加工过程的数据通过一个现场总线profinet数据处理接口从CNC控制器传递到刀具监控控制器，实现各工位总共12根主轴数据的实时监控。

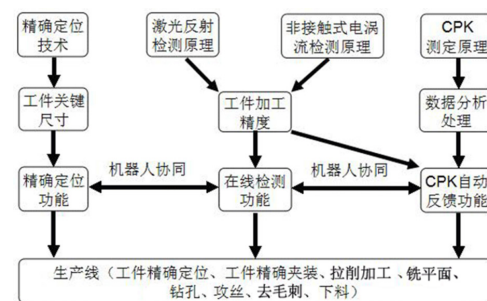


图8 生产线在线监测原理图

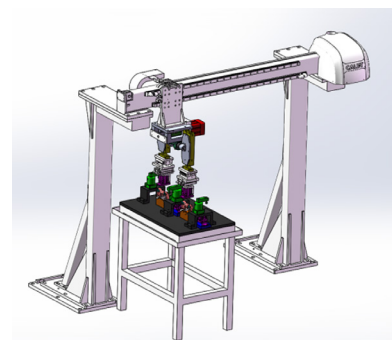


图9 检测机械手与检测机构

4. 开发了基于机器人集成的生产线全自动化控制技术

(1)结合非接触式工件关键尺寸参数在线检测技术和丝级精度定位技术，分析研究工件工位间输送尺寸形变内在联系。

(2)结合高精密快速振动拉削驱动技术和关键尺寸参数稳定组合夹具技术，研究基于工件关键尺寸稳定的高速自动化加工控制技术。

(3)结合机器人协同的物料调度技术及工件工位间输送尺寸形变内在联系，研究工件多工位间的精确自动输送控制技术。

(4)结合基于现场总线的分布式交流伺服驱动协同控制技术,从而实现生产线的全自动化控制工艺。

三、主要技术参数

表1 生产线技术指标情况

序号	检验项目	指标
1	产品加工节拍	≤24s/2件
2	工序能力指标	≥1.67
3	噪声	≤83dB(A)

表2 拉削机床指标情况

序号	检验项目	指标
1	产品加工节拍	≤24s/2件
2	主滑板移动对工作台的垂直度/mm	a) 滑板 纵向: 0.025/300 横向: 0.022/300 b) 滑板 纵向: 0.015/300 横向: 0.005/300
3	工作台中心与主滑板中心的重合度/mm	a) 0.024 b) 0.027

组合专机指标: 零件装载准确、可靠, 运转平稳、协调。达到铣削、钻孔、攻丝等工艺的集成, 实现一机多加。

四、技术亮点

1.创新性

(1)通过深入研究汽车制动钳支架加工工艺,研制了集工件准确定位、精密拉削成形、铣钻攻丝、在线检测、多机器人协同于一体的,实现制动钳支架高速精密加工,提高了产品质量。

(2)研制了丝级精度的工件上下料系统、工件尺寸的在线检测系统及刀具监控和补偿系统等,为汽车制动钳支架的机加工、检测和物流的全自动生产提供重要的辅助技术支持。

(3)开发应用了工件在多工位间的自动输送技术、多机器人协同技术以及基于现场总线分布式交流伺服驱动控制技术,实现制动钳支架机加工生产线的全自动控制。

(4)针对制动钳支架全自动生产线中双立柱立式外拉床的拉削刀具存在摩擦磨损较大,寿命较低,加工稳定性及精度较差等不足,基于双路汇流耦合激振原理和电液伺服驱动原理,研制了双阀电液伺服激振式振动拉削驱动机构及配套夹具,实现了精密快速振动拉削,有效降低了拉削负载和机床功率,提高了产品加工质量和尺寸稳定性,

延长了刀具使用寿命。

2.优势性

本产品为国内首台,相关技术处于国际同类产品先进水平,其具体技术指标与国内外同类产品对比情况如表3所示:

表3

序号	项目	本项目产品	国内传统加工方式	国外同类产品
1	加工节拍	23.8s/2件	≥5min/件	≤24s/2件
2	加工CPK	≥1.67	≤1.33	≥1.67
3	用工情况	≤1人	8-10人	≤1人
4	占地面积	约80平方米	约200平方米	约80平方米
5	价格	1200万元-3000万元	3000万元	7000-9000万元

从表3可见,本产品的加工节拍、加工CPK、用工情况等指标,远高于国内同类产品的水平,均等于或超过国外同类产品,具有优势性。

(1)国内首条开发的集工件准确定位、精密拉削成形、铣钻攻丝、在线检测、多机器人协同于一体的汽车制动钳支架全自动机加工生产线,实现制动钳支架高速精密加工,加工节拍≤24s/2件,相比国内目前传统加工,对加工制动钳支架的安装面及螺孔的设备是采用2.5台stama526双主轴加工中心或4台Vigel双主轴加工中心,传统加工节拍5min/件,效率提高几十倍,可替换人工8~10人。

(2)研制了国内首台转台式四工位十二主轴铣钻攻丝加工数控复合专机及链条式刀库和自动换刀装置,工件通过一次装夹定位,完成多工序加工,实现了与双立柱立式外拉床的生产节拍匹配,加工节拍达到24s/2件。

(3)国际上首次在拉削装备上运用了双阀电液伺服激振式振动拉床驱动机构及配套夹具,实现零件精密快速拉削成型。

五、市场应用

1.市场形势

国内市场对于生产汽车核心精密零部件的先进自动化加工装备长期有着较高的对外依赖度。日本、德国和美国靠其掌握的高档数控机床核心技术,形成了技术和市场的垄断局面,国际市场占有率达90%以上,我国汽车发动机、变速器、制动系统、转向系统生产厂的装备生产自动线,几乎全都从国外进口。例如,汽车制动钳支架加工所需的自动化成套装备或生产线在国内尚属空白,为德国制造垄断,进口价格高达7000至9000万人民币/条,甚至上亿元,昂贵的价格,显然不符合国内行情。

目前,德国CONTINENTAL集团、ZF-TRW集团等在华的汽车零部件企业是专为宝马、奔驰、奥迪等整车厂提供制动钳零部件的厂商,代表了较高的技术水平,但在早些年还是大量使用传统加工方法,远远无法满足日益增大的市场需求。

为此,基于迅速发展的汽车行业以及汽车零部件加工厂商对自动化高端装备的迫切需求,在合作用户的大力支持与推动下,畅尔研制了多机器人协同汽车制动钳支架高速精密加工全自动生产线,并实现了在汽车零部件卡钳加工领域,追赶甚至赶超了发达国家。

2. 产业化应用

多机器人协同汽车制动钳支架高速精密加工全自动生产线于2016年开发完成后,就在德国大陆CONTINENTAL集团(跨国集团,全球500强,全球汽配行业前3强,是世界领先的汽车配套产品供应商之一)旗下的中国工厂、墨西哥工厂得到了推广示范应用,得到用户的赞誉。

从国内市场角度,本产品真正替代了进口德国设备,有效替代了传统加工工艺,对国内汽车零部件制造企业提供了国产化自主产权的高精、高效、高性价比、柔性化、智能化、高可靠性的成套装备,一并解决了用工荒、效率低、精度低等问题。CONTINENTAL在华的多家汽车零部件制造企业均向畅尔采购了本产品,均为第一次采购国产成套设备,经使用反馈,一致认为该生产线布局合

理,加工精度与节拍均满足技术要求。自2016年以来,CONTINENTAL在华企业已经与畅尔建立了长期战略合作关系,并协同推进了本产品的优化提升与产业化实施,目前其工厂内的设备需求逐步从国外进口转为国内采购。

从国际市场的角度,本产品具有较强的国际市场竞争能力,成功参与了国际市场竞争,CONTINENTAL在墨西哥等欧美地区的工厂向畅尔购置了多套本产品,以替代德国进口设备,作为国产高档装备,在海外市场起到了良好的示范效果。

作为首台套产品,经过国内外市场的推广应用,加快了本首台套产品的产业化进程,畅尔公司已经形成了年产100台(套)多机器人协同汽车制动钳支架高速精密加工全自动生产线的能力,以高端装备带动我国传统汽车零部件产业转型发展。

3. 市场未来趋势

本产品主要用于汽车制动钳支架的大批量、高精密、智能化加工,属高端制造领域具有高效率、柔性化、高可靠性的装备。随着国家数字化转型帷幕的全面拉开,“黑灯工厂”经济正在加速渗透制造业等产业,机器人协同的高自动化水平的生产线必然成为“黑灯工厂”的主力。当前汽车工业尤其是新能源汽车、工程机械行业的迅猛发展,加之汽车零部件制造对其加工装备的自动化、加工精度及工艺集成度要求越来越高,本产品具有广阔的市场应用前景及推广应用价值。□

资讯

三河同飞制冷股份有限公司在深交所创业板隆重上市

5月12日,三河同飞制冷股份有限公司在深圳证券交易所创业板隆重上市,成为廊坊市历史上首家深交所创业板上市企业。廊坊市、三河市部分政府部门领导和中国机床工具工业协会秘书长王黎明、中国机床工具工业协会机床附件分会理事长张万谋等行业领导出席了此次仪式。



据了解,三河同飞制冷股份有限公司成立于2001年,是一家集工业制冷设备研发、制造、销售、服务于一体,具有自主研发和自主创新能力的高新技术企业。目前已成为以数控装备、电力电子装置制冷为核心应用领域的工业制冷解决方案服务商。2018年,该公司被河北省发改委、科技厅等部门认定为“河北省企业技术中心”。2019、2020年,该公司纳税4250万元、4581万元,主营业务收入4.18亿元、6.12亿元,2020年营业收入同比增长46.28%。截至2020年12月31日,公司拥有研发人员95人,占员工总数的13.55%。基于在研发投入资金、专业人才和技术方面的积累,该公司设立了“河北省工业制冷装备技术创新中心”、“廊坊市工业制冷(热泵)研发中心”和“廊坊市激光设备温控单元研发中心”。

(来源:协会传媒部)

JFT系列绝对式光栅尺的研发与应用

长春禹衡光学有限公司 王洋 杨尚 董岩

【摘要】光栅尺（Linear Encoder），是一种使用光栅莫尔条纹原理进行长度测量的设备，广泛应用数控机床中。如果将控制系统比作高端装备的“大脑”，那么光栅尺相当于“眼睛”，它在控制系统中起着举足轻重的作用，直接关系到机床加工的精度。

一、研发背景

绝对式光栅尺作为全闭环数控系统核心功能部件，在JFT系列产品面世前，国内一直没有可批产化、可靠性高、自主可控的同类型产品，全部依赖进口。从近两年国内外高端数控机床特别是五轴数控机床，基本全部采用绝对式光栅尺，应用前景十分广阔。目前绝对式光栅尺的供应商均由外国企业组成，主要包括德国海德汉（HEIDENHAIN）公司、西班牙发格（FAGOR）、英国雷尼绍（RENISHAW）公司，其中在金属切削类全闭环数控机床中，封闭式玻璃载体绝对式光栅尺80%以上由海德汉公司占据，而且超高精的产品被西方国家列入限制出口的产品目录，对我国的购买进行严格控制。

在经济全球化和信息技术革命的影响下，制造业规模和水平已经成为衡量一个国家综合实力的重要标志，而我国制造业经过了近十年的高速发展，已然不失规模，虽然在“中国制造2025”规划中奋然迈进与成长，但是缺少的恰恰是核心技术。近

年，我国的制造业有意识的发展、攻关其产品领域的关键技术，使卡脖子事件变得越来越少。

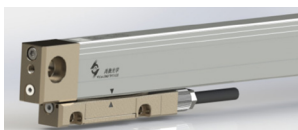
因此，JFT系列产品的研制成功且在2019年正式在国内产业化应用推广，打破国外产品多年在中国市场的垄断地位，极大地增强了我国在高端制造领域的自主可控及核心竞争力。随着产业化进程及多元化应用，产品系列不断拓展、产品性能不断优化，持续可靠地为中国高精度基础制造添砖加瓦。

二、JFT系列产品介绍

1. 产品简介

JFT系列绝对式光栅尺，目前有标准型和小截面型2款，其性能指标达到了国外同类产品的水平，如：准确度等级达 $\pm 3\mu\text{m}/\text{m}$ ，分辨力最高达2.5nm；主要技术指标如下表所示：

JFT系列绝对式光栅尺指标一览表

NO.	性能指标	JFT-10（标准型）	JFT-40（小截面型）
1	外形		
2	截面尺寸	85.0×37.0mm	46.2×18.0mm
3	测量长度	140~4240mm	70~2040mm
4	准确度等级	$\pm 3\mu\text{m}$, $\pm 5\mu\text{m}$	
5	分辨力	0.01 μm , 0.005 μm , 0.0025 μm	
6	运动速度	Max180m/min	
7	工作温度	0~50℃	
8	防护等级	IP53, IP64（通压缩空气）	
9	通讯协议	BiSS C, DRIVE CLiQ（西门子），SSI，可根据用户需要定制协议	

2. 产品设计

JFT系列绝对式光栅尺，采用了拥有自主知识产权的绝对式编解码及全阵列光电扫描系统的技术平台，通过卓越的光学设计、电子设计、机械设计结合，达到高准确度、高分辨力、高可靠性的产业化产品。

(1) 光学设计

采用透射式发光接收结构及全新的并拥有禹衡光学自主知识产权的“单芯片全阵列扫描”技术，绝对码道采用伪随机编码，最大限度地提高抗污染能力，并能够根据应用环境的不同，灵活设置抗污染等级。这些都有助于在不同的条件下，获得高质量的信号，最大限度地减少插值误差，从而提高测量系统的测量精度。

(2) 电子设计

采用最前沿的电子集成技术进行芯片及电路设计，运用FPC及配套的微型连接器，极大地缩小了产品的体积并有效提高了产品的抗电磁干扰性和稳定性，保证高速及高加速运动时的信号质量，具有微米级的准确度和纳米级的分辨力。

(3) 机械设计

JFT系列绝对式光栅尺系列产品采用铝制外壳的封闭结构来保护内部的读数系统，并实现读数头各部件的精密注塑和精密加工，其内部柔性连接机构采用超耐磨材料，这些可保证长期运行的定位精度和重复精度，保证光栅尺运行稳定性并提高了防护等级。读数头采用高精度轴承和弹簧机构，为读数头沿标尺光栅运动时提供一个稳定的平衡系统，确保采集数据准确性和灵敏性。

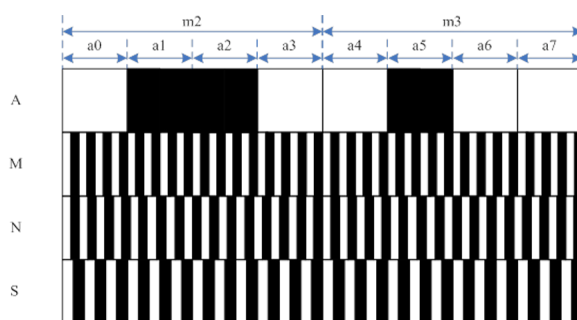
(4) 温度特性

高速切削和全封闭机床的广泛应用是机床温度不断提高，由于直线光栅尺的温度特性直接决定机床的加工精度，因此，直线光栅尺的温度特性非常重要。通常，直线光栅尺的温度特性需与工件或被测对象一致。温度变化时，直线光栅尺的膨胀和收缩特性必须是确定的和可重复的。

3. 核心技术

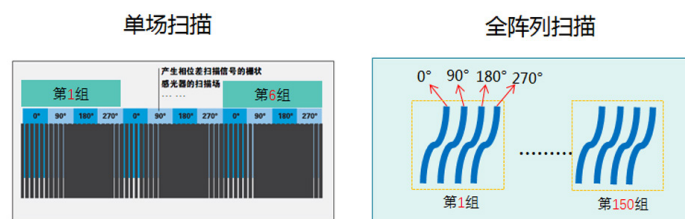
(1) 编解码技术

采用拥有自主知识产权的绝对编码方式：伪随机码+游标码组合，游标编码的每一周期段的周期内部，可以得到唯一的绝对位置，将此编号作为粗码与游标编码解析的精密相结合，得到实时位置信息。根据伪随机码自相关特性，在解码的算法中，增加了位置相互校验功能，保证解码的准确、可靠。



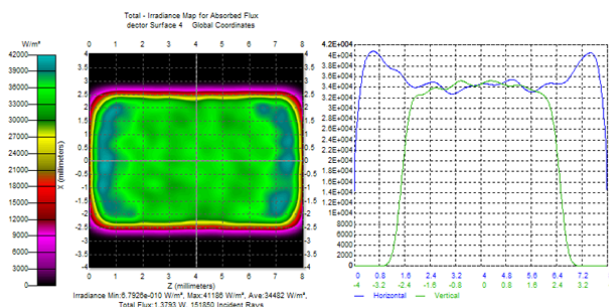
(2) 全阵列扫描技术

利用相位阵技术将指示光栅直接集成在光电接收器表面，做到无传统的“指示光栅”，简化了工艺，使装配自动化提供了更多的可能；游标码接收区在测量方向分别裂相形成150组完整的四相信号，大冗余设计，保证信号质量，使原始信号更加出色，是实现高倍细分的基础。



(3) 准直光源及补偿技术

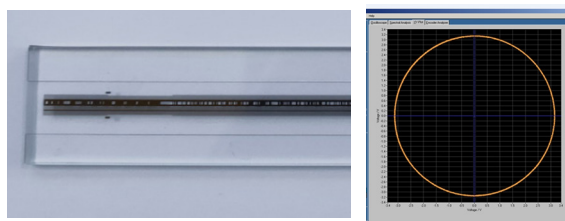
行业内首次使用光源波长为460nm的蓝色光源，采用直射式结构，非球面透镜设计，保证发散角小于1.5°，发光系统的光强会随使用时长的增加，逐渐衰减，发光补偿系统会根据ASIC接收到的信号幅值，判定发光强度的衰减量，自动调节LED电流，使信号幅值达到标准值，有效地增加了使用寿命。



LED光强分布图

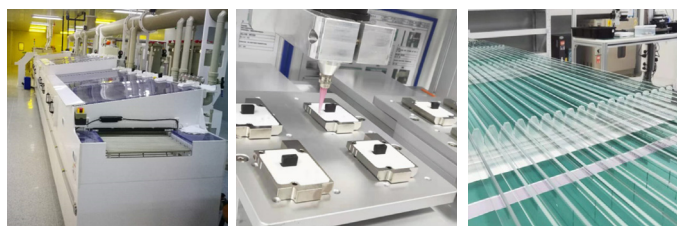
(4) 高精度光栅刻划及接长技术

采用DIADUR刻线工艺，光栅刻划精度 $\pm 1 \mu\text{m}/\text{m}$ ，母光栅接长精度 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ ，复刻精度 $\pm 1.5 \mu\text{m}/\text{m}$ ；下左图为光栅实物图与右图为正交信号的李萨如图。



(5) 先进的制造技术及精度保证

禹衡光学利用先进的生产手段和制造工艺，保证产品的高质量。不管是对直线光栅尺母尺的制造还是批量生产，禹衡光学的光栅制造都是在恒温、恒湿、防振等严格条件控制的洁净工作室内完成的。生产车间装备了各种现代化的设备，从而保证了产品的生产工艺要求。



为保证精度，绝对式光栅尺都要在20℃的恒温条件下，通过计算机和激光干涉仪组成的检测系统的严格检验，保证其产品质量；通常每一根绝对式光栅尺都提供一张准确度检验报告。



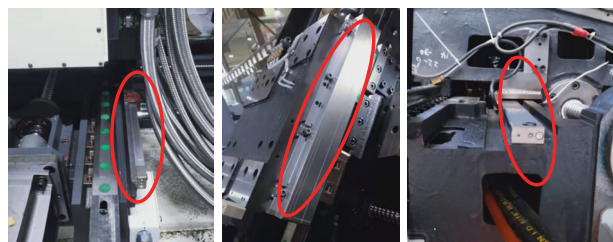
综上，以核心技术为基础，以客户应用服务为中心，通过卓越的光学设计、电子设计、机械设计相结合，以专用的半自动与全自动装配、检测设备为保障，研发出自主知识产权的高精度绝对式光栅尺JFT系列产品。



4. 应用情况

绝对式光栅尺广泛应用于高档数控机床及高精度自动化测量设备中，是所有进给轴为闭环控制的机器和设备的首选，如加工中心、磨床、铣床等。绝对式光栅尺的动态性能优越，沿测量方向可靠的运动速度及加速度性能使其即满足常规轴动态性能要求，也能满足直线电机的高动态性能要求。

2019年开始，在数十家国内、国外数控机床厂家进行了产品测试及批量应用，客户反应产品性能稳定，达到国际同类产品水平。定位精度可达 $\pm 3 \mu\text{m/m}$ 内，重复精度可达 $2 \mu\text{m/m}$ 内，数据稳定性 $\pm 40 \text{nm}$ 。下图为安装在数控机床上的绝对式光栅尺示例：



三、未来之路

目前，JFT系列绝对式光栅尺代表了国内同类产品的最高水平，随着产业化进程及市场应用的深入和积累，掌握核心研发制造技术（如：光栅刻划及接长技术、自主知识产权的绝对式编解码、高集成化芯片产业化及升级、高精度线、角位移检测技术）的前提下，持续优化，提高产品的准确度和稳定性。

在智能制造推进过程中，相关产业产品都在不断的升级，尤其光栅位移传感器产品向着更高精度、更小型化的趋势发展。作为国内集研发、生产、检验、销售为一体的光栅计量产业产品的代表企业，长春禹衡光学有限公司坚持在高端产品领域持续投入，在已形成的自主知识产权的核心技术的基础上，未来两年内使JFT系列绝对式光栅尺在国内市场占有一席之地。未来三年内，研发出准确度等级 $\pm 1 \mu\text{m/m}$ 等指标、可靠性更高的光栅位移传感器，实现打破国外产品垄断的现状，发展并壮大更多的产品系列。为我国智能制造及高精度制造奠定坚实的基础。□

高品质精密重载滚柱导轨副的研制与应用

南京工艺装备制造有限公司

一、概述

2020年初,南京工艺装备制造有限公司GZB35精密重载滚柱导轨副荣获中国机床工具工业协会评选的“产品质量十佳”称号,这是南京工艺第五次获此殊荣,成为设立“产品质量十佳”评选项目以来获此称号最多的企业。

精密重载滚柱导轨副以“滚动”为特征,具有高效省能、精密定位、反应快速等功能,在高档数控机床伺服进给驱动系统中担负着重要的承载和精密定位功能,其性能和质量的优劣很大程度上决定了数控机床的精度和精度保持性,是数控机床的核心功能部件。国家从战略层面对滚动功能部件行业施行重大专项支持,南京工艺装备制造有限公司通过有限元仿真、运动学仿真优化设计,研制精密重载滚柱导轨副,并通过设备投入、高效精密检测技术研究、滚柱导轨副性能测试研究,展开对精密重载滚柱导轨副运行流畅性、振动、噪音、精度保持性等技术研究,提高了精度、性能及批产质量稳定性,主要技术指标已达到国际先进水平,成功替代进口并实现批量出口。

二、滚柱直线导轨副结构及精度

1.滚柱直线导轨副结构

滚柱重载导轨副是高精密的承载及传动部件,主要用于精密数控机床。其主要是由滑块体、导轨、滚柱、返向器四部分组成(见图1)。

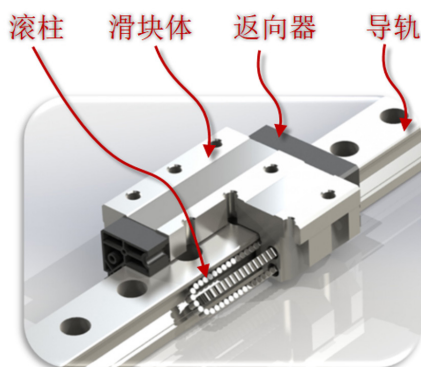


图1 关键结构

2.精密重载滚柱导轨副精度

公司生产的6米GZB65规格精密重载滚柱导轨副,经过国家机床质量监督检验中心检测,尺寸、精度、性能指标全部达到行业标准最高精度等级1级精度要求。相关检测报告如图2所示。

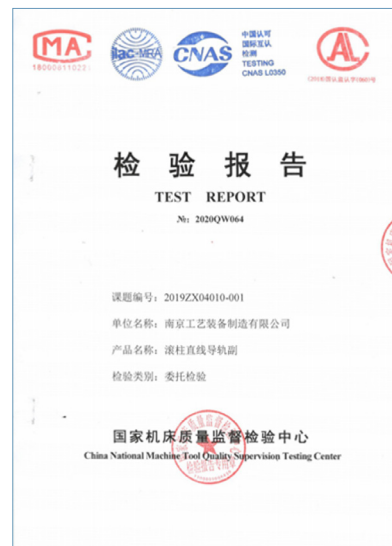


图2 1级高精度滚柱直线导轨副检测报告

三、精密重载滚柱导轨副优化设计

1. 导轨滑块截形优化设计

导轨结构可以设计为DB结构与DF结构，其中滚柱与滚道接触点垂直延长线交点在导轨外侧的结构形式为DB结构，滚柱与滚道接触点垂直延长线交点在导轨内侧的结构形式为DF结构，如图3所示。

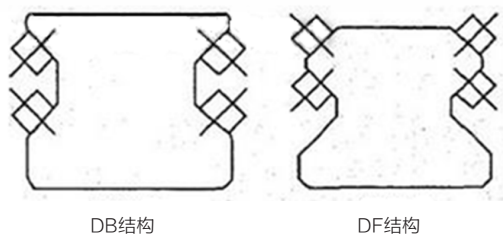


图3 导轨结构形式

DB结构形式，滚柱与滚道接触点垂直延长线交点在导轨外侧；DF结构形式，滚柱与滚道接触点垂直延长线交点在导轨内侧。当导轨副承受导轨横截面方向扭矩时，DB形式力臂更大，抗扭矩能力更强，同时DB结构受力中心更低，承载能力更强。在设计时为了获得最佳的性能，对两种结构导轨、滑块在相同材料、网格划分、受力、约束条件下进行有限元分析。

(1) 当承受正压力时导轨的应变情况

从图4的有限元分析云图中可以看出，DB的应变大小远小于DF的应变，DB的应变值仅为DF的 $0.000139 \div 0.000385 = 36.1\%$ ，所以导轨采用DB结构比DF结构在承受正压力时有明显优势。

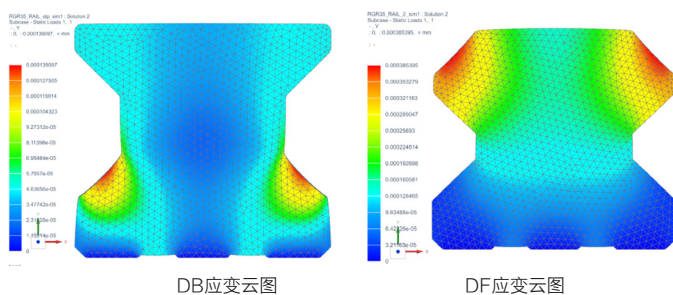


图4 正压力时导轨有限元云图

(2) 当承受侧向力时导轨的应变情况

从图5的有限元分析的云图中可以看出，DB的应变大小同样小于DF的应变，DB的应变值为DF的 $0.00168 \div 0.000176 = 95.5\%$ ，所以导轨采用DB结构比DF结构在承受侧向力时有一定的优势。

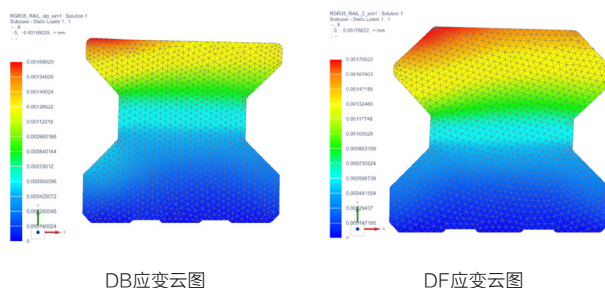


图5 侧向力时导轨有限元云图

(3) 滑块的应变情况

为确定因载荷而引起的滚柱滑块的变形程度，对滑块进行有限元分析。从图6的有限元分析的云图中可以看出，DB结构的应变远小于DF的应变，DB的应变值为DF的 $0.000813 \div 0.00194 = 41.9\%$ ，所以采用DB结构比DF结构更有优势。

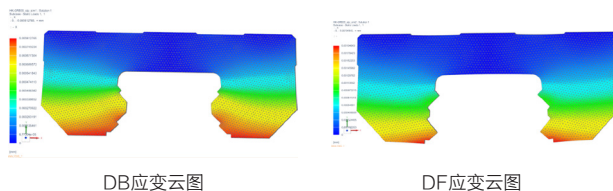


图6 滑块有限元云图

通过对导轨副使用概率最高的正向受力和侧向受力进行的有限元分析，对比DB结构和DF结构的优劣，DB结构导轨、滑块应变均小于DF结构，因此DB结构稳定性优于DF结构，确定设计选用DB结构导轨滑块截型。

2. 滚子接触特性研究

滚柱导轨副的关键承载体为滚子，滚子在导轨滚道和滑块滚道之间接触最频繁，磨损相对较快，为提高滚柱导轨副的使用寿命，研究滚子接触特性具有重要意义。

通过对滚子直母线、全凸母线、磨弧度母线、修正线分别进行轻载、中载、偏载接触应力分析，从中选取最佳的母线以获得最低应力，从而减少滚子运行时磨损。对滚子母线有限元分析如表1所示，从有限元分析云图中可以看出，当采用修正线母线时可以获得最小应力。

表1 滚动体有限元云图

	直母线	全凸度	修正线
应力云图			
值	1876 MPa	2043 MPa	918MPa

对于修形曲线而言,由于弧坡部分与直母线圆滑过渡,其应力集中得到有效改善,滚子的使用寿命延长了很多。研究结果表明,变曲率形状的滚子由于应力分布更趋均匀,其使用寿命可提高2~3倍,我司在滚柱重载导轨副的设计过程中,均选用了寿命较高的修正滚子。

3. 导轨副动态仿真研究

为提升导轨副运行的平稳性和流畅性,通过运动仿真技术对导轨副优化前后的运行状态进行动态仿真,并将滚柱对返回器的冲击力进行对比(如图7所示)。

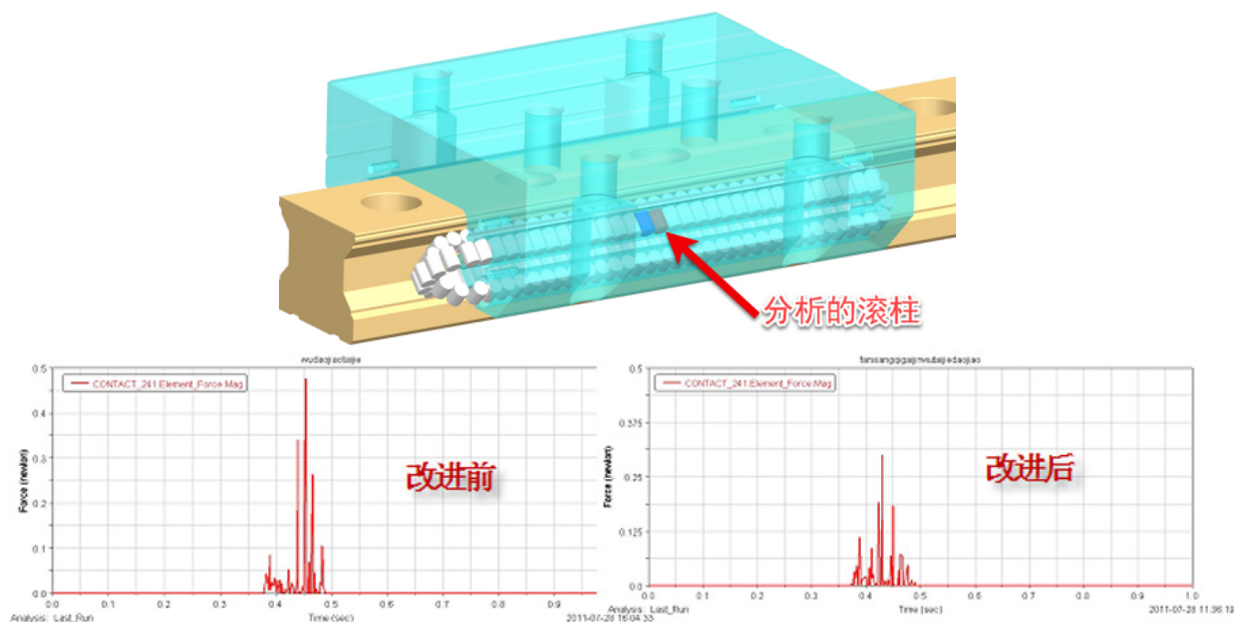


图7 滚柱对返回器的冲击力对比

通过模拟验证对比,证明优化后的精密重载滚柱导轨副冲击力远小于优化前产品。

四、精密重载滚柱导轨副制造技术研究

1. 关键设备投入

滚柱导轨副导轨滚道、滑块滚道与基面的平行度均为微米级精度,为了保证精度要求,公司引进了4米、6米日本冈本导轨磨床,德国BLOHM滑块磨床(见图8),机床运动轴均为全闭环控制,定位精度、重复定位精度及砂轮的进给均为微米级,高精度导轨磨床、滑块磨床为精密重载滚柱导轨副高品质提供保障。



(1) 冈本导轨磨床



(2) BLOHM滑块磨床

图8 高精度导轨磨床和滑块磨床

2. 高效精密检测技术研究

(1) 导轨滚道高效精密检测研究

导轨滚道因精度要求高,对测量条件要求高,测量难度大。公司添置了导轨滚道高效专用量仪(见图9),可同时测量导轨两侧滚道中心距、两侧滚道高度尺寸和两侧滚道高度尺寸一致性,实现准确高效测量。测量仪操作简便,检测效率高,测量稳定性好,适应于大批量生产高精度检测。



图9 滚柱导轨滚道测量仪

(2) 滑块滚道高效精密检测研究

滑块滚道精度直接影响到导轨副的精度和性能,包含几何尺寸精度和位置精度多项指标,传统手工检测方式繁复,耗时多,对操作要求高,难以支撑互换性生产。公司通过球型测量头、高精度弹性体机构、测量传感器、工业计算机、测量数据处理系统等建成滑块滚道精度高效量仪(见图10),对滑块滚道中心距、平行度、高度、至基准面的距离等尺寸精度同时进行快速、精确检测;测量高效、稳定、准确,具备测量数据存储和实时统计分析SPC功能,为控制批量生产时关键零件滚道尺寸的精度一

致性提供有力支持,提高了检测效率和检测精度的稳定性。

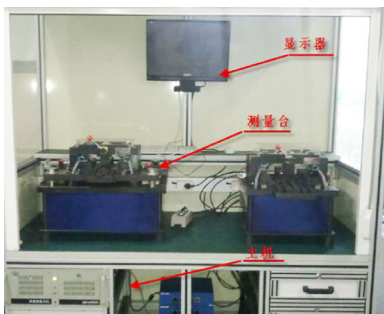


图10 滚柱滑块滚道测量仪

五、滚柱导轨副性能测试研究

南京工艺装备制造有限公司在国家科技重大专项滚动支持下,完成了滚珠丝杠副/滚动直线导轨副产品静刚度、性能、可靠性、寿命、精度保持性试验仪全性能试验仪的研制,建成了滚动功能部件产品全性能实验室(见图11),形成了相应试验规范,产品试验测试水平得以全面提升。滚动直线导轨副噪声对比图如图12所示。通过多轮的产品性能测试、产品改进,滚柱导轨副产品性能得到大幅提升。



图11 滚动功能部件产品全性能实验室

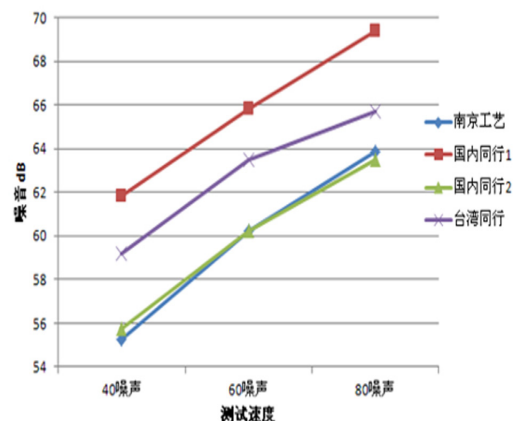


图12 滚动直线导轨副噪声对比图

六、滚柱导轨副应用情况

南京工艺装备制造有限公司制造的高品质重载滚柱导轨副,已经形成批量生产,并大批量提供给客户使用。为四川普什宁江机床THM6380精密卧式加工中心提供配套,定位精度达到0.0015mm,重复定位精度达到0.0009mm,成为04国家科技重大专项10大标志性课题之一;为青海一机精密卧式加工中心、沈阳机床精密卧式镗铣床、济南二机床集团XHV2720×80定梁龙门移动式五轴联动高速加工中心、齐重数控高精度双柱数控立式车削中心、大连科德数控股份有限公司五轴立式加工中心等高档数控机床提供批量配套,同时为北京阿奇夏米尔工业电子有限公司高精度线切割机床及自动线、为斗山机床斜床身数控车床以及加工中心、为DMG波兰工厂等国外品牌滚动批量订货,产品精度及性能均满足要求,使用情况良好,不但实现了为国产高档数控机床配套的突破,同时实现了批量出口,取得良好的经济效益与社会效益。□

CKX40精密数控车床的研发与应用

浙江金火科技实业有限公司

一、概述

CKX40属于斜床身类数控车床。整体式斜床身车床在当前中高端车床中占比持续上升，其优点在于刚性好、易排屑、上下料方便等。此类机床的研发理念很关键，一般在满足当前用户需求的同时，必须考虑以下几方面的问题：

（1）模块化设计

在先进、实用的机械结构和布局的基础上，必须重视机床部件的模块化设计，充分考虑方便各种配置及功能的扩展需求。

（2）通用化设计

机床零部件应具有广泛的通用性及良好的工艺性，尽可能采用量大且成熟的现有零部件，做到减少零部件种类，提高零部件的通用性，便于规模化生产制造，进而降低隐形的生产成本。

（3）自动上下料需求

鉴于提高生产效率、减轻人工成本等方面的需求日渐突出，对于数控车床来说只是满足于数控化加工已远远不够，上下料及一些辅助过程的自动化需求则正在成为刚需。

（4）用户产品升级、需求变化的趋势

要预留用户产品可能升级的需求空间，把握市场的主动权。完善产品序列，考虑系列化设计，以适应不同的工件规格要求、满足更大范围的市场需求为目标，为市场提供全方位的产品与技术服务。

二、CKX40精密数控车床简介

CKX40是一款整体式斜床身布局的2轴精密数控车

床，具备基本的车、镗、钻、攻等功能。通过不同的系统及功能部件模块选配则可扩展为具备多主轴控制、Cs轴控制、刚性攻丝等功能的多轴车铣复合加工机床。可加工圆柱面、圆锥面、阶梯面、球面及其他各种回转曲面等几何形状复杂、尺寸繁多、精度要求高的工件；适于直径 $\phi 40\text{mm}$ （主轴可通过最大棒料直径）以下的长棒料、直径 $\phi 300\text{mm}$ 以下的盘件和短轴类零件的单件或中小批量精密加工；工件材质主要以有色金属及黑色金属类为主。该机床适用于机械、仪器、轻工、电子、医疗仪器等行业的工件加工。



三、CKX40主要技术参数

- （1）主轴最大通过棒料直径（mm）： $\phi 40$ 。
- （2）床身上最大回转直径（mm）： $\phi 470$ 。
- （3）X/Z最大行程（mm）：420/480。
- （4）X/Z快速移动速度（mm/min）：24/24。
- （5）X/Z重复定位精度（mm）：0.004/0.006。

四、CKX40数控车床特点

在CKX40的研发过程中,我们重点考虑以下几方面:机床实用性强、选配功能丰富、性价比高,具备较好的动态响应特性及整机刚性,产品综合性能较好。

1.机床布局

机床采用45° 倾斜结构的L型整体床身底座布局,X、Z向均采用力士乐线性导轨,Z向导轨跨距达480mm,这种大跨距结构避免了通常由于长行程带来的受力作用点外悬、机床整体刚性下降的弊端,从结构上保证了切削过程中机床受力作用点始终落于两根导轨之间,机床受力更加稳定,使得车铣复合及异形件加工更为方便。

2.主轴箱配置

根据不同工件对加工性能的特殊需求,这款机床配置了两款不同轴承结构的主轴箱:主轴前后支撑均采用角接触球轴承配对布置的高速主轴结构,主要以应对高精度、高转速加工需求;主轴前支撑采用圆柱滚子轴承加推力角接触球轴承配对结构,后轴承采用圆柱滚子轴承布置的高刚性主轴,主要应对高刚性、大切削量的工件加工需求。

3.电主轴技术应用

为满足不同的用户需求,该机床上还提供一款同步电主轴选配模块,具备高速、高精度、低速大扭矩的特性,电主轴的应用使得数控车床主传动系统的机械结构得到简化,驱动输出更均匀高效,减少了中间环节,有效消除传动误差,机床的动态响应迅速。同时配备油冷循环制冷系统,机床主轴冷却效果比传统风冷方式改善明显。

4.X、Z向驱动

X向丝杠采用预拉伸结构,避免了加工过程中由于温度变化所致的工件尺寸的一致性差异。Z向丝杠采用传统的一端固定一端简支式结构,在保证机床性能需求的基础上充分考虑成本的经济性。

5.刀架结构

CKX40的基本型的标配刀架为排刀结构,可选配多种固定式或升降式动力头,同时也考虑刀塔选项,可选配液压刀塔、伺服刀塔及动力刀塔等配置,既有排刀结构简单、高效的优势,又有刀塔结构之通用性强的特点。

6.卡具配置

机床卡具可选内涨及外夹方式,选配主轴内置弹簧卡头及外置各种卡盘都很方便。同时针对粗、精加工及薄壁工件的加工需求差异可选配高、低压液压站模块。

7.排屑

根据用户车间布局可选配侧排屑和后排屑结构;根据工件需求也可选择链板式、刮板式及磁性排屑器配置。

8.上下料

为满足自动上下料及智能化加工需求,该机床可选配工件收集器、自动送料机、工件输送装置、桁架、关节机器人等辅助模块。同时对应不同的工件上下料需求,也可选自动门、自动天窗配置以方便桁架或关节机器人应用。

9.电气柜通风散热

一般电气柜内的电气元器件在正常工作时都会伴随有热量散发,尤其在潮热的南方地区,夏季电柜内的温度很高,会严重影响机床正常工作。针对这种情况,为该机床的电气柜提供了三种通风散热配置供用户选择:电柜下部配置进风口,顶部配置双轴流风机,这样在电柜内部形成一个循环散热系统,这种方式效果好且比较经济,但受基础环境温度影响较大;电柜侧部加装制冷空调,这种方式效果最好,但成本也最高;还有一种加装热交换器的配置,这个效果和成本则介于前述的两种配置之间。

10.较高的性价比

仅从价格来看,基本配置的CKX40的价格在同类机床中属于平均水平,不具备大的优势,但从其扩展性选项而言,该机床的性价比优势很大。这主要得益于研发与制造过程中的质量、成本控制,使得公司内部的制造成本得到了有效降低。机床的研发过程中,主要加强了设计与开发质量控制,从产品标准、工艺技术、工装设备、材料的选用等方面强化成本与质量控制;制造过程中从原材料、外购件、加工装配、出厂检验等方面进行质量控制,并根据各方面反馈进行持续的质量、性能等改进。

五、应用情况



(下转第44页)

超重型双辊轮强力旋压机的研制

武汉重型机床集团有限公司 何发诚 桂 林 张召杰

【摘要】本机床为国家攻坚工程成果。针对大型变截面复杂曲母线零件及大直径长筒体等超大型复杂零件在旋压制造中存在的技术难题，设计开发了大旋压力、高精度及具有智能录返功能的超重型双辊轮强力旋压机，并对其结构、性能特点及关键技术作了论述。该超重型双辊轮强力旋压机的研制，解决了航天军工等重点领域关键复杂零件的加工难题，特别是研发的免编程智能录返旋压技术，使机床实现了大型复杂旋压零件的高精度、高效加工。

根据我国航空航天、特种舰船、兵器、新能源汽车等国家重点领域对大型复杂关键零件旋压核心加工装备的迫切需求，发展重型、超重型高端智能强力旋压机成为必然，超重型双辊轮强力旋压机就是为满足此需求而专门研制的。期间研发了超重型高精度旋压主轴箱技术、旋轮座伺服油缸和静压导轨及其耦合技术、智能录返旋压技术，并成功应用于本机床。在此超重型双辊轮强力旋压机上实现了高强度材料超大型复杂零件的强力旋压，解决了大型火箭封头及筒体、大型阴极辊等超大型复杂零件的旋压难题。

大型直筒体、锥形筒体、复杂曲母线封头等，根据零件的特点，需要采用正旋、反旋、错距旋压以及等、变壁厚旋压等多种旋压工艺方式。随着航天军工及新能源汽车等领域的快速发展，对强力旋压机的功能、精度、效率、宜人化的要求越来越高。为满足多种复杂工艺要求和更高的使用要求，我们采用了多项新技术，将正旋、反旋、错距旋压以及变壁厚曲母线旋压等多功能有机的集成于一体，一台机床可完成上述高强度材料复杂零件的多种旋压工艺模式。机床总体结构简图如图1所示。

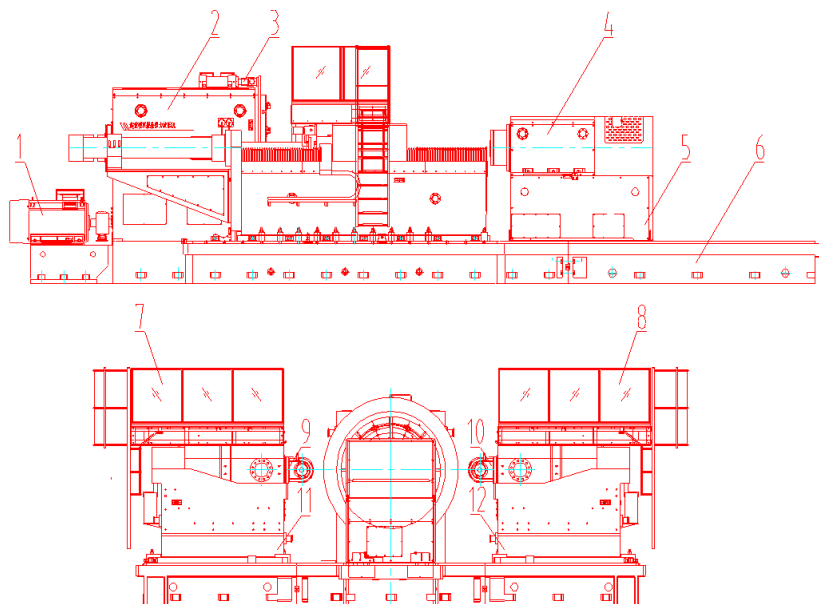


图1 机床总体结构简图

1.主电机 2.主轴箱 3.送料装置 4.尾顶座上体 5.尾顶座下体 6.床身 7.左走台 8.右走台 9.左旋轮头 10.右旋轮头 11.左旋轮座 12.右旋轮座

一、机床的结构及特点

1.机床结构

超重型双辊轮强力旋压机由主轴箱、床身、左旋轮座、右旋轮座、尾顶座上体、尾顶座下体、旋轮头、送料装置、顶料装置、伺服液压系统、液压系统、冷却系统、录返系统及电气控制系统组成。

2. 机床的结构特点

机床有以下8个结构及性能特点:

(1) 机床由力士乐MTX CML75数控系统控制,有四个数控轴和三个主轴。配有19"彩色液晶显示器、数显电子手轮、内藏PLC,具备网络通讯接口、设备故障诊断功能、旋压工艺参数跟踪显示和记录功能,采用VAM40.2机床操作面板,能够控制主轴、纵横向坐标轴联动,纵横向坐标能够实现直线、圆弧、坐标系转换与复杂曲线插补功能。两个数控旋轮架的旋轮头既可独立进给,也能同步运行。

(2) 机床总体结构为床身、主轴箱、尾顶座、双旋轮座、双旋轮头有机集成。总体热、力对称设计。旋轮座纵、横向导轨均采用重载高精度闭式恒流静压导轨。旋轮座纵、横向由大推力伺服油缸驱动,全闭环控制。能够完成大型旋压件正旋、反旋及大型复杂变截面封头的旋压加工。具有免编程智能旋压功能。大旋压力、多功能旋压及高精度、高效率及智能化是本合同床的主要特点。

(3) 主轴箱为超重型高精度滚动轴承主轴箱。主轴箱主轴径向为两个大型高精度滚柱轴承,轴向前端为大型滚柱推力轴承,后端为推力球轴承。前端大型滚柱推力轴承布置结构,是针对超重型旋压机专门设计的,以满足强力旋压对主轴箱大轴向承载的要求。主轴大直径大长径比设计,支点挠度有限元优化计算,径向精度高,支撑轴承寿命长。主轴箱体为整体双层壁穿轴式结构,由高强度球墨铸铁材料铸造。立式镗孔加工的特殊工艺,极大地提高了主轴孔系的精度。

(4) 尾顶座由尾顶座上体和尾顶座下体组成,通过连结螺栓及键块联为一体。尾顶座上体由箱体、套

筒及芯轴组成,尾座油缸缸体及活塞杆分别布置在箱体和套筒上,一体化设计,结构紧凑。尾顶座上体芯轴前端采用高精度双列圆柱滚子轴承,轴向止推采用大承载调心滚子轴承。套筒内有循环冷却油通道,用于轴承的冷却和润滑。其油缸液压系统设计了电控压力控制阀,可任意设定和调节尾顶座顶紧力。尾顶座下体由滑座、齿板止退装置、卡紧装置及驱动装置组成。其前后移动及停止、止退、卡紧,由PLC自动控制。

(5) 配有平面轴对称分布的旋轮座。在床身上可实现纵向、横向平面移动和角度无挡位连续调整。旋轮座横向移动行程为1000mm,可以实现 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 旋转。在操作面板上输入数据,旋轮座即可自动移动到给定的位置和角度,并在屏幕上显示。在旋轮座体上设计了卸荷导轨,可卸去80%以上的横向载荷,保证大旋压力下旋轮座的精度。设计了抽油装置,主动将旋轮座上的静压油抽回至油箱。

(6) 配有强力高精度静压双旋轮座。每个旋轮座滑枕上设计有能安装旋轮头的接口,各种旋轮头可方便更换。旋轮座纵向和横向油缸均为大推力伺服油缸,光栅尺反馈,全闭环控制。纵向和横向油缸中心轴线与机床中心线等高,零偏载力矩设计。旋轮架纵向(Z、Z1轴)、横向(X、X1轴)导轨均为重载闭式恒流静压导轨,具有吸振能力强、摩擦系数小(可达 17×10^{-6})、寿命长、精度高的特点。闭式恒流静压导轨,静压导轨板与旋轮座床身导轨间隔了一层油膜,导轨无磨损;同时,油膜刚度高,在重载和轻载条件下,都能保持很好的工作精度。

(7) 设计了直驱式重型旋轮头和角度旋轮头。旋轮头内置直驱电机,实现旋轮预旋转功能。将旋轮旋

压切入点的参数设定值输入到数控系统中,数控系统同时启动主电机和力矩电机,并自动匹配力矩电机的转速。当数控系统监测到旋轮线速度与工件线速度相等时,力矩电机使能断开,旋轮开始进给。可变角度的旋轮头用来完成球形零件的强力旋压。旋轮的角度可以调整,配有钢栅编码器,可显示旋轮的角度。

(8) 机床液压系统和伺服液压系统独立设计和布置,分别配置油冷机。伺服液压系统采用大流量电子泵供油,以降低噪声和节约能源。大推力伺服油缸由大通径高频响伺服阀并联驱动,与大惯量滑座及滑枕耦合设计,以解决不同使用条件下系统振动问题。配置大流量冷却液系统,回流管路设计了两道过滤装置,并在末端采用了纸带过滤机。采用多管并联及大通径喷头技术,实现了旋轮及工件的充分冷却。所有子系统由PLC全自动集中控制,PLC能自动监控各系统的运行状态。

二、机床主要技术参数

最大旋压直径	2300mm
最大旋压工件长度	正旋2500mm, 反旋4500mm
最大纵向旋压力	70t × 2
最大横向旋压力	70t × 2
主轴最大扭矩	105kN · m
主轴转速	2 ~ 100r/min
主电机功率	450kW

三、关键技术

机床设计时采用了超重型高精度旋压主轴箱技术、旋轮座伺服油缸和静压导轨及其耦合技术、智能录返旋压技术、直驱式重型旋轮头技术、旋轮架同步技术、伺服液压技术、大规模有限元分析技术、齿板止退技术、恒线速旋压技术等多项先进技术。其中超重型高精度旋压主轴箱技术、旋轮座伺服油缸和静压导轨及其耦合技

术、智能录返旋压技术为本机床关键技术。

1. 超重型高精度旋压主轴箱技术

旋压主轴箱最大轴向承载为400t, 主轴的径向跳动为0.01mm。设计时, 主轴径向轴承采用高精度重载双列圆柱滚子轴承, 内圈锥度为1:12, 径向游隙可调至最佳状态。轴向承载采用大直径高精度推力滚柱轴承, 布置在主轴箱前端, 其轴圈安装在花盘上。主驱动大齿圈也安装在花盘上, 与花盘联为一体。这种特殊结构设计, 通过前、后高精度轴承来保证主轴的回转精度。前端大直径高精度推力滚柱轴承, 不需通过主轴直接将轴向旋压载荷经大型推力轴承传至主轴箱箱体上。径向载荷与轴向载荷各自独立承担而不相互干涉, 这种独特的设计, 满足了强力旋压机主轴箱大轴向承载和径向高精度的要求。主轴箱箱体采用树脂砂立式深坑造型、计算机虚拟浇注等新工艺技术, 铸件质量优。主轴箱箱体立式镗孔新工艺, 解决了大跨距主轴孔的高精度

加工难题。

2. 旋轮座伺服油缸和静压导轨及其耦合技术

采用大推力低阻尼伺服油缸, 高频响伺服阀并联驱动, 双通道伺服流量控制策略, 光栅尺反馈, 闭环控制。在旋轮座滑座上, 纵向、横向为闭式恒流静压导轨, 各布置了20个油腔, 由恒流量多头泵一腔一泵供油。闭式恒流静压导轨, 具有低阻尼、高刚度、吸震、大承载的特点。大推力伺服油缸、伺服阀与旋轮座滑座及滑枕惯量协调配置, 固有频率优化, 实现了主动避振, 滑座及滑枕快移和工进均运行平稳, 无异常振动。伺服油缸和静压导轨, 通过机械、电气、液压、静压的有机耦合, 实现了旋轮座的大推力高精度进给。

3. 智能录返旋压技术

高精度大直径壁厚复杂零件, 旋压时要求壁厚精度和尺寸精度高。之前受芯模自身制造误差、芯模安装找正及旋轮座角度误差的综合因素影响, 旋压的零件精度差, 生产效率

低。研发的智能录返旋压系统, 其双旋轮座各自有独立的坐标系, 在旋轮座上装有测量传感器, 配置了高性能数据处理器及录返软件。工作时, 旋压芯模安装到强力旋压机主轴箱花盘上, 定位后测量传感器自动测量芯模母线数据, 并与数据库中理想曲线自动比对, 经优化后自动生成旋压加工程序。该技术的成功研发, 解决了上述难题, 实现了免编程高精、高效旋压。

四、结束语

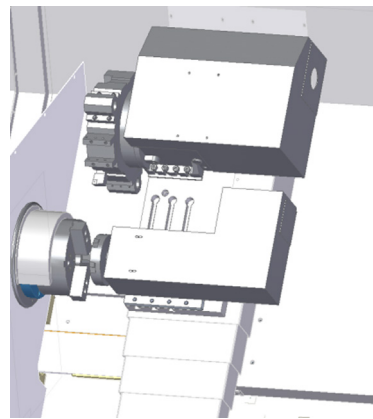
本文阐述的超重型双辊轮强力旋压机, 通过智能录返旋压等技术的研发和应用, 将大直径强力旋压与智能录返旋压等多项关键技术有机集成和融合, 实现了高强度材料大型复杂零件的强力旋压, 很好地解决了大型火箭封头及筒体、大型阴极辊等超大型复杂零件的旋压加工难题。在大推力高精度伺服液压旋轮座技术及旋压机智能技术方面做了有益的研究和探索, 为超重型强力旋压机及旋压工艺的进一步发展打下了一定的基础。□

(上接第58页)

CKX40精密数控车床是由金火科技自主研发生产, 自2016年底推向市场以来, 经过不断的市场反馈与研发改进, CKX40精密数控车床已在如五金、水暖等民用业市场及工业装备、汽车、轴承、军工等国家重点支持行业得到了较好的应用和发展。同时, 该产品的研发与应用也给金火公司数控车床系列化开发奠定了坚实的基础。

作为最为典型的一家专业生产液压件的用户单位, 江苏嘉亦特目前已经购买了40多台CKX40精密数控车床。在使用过程中, 该机床不

仅可以高效地完成车削工序加工, 而且在通过选配专用的车方动力头模块以后, 还可以一次高效加工出多面体, 这样不光是省掉了一台加工中心, 重要的是其效率是原来的3倍以上, 这种车方加工实际上是应用了内摆线原理, 简单地说就是通过安装在车方刀盘上的刀具和连接于主轴上的工件之间按照一定的旋向, 以一定的转速比旋转产生复合运动, 最终在工件上形成了一个封闭的内摆线轨迹, 而在接近对称中心处的轨迹近似于一个平面, 这样便实现了平面的加工。



CKX40精密数控车床在该公司的持续应用, 不但提升了该企业的经济效益, 同时产品加工质量也有了明显的提高, 产品订单需求不断。□

2021年一季度机床工具行业经济运行情况分析

中国机床工具工业协会

2020年我国率先有效控制疫情，下半年以来经济迅速恢复，全年国内生产总值同比增长2.3%。在此基础上，2021年中国经济继续强劲增长，一季度国内生产总值同比增长18.3%，比2019年一季度增长10.3%。

国内经济的增长，拉动了机床工具市场需求的恢复与增长。2021年1~3月，机床工具行业延续2020年下半年以来恢复性增长态势，与上年同期和2019年同期对比，各项主要经济指标均实现大幅增长，质量效益明显改善。

放眼全年，机床工具行业将有可能扭转近十年以来的下行趋势，实现5%以上的增长。

一、行业运行基本情况

根据中国机床工具工业协会重点联系企业统计数据、企业调研情况和有关分会提供的资料，对机床工具行业2021年一季度运行情况概要分析如下。

(1) 营业收入持续大幅提升，各分行业普遍增长

2021年1~3月，重点联系企业

营业收入同比增长73.1%。从分行业看，数控装置和滚动功能部件的同比增速超过100%；金属切削机床、机床附件和磨料磨具的同比增速在70%以上；金属成形机床和机床电器的同比增速在50%左右；工量具的同比增速接近40%。与2019年同期比较，重点联系企业营业收入增幅超过30%，但是各分行业情况不同：金属成形机床有接近20%的降幅，工量具基本保持持平，其他分行业均有不同程度增长。

(2) 利润总额明显增长，各分行业全面盈利

2021年1~3月，重点联系企业利润总额为盈利6.6亿元，上年及2019年同期均处于亏损状态。从分行业看，各分行业均实现盈利。具体来看，金属切削机床、滚动功能部件、磨料磨具和数控装置由同期的亏损转为盈利；金属成形机床、机床电器、机床附件和工量具上年同期盈利，今年一季度实现利润总额同比均明显增长。

(3) 企业亏损面同比收窄但大于2019年

2021年3月，重点联系企业中亏损企业占比为28.6%，较上年同月收

窄12.0个百分点。与2019年同月相比较，重点联系企业亏损企业占比扩大2.1个百分点。

(4) 订单持续高速增长，增长幅度超预期

2021年1~3月，金属加工机床新增订单同比增长90.1%；在手订单同比增长28.1%。其中，金属切削机床新增订单同比增长111.5%，在手订单同比增长25.6%；金属成形机床新增订单同比增长53.7%，在手订单同比增长34.6%。与2019年同期比较，金属加工机床新增订单增长62.7%，其中金属切削机床新增订单增长74.6%，金属成形机床新增订单增长31.7%。在手订单增长趋势类似。

(5) 机床产量增长，成品库存略降

2021年1~3月，金属加工机床产量同比增长71.8%，产值同比增长70.8%。其中，金属切削机床产量同比增长71.6%，产值同比增长76.3%；金属成形机床产量同比增长72.8%，产值同比增长59.4%。与2019年同期比较，金属切削机床产量和产值约有10%的增长，金属成形机床产量和产值约有5%的增长。

2021年1~3月，重点联系企业

存货同比增长3.1%。其中,原材料库存同比增长7.5%,产成品库存同比下降3.5%。金属加工机床产成品存货同比增长0.7%。其中,金属切削机床同比增长0.2%,金属成形机床同比增长17.4%。

二、进出口情况

根据中国海关数据,2021年一季度机床工具进出口总体呈现明显增长的态势,进出口总额同比增长30.5%,与2019年一季度相比,增长9.5%。

2021年一季度机床工具进出口保持了自2019年6月以来的顺差态势。机床工具商品进口32.8亿美元,出口40.3亿美元,顺差为7.5亿美元。

进口方面,2021年一季度进口总体呈现恢复性增长的态势。进口额同比增长22.9%,与2019年一季度相比,下降3.3%。其中,金属加工机床进口额16.8亿美元,同比增长28.9%。其中,金属切削机床进口额13.7亿美元,同比增长27.7%;金属成形机床进口额3.1亿美元,同比增长34.2%。一季度,切削刀具进口额4.3亿美元,同比增长29.6%;磨料磨具进口额1.8亿美元,同比增长30.8%;机床功能部件进口额增幅最大,为4.7亿美元,同比增长63.7%。

从进口来源来看,2021年1~3月进口来源居前三位的分别是:日本10.9亿美元,同比增长50.9%;德国6.7亿美元,同比增长7.1%;中国台湾4.3亿美元,同比增长68.5%。

出口方面,2021年一季度总体呈现大幅增长的态势。出口额同比增长37.3%,与2019年一季度相比,增长22.8%。其中,金属加工机床出口额11.2亿美元,同比增长40.8%。其中,金属切削机床出口额7.7亿美元,同比增长43.0%;金属成形机床

出口额3.6亿美元,同比增长36.4%。一季度,切削刀具出口额8.3亿美元,同比增长49.6%;磨料磨具出口额8.2亿美元,同比增长56.5%。

从出口去向来看,2021年1~3月份,出口去向前三位的分别是:美国5.1亿美元,同比增长47.2%;越南3.1亿美元,同比增长57.1%;印度3.0亿美元,同比增长46.2%。

三、行业运行特点

(1) 整个行业运行情况全面好转
从协会重点联系企业统计数据、有关分会提供的分析材料,以及协会对部分企业的调研情况来看,2021年一季度各分行业的多数企业主要经济指标同比大幅度增长,与2019年同期比也有一定程度增长,订单饱满,加班情况普遍,生产压力很大。近十年来行业整体波动下行后,市场需求呈现复苏态势。

进口实现恢复性增长,进口额与2019年同期比仅小幅减少,出口不仅同比大幅增长,且比2019年同期增长2成多。

市场需求转旺的原因是多方面的,主要是国家为克服疫情影响实施的经济刺激和助企纾困政策显效,国外疫情反复使得大量订单涌入我国,同时进口需求得不到保障,疫情期间需求的延后释放,汽车制造业恢复增长,工程机械、农业机械等行业大幅增长的拉动,以及2020年同期基数低,等等。

(2) 金属切削机床增长趋势更为强劲

从上面数据可以看出,2021年1~3月金属切削机床分行业的营业收入、机床产量、新增订单、在手订单同比增长幅度显著。与2019年同期比较,也有一定程度增长。特别是在在手订单维持高位,新增订单持续快速

增长,且远高于营业收入的增速,为后期发展提供充足的内生动力。

金属成形机床分行业主要经济指标的同比增长幅度普遍低于金属切削机床。与2019年同期比较,金属成形机床新增订单增长31.7%,其他多项指标较疫情前的2019年同期水平还有一定差距,金属成形机床分行业的整体上处于恢复过程当中。但有一些行业重点企业已经呈现出强劲增长趋势。

(3) 创新日益成为企业发展的主要动力

协会调研中了解到,在市场需求普遍转旺的形势下,机床工具行业企业的运行情况仍有较大差别。在行业下行期间坚持不懈进行产品研发和结构调整、紧跟市场需求变化的企业,经营业绩更为突出。

近年来,在我国供给侧结构性改革和产业结构调整优化大背景下,市场需求发生了深刻变化。例如,新能源汽车、5G及半导体等新兴行业的快速发展,对机床工具产品提出了很多新的要求,总体上产品需求层次正在逐步提高。机床产业发展正呈现出由离散型制造技术向系统集成和智能制造技术转变、从批量化向定制化转变、从需求实现向需求创造转变、从投资型向投资兼顾消费型转变的新变化。应对需求变化和竞争压力,创新成为驱动行业和企业发展的迫切需求。

四、行业运行中的突出问题与政策建议

(1) 原材料价格上涨严重影响企业经营

很多企业反映,当前钢材、铜、铝等主要原材料,以及产业相关配套件价格持续上涨,导致企业成本大幅上涨。对锻压机械、重型机床、机床附件等分行业的影响尤为严重。

(下转第81页)

机床工具行业国产化思考

沈阳机床（集团）有限责任公司 陈洪军 徐吉存

装备强需制造强，制造强需机床强。我国要成为现代化强国，追根溯源，首先要成为高端装备制造业强国，而作为“工作母机”的高端机床产品就是重中之重。

制造业的强盛是一个国家实力的体现。从18世纪60年代英国爆发第一次工业革命以来，以英美为代表的工业发达国家均是从制造业起步来发展本国经济，获取全球竞争优势，进而引领全球经济发展。我国在前三次的工业革命中，几乎没有任何作为，导致了工业基础薄弱。近些年，随着半导体技术、IT技术的发展和变革，全球处于以互联网产业化、工业智能化、工业一体化为代表，以人工智能、清洁能源、无人控制技术、量子信息技术、虚拟现实以及生物技术为主的全新技术革命阶段，是人类科技发展最为迅猛的时代，也是我国能够实现“弯道超车”最关键、最好的时期。

近二十年，我国科技发展日新月异，但是在很多高端产业方面，比如电子信息和半导体产业等方面，严重受西方发达国家制约。我国在制造业产业链条中，不少核心领域乏全球供应链主导权，高技术制造企业面临供

应链重大安全风险。所以，实现高端装备制造业自主可控，实现机床工具行业中的高端产品国产化，已经到了必须和必要的时期。

一、全球工业产业发展和现状

1. 制造业的发展

18世纪60年代，第一次工业革命造就了强大的大英帝国。之后的200多年间，随着经济全球化的发展，制造业在世界更多的地区得到了快速发展，大大提升了各国的经济水平。2000年之后，中国以体系实力成为全球制造业的最大承接者和受益者，成为了新的世界工厂，经济得到快速发展。中国已经连续多年，成为全球机床消费第一大国。

2. 机床市场变化

21世纪初，全球机床消费呈现高速增长趋势，在受到2008年金融危机的冲击快速坠落之后，迅速反弹并再次高速增长，于2011年达到历史峰值1080.13亿美元，之后进入了持续近10年的下降通道，2019年全球机床消费820.58亿美元。

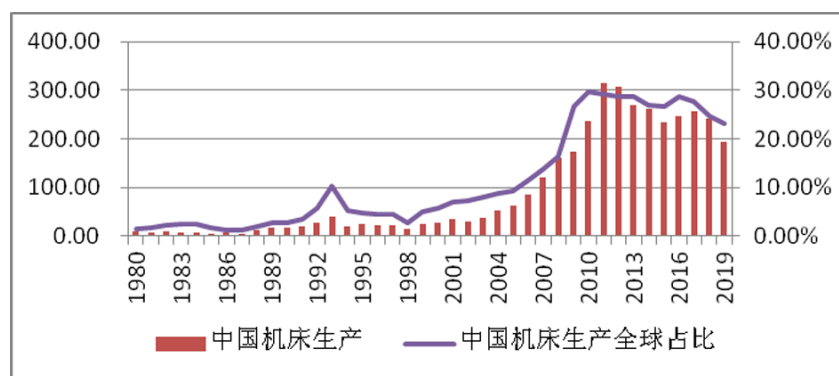


图1 2000~2019全球机床产出及消费（亿美元）

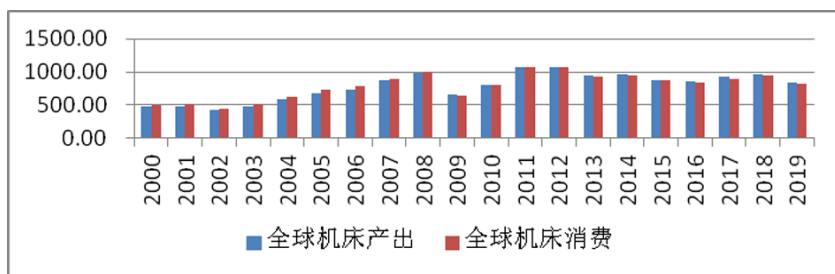


图2 中国机床生产及其全球占比 (亿美元)

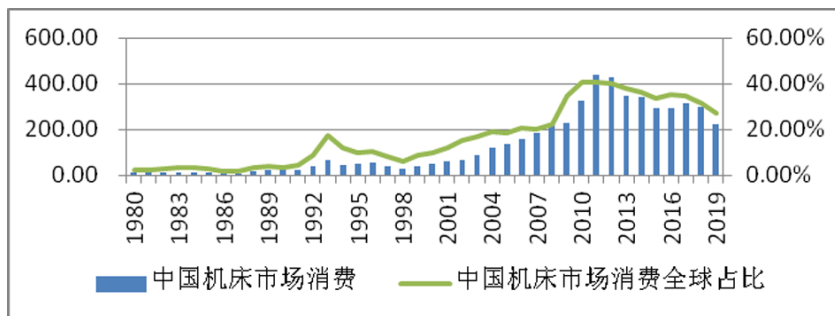


图3 中国机床市场消费及其全球占比 (亿美元)

二、制造业强国产业的情况

从历史来看,美、德、日等发达国家在近代崛起的核心乃是工业化的顺利完成。在此过程中,以市场化竞争为基本原则,同时根据不同的国情对产业发展实施了各种引导和干预措施。如利用国家政权力量为产业发展营造有利的外部环境;通过立法手段促进公平有序的市场竞争;以科学技术变革推动产业振兴和发展;通过多种途径保持充沛的人力资源;建立和完善金融机制以为产业发展提供融资渠道等。随着我国机床行业的蓬勃发展,在产业政策方面国家也给予了一定的倾斜和支持,并取得了阶段性成果。

1.美国机床产业

美国是数控机床的发明国,机床技术能够在世界上保持长期领先,政府在引导加强研发和不断创新等方面起到了至关重要的作用。

单从美国奥巴马政府来看,为“再工业化”就连续发布了多条法案规划,其中有2009年的《2009年美国复苏和再投资法案》、2010年的《美国制造业促进法案》、2011年的《先进制造伙伴关系计划》、2012年的《国家先进制造战略规划》、2013年的《美国制造业创新网络(NNMI)规划》、2014年的《振兴美国制造与创新法案2014》、2018年的《先进制造美国领导力战略》。可以看出美国对于制造业的支持是长期且不遗余力的。

正因为美国长期的大力支持,并拥有雄厚的产业基础,才有了众多的知名机床厂,其中包括:MAG(马格)、Haas(哈斯)、Gleason(格里森)、Hardinge(哈挺)、Hurco(赫克)等。这些公司都拥有各自鲜明的特点,比如:马格可以为用户提供的完善的机加工解决方案,主要服务于耐用品行业,

广泛服务于航空航天、汽车、重型机械、油田、轨道交通、太阳能、风机生产及通用加工等领域;哈挺产品因其精准,尖端,高效率的品质,被广泛应用于军工,航空航天,医疗,光学,通讯,汽车,电子等高精尖科技的领域。

2.德国机床产业

德国是老牌工业强国,相对英法,德国属于“追赶型”。德国工业崛起,普法战争是一个重要的外部因素,政府层面的一些政策措施,是内因,对其工业化起到了明显的推动作用。其中,三项主要的产业政策包括:①德意志关税同盟,统一了内部市场,为工业化起步奠定坚实基础。②国家“帝国铁路局”建立,统一大力发展以铁路建设为先导的交通运输事业。③政府扶植,建立科研机构,着力培养科学技术人才,积极赞助科技创新活动。

因为欧洲的市场环境和人文环境,其重视理论研究与实际应用的结合,追求品质、追求精益求精的精神,造就了德国众多的国际知名的专精特新机床企业,包括:吉特迈Gildemeister、通快TRUMPF、舒勒Schuler、埃马克Emag、因代克斯Index、巨浪Chiron、格劳博Grob、哈默Hermle、瓦德里希科堡WALDRICH COBURG、奥美特ALZMETALL等。这些企业特点鲜明,比如:埃马克是世界著名的倒立式机床制造商;格劳博擅长发动机零部件的整线“交钥匙”工程,是一个覆盖不同工艺、不同技术、不同资源及各种文化的全球化系统集成供货商;哈默是中小型五轴精密加工领域专家。

3.瑞士机床产业

瑞士跟随德国工业一同崛起,因为瑞士是个自然资源并不丰富的国

家，因此，该国很早就选择了走发展高附加值加工制造业的富国之路，其专有技术与知识创新之多，是其在国际市场竞争中立于不败之地的法宝，尤其是精密机床。目前，即使是美、德、日等一流机床生产国家，仍长期不断进口瑞士各种精密机床。

瑞士国际知名企业有：斯达拉格Starrag、GF加工方案集团、威力铭-马科黛尔Willemin-Macodel、利吉特Liechti、米克朗Micron等。相比其他国家，瑞士众多机床厂更加的特色鲜明，比如：斯达拉格集团是制造高精度机床的全球技术领导者，其在“三航两机”生产加工领域具有最为独特的优势；威力铭-马科黛尔主打产品包括精密五轴加工中心、车铣复合加工中心和并联机床；利吉特专注生产五轴联动叶片加工中心，针对制造航空燃气发动机叶片和发电用燃气轮机叶片的生产加工。

4. 日本机床产业

论初始的资源和技术条件，日本比美国和德国差很多，但是日本是继美国、德国之后，在世界上建立起的第三个机床工业、制造业，成为工业化强国的国家。日本从1889年开始生产机床之后，政府大力扶植机床工业，在方针政策上鲜明地把机床工业作为制造业、工业以至整个国民经济发展的重点，先后提出了科技立国、贸易立国。以机床工业为基础，大力发展了钢铁、汽车、造船、电子和核电工业等。1938年4月，日本政府发布了“机床制造事业法”，把机床工业纳入政府政策的范围内，并进行大力扶植。在资金、税收上实行了优惠，并给予必要的财政补助。1956年制订的“机振法”，日本政府加强了对机床工业的领导和组织，将其作为机械工业发展中的重点，其连续制订发布的“加振法”、“机电法”、“机信法”三大法令，对加速机床工

业的发展、提高制造业水平和加强机床在国际间的竞争实力，起到了关键的决定性作用。

从1958年起日本政府明确规定，以后每隔5年对全国机床拥有量进行调查和分析，以机床的役龄进行分档，寻找与国外同行的差距，并及时了解国内外市场发展的需求，从而优化了各类机床的构成比，对提高整个制造业和工业生产能力具有极其重要的意义。

日本因其缺乏资源的地理特性，造就了追求细节的特点，这点也在机床行业中得到充分体现。日本知名的机床厂商包括：马扎克 MAZAK、大隈 okuma、森精机moriseiki、牧野makino等。其中，山崎马扎克产品素以高速度、高精度而在行业内著称，产品遍及机械工业的各个行业。大隈世界第一大龙门加工中心生产商，是全球机床界中唯一的“全能型制造商”，几十年来一直坚持从核心部件（驱动器、编码器、马达、主轴等）到数控操作系统到终端，全部由自行设计开发完成，真正实现了软硬兼备。

概括的说，美国是先进的代表，德国是品质的代表，瑞士是极致的代表，日本是细节的代表。

三、我国机床行业情况

1. 总体情况

经过数十年努力，我国机床产业随着国家经济发展，无论在规模上，还是在产品质量上都已经取得了较大进步。数控机床的设计和制造技术也有较大提高，主要表现在：培训一批设计、制造、使用和维护的人才；通过合作生产先进数控机床，使设计、制造、使用水平大大提高，缩小了与世界先进技术的差距；通过利用国外先进数控系统、功能部件、元器件，

开始自行设计及制造高速、精密、高性能、五轴联动的数控机床。同时民营资本的进入，也相当程度活跃了机床行业的发展。

在军工、能源等重要领域的应用方面，经多方努力，在国产数控机床长效机制的平台上，供需双方通过合作取得了很大成效。机床行业发展为军工、能源等领域提供了越来越多的先进制造装备，部分产品开始进入关键制造工艺环节，为军工、能源等领域的技术进步提供了自主可控的重要技术支撑。重点领域用户通过应用国产数控机床装备，加深了对我国机床工具行业进步的了解，增强了应用国产数控机床装备的信心。

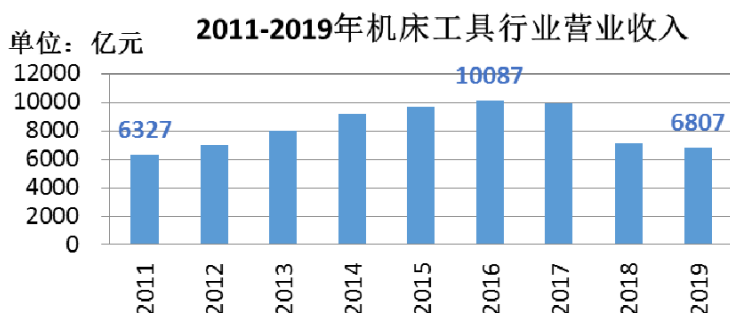
但随着国家重点领域的发展，我国数控机床市场的供需矛盾愈加突显，主要体现在低档数控机床的产能过剩和高档数控机床的供应不足而导致供给侧结构性失衡。一方面由于低档数控机床行业门槛低，进入企业多，且近几年低档数控机床市场有效需求不足，该领域已经出现产能过剩的现象，导致产品同质化严重，竞争无序，企业生存艰难；另一方面，随着国民经济的发展以及产业结构的升级，高档数控机床的应用越加普及，产品需求越来越大，供给却难以满足需求，高端领域的市场基本上被国外知名企业的产品占领。可以说我国机床工具行业，目前基本现状是处于高端失守、中端争夺、低端内战。

国外对高速、高精加工技术已进行了多年研究，对加工机理、机床结构、机床刚性和精度的基础理论和共性技术都有了系统的研究，开发了各种系列机床产品并成熟应用，我国数控机床基础研究明显不足，国内仅开发出新产品样机，虽有个别产品通过了生产验证，但尚未工程化。经过几十年的发展历程，国内企业解决了产品的从无到有，经济规模实现了从小

到大。自数控机床专项实施以来，行业技术进步明显，一批样机成功研制，国产数控机床在航空大型结构件、汽车发动机、透平机叶片等领域应用也取得重大进展，但从产业链上看，数控系统、功能部件等配套产品滞后，为用户提供成套、成线服务的能力弱，多数企业仍以单机服务于国内普通用户，中高档产品没有替代进口，高端产品仍难以支撑国家重点行业发展，更没有批量进入重点核心制造领域。

2. 国内市场情况

国家提出“逐步形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局”。首先，扩内需、稳运行，完善国内大循环体系。其次，促开放、优环境，促进双循环良性互动。最后，促创新、赋动能，构建立体化产业链体系。中国制造业拥有完整的产业链，在机床工具领域是全球最大的消费国，所以国内市场为重中之重。



机床行业是制造业的基础性行业，也是推动国民经济发展的支柱行业。“中国制造2025”将高档数控机床和机器人行业列为中国制造业重点发展的战略必争十大领域之一。明确目标到2025年，高档数控机床与基础制造装备国内市场占有率超过80%，其中用于汽车行业的机床装备平均无故障时间达到2000小时，精度保持性达到5年；数控系统标准型、智能型国内市场占有率分别达到80%、30%；主轴、丝杠、导轨等中高档功能部件国内市场占有率达到80%。未来，随着国防、航空、高铁、汽车和模具等行业需求量的持续增长，在经济的发展、国家政策大力支持、上下游产业振兴以及进口替代需求等背景下，数控机床工具行业必因旺盛需求而保持高速增长，高档数控机床将迎来更大的市场空间。机床工具行业作为国家基础性和战略性产业，和国家经济建设、国防安全关系紧密，必将迎来发展的良好契机。

3. 面临的挑战

2000年之后，中国开始承接全球制造业转移，中国机床消费呈现出爆发式增长，年增长率20%~40%，吸引了大量的外资、民间资本蜂拥进入机床工具行业。机床工具行业企业数量急剧增加。中国机床工具行业快速做大，产能快速提高，以满足国民经济各行业的需求。

巨大的中国机床工具消费市场成就了中国机床工具行业的规模增长。为满足快速增长的市场需求，部分中国机床工具企业一味追求规模扩张并放松了严格的质量管控要求，未能根据市场需求变化进行及时的产品结构调整，企业经营和发展遇到了困境。当时庞大的中低端市场需求足以支撑起中国机床工具行

业继续扩大规模，面对高端市场需求，由于对工艺不清楚、研究不够不深入且研发投入不够，且部分特定用户对国外机床的使用习惯和依赖并因各种原因对国产机床产生的不信任，从一定程度上讲，这部分高端需求存在市场机制失灵的环节，这使得行业企业对高端机床的研发缺乏足够的重视和热情，或心有余而力不足，几乎是把高端市场拱手相让给进口机床，导致这些年机床工具进口高速增长。必须承认，我们的产业发展状况和水平与世界机床工具制造强国有一定差距，面向高端产品领域，面对“卡脖子”的产品和技术，在解决自主可控、安全高效，实现高质量发展的目标上，用户和行业企业应紧密合作，共同寻求突破。

机床工具行业是为装备制造业提供工作母机的基础性行业，必将承受全方位的竞争压力，面临着前所未有的挑战。

4. 产业政策

可以看出，工业发达国家制造业的发展离不开国家的产业政策倾斜和长久支持，而政策支持引导更有助于发展出各自的特点。虽然我国长期以来，高度重视发展机床工具产业，为有效提高机床技术能级及产业竞争力，曾实施过为期十年的“精密机床战役”和为期八年的“高档数控机床与基础制造装备”国家科技重大专项（04专项），并取得丰硕成果，但就总体而言，产业政策方面仍然有所短缺，政府引导不够，可持续性不足，产业化支持力度不够。

5. 取得的成绩

中国机床工具行业在这些年的高速发展过程中，取得了巨大的进步，已基本能满足我国发电设备、船舶制造业所需；航空航天领域所需的制造装备也有了突破性进展；汽车工业四

大工艺中,国产冲压线和涂装线已迈入世界先进之列,焊装、总装线和发动机缸体缸盖加工线的国产化也在快速进步中。

另外,近年来借助数控机床专项平台,实现了国产数控机床“敢用、能用、好用”及部分零部件制造“国产化替代”的目标,其大部分设备应用效果较好。

6. 发展重点

近年来国内机床行业的市场需求逐渐由中低端转向中高端机床,同时因贸易摩擦而导致“卡脖子”问题,高端制造装备必须突破,实现自主可控。

基础理论研究、共性技术研究等方面,要系统并深入研究涉及材料性能及应用、机床结构、震动控制、温度控制、噪声控制、刀具应用、数控系统应用、动态控制等众多领域,以此为根基,全面提高机床整机性能,提高机床整体的可靠性和精度保持性。另外,五轴控制技术,以及主轴系统、进给系统、数控系统、电气控制方面的功能部件研究需要从理论上支撑,需要关键技术的实质性突破。

功能部件方面,首先需要突破:高速主轴系统;高速进给系统;超高压冷却系统;高速动力铣削主轴——B轴。

机床主机方面,深入研究模块化和标准化,解决定制化生产和批量化生产这对矛盾,实现供需平衡;加大力度研发五轴及以上的复合加工机床;研发高精、高速类产品;加强主机生产装配工艺研究,提升整机性能;加强用户工艺研究,提高用户解决方案能力。

总之,只有坚持创新,产业链同时进步,才能在高端领域实现自主可控。

六、国产化思考及建议

在市场经济全球化、贸易多元化的今天,装备制造业完全自主化是不符合市场规律的,但是在高端领域,产业链实现可控是必须的。另一方面,我国在机床工具不少核心领域缺乏全球供应链主导权,而中美贸易摩擦也严重冲击着全球供应链体系,我国高端装备制造业也面临重大安全风险,所以高端领域的可控产业链意义就更加重大。

美国、德国、日本等工业发达机床先进的国家,在发展之初以及发展过程中,都有着政府的干预,长期的政策支持和引导,各种类型的不断的资金补偿。同时,以政府为纽带,形成上中下游全产业链、科研院所等形式的联盟,全方位的深入对接合作,共同推动整个产业链进步。其发展过程值得借鉴。

1. 加强顶层设计, 综合施策

作为制造业工作母机的机床,其发展应属于国家的战略层面,应实行“计划经济”与“市场经济”相结合的发展思路,总体进行供需对接。例如重大专项高端产品的应用推广,已经存在市场局部失灵,应该从国家高度,启动国家布局,在推广上进行干预。对于重大专项以及自主研发的高档数控机床新产品,国家按比例进行经济补贴,对承担数控机床专项项目企业实施降税免税优惠政策的制定与试点,同时对于研发的劳务费和奖励费启用专项资金进行单独补贴,不给企业增加额外负担,同时激励企业研发的积极性。

2. 完善创新体系, 提升基础

国家按产品或技术明确依托对象,围绕特定的大学和企业长远布局、资源倾斜、持续推动,避免重复研究、多头研究,集中资源和人才,

以长效机制来突破当前短期项目为组带的产学研合作模式。

3. 培育市场主体, 增强能力

经过前期的国家专项支持和市场竞争的洗礼,为了更好地促进优势企业健康发展,尽快实现关键领域机床技术和产品的自主可控,应该聚焦承担项目主体规则的设定,使专项支持和市场规则有机结合起来,促进新产品形成产业化。

4. 建立工艺验证基地, 迭代升级

搭建航空航天装备、汽车、船舶、电子信息设备等重点产业发展需求互动的平台,鼓励多元化投入,通过在不同领域的拓展应用与迭代提升,促进国产装备与功能部件的可靠性提升。此类项目的实施可进一步推进主机厂与用户单位的有机结合,有利于实现从“敢用”到“愿用”、从“能用”到“好用”的良性循环,形成长期的战略同盟,不断提高国产高档装备在关键制造领域的推广应用与成熟度。

5. 落实人才支持机制, 增强后劲

人才是产业发展的基础,技术进步最关键的是靠人才的传承,人才流动能够繁荣市场,活跃市场,但是人才流失就是整个制造业以及机床工具行业的损失,所以,落实的人才支持机制和政策,是行业目前非常急需的。除了企业对人才注重,政府也出台政策,鼓励企业对人才实行特殊的职称、岗位、工种、司龄补贴,尤其是职称补贴,以此鼓励工匠精神。政府应开启专项资金按比例进行单独补贴。总之,让人才能够安心从事本职工作,做好本职工作,如此,技术不断层,我们的产品才能健康持续进步。□

第十七届中国国际机床展览会 特种加工机床评述

CIMT 2021特种加工机床评述专家组

【摘要】通过对第十七届中国国际机床展览会（CIMT 2021）参展特种加工机床的现场观摩、资料收集以及参与参展厂商的交流座谈，对国内外电加工机床、激光加工机床、增材制造机床的技术特点及发展趋势进行了比较深入和系统的评述，并对特种加工机床的应用与市场发展进行了分析。

由中国机床工具工业协会主办的第十七届中国国际机床展览会（CIMT 2021）于2021年4月12~17日在北京新国际博览中心举行。本届展会展出总面积达13.5万平方米，来自世界27个国家和地区的1500多家机床工具制造商参展，汇集了全球机床工具制造业的新品、精品和名品，是国内举办的规模最大的机床专业展览会。据不完全统计，参加本届展会的国内外特种加工机床厂商共60余家，展出特种加工机床120多台，展品主要包括电加工机床、激光加工机床、增材制造机床等。

CIMT 2021期间，中国机床工具工业协会特种加工机床分会和中国机械工程学会特种加工分会组成特种加工机床评述专家组，利用本届展会特种加工机床集中展示的机会，通过现场观摩、资料收集及与参展厂商交流座谈，并结合特种加工技术与装备的最新发展动态和市场需求，撰写形成了本评述报告。

1 电加工机床

1.1 数控电火花成形机床

本届展会共有14家厂商（其中国外5家、国内9家）展出15台数控电火花成形机床。从展出的机床来看，虽然在精度、加工工艺指标等方面没有重大突破，但各厂商充分认识到“机床是载体、应用工艺技术是核心”、“技术提升应围绕实际应用及为用户提供解决方案”，纷纷就降低生产制造成本、提高加工速度、满足客户需求等进行了研究和创新，推出了适应市场需要的新技术、新工艺、新方案和新服务，在完善现有产品、提升加工一致性和稳定性、深化市场细分应用等方面不乏亮点。

1.1.1 国外数控电火花成形机床

国外展出数控电火花成形机床的有瑞士GF加工方案、日本沙迪克公司、日本三菱电机公司、日本牧野机床有限公司和德国艾克索公司。

（1）融入智能制造元素，展出

的机床大多集成了一些智能技术。瑞士GF加工方案的rConnect模块可记录每一台机床的详细信息，通过移动设备监控机床工作状态以及发现潜在的问题，还可以与服务专家进行远程协助。日本沙迪克公司的LN Pro AI技术结合加工计划、工件材质、电极材质、加工深度、表面粗糙度、加工形状等要素，基于Q3ute-AI计算可自动生成最佳加工条件和NC程序。日本牧野公司采用可直接触摸操作的Hyper-i现代化控制系统，通过智能优化人机操作界面，使得所有水平的操作者都可以加工出复杂的零件。日本三菱电机公司的AI技术Maisart可以自动识别加工深度，并以加工安定控制监视异常放电状态，实现了表面质量均匀的稳定加工。

（2）脉冲电源控制技术持续更新。日本沙迪克公司展出的AL40G数控电火花成形机床（见图1）采用最新的“Smart Pulse”放电控制装置，提高了通信速度和处理速度，

TMM4、BSN4电路等能够整体提高放电质量和蚀除速度。瑞士GF加工方案的FORM E600数控电火花成形机床（见图2），配备智能高速脉冲电源(ISPG)，扩大了石墨电极适用范围，提高了生产力。德国艾克索公司的Exeron EDM313数控电火花成形机床（见图3）配备了最新第三代脉冲电源Exogen，最佳加工表面粗糙度 $Ra < 0.06 \mu m$ 。日本三菱电机公司的SG8数控电火花成形机床（见图4）配有高品位毛面精加工NP2回路，采用窄间隙技术，通过NP2电路实现加工表面粗糙度 $Rz0.48 \mu m$ ，使用复合电极加工可使底部清角达 $R0.004mm$ 。

（3）加工效率进一步提升。瑞士GF加工方案利用System 3R零件装夹系统、可编程工作液高度等功能，缩短非生产时间，简化人工操作；通过自动化应用，增加无人值守生产时间，实现了机床自动操作和自动生产。日本沙迪克公司的自动化系统具有完全自动控制的三面自动升降式加工液槽，与自动电极交换装置及机器人工件/电极交换系统具有良好的兼容性，可以实现高精度和高速加工的连续自动运行，提高了生产效率。日本三菱电机公司的SS JUMP抬刀功能可根据加工深度和加工状态进行抬刀控制，提高排屑效率，加工最优化控制IDPM3功能，明显降低了电极的角部和棱边损耗，实现一个电极完成型腔的全部中精加工。日本牧野公司EDAF23数控电火花成形机床（见图5）的HyperCut技术基于新型精密电源功能，使得设备在相同电极数量的情况下，粗加工效率提高30%；超火花IV技术提供了一种在超出加工能量间隙的情况下更具适应能力的跳动控制功能，该技术在筋肋、深窄槽类结构加工中尤为有效。

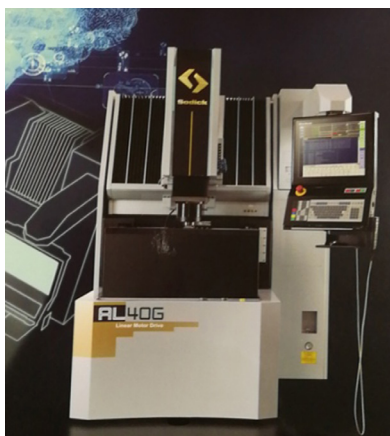


图1 AL40G数控电火花成形机床



图3 Exeron EDM313数控电火花成形机床



图2 FORM E600数控电火花成形机床



图4 SG8数控电火花成形机床



图5 EDAF2数控电火花成形机床

（4）更加注重节能环保技术。随着能源价格的不断攀升，控制生产成本和节省能源已成为企业的共识。瑞士GF加工方案的损耗分布技术可节省25%的电极成本，该技术在多型腔加工中可平均分配电极损耗，提高尺寸和形状均匀性。日本三菱电机公司通过IDPM3实现低损耗加工，电极长度损耗与传统相比削减50%以上。

（5）积极融入中国市场。随着近年来中国对航空航天等领域的高度重视，国外从事电火花加工技术研究的主要公司积极主动对接客户，有针对性

地提供相关设备以及工艺数据库等方案。瑞士GF加工方案成立了涡轮事业部，从前端到后端进行全方位服务，展出的FORM E600机床搭载了六轴数控、在线检测与传输数据、HMI人机交互系统等，可为客户提供一些关键零件的完整解决方案，图6为展示的部分零件。



图6

1.1.2 国内数控电火花成形机床

国内数控电火花成形机床的参展单位有北京市电加工研究所/北京迪蒙数控技术有限责任公司、苏州三光科技股份有限公司、北京迪蒙斯巴克科技股份有限公司、北京机床所精密机电有限公司、北京迪蒙卡特机床有限公司、苏州汉奇数控设备有限公司、上海汉霸数控机电有限公司、广东商鼎智能设备有限公司。与上届展会相比，国内电火花成形机床的整体技术水平在稳步提升，外观设计沉稳大气，并向自动化、智能化、绿色环保化方向发展。但与国外相比仍有差距，主要是在基础技术方面，如机械结构还没有引进恒温设计概念等。

(1) 提升机床基础件的稳定性。展出的大多数机床床身均采用了规范的处理工序，使其具有足够的静态、动态刚度，如北京电加工所/迪蒙数控公司的ADV600电火花成形机床（见图7）床身铸件3年以上时效处理；北京迪蒙斯巴克公司的DR400S数控电火花成形机床（见图8）铸件经过自然时效和热处理。



图7 ADV600数控电火花成形机床



图8 DR400S数控电火花成形机床

(2) 自主开发相关操作系统。在软件方面，多数厂家已采用基于Windows XP操作系统的人机界面，ADV600机床的数控系统配置了最新的Windows Mark Power软件，能实现五轴五联动精密加工，并预留六轴六联动接口，脉冲电源增加了“放电能量精确控制电路”，使放电加工表面均匀性大幅提升，搭载智能专家系统，加工效率更高，加工方法更灵活。广东商鼎公司自主研发的数控系统，能确保精准的重定位精度，独到的脉冲电源配合STANDY系统，减少了电极损耗。

(3) 面向特殊材料开发相应技术。各公司针对不同的加工材料以及不同加工形状均做了研究，具有更完善的加工工艺数据库，能进行不同电极-工件材料对的组合加工，具有镜面加工、硬质合金加工、高速石墨加工、小

电流加工、专用防拉弧积碳、超高精加工等专用放电回路，实现了聚晶金刚石(PCD)、硬质合金、钛合金、钛铝合金、高温合金、碳纤维复合材料、超高温陶瓷基复合材料、炭/炭复合材料等材料的高效、高表面质量加工，形成了“钛合金”、“高温合金”、“硬质合金”专用模块。

(4) 融入智能元素。ADV600机床具有自动升降油槽、丰富的数据接口，可兼容机械手、电极工具库，具有放电状态监控、错误自诊断提醒功能等，借助机械手、电极工具库已为用户组成三台机床的自动化生产线。上海汉霸公司借助“基准球”、“工件”、“电极”、“加工设定”之间的数据关系，系统自动生成加工任务（加工位置+放电参数+ATC），简化了操作步骤，大幅降低人工干预和经验值依赖，最大程度提高加工准备效率，实现全程无坐标系操作的引导式智能操作系统。

(5) 减少电极损耗、提升加工效率。工具电极损耗直接影响加工精度、加工速度、加工质量，参展的国内厂家基本都达到最小电极损耗 $\leq 0.1\%$ ，钛合金加工效率 $\geq 829\text{mm}^3/\text{min}$ ，模具钢加工产率 $\geq 2000\text{mm}^3/\text{min}$ 。

(6) 自动化、信息化及安全可靠性有了实质性进步。北京迪蒙卡特公司的CTM350C机床、北京迪蒙斯巴克公司的DR400S机床、广东商鼎公司的CNC400机床、上海汉霸公司的HGS45机床等都带电极工具库，可方便地对接自动化及无人加工的需要。随着信息技术的迅速发展，客户更加渴望所使用的机床和技术服务运用网络通信功能实现网线连接、远程监视、远程诊断、远程编程与传输、远程工艺技术服务等，这也是未来提升产品和技术服务水平的重点之一。

1.2 数控电火花线切割机床

本届展会共有18家国内外厂商展示32台数控电火花线切割机床，其中单向走丝线切割机床6台，往复走丝线切割机床26台（含超硬刀具电火花线切割机床1台）。

1.2.1 单向走丝电火花线切割机床

日本沙迪克公司、日本三菱电机公司、日本牧野机床有限公司、日本发那科公司及北京安德建奇数字设备股份有限公司等国内外厂商展示了6台单向走丝电火花线切割机床。

(1) 高端机床国内市场需求量稳中有升。国外高端品牌电火花线切割机床生产厂商近年来在中国市场的销售业务都有着很好的表现，即便2020年受到新冠疫情的影响，但在中国市场销售量依然达到往年正常水平。2021年初开始中国市场高端单向走丝电火花线切割机床订货销售量上涨幅度较大，主要原因是由于中国疫情控制得好，成为当前世界范围内少数能够正常提供产品的地区，一些国外加

工制造订单和采购订单集中移向中国，国内加工制造企业需要增加新的机床设备来快速满足市场需求变化。另外，近年来国内航空、航天、军工等行业快速发展，业务量增速较大，对高端数控机床的采购量持续增长。虽然高端机床的需求量未来几年还会呈现稳中有升的状态，但中低端单向走丝电火花线切割机床近年来却受到多次切割往复走丝电火花线切割机床较大的冲击，这种影响在未来一段时间还会持续下去。

(2) 主要加工指标没有明显变化。最大切割效率 $400\text{mm}^2/\text{min}$ 、最佳表面粗糙度 $Ra0.006\mu\text{m}$ 、加工轮廓精度 $\pm 1\mu\text{m}$ 基本代表了目前世界最先进的单向走丝电火花线切割机床主要加工性能指标，这些指标在近几年没有得到进一步提高，也说明单向走丝电火花线切割机床在发展过程中遇到了技术瓶颈。

(3) 技术及工艺细节不断得到完善与提升。日本沙迪克公司新推出一款ALN400QS单向走丝线切割机床（见图9），在过去机型基础上增加了“i Groove Edition”新技术，该技术使加工区域的电极丝按照一定速度和方向旋转，实现放电加工区域从上到下所使用的电极丝都是未被放电腐蚀的新丝，可减少加工表面斑点和条纹的出现，提高加工零件的表面质量和精度。日本三菱电机公司、日本发那科公司自动穿丝技术不断完善，支持Z轴全行程范围内在空气或水中的自动穿丝，并支持200mm厚度以内工件断丝点处的自动穿丝，实现卷曲率10%以下电极丝的高穿丝成功率。日本沙迪克公司的“无凹凸控制Ⅱ”、日本牧野公司的“GS-Cut（凸面精灵）”、日本三菱电机公司的“Digital-AEⅡ”形状控制电源等技术，可在一次切割200~300mm厚度零件时将单边直

线度控制在 $5\mu\text{m}$ 以内。日本沙迪克公司“TM控制Ⅱ”与“Digital-PIKA-W Plus”超高频数字脉冲、日本牧野公司HEAT、日本三菱电机公司Digital-FS电源、瑞士GF加工方案IPG智能数字脉冲电源等技术的应用，使得模具钢多次切割后的最佳表面粗糙度可达到 $Ra0.1\mu\text{m}$ 。北京安德建奇公司推出新一代单向走丝电火花线切割机床AW400机型（见图10），具有一体式优美外观、整机科技感十足，机床运动坐标轴采用直线电机与高分辨率光栅尺的驱动控制方式，配置电烧丝结构的自动穿丝系统，可在Z轴全行程内自动穿丝，机床最大加工效率 $250\text{mm}^2/\text{min}$ 、最佳表面粗糙度 $Ra0.25\mu\text{m}$ 、加工轮廓精度 $\pm 2\mu\text{m}$ 。



图9 ALN400QS单向走丝线切割机床



图10 AW400单向走丝线切割机床

(4) 向客户提供更好的技术与服务体验。国内外厂家持续改进并提高机床加工性能，不断扩大机床应用范围，以满足新材料、新工艺等方面的新需求，并在自动化生产单元、自动化柔性生产线、一体化解决方案等方面为客户提供成熟的工艺及技术解决方案。日本沙迪克公司的LOT Miemmerce功能、日本牧野公司OPC UA/MTConnect功能都可提供单机、多机与车间生产管理系统MES连接，向MES系统提供机床运转数据，以提高机床运转效率。日本牧野公司U6机床的HyperConnect远程支持接口，双向远程连接，通过远程控制机床帮助客户检查修改加工程序、工艺参数、分析诊断机床故障等，增强客户对机床设备使用过程中有更快速的技术服务支持体验。

(5) 融入人工智能、深度学习等新技术。近年来AI人工智能、深度学习技术逐步在一些行业及产品上得到广泛应用。单向走丝线切割机床目前自动化程度已经比较高了，自动穿丝、自动升降液槽、工件高精度快速换装夹系统、工件自动检测找正系统、工艺数据专家库等自动化功能都得到应用，但让机床具备感知、理解、行动和学习等功能的能力还是很欠缺，用计算机去完成以往需要人的智力才能胜任的工作一定是未来机床行业发展的一个重要方向。

1.2.2 往复走丝电火花线切割机床

本届展会上苏州三光科技股份有限公司、北京安德建奇数字设备股份有限公司、苏州市宝玛数控设备有限公司、北京凝华科技有限公司、江苏冬庆数控机床有限公司、杭州华方数控机床有限公司、昆山瑞钧机械科技有限公司、苏州汉奇数控设备有限公司、江苏三星机械制造有限公司、泰州市江洲数控机床制造有限公司、江苏赛维斯数控科技有限公司、力同机械自动化（上海）有限公司、上海伊阳机械有限公司、上海特略精密数控机床有限公司等14家国内企业展出了具有多次切割功能的往复走丝电火花线切割机床（俗称“中走丝机床”），总体在产品的加工性能和外观质量上都有一定提高。

(1) 市场需求量仍在增加。参加本次展览会的主要中走丝机床制造厂家在

2020年都取得了不错的销售业绩，部分厂家近年来在东南亚、欧洲等国外市场的推广销售工作也取得较好成绩。这表明中走丝机床的加工性能、使用成本等比较适合目前国内外加工制造业的需求，市场需求量仍处于上升通道中。

(2) 加工性能指标持续提升。昆山瑞钧机械科技有限公司参展的FT400新型号中走丝机床(见图11)，最佳加工表面粗糙度 $Ra \leq 0.4 \mu m$ (模具钢5次切割)；上海特略精密数控机床有限公司展出的TG2000A机型最佳表面粗糙度 $Ra \leq 0.3 \mu m$ 、加工精度 $\pm 2.5 \mu m$ 。单从加工表面粗糙度这个重要加工指标看，近年来一直徘徊在 $Ra 0.6 \sim 0.8 \mu m$ ，目前有更多的厂家能达到 $Ra 0.4 \mu m$ 及以下，这是一个非常可喜的技术突破。中走丝机床大电流、大效率稳定加工一直是厂家的技术攻关方向之一，近年来也取得一定进展，从展会上看多个厂家的机床最大加工电流标称值达到10~12A，个别厂家甚至达到18A，最大加工效率达到 $600 mm^2/min$ 。随着谐振式脉冲电源、微能量脉冲电源等技术在走丝机床上不断稳定使用，最佳表面粗糙度、最大加工效率等性能指标还会进一步提升。

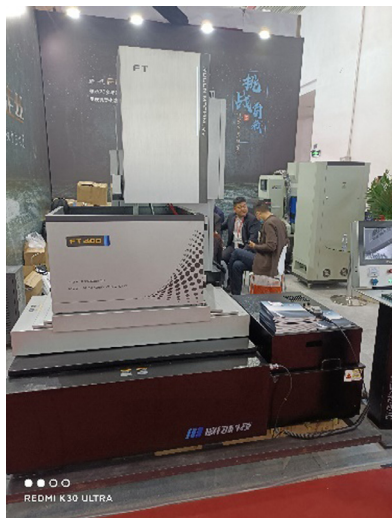


图11 FT400中走丝线切割机床

(3) 机床外观进步较大。本届展会展出的中走丝机床中，占地面积小、外观造型美观、操作方便的一体式结构机床有13台之多(含全封闭防护结构机床4台)。力同机械自动化(上海)有限公司参展的LTW32TB全封闭结构机床(见图12)，配置了油雾分离器，更加符合国家环保方面的要求。苏州三光科技股份有限公司展出的HB400L和HB400C二台配置不同的机床，具有统一风格的一体式外观造型，其中HB400L机床(见图13)使用了直线电机、无电解电源、五轴数控、新UV轴结构、自动升降三面开口式液槽防护门等先进技术。



图12 LTW32TB中走丝线切割机床



图13 HB400L中走丝线切割机床

(4) 机床数控功能、操作方便性进一步完善。参展的中走丝机床中有8台是X、Y、Z、U、V五轴数控机床，部分机床可选配第六数控轴，体现出中走丝机床数控功能进一步完善，也说明市场对五轴数控机床的需求量在不断增加。多家厂家的产品可以选配直线电机、光栅尺等高精度运动控制部件，有效提高运动坐标轴的定位精度和伺服进给灵敏度，中走丝机床也紧跟精密机床的技术发展方向在不断发展。

(5) 加工稳定性提高、工艺数据库不断完善。客户对中走丝机床评价中诟病比较多的是加工稳定性较差，比如连续加工多个相同零件的尺寸精度、表面质量相差较大。对此，近年来一些厂家做了很多技术改进工作。如杭州华方公司机床可做到 $110 mm^2/min$ 切割速度时，连续切割70 h，电极丝损耗 $\leq 0.01 mm$ ；大部分厂家也都能做到粗切和修切面积合计下，连续切割 $500000 mm^2$ ，电极丝损耗 $\leq 0.01 mm$ 。目前中走丝机床普遍采用防水导轮组件，有效提高了导轮轴承的使用寿命；使用PCD材质的导丝嘴，提高了导丝嘴耐磨性。重锤、弹簧机械式双向恒张力装置普遍在中走丝机床上得到使用，如苏州宝玛公司、江苏冬庆公司等使用带压力传感器的智能自动双向调节丝张力系统，减少了电极丝的抖动并提高了电极丝运行时在空间位置精度上的长期保持性。大尺寸过滤纸芯、多层过滤装置以及独立的过滤泵系统在中走丝机床上的使用，可更长时间保持加工液的干净程度并有效延长加工液的使用时间，对提高放电加工稳定性、切割零件精度和表面质量一致性有很大的作用。目前大部分中走丝机床可以比较轻松实现切割表面粗糙度在切1修2时达到 $Ra 0.8 \mu m$ ，连续加工多个对边20mm的正八方棱柱，保证零件精度 $\leq \pm 0.005 mm$ 的性能。对于模具钢、铜、铝等常用加工材料，中走丝机床厂家不断完善与优化工艺数据库，客户只需要简单输入

材料类型、工件厚度、电极丝直径、表面质量等，就可得到与加工结果相一致的加工工艺数据。同时，不断完善镍基合金、钛合金、超硬等材料的加工工艺数据库。

(6) 产品不断优化，更加关注细分市场的需求。近年来，在国家“科技创新驱动高质量发展”与“产业结构调整升级”等制造业长期发展战略背景下，中走丝机床厂家加大了在技术研发与创新的投入，不断优化产品结构种类，并结合自身特点与市场需求，开发一些具有专业技术特点并能满足细分市场需求的电火花小孔加工机床产品。杭州华方公司对高厚度零件加工有比较深入的研究，开发的适合2000mm高厚度零件切割的中走丝机床加工效率达到 $3000\text{mm}^2/\text{h}$ 。北京安德建奇数字设备股份有限公司、北京凝华科技有限公司利用中走丝线切割原理，开发出适合PCD超硬材料刀具加工的线切割机床，近年来在木地板、家具、门窗等行业所使用的超硬材料刀具加工上得到广泛应用。

1.3 电火花微小孔加工机床

本届展会共有5家企业展出了9台电火花微小孔加工机床。与上届展会相比，展商和展品数量基本相当，有些展品的型号、外观以及一些局部单元和细节有所变化，但整体上看，参展机床的主要技术性能、加工工艺水平等尚没有重大突破。

1.3.1 电火花小孔加工机床

本届展会上展出电火花小孔加工机床的有苏州电加工机床研究所有限公司、北京市电加工研究所、苏州中谷实业有限公司、苏州市宝玛数控设备有限公司、苏州亚马逊机床有限公司。

(1) 应用领域不断扩大，市场需求稳步上升。随着新材料的不断应用以及加工要求的逐渐提高，一般的金属切削机床难以加工硬质合金、镍

基合金和钛合金等特殊材料零件上的群小孔，激光加工方法也因其加工孔的深径比小或无法加工深孔而难以满足关键领域的需求。由此，电火花小孔加工方法成为了不二选择。近年来，五轴以上的多轴数控电火花小孔加工机床的功能和性能有了进一步提高，在航空航天等领域得到了广泛应用，单轴、三轴和五轴数控的电火花小孔机床在军工、IT、模具、机械制造、刀具等行业的应用也在不断扩大，需求逐年上升。苏州电加工研究所的SE-GK021六轴数控电火花高速小孔加工机床（见图14）、北京电加工所的HS600六轴精密数控电火花小孔加工机床（见图15）以及苏州中谷公司的ZGDC506数控电火花小孔加工机床（见图16），主要用于航空发动机涡轮叶片气膜孔的加工；苏州亚马逊公司的MS-DC435A四轴电火花小孔加工机床（见图17）主要用于刀具出水孔、玻纤模具线切割喷丝孔、喷油嘴喷孔的加工；苏州宝玛公司的BMD703-500CNC三轴数控电火花小孔机床（见图18）和苏州亚马逊的MS-DC430C三轴电火花小孔加工机床则是用于各种精密零配件细小孔群孔和模具线切割穿丝孔加工。这些针对不同领域、不同要求而推出的产品，能更好地满足不同用户的需求。



图14 SE-GK021六轴数控电火花小孔加工机床



图15 HS600六轴精密数控电火花小孔加工机床



图16 ZGDC506六轴电火花小孔加工机床



图17 MS-DC435A四轴数控电火花小孔加工机床



图18 BMD703-500CNC三轴数控电火花小孔加工机床

(2) 自动更换电极（ATC）技术。电火花加工小孔时由于存在电极损耗，在加工一定量的孔后，必须更换新的电极。如果在一个零件上要加工不同直径的孔，也必须更换外径与之相匹配的电极。因此，在加工批量群孔或不同直径的孔时，电极的更换比较频繁。为适应这种一人多机、连续加工的工作模式，一些制造商集成电极自动更换技术，在多轴小孔电火花机床上配置电极自动更换装置或机械手，实现了电极的在机更换，大大减轻了操作人员的劳动强度，提高整体效率。如苏州电加工所的SE-GK021在工作台的左侧安装了一台六自由度的机械手，配置了16个刀位的电极库和4种规格的导向器库，用于电极和导向器的更换。苏州中谷的ZGDC506机则配置了一个20位电极库、气动式自动

换电极机构以及4位自动换向导器装置,可以实现电极和导向器同时更换,北京电加工所的HS600机床也配备了一个16位电极库,实现了电极的自动更换。

(3) 自动穿透检测技术。自动穿透检测是航空发动机涡轮叶片气膜孔加工中应运而生的一项实用技术,以防止加工孔穿透后电极继续进给而与空腔另一侧产生放电蚀除。苏州电加工所的SE-GK021、北京电加工所的HS600、苏州中谷的ZGDC506以及苏州宝玛的BMD703-500CNC均搭载了这项技术。准确有效、可靠一致是该技术的关键所在,在实际应用中,各企业之间尚有差别,还大有提升空间。

(4) 局部功能和性能有所提升。虽然近年来在整体技术水平和加工工艺指标方面没有重大突破性变化,但在某些加工性能上有所提升。苏州电加工研究所的SE-GK021机床采用微精脉冲电源技术,其加工孔的表面重熔层厚度 $\leq 0.02\text{mm}$,表面粗糙度 $Ra \leq 1.6\mu\text{m}$,并配置了专利技术的随动型电极扶持器,能有效防止细电极进给时的弯曲;北京市电加工研究所的HS600机床配置特色精密微细电源,重熔层厚度 $\leq 0.02\text{mm}$,孔加工表面无裂纹,并配置并线接口,与其他设备组成自动化加工线,实现自动化及无人加工;苏州宝玛公司的BMD703-500CNC机床具有智能化数据库和“互联网+”功能,能根据加工要求自动调用工艺数据,实现远程实时监控,该机还配置扩展接口,加装A、B轴后即可形成五轴数控,用于空间位置分布的小孔加工;苏州亚马森公司的MS-DC435A机床也预留了扩展口,加装A轴后即可形成五轴数控,用于加工斜孔和环形工件上的小孔。

另外,较之以往多轴数控电火花

小孔加工机床的 $\phi 0.3 \sim \phi 3.0\text{mm}$ 电极直径范围,本届展出的机床基本都扩大到了 $\phi 0.2 \sim \phi 3.0\text{mm}$,苏州中谷公司的ZGDC506最小电极直径为 $\phi 0.15\text{mm}$,苏州亚马森公司的MS-DC435A更是达到了 $\phi 0.10\text{mm}$ 。

1.3.2 电火花微孔加工机床

电火花微孔加工机床主要用于 $\phi 0.05 \sim \phi 0.1\text{mm}$ 的孔加工,如汽车喷油嘴喷孔、化纤喷丝板喷孔、液氢火箭燃料喷注孔等。本届展会上苏州电加工机床研究所有限公司、苏州中谷实业有限公司分别展出了相关设备。

苏州电加工机床研究所有限公司的SE-WK018数控电火花精密微孔加工机床(见图19)是2020年推出新产品,主要用于汽车发动机高压共轨阀体喷片微孔、喷油嘴喷孔以及各类喷丝板、熔喷板精密喷孔的加工。机床采用最新工业设计,半封闭外形,新颖简洁;采用微细长圆电极或扁电极,级进式送丝方式,可加工 $\phi 0.07 \sim \phi 1.0\text{mm}$ 的精密圆孔或 0.06mm 的窄槽,最佳加工表面粗糙度 $Ra 0.4\mu\text{m}$,加工孔径精度(1mm板厚时)为 $\pm 0.002\text{mm}$,还可进行各类微小异型孔的铣削加工。配置其自主开发的倒锥装置,可加工出入口直径差为 0.02mm 的倒锥微孔(1mm厚)。

苏州中谷实业的ZGM501数控电火花微孔加工机(见图20),采用大理石龙门式结构,电极为硬质合金或钨丝,最小加工孔径 0.05mm ,加工孔的圆度 0.002mm ,还可加工微细槽、台阶孔、锥形孔。

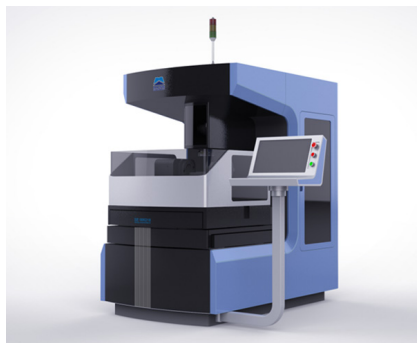


图19 SE-WK018数控电火花精密微孔加工机床



图20 ZGM501 数控电火花微孔机床

1.4 专用电加工机床

1.4.1 刀具加工机床

近年来,国内的超硬材料刀具发展较快,应用量很大,由此而带来了刀具高效加工及修正的问题。国内一些电加工企业瞄准了这一领域,在往复走丝电火花线切割机床、电火花成形机床基础上进行技术研究和新产品开发,逐渐推出了刀具的切割、磨削等专用电加工机床,并形成相关的加工工艺技术,这类细分产品正越来越受到用户的欢迎,市场前景看好。

北京安德建奇公司展出的AT40R-Pro精密数控切刀机(见图21)是专用于PCD金刚石刀具、硬质合金刀具切割加工的专用电加工机床。该机为满足木工刀具的加工要求而研发,五轴数控,三轴联动,可根据刀具的直径、前角、后角、侧后角、面角等参数,自动将刀具轮廓曲线转化为切割轨迹,能通过刀具实际的轮廓形状全面检测刀具的实际变形,计算刀面的曲面变形,继而进行曲面补偿,可有效降低形状误差。配备高性能防发黑电源,木工刀加工精度 $\leq 0.02\text{mm}$;金属刀加工精度 $< 0.01\text{mm}$ 。可切割加工最大直径 300mm 的盘状刀具。

北京凝华科技有限公司展出了SL25超硬材料砂轮放电修整机(见图22),

该机主要用于金刚石砂轮、CBN砂轮的电火花成形与修整加工，也可用于PCD整体刀具外圆的电火花加工与修整。加工过程中，圆形成形电极轮与圆形工件分别以不同的转速旋转，实现对滚放电加工；在线车削及补偿功能可及时对电极加工面轮廓进行在线车削整形，消除由于电极损耗而造成的电极形状精度降低，并通过补偿获得较高的加工精度，其加工精度 $<0.003\text{mm}$ 。北京迪蒙卡特机床有限公司的QX5-D400电火花磨刀机主要用于直径400mm以下盘状PCD刀具的放电磨削加工，该机具有三个直线轴，四个旋转轴，磨削精度 $\leq 0.02\text{mm}$ ，刀口最佳粗糙度 $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$ 。

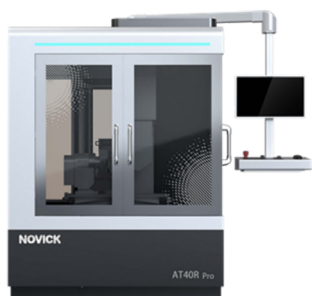


图21 AT40R-Pro精密数控切刀机



图22 SL25放电修整机

1.4.2 电化学去毛刺机床

德国斯托巴公司（Stoba）展出了一台入门级的电化学去毛刺机床，该机的的工作空间 $1000\text{mm} \times 1050\text{mm}$ （长 $\times$ 宽），配置脉冲式电源，最大电流1200A，适用于不同金属材质的泵、阀、缸体、齿轮等小批量零件交叉孔或棱边的去毛刺加工。

2. 激光加工机床

本届展会共汇聚了国内外20多家激光加工企业参展。国内方面有深圳大族激光科技产业集团股份有限公司、奔腾激光(温州)有限公司、江苏亚威机床股份有限公司、江苏扬力数控机床有限公司、东莞市力星激光科技有限公司、武汉华工激光工程有限责任公司、广东宏石激光技术股份有限公司、深圳迪能激光科技有限公司、北京珊达激光科技发展有限公司、苏州领创激光科技有限公司、济南邦德激光股份有限公司、济南金威刻科技发展有限公司、苏州瑞铁机床股份有限公司等；国外方面有德国德马吉公司（DMG）、德国普雷茨特精密技术有限公司（Precitec）、德国埃马克集团（EMAG）、意大利博栗玛贸易有限公司（BLM）、日本三菱电机自动化有限公司、日本远州株式会社等。

参展的激光加工设备主要包括激光切割设备、超快激光精密加工设备、激光焊接设备以及其他激光加工设备。其中占比最大的激光切割设备普遍呈现出高功率、高效率、高质量、智能化、模块化等特点，实现了对大厚板、高反射率材料的高效切割；激光精密加工设备普遍为纳秒激光设备，参展的国内外企业展出了应用于精密超硬刀具加工的纳秒超快激光精密加工设备，未有飞秒激光加工设备展出；激光焊接设备方面，国内企业推出了手持型激光焊接机，由于其灵活方便，操作简单，大大提高了传统手工焊的工作效率。

2.1 激光切割设备

本届展会参展的激光切割设备相较于上一届展会最突出的特点就是高功率和智能化。激光切割设备普遍搭配“万瓦级”输出功率的激光器，如大族激光智能

装备集团、奔腾激光（温州）有限公司、苏州领创激光科技有限公司、北京珊达激光科技发展有限公司等企业的激光切割设备均可以搭配“20 kW级”的激光器。其中，济南邦德激光股份有限公司展出的Dream3磁悬浮光纤激光切割机（见图23），选配40 kW光纤激光器，切割碳钢厚度可达100 mm，切割不锈钢厚度可达200 mm。更高的激光输出功率不仅可以应用于更厚的板材切割，而且在切割相同厚度的板材时，还可以保证切割质量和更快的切割速度，提高生产效率。随着激光器功率的增大，设备可以实现更高的切割速度，提高生产效率。多家企业采用了磁悬浮电机，动力性能和动态性能更加卓越。如江苏亚威机床股份有限公司展出的HLS-2040磁悬浮光纤激光切割机（见图24），X/Y轴最大加速度达到了2.5 G。济南邦德激光股份有限公司展出的Dream3磁悬浮光纤激光切割机同样采用了磁悬浮电机，X/Y轴最大加速度更是达到了4.0 G。



图23 Dream3磁悬浮光纤激光切割机



图24 HLS-2040磁悬浮光纤激光切割机

通过数控技术和AI技术，很多企业参展的激光切割设备实现了生产过程的智能化、自动化。大族激光智

能装备集团参展的SF系列双平台光纤激光切割机可选配智能制造模块，分解加工过程，将各种变量数字化，从而精细化提升制造工艺和效率。在板材切割过程中使用AutoSplit智能裁剪板材，工序内自动分离工件与需要仓库回收的板材余料。和和机械有限公司展出的SLT-102-FIBER全自动化激光切管机，采用了11轴数控，选配1~2 kW光纤激光器，可以对不同材质的方管、圆管、异型管进行切割加工。从自动背料架进料、材料自动校准、进料及倾转、激光切割到自动下料，采用全自动化生产流程。日本三菱电机公司展出的ML4020GX-F60二维激光加工机采用了AI技术“Maisart”，可以根据加工中的声和光对加工状态进行AI判断，自动调整加工条件，致力于实现“不停顿的加工”。德国普雷茨特公司此次参展推出了ProCutter Zoom2.0智能切割头，应用PierceTec技术可以提供快速优质穿孔，其内置传感器可实时监控穿孔过程，并且会根据穿孔时的数据优化激光功率，传感器检测数据都能在APP上同步显示，实时进行远程控制。稳定的穿孔质量和高效的穿孔作业在切割厚板时更具有优势。

2.2 激光精密加工设备

激光精密加工设备，特别是超快激光加工设备在激光加工领域扮演着越来越重要的角色。德马吉公司展出的LASERTEC 20linear精密刀具激光加工中心（见图25），搭载532 nm纳秒激光器非切削地加工PCD、CVD-D和CBN材质的切削刃、后角和断屑器，激光加工可提高刀具使用寿命达2.5倍。高动态性能的5轴激光加工将刀坯切为刀片，切分速度高于线切割机床达10倍，生产效率的增加使得金刚石刀具生产成本大大降低。联合磨削集团（EWAG）展

出的是LASER LINE PRECISION高精度五轴激光烧蚀系统（见图26），搭配了最大输出功率50W的532nm纳秒短脉冲激光器以及一体化六轴机器人，能够在一次装夹的情况下完成对切削刃、空心型腔和断屑台以及激光打标的所有加工。LASEER LINE PRECISION是专为生产金刚石工具而设计，绿光波长范围（532nm）的集成短脉冲激光器可以对金刚石材料进行特别有效的加工。国内方面，北京市电加工研究所推出了LASER6120精密刀具激光刃磨机（见图27），可选配100W纳秒光纤激光器和60W皮秒激光器，主要应用于PCD、CBN、陶瓷以及硬质合金刀具的刃口加工和可转位刀具容屑槽的加工。使用脉冲皮秒超短脉冲激光技术，材料直接被汽化蒸发，没有显著的热量输入，在加工时刀具刃口不会因为受热而损坏，使用寿命显著提高。



图25 LASERTEC20linear精密刀具激光加工中心

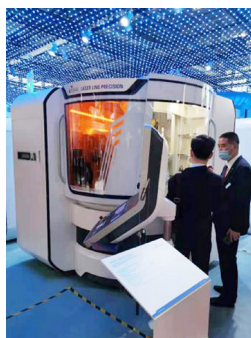


图26 LASEER LINE PRECISION高精度5轴激光烧蚀系统



图27 LASER6120精密刀具激光刃磨机

皮秒、飞秒激光等超短脉冲激光因具有极短的脉冲宽度和极高的峰值功率，可以实现高精度的微/纳加工，而且在加工过程中对工件无热损伤，对于所加工的零件而言可以获得更长的使用寿命。可能受疫情影响以及上一届展会的市场反馈，本届展会没有皮秒/飞秒激光加工设备的展出。参展设备普遍选择纳秒激光作为激光源，在满足加工需求的条件下可以降低设备成本。但随着激光器生产工艺的逐渐成熟，超短脉冲激光器成本降低，皮秒/飞秒超短脉冲激光加工设备必然成为激光精密加工设备的发展方向。

2.3 激光焊接设备

激光焊接技术一般搭配机床或焊接机器人进行自动化生产，但在一些室外现场进行焊接或者复杂位置的焊接，激光焊接由于设备体积问题并不适用。传统电弧焊设备简单，操作灵活方便，能进行全位置焊接适合焊接多种材料。其不足之处是劳动强度大、烟尘噪声污染严重，而且对焊工技术水平要求较高。得益于光纤激光器的发展，激光器体积显著减小，便于集成，本届展会上大族激光智能装备集团、广东宏石激光技术股份有限公司、奔腾激光（温州）有限公司等企业针对传统电弧焊技术的不足之处，推出了手持式光纤激光焊接机。奔腾激光（温州）有限公司展出的飞鸿SWAN-HW手持激光焊接机采用激光器水冷一体机设计移动轻便。手持焊接头内置高精度振镜电机，其中双轴摆动焊接头除了可以应用于中薄板材的焊接，还具有激光切割、清洗功能。焊缝热输入量小、焊件变形小、表面质量好，焊接效率比传统弧焊更高。广东宏石激光技术股份有限公司展出的FMW系列手持式光纤激光焊接机，焊接头同样搭载WOBBLE摆动系统，其质量仅为0.8kg，持久工作不易疲劳。目前手持式激光焊接机的功率都低于2kW，适合于4mm以下的不锈钢、碳钢的焊接。而在安全性方面，参展设备都

具备多重安全防护措施,焊嘴只有在触碰到金属时触动开关才有效,并且触动开关带有体温感应,保证不会因为误触导致激光发射对人造成伤害。

2.4 其他激光加工设备

本次参展的多用途激光加工机和复合加工机与上一届展会展出的设备基本一致。日本远州株式会社生产的LBM10,是在各种激光加工专用机的构造基础上采用最新理念制作的多用途机型,以小零部件的激光加工为主要应用方向,实现了最小的占地空间。与专用机必须从零开始相比较,可在短时间以合理的成本构建完成激光加工体系。本次参展的设备为LBM10通用激光加工机,搭载了2kW半导体激光器,主要用于激光焊接、激光熔覆、激光淬火。

江苏亚威机床股份有限公司展出了HPML30510冲割复合机,该机型可以实现冲孔、成型、攻丝、激光切割、成品自动落料输送等功能。当遇到不常用的特殊孔时,利用激光进行加工可以节省模具费用和加快交货期。例如冲切很难实现的段差外周,使用激光后就可简单实现。复合加工机很好的降低生产成本的同时,还能帮助企业改善生产工艺,提高产品附加价值。

北京珊达激光科技发展有限责任公司此次展出了SD-5C-200光纤激光清洗机,可应用于金属表面除锈、表面除漆脱漆处理、工件表面污渍污垢清洗、焊接/喷涂预处理等方面。实现无化学试剂、无介质、无尘、无水清洗。激光清洗表面洁净度高,能清除纳米级以下污染微粒。在清洗领域,激光清洗具有广阔的发展前景。

3. 增材制造 (3D 打印) 机床

2020年全球增材制造业仍然保持了正增长的势头,金属3D打印领域

在2020年产生了16亿美元的收入,预计到2030年将增长到317.8亿美元,10年总体复合增长率为35%。目前我国的工业级增材制造机床,无论是机床的拥有量,还是与之相关的产值,都超过了世界的三分之一。中国增材制造产业连续多年增速维持在20%以上。

展望2021年的增材制造市场,工业级增材制造机床的价位细分市场中,金属粘结剂喷射3D打印机以及设计级和专业级价位中的复合3D打印机,均是最值得关注的。从长远来看,专注于批量生产的金属和塑料的3D打印机将引领3D打印行业的发展。预计2021年工业3D打印机系统出货量的收入将稳定增长15%。

3.1 金属增材制造机床及增减材复合机床

本届展会延续了上届以金属3D打印机床为主的特点,并出现了更多增减材复合技术及机床产品。本届展会的3D打印机床有的在上届展会已有展出,但本次参展时技术上有所提升、设备性能和功能更加完善。

瑞士GF加工方案与全球最大的3D打印公司——美国3D Systems公司继续加强合作,进一步完善了它们的增材制造全面解决方案,提出了端到端的金属增材制造工作流程。方案中包括增材加工机床、电火花加工机床和激光表面纹理加工机床,以及铣削加工中心和主轴,还有工装夹具、自动化及软件系统,由此有效地提升了增材制造能力和竞争力。本届展会展出的金属3D打印机DMP Flex 350 (见图28),依托3D Systems公司的直接金属打印(DMP)专利技术支持,最大成形尺寸为275mm×275mm×420mm,配备500W(或450W)光纤激光器;成形室抽真空至 10^{-1} Pa,使用先进的保护气体气流技术,可制造高致密度

与高纯净度的零件;激光窗口处有特殊设计的进气口,可长时间保持窗口清洁,较长时保持成形室氧的体积分数 $<0.025\%$;激光窗口两侧有可见光和红外摄像头,对预埋零件定位测量,实现修复或连续打印;采用功能强大的3DXpert软件,LaserForm材料,真空环境及智能粉料管理系统,可实现如Inconel合金、钛合金、钴铬合金、铝、钢等金属材料的增材制造。该公司的CUT AM 500电火花线切割机床,是独特的分离增材制造工件专用机床。将该机床与DMP机床联结起来,可保持工件完整,适用于自动化生产,降低运行成本;采用快速切分工艺,能够可靠切分有特殊支撑结构和含有残余粉末的工件;采用倾斜工作台及双丝轴,分离速度快,精度高;采用水平切割细径钼丝,工件在切分加工时保持基准精度及质量,确保工件的工艺完整性。

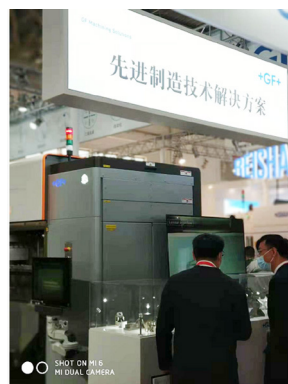


图28 DMP Flex 350型金属3D打印机床及成形室

日本沙迪克公司展出的金属3D打印机LPM325,采用激光选区熔化(SLM)技术实现3D打印,在不改变设置的情况下,进行基准面的加工;通过缩小造型室的体积、优化烟雾回收方法,提高了造型速度;标配了粉末吸收装置,改善了成形室内的粉末处理流程;配置了专用的数控系统和CAM软件,可在不改变设置的情况下加工所打印零件的基准面。同时,可与开发的新型NC装置(RM4RP)联结,它们的操作配置一致,有统一的操作环境,可轻松完成增减材加工的转换。

德国的DMG MORI公司展出的LASERTEC 30 SLM 3D打印机床,可进行多功能的复杂工件、随形内冷道工件、拓扑结构优化的部件等的3D打印;采用封闭式粉料循环系统及新型rePLUG可拆式粉料模块,利于提高成形质量,避免换粉污染;采用统一软件解决方案CELOS(CAD编程→机床控制),操作/编程简单方便。另一机型LASERTEC 30 DUAL SLM的不同在于采用2×600W双激光系统,提高生产力达80%;采用高精度光学模块,扫描场100%重叠,调整光斑直径(50~300μm);采用新的持续过滤系统,过滤器使用寿命>3000h,钝化了金属粉尘,显著提高了安全性。

德国Precision Surfacing Solutions公司的millGrind BL10磨床,是一台增减材复合机床,以磨床为主,复合了激光熔覆和磨削、铣削加工,用于涡轮叶片的加工及磨损叶片的修复。该机床可以检测叶片的磨损区域,根据检测结果进行激光熔覆、铣削和磨削加工。

中国航空制造技术研究院早在上世纪90年代中期,就与清华大学等单位合作,开展了激光选区熔化(SLM)和电子束选区熔化(EBM)技术与设备的研究。它依

托超大型真空电子焊装备的技术优势,首次推出了EBM机床和SLM机床(本届展会上仅有图片资料介绍,无实物展示),引起了广泛的注意。它们最大的特点是超大的打印空间,EBM机床的最大成形件尺寸360mm×360mm×500mm,SLM机床的最大成形件尺寸≥810mm×450mm×730mm。EBM机床的真空环境可有效避免杂质元素混入,使零件保持良好的组成,适用于多种合金;采用可快速更换的成形仓和供粉仓,以及粉末管理系统,减少了辅助时间的消耗;成形温度高,可有效的减小应力与变形,提高成形精度;扫描速度快(1000m/s),电子束流范围大(0~100mA),能量利用率高,成形效率高。SLM机床利用高亮度激光,扫描振镜的最高扫描速度达10m/s;采用高精密铺粉,层厚范围可调(20~50μm),可保证工件的成形精度;特别是可保持舱室的气氛不变,气氛的氧体积分数≤1‰,加工材料的种类包括钛合金、不锈钢、铝合金及碳钢等。

大族激光智能装备集团采用SLM技术,推出了HANS-M-1001机床(见图29),适用于齿科、骨科、科研、教学等,可提供齿科医疗专用开放参数,可获得医疗镂空结构;采用氮气/氩气保护,成形速度快,达120颗牙齿/5h;采用下送粉供粉方式,可选配柔性或刚性刮刀系统;采用Profinet总线控制,可采用远程云平台及APP监控。



图29 HANS-M-1001型SLM 3D打印机

湖南云箭集团采用SLM技术,推出了VM 280型3D打印机(见图30),适用于不锈钢、钛合金、铝合金、镍基合金等。它采用双向铺粉,提高铺粉效率,缩短打印时间;采用可变光斑,变化范围为65~150μm,使得成形更加高效;采用上落粉结构,可持续加粉,实现大型零件不间断打印;采用三重过滤,降低烟尘,延长过滤系统寿命;采用全新风场,保障打印质量。



图30 VM 280型SLM3D打印机

本届展会许多3D打印公司是通过代理公司来参展的。例如,东莞宝力机械有限公司代理了德国EOS公司的选区激光烧结(SLS)机床、美国HP公司的多射流熔融(MJF)机床等。香港力丰机械有限公司除了同样代理美国HP的MJF机床外,还代理了美国3D Systems公司的多喷头塑料3D打印机ProJet MJP2500、彩色手板3D打印机ProJet CJP360等,美国Markforged公司的Metal X7金属3D打印机(采用其特有的原子扩散增材制造ADAM技术)、工业级尼龙/碳纤维3D打印机X3和X5等,波兰Sinterit公司的桌面级SLS3D打印机Lisa1等。深圳马路科技有限公司代理了美国3D Systems公司的DMP Factory及3DXpert金属3D打印机、ProJet MJP2500等。

3.2 非金属增材制造机床

广州形优科技有限公司的展台展出了多款非金属材料增材制造机床,包括美国Stratasys公司的FDM 3D打印机Fortus系列、POLYJET 光固化3D打印机Objet系列等,美国Formlabs公司的光固化3D打印机Form 3/3L系列,美国Makerbot公司的methodX尼龙/碳纤维3D打印机等。这些设备可实现热塑性塑料、碳纤维增强尼龙材料的增材制造。

美国Stratasys公司的FDM 3D打印机Fortus 380mc(见图31),主要特点包括:操作环境干净、安全,材料无毒,材料利用率高,可选材料多,可以在办公室、家庭环境下进行,没有产生毒气和化学污染的危险;可使用工程塑料构建坚固耐用的零部件,如Diran 410MF07尼龙系列工程级热塑塑料等;本系列产品的分层厚度为0.330/0.254/0.178/0.127mm(可选),精度为0.04~0.07 mm;采用优化的支撑结构和可溶性支撑材料,易于去除支撑。可用的高性能打印材料种类较多,包括基础材料(ABS-M30, ABS-M30i, BS-ESD7, ASA)、工程材料(PC, PC-ISO, PC-ABS, Nylon12, Antero 800NA)及高端材料(Ultem9085, Ultem1010, Nylon12CF, ST-130)。

该公司的Poly Jet3D打印机采用Poly Jet聚合物喷射光固化工艺,使用Poly Jet聚合物,可同时混合多种基础成型材料,支持全彩色打印;成型模型质量高,最薄层厚为14 μ m,确保获得表面质量高,细节表现好的部件和模型;精度高,精密喷射与材料性能可保证细节精细;环保清洁:适合办公室环境使用,树脂盒方便更换,支撑容易去除,喷头可单独更换;多用途:材料品种多样,可适用

于不同几何形状/机械性能及颜色部件,数字材料约15万种颜色,可同时提供为眼镜定制、医疗领域,个性化定制需求强烈的行业开发的专用材料。

美国Makerbot公司的尼龙/碳纤维3D打印机METHOD X,通过推出Method Carbon Fiber Editions进入了3D打印的新阶段,旨在能够为制造工具、夹具和固定装置打印更坚固、更精确的尼龙/碳纤维零件,并且在某些应用中可用于制造金属替换零件;零件表面光洁度有所提升,特别是与新的加热室退火功能相结合时,效果更佳;用户可借助可溶性或分离式支撑结构,打印出具有复杂几何形状的零件,表面光洁度得到改善;采用不同配比的尼龙碳纤维复合材料,主要面向汽车、航空等行业,打印轻量化的金属零件替代品,其材料的热性能和机械性能也带来了较高的成本效益;相比竞品的改性ABS配方, MakerBot的材料硬度高26%、强度高12%,而且耐高温能力也提升了15 °C;由于支持双挤出头, METHOD X ABS可以与Stratasys公司的可溶性支撑材料SR-30同时进行3D打印,获得最佳的支撑效果(见图32)。



图31 Fortus 380mc型FDM 3D打印机

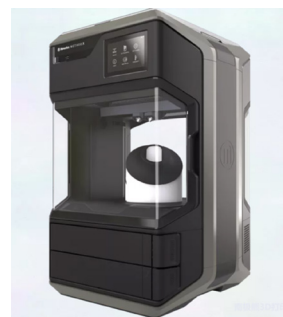


图32 MethodX型尼龙/碳纤维3D打印机

湖南云箭集团采用SLS技术,推出了VS-DP系列3D打印机,成形材料包括覆膜砂、PP、PS等高分子材料。此机床主要特点有:一机多材,材料利用率达>90%;专为精密定制化铸件的制造设计,达到高精度成形;成形尺寸大,专为小批量定制化铸件设计;多区温控,设备的温度场更加均匀;全自动真空定量送粉,智能化按需供粉。

4. 结束语

总体而言,本届展会展出的特种加工机床顺应了数字化、智能化发展的时代大潮,反映了当今特种加工机床行业应有的水平。电火花加工机床的加工指标虽然没有突破性的提升,但在控制、工艺等技术细节方面不断完善,加工的一致性、稳定性及自动化水平方面有了进一步提高;激光加工机床的市场规模持续扩大,高效率、高质量、精细化和智能化将成为其发展的主流方向;增材制造(3D打印)开拓了制造技术新模式,工业级增材制造机床日趋成熟,显露出了产业蓬勃发展的态势。更为可喜的是,特种加工机床制造商更加关注用户的个性化需求和细分市场的变化,积极为用户提供可应用的成熟技术和综合解决方案,助力中国制造业的高质量发展。□

CIMT 2021特种加工机床评述专家组成员:

吴国兴(组长)、肖荣诗、林峰、伏金娟、张宝华、卢智良、张人佑、杜伟哲、李朝将、徐均良、王应、王晓娟。

从CIMT2021看机器人产业的发展与变化

广州数控设备有限公司 孙兵

工业机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的现代制造业重要的自动化装备，已发展成为柔性制造系统（FMS）自动化工厂（FA）计算机集成制造系统（CIMS）的自动化工具。广泛采用工业机器人，不仅可提高产品的质量与产量，而且对保障人身安全，改善劳动环境，减轻劳动强度，提高劳动生产率，节约原材料消耗以及降低生产成本，有着十分重要的意义。

一、机器人在机床加工领域的应用情况

随着我国装备制造业转型升级，在市场需求和技术进步双重作用下，工业机器人正大踏步走进机床领域，并与机床结合在一起，为用户提供各种个性化的智能制造装备。目前国内企业在机床上应用机器人还处于起步阶段，许多理论和实践问题还没有充分认识与解决。在焊接、搬运、码垛、装配等大多数应用领域里，工业机器人是作为主机使用的。与此不同，与机床配套的机器人一般是作为辅机来发挥作用的，当前具体的应用形式主要有：

（1）单机上下料。单机上下料

是机器人在机床上最典型和最成熟的应用。它比人工上下料更准确、迅速、安全。对生产批量大、加工时间短的中小零件加工，或需吊装的笨重工件而言，机器人上下料的优势特别明显。

（2）机器人与机床组成柔性生产线。由机器人承担工件的工序转换工作，与若干台机床组成柔性生产线，是一种比单机上下料更为复杂也更有价值的一种应用。在当前工业转型升级过程中，市场需求越来越旺盛。在这种应用场合下，机床布局取决于工艺路线和现场条件等因素。

（3）与机床共同完成加工工艺过程。机器人夹持工件在冲剪、折弯机上实现加工操作，不仅是简单的上下料，而是替代了所有原来的人工作业。这比人工操作更准确和快速，从而提高了产品质量和生产效率。尤其是彻底解决了冲压类机床的工伤隐患。

（4）独立完成加工工序。给机器人装上专用手爪，机器人可以完成切割、打磨、抛光、清洗等工艺过程。甚至于可以让机器人直接夹持切削工具，对工件进行打孔、攻丝、铆接，也可以进行切削加工。在这种情形下，机器人本身就是一台机床。具备视觉、触觉的机器人可以用于组

装、零件分选等复杂工序，即使是上下料，也可以不用带有定位装置的专用工位器具。给机器人装备特殊手爪，可用于高温环境下作业的铸造、锻造机械，完成取铁水、浇注、上下热毛坯、更换热态的模具等人工难以直接完成的工作。

由于工业机器人在原理和结构上与数控机床有很多相似之处，都是由数控系统控制、伺服电机驱动，实现精确位置移动的自动装置，因此机床制造企业在工业机器人的研制上具有相当的优势。因此，国内外有不少机器人制造企业都有机床制造的根底。

目前国内开展机器人研制的机床企业主要有两类，一类是数控系统厂商，如广数、华中数控、南京埃斯顿、大连光洋、成都广泰；另一类是产品门类比较齐全，在承接成套项目上具有优势的主机厂，如大连机床、沈阳机床、西安北村等。此外，以精密齿轮制造见长的秦川机床集团，经过多年刻苦攻关，成功研制出了机器人专用的RV减速器，并已开始走向产业化。这些企业中，广州数控和南京埃斯顿已经进入国内工业机器人的主要生产厂商行列，具有相当的知名度和影响力。广州数控起步研制工业机器人已有十多年时间，现在已经具有5000台的生产能力，在机床应用

方面也积累了很多成功案例。南京埃斯顿则更侧重于机器人在成形机床上的应用。

二、CIMT2021机器人展品情况简介

在今年四月召开的CIMT2021展会上，制造单元/系统和工业机器人及自动化设备类展馆机器人与机床集成应用的展示比比皆是，例如，发那科展出了使用工业机器人完成压铸单元全自动化加工解决方案，DMG展出了工业机器人上下料等多种自动化加工解决方案。同时预示着机器人将成为未来智能制造不可或缺的一部分。

国内外知名企业如发那科、安川、ABB、库卡、埃夫特、华中数控、广州数控、南京埃斯顿等充分展示目前国内外机器人领域的技术发展和创新产品，是目前国内水平最高、规模最大、专业化程度最高的。本届展会展出的机器人展品包括工业机器人和协作机器人两大类，涵盖机器人产业的众多领域，面向工业机器人领域的多关节机械手、机械臂或多自由度机器人，如用于焊接、涂装、上下料搬运作业的机器人；用于非制造业的协作机器人，如用于高校教学拖动示教、试剂的取放、零件的测量。就数量而言，在本届展会所展出的机器人中，工业机器人占了大部分，发那科、ABB、广州数控、新代等展商都各自把代表当今工业机器人先进水平的展品展示与众。从展出的工业机器人来看，视觉识别，触觉等功能在展出的工业机器人中已相当普遍，定位精度，运行速度、最大负载等各项指标均给人留下深刻印象。

以下选取部分企业针对其产品的技术特点加以介绍：

1. 广州数控设备有限公司

(1) RMD300码垛机器人



广数自主研发的机器人本体、控制系统、伺服及伺服控制系统，RMD300码垛机器人出色的外观设计，入围工业设计中国红星奖，提供高速、大负载以及长臂展，配有码垛工艺包，可自动生成码垛程序，可搭载各类专用夹具，为袋、箱、瓶、桶等提供码垛应用解决方案，使得生产线码垛更灵活，作业效率更高。广泛适用于包装、饮料、化工、食品等领域的码垛、拆垛、搬运等任务。

产品特点：

- ①结构简单，故障率低，易保养及维修；
- ②主要构成零配件少，维持费用低；
- ③码垛机器人应用非常灵活，一台机器人可以同时处理多条生产线上的产品
- ④垛型及码垛层数可任意设置，垛型整齐，方便存储及运输。

(2) RB系列搬运机器人



RB08A3机器人

RB系列搬运机器人提供负载能力从3kg-300kg产品系列，满足对物料自动化搬运的需求，传送带跟随、碰撞监测功能更好实现搬运、上下料要求，广泛应用于物流搬运、机床上下料、冲压自动化、装配、打磨、抛光等领域。

系统特点：

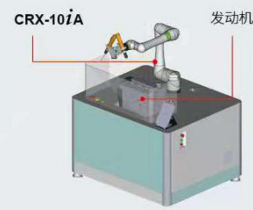
- ①高加速和高减速的运动特性可以缩短工作节拍。
- ②1台机器人可与多套数控车床组成一套机器人上下料系统。
- ③具有手腕负载容量大的特点，可以轻松地对需要搬运多个工件的作业。
- ④具有碰撞检测功能，能够灵敏地检测机器人和周围设备的碰撞，从而把损伤控制在最低限度。
- ⑤提供GSKVision视觉功能或使用力觉传感器的零件装配功能等高级智能化功能。

2. 日本发那科

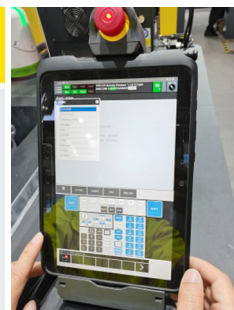
(1) 发那科发动机螺栓拧紧及视觉检测系统



发动机螺栓拧紧及视觉检测系统 FANUC Robot CRX-10iA, iRVision



- 新型协作机器人
- 高速视觉检测
- 自动化拧紧



FANUC CRX协作机器人搭配拧紧模组和高速视觉相机对发动机缸体进行螺栓的拧紧和检测。新型协作机器人CRX-10i长臂展,机身小巧紧凑,智能易使用。机器人高度集成2D视觉系统,提供新型高效自动螺栓拧紧和检测解决方案。系统适用于汽车行业的螺栓拧紧装配、装配质量检测,提高了自动化生产的灵活性和效率。

系统特点:

①FANUC协作机器人CRX不需要围栏,最大负载10kg,最大运动半径可达1249mm,机器人协作模式下具有最高1000mm/s的高速性能。

②机器人集成了螺栓拧紧和视觉检测功能,可以充分利用有限空间,提高设备的利用率和效率。

③在AC100-120V和AC200-240电压下均能使用,适用于多种制造现场。

④机器人具有IP54级别的防尘防水性能,并采用新款控制器,示教简单。

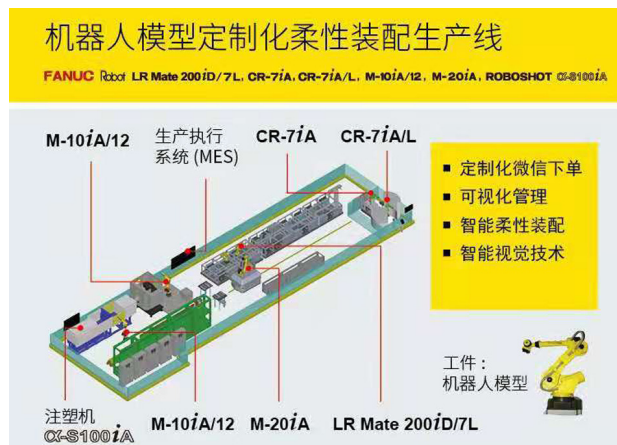
提升之处:

公司电子车间使用SCARA机器人螺母装配相比FANUC螺栓拧紧及视觉检测系统,存在:

①无拧紧模组,故无拧紧检查。

②无视觉系统,需要提前示教且示教精度不高和不能适应变化位置作业。

(2) 机器人模型定制化柔性装配生产线



机器人模型定制化柔性装配生产线分为零部件存储及输入、零部件加工、模型装配及成品自动派发4个区域,合计11个单元,共包含20台机器人,1台加工中心和1台全电动注塑机。生产线是以FANUC机器人模型为终端产品,集注塑成型、精密加工、物流仓储、装配检测及智能自动派发于一体的全自动定制化柔性装配生产线。

模块分区:

①零部件存储及输入区:采用了智能机器人物流仓储

单元,通过2D视觉系统识别料盘上的条形码,确认料盘流向的准确性,更好管理机器人对料盘的搬运和分配,高效快速为生产过程供应原料。

②零部件加工区:展示了构成机器人模型的塑料件和金属底座零件的加工过程,塑料件加工单元由FANUC全电动注塑机alpha-S100iA和Fanuc机器人M10iA所组成,实现了全自动注塑生产和产品成形后的自动化下料,金属底座加工单元由Fanuc小型加工中心和智能机器人组成可以满足客户个性化定制化需求,实现全自动化加工。利用先进的料框散堆拾取技术,机器人能从随意放置工件的料框中准确抓取工件再通过2D视觉系统拍照后把工具准确放置到加工中心的夹具上,实现无人化智能生产。

③机器人模型装配区:五个装配单元完成机器人整体装配涉及过盈装配、螺栓拧紧、涂胶、线缆梳理和穿线等多个装配工艺,整条装配线使用了14台LR Mate200iD系列机器人、3套电动螺栓拧紧枪和一套点胶机等工艺设备来完成所有的装配任务。装配区共使用13套发那科视觉系统检查装配后的工件,150秒就可以完成整个机器人模型的装配。

④成品派发区:由两台小型协作机器人iR Vision视觉系统和AGV小车组成,通过协作配合实现产品外观视觉检测、传递和自动成品派发。

创新之处:

①整条生产线使用了工业自动化领域最前沿控制和网络技术采用全以太网架构方案,设备层、监控层和MES层紧密联系在一起,系统通过云端和移动终端接收用户定制化产品需求,并自动安排生产加工。

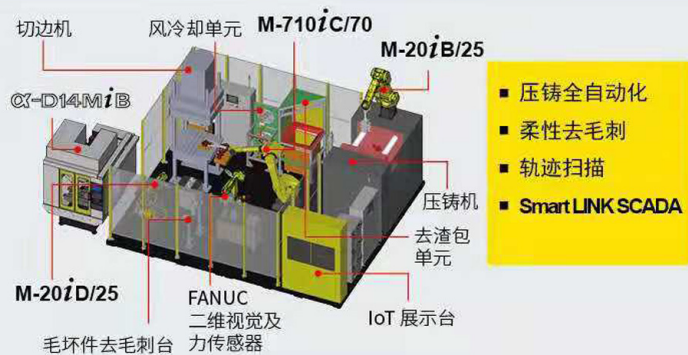
②利用信息化技术使整个生产过程可监控、生产效率可提高,生产质量追溯,生产设备可保障,生产成本可节省。

(3) 发那科压铸单元全自动化系统



压铸单元全自动化系统

FANUC Robot M-710iC/70, M-20iB/25, M-20iD/25
ROBODRILL α-D14MiB, iRVision, 力传感器



本系统展示了压铸行业中压铸件毛坯取件、模具喷淋、去渣包、冷却、切边、去毛刺、机加工到下料的无人化解决方案。由喷淋机器人M-20iB/25、取件机器人M-710iC/70、搬运机器人M-20iD/25和去毛刺机器人M-20iD/25组成。

压铸成形后，取件机器人进入压铸机，利用软浮动功能完成模具内工件的柔性取出，喷淋机器人完成压铸机内部模具的喷淋作业；取出后的毛坯依次进入去渣包装置和伺服切边装置内完成去渣包、去料柄作业；由搬运机器人取出切边后的工件，并送入加工区完成去毛刺和机加工作业；毛刺机器人使用视觉相机识别工件去毛刺边线，自动运行生成的去毛刺轨迹，通过力传感器实时监测去毛刺刀具与工件的作用力。

系统特点：

①系统通过2DiR Vision视觉和image-to-path软件功能自动识别和生成去毛刺轨迹，简化编程工件。

②为压铸行业提供了喷淋、取件、去渣包、切边、去毛刺、机加工和下料等全工序的解决方案。

③IoT物联网平台为压铸岛系统单元提供了机器人和压铸机等设备的信息状态监控和生产信息管理功能。

创新之处：

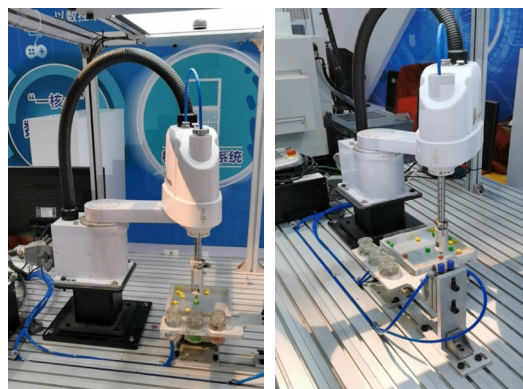
①2DiR Vision视觉和image-to-path软件能自动识别和生成去毛刺轨迹。

②力传感器实时监测，高效控制加工效果。

③IoT物联网平台实行信息监控和生产管理，提高管理效率。

3. 华中数控

(1) 药片快速分拣装瓶系统



华中数控HSR-SR3400工业机器人具有相机设置、工具设置、轨迹设置、码垛模块、标定等功能，操作简便，方便使用。上图案例利用SR3400+驱控一体高速、高精度定位的特点，对不同颜色的药丸进行视觉识别及高速分拣展示。

产品特点：

①高速性能。采用低速比高精度减速机，拥有超快的循环时间，最快循环时间可达0.4s。

②高集成度。本体内置信号线与气管即插即用，无需繁琐接线，内部线缆无滑动，可长久保持无故障率。

③高精度。除了采用高精度谐波减速器外，采用了进口的高精密滚珠丝杆滚珠花键，末端重复定位精度可达0.01mm。

④高刚性。其末端线性移动轴的特性，让其在Z方向具有良好的刚度，此特性特别适合于装配工作。

⑤负载档位实用性。根据实际末端负载，客户可以调整负载档位，简单操作提高机器人运动节拍。

对比分析之处：

SCARA机器人和Delta机器人都可以完成高节拍分拣工作，对于这两种类型机器人完成药品的分拣可以做效率的分析比较，选择一种更高效的机器人用于分拣。

(2) 华中数控 inc-Cloud



iNC-Cloud主要功能:

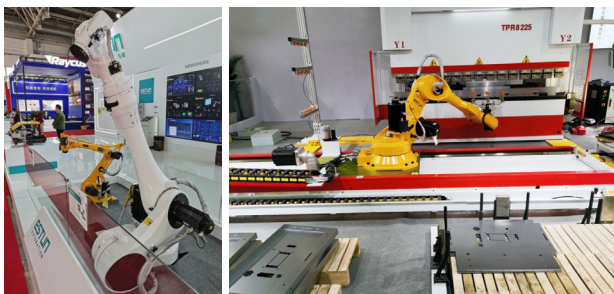
设备方面: 状态监测、健康诊断、预测报警工艺优化,
产线方面: 排产调度, 工艺管理, 工单管理, 物料派送,
企业方面: 产品质量溯源, 供应链管理全生命周期管理,
车间方面: 效率分析, 产品统计, 能效优化, 执行跟踪。
功能实用: 设备监控, 班次管理等功能。
简单易用: 功能之间低耦合, 轻松上手。
配置灵活: 有线、无线等多种上网方式。
多端协同: 车间看板、APP协同使用。
数据安全: 多种数据托管方式。

创新之处:

基于边缘系统高效实时计算、基于云端的强大数据处理能力、易扩展的数据平台架构设计、基于国产密码的数据安全存储与交互和面向不同大数据应用场景开发需求的支持能力。

4. 南京埃斯顿自动化股份有限公司

(1) 埃斯顿折弯专用机器人



产品特性:

① 针对折弯的工况进行了研究, 可以对2500mm×1250mm左右板料进行加工, 适用板料范围广泛。

② 特殊配比的机器人杆长, 更适应机器人折弯加工工况, 关节采用直接驱动的方式, 精度更高。

③ 多数情况下不需要使用第七轴, 减少投入成本, 减少了占地面积, 节约了空间。

④ 高度和折弯机更加匹配, 不需要加高折弯机或者是挖地槽把机器人降低。

⑤ 埃斯顿折弯机多数情况下不需要使用第七轴, 减少投入成本, 减少了占地面积, 节约了空间。

产品优势:

① 折弯专用机器人运动范围提升, 减少因位姿变化带来的时间浪费。

② 模块化设计, 提高产品可靠性及交付能力。

③ 折弯软件《Smart Robot Bending》丰富成熟的折

弯工艺软件包, 有高精度的工件尺寸自动补偿和实时跟随等功能, 解决了产品种类多和成品一致性差等行业难题, 大幅度提升客户的产品质量和生产效率。

发展趋势:

根据调研机构的市场调研数据, 目前埃斯顿的折弯机器人市场份额已经达到60%左右, 成为折弯行业龙头, 此前, 有不少企业都曾尝试进入钣金折弯行业, 但最终失败告终。而埃斯顿利用技术积累以及对国内市场更清晰的认知, 最终成为折弯行业的龙头, 成功构建行业技术壁垒。

(2) 埃斯顿信息化平台

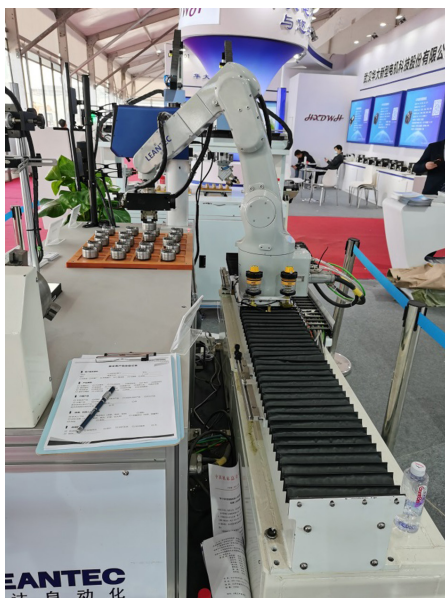
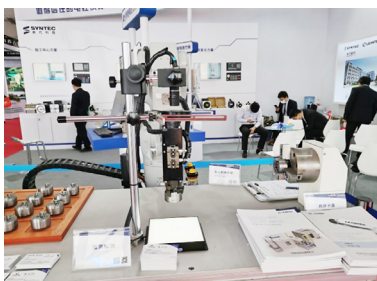


产品特点:

智慧生产, 车间状态全掌握, 生产管理、故障诊断、刀具保养维护(根据刀的磨损情况及时保养)、安全预测(根据系统模型, 可以实现安全预测, 减少事故)。

5. 苏州联达自动化设备有限公司

(现代集团旗下)



柔性产线解决方案：

①使用零点定位系统和机器人快换，使机器人末端工具、中转设备可以统一标准。

②产品换线时间短，或不停机换线。

③RFID技术，自动获取工件信息。

④自动派单，自动加工，自动测量，无人值守。

⑤加工效率提升，加工质量稳定。

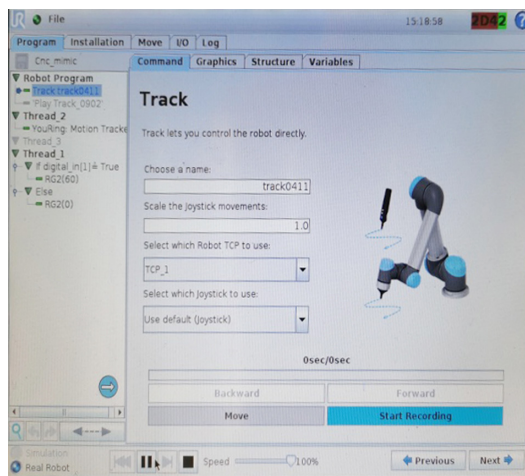
⑥MES、数据库对接。

产品优势：

上图所示的生产线由视觉料盘、机械手臂、量测检测、机床卡盘、激光打标组成。自主研发核心控制系统和驱动，速度快、精度高、稳定性好，图形和对话框编程方式简单上手，支持多种通讯协议，支持二次开发，多种应用模块包快速导入，易于应用。

6.欣百特科技（北京）有限公司

该公司展示了机器人示教系统，可实现人机协作、智能传感和精密测量。



系统特点

①手动示教，路径轨迹快速生成。

②即插即用，高精度路径示教记录。

③实时6维位姿和力矩遥控制。

④电子皮肤，根据接触力进行颜色的变化。

应用场景：

机器人示教涉及机器人笛卡尔空间轨迹规划、机器人DH建模和正逆解算法，在高校机器人教学演示是较受欢迎的，可以培养学生的动手能力和编程能力。

7.约翰内斯.海德汉博士（中国）有限公司

（1）长度测量

光栅尺分为：

①封闭式光栅尺能有效防尘、防切屑和防飞溅的切削液，是用于机床的理想选择。

②敞开式光栅尺与读数头和光栅尺或钢带间没有机械接触。这些光栅尺的典型应用包括：测量机、比较仪和其它长度计量精密设备以及生产和测量设备，例如用在半导体工业中。

③增量式光栅尺决定当前位置的方式是由原点开始数测量步距或细分电路的计数信号数量。海德汉的增量式光栅尺带有参考点，开机时必须执行参考点回零，操作非常简单、快捷。

④绝对式光栅尺无需执行参考点回零操作就能直接提供当前位置值。光栅尺的绝对位置值通过EnDat接口或其它串行接口传输。

重点对机床加工动态性能限制因素分析、直驱电机性能分析、转台精度和定位精度测量。



速度是根据位置的导数计算的，频率较高的位置偏差（细分误差）会在速度计算中产生误差，速度误差会在驱动系统中产生噪音和热量，必须通过限制环路增益以避免不稳定问题。

通过详细分析影响加工过程中的各个因素（温度、振动、机械传动误差），然后采取高精传感器（光栅尺）进行位置补偿，可以实现机器人全闭环的加工，有效改善零件加工精度。

8. 歆霓自动化

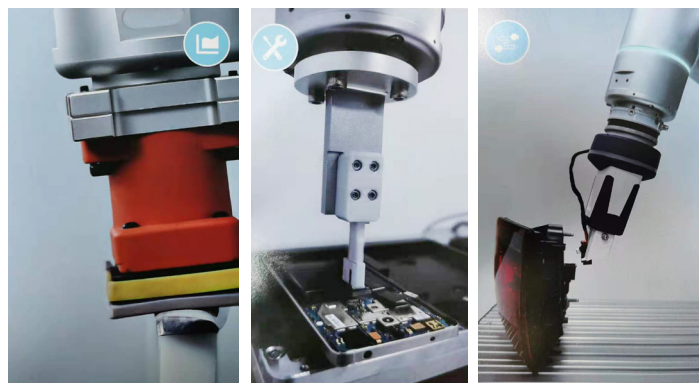
该公司展示了一款复合机器人。相比于AGV和机械臂的单一功能，集合了两者特性的复合机器人显然更具柔性化。导航小车自动行驶指定位置后，机械手自动卸货，并放置到指定位置。可快速布局于实验室分析，自动化工厂、机房数据管理（存储服务器数据取放）、仓储分拣、自动化货物超市，实现物料自动搬运、物品上下料、物料分拣等。更好地满足相对复杂的需求。



产品特性：

- ①复合机器人配有视觉系统，作业精度0.2mm。
- ②移动机器人前部的 3D 相机可以检测托盘且扫描范围为地面3cm至2m，360 度扫描视角的激光扫描技术，运行更安全。
- ③移动机器人能够自主导航并选择到达目的地的最有效路径。当遇到障碍物时，其能够自动绕过并重新调整路线。
- ④协作机器人作业负载3kg~16kg，移动机器人负载60kg~150kg，应用更广泛。
- ⑤拖曳示教编程，降低使用门槛，易操控。

9. 非夕科技



精密部件装配

软性材料表面处理

带线束插头插拔

（1）精密部件装配

解决方案：

非夕自适应机器人具备独特的高精力觉感知能力，可以对精密零部件装配过程中的微小力觉变化做出准确及时的反应，有效保证精密零部件的装配质量和效率。利用力觉反馈辅助装配，可有效克服零件加工及生产工艺中带来的误差，使得精度极高的装配工艺自动化成为可能。机器人系统中的AI智能系统，能够有效对抗复杂工况下的各种干扰，并通过不断迭代有优化装配工艺，保证精密装配的可靠性。

系统组成：

7轴自适应式机器人系统、视觉框中精密组件取料任务模块、人工智能系统、视觉目标位置定位模块、标准手部工具系统、精密件装配任务系统。

系统特色：

可适用于无序来料，出色的迭代优化转配工业能力，对不同种类型零件的兼容能力，可以满足刚性工件低至10um以内的间隙配合和柔性工件过盈配合，适应于复杂的复合装配，智能防卡死，防止残余应力

（2）软性材料表面处理

解决方案：

非夕自适应机器人所独特的高精力觉感知及快速响应能力，有效地去除木材表面毛刺、油污、灰尘等，兼顾表面的光滑度和附着力，针对不同材质及不同表面纹理的打磨，兼容性适配多种打磨工具，仿照人手打磨工艺，完成对不同材质板材表面复杂纹理进行精细打磨。

系统组成：

7轴自适应式机器人系统、板材打磨标准手部工具系统、人工智能系统、板材表面打磨任务系统。

系统特色：

力觉实时监测表面处理情况。

基于AI的表面处理效果监测。

独立多维及实时精确的主动打磨力控制。

精密贴合复杂工件表面，无需轨迹示教。

无需额外的力控打磨工具。

兼容不同材质材料表面花纹。

（3）带线束插头插拔

解决方案：

非夕利用第三代自适应机器人，凭借高响应度力觉系统，结合领先的AI视觉可以在不借助外界辅助装置的情况下，在复杂环境中识别插头型号和位置姿态，自动引导避让障碍物，完成抓取和插拔装配工作，而且，在导入新产品时，仅需简单设置即可使用。

系统组成：

非夕7轴自适应式机器人系统、视觉框中连接器取料任务模块、人工智能系统、视觉目标位置定位模块、标准手部工具系统、连接器插拔任务系统。

系统特色：

基于AI数据知识系统，产品易于迁移；

可移动部署，快速产线切换；

毫米级6D姿态识别，实时自动避让障碍；

集成插拔质量检测功能。

三、关于国内机器人产业发展的相关思考

1. 机器人产业在机床行业的应用与发展趋势

从近几年世界机器人推出的产品来看，工业机器人技术正在向智能化、模块化和系统化的方向发展，其发展趋势主要为：结构的模块化和可重构化；控制技术的开放化、PC化和网络化；伺服驱动技术的数字化和分散化；多传感器融合技术的实用化；工作环境设计的优化和作业的柔性化以及系统的网络化和智能化等方面。主要表现在以下几个方面：

（1）性能不断提高（高速、高精度、高灵活性、易操作和易维护），而单机价格不断下降。

（2）机械结构正朝着模块化和可重构方向发展。如关节模块中的伺服电机、减速器和检测系统是集成的，整个机器人由关节模块和连杆模块重组构成。

（3）控制系统正在向基于PC机的开放式控制器发展，便于标准化和网络化，设备集成度提高，控制柜变得越来越小，采用模块化结构；大大提高了系统的可操作性、可操作性和可维护性。

（4）机器人中的传感器除了位置、速度和加速度等传统传感器之外，装配和焊接机器人还使用视觉和力等传感器，而遥控机器人使用视觉、声音、力和触觉等多传感器融合技术进行环境建模和决策控制。多传感器融合配置技术已经在生产系统中得到应用。

（5）虚拟现实技术在机器人中的作用已经从模拟和预览发展到了远

程操控，例如使远程机器人操作者感到他们是在远程工作环境中操作机器人。

2. 国内机器人产业发展面临的问题和挑战

与此同时，与国外相比，国内机器人当前在技术和产业链等方面还存在那些差距和短板。国内工业机器人的发展具有如下特征：

（1）进口比例高

目前我国所拥有的机器人，国产占20%，其余都是从日本、美国、瑞典等多个国家引进的。现在工业生产所用的机器人大多数是在生产线上使用，组成机器人化的生产系统，单台机器人很少使用。由于我国还不能自主设计和生产先进的大型自动化成套装备，更形不成整体配套能力，目前的状况是几乎全部依赖于进口，被国外公司所垄断，因此与大型自动化成套设备配套的工业机器人也就大部分从国外（特别是日本）进口。国外机器人产品不仅价格昂贵，而且维护、维修成本高，这为我们自主生产机器人，满足国内市场需求，发展中国机器人及其自动化成套装备产业提供了良好的机遇。

（2）产业化步伐缓慢

我国机器人研究和制造的单位多，还没有一家大规模进行机器人生产的企业，致使我国工业机器人长期依赖进口。

（3）自主知识产权缺乏

我国虽然在机器人某些关键技术上有所突破，但还缺乏整体核心技术的突破，具有中国知识产权的工业机器人则很少，不能生产高精密、高速与高效的核心部件。

（4）机床行业等装备制造业应用比例偏低

数控机床行业作为装备制造业的基础行业，在使用工业机器人方面由于存在需要改变传统工艺流程、一次

性投入偏大等因素，使用率远远低于自动化程度较高的汽车行业，很大程度上制约着国家机床行业自动化程度的提高。

我国工业机器人市场需求快速增长，但都严重依赖国外进口。虽然国内部分企业已基本掌握了机器人的设计制造技术、控制系统硬件和软件设计技术、运动学和轨迹规划技术，开发出喷漆、弧焊、点焊、装配、搬运等机器人，但在总体技术上还有很大差距，在精度、速度、可靠性等方面不如进口的同类产品，处于试制和小批量生产阶段。工业机器人的一些核心技术被国外封锁，没有形成自主知识产权的关键零部件如减速机的产业化生产，因此即使研制和开发了一些典型的工业机器人，但是和国外的机器人相比，性价比不高，不具备明显的竞争力。昂贵的进口机器人和生产线主要在汽车等少数行业使用，在机床行业等装备制造业领域应用比例偏低。机床制造过程中许多岗位主要依赖工人的体力和技能，生产效率低、劳动强度大，年轻人从事该岗位的人少，随着有经验的老技工逐渐退休，机床产品质

量日趋下降，产品稳定性和一致性差，使得机床行业迫切需要大量工业机器人及智能制造技术来替代。

3. 相关的解决之道

由于目前国内企业在机床上应用机器人还处于起步阶段，许多理论和实践问题还没有充分认识与解决。例如最多见的形式还是将机床和机器人简单地组合在一起，各自使用一套控制系统。要充分发挥机器人与机床集成应用的优势，还需做出不懈努力。

(1) 机床企业研制机器人应充分发挥产业相关的固有优势。企业应树立更高的发展目标，从基础理论的研究与应用，到制造与装配工艺的完善，到减速器、伺服电机等基础零部件的突破，不断努力，为提升国产机器人的水平和质量做出贡献。

(2) 技术标准的研究与制定。为促进机床与机器人集成应用水平的提升，应加紧相关的技术标准的研究与制定，在这一领域，对机床和机器人的控制系统和机械结构都有一些特殊要求，需要通过标准的制定进行规范。

(3) 应积极开展机器人专门人

才的培养和相关知识的普及。由于是新兴产业，机器人的研制和应用人才都很稀缺。特别是应用方面，目前在国内，无论是机器人集成商还是用户，知识和经验还不同程度地匮乏，往往因此导致项目的挫折和失败。

(4) 与机器人协同工作的机床应具有足够的自动化功能。例如加工精度的自动检测、刀具磨损情况的自动检测与补偿及刀具的自动更换等，从而保证柔性工作单元的连续稳定运行。

(5) 对协同工作的机器人和机床应进行联合设计。对机器人和机床分别进行必要的适应性改变，这里不仅有机机械结构(例如防护结构)的改变，也有控制系统的整合、各类传感器的布置等，从而形成一个空间布局统一合理、功能相互协调的有机整体。

鉴于机器人研制以及与机床集成应用的发展现状，相关企业应建立有效的组织联络机制，以加强沟通与合作，充分做到资源共享与优势互补，及时建立必要的技术规范与标准，形成产业发展的合力。这对我国机床工具行业的转型升级也必将起到有益的推动作用。□

资讯

力劲集团9000吨压铸单元将助力电动汽车产业健康发展

4月21日，在“力劲集团·宁波力劲科技工厂开放日”活动中，来自宁波市北仑区人民政府、中国铸造协会、宁波市科协、压铸企业、模具企业及媒体代表等，共同见证了力劲集团9000吨智能压铸单元的首发，见证了宁波力劲科技有限公司与瑞立集团有限公司大型智能压铸单元签约仪式。

力劲9000吨智能压铸单元是力劲集团重大科技成果，具有自主知识产权。区别于传统的三板式和两板式压铸机，力劲集团9000吨压铸单元在技术、结构及工艺上取得了很大突破。产品设计性能更优良、应用范围更广、能耗

更低，能充分满足新能源汽车对大型复杂压铸件及多零部件的一体化生产工艺需求，有利于压铸装备制造行业的可持续发展。



(来源：力劲集团)

从CIMT2021部分展品浅析机床工具行业发展趋势

中国机床工具工业协会市场部 丁浩龙

由中国机床工具工业协会主办的CIMT2021（第十七届中国国际机床展览会）于2021年4月12~17日在北京中国国际展览中心（新馆）成功举办。展会期间观众如潮，火爆程度超出预期。

笔者对部分展品进行了梳理，供大家从其中一个侧面了解展会盛况。本文难以描述展会全貌，但可管窥其冰山一角，从而映射出机床工具行业发展趋势。需要说明的是，若有因笔者对展品特点理解不当引起的错漏之处，敬请广大读者指正。

一、展会概况

本届展会规模宏大，汇聚了来自全球27个国家和地区的1500多家展商，展出总面积达13.5万平方米，布满8个常设展馆和4个临时馆。

展品品种琳琅满目，展品规格丰富齐全，数万件展品囊括了机床主机、数控系统、功能部件、机床电器、量仪量具、刀具及夹具、附件等产业链主要产品范畴。其中，主机产品包括金属切削、金属成形、齿轮加工、特种加工、热处理、涂附等多种设备。

展品水平体现了世界当今制造技术的发展趋势，国际知名厂商及其品牌产品悉数到场，全球最新、最先进的发展成果纷纷呈现。全球知名企业有德马吉森精机、埃马克、格劳博、巨浪、GF加工方案、马扎克、大隈、牧野、哈斯、哈挺、赫克、尼古拉斯克雷亚、法孚、友嘉、斗山、现代起亚、萨瓦尼尼、雄克、ABB、西门子、海德汉、发那科、三菱、THK、上银、蔡司、雷尼绍、马波斯、伊斯卡等。境内主要展商有通用技术集团、秦川集

团、济南二机、武汉重型、北一机床、上海机床、浙江杭机、科德数控、重庆机床、宝鸡机床、北京精雕、海天精工、星火机床、山东蒂德、威达重工、格力智能、南通国盛、普什宁江、深圳创世纪、广州数控、华中数控、福建威诺、汉江机床、凯特精工、南京工艺、上海工具、株洲钻石、大族激光、邦德激光、迪能激光等，不一一列举。



二、车削类机床

车削类机床是展品中的大类，技术特点鲜明。

（1）高精度展品较多，展商对精度保持性更加关注，热稳定和热对称结构设计被越来越多的展商所采用。如北一大隈车床采用热亲和技术，热稳定性好。如德马吉森精机的热稳定温控对称结构设计。如龙泽可对应热位移的床身结构设计，从而保证展品高精度和持续精度。搭载测量系统以提高精度，如埃马克的VT 4-4立式车床所有直线轴都有直接式测量系统。有的展品床身采用天然花岗岩和

人造大理石,采用静压主轴、静压导轨,使机床具有良好的热稳定性、抗振性和刚性,保证机床获得较高的精度,如江苏博谷智能的Hard T100高精硬车削机床定位精度 $\leq 1\mu\text{m}$,普什宁江的MICRO-T400高精度车床加工零件尺寸精度 $\leq 2\mu\text{m}$ 、圆度 $\leq 1\mu\text{m}$ 、粗糙度 $\leq \text{Ra}0.2\mu\text{m}$,大昌华嘉的Moore Nanotech 250UPL超精车床面型精度 $\leq 0.1\mu\text{m}$ 、粗糙度 $\leq \text{Ra}2.0\mu\text{m}$ 等。

(2) 自动化程度高。如埃马克的VT 4-4立式车床具有双刀塔,两侧可同时加工,刀塔集成工件夹持器,实现工件自动上下料。因代克斯的INDEX MS24-6多轴自动车床具有6个主轴,通过线性机械手或机器人上下料,配置12个刀架,完成铣、钻、攻、去毛刺等自动加工。马扎克的QTC-200MSY L+GL卧式车削中心搭载桁架机械手实现各种工件的自动化上下料。村田机械的MT200对置双主轴车削中心采用对向双主轴,上、下刀塔,搭载动力刀具及门型机械臂,实现自动上下料。济南一机的J1VL-600ST双刀架数控立式车床配置上下刀架,可对刹车盘两面进行同时加工。江苏迪克的DKCK-ST80双主轴数控车床具有自动上下料装置。陕西诺贝特的XKNC50GL全自动数控车床带桁架机械手抓取工件,实现自动上下料等。



(3) 专用。针对性强,专业性能优良。如济南一机的WL-800铝轮毂车床,山东沂水的油缸专用车床,宝鸡机床针对汽车车桥加工的CQ7530数控卧式车床,沈阳众一智能的DVL480适用于汽车刹车盘、轮毂、制动鼓、飞轮等回转体零件的加工等。

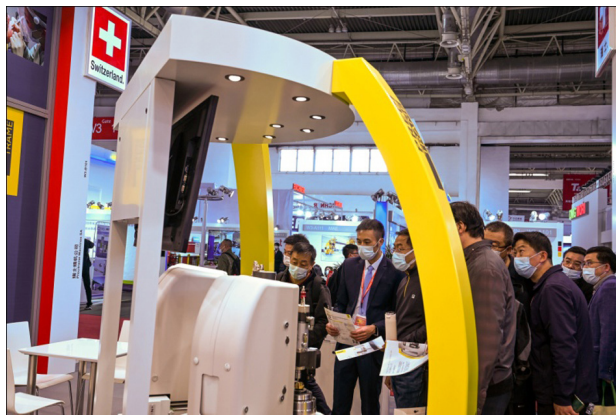
三、镗铣类机床

很多展品应用了先进的传动、控制、测量等技术。特别是五轴加工中心,具有较高技术水平。

(1) 展品精度普遍较高,采取有效措施提高精度保持性。如北京精雕的JDGR400T,采用全闭环反馈,具有在

机测量和修正功能;对主轴、轴承座、转台电机、螺母等关键发热部位进行全方位冷却,保证机床热稳定性;具有“ $0.1\mu\text{m}$ 进给和 $1\mu\text{m}$ 切削”能力。大隈的MP-46V立式加工中心,其精确控制的热位移和热补偿技术实现镜面加工。牧野的e500高精立加,独特的主轴冷却技术,为连续26小时加工、位置精度保持在 0.0027mm 以内提供了保障。南通国盛的DHM-63卧加,采用滚珠丝杠中心冷却循环来保证机床精度的稳定。此外,展品床身采用天然花岗岩和人造大理石,使机床获得良好的热稳定性和抗振性,以确保机床精度稳定,如贝托特·哈默的C 650 U加工中心采用矿物铸石床身、科德的DerThrone VMC50S U五轴立式加工中心底座立柱采用矿物铸石材料、普什宁江的VMC80IV五轴立式加工中心床身采用人造大理石材料、大昌华嘉的EVO立加采用整体人造花岗岩结构等。

(2) 效率高。展品通过双主轴、立卧转换头、双工位等设计提升加工效率,如巨浪凯龙的MC528 TWIN双主轴双转台五轴立式加工中心、VIGEL TW 320H Bi.Z双主轴双工作台卧式加工中心。部分展品具有托盘自动交换功能,如济南二机的TH6513A精密卧式铣镗加工中心。同时高速也为高效提供了保证,如秦川机床的VMC40U主轴转速 40000r/min 、巨浪凯龙的MC528 TWIN双主轴双五轴立加快移速度 75m/min ;格劳博G150的X/Y/Z轴快移速度 $70/50/80\text{m/min}$,加速度 $6/6/11\text{m/s}^2$;斯达拉格的X45快移速度 80m/min ,X/Y/Z轴加速度 $8/11/8\text{m/s}^2$;浙江日发的MCM CLOCK EVO卧加快移速度 76m/min ,加速度 7m/s^2 。



(3) 展品采用直驱与直联技术,缩短传动链,提高传动刚度、动态特性及精度。如马扎克的VCE700D L立加采用直联主轴结构;牧野的e500高精立加各轴采用双直线电机驱动;大连三垒的SVW80C五轴立加采用电主轴;苏州珈玛的LV-800L立加主轴采用直联方式;普什宁江的

VMC80IV五轴立加采用电主轴；宝鸡机床的BM10-H立加采用电主轴；威达重工的CMC650u五轴立加主轴采用直联结构，B、C轴采用力矩电机直驱等。

（4）智能技术进一步发展并得到广泛应用。如各种感知功能、自适应与自动补偿功能、预测功能、各种操作导航功能、虚拟与仿真、人机沟通能力等，为加工作业提供了有力支撑。如北一大隈的MBR-5000H-e热亲和、防碰撞、加工导航、伺服导航智能技术。如马扎克的VARIAXIS i-700智能热屏蔽系统，有效控制机床热位移。如德马吉森精机的NHC 6300对称热不敏感主轴，充分的冷却进行温度控制，通过多传感器测量温度后将信号传给控制器形成闭环反馈。如普什宁江VMC80IV具有温度控制技术，防止主轴热漂移。

（5）节能环保意识强。如德马吉森精机从2021年起全部机床生产达到100%碳中和，成为全球首批碳排放气候中性的工业企业之一，通过使用现代化的供热、通风和冷却技术，避免碳排放。同时不断提高机床的能源效率。节能减排成为发展趋势，碳中和将备受关注。

四、复合类机床

复合类展品有车铣/铣车复合、车磨复合、齿轮加工与铣削复合、冲压与激光切割复合、增减材复合、焊接与铣削复合、镗铣磨复合等。复合机床具有强大的工艺复合和工序复合能力，一次装夹可以完成多道工序加工，充分体现精度、效率和自动化方面的优良性能。展品高性能，多轴控制，配置功能强大的软硬件，如直观易用的数控系统、丰富的编程与加工软件、先进的传感和检测装置、直驱与直联

功能部件、工业4.0接口等。车铣/铣车复合机床可实现任意角度位置的车削、铣削、钻孔、攻丝、制齿等加工，也可完成复杂空间曲面的加工。车铣/铣车复合机床具有各种感知功能、自适应与自动补偿功能、预测功能、各种操作导航功能、虚拟与仿真、防碰撞等智能功能，如因代克斯的INDEX G420车铣复合中心、马扎克的INTEGREX i-350H S卧式车铣复合加工中心、牧野L2车铣复合加工中心、大隈的MULTUS U3000铣车复合加工中心、WFL的M50铣车复合加工中心、德马吉森精机的NTX 1000铣车复合机床、威力铭-马科黛尔508MT2 铣车复合加工中心、中国通用的HTM63150、DTM-B70S铣车复合加工机床、科德数控的KMC 800S UMT车铣复合加工中心、富信国际的HT65 PM铣车复合加工中心、广州霏鸿的FH100P-C车铣复合加工中心等。



五、磨削类机床

主要技术特点如下：

（1）抗振。床身采用天然花岗岩和人造大理石，使机床获得良好的热稳定性和抗振性。如达诺巴特的LG-1000外圆磨床床身采用天然花岗岩、戴杰磨床的Bi5工具磨床采用大理石床身、铸帝的CUBE 350无心磨床床身由天然花岗岩制成等。

（2）主轴驱动和进给驱动广泛采用直驱技术和直联技术，以提升

机床传动精度、刚度、工作平稳性及动态特性。如上海机床的H367数控随动高精度偏心轴磨床，工作台采用双层结构，由伺服电机直接驱动，砂轮架采用直线电机驱动；哈斯马格的Multigrind®CA磨削中心采用直驱式磨削主轴；达诺巴特的LG-1000外圆磨床运动轴为直线电机驱动；孚尔默的VGrind340S刀具磨直线轴采用直线电机驱动等。

（3）智能。牧野的SG10高精度数控刀具磨床，具有抑制机床本体发热恒温控制技术；设备具有针对超硬磨削力的监测系统，实时采集主轴负载变化，通过自适应进给功能自动调节提高磨削效率。另外还有运动模拟和碰撞检测、加工监测、在线测量等功能。如孚尔默的VGrind360刀具磨具有碰撞监测功能；TTB的EVOLUTION高精度刀具磨具有高效编程和支持功能，包括强大的3D模拟和精确的碰撞监控；北一机床的B2-K1026随动式数控磨床具有机床状态监控、故障自诊断及异常报警功能等。

（4）精密。CMT2021汇集了众多精密磨床，其主要精度指标，如砂轮主轴、工件主轴的径向/轴向跳动、磨削的圆度/圆柱度/轮廓度/平面度、运动轴的定位/重复定位精度等，多在2 μ m左右甚至更高，表面粗糙度达到0.2 μ m。如大昌华嘉的Moore 500 CPWZ坐标磨、德拉克精密数控螺纹磨床、上海机床H376高精度复合磨削中心、无锡机床WX-1023无心磨床、孚尔默的VGrind340S刀具磨、德马吉森精机的Vertical Mate 85多功能立式磨床等。

六、齿轮类机床

主要技术特点如下：

（1）自动化水平高。如利勃海

尔的LK 280DC刮齿机可完成刮齿、倒棱、去毛刺作业，具有刀具更换装置，齿轮测量功能在主流程进行的同时进行测量与修正。卡希富基的KN80数控滚齿机配置上下料装置，搭载倒棱装置。莱斯豪尔的Rz260蜗杆砂轮磨齿机具有用于修整的C轴数控轴，进行在线修整，双工件主轴技术，在一主轴磨削工件期间另一个主轴执行上料和下料操作。重庆机床的YT7226双工作台磨齿机，可实现工件自动装夹、自动砂轮修整、高速对齿、自动磨削示教、自动修整示教、自动余量分配和自动磨削等整个加工过程的全自动控制。宜昌长机的YK3620数控卧式滚齿机床，具有带位置检测及反馈功能的拉刀机构和自动对刀机构，具有自动锁紧尾座、顶紧力自动调整及检测反馈等功能。南京二机的Y7226CNC数控蜗杆砂轮磨齿机可实现砂轮自动平衡、自动对刀、自动修整、工件自动装夹、自动对齿及自动磨削过程的全自动控制，配备机器人（桁架式或关节式）及料仓等。



(2) 许多厂商的展品采用直驱技术，实现零间隙传动，大大提高了驱动刚度和动态响应速度。如南京二机的YD3132CNC滚倒一体机，工作台回转轴（C轴）和滚刀主轴回转轴（B轴）均由内藏式主轴电机直接驱动，实现零间隙传动，提高了主轴的驱动刚度和动态响应速度。卡希富基的KN80数控滚齿机，主轴与工作台采用内装电机直接驱动，工作台具有自动消隙功能。秦川机床的

YKZ7250数控蜗杆砂轮磨齿机，工件主轴采用直接驱动技术等。

(3) 干切。企业环保意识普遍增强，干切工艺广泛应用，如卡希富基的KN80数控滚齿机、秦川机床的YH系列数控干切滚齿机、宜昌长机科技YKH3180数控滚齿机等。

七、电加工类机床

展品具有如下特点：

(1) 自动化技术广泛应用。如沙迪克的ALN400Qs具有液面自动调整功能和高速自动穿丝装置（FJ-AWT）；苏州电加工所的WK008D智能微孔电火花加工机床，由机械臂自动控制上下物料；苏州宝玛数控的BMT400C具有双向自动紧丝系统；安德建奇的AT40R PCD刀具加工机床具有自动分度监测功能和自动上丝功能，能实现加工件的装卡、测量、修切及检测。

(2) 在保证高精度和精度持久稳定方面，展商各显其能。三菱的MV1200S HS采用直线电机配绝对值光栅尺，提高响应速度和精度，加工件表面粗糙度达到 $Ra0.28\mu m$ 。通用技术集团的AF35E，具有实时放电间隙状态、放电间隙和抬刀智能控制、精确逆向控制、平动控制及高速高精运动控制算法，实现硬质合金加工的 $Ra0.2\mu m$ 高表面质量，模具钢的 $Ra0.1\mu m$ 镜面加工。沙迪克的AP250Ls具有开机即可高精度加工的液冷却装置以及空气循环系统，高速高精的“ECO CUT O-Plus”技术，加工的零件粗糙度 $Ra < 0.15\mu m$ 。安德建奇的AF50采用全闭环反馈等。

(3) 软件功能丰富。如通用技术集团的AF35E具有自动找正与电极防碰撞功能。如苏州宝玛数控的BMD703-500CNC具有“互联网+”功能，实现远程实时监控加工，具有

智能化数据库，加工时可绘图编程，具有图形坐标转换、缩放、旋转、显示跟踪等功能，具有自动找正与电极防碰撞功能，具有工艺专家系统。

八、激光加工类机床

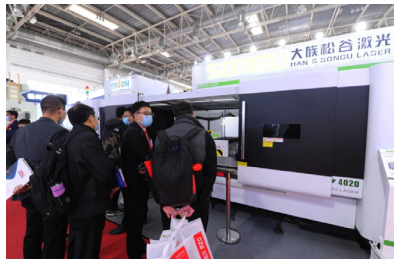
主要技术特点有如下几点：

(1) 大功率激光器。大功率光纤激光器应用发展迅速，能量传输简单、应用成本低、能量转换效能高、材料适应性强、输出功率大、切割的板材厚度大、切割速度快。展品多搭载万瓦级以上激光器。如大族粤铭20000W的高功率光纤激光切割机及超大幅面激光切割机、深圳迪能15000W的D-SOARPlus2560FCCBSD激光切割机、济南邦德20000W的S4020激光切割机、广东宏石20000W的GF系列高功率大幅面激光切割机及15000W的G6025H高功率激光切割机等。

(2) 激光头功能强大。如广东宏石的激光切割头具有系统可查看状态，焦点精准调节，自适应校正，温度实时监控，故障智能预警，主动防碰撞保护功能。如大族激光的光纤五轴激光头实现 $C轴n \times 360^\circ$ 无限旋转， $A轴 \pm 135^\circ$ 摆动，可进行中厚板曲面曲线切割，比传统激光器节能环保，免光路维护，具有焦点精准调节、自动校准、故障报警、防碰撞保护等功能，适用于汽车、模具等领域的碳钢、不锈钢、铝合金、钛合金材料的空间异型三维零件的精密激光加工。

(3) 自动化程度高。三菱的ML4020GX-F60二维光纤激光加工机，搭载新型自动化分拣系统，实现高可靠性和AI引导的“不停顿加工机”生产。大族粤铭激光切割机的自动随动调焦切割头、自动交换工作

台、变频变焦穿孔、自动寻边、超时自动休眠。江苏亚威的HLS系列激光切割机具有上下料装置及料库。深圳迪能的D-SOAR激光切管机卡盘具有自动调节中心功能,能够实现快速定心装夹,同时可以自动调节夹持力度,确保薄壁管不变形,同时具有自动上下料系统。



(4) 高动态的结构设计及驱动。德马吉森精机的LT 20激光加工机床,XYZ轴直线电机驱动,具有高动态性能,加速度 $>2g$ 。深圳迪能的D-SOARPlus2560FCCBSD-15000W激光切割机,龙门架横梁采用航空铝压铸成型,双电机驱动。大族粤铭的展品采用轻量龙门架设计、高扭矩伺服电机双边驱动,保证高加速度和高动态特性。江苏亚威的展品采用直线电机驱动技术,最大速度 $280m/min$,最大加速度 $4.5g$ 。信宜华会的FLC3000-4020高速光纤激光切割机,龙门架采用双驱动系统。

九、成形类机床

有以下几点值得关注:

(1) 高效。设备具有模具库,解决频繁更换模具问题,如德国全斯福的DB 622-CNC-ROBO-R/L机器人弯管单元,机器人配备有左右弯曲头,一次夹紧即可覆盖两个弯曲方向,每个折弯系统可配置6个模具。萨瓦尼尼的多边折弯中心拥有通用的万能折弯模具,可对冲剪好的板材进行柔性折弯,操作人员只需将板材放在工作台上,一次定位便能自动完成

多边折弯。

(2) 自动化程度高。如江苏金方圆ASM数控转塔冲床自动化加工单元,集成上下料机构,可配大型仓储单元。村田机械的M3048TG+HS2512数控冲床+自动上下料装置,实现3吨托盘材料的无人化上下料加工。南通麦斯铁柔性生产线,上料、下料、板料的定位及送进,模具的选择,冲压过程的实现以及故障报警等,均能够通过数控系统控制自动完成。

(3) 适应。专业的软件支持,简化编程和操作功能,降低对操作者经验和技能的依赖,展品显示出很强的适应性和可操作性。如萨瓦尼尼的多边折弯中心独有的智能板材特性自动补偿技术MAC 2.0,实现设备对板材及外部环境变化的自适应;德国全斯福机器人弯管单元具有弯管机器人专用软件;江苏金方圆的机器人自动化折弯单元,折弯程序编辑简单易懂;江苏亚威的机器人折弯单元模块化程序软件等。

十、数控系统

展品主要特点如下:

(1) 智能。数字双胞胎实现虚拟与现实的无缝交互。展品具有自适应控制功能、刀具破损监测功能、误差补偿控制功能、防碰撞刀具工件保护功能、远程故障诊断维护功能等。如西门子数字化原生数控系统、华中HNC-948新一代iNC人工智能数控系统等。

(2) 互联互通。大数据、云计算、物联网技术以及数控系统互联互通技术的发展为智能制造提供了保障,人与设备之间的联接、异构设备之间的互联、设备之间的互操作、应用软件与设备之间的联接等,在系统的支持和控制下,得以实现,极大提

高了生产效率。如西门子系统、华中数控系统等。

(3) 高速、高精度。数控系统控制高速、高精度加工,减小插补误差、缩短插补周期,西门子采用80位浮点计算精度,FANUC31i和三菱M800、M700等系统都实现了纳米插补功能,插补周期在 $0.125ms$ 以下。

十一、刀具类

展品主要特点有如下几点:

(1) 新技术、新结构、新材料。刀具企业不断研究新技术,试验新结构,应用新材料,不断改善切削条件、提高加工效率和工件表面质量。如春保森拉天时复合材料合成镗杆。如瓦尔特的M5130方肩铣刀,经特殊设计,齿数增加、刀片截面加大、定位接合面更大、刀体支撑加强。如上海工具厂的涂层刀具,提高了刀具的高温性能和耐磨损能力,提升了抗冲击能力。如欧士机的刀具涂层主攻高硬材料,兼顾刚性和锋利性。



(2) 整体加工解决方案。很多展商将在不同领域或对典型的零件展示其独到的理解和研究成果,提供专业的具有针对性的解决方案或特殊定制,使得生产成本更低,稳定性更好,加工效率更高。如春保森拉天时电机壳加工解决方案,如郑州市钻石精密制造的球笼式等角速万向节中内外星轮轨道加工解决方案,以及株洲钻石汽车工业、航天航空刀具解决方案等。□

CIMT2021观展体会

中国机床工具工业协会传媒部 黄韶娟

在全行业共同努力下，由中国机床工具工业协会主办的CIMT2021（第十七届中国国际机床展览会）圆满落幕，取得不俗成果。境内外企业参展热情十分高涨，争相在这个全球业界四大之一的平台上展示自己的技术水平和服务能力。据悉，许多展商在展期成交额超出预期，更储备了大量意向客户资源，可谓满载而归、满意而归。作为后疫情时期首个开幕的全球知名机床工具展，CIMT2021吸引了20余万人，现场人流如织。专业观众们通过预先阅读主办方及业界的各类宣传媒介，浏览了海量展商展品信息，并根据各自不同的需求规划参观路线，以便在现场更便捷地获取知识、寻找合作伙伴、挖掘合格供应商，为提升自己的产品质量和提高制造水平积累有用信息。



此次展会上，展出的众多境内外机床展品中不乏精品和亮点。笔者从自己的视角出发汇总了一些观展体会，写出来与大家分享。因时间匆忙，文中不免

存在偏颇或错漏之处，欢迎业界斧正。

1. 高精度机床竞相展出

众所周知，机床被誉为“工业母机”，是制造机器的机器。高精度机床的进步，直接推动着制造业朝着高精尖方向发展。航空航天、汽车、船舶、能源、仪器仪表、3C、先进医学等领域的零部件制造，都离不开高精度机床的支撑。

境外许多企业一如既往地展示着他们的精密机床及其高精度加工能力。比如，大昌华嘉展出了5台基本代表当今市场上应用的较高水准的高精度机床。瑞士Schaublin（肖布林）202TG车铣磨一体机床，一次装夹可实现车削、铣削或磨削的加工，主轴几何精度小于 $0.5\mu\text{m}$ ；632-Y生产型精密车床，采用FANUC数控系统，高刚性设计，具有特殊的热稳定系统，主轴几何精度小于 $0.2\mu\text{m}$ 。德国科恩Kern Evo超精密加工中心，整体大理石机床结构，采用棱柱形导轨和预加载荷的滚柱丝杠，以确保可靠的高精度传动和定位，加速度 8m/s^2 （ $1g=9.8\text{m/s}^2$ ），重重定位精度 $1\mu\text{m}$ ，加工粗糙度 $Ra \leq 0.1\mu\text{m}$ 。

美国Moore 500 CPWZ数控坐标磨床，六轴四联动，X轴对Y轴不垂直度 $0.8\mu\text{m}$ ，位置偏差 $2.0\mu\text{m}$ ，可实现高精度连续轨迹磨削。该机在磨削HRC 60-62的氮化合金钢时，表面粗糙度可达 $Ra0.1\mu\text{m}$ ，面形精度 $2.0\mu\text{m}$ 。美国Moore Nanotech 250 UPL超精密单点金刚石车床，采用整体式复合大理石床身结构，全约束式油静压导轨，直线电机驱动，多孔石墨涂层空气主轴，主轴跳动 12.5nm ，采用激光全息线性光栅尺，X/Z轴反馈分辨率 8.4pm （微米），C轴反馈分辨率为 0.01 弧秒，加工面形精度 $P-V\leq 0.1\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $Ra\leq 2.0\text{nm}$ 。



不过，特别值得关注的是，境内企业本次参展的高精度机床有所增加，很多技术指标已接近或达到国际较高水平，非常令人振奋，说明机床企业对精度的认识有了提高，也具备了高精度机床设计和制造的技术储备和手段。

比如，四川普什宁江 MICRO-T400高精度车床，人造花岗岩材料床身，采用静压主轴和导轨技术，主轴跳动 $\leq 0.15\mu\text{m}$ ，直线度 $\leq 0.3\mu\text{m}/100\text{mm}$ ，定位精度 $\leq 2\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $\leq 1\mu\text{m}$ ，零件加工圆度 $\leq 1\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $Ra\leq 0.2\mu\text{m}$ ，适合高精度丝杠螺母、轴承内外圈、阀芯等零件淬火后以车代磨精加工。通用技术集团展出的TGK4680A数控卧式坐标镗

床，为“箱中箱”式封闭框架结构设计，采用i5数控系统，具有空间误差补偿、RTCP误差智能检测与补偿等功能，主轴几何精度 $\leq 1.5\mu\text{m}$ ，定位精度 $\leq 3\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $\leq 1.5\mu\text{m}$ ，回转轴定位精度 $\leq 3''$ ，重复定位精度 $\leq 1.5''$ ；AF35P高精度全闭环电火花成形机床，搭载自主研发的开放式数控系统，应用全新的运动控制算法，定位精度 $3\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $2\mu\text{m}$ ，加工硬质合金表面粗糙度 $Ra\leq 0.15\mu\text{m}$ ，加工模具钢表面粗糙度 $Ra\leq 0.08\mu\text{m}$ ，可实现镜面加工； $\mu 3000$ /UGT200超精密车磨加工机床，床身采用天然花岗岩材料，整机高性能气浮隔振系统，X/Z轴均采用全约束的液体静压导轨，直线度 $0.5\mu\text{m}/0.3\mu\text{m}$ ，直线电机驱动，控制分辨率 10nm ，主轴采用气体静压支承，回转精度 $0.05\mu\text{m}$ 。湖南中大创远YKA2060全数控螺旋锥齿轮磨齿机，九轴五联动，磨削格里森齿制的螺旋锥齿轮齿面精度可达到DIN3965标准规定的3级精度，齿面粗糙度达到 $Ra0.4\mu\text{m}$ 。江苏博谷智能高精密硬车削机床Microtech 100 HP，天然花岗岩床身，液体静压主轴和导轨，采用SIEMENS 840D数控系统，全闭环控制，主轴跳动 $\leq 0.2\mu\text{m}$ ，定位精度 $\leq 1\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $\leq 0.2\mu\text{m}$ 。等等。



诚然，仅仅靠几个技术指标的数据不能完全说明就是高精度机床了，但可以说具有了高精度机床的基因。高精度的加工也不是仅仅靠精密机床就能解决，还需要一系列配套附件，比如，高精度的精密夹具、刀具夹头、磁力吸盘、机内机外对刀仪等等，这些设备的配备，对实现高精度加工至关重要。数控系统对高精度加工起着关键的作用，系统的跟随误差小，合理的伺服参数调试，可以有效提高机械精度和刚性，增强高精度加工能力等。

一般来讲，有“ μ ”级及以上加工能力的机床才可称之为高精度加工机床，精度稳定性是衡量高精度机床的标志。有恒温的环境与良好的地基，是用好高精度机床的一个前提。影响机床加工精度的因素有很多，比如最基础的机床移动轴直线度和各轴间的垂直度等。企业要深入研究精度问题，真正掌握影响自身机床精度的关键要素，而不是不计成本地提高各项精度。当企业能够低成本地生产高精度机床时，我国机床产业和制造业将有一个飞跃发展。

2. 五轴机床呈普及态势

在以往展会上，五轴机床大多由境外展品占据主导地位。但在本届CIMT展会上，呈现出新的气象。几乎所有境内主流机床企业都有五轴机床展出或已具备五轴机床生产能力。五轴机床的加工优势非常明显，效率高、集约度强、精度稳定，但控制系统和软件的相对复杂，曾一度制约着国产五轴机床的发展。随着高档数控系统自主研发和技术能力的提升，加强了对五轴数控系统的理解和掌握，使国产五轴机床出现了爆发式增长。

科德数控展出了3台五轴机床，分别为五轴立式、卧式及车铣复合加工中心。其中，KMC 800S UMT

五轴立式车铣复合加工中心，采用大理石床身，龙门架设计，双壁支撑的A/C摇篮转台，力矩电机直驱，科德GNC62总线式数控系统，快移速度60m/min，加速度1g。通用技术集团也展出多台五轴机床，其中HTM63150卧式车铣加工中心，五轴联动，力矩电机直驱B轴，双车主轴最高转速3500r/min，铣轴最高转速10000r/min，定位精度0.008mm，加工表面粗糙度Ra0.8 μ m；H80C六轴五联动数控螺旋锥齿轮铣齿机，可干切也可湿切，刀具主轴和工件主轴均采用直驱技术，最高转速6000r/min，最大加工件直径 Φ 80mm，加工模数范围0.7~2，加工精度（DIN）5级。秦川机床VMC40U高精度五轴卧式加工中心，A/C轴摇篮转台，主轴最高转速40000r/min，快移速度60m/min，重复定位精度3 μ m。普什宁江THM6363IV五轴卧式加工中心，床身采用整体式正T型结构，立柱为热对称性和稳定性好的整体框式结构，采用西门子840Dsl数控系统，电主轴最高转速15000r/min，力矩电机直驱A/B轴可倾回转工作台，快移速度45m/min，定位精度6 μ m。湖南中大创远YKA2060九轴五联动螺旋锥齿轮磨齿机，工件轴和砂轮轴均为电主轴，具有砂轮自动修整功能，采用展成法磨削圆弧齿的各种螺旋锥齿轮，自主研发的HGS加工软件集成在西门子840Dsl数控系统中，磨齿精度可达到DIN3965锥齿轮和准双曲面齿轮精度标准规定的3级，齿面粗糙度达到Ra0.4 μ m。北京电加工所HS-600精密数控电火花小孔加工机床，采用基于Windows的数控系统，六轴五联动，可实现多姿态下的电火花微细加工及异形孔加工，配备具有电容增爆、微精加工、低损耗加工回路等诸多功能的特色精密微细电源，配备高速旋转轴高压冲水、自

动换丝、穿透检测等功能模块，加工孔直径 ϕ 0.2~ ϕ 3.0mm。北京精雕JDMRT600五轴高速加工中心，具备“0.1 μ m进给、1 μ m切削、nm级表面粗糙度”加工效果，标配精雕数控系统和JD180S电主轴，最高转速15000r/min，Y轴双丝杠驱动，快移速度48m/min，摇篮式双轴直驱转台，具备刀具3D圆角补偿功能，配合激光对刀仪，可补偿刀具直径误差与轮廓误差。

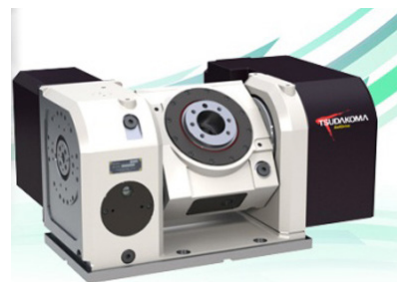


值得一提的是，境内企业展出的高精度机床和五轴机床，很大一部分是配置自主开发的数控系统，这个进步使人看到了国产机床的曙光，也见到机床国产化迈出了可喜的一大步。依靠专业的研发队伍，北京精雕的CAD/CAM软件、数控系统、电主轴都实现了完全自主生产。科德数控一直坚持只销售配置自己数控系统的机床。放眼整个中国机床行业，这些都是难能可贵的。

数控机床的产业链很长，特别是五轴机床，数控系统和功能部件都相对复杂，对刀具的要求也更高，影响机床可靠性的环节增多，这些都需要从基础抓起，扎扎实实打好基础。虽然我们处在全球经济一体化的今天，但还是提倡培育国内高质量的供货商，不仅增强设备数据的安全性，也可为企业保留较大利润，有利于企业的可持续发展。

3. 行业细分领域仍有深挖潜力

津田驹展示了采用最新的BallDrive[®]滚珠驱动技术的数控转台，可实现无背隙驱动的高精度加工。由钢球的滚动实现高效率传动，通过强大刹车力实现稳定分度。针对轻负荷加工场合的大批量生产，以无刹车加工节省夹紧松开工件来进一步提高生产效率，精度保持性好，也可降低故障率。和常规蜗轮蜗杆传动产品相比，分度定位速度提高两倍，进一步缩短了加工周期，延长了使用寿命。这个产品给我们的启示是，颠覆性的创新可以极大地提高生产效率并降低成本。亦即，要下大力气追求专精特新。



法孚（Fives）没有实物展品展出，在展台上重点介绍了其旗下的兰迪斯磨床公司长期致力于为全球汽车产业提供更多的产品和服务，拥有凸轮磨、曲轴磨、双端面磨、无心磨以及高精度车床和镗床等多种类产品，并潜在在曲轴随动磨削领域深耕细作。产品涵盖摩托车类小型曲轴到8米长的大型船用曲轴，中间覆盖轿车、卡车、重型汽车等规格。兰迪斯在加工精度上追求卓越，不管是尺寸精度还是圆度都做到 μ 级，而且出厂

值全部压缩至公差 $1/2$ 以下，以确保足够的精度储备和长期的精度稳定。在生产效率方面，追求高精度和快节奏的平衡，通常五个主轴四个连杆轴的曲轴，磨削工序从装夹到成品只需100s。基于他们长期积累的加工经验以及专用软件的应用，在此细分领域，基本没有太多的竞争对手，由此可获得较大利润。兰迪斯磨床的数控系统，是在西门子的工控机硬件基础上，应用博世力士乐的驱动技术，自主开发专用的操作系统和独特的操作界面，对于曲轴磨削加工更加便捷和易用。这些做法都可以为我们深化细分领域的产品和市场拓展提供参考。

我国磨床行业的骨干企业北二机床和上海机床也相继开发了曲轴随动磨床，加工精度满足要求，并得到用户认可，正在加强市场推广应用。

借鉴德国和日本等机床发达国家

的成功经验，国家和地方相关部门在培育“隐形冠军”、“小巨人”企业方面出台了许多有利政策，企业在利用好政策的前提下，最核心的还是要为市场提供性能稳定、质量可靠、高效易用的专精特新产品，从而推动机床产品质量的提高和效率的提升，进而获得更多的市场份额，创造更多的价值。企业的发展要与市场需求紧密结合，做出适应性的调整才是睿智之道。要深挖垂直细分领域的机会，潜心核心技术研究以及经验积累和知识沉淀，力求提供独一无二的整体解决方案，做出自己的特色，避免陷入新一轮的同质化竞争。突出“创新驱动”和“品牌驱动”，提高全员劳动生产率，保持企业的长久生命力。

高精度机床、五轴加工机床是未来智能制造的基础。近些年，在国家一系列政策引导下，在重大专项的有力支持下，我国数控机床的技术水

平和制造能力有了很大提高，国有企业和民营企业都有良好表现。当然，技术的进步从来不是一蹴而就的，长期坚持基础技术和共性技术研究非常必要，新技术的应用也必不可少。机床行业还需要持续进行铸件、大理石等基础件材料研究；主轴、丝杠、导轨、轴承、蜗轮、齿轮等关键零部件材料及热处理的技术攻关；优化机床设计技术，进行整机和部件的动静刚度匹配研究、动态性能研究，提高仿真分析水平等；深入制造工艺技术研究，将精益生产理念贯穿于整个产业链，研究装配工艺及调试技术，完善各制造过程的检验检测规范等；用刀具、软件等新技术的发展带动机床加工精度和可靠性的提高，从硬件到软件尽量做到自主化，包括芯片的自主化等等。如此，国产机床将会有更大的进步，向智能制造转型和高质量发展也终将水到渠成。□

（上接第46页）

建议有关部门加强对原材料价格的宏观调控，抑制价格的异常上涨，维护企业正常经营，推动产业链上下游的健康发展。

（2）机床工具行业人才缺乏问题突出

在近年来机床产业持续下行情况下，行业利润率持续走低，工作相对辛苦，技能要求相对较高，工资水平却很难大幅提升，从而导致越来越多的年轻人不愿从事机床行业。企业普遍反映，专业技术人才招聘困难重重，高端人才更是难找。铸造、焊接、机加、装配等产业工人招聘也愈加困难。

建议国家加大对专业技术人才的培养，重视技工培养，培育具有工匠精神

的专业技能人才。同时研究出台稳定和培养专业和技能人才的政策。

（3）突破卡脖子问题所需研发投入不足

由于机床工具产品利润率不高，企业研发投入普遍不足。特别是高端机床、数控系统、精密传感器、关键功能部件等卡脖子领域，技术水平上与国外差距大，需要的科研资金投入很大，大多数企业无法负担。

当前国内外各方面情况的演变，给高端机床及配套功能部件、数控系统等国产化替代创造了良好的条件，特别是机床工具的用户企业对国内产品的接受意愿大为提高。建议国家加大支持力度，使一批具备攻关条件和基础的企业脱颖而出，尽快解决

卡脖子问题，并带动行业转型升级。

总体来看，一季度机床工具行业市场需求快速增长，行业运行稳中向好，实现了全年开门红，为全年运行打下了良好基础。但原材料价格的大幅上涨问题比较突出。全球疫情防控形势依然严峻，外部环境依然复杂。

综合考虑各种因素和目前机床工具行业较好的发展趋势，我们预计，如疫情没有严重的反弹，不确定因素得到有效应对，各项政策持续显效发力，2021年机床工具行业将延续2020年恢复性增长态势，主要经济指标有望增长5%以上。考虑到上年基数等因素的影响，增长速度可能呈逐步降低趋势。□

CIMT2021龙门式加工中心展品评述

芜湖恒升重型机床股份有限公司 杨荷妹

第十七届中国国际机床展览会（CIMT2021）于2021年4月12~17日在北京中国国际展览中心（新馆）成功举办。据笔者统计，本届展会上，约25家境内外展商展出了28台龙门式加工中心。

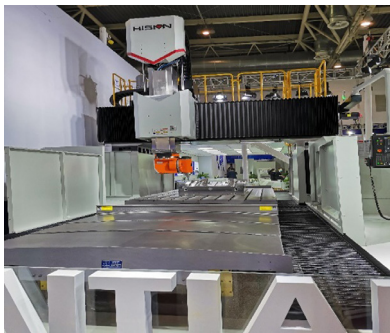
境内展商15家，展出18台，分别是：宁波海天精工股份有限公司、通用技术集团沈阳机床有限责任公司、北一机床有限责任公司、山东蒂德精密机床有限公司、华东数控股份有限公司、山东威达重工股份有限公司、纽威数控装备股份有限公司、南通国盛智能科技集团股份有限公司、意大利（上海）科技有限公司、普锐米勒机床（东莞）有限公司、沈阳泰格科技有限公司、宁波天瑞精工机械有限公司、珠海格力智能装备有限公司、南京宁庆数控机床制造有限公司、河北发那数控机床股份有限公司。

境外展商10家，展出10台，分别是：意大利帕马PAMA公司、OKUMA大隈机械（上海）有限公司、SNK新日本工机株式会社、三菱重工业（上海）有限公司、山崎马扎克（中国）有限公司、西班牙尼古拉斯克雷亚集团公司、高锋工业股份有限公司、高明精机工业股份有限公

司、崧立机电股份有限公司、乔崧进科技股份有限公司。

一、部分展品的特色作简要介绍。

1. 宁波海天精工股份有限公司——GRU28 II × 30龙门中心

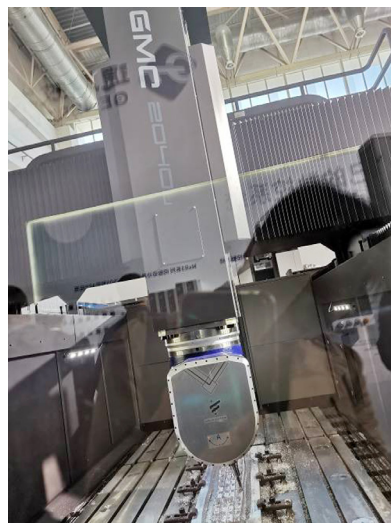


机床具备铣、镗、钻、扩、铰、攻丝、镗削等多种加工功能，零件一次装夹可同时进行五个面上的孔系及平面加工，包括倾斜面、曲面、零件型腔内部孔和平面的加工，广泛应用于模具、航空航天、轨道交通、船舶、家用电器、医疗等高端制造业。

机床主要结构特点：采用大框架、高刚性的龙门结构，精度保持性好，配置完全自主研发的4000r/min

强力主轴，主轴功率22/26kW，主轴扭矩866/1023N·m，主轴内置双列圆柱滚子轴承，输出扭矩大；方滑枕采用全包容四面约束淬硬导轨，双液压油缸平衡，整套系统刚性强，具有强劲的切削能力和精度稳定性；X、Y轴采用线轨结构，配合大功率伺服电机驱动，提升动态特性。该机床自主研发，技术水平处于国内同行前列，可替代进口产品。

2. 通用技术集团沈阳机床——GMC2040u桥式五轴龙门加工中心



本机床是针对铝合金结构件、复合材料零件等大型复杂曲面难加工件研发的优秀产品，广泛服务于轨道交通企业、科研机构等，满足了我国重要工业领域、重点行业对此类高端五轴机床的迫切需求。

本机床为桥式龙门结构并采用模块化设计，可快速响应客户的个性化需求，大幅缩短生产制造周期，同时也有利于客户的后期改制。标准型产品直线轴采用直线导轨，快移速度可达25m/min，加速度可达3m/s²，定制产品快移速度最高可达60m/min。标准配置拥有自主知识产权的沈阳机床S2双回转摆动铣头，摆轴速度为60r/min，主轴转速24000r/min，A、C轴定位精度为6"，各项指标均已达到国际先进水平。配置自主研发的i5智能数控系统，可实现远程控制、远程工艺指导、远程参数优化等网络化、智能化功能。

3. 山东威达重工股份有限公司——GMC2232bu五轴桥式龙门加工中心



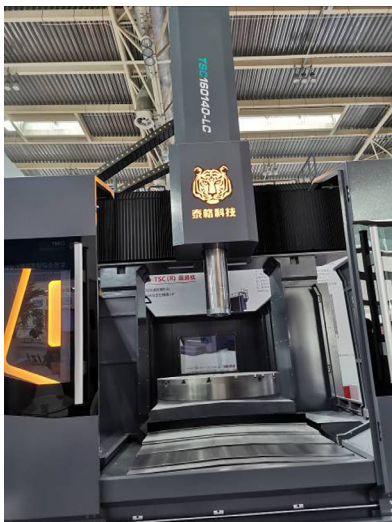
本机床采用最新的机型结构，模块化结构设计，左右床身底座和工作台三大组件连为一体的桥式床身结构，一体式床身工作台及立柱构成U型框架结构，大大提升了整体结构刚性，适用于汽车模具、航空航天、印刷、包装、纺织、军工等各种机械加工领域。

机床立柱采用“蜂窝型”仿生学结构设计，横梁、滑板及滑枕均采用

“箱中箱”结构。横梁的X轴采用双立柱与重心驱动的结构设计，提高加工稳定性。X、Y、Z轴采用“中空丝杠”及“螺母循环油冷”技术，X、Z轴采用双滚珠丝杠同步双驱技术，配合全闭环控制，提高精度和可靠性。另外，X轴配置德国阿尔法精密高精度行星减速机。X、Y、Z轴采用重载直线滚柱导轨，承载能力强；X、Y、Z轴采用油脂润滑系统，既绿色环保又可靠安全。滑枕两侧对称布置平衡油缸，Z轴响应速度快。内藏式主轴设计，主轴最大转速18000r/min，功率30/35kW，内孔锥度采用HSK-A63，采用大功率精密主轴温控水冷机。

机床配置意大利双臂叉式五轴铣头，力矩电机直驱，绝对式编码器直测，精度永久，标配双螺旋及横向链板排屑器。

4. 沈阳泰格科技有限公司——TSC160140-LC龙门式镗铣加工中心

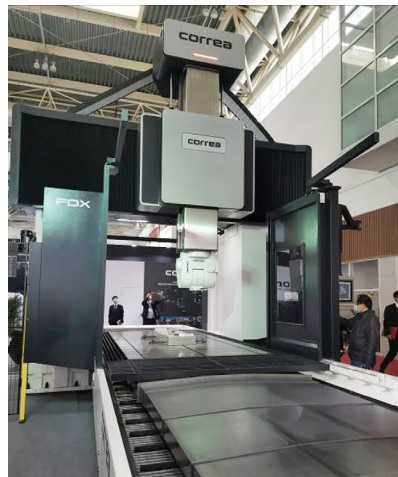


本机床是专门针对小孔径内腔加工而研发的一款高性能6轴4联动龙门加工中心，具有完全知识产权，采用圆滑枕、圆工作台结构形式，别具特色。圆滑枕为特殊合金钢38CrMoAl，具有高刚性、高弹性、高渗透性及记忆性能，截面直径

φ340mm，可实现最小内腔加工直径φ345mm；滑枕行程1400mm，完全满足超长筒类零件加工。

机床横梁升降W轴回转工作台直径φ1600mm，采用大扭矩双伺服电机+双直角减速机同步驱动，通过电气预载实现C轴消除，定位精度±4"，重复定位精度±2"。横梁升降W轴采用双伺服电机同步驱动控制技术，绝对值光栅尺进行闭环位置同步控制。X/Y/Z/W/C轴加速时间0.2秒，各轴性能匹配优异。

5. 西班牙尼古拉斯克雷亚集团公司——FOX40数控定梁龙门式加工中心



本机床具有先进的设计新理念，外观精美，功能强大，结合了龙门传统的粗加工能力、加工效率、加工精度，三位一体。无论是粗加工还是精加工，其参数制定基于动态加工需要都能满足。

机床垂向轴（Z轴）滑枕采用水冷式摩擦导轨，全对称设计，滑枕即使在最低位置时，仍能保持最佳性能，改善了机床的几何精度，在温度变化时，几何精度稳定。滑枕内部有流动的空气循环冷却，采用了实时温控系统；滑枕截面大，尺寸540mm×550mm。立柱内填充混凝土，加大了减震性。X、Y轴采用V型直线导轨，最大进给速度均可达

30m/min。

机床系统设置了待机功能和自动关机功能,节省20%总能耗。标配机械式五轴联动铣头,内孔锥度采用BT50,最大转速4000r/min,功率37kW;也可选配万能电主轴五轴联动铣头。

本机床备有数十种各具特色功能的铣头可供选配,还提供平旋盘、车削附件头选用。

6. SNK新日本工机株式会社——RB-5M II-E龙门式五面加工中心



本机床是高性能畅销机型,可适应钢材、钛合金、铝合金等各种材质加工。主要结构性能特点:采用圆立柱、圆滑枕,实现横梁、主轴头全包围结构;减小主轴中心到立柱中心的间距,使横梁与主轴头的中心距离达到最小化,实现稳定的强力切削;主轴头通过优化材料厚度、加强筋位置,与旧机型RB-M相比,静态刚性提高1.4倍,同时减轻了10%的重量。

(1) 该系列机型圆立柱、圆滑枕采用离心铸钢管独特技术,向高速水平旋转的模具内注入精炼钢水,通过离心力作用,使钢水均匀地紧密附着在模具内壁,并在高圆度状态下凝固。通过充分发挥公司致密强韧的高品质离心铸造管的特性,确保设备刚性。圆形立柱采用完全热对称、全包裹式,不会因环境变化导致立柱中心的倾斜,保证机床精度稳定,确保高精度加工。

(2) 圆滑枕截面直径 $\phi 300\text{mm}$,上下移动(Z轴)采用硬轨和线轨相结合的“复合型导轨”,降低导轨的磨损,持久保持高刚性。工作台前后移动(X轴)、主轴头左右移动(Y轴)采用线性导轨,实现流畅、精确的定位。另外,机床采用大直径滚珠丝杠,提高动态精度,实现Z轴全行程强力切削。Y轴滚珠丝杠标配中心冷却功能,在确保长时间稳定加工的同时,有效延长滚珠丝杠寿命。用户可以根据实际加工情况选配X轴/Z轴丝杠中心冷却功能。圆滑枕相对于方滑枕,主轴头盖板设计更加紧凑,与旧机型相比体积减少12%,工件的接近性更好,加工时能够使用最短的工具,加工现场的干涉检查更加简便。

(3) 机床标配直角附件铣头,客户可根据需求选配多种附件铣头。通过使用SNK独自开发的4轴控制技术,使X、Y、Z、W轴都由数控控制,都能够作为定位轴、加工轴使用。利用附件铣头进行侧面加工时,以立轴坐标系为基准设定附件的编程坐标系。程序使用时,超出Z轴行程的情况下,其超出部分会自动分配给W轴,实现Z+W轴联合动作。因此,使用者无需考虑分配Z/W的行程,仅使用Z轴指令,即可进行Z+W轴的全行程编辑。

(4) 本机床具有热变位补偿功能,可供客户选配。Z轴热变位补偿:机械加工时,主轴旋转引起主轴轴承产生热量,将热量传递给主轴,直接影响其加工精度。虽然通过主轴周围循环油冷来尽量减小温度变化,但无法完全消除热变位。该功能通过监控补偿热变位,可以预测相应变化,将主轴前端Z轴方向的热变位正确地控制为零,实现高精度加工。

环境热变位补偿:在各部位安放温度感应器,及时获取设备各部位的温度变化,根据环境温度与地基温

度、床身温度,由PLC推算出XYZ轴在各位置上的变位量,实时补偿和抑制一般环境下易受热变位影响的工作台各方位的热变位量。此外,基准感应器无需设置在机床移动体上,因此可后续追加安装。

7. OKUMA大隈机械(上海)有限公司——MCR-BV30龙门式五面加工中心



本机床集高刚性、高精度的机床结构及高度智能化等亮点于一身,吸引了众多观众前来观看。其主要结构性能特点:

(1) 机床标准配置高扭矩、大功率的内置式电机,功率30/37kW,主轴转速最高为6000r/min,在Z轴伸出600mm时加工能力达到1170cm³/min(切削材料为S45C)。

机床采用方形立柱,对上下左右以及扭曲等的负荷具有足够的刚性,耐重切削、能够维持较高的精度。主轴头左右移动的导轨面是宽幅的高刚性矩形截面形状,通过横梁上的辊子由自重平衡装置支撑,可实现高速高精度的加工动作,获得高品质的加工面。

机床工作台的厚度比传统机型厚30%,工作台的移动采用了滚动导向式,工作台和工件的重量全部由淬火磨削而成的导轨面上的4个滚柱轴承支撑。负重不受工件重量变化的影响,可实现轻快流畅的动作及准确的

定位。在工作台中间铺设了与滚珠丝杆水平方向平行的滚动导向的辅助窄导轨，可长时间保持稳定良好的直线运动。

(2) 机床配置丰富的主轴头。主轴头库设置于立柱后部和刀库背面，需要更换主轴头时，主轴头库向横梁下方移动，主轴头进行自动更换。刀库刀具的更换通过一条更换臂即可自动更换至纵、横两轴。另外，本机可在加工过程中将下个刀具传输至待机位置，实现最短换刀时间。

(3) 本机床通过自主研发的数控装置OSP的“高精度热位移控制技术”不但能够准确控制由室温变化、转速频繁变化所产生的主轴热位移，还可以准确控制工作台因热膨胀导致的尺寸变化、切削液的温度变化产生的热位移等，实现了尺寸稳定性。

(4) 通常机床在使用一段时间后，机床精度会变化。本机具有精度稳定诊断功能，当机床精度变化时可以进行自我诊断，发出消息或警报通知，将其显示在画面上。操作者利用3D校准功能，通过在工作台上安放绝对

精度标准的基准量具，并通过简单的操作进行接触式测头的自动测量检查和校准机床精度。通过定期校准，可以长期保持高精度。

(5) 本机床的“智能化技术”在加工车间发挥作用。伺服控制优化功能通过测算工作台上工件、夹具的重量，自动设定包括加速度的优化直线轴伺服参数，在维持加工精度的前提下，提高加速度，缩短加工时间。常规方式的工作台不受工件、夹具重量的影响，进给加速度相同。

二、结束语

本届展会上，龙门中心从小型到大型都有展出。龙门式加工中心传统形式是定梁式（横梁固定、工作台移动）和动梁式（横梁上下移动、工作台前后移动），相对占地面积大，而桥式龙门结构占地面积约是传统工作台移动式的56%，固定式工作台承载能力提高一倍，且机床加工特性不受工件质量的影响。例如展出的通用技术集团沈阳机床的GMC2040u、

山东威达GMC2232bu、南通国盛GMB2528LX等。

模块化设计、高速度、高精度是总的发展趋势。滚动导轨、双伺服电机双丝杠重心驱动、双齿轮消除等技术已在龙门加工中心上广泛使用。

龙门加工中心硬件和软件上的核心功能部件是五轴铣头和数控系统，五轴铣头等功能附件的国产化为提升国产龙门加工中心的水平奠定了基础，配置的数控系统大部分为国外系统，国产替代仍有相当长的路要走。

从展会可以看到，随着航空航天、汽车制造、模具制造和医疗器械等行业的发展，龙门加工中心的需求旺盛，并将伴随着中国经济向高质量发展而加快升级步伐。

随着NC-Link数控装备工业互联网协议团体标准的贯彻实施，机床制造业将朝着数字化、智能化、网络化方向更快发展。

为了实现碳达峰、碳中和目标，企业应注重以绿色方式生产更加节能环保的产品。通用型的产品将逐渐被定制化的中高端产品所替代。□

资讯

汇专科技获2020年度广东省科技进步奖一等奖

2020年5月20日上午，广东省科技创新大会在广州召开，表彰2020年度优秀科技成果和科技工作者，会上颁发了2020年度广东省科学技术奖，由广东工业大学、汇专科技集团股份有限公司等单位共同完成的“高质高效医疗防护制品制造装备关键技术及产业化应用”项目，获得2020年度广东科技进步奖一等奖。

该项目全力配合国务院、广东省各级政府对疫情物资生产部署，针对医疗防护品制造装备存在自动化程度低、生产效率低、稳定性差等关键技术难题，快速组织技术攻关，在口罩机核心部件超声波焊接系统、口罩机、贴条机等医疗防护品高质高效制造装备的设计、制造与大规模产业化应用方面取得了重大突破。



由中国机械工程学会组织，谭建荣院士为主任、单忠德院士等为副主任的鉴定委员会一致认为，汇专超声焊接系统整体技术达到国际同类技术先进水平。此次获广东省科技进步奖一等奖，是汇专近年来坚持自主研发、技术创新的成果体现。（供稿：汇专科技集团股份有限公司）

微型滚珠丝杠副动态预紧转矩测量仪研制

北京机床所精密机电有限公司 焦圣松

【摘要】基于相关标准并结合滚珠丝杠副微型化的发展，研制了一种滚珠丝杠副动态预紧转矩测量仪。在没有外加载荷的情况下，测量滚珠丝杠副在有效行程内丝杠和螺母之间的转矩值。该仪器主要由机械主机、控制系统、测量系统等多个部分组成。工作台由母丝杠驱动，2套伺服电机在PLC的控制下带动被测滚珠丝杠副和母丝杠同步运动，测量软件参与运动控制并实时采集和处理数据。目前该仪器已经推广应用于多个厂家，是衡量滚珠丝杠副产品性能的重要设备之一，为滚珠丝杠副的生产厂家提高自身产品质量提供了有效的检测手段。

滚珠丝杠副是由丝杠、滚珠和丝杠螺母等组成的机械元件，其主要功能是将旋转运动转化为直线运动。滚珠丝杠副因其高定位精度、高传动效率、运动平稳、结构紧凑等特点在机械、航空、半导体等各行各业中得到广泛的应用。

动态预紧转矩^[1]的变动量 ΔT_p 是滚珠丝杠副的重要检测指标之一，滚珠丝杠副预紧力的大小，直接影响其动态预紧转矩。如果预紧力过大，相应的温升、磨损、轴向刚度等都会增大，影响滚珠丝杠副的可靠性和寿命；如果预紧力过小，不能有效地消除间隙，轴向刚度小，精度和精度保持性难以保证^[2-3]。鉴于预紧转矩在装配环节可调整，研究出更加精准且操作方便的测量仪器^[4]具有重要意义。常见的几种预紧方式^[5]及其特点如表1所示。

表1 滚珠丝杠副的常见预紧方式

预计方式	单螺母增大钢球预紧方式	单螺母变位导程预紧方式	双螺母垫片预紧方式
特点	丝杠和螺母之间选用直径较大的钢球装入其中，在一定范围内钢球直径越大，预紧力越大；钢球与滚道之间四点接触	将螺母的内螺纹滚道在中部的一圈上产生一个导程突变量，从而使左右端的滚珠在装配后产生轴向错位实现预紧；钢球与滚道之间两点接触	在两个螺母之间装入垫片，靠修配垫片的厚度来实现预紧力的调整；钢球与滚道之间两点接触

一、测量仪技术指标及原理

本次研制的滚珠丝杠副动态预紧转矩测量仪是北京机床所研制的新一代产品^[6]，主要用来检测微型滚珠丝杠副。微型滚珠丝杠副的特点是：驱动力小，不能靠自身的螺旋升力驱动工作台；长度短，在测量时不能影响其有效

行程；理论预紧转矩很小，在有些应用中，预紧转矩的范围只有 $0.001\text{N}\cdot\text{m} \sim 0.003\text{N}\cdot\text{m}$ 。综合这些特点所设计出的测量仪，其测量规格、机械结构、测控系统等都与常规产品有很多不同^[7]。

1.主要技术要求：

- (1) 被测滚珠丝杠副的最大长度：500mm。
- (2) 被测滚珠丝杠副的公称直径： $\phi 4-\phi 50\text{mm}$ 。
- (3) 被测滚珠丝杠副的螺母最大直径： $\phi 120\text{mm}$ 。
- (4) 最高转速：150r/min。
- (5) 测量转矩范围： $0.001 \sim 9.999\text{N}\cdot\text{m}$ 。
- (6) 转矩显示分辨率：0.001N·m。

2.检测项目及方法

检测项目及方法符合GB/T 17587.3—2017(eqv ISO 3408-3:2006)^[8]。其检验项目为：

- (1) 实际平均动态预紧转矩，

T_{pa} 。

(2) 动态预紧转矩的最大值,

T_{amax} 。

(3) 动态预紧转矩的最小值,

T_{amin} 。

(4) 动态预紧转矩带宽, dT_{pa} 。

检测方法如图1所示, 将等待检测的有预加载荷的滚珠丝杠副(两端有或无密封件)安装在测量装置上, 测力传感器通过传力体组件与滚珠螺母接触, 力臂 L , 测量时滚珠丝杠以恒定转速分别在正、反两个方向旋转, 滚珠螺母仅移动, 不转动, 工作台在母丝杠的驱动下与滚珠螺母始终保持同步移动, 记录下测力传感器的示值。

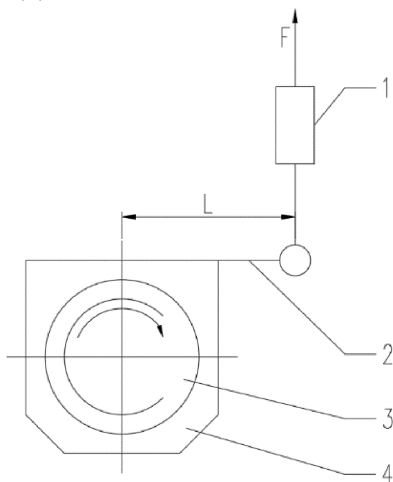


图1 滚珠丝杠副动态预紧转矩测量方法示意图

1.测力传感器 2.传力杆 3.丝杠 4.螺母

3.测量原理

该仪器所应用的测量原理如图2所示, 经过充分跑合的被测滚珠丝杠副装夹完成后, 由伺服电机带动被测丝杠1做旋转运动, 螺母2的法兰安装孔上插入传力销4, 传力销4搭在传感器组件5的受力轴3上, 工作台7由母丝杠8进行驱动, 并根据被测滚珠丝杠副的不同导程而自动调整速度, 使工作台与被测滚珠丝杠副的螺母始终保持同步运动, 受力轴3的上母线与机床中心高保持一致, 传感器6安装

在工作台背面。测量时, 螺母与丝杠的预紧转矩以力 F 传至受力轴, 测力传感器将测到力 F 的信号传至电器柜。转矩仪电器柜内装有智能型转矩信号调理电路板, 它将力的大小转换为数字量, 同时乘以力臂因数即可得到所测量的预紧转矩, 并予以显示。电器柜内还装有工控机, 专门设计的接口电路用于实现转矩与计算机间的数据传送。计算机用以进行人机对话, 实现测量的操作, 对测量的转矩值自动采集, 并进行数据处理, 通过显示器实时显示测量结果。打印机用于输出测量结果报告。

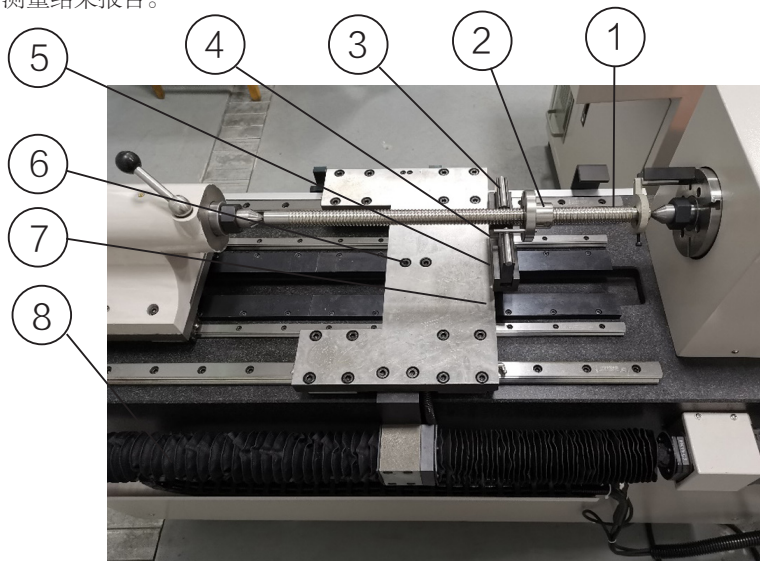


图2 测量原理简图

1. 丝杠 2.螺母 3.受力轴 4.传力销 5.传力体组件 6.传感器 7.工作台 8.母丝杠

二、机械主机

该仪器主要由机械主机、测控系统等多个部分组成。其机械主机如图3所示, 测量仪的床身采用焊接基座和花岗石台面组成, 主导轨、副导轨都采用滚动直线导轨副结构, 被测丝杠由双顶尖夹持, 安装方便, 并且头架与尾架的同心易于保证; 工作台由母丝杠驱动, 运动平稳, 更加适合驱动力小的微型丝杠; 两个伺服电机分别带动母丝杠和主轴做旋转运动; 为了实现高回转精度, 设计了具有精密轴系的主轴箱; 为了克服因转矩波动或热变形^[9]产生的轴向微位移对测量带来的影响, 设计了装有弹簧机构的尾架。

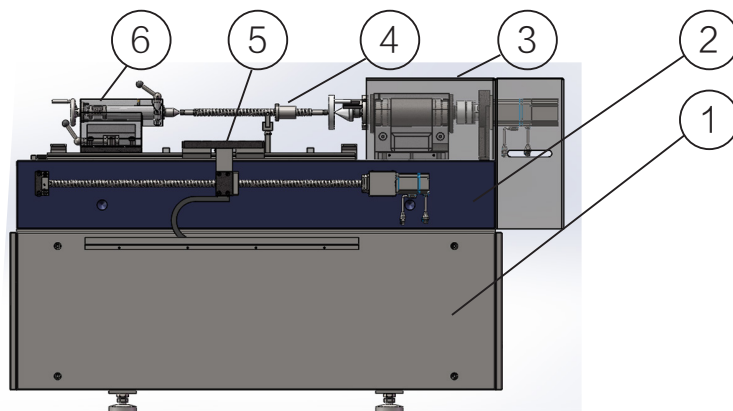


图3 测量仪机械主机结构简图

1.机架 2.花岗石床身 3.主轴箱 4.被测滚珠丝杠副 5.工作台 6.尾架

三、测控系统的研制

1.测控系统结构

测控系统主要分为控制和测量两大部分，其原理结构如图4所示。在操作的过程中，测量软件参与运动控制。

控制系统主要由电气控制面板、工控机、PLC、驱动器、伺服电机等结合起来实现具体的动作，系统工作方式分为自动模式和手动模式。在自动模式下，当被测丝杠的转速、测量长度等参数输入到测量软件中，软件可以自动计算出电机的频率和脉冲数，并将指令传达给PLC，由PLC对驱动器1发出指令，从而控制伺服电机的动作，实现两轴位移的同步，直至测量行程结束或者接触限位开关。在手动模式下，可以实现两轴的各自动作，方便系统调试过程和被测丝杠装夹时的调整。

测量系统主要由传感器、信号处理板、单片机、数据采集卡、工控机、测量软件等组成。其中，传感器、信号处理板、单片机组成了相对独立的单元，能够完成实时数据采集及显示的功能；工控机、数据采集卡和测量软件则完成部分运动控制及数据采集和处理功能。该仪器选用了高精度压力传感器，避免了拉压力传感器在正反向测量时因受力方向不同而影响结果的评定，并兼顾了测量力矩范围的扩展，用一个传感器可以满足较大的测量范围。开始测量时，采集到压力传感器的信号后，信号处理电路板经过一系列的整形、滤波、放大、模数转换等处理，经过处理后的信号送往工控机中的数据采集卡，最终由测量软件完成数据采集及处理。为了便于传感器定期校准，在信号处理电路中利用单片机设计了定标功能，可以定期用标准砝码对传感器进行标定，有效地解决了传感器零点漂

移等问题带来的测量误差，保证了传感器精度的长期稳定。

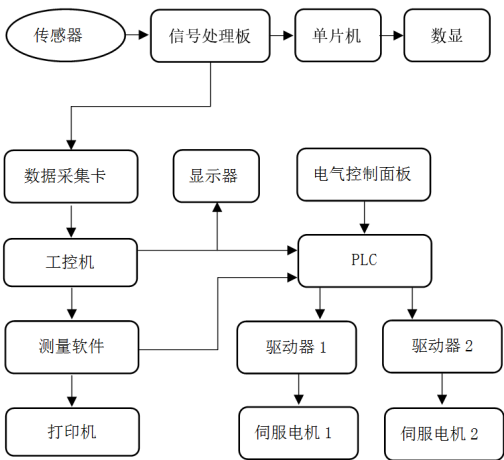


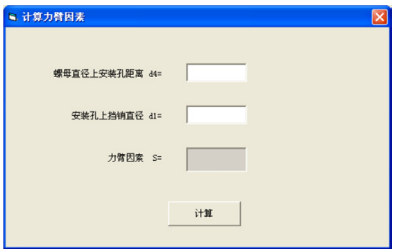
图4 测控系统原理结构框图

2.测量软件

测量软件是测控系统的数据采集、数据处理、数据输出和人机交互的关键。硬件是整个装置正常工作起来的物质基础，而一个操作方便、界面友好、功能强大的软件是整个装置能够高效率工作的必要保证。

该仪器软件功能及特点如下：

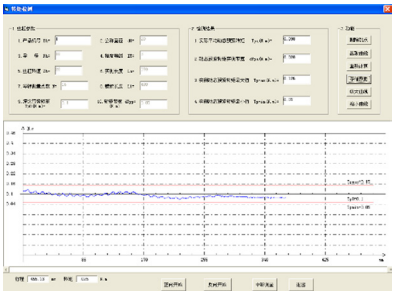
- (1) 能实时采集、处理、显示、存储参数值。
- (2) 能自动查询相关标准中的允许偏差。
- (3) 可以对测试数据及曲线进行截取及剔除突跳等操作。
- (4) 自动记忆所输入的参数。
- (5) 方便对已存储的历史结果进行查询。
- (6) 可以打印测试结果。
- (7) 系统的整个功能具有菜单和按钮双重操作。
- (8) 操作简洁，维护方便。



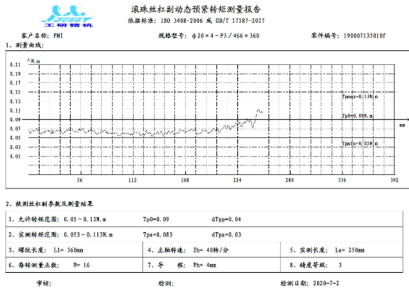
(a)力臂因数计算



(b)参数输入



(c)曲线显示



(d)测量报告

图5 滚珠丝杠副预紧转矩测量软件

软件的主界面主要包括了输入、测量、输出、重现、退出五个模块菜单。首先进入输入模块找到力臂因数计算选项（图5a），输入被测丝杠副的法兰安装孔直径和安装孔的节圆直径，计算出该被测丝杠副的力臂因数并在操作面板的数显屏上输入计算出的数值；之后在输入模块找到参数输入选项（图5b），录入被测丝杠副的关键信息，并设置检测参数；然后进入测量模块（图5c）开始测量，点击正向测量或者反向测量时，软件对PLC发出指令，控制主轴电机按照设置的转速执行动作，延时后程序开始进行数据采集，有效地避免了电机加减速时瞬时冲击和启动转矩所带来的测量误差，完成测量后及时保存数据，并可根据需要进行剔除偶然误差、截取曲线等操作，最终打印测量报告（图5d），完成一次完整的测量过程。软件的执行流程如图6所示。

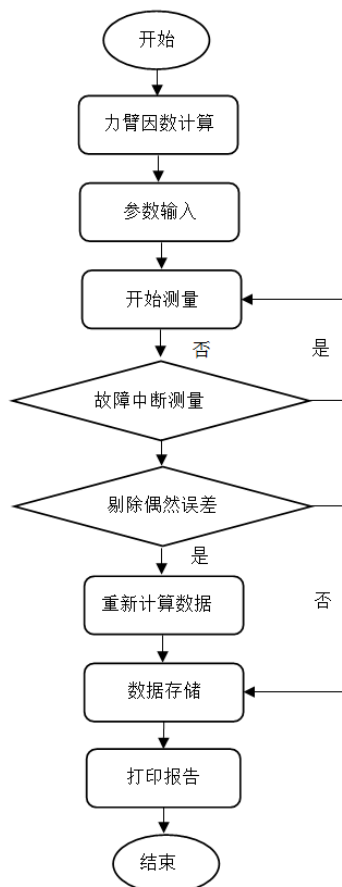


图6 测量软件执行流程图

四、测量不确定度分析

有测量就存在误差，在经典的误差理论中，由于真值或约定真值的不可知性，加之被测量自身定义和测量误差的修正不完善，使测量误差概念和测量误差分析在评定测量结果时显得不完备。测量不确定度是合理表征测量结果的分散性的参数，测量不确定度评定就是对测量结果质量的定量表征，一次完整的测量除了测量结果还要有与其相对应的测量不确定度^[10]。测量不确定度的大小在某些情况下可以代表科研试验的水平，因此需要对测量结果的不确定度进行评定^[11]。在测量要素确定后，不同的测量方法评定出的测量不确定度也是不同的，确定好测量要素和测量方法是进行不确定度评定的先决条件。测量方法不仅仅局限于固定的流程，它还包括测量原理、测量条件、测量设备、以及数据处理等。理论上来说，测量不确定度来源不能重复和缺失，尤其是对结果影响比较大的分量。这需要评定人员对测量设备、条件、程序熟练掌握。测量不确定度评定流程图如图所示。

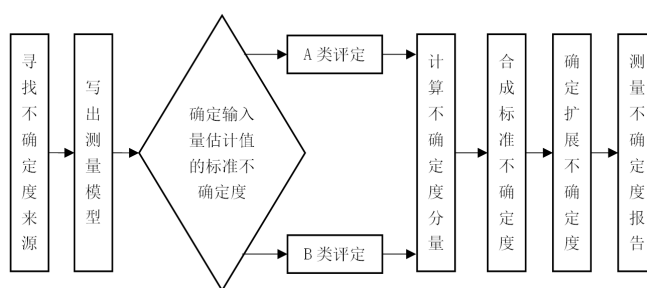


图7 测量不确定度评定流程图

在整个测量过程中测量不确定度的来源有多个方面，比如随机效应、系统效应、数据修约等等。对于一部分尚未认知到的系统误差，显然是会被遗漏下来，但它们可能带来测量结果的误差。对应实际情况，该仪器测量结果的不确定度主要来源为预紧转矩实测值的标准不确定度。参考国家标准《GB/T 27418-2017测量不确定度评定和表示》，输入量最佳估计值的评定基本可以划分为A类评定和B类评定两种，根据具体情况的不同，采用不同的方法评定其标准不确定度^[12-15]。

在该仪器中预紧转矩实测值的标准不确定度适用于A类评定，且有条件进行不小于10次的测量，因此采用贝塞尔法进行标准不确定度的计算。在机械精度验收合格后，对精度等级为P2级的样件滚珠丝杠副2004-450进行重复性试验，一次装夹，正反各10次测量，测量结果如图8所示。

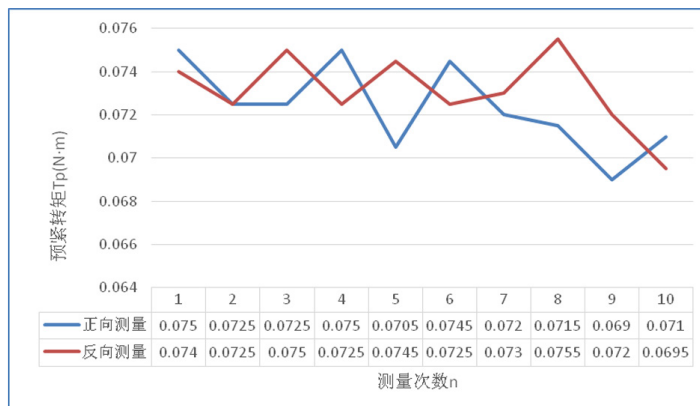


图8 测量数据汇总表

正向与反向的测量结果需分别计算，本次以正向为例，在重复性条件下做 $n=10$ 次独立重复测量，则 Tp 的最佳估值是 n 次独立观测值的算术平均值 $\overline{Tp}$ ，由计算公式：

$$\overline{Tp} = \frac{\sum_{k=1}^n Tp_k}{n} \quad (1)$$

根据定义，用标准偏差表示的不确定度称为标准不确定度。于是单次测量结果的标准不确定度可用贝塞尔公式表示：

$$u(Tp_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (Tp_k - \overline{Tp})^2}{n-1}} \quad (2)$$

显然， n 次测量结果的平均值比任何一个单次测量结果更可靠，因此平均值的实验标准差比单次测量结果的实验标准差更小。

$$u(\overline{Tp}) = \frac{u(Tp_k)}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

对于此次测量来说，灵敏系数 c 取值为1.于是对应于测量结果的标准不确定度分量 $u(Tp)$ 和合成标准不确定度 $u_c(Tp)$ 均可表示为：

$$u(Tp) = c u(\overline{Tp}) = u_c(Tp) \quad (4)$$

扩展不确定度 U 等于合成标准不确定度 u_c 与包含因子 k 的乘积，因此必须先确定被测量可能值分布的包含因子，而其前提是要确定被测量 Tp 可能的分布值。不同的分布类型，其扩展不确定度表示方式如表2所示。

表2 扩展不确定度表示方式

序号	被测量分布类型	扩展不确定度表示方式
1	被测量接近正态分布	用 U_p 表示，查 t 分布表得到包含概率 p 和有效自由度 $veff$ ，给出 k_p
2	被测量接近正态分布，且有效自由度较大	用 U 表示，确定自由度不太小时，可取 $k=2$ 或3分别对应包含概率95%和99%
3	被测量为非正态分布，但接近其他分布	用 U_p 表示，根据具体分布类型给出 k_p 值
4	无法判断分布类型	用 U 表示，大多选 $k=2$

根据表7所列的各种情况分析，对于检测结果的不确定度评定，一般不必对被测量的分布进行判定，可直接取包含因子 $k=2$ 。本次取包含因子 $k=2$ 。

则测量报告中，测量结果为 $7.235 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}$ ，其扩展不确定度 $U_{95}=1.265 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$ ，报告的扩展不确定度是由标准不确定度乘以包含因子 $k=2$ 得到，对于正态分布来说，这对应的包含概率约为95%。

测量结果的不确定度和测量结果平均值的比值为1.75%，小于5%。根据技术要求，在此范围内，则判定重复性合格。图9为产品实物，图10为同系列的其它产品实物。



图9 产品实物图



图10 同系列产品实物图

五、结语

基于上述方案研制的测量仪器，经过多项精度检验，均符合设计和使用要求，可以实时测得滚珠丝杠副的动态预紧转矩，给出动态预紧转矩的平均值、最大值、最小值、带宽值和合格性的判定，并可以打印测量报告。

该仪器已进行商品化推广，实际应用中使用方便，性能可靠，测量精度高，为提高微型滚珠丝杠副产品质量提供了有效的检测手段。□

参考文献：

[1]全国金属切削机床标准化技术委员会.GB/T 17587.1-2017, 滚珠丝杠副 第一部分：术语和符号[S].北京：中国标准出版社，2017

[2]王兆坦，朱继生，刘宪银等.滚珠丝杠副动态预紧转矩主要影响因素浅析[J].制造技术与机床，2019(10):129-133

[3]赵蕾磊，冯虎田，欧屹.预紧力对滚珠丝杠副精度影响的研究[J].组合机床与自动化加工技术，2019(04):58-62.

[4]李春梅，冯虎田，韩军等.滚珠丝杠副摩擦力矩动态测量系统设计[J].制造技术与机床，2010(2):77-81

[5]肖正义，焦洁.高速滚珠丝杠副的研发和测试技术[J].制造技术与机床，2004(4):95-98

[6]陈勇将.精密滚珠丝杠副摩擦力矩研究进展[J].林业机械与木工设备，2016(7):7-11

[7]焦洁，梅景登，刘若华等.滚珠丝杠副动态预紧转矩的测量技术[J].制造技术与机床，1998(11):32-33

[8]全国金属切削机床标准化技术委员会.GB/T 17587.3-2017, 滚珠丝杠副 第三部分：验收条件和验收检验[S].北京：中国标准出版社，2017

[9]周小丹，冯虎田，张鲁超等.滚珠丝杠副转速对温升的影响[J].组合机床与自动化加工技术，2020(07):69-72.

[10]全国认证认可标准化技术委员会.GB/T 27418-2017, 测量不确定度评定和表示[S].北京：中国标准出版社，2018

[11]倪育才.实用测量不确定度评定[M].北京：中国计量出版社.2010

[12]邱英，彭延龄.测量不确定度评定与表示[J].机械工程师，2007(4):00-00

[13]赵春生.测量不确定度的理论与实践研究[D].长春：长春理工大学，2007.

[14]黄晨.用(PUMA)法对引伸计测量系统进行不确定度分析的探讨[J].中国计量，2011(5):74-74.

[15]王振，王军，施娟等.力传感器测量结果不确定度分析与评定[J].工业计量，2020(01):64-67.

直驱式重型旋轮头的研制

武汉重型机床集团有限公司 何发诚 陈 映 张召杰

【摘要】本直驱式重型旋轮头为国家攻坚工程成果。在旋轮主轴系统中，采用短主轴，轴承为分立元件布置。直驱式力矩电机内置于旋轮头体内，定子和转子分别与旋轮头体及主轴联为一体。尾端装有位置编码器用于转速反馈。控制器安装于数控柜内，实现旋轮预旋转和工件防打滑保护。

随着旋压工艺技术的发展，旋压线速度越来越高，为防止旋轮擦伤，要求旋轮具有预旋转的功能。在旋压加工中，旋轮进入时旋轮接触点的线速度必须与工件相等，才不会擦伤旋轮和工件。现代火箭对箭体自身的轻量化要求越来越迫切，对旋压精度提出了更高要求，必须提升旋轮的旋转精度及寿命。受机床结构的限制，重载旋轮头的外形尺寸要求尽可能小。通常的主轴及轴承布置结构满足不了要求；同时，要布置常规的旋轮驱动系统给设计带来了困难。随着强力旋压机的发展，旋轮轴向、径向承载要求达到70t以上，旋轮径跳要达到0.01mm，因此要求旋轮头有更大的承载能力和更高的回转精度。

为了满足现代强力旋压机旋压工艺发展需要，我们研制了直驱式重型旋轮头。

1.直驱式重型旋轮头的结构

直驱式重型旋轮头，包括控制系统、驱动器、力矩电机、位置编码器、旋轮、旋轮头体、旋轮主轴支撑系统。

控制系统中包括有数控系统、

PLC控制器。数控系统的输出端与驱动器输入端相连接，驱动器输出端与力矩电机相连接，力矩电机转子与旋轮主轴直接连接，旋轮主轴与旋轮相连接。在旋轮与数控系统单元之间，设置有转速反馈系统，见图1、图2。

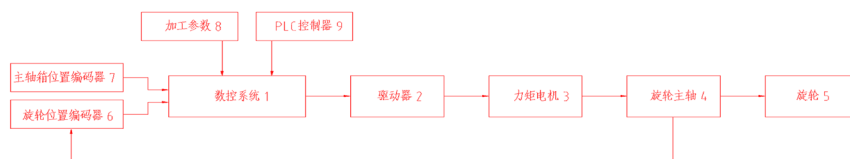


图1 工作原理方框图

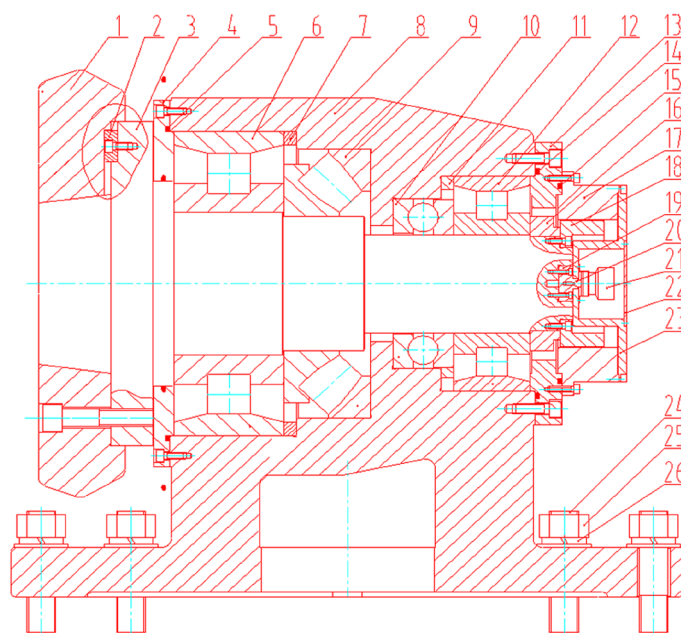


图2 直驱式重型旋轮头结构图

- 1.旋轮 2.平键 3.主轴 4.法兰 5.密封圈 6.径向滚柱轴承 7.垫 8.旋轮头体 9.调心滚子轴承 10.推力球轴承 11.垫 12.径向滚柱轴承 13.法兰 14.密封圈 15.密封圈 16.调整垫 17.电机定子 18.电机转子 19.连接轴座 20.连接轴 21.位置编码器 22.端盖 23.编码器支架 24.双头螺栓 25.螺母 26.垫圈

旋轮头体8是本附件的基座,其通过双头螺栓24、螺母25等将旋轮的承载力传至滑枕。在其安装面上有一圆孔,与滑枕上的大直径圆柱销配合在一起,实现旋轮头的定位,同时承受纵向旋压力。旋轮头体采用高强度钢铸件,整体结构,经有限元分析计算优化。旋轮1通过螺钉与主轴3联结,中心通过1:4的锥孔定位。在旋轮与主轴间设计有平键2,防止旋轮与主轴间打滑,保护旋轮压紧螺钉。

主轴3、径向滚柱轴承6及12、调心滚子轴承9、推力球轴承10组成回转承载支撑系统。主轴通过轴向和径向轴承将纵、横向旋压力传至旋轮头体上,实现旋轮回转承载。主轴为径向承载前置设计,大承载径向滚柱轴承紧靠旋轮端。这种结构可减少后径向滚柱轴承的负荷,同时,也减轻了前径向滚柱轴承的承载,延长了前后两个径向轴承的寿命。轴向前端采用大承载调心滚子轴承,调心滚子轴承负荷容量大,是同规格滚柱推力轴承的5~6倍。由于旋轮只承受单向推力,主轴后推力轴承采用推力球轴承。本旋轮头轴承系统根据承载的特点,采用分立元件组合结构,结构紧凑,安装维修方便,可靠性高。

直驱电机部分由法兰13、调整垫16、电机定子17、电机转子18等组成。法兰安装在旋轮头体上,用于后径向滚柱轴承外圈定位及安装电机定

子。定子与法兰以及法兰与旋轮头体间有止口定位,保证定子内孔与主轴轴线同轴。调整垫有调整量,便于装配调整,保证电机转子与后径向滚柱轴承及推力球轴承的轴圈联为一体,防止主轴及电机转子轴向窜动。

旋轮转速反馈部分由连接轴座19、连接轴20、位置编码器21、端盖22、编码器支架23组成。连接轴座与主轴相联,连接轴与连接轴座通过螺纹与锥孔连接,连接轴与位置编码器间通过内置联轴器联接。位置编码器安装在编码器支架上,通过支架与电机定子相连。端盖用于保护位置编码器,中间安装有编码器电缆接头。

密封圈5、14、15用于相关部位的密封。垫7、11用于轴承的轴向定位。

2. 直驱式重型旋轮头的工作原理

直驱式重型旋轮头的工作原理:将旋轮旋压切入点的参数设定值输入到数控系统中,数控系统同时启动主电机和力矩电机,并自动匹配力矩电机的转速。主轴箱位置编码器和旋轮位置编码器将转速信号反馈到数控系统,当数控系统监测到旋压切入点处旋轮线速度与工件线速度相等时,旋轮则开始进给,开始旋压。旋轮进入时,数控系统发出信号,力矩电机驱动器使能断开,旋轮转入被动旋转模式。根据工艺需要,也可以采用动力

旋轮旋压模式,旋轮一直主动旋转,并保持工件与旋轮等线速度,以获得更高的工件表面质量及降低主轴箱驱动扭矩。旋轮的手动启停由按钮通过PLC来控制。

在图1中,直驱式重型旋轮头,主要包括数控系统1、驱动器2、力矩电机3、旋轮主轴4、旋轮5、旋轮位置编码器6、主轴箱位置编码器7、PLC控制器9。控制系统包括数控系统1和PLC控制器9。数控系统1主要是接收加工数据并进行处理,给主电机控制器及驱动器2发出控制信号。旋轮位置编码器6和主轴箱位置编码器7信号反馈至数控系统,数控系统对信号进行处理后控制旋轮转速和进给。旋轮与主轴箱主轴的转速关系是跟随关系。数控系统1还接收PLC控制器9的控制信号,以实现主轴箱主轴和旋轮主轴的多种控制模式。力矩电机3由驱动器2来驱动,其转速由旋轮位置编码器6反馈。力矩电机具有结构紧凑,输出扭矩大的特点。旋轮主轴4与旋轮5及旋轮位置编码器6直接相联,旋轮的转速信号由位置编码器发出。

3. 结束语

直驱式重型旋轮头应用在双辊轮数控强力旋压机上,性能可靠,使用方便。此外,本文所涉及的技术还可应用到变角度重型旋轮头上。□

资讯

大族激光天津工厂正式投入运营

6月19日上午,大族激光智能装备集团旗下子公司——天津大族智能装备有限公司与天津大族天成光电技术有限公司以“强大民族 智造未来”为主题的开业庆典在天津北辰开发区顺利落下帷幕。来自全国各地领导嘉宾、行业专家、客户朋友和业界媒体等共同见证,对天津大族工厂开业表示热烈地祝贺,对SF激光切割机新产品的发布予以高度评价。

作为高端激光装备技术领先者和市场主导者,大族激

光智能装备集团持续实施多工厂模式和市场纵深战略。2019年,为了更好地服务北方客户、贴近市场,大族激光经过多方考察,最终选定天津北辰开发区并开始筹建天津大族工厂。历经一年多的规划和建设,两家公司今天正式投入运营。这是大族激光智能装备集团产业空间布局的又一个重要里程碑,必将更好地赋能产业转型升级,必将更高效地提升北方市场的辐射力和服务力,推动市场稳步健康发展。

数控钻攻中心加工刀纹问题剖析

沈阳机床股份有限公司 于春明

【摘要】本文阐述了钻攻中心在3C行业手机零件加工过程中出现的刀纹问题，并详细分析了刀纹的成因，以及在切削过程中产生刀纹的影响因素，最后针对如何消除此类刀纹提出了机床的整改方向。

自2015年以来，钻攻机市场异常火爆，以手机为代表的3C行业表现出井喷的态势，手机零件的加工对机床的要求越发严格，以手机摄像头支架为例，对加工精度的要求为 $\pm 0.02\text{mm}$ ，对加工表面的要求更为严苛，要求接近镜面效果，表面刀纹必须均匀有序，不能出现局部跳跃刀纹，以及象限点接刀纹。正因如此，很多品牌的机床难以达到客户的验收标准，其中有机床品质的问题，有机床使用的问题等。本文将手机摄像头支架为例，来剖析影响其加工效果的因素。

1. 刀纹问题描述

东莞一手机零件加工厂商使用两种不同品牌的机床，进行同一零件的加工，使用相同的加工程序，相同的夹具以及刀具，最终加工结果却有很大差异。图1所示为加工的零件。



图1 手机摄像头支架

零件名称：某品牌手机摄像头支架；

零件材质：不锈钢316L；

全序加工时长：9min30s。

零件检测采用电动放大镜，通过电脑采集放大镜下的零件图像，放大镜的倍数为20倍。A机床切削为合格品，采集后的刀纹图像如图2所示。

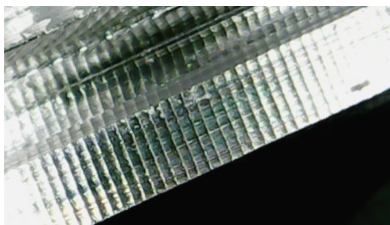


图2 A机床切削合格品样件

图2刀纹均匀有序，深浅一致，无明显交替纹路，无破损刀纹，目视表面平滑规则明亮，手触无划痕感。

使用B机床进行切削采样，如图3所示。

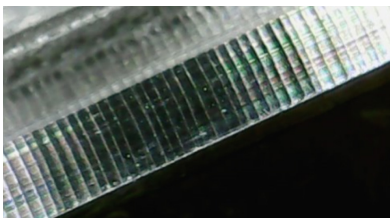


图3 B机床切削不合格品样件

从图3可以看见间断性的宽刀纹，使得整体刀纹突显出宽窄不均，

目视会发现零件表面有跳跃性深刀纹出现。

针对这种不规则刀纹的现象，我们进行展开分析，排查影响刀纹的多种因素以及刀纹的成因进行分析。

2. 切削测试分析

为了使测试更加准确，我们重新排查了影响切削产生刀纹的各种因素，第一，检查机床地脚是否松动。对机床四个地脚进行重新排查，重新校核了机床工作台的水平；第二，检查刀具。看刀具是否有磨损，重新校核了刀摆，确保刀摆数值控制在 0.002mm 以内。第三，检查夹具。排查夹具是否会在加工过程中引发振动。

(1) 不同进给速度切削测试

通过以上案例分析，我们对机床进行了深度测试，寻找其加工过程中的薄弱环节。首先调整不同的进给速度进行切削测试。其他切削参数保持不变。测试结论如图4、图5、图6、图7所示。

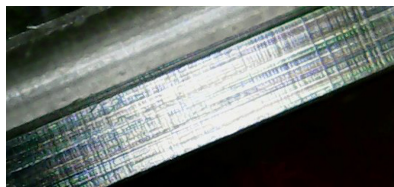


图4 切削速度300mm/min

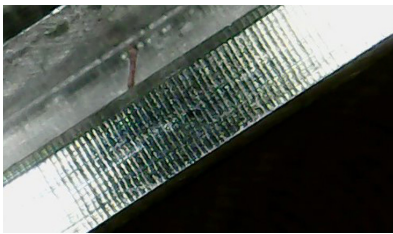


图5 切削速度500mm/min

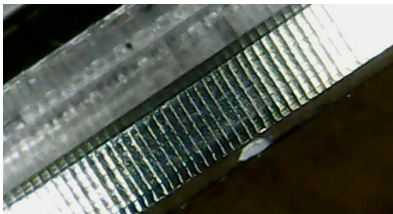


图6 切削速度700mm/min

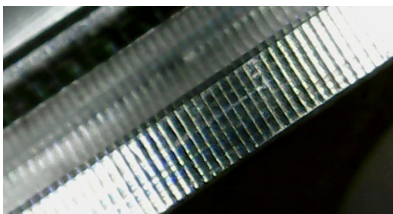


图7 切削速度900mm/min

根据不同的切削状况可以发现，当切削速度变低时会发现非常明显的异常刀纹，现对其进行分析。

刀纹产生的原因是刀具与零件的相对运动后留下的痕迹。当切削速度为900mm/min时，进行分析：主轴转速9000r/min，每转进给量=进给速度/转速；每齿进给量=每转/齿数，经计算每转进给量为0.1mm，使用的是4刃刀具，那么每齿进给量为0.025mm。

对实际工件进行测量，如图8所示。



图8 工件加工尺寸测量

倒角边有效刀纹边长度为13mm，在放大镜下可观测的刀纹数量为128条，最终可以得出，刀纹实际间距约为0.1mm。由此可以推断，实际上是刀具每转一圈留下一个刀纹。

现对刀具进行检测分析，如图9所示。



图9 刀具实际测量

用千分表对刀具进行测量后发现，四个齿高度不一样，具体数值如表1所示。

表1 刀刃测量值

四齿刀具	测量差值/mm
第一齿	0
第二齿	-0.1
第三齿	-0.01
第四齿	-0.11

由此可以推断，实际切削过程中，最终只有第一齿在零件上留下刀纹。

(2) 刀纹形成机理分析

现对刀纹形成机理进行分析，以切削速度900mm/min为例。如图10、图11所示。

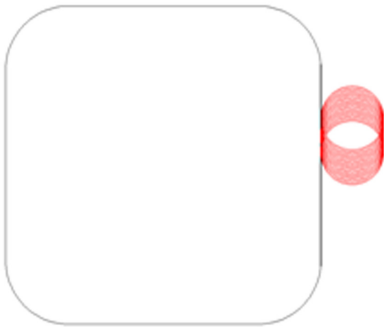


图10 切削示意图

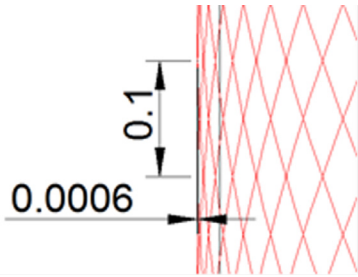


图11 切削示意图（放大100倍）

刀具以900mm/min速度切削，切深0.02mm，最终刀纹情况如图11所示，刀纹理论间距0.1mm，刀纹理论深度0.0006mm，表面粗糙度Ra约为0.3um左右，符合实际切削效果。当切削速度为700mm/min时，主轴转速9000r/min，每转进给量为0.08mm，刀纹深0.0004mm；当切削速度为500mm/min时，主轴转速9000r/min，每转进给量为0.055mm，刀纹深0.0002mm；当切削速度为300mm/min时，主轴转速9000r/min，每转进给量为0.033mm，刀纹深0.0001mm。

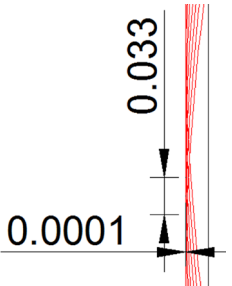
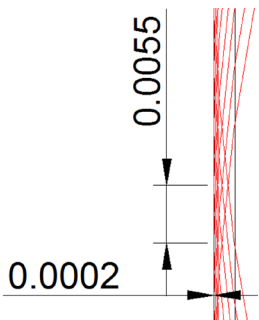
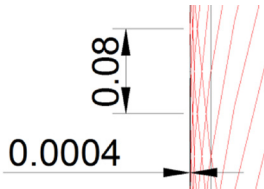


图12 不同切削速度下的刀纹

由此可见,当进给越低时,正常产生的刀纹越浅越窄。那么机床振动对其产生的影响越明显。

3. 异常刀纹成因分析

根据刀纹的表象,以及之前的分析,现从理论角度对其分析产生的原因。

(1) 轴向窜动产生的影响

轴向窜动造成的刀纹状况分析,如图13所示。

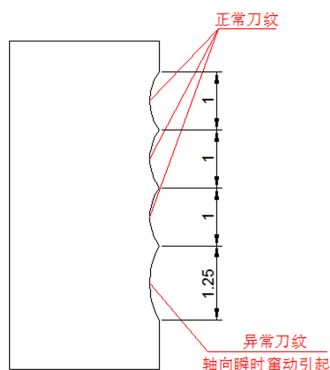


图13 轴向窜动产生理论分析

轴向瞬时窜动对切削的影响如图12所示,其影响主要表现为偶尔会出现一条宽或者窄的刀纹,但刀纹深浅没有影响。其形成的原因主要为传动系统瞬时窜动,如丝杠预压丢失,传动轴安装精度引起的瞬时应力释放等。

(2) 机床振动产生的影响

机床振动对刀纹产生的影响如图14所示。

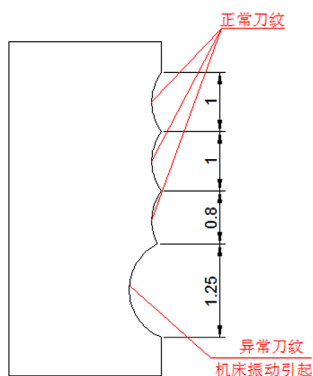


图14 机床振动产生的影响

如图14所示,机床振动产生的刀纹效果,刀纹宽窄会发生变化,刀纹深浅也会发生变化,同时对相邻的刀纹也会产生影响。分析其产生的原因,主要有两部分,第一,工作台振动引起的,考虑其方向,主要为XY轴传动系统、工作台、滑座、床身等影响。第二,主轴箱振动引起的,考虑其方向主要为Z轴传动系统及立柱、主轴箱等影响。

现对AB两机床做振动分析,分析数据如表2所示。

表2 振动分析数据

模态阶数	B机床		A机床	
	固有频率/Hz	阻尼比(%)	固有频率/Hz	阻尼比(%)
一	32.02	0.0255	42.56	0.1768
二	60.87	0.0582	75.48	0.08901
三	76.36	0.1026	84.42	0.085384
四	110.86	0.0728	125.48	0.068782
五	166.42	0.04259	165.84	0.041773
六	201.75	0.007198	211.542	0.026676
七	275.63	0.004491	291.739	0.061471
八	296.01	0.008149	338.7671	0.03853
九	303.8	0.003738	427.68415	0.027698
十	320.29	0.006851	498.542	0.03542
十一	350.1	0.0020308	550.67	0.04512
十二	487.82	0.004795	615.2414	0.02547

通过表2振动分析可以看出,在500Hz以内,B机床出现十二阶固有频率,A机床出现十阶固有频率,说明B更容易引起振动,通过阻尼比对比发现,A机床抗振动性能更好。A机床优于B机床主要有以下几点:第一,机床大件结构,A机床大件外形结构及筋格设计更合理,刚性更强;第二,三轴丝杠结构,对比发现两台机床丝杠结构不同,那么在设计机床时需要重点关注丝杠的适用性,而不是完全根据丝杠厂家的推荐来;第三,导轨结构,导轨结构不单能够影响机床的传动精度,而且对整机的连接刚性影响非常大,在机床选择功能部件时,需严格关注;第四,机床联接刚性,主要关注机床的装配工艺。

4. 整改后机床切削测试

根据之前分析,我们对B机床进行了相应的调整,调整部分有装配环节,传动系统和大件结构,然后进行切削测试,如图15所示。

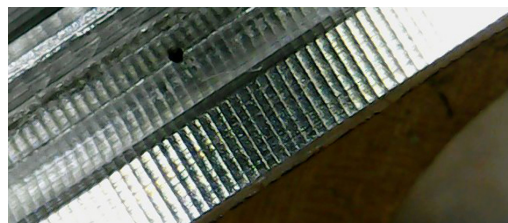


图15 调整机床后切削样件

通过上图可以看出,此B机床已经能够达到A机床的切削效果,经客户检验,已经完全满足客户的出厂要求。

参考文献:

- 【1】孙莹·基于FANUC Robodrill加工中心工件表面刀纹问题的解决[J]·制造技术与机床,2015(3):128-130
- 【2】侯晓林,吴健·异常刀纹产生的原因[J]·机床与液压,2005(4):199,192
- 【3】刘娟·TD500A立式钻攻加工中心的关键结构的设计与改进[J]·硕士论文,2018
- 【4】赵少君,梁方波·基于钻攻中心的手机支架加工工艺分析[J]·数码设计,2017,4:99-101
- 【5】刘江,赖立讯·钻攻中心的高速切削技术研究与优化[J]·制造技术与机床,2014(12):116-119
- 【15】王振,王军,施娟等·力传感器测量结果不确定度分析与评定[J]·工业计量,2020(01):64-67.

刀库电气调试中的“找规律法”

北京工研精机股份有限公司 肖 博

【摘要】刀库的调试是加工中心电气调试中的一项重要内容，对于调试过程中遇到的具体的问题，尤其是那些随机性的问题，进行详细地记录，认真地观察，透过纷繁的表面现象，找出并总结规律。“找规律法”往往可以缩小排查范围，将问题化难为易，使得问题迎刃而解。

本文列举两个例子，来说明“找规律法”在加工中心刀库调试中的应用。一例是“还刀过程刀套多走问题”，另一例是“换刀过程中数据的二次刷新问题”。

一、还刀过程刀套多走问题

1. 刀库简介

链式刀库如图1所示，该刀库采用三相异步电动机配合计数开关进行分度定位，并采用固定式换刀模式（刀具和刀套是一一对应的，刀具号即刀套号），刀库容量为24。ATC的各个动作由一系列油缸驱动完成：机械手向左/向右平移油缸，单元向主轴/向刀库油缸，手臂伸出/缩回油缸，机械手正/反转180°油缸。

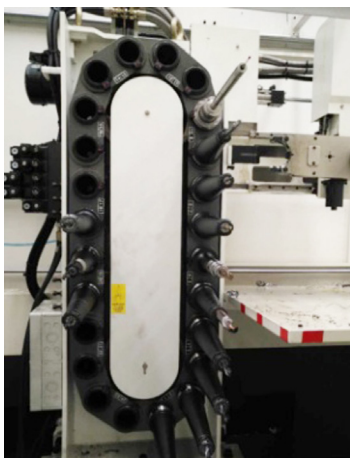


图1 链式刀库

为了方便描述，将自动刀具交换过程分为三个部分：

（1）备刀动作：刀库分度到T代码指定的刀具处，机

械手抓完刀备用。

（2）换刀动作：该动作过程中，手上刀具和主轴刀具进行交换，刀库门关闭标志着换刀过程结束。

（3）还刀动作：该动作过程在刀库侧进行，刀库分度至手上刀号处，将手上刀具还到刀库。

2. 问题规律

在“还刀动作”中，刀库的初始位置在2号刀套处，目标刀套号（即所要还的手上刀具号）为20。刀库就近找刀套，需要从2号刀套处启动逆时针转动至20号刀套，见图2。可是实际动作是：刀库逆时针转到20号刀套后并没有停止，而是继续转动到18号刀套才停止，如图2所示。即刀库“多转了”2个刀套，导致“还刀动作”异常中断，20号刀具无法正常还到刀库，如图3所示。

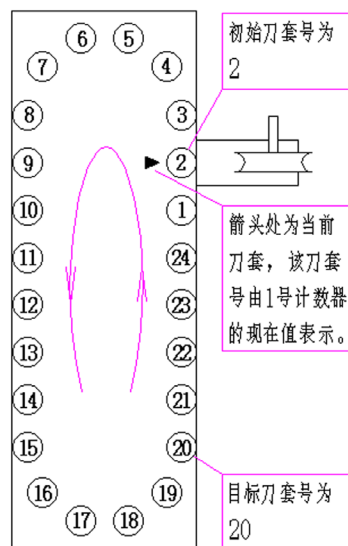


图2 刀库转动情况



图3 还刀中断

对问题现象进行总结，可以得出下面5条规律：

(1) 刀库分度中，刀库是多转而不是少转了，并且多转的刀套数总是相同的：均为2个。

(2) 分度错误均发生在“还刀动作”过程。“备刀动作”虽然也有刀库的分度动作，但是并未遇到分度错误。

(3) 每次错误，均是以2号刀套为起始位置，20号刀套为目标位置，除此以外的其他刀套并没有发现类似问题。

(4) 分度错误时，刀库的转动方向均为逆时针，而没有顺时针。

(5) 该刀库分度错误为偶发，故障间隔时长时短，或者数小时，或者数天。

3.问题分析

既然刀库多转且多转2个刀套，首先想到：刀库转动过程中，图4中的计数开关的脉冲信号少了两个，或者说“丢了两个脉冲”。然而由上面“问题规律”中的(2)和(3)可知，“备刀动作”中刀库分度并未见异常，并且除了20以外的其它刀套号的分度也未见异常，由此判断“丢脉冲”的猜想是站不住脚的，相关的软件和硬件线路便认为是无误的，这也就大大缩小了问题排查的范围。这里，不妨以“逆时针转动与多转2个刀套之间的联系”为切入点进一步分析。



图4 计数开关

(1) 刀库的转动方向与计数器的计数方向

刀库的转动方向与计数器(CTR)的计数方向是紧密相联的，相互统一的。对于该刀库——

顺时针转动对应着刀套号的增加，因此，把顺时针转动时对应的计数方向处理为加计数，即令UPDOWN=0。

逆时针转动对应着刀套号的减小，因此，把逆时针转动时对应的计数方向处理为减计数，即令UPDOWN=1。

刀库顺时针转动时，MGCCWM=0；刀库逆时针转动时，MGCCWM=1。因此，恰好可以用MGCCWM来表征UPDOWN，如图5和表1^[1]。

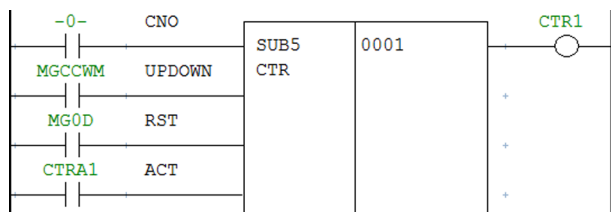


图5 计数器功能指令

表1 计数方向UPDOWN

内容 UPDOWN	刀库 转向	刀套号 变化	计数 方向	信号 状态
1	逆时针	递减	减计数	MGCCWM=1
0	顺时针	递加	加计数	MGCCWM=0

表3 计数器值以及当前刀套号的变化过程

情形	内容	初值	变化过程										备注
I	计数器值	1	0	23	22	21	20	19					正常
	当前刀套号	2	1	24	23	22	21	20					
II	计数器值	1	0	23	22	23	22	21	20	19			圈中一减 加计数
	当前刀套号	2	1	24	23	22	21	20	19	18			

(2) 关于“2个刀套”的一个假设

在该例中，若刀库分度正常时，计数过程为表3中的情形I：计数器为减计数，由1连续减到19，相应地，刀套由2号逆时针连续转动到20。

基于生活常识，在这里假设，在减计数的过程中，出现了一次加计数。不妨假设计数器从22经过一次加计数变为23，然后又恢复为正常的减计数，那么当计数器再次恢复为22时，刀套已经逆时针多转过了两个刀套：由23号刀套转到21号刀套。

这样，当整个计数过程结束时，刀库便逆时针转到了18号刀套，较之目标刀套号20，显然多转了两个刀套，如表3中的情形II所示。这便将“逆时针方向转动与多转2个刀套”联系起来了。

基于上述假设，考虑检查确认：在刀库逆时针转动过程中到底是否会存在瞬间的加计数，这就需要进一步确认两个内容：

①在刀库逆时针转动过程中是否会出现UPDOWN=0的情形，即MGCCWM=0的现象，若有，进一步确认(2)。

②在逆时针转动过程中，MGCCWM=0时是否有计数脉冲信号CTRA1。

(3) 刀库逆时针转动过程中MGCCWM=0的确认

对问题情况进行模拟并在线诊断信号MGCCWM的通断变化规律。发现在换刀动作中，当机械手单元向刀库侧摆动时，的确存在MGCCWM被“瞬间切断”的现象，复现度极高，几乎每次换刀动作循环中都有出现。进一步顺藤摸瓜，通过研究梯形图发现MGCCWM的一个必要条件MROTEB会被瞬间切断，PLC如图6所示，其中：

UTOMLS：机械手单元在刀库侧

SIDRLS：滑板在右侧

MGCCWM：刀库逆时针转动R地址

MGCCWS: 刀库逆时针转动Y输出机械手单元已经移动至刀库侧, 而滑板还没有移动到右侧, 导致MROTEB被切断, 进而刀库的逆时针转动MGCCWM被切断, 正如假设, 确实出现了瞬间MGCCWM=0的现象。

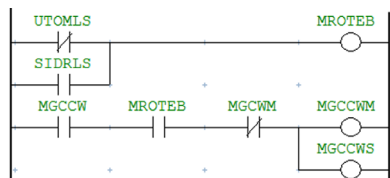


图6 MROTEB和MGCCWMC

(4) 在逆时针转动过程中, MGCCWM=0时计数脉冲信号CTRA1的确认

这里所说的MGCCWM=0, 指的就是刀库逆时针转动过程中的 Δt 时间段, 如图7所示。

①分度错误

在 Δt 期间, 如果刀库转动的计数开关恰好被触发了一次, 即产生了一个计数脉冲信号CTRA1, 这种情况下, 图5中的ACT信号便产生了一个上升沿, 那么计数器进行一次加计数。而当滑板右移到位后, MROTEB又恢复为1, MGCCWM也恢复为1, 此时, 计数器CTR1便恢复为正常的减计数, 但最终由于一次加计数而在逆时针方向上多移动了两个刀套。

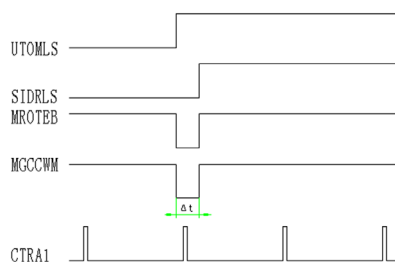


图7 分度故障

这里, 通过PLC对CTRA1进行实时地跟踪并自锁, 验证了在 Δt 期间是有计数脉冲信号CTRA1的, 如图8所示。还可以通过数控系统的跟

踪画面对相关信号进行更加详细的监视, 这里不再赘述。

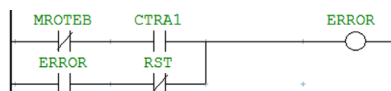


图8 CTRA1的自锁

再试想, 在 Δt 期间, 如果经历了两次计数器触发, 那么刀库多转的刀套数就不是2, 而是4个了……

②分度“正常”

虽然在 Δt 时间段内, 计数器CTR1为加计数类型, 但是在该时间段内, 如果刀库的计数开关并没有被触发, 即没有产生计数脉冲信号CTRA1, 这种情况下, 图5中的ACT信号也就没有上升沿, 那么计数器不会进行加计数。因此, 计数并不会出现问题, 刀库的分度动作表现为“正常”, 如图9所示。

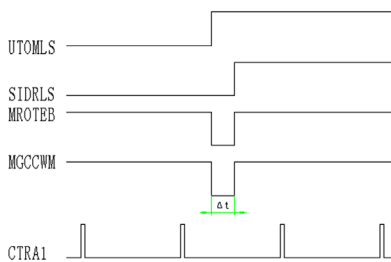


图9 分度“正常”

基于以上分析, 可知: 问题间隔时长时短, 或者数小时, 或者数天, 是随机的。

(5) 其他现象的解释

通过观察, 由于初始刀套号为2, 目标刀套号为20, 刀库逆时针转动的路径较长。在“机械手单元向刀库侧移动”的过程中, 刀库的分度仍然没有结束, 给 Δt 的出现提供了可能, 即给问题情况的出现提供了可能, 因而问题集中地出现在20号刀具的还刀动作中。

加工程序中所涉及的其他的目标刀具号对应的刀库转动路径较短, 机械手单元向刀库侧动作还没有来得及执行, 即 Δt 还没有来得及出现, 刀

库已经到达目标刀套位, 因此刀库分度表现“正常”。

试想, 如果使得 Δt 出现在“机械手单元向主轴”转动的过程中, 那么分度故障就不再仅仅局限于路径较长的目标刀套了, 路径较短的目标刀套也是有可能出现故障的, 这里不再赘述。

在“备刀动作”中, 机械手单元向刀库侧的动作以及向主轴侧的动作均是不存在的, 相应地, Δt 也就不存在, 当然也就不可能出现该故障现象了, 所以说, 在备刀动作中, 未见异常。

4. 问题解决

从液压和电气两个方面着手来解决问题。

(1) 液压调整

将滑板右移动作的流量略微调大, 使得 Δt 不再出现, 相关液压动作更加协调, 稳定性和可靠性随之增强, 如图10所示。

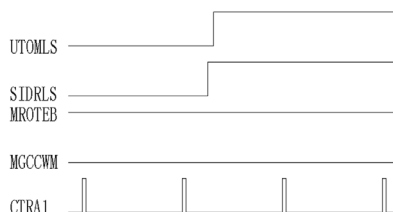


图10 流量调整

(2) 电气调整

对梯形图稍加处理, 将MGCCWM和MGCCWS分别写在两段梯形图中, 且MROTEB只作为刀库反转动作阀MGCCWS的一个必要条件, 放置在刀库反转输出信号MGCCWS的一段中。MGCCWM一旦接通, 便不再受MROTEB的控制, 始终保持为1直至逆时针转动结束, 这就完全避免了计数器的加减方向UPDOWN在 Δt 时间段内被切断的现象, 如图11所示。改进措施进一步提升了刀库分度动作的容错能力。经过验证, 问题现象消除, 问题解决。



图11 处理完的MGCCWM和MROTEB

二、换刀过程中数据的二次刷新问题

1. 刀库简介

盘式刀库如图12所示，该刀库采用三相异步电动机配合计数开关进行分度定位，并采用随机式换刀模式（刀具号和刀套号之间并没有一一对应的关系），刀库容量为24。刀套上（即回刀）、刀套下（即倒刀）、侧门开和侧门关均是由气动电磁阀控制，机械手旋转机构选用凸轮式机构，由三相异步电机驱动一空间凸轮装置按顺序动作。



图12 盘式刀库

2. 问题规律

试切项目为钻孔加工，每加工完一个完整工件，操作者均要通过检具来检验加工尺寸是否合格，这期间，发现偶有废品出现。比如，某次检测完精度，通过对孔径尺寸的分析知，2号刀具和3号刀具发生了“刀具对调现象”：2号刀加工了3号刀应该加工的孔位，3号刀却加工了2号刀应该加工的孔位。后续的试验中，这种“刀具对调现象”又陆续地出现了，比如：4号和5号刀具，5号和9号刀

具。结合加工程序中刀具号的呼叫顺序，如表4。可总结得该问题现象的规律：

发生对调的两把刀具均无一例外的为程序中“相邻的两把刀具”。问题发生的间隔时长时短，或者数小时，或者数天。

表4 加工程序中的刀号顺序

T10	
T1	
T18	调换
T20	
T2	调换
T3	
T4	调换
T5	调换
T9	
T6	
T8	
T7	
T0	

3. 问题分析

刀具的“对调”现象，直观的表现为“刀库分度”错误。即执行“T02M06”，应寻找2号刀具并将其换到主轴上，而实际上换到主轴上的却是3号刀具；执行“T03M06”，应寻找3号刀具并将其换到主轴上，而实际上换到主轴上的却是2号刀具。可是，如果只是单纯的“刀库分度”问题，则刀号错误应表现出很强的随机性，这无法解释问题所表现出来的“两把刀具相邻”这一显著特点。

刀库的分度与数据表息息相关，对数据表进行二进制数据的检索是此类型刀库分度的核心，试想，如果在刀库分度之前，数据表就已经出现了差错。那么在进行二进制数据的检索时，自然会出现错误，进而刀库分度错误，最终表现为刀具交换错误，导致加工尺寸不合格。因此有必要对数据表Ⅰ进行确认，该数据表到底是什么样子的呢？实际上，系统上显示的只有Ⅱ号工件加工结束后的当前数据表Ⅱ的内容。

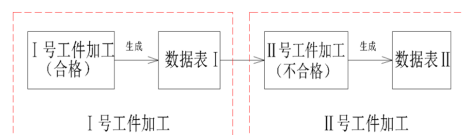


图13

（1）数据表Ⅱ

查看系统PMC参数中的当前数据表Ⅱ，并查看每个刀套中当前所安装的物理刀具，可得表5。正常情况下，数据表中的数据 and 物理刀具是“捆绑”在一起的，数据反映的即是物理刀具号。但是，表5却发现两处错误：

①地址D107的数据为3，与D107对应的8号刀套中存放的物理刀具却为2号刀具。

②地址D112的数据为2，与D112对应的13号刀套中存放的物理刀具却为3号刀具。

表5 数据表Ⅱ

表内号	数据	物理刀具
D100	4	4
D101	1	1
D102	24	24
D103	6	6
D104	9	9
D105	23	23
D106	20	20
D107	3	2
D108	11	11
D109	12	12
D110	13	13
D111	18	18
D112	2	3
D113	19	19
D114	14	14
D115	15	15
D116	17	17
D117	16	16
D118	10	10
D119	21	21
D120	8	8
D121	22	22
D122	5	5
D123	7	7

(2) 数据表 I

在“ I 号工件加工”过程中，T2正常加工完成，执行T3…M6，刀库中的T3与主轴上的T2进行了物理上的交换，因此T3也正常加工完成。基于此，做出推测：

在此交换过程中，

2号刀具和数据表中的数据3“捆绑”在了一起，

3号刀具和数据表中的数据2“捆绑”在了一起。

数据表 I 出现了错误，外部表现为数据表 I “没有刷新”。然而，由PLC逻辑关系可知，既然物理刀具的交换动作已经顺利完成，说明数据更新脉冲PULSE产生过，因此确认数据表 I 经历过刷新。

(3) 数据表 I 的2次刷新

进一步查看PLC如图14知，在ATC电机运转的条件M66M中，“刀库计数开关MGCLS”、“刀套下开关POTDNLS”和“门开开关SDOPLS”均为外部开关，在ATC电机运转过程中，不妨假设某个开关闪烁了1次，那么，PULSE1便会重来1次。这样，数据的刷新也再次重复一次，也就是说，数据表1刷新了2次，也就表现为“数据没有刷新”。

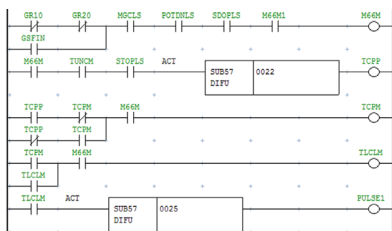


图14 数据表刷新脉冲

其中：

M66M: ATC电机运转的条件

TUNCM: 松刀位

TCPM: 松刀指令

STOPLS: 停止位

SDOPLS: 门开开关

PULSE: 数据更新脉冲

4. 问题解决

从机械和电气两个方面着手来进行解决。

(1) 机械调整

基于“2.3.3数据表 I 的2次刷新”中的分析，检查：

“刀库计数开关MGCLS”、“刀套下开关POTDNLS”和“刀库侧门开开关SDOPLS”，发现“刀库侧门开开关SDOPLS”有松动，机械上进行调整，使之稳定可靠，避免闪烁现象。

(2) 电气调整

由以上的分析可知，将M66M做如下的自锁处理，如图15。这样，有效的消除了外部开关信号的闪烁干扰，提升了ATC动作的容错能力，因而ATC动作的稳定性和可靠性大大增强。经过验证，问题现象消除，问题解决。



图15 M66M的自锁处理

三、总结与展望

对于电气调试期间出现的问题，尤其是随机性的问题，要善于从杂乱无章的信息中总结内在的固有规律，进而大大地缩小问题排查范围，具体问题具体分析，就一定能够探索出问题的根本原因，进而解决问题。两个例子在因果环节中均表现出了显著的“蝴蝶效应”，这就需要在机床调试中多注重细节，多积累，做总结，做到举一反三，做到触类旁通。□

参考文献：

- [1] FANUC PMC PROGRAMMING MANUAL[M] B-63983:243-247

资讯

助力智能化改造，华数推出4款大负载机器人

在近年来颇受关注的机器人浪潮中，搬运及码垛机器人也成为焦点。“没工伤、不抱怨”的搬运码垛机器人不仅大大节省了劳动力和空间，而且还具备运作灵活精准、快速高效、稳定性好、作业效率高的特点。

为了聚焦工业机器人更多细分领域，更大程度满足各企业对自动化的需求，佛山华数机器人有限公司先后推出HSR-JR650/680、HSR-BR5110、HSR-JR6150四款大负载机器人，产品负载范围50-150kg，广泛适用于搬

运、码垛、上下料、焊接、切割、打磨、抛光等场景。

目前，在工业机器人五大核心零部件中，除减速机外，华数实现了其他部件的全部自主研发，其智能机器人控制器是国内为数不多、规模化批量应用的国产机器人控制系统。华数大负载系列机器人都采用自主研发的第三代高速、高精、智能开放式HSC3机器人控制系统，建立基于伺服力矩电流的动力学建模与参数辨识，处于国际同行领先行列。

(供稿：协会数控系统分会)