

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

No.1 2020
2020年1月
January 2020

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
王煥卫 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: 北京博海升彩色印刷有限公司

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

2020年第1期(总第166期)

WMEM世界制造技术与装备市场

贺词 Greeting

- 11 改革创新转型 推动高质量发展 杜琢玉
Promoting high-quality development by reform, innovation and transformation
- 12 攻坚克难, 踏上高质量发展的新征程 毛予锋
Overcoming difficulties and embarking on a new journey of high-quality development

资讯 News

- 13 斗山机床中国产车削中心首发俄罗斯等5则消息
The turning centers made in Chinese factory of Doosan machine tool company first sold to Russia, etc. 5 news

特别报道 Special Report

- 15 2019年中国机床工具行业要闻回顾 机床协会
Important news review of Chinese machine tool industry in 2019
- 17 创新引领, 实现行业发展新突破
——中国机床工具工业协会八届六次理事会综合报道 李华翔
Comprehensive report on the sixth meeting of the 8th council of China machine tool industry association
- 20 第二届中意机床工业论坛在京召开 兰海侠
The second China-Italy machine tool industry forum was held in Beijing
- 22 感知市场方向 共议行业未来
——2020年境外机床协会、贸促机构驻华代表处及在华外资企业领导人联席会在京召开 李华翔
Report of joint meeting of overseas machine tool industry related commercial organizations
- 24 重型机床分会首批协会团体标准发布 重型机床分会
The first batch group standards of heavy machine tool branch was released

产销市场 Production & Market

- 26 2019年中国机床工具行业经济运行情况分析 机床协会
Analysis of economic operation of Chinese machine tool industry in 2019

专题综述 Topical Review

- 31 燃油发动机升级对机床行业的影响 机床协会
Analysis on the impact of fuel engine upgrade on machine tool industry

研发与应用 Research & Application

- 36 大型精密六轴联动数控电火花成形机床的研发与应用 付金娟等
Development and application of large precision six-axis CNC EDM machine

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing
Engineering & Market

编者的话

新年伊始，中国突遭新冠病毒疫情的巨大冲击，同其他众多产业一样，包括机床工具行业在内的制造业几近停摆。这对于经历了近几年经济持续低迷、市场竞争压力日益加大的广大行业企业而言，可谓雪上加霜。

面对疫情，华中数控、宁江机床、广东吴志、上海机床、北一机床等一批行业企业响应政府号召，勇于担当，积极参与到抗击疫情的战斗当中，依托自身过硬的技术实力，研制医用市场所需要的设备或相关零部件，取得了不错的业绩。当前疫情有所缓解，越来越多的企业也在保证安全的情况下积极复工复产，努力将损失降到最低。

新年的开局不利，给我们敲响了警钟。除了这次新冠疫情负面影响外，我们还应看到其他的一些不利因素，即：全球经济增长放缓，中美经贸摩擦的不确定性和长期性仍将存在；在结构新改革持续深化的情况下，经济增速很难再延续过去的高增长；行业内多年激烈的问题和矛盾仍然存在。详细内容见《2019年我国机床工具行业经济运行情况分析》一文（见P26页）。

当然我们也应该看到一些有利因素。首先国家将稳增长作为2020年的主要任务，其次国家不断优化营商环境，减税降费效果将逐步释放，再有部分行业仍处于增长区间。

可以肯定的是，这次疫情对制造业所造成的负面影响不容小觑，企业未来的发展注定更加艰难。机床工具企业应密切关注所服务的制造业企业将来有可能出现的订单下滑、产业链转移等变化，及时在经营范围、产品定位、组织架构、跨国经营等方面做出相应调整；同时努力打造自身技术优势，坚持“专”、“精”、“特”的技术发展道路，在努力求生存中谋得不断发展。

本刊编辑部

版权所有，未经本刊书面许可，不得转载。

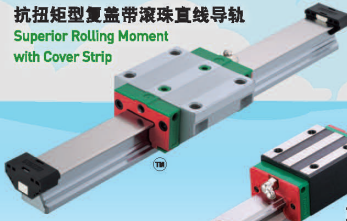
本刊已许可中国学术期刊（光盘版）电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。



HIWIN® 上银®

工业4.0 优质伙伴

2019年荣获「日经亚洲评论」亚洲300强 第16名
 2016年荣获日经Business评选为「全球上市企业综合成长力百大」第5名
 2015年荣获福布斯(Forbes)全球创新成长百大企业第37名
 入选美国NASDAQ股市机器人指数型基金(ROBO-STOX)权重排名TOP 10



抗扭矩型复盖带滚珠直线导轨
Superior Rolling Moment with Cover Strip



重负荷型滚珠直线导轨
Heavy Load Ball Type

2001~2020 HIWIN连续20年荣获台湾精品金质奖



滚珠丝杠
Ball Screw



单轴机器人
Single-Axis Robot



关节式机器人手臂
Articulated Robot



晶圆机器人
Wafer Robot



Torque Motor回转工作台
Torque Motor Rotary Table



谐波减速机
Harmonic Reducer



直线电机平台
Linear Motor Stage



力矩电机
Torque Motor



直驱电机
Direct Drive Motor



运动控制器
Motion Controller

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

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

HIWIN海外厂
 德国
 www.hiwin.de
 捷克
 www.hiwin.cz

日本
 www.hiwin.co.jp
 新加坡
 www.hiwin.sg

美国
 www.hiwin.com
 韩国
 www.hiwin.kr

意大利
 www.hiwin.it
 以色列
 www.mega-fabs.com

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

- 40 HTM系列卧式车铣复合加工中心的研发与应用 王 帅等
Development and application of HTM series horizontal turning milling compound
machining center
- 46 HMC200ru卧式五轴加工中心的研制 周 萌
Development of HMC200ru horizontal five-axis machining center
- 49 AUTOFORM35多轴数控电火花成形机的研发与应用 邓冬凤等
Development and application of AUTOFORM35 multi-axis CNC EDM machine

产品与技术 Products & Technology

- 55 优化异形深孔电解加工工艺 埃马克公司
Optimization of ECM process for profile-shaped deep hole
- 58 轿车风洞油泥模型的设计与制作 杨 兴等
The design and manufacture of the oil model of car wind tunnel
- 61 盾构机刀具的选型及其磨损分析 朱振鹏 姜晓彤
Selection and wear analysis of tools for manufacturing of shield tunneling machine
- 64 质量控制循环: 提高生产力的关键 蔡司公司
Quality control cycle: the key to productivity
- 66 数控龙门类机床精度检验项目分析与研究 李嵩松 马 菁
Analysis and research on the precision inspection of CNC gantry machine tools
- 69 2-3层钛合金板结构成形新工艺 陈 敏等
A new forming process of 2-3 - layer titanium alloy
- 71 一种智能刀架管理软件的设计与实现 齐 彦
The design and implementation of management software for an intelligent tool holder
- 76 滚珠丝杠进给系统设计关键技术研究 聂应新等
Research on the key technology of ball screw feed system design
- 80 一种刀具折断检测功能的实现方法 肖 博等
A implementation method of the tool fracture detection function

展品预览 Exhibits Preview

- 83 CCMT2020展品预览 (2)
Preview of exhibits at CCMT2020 (2)

海外市场 Overseas Market

- 94 聚焦第六届日本东京冲压钣金成形加工展览会 机床协会
Focus on MF—TOKYO2019 show
- 39 广告索引 Advertiser index
消息 (54、57、65、93)

改革创新转型 推动高质量发展

中国机床工具工业协会当值理事长、武汉重型机床集团有限公司董事长 杜琢玉



一元复始，万象更新。在2020年新年到来之际，我谨代表中国机床工具工业协会和武重集团，向中国机床工具行业全体职工致以节日的问候和诚挚的祝福！向所有关心、支持中国机床工具行业和武重集团发展的各级领导和制造业同仁表示衷心的感谢！

2019年是新中国成立70周年，也是机床行业贯彻高质量发展的关键一年。70年来，我国逐步建立起了完整的机床工具工业体系，特别是党的十八大以来，中国机床工具行业克服重重困难，取得了巨大成就和进步，为国民经济健康发展奠定了坚实的基础。

过去的一年，武重集团全面贯彻落实习近平总书记视察武重重要指示精神，着力推进产品研发体系和技术研究体系建设，关键核心技术实现重大突破，燃气轮机机匣车铣复合加工中心、大型海上风电轮毂加工专用设备实现了进口替代；着力推进企业高质量发展，机床与专机并重的战略布局结出累累硕果，大直径搅拌摩擦焊、大规格风洞、ITER项目等多项重大战略装备研制，填补了国内空白；着力推进产品智能化升级，智能化生产线业务规模持续扩

大，在多个领域形成示范效应，公司获评国家级智能制造试点示范企业。

2020年，机床工具行业仍将延续下行萎缩趋势，但需求结构加速升级，机床产品进一步向高精、高效、高可靠性和数字化、网络化、智能化方向转型发展，这对我们的科技创新和改革发展提出了巨大挑战；国防军工、航空航天、船舶、能源等战略领域重大工程与重点项目的高端装备、短板装备和智能装备需求，成为新的市场增长点；以数字化驱动机床工具行业转型升级，以服务型制造支撑机床工具行业高质量发展，成为我们共同面临的新命题。

新的一年，让我们高举习近平新时代中国特色社会主义思想伟大旗帜，围绕建设国际一流企业的目标，坚持自主研发、自主创新，以创新促增长、促转型，共同推进机床行业数字化、网络化及智能化发展，共同推动中国制造向中高端迈进。

大浪淘沙，激流勇进，在市场经济的惊涛骇浪中，武重集团愿与机床行业同仁一道劈波斩浪，扬帆远航。

攻坚克难，踏上高质量发展的新征程

中国机床工具工业协会常务副理事长 毛予锋



岁月不居，天道酬勤。充满挑战与机遇的2019年悄然逝去，值此2020新年到来之际，我谨代表中国机床工具工业协会常设机构，向广大会员、行业企业的全体人员致以节日的问候和诚挚的祝福！向所有关心、支持我国机床工具产业发展的各级领导和社会各界人士表示衷心的感谢！

2019年，国内外经济环境复杂多变，风险挑战明显上升，但中国经济依然交出了稳中有进的成绩单，前三季度我国国内生产总值（GDP）增长6.2%，全年有望保持在年初确定的6%~6.5%的目标区间内。中国经济展现出强大的韧性与潜力，长期向好的基本面没有改变。

2019年，国内汽车、摩托车、3C、内燃机、农机、通用机械等行业主要用户领域的持续下行，对机床工具行业的市场需求造成很大影响；外部情况，德国、美国、日本、中国台湾地区等主要机床工具生产国和地区也都出现了严重的下滑，普遍遇到了市场下行压力，国际贸易保护主义抬头，以及中美贸易摩擦已经对全球机床市场产生了明显的负面影响。预计全年行业主要经济指标同比将呈现下降趋势，但各分行业情况将有不同的表现。当前中国机床工具行业运行呈现出三个特点：一是市场需求总量收缩，需求结构升级；二是企业努力转型升级，应对市场变化；三是出口持续增长，结构有所提升。

2020年是全面建成小康社会决胜之年和“十三五”

规划收官之年。中央经济工作会议提出要“在深化供给侧结构性改革上持续用力，确保经济实现量的合理增长和质的稳步提升”。

2020年，我们仍然面临错综复杂的内外部发展环境。心无旁骛做主业，集中精力谋发展，我们要提前做好应对各种风险挑战的战略部署，站稳脚跟，坚定信心，抓重点、补短板、强弱项，密切关注智能制造、工业互联网和5G技术等迅猛发展为行业带来的新机遇，攻坚克难，踏上高质量发展的新征程。

中国机床工具工业协会一直以维护全行业共同利益、服务行业发展为宗旨，促进机床工具行业健康、持续发展是协会的责任与使命。新的一年，协会将着力推动行业的基础性、关键性、共性技术研究方面的相关工作。由协会组织行业企业开展的数控装备工业互联网通讯协议（NC-Link）进入试验验证阶段；在推广应用NC-Link的基础上，协会已开始着手进行机床工具行业工业互联网平台的探索建设工作，旨在让行业平台有效融入国家工业互联网体系，发现和挖掘“机床+互联网”协同价值，为机床工具产业赋能。机床工具行业工业互联网平台将成为协会履行职能、践行责任和义务的重要载体之一，探索行业新的增长点、推动行业转型升级。

2020年必将是具有特殊重要意义的一年，充满挑战的一年，希望行业同仁能够立足自身、主动求变，坚持稳中求进，坚持新发展理念，实现高质量发展。

斗山机床中国产车削中心首发俄罗斯

斗山机床(中国)有限公司自2月10日复工以来,积极响应政府号召,对新冠疫情高度重视,实施严密防控的科学复工复产。

为了积极开拓海外市场,寻求新的突破和发展,斗山机床从2020年起正式对外出口中国产设备。首台出口设备——紧凑型高生产率卧式车削中心Lynx225II,于3月9日出厂发往俄罗斯。



Lynx系列作为中国产畅销卧式车削中心,在中国累计生产销售达3000余台。Lynx225II配备同级别设备中高性能主轴,最大主轴电机功率达18.5kW,主轴最大扭矩117.8Nm,可以应对多种类型零部件加工。其12刀位伺服刀塔,转位速度更快,有利于提高加工效率。

该设备还将于5月25-29日在第21届俄罗斯机床及金属加工展览会(Metalloobrabotka 2020)上首次亮相海外,向更多的海外客户展示中国产的斗山机床畅销机型。

斗山机床总经理金哲俊先生表示:“市场瞬息万变,唯有顺应市场变化,不重复昨天的老路,以自身的实力为基础,以市场为中心团结一致,竭尽全力帮助客户的事业获得更大的成功,才能在困难的市场环境下走出一条不断成长的道路。”

(供稿:斗山机床(中国)有限公司)

NC-Link联盟成立专业委员会并召开第一次工作会议

为了更好地推动数控机床互联互通协议标准(NC-Link)联盟工作的深入开展,经联盟理事会研究决定,由联盟成员单位有关专家组成联盟专业委员会,进一步开展NC-Link研究和应用及与国际方面的交流合作。



2019年12月12-14日,中国机床工具工业协会常务理事长毛予锋、行业发展工作委员会副主任委员娄晓钟等一行四人赴武汉,组织召开了“数控机床互联互通协议标准联盟”专家委员会第一次会议,武汉华中数控股份有限公司董事长陈吉红、全国机床数控系统标准化技术委员会秘书长金健、中国机床工具工业协会数控系统分会秘书长肖明、工业互联网平台筹建组副组长陈振华等参加会议,会议由娄晓钟主持。

专家委员会由来自联盟成员单位的8名专家组成,他们是华中科技大学路松峰教授、武汉华中数控股份有限公司惠恩明研究员、华中科技大学汤学明副教授、北京航空航天大学高连生副教授、智能云科信息科技有限公司白鸥部门经理、北京北一机床股份有限公司何江涛副总工程师、北京兰光创新科技有限公司朱国伟产品经理、沈阳高精数控智能技术股份有限公司胡毅研究员,8名专家全部出席此次会议。

毛予锋作了主题发言,阐述了成立联盟专家委员会的目的和意义,对NC-Link标准在明年CCMT2020展会上展示,与德、美机床协会之间的交流,以及未来相关宣传、发布等工作细节进行了沟通,并强调了接下来一段时间联盟的重点工作。

本次会议研讨的主要内容有:NC-Link协会团体标准研制进展情况及后期推广应用相关问题研讨;落实CCMT2020展会NC-Link布展相关工作,确定展示内容,重点落实应用NC-Link的展品现场演示的参展商及展品名单;就互联互通标准与德国、美国机床协会开展合作的有关事宜和关键技术问题进行交流。

会上,各位专家积极表态愿意参加专家委员会的工作,并对下一步工作提出了许多建议。

(来源:中国机床工具工业协会)

复工战“疫”，上海中羽公司积极行动

上海中羽工业钻石股份有限公司是一家主营金刚石和立方氮化硼砂轮的民营股份制企业。疫情爆发以来，公司全体员工严格按照政府要求，居家自我防控应对疫情。根据公司董事长田羽先生的指示，上海中羽成立了以总经理为组长的5人防疫防控领导小组，制定了公司防控应急预案，在做好防控工作的同时，筹集防疫物资，为复工做好准备。因防疫方案准备充分，上海中羽公司获批于2020年2月10日首批复工。上海中羽公司的绝大部分员工是本地的，在复工当日员工出勤率即达90%。



复工首日，公司第一时间就给出在苏州工业区内的美、以色列客户送去了他们急需的砂轮，保证其生产不断供。同时，安排对重点国企、央企客户和上游日本公司的订单进行加急生产和发货，满足客户急需。

在中国疫情初起时，公司的日本合作伙伴和供应商支援了部分口罩，帮助我们复工。现在，日本也遭遇到了新冠疫情和口罩紧缺的状况，我们在防疫物资并不充裕的情况下，拿出部分口罩库存，紧急快递给日本合作伙伴和上游供应商，帮助他们抗击疫情、稳定生产。

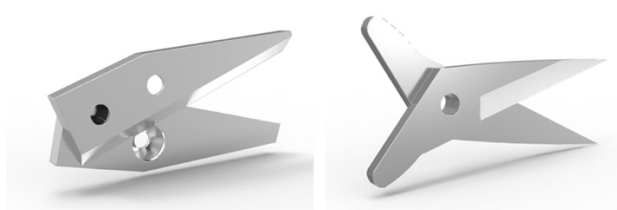
截至目前，复工产能已达90%，全员健康，全面恢复了国内外客户供货和服务，为整个行业供应链恢复起到积极作用。（供稿：上海中羽工业钻石股份有限公司）

成都邦普紧急研制口罩耳戴绳硬质合金剪刀

在疫情面前，口罩及口罩机都成为了急需物资，口罩机上的任何部件出了问题都会影响正常生产，哪怕是一个耳戴绳剪刀。

2月12日，成都邦普切削刀具股份有限公司接到成都高新西区政府信息，四川某医疗口罩公司的口罩生产线上耳戴绳剪刀损坏，多条生产线停工，严重影响口罩生产。邦普公司立刻行动起来，总经理亲自指挥，发挥公司技术

实力，在短时间内研究出解决方案，拟采用抗冲击硬质合金材料，替代原高速钢剪刀片进行剪刀研制。邦普公司研制的口罩剪刀片具有较长的使用寿命和较高的生产效率。车间员工连夜生产，为口罩公司赶制了多个规格型号的口罩剪刀片，为该公司正常生产赢得了宝贵时间。



双孔（左）、单孔（右）口罩耳戴绳用剪刀

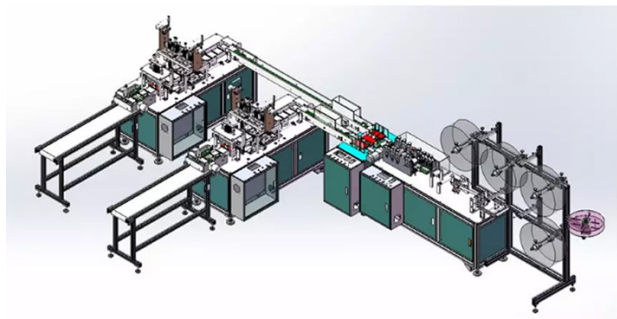
（供稿：成都邦普切削刀具股份有限公司）

扬力集团：全自动口罩机生产线即将批量上市

伴随着全国复工复产逐步推进，疫情防控工作面临着较大的挑战，对最基础的疫情防控品——口罩的需求与日俱增。同时，在欧洲、美洲、亚洲等地区，新冠病毒的扩散给全球带来了较大影响，口罩需求量巨增。

扬力集团作为我国知名的金属成形装备制造企业，具有丰富的机械设计和智能制造经验，为众多行业提供先进的智能制造解决方案，对全自动平面口罩机生产线的开发拥有极大优势。面对全国乃至世界范围内口罩短缺的状况，扬力积极响应政府号召，同时满足部分合作伙伴的口罩生产需求，加快口罩机智能化生产线开发进度，为战胜疫情贡献力量。

全自动平面口罩机生产线的研制工作由扬力研究院智能制造中心承担，首批产品即将推向市场。该口罩机生产线由三台制造机集成，一线完成平面口罩生产，适用全能先进的控制平台，对整体进行控制设定，一人操作即可；具有生产产品压纹清晰牢固、熔接效果好等优点。



2019年中国机床工具行业要闻回顾

中国机床工具工业协会



1. 新中国成立70年来机床工具产业成就显著 进出口首次出现顺差

2019年是新中国成立70周年，我国机床工具行业作为国家基础性、战略性产业，70年来取得了很多成就，连续多年保持世界第一大消费市场、第一大进口国和第一大生产国，是当今国际范围内唯一具备完整机床工具产业体系的国家。特别是改革开放40年来，中国机床工具工业克服重重困难，坚持走自主发展之路，总

体水平快速提升，正朝着机床工具工业强国的目标迈进。根据中国海关数据，2019年1-6月我国机床工具进口总额69.5亿美元，同比下降20.6%，出口总额为70.3亿美元，同比增长9.2%。这是自改革开放以来机床工具进出口首次出现顺差，至10月份进出口累计值仍保持顺差。2019年12月18日，《经济日报》在“中国名片”栏目整版刊发了“中国机床 自强不息”一文，简要概述中国机床工具工业70年发展历程。

2. 2019年机床工具行业持续下行

根据国统局规上企业统计数据，我国机床工具行业1-10月累计完成营业收入同比降低1.1%。其中，金属切削机床、金属成形机床、工量具及量仪和磨料磨具等行业累计完成营业收入同比增幅分别为-14.2%、-6.5%、1.8%和9.4%。预计全年行业主要经济指标同比将呈现下降趋势，但各分行业表现各有不同。当前中国机床工具行业运行呈现三个特点：一

是市场需求总量收缩，需求结构升级；二是企业努力转型升级，应对市场变化；三是出口持续增长，结构有所提升。

3. 机床工具行业3个项目获得机械工业科学技术一等奖

在2019年度中国机械工业科学技术奖评审中，机床工具行业共申报28项，其中13项获奖，获奖比例为46.4%。13个获奖项目中，一等奖3项、二等奖3项、三等奖7项。获得一等奖的项目有：五轴联动加工精度“S”形试件技术与应用（参与单位：成都飞机工业集团有限责任公司、南京航空航天大学、电子科技大学、西南交通大学）；高速干切滚齿关键技术、工艺装备及自动生产线（参与单位：重庆大学、重庆机床集团有限责任公司、重庆交通大学、浙江双环传动机械股份有限公司、浙江万里扬股份有限公司、重庆蓝黛动力传动机械股份有限公司、重庆世玛德智能制造有限公司、重庆工具厂有限责任公司、重庆工商大学）；半导体芯片高效精密划切超薄砂轮关键技术开发及应用（参与单位：郑州磨料磨具磨削研究所有限公司、北京中电科电子装备有限公司、河南联合精密材料股份有限公司）。

4. 制造业增值税率从16%降至13%

2019年以来，国家推出一系列减税降费政策，重点降低制造业和小微企业税收负担。4月1日，深化增值税改革措施正式实施，机床工具行业在内的制造业增值税率从16%降至13%。此外，2019年1月出台《关于实施小微企业普惠性税收减免政策的通知》，5月1日起实施的《降低社会保险费率综合方案》等等，一系列减税降费政策连续出台，都将有利于实体经济企业轻装前进。

5. CIMT创办30周年再上新台阶

2019年4月15-20日，由中国机床工具工业协会主办的第十六届中国国际机床展览会（CIMT2019）在北京中国国际展览中心（新馆）举办。这是CIMT创办的第30个年头，以“融合共赢 智造未来”为主题，展览总面积又创新高，达142000平方米。来自28个国家和地区的1700多家境内外展商参展，展期累计进馆总人次达319371人次。展会新品荟萃，智能技术、工业互联网、增材制造等前沿技术吸引了业界瞩目。

6. 中国大陆企业踊跃参展 EMO2019，NC-Link首次境外展出

据统计，共有237家中国大陆企业参展2019年欧洲国际机床展（EMO2019），参展数量和面积较上届有较大幅度增加。由中国机床工具工业协会组织行业企业开展的《数控机床互联互通协议标准与试验验证》智能制造专项课题研究成果——数控装备工业互联网通讯协议（NC-Link）在EMO2019期间实现首次境外展出，展示了NC-Link及其在数控系统、机器人等相关领域和相关企业的应用。此前，在2019年4月举办的CIMT2019（第十六届中国国际机床展览会）上，NC-Link实现了首次展出。

7. 中国通用重组沈阳机床、大连机床

2019年12月20日，沈阳市政府与中国通用技术集团签署战略合作框架协议暨沈阳机床重组揭牌仪式在沈阳市举行，标志着沈阳机床综合改革工作取得重要进展。中国通用技术（集团）控股有限责任公司将投入35亿元，占沈机集团57%股份；投入18亿元，占沈机股份29.99%股份，沈

机股份和沈机集团自此不再有股权关系，各自独立经营，业务各有侧重。此前，4月19日，通用技术集团还与大连市政府签署战略合作框架协议，对大连机床进行重组。至此，通用技术集团旗下机床工具制造业板块已拥有北京机床研究所有限公司、齐齐哈尔第二机床（集团）有限公司、哈尔滨量刃具集团有限责任公司、大连机床和沈阳机床5家企业。

8. 昆明机床H股退市 汉川机床实施拍卖

自2019年8月26日上午9时起，昆明机床在继2018年5月A股退市后被取消H股上市地位。昆机机床股份自2017年3月23日起暂停买卖，且未能于2019年7月31日或之前复牌。2019年8月9日，根据《上市规则》第6.01条，香港联交所取消其上市地位。2019年8月，汉川数控机床股份公司实施拍卖，涉及其全部实物资产、无形资产及一项长期股权投资。自2012年起，汉川机床受行业持续低迷、新建厂区致债务沉重等因素影响，逐步陷入经营和债务困境。2017年10月25日，汉川机床因资不抵债经人民法院受理进入破产重整程序。

9. 沃尔德刀具首批科创板上市

2019年7月，在首批25家科创板上市公司中，中国机床工具工业协会会员企业北京沃尔德金刚石工具股份有限公司名列其中。近年来，在机床工具行业整体下行的背景下，部分民营企业逆势增长，在行业整体发展中扮演着不可或缺的重要角色。在2019年7月中机联发布的2018年中国机械工业营业收入百强企业名单中，机床工具行业多家企业入围，除秦川、济二等知名国企之外，北京精雕科技集团有限公司、扬力集团股份有限公司等民营企业榜上有名。□

创新引领 实现行业发展新突破

——中国机床工具工业协会八届六次理事会综合报道

中国机床工具工业协会传媒部 李华翔

对中国机床工具企业而言，2019年注定是不平静的一年，经济的持续下行，全球需求市场普遍疲软，加之贸易摩擦、地缘政治等负面影响的推波助澜，市场的不确定性进一步增强，企业经营面临严峻挑战。

岁末年初，盘点一年的得与失，理清思路，顺应行业发展大势，及时调整企业经营策略，对于行业企业今后一个时期的经营和发展至关重要。

2019年12月27日，中国机床工具工业协会八届六次理事会在京召开，协会理事长、副理事长，常务理事和理事单位负责人及代表共230人参会。协会老领导，第一届监事会全体监事，常设机构全体工作人员，各分会秘书长、副秘书长，以及特邀嘉宾等列席会议。

来自工业和信息化部装备工业司、国家发展与改革委员会产业发展司、国家国防科技工业局发展计划司、国务院发展研究中心宏观经济部、中国和平利用军工技术协会等部门的相关领导应邀出席会议。



本次会议会期一天，内容包括宏观经济形势分析、2019机床工具行业经济运行情况分析、协会重点行业工作及自身建设、机床工具行业工业互联网平台筹建工作进展、CCMT2020筹备进展情况等方面。会议经无记名投票表决审议通过了两项议案：关于变更第八届理事会轮值理事长及副理事长人选的议案。协会当值理事长、武汉重型机床集团有限公司董事长杜琢玉与协会秘书长王黎明分别主持了上下午的会议。

一、压力持续加大，机床工具行业运行呈现四大特点

中国机床工具工业协会常务副理事长毛予锋做了题为“2019年机床工具行业经济运行情况分析”的报告。

当前中国机床工具市场呈现出以需求结构调整和升级为主的显著特征，加之中美贸易摩擦的负面影响，行业结构平衡被进一步打破，行业运行呈现出了不同以往的特点。毛予锋结合2019年1-10月国内主要经济指标完成情况



况、进出口情况，以及其他主要机床生产国和地区情况，归纳出2019年行业运行的四个主要特点。

第一，行业运行总体下行，行业格局出现分化。从国内看，自2012年以来，机床工具行业已波动下行8年。从全球看，2019年形势也发生逆转，世界主要机床生产国和地区都在走下坡路。在这一过程中，行业企业为适应市场的剧烈变化做了不懈努力，有些企业聚焦主业，深耕市场需求，适应市场能力进一步提升，但也有相当多的企业陷入了经营困难，亏损严重，资金紧张，甚至有的不得不进行重整或处于停产半停产状态，行业格局出现重大分化。

第二、行业运行质量下降，亏损面有所扩大。国家统计局和协会重点联系企业统计数据均显示，2019年1-10月机床工具行业及各主要分行业实现利润总额同比明显下降，行业亏损面扩大。特别是金属切削机床分行业下降更为严重。

第三、进出口出现新变化，首次实现贸易顺差。2019年年初以来，机床工具全口径以及金属加工机床一直呈现出口同比明显增长，进口同比大幅下降趋势。6月进出口是改革开放以来首次出现顺差，至10月累计值一直保持顺差。在中美经贸摩擦的背景下，机床工具行业的出口增长成为2019年行业运行的一个突出特点。

第四、创新研发投入不足，内生动力亟待加强。在长期市场低迷，经营困难的情况下，企业难以投入足够的资金创新研发，产品结构得不到更新，转型升级效果不理想。部分企业为适应市场需求和国家重点领域对高端机床的需求，研发了一批高端产品，但尚未批量推向市场，而且配套件主要靠进口，形成不了企业的盈利来源。面对高端产品市场机制失灵问题，迫切需要探索新的体制机制进行突破，并推动高质量发展。



二、年度盛会CCMT2020，助推数控机床产业发展

目前，行业企业经营压力日渐增加，作为反映行业发展状况的晴雨表，第十一届中国数控机床展览会（CCMT2020）将于2020年4月7-11日（受疫情影响，延期待定）在上海新国际博览中心举办。作为2020年度国内举办的规模最大、品牌知名度最高的机床工具展，CCMT2020必将再次吸引全球目光。王黎明秘书长介绍了相关情况。

经初步统计，截至目前共有来自23个国家和地区的1200多家知名厂商报名参展，展出面积共计12万平方米，境内展区和境外展区面积分配比例约为6:4，展会国际化水平有望再创新高。包括德国、日本、瑞士、美国、韩国、西班牙、意大利、法国、捷克、中国台湾地区的10个国家和地区的协会或贸易组织将组团参展。协会下属的工具分会、机床附件分会、特种加工机床分会、数控系统分会、滚动功能部件分会、超硬材料分会、磨料磨具分会、数显分会、主轴分会、机床附件分会等10家分会也将组团参展。

在活动方面，机床制造业CEO国际论坛、重点领域国产数控机床应用座谈会、数控机床专项成果展、全球机床互联互通标准联合展示、春燕奖评选颁奖活动、先进会员十佳表彰活动、跨国经营座谈会、院校与企业对接交流活动、技术交流配套活动等丰富多彩的展会相关活动，将进一步丰富展会内涵，提升参展效果和观展体验。

特别值得一提的是，其中的全球机床互联互通标准联合展示，将是中国NC-Link、德国umati、美国MT-Connect机床通讯标准协议应用在全球的首次联合展示。这项活动的筹划始于2019年9月召开的德国汉诺威EMO 2019，中国机床工具工业协会与德国机床协会（VDW）、美国机械制造技术协会（AMT）就机床工具行业互联互通标准建立与应用分别进行了友好的交流和沟通，为此次联合展示打下了良好的基础。这一联合展示很好地契合了“聚焦——数字·互联·智造”展会主题，必将在数控机床产业智能化发展过程中发挥积极的助推作用。

三、顺应数字经济大潮，加快推进行业工业互联网建设工作

近年来，在人工智能、大数据、物联网等新一代信息

技术的驱动下，我国数字经济发展迅猛，机床工具产业作为未来数字技术革命的主战场，实现产业数据化乃大势所趋。

郭长城执行副理事长总结了2019年机床工具协会的主要工作，内容涉及：专项支撑工作、标准化与质量工作、军工企业应用合作机制、行业典型成果收集与发布、国际交流、政府工作支撑等内容。同时，他还较为详细地通报了协会在工业互联网平台建设方面的最新进展情况。

据介绍，“机床工具行业工业互联网平台实施方案”自2019年8月在八届五次理事会上通过后，协会组织相关人员进行了业务设计和相关调研工作，经过走访调研行业企业、云平台调研比选、建立技术支撑机构、与协会NC-Link数控装备工业互联网通讯协议标准推广工作深度结合的探讨工作后，对行业工业互联网平台建设有了更进一步的认识。



当前，数字技术正在各行各业迅猛普及并重构产业发展格局，从外部环境看，机床工具产业数字化转型刻不容缓，且呈现出三种必然的趋势，即：实现设备、人、企业等广泛、多层面连接；信息在企业内部不同层面、在产业链上不同企业间的流通；产业链上下游企业间将基于数据驱动配置资源、开展协作，机床工具产业的组织模式更新。与此同时，机床工具行业上下游领域数字化能力日益提升，航空航天、船舶、汽车、工程机械、家电、电子、电力、纺织机械、钢铁、建筑等十多个领域开展了垂直领域的工业互联网平台的建设探索，正在逐步进行数字化转型发展，机床工具行业应主动跟进，以避免成为整个上下游中间的数字化“洼地”。

今后，机床工具协会将进一步深化研究机床工具行业工业互联网平台的特征和基本要素，按照确定的主要工作方向，以平台应用服务落地为切入点，逐步扎实推进平台建设，争取早日取得实效。

四、攻坚克难，开启行业发展新征程



“当前经济下行压力还是比较突出的”。来自国务院发展研究中心宏观经济部的许伟主任在会上作了宏观经济形势的报告。他结合丰富的图表，指出了当前经济运行的基本态势和面临的挑战；从内部长期性、外部不确定性、金融体制性三个视角，就如何看待当前经济形势进行了客观分析；同时从空间结构、产业结构、需求结构、分配结构四个维度，就如何将创新驱动和改革开放结合起来，全面提升经济主体活力发表了看法。报告内容对机床工具行业和企业具有重要的参考意义。

就当前机床行业面临的形势和未来发展，工业和信息化部装备工业司韩行调研员在讲话中指出，机床行业是一个技术、资金、人才密集的行业，具有技术高、品种多、批量小、配套复杂的产品特征，同时还具有服务面广、需求多样，定制化生产愈发普遍的需求特点，这就使得企业走专业的道路成为一种必然。产品和技术要专注于某一个细分领域，推进研发，在全球的细分市场上形成别人无法企及的竞争优势，获得回报。企业要耐得住寂寞，经得起诱惑，坚守初心，聚焦主业，在细分领域里精耕细作，逐步形成具有国际竞争力的特性。针对行业目前存在的短板和问题要持之以恒、久久为功，在深化改革中逐步加以解决。

国家国防科技工业局发展计划司李建华处长就如何加快国产装备的推广应用谈了几点认识。她肯定了军工协会和机床协会自2005年以来牵头建立的长效合作机制所发挥的积极作用；希望两个协会今后要创新工作方式方法，更好地开展供需信息对接和交流研讨活动。

新起点，新征程。2020年是国家全面建成小康社会和“十三五规划目标”的收官之年，也是为开启“十四五”规划做好准备的关键之年。

在新的一年里，中国机床工具工业协会将认真履行“提供服务、反映诉求、规范行为”三大职能，发挥行业组织的积极作用，以促进行业发展为使命，集中行业内外智慧和资源，着力研究行业发展中的全局性、前瞻性问题，促进机床工具行业高质量发展，为保障和支撑我们制造强国战略目标的实现做出更大贡献。□



第二届中意机床工业论坛在京召开

中国机床工具工业协会传媒部 兰海侠

第二届中意机床工业论坛于11月29日在北京召开。这是时隔两年后，中意两国相关机构第二次组织召开双边高峰论坛，旨在促进和加强两国机床工具企业之间及与用户之间的对话。此次论坛在意大利驻华大使馆举办，主题为“意大利助力中国：高端制造”。意方政府有关部门官员、双方相关企业代表、中国机床用户领域代表，以及中意两国机床协会和媒体代表等百余人参加了论坛。

此次论坛由意大利经济发展部发起，由意大利对外贸易委员会（ICE）和意大利机床、机器人和自动化制造商协会（UCIMU）承办，

意大利外交部和驻华大使馆协办。在论坛组织过程中，中国机床工具工业协会（CMTBA）与意方相关机构紧密合作，进行了多次沟通和商讨，组织了中方参会机床工具企业、用户代表和媒体代表。论坛得到中国机械工业联合会（CMIF）的支持。

意大利政府一向重视制造业企业的海外拓展工作，并对相关领域在中国开展深度合作给予支持和帮助。今年3月，中国国家主席习近平访问意大利期间，意大利率先与中国签署了共建“一带一路”合作谅解备忘录，并在此后就全面加强战略伙伴关系等共同关切问题达成共识。此次论坛在

中意两国机床工具企业及用户之间开展对话，探索进行互补性合作，商讨创新解决方案，以满足中国市场高质量可持续发展的需求。

意大利大使馆公使衔参赞 Giuseppe Fedele和ICE北京办事处首席代表、中国区和蒙古国总协调官 Gianpaolo Bruno 为论坛致辞，UCIMU主席 Massimo Carboniero 和中国机械工业联合会会长王瑞祥作主题发言，Massimo Carboniero 和中国机床工具工业协会常务副理事长毛予锋致结束语，中国机床工具工业协会秘书长王黎明主持圆桌会议对话及问答。

意大利驻华大使馆公使衔参赞 Giuseppe Fedele表示,“中国是世界上最大的机床市场,意大利企业对中国市场非常重视,意大利机床产品也凭借其较好品质,受到中国用户越来越多的肯定。”

中国机械工业联合会会长王瑞祥表示,“多年来,意大利与我国机械制造领域有过许多成功的合作案例,如意大利菲亚特在中国具有广泛的投资并取得成功,中国企业投资一些意大利知名机床企业,保持着良好的合作关系。这都是基于中意双方在多数产业具有较强的互补性,并具备更多合作前景和潜力。”

意大利机床制造商一直高度重视对外贸易,约有55%的产品出口到国外。2018年,意大利机床工业对中国的出口额达4.3亿美元,占意机床出口总额的10%,中国成为意大利第三大机床出口市场,仅次于美国和德国。与此同时,意大利成为中国机床市场的第六大进口供货方。

在圆桌会议环节,有11家意大利机床、机器人和自动化制造商协会的会员企业和6家中国机床工具工业协会会员企业参加对话。意方企业包括:意大利BLM集团、卡锣萨尔维有限公司、曼德利系统公司、奥梅拉公司、帕马公司、帕尔帕斯公司、皮特卡纳基公司、戴蔚公司、格林海力公司、利雅路公司和萨珀利蒂公司。中方企业包括:北京精雕科技集团有



限公司、上海机床厂有限公司、无锡机床股份有限公司、浙江畅尔智能装备股份有限公司、青岛力鼎自动化设备有限公司、常州市新墅机床数控设备有限公司。他们通过产品技术演示、具体范例探讨等方式介绍其产品及在相关领域的优势。

UCIMU主席Massimo Carboniero先生表示:“在第一届高峰论坛的框架下,UCIMU采取了大量措施,推进中意相关企业间的合作。组织意大利企业来中国参加大型展会,包括中国国际机床展览会(CIMT)和中国数控机床展览会(CCMT);也邀请中国客户到意大利参加展会,比如意大利机床展览会和意大利金属板材成形展。”希望本届高峰论坛能在第一届论坛积极成果基础上,给与会人员带来新的思考和启迪,巩固和加深中意企业之间的合作。

中国机床工具工业协会常务副理事长毛予锋表示,“意大利机床、机器人及自动化制造商协会和中国机床工具工业协会有着长期交往的历史。今天我们两个协会又把两国的机床和用户企业代表聚集在一起,共同沟通与交流,标志着两协会之间的务实合作又向前推进了一步。中意两国行业协会愿为两国机床界融入‘一带一路’各项务实合作搭建国际交流合作平台,发挥国际间的桥梁纽带作用。”

毛予锋同时指出,“受诸多因素影响,今年全球机床需求下降,中国机床工具市场也不例外,但中国经济的基本面尚好。今年前三季度GDP增速虽有下降但仍高达6.2%,说明中国市场规模大、韧性强,潜力和回旋空间大。以供给侧结构性改革为主线,尤其是随着智能制造、工业互联网和5G技术的迅猛发展,中国经济正在形成新的发展动能,正在进入高质量发展阶段,并正在推进全方位高水平的对外开放。中意两国机床企业优势互补,如能相互融合发展,在全球市场上将更具竞争力。在当前国际经济形势下,双方亟需进一步加强交流与合作,共建贸易、合作、投资的定期沟通机制。”

论坛在热烈气氛中圆满结束。□



感知市场风向 共议行业未来

——2020年境外机床协会、贸促机构驻华代表处及在华外资企业领导人联席会在京召开

中国机床工具工业协会传媒部 李华翔



毛予锋

王黎明

郭长城

一元复始，万象更新。在经济下行压力加大，市场需求总量萎缩，行业艰难转型升级的当下，国内机床工具企业能否在新的一年里有所作为，在向中高端转型方面能否有所突破？长期主攻中高端市场主力的在华外资企业或许能提供部分答案。

2020年1月13日，由中国机床工具工业协会主办的2020年境外机床协会、贸促机构驻华代表处及在华外资企业领导人联席会在京成功召开，来自13个国家和地区的50多家驻华代表处及在华企业代表共计70多人应邀出席会议。协会常务副理事长毛予锋、秘书长王黎明、执行副理事长郭长城、监事长王旭，以及相关部门代表参加会议。王黎明秘书长主持会议并简要介绍了第十一届中国数控机床展览会（CCMT2020）筹备情况。



对内降本增效，对外深耕细分领域

对于2019年中国机床工具行业整体运行情况，毛予锋常务副理事长从主要经济指标完成情况、进出口情况、其他主要机床生产国和地区情况三个方面加以介绍，基于2019年前11个月运行数据以及协会掌握的行业企业实际情况，总体预计：2019年全年机床工具行业主要经济指标将呈现同比下降趋势，但各分行业将有不同表现。对此，与会代表感同身受。

对于在华机床外资企业而言，刚刚过去的2019年，应该是自2008年以来经营最为艰难的一年。企业经营业绩普遍下滑，特别是在汽车市场占据较大市场份额的企业情况更加严峻，压力前所未有的。

面对压力和挑战，外资企业如何应对？部分代表介绍了相关情况。概括而言，他们普遍的做法是：对内挖掘潜力，降本增效，提高产品竞争力；对外积极开拓细分市场，化解产品领域单一所带来的经营风险；顺应智能化、少人化这一技术发展趋势，为客户提供定制化的服务；同时加大海外市场，特别是东南亚市场的开拓力度。

山崎马扎克（中国）有限公司总裁董庆富谈到，马扎克之前在汽车领域的份额占50%以上，经过近两年调整，通过积极开拓新的细分市场，目前汽车领域的市场份额已降至40%。2019年虽然在汽车领域有一定下滑，但在工程机械、医疗器械等领域却实现了增长；同时客户定制化产品实现了大幅增长，并创造了历史新高，这些都在一定程度上缓解了汽车市场大幅下滑所带来的冲击，保证了企业的正常运营。

GF加工方案总经理陈以祥感言，习惯了过去十几年一直处于增长势头的中国市场，如今却要面对2019持续下滑的市场的市场的确感到痛苦。但也应该看到虽然现在中国市场

的总量在下降，但产品质量不断提高的方向却一直没变。2019年GF公司销售额有所下降，但通过降本增效，企业利润还保持了不错的成绩。

百超（上海）精密机床有限公司经理孙英丽表示，借助公司遍布全球的销售、服务网络的优势，通过自动化产品和对东南亚出口的有力增长，瑞士百超公司天津工厂2019年取得了不错的业绩。

总的来看，经过2019年市场严冬的洗礼，在华外资企业凭借在中高端市场的技术优势，加上恰当的应对之策，大都实现了企业的平稳运营，这也为后续的发展奠定了良好基础。



理性看待市场下滑，顺应行业发展大势

“至少2020年上半年机床工具市场需求难有根本好转，全年有望止降企稳。行业将承受较大下行压力，主要经济指标改善的难度较大，但各细分产品领域和分行业将有不同的表现。”毛予锋常务副理事长对2020年行业形势给出了预判。为此，部分代表也谈了各自的看法。

美国机械制造技术协会亚太地区总经理李星斌指出，当前中国市场需求在下降，但如果仔细分析后会发现，市场对高端产品的需求还是存在的，因此需要企业细分市场多下一些功夫。另外，在市场需求不足的情况下，客户往往希望用有限的投入产生更高的产能和效率，所以对设备自动化、智能化的需求可能也会更高一些，由此对于企业经营模式将带来哪些改变，值得认真思考。

北京发那科机电有限公司总经理景喜瑞谈到，从长期的角度看，市场这个蛋糕一定是变小的，但中高端产品的比例一定会增加。目前公司考虑的不是2020年，而是考虑3-5年之后的事情。打铁还需自身硬，未来公司将要按照

持续发展的理念，认真梳理细分市场，对产品进行重新定位和布局。

利勃海尔总经理韩海表示，对于利勃海尔公司而言，中国市场已从亚洲第三大市场发展到去年的全球第一大市场，对产品的需求也有了质的变化，已从过去的低价位竞争，到现在高质量的发展。市场的发展代表着研发的方向，有了市场如果再有新的产品与之相匹配，相信这个市场是永远不会衰落的。

格劳博（中国）有限公司总经理任宏志谈到，面对持续低迷的汽车动力总成的装备市场需求，2020年公司将面临更大的挑战。公司将依托雄厚的技术研发实力，在产品结构和组织架构方面加大调整力度，不断开拓新的市场领域。

伊斯卡刀具国际贸易（上海）有限公司总经理李玉圃表示，展望2020年，目前公司产品在中国市场的占有率还不是很高，还具有一定的提升空间，伊斯卡将继续坚持“技术创新，以切削技术推动销售”原则，期望全年能取得持平或提升业绩。

海克斯康市场策划运营总监廖鲁坦言，2020年面对市场的压力与挑战，如果企业能够更多地聚焦客户的需求，更多地通过一些智能与链接技术来保证客户的提质、降本、增效的需求，助力中国高质量发展，相信会有很好的市场机会，对此我们充满信心！

瑞士驻华大使馆贸易与投资处首席贸易官王珂、意大利对外贸易委员会北京办事处贸易专员胡芳园、法国法孚自动化成套设备有限公司服务总监牛文忠、斗山机床（中国）有限公司中国区总经理金哲俊、北京戈拉图机床有限公司副总经理许蔚、西门子（中国）有限公司营销总监许正顺、瀚柏格夹具系统技术（上海）有限公司总经理艾瑞东、翰默（上海）贸易有限责任公司总经理艾枫、上海ABB工程有限公司销售经理王文中、发格自动化设备有限公司总经理陈晓光等也介绍了各自的相关情况并就上述市场议题发表了各自的观点和看法。

【后记】信心比黄金更重要。从这些在华外企代表的发言中，我们感受到了一种面对挑战的信心与决心。当前，面对日益激烈的市场竞争，行业企业依托技术创新正在不断推陈出新，以满足市场快速升级的需求。一批新技术、新产品也将在4月7-11日举办的CCMT2020上得到集中展示。本届展会主题“聚焦——数字·互联·智造”，准确反映了我国机床工具产业发展和产业市场的时代特征。在这一主题的聚焦下，CCMT2020将为您呈现在数字化制造、信息互联解决方案和智能制造系统等方面的最新成果，助力中国制造高质量发展迈向新高度。 □

重型机床分会首批协会团体标准发布

中国机床工具工业协会重型机床分会

2019年12月30日，由中国机床工具工业协会重型机床分会（以下简称重型机床分会或分会）制定的8项协会团体标准正式批准发布，这是中国机床工具工业协会（以下简称机床协会）首次批准发布的11项协会团体标准中的重点项目。

标准编号及名称如下：

（1）T/CMTBA1001.1—2019重型机床 基础 第1部分：设计与施工指南。

（2）T/CMTBA 1001.2—2019重型机床 基础 第2部分：承载变形计算及测量方法。

（3）T/CMTBA 1002.1—2019重型机床 检测 第1部分：导轨直线度的测量方法。

（4）T/CMTBA 1002.2—2019重型机床 检测 第2部分：滑枕热变形检测及误差补偿指导准则。

（5）T/CMTBA 1003—2019数控重型龙门镗铣床可靠性评估技术规范。

（6）T/CMTBA 1004—2019数控重型卧式车床 加工和装配工艺故障分析与评价。

（7）T/CMTBA 1005.1—2019数控精密单柱立式车床 第1部分：精度检验。

（8）T/CMTBA 1005.2—2019数控精密单柱立式车床 第2部分：技术条件。

该8项标准由重型机床分会申请立项，按照《中国机床工具工业协会团体标准管理办法》的有关管理规定，经过可行性论证、标准起草、意见征询、专家审查及机床协会审批和公示等多个环节后正式发布。其中1-4项属于《高档数控机床与基础制造装备》国家科技重大专项（以下简称重大专项）“重型数控机床关键共性技术创新平台”课题科研成果转化的标准，对重型数控机床基础设计与施工、基础承载变形计算及测量方法、导轨直线度的测量方

法和滑枕热变形检测及误差补偿进行了详细的规范；第5、6两项属于重大专项“重型机床可靠性评价与试验方法研究”课题科研成果转化的标准，提供了重型数控机床可靠性评估的基础方法以及进行加工和装配工艺可靠性评估时的故障分析与评价方法；这六项标准既为重型机床已有的设计、检测、评价提供了理论依据，又提出了新技术、新方法；既是重大专项研究成果的推广应用，更是对现有标准体系的补充、完善，填补了重型机床基础通用标准的空白。第7、8两项属于质量提升的创新项目标准，数控精密单柱立式车床精度标准，与现行国家标准GB/T 23582.1—2009《立式车床检验条件精度检验 第1部分：单柱和双柱立式车床》相比，各项精度均有提升，符合团体标准制定原则，标准的制定有助于提高数控单柱立式车床产品质量，推动该产品向高端制造发展。



机床产业是国家培育和发展战略性新兴产业的重要领域，其发展水平是一国工业发展水平和综合国力的直接体现和重要标志。我国重型机床产品一直是国家能源、航空航天、船舶工业、交通运输、工程机械、国防军工、冶金设备等主要工业支柱产业以及国家重点工程项目的基

础关键加工装备，因此重型机床产业是国家装备制造业中不可或缺的支撑性产业。新中国成立以来，国家高度重视重型机床产业的发展，经过几十年的发展和努力，我国重型机床产业从零开始已建成了门类齐全、独立完整的产品体系，但与世界先进水平相比，中国重型机床仍然大而不强，虽然国内机床在结构、功能、技术应用等方面与国外产品基本相同，但在精度稳定性、运动性能、制造工艺、可靠性等方面与国外先进技术还有一定的差距，国内重点领域所需的高档数控重型机床大部分仍然依赖国外进口。

在此背景下，重型机床分会组织本专业骨干企业武汉重型机床集团有限公司、北京北一机床股份有限公司、齐重数控装备股份有限公司、齐齐哈尔二机床（集团）有限责任公司，联合北京工业大学、清华大学、华中科技大学、哈尔滨工业大学和电子科技大学等多所高校，依托国家科技重大专项的支持，开展了“重型数控机床关键共性技术创新平台”和“重型机床可靠性评价与试验方法研究”专项课题的研究，围绕企业需求建立重型数控机床地基技术、静压技术、热变形技术、伺服与拖动技术、精度检测技术、可靠性技术研发和试验平台，加强对重型机床关键技术和共性技术研究，促进产品质量提升和升级换代。2018年两项重大专项顺利通过国家验收，对制约重型机床质量提升的关键技术问题取得了突破性进展，形成了多项具有自主知识产权的科研成果，如何将其转化为企业先进的生产力，在机床协会的指导下，确定通过协会团体标准的形式，将研究成果向行业推广。同时重型机床分会还根据机床协会质量提升的要求对本领域的技术领先产品数控单柱立式车床制定严于国家标准的团体标准，促进产品质量创优和市场竞争能力提升。

为有效发挥协会团体标准的支撑和引领作用，努力推进标准与先进技术的融合，切实服务于行业高质量发展，在机床协会标准化委员会的指导下，重型机床分会于2017年初开始第一批协会团标制定工作，重型机床分会组织本专业具有代表性的生产企业以及多所高校组成团体标准专项工作组，并与重大专项课题组和产品研发项目组积极对接，让标准起草人员深度参与专项研发和产品研制过程中，经过10余次由标准起草人员、项目研发人员和协会、分会标准化主管人员共同参加的专项技术研讨论证会和标准讨论会，通过对最初提出的19项通用技术标准和创新产品标准，从技术的成熟性、创新性、适用性、可操作性等多方面进行可行性论证，最终于2017年底机床协会发布立项公告确定8项标准做为重型机床第一批协会团体标准。随后各标准主草单位在分会组织协调下迅速成立标准起草工作组，确定工作方案，提出进度安排。起草工作组通过

广泛搜集、分析、研究国内外相关技术资料和机床生产、试验、使用过程中的经验数据，参照国内外相关标准，结合重大专项和产品研制的技术成果，在多次沟通、反复研讨的基础上，制定了标准草案稿，并通过机床协会和分会在行业内广泛征求意见，多次组织行业内各领域专家对标准的主要内容和一些具体技术问题认真讨论和会议审查。8项标准收集吸收了机床行业近百条意见，经多次修订，最终完成了标准制定工作。



本次发布的8项标准，以基础共性技术攻关为突破口，紧紧围绕《装备制造业标准化和质量提升规划》和《中国制造2025》强基工程的战略部署，通过将科研成果转化为标准，填补了重型机床基础通用技术标准和高端产品标准的空白，将为重型机床的设计、安装、性能提升、精度检测、验收提供统一方法和依据，实现资源共享，有助于制造厂家、用户及行业内相关利益方就地基、热变形、精度检测、可靠性评估、性能等级评定等共同关注的问题达成共识，减少不必要的争端；标准的实施将大力提升企业的基础研发能力，有效提高重型机床可靠性和精度保持性等重要性能；对提高机床质量、推动行业技术进步和产业转型升级，具有重大意义。下一步分会还将在机床协会的领导下通过标准宣贯和技术交流等形式，促进标准的贯彻实施。

通过首批重型机床协会团体标准的制定，我们深切体会到现阶段的协会团体标准是对机床行业标准的补充和完善，协会团体标准市场化的运作机制使其具有更加精准的指向性和选择性，同时也具有更加灵活可操作的制修订机制，对市场需求能够做出快速的反应，适合机床工具行业市场化程度高、技术创新活跃、产品种类多、变化大的特点。坚持推进协会团体标准，不断提升标准的先进性、有效性和适用性，使其成为行业管理和企业技术进步的重要手段，既是深入贯彻国家标准化改革的根本措施，也是结构性改革尤其是供给侧结构性改革的迫切要求，有利于改善供给、扩大需求，促进重型机床向高端产品发展，满足国家重点行业对国产高档数控机床的迫切需求，对维护国家产业体系的本质安全具有重大战略意义。□

2019年中国机床工具行业经济运行情况分析

中国机床工具工业协会

2019年我国机床工具行业全年主要经济指标与上年同期相比明显降低。根据国统局统计数据，全行业完成营业收入同比降低2.7%，实现利润总额同比降低23.8%。

2019年金属加工机床消费额为223.1亿美元，同比降低23.5%。其中金属切削机床消费额141.6亿美元，同比降低21.8%；金属成形机床消费额81.5亿美元，同比降低26.2%。

2020年年初暴发的新冠肺炎疫情，给我国经济和机床工具行业带来新的困难因素。疫情的消除和市场的恢复时间，尚无法准确估计。2020年上半年机床工具市场需求难有根本好转，全年止降趋稳的难度和不确定性加大。

截至2019年12月，我国机床工具行业规上企业的构成如下：企业总数共5710家，涉及八个分行业：金属切削机床816家（占14.2%）、金属成形机床550家（占9.7%）、工量具及量仪715家（占12.7%）、磨料磨具1947家（占33.8%）、机床功能部件及附件382家（占6.7%）、铸造机械521家（占9.2%）、木竹材加工机械148家（占2.6%）和其它金属加工机械631家（占11.1%）。

一、主要经济指标完成情况

1. 营业收入

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业2019年1-12月累计完成营业收入同比降低2.7%。其中金属切削机床行业累计完成营业收入同比降低11.3%，金属成形机床行业累计完成营业收入同比降低8.5%，工量具及量仪行业累计完成营业收入同比降低4.7%，磨料磨具行业累计完成营业收入同比增长4.8%。2019年1-12月机床工具行业营

业收入完成及同比变动情况详见图1。

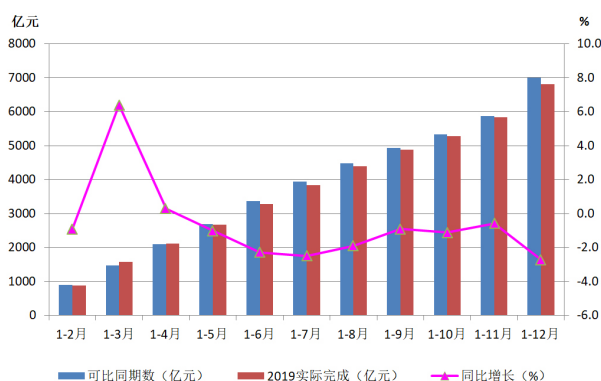


图1 机床工具行业营业收入完成及同比变动情况（国统局）

图2为2019年1-12月份营业收入同比变化与2018年主营业务收入同比变化的对比。由图可见，2018年4月份达到14.6%的高点之后波动下行，但全年仍保持了8.3%的同比增长，而2019年除1-3月、1-4月为累计同比增长之外，其余各月均为同比降低，行业下行压力明显大于2018年。

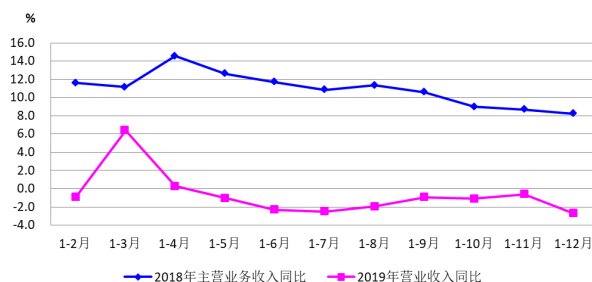


图2 机床工具行业营业收入同比变化（国统局）

注：2018年有以前国统局采用“主营业务收入”指标，2019年后变更为“营业收入”。

协会重点联系企业2019年1-12月累计完成主营业务收入同比降低11.3%。其中,金属切削机床行业累计完成主营业务收入同比降低25.0%,金属成形机床行业累计完成主营业务收入同比降低3.8%,工量具及量仪行业累计完成主营业务收入同比降低1.0%,磨料磨具行业累计完成主营业务收入同比增长6.7%。协会重点联系企业与国统局数据同比变动趋势大体相同,其中重点联系企业中金属切削机床行业降低幅度更大。

2. 利润总额

根据国统局规上企业统计数据,机床工具行业2019年1-12月累计实现利润总额同比降低23.8%。其中金属切削机床行业累计实现利润总额同比降低60.8%,金属成形机床行业累计实现利润总额同比降低26.9%,工量具及量仪行业累计实现利润总额同比降低10.4%,磨料磨具行业累计实现利润总额同比降低14.3%。2019年1-12月机床工具行业利润总额实现及同比增长情况详见图3。

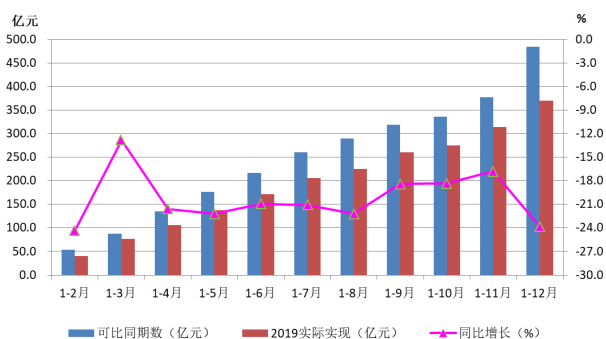


图3 机床工具行业利润总额实现及同比变动情况（国统局）

图4为2019年1-12月份机床工具行业利润总额同比变化与2018年利润总额同比变化的对比。由图可见,2018年1-4月累计利润总额同比增长达到峰值,其后逐月下行,但全年各月利润总额累计同比始终保持增长。而2019年各月利润总额累计同比均为降低。

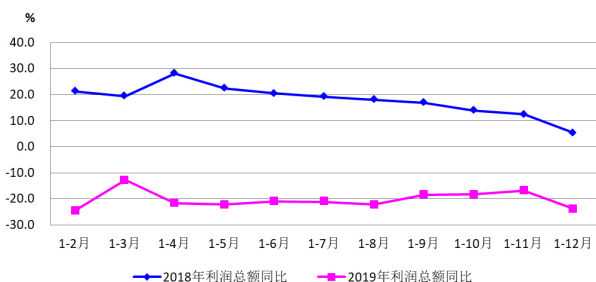


图4 机床工具行业利润总额同比变化（国统局）

2019年1-12月,重点联系企业累计实现利润总额同比降低92.7%。其中金属切削机床行业上年同期为亏损4.4亿

元,本期为亏损37亿元。金属成形机床行业累计实现利润总额同比降低17.7%,工量具及量仪行业累计实现利润总额同比增长8.7%,磨料磨具行业累计实现利润总额同比降低26.0%。协会重点联系企业和国统局的利润总额数据变动趋势大体相同,各分行业情况有所不同。

3. 金属切削机床和金属成形机床产量

根据国统局规上企业统计数据,机床工具行业2019年1-12月累计,金属切削机床产量同比下降18.7%,其中数控金属切削机床产量同比下降27.6%。金属成形机床产量同比下降7.6%,其中数控金属成形机床产量同比下降7.2%。图5为国统局机床工具行业金属加工机床产量及同比变动情况。

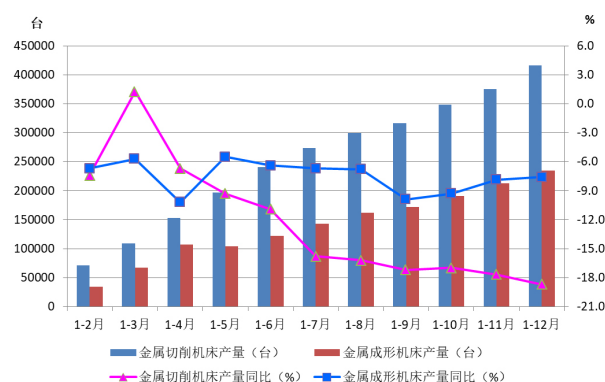


图5 机床工具行业金属加工机床产量及同比变动情况（国统局）

图6和图7分别为2019年1-12月份机床工具行业金属切削机床和金属成形机床累计产量同比变化与2018年累计产量同比变化的对比。由图可见,2018年金属切削机床产量累计同比自1-5月达到峰值后逐月下行,但全年始终为同比增长。而2019年除1-3月累计同比增长外,其他各月累计同比均为降低,且降低幅度呈逐月加大趋势;2018年金属成形机床产量累计同比自1-3月后就已经进入下行区间,2019年以来延续了上年下行趋势。

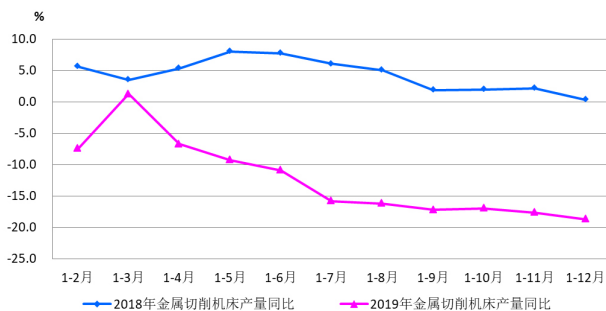


图6 机床工具行业金属切削机床产量同比变化（国统局）

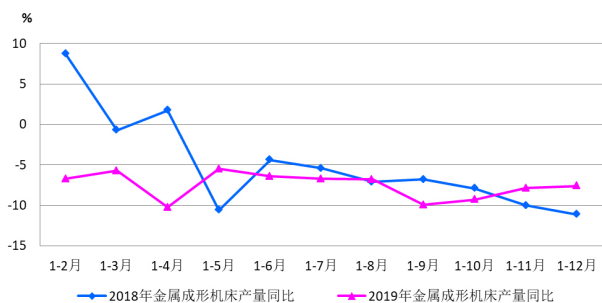


图7 机床工具行业金属成形机床产量同比变化（国统局）

协会重点联系企业2019年1-12月累计，金属切削机床产量同比下降28.5%，其中数控金属切削机床产量同比下降30.0%；金属成形机床产量同比下降17.0%，其中数控金属成形机床产量同比下降2.1%。协会重点联系企业数据与国统局数据变动趋势相同，但重点联系企业数据的下降幅度更大。

4. 金属加工机床订单情况

目前协会仅统计金属切削机床和金属成形机床订单情况。协会重点联系企业2019年1-12月，金属加工机床新增订单同比下降28.2%，在手订单同比下降23.2%。其中，金属切削机床新增订单同比下降30.4%，在手订单同比下降17.2%；金属成形机床新增订单同比下降22.6%，在手订单同比下降35.2%。

2019年年初以来，金属切削机床和金属成形机床的新增订单一直同比下降，在手订单自3月份之后也一直同比下降。

5. 产成品存货

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业2019年12月末产成品存货同比降低8.8%。其中，金属切削机床行业产成品存货同比降低15.2%，金属成形机床行业产成品存货同比降低7.7%，工量具及量仪行业产成品存货同比降低5.4%，磨料磨具行业产成品存货同比增长2.4%。

协会重点联系企业2019年12月末产成品存货同比降低3.1%。其中，金属切削机床产成品存货同比降低7.6%，金属成形机床产成品存货同比增长0.5%，工量具及量仪产成品存货同比增长10.1%，磨料磨具行业产成品存货同比增长2.8%。

6. 亏损企业比例

根据国统局规上企业统计数据，2019年12月机床工具行业亏损面为15.1%。其中金属切削机床行业亏损面最大，为24.9%；金属成形机床行业为20.2%，工量具及量仪行业为11.5%，磨料磨具行业为12.5%。

协会重点联系企业2019年12月亏损企业占比为30.0%。其中金属切削机床行业为34.4%，金属成形机床行业为15.4%，工量具及量仪行业为32.4%，磨料磨具行业为40.9%。重点联系企业中磨料磨具、金属切削机床、工量具及量仪行业亏损企业占比数据比国统局数据更大一些。

二、进出口情况

1. 总体情况

2019年机床工具行业进口总额和出口总额同比呈现相反走向：进口总额呈同比降低，降幅近20%；出口总额同比增幅将近5%。自2019年6月起，逐月表现为贸易顺差。

根据中国海关提供的数据，2019年1-12月机床工具行业进口总额为133.0亿美元，同比下降19.6%。其中金属切削机床进口总额57.6亿美元，同比下降28.6%；金属成形机床进口总额15.2亿美元，同比下降4.6%。2019年1-12月机床工具行业出口总额为142.3亿美元，同比增长4.6%。其中金属切削机床出口总额28.8亿美元，同比增长8.5%；金属成形机床出口总额15.2亿美元，同比增长12.9%。2019年1-12月机床工具行业进出口贸易顺差为9.3亿美元（更多产品类别进出口情况详见表1）。

表1 2019年1-12月机床工具行业及部分产品类别进出口情况

序号	项目	进口金额 (亿美元)	同比 (%)	出口金额 (亿美元)	同比 (%)
1	机床工具总计	133.0	-19.6	142.3	4.6
2	金属切削机床	57.6	-28.6	28.8	8.5
3	金属成形机床	15.2	-4.6	15.2	12.9
4	机床功能部件 (含零件)	15.3	-23.0	11.9	-7.4
5	数控装置	15.0	0.0	11.4	4.1
6	切削刀具	16.3	-4.4	29.1	1.6
7	量具量仪	1.9	-12.7	1.8	-7.8
8	磨料磨具	6.1	-17.1	24.6	-1.9

从表1可见，除切削刀具、磨料磨具两个行业为贸易顺差之外，金属成形机床行业也达到了进出口平衡。

2. 金属加工机床进出口情况

(1) 金属加工机床进口来源前五位国家和地区

2019年1-12月金属加工机床进口来源国中，日本和德国列前两位，其金额和占比都很接近，占比均接近三成，遥遥领先于其他进口来源国。中国进口金属加工机床金额前五位国家的金额同比都明显降低，其中日本降低幅度最大，达34.0%，中国台湾降幅也高达30.5%（详见表2）。

表2 2019年1-12月金属加工机床进口来源前五位国家和地区

排序	国别 (地区)	进口金额 (亿美元)	同比(%)	占比(%)
1	日本	21.5	-34.0	29.5
2	德国	21.3	-13.1	29.2
3	中国台湾	7.8	-30.5	10.8
4	韩国	4.4	-21.2	6.2
5	瑞士	4.3	-18.2	5.9

(2) 金属加工机床出口去向前五位国家和地区

2019年1-12月金属加工机床出口去向国中,越南列第一位,占比明显高于其他出口去向国,并且同比增长显著,高达53.9%。美国和日本同比则明显降低,美国降低20.6%,日本降低13.3%(详见表3)。

表3 2019年1-12月金属加工机床出口去向前五位国家和地区

排序	国别(地区)	出口金额 (亿美元)	同比(%)	占比(%)
1	越南	4.7	53.9	10.8
2	印度	3.9	15.4	8.8
3	美国	3.0	-20.6	6.8
4	俄罗斯	1.9	1.0	4.4
5	日本	1.9	-13.3	4.3

(3) 进口金额排前五位的金属加工机床品种

2019年1-12月进口前五位的品种同比均下降,其中加工中心、磨床、特种加工机床和车床下降超过20%。加工中心的进口金额和占比均列首位,但同比下降幅度也最大(详见表4)。

表4 2019年1-12月进口金额排前五位的金属加工机床品种

排名	金属加工机床品种	进口金额 (亿美元)	同比(%)	占比(%)
1	加工中心	21.3	-38.5	29.3
2	磨床	9.6	-20.6	13.1
3	特种加工机床	9.3	-24.5	12.7
4	车床	6.5	-20.0	9.0
5	其他成形机床	3.9	-0.3	5.4

(4) 出口金额排前五位的金属加工机床品种

2019年1-12月出口前五位的品种中特种加工机床占比最大,为25.4%。除车床外其他品种同比均为两位数增长。其中加工中心出口金额虽列第五位,但同比增长幅度最高,与进口同比的大幅度降低形成鲜明的对比。(详见表5)

表5 2019年1-12月出口金额排前五名的金属加工机床品种

排名	金属加工机床品种	出口金额 (亿美元)	同比(%)	占比(%)
1	特种加工机床	11.2	13.1	25.4
2	车床	5.0	-16.3	11.3
3	其他成形机床	4.9	11.5	11.2
4	成形折弯机	3.5	13.8	8.0
5	加工中心	2.5	31.0	5.6

三、金属加工机床消费额

2019年我国金属加工机床生产额194.2亿美元,同比降低17.2%,其中金属切削机床生产额112.8亿美元,同比降低11.1%;金属成形机床生产额81.4亿美元,同比降低24.4%。

2019年我国金属加工机床消费额223.1亿美元,同比降低23.5%,其中金属切削机床消费额141.6亿美元,同比降低21.8%;金属成形机床消费额81.5亿美元,同比降低26.2%。2001-2019年国内金属加工机床消费额变动趋势见图8。

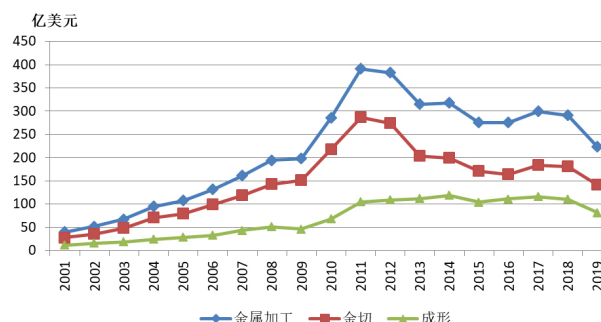


图8 2001-2019年金属加工机床消费额

四、2019年行业运行主要特点

1. 行业运行总体下行,行业格局出现较大变化

国统局和协会重点联系企业统计数据均显示,2019年机床工具行业运行总体上呈下行趋势,收入、利润、产量、产值等主要经济指标普遍同比下降。在金属加工机床中,金属切削机床行业指标的下降幅度比金属成形机床行业更大一些。协会重点联系企业中金属加工机床订单数据也为同比下降。目前行业下行的主要原因之一是固定资产投资增速近期持续回落。汽车、3C等主要用户领域持续下行,也是造成机床工具行业2019年深度下行的直接影响因素。

自2012年以来,机床工具行业已波动下行8年。从全球来看,2019年形势也发生了逆转。2018年全球机床消费达到919亿美元,增幅4.8%。而2019年主要机床生产国和地区大多走了下坡路。

当前机床工具市场呈现出需求总量波动性收缩及需求结构调整和升级为主的特征,与此相伴随的是行业结构和平衡被打破。在这一变化发展的调整过程中,行业企业为适应市场的剧烈变化做了不懈的努力,有些企业聚焦主业,深耕市场需求,适应市场能力进一步提升,但也有相当多的企业陷入了越来越严重的经营困难,亏损严重,资

金紧张，甚至有的不得不进行重整或处于停产半停产状态，行业格局出现重大分化。

2. 行业运行质量下降，亏损面有所扩大

国统局和协会重点联系企业统计数据均显示，2019年机床工具行业及各主要分行业的实现利润总额同比明显下降，行业亏损面扩大。特别是金属切削机床分行业下降更为严重。金属切削机床行业重点企业的破产重组成为2019年行业重大事件。

3. 进出口出现新变化，首次实现贸易顺差

2019年年初以来，机床工具全口径以及金属加工机床一直呈现出口同比明显增长，进口同比大幅下降趋势。继6月份进出口历史上首次出现顺差之后，一直保持顺差。在中美经贸摩擦的背景下，机床工具行业的出口增长成为2019年行业运行的一个突出特点。

顺差是2019年以来出口增加和进口减少共同作用的结果。出口增加既反映了行业积极开拓国际市场长期努力的结果，同时也可能有产业转移等因素的影响。进口减少主要与国内需求下降等原因有较大关系。但同时应看到，各分行业情况不同，切削刀具和磨料磨具行业为顺差，金属成形机床为进出口平衡，其他产品仍为逆差。

4. 创新研发投入不足，内生动力亟待加强

在长期市场低迷，经营困难的情况下，企业难以投入足够的资金创新研发，产品结构得不到更新，转型升级效果不理想。部分企业为适应市场需求和国家重点领域对高端机床的需求，研发了一批高端产品，但尚未批量推向市场，而且配套件主要靠进口，形成不了企业的盈利来源。在当前情况下，以生存为第一要务的相当多的国内企业无暇顾及投入资金进行高端产品研发。面对高端产品市场机制失灵问题，迫切需要探索新的体制机制进行突破，并推动行业高质量发展。

五、对2020年行业形势的预判

1. 宏观经济情况

目前我国正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期，结构性、体制性、周期性问题相互交织，“三期叠加”影响持续深化，经济下行压力加大。当前世界经济增长持续放缓，仍处在国际金融危机后的深度调整期，世界大变局加速演变的特征更趋明显。了解宏观经济的变化将有助于研究和把握机床工具市场和机床工具行业发展的新趋势。

我国经济已从高速度发展阶段转向高质量发展阶段，2010年后国内生产总值（GDP）同比增速基本呈逐步降低走势。

2019年全社会固定资产投资同比增长5.4%，其中制造业投资同比增长3.1%，远低于全社会水平。作为机床工具产品主要用户行业的汽车制造业，投资同比下降1.5%。汽车产销量同比分别降低7.5%和8.2%。

2020年1月末我国广义货币（M2）增速为8.4%，狭义货币（M1）增长为0。M2增速已连续两年多低于10%，特别是近一年基本稳定在8%多一点的水平上。

自2018年12月之后居民消费价格指数（CPI）和生产价格指数（PPI）出现了背离，而且二者的背离幅度越来越大。2020年1月CPI为5.4%，而PPI为0.1%。

2020年1月份PMI指数为50.0%，已连续3个月处于荣枯分界线之上。

从宏观经济数据来看，机床工具市场需求短期内难有大的提升。

2. 2020年的有利因素

（1）国家将稳增长作为2020年重要任务

2019年中央经济工作会议指出，2020年是全面建成小康社会和“十三五”规划收官之年，要实现第一个百年奋斗目标，为“十四五”发展和实现第二个百年奋斗目标打好基础，做好经济工作十分重要。会议在对经济工作做出全面部署的前提下，反复强调了稳增长的重要性。要继续实施积极的财政政策和稳健的货币政策，财政政策提质增效，货币政策灵活适度。政策举措将有利于传统制造业优化升级，有利于先进制造业和战略性新兴产业的发展。

（2）国家优化营商环境，减税降费效果逐步释放

2019年国家主要针对制造企业推出了历史上最大力度的减税降费政策，特别是新冠疫情爆发后，中央和地方政府密集出台了大量惠企政策。这些政策的效果会在2020年逐步释放，有助于机床工具企业改善经营质量。

（3）多数用户行业处于增长区间

根据国家统计局数据，2019年除汽车制造业外，其他主要用户行业主要经济指标仍处于增长区间，并且多数行业预计2020年仍将保持同比增长。汽车工业协会预测2020年汽车产销量仍将下行，但降幅将缩小至2%左右。

3. 2020年的不利因素

（1）新冠肺炎疫情对市场需求和行业运行造成重大负面影响

（下转第35页）

燃油发动机升级对机床行业的影响

中国机床工具工业协会

新能源汽车在快速发展，但要取代传统燃油车还有漫长路。而且传统燃油车制造厂商总希望延长其寿命周期，以期前期大量投入能够继续进一步发挥作用，取得更大回报。因此，升级换代，发挥传统燃油车的优势；绿色制造，克服传统燃油车有短板，将是传统燃油车发展的必然，也就必然对机床行业带来持续的影响。

一、国际汽车装备水平分析

汽车强国源于其拥有强大的机床工业。机床工业为汽车工业不断提供先进装备，同时，汽车工业的革新，促进机床工业不断技术创新。

下面通过分析有代表性的汽车发动机生产设备的技术理念和特点，了解国际上发动机生产最新制造工艺技术的发展。

1. 现代汽车发动机生产线的特征要素

发动机作为汽车的核心部件，且由于发动机生产线的投资额巨大，发动机厂在投资生产线时，一方面希望能够得到高效和长期的回报，这就要求设备具有高效率、高精度、高稳定性且生命周期长的特征；另一方面，发动机技术在不断发展，如何使一条发动机生产线能够不断地适应这些变化，长期使用成为企业关心的问题。

平衡和满足上述两方面的期待往往反应出设备制造商的经验和技术水平。分析发动机生产线，我们不难发现以下设计策略。

(1) 高生产率和低能耗策略

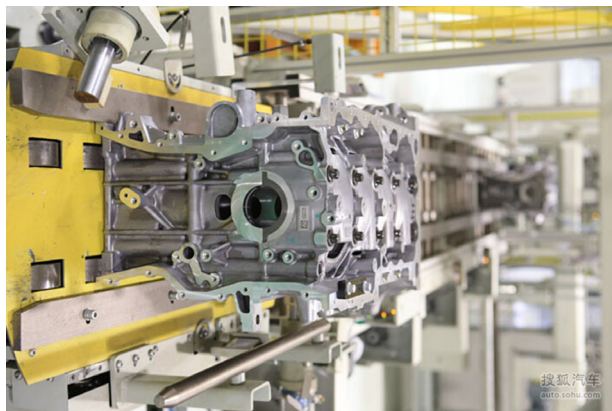
节能环保是现代工业生产发展的大趋势。发动机生产线在要实现高生产率的同时还需追求绿色、低成本运行。例如：通过针对具体工件开发的最优化加工工艺，最大限度地缩短加工节拍时间；通过微量冷却减少环境污染，降低运行费用等。据MAG统计，通过这些措施，可以将设备投资费用减少15%左右，单件加工成本降低7%左右。

此外，以基于机电一体化技术的电驱动取代液压驱动，实现机床“无液压化”，还可以节省4%的运行成本。如在“无液压化”的机床中，刀柄在主轴中的拉紧、刀库工位的动作、工装夹具的驱动等都可以采用电驱动的方式实现。采用电驱动可以提高设备运行的可靠性、节约能量，并且可以大幅降低设备的维护费用。电动驱动较之于液压驱动还有一个及其重要的特征，就是更易于控制。可以说，“无液压化”机床代表着机床发展的未来，是实现智能制造的必由之路。

为了实现低能耗，生产线上的各加工单元除了配置高能效的功能部件外，还配置了“能效软件包”用于能量的优化使用。通过这种方法，可以将机床的能耗降低31%。

(2) 工艺/工件灵活性策略

现代发动机生产线通常为加工中心构成的柔性生产线，其优越性体现在加工工艺及零件的灵活性上。在规划生产线时，应考虑同一条生产线至少可以批量加工两种不同型号的工件，同时保留扩展加工第三种工件的可能性。即“2+1”策略。



实现加工工艺的灵活性，难点在于夹具。因为加工中心可以通过运行不同的程序非常灵活地实现不同类型和不同工序的加工，而通过大容量刀库的使用，也比较容易实

现刀具的灵活使用。然而,夹具则不同,夹具与工件具有极强的相关性,不同的工件往往要求不同的夹持方案。先进的“工装过渡板”技术,为解决这个问题提供了一种行之有效的方法。这一技术基于随行工装的理论,工装过渡板由工件夹具(即工装,通常根据被加工工件的特点设计)和一块过渡板组成。过渡板既是“工装+工件”的载体,同时又具备统一的接口,可以实现与机床工作台的快速接合和快速脱离。生产线上每一台机床的工作台上都安装有与工装过渡板接口相适应的快换机构,这样,工件就可以带着过渡板在不同的机床加工单元间运行,以完成不同工序的加工。

此外,工装过渡板上装有数据芯片,存储描述工件特征和各工序的加工内容等数据,通过与各工序加工机床的数据交换,使得工件的自动加工甚至某种程度上的智能加工得以顺利进行,并使系统时刻掌握每个工件在生产线上所处的位置以及加工状况。显而易见,采用“工装过渡板”技术之后,就可以方便地实现“工件灵活性”。对于一条现有的生产线,要改变被加工工件,只需更换工装过渡板即可。

(3) 产能灵活性策略

采用“并行加工生产模式”是实现产能灵活性的有效方法。其做法是对每道工序根据节拍需要,安置两台或两台以上的机床,实行并行加工,而不同工序之间则采用串联模式。

例如:工序1由两台加工中心并行加工,工序2由三台加工中心并行加工,工序3由三台加工中心并行加工等等,而工序1、2、3...之间则通过桁架机器人形成物流的串联。

当产能需要扩充时,只需增加每道工序机床的数量便可实现,而并不影响整条生产线的基本结构。采用这

种对单个工序使用多台机床并行加工的模式有利于企业实施灵活的投资决策:当企业资金不足或初期产量较少时,可以先以较少的机床构成一较小产能的生产线,当需要并有能力扩产时,只需相应地增加每道工序的机床即可。

“并行加工生产模式”与生产线的“工艺灵活性”相辅相成,当改变工艺或产品时,每道工序的节拍通常会发生变化,这时可以通过增减各工序的机床台数加以适应。并行加工生产模式还有一个突出的优点,就是单台机床发生故障时,不致于引发整条生产线的停产。

(4) 可重新设置策略

由于产品的更新周期通常大大短于机床的使用寿命,所以在生产线规划阶段,就应当考虑到今后更换产品时,如何继续使用现有的生产线。

“重新设置”策略就是通过对现有生产线的重新设置,使其快速实现对新产品的批量加工,同时节约投资成本。它建立在“工艺灵活性”基础之上,又与“产能灵活性”相呼应。

2. 缸体生产线的主力加工设备

高速加工中心为缸体生产线的主力机型,其主轴卧式或立式布置,具有高生产效率、高精度、长使用寿命和模块化结构的特征。以下以某几个典型机床为例,就其结构特点作一介绍。

(1) 运动轴合理布局提高机床刚性

卧式加工中心的X和Y轴采用电主轴驱动,并置于一框型结构内(“框中框”结构),从而保证主轴系统的高刚性。Z轴运动由工件实现。在汽车发动机零部件的加工中,常需要使用尺寸很长的刀具,如缸体和缸盖中的轴承座孔以及一些深油孔的加工,这就要求机床主轴与工件间能够实现较大的轴向相对运动。如果这个

运动由主轴来实现,则会大大削弱主轴系统的横向刚度,而由工作台的运动来实现,则保证了机床在加工时的整体刚度,从而为加工精度提供了基本保障。

(2) 前后方刀库实现快速换刀

为最大限度地缩短换刀时间,在加工中心中设有“后方刀库”和“前方刀库”这两个刀库。后方刀库为主刀库,用于储备所有备用刀具,通常设有一百多个刀位,并可根据需要扩容;前方刀库直接置于主轴上方,设有十几个刀位,用于临时储备即将需要使用的刀具,并以最短的距离和最快的速度与主轴进行刀具交换。而前方刀库与后方刀库的刀具交换以及后方刀库中刀具的优化排列,则根据加工程序动态进行,其交换过程不影响机床的主切削时间。

(3) 双主轴结构加工

在双主轴加工中心中,两个主轴同步运动,同时加工两个工件,具有高产能的特性。考虑到两把刀具很难预调到完全一致的状态,两个工件夹持位置也存在误差,因此双主轴加工中心的所有数控轴都具备位置补偿功能。使用这一功能,并借助机床的测量系统,即可自动实现精确调整两把刀具与它们所对应的工件之间的相对位置。通过这种方法,克服了普通双主轴加工中心难以实现工件高精度加工的缺陷。双主轴加工中心既适合生产线也适合单机生产。



3. 缸体加工的新工艺

轿车发动机越来越多地采用铝质缸体。但是, 由于铝的材料特性所决定, 它不能适应汽缸工作时的特定环境, 所以采取了一种新的方法弥补材料缺陷, 即: 汽缸热喷涂工艺。汽缸热喷涂工艺是将熔化的金属合金喷涂到汽缸内壁上, 从而形成一层适应汽缸工作环境的表面涂层。采用汽缸热喷涂结构具有以下优点:

- ①显著提高汽缸内壁的强度;
- ②减少汽缸内壁与活塞的摩擦;
- ③提高汽缸的使用寿命;
- ④抵抗劣质燃料引起的汽缸锈蚀;
- ⑤使缸体具有更好的导热性能 (这一点对于高功率小体积的发动机尤为重要);
- ⑥缩小缸体体积, 减轻发动机重量。

为了在缸体生产线上实现这一工艺方法, 可以将热喷涂工艺所需的设备集成到发动机缸体生产线中, 热喷涂工序前的汽缸内壁表面处理, 以及之后汽缸孔的加工都由加工中心来完成。采用特制刀具的切削加工方式使汽缸内壁形成几何形状规则的粗糙表面; 由热喷涂设备进行汽缸内壁热喷涂, 其中包括热喷涂前和热喷涂后的检测; 对热喷涂后的汽缸表面进行精镗或粗珩, 并进行最终的精珩加工。如前所述, 这里仍然采用了并行加工生产模式, 可以根据扩产需要增加机床。

值得注意的是, 热喷涂后的汽缸孔珩磨加工仍然由加工中心完成。为此, 人们给加工中心的主轴内部增加了基于机电一体化技术的电控拉杆, 电控拉杆由机床控制系统控制, 借助实时测量系统获取的工件尺寸信息, 对刀具实施加工过程中的精确调控。这个功能不仅在珩磨过程中发挥重要作用, 同时也大大简化了一些在加工中需要进行调节的复杂刀具的使用。

在加工中心上实现珩磨加工, 以此取代传统的珩磨机, 具有一系列的优越性: 珩磨前的精镗工序在同一台加工中心上进行, 这就能够很好地控制下道珩磨工序的加工余量, 从而大幅度减少珩磨的时间。

与采用传统珩磨机床相比, 可以减少机床数量; 将投资和运行成本一并计入考虑, 后者最高可以节省20%的资金; 有利于保持生产线的并行加工模式, 提高设备使用率; 当生产线的加工产品发生改变, 而不再需要珩磨工序时, 该机床仍可以作为加工中心继续使用; 由于在珩磨和此道工序前的精镗加工中, 工件在一次装夹下且在同一台高刚性加工中心上加工, 所以能够保证珩磨后达到极高的形位公差精度。

二、我国机床工具企业攻关方向

目前, 国内汽车发动机关键零件的加工装备, 与国外先进企业存在较大差距, 建议在以下几个方面加快步伐迎头赶上。以全面提升动力总成箱体类零件制造技术。

(1) 缸体制造技术的提升

轻量化材料 (高硅铝合金、耐高温镁合金) 缸体精加工技术; 大平面铣削质量控制、缸孔研磨质量控制及其它孔系加工技术; 缸孔喷涂技术, 以及考虑装配变形的模拟缸体加工技术; 多缸共线加工技术; 缸体表面在线检测技术; 缸孔内表面缺陷自动检测技术; 压缩比的在线测量技术; 铝镁缸体压铸工艺; 等离子弧内孔旋转喷涂技术。

(2) 缸盖制造技术的提升

铝合金缸盖的精加工技术; 气门阀座加工技术; 缸盖大平面铣削及孔系加工质量控制技术; 燃烧室铣削加工质量控制技术; 缸盖燃烧室容积在

线测量技术; 毛坯件加工前的试漏技术; 缸盖气门座圈组合刀具技术。

(3) 变速箱制造技术的提升。

新型材料齿轮精加工技术及刀具涂层技术; 齿轮干式切削技术; 功能复合化的高速高精度磨齿技术; 内花键硬拉加工技术; 带轮热处理的表面软点控制技术; 现代化、智能化、数字化装配技术 (机器人装配技术、防错技术等); 面向AMT、CVT、DCT、AT的制造技术及装配质量控制; 双臂装配机器人的配置和使用。

(4) 曲轴制造技术的提升。

锻钢曲轴的精加工技术; 主轴颈、连杆颈的磨削技术以及替代磨削的硬车技术; 空心曲轴的制造技术; 曲轴圆角滚压强化技术及连杆颈圆角热处理技术; 曲轴动平衡校核及在线质量定心技术; 轴颈同轴度检测技术; 基于视觉技术的轴颈表面缺陷在线识别技术; 快速应力、裂纹检测技术; 清洗与去毛刺技术。

(5) 齿轮制造技术的提升

新型材料齿轮精加工技术及刀具涂层技术; 齿轮干式切削技术; 内花键硬拉加工技术。

(6) 凸轮轴制造技术的提升

轻量化材料的精加工技术; 凸轮轴的磨削技术; 装配式凸轮轴制造及装配质量控制; 适应VVL系统的凸轮轴制造技术; 耐磨、减磨处理技术; 凸轮轴非接触同轴快速检测技术。

(7) 连杆制造技术的提升

高强度、轻量化耐高温材料 (如钛合金) 的机加工技术; 连杆盖分界面技术; 激光加工裂解技术; 镗孔在线测量及刀具磨损检测的加工补偿技术。

(8) 活塞制造技术的提升

耐热、耐腐蚀、耐磨镁合金活塞精铸及精加工技术; 活塞环、活塞裙部耐磨及减磨涂层技术; 活塞异形孔精密镗削微进给加工技术; 基于图像测量的活

塞销扣环自动装配防错技术；活塞容积的在线高精度检测技术；镗孔在线测量及刀具磨损检测的加工补偿技术。

（9）涡轮增压器制造技术的提升

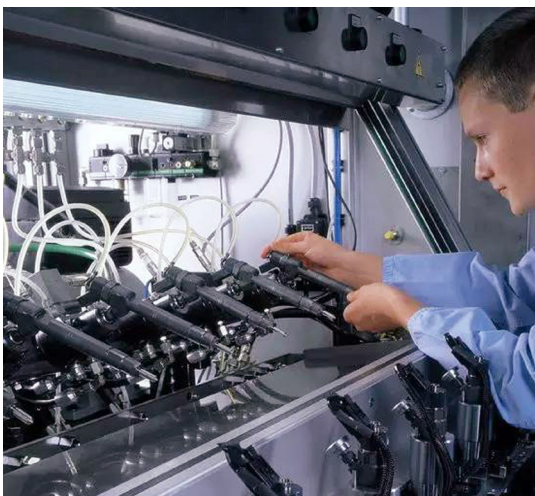
陶瓷材料涡轮制造技术；碳纤维强化树脂压气机制造技术；钛合金涡轮制造技术；整体叶片加工技术；单晶涡轮制造技术。

（10）直喷喷油器制造技术的提升

激光打孔喷油嘴喷孔加工技术；阀座锥面微细电火花加工技术；共轨喷油器零件中孔座面的精磨技术；制造一致性及精密装配质量控制技术；基于液流磨料混合作用的喷嘴去毛刺技术。

（11）高压共轨制造技术的提升

精密偶件的中孔座面精密加工和配付技术；精密微小喷孔和节流孔加工技术；高压共轨系统集成和装配调试技术、测试技术；精密零件去毛刺和清洁度控制技术。



三、对策与建议

1. 建立发动机关键零件的高效高精高稳定性加工柔性自动线技术的研发体系

集中国内相关高等院校、研究单位，行业力量，开展汽车发动机关键零件高效、高精、高稳定性加工柔性自动线共性技术研究，通过建立多方合作共赢，成果共享的创新机制，发挥集体力量，联合进行关键共性技术研发和应用，对提高我国汽车发动机关键零件柔性自动线技术水平和产品的竞争能力具有重要的战略意义。

利用研发平台的产、学、研、用团队优势，从应用基础研究、关键制造装备技术研究和自动线关键技术研究三个层面进行展开，凝练平台的研究方向和任务，解决研究课题与市场脱节的问题。

应用基础技术研究主要包括：工艺创新、系统结构优

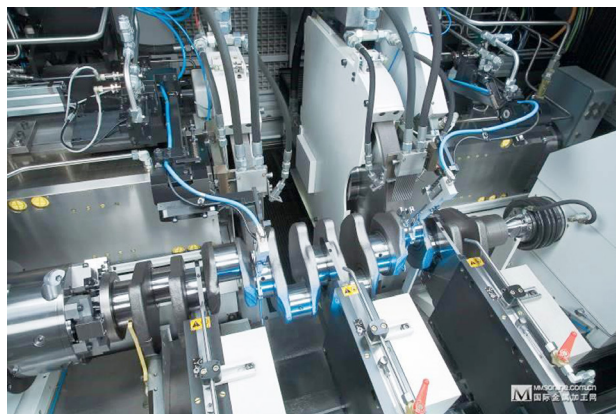
化、动态测试、误差补偿、切削优化和精度与可靠性等研究方向。提出的研究课题包括：发动机关键零件创新工艺研究、高速机床高刚度轻量化优化技术、高速高精度机床整机动态性能测试与评价技术、高速高精度机床精度保持性技术、高精度机床误差检测补偿技术、高速高精度高表面质量伺服优化技术、高速切削动态稳定性研究、高速切削加工工艺参数优化研究和系统可靠性技术研究等。

其中，创新工艺研究是通过对发动机关键零件加工受载的分析，针对其加工特征工作性能失效的敏感区域，基于提高发动机关键零件工作性能（耐腐蚀、抗疲劳）的加工新工艺、新方法进行研究。

高速机床高刚度、轻量化优化技术是针对缸体、缸盖、曲轴等关键零件的加工，结合加工中心，车削中心以及曲轴随动磨床的具体结构，利用基于结合面接触特性参数耦合、移动部件空间位置参数以及加工参数的整机全参数刚度场理论进行有限元建模仿真，同时结合实际的整机模态实验，获得整机的刚度场分布，形成完整的结构模态参数库，为整机的结构优化提供准确的设计依据。

高速高精度机床精度保持技术，主要围绕汽车发动机缸体、缸盖、曲轴等关键零件加工所用高精度装备——加工中心、车削中心、异形外圆车床以及曲轴随动磨床等机床的精度保持性技术展开研究。

关键制造装备的研究目的是提高我国汽车发动机零部件制造装备（高档数控机床）的性能和功能，主要围绕发动机关键零件—缸体缸盖、曲轴的加工工艺问题展开，具体包括：缸体缸盖创新加工工艺研究、基于在机位置检测的缸体孔系高精、高效加工技术、高精度缸体三轴孔的精镗保证技术、精铰缸盖导管孔、精车（铰）座圈孔加工技术、缸体缸盖高速五轴柔性单元技术、曲轴主轴颈车—车拉加工技术、曲轴连杆颈随动外铣技术、曲轴主轴颈、连杆颈圆角滚压技术、曲轴深油孔数控加工技术、曲轴连杆颈随动磨削精加工应用技术等，为进行下一代高档数控机床的研发奠定技术基础。



柔性线关键技术的研究包括物流系统技术、柔性控制技术和检测技术等研究方向,主要包括模块化高速桁架机械手关键技术、柔性随动夹具技术,信息流的调度、管理和控制技术,自动线的工件精度检测与质量控制技术,自动线的刀具磨破状态监测技术等。

2. 建立研发平台并设计合理运行机制

我国的汽车发动机的研发与制造,是发动机厂根据发动机工艺要求,向设备厂采购通用机床或专用机床,而设备厂只要提供满足技术指标要求的设备即可。而国外先进的汽车制造企业,采用并行设计,在发动机研发时机床同步研发,也就是机床制造企业同时参与发动机的研制,为发动机制造工艺提供建设性意见,完善发动机制造整体解决方案。

为达到这一目标,需要国家提供相应政策支持,组建以机床技术研发、生产单位 and 应用企业为主导的

汽车发动机缸体缸盖加工装备关键共性技术联盟,共建技术研发平台,以达到确定共同研究方向、共用平台资源、分享研究成果的目的。

通过成立专门的技术决策委员会,制定研发平台技术发展战略,并对所研发的内容和实现的近期、远期的目标进行把关,同时负责协调各方的工作,建立合作各方知识产权归属和利益分配的机制,以保证技术的不断更新、促进研发平台的良性发展。

该研发平台将分散在不同地域的各个协作单位组织起来,充分发挥各自的优势、协同攻关,在解决明确各方的职责和权利的前提下,通过共同努力,实现研发平台的不断提升和发展,力争使该平台建设技术水平和设备规模达到国内领先,成为资源相对集中,集发动机关键零件制造装备的设计、制造、检测、质量控制、可靠性和服务为一体的制造装备研发基地。同时,具备一支技术过硬、攻关能力强、

人员稳定的专业队伍,促使研发平台在新技术研发、先进技术的消化吸收、人才培养和研究成果的转化和推广应用等方面的持续发展。

3. 建立科学规范的管理体系

要从根本上建立和完善质量管控体系和考核评价体系,形成质量管控的长效机制。进一步强化质量意识、责任意识,按规程办事,严格执行工艺纪律、检测标准。在体制创新方面,要按照治理结构清晰、责任明确、内容清楚、评价体系科学的治理方针,理顺企业内部架构,以科学、规范的管理运行机制推动管理升级,保证企业发展有足够的人才储备。要建立与企业发展相适应的用人机制、激励机制、分配机制,为各类人才提供成长的平台。

机床工具行业要大力弘扬和践行“工匠精神”,只有把敬业、精益、专注、创新的“工匠精神”融入生产、设计、经营的每一个环节,我们制造业才能赢得未来。□

上接第30页

2020年年初爆发的新冠肺炎疫情,对我国经济必然造成较大冲击。至少上半年行业市场需求将受到严重影响。春节后机床工具企业在陆续复工复产,但恢复正常生产仍需较长时间。疫情过后,在政府有力组织和推动下,经济的恢复将迅速展开,行业经济运行有望随之恢复正常。

(2) 全球经济增长放缓,中美经贸摩擦的不确定性和长期性仍将存在

当前世界上贸易摩擦加剧,保护主义盛行,减缓了全球经济增长,全球机床工具市场需求出现了下降趋势。中美经贸摩擦直接或间接地给我国机床工具产业带来的负面影响不会在短期内消失。

(3) 在结构性改革持续深化的情况下,经济增速很难延续过去的高

速增长

近10年来我国GDP增速逐年回落,2020年我国GDP增速目标尚未公布,但这种趋势仍将延续。随着经济增长方式的转变,固定资产投资规模也很难再现过去的高速增长。作为投资拉动商品的机床,市场需求不会有大的增长。同时,需求的升级和我国机床工具企业产品结构的矛盾短期内还不可能彻底解决。

(4) 行业内多年积累的问题和矛盾仍然存在

多年来在行业内积累的一些问题和矛盾,如产品结构不适应市场变化,短板和弱项明显,低端产能相对过剩,研发投入不足,人才缺乏,资金紧张等等,仍然困扰着行业内很多企业。

综合宏观经济情况和机床工具行

业特点及突发的新冠肺炎疫情对经济影响看,2020年上半年机床工具市场需求难有根本好转,全年止降趋稳的难度进一步加大。行业运行将承受较大下行压力,主要经济指标改善的难度较大,但各细分产品领域和分行业将有不同的表现。

当前,在党中央坚强领导下,广大行业企业正与全国人民一道奋力防控新冠肺炎疫情,同时根据各地不同风险程度有序复工复产。疫情不可避免会对行业企业的经营造成较大冲击,但我国经济长期向好的基本面没有改变,疫情的冲击是短期的,总体上是可控的。希望行业企业树立必胜信心,善于化危为机,克服困难,尽快恢复正常生产经营,并力争全年实现更大发展。□

大型精密六轴联动数控电火花成形机床的研发和应用

北京市电加工研究所
北京迪蒙数控技术有限责任公司

伏金娟 丁连同 于帆 郭建梅
郭妍 刘建勇 孙东江

一、概述

近年来，随着航天航空、军工能源领域重型运载火箭、大型能源压缩机的快速发展，众多大型型面空间扭曲类关键零件不断增多，如大型闭式涡轮盘、大型整体闭式叶轮、整体带冠涡轮盘等。这类零件是发动机、大型压缩机的“心脏”零件，特点是型面空间扭曲较大、结构复杂、特殊材质、超硬、耐高温等特点，传统机械加工机床难以完成，而电火花加工则有着巨大的技术优势。

我公司针对航天领域重型运载火箭发动机大型带叶冠整体式涡轮盘、带叶冠导向环和喷嘴叶栅环、能源领域整体闭式叶轮等关键零件的制造难题，在基于04国家科技重大专项——航天复杂零部件超精密微细电火花加工装备与技术(编号:2014ZX04001-111)支持，以及自主知识产权五轴联动电火花加工机床及叶轮等特殊零件电火花加工技术的基础上，突破装备技术、电源开发、软件开发、加工

工艺、装配、检测等技术“瓶颈”，研发了国内首台大型精密六轴联动数控电火花成形加工机床（见图1）及工艺技术，为航天航空、军工能源等领域提供了关键制造装备，并可推广至模具、汽车等领域中。



图1 A2190大型精密六轴联动数控电火花成形机床外观图

二、产品主要技术参数、性能 and 特点

1. 机床技术参数

序号	规格名称	规格参数
1	工作台尺寸(长×宽)	2500×1200mm
2	X、Y、Z轴行程	2100×900×600mm
3	X、Y、Z轴定位精度	X/Y/Z: 19 μm/15 μm/15 μm
4	X、Y、Z轴单向重复定位精度	X/Y/Z: 9 μm/7 μm/7 μm
5	A、B、C轴行程	A轴0° ~ 360° /B轴0° ~ 150° /C轴0° ~ 300°
6	A、B、C轴定位精度	± 0.005° (± 18")
7	A、B、C轴重复定位精度	0.005° (18")
	工作液槽内腔尺寸(长×宽×高)	3110×1700×900mm

序号	规格名称	规格参数
8	各轴分辨率	X、Y、Z: 0.1 μm ; A、B、C: 0.001°
9	工作液槽最高液位到工作台的距离	700mm
10	主轴接板下端面到工作台面的最大距离	1300mm
11	储液箱容积	3500 $\times$ 2=7000L
12	Z轴最大电极重量	100kg
13	工作台最大工件重量	5000kg
14	B轴装夹电极最大重量	5kg
15	A轴装夹工件最大重量	300kg
16	机床重量	22000kg
17	机床外型尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高)	6550 $\times$ 4860 $\times$ 4130mm
18	总输入功率	42kW
19	输入电源	380V(国内)
20	数控电源装置	F-150+A6-50
21	最大工作电流	200A
22	最小峰值电流	0.1A
23	最佳表面粗糙度	Ra $\leq$ 0.06 μm (模具钢)
24	最小电极损耗	$\leq$ 0.03%
25	最大加工速度	$\geq$ 2000mm ³ /min(模具钢); $\geq$ 800mm ³ /min(钛合金)
26	最佳加工精度	$\leq$ 5 μm
27	插补(空间运动)方式	直线、圆弧、螺旋线、竹枪
28	精度补偿项	各轴分别进行步距误差补偿、间隙补偿
29	驱动当量	$\leq$ 0.1 μm
30	显示方式	15寸液晶屏
31	手控盒	标准点动(多级切换)MFRO-3

2. 机床主要性能

(1) 具备六轴数控、六轴联动功能。

(2) 具备数控系统集成三维CAD/CAM软件, 实现编程加工无缝连接功能。

(3) 具备带冠涡轮盘、整体闭式叶轮等复杂结构的电火花成形加工功能。

(4) 具备加工钛合金、高温耐热合金等难加工材料的电火花成形加工功能。

3. 机床主要特点

(1) 六轴联动大型电火花机床行程大, 保证大型涡轮盘的加工空间。

(2) 采用六轴联动加工, 可减少电极设计数量, 减少装夹次数, 降低因反复装夹产生的精度损失。

(3) 采用六轴联动编程加工, 电极可实现更复杂轨迹运动。

(4) 大功率的脉冲电源高效快

速的去除, 可提高加工效率。

三、关键技术研究内容及创新点

1. 研发大型数控电火花成形机床主机及关键部件

研发的大型精密六轴联动数控电火花成形机床主机(ZL201410150558.8, ZL201520382510.X), 采用倾斜滑板式结构, 有效避免了现有机型结构动态特性差的缺点, 保证了设备的加工精度。

通过CAD/CAE建模仿真分析、基于多体运动学理论的电火花机床几何误差分析、热—结构耦合变形分析等技术的应用, 从设计阶段保证了机床的高精度和持续改进; 通过在制造加工环节进行材料优选、热处理、选取合适的加工方法及在线检测等手段, 保证各零部件的加工精度; 在装配环节, 通过优化装配顺序、严格控制装配误差等, 保证机床各部分完美

配合, 达到设计精度要求。机床主机结构如图2所示。



图2 大型精密六轴联动数控电火花成形机床主机结构

各轴系采用自主设计的全闭环控制技术, 该技术可对各种干扰和非线性因素对运动轴位移产生的影响进行有效的动态校正, 使任何时刻运动轴的实际位移时时跟随设定值变化, 因而可以保证机床具有非常高的动、静态精度。此外, 针对重型运载火箭发动机带叶冠整体式涡轮盘及环形件、大型压缩机整体闭式叶轮的

大件加工需求, 开发出直径600mm以上的大型直驱全浸液电火花专用数控转台(ZL201621416804.0), 密封等级IP68。该全浸液转台定位精度 0.0014° , 满足这类零件精度需求。

2. 研发电火花专用Windows+RTX六轴数控系统

研发出基于Windows系统的六轴联动开放式数控系统(2016SR084163), 通过RTX实时内核补丁插件实现windows下的实时任务调度。基于高性能的X86处理器, 研发了包含COMExpress模块和COMExpress载板的数控主板, 满足控制算法及集成CAD/CAM对数控系统性能的需求; 基于高性能FPGA, 实现运动/放电一体化控制卡的开发, 提升放电控制和运动控制协同算法的并行性能和实时性能; 基于Windows+RTX开发出实时系统、六轴矢量分配插补算法, 实现了电火花加工六轴联动回退、抬刀、摇动等功能, 实现了CAD/CAM系统与数控系统的全集成, 能够实现编程加工无缝连接, 提升了数控系统的灵活性和电火花加工机床的易用性。数控系统硬件如图3所示, Windows六轴数控系统界面如图4所示。

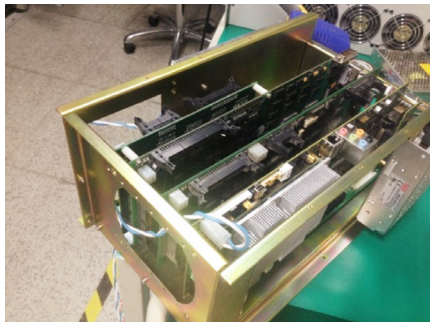


图3 数控系统硬件

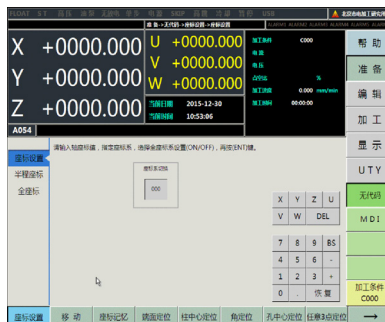


图4 Windows六轴数控系统界面

3. 研发六轴联动CAD/CAM系统

六轴联动CAD/CAM系统(2018SR037238)可用于解决复杂曲面零件(如: 整体闭式叶轮或涡轮盘类零件)的电极设计和轨迹仿真。该系统可极大地提高电极设计效率, 缩短该类零件的加工周期, 可嵌入到大型专业三维CAD软件, 接口方便快捷。运用该系统能快速检测所设计电极的合理性, 自动优化电极轨迹, 通过不断的模拟仿真进而不断完善电极设计。电极和轨迹优化完成后可一键自动生成电火花加工G代码, 极大地提高编程效率, 节约了大量的人工成本。图4是数控系统集成CAD/CAM界面, 图5是CAM仿真系统。



图5 数控系统集成CAD/CAM

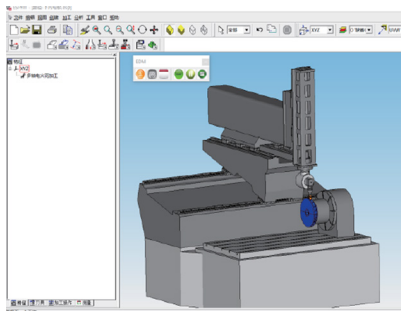


图6 CAM仿真系统

基于EROWA、3R等多个系列的标准夹具产品建立了夹具库, 将现有的N

系列、B系列、M系列电火花成形机床的三维模型集成到CAD/CAM系统中, 形成机床数据库, 能够满足虚拟加工的快速装夹及加工仿真需求。

基于CAD/CAM API接口的网络通信软件开发, 实现客户端与服务端通信的连接及系统控制功能。开展了基于网络的CAD/CAM系统License授权管理软件开发, 用户可以通过License授权进行访问CAD/CAM系统云端服务平台以获得相应服务, 从而保证用户访问服务平台的有效性。

4. 研发高效率大功率脉冲电源

针对重型运载火箭发动机带冠涡轮盘及环形件加工去除量较大, 而电火花加工效率较低的特点, 开发了大功率PWM开关电源(见图6), 采用叠层母线主回路设计(见图7), 显著降低放电寄生电感; 研发了SiC MOSFET的纳米级低损耗加工模块和终端增爆模块, 开发的高效率大功率脉冲电源, 经国家机床质量监督检验中心检验, 脉冲电源最大加工电流200A, 电机驱动精度 $0.1 \mu\text{m}$, 驱动当量 $0.1 \mu\text{m}$ 。

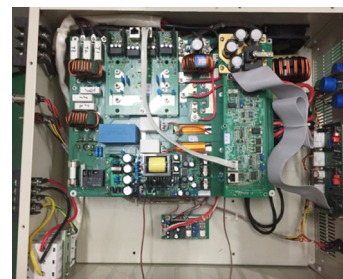


图7 PWM大功率开关电源

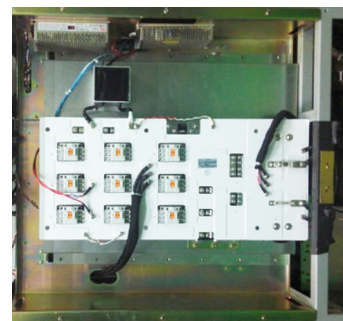


图8 叠层母线主回路

对POCO的EDM-AF5、EDM-C3、EDM-3三种型号的石墨电极材料进行分析和大量工艺实验，构建了石墨材料加工工艺数据库，采用新型加工回路，实现了1000mm³/min以上的钛合金高效率加工和2000mm³/min以上的模具钢高效加工。

5. 开展了大型六轴联动电火花加工工艺技术

开展了大型电火花加工机床六轴联动的工艺试验，制定了基于球面的变深度、变截面的S形曲线六轴联动电火花加工工艺方法，并完成了试件的加工。开展了基于六轴联动电火花加工装备的重型运载火箭发动机钛合金、高温耐热合金整体带冠涡轮盘(ZL201310000946.3、ZL201610053352.2)、大型压缩机整体闭式叶轮与结构复杂的薄壁件、环形件的智能化电火花高效加工工艺技术研究，建立了工艺数据库。同时完成了大型压缩机整体闭式叶轮的工艺设计规范和验证，形成了企业标准。

四、成果应用及推广情况

本项目研发的大型智能精密六轴联动电火花成形装备，突破了大型六轴联动电加工机床及工艺关键核心技术，可解决以重型运载火箭发动机带叶冠整体式涡轮盘、喷嘴叶栅环及复杂薄壁件、大型压缩机整体闭式叶轮等复杂形状零件为代表的大型关键零部件加工，解决了加工“瓶颈”问题。

应用项目成果，为航天领域完成了多种型号的带叶冠整体涡轮盘，解决了重型运载火箭发动机涡轮盘叶片扭曲度高、尺寸大、精度要求高、表面要求高等问题，并推广至航空、船舶、汽车发动机复杂零件加工、复杂模具加工等国防与民用领域，推动了其所在行业的技术进步；同时，利用项目成果，形成了系列化大型牛头电火花机床新产品，已成功用于中国航发南方工业有限公司、苏州中悦百毅光电科研开发有限公司、南京欧霸机电有限公司、宁波方正汽车模具有限公司等单位，提高了用户的市场竞争力，降低了生产成本。

应用项目成果加工的透平压缩机、发动机用整体闭式叶轮、导行转子等关键零件，都是这些单位所承担的国家国防重大项目涉及的零件以及重大技术攻关项目应用零件，解决了这些单位所承担的国家国防重大项目关键技术难题，打破了国外的技术垄断，节省了采购国外出口产品所需的人力、物力、财力以及时间成本，为国家重要基础设施建设、能源等领域技术进步提供了重要支撑。

与此同时，通过项目研发，推动了我国大型精密六轴联动数控电火花成形装备从设计、制造、加工工艺的技术突破，增强了我国大、精、尖装备的创新能力。同时，项目所开发的技术，将为类似电火花成形机床的开发提供技术支撑，也将进一步提升北京市电加工研究所、北京迪蒙数控技术有限公司的技术创新能力及市场竞争能力。□

广告索引 Advertisers Index

开天传动技术(上海)有限公司	封二
马波斯(上海)商贸有限公司	封三
第十七届中国国际机床展览会(CIMT2021)	封底
卡尔蔡司(上海)管理有限公司	1
斗山机床(烟台)有限公司	2
健椿工业股份有限公司	3
约翰内斯·海德汉博士(中国)有限公司	4
世界制造技术与装备市场杂志	5
北京北一机床股份有限公司	7
上银科技有限公司	8
哈尔滨量具刃具集团有限责任公司	9

HTM 系列卧式车铣复合加工中心的研发与应用

沈阳第一机床厂有限公司 王 帅 温华栋 杨国强

一、产品概述

卧式车铣复合加工中心作为机床行业最高档的机床之一，市场需求巨大，由于此类机床在提高能源、航天、航空、舰船及军工等行业一些关键零件的加工精度和加工效率方面有着不可替代的作用，很多西方国家限制对我国的出口。

HTM系列卧式车铣复合加工中心是针对汽车、航天、军工等行业对高档数控机床的需求而研制开发的，该机床以“零件单机完工”为设计宗旨，融合了车削中心与卧式加工中心的优点，采用X1、Y、Z1三个直线轴正交结构，加大的Y轴行程很好地扩展了机床的加工空间。与可以连续分度的车削主轴（C轴）和在240°范围内摆动的铣削主轴（B轴）配合，能进行五轴联动加工，极大地改善了机床对复杂零件的加工能力。机床配置自动换刀机构，车、铣主轴采用大功率电主轴驱动，工件一次装卡调整后，不仅能进行车削、铣削、钻削、磨削等多工序的复合加工，利用多轴联动功能还可完成零件倾斜部位及复杂空间曲面的加工，极大地提高了加工效率与精度。HTM系列卧式车铣复合加工中心体现了当今数控机床高效、高精、复合化的发展趋势，具有国际领先水平，尺寸公差为IT6级；粗糙度为Ra1.6；圆度为3.5 μm，该机床显著特点是铣削加工叶片螺旋面、加工偏心零件、铣削斜面等，特别适用于复杂零件的加工。

二、新技术的应用情况

现代数控机床的主要特征为高速、高精度和高动态特

性，沈阳机床对HTM系列车铣复合加工中心动态性能展开研究，通过借鉴国内外机床动态特性测试手段以及机床整机仿真分析等方法，为高档数控机床的性能评估及改善，以及结构优化提供依据；基于现有机床原型构建机床动力学模型分析计算，并针对机床主要部件进行结构优化改善整体动态性能。

沈阳机床紧紧围绕军工、航天、航空等重点行业，重点进行、高速铣车复合铣削主轴、高刚性高定位精度B轴技术及热变形误差补偿技术的研究和开发，攻克了一系列的技术难题，具体说明如下：

1. 高刚性高定位精度B轴技术

通过对高刚性高定位精度B轴技术开展研究，解决了三个关键技术问题，即B轴高定位精度的实现方式；B轴高刚性的实现方式；小空间内B轴附属功能的实现方式。B轴的驱动依靠安装在主轴上的大转矩、高可靠性的力矩电机来完成，外环配有水套，实现力矩电机的循环冷却，控制B轴温升。主轴旋转分度时，依靠转台轴承进行回转支撑。主轴后端配有高精度直联反馈光栅，保证B轴的分度精度。该B轴装置有两种锁紧固定方式，当B轴分度角度是2.5°的整数倍时，通过轴承前端的锁紧齿盘进行固定；当B轴分度角度不是2.5°的整数倍时，通过B轴后端的刹车机构进行锁紧。在B轴参与插补加工的过程中，如果出现振动，可以对B轴后端的刹车机构进行低压控制，使其起到增加减振阻尼的作用。B轴装置后端有复杂的液压、冷却、气动配给装置，保证B轴装置及车削主轴功能的实现。B轴机械图如图1所示。

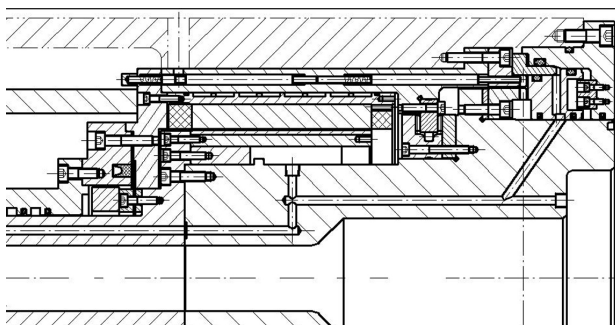


图1 B轴机械图

为提高B轴控制精度和响应速度，对原有产品进行升级改造，更改B轴结构，HTM63系类车铣加工中心采用力矩电机式B轴（见图2）代替机械式B轴结构形式（见图3）。相比机械式B轴具有以下优点，传动链减少，以力矩电机结构代替原齿轮传动结构，减少了减速变速、齿轮传动、齿轮定位于啮合及脱开环节和零件，在保持B轴扭矩不变的情况下，提高系统传动效率及响应速度，便于加工制造和压缩装配调整时间，提高装配效率，减少装配误差，提高B轴动态响应能力，减少响应时间，提高加工效率，增加使用可靠性和稳定性。

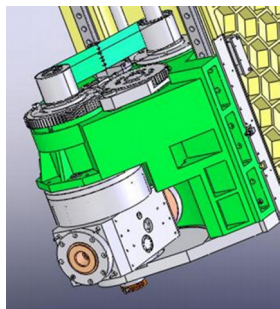


图2 力矩电机B轴结构

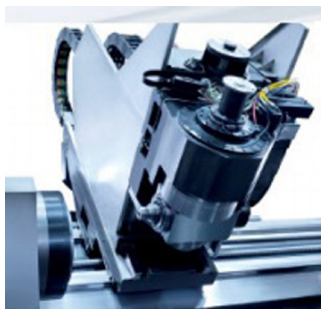


图3 机械B轴结构

机床主轴采用高速、高可靠性的内装电机实现直接驱动，反馈光栅直联结构，保证车削主轴的高动态特性；主轴箱体内置水套对电主轴进行循环冷却；车削主轴前端布置比例液压控制的车削主轴任意位置锁紧机构，保证了工件任意角度定位进行铣、钻加工时的锁紧刚性。电主轴主轴箱如图4所示。

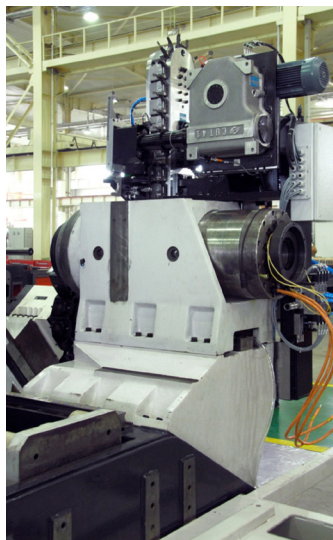


图4电主轴主轴箱

同时对主轴刀具高压内冷进水结构也进行了改进，原结构在使用一段时间后，受机加件加工精度影响，存在漏水问题，影响使用寿命。将原结构改为旋转接头，靠高压水压力自动密封接头，有效解决了结构漏水，提高了使用寿命，增加密封可靠性。

HTM63系列车铣加工中心副主轴锁紧装置改进为滑块锁紧，床身加高更改内部筋型，B轴三齿盘锁紧机构由外布置改为内布置结构。第二主轴锁紧原为液压压板结构，布置在床身内侧。使用中发现问题为当有铁屑或油污进入床身内部后，会造成锁紧失灵，不在正确位置锁紧；后采用锁紧滑块形式，通过对导轨锁紧达到定位锁紧目的。这种锁紧形式安装、调整、维护和使用方便，定位锁紧安全可靠，精度和可靠性高。

针对原床身刚性不好，装配后床身精度不好等情况，重新设计床身内部结构，原床身结构如图5所示，内部为1条筋型支撑，床身整体变形量大；通过计算分析机床受力点和变形量最大点，通过软件模拟分析增加床身内部筋型，调高床身高度等设计改进，增强了整体刚性，减小床身变形量，达到提高机床精度、可靠性的目的，同时提高了床身固有频率达到远离机床共振点，避免切削共振产生。改进后床身结构如图6所示。

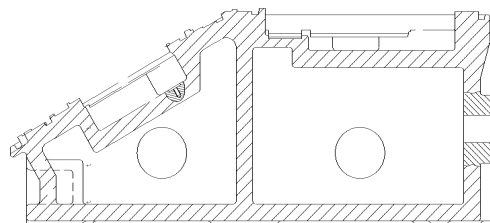


图5 改进前床身结构

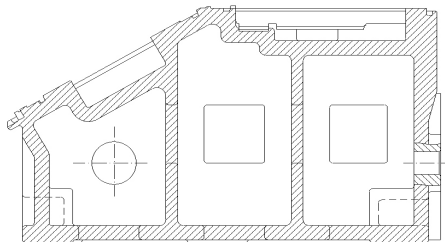
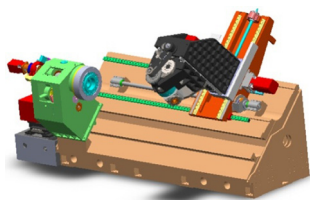


图6 改进后床身结构

B轴原分度锁紧机构布置在滑枕外侧，裸露布置。易受到油气污染锈蚀，同时原铣削头，受机构整体变形影响锁紧时锁紧角度误差容易超差，精度保持性不好。本次改进将锁紧机构整合在B轴箱体内部，靠近铣削头处，B轴整体全防护，锁紧机构使用精度和寿命得到提高，同时增强机构运行可靠性和稳定性。HTM80150机床如图7所示。HTM63150iy机床如图8所示。

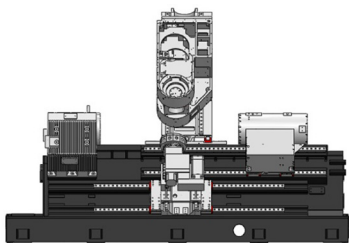


(a) 外部展示图

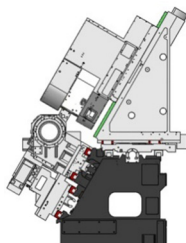


(b) 部分结构示意图

图7 HTM80150机床



(a) 正视图



(b) 机床侧视图

图8 HTM63150iy机床

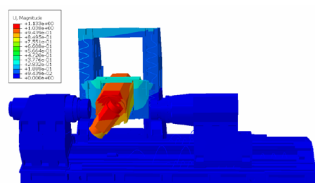
2. 车铣复合加工中心动态性能测试及拓扑优化

通过对车铣复合加工中心动态性能展开研究,借鉴国内外机床动态特性测试手段以及机床整机仿真分析方法,实现高档数控机床的性能评估及改善,为结构优化提供依据;基于现有机床原型构建机床动力学模型分析计算,并针对机床主要部件进行结构优化改善整体动态性能。

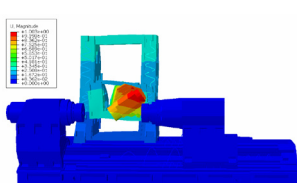
(1) 模态测试

综合模态分析方法即用模态实验的实验结果来验证和校正模态仿真的设置。由于我们在模态仿真中需要设置模型的材料参数、边界条件和结合面部件等效参数(包括滚珠丝杠、滑块导轨、轴承),变量较多,各变量对于仿真结果的影响机理较为复杂。鉴于此原因,我们在进行模态实验时采用边装配边进行模态实验的方法,也即当装配一个部件时即进行模态实验并进行模态仿真,并用模态实验校正仿真参数,这样就确定下该部件的仿真参数。当再装配下一个部件时同样进行模态实验和模态仿真,这样只需要调整下一个需要装配的部件的仿真参数,这样利于控制模态仿真过程中的单一变量,减少误差。

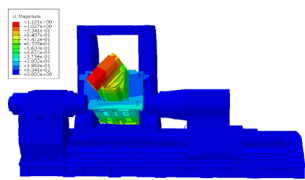
将各个机床部件参数导入机床整机模型进行仿真得到机床的整机模态性能如图9所示:



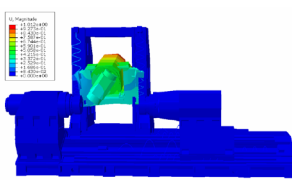
a 机床整机一阶模态图



b 机床整机二阶模态



c 机床整机三阶模态



d 机床整机四阶模态

图9 机床整机各阶模态图

从以上整机模态仿真结果可以看出,机床第一阶的振动频率为33Hz,振型为铣主轴结构的振动变形和立柱结构的振动变形,二阶振型也为立柱结构与铣主轴结构的振动变形。需要对机床相关部件进行优化和改进。

(2) 立柱轻量化

机床立柱结构的优化目标为:

- 1.低阶固有频率高、2.运动部件质量小、3.兼具体积与效率。

参考国外知名机床厂家生产的相似结构的机床设计,对机床立柱的箱体式结构进行相应的优化和改进如图10所示。将机床的箱体式结构修改为开放式结构,将箱体式结构的垂直交叉肋板修改为更为稳定的斜交叉肋板,并在必要时为之加一些肋板进行加固。采用该结构材料节省 0.03m^3 ,若是采用铸铁材料,重量减轻约210kg。

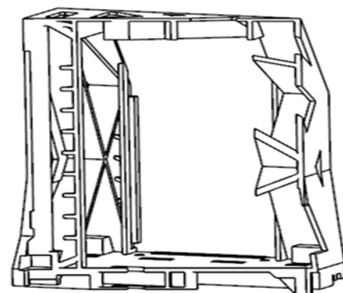
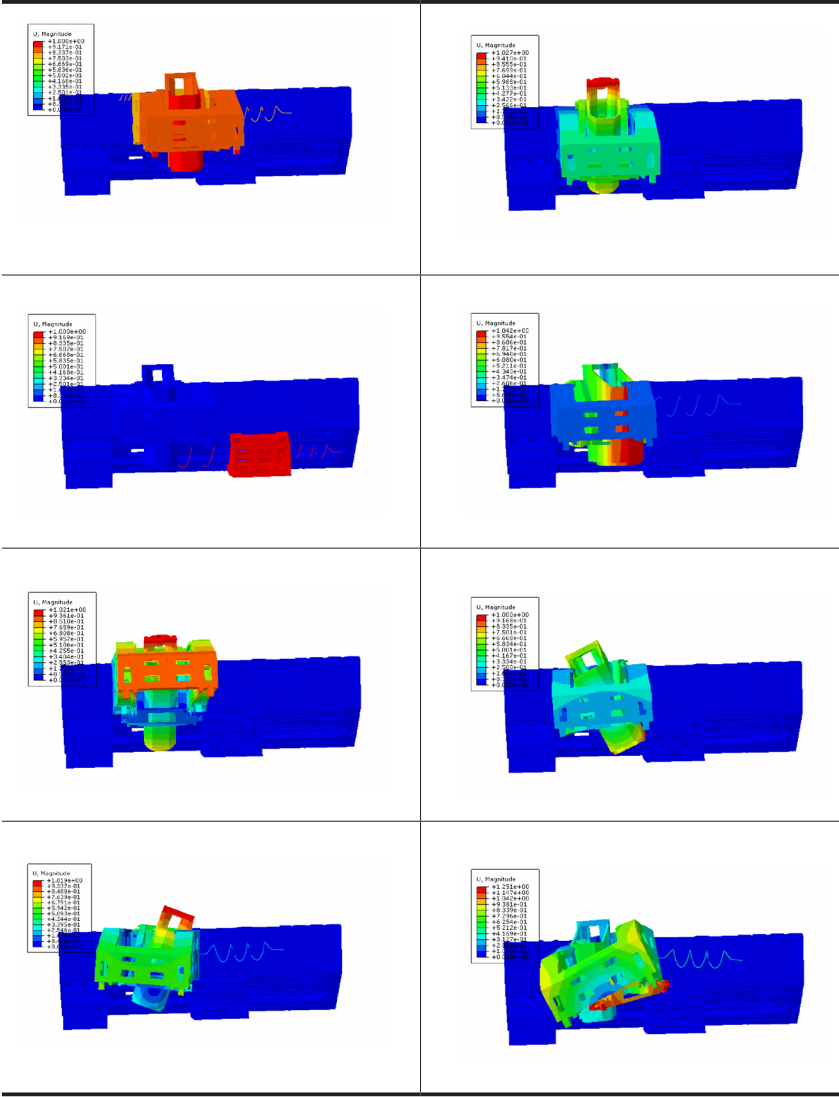


图10 轻量化立柱结构与剖视图

使用该立柱结构对机床进行模态仿真,该模型设置与机床原仿真模型设置一致,仅将原模型中的立柱结构换为经过改进的机床立柱结构。仿真结果如表1所示。

表1 机床立柱仿真结果



(3) 铣主轴结构优化

固有频率较低说明结构的结构刚度较小，或者承载质量较大。提高结构的结构刚度或者降低结构的承载质量都可以提高机床的固有频率。根据研究对象的设计，机床的铣主轴仅为350mm长，可以节省更多的空间，机床的加工空间更大，同时在不降低输出功率的情况下，该型号主轴的功率密度更高，重量更轻，对于机床的动态特性更有利。

对比机床原设计机床动态特性仿真分析结果以及铣主轴经过改进设计的机床动态特性结果：

表2 结构优化前后对比

	1	2	3	4	5	6	7	8
旧设计	30.190	42.100	57.992	69.659	71.736	74.453	78.810	94.609
新主轴	30.662	43.257	57.992	70.613	74.490	78.547	80.679	96.239

从表2对比分析可以看出，采用新主轴的设计结果，机床各阶次的频率都有提升，对铣主轴振动的阶次的振型尤其明显，高阶模态频率提升也较明显。

(4) 结构拓扑优化

此次对结构拓扑优化的流程如图11所示：

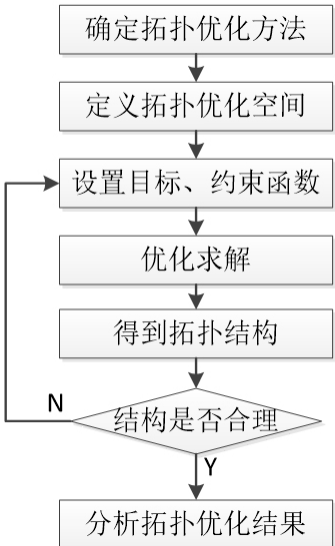


图11 拓扑优化流程

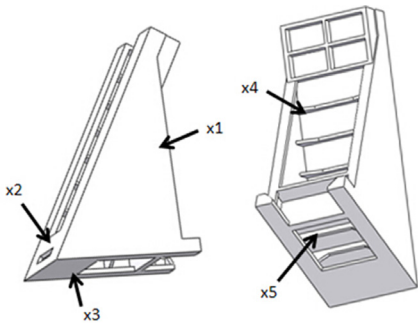


图12 HTM3150iy床鞍结构图

在HTM3150iy的床鞍结构研究中，对床鞍结构进行了结构尺寸优化的研究工作。如图12所示，其中， x_1 为两侧板厚度， x_2 为前侧板厚度， x_3 为底板厚度， x_4 为背部肋板厚度， x_5 为底部肋板厚度。其优化变量见表3。

表3 HTM3150iy床鞍结构优化变量

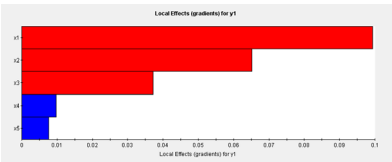
结构位置	初始值 (mm)	下限 (mm)	上限 (mm)
两侧板厚度 x_1	40	30	50
前侧板厚度 x_2	40	30	50
底板厚度 x_3	32	20	40
背部肋板厚度 x_4	20	10	30
底部肋板厚度 x_5	20	10	30

根据设计变量的变化范围，采用拉丁超立方设计方法，使试验设计矩阵中各个样本点因素水平分布尽可能均匀，得到15组试验数据，并对得到的数据点进行仿真，形成床鞍性能评价指标样本（见表4）。

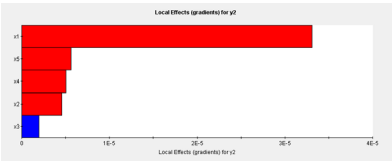
表4 床鞍性能评价指标样本

样本号	x_1/mm	x_2/mm	x_3/mm	x_4/mm	x_5/mm	ω/HZ	δ/mm	m/t
1	30	40	21.43	12.86	24.29	39.086	0.0023555	0.8618
2	31.43	44.29	40	22.86	11.43	37.626	0.002318	0.9491
3	32.86	42.86	25.71	25.71	25.71	38.109	0.0022651	0.9328
4	34.29	38.57	28.57	20	22.86	38.479	0.0021847	0.9257
5	35.71	47.14	22.86	15.71	30	37.579	0.0021697	0.9666
6	37.14	41.43	31.43	24.29	27.14	37.702	0.0018344	0.9852
7	38.57	31.43	20	27.14	12.86	39.088	0.0020649	0.9134
8	40	32.86	35.71	30	28.57	38.213	0.0019879	0.9914
9	41.43	34.29	24.29	18.57	17.14	38.437	0.0019773	0.9607
10	42.86	35.71	34.29	28.57	20	37.921	0.0019379	1.0243
11	44.29	50	27.14	21.43	14.29	36.271	0.0017094	1.0803
12	45.71	37.14	38.57	17.14	18.57	37.278	0.0018605	1.0588
13	47.14	48.57	32.86	10	21.43	36.138	0.0018745	1.1107
14	48.57	30	37.14	11.43	15.71	36.368	0.0017785	1.0381
15	50	45.71	30	14.29	10	36.221	0.0018324	1.1153

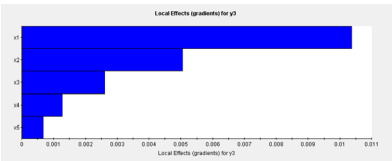
通过表4，借助Isight软件建立RBF近似模型，并根据所建立的RBF近似模型，基于帕累托法则，得到输入输出的帕累托图（见图13）。



(a) 设计变量与机床一阶固有频率的帕累托图



(b) 设计变量与最大变形量的帕累托图



(c) 基于RBF近似模型的设计变量与质量m的帕累托图

图13 设计变量与响应的帕累托图
利用RBF近似模型进行优化分析，借助优化算法，得到最优解，为了方便铸造，对尺寸进行一定的改进。并基于原始有限元模型，将设计尺寸改为优化改进后的尺寸，重新生成模型，并进行静力分析和装配条件

下的模态分析，得到的结果如表5所示。

表5 优化改进前后设计变量及评价指标

	x_1/mm	x_2/mm	x_3/mm	x_4/mm	x_5/mm	ω/HZ	δ/mm	m/t
改进前	40	40	32	20	20	37.629	0.0020195	0.9997
改进后	37.6	30	20	30	21.6	39.223	0.0019422	0.9057

由上表可以看出，经过优化改进后机床一阶固有频率提高了4.24%，最大变形量减小了3.83%，同时床鞍的质量减轻了94千克，减少了9.4%。此次优化在减轻了床鞍质量的前提下，同时提高了一阶固有频率，并且降低了机床床鞍最大变形量，且结构的静动态特性有所加强，因此该尺寸优化改进是可行的。

采用变密度法，经过有限元分析及迭代计算，得到机床床鞍结构拓扑优化结果，其密度云图如图14、图15所示，红色区域为密度大的材料需要保留，蓝色区域为密度小的材料，对结构性能影响相对较小，可以尝试去除。

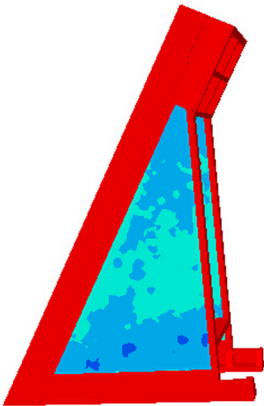


图14 床鞍密度云图

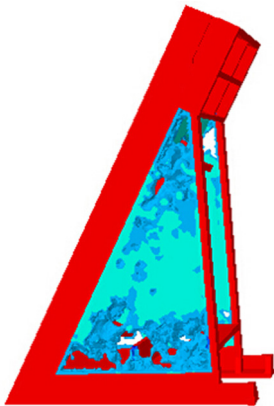


图15 床鞍拓扑优化结构

从铸造工艺及加工成本方面进行考虑，根据床鞍拓扑优化的结果，兼顾铸造方便性及可行性，建议分别在两侧板的下部开两个圆孔，在两侧的上部开一个孔，改进后的结构如图16所示。

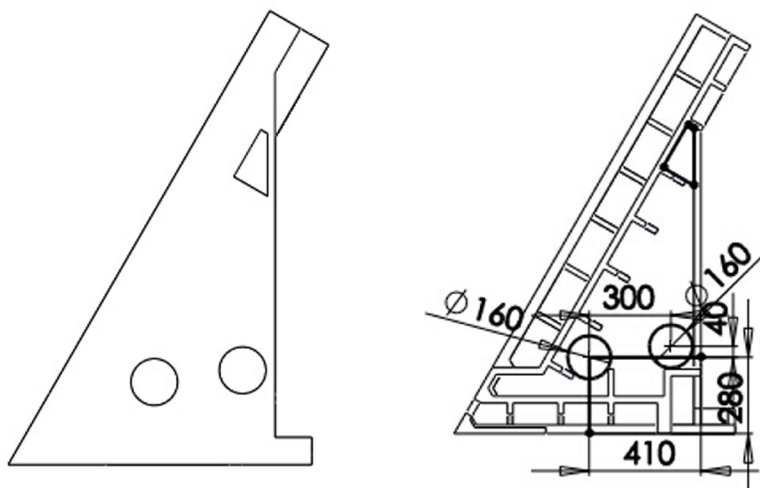


图16 拓扑优化改进后结构

表6 优化前后床鞍性能评价指标

优化阶段	1阶固有频率/Hz	最大变形/mm	质量/t
优化前	37.629	0.0020195	0.9997
尺寸优化及改进后	39.223	0.0019422	0.9057
拓扑优化及改进后	39.882	0.0019503	0.8725

通过表6可知,进行拓扑优化后,机床的一阶固有频率有所提升,并且最大变形量变化很小,且比原结构的最大变形量小,同时床鞍的质量又减轻3.6%,达到了设计目的,因此该设计是合理的。

三、成果应用及推广情况

车铣加工是实现高效率、高精度加工的有效手段,是一种在传统机械设计技术和精密制造技术基础上集成了现代先进控制技术、精密测量技术和CAD/CAM应用技术的先进机械加工技术。随着数控编程、加工仿真模拟和车铣刀具技术的发展,车铣加工技术的发展前景将更大更广。

在研发HTM系列卧式车铣复合加工中心的过程中,开展了机床结构优化技术、热变形误差补偿技术、多轴联动铣车复合加工工艺、可靠性技术、在线检测技术、三维防碰撞技术、动态性能研究与测试技术、空间误差补偿技术、高刚性高定位精度B轴技术和带刀具自动识别系统的自动换刀技术的研究。对于以上关键技术的研究,对车铣复合数控加工设备的研发和生产提出了重要的参考和指导要求。车铣复合加工设备的精度及其性能指标直接影响了产品的加工精度。车铣复合加工工艺设计对车铣复合加工设备的性能依赖性更大,车铣复合加工设备的主轴数目、刀架数目、主轴与刀架的相对位置关系都对车铣复合工艺有很大影响。因此,为了完成高精

度的产品加工要求,车铣复合数控加工工艺设计及其仿真或实际加工可以有效检验车铣复合加工设备的精度和参数指标。在车铣复合加工机床的研发方面,可考虑解决现有的车铣复合工艺设计问题,如工艺设计过程中,易出现刀架上的非加工刀具与工件或机床干涉的问题,可考虑将刀架改为刀塔,并建立刀具库,不仅提高了加工过程中可携带的刀具数量,而且大大减少了发生干涉碰撞的概率。

在车铣复合加工机床的生产装配方面,对车铣复合加工工艺对机床刀架、主轴的位置精度、双主轴之间的位置精度、双刀架之间的位置精度等方面提出了具体的要求,合理的安排车铣复合加工设备的装配工艺,保证车铣复合机床的精度要求。如HTM63系列车铣加工中心是沈阳机床厂自行开发设计HTM系列五轴车铣中心的更新换代产品,具有国际先进水平,该车铣中心除了可以实现直线、斜线、圆弧、锥螺纹及多头螺纹外,还可进行铣直、斜面,铣螺旋槽,铣螺纹,以及镗、铣钻等多种加工方式,特别适合于军工、航空航天、船舶、运输等行业对高精度、形状复杂的大型回转体零件加工的要求。与国外同类机床相比,技术参数及指标相近,达到世界领先水平。

同时在产品研发与产业化过程中,同相关用户紧密联系,针对卧式铣车复合加工中心的几个典型样件,进行铣车复合工艺研究与示范应用,实现一次装卡中完成回转车削、斜面及曲面铣削、斜孔及其孔口倒圆加工等多道工序。掌握和优化用户加工工艺,努力开拓市场需求空间,始终把用户的需求放在第一位,通过解决最终销售问题,保证了产业化目标的实现。□

HMC200ru卧式五轴加工中心的研制

沈阳机床集团中捷机床有限公司 周 萌

HMC200ru卧式五轴加工中心针对国防军工、轨道交通、能源化工等重点行业中大型曲面类零件的加工而设计开发。其研发制造过程中采用了整机三维设计、重载双驱回转工作台、液压配重与三重抱闸结合、滑枕悬垂补偿等多项先进技术，先后解决了机床整体布局、机床参数修正、各关键零件强度分析、机床防护美观和人机化等一系列问题，其具有很好的市场前景。

一、引言

近年来，随着能源、军工、航空航天等国家重点领域技术不断发展，机床市场需求也发生了改变，采用传统技术的中低端机床已经不能满足高端零部件加工的需要。根据市场调研，国内能源、军工、航空航天等行业非常需要大功率、大扭矩、高转速的大型五轴加工设备用于一些大型曲面类零件的加工。而目前，国产的成熟五轴机床主要以中小规格居多，大型龙门五轴加工中心也已趋于成熟，对于刚性和抗载能力都更为优秀的大型卧式正挂箱结构的五轴机床，国内还没有相应产品问世，导致这类产品只能从国外进口，成本高、交期慢，制约了行业的发展。为打破这一困境，中捷机床有限公司针对国内某能源企业典型零件的加工需求，专门研制了HMC200ru卧式五轴加工中心，解决了客户直径2米以上、材质较为坚硬的复杂零件加工难题。此前，由于规格、形式特别是刚性和抗载能力的限制，国产五轴机床对此零件只能望洋兴叹。HMC200ru的诞生不仅解决了国家重要能源部门的急切设备需求，更填补了此领域的“空白”。

HMC200ru卧式五轴加工中心主要技术指标处于国内领先、国际先进水平。该机床的成功研制，将彻底打破国外机床在该应用领域的垄断地位，为国产机床占领高端市场份额，提升高端装备技术水平，掌握相关行业制造核心技术做出巨大贡献。

二、HMC200ru卧式五轴加工中心介绍

HMC200ru卧式五轴加工中心的纵、横床身呈T字型

结构，单龙门框形立柱与主轴箱正挂布局。工作台沿横床身导轨横向移动(X轴)，主轴箱沿立柱导轨垂直方向移动(Y轴标)，立柱沿纵床身导轨前后移动(Z轴)，滑枕在主轴箱内纵向移动(V轴)，工作台可360°回转(B轴)，机床主轴位于滑枕前端可正负向摆动(A轴)，机床的主轴为精密电主轴，标配速度、位置编码器和水冷却系统，利用循环水冷却技术保证主轴热平衡。HMC200ru卧式五轴加工中心整机外观如图1所示。



图1 HMC200ru卧式五轴加工中心

机床整体采用框型立柱与正挂箱布局形式可使主机部分结构对称、受力均匀，赋予了机床更高的精度稳定性、刚性和抗载能力。机床的基础件（床身、立柱、滑座等）全部采用优质铸铁及树脂砂造型技术，并进行合理的时效处理，使机床整体强度高、稳定性好且具有较好的吸震性能。机床的X、Y、Z轴均采用伺服电机经精密减速机直联丝杠的方式实现直线进给运动；B轴回转工作台经过精密减速机降速后，通过齿圈传动方式实现回转运动；A轴是

三、机床先进技术应用情况

1. 机床零部件三维优化设计

HMC200ru卧式五轴加工中心在研发过程中全部采用SolidWorks软件进行三维设计，零部件三维模型“软”装配后即可模拟机床运动状态，可有效检验零部件干涉，减少实际生产过程中部件不匹配和与之相应的加修返修情况的发生。HMC200ru卧式五轴加工中心的关键部件在设计时均进行了有限元分析，通过比对分析结果不断优化筋腔结构，合理分布质量，从而使结构材料发挥最优性能，整机刚性强、动态特性佳，充分满足大功率、高精度切削的要求。这里对滑枕和工作台的有限元分析优化过程做以介绍，其余零部件的分析优化过程较为简单不再赘述。

滑枕伸出时由于重心前移会导致前端出现悬垂，即“低头”现象，如果悬垂尺寸过大会严重影响整机加工精度。HMC200ru卧式五轴加工中心的V轴行程为1000mm，按照最大伸出量的极限情况，即滑枕前端1000mm的距离完全悬垂，通过对分析数值的比对，不断优化滑枕截面尺寸和内部筋腔的布置，进而得到最佳的筋腔和质量分布方式，图3为滑枕有限元分析图，滑枕全部伸出时的最大形变量仅为0.018mm。

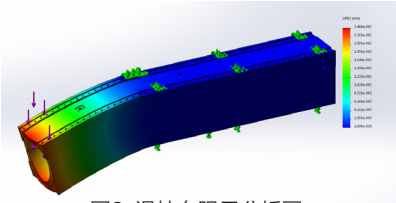


图3 滑枕有限元分析图

工作台变形问题是影响重载工作台精度的一项难题，如果重载时变形量过大，将会大大降低加工精度。通过有限元分析并按照极限负载工况下，分别将载荷均布于工作台面

通过滑枕前端U型体的内置伺服电机直联实现摆动运动；机床的V轴为定位轴，不用于加工进给，仅用于在加工前改变主轴的前后位置，其通过伺服电机直接驱动滚珠丝杠带动滑枕实现前后进给运动。整机各移动轴均采用重载滚柱直线导轨，既能提升了快速移动速度和稳定性，又保证了承载能力和整机刚度。各轴丝杠均采用预拉伸装配方式，提高了丝杠副的刚度，降低了丝杠常温状态下的热敏感性。机床的各轴均采用闭环控制，定位精度高、稳定可靠。X、Y、Z、V轴采用绝对式光栅尺进行位置测量，A轴、B轴采用圆光栅进行角度测量，充分保证了机床五轴联动加工精度，是大型曲面零件加工的最佳解决方案。

机床的床身导轨（X轴和Z轴）采用防锈金属伸缩防护罩，立柱导轨（Y轴）采用铠甲式防护，同时整机采用钣金包围形式的防护罩，提升了机床的外观效果。机床的液压泵站、泵站油冷机、主轴水冷机和电气柜、操作者站台、操作面板分别布置在主机两侧，在满足功能性和人机性的同时可使整机结构紧凑，减少占地面积的浪费，机床布局如图2所示。

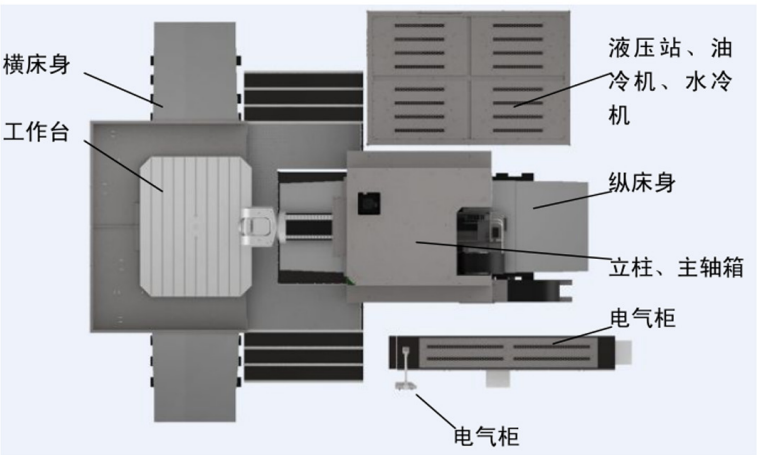


图2 HMC200ru卧式五轴加工中心布局图

HMC200ru卧式五轴加工中心主要参数如表1所示。

项目	单位	规格
工作台面积	mm	2500×2500
工作台承重	kg	25000
工作台最大行程 X	mm	4000
主轴箱最大行程 Y	mm	2500
立柱最大行程 Z	mm	2000
滑枕最大行程 V	mm	1000
摆头摆角 A	(°)	±110
转数范围(无级)	r/min	10~7000
最大输出扭矩	N·m	500/700（额定/最大）
主轴电机功率	kW	52/73（额定/最大）
切削进给速度	X、Y、Z、V轴	mm/min 1-8000/1-8000/1-8000/1-3000
	B轴	r/min 0-1.5
快速移动	X、Y、Z、V轴	m/min 10/15/15/5
	B轴	r/min 1.5
定位精度	X、Z轴	mm 0.012
	Y、V轴	mm 0.018
	B轴任意角度	(″) 6
重复定位精度	X、Z轴	mm 0.01
	Y、V轴	mm 0.013
	B轴任意角度	(″) 4

表1 HMC200RU卧式五轴加工中心主要技术参数

上、工作台单边和工作台四角进行分析,并根据各部分的分析结果优化结构,从而得到重量合理、各部分强度最优的工作台结构,分析过程如图4、图5、图6所示,优化后的工作台均布25000kg载荷时最大变形量为0.0042mm,单边10000kg载荷时的最大变形量为0.0044mm,四角5000kg载荷时的最大变形量为0.0076mm,强度完全满足使用工况。

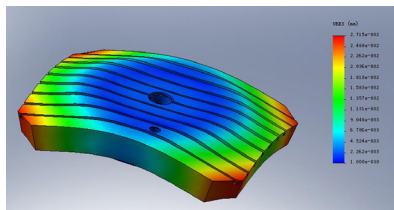


图4 工作台均布载荷分析图

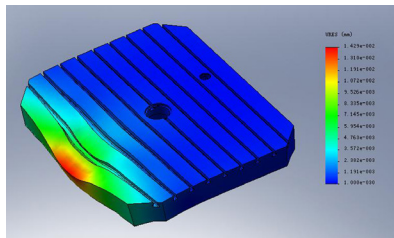


图5 工作台单边载荷分析图

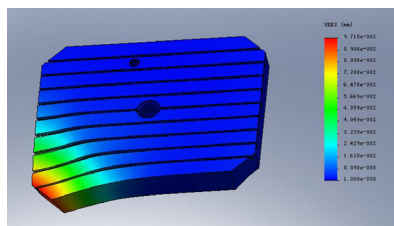


图6 工作台一角载荷分析图

2. 重型精密双驱回转工作台

HMC200ru卧式五轴加工中心能够完成大型曲面类零件的高精度联动加工得益于它的双驱回转工作台,该重型工作台采用YRT系列轴承支撑,全部为滚动摩擦副,摩擦小、回转速度快、承载大、刚性强,运动平稳、定位精度高。同时,YRT系列转台专用轴承的使用实现了工作台的非浮起转动,并解决了传统重载静压转台无法高速回转以及定位精度差的问题。工作台的非浮起转动意味着避免了由于浮起动作造成的工件加工偏差,使大型重载回转工作台可以

参与到联动加工中。特别的双电机双减速机驱动方式替代传统的双涡轮蜗杆消除方式,避免了由于外置减速机内部齿轮的误差累积而导致的定位精度差的缺陷。双驱的结构设计可同时保证工作台进给和锁紧需求,避免重切削时工作台进给或锁紧力矩不足。HMC200ru卧式五轴加工中心应用的重型精密双驱回转工作台已经获得国家专利,专利号为ZL201721017051.0,其结构如图7所示。

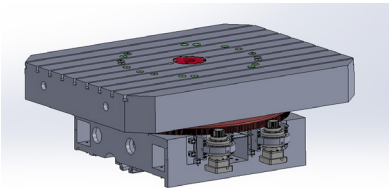


图7 重型精密数控回转工作台

3. 主轴箱液压配重与三重抱闸组合

HMC200ru卧式五轴加工中心主轴箱重量较大,约为8吨左右,单靠丝杠难以承载这么大的重量。产品采用的是液压油缸平衡方式,主轴箱固定点通过钢丝绕过支架、动滑轮与液压油缸连接,主轴箱上下移动时,油缸相应的伸缩动作来进行配重补偿,采用这种方式相对于重锤配重方式,具有运动惯量小、运动灵活、定位可靠、稳定性好的特点。此外,机床Y向选用的伺服电机及减速机均带有抱闸功能,且额外配有刹车装置,这三重抱闸机构均为常闭状态,在Y向没有进给指令时,驱动电机、减速机和刹车装置的抱闸机构都处于锁紧状态,防止主轴箱下沉,当接到Y向进给指令后,驱动电机、减速机和刹车装置的抱闸机构立即变为张开状态,此时主轴箱可沿Y方向运动。

4. 滑枕悬垂补偿技术

滑枕伸出时的悬垂变形会导致滑枕运动直线度严重下降进而影响零件的加工精度,为了避免这种现象的发生,HMC200ru卧式五轴加工中心采

用了滑枕悬垂补偿技术,在滑枕内部对称的布置两个油缸及拉杆,通过调整拉杆拉力来补偿滑枕因重心前移引起的弯曲变形。随着滑枕伸出长度的不同,滑枕的变形值也不同,只有拉杆的拉力相应改变才能满足使用要求,因此在液压回路上加装控制阀来控制油缸压力的大小进而控制拉杆拉力大小,HMC200ru卧式五轴加工中心系统油压输出为0~12Mpa,经计算每根拉杆可以提供最大30000N的拉力。滑枕伸出时控制阀逐渐增大油压,滑枕缩回时逐渐减小油压,这样就保证了滑枕移动时的直线度,其工作流程如图8所示。



图8 滑枕悬垂补偿流程图

滑枕顶部的检测元件—光栅尺,检测到位置信号后立即传递给电气系统,并由电气系统读取滑枕的位置信号,然后根据预先设置好的比例参数将指令传递给控制阀,进而控制油压实现滑枕的悬垂补偿。

四、结语

HMC200ru卧式五轴加工中心采用了整机三维设计、重载双驱回转工作台、液压配重与三重抱闸结合、滑枕悬垂补偿等多项先进技术和方法来实现其功能和各项精度,在研制过程中先后解决了结构布局、参数修正、零部件优化、防护形式和人机化等一系列问题。HMC200ru卧式五轴加工中心优异的联动加工能力和广泛的加工范围将会有非常好的市场前景,特别适用于大型曲面类零件的加工,能够解决能源、军工、航空航天等国家重要工业领域、重点行业对此类机床的刚性需求,为国家重点建设项目和国防工业提供强有力的技术支持,项目在促进装备制造业发展、替代数控装备进口方面将做出重要的贡献。□

AUTOFORM35多轴数控电火花成形机的研发与应用

北京机床所精密机电有限公司 邓冬凤 王培德 孙式玮 刘继超

一、产品介绍

北京机床所精密机电有限公司（简称北京精密）是中国通用技术集团有限公司旗下的装备制造板块实体企业。为了满足用户日益增长的多轴数控电火花成形加工机床的需求，响应国家振兴装备制造业的战略，北京精密依托国家重大专项支持，历经5年攻关，掌握了一大批具有自主知识产权的核心技术，建成了可持续的创新研发体系，显著提升了数控机床、数控系统及关键功能部件的技术水平和可靠性，提高了自主化制造和支撑能力，形成了包括机床主机、电加工电源、电加工专用数控系统在内的关键的产业链。在此基础上，研制成功了新一代多轴数控电火花成形加工机床AUTOFORM35（简称AF35，见图1）。

该产品基于紧凑的主机结构、搭载了最新升级的脉冲电源系统、配置了先进架构的专用数控系统、集成了积累多年的成套加工工艺。其中与沈阳高精数控技术有限公司合作开发的电火花成形机专用控制系统，是首款国产通用电火花成形机数控系统。

AF35搭载了拥有自主知识产权的新一代节能型电加工脉冲电源。该电源的加工性能取得了突破性进展。表面粗糙度指标由原来的 $Ra0.4\ \mu\text{m}$ （模具钢）提升到 $Ra0.06\ \mu\text{m}$ ，实现了模具钢的镜面加工，达到国际先进水平。同时，电源可实现 $Ra0.16\ \mu\text{m}$ 的硬质合金加工，处于国内领先，接近国际先进水准。新研制的低损耗波形输出电源回路和检测回路，提升了电极损耗指标，为模具钢材料加工提供了重要的技术保障。新研制的电源属于节能型低损耗加工电源，已经获得了发明专利。

AF35广泛应用与精密数控刀片模具、软磁材料模具、地矿合金模具、五金模具、精密冲压模具，实现了高速、高精与高质量加工。特别在硬质合金类模具加工中，性能达到了国外同类机床水平。具有很好的市场前景。



图1

二、功能及工艺性能指标

AF35机床为四轴配置（X、Y、Z、C），采用一体化设计，简洁美观。行程为 $350\text{mm} \times 250\text{mm} \times 270\text{mm}$ ，定位精度 0.003mm ，重复定位 0.002mm ，主轴采用高刚性设计以确保主轴高速抬刀平稳运行，其精度和行程可满足大部分中小型模具和零件的精密加工。

数控系统硬件结构采用业界先进的SSBIII工业现场总线技术，最大可实现6轴联动控制，系统采用高速高精运动控制算法以实现放电间隙、智能抬刀、精确逆向回退与平动加工的精准控制。数控功能较为完整，具体见表1。

凭借多年加工工艺积累，北京精密为新机床研制了全新的专家系统和人机交互接口，使机床具有良好的易操控性和易维护性。

表1 数控系统与国外同类产品功能对比

功 能		欧洲某公司电加工机床所用系统	AF35所用系统
放电间隙智能控制		√	√
快速抬刀		√	√
插补方式	直线	√	√
	圆弧	√	√
	空间曲线	√	√
平动方式	平面平动	√	√
	三轴平动	√	√
	自由平动	√	√
	伺服平动	√	√
平动轨迹	圆形	√	√
	正方形	√	√
	菱形	√	√
	正十字	√	√
	斜十字	√	√
	米字	√	√
	任意辐射线	√	√
	三维空间分层		√
定位补偿	螺距	√	√
	反向间隙	√	√
找正功能	端面测量	√	√
	孔中心测量	√	√
	任意三点内孔圆心测量	√	√
	任意三点外形圆心测量	√	√
	外形找中	√	√
	多边形内孔中心定位		√
工艺库系统	多边形外形中心定位		√
	工艺专家系统	√	√
	自动编程	√	√
	准备界面	√	√
人机界面	加工界面	√	√
	编辑界面	√	√
	在线轨迹	√	√
	诊断界面	√	√
	帮助界面	√	√
快速移动		√	√
加工仿真		√	√
报警和诊断		√	√
防碰撞功能		√	√
自动返回加工起始点		√	√
自动关机和掉电记忆		√	√
镜像功能		√	√
自动返回轨迹段数			1000

表2 机床规格参数

工作台尺寸	600×400mm;
行程(X/Y/Z)	350/250/270mm;
工作液槽内腔尺寸(长×宽×高)	990×640×435mm
主轴端面至工作台面最大距离	590mm
最大工件重量	600kg
最大电极重量	50kg
精度(VDI/DGQ3441标准/ DGQ3441标准)	
定位精度(X、Y、Z)	≤0.005mm
重复定位精度(X、Y、Z)	≤0.003mm
分辨率(X、Y、Z)	0.1μm
最小驱动单位	0.001mm
最大加工电流	64A
最佳表面粗糙度	Ra≤0.08μm(模具钢)
	Ra≤0.16μm(硬质合金)
最小电极损耗	≤0.1%
加工速度(模具钢)	≥400mm3/min

三、关键核心技术

1.电加工特殊功能关键技术

电火花加工机床的加工控制有其自身特点，其中放电间隙与自动抬刀控制是电火花加工控制的核心基础，产品实现了放电间隙的智能控制，以及自适应的智能抬刀控制，并且设计了精确的逆向轨迹规划。

(1) 放电间隙与抬刀的智能控制

数控系统根据实时检测的放电间隙状态，控制工具电极的频繁往复运动，以保持工具电极与工件之间放电间隙的稳定。实现了基于脉冲高频分析的电火花加工间隙智能控制算法，解决传统间隙状态识别逻辑电路复杂的问题，提高了电火花加工的效率 and 稳定性。

通过对间隙调节电压（UCM）和驱动器输入速度指令电压（VCMD）波形、窄片电极损耗与效率试验分析，改进了间隙控制算法。采用了“非线性控制”方法，通过以不同增益调节短路回退速度与微量调节速度，提高了数控系统伺服速度响应。此外，在短路回退与进给、微抬刀回退与进给控制方式上做了改进。出现回退与微抬刀时，数控系统绕过原来的轨迹与速度规划控制通道，转到一个独立通道进行快速回退和进给，在完成回退与进给时，再恢复到原始控制通道继续进行加工，以此提高了响应速度。

在抬刀控制中，开展了自适应抬刀控制的研究，进行了大量实验并深入分析了抬刀动作对排屑的影响，得出了电火花加工稳定区域与不稳定区域及界限。设计了自校正调节器，实现了抬刀自适应控制，提高了排屑效率，保证了放电过程的平稳与高效。

(2) 精确逆向控制

通常工具电极在反向进给和抬刀时，需要进行逆向插

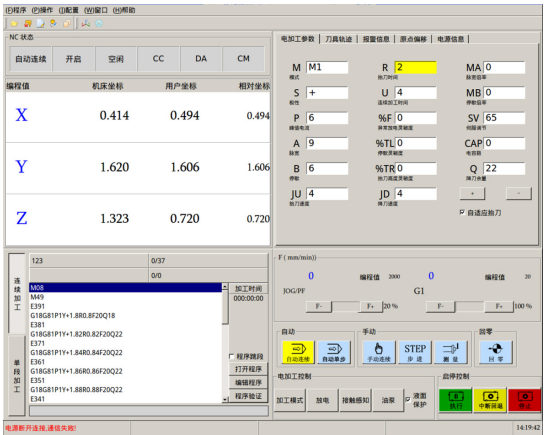


图2 操作系统界面

补计算和运动轨迹队列的逆向规划,实现精确地逆向控制。直线和圆弧的逆向插补算法与正向插补算法基本相同。针对运动轨迹队列的逆向规划,采用了基于环形双向队列的运动轨迹缓存结构的设计,实现运动轨迹逆向的快速规划。

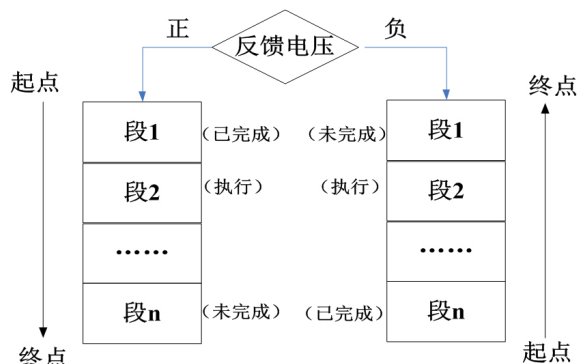


图3 回退与抬刀时的逆向控制

为适用涡轮盘类复杂流道曲线的多轴加工,设计了“中断回退”功能,可在中途任意时刻中断加工自动退出腔外,支持1000段轨迹段连续回退。

为提高工具电极控制的精确性,设计了基于状态反馈的高性能位置调节器,把位置控制器和转速控制器合并为一个控制器。高性能位置调节器,结构简单、便于实现,并且对负载转矩变化有很好的抑制能力,大幅减小了转速控制中的超调量,提高了位置控制的精确性。

(3) 平动控制与抬刀控制关键技术

丰富多样的平动加工功能,是多轴数控电火花成形机区别于单轴火花机的重要方面。首先根据不同使用目的和功能特点,对火花机平动加工进行了系统划分,对抬刀类型进行功能划分,把平动功能指令集设计成一个开放的可扩展的体系。我们把平动加工分为:纯伺服平动、自由伺服混合平动、完全自由平动。把抬刀轨迹分为:原轨迹抬刀、变轨迹抬刀。把加工指令分为:定深加工、定时加工。根据不同的工艺要求使用不同的平动指令。

抬刀的关键技术包括:抬刀的自适应控制(抬刀时机)、抬刀轨迹规划、抬刀过程的速度规划。根据电源的放电状态进行状态实时识别,进行自适应抬刀控制;根据容许轨迹误差,进行抬刀轨迹和速度规划;设计可编程的多参数体系实现抬刀过程与间隙控制的圆滑过渡,消除抬刀过程的机床振动。

(4) 多功能、高精度测量技术

多轴数控电加工机床的测量功能丰富性以及测量精度的准确性,直接影响到加工零件的几何精度,从而影响到应用领域的广泛性。通过减小插补周期、缩短采样时间、优化测量速度、优化测量流程及数据处理计算方法,实现

了丰富多样的工件特征点测量功能,提高了测量精度。能够实现多次测量、最大离散误差显示、平局值输出、C轴回转中心定位/测头中心选择。实现了测量精度与效率的有机统一。

(5) 机床的感知能力

脉冲电源有32A、64A不同的规格,机床具有感知电源规格、硬件配置、硬件模块故障的能力。这些信息应用在不同的阶段,加工准备阶段、加工过程中、维修支持等。允许用户暂时降低规格,应急完成工件加工。

机床具有空间干涉检查、防碰撞保护、油温检测、液位检测、火光检测自动灭火等安全功能。

2.电加工工艺关键技术

(1) 典型工件电加工工艺专家系统

电加工工艺复杂,影响因素较多,加工过程无法用数学模型精确描述,电加工参数优化困难。因此,建立典型工件的电加工工艺专家系统成为电加工的核心技术和先进程度的标志。

本产品设计了典型工件电加工工艺专家系统,如图4所示。首先根据已有工艺数据建立工艺实例数据库,再将预加工工件的加工条件和技术要求等输入专家系统,通过基于实例推理的方法,与工艺实例数据库中的实例进行搜索匹配,并计算匹配相似度。然后根据匹配相似度,或者直接将工艺实例库中的某一工艺实例的电参数作为专家系统的输出,得到该预加工工件的初始电参数,允许人工再优化。

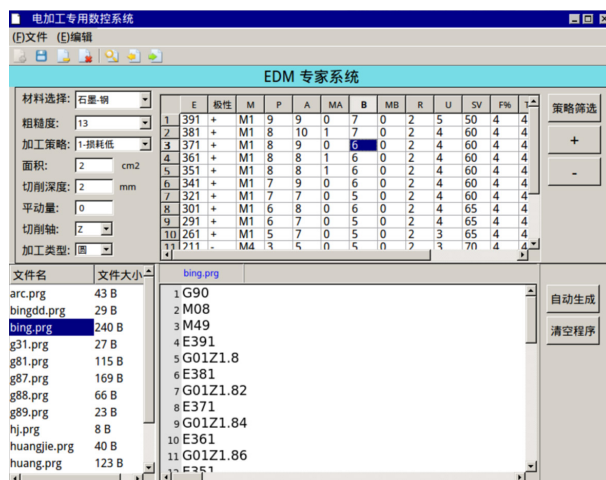


图4 专家系统

(2) 工艺试验与数据库的建立

北京精密在深入分析超硬材料(聚晶金刚石、立方氮化硼、金属陶瓷等)、脆性材料(钨铁硼、钎钴类磁性材料等)、粘性材料(耐热合金、钛合金、不锈钢等)三大类难

加工材料的热学特性的基础上，以材料去除率、电极损耗速度、表面粗糙度等为加工指标，通过系统地试验确定不同电参数对加工过程的影响程度。然后应用正交试验方法，着重分析影响程度较大的电参数对加工指标的影响规律，建立难加工材料工艺数据库（如图5所示），实现电加工在难加工材料加工中的应用。

选择数据库: 铜-钛合金

	E代码	材料	面积	粗糙度	策略	S	M	P	A	MA	B	MB	R	U	SV	%F	%TL	%TR	LGAP	FGAP	CAP	F	Q	JU	JD	PF
1	E403	铜-钛合金	20	10	3-速度快	+	M1	13	6	0	6	0	2	4	55	0	0	0	75	220	0	20	20	4	4	20
2	E402	铜-钛合金	20	10	2-速度损耗兼顾	+	M1	13	6	0	6	0	2	4	55	0	0	0	75	220	0	20	20	4	4	20
3	E401	铜-钛合金	20	10	1-损耗低	+	M1	13	6	0	6	0	2	4	55	0	0	0	75	220	0	20	20	4	4	20
4	E393	铜-钛合金	20	9	3-速度快	+	M1	12	6	0	6	0	2	4	55	0	0	0	70	180	0	20	20	4	4	20
5	E392	铜-钛合金	20	9	2-速度损耗兼顾	+	M1	12	6	0	6	0	2	4	55	0	0	0	70	180	0	20	20	4	4	20
6	E391	铜-钛合金	20	9	1-损耗低	+	M1	12	6	0	6	0	2	4	55	0	0	0	70	180	0	20	20	4	4	20
7	E383	铜-钛合金	15	8	3-速度快	+	M1	11	6	0	6	0	2	4	55	0	0	0	65	160	0	20	20	4	4	20
8	E382	铜-钛合金	15	8	2-速度损耗兼顾	+	M1	11	6	0	6	0	2	4	55	0	0	0	65	160	0	20	20	4	4	20
9	E381	铜-钛合金	15	8	1-损耗低	+	M1	11	6	0	6	0	2	4	55	0	0	0	65	160	0	20	20	4	4	20
10	E373	铜-钛合金	15	7	3-速度快	+	M1	10	6	0	6	0	2	4	56	0	0	0	60	140	0	20	20	4	4	20
11	E372	铜-钛合金	15	7	2-速度损耗兼顾	+	M1	10	6	0	6	0	2	4	56	0	0	0	60	140	0	20	20	4	4	20
12	E371	铜-钛合金	15	7	1-损耗低	+	M1	10	6	0	6	0	2	4	56	0	0	0	60	140	0	20	20	4	4	20
13	E353	铜-钛合金	9	5.6	3-速度快	+	M1	9	6	0	6	0	2	4	56	0	0	0	55	130	0	20	20	4	4	20
14	E352	铜-钛合金	9	5.6	2-速度损耗兼顾	+	M1	9	6	0	6	0	2	4	56	0	0	0	55	130	0	20	20	4	4	20
15	E351	铜-钛合金	9	5.6	1-损耗低	+	M1	9	6	0	6	0	2	4	56	0	0	0	55	130	0	20	20	4	4	20
16	E343	铜-钛合金	9	5	3-速度快	+	M1	8	6	0	6	0	2	4	56	0	0	0	50	120	0	20	20	4	4	20
17	E342	铜-钛合金	9	5	2-速度损耗兼顾	+	M1	8	6	0	6	0	2	4	56	0	0	0	50	120	0	20	20	4	4	20
18	E341	铜-钛合金	9	5	1-损耗低	+	M1	8	6	0	6	0	2	4	56	0	0	0	50	120	0	20	20	4	4	20
19	E323	铜-钛合金	9	4	3-速度快	+	M1	8	5	0	6	0	2	4	56	0	0	0	40	110	0	20	20	4	4	20
20	E322	铜-钛合金	9	4	2-速度损耗兼顾	+	M1	8	5	0	6	0	2	4	56	0	0	0	40	110	0	20	20	4	4	20
21	E321	铜-钛合金	9	4	1-损耗低	+	M1	8	5	0	6	0	2	4	56	0	0	0	40	110	0	20	20	4	4	20

图5 工艺数据库

3.电加工脉冲电源技术

(1) 节能绿色脉冲电源

利用电感储能原理，脉冲电源实现了电流环的闭环控制。使85V工作电压中，只有5V用于功率器件、检测器件、线路的无效压降，从而大大减小了无用发热。在放电期间有用的极间压降约30V左右，其余50V电压对应的功率储存在电感上，相比于把这部分功率消耗在电阻上的电阻限流式电源，具有明显的节能优势。

(2) 等能量控制技术

每个脉冲有效放电能量为电流、极间电压、脉冲宽度三者的乘积。由于放电时每个正常脉冲极间电压变化不大，峰值电流闭环控制，因此，实现放电开始后脉冲宽度一致，则实现等能量控制。通过提取极间击穿信号，开始定时，控制脉冲宽度，实现了等能量控制，提高了工件表面光洁度一致性。

(3) 放电状态实时检测与电参数在线调整

通过检测放电脉冲的预击穿时间，判定异常放电与正常放电；根据异常放电的频度，与设定的保护灵敏度参数比较，做出不同的电源响应和数控系统响应。响应级别分为三级，一级为电源响应，加大脉冲停歇B；二级为触发微抬刀，实时反馈到数控系统位置调节系统；三级为自适应抬刀，数控系统触发一个完整的抬刀过程。实现了放电过程的稳定性，避免长时间拉弧的产生。

(4) 基于现场总线的电源数据传输

① 基于总线的电源数据传输：

脉冲电源与数控系统双向传输的数据，既有电流、脉宽、脉歇、极性、放电模式等传输频率较低的工艺参数类数据，也有实时检测获得的、传输频率较高的放电状态类数据，两类数据的调度传输是脉冲电源接口技术的关键环节。

应用具有自主知识产权的SSBIII同步现场总线，通过制定基于抢占式可调度的数据传输策略：针对电流、脉宽、脉歇、极性、放电模式等传输频率较低的工艺参数类数据，采用低优先级方式传输；针对实时检测获得的、传输频率较高的放电状态类数据，采用高优先级方式传输，抢占数据传输通道并实现对低优先级数据的保护。

通过数字化数据接口的开发，提高不同传输频率数据传输的简便性，并降低硬件成本。

② 基于主动激发故障试验方法的总线接口可靠性设计：

针对电加工中电网的浪涌、其它设备的启动冲击、脉冲电源产生的高频干扰等，采用主动激发故障的早期故障试验技术，充分暴露潜在的可靠性隐患，在此基础上，提出脉冲电源总线接口的可靠性增长技术，提高数据传输的可靠性。

③ 基于环形拓扑的数据冗余传输：

为保证总线在现场环境下可靠工作，在考虑电磁兼容性设计、CRC数据差错校验、差错重传、超时重传等常规机制的基础上，进行基于环形拓扑的数据冗余传输。

四、产品应用情况

AF35应用范围广泛，能加工精密数控刀片模具、软磁材料模具、地矿合金模具、五金模具、精密冲压模具，实现了高速、高精与高质量加工，受到用户的广泛欢迎。特

别是在数控刀片模具加工中,表现出色,这里以此为案例进行介绍。

1. 数控刀片模具的电加工要求

数控刀片模具加工是数控刀具行业生产的关键环节,模具制造水平直接决定了刀片的质量,是装配制造业关键技术。目前,刀片模具的加工要求越来越高,其电火花成形加工主要指标如表3所示。

表3 刀片模具电火花成形加工条件与主要指标

电极数量	1个~5个	加工深度	0.4mm~1.0mm
工件材质	硬质合金	电极材质	铜钨合金或紫铜
面形精度	$\leq 3\mu\text{m}$	表面粗糙度	$\leq \text{Ra}0.3\mu\text{m}$

2. 加工难点

数控刀片冲头模具对表面质量要求非常高,要求均匀一致,无明显缺陷,刃口锋利;另外,这类模具上很多加工面具有复杂的花纹,对加工后的面型精度要求也非常高,达到 $3\mu\text{m}$ 。因此,加工时,要求参数合理,放电能量控制精准,要求伺服间隙控制稳定,加工过程不能出现异常放电。另外,为了面型精度,不能采用摇动加工,必须通过多电极的非摇动的方式进行加工。

3. 关键需求和解决方案

(1) 关于多边形内孔与外形中心测量的需求与解决方案

数控刀片模具中的冲头(公模),其精度最主要反映在外形及花纹的配合精度上,直接影响刀片的刃口质量及寿命,因此,从电火花加工工序角度,以冲头精密外形的中心作为直接基准进行电极定位是合理的方案。数控刀片冲头模具的轮廓多为多边形,使用通用电火花成型机床,难以找到刀片模具的中心,行业内根据自身的情况创造出3种解决方案,但都各有不足,是一个长期存在的痛点:

①使用自制的装置或千分表来反复测量各个轮廓基准面(基准面使用慢走丝线切割,精度一般在 $3\sim 5\mu\text{m}$),然后用计算机计算出中心位置的坐标,再将基准点输入数控系统。这种方法不仅繁琐、效率低而且测量精度也不理想。

②使用进口电加工机床的通用测量功能来测量,但是,功能设计针对性不足,需要组合测量,测量精度不高,不利于用户使用。

③冲头通常会有一个中心孔或中心柱,用于制造刀片的安装孔,精度要求并不高,但如果使用国外进口的高端坐标磨床来加工这些中心孔或中心柱,以获得 $\leq 2\mu\text{m}$ 位置精度来作为电火花成型加工工序的基准。这种方法需要昂

贵的高端坐标磨床,成本极高。

针对数控刀片模具行业的这一痛点,北京精密在AF35上开发出了多边形内孔与外形中心测量功能。

使用AF35的多边形内孔与外形测量功能,用户不需要进行繁琐的测量计算,也不需要加工高精度的中心孔或圆柱,只需要以刀片轮廓为基准,输入简单的参数,便可完成圆形、三角形、多边形等各种形状的刀片模具的基准测量。

这一测量功能的重复精度和综合测试效率,达到了国外高端机床的水平;该功能对数控刀片模具行业的针对性甚至优于国外高端机床,使用更加方便,为客户省去额外的巨额设备采购费用,具有极大社会效益。

(2) 关于电极偏置补偿功能的需求与解决方案:

在高精度刀片模具加工时,通常会使用多个电极进行加工。为了减少整体加工时间,避免电极更换带来的测量校准问题,用户一般会选用电极快速装夹系统,例如3R夹具,可以保证电极多次更换的重复精度小于 $2\mu\text{m}$ 。

但是,因电极制造机床的精度问题,实际加工完成的电极中心与理论中心会出现 $3\sim 6\mu\text{m}$ 的偏差,需要进行电极基准修正。另外,电极长度也不一致,这样就带来了加工基准点偏差不同的问题,需要进行补偿。

为了修正加工基准点,行业用户一般以下两种方式:

①使用三坐标测量机、电子显微镜等仪器测量电极偏差,然后将测量结果导入到系统里,自动进行修正。这种方式最为方便,但是绝大部分国产数控机床都缺少此类功能。

②使用三坐标测量机、电子显微镜等仪器测量电极偏差,然后由操作者修改加工基准点来修正偏差。但是,采用这种方式需要操作者多次修改基准点,因此非常容易出现输入错误,导致工件报废或需要返工。另外,经多次修正后,用户很难追溯原始的起始点,不利于进行校核和使用。

北京精密根据用户这一痛点,在AF35上开发出了电极偏置补偿功能,用户不需要三坐标测量仪等测量仪器,仅使用AF35机床的测量功能就可以自动得出不同电极间的基准偏差,并自动在加工过程中得到偏置补偿。

AF35的电极偏置补偿功能以简单便捷的方式消除了多电极制造误差对加工精度的影响,方便用户使用,满足了数控刀片模具这类高端用户的使用需求。

4. 加工案例

(1) 客户:株洲某刀具公司。

(2) 冲头加工深度:0.8mm。

(3) 电极材料和数量:3个铜钨合金电极。

(4) 夹具及量具:初始套套3R-628.28-S、基

准座3R-610.21-S、基准测球3R-656.31-3P, 普通分中测球。

(5) 装夹和测量方法:

① 测量各电极中心偏差: 分中测球装夹在工作台上。依次将基准测球, 精加工、中加工和粗加工电极装夹在主轴头上, 使用多边形找中功能, 测量中心, 并以基准测球中心为基准记录三个电极的中心偏差, 存储到系统中偏执补偿表。

② 测量待加工冲头模具中心: 基准测球装夹在主轴的3R基准上, 待加工冲头模具装夹在工作台的3R基准上。使用机床外形找中功能, 找到工作台上冲头的中心, 作为加工起始点的XY平面坐标零点。

③ 测量电极高度差: 依次将三个电极安装在工作台的3R基准上, 使用基准测球测量电极中心点的高度, 记录并计算中加工电极和粗加工电极, 精加工电极与中加工电极的高度差, 在更换电极时, 使用刀具补偿功能调整偏移量。

④ 置加工起始点: 使用精加工电极测量待加工冲头模具的端面, 作为加工起始点的Z轴坐标零点。

(6) 测量标准: 重复测量中心误差 $1\mu\text{m}$ 以内。

(7) 供油方式: 浸没加内孔下冲油。

(8) 方案简述: 粗采用效率优先策略, 中加工采用效率损耗兼顾策略, 精加工采用抛光功能, 加工中打开刀具补偿功能, 消除电极偏心导致的精度误差。

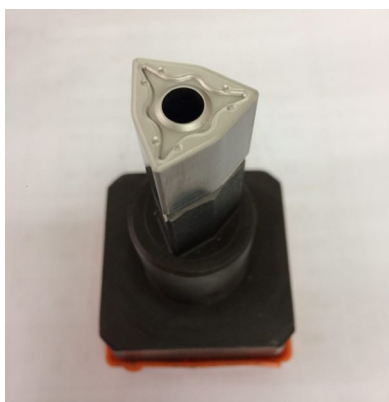


图6 加工完成的冲头模具

(9) 加工结论: 总加工时间为2小时39分, 表面粗糙度为 $Ra0.28\mu\text{m}$, 面形精度 $2\mu\text{m}$, 表面均匀一致, 刃口锋利, 无缺陷。

结果表明: AUTOFORM35机床综合加工效率与外国某知名公司设备(约2小时30分)加工效率相当, 加工后的表面质量、电极损耗和加工效率与其相当。另外, AUTOFORM35

机床对电极的制造无特殊要求, 延用客户现有标准制造的电极就可完成整套模具的加工。

五、结语

通过国家重大专项的支持, 北京机床所精密机电有限公司坚持走强强联合、自主创新的技术路线, 新开发的AUTOFORM35多轴数控电火花机床, 拥有自有知识产权, 建立了可不断持续改进的技术体系, 具备了按照用户的新需求, 快速开发出用户急需功能的实力。

通过多个细分行业的实际应用表明, AUTOFORM35机床实现了硬质合金模具的高速、高精与高质量加工, 加工性能到达国外先进机床相当水平。此外, 产品具有很高的性价比, 具有案例化的加工工艺, 受到用户的好评, 具有替代进口设备产生巨大社会效益的能力。

目前, 北京精密还在不断进行电加工产品技术改进和新产品研发, 作为中国通用技术集团的一份子, 北京精密将继续以振兴装备制造业为使命, 为中国制造业的发展做出贡献。□

资讯

西安博赛两台大型旋压机正式建成投产

2019年12月20日, 西安博赛旋压科技有限公司两台大型旋压机在西安航空基地正式建成投产, 两台机器分别是最大加工直径5.8m的卧式双滑台强力旋压机和最大加工直径3.6m的大型立式多对轮强力数控旋压机。

大型旋压机主要用于加工弧形、半球形、锥形、抛物线形等各类曲母

线形状的大尺寸薄壁空心回转体零件, 可广泛应用于航空、航天、船舶、电力、能源等诸多领域。

在西安博赛的车间内, 展示了3台具有“精、大、稀”特点的产品, 分别是: 5800型卧式旋压机、直径3.6米的大型立式多对轮强力数控旋压机和卧式三轮强力数控旋压机。5800型卧式双滑台强力旋压机最大

正旋长度4m, 最大反旋长度6m, 轴向最大推力和径向单轴最大推动均可达120t, 为我国大型火箭发动机壳体、燃料贮箱、人造卫星壳体、舰艇装备等大尺寸、高精度旋压产品生产制造提供有力保障。该产品填补了我国在金属旋压重大装备领域的多项技术空白。

(李雷供稿)

优化异形深孔电解加工工艺

德国埃马克公司

深孔加工在机械加工领域有着非常重要的地位，约占孔加工量的40%。而随着科学技术的进步，新型高强度、高硬度和高价值难加工异形深孔零件更广泛的出现及应用于航空航天、换热设备、医疗器械等领域，再加之加工深度、加工精度以及加工效率要求的不断提高，如孔径需求在0.3mm~2mm且形状不规则的涡轮叶片气膜冷却孔；采用进气道格栅隐身技术的隐形战机中，格栅零件上排列的大量钛合金倾斜方孔；都使得异形深孔加工成为现代机械制造的关键工序和难点挑战。

一、电解加工技术优势显著

对于深孔加工，使用传统钻削工艺存在着刀具刚性不足、钻头易折断、切屑难以排出等工艺缺陷。使用电火花加工工艺，虽然工件材料硬度不受限制，但随着孔深的增加，电极损耗严重，加工效率大幅降低，制造成本显著增加；孔壁还存有再铸层，需要使用磨粒流机械研磨加工，不仅精度低，还易存在去除不了的死角。

电解加工是利用金属在电解液中

产生电化学阳极溶解的原理对工件进行加工的一种创新工艺。没有宏观“切削力”和“切削热”的作用，因此工件表面不会产生像切削加工中所形成的塑性变形层，也不会产生残余应力，更不会像电火花在加工面上产生再铸层，具有很低的表面粗糙度值，对于难加工材料、异形孔零件的加工具有显著优势，且批量越大，单件生产成本越低。

二、工艺稳定性探索

然而，电解加工异形深孔零件时，加工间隙流场特性会极大影响电解液流速、压力、温度等分布情况，进而影响加工部位各处溶解速率以及电解产物能否及时排出，最终决定了深孔零件的加工品质。因此，合理优化电解加工流场不仅能保证加工过程的稳定性，还能在一定程度上提高加工效率和表面质量。不少国内外学者也曾就如何提高电解加工过程稳定性开展大量研究，南京航空航天大学浦口先进制造研究院作为南京市第一批备案的新型研发机构，在电解加工领域有着深入研究，与全球

金属加工解决方案领先企业、也是在精密电解加工领域拥有多项专利技术的埃马克集团于2018年合作建立的“EMAG中德先进制造联合研究中心”更是开创了国内电解加工科研教育领域的校企合作先河。

针对异形深孔电解加工工艺存在的进出口流场突变、加工间隙流场分布不均、工艺稳定性相对较差等问题，南京航空航天大学以孔径比大于10:1的异形孔零件为研究对象，对其加工开始、加工稳定、加工穿透的各个阶段流场分布进行仿真模拟与优化研究，并配合埃马克电解加工机床进行加工试验，连续稳定地加工出高精度的异形深孔零件，以期在实际生产提供一定的借鉴与参考。

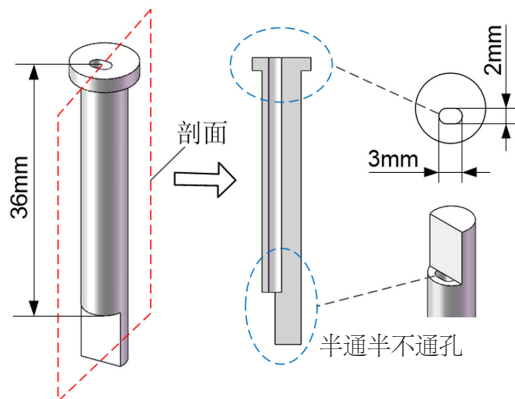


图1 试验所选取零件示意图

试验所选取的零件如图1所示, 深径比为12:1, 异形孔入口处为平面, 出口处为半通半盲孔。电解加工过程中, 工具阴极接电源负极, 工件接电源正极, 工具阴极以一定速度向下进给, 电解液高速流过工具阴极与工件形成的加工间隙, 带走加工产物及焦耳热, 工件一侧发生电化学反应, 实现工件加工成形, 工具阴极外侧涂覆绝缘层以防止加工过的孔壁发生二次电解。

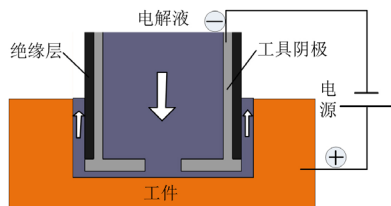


图2 异形孔电解加工示意图

三、流场优化研究

1. 加工穿透阶段

如图3所示, 异形孔出口处为半通半盲, 加工穿透瞬间加工间隙内电解液大量缺失, 容易引发短路现象导致加工中断, 造成零件报废与阴极损伤。针对以上问题, 我们采取了优化阴极通液孔的方式来改善加工穿透时的流场分布。

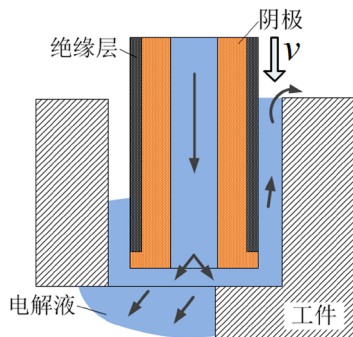


图3 加工穿透间隙示意图

依据通液孔流道截面积之和大于等于加工间隙流道截面积之和的原则, 试验团队设计了如图4所示的单

孔与多孔两种通液结构。并借助埃马克PTS800电解机床, 将它们置于相同条件下进行加工穿透阶段的对比。最终证实, 相比单孔通液结构, 多孔通液结构更能够保证半通半盲孔加工穿透时, 工具阴极与工件表面之间仍有一定流速的电解液通过, 更有利于加工穿透间隙流场稳定性的提高。

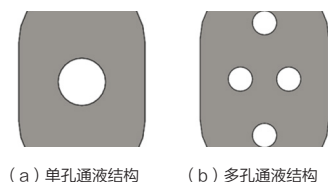


图4 通液孔结构示意图

2. 加工开始阶段

如图5(a)所示, 由于试验异形孔入口处为平面, 加工间隙流场呈发散状态, 工具阴极开始加工到稳定加工的过程中流场存在突变, 易发生短路现象, 同时会对工件表面非加工部位产生杂散腐蚀。为解决这一问题, 试验团队提出了在工件表面放置带绝缘导流板的方式, 如图5(b)所示, 来减弱流场的发散程度, 同时保护工件表面非加工部位不发生杂散腐蚀。

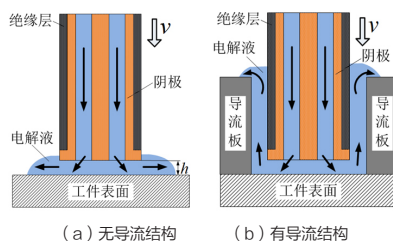


图5 异形孔加工开始阶段示意图

3. 加工稳定阶段

进入加工稳定阶段, 加工间隙内电解液需要具有一定流速, 才能满足排出电解产物与控制温升的要求。而要想满足电解液流速需求, 设置合理的电解液进出口压力是关键。借助埃马克PTS800电解机床可对加工电源

参数、电解液参数等进行实时调节控制并及时取得加工反馈信息的优势特点, 可以轻松实现不同进出口压力的设置, 并根据加工状况进行探究、调整, 以获取最合适的参数。

试验团队先取电解液出口压力为0MP, 进口压力为逐渐递增的不同数值进行分析发现, 随着进口压力的增加, 虽然电解液流速不断上升, 但是相邻通液孔周围的负压区域也在逐渐增加。负压区域增加时, 当间隙内压力突降极易造成电解液气化, 气泡积聚则会导致空穴现象, 从而影响加工顺利进行。要想消除负压区域, 只有适当施加背压。

在取不同出口背压与进口压力值进行新一轮探究中, 试验团队在反复的对比分析后终于找到了既能满足电解液流速设计要求, 也能大大降低负压区域的合理参数。

四、复合进给对流场影响

通过增加背压, 虽然在一定程度上降低了负压区域, 但很难做到完全消除, 无法绝对保障工艺的稳定性。通过进一步的优化方案并鉴于埃马克电解机床具备振动进给功能, 最终找到了解决方案——复合进给运动。

埃马克电解机床Z轴附带振动装置, 可按照需求实现复合运动或直线运动, 为探究复合进给运动对流场分布规律的影响提供了非常好的硬件支持。试验所设置的单个振动周期运动规律如图6所示。

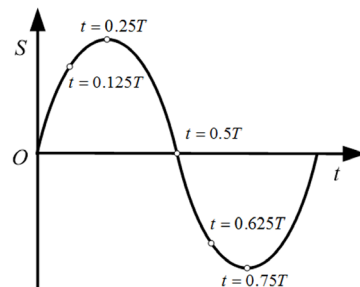


图6 单个振动周期运动示意图

在对单个振动周期内不同时刻对角线上电解液流速、电解液压力数据样点进行对比分析发现,在工具阴极直线进给过程中辅以降低周期性振动,可以避免电解产物堆积,减弱杂散电场对异形孔侧壁的二次腐蚀,使流场分布更加均匀,改善异形孔加工精度,优化加工穿透时流场分布状态,提高加工稳定性。

五、异形深孔电解加工试验

在工艺方案、加工参数确定后,试验团队迎来了最后也是最关键的实机加工环节。试验所用到的设备还是来自埃马克PTS800电解机床。设备包含了机床本体、控制系统、电解液循环过滤系统和加工电源的集成控制系统,不仅可对数控轴、加工电源参数、电解液参数等进行实时控制,并依据反馈信息实时调节,实现精准定位、优质加工,带图文显示、极富人

性化的操作界面让加工过程更加真切直观。



图7 埃马克PTS800电解机床

依据之前步骤探究的流场优化方案,将工件材料置于电解液中,设置好相应的参数,并让Z轴以多种不同的进给速度及一定振动频率做复合运动,进行电解加工试验。通过测量比较不同进给速度下加工样品的实际尺寸与理论尺寸相差值,选出误差最小、精度最高的进给速度,并在此速度下进行多次加工试验。

加工实物如图8所示,工件尺寸稳定控制在 $2.05 \pm 0.03\text{mm}$ 和

$3.05 \pm 0.03\text{mm}$,不仅实现了高精度、稳定加工,还保障了极佳的表面质量。

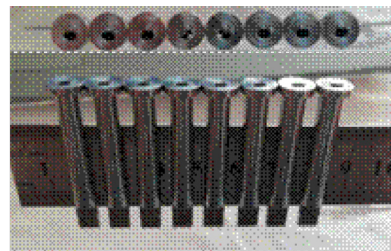


图8 小批量样件实物图

六、结束语

精密电解加工技术是当前应对难加工材料及复杂结构件的最优势的方法之一,也是南京航空航天大学浦口先进制造研究院关注和研究的重点。在埃马克的技术支持与设备助力下,目前南京航空航天大学浦口先进制造研究院已经开展了多个有关电解加工的方案探究和技术优化项目,并且取得了很好的效果。 □

资讯

车床分会七届四次理事(扩大)会暨行业研讨会在杭州召开

2019年12月6日,“车床分会七届四次理事(扩大)会暨‘新产品、新技术、新趋势’研讨会”在杭州召开。车床分会会员单位代表、部分相关分领域企业负责人、媒体代表等共120余人出席了本次会议。中国机床工具工业协会执行副理事长郭长城代表总会出席会议并讲话。会议由天水星火机床有限责任公司董事长蒋保权主持。



理事(扩大)会上,车床分会副秘书长陈洪军代表分会作了“车床分会工作报告”,介绍车床行业最新发展情况,分析车床行业内外形势和业内企业存在的问题,并着重阐述了分会主要工作内容和下一步计划。

在“新产品、新技术、新趋势”研讨会上,围绕着主题,总会执行副理事长郭长城、杭州开兰重工机械有限公司总经理马桂军、山东山森数控技术有限公司董事长张士银、长春禹衡光学有限公司经理张宏学、杭齿集团总工程师吴明建、武汉华中数控股份有限公司部长万谦分别发表了演讲。内容主要涉及行业面临的外部发展形势、机遇和

挑战、企业自主品牌打造、企业创新工作开展、车床领域市场分析,以及位置传感器、国产数控系统等产品和技术的最新发展趋势等多个方面。嘉宾们精彩的报告内容受到了与会代表的普遍好评。

此外,会议还组织代表们分别参观了浙江金火科技实业有限公司和杭州开兰重工机械有限公司。金火机床先进的数字化管理技术所带来的高效、专业的生产方式,以及开兰重工完善的生产链条、专业的加工设备、“高刚性,高精密,高效率,高稳定性,高寿命”的产品定位,均给大家留下了深刻印象。

(车床分会秘书处供稿)

轿车风洞油泥模型的设计与制作

东风汽车公司技术中心 杨兴 陈龙 孙红叶

随着中国汽车行业的高速发展，近两年汽车市场竞争更为激烈，顾客对于汽车品质提出更高的要求，无论从外观、内饰，智能网联化、综合能耗、声噪指标都有新的诉求。作为汽车研发部门，技术中心相关部门已初步具备仿真、色彩、验证模型设计及主体模型加工能力。为继续加深模型自制业务能力，风洞油泥模型设计及制作能力成为解决综合能耗、声噪指标载体在模型中有着重要的作用。本文通过轿车风洞油泥模型X95项目设计与制作过程，对今后该类模型自制工作做了有益的探索。

一、风洞油泥模型的概念和用途

风洞油泥模型是用于汽车风洞试验的油泥模型，通过风洞试验过程中不断更改优化油泥车身表面进行风阻、声学测试，对比采集数据计算得到最佳风阻、声学系数的造型，给造型设计提供科学精准的参考依据。

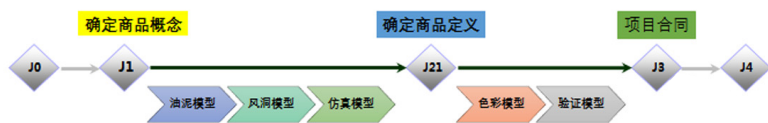


图1 汽车模型开发流程图

二、风洞油泥模型主要的技术要求

1. 模型骨架制作技术要求

(1) 骨架采用圆形钢管或方形钢管制作，骨架需保持有足够的强度和刚度，需焊接厚15mm以上的基准块，焊接后采取人工去应力退火，以消除内应力，保证模型不会发生因骨架变形导致的表面翘曲、开裂等缺陷。

(2) 模型骨架采用普碳钢，通常为A3钢，（考虑加工余量，厚度需大于5mm）；骨架需要建立车体坐标基准，基准块附近设置一块刻有坐标值的标牌，并指示坐标方向。

(3) 骨架除定位面外，必须喷黑色或黄色漆以防锈；车轮连接轴在Z能正负方向移动调节，并且保证调整量 $> \pm 30\text{mm}$ 。

(4) 骨架材质要求：型材用钢，其中120*60mm方钢管要求厚度为5mm，50*50方钢管要求厚度为3mm。

(5) 骨架制作完成后，涂上防锈漆，提供检测报告及实际尺寸与数据尺寸对照表，整体骨架满足配合要求。

(6) 模型骨架不能外露，骨架与可加工树脂之间的固定方式采用轻钢骨架（足够细密的可拆件式方型钢和圆型。钢管）固定。模型骨架必须牢固，确保模型在运输、存储过程中不变形、开裂，模型骨架必须设计适合运输固定、装卸（如叉车）结构，保证模型在运输和装卸过程中不损坏。骨架支撑脚杯4个供保存时使用。

(7) 骨架制作时根据设计定义的整车姿态，骨架可以调整姿态来体现设计要求。骨架要设置用于二次加工的复位基准和对刀块。

(8) 要求有可拆卸的副骨架，用于支撑模型，以确保模型在长途运

输途中安全。

(9) 骨架精度要求如附表所示:

风洞油泥模型骨架精度表

公差项		0.5—3	>3—6	>6—30	>30—120	>120—400	>400—1000	>1000—2000	>2000—4000
线性尺寸	精密F	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.15	±0.2	±0.25	±0.3
	中等M	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0
	粗糙C	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0	±3.0	±4.0
平行度 垂直度		≤100	>100—300	>300—1000	>1000—4000				
	H	0.05	0.1	0.2	0.3				
	K	0.4	0.6	0.8	1				
	L	0.6	1	1.5	2				
直线度 平面度		≤10	>10—30	>30—100	>100—300	>300—1000	>1000—4000		
	H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.25	0.3		
	K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8		
	L	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6		

2. 风洞油泥模型制作要求

(1) 油泥模型能够保证外表面在轮胎转动及高速气流吹拂下不发生变形及脱落。模型在搬运、包装、风洞试验的过程中,要保证模型内部的连接完整可靠,有足够的强度。油泥表面无开裂、杂质、翘曲;色泽一致;油泥表面分块线、分界线清晰;油泥表面光洁,最底部隐约看见刀纹,手摸无凹凸感;附件安装牢固,无松动。模型内部主驾区域需要进行完全掏空处理。模型内部地板及前围钣金上铺设300 g/m²双组份棉+5 kg/m²的重涂层EVA。模型内部主驾区域增加两个麦克风固定支架。

(2) 格栅保证前舱可以进气,且格栅可在风洞现场快速拆卸。根据机舱定义,制作格栅背面封板,用于现场验证不同状态的风阻。

(3) 左右后视镜均可在风洞现场快速拆卸;表面油泥最薄处不得小于10mm。根据CFD流体软件计算优化结果,提前制作两套方案,用于现场验证。

(4) 发动机舱保留影响背压大零件:发动机、变速箱、蓄电池、空滤、转向机(机舱内除线束和油液管路等细小的零件外的所有气流经过的零部件外形),保证部件外形、尺寸及位置关系,表面精度无要求。前舱下护板、底盘护板、油箱导流板、前后轮扰流板、冷却导风板保证

边界位置正确、安装到位可拆卸。

(5) 油泥模型保证风洞测试140km/h条件下无变形,多次拆装后无损坏;所有附件零件(前舱下护板、底盘护板、油箱导流板、前后轮扰流板、冷却导风板、其他附件)、进气格栅、后视镜,保证车身骨架与底板的有效密封。制动、轮毂采用真实的样件,其它骨架、发动机舱和下部需要采用仿真模型的制作。

(6) 底盘按照风洞测试要求进行四点定位支撑设计,便于风洞测试时的车姿调整:四点定位就是底盘下靠近四个车轮有四个固定位置可以用于风洞台架卡钳固定的地方;整车姿态是指试验过程中会测试不同姿态下的风阻系数,具体姿态包括整备姿态和基准重量姿态,设计方案安全可靠。

(7) 车轮连接结构按照能承受1200r/min的转速进行设计,轮胎相对高度可调,车轮与轮毂总成是真车件。

制动器、轮毂、轮胎、轮毂轴承、散热器、冷凝器和风扇为真车件,按照“可拆式”方式设计。

(8) 整车油泥厚度(除发动机盖外)≥30mm,发动机盖零件要求厚度:玻璃钢≥3mm,油泥≥25mm。模型整体

形状、配合公差要求≤±1.0 mm;模型复位基准误差<0.1mm;加工表面接刀误差要求≤0.3mm。

三、风洞油泥模型设计要点

UG(Unigraphics NX)是Siemens PLM Software公司出品的一个产品工程解决方案,它为用户的产品设计及加工过程提供了数字化造型和验证手段。Unigraphics NX针对用户的虚拟产品设计和工艺设计的需求,提供了经过实践验证的解决方案。这是一个交互式CAD/CAM(计算机辅助设计与计算机辅助制造)系统,它功能强大,可以轻松实现各种复杂实体及造型的建构。它在诞生之初主要基于工作站,但随着PC硬件的发展和个人用户的迅速增长,在PC上的应用取得了迅猛的增长,已经成为模具行业三维设计的一个主流应用。本次设计使用的设计和编程软件为UGNX12版本。

1. 风洞油泥模型骨架设计

骨架根据分块方式和CAS数据,合理制定骨架布置方案,骨架拼焊完成后,还需经过时效处理及防锈处理,最后数控精加工后方可进行后期装配。设计中考虑开门机构和声学舱的布置,同时考虑零件B面可能出现的干涉。

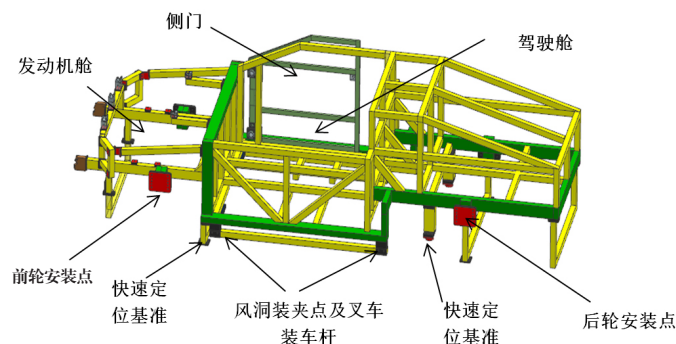


图2 风洞油泥模型骨架设计图

2. 风洞油泥模型声学舱设计

声学舱空间：驾驶舱封顶，用代木制作，按照A面数据往里偏置油泥厚度。

密封性指标：棕色为双层木板，木板之间封一层EV隔音材料，保证空间密闭。



图3 声学舱设计图

声学舱四周采用隔音棉的方式，门的开启采用夹紧铰链的方式，需要进入声学舱打开铰链后从侧门进入。



图4 声学舱实物图

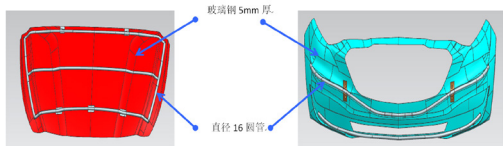


图5 玻璃钢零件发动机罩设计图

四、风洞油泥模型工艺制造

1. 制作

流程包括以下步骤：风洞模型制作首先是骨架的设计及制作，因为部分模型涉及到声学试验，需要设计声学舱，声学舱需制作驾驶舱，保证驾驶舱空间和实车相近，声学舱内贴两层木板，保持空间密闭。然后按常规装态贴封板，贴泡沫，然后进行泡沫过切，然后安装机罩、翼子板、前保等拆件，进行贴油泥，对油泥进行加

工，刮光，油泥加工完成后，沿机罩周边间隙分出前盖并拆卸；安装底板，格栅，前舱，玻璃，轮子等样件。最后进行检测，检测油泥面、底盘零件、轮胎位置、机舱内部零件及试验台固定点位置。

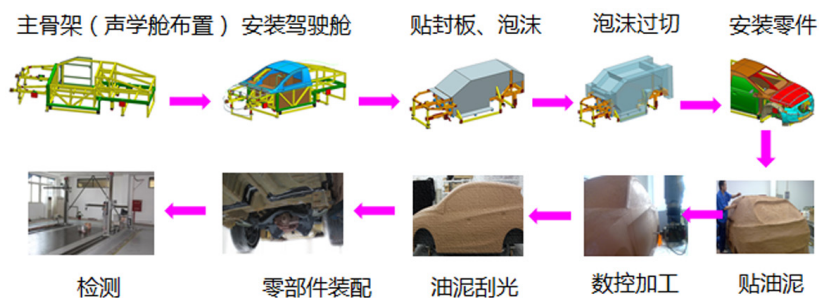


图6 制作工艺流程图

2. 风洞油泥模型整体五轴精加工

除了单独安装的附件（后视镜，雨刮），机舱零件和底盘零件全部装配完成，声学舱部分组装到位后。精加工油泥模型。粗加工：采用层切开粗方式进行，尽量使用大直径的刀具，切深20mm，步距为使用刀具直径的85%精加工：采用R10非标定制的球刀，步距3mm，工件加工余量0.1mm（有特殊需要时步距调整为2mm）清根加工：最小圆角半径控制R3以下，采用参考刀具的方式进行加工。



图7 数控5轴加工模型

3. 封板、泡沫粘贴及密封方法

（1）粘贴。封板——用螺栓锁在骨架上；泡沫——用泡沫胶粘在封板上；底盘件——底盘件各分件用AB胶粘接，通过螺栓连接在骨架及相配合零件上；声学舱——声学舱各分件通过各环氧树脂粘接；机舱件——ABS件之间用过螺栓连接；PU泡沫用AB胶粘接，表面涂环氧树脂加固（发动机、变速箱），用糊状代木固定在骨架上的安装点上。

（2）密封。声学舱——糊状代木密封；地板——海绵材料进行铺覆。



图8 声学舱海绵粘接

五、总结

经过此次风洞油泥模型项目制作，增强了技术中心制作该类模型的能力，取得了很好效果，主要体现在：提高了风洞油泥模型的设计能力，缩短数控加工制作时间，采用快换的设计工艺在风洞试验现场节约了试验换装时间，提高了试验效率，经济效益十分明显。在国内汽车模型制造领域具有实用和推广价值，对提高技术中心自制模型核心技术能力有极大的促进作用。

与国际尖端模型企业相比，国内模型制作的能力已经接近国外先进技术，但是由于起步较晚，专业性较差，在现场调试数据的反馈、搜集、整理并重新融入设计再应用环节尚有一定的差距，各个模块数据库的建立还处在比较初级的阶段，相信随着经验的积累，将逐步缩小与国外领先技术的差距，高端模型制造能力会不断加强。□

盾构机刀具的选型及其磨损分析

济南重工集团有限公司 朱振鹏 姜晓彤

盾构刀具将会直接影响盾构机掘进效率，不同岩土条件下将会采用不同类型刀具。将从刀具种类、材料以及性能等方面对盾构刀具进行概括，分析盾构机刀具选型、切削机理以及磨损情况。

盾构法在隧道建设中的应用最初是由英国的布鲁诺在1818年提出的；20世纪60年代我国开始盾构机研制，现在已经基本实现国产化。盾构机在公路、城市轨道交通、水利以及铁路等隧道建设中被广泛应用，具有对地面交通设施影响小、掘进速度快、开挖安全以及劳动强度低等优点。

在盾构机掘进系统中，盾构刀具作为关键部件，将直接影响盾构机掘进速度、出土速度和掘进效果。盾构机在掘进过程中，将会受到岩土作用而产生损耗，为了减少刀具磨损，提高掘进效率，针对不同地质条件需要选择合适刀具。本文将会针对盾构刀具选型以及切削磨损情况展开分析。

一、盾构刀具的选型

1. 盾构刀具分类及工作原理

盾构刀具按照其切削方式可分为切削刀具和滚动刀具；切削类刀具又可以分为刮刀、先行刀、鱼尾刀和贝壳刀等。

(1) 切削刀具

切削刀是盾构机切削开挖面土体

的主要刀具，其切削原理是盾构机在推进力作用下向前运动，刀具随着刀盘转动将会对土层产生径向的切削力和轴向剪切力，使得开挖面的土体被切削下来。切削刀具一般形状示意图如图1所示，其中后角 α 和前角 β 一般为 $5^\circ \sim 20^\circ$ ，刀具角度在不同地层下是不同的，其中砂卵石地层稍小，黏土层稍大。对于软土层或经过滚刀破碎的渣土，将会通过刮刀和切刀正面进入渣槽，如图2、图3所示，刮刀和切刀可以起到很好的切削与运输作用。

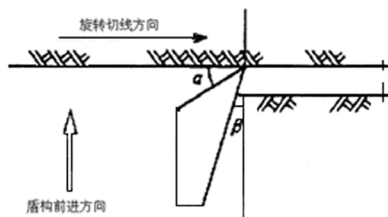


图1 切削刀一般形状示意图



图2 刮刀



图3 切刀

先行刀也称为超前刀，超前刀切削土体示意图如图4所示。在切削土体时先行刀一般会在切削刀之前切削土体，将土体切削成块，为切刀切削创造良好条件。先行刀在切削过程中可以增加切削土体流动性，减少切刀磨损，降低切刀扭矩，提高切削效率。在松散体地层，尤其是砂卵石地层和钙质结核地层，先行刀使用效果是非常明显的。

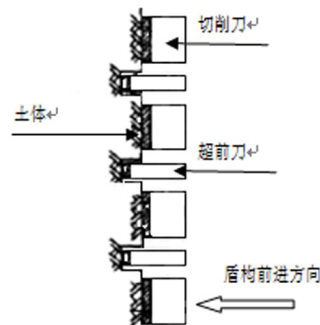


图4 超前刀切削土体示意图

鱼尾刀也称为中心刀，主要安排在刀盘中心位置，在软土地层掘进时可以很好地改善中心部分土体的切削和搅拌效果。鱼尾刀切削土体的示意图如图5所示，可以看出鱼尾刀根部主要设计成锥形，对切削下来的土体还可以起到很好翻转作用，有利于改善中心部分土体的流动性；鱼尾刀一般超前切削刀600mm，在切削土层时中心部位先切削土体，然后逐渐全断面切削土体。

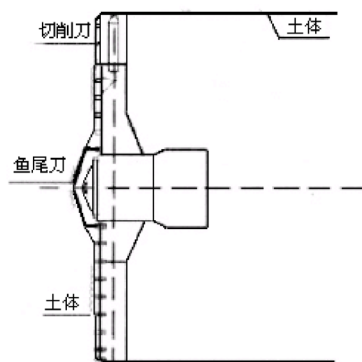


图5 鱼尾刀切削土体示意图

仿形刀也称为超挖刀，一般安装在刀盘边缘位置，可以根据超挖要求改变在辐条径向方向的伸出长度，从而实现仿形切削。盾构机在曲线推进、转弯或纠偏时，仿形刀使用可以减少对周边土体的干扰。撕裂刀主要是用于破碎砂卵石，随着刀盘高速旋转产生冲击惯性能量，对卵石、漂石等进行锤击破碎。保径刀焊接在刀盘外围部分，主要起保护刀盘外缘，降低刀盘边缘磨损作用。为了延长保径刀的使用寿命，刀刃的材料一般采用双排耐磨合金。

(2) 滚动刀具

滚动刀具是一种破岩刀具，主要有随刀盘转动和沿着自身轴线转动两种切削方式。目前盾构机的滚刀主要是盘形滚刀，盘形滚刀可以分为单刃、双刃和多刃。滚刀的结构主要由刀圈、刀轴、刀体、端盖以及浮动密封等组成，按照刀圈外径规格的不同

可以分为12"、15.5"、17"及19"等系列。

滚刀在破岩时主要可以分为挤压阶段、起裂阶段和破碎阶段三个阶段。

①挤压阶段。滚刀在较大推力作用下将会切入岩石表面，岩石表面将会产生较高的接触应力和局部变形。在应力作用下，岩石与刀刃接触部位将会产生粉碎区如图6所示，且破岩的效率与应力核心区域范围、深度成正相关关系。

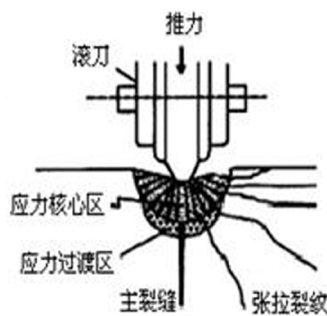


图6 挤压/起裂阶段示意图

②起裂阶段。当岩体抗拉强度小于应力核心区周边应力时，将会产生张拉裂纹。由图6可以看出，应力过渡区存在于应力核心区下方，应力在过渡区将会逐渐减弱。主裂纹产生于刀刃正下方，其裂纹方向与破岩方向一致。

③破碎阶段。破碎阶段示意图如图7所示。可以看出，当相邻滚刀切削岩体产生裂纹连通时，将会把表面岩体部分分割，形成破碎块并从开挖面脱离出来。

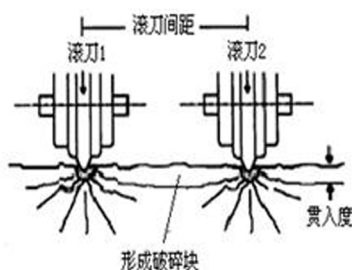


图7 破碎阶段示意图

2. 盾构刀具材料研究

切削类刀具的刀头常采用硬质合金，当切削较硬岩石时，刀具刃口部位将会受到较大的冲击载荷，在接触瞬间产生受到较大剪切应力，易出现断齿现象。刀具在切削过程中与岩石的摩擦将会产生大量热量，使得硬质合金材料表面出现热疲劳裂纹，刀具会随着裂纹不断扩展而损坏。因此，为了提高刀具使用寿命，硬质合金需要满足：良好的抗疲劳冲击特性，低热膨胀系数，高导热性，具有良好的耐磨性。

国内滚刀刀圈常采用的材料是H13钢材，并通过热处理工艺获得高渗透性、红硬性和淬硬性的莱氏体磨具钢；韩国、日本等国家常采用SKD11材料制作钢圈。滚刀在切削硬岩时，将会受到较大冲击和磨损，要求滚刀刀圈材料要具有良好耐磨性、渗透性和较高硬度与韧性。

为了减小盾构刀具磨损，常采用堆焊方式在刀具外缘加焊高强度耐磨钢板，并且堆焊整个耐磨侧板面，形成耐磨层。焊条材料由于WC含量过高，在表面易产生裂纹，使得耐磨层在较大冲击下易发生脱落。在焊条材质中添加适量金属元素，有助于改善焊条的焊接工艺。例如，添加少量的Nb元素可以形成碳化铌硬质相，保证焊后耐磨层硬度；加入适量的Ni元素，有助于加强与钢基体结合强度，改善材质韧性，减少堆焊层裂纹。

3. 盾构刀具选择

“软土配备切刀，硬岩配备滚刀”是目前广泛认同的一种说法。切刀主要应用于软土的切削以及具有较小粒径卵石、沙土的岩土层，且要求切削岩土层硬度小于20MPa；先行刀布置于其他刀具前，为切刀创造良好切削环境。在砂卵石地质环境中，齿刀和切刀配合使用可以起到很好

切削效果。为了清理渣土,还应该在刀盘开口部位配置刮刀。滚刀主要应用在硬岩地质当中,并且其刀圈在切削过程中起到关键作用。其中,在硬度为80~100MPa的软岩层常使用耐磨层刀圈;在50~150MPa地层中常采用标准钢圈;在120~250MPa的硬岩层中常采用重型钢圈。

为了保证刀具工作强度,刀具在刀盘上的连接方式会因地质环境差异有所不同。在砂卵石地质工作环境下,盾构刀具常采用嵌入式螺栓或销连接,这样连接便于更换刀具,且牢固不易脱落;对于粉砂、黏土等地质比较松软地段,刀具连接常采用焊接形式。

二、盾构刀具磨损分析

1. 盾构刀具磨损形式

切削刀具在砂卵石地层切削时易受到磨损破坏,其中刀具刃口部位在受到冲击时易发生崩刃,其主要失效形式为冲击断裂;刀体与岩土层相互挤压摩擦会产生损坏,刀体表面的摩擦形貌如图8所示;可以看出,其主要失效形式为犁沟式磨粒磨损和碾压磨损。

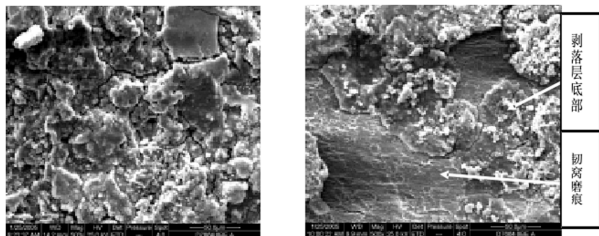


图8 刀体表面的磨损情况

滚刀的刀圈在切削岩土层时将会发生磨损,磨损类型主要有磨粒磨损、黏着磨损和点蚀磨损。滚刀的磨损形式如图9所示,可以分为正常磨损和非正常磨损两大类;其中非正常磨损主要有刀圈磨偏、刀圈断裂、刀圈挡圈脱落以及轴承损坏等。



图9 滚刀的磨损形式

2. 刀具磨损量计算

盾构刀具在切削过程中会受到不同程度磨损,当刀具达到磨损极限或非正常磨损时便需要更换刀具。可以通过计算公式预估刀具在正常使用时的磨损量,其中盾构刀盘

外圈刀具的磨损量如式(1)所示。

$$\delta = 0.1K \times \pi \times D \times N \times L / V \quad (1)$$

式中, δ 为磨损量,mm; K 为摩耗系数,mm/km; D 为盾构刀盘外径,m; N 为刀盘的转动速度,rad/min; L 为掘进的距离,m; V 为掘进速度,cm/min。

其中,土压平衡盾构机在不同地质下不同刀具磨耗系数如附表所示:

不同地质下刀具磨耗系数 (10^{-3} mm/km)

刀头材料	黏土/ (10^{-3} mm/km)	砂/ (10^{-3} mm/km)	砂砾/ (10^{-3} mm/km)
E5	4~15	15~25	25~45
E3	2~7.5	7.5~12.5	12.5~22.5
E2	1.37~5.17	5.17~8.6	8.6~15.5

3. 盾构刀具磨损影响因素分析

在盾构机掘进过程中,刀具的使用寿命将会受到不同因素影响,为了减少刀具更换次数,提高刀具使用寿命,需要采取一些措施减少刀具磨损。

盾构刀具磨损情况将会受到掘进推力、切削量、推进速度以及刀盘转速等掘进参数影响。掘进推力是影响刀具磨损最直接的因素,刀具所承受的载荷主要来自于掘进推力,推力过大会使刀具磨损严重,甚至使切削刀刀刃崩断、滚刀的刀圈偏磨或断裂。在切削较硬岩层时,刀盘转速过快会使刀具振动,加剧刀具的磨损。

根据不同的地层需要选择不同刀具,从一种地层到另一种地层时要及时更换刀具,避免刀具发生异常磨损。例如,从硬岩地层向软岩地层转换时,如不及时地将滚刀换回齿刀,可能出现滚刀偏磨现象;从岩石微风化带地层向岩石强风化地层转化,如不能及时地将齿刀更换为滚刀,将会加剧齿刀的磨损。

三、结语

盾构刀具选取将会直接影响盾构机掘进效率,本文对不同盾构刀具类型以及工作原理进行概述,对刀具材料以及刀具选型进行了一定研究,分析了盾构机刀具磨损形式以及磨损原因,为以后盾构机刀具选取、减少刀具磨损以及刀具更换提供了一定参考价值。□

参考文献

- [1] 吴笑伟. 国内外盾构技术现状与展望[J]. 建筑机械, 2008, (8): 69-73.
- [2] 夏毅敏, 薛静, 周喜温. 盾构刀具破岩过程及其切削特性[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, (4): 954-959.
- [3] 陈雷. 关于提高盾构刀具性能的研究分析[J]. 市政技术, 2012, (5): 163-166.
- [4] 陈广峰, 张建平, 桂秩雄, 等. 北京地铁砂卵石地层施工盾构刀盘的改进[J]. 工程机械, 2009, (2): 29-32.
- [5] 张国京. 北京地区土压式盾构刀具的适应性分析[J]. 市政技术, 2005, (1): 9-13.
- [6] 夏晓中. 盾构刀具异常磨损及改进研究[J]. 现代交通技术, 2010, (2): 67-70.

质量控制循环：提高生产力的关键

卡尔蔡司(上海)管理有限公司

质量数据是优化制造工艺的基础。ZEISS AIMax twin和ZEISS AIMax twin UV是蔡司推出的两款新型双测头，它们适用于目前任何生产工艺中的面差和间隙测量，涵盖了从车身构造到最终组装的多个领域。

ZEISS AIMax twin测头用于获取间隙和面差的几何尺寸。从车身结构的金属表面和涂层，一直到最终的涂装表面，双测头对组装的整个生产链执行检测。ZEISS AIMax twin UV测头能更详细地采集间隙和面差值：除了涂装表面和金属表面外，现在还能获取非合作和透明表面上的值。

蔡司将ZEISS AIMax twin和久经考验的表面检测测头ZEISS ABIS，以及新型移动蜂窝网格板ZEISS CARFIT eMOBEE结合起来，进一步提高了车身制造生产力。



AIMax twin UV双测头

蔡司车身解决方案主管兼自动化检测总经理Kai-Udo Modrich博士表示，如今，测量和检测技术是制造中不可或缺的质量管理工具。质量保证早已不再是单单进行缺陷检测，或是提供单一的质量数据。Modrich说：

“相反，公司需要能够优化生产工艺的高质量信息。”全方位检测是对这些车身部件实施质量控制循环的关键。Modrich认为，仅随机抽取样本进行推断并不能确保可靠的过程监控和管理。

Modrich说：“未来，质量数据将在无人干预的情况下控制机器，目前可接受的质量瑕疵将成为非常严重的缺陷。”

专为面差和间隙测量而设计

新型双测头ZEISS AIMax twin

和ZEISS AIMax twin UV可为客户提供预期的优异质量。它们能在生产周期中进行百分百的检测，现在，ZEISS AIMax测头已广泛用于汽车工业中。Modrich说：“这些测头为公司提供了车身管理过程中所需的精准结果。”

和ZEISS AIMax测头一样，ZEISS AIMax twin对喷漆和非喷漆的汽车车身零件进行非接触式面差和间隙测量。但与ZEISS AIMax的不同之处在于，新一代系统结合这两种技术，打造出了双测头。

由于采用了这种特殊设计，这些测头不仅能检测间隙，还能检测间隙内部，采集所有的几何特征，从而评测最终的面差和间隙情况。

得益于UV技术，ZEISS AIMax twin UV还能在OEM多种材料（包括不配合的材料，如车头灯的透明表面）上采集面差和间隙值。蔡司产品经理Manuel Schmid认为，有一点明确无疑：“我们推出的这两款新型测头丰富了蔡司的产品系列，为客户提供能在生产线上采集面差和间隙值的理想解决方案。”Schmid认为这是“高效生产工艺的基础，是产品和工艺发展的大势所趋，而且缩短了反应时间。”



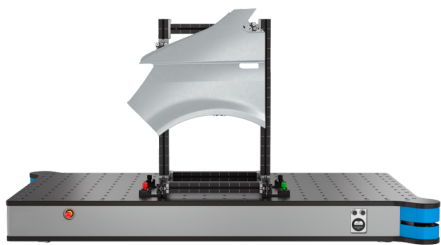
AIMax twin双测头



优势：综合的测量周期

新款测头理想匹配蔡司现有的产品系列。软件架构、生产线中的集成和对所采集数据的评估与其它蔡司在线解决的方案一致。然而，不仅是测头的性能如此出色。

Modrich博士的团队更进一步打造了一个测量单元。在该测量单元中，ZEISS AI-Max twin测头对车身上的不同间隙尺寸进行评估，而ZEISS ABIS测头对车身外壳零件的表面质量进行检测。Schmid说，这两个测头由不同的机器臂操作，只需一个测量周期即可为过程管理提供全面的质量信息。由于各原始设备制造商在涂漆前检查面差和间隙以及包括车门和附件在内的整个车身的表面质量，“将两个测头组合到一个测量周期内，不仅仅是效率的提升，他们一定会惊叹于这一点” Schmid说。



这些测量单元在生产大厅中占用的空间也更少。蔡司与客户共同合作，确定如何将两个测头结合用于特定的项目。这需要考虑循环时间、车身设计和生产环境。无论客户最终如何决定，都可以在ZEISS PiWeb软件中编制在整个生产链上采集的测量数

据，以进行准确评估。

关注灵活性

为什么蔡司开始为客户开发这些解决方案？Modrich说：“我认为，这是由于我们了解客户面临的挑战，而且长期以来我们也一直在思考数字化可能对生产造成的干扰。”他认为，完全网络化、缺乏灵活性的自动化系统并不适合汽车行业的未来发展，因为汽车型号和电动交通的类型越来越多。更高的灵活性要求生产单元能够自主操作并独立处理部件。无论最终实施哪种灵活概念，仍然存在一个挑战：组件必须有效地从A位置移动到B位置。

通过新的自行式CARFIT eMOBEE蜂窝网格板，蔡司已经能够实现更大的灵活性。该移动载体系统由电机驱动，最初为测量实验室而设计。Schmid说：“但我们发现它也能在车间里使用。”蔡司系统的性能十分出色。例如，移动板全自动通过测量实验室并到达测量机。在那里，针对通过与三坐标测量机（CMM）或光学测头的接口固定在板上的部件，它会自动启动正确的测量程序。此外，板的内部蜂窝状结构使其变得十分轻盈，这就简化了加载和处理过程。



从2019年夏季开始，CARFIT eMOBEE已有不同的尺寸。由于电机能够实现全方位运动，因此它不需要很大的旋转空间，便于在小型测量实验室中使用。利用专为光学测量应用设计的新型CARFIT lite系统，可使用经济有效的连接技术，形成快速、轻巧的基本夹具。Schmid说：“通过eMOBEE蜂窝板 and 新的ZEISS CARFIT lite系统，我们让客户向自动化测量实验室迈进了一步。” Modrich博士补充说：“我们将向汽车制造商展示如何在数字时代让其生产过程变得更加灵活、高效。” □

资讯

特种加工机床分会召开协会团体标准启动会

2019年12月20日，中国机床工具工业协会特种加工机床分会在苏州召开了《数控往复走丝电火花线切割机床性能评价规范》（计划编号为201927-T-CMTBA）协会团体标准启动会，苏州电加工机床研究所有限公司等10家会员单位的主管领导或技术负责人以及分会秘书处成员共计20位代表参会。

本标准主要针对往复走丝电火花线切割机床各项性能进行规范评价，包括外观质量、加工精度、加工效率等指标。本标准完成后的执行将对线切割机床产品质量的提升起到积极的促进作用，并在一定程度上避免行业企业参与低价竞争、恶性竞争。行业企业可结合达标认定活动更好地创建企业自身品牌，加快产品转型升级的步伐，进而推动特种加工机床产业的高质量发展。

（胡瑞琳供稿）

数控龙门类机床精度检验项目分析与研究

北京金隅科技学校 李嵩松 马 蕾

精度是机床的基础，是加工出合格产品的保障，保持机床精度至关重要。机床精度是指机床主要部件的形状、相互位置及相对运动的精确程度，包括几何精度、传动精度、运动精度、定位精度和精度保持性能等五个方面。其中最重要的是机床静态几何精度。

对于集机、电、液、气于一体的数控机床的检验，无论是生产过程中的检验、还是最终检验，都十分重要。它直接关系到机床的功能、可靠性、加工精度和综合加工能力。数控机床的检验是一项非常复杂的工作，它包括对机床的机、电、液和整机综合性能及单项性能的检测，另外还需对机床进行刚度和热变形等一系列试验，检测手段和技术要求高，需使用各种高精度仪器设备。

1. 数控龙门类机床

龙门类机床因具有一结构稳定且高刚度的龙门框架，故是一种高效率、高精度、高性能、可靠性高的加工设备。龙门机床按运动方式分类分为：工作台移动式 and 龙门框架移动式（含高架横梁移动式）。按龙门框架结构分类分为：动梁龙门框架和定梁龙门框架。随着制造技术的不断进步，龙门类机床的种类已不局限于金属减材制造，还增加了如铸造砂型切削机，铸造砂型3D机等新型设备。

2. 数控机床的精度

数控机床的精度主要包括静态几

何精度、定位精度，实际切削精度三方面。

静态几何精度反映机床的关键机械零部件（如床身、立柱、主轴箱、工作台等）的几何形状误差及其组装后的位置误差，包括各直线轴之间的垂直度、工作台面的平面度、主轴孔的径向跳动、主轴的端面跳动、主轴轴线与工作台面的垂直度及与各直线轴的垂直度等。

定位精度是指所测量的机床运动部件在数控系统控制下要到达某个坐标值和实际到达的位置之间的差距大小，它与机床的几何精度共同对机床切削精度产生重要的影响，尤其对孔隙加工中的孔距误差具有决定性的影响。可以从机床的定位精度判出它的加工精度。

切削精度是指零件加工后的几何参数（尺寸、几何形状和相互位置）的实际值与理想值之间的符合程度。

3. 静态几何精度检验项目分析

龙门类机床的几何精度检验项目总体分为五大类，分别是机床的床身导轨精度、工作台面精度、龙门框架相关精度、横梁精度、镗头精度。应用至具体产品时需要进行必要的选择。

（1）床身导轨精度

床身部件是整个机床的基础，它是龙门框架移动或工作台移动过程及切削过程中使机床具有足够的刚度和精度的重要保障。

床身导轨精度是整合机床的精度基础。床身导轨精度主要包括：床身导轨在X/Z平面内的直线度，相邻床身导轨在X/Z平面内的平行度，床身导轨在X/Y平面内的直线度，如果是龙门框架移动式机床需增加左床身导轨与右床身导轨在X/Y平面内的平行度，如图1、图2所示。根据机床行程不同导轨精度要求也不尽相同。大型机床导轨行程较长，导轨精度既要求每米精度又要求全长精度。例如某大型数控工作台移动式龙门切削机床床身导轨精度要求：直线度0.015mm/1000mm，全长直线度 $\leq 10000\text{mm}$ ，0.03mm； $\leq 20000\text{mm}$ ，0.045mm； $\leq 30000\text{mm}$ ，0.06mm； $> 30000\text{mm}$ ，0.08mm。同时要求导轨只允许凸。

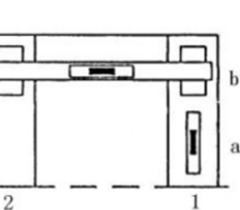
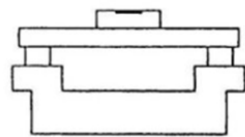


图1 床身导轨平面度

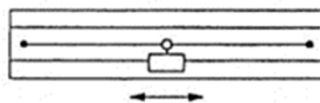


图2 床身导轨直线度

为达到机床整体精度，床身基础件设计要从材料，导轨形式，调整方式等方面考虑。首先，床身可采用灰铸铁HT250，此类铸铁具有高的抗压强度、优良的耐磨性和消振性，低的缺口敏感性，适用于承受压力及振动的机床床身。第二，床身导轨设计为矩形导轨，导轨应较宽，能够承受整个龙门框架的重量。第三，床身下面应设计有专用的调整垫铁和地脚螺栓把床身牢固的固定在地基上。

(2) 工作台精度

工作台移动式机床和龙门移动式机床的工作台精度检验有相同点也有不同点。工作台移动式龙门机床要求：工作台面的平面度；工作台移动对工作台面的平行度；工作台移动在X/Y平面内的直线度；工作台T型槽的平行度。

龙门移动式机床要求：工作台面的平面度；龙门框架移动在X/Z平面内的平行度；工作台T型槽的平行度，如图3、图4、图5、图6所示。

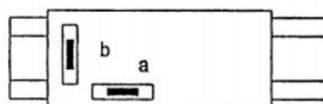


图3 工作台平面度

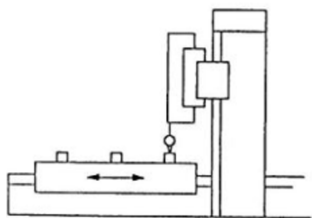


图4 工作台移动对工作台面的平行度

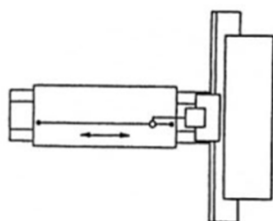


图5 工作台移动的直线度

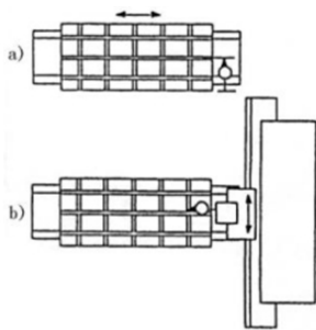


图6 工作台T型槽的直线度

如果工作台精度检验项目超差，加工出的零件就会产生以下问题。第一：铣平面影响平面度，特别是薄板类零件会引起工件变形。第二：孔加工时特别是多孔加工时影响单个孔对面对的垂直度，多孔之间的平行度超差。第三：使用立铣刀加工时影响加工面对基准面的垂直度超差。第四：附件铣头加工时影响镗孔的同轴度超差。第五：插补铣削圆时影响圆柱度超差。

为达到机床整体精度要求，工作台设计制造也要从材料、加工方法等方面考虑。首先，工作台尽量采用与床身相同的材料保证热稳定性一致；其次，大型机床工作台面的精加工都是以自铣的方式完成，既节省时间又容易保证精度。中小型机床工作台可以通过精磨完成。

(3) 龙门框架精度

龙门框架精度主要包括：横梁沿立柱导轨移动时的倾斜；横梁移动对工作台面的垂直度，如图7、图8所示。

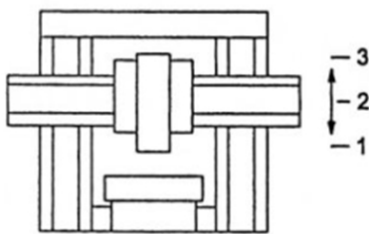


图7 横梁移动的倾斜

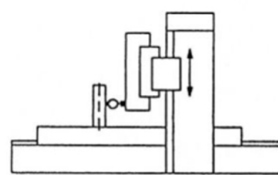


图8 横梁移动对工作台的垂直度

如果龙门框架精度检验项目超差，加工零件会产生以下问题。第一：加工孔对基准面的垂直度超差；第二：多孔位置度超差；第三：附件铣头加工垂直面时影响与水平面的垂直度超差。

此类精度为动梁龙门框架的关键精度，达到精度要求需要从设计、加工、装配三方面考虑。在横梁进给系统（W向进给系统）的设计中，可以采用消除效果好的行星齿轮减速机作为驱动机构，进给丝杠可以采用双螺母预紧丝杠。立柱加工过程中要严格控制导轨的精度，两根立柱要同时加工保证导轨的一致性。装配过程要保证立柱导轨的共面性，两根立柱的导轨垂直度保持一致。

(4) 横梁精度

横梁精度主要包括：镗铣头横向移动在Y/Z平面内的直线度；镗铣头横向移动在X/Y平面内的直线度；镗铣头横向移动对工作台移动的垂直度，如图9、图10、图11所示。

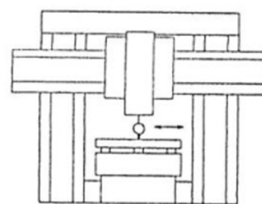


图9 镗铣头移动的直线度

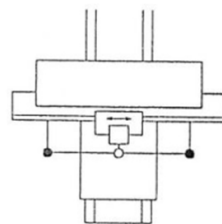


图10 镗铣头移动的直线度

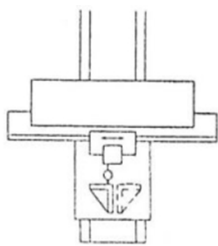


图 11 镗头移动的垂直度

如果横梁精度检验项目超差，加工零件会产生以下问题。第一：镗头进行多孔加工时孔位置度超差；第二：附件铣头铣削垂直面的平面度超差；第三：附件铣头孔加工，两孔垂直度超差。

此类精度为龙门类机床的关键精度，达到精度要求同样需要从设计、加工、装配三方面考虑。横梁大件设计时根据镗头的重量和横梁跨度可采用预变形工艺思路进行结构设计。横梁加工过程中要严格控制各条导轨的精度，动梁类要保证前后导轨间垂直度、定梁类要保证前导轨和结合面的平行度、垂直度。装配时要保证横梁与立柱结合面的接触精度，此处结合面为重要结合面通过刮研保证精度。

(5) 镗头精度

镗头是龙门类机床的主运动部件，负担着完成机床主运动的重要任务。精度要求全面，精度检验项目包括：铣头移动对工作台面的垂直度，铣头主轴旋转轴线对工作台面的垂直度，主轴锥孔轴线的径向跳动，主轴定心轴径的径向跳动，主轴的端面跳动，主轴的轴向窜动，如图12、图13、图14、图15、图16、图17所示。

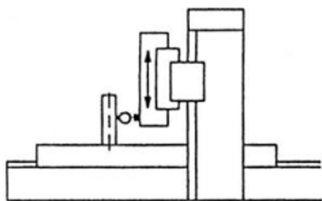


图 12 镗头移动对工作台面的垂直度

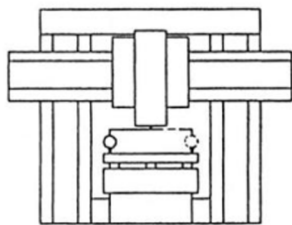


图 13 主轴回转轴线对工作台面的垂直度

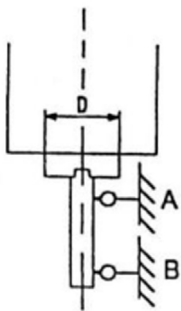


图 14 主轴锥孔的径向跳动

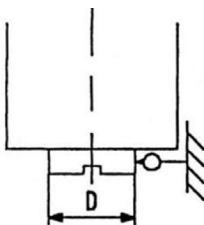


图 15 主轴定心轴径的径向跳动

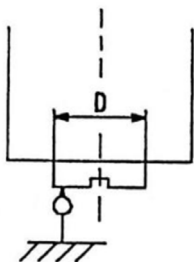


图 16 主轴的端面跳动

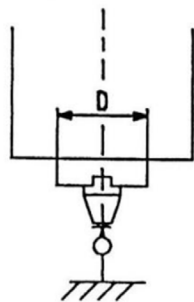


图 17 主轴的轴向窜动

如果镗头精度检验项目超差，加工零件会产生以下问题：第一：加

工阶梯孔同轴度超差；第二：加工垂直面垂直度超差；第三：端铣刀加工平面影响表面粗糙度。

此类精度为龙门类机床的核心精度，镗头主要精度分为两部分，一部分为箱体精度，一部分为主轴单元精度。目前主轴单元大部分为外购精度由主轴生产商保证，箱体精度主要为导轨和主轴孔的平行度；主轴孔对端面的平行度；在箱体加工过程中要采用先镗孔后导轨的加工方法以保证平行度和垂直度。

4. 机床几何精度检验过程中需要注意的问题

关于几何精度的检验器具数控机床几何精度基本上都要比普通机床高，普通机床用的检具、量具，往往因自身精度低，满足不了检测要求。因此，在机床订货时提出哪些量检具由制造厂提供，列入合同条款。

关于检测前的预热机床几何精度检测时，应按国家标准规定，即机床接通电源后，在预热状态下，机床各坐标轴往复运动几次，主轴按中等转速运转10多分钟后进行。

关于负荷运转试验对于大型数控机床还应进行负荷试验。通过负荷试验可以检验机床是否达到设计规定的承载能力，及其在负荷状态下各机构工作是否正常，其工作的平稳性、准确性、可靠性是否达到规定要求。根据标准规定，负荷试验前后均应检验机床的几何精度。工作精度试验应放在负荷试验后进行，目的均是对机床的进一步检验。

5. 小结

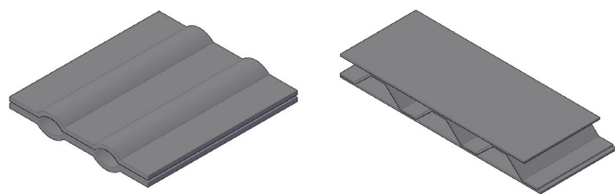
综上所述，为了保证数控机床的精度，需从设计、制造、使用三方面着手，通过结构的优化设计、先进的制造技术，才能保证机床几何精度的稳定性与机床使用过程中的可靠性。□

2~3层钛合金板结构成形新工艺

浙江申吉钛业股份有限公司 陆敏 陈岩
上海交通大学 王以华

给出了由钛合金高强度板材制造2~3层构件的工艺过程。用扩散焊接工艺并用板间所供压力气体成形沟槽。零件连接部位的强度增加30~50%；零件的材料消耗减少20~30%；连接处的精度提高2~4倍；零件数量减少到1/5~1/10；并且减少了装配和精加工工作量。

宇航装置中的冷凝器按照仪表和特殊要求安装在仓室的内外表面，这些部位必须承受规定的温度规范。因此，由这些壁板结构重复建成圆柱体型内外部薄壳体并形成温度调节系统的装置。冷凝器壁板结构上提出2层无缝连接，在长度上相邻两部分之间要有沟槽，以便热介质循环（图1a）。



(a) 冷凝器壁板

(b) 3层波浪形的壁板

图1 冷凝器壁板结构略图

沟槽截面具有规定几何形状，一个沟槽本身可以具有一个或两个面。使用材料为钛合金TC3，冷却片的厚度为1~1.5mm。

制造壁板传统工艺过程包括两层板在轧制中连接，由于轧制连接不能保证在焊接条件下的沟槽几何尺寸，造成在随后工序中报废率高达70%~80%。

在某些装置中，冷凝器的功能被制成3层波浪形壁板（图1b）。这里，用于温度调节介质的通常为液态氮。此外，这样的结构也用于主整流罩的外壳。模具结构是波浪

形圆柱体或锥体，用铆钉与壳体内部平滑连接，用氩弧焊与壳体外部连接。焊缝的极限密封水平限制在零件的使用期限内。钳工的铆接工作量很大。

况且现有技术采用熔化焊接，毋庸置疑，在焊缝处，严重损害了材料的力学性能，尤其是冲击韧性降低明显；且沿着焊缝留下了应力腐蚀源，从而降低了抗应力腐蚀寿命。该方法所制波浪形沟槽尺寸精度难以控制。

一、2层壁板新的制造工艺

提出的工艺方案，归结到随后在一个工位上紧密封合模具并在氩气环境下使得气体供给转到毛坯沟槽成形处，在900~930℃以及1~1.5MPa的氩气气体压力下成形20~30min；在两层板间气体压力作用下，进行扩散焊接工序。

因此，沟槽分布精度及其几何形状由模具精度来确定，精度得以大幅度提高，并且在固相中的扩散焊接没有破坏材料的组织，达到与母体材料等强度，以保证高水平腐蚀寿命及几何形状。

表1给出加工步骤和规范。

整个钛合金壁板成形工艺过程包括：施以防扩散涂层（氮化钛），将钛含量约80%的氮化钛，在500℃真空炉内施涂于对应板坯沟槽表面；在氩气中焊接或在必需的温度中加热一段时间，在气体压力下的真空中焊接。

表1 两层冷凝器壁板成形典型工艺过程

工序	工艺规范		
	温度 /℃	压力/MPa	时间/min
1.备料（切割，脱脂除油，酸洗，清水漂洗，烘干）	按照各个不同工艺要求		
2.在钛合金坯料对应沟槽表面涂以防扩散涂层。	同上		
3.在真空室内将两块板坯和工具装到模具中			
4.在真空炉里加热毛坯	900~930	1.3×10^{-7}	≤ 200
5.通入氩气并在压力支撑下扩散焊接毛坯	900~930	4~4.5	40~50
6.紧密封合模具，氩气供给转到毛坯沟槽成形处，在气体压力下成形	900~930	1~1.5	20~30
7.降低压力，通入气体，在充满氩气的密闭模具中冷却	到200	—	200~300
8.打开模具，冷却	到70	—	20~30
9.打开密封室并摘取零件	按照各个不同工艺要求		
10.准备进入下一工序作业			

主要工序略图示于图2。

工序编号 见表1	工序略图
2	
5	

图2 两层冷凝器壁板变形工步略图

应当指出，在固相中的扩散焊接没有破坏材料的组织，达到等强度，以保证高水平腐蚀寿命及几何形状。

二、3层冷凝器壁板新的制造工艺

设计了波浪形壁板新的结构并拟定了新的工艺。紧密

闭合模具并在氩气环境下使得气体供给转到毛坯沟槽成形处，即在875~930℃以及1~1.5MPa的气体压力下拉深成形20min，保压10~15min。工艺过程还包括板叠中板材的气体扩散焊接。工序排列和规范列于表2，主要工序略图见图3。

表2 3层冷凝器壁板成形的典型工艺过程

工序	工艺规范		
	温度 /℃	压力/MPa	时间/min
1. 备料（切割，脱脂除油，酸洗，清水漂洗，烘干）	按照各个不同工艺要求		
2.在板叠中翻转板叠毛坯，用电子束焊接	同上		
3.将3层毛坯板叠装入模具中	875~930	10~15	到300
5.在气体压力下保压	875~930	1~1.5	10~15
6.在逐步排出气体压力条件下，在封闭模具中冷却	到200		到300
7.关掉供气阀门，打开模具冷却	到70		20~30
8.充分打开模具，摘取零件	按照各个不同工艺要求		
9.为下一个零件做准备			
工序编号，见表2			

工序编号 见表2	工序略图
2	
4	
5,6,7	

图3 3层冷凝器壁板成形工步略图

制造冷凝器壁板和波浪形壁板共同工序包括：连接和成形。在第一种情况下，用扩散焊接连接板叠；在第二种情况下，用熔化焊接。与用气体成形工艺作用效果是一样的。冷凝器的两层壁板和3层壁板工业实样分别示于图4和图5，使用板厚1mm；在设计的高度10~30mm时，结构的外廓尺寸达到500×500mm。

（下转第100页）

一种智能刀架管理软件的设计与实现

北京工研精机股份有限公司 齐彦

刀具是金切机床中用于对零件进行切削加工的工具，根据被加工工件的材料、性能、加工速度、切削用量等因素，遵循着适用、安全、经济的原则选择刀具。作为机床工作的必要工具，加工中心上配套的刀具具有数量多、种类多、各不相同的特点，如何做好高效的管理工作显得尤为重要。本文基于北京工研精机股份有限公司研制的全自动精密加工生产线FML-T800的需要，为配合智能刀架的使用，研发了一种智能刀架管理软件，实测表明，能很好的辅助刀具的管理工作。

FML-T800是北京工研精机股份有限公司根据客户要求，为满足航空用钛合金零件的高效加工最新研制完成的全自动加工生产线。生产线由北京工研精机股份有限公司生产的两台 μ 2000/800H卧式加工中心、两台 μ 2000/5ss-800H五轴摆头卧式加工中心及堆垛机、全自动物流系统、排屑系统、刀具系统、智能刀架、人工上下料系统、工艺管理系统等组成。其中，智能刀架作为该生产线的重要组成部分，是独立于机床主体部件与机床通讯和外部操作交互的中间枢纽部件。智能刀架管理软件是可以运行在智能刀架端和总控端的智能化软件，操作便捷，界面简单。

一、目标需求

在生产线运行过程中，机床及时准确的换刀、取刀对机床加工节拍有着直接的影响，关系到整条生产线的工作效率。随着机床持续的加工作，机床自身刀库的刀具逐渐磨损，因此，必须及时快速更新刀库中的刀具。为保证机床获得正确的刀具，实现快速刀具更换，在每台主机刀库的

旁边设计了智能刀架，用以提前备刀并集中管理需要更换的刀具。智能刀架圆满地解决了这一问题。智能刀架三维模型见图1，主体采用四层台阶式设计，选择4×4矩阵式布局结构，设计了十六个刀套位置，按照从下到上，从左到右的顺序原则，为十六个刀套位置顺序编码（01-16），长600mm，宽600mm，落地高度1457mm，底部设计万向轮可以随意移动，为方便操作者可以快速抓刀。外延带读刀位及控制屏悬臂，通过RFID扫描装置进行刀具信息校验。显示屏可以实时显示智能刀架上刀套位置状态及刀具信息。

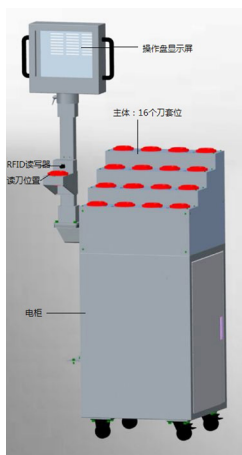


图1 智能刀架

二、功能及其实现

智能刀架软件在设计过程中充分考虑机床工作状态及操作方便性、考虑生产成本及研发周期，便于代码移植与重构，为了使用户能够有更友好的界面感受，采用Qt开发框架，MySQL数据库，选择C++语言开发，保证与远程以太网I/O，RFID标签以及华中数控系统进行无缝连接，可以在Windows7及以上操作系统使用，符合TCP/IP协议，RS-485串口协议，选择六类网线、串口线连接。图2为软件代码结构图。图3为软件显示主界面，软件界面刀套位置设计与智能刀架物理实际位置保持一致，图3中17号为读刀位置指示位。

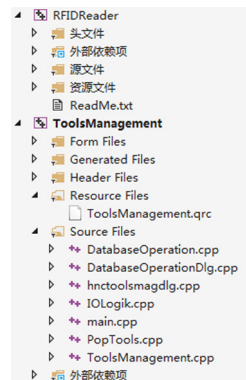


图2 软件代码结构图

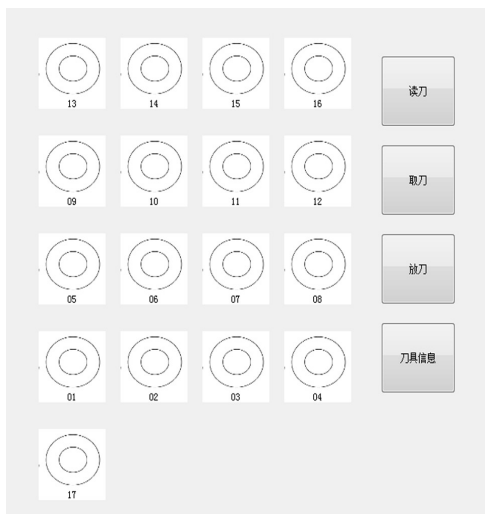


图3 软件显示主界面

智能刀架软件主要包括四大功能，分别是读刀、取刀、放刀和刀具信息。关于读刀功能，就是操作者需将贴有RFID标签的刀具放置于外延读刀悬臂的刀套位上，以读取刀具信息。当软件检测到该位置有刀时，读刀位置绿色指示灯亮，并在软件显示界面上同步指示“亮灯”。读刀位置为空时，指示灯灭，软件显示界面上随即变化指示。由于在外延悬臂读刀位置处装有高频读写器，通过遵循读写器与应用软件之间进行通讯的接口平台API相关定义，保证能够读取RFID标签装载的信息，并与数据库中相关信息进行比对，确保获得信息的正确性，在软件显示界面上也会显示读取到的刀具物码信息。如图4所示：

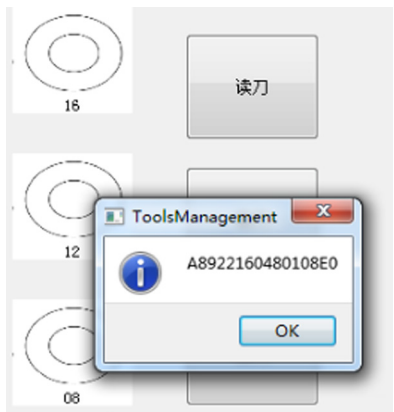


图4 读刀操作

读刀功能部分代码：

```
void ToolsManagement::btnRfReadTools()
{
    RFIDReader::Init();
    RFIDReader Rcont;
    DWORD dwValue17;
    if (Rcont.Connet("Com5") == false)
    {
        QMessageBox::information(NULL, "",
            QString::fromLocal8Bit(Rcont.GetError().c_str()));
        return;
    }

    std::string bakestr1 = Rcont.ReadUid(1); //读取RFID标签是否存在
    QMessageBox::information(NULL, "",
        QString::fromLocal8Bit(bakestr1.c_str()));
    if (bakestr1 == "0000000000000000")
    {
        dwValue17 = 128; //绿色指示灯亮
        io3.IOReadAndWrite(IOC_DO_WRITE, 0, 8, &dwValue17);
        QMessageBox::information(NULL, "", QString::fromLocal8Bit("没有读到刀"));
    }
    else
    {
        dwValue17 = 129; //绿色指示灯和刀具确认灯亮
        io3.IOReadAndWrite(IOC_DO_WRITE, 0, 8, &dwValue17);
        QMessageBox::information(NULL, "", QString::fromLocal8Bit("有读到刀"));
    }

    std::string bakestr2 = Rcont.HexRead(1);
    QMessageBox::information(NULL, "",
        QString::fromLocal8Bit(bakestr2.c_str()));
}
```

关于取刀功能是在屏幕上点击“取刀”按钮后，弹出设置刀具信息的提示框，输入需要的刀具名称以及型号，点击“确认”键后，如图5所示：软件显示界面上会显示需要取走的刀具位置，并且在智能刀架上会有绿色指示灯点亮，指引操作者到相应位置取刀，取刀完毕后指示灯灭，软件界面自动变更为无刀状态。



图5 取刀

取刀功能实现部分代码:

```
void ToolsManagement::BtnPopTools()
{
    if (m_bPushTools)
    {
        QMessageBox::information(NULL,
        QString::fromLocal8Bit("取刀错误"),
        QString::fromLocal8Bit("正在放刀操作, 结束后
        请重试...."));
        return;
    }

    PopTools dlg(NULL);
    int nRet = dlg.exec();
    if (nRet == QDialog::Rejected) return;

    QString strToolsModel = dlg.GetToolsmodel();
    QString strToolsName = dlg.GetToolsname();
    std::map<QString, int>::const_iterator cit =
    m_mapFindTools.find(strToolsName + strToolsModel);

    if (cit == m_mapFindTools.end())
    {
        QMessageBox::information(NULL,
        QString::fromLocal8Bit("放刀错误"),
        QString::fromLocal8Bit("查找刀具信息不存在,
        请放刀, 或重新查找"));
        return;
    }

    m_pVagueTimer->start(1000);
    m_bPopTools = true;
    m_iCurrentLight = cit->second;
    int n = m_listOnLightName.at(m_
    iCurrentLight).toInt();
    DWORD _readValue = 1 << n;
    if (n > 0 && n < 9)
    {
        DWORD _readValue = 1 << (n - 1);
        io1.IOReadAndWrite(IOC_DO_WRITE, 0, 8,
        &_readValue);
    }
    else
    {
        n = n % 8;
```

```
if (n == 0) n = 8;
DWORD _readValue = 1 << (n - 1);
io2.IOReadAndWrite(IOC_DO_WRITE, 0, 8,
&_readValue);
}
}
```

需要放刀时, 就要点击屏幕上的“放刀”按钮, 同时指示灯会提示需要放刀的位置, 显示界面上也会一一对应相应位置。在放刀功能设计时, 充分考虑了刀具自身重量不均, 集中单行或单列放刀影响智能刀架配重; 不同型号的刀具的长度不一致; 无序放刀制约刀具信息管理等因素, 最终决定采用以十六个刀套位中心四点对角线上位置为最优, 随后依次为从上到下, 从左到右的次序放刀, 即依照图3中的刀套位置, 顺序依次为: 10、07、11、06、13、14、15、16、09、12、05、08、01、02、03、04。也就是说, 在放置刀具时每次都保证中心位置优先放置, 依据这个算法程序会自动检测刀架上的各个位置上是否有刀, 并提示最优放刀位置。通过该项功能的实现能够很好地解决智能刀架的配重等问题。

放刀功能实现部分代码:

```
void ToolsManagement::time_PushTools()
{
    if (m_iCurrentLight >= 16 || m_iCurrentLight
    == -1)
    {
        return;
    }

    QString strValue = m_listOnLightName.at(m_
    iCurrentLight); //获取闪烁按钮名称
    QString strSheet2 = g_
    cstrBtnStyleSheetOccur; //亮灯
    QString strSheet3 = g_
    cstrBtnStyleSheetEmpty;
    static bool b = false;
    if (b)
    m_
    mapBtnNameAndBtnObjPtr[strValue]-
    >setStyleSheet(strSheet2);
    else
    m_
    mapBtnNameAndBtnObjPtr[strValue]-
    >setStyleSheet(strSheet3);
```

```

b = !b;

if (m_toolposition >= 16) return;
int n = m_listOnLightName.at(m_iCurrentLight).toInt();
int _value = 0;
if (n > 0 && n < 9)
{
    _value = CheckToolsPosition(&io1);
}
else
{
    n = n % 8;
    if (n == 0) n = 8;
    _value = CheckToolsPosition(&io2);
}

n = n - 1;
bool bNext = _value & (1 << n);
if (m_bPushTools)
{
    QString toolTip = m_mapBtnNameAndBtnObjPtr[strValue]-
>toolTip();
    if (!bNext || toolTip.isEmpty()) return;
}

if (m_bPopTools)
if (bNext) return;

m_pLightOffTimer->start(100);
}

```

刀具信息功能是可以与数据库相连接，实时读取数据库中刀具信息，便于操作者及管理者查看刀具型号（刀组码），刀柄码，刀具类型-父分类，类别，加工材质，种类（刀头、刀柄），接口类型等信息。如图6所示：必要时可以根据需要进行相关刀具信息的修改、删除等操作。此外，在刀具信息下拉选项中可以查看刀具类型，当前刀具信息，刀具生命周期，刀具使用记录相关信息的显示。

刀具型号(刀组码)	刀柄码	刀具类型-父分类(铣削)	分类-类别(立铣刀)	类别(整体/可转位)	加工材质	种类(刀头/刀柄)	接口类型
1 T013	SAMCTLA410...	铣削刀具	立铣刀	整体	铝合金	整体硬质合金...	HSK
2 T021	SAMCTLA410...	铣削刀具	立铣刀	整体	铝合金		HSK
3 T083	SAMCTLA410...	铣削刀具	立铣刀	整体	铝合金		HSK
4 T104	SAMCTLA410...	铣削刀具	立铣刀	整体	铝合金		HSK
5 T142	SAMCTLA410...	铣削刀具	立铣刀	整体	铝合金		HSK
6 T196	SAMCTLA410...	铣削刀具	立铣刀	整体	铝合金		JT
7 T262	SAMCTLA410...	孔加工刀具	铰削刀具	整体	铝合金		HSK
8 T203	SAMCTLA410...	铣削刀具	立铣刀	整体	铝合金		HSK
9 T101	SAMCTLA410...	铣削刀具	立铣刀	整体	铝合金		HSK
10 T001	SAMCTLA410...	铣削刀具	立铣刀	整体	铝合金		HSK

图6 刀具信息显示

刀具信息功能实现部分代码：

```

void ToolsManagement::ToolsInformation()
{
    QMessageBox::information(NULL,
    "TOOLS", QString::fromLocal8Bit("
    刀具信息"));

    DatabaseOperationDlg dlg(AE_
    CTI);

    dlg.exec();
}

```

当已有刀套位置被占用的时候，通过Tip提示功能，可以概要的看到该刀套位置上放置的刀具的名称和型号（刀组号），如图7所示：通过这一人性化设计可以保证操作者在最短的时间获得所需刀具的统揽信息。

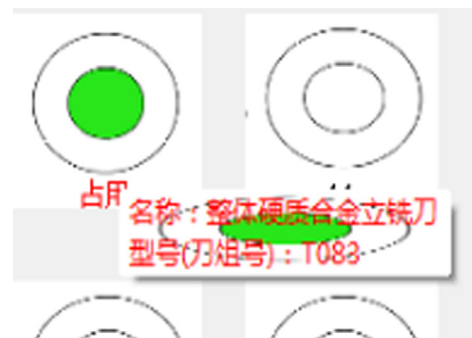


图7 刀具Tip提示

刀具生命周期管理在机床刀具使用过程中有着至关重要的地位，每一把刀的基本信息，使用寿命，加工特长等都对现场操作者有着关键的参考作用，同时，通过考虑刀具寿命，对于生产成本也有着基本的参考作用，及时更换刀具，确保机床正常运行也是刀具生命周期管理的重要意义。

三、测试检验

通过方案论证,软件开发设计,程序调试,现场测试等一系列流程的实施,可以很好的验证设计结果符合预期功能需求,并且操作简便,既能在一定程度上减轻操作者的体力工作,又能通过科学的算法,闭环检验,保证程序运行的稳定性。软件程序设计了异常处理,一旦操作不正确便会在显示界面上提示错误原因,便于及时纠正错误。如遇到系统故障,在物理显示屏的右上角设计了两个指示灯,分别为黄色和绿色,正常工作时指示灯状态如图8所示智能刀架正常运行时候绿色灯亮,遇到故障时黄色灯亮,便于操作者及时关注到智能刀架运行状态。



图8 正常工作时指示灯状态

部分异常警告代码:

```
case Sygole::HFReader::Status_
enum::FAILURE:
    m_strError = "执行失败!";
    break;
case Sygole::HFReader::Status_
enum::BCC_ERROR:
    m_strError = "BCC校验错误!";
```

```
break;
case Sygole::HFReader::Status_enum::NO_
TAG_ERROR:
    m_strError = "无标签!";
    break;
case Sygole::HFReader::Status_
enum::TIMEOUT_ERROR:
    m_strError = "超时错误!";
    break;
case Sygole::HFReader::Status_enum::GPO_
PORT_ERROR:
    m_strError = "输出端口错误!";
    break;
case Sygole::HFReader::Status_enum::NO_
RESPONSE:
    m_strError = "无响应! ";
    break;
case Sygole::HFReader::Status_
enum::PARAM_ERR:
    m_strError = "参数错误! ";
    break;
case Sygole::HFReader::Status_
enum::SERIAL_CLOSED:
    m_strError = "通信端口关闭! ";
    break;
```

FML-T800精密加工生产线的四台机床放置的物理位置相距较远,导致智能刀架布局也存在一定的物理路径差距,为便于管理者能够统一管理,在设计过程中,特意增加了在总控端可以同时查看四台智能刀架的使用情况的总控端可执行程序。避免发生故障,可以及时人为干预,统筹管控四台智能刀架的工作。

四、结语

通过智能刀架管理软件的设计与开发,实现了机床体外智能刀架的刀具管理功能,通过智能刀架管理软件不仅能够随时读取带有RFID标签的刀具信息。同时,可以智能化的判断取刀,放刀的最优位置选择及位置指示工作。实时查看数据库中刀具寿命等相关信息。通过指示灯提示可以确保即使操作者距离相对较远,也能直观的看到智能刀架上刀套位置状态。智能刀架管理软件是智能制造理念的很好体现,具有良好的实际意义。□

滚珠丝杠进给系统设计关键技术研究

北京工研精机股份有限公司 聂应新 邢俊岩

北京机床研究所有限公司 王成举

伺服进给系统是加工中心的关键基础部件。对于机床的快速移动速度、加减速、直线运动的位置精度及机床的动态特性、工作效率都具有重要的影响。本文对滚珠丝杠进给系统的惯量、精度、速度、加速度、丝杠导程等进行了分析研究。这些研究结果对进给系统综合性能的设计优化具有重要的工程应用价值。

伺服进给系统是数控机床实现空间可控运动的关键基础部件。机床直线运动的定位精度及重复定位精度主要由伺服进给系统的精度及性能决定，同时，伺服进给系统的加减速、快速移动速度，对于机床整机的动态特性及工作效率都具有决定性的影响。滚珠丝杠进给驱动系统具有成本低、工作可靠、对负载质量的变化不敏感等优点，是当前机床采用最多的进给机构。本文依托国家863课题“精密卧式加工中心设计制造关键技术（课题编号2012AA040702）”，对滚珠丝杠伺服进给系统的惯量、精度、速度、加速度、丝杠导程等的设计关键技术进行了分析研究。

1. 滚珠丝杠进给运动位置精度预估

滚珠丝杠进给驱动系统一般由驱动电机、传动机构、执行机构及位置检测机构组成，见图1。

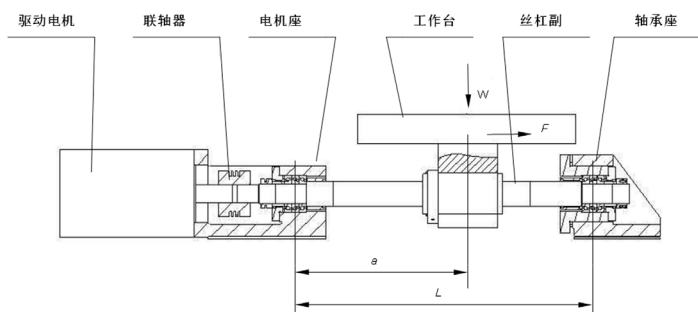


图1 滚珠丝杠进给系统传动结构图

滚珠丝杠进给系统的位置误差主要来源于进给系统的弹性变形、热变形和制造误差等。弹性变形取决于刚度与载荷。滚珠丝杠进给系统的机械刚度主要包括丝杠的拉压刚度 k_s 、丝杠的扭转刚度在轴向的等效拉压刚度 k_{sn} 、丝杠的螺母接触刚度 k_n 、丝杠单侧支撑轴承的刚度 k_b 、联轴器的扭转刚度在轴向的等效

拉压刚度 k_L 、螺母安装部位的轴向刚度 k_{HN} 、轴承座安装部位的轴向刚度 k_{HB} 、电机座安装部位的轴向刚度 k_{HM} 。进给系统的总刚度：

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_s} + \frac{1}{k_{sn}} + \frac{1}{k_n} + \frac{1}{2k_b} + \frac{1}{k_L} + \frac{1}{k_{HN}} + \frac{1}{k_{HB}} + \frac{1}{k_{HM}} \quad (1-1)$$

见图1-1，设丝杠两端为固定支撑，丝杠支撑跨距 L ，丝杠导程为 h_s ，丝杠螺母距电机座支撑轴承的距离为 α ， d_r 为丝杠的螺纹底径，丝杠的底径面积 $A=0.25\pi d_r^2$ ，丝杠的剪切弹性模量为 G ，丝杠材料的弹性模量为 E ，丝杠的轴向负荷为 F_c ，丝杠副的传动效率为 η ，则丝杠的等效转矩 T 及极惯性矩 I_p ：

$$T = \frac{F_c h_s}{2\pi\eta} \quad (1-2)$$

$$I_p = \frac{\pi d_r^4}{32} \quad (1-3)$$

在扭矩 T 的作用下，丝杠单位长度的转角误差：

$$\phi = \frac{T}{GI_p} = \frac{16F_c h_s}{\pi^2 d_r^4 \eta G} \quad (1-4)$$

丝杠拉压刚度 k_s 引起的变形误差

δ_s 、扭转刚度等效拉压刚度 k_{sn} 引起的变形误差 δ_{sn} 分别如下:

$$\delta_s = \frac{F_c}{AE} \times \frac{a(L-a)}{L} = \frac{4aF_c(L-a)}{\pi d_r^4 EL} \quad (1-5)$$

$$\delta_{sn} = a\phi \frac{h_s}{2\pi} = \frac{8F_c h_s^2 a}{\pi^3 d_r^4 \eta G} \quad (1-6)$$

联轴器扭转刚度 θ 导致的丝杠等效轴向变形误差:

$$\delta_L = \frac{Th_s}{2\pi\theta} = \frac{F_c h_s^2}{\theta^4 \pi^2 \eta} \quad (1-7)$$

其它刚度 k_n 、 k_b 、 k_{HN} 、 k_{HB} 、 k_{HM} 所引起的变形误差分别为:

$$\begin{cases} \delta_n = F_c/k_n \\ \delta_b = F_c/2k_b \\ \delta_{HN} = F_c/k_{HN} \\ \delta_{HB} = F_c/k_{HB} \\ \delta_{HM} = F_c/k_{HM} \end{cases} \quad (1-8)$$

因此,总变形量:

$$\delta = \delta_s + \delta_{sn} + \delta_L + \delta_n + \delta_b + \delta_{HN} + \delta_{HB} + \delta_{HM} \quad (1-9)$$

$$\delta = \frac{4aF_c(L-a)}{\pi d_r^4 EL} + \frac{8F_c h_s^2 a}{\pi^3 d_r^4 \eta G} + \frac{F_c h_s^2}{\theta^4 \pi^2 \eta} + CF_c \quad (1-10)$$

$$\text{其中, } C = \frac{1}{k_n} + \frac{1}{2k_b} + \frac{1}{k_{HN}} + \frac{1}{k_{HB}} + \frac{1}{k_{HM}},$$

假设刚度 k_n 、 k_b 、 k_{HN} 、 k_{HB} 、 k_{HM} 为常数,令 $\frac{d\delta}{da} = 0$,解得:

$$a = a_0 = \frac{L}{2} + \frac{h_s^2 EL}{\pi^2 d_r^4 \eta G} \quad (1-11)$$

此时, δ 具有最大值,把式(1-11)代入式(1-10), $A = 0.25\pi d_r^2$, $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ 代入得:

$$\delta_{\max} = \frac{F_c L}{4AE} \left[1 + \frac{(1+\nu)h_s^2}{\pi A \eta} \left(2 + \frac{(1+\nu)h_s^2}{\pi A \eta} \right) \right] + \frac{F_c h_s^2}{\theta^4 \pi^2 \eta} + CF_c \quad (1-12)$$

当 $\alpha = 0$ 时, δ 具有最小值,即:

$$\delta_{\min} = \frac{F_c h_s^2}{\theta^4 \pi^2 \eta} + CF_c \quad (1-13)$$

故,在丝杠副运动系统中,随着 α 的变化, δ 的最大变化量:

$$\delta_\delta = (\delta_{\max} - \delta_{\min}) = \frac{F_c L}{4AE} \left[1 + \frac{(1+\nu)h_s^2}{\pi A \eta} \left(2 + \frac{(1+\nu)h_s^2}{\pi A \eta} \right) \right] \quad (1-14)$$

式(1-10)是单向变形位置误差, (1-12)是单向变形位置误差的最大值,式(1-14)是位置误差的离散带宽

(分散度)。 δ 的最大变化量是进给系统定位精度及重复定位精度的主要影响因素,式(1-14)显示位置误差的分散度随着丝杠导程的加大而增大,随丝杠的直径的增加而减小,随丝杠支撑跨距的增大而增大,随工作负荷的增大而增大。

根据标准规定,机床的位置精度在机床空载条件下进行检测确定,空载条件下,静摩擦力 F_0 是滚珠丝杠副所受的最大轴向力。 $F_0 = \mu_0(mg + F_g)$,其中, μ_0 为静摩擦系数, F_g 为运动系统支撑导轨滑块的预紧力。启动和反向时,由于 F_0 的方向变化,进给系统将产生轴线方向的反向变形误差 2δ ,又称摩擦死区误差,它反映的是进给系统的反向差值。移动部件在刚度最小处($a = a_0$)启动和反向时,将产生反向误差 $2\delta_{\max}$,在刚度最大处反向,将产生反向误差 $2\delta_{\min}$,即反向差值:

$$B = 2\delta \quad (1-15)$$

$$\delta_B = B_{\max} - B_{\min} = 2(\delta_{\max} - \delta_{\min}) = 2\delta_\delta \quad (1-16)$$

式中, B 反映的是反向差值。 δ_B 反映的是反向差值的分散度(误差带宽),是随机误差。以上分析忽略了丝杠本身的误差、温度变化导致的热伸长、不同行程位置螺母刚度的不确定性变化及其它刚度分量的不确定性变化。

综合以上分析,在进给系统的实际设计中,为估测滚珠丝杠进给系统的实际能够达到的位置精度,可以通过以下关系对系统的位置精度进行预估,即丝杠进给系统的误差与进给系统的定位精度 A 、重复定位精度 R 应满足以下关系:

$$A \geq \delta_{\max} + \delta_{ss} + B_{\max} + \delta_T \quad (1-17)$$

$$R \geq \delta_\delta + \frac{V_{up}}{2} + \delta_B = 3\delta_\delta + \frac{V_{up}}{2} \quad (1-18)$$

式中, V_{up} 为丝杠本身的最大误

差分散范围,是随机误差。 δ_{ss} 为行程内丝杠本身精度引起的最大位置误差。 δ_T 为温升引起的最大位置误差。(1-17)反映的是进给系统的双向定位精度误差。式(1-18)反映的是进给系统的随机误差,是双向重复定位精度误差,不包括温度变化等影响因素。在实际设计中,对于开环控制系统及闭环控制系统,必须同时考虑定位误差及重复定位误差两个方面。对于全闭环控制系统可以只使用式(1-18)进行预估。

2. 滚珠丝杠进给系统的惯量扭矩加速度及导程分析

(1) 滚珠丝杠系统的惯量匹配。滚珠丝杠直线移动部件的速度、加减速与丝杠副的导程、驱动电机输出扭矩及负载等有重要的关系。设伺服电机的最大输出扭矩为 M_{max} 、电机自身的转动惯量为 J_M ,负载惯量为 J_L ,负载扭矩为 M_L ,电机的扭矩可以表示为:

$$M_{\max} = C_M \times \sqrt{J_M} \quad (2-1)$$

其中, C_M 为电机系列常数,与转子有效长度,转子的材料密度及有效气隙面积单位面积的推力有关。一般地, $J_L \leq 3J_M$ 。

根据牛顿第二定律,电机的角加速度 ε :

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\max} - M_L}{J_M + J_L} = \frac{C_M \times \sqrt{J_M} - M_L}{J_M + J_L} \quad (2-2)$$

令 $\frac{d\varepsilon}{dJ_M} = 0$,解得:

$$J_M = J_{M0} = \left(\frac{M_L}{C_M} + \sqrt{\left(\frac{M_L}{C_M} \right)^2 + J_L} \right)^2 \quad (2-3)$$

一般运动系统的加速度是在空载状态下进行检测获得,此时,系统的负载只有摩擦扭矩,由于滚动导轨及丝杠副的摩擦系数很小,故忽略摩擦扭矩的影响,并令 $M_L = 0$,即:

$$J_M = J_L \quad (2-4)$$

同时, 当 $J_M = J_L$, $M_L = 0$ 时, 可得:

$$\frac{d^2 \varepsilon}{dJ_M^2} = -\frac{C_M J_L^{-5/2}}{8} < 0$$

可见, 当 $J_M = J_L$ 时, 运动系统的加速度达到最大值, 系统的动态响应速度最快。因此, 在实际设计中, 为获得最优的动态性能, 在满足 $J_L \leq 3J_M$ 的情况下, 应努力减小负载惯量, 使负载惯量更加接近电机本身的转动惯量。

(2) 电机负载扭矩加速度与丝杠导程分析。当丝杠的转速接近丝杠临界转速 n 时, 会导致丝杠进给系统发生共振, 因此, 通常情况下, 丝杠的允许转速 $n < n_c$ 。滚珠丝杠进给系统的临界转速:

$$n_c = f_n \frac{d_r}{L_z} \times 10^4 \quad (2-5)$$

其中, n_c 为丝杠进给系统的临界转速, r/min; d_r 为丝杠螺纹底径, m; L_z 为支撑距离 (电机端固定支撑座与螺母座之间的最大距离, 一般 $L_z \approx L$ - 螺母长度), m; f_n 为与丝杠支撑方式相关的系数, 对于固定-固定支撑, $f_n = 21.9$, 对于固定-简单支撑, $f_n = 15.1$ 。

移动部件的速度:

$$V = \frac{nh_s}{60} = \frac{\left(\frac{60\omega}{2\pi}\right)h_s}{60} = \frac{\omega h_s}{2\pi} \quad (2-6)$$

其中, V 为移动部件的速度, m/s; n 为电机转速, r/min; ω 为电机角速度, rad/s; h_s 为丝杠的导程, m。因此, 直线运动的加速度:

$$a_j = \frac{dV}{dt} = \frac{h_s}{2\pi} \times \frac{d\omega}{dt} = \frac{\varepsilon h_s}{2\pi} \quad (2-7)$$

因此:

$$M - M_L = \varepsilon (J_M + J_L) = \frac{2\pi a_j}{h_s} (J_M + J_y + J_q) \quad (2-8)$$

式中, M 为电机的实际输出扭矩, 负载惯量 J_L 包括移动部件的惯量 J_y 、丝杠副及弹性联轴器的惯量 J_q , $J_L = J_y + J_q$, 其中:

$$J_y = m \left(\frac{h_s}{2\pi} \right)^2 \quad (2-9) \quad M_L = M_F + 2M_B + M_s = \frac{F_a h_s}{2\pi \eta} + 2M_B + M_s \quad (2-10)$$

式中, M_F 为丝杠的总轴向负荷 (轴向切削抗力 F_c 和摩擦力) 产生的扭矩, N·m; 考虑轴向负荷的不平衡系数, 进给系统总的轴向负载 $F_a = 1.3F_c + \mu(mg + F_g)$; m 为运动系统负载质量, kg; F_g 为导轨滑块的预紧力, N; μ 为支撑导轨摩擦系数; M_B 为轴承摩擦力矩, N·m; M_s 为丝杠摩擦扭矩, N·m。

$$M_s = \frac{F_0 h_s (1 - \eta^2)}{2\pi \eta} \quad (2-11)$$

其中, F_0 为螺母轴向预紧力, N。把 (2-9)、(2-10)、(2-11) 代入 (2-8), 得伺服电机实际输出扭矩:

$$M = \frac{2\pi a_j}{h_s} \left(J_M + J_q + m \left(\frac{h_s}{2\pi} \right)^2 \right) + \frac{F_a h_s}{2\pi \eta} + \frac{F_0 h_s (1 - \eta^2)}{2\pi \eta} + 2M_B \quad (2-12)$$

由于最大加速扭矩为空载下确定, 空载时, $F_a = \mu(mg + F_g)$, 故电机的空载加速输出扭矩:

$$M_K = \frac{2\pi a_j}{h_s} \left(J_M + J_q + m \left(\frac{h_s}{2\pi} \right)^2 \right) + \frac{\mu(mg + F_g) h_s}{2\pi \eta} + \frac{F_0 h_s (1 - \eta^2)}{2\pi \eta} + 2M_B \quad (2-13)$$

令 $\frac{dM_K}{dh_s} = 0$, 解得:

$$h_s = 2\pi \sqrt{\frac{J_M + J_q}{m + \frac{\mu(mg + F_g) + F_0(1 - \eta^2)}{a_j \eta}}} \quad (2-14)$$

此时, 空载加速所需电机驱动扭矩具有最小值。由于进给系统摩擦系数小, 传递效率高, 故忽略摩擦损失及效率损失, 令摩擦系数 $\mu = 0$, 螺母副传递效率 $\eta = 1$, 则:

$$h_s = 2\pi \sqrt{\frac{J_M + J_q}{m}} = 2\pi \sqrt{\frac{J_M + J_s + J_c}{m}} \quad (2-15)$$

根据 (2-13) 可以求出空载进给系统能够达到的最大加速度:

$$a_{j\max} = \left[M_{\max} - 2M_B - \frac{\mu(mg + F_g) h_s}{2\pi \eta} - \frac{F_0 h_s (1 - \eta^2)}{2\pi \eta} \right] \frac{h_s}{2\pi (J_M + J_q + J_y)}$$

忽略摩擦损失及丝杠副传动效率损失得:

$$a_{j\max} = \frac{M_{\max} h_s}{2\pi (J_M + J_q + J_y)} \quad (2-16)$$

从中可见, 随着电机的输出扭矩增加和丝杠导程的增加, 进给系统的加速度增加, 随着电机惯量和负载惯量的增大, 进给系统的加速度减小。根据式 (2-12), 当系统匀速运动时, 直线加速度 $a_j = 0$, 系统工作进给所需电机扭矩:

$$M_g = \frac{F_a h_s}{2\pi \eta} + \frac{F_0 h_s (1 - \eta^2)}{2\pi \eta} + 2M_B \quad (2-17)$$

3. 滚珠丝杠进给系统设计实例

本文研制的高精度机床进给系统设计指标要求：快速移动速度40m/min，重复定位精度0.0015 mm。以Z轴向进给系统设计为例，Z轴为双驱设计，其余设计参数为：行程1100 mm，单根丝杠副平均负荷重量2100 kg，单根丝杠最大轴向切削力7840 N，丝杠副两端固定支撑，丝杠预拉伸，丝杠支撑跨距1.601 m，丝杠公称直径50mm，取 $\delta=50\text{mm}$ ，电机端支撑轴间距距离丝杠螺母中心最大轴向距离1.3 m，导轨块预紧力27000 N。支撑轴承刚度1330N/ μm ，轴承摩擦扭矩0.14N·m，轴承座刚度7434.35 N/ μm ，电机座安装刚度5632.0797 N/ μm ，螺母座与滑座一体铸造，螺母座安装刚度近似无穷大。进给摩擦系数0.0035，丝杠副传动效率95%，丝杠弹性模量 $2.06 \times 10^{11}\text{Pa}$ ，泊松比0.3，联轴器扭转刚度50000 $\mu\text{m/rad}$ ，丝杠制造误差分散度1 μm ，丝杠导程及电机选型等设计计算结果见附表。

设计选型及计算结果

丝杠电机等选型及相关计算	设计选型及计算结果
丝杠导程	20mm
螺母接触刚度	768.3325 N/ μm
丝杠惯量	0.007922 kgm ²
联轴器惯量	0.00026 kgm ²
丝杠副 $d_m \cdot n$ 值	180000 mm·r/min
FANUC电机型号参数	αi F40/3000，额定输出扭矩为38N·m，最大输出扭矩130N·m，转子惯量0.022 kgm ² ，最大使用转速3000r/min
匀速进给时电机最大负载扭矩	36 N·m
空载加速移动时电机扭矩	66.5N·m
空载进给系统最大加速度	7.3 m/s ²
系统刚度	296139427.3 N/m
固有频率	375.5 Hz
丝杠最优导程	0.023139 m
最小重复定位误差	1.112 μm
反向差值	1.17 μm

上述设计选型及计算结果完全满足设计技术指标要求。为进一步提升系统的动态特性，可以采用空心丝杠，以减小丝杠惯量，减小移动部件的惯量。

4. 进给系统速度及位置精度测试

使用雷尼绍的激光干涉仪对设计的Z轴直线进给系

统的快速移动速度与定位精度进行测试，测试环境温度 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，24小时温度梯度小于 2°C ，图2为Z轴快速移动速度测试结果。Z轴的位置精度测试结果见图3。

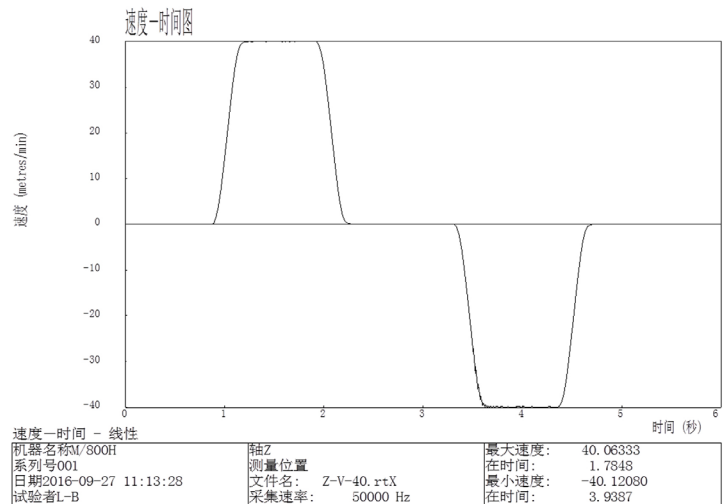


图2 Z向快速移动速度

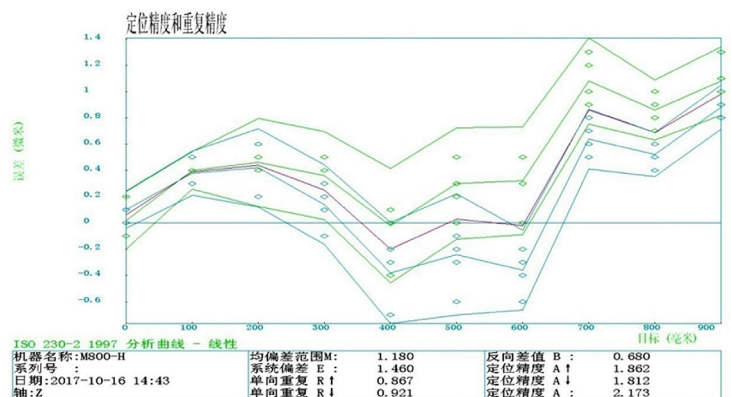


图3 Z轴位置精度测试结果

快速移动速度达到了40m/min，Z轴定位精度2.173 μm ，重复定位精度1.425 μm ，全部达到设计指标要求。

5. 结语

本文分析了滚珠丝杠运动系统的位置误差的差预估方法，分析了进给系统最大加速度时电机惯量与负载惯量的匹配关系，丝杠的最优设计导程，在最优导程下电机的空载加速扭矩，空载进给系统能够达到的最大加速度等。最后对研制的高精度机床的Z轴向进给系统进行了优化设计，实测及设计结果均达到了指标要求。本文研究结果将对高精度滚珠丝杠伺服进给系统综合性能的设计优化具有重要的工程应用价值。□

一种刀具折断检测功能的实现方法

北京工研精机股份有限公司 肖博 马春年 刘伟 王锐

本文尝试了一种刀具折断检测的方法，能有效地避免因刀具折断而引起的设备损坏和人身伤害，能为加工的顺利进行起到相当程度地“保驾护航”作用，能最大限度地减少由于刀具折断而引起的次品、废品现象。

1. 问题的提出

在数控加工中，完好的刀具是加工质量的重要保障。一旦刀具损坏，加工往往不能顺利完成。比如，在钻孔循环中，由于某种原因，钻头折断并嵌于工件，这时一旦跟进后续的刚性攻丝循环，丝锥和工件无疑将会受到严重损坏，类似的破坏性在自动生产线上表现得更加严重。目前，刀具检测已经引起大家越来越多的重视和关注，刀具损坏现象常见的有折断和崩刃，本文所提出的检测方法是针对刀具折断现象而言的。

2. 整体思路

(1) 硬件简介

该方案选用了SMC公司的LECA6系列的伺服电机及控制器，控制器和执行器的连接如图1。通过伺服控制，能够进行针对执行器的定位运行。执行器滑台上安装有CSRNATPA型旋转杆式开关作为检测开关，开关在单方向转动48°的范围内输出信号ON，自复位后输出信号OFF，如图2（a）所示。

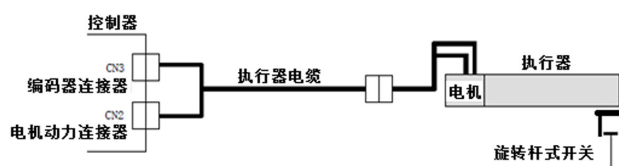
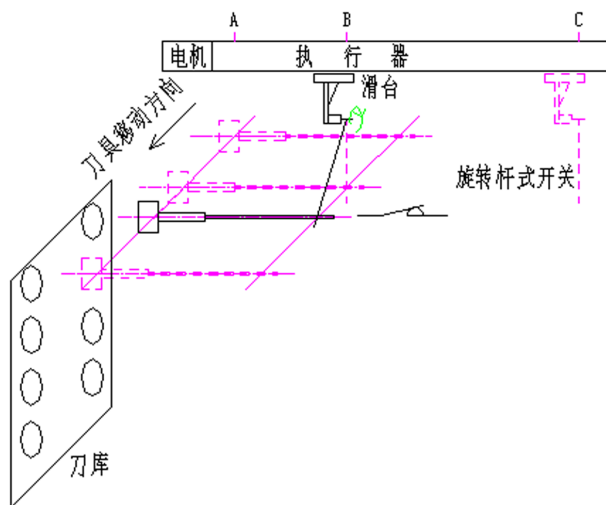


图1 硬件示意图

(2) 基本思路

如图2，点A为执行器的坐标基准点，即坐标为0的

点，点C为原点复位后的位置，点B为测量点，即刀具检测部位的坐标。杆式开关固定于滑台支架上，可以随着滑台沿缸体来回移动。在对图2所示刀具进行折断检测时，将杆式开关定位至点B的位置。在执行完M06以后的还刀动作过程中，刀具向刀库侧移动（即刀套缩回动作）时，如果刀具能触碰到杆式开关，则输出信号ON，说明刀具完好，如图2（a）所示；如果刀具不能触碰到杆式开关，则输出信号一直保持为OFF，那么认为刀具折断，如图2（b）所示，此时输出PMC报警信息，且系统进入进给保持状态。待刀具还至刀库后，执行滑台到点C的定位运行（此时点C用作安全位），为下一次呼叫T代码做准备。现场如图3，流程图如图4所示。



(a) 检测正常情形示意

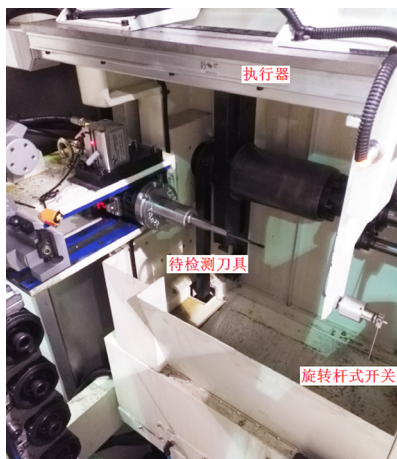
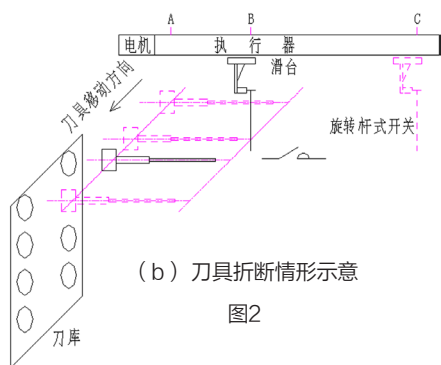


图3 刀具折断检测现场图

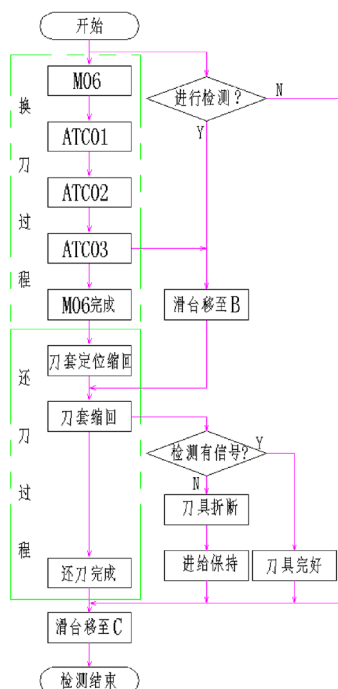


图4 流程图

3.功能详解

(1) 原点复位

该伺服电机的反馈元件为增量式编码器，开机后，需要执行一次原点

复位操作。该方案中，考虑到杆式开关及其支架与刀库部件的空间位置情况，考虑将原点设置在远离电机侧，如图5中的点C，相关参数如表1。

根据原点复位的时序要求，通过PMC处理输入输出信号。执行原点复位代码M150，进行原点复位。执行器从电源接入时的初始位置开始向原点复位方向移动，移动到执行器末端后停止，经过一定时间后控制器识别执行器末端，之后，执行器以低速向原点复位方向的反方向移动，将移动后的位置点C作为原点复位后的位置，点C的坐标即为0。这时，点B'的坐标也就随之确定。点B'的坐标= $b - a'$ ，其中， b 为刀长， a' 的值在原点复位操作后也就确定了。

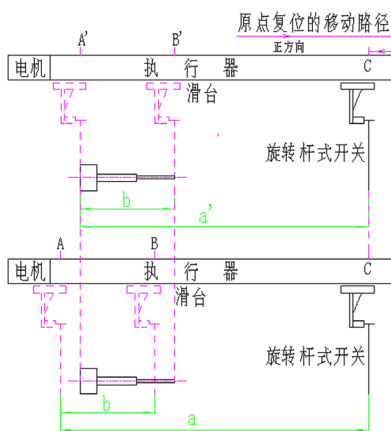


图5 原点复位与原点偏移示意图

表1 原点复位参数设置

参数名称	设置值
原点复位方向	1: 远离电机侧 2: 靠近电机侧
原点复位速度(mm/s)	30
原点复位加减速(mm2/s)	1000
原点偏移(mm)	546

(2) 原点偏移

由图5所示刀具和执行器之间的位置关系，试想如果将点A'作为基准位置，即坐标为0的位置。这时，刀长为多少，点B'的坐标值就是多少。这样，便省去了(1)式的计算，更重要的意义在于：不但方便了最终用户在使用过程中进行参数的设

置或调整，而且不容易出错。

基于此，通过设置原点偏移值为 a' ，控制器识别的原点复位后的坐标即为 a' 。虽然原点复位后的执行器的物理位置没有变化——仍然在点C，但是控制器识别的基准位置变化了，基准位置为点A'。

这时，点B'的坐标也就随之确定，点B'的坐标是相对于点A'而言的，即：点B'的坐标= b

值得注意的是，为了使刀具和杆式开关的碰触更加可靠，可以将原点偏移值在 a' 的基础上增加数毫米（视刀具情况和检测要求而定），设置为 a ，本文中 a 的值为546，这样基准点就成了A，测量点就成了点B，其坐标仍为刀长 b 。

(3) 定位运行

无论是进行刀具折断检测，还是进行T代码叫刀，都离不开电缸执行器的定位运行，如图表2中所示的定位情形。

每一把刀具对应着与其相应的一组运行参数，这组运行参数称为步数据。方便控制起见，就将T1的运行参数设置在1号步数据中，将T2的运行参数设置在2号步数据中……

①步数据

步数据主要是与实际的执行器动作相关的数据，主要包括：步号、动作方法、速度、位置、加速度、减速度和决定位置宽度等，如表3所示，各数据从写入控制器后开始生效。下面主要介绍一下动作方法和位置的设置。

a.动作方法：因为定位位置均为以点A为基准点的绝对坐标，所以各步号均设置为ABS(绝对)方式。

b.位置参数：根据刀具是否进行折断检测而对应不同的设置值，特别地，将0号步数据的位置设置为点C的坐标。位置设置的原则遵循表2。设置完成后的步数据如表3。

表2 位置参数设置原则

步号	是否折断检测	刀具举例	位置设置值	定位情形
1~40	是	细长类铣刀、钻头、丝锥等	对应的刀长	向点B定位运行，为后续的检测动作做准备
	否	盘铣刀、工件测头等	点C的坐标值(546)	向点C定位运行，即移动至安全位置，避免干涉
0	\	\		

表3 设置完成后的步数据

No.	动作方法	速度 mm/s	位置 mm	加速度 mm/s ²	减速度 mm/s ²	决定位置宽度 mm
0	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
1	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
2	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
3	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
4	ABS	400	189.00	2000	2000	0.50
5	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
6	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
7	ABS	400	163.00	2000	2000	0.50
8	ABS	400	246.00	2000	2000	0.50
9	ABS	400	141.00	2000	2000	0.50
10	ABS	400	152.00	2000	2000	0.50
11	ABS	400	157.00	2000	2000	0.50
12	ABS	400	249.00	2000	2000	0.50
13	ABS	400	149.00	2000	2000	0.50
14	ABS	400	149.00	2000	2000	0.50
15	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
16	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
17	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
18	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
19	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
20	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
21	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
22	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
23	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
24	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
25	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
26	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
27	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
28	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
29	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
30	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
31	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
32	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
33	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
34	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
35	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
36	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
37	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
38	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
39	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50
40	ABS	400	546.00	2000	2000	0.50

②PLC指定步号

要进行定位运行，需要用PLC指定步号。步号与刀具号是一一对应的，并且使二者在数值上相等。比如T1对应的步号是1，T2对应的步号是2，T3对应的步号是3…刀库中的40把刀具，对应1~40号步数据。

比如要对当前主轴刀具进行折断检测，在执行M06进行自动刀具交换过程中，当进行到最后一步，即ATC03（即机械手逆时针转动90度）时，待检测的主轴刀具已经交换到了机械手上，并且手上刀号和主轴刀号也已经完成了刷新。这时，手上刀具就是要进行折断检测的刀具，相应地，手上刀号就是执行定位运行的步号，通过PLC将手上刀号指定给步号地址Y0006，PLC如图6所示。这样，在进行ATC03的同时，刀检执行器根据步号地址Y0006进行定位运行，也就是执行器向点B的定位运行。

当还刀完成之后或者执行T代码时，对应的步号为0。把0指定到步号地址Y0006，刀检执行器根据步号地址Y0006=0进行定位运行，也就是执行器向点C的定位运行，为后续的备刀动作做好准备，PLC如图6所示。

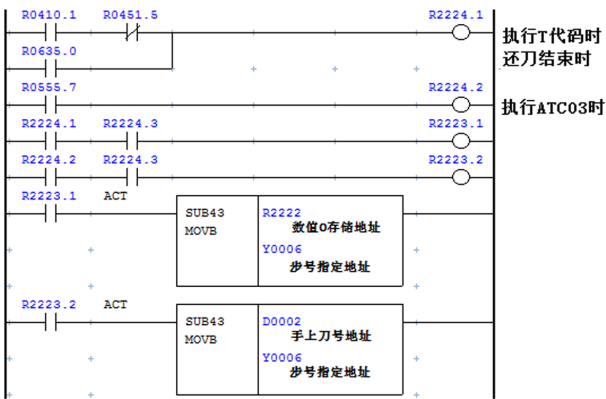


图6 PLC指定步号

③到位的确认

执行定位运行中，位置坐标进入设置的“决定位置宽度”的范围（该方法中设置为0.5mm）时，控制器输出到位信号。

另外，定位运行启动后可以读取控制器所反馈的体现步号的数据R2220，当执行还刀动作中的刀套缩回时，需确认R2222=D0002,这里D0002为手上刀号；当执行备刀动作时，需确认R2220=0，PLC如图7所示。需要注意的是，因为会出现PLC的处理延迟和控制器的扫描延迟，所以在步号指定后，需要延时至少30ms时间后，才允许读取反馈的步号，否则，可能会出现不可预料的动作，在设计PLC时需要注意。

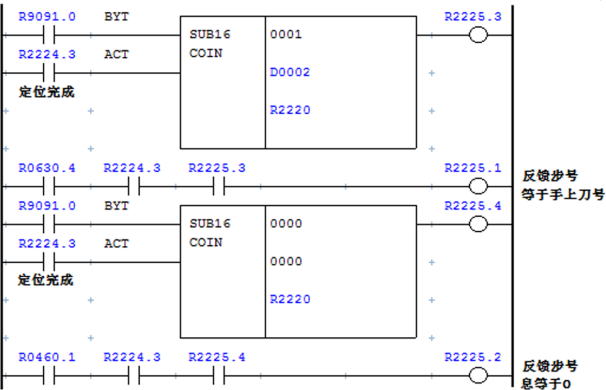


图7 定位运行到位的处理

4. 小结

由于该方法采用触碰法，检测的是刀具的物理长度，所以对于刀具的折断情况，能够及时地、可靠地应对，能有效地避免由此引起的设备损坏和人身伤害，能为加工的顺利进行起到一定程度地“保驾护航”作用，能最大限度地减少由于刀具折断而引起的次品、废品现象。目前，该方法已经在我公司的卧式加工中心上成功应用，取得了积极的、良好的效果。但是，该方法并不能适用于刀具磨损或者崩刃的现象，必要时还需要配合其他相关的检测手段。□

CCMT2020展品预览(2)

(展会受疫情影响,延期待定)

武汉重型机床集团有限公司

展位号: W2-A101

WLG3000×50/60高精度数控重型卧式车床

WLG3000×50/60高精度数控重型卧式车床是为满足大型风电主轴批量化加工而专门研发的,具有造型美观、结构先进、操作方便,具有高精、高效、自动化信息化程度高的特点。机床采用整体穿轴式主轴箱,分体床身结构,刀架采用框式双刀排结构,可进行圆柱面、锥面、曲面、台阶面和螺纹的自动加工。配置不同功能部件,还可进行磨削、铣削、车内孔等加工。除加工大型高精度风电主轴外,还用于汽轮机转子、围带、水轮机主轴、轧辊和机器主轴等高精度零部件的加工。

机床主要参数:床身上最大回转直径 $\phi 3500\text{mm}$;过刀架最大加工直径 $\phi 3200\text{mm}$;顶尖间最大工件长度 5000mm ;顶尖间最大工件重量 60000kg ;花盘直径 2800mm ;花盘夹持工件直径范围 $300\sim 2350\text{mm}$;主轴转速 $0.6\sim 125\text{r/min}$;主轴顶尖角度 75° ;主轴电机额定功率 118kW ;主轴最大扭矩 $90\text{kN}\cdot\text{m}$;数控轴数1个主轴+2个进给轴;联动轴2轴(任意)。



埃马克(中国)机械有限公司太仓分公司

展台号: N1-A111

VT 4-4无纹路车削

无纹路车削和传统的车削加工相比,其加工原理已大相径庭。无纹路车削时刀具在工件上有滚轧运动。这时一个倾斜安装的CBN刀刃作用在旋转工件上,线速度通过工件的旋转产生。通过刀具和工件运动的叠加,促使刀刃的切入点持续向前移动。这种加工方法一方面对刀刃非常理

想,另一方面它的受力分配和传统车削完全不同,切削负荷明显较高。

无纹路车削是一种快速加工工艺,和目前的硬车技术相比它的速度高5-6倍,和磨削相比高2-3倍,而且加工的表面无纹路,光洁度极佳。和硬车或磨削加工相比加工时间明显缩短,可对功能面进行无纹路加工(表面光洁度达 $0.6\mu\text{m}$),能用于端面及组合加工,组合磨削技术加工内孔时,加工时间大幅度缩短,可采用埃马克工艺进行软加工和硬加工。



SCS 2码垛系统

该系统总共两个小车,一个用于上料,一个用于下料。每个小车可放13层料框。Z轴最大速度 1m/s ,最大加速度 5m/s^2 ;Y轴最大速度 1m/s ,最大加速度 5m/s^2 ;料盘更换时间 6s 。占地面积 $1.4\text{m}\times 3\text{m}$ 。每个料盘的最大重量包括工件(Z轴最大工作负载) 20kg 。缓存时间长。循环节拍快。



约翰内斯·海德汉博士(中国)有限公司

展台号: N1-B001

TMB+新一代力矩电机

TMB+是TMB力矩电机的改进版,不仅性能更高而且提供全新功能特性并兼容现有的电机接口。扭矩密度提高20%,同时外形尺寸不变,降低能耗达30%。还显著扩大了转速范围。TMB+为机床提供更高性能,让现有机床无需任何设计改造就能应用新工艺。其优异的高性能也扩展了直驱技术的应用,同时保持最高质量标准及可靠性标准并降低拥有成本。

全部TMB+都可选配冷却水套。冷却水套由精确安装的金属套管组成,确保冷却液的密封性能,相同力矩电机的工作性能高于传统“开放式冷却”安装方式的工作性能。两款冷却水套满足任何机器的结构要求:径向或轴向进水/出水口。全新冷却系统为直驱力矩电机提供更高附加值,轻松适用于更多应用,缩短上市时间和降低成本。带冷却水套的TMB+采用方便的“壁式安装”方式,简化传统伺服电机的更换操作,提高运动轴性能。

主要参数:峰值扭矩达42900 N·m;连续扭矩达22300 N·m;转速高达4590 r/min;外径达到1290 mm;大空心轴达1070 mm;有效长度达200 mm;60多种标准规格;每种直径四种不同绕组;定子和转子镀镍;开放式或封闭式冷却;600V DC总线电压;极高持续扭矩密度;极高峰值扭矩;极小扭矩波动;弱磁技术扩大转速范围;兼容IMTHP模块,精确的温度控制。



ECA 4000绝对式无内轴轴承角度编码器

该产品主要优势为高精度,且可允许相对较高的转速。其读数头由于集成莫尔角度传感器,使安装变得很容易。达IP 67防护等级的读数头进一步降低客户的维护成本,METALLUR绝对式刻线光栅,通过单场扫描原理,大大提高信号输出质量,降低对污染的敏感度。主要应用于大型回转工作台、摆动轴和天线和大型望远镜。

主要参数:读数头的防护等级达IP 67;METALLUR

绝对式刻线光栅;光栅直径:70mm至512mm;刻线精度:±3"至±1.5";适用于高速高精度应用;接口:Endat、发那科和三菱。

北京达诺巴特机械有限公司

展台号: W3-A209

DANOBAT-OVERBECK IRD-400内圆磨床

DANOBAT-OVERBECK IRD 400系列磨床广泛适用于各种材料的高精度内圆、外圆、端面、非圆和圆弧的磨削应用。可用于模具和刀具的加工。机床具有旋转B轴,X轴以及Z轴(3轴插补)可磨削不同圆弧和轮廓,从而获得优质的磨削表面质量。机床配置可预先定义,交货时间短。根据用户要求提供磨削主轴,油冷或乳化液冷却的不同解决方案。

主要技术参数:内圆磨削直径200mm;内圆磨削长度200mm;工件回转范围360mm;工件长度(含装夹系统)400mm;工件重量(含装夹系统)80/180 kg;"B"轴旋转范围+91/-15;X轴和Z轴行程425/475。



DANOBAT LG-1000外圆磨床

LG外圆磨床采用直线电机技术,配有直接驱动主轴和天然花岗岩床身,具有高精度和热稳定性,可实现高精磨削。通过使用带电主轴的B轴,该机床还可将传统的磨料磨削与CBN或高速金刚石磨削结合,满足客户潜在需求,是汽车零件、超精液压零件、切削工具和成型磨削等零件的大批量生产和高度灵活的批量生产的理想选择。

其四大主要优势包括:

(1)天然花岗岩机床。机床床身由天然花岗岩制成。使用冷却剂进行永久冲洗增强热稳定性,获得最佳效果。随时间推移,获得磨削工件尺寸精度的一致性。还可确保最佳的减振效果。

(2)直线电机。线性电机驱动X和Z滑块,机床具有高动态性能。无机械接触的驱动功能,减少磨损,降低维护成本。高分辨率的线性光栅尺控制各轴位置。定位和可重复性极高;轴插补(X、Z、C)精度极高。通过高效的冷却系统控制温度。

(3) 扭矩电机B轴。自动无级旋转范围宽。扭矩电机驱动零反向间隙。高分辨率的旋转刻尺可控制完美角向定位。650 mm半径上的重复精度为 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。

(4) 内置主轴。由内置电机驱动的工件主轴、砂轮主轴和修整旋转主轴。高精度轴承，持久油脂润滑。适用于高转速。模块化设计可实现最佳应用适应性。高效的冷却系统控制温度。



泰尔盾（上海）标识技术有限公司

展位号：N4-B195

FL2030V系列光纤激光打标系统

配备了TeleView机器视觉系统的FL2030V是一款新颖、紧凑、灵活的光纤激光打标系统，非常适合那些需要在打标完成后立即读取二维码的高级应用。主要有View Finder取景器：可将打标区域显示到电脑屏幕上并调节曝光时间，提高打标效率；Laser Focus Indicator焦距检测：可自动测算工作间距，方便准确放置工件；Data Matrix Code二维码读取：自带软件可轻松实现DM二维码的读取，识别和验证等。

该系统具有以下几个特点功能：①设备小巧，紧凑，使用起来比较便携；②配备TeleView内置机器视觉系统，就拥有焦距检测、取景器及二维码读取和识别功能，不仅提高打标的质量和准确度，还更方便地确认不见定位是否正确，打标动作是否已完成等；③强大的软件支持等。



深圳市金洲精工科技股份有限公司

展位号：N3-A123

超硬刀具、微小径刀具、3C刀具、齿科刀具、PCB特殊刀具

金洲微型精密刀具致力于研发和生产微小直径刀具，最小直径可达0.02mm，在加工精度和工程应用方面具有领先优势。其主要特点为：

(1) 直径小。公司引进瑞士ROLLOMATIC高精尖设备，可以生产直径小至0.02mm的微型钻头，直径小至0.1mm的铣刀，直径小至0.5mm的双层T刀，多刃立铣刀、成型刀、铰刀等各类刀具均可生产微小直径产品。

(2) 精度高。金洲拥有丰富的磨削加工经验，结合瑞士ROLLOMATIC等高精尖设备，保证刀具的超高精度。钻头类刀具外径精度 $\pm 0.002\text{mm}$ ，成型等铣刀刀具轮廓精度 $\pm 0.003\text{mm}$ 。

(3) 性能佳。公司引进瑞士ROLLOMATIC CNC628、629、澳大利亚ANCA、英国COBORN和德国WALTER高精度磨削加工设备和德国ZOLLER精密刀具检测仪，采用世界知名厂家生产的超细硬质合金材料及PCD材料，配以先进的设计和瑞士Mikron测试，研发生产出高性能微小径刀具。

(4) 领域广。为满足各领域市场需求，公司致力于研发生产对应小径刀具产品，目前生产产品囊括各种高精度立铣刀、钻头、铰刀以及非标准刀具。产品广泛应用于3C、精密模具、治具、石墨、医疗牙科、汽车、航空航天等精密加工领域。



哈尔滨金量精密仪器有限公司

展位号：W1-B392

T-300齿轮测量中心

该展品以多年的技术积累，开发完成基于WINDOWS平台的齿轮、齿轮加工刀具（滚刀、插刀等）等误差评估软件系统，更符合国内的操作习惯，操作简单易学，功

能更完善，使用更方便。主要参数：X轴行程265mm；Y轴行程178mm；Z轴行程320mm；顶尖距10~500mm；最大测量外径 360mm；工作台承重150kg；最大模数15mm。

展品特点：

(1) 天然大理石基座：仪器的基座采用天然的大理石，使其具有较高的承载能力和超强的热稳定性，保证了仪器的机械精度稳定持久。

(2) DDR电机主轴直接驱动：回转主轴采用无框力矩直驱电机，具有输出转矩大、惯性高、低速性能好、动态响应速度快等优点。

(3) 全闭环数字控制（CNC）：仪器采用全闭环数字控制（CNC）控制技术，保证了仪器测量的准确性。

(4) 完全自主知识产权的测量评估软件。



山东鲁南机床有限公司

展位号：W5-A311

数控车床

机床为半闭环CNC数控车床，带有集中自动润滑装置，四工位或六工位电动刀架等，一次编程输入可自动实现机械零件的外圆、内孔、螺纹、复杂弧面的加工。本机床使用CNC控制系统，同时控制2轴移动，具有移动、直线和圆弧插补、螺纹切削、各种切削循环、坐标系设定、刀尖R及刀具偏置补偿、分进给等辅助功能。程序的编制采用国际ISO标准，程序的输入可通过系统面板上的按键手动输入或数据通信接口输入。

床身上最大回转直径570mm；溜板上最大回转直径325mm；Z向导轨跨距420mm；最大工件支撑长度1000mm；主轴通孔88mm；普通卡盘250mm；主轴转速：三挡、档内无级调速，转速范围40~1600r/min；X向行程：310mm；Z向行程：785mm；主电机功率7.5kW，

机床配置四工位电动刀架。



纽威数控装备（苏州）股份有限公司

展位号：N2-B111

VM450F五轴立式加工中心

机床采用动柱式C型结构设计，具有高刚性、高精度、大扭矩、动态特性佳等特点。床身、横梁、滑鞍、主轴箱等主要关键零件均采用树脂砂造型，高强度优质铸铁，稳定性好，特别适用于叶轮、叶片、复杂模具和空间凸轮等具有复杂曲面的零件加工。

机床标配BT40-15000r/min直联主轴、摇篮式双轴转台、五轴绝对式光栅尺，以及SIEMENS 840D sl数控系统，可实现X、Y、Z、B、C轴五轴联动。



NL322M 数控多轴车削中心

该机床主要特点为：

- (1) 加工直径×加工长度：φ320×550mm(轴类)。
- (2) 双主轴（广域电机内藏式）、双刀架、上刀架具备Y轴功能。
- (3) 上下刀架配置BMT动力刀架，刚性高。
- (4) 配置滚柱式进口导轨。
- (5) 结构紧凑，节省空间，减少占地面积，降低生产成本。
- (6) 缩短产品制造工艺链，车铣复合加工实现一次装夹完成全部加工工序，大大缩短产品的制造周期，提高生产效率。
- (7) 减少装夹次数，提高加工精度-高精。



HE63S高效率卧式加工中心

该机床主要特点为：

- (1) 以人为本的设计理念，注重客户体验，空间利用率高，细微之处，精益求精。
- (2) 快移速度达60m，0-60m加速0.2s，效率提升30%。
- (3) 高速大功率电主轴设计，主轴转速8000r/min，电机功率：50/65kW，扭矩：426/506 N·m，0-8000r/min加速1.2s，有效提高工件质量与加工效率。
- (4) 全伺服刀库，1.6s换刀，快如闪电。
- (5) 工作台180°分度时间仅为3s，提高加工效率。
- (6) 多种工作台模块可选（B轴、A轴、摇篮五轴），快速响应高端客户需求。
- (7) 提供液压夹具接口，配有独立的液压系统来保证装夹系统的压力。
- (8) 大行程，三轴行程X/Y/Z达1000/850/1000mm。
- (9) 实现机外检测，加工与检测同时进行，大幅缩短加工准备时间。
- (10) 工件自动识别，避免误操作损伤机床。
- (11) 机床占地减少20%，节省场地，极大地方便了组织生产。



PMB2040U桥式高架五轴龙门加工中心

PMB2040U高架桥式五轴龙门加工中心，运用于高速、高精、高效类模具加工行业。机床主要箱体均采用优质铸铁件加工而成，轻量化零件设计配搭高强度结构

刚性，稳定性高。标配电主轴检测用德国振动传动器IBIS GmbH分析器SIVIB501E，保证电主轴运行平稳性，加工产品的稳定性。X轴传动采用传统的双齿轮、齿条结构形式，两齿轮前后布置形式，增强快速运行的平稳性。环保的设计理念，人性化的操作空间，更加适应现代化的工厂需求。



山善（上海）贸易有限公司

展位号：N4-A411

村田 MW120多轴车床

MW120，采用了左右完全两分割独立型基座，获取高安定性、高真圆度以及高精表面粗糙度，可实现免维修状态下无人生产。装备「短“C”构造」使刀端卡盘具备高刚性及高耐震性。选用圆筒滑动转塔机轴方式，实现安定状态高刚性加工。更是缩短了加工准备调换时间，大幅度提高生产效率。

其主要参数如下：

主轴个数：2；卡盘尺寸：（标准） $\phi 165\text{mm}$ （ $\phi 6$ 英寸）、（选型） $\phi 210\text{mm}$ （ $\phi 8$ 英寸）；两主轴间距离：340mm；转塔工位：（标准）8*2、（选项）12*2；主轴AC伺服电机：（标准）7.5kW/30min*2、（选项）11kW/30min*2；主轴转速：（标准A）45 rpm~4,500 r/min、（标准B）30~3,000 r/min、（标准C）60~6,000 r/min（仅有7.5kW）；主轴端面形状：JIS A2-5；主机轴贯通孔径： $\phi 47\text{mm}$ ；主轴前部轴承部内径：（标准） $\phi 90\text{mm}$ 、（选项） $\phi 100\text{mm}$ ；总重量（附带机械臂，刀具）：4,400kg。



兄弟 SPEEDIO R450Z1立式加工中心

R450Z1, 搭载了兄弟独创的高速双工作台交换装置QT工作台, 在实现无停顿加工的同时, 还拥有宽阔的夹具区域。不仅装载了新型22把刀刀库, 还采用了高应答性伺服, 进一步提高了生产效率。配备新时代CNC装置, 操作更简便。

其主要参数如下:

主轴最高回转速度 (min⁻¹): 10,000/16,000 (选配)、10,000高扭矩 (选配); 各轴行程 (mm): X 450 Y 320 Z 305; 刀具数 (把): 14/22; 快速进给速度 (m/min): X/Y/Z/ 50/50/50; 占地面积 (mm): 1,400x2,654; 主轴中心出水 (CTS): 选配; BT二面约束规格 (BIG-PLUS): 选配; 低底盘工作台: 选配。

**上海机床厂有限公司**

展台号: W1-B111

H376高精度复合磨削中心

高精度复合磨削中心是典型的工序复合机床。采用先进的柔性复合加工技术, 以多种砂轮的组合型式形成系列。一次装夹完成工件外圆、内圆、端面、锥面、非圆、曲面等部位的磨削加工, 完全改变了多台床分序加工的传统加工方式。本机床所采用的内外圆复合磨削技术在国内属于行业前沿, 同时上海机床厂的设计制造水平在国内均处于领先水平, 具有加工精度高、加工效率高及加工柔性高的特点。在工作精度上, 外圆磨削圆度为0.0006mm, 纵截面内直径一致性0.003mm; 内圆磨削圆度为0.0007mm, 纵截面内直径一致性0.005mm, 比肩国际同类型机床, 适用于军工、航空、刀具、量具、机床、汽车等行业的精密机械加工领域。

该机床主要参数: 最大外圆磨削直径 500 mm; 最大外圆磨削长度 1500 mm; 最大内圆磨削直径 200 mm; 最大内圆磨削长度 200 mm; 最小外圆磨削直径12 mm; 工件最大重量

250 kg; 中心高 275 mm; 砂轮规格 $\phi 500 \times 80 \times 203$ mm; 砂轮线速度 45m/s; 工件转速 5~200r/min。

南京二机齿轮机床有限公司

展台号: W1-A102

Y4830CNC型数控内齿珩轮强力珩齿机

Y4830CNC属于七轴五联动数控内齿珩轮强力珩齿机, 珩齿生产效率高, 可以降低齿轮噪声, 提高齿轮承载能力, 延长齿轮寿命, 可将齿面粗糙度加工至Ra0.63um以下, 提高齿面粗糙度, 齿轮精度可以达到3~4级。针对恒定轴交角加工, 实现恒力切削。开发工件相位检测及自动对齿技术, 实现珩齿加工的自动化。

**上海名古屋精密工具股份有限公司**

展台号: N3-A122

零件加工项目与PCD非标定制刀具

公司长期从事切削刀具设计制造与服务销售, 拥有完整的生产设计能力, 自产自销, 全年无休; 项目承接经验丰富, 尤其擅长汽车类零部件 (引擎、变速箱、涡轮、液压等) 用刀具和3C产品零部件 (手机框架、PC壳体等) 用刀具的成套解决方案定制和销售服务, 产品行销世界各国。

公司刀具类产品可达到3 μ m以内跳动及尺寸精度, 主要用于替代进口同类产品, 帮助零件制造商在控制生产成本的同时实现高质量高效率生产。



五轴数控工具磨床

采用瑞士NUM FLEX+数控系统，砂轮轴最大输出功率约相当于峰值功率38kW，加工刀具直径范围涵盖0.5-32mm，可同时搭载4组砂轮，具有自动换砂轮、自动标定砂轮、自动上下料等多种附属功能，适用于各种精密标准、非标刀具的生产制造，以及各种金属切削刀具的修磨再生，具有高生产效率、长设备寿命、可靠产品质量的特点。



株洲欧科亿数控精密刀具股份有限公司

展台号：N3-A202

数控刀片（刀具）

公司主导产品“小型精密切削刀片”的国内市场占有率达20%以上，在行业细分领域排名第一；另一主导产品高精数控刀片（刀具）具有先进的材质及CVD、PVD涂层技术，自主研发生产适用于各种加工材料的刀片槽型及刀片材质的ISO车刀片、铣刀片，广泛应用于机械加工的各个行业，可根据客户需求定制非标刀片。公司技术实力雄厚，为客户提高快速、准确的售前、售后服务和完整的工艺及刀具方案。针对不同加工环境，提供适合的刀具产品及配套方案，良好的技术服务，为用户提升加工效率，降低加工成本。



来普乐（太仓）工业科技有限公司

展台号：N1-A312-1

FIBROMAT & FIBROTOR工作台

FIBROMAT重载定位台有着最优的价格，其动力室

带有特大中心孔，台面设计非常平坦。永久润滑、无需维护、正齿轮的啮合驱动其进行工作。可以在突然断电或紧急停止的情况下保护回转工作台的机械系统免于受到损害。包覆式的密封使得其成为市场上最经济、最强健的回转工作台之一。对于直径高达95000mm的上层结构，FIBROMAT可以提供两种尺寸。使用单个驱动装置就能接近任何位置。使用选装的分度装置，其精确度就可以达到 ± 15 弧秒。使用两个已经固定住且无间隙的驱动装置，即可实现极短的紧急停机时间以及更高的扭矩。此外，使用直接测量系统，即可实现 ± 5 角秒的定位精确度。

FIBROTOR回转工作台可作为组装台使用；可作为焊接、定位或存储台使用；可用于封装机、印刷机、贴商标机或激光机，以及破碎机。该系列回转工作台不装配易磨损的弹性驱动元件，如此在运行中会实现高度精确的定位和重复定位。极短的定位时间确保了卓越的生产力。



宁波伟立机器人科技股份有限公司

展台号：N5-B311

WELLLIH柔性智能工作站

WELLLIH智能工作站是一套适用于CNC自动化系统，其紧凑型一体化设计，将世界主流关节机器人和转台配合起来，用于单一工件装载单元内的暂存工件，智能工作站可以安置在数控机床或铣床一侧，借助装置上的操作员界面可以针对机器人进行直观的编程。整个系统可以方便地安装、编程以及在机床之间移动，用户通过快捷的转换实现各类零件的生产自动化。最终实现多批次小批量生产需求。

主要参数：

- (1) WELLLIH智能控制，无需任何机器人操作经验。
- (2) 操作简单，设置时间短，适用于中小批量生产。
- (3) 无需停机，即可设置新工件程序。
- (4) 配置地面扫描仪，为您提供更高级别的安全。

- (5) 占地面积少,符合现代化工厂管理。
- (6) 可同时用于多台CNC机床,便捷移动。
- (7) 适用于CNC立式加工中心、CNC车床(车铣复合)。
- (8) 紧凑型一体化设计



上海西格玛机床有限公司

展台号: W5-B401

SC-40i/50i数控车床

SC-40i/50i数控车床是我公司自主开发的其中一款高精度,高性能,高刚性中高档全能型车床。车床动态性能稳定,运动精度控制准确,加工精度高且一致性好。该产品用于加工各类轴类、盘类、各种螺纹、圆锥及回转体的内外曲面,同主轴回转轴线的钻孔、攻丝等功能。床身回转直径590mm,托板回转直径410mm,主轴直径370mm,最高转速5000r/min,主轴通孔直径62mm,刀塔工作位(12),机床重量5000kg。



思瑞测量技术(深圳)有限公司

展台号: W5-B311

Tango-s plus 手持式扫描系统

Tango-s plus 手持式扫描系统以提高用户的工作效率和节约测量时间为目标,帮助用户完成包括3D数字化、快速成型、逆向工程设计、人体工程学、工艺品复制等在内的多种任务。

Tango-s plus 手持式扫描系统以其独创的红蓝激光双

模工作模式,兼顾了手持式扫描仪的便捷灵活高效以及拍照式扫描仪的高分辨率、高细节度,不但具有快速扫描、自动调节扫描参数的功能,还可以在扫描的过程中实时监控扫描位置和角度,及时监控和处理扫描结果。



Croma三坐标测量机系统

Croma三坐标测量机系统承载着卓越的设计技术和优异的产品机械结构,加之最先进的计算机控制和软件技术,全铝框架技术、驱动电机远程放置、精密三角梁技术、柔性气动平衡、整体燕尾型导轨、光栅尺的安装方式,使Croma系列表现出与生俱来的专业。Croma测量机被广泛地应用于汽车零部件行业、注塑和模具行业、3C电子行业、切削和刀具行业、精密加工行业等多种工业计量应用,包括产品检测和夹具检测。为用户提供了更可靠的精密测量。



GLAS白光测量仪

GLAS白光测量仪解决了易变形曲面轮廓度检测难题,将CCD光学影像和CWS非接触式共聚焦白光传感器整合,创新的CCD光学影像寻边方式测量工件边缘,快速准确建立基准,闪测二维尺寸,重复测量精度高;CWS非接触式共聚焦白光传感器,采用色阶共聚焦白光探头,准确完成空间尺寸数据的测量,它是提高产线良率、提高竞争实力的关键。搭载功能强大的rational软件系统,非接触式

扫描更进一步为3D玻璃、2.5D玻璃、塑胶、橡胶立体产品等易变形产品测量带来了全新的解决方案。



Croma PLUS 8106三坐标测量机

Croma Plus 三坐标测量机让高效测量变得更容易。全新的Croma Plus焕发着理性气质。承袭全铝框架、60°精密三角横梁和整体燕尾式X向导经典设计，流露着与身俱来的专业，成就一气呵成的平稳快感。集团化全球供应商平台和标准工艺流程，共同保证每一个细节。Croma Plus三坐标配置搭配扫描与触发二合一传感器，可对工件进行贴面扫描，数秒即可完成百个点位采集，效率提升数倍。而且连续性扫描获取点数值，精确值更高，能轻松应对严苛检测需求，解决高精度复杂曲面检测难题，比如叶片和模具。强大的PC-DMIS软件不仅具有强大的数据分析功能，还能够提供丰富的测量报告。



艾博森空气净化设备贸易（北京）有限公司

展台号：N1-B198

油雾油烟过滤器

Absolent所有过滤器均采用Absolent专利技术滤

芯——具有持续的自清能力，从而确保极高且恒定的过滤效率和处理量，并维持较低的LCC成本，过滤器处理量由600m³/h ~ 72000m³/h，单机和集中式多种方案可选，适用于各种油雾、油烟以及最苛刻的应用场合，如机加工、热处理、冷轧、齿轮加工及压铸等工况，并确保直径为0.3μm以上颗粒的过滤效率达99.99%，过滤后的空气非常干净，直接室内排放，回油也可收集再利用。

Absolent 过滤器特点：极高且恒定的过滤效率；空气质量高且恒定；持续的自清洁能力，最低的生命周期成本，节省费用；专业知识和丰富经验。



天通吉成机器技术有限公司

展台号：W5-B415

CPG360 可转位刀片周边磨床

本设备属于四轴联动的磨削中心，适用于硬质合金、陶瓷和CBN等材质可转位刀片的周边磨削和倒棱磨削。采用先进的数控系统，并选用了六轴机器人上下料，可实现各个角度旋转，减少了刀片翻转工序，进一步提高效率，缩短磨削时间。

机床前部的滑动门为进出磨削区域提供了便捷。机床和机械上下料装置有机连接，整体结构紧凑、美观。本设备采用全封闭的保护罩壳，符合最新的国家安全标准，并通过了欧洲CE安全认证。



山东威达重工股份有限公司

展台号: N2-B201

HMC1000W精密卧式镗铣加工中心

机床采用最新的机型结构, 模块化结构设计, 拥有最好的机床刚性。适用于汽车模具、航空航天、印刷、包装、纺织、军工、机床等各种机械加工领域。XYZW四轴均采用高强度滚柱直线导轨, 确保机床有较高的运动刚性和定位精度。XYZ三轴快移速度达18m/min, 特别适合于大型箱体类零件的镗铣加工, 也适用于大型模具的精密加工。主轴箱采用双液氮平衡缸缸进行主轴箱部件重量的平衡, 机床有较高的快移速度和精确的定位, 减少配重块平衡带来的震动。主轴由4条滚柱线规支撑使机床能够达到较高的切削刚度, 避免镗杆伸出时的下垂现象采用4条螺旋排屑机+提升链式排屑机的高配模式, 可有效的清理机床内部的切屑。避免人为清扫的麻烦。主传动采用一体式双速齿轮变速箱, 液压变速机构, 使切削达到高速全功率, 低速大扭矩的需求。标配24把圆盘机械手刀库, 可选配24把/32把/40把/60把/80把链式刀库。



江苏亚威机床股份有限公司

展台号: W4-A101

HLS磁悬浮光纤激光切割机

先进的直线电机传动技术, 最大定位速度280m/min、最大加速度4.5G、定位精度 $\pm 0.02\text{mm}$, 全方位提升生产效率; 搭载Thunder cutting切割及雷暴穿孔技术, 实现全板厚范围的极速切割; 配套兼容, 标配排屑机、余料再切割、可兼容亚威上下料、料库等自动化设备; 远程诊断健康保障系统、生产管理系统、亚威智云工业互联网平台, 实现车间透明化。

主要技术参数: 加工范围(长 $\times$ 宽)3000 mm $\times$ 1500 mm; X轴行程3040 mm; Y轴行程1550 mm; Z轴行程120 mm; X-Y轴最大速度280 m/min; X/Y轴最大加速度4.5G m/s²; 定位精度 $\pm 0.02\text{ mm}$; 重复定位精度 $\pm 0.01\text{ mm}$ 。



数控激光切管机

数控激光切管机是一款专业进行管材切割加工的产品, 相比于传统的管材锯切、铣削、等离子切割等加工方法, 数控激光切管机具有速度快、精度高、柔性好等诸多优点。其主要技术特点: 超大管材加工范围, 圆管最大加工直径254mm, 最大管重300kg; 高刚性机械结构, 先进的卡盘夹紧系统, 智能辅助托料, 高效率和高品质切割的保证; 数字控制系统、精密传动部件和激光应用技术深度融合, 超越各类传统管材加工方式; 全防护崭新外观, 双重排风除尘设计, 专业的管材切割软件。

主要技术参数: 加工管材范围8200 $\times$ ϕ 20~ ϕ 254 mm, 8200 $\times$ ϕ 20~ ϕ 200 mm; X轴行程8800 mm; Y轴行程200 mm; Z轴行程240 mm A、B轴行程——无限回转; X、Y轴最大定位速度100 m/min; A、B轴最大定位速度120 r/min; X、Y轴加速度1.2G m/s²; 最大管材重量300 kg定位精度 $\pm 0.05\text{ mm}$; 重复定位精度 $\pm 0.03\text{ mm}$; 自动下料管材长度0~4000 mm。



长沙思胜智能设备有限公司

展台号: W4-A412

方向盘智能化拉床

方向盘机械式专用拉床是用于汽车方向盘骨架拉削的专用机床, 其结构形式与通用上拉式内拉床相似, 但采用伺服电机驱动丝杠传递拉力, 机床结构选用全新的直线滚珠导轨副实现拉刀接刀或送刀, 保证机床的拉削精度。在工作台设计上我们采用了翻转下料机构, 由于方向盘体积较大, 所以机床内部空间进行整体优化, 方便于上下料, 特别对于用量较大的企业, 我们在传统机型上增配滑台, 实现全智能化制造。方向盘通常使用镁铝合金, 此类材料对环境有极高的要求, 所以机床在防腐蚀和防火等方面都做了相应设计。该机床属于全护送立

式内拉床，在拉削过程中采用拉刀固定、工件运动的方式实现全护送（即拉削工件时，下夹头夹紧拉刀前刀柄不松开、上夹头套住拉刀后刀柄外圆，直至工件拉削快完成时，上夹头才退出后刀柄）。



朗快智能科技有限公司（杭州）有限公司

展台号：W5-B112

水表壳车铣复合加工中心

水表壳车铣复合加工中心，包括全封闭框架式床身、上料机构、八工位转台、十三个加工主轴和出料机构，其中转台装配在床身内部，沿其周向均匀布设有八个同步液压工作夹具；工作夹具用于对球阀坯体进行固定；加工主轴沿转台的周向分布，安装在床身上，用于对工作夹具上的零件坯体依序加工至成品，设备运行时，全部加工主轴同步对八个工作夹具上的零件坯体进行加工，相比通用加工中心，加工效率提高五倍以上，并且避免了在不同车削设备和铣削设备上换夹造成的夹持精度误差，以及人为错误和加工效率的丧失。

主要技术参数：设备重量26.5t，总功率100kVA；加工主轴功率5.5kW，转速50~8000r/min，进给速度40m/min；转台电机功率3.0kW，分度时间0.8s；加工零件——1/2" - 3/4" 无铅铜水表壳，1/2" - 2" 无铅铜闸阀阀体；加工节拍——水表壳零件8s/件，闸阀阀体零件4~10s/件。



上海普睿玛智能技术有限公司

展台号：W4-B301

普睿玛皇家超级系列-龙门SUPER5激光切割机

机床采用落地式龙门结构，及高强度铝合金梁，具备

良好的加速特性；采用国际知名品牌瑞士坤戈精密齿轮齿条、减速机传动部件，可获得高的空程速度；采用独家定制的欧洲高性能智能激光切割控制系统Super7000及Super700智能编程软件，实时监控切割加工状态，动作敏捷，轨迹精准平滑，抗干扰，稳定性可靠性高；采用原装进口PRECITEC光纤激光切割头；安装欧盟CE标准全封闭安全防护门。具有专业激光加工功能，可远程诊断。具有快速自动寻边功能。□



资讯

埃克森美孚联合中国节能协会再度发布多项工业润滑油能效测试成果

2019年12月3日，为中国节能协会润滑油领域唯一战略合作伙伴，埃克森美孚在2019中国节能与低碳发展论坛上，再次联合中国节能协会，发布了多项工业润滑油能效测试成果，测试结果表明选用高性能的美孚®工业润滑油能帮助企业节约能耗最高可达6.5%¹，广泛助力工程机械、钢铁和塑料包装等行业可持续发展。作为工业能效测试的见证方，中国节能协会在发布会上向埃克森美孚颁发了节能证书，并充分肯定了埃克森美孚持续助力中国工业企业实现高质量可持续发展的决心与实力。

2016年，埃克森美孚联合中国节能协会，共同开拓了“工业能效测试”这一创新模式，旨在通过验证美孚®高效节能型工业润滑油在实际工况下的节能效果，探索中国企业的节能方案。“工业能效测试”实施多年来，测试应用已涵盖混凝土拖泵、煤矿皮带机、螺杆空压机、石灰石取料机液压系统、注塑机等工业设备，参与测试的企业则来自煤矿、冶金、木业、水泥、食品等多个行业。

今年“工业润滑油能效测试”的范围进一步扩大，测试应用包括挖掘机、圆筒造球机减速机、注塑机，覆盖工程机械、钢铁、塑料包装等行业，结果表明选用高性能的美孚®工业润滑油能帮助企业节约能耗最高可达6.5%²。不仅能耗方面的成果可观，今年的测试更统计了生产效率的数据，证明在实际工况下选用高性能的美孚®工业润滑油，相比使用原厂油，效率提升可以达到4.26%。

聚焦第六届日本东京冲压钣金成形加工展览会

中国机床工具工业协会

2019年7月30日—8月4日，第六届东京冲压钣金成形加工展览会（MF—TOKYO2019）在日本东京国际展览中心举行。MF—TOKYO展览会由日本锻压机械工业协会和日刊工业新闻社主办，2009年首次举办，此后每两年举办一届，至今举办六届。

据统计，展会期间举办了71场技术交流讲座、新闻发布会。此外，主办方发布了“2018—2019年MF技术大奖获奖产品”，其中天田、村田机械、会田工程、小松机械的产品分别获奖。

展会设置了院校展示区，各院校以图片和视频的方式介绍自己开发的新产品及新技术。



一、主要展商及展品

参加本次展会的日本知名金属成形机床制造商包括：天田（AMADA）、马扎克（MAZAK）、

小松机械（KOMATSU）、村田机械（MURATEC）、三菱电机（MITSUBISHI ELECTRIC）、会田工程（AIDA Engineering）等公司。来自日本境外的全球知名金属成形机床制造商有：德国通快（TRUMPF）、瑞士百超（BYSTRONIC）、意大利萨瓦尼尼（SALVAGNINI）、德国舒勒（SCHULER）等。中国大陆参展的主要企业有：济南邦德激光股份有限公司、安阳锻压机械工业有限公司、千昌机械有限公司等。全球知名控制系统、伺服驱动、测量仪器生产企业也参加了展会，如日本发那科（FANUC）、日本三丰（MITUTOYO）、意大利马波斯（Marposs）、美国法如（FARO）、中国台湾上银等。以下简要介绍部分展商及展品情况。

1. 天田（AMADA）

在本届展会上天田公司展位面积最大，共展出6台机床和一条冲压柔性生产线，即：VENTIS3015AJ激光切割机，HG1003ARs数控折弯中心，HG2204数控折弯中心，EG4010数控折弯机，EML2512 AJG高速冲压激光切割复合机床，ENSIS 3015AJ激光切割机，由三台

SDE8018i III 新型伺服压力机组成的柔性生产线。

VENTIS 3015 AJ光纤激光切割机是天田公司首发的新产品，该机搭载了天田公司独立开发的新一代光纤激光发生器，这款激光发生器应用了“轨迹光速控制LBC技术”，LBC激光器能够控制切割光源高速震荡实现高速加工，从而提高加工精度和切割效率，加工中厚不锈钢板比普通激光切割机效率提高3倍以上，加工中厚铝板效率提高2倍以上。运用自动化系统可实现长时间稳定切割加工。最大加工工件尺寸3070mm×1550mm，激光器功率4kW，承重920kg，切割低碳钢最大厚度25mm，切割不锈钢最大厚度20mm，切割铝最大厚度18mm，切割铜最大厚度10mm，配有可交换工作台。该机特点是切割速度快、效率高、质量好、运营成本低。



天田公司VENTIS 3015 AJ光纤激光切割机



天田公司HG1003ARs数控折弯中心

HG1003ARs数控折弯中心，该机搭载了7轴高精度跟踪机器人，配有模具更换装置（ATC），公称力1000kN，最大加工工件尺寸1000mm×800mm，最小加工工件尺寸150mm×150mm，机器人最大搬运工件重量20kg，模具更换装置可存储模具数18（下模）、15（上模）。使用新型混合驱动系统、后定位系统、角度测量装置和TDS板厚检测装置，可实现薄板到厚板的高速、高精度折弯加工，适用于小批量多品种复杂产品的流水生产。

冲压柔性生产线，该线由三台SDE8018i III新型伺服压力机组成，节拍达到35次/min，搭载了具有优化功能的自动控制系统，可连接IOT，该机的特点为加工精度高、加工效率高，主要用于加工电脑、汽车等产品用的小型精密钣金零件。



天田公司冲压柔性生产线

2. 马扎克（MAZAK）

日本马扎克公司金属成形机床产品主要有激光加工机床。展会上，马扎克公司展出3台激光加工机床，即：FT-150 FIBER管材光纤激光

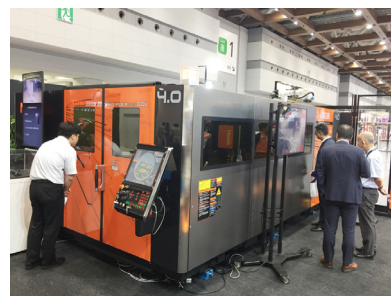
加工机，OPTIPLEX 3015 DDL半导体激光切割机，OPTIPLEX 3015 FIBER III 光纤激光切割机。

FT-150 FIBER管材光纤激光加工机，该机为世界首发，激光器功率3kW，最大加工尺寸（圆管） $\phi 20\text{mm} \sim 152.4\text{mm}$ 、（方管） $20\text{mm} \times 20\text{mm} \sim 125\text{mm} \times 125\text{mm}$ ，最大上料长度6500mm，8000mm（可选），最大下料长度3000mm，4500mm（可选），最大工件质量25kg/m。应用先进的驱动技术和控制技术实现小直径管类零件的高速度、高质量的激光加工，实现从上料、加工、切断、下料全过程的自动化，大幅度提高管类零件激光加工的生产效率。



马扎克公司FT-150 FIBER管材光纤激光加工机

OPTIPLEX 3015 DDL半导体激光切割机，激光器功率4kW、6kW，加速度1.8g，X、Y、Z轴行程分别为3100mm、1595mm、110mm，最大加工工件尺寸3050mm×1525mm。该机使用新一代DDL直接半导体激光器，利用单级半导体器件将电能直接转化为光能，从而减少了复杂的共振单元和反射组件，因此DDL激光器的能耗更低，能量转换效率高达45%，DDL激光比CO2激光、光纤激光波长更短，能对薄板、中板以及铝、铜等高反射材料进行更高速的加工，采用复合控制割炬和各种智能化功能，进一步提高生产效率，实现高品质的产品加工。



马扎克公司OPTIPLEX 3015 DDL半导体激光切割机

OPTIPLEX 3015 FIBER III 光纤激光切割机，是用于切割厚板的高功率激光切割机，适合于不锈钢、铝等高反射材料的厚板加工，最大输出功率10kW，X、Y、Z轴行程分别为3110mm、1595mm、110mm，最大加工工件尺寸3050mm×1525mm，X、Y、Z轴最大移动速度为120m/min，120m/min、60 m/min，X、Y轴合成速度170m/min，X、Y、Z轴重复定位精度 $\pm 0.03\text{mm}$ 。待机配有可交换工作台，具有射束控制、焦点检测、自动聚焦定位、喷嘴自动更换、自动焦点定位等功能。



马扎克公司OPTIPLEX 3015 FIBER III 光纤激光切割机

3. 小松机械（KOMATSU）

作为世界最著名的锻压机械制造商之一的小松机械公司，展出了H1F-200-2精密伺服压力机，PVS2254-2伺服折弯机两款机床。

H1F-200-2精密伺服压力机，冲压力2000kN，滑块行程300mm，每分钟冲压次数62/200、72/160、89/110（可选）。该机配备了三台上下料机器人，第一台机器人具有视

觉挑选功能，能够在散乱的上料装置中准确的抓取工件，并将工件放在定位装置上，由第二台机器人把工件送到压力机上冲压，冲压后的零件由第三台机器人送入料库，这种由三台机器人上下料的方式极大地缩短了上料时间，并提高了上料的准确性和加工效率。



小松机械H1F-200-2精密伺服压力机

PVS2254-2伺服折弯机，公称力2250kN，折弯长度4200mm，开口高度210mm，上模具最大重量600kg，横动速度220mm/s，工作速度0.1~10mm/s，最大可折弯厚度6mm。该机采用伺服马达直接控制左右对称液压缸结构，高刚性框架设计保证高负载折弯时的角度稳定，使折弯板材厚度更厚，采用带倾斜功能的6轴后挡，使倾斜定位更方便，不需要对后挡进行调整，使用双鹰眼自动修正系统，可自动校正折弯角度，缩短折弯时间以及精度调整时间。该机搭载了追踪装置，在大型工件折弯时，自动追踪工件起到辅助支撑的作用，防止工件振动和变形，提高加工质量和生产效率。该机的特点是采用伺服马达和液压缸混合驱动，响应速度快，可实现高速度、高精度、高效率的折弯加工。



小松机械公司PVS2254-2伺服折弯机

4. 村田机械 (MURATEC) 和三菱电机 (MITSUBISHI ELECTRIC)

两家企业联合推出新时代金属板材加工智能工厂概念——M·M Factory，该工厂分别由村田的激光复合加工工厂、双动力平板折弯机、光纤激光复合加工机，以及三菱电机带自动分类系统的光纤激光加工机组成，向观众展示了未来金属板材加工工厂的全新概念。

村田机械公司展出2台光纤激光复合加工机和1台伺服液压折弯机：FG2512 TL光纤激光复合加工机，MF3048HL光纤激光复合加工机，BH13530伺服液压折弯机。

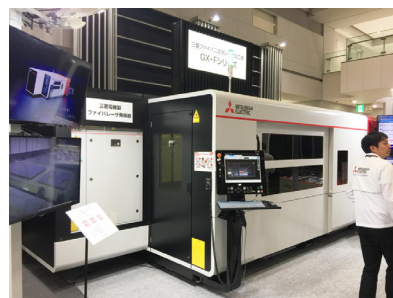
FG2512 TL光纤激光复合加工机，复合了激光切割、冲压成形、钻孔、攻丝等加工工艺，双工作台可自动交换，提高了生产效率，获取更好的加工质量，增加生产制造柔性，缩短加工辅助时间，降低运行成本，减少设备数量。该机床搭载了FG2512 TL自动上下料机构，从而实现了板材的自动化加工。



村田机械公司FG2512 TL光纤激光复合加工机

BH13530伺服液压折弯机，公称力1323kN，折弯长度3100mm，开口高度380mm，压力板速度200mm/s。采用高刚性机架，具有挠度补偿系统、板厚自动检测功能，7轴控制高精度、高刚性后挡块定位装置，通过伺服电机和丝杠的完美结合，实现高速度、高精度加工。

三菱电机公司展出2台ML3015GX-F80光纤激光切割机，激光器功率8kW，X、Y、Z轴行程分别为3110mm、1565mm、120mm，最大加工工件尺寸3050mm×1525mm，X、Y轴合成速度170m/min，重复定位精度±0.01mm。该机具有自动判断喷嘴状态和自动更换喷嘴功能，通过自动变焦杆和波束模式改变功能实现高品位加工，应用三菱F-CUT技术可对薄板进行高速、高精度加工，搭载了激光自动分类系统，从材料上料、激光加工、分类、搬运、下料、装载等一系列的生产过程完全自动化。该机具有高速、高精、高效、高可靠性和运行成本低的特点。



三菱电机公司ML3015GX-F80光纤激光切割机

5. 会田工程 (AIDA)

会田工程公司是日本著名的锻压机械制造企业，主要生产压力机和周边设备。本届展会上会田工程公司的展示主题为：推出下一代汽车的最新设备。以展板形式展出了用于冲压汽车零部件的各种高速、精密、伺服压力机，如用于冲压汽车散热器部件

的DSF-N1-A系列高精度伺服压力机，用于冲压汽车方向盘部件的UL系列精密成形压力机，用于冲压汽车电机箱体的DSF-N2系列伺服成形机，用于冲压电动汽车电机定子、转子铁芯的MSP系列高速精密压力机，用于冲压汽车板类零件的DSF-P系列高功能伺服压力机，用于冲压汽车面板的DSF-S系列冲压生产线等。

在会田工程公司的另一个展位上展出了一台经过精化改造后的压力机，这台压力机1988年生产，已使用31年。



会田公司1988年生产的压力机

精化改造后的压力机

6. 日本电产 (Nidec)

日本电产公司展示了EV-350-3700数控冲床、ANEX40 II EW精密高速冲床两款产品。

EV-350-3700数控冲床，下工作台尺寸3700mm×2105mm，最大加工工件尺寸3467mm×483mm，行程35mm，每分钟冲程数350spm，冲压力350t，驱动形式：飞轮驱动。该机具有开卷、冲压、下料等功能，搭载了世界尖端的薄板用高速材料供应系统，支持0.2mm~2mm的薄板材料，还搭载了包含伺服堆栈旋转的模具控制系统，使用FieldHawk可远程监控压力机，FieldHawk是基于云的通信移动应用程序，所有被认证的用户可以在任何地方通过移动设备查看冲压机的状态。FieldHawk具有维护提醒、预测分析、故障报警等

功能，使用FieldHawk可提高生产效率，降低维护成本。该机是为冲压电动汽车电机定子、转子硅钢片定制的，特点是冲压速度快、精度高，适用于冲压卷材、薄板材料。

EV-350-3700数控冲床安装在4个弹簧减震垫铁上，冲床工作时，冲床机整机在4个弹簧减震垫铁上上下下震动，弹簧减震垫铁起到吸震和减小噪音的作用。

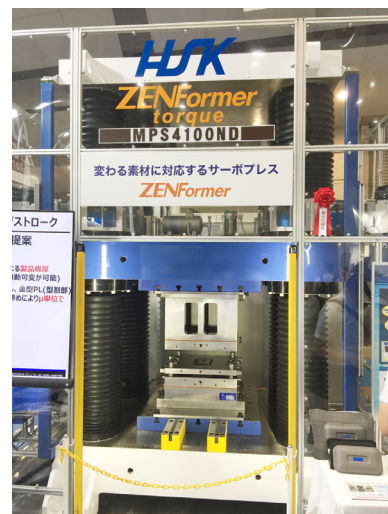


电产公司EV-350-3700数控冲床

7. 日本放电精密加工研究所 (HSK)

日本放电研究所是从事放电加工、模具制造、伺服冲压制造的企业的，主要产品有晶片放电加工机、铁路、汽车等领域用模具、伺服压力机等。展会上展出一台新型MPS4100ND伺服压力机。

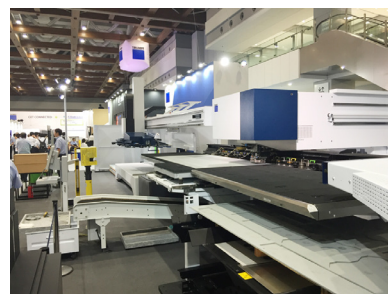
MPS4100ND伺服压力机，额定压力1000kN，工作台尺寸800mm×900mm，最大行程900mm，最大移动速度60mm/s，下死点重复定位精度±0.01mm，平行控制方式：四轴独立驱动的伺服控制。这台新型压力机的创新点：用四根滚珠丝杠代替原来的四个立柱，四个丝母安装在上工作台上，用四台伺服电机通过皮带驱动四个丝母控制工作台上下移动，四根滚珠丝杠都采用闭环控制，保证传动精度。该机具有超长行程增压功能，主要用于精密树脂和精密碳纤维成形加工，如压制头盔、安全帽、托盘、餐盒等。



放电研究所MPS4100ND伺服压力机

8. 德国通快 (TRUMPF)

德国通快公司是世界知名的激光加工、钣金加工设备制造商，展会上展出了激光切割、激光冲压复合、折弯机等设备6台：TruMatic 7000激光冲压复合机床，TruLaser Cell 5030五轴激光加工机床，TruLaser 5030 激光切割机，TruBend 5130数控折弯中心，TruBend Center 5030 数控折弯中心，TruBend 7050数控折弯机。6台展品中除TruLaser 5030激光切割机，其它5台机床都标有新产品的标识。



通快公司TruMatic 7000激光冲压复合机床

TruMatic 7000激光冲压复合机床，该机是具有激光切割、冲孔、折弯边和攻丝等功能的高端复合机床，激光器功率4kW，最大加工工件尺寸2500mm×1550mm，可加工最大板厚8mm，X、Y轴的最大轴速100 m/min，最大冲压力220kN，最大冲程1200次/分。

该机具有自动更换喷嘴功能, 智能冲压监控功能, 动态下模实现无划痕的冲压与成形加工, 通过附加轴实现最高生产效率和最佳边缘质量, 配有SheetMaster上下料装置, 可在保证安全的情况下完成上料、下料和分拣工作, 搭载可容纳40到70个模具的模具库, 对复杂零件, 通过多次快速换模实现自动化生产。适用于需要冲压、折弯、螺纹加工、激光切割、轮廓成形等加工要求高的复杂零件的加工。

TruLaser Cell 5030五轴激光加工机床, 激光器功率2kW~4kW, X、Y、Z轴行程分别为3000mm、1500mm、700mm, B轴行程为 $\pm 135^\circ$, C轴行程为 360° , 最大加工工件尺寸2540mm $\times$ 1040mm $\times$ 470mm, X、Y、Z轴的最大轴速60m/min, 最大同步轴速104m/min, X、Y、Z轴定位精度0.08mm。高效、低维护的TruDisk激光器实现前所未有的低成本切割, 小时费率降低20%, 通过飞行光路实现高质量的工作成果与极佳的生产效率, 该机是3D激光切割的入门级产品, 特别适用于中小批量、多品种零部件的激光加工。



通快公司TruLaser Cell 5030五轴激光加工机床

TruBend 5130数控折弯中心, 冲压力1300kN, 折弯长度3230mm, 开口高度385mm, 板速度220mm/s。该机配有ACB Laser角度测量系统, 板厚自动识别装置, 折弯辅助装置, 可辅助支持重型或大面积零件, 下模移动机构, 能

够高效完成特殊应用, 6轴控制后挡料定位装置, 可应对几乎所有情况, ToolMaster自动换模装置, 可根据需要快速更换模具, 节省大量人力和时间, 伺服驱动装置可高效、快速、静音地实现折弯工作, 能以高角度精度加工复杂的薄板、厚板、型材零件。



通快公司TruBend 5130数控折弯中心

9. 瑞士百超 (BYSTRONIC)

瑞士百超公司是为板材加工提供高级解决方案的全球知名供应商, 主要产品有激光切割机, 折弯机和水切割机。展会上展出了光纤激光切割机、折弯机3台机床: ByStar Fiber光纤激光切割机, Xpert Pro 200数控折弯机, Xpert 40数控折弯机。

ByStar Fiber 3015光纤激光切割机, 该机可对板材、管材和型材进行激光切割加工, 激光器功率12kW, 是本届展会上展出最大的一台激光切割机, 最大可加工板材尺寸3000mm $\times$ 1500mm, 旋转轴最小直径30~315mm, 可切割钢材最大板厚30mm, X-Y轴联动最大定位速度170m/min。该机配有割嘴更换装置, 智能化自动上下料系统, 减少上下料及装夹时间, 实现无人看管式加工。



百超公司ByStar Fiber 3015光纤激光切割机

Xpert Pro 200数控折弯机, 最大压力200t, 折弯长度3100mm, 开启高度640mm, 标准行程250mm, 最大快速横动速度220mm/s, 最大工作速度10mm/s。该机配有动态挠度补偿、材料曲线生成器、LAMS激光角度测量系统和已获得专利的压力检测控制系统, 可加工出重复定位精度极高的折弯件。能够满足对折弯性能和灵活性要求高的零件加工。



百超公司Xpert Pro 200数控折弯机

Xpert 40数控折弯机, 最大压力40t, 折弯长度1030mm, 开启高度570mm, 标准行程200mm, 最大快速下降速度300mm/s, 最大工作速度25mm/s; 配备了一台上下料机器人和上下料库。该机床特别适用于空间小且生产能力不稳定的情况, 机床可灵活地在五分钟之内安装起来并马上投入使用。人体工程学设计和可个性化调整的工作环境实现更高的操作舒适性。



百超公司Xpert 40数控折弯机

10. 意大利萨瓦尼尼 (SALVAGNINI)

萨瓦尼尼公司是意大利知名的钣金加工设备制造企业, 以生产折弯机

而知名，展会上展出P2lean多边折弯中心、B3 ATA 100/3000数控折弯机两台机床。



萨瓦尼尼公司P2lean多边折弯中心

P2lean多边折弯中心，最大可加工板料长度2495mm，最大宽度1600mm，最大可旋转对角线2500mm，最大折弯长度2180mm，最大折弯高度165mm，板料最小厚度0.4mm，最大折弯厚度与折弯角度3.2mm/±90°、2.5mm/±120°、2.1mm/±135°（低碳钢），2.5mm/±90°、2.1mm/±120°、1.6mm/±135°（不锈钢），4.0mm/±120°、3.5mm/±135°（铝合金），噪声68dB。该机床搭载了通用折弯刀具，无需换模就可生产各种零件，提高了加工效率。该机的智能功能MAC2.0自适应技术，可保证加工质量，在生产过程中，操作人员只需完成手工上下料，其余操作均有机械手完成，从精益制造到批量生产完全自动化。



萨瓦尼尼公司B3 ATA 100/3000数控折弯机

B3 ATA 100/3000数控折弯机，最大压力100t，工作台长度3000mm，开启高度550mm，最大速度250mm/s，折弯速度10mm/s。该机的创新性设计，提高了产

品的性能，独特的Kers动能回收系统，可以将通常浪费的能耗储存并再利用；配置了自动模具调整系统（ATA），激光角度测量系统，实时工件检查系统（AMS），有了专利控制系统和创新结构，使折弯机的加工精度达到μm级。该机广泛用于成套生产和批量生产。

11.部分中国大陆参展企业

济南邦德激光股份有限公司是专业从事激光切割设备的生产企业，上市公司，现有员工1000多名，产品70%以上销往国外，2018年营业收入7.8亿元，比上年增长69%，据邦德公司相关人员介绍，他们已经连续5次参加该展览会，并且在日本市场销售了20多台激光加工设备，目前已经在日本设有服务网点，销售人员常驻日本。展会上展出两台激光切割机：i5 Series高精密激光切割机，T230管材激光切割机。



济南邦德激光股份有限公司展位

i5 Series高精密激光切割机，激光器功率1kW~4kW，最大加工工件尺寸1000mm×1500mm，最大移动速度60m/min，最大加速度0.6g，重复定位精度0.02mm。

T230管材激光切割机，激光器功率1kW~4kW，管材有效切割直径Φ20~230mm，管材最大长度6500mm，X轴最大移动速度95m/min，Y轴最大移动速度70m/min，重复定位精度0.03mm，最大承重200kg。

安阳锻压机械工业有限公司以图文方式参展，该公司的主要产品有：

数控全液压模锻锤、电液模锻锤、电液自由锻锤、空气锤等产品。据安阳锻压公司人员介绍，安阳锻压公司的模锻锤已经出口日本6台，并且出口到德国和美国。

12.部分中国台湾参展企业

台湾上银科技股份有限公司是滚珠丝杆、直线导轨、动力刀座、特殊轴承、工业机器人等产品的制造企业，展会上展出了滚珠丝杠、直线滚动导轨等产品，其中展出了台湾上银公司研制的新产品“超级运动系统——用伺服电机直驱丝母的滚珠丝杠副”，该系统额定扭矩148Nm，最大扭矩280Nm，速度2.9m/min，丝杠外径Φ100mm，丝杠长度可以做到10米。为防止丝母发热，丝母采用油冷却结构，该系统结构简单、精度高、稳定性好，可用于伺服冲床、成形机床、直接驱动单元等。



台湾上银公司伺服电机直驱丝母的滚珠丝杠副

台湾金丰机器工业股份有限公司以图文和模型方式参展，展示主题：用知识成型，用锻造开拓未来。并提出企业的五化管理模式，即：工厂智能化、管理智能化、设备智能化、制品知识化、服务智能化。

二、展会观感

从MF—TOKYO2019展览会看，其展品水平代表了当今世界先进的金属成形加工设备和技术的发展潮流，是一届技术含量很高的专业展会。其特点可概括总结为以下几点：

1. 展品自动化程度高, 智能制造技术广泛应用

提高智能化水平, 提高自动化程度成为金属成形加工机床制造商竞争的焦点。很多展商在展出加工设备的同时, 都配套展示了上下料装置、智能模具、自动检测装置。如天田公司展出一条由三台SDE8018i III新型伺服压力机组成的冲压柔性生产线。小松机械公司展出一台带三台上下料机器人的H1F-200-2精密伺服压力机。百超公司展出一台Xpert 40数控折弯机, 配备了一台上下料机器人和上下料库。天田公司展出一台HG-1003ARs折弯机中心, 配备了一台上下料机器人。

2. 新产品、新技术推向市场, 多功能复合机床引人关注

马扎克公司展出一台世界首发的FT-150 FIBER光纤激光切割机, 应用尖端的驱动技术实现管类零件从送料、加工、切断、下料全过程的自动化, 使生产效率大幅度提高。

天田公司展出一台世界首发的VENTIS 3015 AJ光纤激光切割机, 该机搭载了轨迹光速控制LBC技术的激光器, 能够控制切割光源高速震荡, 从而提高加工精度和切割效率。

百超公司、萨瓦尼尼公司、小松公司、村田公司等多家企业生产的折弯机在折弯头两端安装激光测头, 用于监测工件加工状况。

小松公司展出的数控折弯机上装有追踪装置, 在大型工件折弯时, 自动追踪工件起到辅助支撑的作用, 防止工件振动和变形, 提高加工质量和生产效率。

村田机械展出的FG2512 TL光纤激光复合加工机, 复合了激光切割、冲压成形、钻孔、攻丝等加工工艺, 双工作台可自动交换, 提高了生产效率, 降低运行成本, 减少设备数量。

3. 高速、高效特色展品, 吸引观众眼球

展会上看到一些高速、高效的特色产品, 如用于冲压手机零件的小型化冲压机, 加工螺栓的高速搓丝机, 加工小型管类零件的辊压、扩张、切断用的专用高效加工机床, 辊压滚珠丝杠的高效辊压机, 用于批量检测标准件、冲压件的高效激光检测仪等。这些展品针对性强, 均是根据市场需求研发出来的, 具有加工速度快、质量稳定、效率高等特点。Sanmei公司展出一台高速搓丝机, 产量(M8) 100~150件/min, 该机应用辊压成形原理辊压螺纹, 辊压后螺纹部分的硬度达到HRC38~43, 比用车削出来的螺纹硬度高, 寿命长。意大利埃维特公司(EVIRT)展出一台RA-50智能三辊横轧机, 最大滚压力500kN, 加工直径27~160mm, 压辊直径140~210mm, 主轴倾斜角 $\pm 10^\circ$, 滚压精度0.005mm, 机床重量15000kg, 主要用于轧制滚珠丝杠, 该机主要特点是机床刚性好、轧制精度高、效率高。

瑞士哈特贝尔公司(HATEBUR)展出一台高效多功能冷成形机, 是一种用于生产小而复杂零件的非常独特机器。加工线材最小直径1.2毫米, 用于生产大批量的螺钉坯件和实心、半空心、全空心以及需要切边的各种复杂零件, 生产速度可达每分钟400件。在系统驱动之下, 材料所受的是渐进式的墩锻力, 而不是像传统冷锻机上的瞬间撞击力。冷锻部分的分子结构更平滑, 零件的寿命更长。该机主要特点是加工精度高、效率高。

日本大岛公司(OSHIMA)展出一台高速自动激光测量仪, 用于测量大批量的螺钉等零件, 可测量螺钉的全长、螺纹直径、螺纹形状、螺钉半

圆头部尺寸及形状, 十字花槽尺寸等。该机特点是测量精度高, 速度快, 能自动分拣合格品与不合格品。

4. 展商更加重视现场演示和技术细节介绍

很多展商在现场进行典型零件的加工演示, 并由专业讲解员讲解机床加工情况, 让观众深入了解机床的结构特点、应用范围和技术水平。多家世界知名企业在展区设有技术讲座演讲台, 每天举办多场讲座。如天田、村田机械、三菱电机、百超等公司每天都在展区举办多场技术讲座, 吸引了很多观众, 取得很好的效果。□

上接第70页

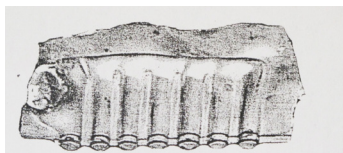


图4 冷凝器壁板
由钛合金TC3板材制造

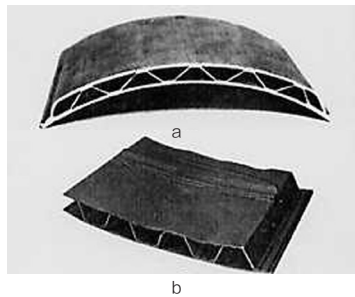


图5 由钛合金制造的波形壁板
a—钛合金TC16 b—钛合金1911

四、结论

与传统的制造方法相比较, 由于采用新的结构和工艺, 零件连接部位的强度增加30~50%; 零件的材料消耗减少20~30%; 由于去除了熔化焊接和铆接工序, 连接处的精度提高2~4倍; 零件数量减少到1/5~1/10; 由于同样的制造工序制造劳动量减少了1/2~2/3, 并且减少了装配和精加工工作量。□