

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

No.4 2019
2019年8月
August 2019

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-中国核心期刊数据库引文期刊。

目录 CONTENTS

2019年第4期(总第163期)

WMEM世界制造技术与装备市场

特别报道 Special Report

- 13 不忘初心、牢记使命 中国机床工具工业协会党支部积极开展主题教育 张芳丽
The Party branch of CMTBA actively carries out thematic education
- 15 第二届“全球制造业与工业化峰会”在俄罗斯叶卡捷琳堡举行 王黎明
Report of the 2nd Global Manufacturing & Industrialisation Summit

资讯 News

- 18 机床工具协会工具分会召开常务理事会议 正确研判形势等11则
Tools branch of CMTBA convenes the standing council to study the current situation, etc. 11 news

产销市场 Production & Market

- 24 2019年上半年中国机床工具行业经济运行情况分析
Analysis on the economic operation of machine tools industry in the first half of 2019
- 27 工具行业17个月经济运行情况分析
Analysis on the economic operation of tools industry for 17 months

特别策划 Special Column

- 32 金属3D打印从单机应用到规模集成 刘胜勇
Metal 3D printing from single machine application to scale integration
- 37 3D打印技术在汽车制造业中的应用及中国汽车业的机遇与挑战 李雪峰等
Application of 3D printing technology in automobile manufacturing industry and the opportunities and challenges of Chinese automobile industry
- 40 现代工业催化剂: 3D打印 柯秉光
3D printing is the catalysts of modern industry
- 42 基于3D打印快速制造铝合金缸盖的方法 宋彬
The method of manufacturing aluminum alloy cylinder head quickly based on 3D printing
- 45 逆向技术与3D打印技术在飞机修理中的联合应用 曹宏翼等
Joint application of reverse technology and 3D printing technology in aircraft repairing
- 47 高效率的粉床式增材制造技术 DMG MORI公司
High-efficiency powder bed type of additive manufacturing technology

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

编者的话

国家统计局7月15日发布数据，初步核算，上半年国内生产总值450933亿元，按可比价格计算，同比增长6.3%。上半年我国工业生产基本平稳，高技术制造业比重提高。全国规模以上工业增加值同比增长6.0%，增速比一季度回落0.5个百分点。

总的来看，上半年国民经济运行在合理区间，延续了总体平稳、稳中有进的发展态势。但也要看到，当前国内外经济形势依然复杂严峻，全球经济增长有所放缓，外部不稳定不确定因素增多，国内发展不平衡不充分问题仍较突出，经济面临新的下行压力。

据中国机床工具工业协会统计数据显示，2019年1~6月重点联系企业主营业务收入同比下降17.6%。金属加工机床主营业务收入同比下降26.8%。其中，金切机床主营业务收入同比下降33.5%；金属成形机床主营业务收入同比下降2.6%。

本期我们将为大家带来2019年上半年中国机床工具行业的运行情况分析、工具行业连续17个月的运行分析报告。近年来，3D打印技术得到快速发展，本期特别策划了3D打印技术最新应用主题，展示了3D打印技术在汽车、航空航天、模具等多个领域的最新应用情况。本期还将继续带来CIMT2019特种加工机床、数控复合内外圆磨床、双端面研磨机床三类展品的相关评述。

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

2017年荣获日经Business评选ASIA 300指数1年内市值总额增加率排行第1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



Torque Motor回转工作台
RAB系列



Torque Motor回转工作台
RCV系列

2001~2019 HIWIN连续19年荣获台湾精品金银质奖



滚珠丝杠
Ball Screw



直线导轨
Linear Guide



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



滚珠花键
Ball Spline



直线电机
Linear Motor



力矩马达
Torque Motor



伺服驱动器
Servo Drive



AC伺服电机
智能型电机
AC Servo Motor
abilmotor



谐波减速机
Robot Reducer



直驱马达
Direct Drive Motor

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

天津隆创日盛科技有限公司 Tel: (022) 2742-0909	深圳海威机电有限公司 Tel: (0755) 8211-2558	上海诺银机电科技有限公司 Tel: (021) 5588-2303
上海玖钰机械设备有限公司 Tel: (021) 5978-9980	昆明万辰科技有限公司 Tel: (0871) 6830-1918	河南广原精密机电有限公司 Tel: (0371) 8658-1632
乐为传动科技(苏州)有限公司 Tel: (0512) 6667-0809	江苏台银机电科技有限公司 Tel: (021) 5480-7108	
厦门聚锐机电科技有限公司 Tel: (0592) 202-1296	金太客传动科技(苏州)有限公司 Tel: (0512) 6690-8988	

HIWIN海外厂

德国 www.hiwin.de	日本 www.hiwin.co.jp	美国 www.hiwin.com	意大利 www.hiwin.it	瑞士 www.hiwin.ch
捷克 www.hiwin.cz	新加坡 www.hiwin.sg	韩国 www.hiwin.kr	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

产品与技术 Products & Technology

- 50 微小型立式五轴雕铣中心的关键技术 张健等
Key technology of micro vertical five-axis engraving milling center
- 53 矿物铸件材料在机床上的应用及前景 李青
Application and prospect of mineral casting materials in machine tools
- 56 整体硬质合金立铣刀的创新结构 章宗城
Innovative structure of integrated carbide vertical milling tools
- 59 圆柱外直齿轮盘刀包络铣削方法 孙小敏
Envelope milling method of cylindrical external spur gear disc tools
- 61 高速列车及动车组的车轮多边形改善研究 张庭耀
Research on improvement of wheel polygon of high speed train and MU trains
- 64 保证夹具装配精度的加工方法 吕军涛
Machining method to ensure assembly accuracy of fixture
- 66 断丝锥的原因分析、改善及后处理方式对比 华斌
Cause analysis, improvement and post-treatment comparison of broken tap
- 69 三爪卡盘车削偏心件可调偏心垫板 赵忠刚
Three-claw chuck of turning eccentric parts of adjustable eccentric gasket

展品评述 Exhibits Review

- 71 第十六届中国国际机床展览会特种加工机床评述
Review of special processing machine tools of CIMT2019
- 83 从CIMT2019看国际数控复合内外圆磨床的发展趋势 席春江
Development trend of international CNC composite internal and external circular grinder from the CIMT2019
- 86 CIMT2019双端面研磨机床展品评述 潘继超
Review of double-end grinding machine tools of CIMT2019

海外市场 Overseas Market

- 89 技术连接未来(下)
——日本JIMTOF2018综合报道 娄晓钟 执笔
Comprehensive report of JIMTOF2018
- 36 广告索引
Advertiser index

不忘初心、牢记使命

中国机床工具工业协会党支部积极开展主题教育

中国机床工具工业协会 张芳丽

按照党中央的精神和国资委党委的总体部署，并根据中机联党委开展“不忘初心、牢记使

命”主题教育实施方案的布置和要求，中国机床工具工业协会结合自身实际制定了开展“不忘初

心、牢记使命”主题教育实施方案，并于6月20日召开全体党员动员大会进行了部署。

机床工具协会党支部“不忘初心、牢记使命”主题教育动员会



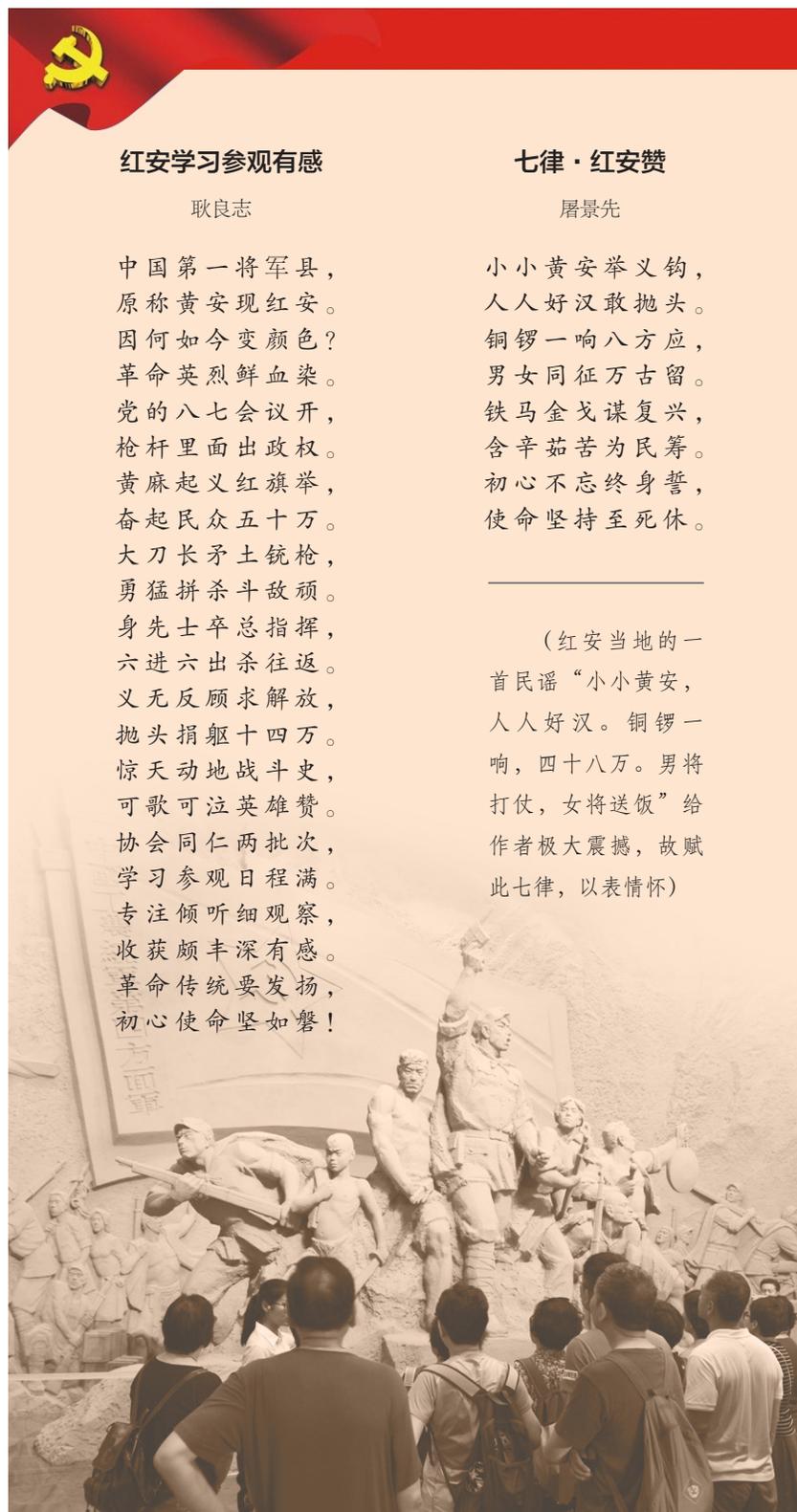
动员会由党支部书记王黎明主持，常务副理事长毛子锋传达了参加国资委和中机联党组织相关会议的精神，指出“不忘初心、牢记使命”主题教育是以党中央统揽全局作出的重大部署，要求全体党员深刻认识其重大意义，认真把握相关要求，积极参与相关活动，反对形式主义。王黎明书记进行了动员，介绍了机床工具协会相关部署方案的总体要求和目标任务，要求全体党员，特别是党员干部要认真贯彻“守初心、担使命、找差距、抓落实”的总要求，并要达到“有收获、受洗礼、敢担当”的总体目标。党支部副书记耿良志对具体活动安排进行了部署，明确要完成好几大重点任务：全面深入开展学习教育、认真开展调查研究、讲专题党课、检视剖析问题、切实抓好整改落实、召开专题组织生活会等。

按照“不忘初心、牢记使命”主题教育相关部署，党支部组织全体党员开展了“不忘初心，牢记使命，缅怀先烈，传承革命精神”教育活动，分两批赴湖北红安接受革命传统教育，旨在提高党员群众爱党爱国热情，增强责任感和事业心，自觉肩负使命重任，最终使每一位员工都能立足岗位，勇于担当，干好本职工作。

短暂行程中，安排了多项教育活动，王黎明书记和毛子锋常务副理事长分别讲了专题党课，全员参观了黄麻起义和鄂豫皖苏区纪念馆，为革命烈士敬献了花篮，重温了入党誓词，参观了辛亥革命纪念馆，参观了长胜街革命遗址群及苏维埃工会、苏维埃银行、列宁小学、七里坪革命纪念馆等，参观了董必武、李先念、秦基伟的故居。机床工具协会职工群众积极参加了上述活动，并表示很受教育，加深了对革命先烈的了解和崇敬，加强了对待本职工作的责任感和使命感，并将更加积极主动参与“不

忘初心，牢记使命”主题教育的各项活动中，以更高的革命热情和创新的革命精神完成各项工作任务。

红安学习参观后，协会党支部副书记耿良志和市场部主任屠景先有感而发，创作了诗歌作品，在此一并发布，供大家赏析。



红安学习参观有感

耿良志

中国第一将军县，
原称黄安现红安。
因何如今变颜色？
革命英烈鲜血染。
党的八七会议开，
枪杆里面出政权。
黄麻起义红旗举，
奋起民众五十万。
大刀长矛土铳枪，
勇猛拼杀斗敌顽。
身先士卒总指挥，
六进六出杀往返。
义无反顾求解放，
抛头捐躯十四万。
惊天动地战斗史，
可歌可泣英雄赞。
协会同仁两批次，
学习参观日程满。
专注倾听细观察，
收获颇丰深有感。
革命传统要发扬，
初心使命坚如磐！

七律·红安赞

屠景先

小小黄安举义钩，
人人好汉敢抛头。
铜锣一响八方应，
男女同征万古留。
铁马金戈谋复兴，
含辛茹苦为民筹。
初心不忘终身誓，
使命坚持至死休。

（红安当地的一首民谣“小小黄安，人人好汉。铜锣一响，四十八万。男将打仗，女将送饭”给作者极大震撼，故赋此七律，以表情怀）

第二届“全球制造业与工业化峰会” 在俄罗斯叶卡捷琳堡举行

中国机床工具工业协会 王黎明

由阿联酋能源和工业部与联合国工业发展组织共同倡议的第二届“全球制造业与工业化峰会”（GMIS）于当地时间7月9~11日在俄罗斯叶卡捷琳堡成功举行。应俄罗斯工业和贸易部和峰会组委会邀请，中国工业经济联合会组织由执行副会长兼秘书长熊梦为团长的共40人组成的工业代表团参会，中国机床工具工业协会应邀派代表参团。

GMIS峰会致力于打造一个凝聚智慧、分享制造业领域最新最佳实践并展现颠覆性创新思路，为塑造制造业未来开展前沿顶尖对话的高端国际平台。针对具备全球视野、关注制造业变革与前沿发展趋势的各国制造业与工业界精英进行定向邀请。本届峰会以“自然启发技术”为主题，搭建一个多利益攸关方平台，旨在通过汇集政府、企业和社会组织的领导者，就制造业的未来建立全球共识。共有来自53个国家和地区的政府官员、行业组织、知名企业的代表、专家、学者近3000人应邀参会。

俄罗斯总统普京专程从约1700公里以外的莫斯科赶来为大会致辞，普京强调了制造业的重要性及其对全球



俄罗斯联邦总统普京致辞



繁荣和俄罗斯第四次工业革命的贡献。呼吁在工业发展过程中关注环境保护，采用科学的方法，实现人与自然的和谐发展。并表示此方面应加强国际合作，俄罗斯有很多的资源，愿为此付出努力。



工发组织总干事李勇



德米特里·科扎克



Denis Manturov



Suhail Al Mazrouei

在官方主旨会议“制造业的新时代：制造业、自然启发技术及其在2030年可持续发展议程中的作用”上，工发组织总干事李勇表示，“第四次工业革命的巨大增长潜力与相应的挑战同时存在，比如高收入国家和发展中国家不断扩大的技术差距。‘全球制造业与工业化峰会’对于我们的讨论十分重要，有助于我们促进全球包容及可持续工业发展，从而实现可持续发展目标。”

演讲嘉宾还有：俄罗斯副总理德米特里·科扎克、俄罗斯联邦工业与贸易部部长Denis Manturov、穆巴达拉投资集团CEO Khaldoon Al Mubarak、阿联酋能源和工业部部长兼全球制造业与工业化峰会联合主席Suhail Al Mazrouei等。

Mazrouei表示，“根据第四次工业革命技术带来的创新，阿联酋正在推动制造业的转型，积极致力于为后石油时代做准备。同样，俄罗斯决定利用第四次工业革命技术发展其先进制造业，使其成为2019年制造业与

工业化峰会的东道国。普京总统的出席也强调了峰会作为全球协作平台对于全球经济发展的重要性。”

“全球制造业和工业化峰会”为期三天，设一个主会场和四个分会场，分别交流和讨论制造业不同领域的议题。与会代表可根据本专业关注的领域参与不同议题的交流和讨论。中国机床工具工业协会数控系统分会秘书处所在单位武汉华中数控股份有限公司副总经理王雪松在主会场做了交流发言，围绕峰会的“工业自动化的安全、安保和网络发展新兴趋势和考虑”议题，介绍了中国机床数控系统最新产品及技术的发展情况和中国数控机床互联互通协议标准（NC-Link）制订工作方面取得的新进展。会议关注到万物互联、设备互联互通，指出必须关注网络安全问题，立法工作要走在前面，各国都在制订或已颁布网络安全法。要充分认识到，新技术的使用带来的责任、任务和风险，在标准跟上的同时，必须要负责任并加强防范措施和安全意识。

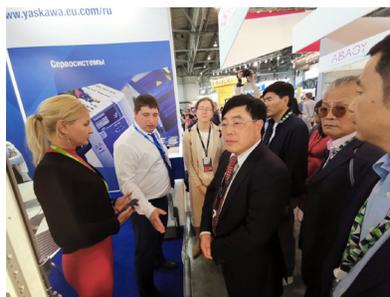
在主会场和各分会场就“制造低碳未来，创造全球能源可持续性”、“未来城市—第四次工业革命与智能化”、“可持续和包容性城市”、“3D打印真实的演变历程”、“亚洲制造—现在与未来”、“人工智能制造业：工作，工业5.0，学习和以人为中心的自动化的未来”等议题中方代表都参与了交流和讨论。



华中数控王雪松发言



峰会期间还举办了国家创新工业展览会INNOPROM，这是一个自2010年开始的年度工业贸易展，使用总面积约3万平方米，展品涵盖制造业各领域，与机床工具行业相关的除俄罗斯本土企业外，西门子、发那科、马扎克、日本大隈、特固克、格里森、伊斯卡、中国台湾上银、安川、库卡等知名企业参展。



讨，是跳出本行业的一次头脑风暴，是一次难得的学习交流机会，代表团成员均感到收获满满。



第二届GMS峰会重点围绕仿生技术、人工智能、3D打印、循环经济、智能制造、人机互动、工业物联网等制造业前沿热点议题开展专题研

2019年“全球制造业与工业化峰会”就第四次工业革命进行了高层探讨。全球制造业人士聚集于此，旨在预测科学的未来、引发技术转型、促进持久的伙伴关系，并激励未来的领导者和创新者为全球繁荣制定路线图，推进可持续发展目标。 □

机床工具协会工具分会召开常务理事会议 正确研判市场形势

中国机床工具工业协会工具分会八届一次常务理事会议于2019年6月29日在浙江省金华市召开，机床工具协会监事长王旭应邀出席会议，当地政府代表以及工具分会22家常务理事单位的主要负责人参会。工具分会当值理事长、上海工具厂有限公司萧伟锋总经理主持会议并致词。会议承办方之一的浙江汤溪工具制造有限公司董事长胡永余致欢迎辞。



自2018年下半年以来，工具行业市场销售增幅回落，2019年1~5月经济指标低位运行，本次会议的主要议题是正确研判市场形势，交流当前形势下各企业结构改革、转型升级和资源整合的思路和经验。

王旭通报了国家及机床工具行业经济运行情况，介绍了总会最近的各项工作安排，并对工具分会的工作给予了高度评价，工具分会曾多次被总会评选为先进分会。

分会秘书长查国兵向常务理事会汇报了2019上半年的主要工作，秘书处报告了2018年和2019年1~5月工具行业经济运行情况。根据工具分会统计报表显示，2018年刀具小行业持续增长，总体呈现前高后低（15%~8%）态势，出口增长率逐步走低（41%~5.4%），2019年一季度出现负增长（-4.5%），出口同比大幅下降（-15.2%）。量具小行业2018年逐步走高（7%~20%），出口快速增长（16.1%~19.6%），2019年一季度继续保持增长（22%），出口增长率创新高（29.2%）。

与会常务理事进行了充分交流，会议认为：随着3C、汽车和模具行业的下行，刀具出现负增长，硬质合金刀具下降较多，高速钢刀具相对稳定，估计下半年市场销售还

会有所下降，因产能过剩和上游价格下降的原因，硬质合金刀具的价格可能还要走低。

工具行业需正确分析和对待新形势为企业带来的挑战和机遇，如中美贸易摩擦使国内用户（特别是军工和航空航天）的国产化进程加快为国内工具企业带来机遇，各企业应做好产品的转型升级，对信息、技术、研发、工艺进行梳理，并在优化工艺和产品性能延伸方面做好工作，推动品质提升。

企业之间应该加强合作，在市场中找准自身定位，发挥各自的优势；在行业细分领域下功夫，围绕产品细分做精做专，向特色化、专业化方向发展，避免同质化竞争。

这几年，随着我国制造业的技术进步和技术改造步伐加快，工具行业的生产制造能力、创新能力和服务能力有了很大进步。工具产业的转型升级正在面临突破，进口品牌仍占据我国高档工具市场很大的份额，替代进口仍然是行业高端产品发展的主要方向之一。中国要从制造大国走向制造强国，必须要有强大的工具产业作为支撑，工具行业具有广阔发展前景。

会议认为，常务理事单位是工具行业各细分产品领域的榜样企业，各单位要做好自己的事情并带动行业发展，要有信心应对形势变化。在低位时应苦练内功，加强合作，进行资源优化和整合，做好迎接新一轮增长准备。

（工具分会秘书处）

全国特种加工机床标委会换届并召开六届一次会议

2019年6月27~28日，全国特种加工机床标准化技术委员会（SAC/TC161，以下简称特标委）换届大会暨六届一次会议在苏州召开。来自国家、地方、行业的标准化行政主管部门及特标委秘书处承担单位的领导、特标委委员、标准起草单位代表及特邀专家共68人参加了会议。会议由第六届特标委主任委员吴强主持。



秘书处承担单位苏州电加工机床研究所有限公司总经理吴国兴致欢迎辞，向大家介绍了特种加工行业组织、工作情况及所在企业相关情况。苏州市市场监督管理局局长王庆焯在致辞中介绍了苏州工业经济形势和各领域的标准化工作情况，强调制造业是国民经济的主体和强国基础，制造业标准化更是产业发展和质量提升的关键。他表示，作为规上工业总产值列全国第二的苏州，将继续加大标准化工作的投入，推动苏州国民经济及相关产业的高质量发展。

国家市场监督管理总局标准技术管理司巡视员、原国家标准化管理委员会副主任殷明汉出席会议并讲话，通报了当前国家标准化工作的进展及所取得的成果，以“重视、改革、发展、管理”为主题，向大家分析了我国标准化工作所面临的机遇和挑战，并对新一届特标委工作提出了建设性意见，希望特标委围绕“扎实推进改革、加快国际接轨、严格标委会运行管理和加强标委会未来发展”等方面，开展标准化工作，为行业转型升级和装备制造业质量提升做出更大的贡献。

中国机械工业联合会标准工作部主任谭湘宁、中国机床工具工业协会行业标准化主管胡瑞琳分别讲话，他们向第六届特标委的成立表示了祝贺，并对第五届特标委和秘书处承担单位为行业标准化工作所做出的贡献表示了感谢，还对特标委下一步的工作提出了指导性意见。

国家市场监督管理总局标准技术管理司装备与材料标准处处长孙旭亮宣读了国家标准化管理委员会关于批准全国特种加工机床标准化技术委员会换届的公告，公布了由全国特种加工行业的电火花加工、电解加工、激光加工、增材制造（3D打印）装备制造企业，科研院所、高等学校、检测机构及特种加工装备应用企业等单位的54名委员组成的第六届技术委员会全体委员名单。

新任特标委主任委员吴强在发言中表示，新一届特标委一定充分发挥专业技术和组织协调能力，做好标准制修订、标准宣贯实施、标准课题研究、标委会组织建设等各项工作，圆满完成上级下达的任务，推动特种加工机床行业标准化工作再上新台阶。

会议期间，特标委副主任委员赵万生作了专题技术报告，秘书长王应作了特标委第五届工作总结和第六届工作计划报告并提请全体委员审议，全体委员还对五项行业标准送审稿草案进行了审查，并提出了具体的修改意见。本次会议应到委员54人，实到委员及委托代表53人，符合相

关要求和规定。经与会委员举手表决，五项标准送审稿均一致通过。

全国特种加工机床标准化技术委员会成立于1990年，至今已走过了29个春秋。第六届特标委是在国家机构改革和标准化工作改革的大背景下成立的，委员数量更多、结构更趋合理，相信新一届委员会能够给特种加工机床领域的标准化工作带来新的生机和活力，开启特种加工机床标准化工作的新篇章。

（特标委秘书处）

上半年我国汽车产销整体低位运行 全年或负增长

中国汽车工业协会最新统计数据显示，2019年6月，我国汽车产销189.5万辆和205.6万辆，环比增长2.5%和7.5%，同比下降17.3%和9.6%。其中，乘用车环比增速高于行业，商用车继续下降。主要运行特点有：汽车销量降幅有所收窄、乘用车产销量降幅小于汽车总体、商用车产销同比下降、皮卡车产销量同比下降、新能源汽车同比高速增长、中国品牌乘用车市场份额下降、前十企业销量同比下降、汽车出口降幅收窄、重点企业经济效益增速低于同期、摩托车产销高于上年同期、摩托车出口同比继续下降。

2019年上半年，我国汽车产销1213.2万辆和1232.3万辆，同比下降13.7%和12.4%，销量降幅比1~5月略有收窄。

从上半年产销情况来看，汽车产销整体处于低位运行，市场消费动能受“价格促销”等因素影响不明显，消费者观望情绪未有改善。中汽协表示，上半年产销完成情况低于预期，加之7、8月又进入传统汽车销售淡季，因此，三季度汽车市场压力也将进一步增大，预计全年总体将呈现负增长。

上半年，新能源汽车产销61.4万辆和61.7万辆，同比增长48.5%和49.6%，增速比1~5月有所提升，与上年同期相比，增速回落依然明显。在新能源汽车主要品种中，纯电动汽车和插电式混合动力汽车产销增速均比上年同期明显回落。

上半年，我国汽车企业出口48.8万辆，比同期下降4.7%。分车型看，乘用车出口32.8万辆，同比下降12.2%；商用车出口16万辆，同比增长15.5%。

（来源：中国汽车工业协会）

不忘“机械制造”初心 普什宁江成功承办供需对接会

6月24日，以“绿色制造 智能发展”为主题的“2019年成都市智能制造推介&供需对接会”（机械装备专场）在四川普什宁江机床有限公司成功举办，该会议由成都市经济和信息化局指导，成都市机械行业协会主办，普什宁江机床承办。



会议特别邀请了中国工程院院士谭建荣、四川大学机械工程学院教授殷国富、工业大数据应用技术国家工程实验室首席科学家邢镛等嘉宾进行主旨演讲，对我国企业如何更好地向智能化转型引领方向；特别邀请了北京兰光创新科技有限公司总经理朱铎先、四川普什宁江机床有限公司总工程师刘雁等行业企业专家，分享了各自的研发成果。来自全国各地智能制造系统解决方案供应商、制造企业以及相关媒体的260余名代表参会，表达了对智能化制造转型升级的关注和关切。

四川普什宁江机床有限公司总经理姜华表示，普什宁江机床作为成都市机械行业协会的会长单位，有义务也有责任积极响应政府号召，一定尽心打造一个良好的企业对接平台，为成都市机械制造业的提档升级添砖加瓦。

齐重数控与广州数控合作共建实验室

6月15日下午，广东黑龙江对口合作及经贸交流座谈会在哈尔滨举行，座谈会后举行了两省对口合作项目签约仪式。在广东省委副书记、省长马兴瑞，黑龙江省委副书记、省长王文涛的见证下，齐重数控装备股份有限公司董事长王俊峰与广州数控设备有限公司董事长何敏佳签署了战略合作协议。



双方签约共建“重型数控机床系统国产化及智能化重点实验室”，将主要致力于智能制造技术研发及产业化，旨在大力推进制造业转型升级和数控系统国产化进程，使国产数控系统在重型机床领域得到广泛应用，达到国内示范引领作用。

双方共同建立的该重点实验室，将实施国产数控系统及功能部件在重型数控机床上的应用项目和智能化刀库系统研究项目，合作推进制造业转型升级和数控系统国产化进程。在此合作基础上，双方未来将继续探讨共建智能机床研究院这一战略性合作平台，开展长期合作，在装备制造行业互利共赢、携手发展，实现用中国装备装备中国制造的目标。

德国斐博来普乐与青岛力鼎自动化战略合作发布会在沪举办



2019年7月2日，德国斐博来普乐科技公司（FLT）与青岛力鼎自动化战略合作发布会在中国上海举行。本次发布会特别邀请中国机床工具工业协会代表、行业知名专家出席，同时获得了来自航天、航空、汽车、轨道交通等领域的百余位客户高层代表和国内外机床、刀具、夹具、检测、机器人等30多家资源伙伴代表的现场支持。

活动现场，青岛力鼎自动化董事长刘宗毅发表致词，FLT德国销售负责人、中国事务专家ALEX和FLT中国区负责人韩雪松先生，力鼎自动化副总工程师付焕清先生介绍了双方公司及产品情况，来宾们共同见证了该项合作的启动仪式。

此次合作，旨在加强双方高层次合作、优势互补、积极主动适应行业发展新形势、携手加快目标市场开发。以此为契机，着力构建信息共享、互利双赢的新平台，进一步深化合作与交流，打开携手共进、合作共赢的新局面。双方依据各自企业覆盖范围和专精的业务领域，根据客户的需求，结合具体项目特点，积极服务中国市场。

德国埃斯维新工厂在永川开业

2019年6月25日，德国埃斯维机床有限公司（SW公司）在重庆永川举办了开业庆典，正式宣布SW重庆公司成立。这是SW集团全球第三家海外工厂，也是继苏州工厂、北京办公室后，又一次深耕中国市场、贴近本地用户的举措。中国机床工具工业协会秘书长王黎明到会祝贺，表达了对SW公司立足长远，对中国经济发展长期向好大趋势的总体判断，坚定投资中国市场的肯定。并希望在今后的日子里，SW公司能为中国用户提供更多、更新、更好的产品和服务，加强与中国机床工具行业企业的交流与合作。

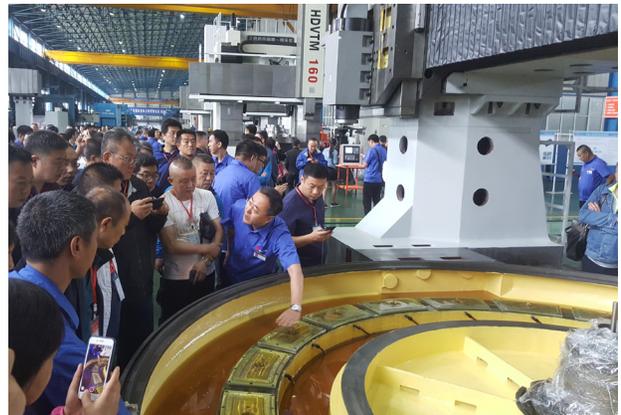
SW重庆工厂占地约3000平方米，包括办公室、车间、展厅等，可以为用户提供销售、机床交钥匙生产、试切、服务、备件、培训等多方面服务。



齐重数控举行开放日暨智能机床研究院揭牌仪式

6月28日，齐重数控装备股份有限公司“融合共赢，智造未来”开放日暨黑龙江智能机床研究院揭牌仪式在齐重数控举行。

来自全国各地近120家用户和代理商的代表，实地参观了齐重数控研发中心、电气与智能化技术实验室、生产车间等地，了解公司全貌和新产品研制情况。通过开放日的沟通和交流，大家对齐重数控有了更加全面直观的认知和了解，看到了齐重数控员工队伍的精神风貌，对齐重数控在国内同行中的优势和技术特色表示肯定，并认为一些领先技术可以与国外先进技术抗衡。齐重数控在产品运维、远程监管和服务跟踪等方面，努力为客户提供优质服务，并在许多老设备上做增产，这些举措得到用户赞赏，也增强了今后进一步合作发展的信心。



齐重数控首开先河在黑龙江省建立智能机床研究院，并在开放日当天为研究院揭牌。该研究院的建立准确定位于振兴东北老工业基地、深化区域高档数控机床研究、实现数控机床产品发展及战略转型。未来，齐重数控将联合全国先进制造企业和科研院所，进一步整合科技创新资源，开展产业共性关键技术研发、科技成果转化和产业技术服务，力争突破高端智能机床及数控系统等核心产品依赖进口的瓶颈，解决国产机床智能化进程中“卡脖子”问题，为我国装备制造业整体水平提升做出应有贡献。

禹衡光学“高分辨力角位移传感器研制及产业化”项目通过中期验收

2019年7月5日，科技部高技术研究发展中心组织专家组对长春禹衡光学有限公司承担的“高分辨力角位移传感器研制及产业化”（2017YFF0105300）项目进行了现场中期检查，认定禹衡光学的项目管理有序，资金使用合理并发挥了“两组一委”的作用，完成了项目中的全部要求，通过验收。



该项目是禹衡光学承担的第三个国家级科研专项任务，前两个分别是“高精度、高分辨力绝对式光栅旋转编码器研制”和“高集成化单码道绝对式光栅尺研发及产业化”，都已顺利完成。本项目联合中科院长春光学精密机械与物理研究所、吉林大学、长春理工大学、沈阳新松机器人自动化股份有限公司和沈机集团昆明机床股份有限公司共同承担，执行期为2017年7月至2020年6月。

禹衡光学按照项目要求完成开发出具有自主知识产权、质量稳定可靠，应用于精密仪器仪表的位置反馈、位置检测、自动控制、伺服等系统产品，基本参数达到：角度测量分辨率（分辨力）28位、精度（准确度）1.07"、封装尺寸 $\phi 100\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 、刷新频率 $\geq 8\text{ kHz}$ 、抗冲击能力 $\geq 60\text{g}$ 、平均故障间隔时间 $\geq 20000\text{h}$ 。公司严格执行科技部高技术研究发展中心要求，保障了项目的有序实施。



至项目中期，形成技术专利13项、论文7篇、软件著作权1项、技术标准5项，研制出了高精度角位移传感器，形成了小批量工程化生产能力，并进行了系列化产品研发。

品牌故事，钻石闪耀

——株洲钻石成功举办重点用户开放日活动

2019年6月26~28日，株洲钻石切削刀具股份有限公司成功举办“品牌故事，钻石闪耀”重点用户开放日活动，株洲钻石总经理李屏、副总经理李勋、技术总监汤爱民等公司领导以及重点用户代表、行业媒体代表等百余人参加开放日活动，市场部长吴杨勇主持会议。

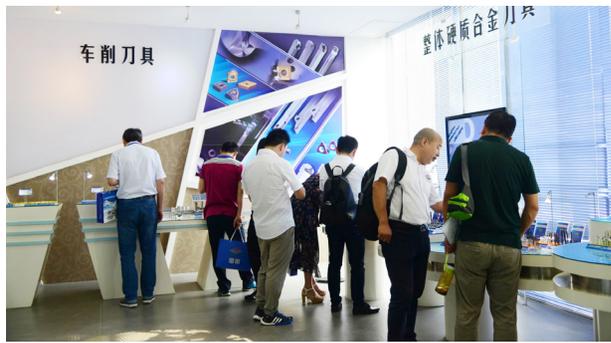


株洲钻石自2001年创办以来，始终坚持以“振兴中国刀具”为己任，始终贯彻“科技兴企”的发展思路，实现了从无到有、从小到大、从弱到强，2018年公司营业收入超过17亿元，已成为中国硬质合金刀具工业的龙头企业。立足国内市场的同时，株洲钻石于2006年成立欧洲、美国全资子公司，总部分别位于德国杜塞尔多夫市及美国密歇根州，全面开拓海外市场业务。2018年株洲钻石收购德国HPTec公司，2019年5月株洲钻石欧洲公司在德国杜塞尔多夫市成立切削演示技术中心，为欧洲用户提供定制化的解决方案、产品性能测试、定向技术培训、新产品研发等服务，拓宽全球发展战略。

李屏总经理在致辞中表示，只有贴近市场，以客户为友，以客户为伴，公司才能够进一步发展壮大。举办开放日活动，一方面让客户更好的了解株洲钻石，另一方面也让株洲钻石了解客户所需、所想，并以此为工作目标，努力满足客户需求。中美贸易摩擦告诉我们，生产出满足重点用户领域需要的全方位高效切削刀具，既是重点用户企业的迫切需要，也是国产刀具生产企业的重要使命。深化与重点用户企业的合作，扩大国产刀具的市场份额是株洲钻石既定的发展战略。株洲钻石愿与客户构建战略伙伴关系，全力为客户提供技术支持和配套解决方案。



近年来，株洲钻石先后承担国家“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项9项，合作参与课题33项，课题涵盖了航天、军工、模具、汽车、高速铁路、能源等多个领域，取得了一系列自主知识产权研究成果，大部分成果成功实现了产业化。



株洲钻石技术总监汤爱民向与会代表介绍了切削刀具行业发展趋势及最新技术，株洲钻石技术服务部长王羽中介绍了株洲钻石先进刀具应用技术及解决方案。目前，株洲钻石在汽车、航空、能源、轨道交通、模具、电子信息等行业可为用户提供完整的解决方案，并拥有数控刀片、整体刀具、数控刀具、传统刀片和超硬刀具等多条生产线，向世界级刀具综合供应商阔步迈进。

某重点用户代表在发言中介绍说，2016年以前公司硬质合金刀具90%都是国外品牌产品，株洲钻石占比不到6%。2017年公司与株洲钻石签署了直供协议，三年来紧密合作，采购份额从5.8%上升到33%，采购额排名从第5名上升到第1名。双方共推进了刀具优化35项，优化成功32项。经长期使用验证，株洲钻石产品在性价比上相较欧美、日韩品牌提升20%以上，降低刀具消耗成本年均3%，在工艺改进和技术攻关上帮助企业实现了重大突破。为了维护民族工业的健康发展，助推民族品牌“备胎转正”，响应国家品牌强国战略，双方的未来合作将会更加紧密、

更加宽广。

开放日期间，与会代表进行了多场技术交流活动，并参观了株洲钻石数控刀片及整体生产线。

重点用户代表表示，他们平时在企业忙于生产，很少有机会了解到先进切削刀具技术的发展及应用情况，通过此次开放日活动受益匪浅，加深了对国产刀具品牌和技术认识，并表示今后将加大力度与国产刀具企业开展更加深入的合作。

亚威股份深耕菲律宾市场并屡有斩获

6月20日，江苏亚威机床股份有限公司迎来了菲律宾独家代理商MESCO的老朋友，这是MESCO时隔三年再次组织大型代表团到亚威参观，共有来自菲律宾全国各地的亚威新老客户33人。



亚威东南亚市场销售经理尤海为代表团介绍亚威公司，从多方面详细介绍了亚威的基本情况、经营业绩、业务发展以及未来规划，客户们对亚威有了更深入的了解。随后，客户代表们参观了亚威工厂，对亚威激光生产车间以及自动化设备生产线表示出了强烈兴趣，认真询问产品的技术细节，了解与同行产品的比较优势。MESCO公司领队Regel先生表示，亚威和MESCO都是于1956年建立，公司文化也非常相近，自双方合作以来每年的销售业绩都稳步增长。从今年起，MESCO会投入更多的人力与物力，同亚威一道进一步大力开拓菲律宾钣金加工设备市场。

作为和中国隔海相望、一衣带水的邻国，菲律宾和中国的传统友谊源远流长，在“一带一路”倡议加持下，中菲经贸合作更加深入。经过亚威和菲律宾代理商多年深耕，亚威产品凭借过硬的品质以及良好的性价比，在菲律宾市场已经具有很高知名度，不断向高端市场发起冲击并屡有斩获。

2019年上半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

一、上半年行业运行情况

以下根据国统局规模以上机床工具行业企业（以下简称“规上企业”）统计数据、海关进出口数据和协会重点联系企业统计数据，简要介绍今年上半年机床工具行业的运行情况。

规上企业指年营业收入2000万元以上的工业法人企业。2019年6月机床工具行业规上企业共5547家，涉及八个分行业。其中金属切削机床782家、金属成形机床540家、工量具及量仪705家，这三个分行业企业总数占比为36.5%。磨料磨具分行业1840家，占比最大，为33.2%。

2019年6月中国机床工具工业协会重点联系企业有243家，其中金属切削机床行业125家、金属成形机床行业26家、工量具行业34家。这三个分行业占比76.1%。磨料磨具23家，占比9.5%。协会重点联系企业总体样本不大，且其中新兴民营企业比例较小，因而与国统局规上企业统计数据会有一定差异。

2019年1~6月的主要经济指标完成情况如下。

1. 营业收入

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业1~6月累计完成营业收入同比降低2.3%。其中金属切削机床行业1~6月累计完成营业收入同比降低15.4%。金属成形机床行业1~6月累计完成营业收入同比降低1.7%。工量具及量仪行业1~6月累计完成营业收入同比降低0.2%。



图1 机床工具行业营业收入月度完成及同比变动情况 (国统局)

协会重点联系企业1~6月累计完成主营业务收入同比降低17.6%。其中，金属切削机床行业累计完成主营业务收入同比降低33.5%。金属成形机床行业累计完成主营业务收入同比降低2.6%。工量具行业累计完成主营业务收入同比增长1.9%。

2. 利润总额

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业1~6月累计实现利润总额同比降低20.9%。其中金属切削机床行业累计实现利润总额同比降低67.8%。金属成形机床行业累计实现利润总额同比降低13.7%。工量具及量仪行业累计实现利润总额同比降低21.4%。

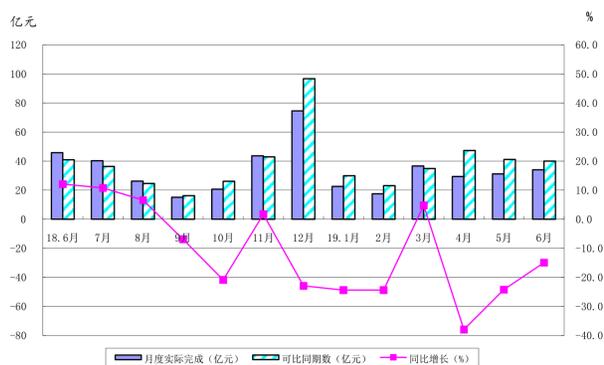


图2 机床工具行业月度利润总额完成及同比增长情况 (国统局)

协会重点联系企业1~6月累计实现利润总额同比降低87.8%。其中金属切削机床行业累计实现利润总额-12.1亿元，上年同期为+4.8亿元。金属成形机床行业累计实现利润总额同比降低17.6%。工量具行业累计实现利润总额同比降低12.4%。

3. 金属加工机床产量

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业1~6月累计，金属切削机床产量同比下降10.3%，其中数控金属切削机床产量同比下降24.4%。金属成形机床产量同比下

降5.1%，其中数控金属成形机床产量同比下降3.2%。

协会重点联系企业1~6月金属切削机床产量同比下降29.4%，其中数控金属切削机床产量同比下降30.6%；金属成形机床产量同比下降14.4%，其中数控金属成形机床产量同比下降1.9%。

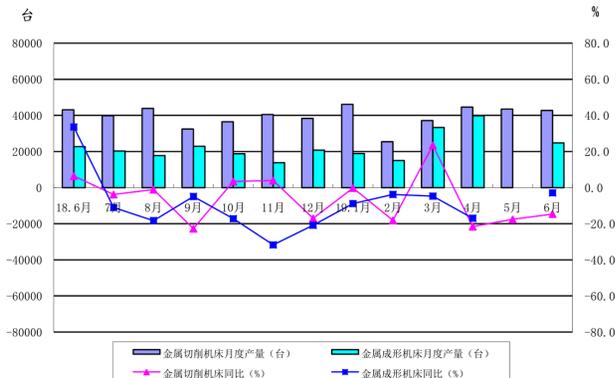


图3 金属加工机床月度产量及同比变动情况（国统局）

4. 亏损企业比例

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业5547家规上企业中，亏损企业1033家，亏损面为18.6%，比上年同期扩大2.8个百分点。其中金切机床行业亏损面最大，为27.7%，比上年同期扩大7.4个百分点。

协会重点联系企业6月亏损企业占比为38.3%，同比扩大10.3个百分点。其中金属切削机床行业为43.2%，同比扩大4.8个百分点；金属成形机床行业为46.2%，同比扩大23.1个百分点。

5. 产成品库存

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业6月末产成品存货同比增长3.4%。其中，金属切削机床行业产成品存货同比增长4.1%。金属成形机床行业产成品存货同比降低3.3%。工量具及量仪行业产成品存货同比增长7.0%。

协会重点联系企业1~6月产成品存货同比增长7.0%。其中，金属切削机床同比增长3.3%，金属成形机床同比下降12.3%。工量具产成品存货同比增长17.1%。

6. 金属加工机床订单情况

协会重点联系企业1~6月金属加工机床新增订单同比下降38.8%，在手订单同比下降16.9%。其中，金属切削机床新增订单同比下降42.6%，在手订单同比下降15.6%；金属成形机床新增订单同比下降28.5%，在手订单同比下降19.7%。

二、进出口情况

根据中国海关提供的数据，2019年1~6月机床工具行

业进口总额为69.5亿美元，同比下降20.6%。其中金属切削机床进口总额30.3亿美元，同比下降31.5%；金属成形机床进口总额7.9亿美元，同比下降4.5%。2019年1~6月机床工具行业出口总额为70.3亿美元，同比增长9.2%。其中金属切削机床出口总额14.2亿美元，同比增长12.1%；金属成形机床出口总额7.4亿美元，同比增长25.0%（详见表1）。

表1 2019年1~6月机床工具行业及部分分行业进出口情况

项目	出口金额 (亿美元)	同比 (%)	进口金额 (亿美元)	同比 (%)
机床工具总计	70.3	9.2	69.5	-20.6
金属加工机床合计	21.6	16.7	38.2	-27.2
金属切削机床	14.2	12.8	30.3	-31.5
金属成形机床	7.4	25.0	7.9	-4.5
工量具	15.4	3.7	9.4	-2.2
磨料磨具	12.3	-1.2	3.0	-21.4

2019年1~6月机床工具行业进出口在历史上首次出现顺差。从数据来看，主要原因是出口增加和进口减少。出口增加反映出行业积极开拓国际市场长期努力的结果，进口减少主要与国内需求下降有较大关系，可能也有其它原因。但同时应看到，各分行业情况不同，工量具和磨料磨具行业为顺差，金属加工机床（包括金属切削机床和金属成形机床）则仍为逆差。

1. 进口情况

主要产品进口情况见表2。

表2 主要产品类别的进口情况

序号	产品类别	进口金额 (亿美元)	同比增长 (%)
1	金属加工机床	38.2	-27.2
	其中：金属切削机床	30.3	-31.5
	金属成形机床	7.9	-4.5
2	机床功能部件（含零件）	8.0	-22.5
3	数控装置	7.8	5.53
4	切削刀具	8.5	-0.5
5	量具量仪	0.9	-13.6
6	磨料磨具	3.0	-22.7

进口金额情况见表3。

表3 进口金额排前5名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)	占比 (%)	同比 (%)
1	加工中心	11.2	29.3	-44.3
2	磨床	5.3	13.8	-18.2
3	特种加工机床	4.9	12.8	-28.7
4	车床	3.3	8.7	-16.2
5	其他金属成形机床	2.2	5.8	7.8

从表2、表3可见，所列各类别和品种中，只有数控装置进口为增长，其余均为下降。表明我国装备制造业自动化、智能化升级对数控装置需求增长较快。

2. 出口情况

主要产品类别的出口情况见表4。

表4 主要产品类别的出口情况

序号	产品类别	出口金额 (亿美元)	同比增长 (%)
1	金属加工机床	21.6	16.7
	其中：金属切削机床	14.2	12.1
	金属成形机床	7.4	25.0
2	机床功能部件（含零件）	6.0	-4.4
3	数控装置	5.9	26.2
4	切削刀具	14.5	4.3
5	量具量仪	0.9	-5.5
6	磨料磨具	12.3	-1.2

出口金额情况见表5。

表5 出口金额排前5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)	占比 (%)	同比 (%)
1	特种加工机床	5.4	25.0	15.2
2	车床	2.6	12.0	-5.6
3	其他金属成形机床	2.4	11.1	36.9
4	成形折弯机	1.6	7.6	11.4
5	加工中心	1.1	5.3	23.7

三、行业运行主要特点

1. 行业运行总体下行

国统局和协会重点联系企业统计数据均显示，2019年上半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均同比下降。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呈同比下降趋势，且降幅逐月扩大，预示着下半年金属加工机床分行业的运行压力很大。

目前行业下行的主要原因之一是近年来固定资产投资增速过低。今年上半年宏观经济下行压力加大，汽车、摩托车、内燃机、农机、通用机械制造业等行业主要用户领域的下行，也是造成机床工具行业上半年下行的直接影响因素。

另一方面，2019年机床工具行业主要经济指标低点起步，并在1~6月份一直处于同比降低状态，与基期数据水平有关。作为对比的基期，2018年1~4月份机床工具行业

处于较快增长区间，5、6月份稍有回落，但仍处于高位运行状态。2018年下半年持续下滑，并且这一趋势一直延续至2019年上半年。

2. 行业运行质量下降

国统局和协会重点联系企业统计数据均显示，2019年上半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。

3. 进出口情况出现波动

2019年1~6月机床工具全行业以及金属切削机床、金属成形机床分行业一直呈现出口总额同比明显增长，进口总额大幅下降趋势。在中美贸易摩擦的背景下，机床工具行业的出口增长成为今年上半年行业运行的一个突出亮点。进口总额的持续大幅度下降可能与国内市场需求变化等多种因素有关。

四、2019年下半年行业形势预判

从宏观层面看，7月制造业采购经理人指数为49.7%，比上月提高0.3个百分点，连续三个月低于荣枯线。7月30日中共中央政治局会议认为，当前我国经济发展面临新的风险挑战，国内经济下行压力加大。

汽车制造业是机床的最大市场。今年1~6月汽车制造业产销量比上年同期分别下降13.7%和12.4%。汽车产销量已经连续12个月同比下降，并且2019年全年预计将负增长。这对机床工具行业的市场需求将造成很大影响。

1~6月全社会固定资产投资同比增长5.8%，较1~5月加快0.2个百分点。其中制造业投资同比增长3.0%，较1~5月加快0.3个百分点，连续两个月回升。汽车制造业投资同比增长0.2%，由连续三个月的同比下降转为增长。

中美贸易摩擦、贸易保护主义抬头、地缘政治冲突、金融风险等因素对全球经济产生重大负面影响。

综合上述情况来看，机床工具行业下半年经济运行的下行压力加剧，但也存在相关行业固定资产投资回升，减税降费、降低企业社保收费比例，以及降低工业电价等利好因素。下半年机床工具行业总体上仍将保持需求持续升级态势，需求结构性变化明显，需求总量呈下行趋势，各分行业领域会表现不同。预计全年行业主要经济指标同比将呈现很大下降压力。

7月30日中共中央政治局会议指出，必须增强忧患意识，把握长期大势，抓住主要矛盾，善于化危为机，办好自己事。这对机床工具行业正确研判形势，做好下半年工作具有重要的指导意义。 □

工具行业17个月经济运行情况分析

(2018年1月~2019年5月)

中国机床工具工业协会工具分会

一、概述

得益于3C行业的快速发展和机器制造业在本轮经济复苏中的不俗表现,2017年我国工具市场的面貌焕然一新,工具行业连续四个季度保持了产销两旺的良好发展势头,销售收入同比增长率达到20%以上,出口也创下近年来新高,是历史上少有的好年景。进入2018年,延续2017年的高速增长态势,工具行业继续保持快速增长。随着3C行业原有需求减弱和汽车行业逐步下行,从2018年下半年开始,工具行业(主要是刀具小行业)的增速趋缓;到2019年前4个月,工具行业表现为高位盘整,稳中有降,下行压力大,出现负增长。

工具行业内刀具量具产品表现有所不同。2018年,刀具产品销售收入增长率逐步走低,上半年为两位数,下半年为个位数,出口增长率在2018年一季度达到41%峰值后快速走低。2018年,中国刀具市场消费总规模和国内刀具生产规模均超过2011年的最高点,创历史新高。出口刀具在2017年历史高点的基础上,2018年再创新高;进口品牌刀具2017年、2018年连续两年创新高。2019年一季度刀具产品销售收入出现负增长,出口大幅下降。

2017年,量具小行业总体情况不如刀具小行业,销售收入稳定保持10%~20%增长率,出口呈现一定起伏,尚不稳定。进入2018年,量具明显好于刀具,销售收入逐步攀升,四季度同比增长达到20%;2019年一季度,增长率继续攀升至22%。量具出口2018年保持同比两位数的快速增长;2019年一季度,增长率继续升至29.2%。

目前来看,量具继续保持增长,刀具出现负增长,硬质合金刀具降幅大于高速钢刀具降幅。前面两年刀具的旺盛需

求已经带来新一轮的产能过剩,需要引起行业的警觉。

刀具:

2017年:快速增长(增速稳定在20%),出口增长基本同步;

2018年:持续增长,前高后低(15%~8%),出口增长率逐步走低(41%~5.4%);

2019年一季度:出现负增长(-4.5%),出口大幅下降(-15.2%)。

量具:2017年:持速增长(20%~10%),出口起伏不定(-7.8%~+5.9%);

2018年:快速增长,逐步走高(7%~20%),出口快速增长(16.1%~19.6%);

2019年一季度:继续保持增长(22%),出口增长率创新高(29.2%)。

以下根据工具分会月报、季报和年报统计数据,对工具行业2018年1月~2019年4月经济运行情况做简要介绍,并参考国家统计局、中国海关和中国机床工具工业协会数据,同时结合上游相关兄弟协会、工具聚集生产区域数据以及国外刀具品牌的信息,对我国刀具市场消费规模、进出口做估算分析。

二、2018年会员企业经济运行情况年度统计汇总

注:相关数据中,括号内为2017年数据,由于年报参加统计的企业不完全相同,比例仅供参考,下同。

根据工具分会统计年报显示,91家会员企业2018年完成工业总产值1602720.42(1681157.5)万元,

同比增长-4.7%。其中,工具类产品产值1313302.63(1159825.5)万元,增长13.2%;工业销售产值1542820.32(1656775.0)万元,增长-6.9%,其中工具类产品销售产值1257762.87(1122385.3)万元,增长12.1%;产品销售收入1490510.75(1591446.3)万元,增长-6.3%;工业增加值595689.44(651088.2)万元,增长-8.5%。实现利税210521.45(219936.5)万元,增长-4.3%;实现利润总额128634.61(142095.0)万元,增长-9.5%(其中82家企业赢利,8家亏损企业中有3家企业的亏损额同比减少)。91家企业职工平均人数36297,减少3056人;全员劳动生产率(按工业增加值计算)164115(165448)元/人,增长-0.8%。

1. 会员企业主要经济指标完成情况

2018年工具分会会员企业主要经济指标完成情况见表1。

表1 2018年工具分会会员企业主要经济指标完成情况

指标名称	单位	年度累计
工业总产值	万元	1602720.42
其中:机床工具类产品产值	万元	1313302.63
工业销售产值	万元	1542820.32
其中:机床工具类产品销售产值	万元	1257762.87
工业增加值	万元	595689.44
实现利税	万元	210521.45
从业人员平均人数	人	36297
资产总计	万元	2980337.65
流动资产平均余额	万元	1570382.46
固定资产净值平均余额	万元	932361.64

2. 会员企业分类产品生产情况

2018年,工具分会参加年度统计的会员企业共生产各类刀具117055.63(107861.0)万件,比2017年增长8.5%;生产各类量具3365.75(3258.7)万件,比2017年增长3.3%;生产各类量仪58429(60558)台(套),比2017年减少3.5%。分类产品生产情况见表2。

表2 2018年工具分会会员企业分类产品生产情况

产品名称	价值量(万元)
刀具	1170901.39
高速钢刀具	543991.37
硬质合金刀具	518145.43
立方氮化硼刀具	25865.47
金刚石刀具	30020.18
工具系统及刀柄	27920.40
工具系统零配件	7119.82
其他	17838.80
量具	116890.02
量仪	25366.21

3. 会员企业分类产品出口情况

2018年,工具分会参加年度统计的会员企业共出口各

类刀具57946.9(52178.7)万件,比上年增长11.1%;出口各类量具1333.06(928.28)万件,比上年增长43.6%;出口各类量仪2240(3315)台(套),减少32.4%。分类产品出口情况见表3。

表3 2018年工具分会会员企业分类产品出口情况

产品名称	价值量(万美元)
切削工具	40946.74
高速钢刀具	29679.36
硬质合金刀具	9569.00
立方氮化硼刀具	472.38
金刚石刀具	625.70
工具系统及刀柄	327.36
工具系统零配件	38.65
其他	234.28
量具	4900.23
量仪	127.14

三、2018年及2019年一季度会员企业刀具量具销售及出口季度统计情况

1. 2018年及2019年一季度刀具销售收入季度统计情况

注:季度报表的对比数据中剔除了不可比的企业数据,属于可比的,下同。

2018年,工具分会参加季度统计的72家刀具生产企业共生产销售各类刀具114277.67万件,按可比口径比2017年增长4%;销售收入1095940.64万元,按可比口径比2017年增长8.4%。

根据分会季度报表统计,2018年刀具小行业销售收入各季度同比增幅分别为:一季度15.8%、二季度15.2%、三季度9.8%、四季度8.4%,表现为增长逐步放缓。2019年一季度销售收入呈负增长,为-4.5%。

2. 2018年及2019年一季度刀具出口季度统计情况

2018年,工具分会参加季度统计的42家出口刀具会员企业共出口各类刀具56463.52万件,按可比口径比2017年增长7.3%;价值量(销售收入)44041.22万美元,按可比口径比2017年增长5.4%。

根据分会季度报表统计,2018年刀具出口价值量(销售收入)各季度同比增幅分别为:一季度41%、二季度14.6%、三季度8%、四季度5.4%(根据调查进行了调整),刀具出口增长明显表现为前高后低的趋势。2019年一季度刀具出口呈现负增长,为-15.2%。

3.2018年及2019年一季度量具销售收入季度统计情况

2018年，工具分会参加季度统计的19家量具生产企业共销售各类量具2757.87万件，增长21.6%，价值量11.5亿元，增长20.2%。2019年一季度，量具销售856.37万件，同比增长40.4%，价值量3.2亿元，增长22.2%。根据分会季度报表统计，2018量具小行业销售收入同比增幅分别为：一季度15.4%、二季度7.2%、三季度12.9%、四季度20.2%。2019年一季度销售收入同比增长22%。

4.2018年及2019年一季度量具出口季度统计情况

根据分会季度报表统计，量具出口形势从2017年呈现一定起伏，2018年参加统计的量具出口企业共出口量具1312万件，增长41.8%，价值量5030万美元，同比增长16.1%（约合3.4亿元人民币，平均单价26元；据海关数据初步查询，2018年量具出口9.8亿元人民币，平均单价23元）。2019年一季度，量具出口304万件，同比增长55.1%，价值量为1349万美元，同比增长29.2%。

四、2019年1~5月月报情况

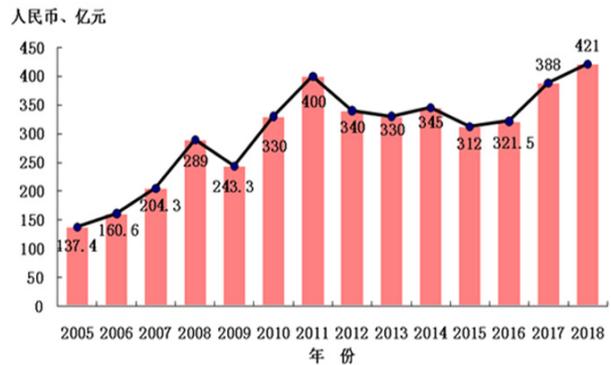
工具分会参加月报的会员40家左右，2019年1~5月，销售收入增长率分别为0.3%、-3.1%、0.5%、-3.3%、-3.4%；总利润增长率分别为19%、0.7%、0.6%、-9.9%、-14.4%。

五、2018年全国刀具市场及刀具进出口测算

1.2018年中国刀具市场消费总规模

根据中国机床工具工业协会工具分会的统计、调查及分析，对我国刀具市场消费总规模、进出口进行了测算。我国刀具市场总消费规模从2017年的388亿元人民币增加到2018年的421亿元，同比增长8.5%。其中：国产刀具约273亿元人民币，与2017年相比增幅为9.6%，占比65%；进口刀具（境外品牌）148亿元人民币，同比增长6.5%，占比35%。2018年的刀具消费额超过2011年400亿的高点，创历史最高记录。国产刀具在中国市场的增长高于进口刀具。

2005年-2018年中国刀具市场规模变化

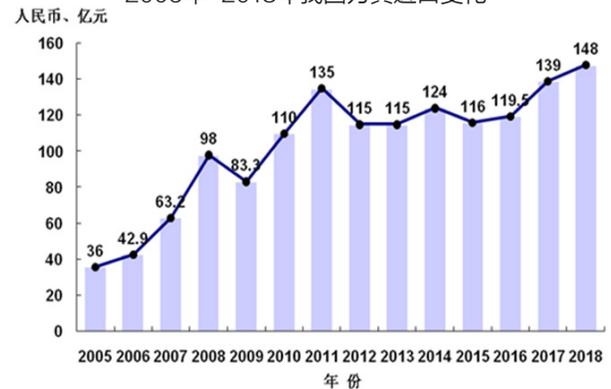


国内生产（内销+出口）：2017年，249+96=345亿元，同比增长22.6%；2018年，273+101=374亿元，同比增长8.4%。

2.2018年进口刀具（境外品牌）规模

根据中国机床工具工业协会工具分会的调查及分析测算，我国刀具进口（含在中国生产并销售的境外品牌）总规模从2017年的139亿元人民币增加到2018年的148亿元人民币，同比增长6.5%，连续两年创新高。

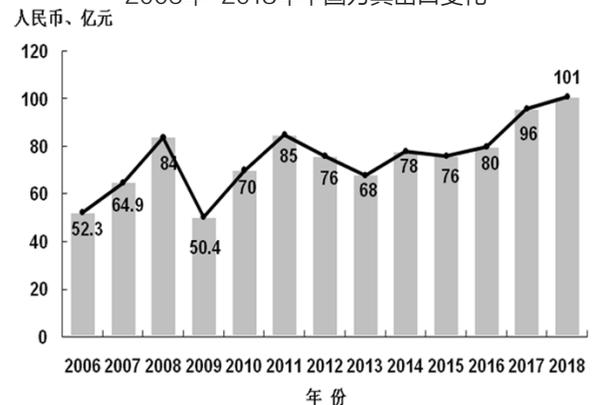
2005年-2018年我国刀具进口变化



3.2018年全国刀具出口规模

根据中国机床工具工业协会工具分会的统计、调查及分析测算，我国刀具出口从2017年的96亿人民币增加到2018年的101亿元，同比增长5.2%，连续两年创新高。

2005年-2018年中国刀具出口变化



六、结束语

延续2017年高速增长的态势，工具行业在2018年继续保持快速增长。广大工具企业结构调整的实际成果在市场竞争中得到检验，国产工具在市场上的份额保持稳定。但是我们应该看到，国内工具企业面临的主要挑战没有发生根本改变，我国制造业转型升级急需的现代高效刀具和精密量具量仪供应服务能力仍然严重不足，同质化标准量具产能过剩的现象也没有彻底扭转。从上述数据可以看出：进口刀具规模占比三分之一左右，其中大部分是制造业急需的中高端刀具。因此，行业结构调整、大力发展中高端产品仍任重道远。

随着3C行业原有市场需求趋缓和汽车行业的逐步下行，从2018年下半年开始，工具行业（主要是刀具产品）增速放缓，下行压力越来越大。目前来看，量具产品产销继续增长，刀具产品销售出现负增长，其中硬质合金刀具比高速钢刀具下降多。

前两年刀具的旺盛需求带来了新一轮的产能过剩，特别是整体硬质合金刀具表现比较突出。目前，以五轴数控工具磨床为代表的设备已出现较严重的开工不足现象，需要引起行业的警觉。根据海关数据及分会的调查，2017年和2018年，每年进口数控刃磨机床（海关商品编码：84603100）近1500台，其中平均单价在100万元以上的每年进口约1000台左右。这几年，国产数控磨床的技术有了长足进步，在工具行业拥有量也有较大提升。

技术创新、产品创新和服务创新不足。仅靠大量引入先进的装备，没有差异化，一哄而上，势必形成产能过剩，不利于行业健康发展。

这几年，随着我国制造业的技术进步，技术改造的步伐加快，工具行业的生产制造能力、创新能力和服务能力有了很大进步。工具产业的转型升级正在面临突破，企业要根据自身特点，扬长避短，加强沟通和交流合作，加快推进工具产品的转型升级。

党的十九大报告指出，“建设现代化经济体系，必须把发展经济的着力点放在实体经济上，把提高供给体系质量作为主攻方向，显著增强我国经济质量优势。加快建设制造强国，加快发展先进制造业。”从全球性范围来看，制造业强国也都是刀具强国，如瑞典、德国、美国、以色列、日本、韩国等。中国要从制造大国走向制造强国，必须要有强大的刀具产业作为支撑，也就需要刀具行业从低端产品向高端产品努力。

我国加快先进制造业的发展步伐是工具行业最大的机遇，机不可失，不进则退；我国经济发展进入了新时代，其基本特征就是从高速增长阶段进入了高质量发展阶段，工具行业面临新的挑战，转型升级的任务更加紧迫。要适应我国现代制造业对提高加工效率的追求，工具行业还需要在调整产品结构、提升服务水平方面下更大的功夫。面对当前中美贸易摩擦的形势变化，工具行业作为机床工具行业中的重点出口小行业，最重要的是要扎扎实实练好内功，只有把自己的事做好，把工具产品做好，特别是继续加大转型升级力度，才有底气应对各种市场变化。在中高端工具产品的研发制造和用户服务方面下更大功夫，从根本上提高企业的竞争能力，从而推动全行业的可持续发展，为我国经济实现高质量发展做出工具行业的更大贡献。□

资讯

2019年7月国内手机市场运行分析

国内手机市场总体出货量。2019年7月，国内手机市场总体出货量3419.9万部，同比下降7.5%，其中，4G手机3291.7万部，同比下降4.5%；2019年1~7月，国内手机

市场总体出货量2.20亿部，同比下降5.5%，4G手机2.11亿部，同比下降4.3%。

2019年7月，上市新机型52款，同比下降43.5%，含2G手机16

款、4G手机32款、5G手机4款；2019年1~7月，上市新机型298款，同比下降39.1%，含2G手机63款、3G手机1款，4G手机229款、5G手机5款。



3D打印技术的最新应用

策划人 梅峰

作为“互联网+先进制造业”的代表，3D打印技术已被广泛应用于工业和个人领域。

金属3D打印技术作为整个3D打印体系中最前沿和最具潜力的技术，近年来得到快速发展，是先进制造技术的重要发展方向。

本期策划将为大家带来国内外3D打印技术的最新发展动态与最新应用，金属3D打印技术进展与应用情况，以及3D打印技术在航空航天、汽车、模具等应用案例。探索3D打印技术的未来产业化应用之路。



金属3D打印从单机应用到规模集成

中国重汽集团济南桥箱有限公司 刘胜勇

文章介绍了金属3D打印在船舶行业、航空航天和汽车制造等方面的案例应用，从金属材料供应、工业能量提供、机械性能匹配、系统高速运算、网络传输搭配、成形件后处理及设计人员配置七个方面给出发展对策。本文对金属3D打印的规模化发展具有指导意义。

金属3D打印案例应用

现今，金属3D打印作为增材制造工艺的一个分支，因其具有简化装配件、减少部件数、降低材料费、实现轻量化等显著特点，正被陆续应用于船舶、航空航天、汽车、医疗等行业中。

1. 船舶行业应用

近期，美国海军水面战中心巴拿马城分部（NSWC PCD）自德国购入1台金属3D打印机EOS M290，进行便携式跑道垫和液压元件等复杂金属零部件的生产。EOS M290采用直接金属激光烧接技术（DMLS），使用400W光纤激光器产生的激光束，在氮气气氛保护下，依据EOS CAD数据，对超精细粉末金属以层为单位进行烧接，直至打印出金属零部件。EOS M290技术参数，如表1所示。

表1

序号	项目明细	参数值	序号	项目明细	参数值
1	成形尺寸/mm	250×250×325	13	气体过滤系统	自动感应保护气体过滤
2	激光器类型	400W, Yb-fibre	14	刮刀装置	碳纤维毛刷刮刀等
3	建造速度(cm ³ /h)	5~20	15	铺粉方向	横向单铺粉
4	激光斑直径/μm	100~500	16	除粉系统	液态真空除粉系统
5	光学扫描系统	F-θ 透镜+振镜	17	数据处理	PC Windows
6	扫描速度(m/s)	≤7	18	装机软件	EOS RP工具
7	每层层厚/μm	20~100			EOSPRINT
8	激光精度/μm	X-Y≤±6			EOSTATE
9	铺粉精度/μm	Z≤±10			Magics RP
10	N ₂ 发生器	系统内置			EOS激光监测
11	氮气、氩气自动切换装置	系统内置	19	CAD接口	STL或其他
12	气体保护系统	气体平流烟尘回收系统	20	网络通信	TCP/IP

2. 航空航天应用

德国航天中心借助3D Systems公司生产的第6款直接金属3D打印机ProX DMP 320，使用激光束，在氩气气氛保护下，依据3D CAD数据，对镍铬基超耐热合金LaserForm Ni718粉末逐层熔融，为小型卫星液体火箭发动机打印出重复使用的喷射器（见图1a）。由此，将30多个零散部件整合为1个整体式部件，同时直接减重10%，发动机混合燃烧效率显著提高。



图1 金属3D打印在航空航天中的应用

此外，在美国宇航局以液态甲烷为燃料的火箭发动机测试中，相比减材制造工艺所需零部件数减少45%的3D打印版涡轮泵（见图1b）可产生600马力（1马力=0.735kW）的动力，1min内向发动机的燃烧室提供600gal半低温高压液态甲烷，用以确保发动机产生超过10250.83kg的推力。在波音777装用的GE90-94B喷气发动机中，T25压缩机入口温度传感器的外壳（见图1c）采用3D打印增材制造工艺，对钴铬合金的微细粉末进行逐层熔融而成，既轻量又坚固。在国产干线民用大飞机C919上，不仅装用了自主产权的3D打印版钛合金中央翼缘条（见图2a），还在登机门、服务门及前后货舱门等处装载了23项3D打印版钛合金零部件（见图2b），使舱门件的生产由传统铸造工艺升级为直接金属增材制造，并解决了钛合金大型薄壁件的常见应力开裂和型面变形等问题。

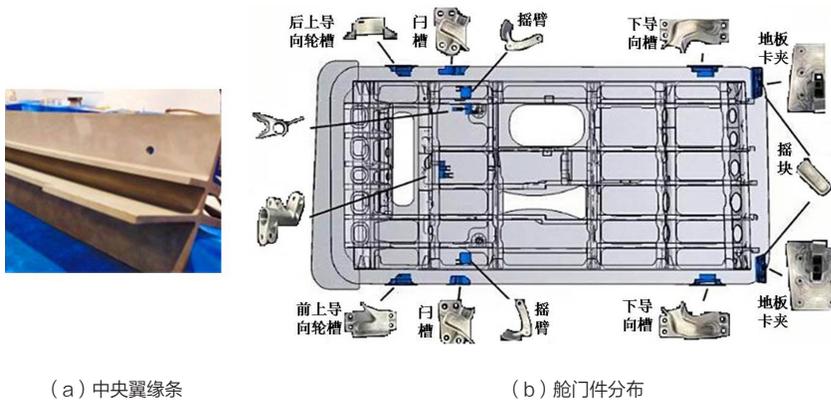


图2 金属3D打印在国产飞机C919上应用

3. 汽车制造应用

在汽车制造业内，金属3D打印不仅被用于轮胎模具的制造，还用来加工特殊齿轮旋钮、钥匙链及尾门刻字等零部件。

米其林集团采用法孚集团研发的Fives 5轴激光中心，进行MICHELIN CrossClimate+轮胎模具的3D打印，用以获得全深度3D沟槽、自锁定沟槽和V形胎面花纹，从而使子午线橡胶轮胎具有冬季雨雪路面持续移动、夏季干燥路面有效制动及磨损胎面新沟槽持续牵引等优势。这也为山东豪迈、广东巨轮等轮胎模具制造企业提供了3D打印实际案例和前沿经验。Fives 5轴激光中心及轮胎模具如图3所示。

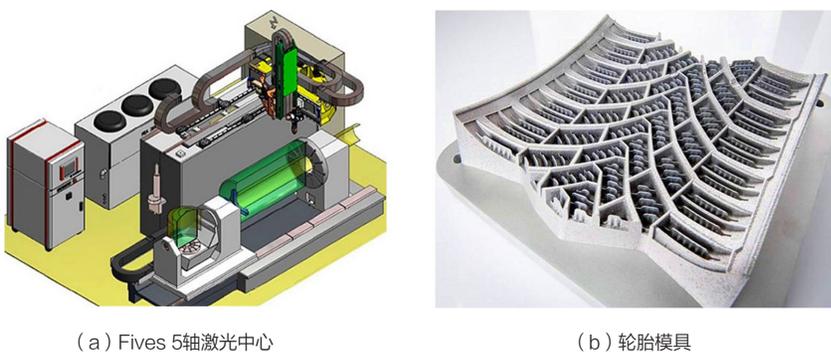


图3 Fives 5轴激光中心及轮胎模具示意

吉凯恩等公司采用惠普提供的3D打印工艺HP Metal Jet——三维黏合剂喷射成形，为大众汽车配套生产了换挡杆、个性化定制版钥匙链、发动机指形从动滚轮、格子支撑式轻量化齿轮等金属型零部件（见图4）。



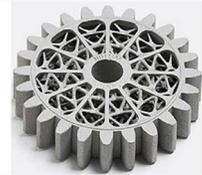
(a) 换挡杆



(b) 钥匙链



(c) 指形从动滚轮



(d) 轻量化齿轮

图4 惠普3D打印的汽车用金属制品

HP Metal Jet是在粉末床上双向铺设薄薄的一层微细金属后，热喷墨打印喷头透过该层并喷射黏合剂——水基聚合物液体剂，黏合剂经毛细作用力浸入金属粉末（0.5~20 μm）间隙呈均匀分布，并在高温辐照下将粉末颗粒融合在一起成为固体块，同时溶剂部分挥发，逐层打印，直至结束，取出零件并进炉烧结。HP Metal Jet提供了4倍冗余喷嘴和2倍打印杆，使打印零件的致密度达到93%，生产效率大幅提高，黏合剂用量明显减少。HP Metal Jet工艺过程如图5所示。

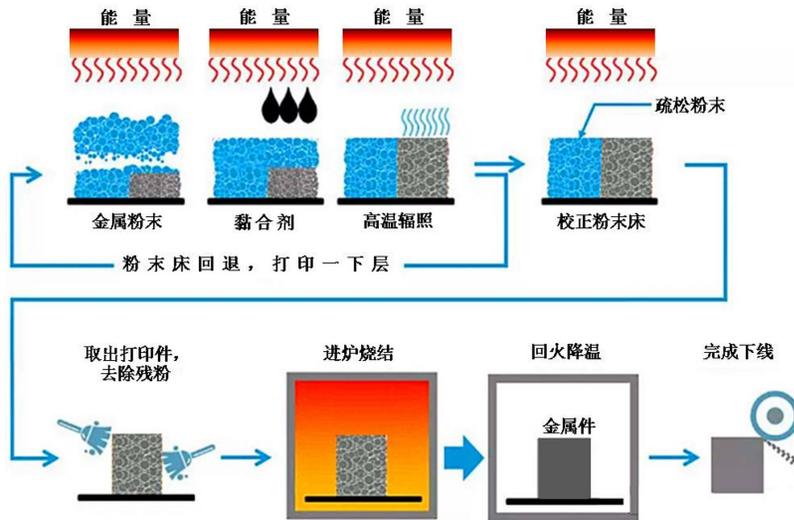


图5 HP Metal Jet工艺过程示意

金属3D打印发展对策

针对当前的金属3D打印技术，如喷墨沉积成形（NPJ）、激光粉末烧结成形（DMLS, SLS）、激光粉末熔覆成形（SLM）、激光近净成形（LENS）、电子束熔化技术（EBM），均离不开适合金属材料的及时供应、工业化大功率能量的提供、优异机械耦合性能的匹配、高速运算批处理系统应用、高效传输速率网络的搭配、成形零件后处理工艺辅助、高水平设计应用人员配置等。唯有这样，金属3D打印才能从大投入高层面的单机应用迅速走向低成本大众化的规模集成。

1. 适合金属材料的及时供应

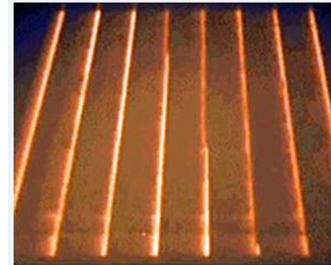
适合形态的金属材料是金属3D打印必需的工作介质，类似于液压（气压）装置离不开液压油（压缩气）。3D打印的金属材料既有绝大多数的粉末颗粒状，也有极少数的纳米液态状。这些基于铝、钢、镍等不同成分的金属材料的供应流速、加热温度、黏合剂添加量、所需激光/电子束能量大小、铺粉速度、堆积层厚等数据，均以工艺参数包的形式纳入到各3D打印装备的随机材料数据库内，由用户根据所需个性化产品的最佳剖面性能（如机械强度、冲击强度、热稳定性、尺寸稳定性和生物相容性等）进行选用和微调。也就是说，金属3D打印只有做到工作介质、打印装备、工艺参数的一致协调，用户才能获得最高工业标准的创新零件。常用3D打印的金属材料明细如表2所示。

表2 常用3D打印的金属材料明细

序号	材料明细	序号	材料明细	序号	材料明细
1	EOS马氏体钢MS1	8	EOS CoCr RPD	15	飞而康GH4202
2	EOS不锈钢GP1	9	EOS Ti64ELI	16	飞而康CoCrMoW
3	EOS不锈钢316L	10	EOS AlSi10Mg	17	飞而康TiAl4VGd5
4	EOS不锈钢CX	11	EOS AlF357	18	飞而康铝基7050
5	EOS镍合金IN718	12	EOS钨合金W1	19	LaserForm AlSi12 (B)
6	EOS镍合金HX	13	飞而康2Cr13	20	LaserForm Ni625 (A)
7	EOS CoCr MP1	14	飞而康Ti6242	21	铂力特TC4, TC6, TA15

2. 工业化大功率能量的提供

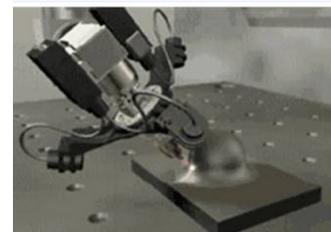
在金属3D打印中，粉末颗粒至悬浮液/浆料的形态转变、层间黏合剂的高温挥发及EBM造型台的整体预热，均离不开工业化大功率能量的提供。除EBM采用电子束（见图6a）作为能量源外，其他3D打印技术多用光纤激光器（见图6b）作为能量源。



(a) 电子束



(b) 扫描熔化用激光器



(c) 粉末熔覆用激光器

图6 金属3D打印所需的能量源

能量源的功率高低制约着金属3D打印的堆积/熔覆效率，能量源的功率因数大小关系着电能的有效利用，能量源的工况适应性影响着增材制造的高效发挥。因此，为金属3D打印装备选配具有较宽功率范围、极高电光转换效率、卓越稳定性、极佳光束质量、稳定光束指向、工作波长范围广等特点的光纤激光器是非常有必要的。用于增材制造的国外激光器主要有相干（COHERENT）公司的

Monaco激光器，通快（TRUMPF）公司的TruFibe激光器，IPG公司制造的掺镱、掺铒、掺钕和拉曼连续激光器等。

3. 优异机械耦合性能的匹配

在激光金属堆积应用中，包含TruPrint 3000（见图7）在内的各款3D打印机既离不开可快速切换的成形缸和除粉缸，也离不开高速处理的粉末刮粉和激光照射；既离不开工作台200~300℃的预热，也离不开光纤激光器的抓持；既离不开堆积中烟尘的处理，也离不开运行中状态/性能/流程的监测。

在激光金属熔覆应用中，包含TruLaser Cell 3000在内的多轴激光加工机床既离不开激光加工头的快换以转变机床工艺——熔覆、焊接或切割，也离不开高动态运动单元的配置以快速精准定位；既离不开高精度测量系统的使用以进行位置闭环控制，也离不开双工作台的交换以生产与装载同时进行等。



图7 TruPrint 3000打印机示意

基于上述众多零部件的协作配合，激光金属堆积/熔覆设备必须具备优异的机械耦合性能和动态响应特性，方可保证增材制造产品的成形质量、建造效率和生产成本。相应措施有：经直线电动机缩短进给传动链、作第1测量系统的内装型编码器测量速度和识别转子位置，以及作第2测量系统的直线光栅尺检测工作台的位移等。

4. 高速运算批处理系统应用

在金属3D打印中，具备高速运算和批处理性能的数控系统是必不可少的。作为神经中枢，不但控制着激光堆积/熔覆的工艺路径，而且联动着工作台的平移/旋转，还协同着粉末铺设、层间刮粉、操作门开/闭、冷却水通/断等辅助动作。它的联动轴数决定着3D打印产品的空间复杂性，扩展轴数制约着3D打印装备的智能化程度。

为此，有必要配置高性能极快运算速度的32位甚至64位多核微处理器（CPU），高稳定性、低延迟可纠错的大容量内存，及高位宽、大容量、快响应的显存等，如FANUC 31i、SINUMERIK 840Dsl、MITSUBISHI M800、TNC 640、HNC-848及GSK 980MDi等数控系统。

5. 高效传输速率网络的搭配

随着金属3D打印的工业化推进，更多的机床、复杂的造形、可控的粉末、快换的工装、可视的状态、集束的激光等模块化组件，通过低延迟多节点的互联网络，不断地集成进生产流程内。物料供应、设备运行、能量利用、造形质量、财务报表、生产控制、订单管理、售后反馈等众多数据，都可在高效传输速率的以太网网络辅助下，实时图形化显示在可视化终端上，以备用户及时反应并优化调整。网络化措施有引入5G网络，建设云平台，成立数据部门——规筹建制，给定数据规范——命名、编码及安全等，划分数据层级——在设备端、公司层或云平台处理，优化数据流程等。金属3D打印网络化拓扑如图8所示。

6. 成形零件后处理工艺辅助

在金属3D打印中，建造完的零件会存在诸多缺陷，既有间隙缺陷和材料自身的物理性能缺陷，也有内应力大、硬度不够、可塑性低等实际性能问题。只有辅助相应的后处理工艺来解决零件缺陷，才能使其满足应用要求。

常见的后处理工艺有清除多余粉末——气吹或清洗等，去除打印支撑，底板上切割掉打印件，热处理去内应力，表面抛光——抛光机、液体电解质抛光或干式电解抛光等，精细加工——减材切削的常规手段等。这些工艺需要与3D打印的金属材料、打印技术及零件形状相匹配，有时仅采用一种工艺，有时会采用多种不同的工艺。无论哪种后处理工艺，在3D打印的规模集成化阶段，都应考虑进批量化、自动化、数字化和信息化的发展要求。

7. 高水平设计应用人员配置

智能工厂并不是无人工厂，它实

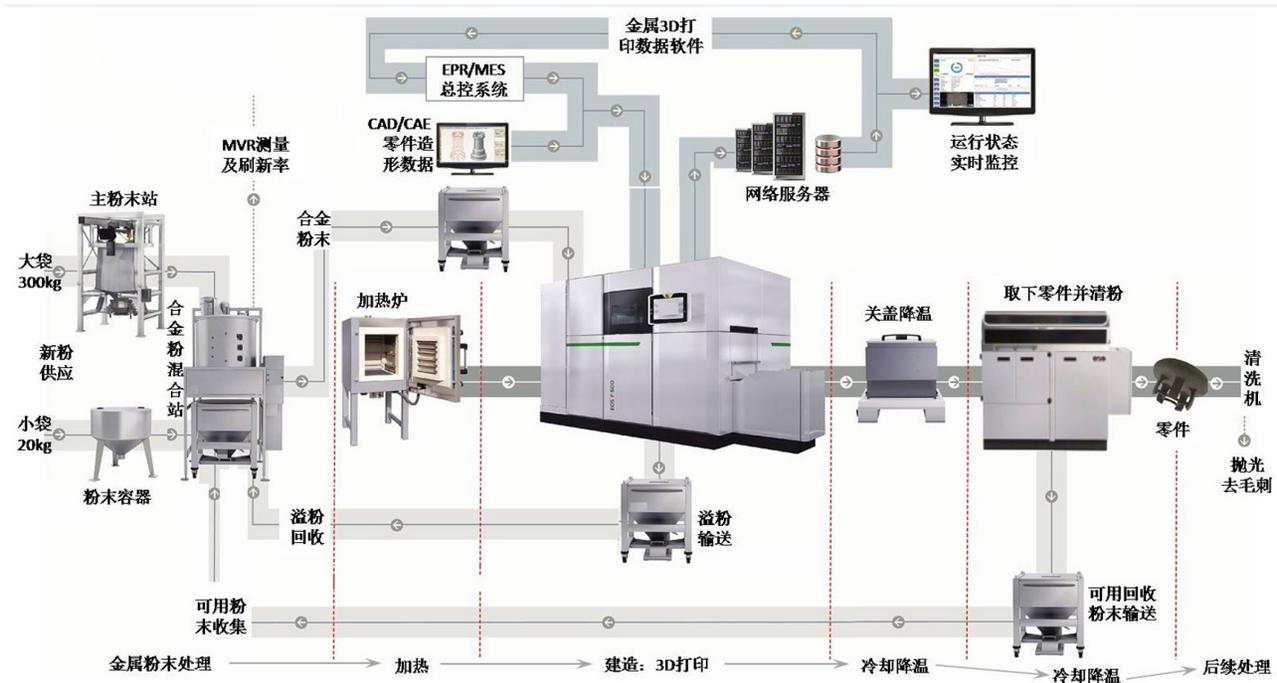


图8 金属3D打印网络化拓扑示意

际是机器、自动化装置、控制软件和设计/应用人员进行完美协作的一个网络化运行空间。随着个性化定制需求的规模扩大，所需零件的造形愈来愈复杂多变，但零件的批次数量会持

续降低至单件。这就迫切需求大量的设计人员在CAD/CAE平台进行零件的3D造形，需求应用人员根据CAD数据网络操作打印机，需求维护人员随时处理工厂运行中的突发问题。也

就是说，高水平的运维队伍是未来单件批次性工厂内创造效益的重要因素，是持续减少间接流程（即加工时间1h的零件需要4h的间接工作）的直接要因。 □

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
第十一届中国数控机床展览会（CCMT2020）	封底
西门子（中国）有限公司数字化工厂集团	1
埃马克机床（太仓）有限公司	2
浙江畅尔智能装备股份有限公司	3
斗山机床（烟台）有限公司	4
卡尔蔡司（上海）管理有限公司	5
约翰内斯·海德汉博士（中国）有限公司	6
世界制造技术与装备市场杂志	7
北京北一机床股份有限公司	9
上银科技有限公司	10
哈尔滨量具刀具集团有限责任公司	11

3D打印技术在汽车制造中的应用及中国汽车业的机遇与挑战

中国船舶重工集团公司第七二五研究所 李雪峰 黄安琪 夏申琳



高级工程师 李雪峰

1986年3D印刷机在美国诞生，拉开了3D打印技术发展的帷幕，30多年来3D打印技术得到了飞速发展和广泛的应用，以至于英国《经济学家》杂志将其推崇为“第三次工业革命”，美国政府将3D打印技术作为制造业发展的首要战略任务。《中国制造2025》将3D打印技术作为具有代表性的新兴技术，《国家增材制造产业发展推进计划（2015—2016）》将3D打印技术的发展提升到了国家战略层面。由此可见，3D打印技术在美国工业发展中的重要地位。

美国材料与试验协会将3D打印定义为采用打印头、喷嘴或其他打印技术沉积材料来制造物体的技术，3D打印通常也称为“增材制造”。3D打印技术发展到现在有多种技术途径，通常根据使用材料的不同和构建物体方式的不同进行分类，可分为光固化成型（SLA）、电子束自由成形（EBF）、直接金属激光烧结（DMLS）、电子束熔化成型（EBM）、选择性激光烧结（SLS）、3DP等。目前3D打印技术已逐步应用于汽车、航空航天、船舶、医学、建筑、服饰、食品等多个领域。

3D打印在汽车制造中的应用

1.3D打印汽车的发展历程

2010年11月，世界第一辆3D打

印汽车问世，这是由美国Jim Kor团队研发的采用3D打印技术制造的6:1模型车，名叫Urbee。2013年初第一台原型车Urbee2诞生，Urbee2一半以上的零件是由3D打印的。

2014年，第一辆3D打印电动车Strati横空出世，这是一辆只有40个零部件的3D打印汽车，整个打印时间仅44小时。

2015年，美国DM公司打造了全球第一款3D打印跑车——刀锋（见图1），该车采用3D打印汽车零部件，然后人工组装而成。同年，三亚思海3D公司研发出了中国的3D打印汽车。



图1 刀锋跑车

2016年，推出全球七大3D打印概念车，世界各大品牌汽车纷纷推出了自己的最新设计。

2019年，国内XEV公司设计出世界第一款量产3D打印电动汽车。

2.3D打印技术在汽车业中的应用现状

虽然关于3D打印汽车的新闻屡有报道，但是细心的读者不难发现，3D打印汽车这个概念的宣传力度大于实际应用，以上述七大概念车为例，3D打印组件仅占整车中很小的一部分，而且还是非承力件。因此有分析人士认为，3D打印汽车更多的是在宣传一种技术发展理念，通过这一理念来拉动消费，并不是真的要采用3D打印来生产汽车。

然而，3D打印作为一项新兴技术有其独特的优越性，依然在汽车业中有着许多成功的应用案例。下面从汽车设计、制造和消费的不同阶段来分析3D打印技术在汽车业中的应用。

在汽车设计阶段，3D打印可快速制作概念模型和功能原型，在产品研发初期大大缩短汽车零部件的验证时间，从而缩短汽车的研发周期，并尽可能的降低由于设计方面的原因而造成的成本浪费。例如，兰博基尼厂商采用3D打印技术研制引擎管路，实现了用较短的时间完成复杂结构的制作。

在汽车制造阶段，汽车的外饰包括车灯、保险杠、徽标、挡泥板等，汽车的内饰包括声学系统、方向盘、仪表盘、操作杆等，以及底盘、车身等都成功的应用了3D打印技术。据报道，3D打印技术的应用在缩短生产周期，降低生产成本方面发挥了重要作用。

汽车消费阶段，也就是说汽车进入消费者手中，厂商需要对其车辆

进行维保、修复，在这一领域，3D打印技术可谓大展身手。比如保时捷采用3D打印技术为经典汽车生产零备件，奔驰公司采用3D打印的零部件修复20世纪50年代的跑车，宝马公司采用3D打印零件为猫王修复座驾。此外，在汽车零部件的供应链中，应用3D打印技术已是目前各大公司的追求目标。

3.3D打印是噱头还是工业革命？

在3D打印技术发展的如火如荼的时候，也有业内人士指出，3D打印技术在批量生产方面还无法与传统工业相比，标准化作业还无法大规模实现，打印材料远未达到广泛使用的要求，高性能零部件的打印技术还没有形成，复合型人才的缺乏等等，都限制了3D打印技术的推广应用，更不要说3D打印整车了，3D打印汽车也只是一个博人眼球的噱头而已。

另一方面的声音就很乐观了，早在2014年就有学者撰文《3D打印技术颠覆汽车制造业》，提出了3D打印技术将引领汽车制造业的观点。2016年，《美国汽车新闻》评选出全球十二大汽车行业的颠覆者，3D打印位居榜首。由此可见3D打印技术的先进性。

3D打印是“噱头”还是“工业革命”？我们应该客观的评价3D打印技术的发展与应用，既不要抵触，也不要神话。作为一种新兴的科学技术，3D打印有着传统工艺无法比拟的优势，但不可否认也存在无法克服的缺陷，我们应该做的是尽可能的发挥其长处，在生产中取得更高的效益。

4.3D打印汽车的发展前景

(1) 分析3D打印技术在汽车行业中的应用前景之前，不妨先分析一下汽车未来发展的方向特点，归纳起

来有以下四个方面。

1) 新能源：2019年7月1~3日世界新能源汽车大会在海南博鳌隆重召开，大会聚集了全球专家和精英，就新能源汽车的创新、市场、产业转型升级等问题进行研讨。近几年来我国的新能源汽车产销量持续增长，而新能源汽车中纯电动占比超过80%。在全球汽车产业转型升级和环境持续改善的产业要求下，电动汽车将是未来汽车产业的发展方向。

2) 轻量化：世界各国为提高车辆燃油效率，减少二氧化碳的排放量，纷纷制定法律法规，以促进改善环境，在全世界节能减排、保护环境的大背景下，汽车轻量化是汽车行业发展的重要方向之一。

3) 智能化：汽车产业的智能化可分为两个方面，智能制造和智能驾驶。智能制造是制造业的发展目标，汽车行业自然也不例外。华为5G+C-V2X车载通信技术的开发为智能驾驶提供了新的技术保障，未来的汽车有可能像科幻片中的汽车一样，我们坐在车里，说出目的地，汽车会自动、安全地将我们送到。

4) 个性化：个性化定制彰显个性魅力，满足不同消费者的个性需求，将是未来汽车开发的方向之一。在传统生产模式下，个性化定制是一部分人的消费专利，随着科学技术的发展，个性化定制必将走入寻常百姓家。

(2) 通过以上对汽车未来发展方向的分析，汽车的研发与制造会发生以下几方面的变化。

1) 汽车构造的重新设计：有人曾经设想，电动汽车的研发，取代了传统的发动机，整个汽车的构造将发生重大变化，届时将电机装入轮毂中，由导线连接电池，传统的发动机系统和传动系统等都不需要了，取而代之的是车载通信、音响

视频系统等。

2) 复杂构件的制造。汽车轻量化不仅可以从使用轻型材料来实现,还可以从复杂构件的设计上达到减轻重量的目的。

3) 私人定制。汽车在保障必要功能的前提下,其容貌和个性需求受到消费者的喜爱,也是争夺市场的有利武器,因此私人定制也是汽车制造的重点关注方向之一

(3) 综上所述,3D打印技术的优势正好在未来汽车制造业中大显身手,主要有以下四个方面。

1) 缩短研发周期,降低研发成本:3D打印在未来汽车研发阶段的应用就不仅仅是单个零部件的试制,而是整个车的结构、布局的研发,大概还没人知道未来汽车是什么样子,



图2 造型可爱的汽车

4) 零部件供应:3D打印零部件的供应依然是未来汽车业的重要发展方向之一,与以往不同的是,在3D打印技术日渐成熟之后,3D打印所能提供的零件种类会越来越多,今后在整个零件供应链中,尤其是已经停产的车型,可能将不再有实物零件的存储,而只要保留各零部件的相关数

谁能占领3D打印技术的制高点,谁就能用最低的研发成本,不断地推陈出新,快速占领市场。

2) 汽车轻量化的有力武器:以往的汽车轻量化多注重轻型材料的选择,受到生产工艺的限制很难从结构上做文章,而3D打印技术打破了这一瓶颈限制,3D打印在生产多孔、空腔类复杂结构的零部件方面有其独特的优势,为汽车轻量化开辟了新的发展方向。

3) 个性化设计:3D打印不需要传统的模具设计与制造过程,而只需要CAD设计图形即可,因此可以使用不太高的成本来满足不同客户的个性化需求,这些个性化设计包括车型、车饰等等。例如图2这款造型可爱的汽车,会受到众多爱美女士的喜欢。

据,需要时打印就可以了。图3为3D打印的零部件。



图3 3D打印零件

业中的应用也越来越广泛,这种形势会对中国的汽车制造业带来哪些影响呢?

1. 中国汽车制造业的发展机遇

目前在普通消费者眼中,国产汽车还普遍处于较低端的市场,其性能和品牌影响力远不如进口汽车品牌,在传统生产工艺条件下,国产汽车一直处于追赶地位。在新的形势下,全球汽车企业都面临着转型升级,恰逢3D打印技术的应用,将世界各国的汽车生产企业拉到了同一起跑线上。而在3D打印技术上,中国处于世界前列,部分技术还处于世界领先水平。面对新的形势,中国企业似乎还处于优势地位。抓住这一机遇,充分发挥3D打印技术的优势,助力汽车产业的转型升级,在不远的将来就能够成就自己的世界品牌。

2. 中国汽车制造业面临的挑战

中国车企在面临新的发展机遇时,同样也面对着巨大的挑战。一方面在传统汽车制造业领域我们相对落后,即使在同一起跑线上,对手同样强大;另一方面,任何一项新技术的应用都存在一些潜在的风险,比如新技术与传统工艺的兼容性、适用性、产品的可靠性、人员对新技术的适应性等等都会影响整个产业的发展。因此,中国车企面临的挑战同样不可小觑。

结束语

3D打印是一项新兴技术,其发展前景是令人欣喜的,3D打印技术的广泛应用必将推动各行各业的快速发展,汽车制造业在新的形势下也将发生翻天覆地的变化。中国汽车制造企业应该积极应对,加强新技术的研发与应用,成就自己的民族品牌。 □

中国汽车制造业的机遇与挑战

3D打印技术虽然发展的时间不长,但发展速度之快令人惊奇,在汽车制造

现代工业催化剂：3D打印

江门市新会区会城邦诺模具加工部 柯秉光

科技发展日新月异，3D打印、机器人、物联网、大数据、5G等先进技术正不断改变着我们的生活。在众多先进技术中，3D打印技术是焦点之一。许多人对3D打印的最初接触源于影视作品，由于影视作品夸大了其数字转化为实物的能力，所以通常会被理解成是一种点石成金的技术。虽然目前的3D打印技术尚未达到影视作品所呈现的出神入化的程度，但也开始进入到我们的日常生活中，比如3D打印的糕点，个性定制的手袋、衣服与鞋子，牙科的3D打印义齿、矫形器械与各种手术规划模型等。

3D打印以其逐层叠加并固化的原理区别于传统以减材为主的切削加工，是一种增材制造技术。经过30多年的不断发展，形成以熔融沉积（FDM）、选择性激光烧结（SLS）、立体光固化（SLA）等为代表的多种成型方式，并相应地实现了热塑性塑料线材、热塑性/金属/陶瓷粉末、液态光固化树脂等材料的成型。随着技术的不断进步，未来将出现更多的成型方式，实现更多材料的成型。

1. 3D打印在产品设计与、模具开发的应用

对于3D打印，我们通常能接触的是其终端的状态，也就是以3D打印技术生产的成品，但事实上3D打印已应用在产品设计与、模具开发的各个流程。比如我们要开发一款人体工学鼠

标的外壳，通常是从手绘设计开始，选出满意的方案进行3D数字化建模，然后用数控加工中心（CNC）进行手板制作。根据手板的实样，对鼠标的大小、手感进行评估，提出修改意见，修正3D模型并重新制作手板，直至得到满意的鼠标造型。人体工学鼠标通常造型独特凹凸随形，如果用普通的3轴CNC进行手板加工，需要换方向进行多次装夹；如果选用5轴CNC可以减少装夹的次数，使鼠标整个外观过渡更顺滑，但相应的造价会相对昂贵。多次反复的手板数控加工，时间与费用更是按比例翻番。引入3D打印技术，整个流程将焕然一新。

用3D打印机打印手板，直接减免了数控加工流程所耗费的时间（包括机床生产排期、物流运输等时间）以及昂贵的加工费用。借助桌面级3D打印机，设计师可以足不出户直接在设计室完成手板的制作，不但大幅降低手板的制作时间，而且仅需付出较低的耗材、能耗、机器折旧费用，就以这款人体工学鼠标来说，时间与费用至少折半。借助3D打印机，设计师可以在同一时间进行多个方案并行设计，不遗漏不同方案的设计亮点，更能在评估的时候直观的进行优势互补。

这只是3D打印的简单引入，其实我们还可以更加高效与节省。最终的手板我们选用高强度的光固化树脂，借助工业级SLA机型进行打印，以达到展示级的效果。过程中的评估手

板，我们可以借助桌面级FDM机型进行薄壁甚至单层打印，以更少的支出大幅提高打印手板的速度。

在手板的评估过程中，我们往往还会用到可塑粘土或者油泥对手板进行造型修改。根据实物进行建模，特别是曲线曲面多且要求高的造型，对3D建模师来说是个不小的挑战。如果我们引入高精度的三维扫描仪对修改后的手板进行精密扫描，然后将逆向测量出来的数字模型导入电脑与原模型进行比对，3D建模师根据分析结果不但可以更加精准地正向建模，而且建模时间还将大幅缩短。

在全球一体化的今天，各地区与国家之间经济贸易紧密相连，有不少项目是由跨国的设计师协同完成的。设想一下，倘若刚才的人体工学鼠标是由中德两国的设计师共同设计的，将会是怎样的一个情景：选用常规方式，中方设计师根据德方的手绘图建模，完成手板的数控加工并寄到德国，德方设计师对手板进行修改后寄回中国，然后中方设计师再进行打板寄样直至设计完毕。引入3D打印机以及三位扫描仪，中方设计师根据德方ID设计图建模，然后将3D模型数据直接发给德方设计师。对方使用设计室的3D打印机把模型打印出来，借助可塑粘土修改造型，用三维扫描仪测量出修改方案的实际数据，然后直接发送到中方设计师。中方设计师根据传送回来的模型数据在电脑里进

行数据比对，然后正向重新修改模型并打印出来，用同样的方式对手板进行造型修改、数据收集及回传，往返多次直至设计定案。两者对比，前者走跨国快递，后者通过互联网，将物化的手板变成数字化的数据传输，同样的物理距离倘若使用的是5G网络，几乎可以做到零延时传送了，优劣高下立见。所以引入3D打印技术将大幅缩短产品的研发周期，降低研发成本。

2.3D打印在模具开发环节的应用

进入到模具开发的环节，各种3D打印工艺也各显神通。对于一些尺寸精度不高只对外观造型有要求的产品，很多企业会在小批量试制生产时会考虑用复模工艺。常规的方法需要用CNC加工出硅胶模所需的样板，然后再做出复模用的硅胶模。倘若样板是偏向于常规几何体，比如小茶杯一类的，可以直接用CNC加工出来；倘若样板是曲面造型居多，比如人偶模型一类，数控加工将异常困难，这时候FDM的3D打印机就派上用场了，只要设置好支撑结构、精细度等相关的参数，几乎一键就可以完成样板的打印，大幅降低传统工艺所需的时间与价格。

在工业生产中，我们经常会遇到系列产品的生产，而且系列产品每个型号的需求量都不一样，个别型号需求极少只为补全产品链。由于模具的唯一性，即便需求极少的型号也要做出相应的模具才能进行生产，这就出现了模具制作投入大而产品回报效益小，甚至个别型号的模具制作成本都回收不了。针对这个情况不少供应商会出现型号缺失的现象，需要采购商批量采购才开模具做产品。如果我们引入3D打印技术，将改变这种状况：对于需求较大的型号，我们用常规的做法开模具，根据现有成型设备的配置，提高一模多腔的数量，甚至

一款产品多套模具同时生产以满足需求；对于个别需求很少的型号，在产品结构允许的情况下我们可以做互换模具，使用通用的模架，用模具专用高强度塑料直接打印出模芯以及相关型芯配件，在保全产品链的同时大幅降低模具开发成本。

3.3D打印在塑料模具的制作中优势

在塑料模具的制作中，3D打印也有独特的优势。比如插头连接器（即电器上常见的2极、2极带接地插头）模具，模芯的尺寸虽小但结构复杂，而且都是形位公差要求很高的配合尺寸，很多时候这些复杂的配合结构需要做十多个电极进行电火花加工（EDM）。由于塑料收缩的特性，试模出来装配调试就会发现有一些配合位置需要调整，模芯上的配合结构可能需要挖掉做镶件配回去，或者用激光焊作材料堆叠然后重新做电极再进行EDM加工，有时这个过程还得反复多次直至产品合格。如果我们放弃了传统的加工方式，用SLS设备直接打印出整个金属的模芯，将省下了漫长的CNC以及EDM加工时间而且不占用这两种加工设备。

试模后的尺寸调整，简单的小改动可以考虑激光焊配合EDM加工，改动较大可以重新打印新的模芯。模具冷却系统是塑料模的一个重要结构，影响着产品的生产效率以及成型的精度与质量。设计合理的冷却系统，能使模芯的各个部分趋于受热均匀的状态。水道是冷却系统的主体，通常以钻孔的方式加工出来，因此模具的水道大多是由纵横交错但首尾相连的直孔组成。

对于大口径深腔类产品（比如净水壶），我们会在模芯中间加上一个或多个轴向大口径深孔，中间加上螺旋隔水片，以达到模芯冷却的效果。而落差较小的大平面产品（比如圆形

的塑料餐盘），我们会在前后模板的背面加工一个或多层的环形水道，然后钻连通孔并添加隔水片，这就是冷却效果比纵模孔更好的环形冷却水道。不过像前文所述的插头连接器一类尺寸小而且结构复杂的小塑料件，模芯内部很难做出水道，因此即便是在模板上加水道并使用恒温冷却水进行模具整体冷却，也经常会在模芯的位置出现注塑成型缺陷。如果我们在打印这个模芯的时候，连模芯内部的微型水道也一起打印出来，冷却问题将迎刃而解。一些外形独特而且尺寸精度要求较高的产品，我们还可以借助3D打印技术，在模芯内部打印出随形冷却系统，即根据模芯形状而设计出来的异形螺旋状水道。

4.3D打印机的个性化定制

随着3D打印技术的日趋成熟，部分工业级3D打印机已用于个性化定制或者小批量生产的终端环节了。比如国内外运动品牌推出的个性化定制3D打印运动鞋，紫晶立方成熟量产的3D打印月球灯。

国内的一些机床厂还在传统龙门式加工中心上增加了3D打印工作模块，将传统的切削加工与增材制造结合在一起推出适合大型工件生产的复合型机床。该机床首先使用3D打印模块打印出产品，然后以平移的方式用CNC模块直接对打印件高精度要求的配合部位进行免拆装的精加工。这种复合型加工方法在确保产品精度的前提下，既避免了大型工件高昂的模具制作费用，又避免了由整块原料直接加工成型所产生的高昂加工费以及生产的大量废弃材料，不但高效环保又省钱，还能随时对产品进行调整或者迭代改进。

立足当下展望未来，3D打印并非传统生产工艺的终结者，而是现代工业发展的强力催化剂，将与传统的工艺互补依存，推动人类文明进程继续向前发展。 □

基于3D打印快速制造铝合金缸盖的方法

北京北方恒利科技发展有限公司 宋彬

一直以来，以发动机缸盖为代表的复杂内腔铸件，短期快速制造难度很大。本文以缸盖生产为例，采用3D打印SLS蜡模技术、3DP砂模技术，融合石膏型电磁真空增压技术，进行无模快速制造。生产周期缩短到7~15个工作日，内部质量优于2级，尺寸精密CT5~CT7，表面粗糙度优于Ra5.0 μm 。

缸盖内部结构复杂，尺寸和内部质量要求很高，通常铝合金缸盖都是通过开设金属模具再进行生产的，生产周期很长，费用大；快速铝合金缸盖生产采用的是分别打印砂型和砂芯，再进行多块组型、组芯，然后进行砂型重力铸造或低压铸造。这种方法生产的缸盖质量较差，尺寸精度低于C10，表面粗糙度Ra12.5 μm ，内部有大量的缺陷，装配和打压经常出问题。目前，中小批量高质量快速缸盖需求比较大，汽车、无人机、舰船等节能环保的铝合金缸盖研制任务比较重，迫切需要找到一种新的制造方法，快速高质量制造缸盖。

本文提供一种基于快速制造铝合金缸盖的方法，是将通过3D打印砂型、蜡型解决复杂铝合金缸盖模具的问题，通过3D打印SLS技术制作的铝合金缸盖蜡型和石膏型工艺获得铸型，通过3D打印3DP技术制作的铝合金缸盖砂型获取铸芯，将铸芯装配到石膏铸型上可实现无模具浇注。方法包括：铝合金缸盖分型方法、铝合金缸盖蜡型质量控制方法、铝合金缸盖砂型质量控制方法、蜡型和砂型打印方法、型芯装配方法、铝合金缸盖热节处理方法、浇注方法等。整个过程最关键有四点。

1. 缸盖拆分

缸盖拆分是将铸造工艺设计模拟优化后的缸盖毛坯进行分型面和定位工装设计，确保缸盖外型和内腔分离，缸盖外型能实现蜡模打印，缸盖内腔能实现砂型打印，通过试验方法确定蜡模和砂型收缩率、变形，将试验数据反馈到设计中，确定最佳的分型面和定位工装位

置、形状、尺寸。将完成铸造的工艺设计分离成缸盖外型和内部型腔；根据缸盖外型结合内部型腔装配关系设计芯头和定位工装，在外型蜡模和内部型芯模头上加辅助中心线和面面配合的工装，保证最佳装配方式，石膏型和砂型装配面光滑，装配精度为0.2~0.5mm；尺寸精度优于CT7级，如图1所示。

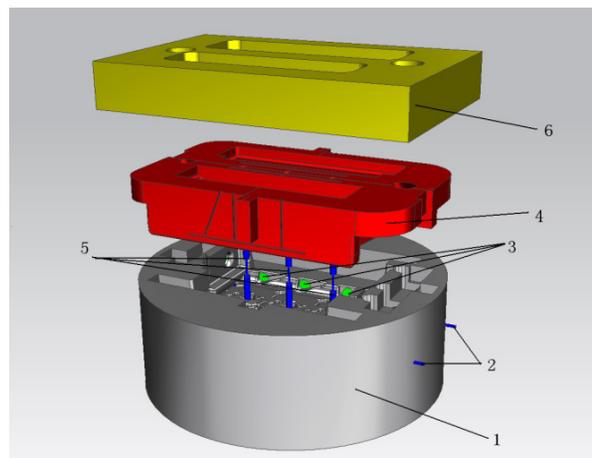


图1 复合铸型和内外冷铁装配图

1.石膏型 2.内冷铁 3.外置冷铁 4.打印砂芯 5.内冷铁面 6.砂型冒口圈

2. 3D打印SLS蜡模技术

3D打印蜡模是采用激光选区烧结方法（SLS工艺）将蜡或PS蜡材料通过合理的参数进行层层烧结，再进行后处理表面光洁，得到缸盖外型及定位工装，如图2、图3所示。

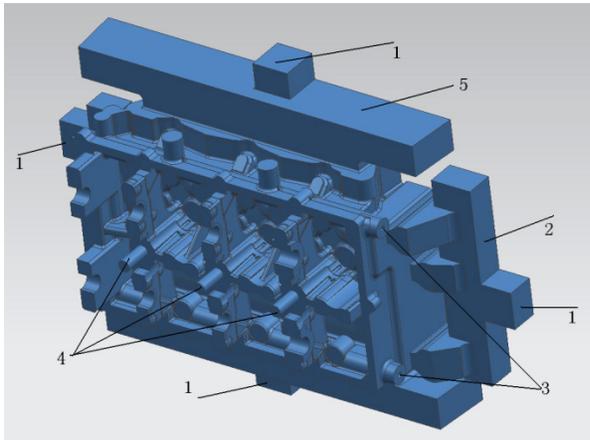


图2 缸盖外形3D打印蜡模及定位工装设计方案
1.定位工装 2.直浇道 3.内冷铁辅助工装 4.内冷铁辅助工装 5.砂芯头工装

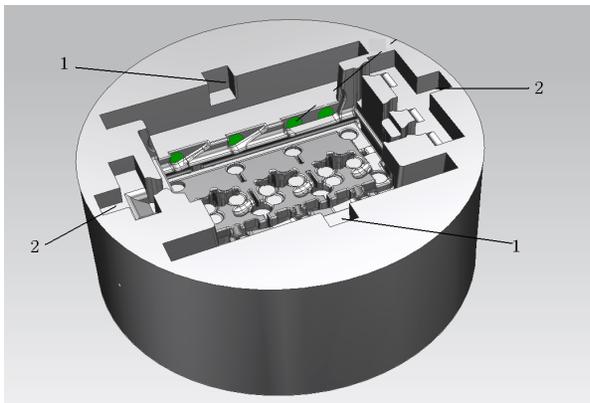


图3 三缸缸盖外形3D打印蜡模焙烧制成石膏型
1.打印蜡模翻制石膏型长度定位工装 2.打印蜡模翻制石膏型宽度定位工装

选用自制专用蜡型3D打印HLP-800 SLS设备（见图4），特点在于成型最小壁厚小于1.5mm，成型精度为 $100 \pm 0.1\text{mm}$ ，零件综合尺寸优于CT6级，表面质量优于 $Ra3.2\mu\text{m}$ 。通过大量试验，3D打印缸盖外形蜡模最佳参数：激光功率18~20W，环境温度为89~92℃，扫描速度1200~1400mm/S，层厚0.12mm，收缩率为0.95。



图4 3D打印SLS蜡模系统

3.3D打印3DP砂型技术

3D打印砂型是采用选区喷涂树脂或固化胶的方法（3DP工艺），采用合理的打印工艺将焙烧砂粘在一起，得到缸盖内腔及定位工装，如图5所示。这种成型工艺是冷成型，成型砂型不容易变形，强度比较大。

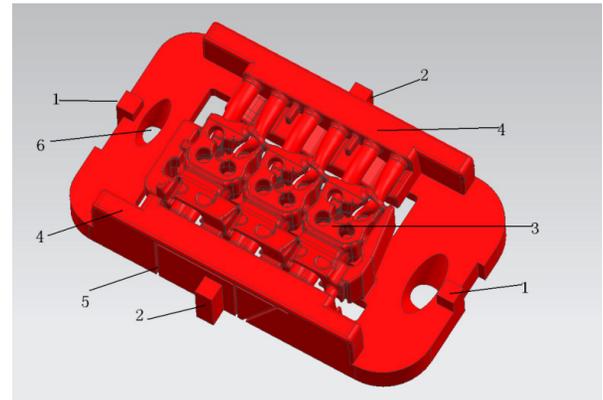


图5 缸盖外形3D打印砂型及定位工装设计方案
1.砂型宽度定位工装 2.砂型长度定位工装 3.铸件内腔砂芯 4.砂芯头工装 5.砂芯排气系统 6.浇注系统

选用自制专用砂型3D打印设备HLS-1000（见图6），特点是采用冷成型，无收缩和变形，成型精度受尺寸大小影响不大，精度优于 $\pm 0.5\text{mm}$ ，零件综合尺寸优于CT8级，表面质量优于 $Ra10\mu\text{m}$ ；打印缸盖内腔砂芯参数：树脂量0.9%~1%，环境温度为20~25℃，喷射速度120~140mm/S，层厚0.2mm，固化时间大于6小时。



图6 3D打印3DP砂型打印系统

4.石膏型电磁真空增压铸造技术

石膏型真空增压铸造是采用蜡模作为零件型腔，石膏浆料灌制干燥作为铸型，通过高温焙烧将蜡模熔出形成空腔，在真空环境下电磁浇注，在压力下凝固；石膏型有很好的复模性和尺寸稳定性，成型产品表面和内部质量很好。复模最小为0.02mm，蜡型转制成石膏后尺寸影响控制在0.5mm内，石膏型和砂型装配面光滑，

装配精度为0.2~0.5mm；石膏型真空增压铸造具有保温性好、冷铁工艺灵活、压力补缩距离长等特点，保证ZL114A缸体抗拉强度大于350MPa，延伸率大于5%，硬度大于100HB。如图7、图8所示。

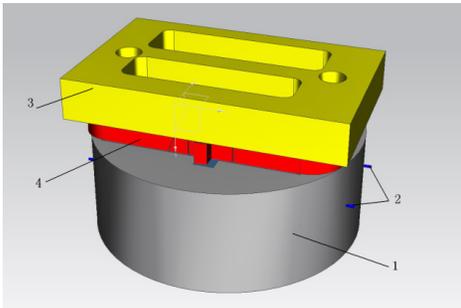


图7 复合铸型和内外冷铁装配图
1.石膏型 2.内冷铁 3.冒口砂型圈 4.3D打印砂型



图8 电磁真空增压铸造系统

5.生产现场

生产现场如图9~图12所示。



图9 3D打印蜡件和组树工艺



图10 3D打印3DP砂芯

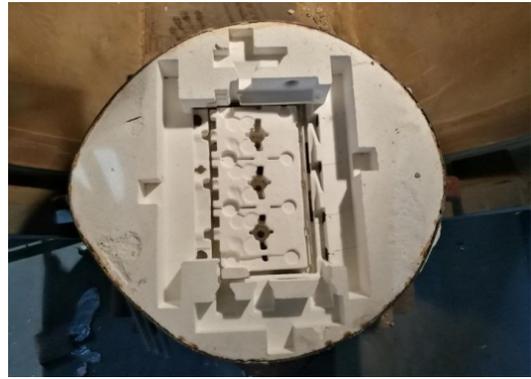


图11 石膏型型腔

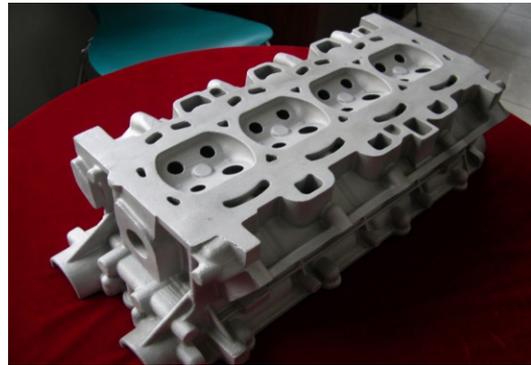


图12 处理后缸盖

通过数据处理、打印、石膏型焙烧、铸型组合、浇注、清理、热处理、表面处理等工序，通过3D打印技术和先进的铸造技术相融合，实现了不开模具制造铝合金缸盖。通过对缸盖的检查，综合尺寸优于CT6级，表面质量优于Ra5.0 μm ，内部质量良好，打压0.6MPa无浸漏。

6.结论

实际证明：3D打印蜡模和石膏型结合解决了缸盖复杂外形尺寸和表面粗糙度问题；3D打印砂型解决了缸盖复杂内腔形状和尺寸精度问题；缸盖分型面、定位工装设计和3D打印砂型与石膏型配合解决了缸盖外形与内腔位置问题；3D打印砂型一体化打印解决了缸盖内腔相对位置精度问题；石膏型真空增压铸造工艺通过真空环境浇注、凝固过程加压补缩、内置冷铁等工艺手段，解决了缸体内部质量问题。

铝合金缸盖快速无模制造是生产尺寸精度高、表面质量和内部质量好的一种制造方法。解决了缸盖质量不稳定、制造周期长、加工量大、补焊、尺寸不稳定、内部缺陷多、反修次数多等现有制造问题，该技术在缸盖类复杂内腔新产品开发，单件、小批量/复杂零部件生产等方面优势明显。 □

逆向技术与3D打印技术在飞机修理中的联合应用

吉林航空维修有限责任公司 曹宏翼 朱玉波 梁彪 张成丽

现代飞机修理模式正朝着高质量、低成本、高效率、数字化方向快速发展。目前数字化技术在航空修理领域应用较少，而航空修理又不同于航空制造，航空修理代差明显，从米格21系列到苏27系列，很多机型制造厂早已停产，但飞机还有1到2个翻修期，面对老旧飞机的修理周期，大修厂变得捉襟见肘。本文通过逆向工程技术与3D打印技术在航空修理中的联合应用，验证不断引入数字化技术在航空修理中的必要性。

逆向技术是指用一定的测量手段对实物进行测量，根据测量数据通过三维几何建模方法重构实物的CAD模型的过程。20世纪末，各国学术界团队大量投入逆向技术的研究。随着逆向技术的不断发展，在机械制造、美工、医疗、考古、生活服务等行业上得到深入应用。

3D打印，专业术语为增材制造技术，出现于20世纪80年代。前期主要用于产品研制阶段的“快速原型”和制造阶段的“快速成型”。随着第三次工业革命的热潮，3D打印也迎

来井喷式的发展，2016年3月美国洛克希德·马丁公司率先使用该技术制造出导弹零件，并成功应用于“三叉戟”IID-5弹道导弹。

航修领域为了满足自身发展需求，应快速实现航空修理数字化。

逆向工程技术与3D打印技术在2代机修理中应用

我公司二翻飞机在归建后，正常训练过程中发生撞鸟事故，造成飞机的进气道及周边结构损伤，大部分结

构件需要更换，而该机是20世纪末生产的，制造厂多年不再生产该机型。X-0402-5是受力件，受损严重，修理中需换新，采购部门确定该零件以无采购渠道，只能自制，但图纸技术要求规定按模线样板制造（见图1）。模线样板早已被制造厂销毁，图纸尺寸不全，技术人员决定通过逆向技术使用CATIA软件对零件进行逆向曲面重建，完成数模设计，然后使用3D打印制造出零件，与原零件对比，发现3D打印制造出零件尺寸完全符合修理要求。

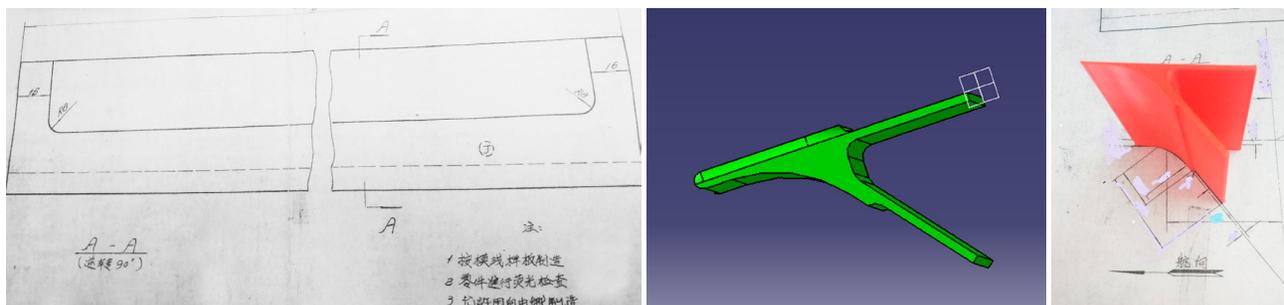


图1 上唇口梁X-0402-5

通过两项技术联合使用,设计人员使用逆向技术补全零件图纸缺少尺寸,建立零件数模,通过3D打印技术自行生产对比零件,不会打乱正常生产计划,影响正常工作流程的情况发生。同时独立完成零件生产,不用过多占用生产资源,降低零件制造周期,节约修理资源。

该机在完成修复后,通电调试检查合格,由部队组织各相关单位对飞机修理结果进行验收评审,评审通过后进行试飞验证,完成整机修复。公司获得部队的肯定,同时通过我公司对两项技术的使用验证,国内大部分飞机修理公司都开始使用这两项技术解决修理过程中遇到的无图件、缺少尺寸零件的制造任务,航修领域正不断向数字化方向发展。

逆向工程技术与3D打印技术在3代机修理中应用

在未来航空修理领域,我们主要面对的将是不断服役的3代战机的修理任务,对于大多数修理企业主要面临的挑战将主要突出在修理质量与修理周期这两点上。所以不断研究新技术,做好各技术间的互补工作是未来修理的关键。

1.逆向工程技术与3D打印技术在结构修理中的联合应用

在3代机修理过程中,公司经首架飞机试修成功后,总结修理的经验,发现在3代机修理过程中结构修理的速度决定飞机的修理周期的长短,其中结构受力大部件修理模式完全不同于传统2代机。

在飞机受力大部件修理过程中,要求特制加强件对裂纹部位进行补强,而且要求加强件与被加强部位各壁板之间间隙小于0.1mm,首架机试修过程中采用逆向技术扫描需加强部位,反向建模,制造出修理用的加强

件,极大地节约了试修周期。但在批量修理中为进一步节约修理周期,技术人员对要修理的结构部位建立数据库,通过对各部位逆向扫描,根据现有图纸逆向建立受力大部件的整体数模,然后根据探伤结果确定裂纹部位,直接取数模相应部位建立修理用加强件数模,然后通过3D打印制造相应的加强件验证件(见图2)。然后在机上进行比对,最终确定修理用的加强件数模。



图2 验证件

这一过程完全封闭在一个车间,由结构修理技术人员独立完成,不需要像传统修理模式,修理车间建模后提请生产部报缺件,生产部下任务给零件制造车间,制造车间按修理车间数模制造零件,再进行修复。现在结构修理人员直接使用3D打印制造零件,简化流程,节约生产资源,同时3D打印机24小时工作,提高零件制造效率,大大提升了结构修理效率。每架机比原有修理方式降低了一周的修理周期。同时,两项技术的联合使用方式已被部队采纳,空海军对这种修理方法都在做进一步延伸,相信不久后会取得骄人的成绩。

2.逆向工程技术与3D打印技术在导管修理中的联合应用

在3代机修理过程中,很多液压导管压力高达28MPa,液压管路的修复后的可靠性直接影响到整个飞机的安全,所以3代机修理比2代机修理增加了导管应力测试的试验项目,在应力测试过程中发现更换后的导管容易出现应力不合格的情况,经过与设计所、主机厂沟通发现主要原因是因为新制导管与原机导管弯曲形状发生了变化。

根据这一情况对飞机拆卸需要更换的导管使用三维扫描进行数据测量,使用CATIA软件进行逆向建模,并在数模上截取重要弯曲部位,然后使用3D打印机,打印出导管弯曲部位,再与原机导管对比,通过这种方法确定每个重要部位尺寸,最终确定完整数模尺寸并数控弯曲导管。经试验验证该方法降低了因应力测试不合格造成的导管更换率,提高了产品修复率,降低飞机修理周期,而且一些兄弟单位已经通过该方法建立了自己的导管数据库,更加快速建立数字化修理模式。

结束语

通过近3年在航空修理中的联合应用,经过多个故障的考验,确定联合逆向技术与3D打印技术能够很好的解决飞机修理难题,并在飞机修理领域得到推广,正加快航修领域数字化建设。□

参考文献

- [1] 齐建雄,张淑琴,牛文杰.《逆向工程技术及其在工业中的应用》[J].农业装备与车辆工程.2006,08(25).
- [2] 王运赣,王宣.3D打印技术[M].华中科技大学出版社.2015(8):101-104.



高效率的粉床式增材制造技术

DMG MORI公司

2013年以来，DMG MORI不断丰富增材制造产品线。最早推出了LASERTEC 3D和

LASERTEC 3D hybrid喷粉式激光堆焊机床。2017年，DMG MORI收购了REALIZER公司，

由此进入粉床式增材制造领域，并正在成为金属工件增材制造的全球和全能型供应商。



其产品包括第二代LASERTEC 30 SLM和LASERTEC 12 SLM。这两款产品都配有创新的粉料操作系统，即rePLUG粉料模块，因此换粉操作只需不超过两个小时，并配有创新的软件解决方案CELOS和OPTOMET。OPTOMET可轻松和快速地调整全部参数，时间只需几分钟。此外，DMG MORI培训学院还提供增材制造的咨询服务，使新用户能将增材制造技术快速引入到生产系统中。

REALIZER公司首席执行官Mathias Wolpiansky介绍说：“增材制造技术为产品开发商和设计师提供充分的设计自由，突破传统工艺的极限或高昂成本的限制。”特别是粉床式和喷粉式增材制造工艺是对传统生产技术的有益补充，也是恰当和极富前景的制造技术。DMG MORI始终以工艺为导向，丰富的切削加工和增材制造产品线充分体现DMG MORI全方位的视角，Mathias Wolpiansky介绍说：“经济地使用增材制造技术，需要恰当地将其集成在现有生产系统的工艺链中。只有这样才能成功地从原型件制造和小批量生产过渡到大批量生产的应用。”

第二代LASERTEC 30 SLM： 两条粉床式增材制造工艺链

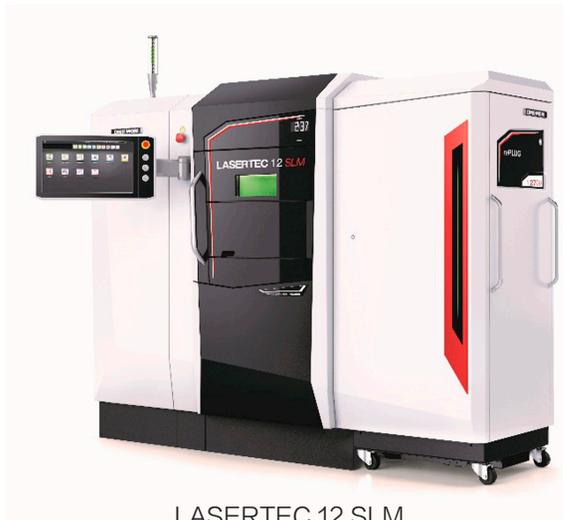
DMG MORI提供第二代LASERTEC 30 SLM系列粉床式增材制造机床（选择性激光熔融）。第二代机床的成形加工区达300mm×300mm×300mm，该机简约的隐形设计提供优异的用户友好性。

粉床式增材制造技术提供两种工艺链：一种是增材制造的工件可在铣削加工中心上加工，达到要求的表面质量，例如用第三代DMU 50五轴加工中心；另一种是第二代LASERTEC 30 SLM机床可完成已

提前铣削的底板和底座的最终成形加工，无需任何支撑结构。

LASERTEC 12 SLM：精度高于工业标准4倍

LASERTEC SLM系列的最新款产品是LASERTEC 12 SLM。该机精度高于平均水平。REALIZER公司销售和应用总监Florian Feucht说：“光斑直径仅35μm，比当前行业标准高4倍。因此，可以显著提高结构分辨率。”这款粉床式增材制造机床的成形体积为125mm×125mm×200mm，在该精度级别机床中无出其右。



LASERTEC 12 SLM

LASERTEC SLM：rePLUG粉料模块系统

灵活性、高效和高工艺可靠性是LASERTEC SLM机床的突出特点，也是选择性激光熔融增材制造领域的明显特点。

亮点之一是灵活性的粉料模块rePLUG，适用于LASERTEC 12 SLM，也适用于第二代LASERTEC 30 SLM。Mathias Wolpiansky介绍说：“换粉操作只需不超过两个小时。此外，封闭式粉料回路的操作安全性和工艺自主性都非常高”。全新的简约隐形设计使该机操作更加舒适，也体现DMG MORI多年来不断追求和优化的理念，更轻松地接近全部关键控制部位，简化机床操作。因此能保证机床在长期工作中的高效率。



高灵活性的粉料模块rePLUG

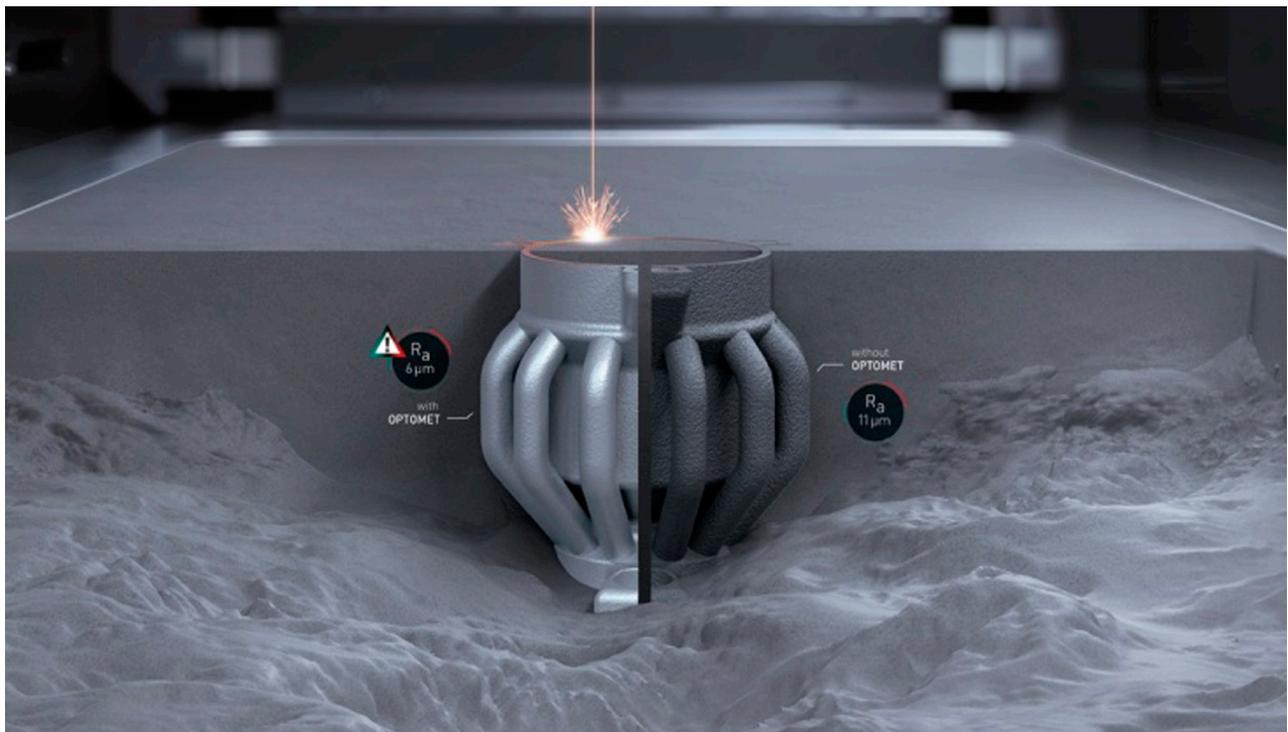
LASERTEC SLM系列机床的工艺链还包括一体化的软件解决方案，含CAM编程和机床控制系统CELOS。Florian Feucht补充说：“由于用户界面的协调和统一，可在机床外用尽可能短的时间完成程序编程并传到机床中。”由于CELOS提供高效率的信息流和直观易用的操作方式，为增材制造的工件预处理和

后处理提供恰当的工作流程。此外，LASERTEC SLM系列机床是开放的系统，允许个性化地调整全部加工设置和工艺参数，也允许自由地选择粉料供应商。

OPTOMET首件合格：智能控制全部工艺参数

DMG MORI已持有印度软件开发

公司INTECH 30%的股份，因此掌握了增材制造的关键软件和专有技术资源。INTECH是印度3D打印的先驱公司，专注于开发增材制造技术及相应的软件解决方案，包括该行业的人工智能技术。与INTECH合作的首个成果是全新OPTOMET软件，该软件搭载于DMG MORI LASERTEC SLM系列机床。



OPTOMET

Mathias Wolpiansky介绍该软件的工作原理，他说：“OPTOMET的自调节和自学习算法可在数分钟内提前计算SLM工艺所需的全部参数。也就是说可以自由地计算层厚，更快和更高效地完成成形加工。”OPTOMET还提供粉料数据库，用户可用所有制造商的粉料，无需事先对其进行测试。开放的系统还允许用户根据自己的试验数据自由地扩展该数据库。OPTOMET允许调整参数，例如修改或优化材质的硬度、孔隙率和弹性等性能参数。

增材制造的四条工艺链

粉床式增材制造技术提供两条工艺链：一条是增材制造的工件可在铣削加工中心上加工，达到要求的表面质量；另一条是第二代LASERTEC 30 SLM机床可完成已提前铣削的底板和底座的最终成形加工，无需任何支撑结构。DMG MORI还提供喷粉式增材制造技术，因此共提供四条工艺链。

LASERTEC 65 3D hybrid 将喷粉式激光堆焊与5轴联动铣削加工集成在一套系统内，而LASERTEC 3D产品为纯激光堆焊加工增材制造机床（以及LASERTEC SLM系列），是

对车间现有机床的理想补充。

四条工艺链清晰地表明：增材制造技术是对传统加工技术的有益补充，并能彻底释放设计自由。许多公司认识到增材制造技术的巨大潜力，但他们常常缺乏必要经验和知识。DMG MORI培训学院增材制造咨询服务，旨在帮助客户掌握增材制造的必要知识，同时建立以LASERTEC 3D和LASERTEC SLM系列机床为基础的增材制造工艺链。咨询范围包括整个增材制造工艺链，其中“增材制造快速检查”服务是发现增材制造潜力的理想开始。□

微小型立式五轴雕铣中心关键技术

沈阳机床股份有限公司 张健 姜成伟

本文阐述了一种微小型立式五轴雕铣中心的设计开发关键技术，包括机床总体布局、主要技术参数和特点、机床本体开发技术、RTCP检测技术和五轴加工后处理技术。微小型立式五轴雕铣中心的研制成功，有效解决了珠宝首饰的高精、高效、高稳定性加工难题，同时该产品填补了国内空白。

近年来，随着科技的进步，产品设计水平的提升，五轴联动雕铣中心的应用范围逐步从之前的航空、航天、军事工业等领域扩展到民用领域，如珠宝首饰、工艺礼品、木器加工、艺术模型、可穿戴设备等。

国内珠宝首饰行业生产方式普遍以手工和半机械化为主，加工设备专用性较强。目前市场上珠宝加工机床主要来自于瑞士、意大利等国外专用设备制造商，而国内在此领域处于起步阶段。同时，行业内客户渐渐意识到，珠宝首饰采用现代CNC生产制造方式势不可挡。因此，国内市场对这种雕铣中心的需求潜力很大，尤其是微小型规格产品市场上处于空白，研制具有自主知识产权的微小型立式五轴雕铣中心产品迫在眉睫。

1. 机床总体设计

(1) 机床总体布局。该系列微小型立式五轴雕铣中心采用模块化设计，总体设计布局为三个直线轴重叠和单悬臂双轴转台的五轴机床结构形式。坐标轴运动方式为横向滑板沿立柱左右移动（X轴）、纵向滑板沿纵向滑板前后移动（Y轴），主轴箱沿

纵向滑板上下移动（Z轴），B/C转台为单悬臂式结构，左右摆动为B轴，水平面回转为C轴。刀库位于立柱前部左侧，主轴箱移动配合刀具交换动作。操作面板位于机床正面，气动等辅助系统位于机床右侧，电气柜位于机床后侧，冷却和贵金属回收装置位于机床下部。图1为机床总体布局（裸机三维模型和机床整体外观）。

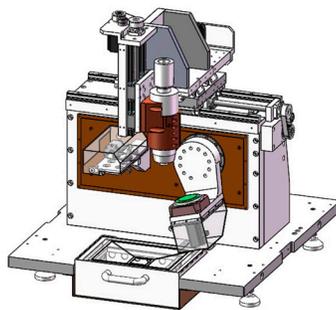


图1 机床总体布局

(2) 机床主要技术参数。根据市场和客户需求信息，确定本产品的技术参数。

产品主要技术参数见表1：

表 1

横滑板最大行程（X轴）/mm	295
纵滑板最大行程（Y轴）/mm	135
主轴箱最大行程（Z轴）/mm	110
主轴锥孔（7/24）	ISO10
主轴最高转速（r/min）	40000或60000
主轴电机功率/kW	1.2
X/Y/Z轴快移（m/min）	8
B轴旋转角度	+30° ~ -135°
C轴旋转角度	360°
刀库型式	直排或回转
刀库驱动形式	气动或电动
刀库刀具数量	6把或12把
机床数控系统	沈阳机床i5或台湾新代

(3) 机床主要特点。机床结构布局采用独特的三个直线轴重叠、均布置在刀具侧的方案，工件在加工过程中的质量变化不会影响直线轴的动态特性，以及两个回转轴单悬臂，亦位于刀具侧，同时贵金属切屑不易在

直线上残留，便于清理和回收。工作区内防护采用独特漏斗形设计，以及优质不锈钢材料可以确保贵金属回收率高，回收方便。

三个直线轴采用电机-滚珠丝杠紧凑型结构设计，直线导轨系统具有高刚性及良好的动态性能和精度。B轴和C轴采用高精度减速传动机构，适用于高定位精度和高动态的周期工作制，具有良好的抗冲击性能。C轴可实现360°连续旋转，定位精度高，稳定性好。

高速电主轴转速高达40000r/min或60000r/min，满足贵金属高速加工需求，表面加工质量好。

机床配置直排式或回转式刀库，刀具数量最高可达12把，根据工艺需求实现自动换刀。

该机床具备刀具测量系统，可以检测刀具的磨损，同时也可以配置工件测量系统。

2. 机床关键技术研究

(1) 机床本体开发技术。

1) 高强轻质铝合金零件设计技术。机床主要基础大件、关键零件均采用航空铝合金材料，兼顾高强轻质的优异特性，从而机床重量与传统的铸铁件相比，重量显著降低，仅为后者的二分之一。

2) 民用220V电压电源应用技术。基于客户生产现场有采用办公楼而非工业厂房的需求，以及便于移动和安装，机床的功能部件如电主轴、伺服电机及驱动、水冷机、冷却泵等均采用220V电压电源技术。

上述机床本体设计和应用技术突破了传统数控机床设计局限，采用了全新的设计理念，整机重量轻、占地空间小以及移动和安装灵活、方便，为国内首创。

(2) 机床RTCP检测技术。

RTCP是“Rotational Tool Center

Point”的缩写，即旋转刀具中心。该功能实现了以刀具中心进行编程，通过该功能可以直接在机床上针对双转台管理刀具的空间长度补偿。一般情况下，五轴机床的RTCP补偿值是先通过检测工具或切削样件进行测量。

基本参数设定见表2。

表 2

参数号码	设定值	说明
Pr3001	2	五轴机床类型：双旋转工作台
Pr3002	3	刀具方向：Z轴
Pr3003	0	刀具倾斜角度
Pr3004	0	刀具倾斜角度
Pr3005	2	第一旋转轴为“B”轴
Pr3006	3	第二旋转轴为“C”轴
Pr3007	1	第一旋转轴“B”轴为反向
Pr3008	2	第二旋转轴“C”轴为法向

新代系统RTCP参数设置界面如图2所示。



图2 RTCP参数设置界面

B轴和C轴轴心位置检测见表3。

表 3

参数号码	设定值	说明
Pr3031	实测值，没有可为0	B轴相对C轴的X方向偏移量
Pr3032	实测值，没有可为0	B轴相对C轴的Y方向偏移量
Pr3033	实测值，没有可为0	B轴到C轴在Z轴正方向的偏移
Pr3034	实测值	B轴轴心的X轴机械坐标值
Pr3035	实测值	C轴轴心的Y轴机械坐标值
Pr3036	实测值	B轴轴心的Z轴机械坐标值

(3) 五轴加工后处理技术。后处理是CAM软件中对CAD模型进行的加工操作后生成的刀位数据文件（CL），不能被机床控制器识别，必须进行后期处理，来创建能够为机床识别的加工程序文件（NC）。

我们自主开发的微小型立式五轴雕铣中心，属于双转台五轴结构即X、Y、Z三个直线轴和B、C两个回转轴。CAM软件生成的刀位文件的刀位坐标（X，Y，Z）和刀具矢量（I，J，K）是基于工件坐标系建立的。因此，后处理的主

要任务是将工件坐标系的刀轴矢量分解成两个回转轴的回转角度，同时将基于工件坐标系的刀位坐标转化为基于机床坐标系的刀位坐标。

后置处理算法推导：

为讨论方便，在此做以下设定：

工件坐标系为 O_W 、 X_W 、 Y_W 、 Z_W ；工件可绕Y轴摆动B角；工件可绕Z轴回转C角；机床运动坐标系为 O_R 、 X_R 、 Y_R 、 Z_R ， $O_W O_R=d$ ；刀心 C_0 在工件坐标系中的位置为 (x_{c0}, y_{c0}, z_{c0}) ；刀轴矢量 a （单位矢量）在工件坐标系中为 (a_x, a_y, a_z) ；下面讨论一下机床运动坐标值 X 、 Y 、 Z 、 B 、 C 的计算方法。

BC转角的计算：

对于自主开发的双转台五轴雕铣中心，为实现上述转换，工作台的动作为工作台绕Z轴顺时针转动C角，工作台绕Y轴顺时针转动B角，如图3所示。B、C角可以通过三角函数关系计算获得。

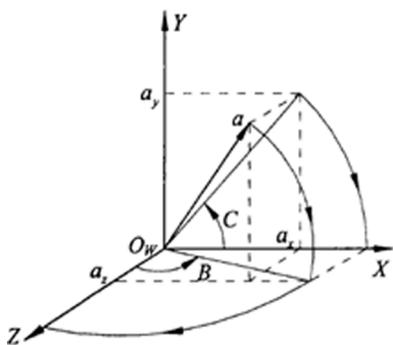


图3 五轴加工刀轴矢量转动关系

机床运动 X 、 Y 、 Z 坐标的计算：

求刀心 C_0 经工件转动后在机床坐标系 O_R 、 X_R 、 Y_R 、 Z_R 中的位置，即机床的运动坐标 X 、 Y 、 Z 。

先将坐标系 O_W 、 X_W 、 Y_W 、 Z_W 平移到 O_R 、 X_R 、 Y_R 、 Z_R ，其变换矩阵为：

$$T1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

工件绕Z轴旋转 $-C$ 角，变换矩阵为：

$$T2 = \begin{pmatrix} \cos C & -\sin C & 0 & 0 \\ \sin C & \cos C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{则 } (X \ Y \ Z \ 1) = (x_{c0} \ y_{c0} \ z_{c0} \ 1) T1 T2 T3$$

将其展开可得：

$$X = x_{c0} \cos C \cos B + y_{c0} \sin C \cos B + z_{c0} \sin B + d \sin B$$

$$Y = -x_{c0} \sin C + y_{c0} \cos C$$

$$Z = -x_{c0} \cos C \sin B - y_{c0} \sin C \sin B + z_{c0} \cos B + d \cos B$$

由于刀具路径文件的多样性和数控系统的不同，NC程序的格式也不尽相同，因此，通过后处理的设定，能够得到用户适用的加工程序。

下面以手镯样件为例，在自主开发的微型立式五轴雕铣中心上进行实际切削加工验证。

首先通过CAD/CAM软件进行建模和编制加工刀具路径，然后运用后置处理算法结合五轴机床生成NC程序，最后通过机床进行实际加工，加工效果符合预期。手镯样件如图4所示。



图4 手镯样件

工件绕Y轴旋转B角(该机床B轴方向定义与右手定则相反)，变换矩阵为：

$$T3 = \begin{pmatrix} \cos B & 0 & -\sin B & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin B & 0 & \cos B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

加工需求，表面加工质量好。

(3) 机床本体采用高强轻质铝合金材料，以及民用220V电压电源技术的应用突破了传统数控机床设计局限，使得整机重量轻、移动和安装灵活、方便，为国内首创。

(4) 机床RTCP功能实现了以刀具中心进行编程，通过该参数设置可以实现针对双转台管理刀具的空间长度补偿。RTCP补偿值参数可以通过切削样件测量获得。

(5) 针对自主开发的微型五轴机床开发了后置处理算法，以手镯样件为例进行了实际切削加工验证，达到了预期效果。

(6) 微型立式五轴雕铣中心的研制成功，有效解决了珠宝首饰的高精、高效、高稳定性加工难题，产品填补了国内空白。□

3. 结束语

(1) 该微型立式五轴雕铣中心总体设计布局为三个直线轴重叠和单悬臂双轴转台的五轴机床结构形式，五个坐标轴均布置在刀具侧，贵金属切屑不易在直线上残留，便于清理和回收。

(2) 高速电主轴转速高，最高可达60000r/min，满足贵金属高速

参考文献：

- [1] 徐金亭, 汪顺可, 张向奎. 基于ABF的自由曲面上三维复杂图案的雕刻方法[J]. 机械工程学报. 2013, (3) 137-144.
- [2] 高伟强, 胡泽华, 庄朱协. 五轴联动数控系统中RTCP技术的研究[J]. 制造技术与机床. 2011, (10): 66-69.
- [3] 刘雄伟. 数控加工理论与编程技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

矿物铸件材料在机床上的应用及前景

成都普瑞斯数控机床有限公司 李青

CIMT2019展会上,山东蒂德精密机床有限公司展出的VMC60B立式加工中心、大连科德数控股份有限公司展出的KMC400S U五轴铣车复合立式加工中心等机床,广泛采用一种新型节能、环保的高强度人造花岗石矿物铸件材料,用以替代传统的铸铁材料制造机床,受到机床制造行业和机床用户的关注。

这种新型材料具有高阻尼性、高耐磨和耐腐蚀性、高精度和高稳定性等特点,可替代传统铸铁、铸钢、天然花岗石等传统材料。可广泛应用于机床、电子、医疗、航空、印刷等行业,用以提高设备的精度和速度,增加工作稳定性,延长工模使用寿命。

这种矿物铸件制造技术来源于德国。经过不断发展,现在国内很多制造企业已基本掌握该铸造技术,并具有相关自主知识产权。如山东克莱泽新材料科技有限公司、苏州凯尔曼新材料科技有限公司、山东纳诺新材料科技有限公司、大连光洋铸石床身有限公司等企业已掌握相关的制造技术,同时也初步形成一定的市场规模。该技术与产品已被广泛应用于很多数控设备及其他工业领域,并因其良好的节能性能和经济特性,正受到越来越多的用户青睐。

矿物材料铸件的制造技术

1. 矿物材料铸件的成型原理

矿物材料铸件也称人造大理石或树脂混凝土,是一种新型复合节能环保材料铸件。该矿物材料是以改性环氧树脂和固化剂为胶结剂,以花岗岩和石英砂颗粒为集料,采用科学级配比并加入一定的辅助剂,经多道工艺复合而成的一种铸件。在常温下浇筑而成,成型精度高,尺寸稳定。通过特殊的粘接剂实现了复杂外形的铸造,所以便于用来制造机床的结构铸件。

2. 矿物材料铸件的主要特点

矿物材料铸件是一种相当环保的材料铸件。相对于传统的铸铁材料铸件,有其天然的独特优势,主要体现在:

(1) 良好的减振性

矿物材料铸件由于内部颗粒结合密度小、分布均匀,其常温复合成型的方式与铸铁材料采用高温制造成型有着本质区别,所以可以获得极好的减振性,其阻尼特性是铸铁材料的10倍左右(见图1 矿物铸件材料与铸铁材料阻尼特性对比),从而可大大减小机床加工时,机床振动对机床加工精度所造成的影响。

艾默生CSI2130机械状态分析仪分析结果

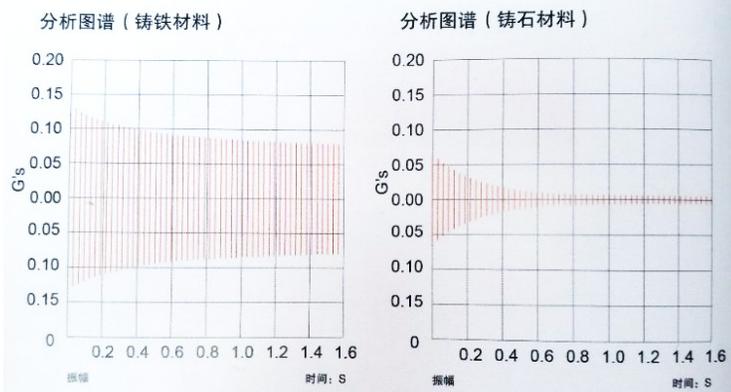


图1 矿物铸件材料与铸铁材料阻尼特性对比

(2) 极佳的热稳定性

矿物材料铸件是在常温下合成，其固化反应放热量低而且成型时收缩变形小，其内部残余应力集中小，成型精度高。矿物铸件的热传导率数一般为：1~3W/mK，而铸铁铸件的热传导率数一般为40~50W/mK，因此，矿物铸件对加工环境所产生的热量及高温不敏感，从而有利于保证机床的精度。

(3) 成型能力强、周期短且精度高

矿物材料铸件具有很好的成型能力，可以把线管、液压管、钢件等其他嵌件预埋在铸件中并一次成型，且由于矿物材料的低粘度和固化成型时的低收缩率，从而使矿物铸件获得较好的精度及表面粗糙度，进一步降低了机械加工的成本，同时，也使铸件的交货周期从几个月缩短为十几天。极大地节约了时间和生产成本，也提高了用户的生产效率并能获得极好的经济效益。

(4) 耐腐蚀性强

矿物材料铸件具有极好的耐化学品性能，能抵抗酸碱性溶液、冷却液、切削液等化学品的腐蚀。而铸铁铸件由于其原材料为铸铁，往往对酸碱性溶液、冷却液、切削液的耐腐蚀性差，容易生锈。矿物材料铸件因其电绝缘、不导磁、耐腐蚀，具有极好的物理化学惰性，耐用时间长。

(5) 降低加工、装配成本，设计包容性好

矿物材料铸件是可以常用的线管、液压管、叉车槽、冷却水管、排屑槽、钢件等预先整合在铸件中。从而使设计和生产达到最优化，节省了加工及装配时间，也降低了机加工、机械和电气装配以及物流转运等多方面的生产成本，所以，矿物材料铸件的生产总成本比焊接结构或者灰铸铁铸件低。同时，铸件整体外形美观，

结构紧凑，特别适合机床床身的制作，包容性较好（见图2）。

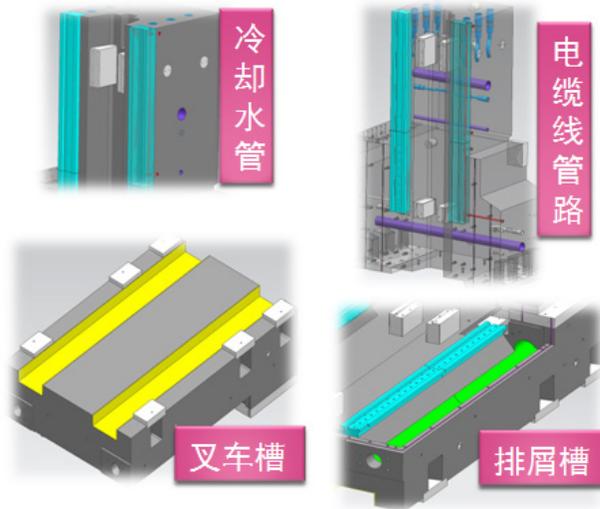


图2 矿物铸件的设计包容性

3. 矿物材料铸件的制造工艺流程

虽然不同用途的矿物材料铸件，其制造工艺流程会有差别，但就总体而言，其制造工艺流程大致相同，具体可以分为：原材料配比、混合搅拌、模具制作、部件装配、浇铸、夯实铸件，最后成型（见图3）。

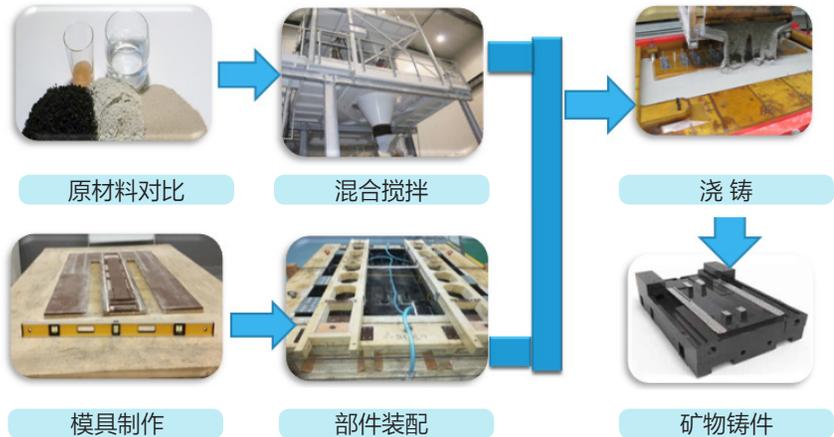


图3 矿物材料铸件的制造工艺流程图

(1) 原材料配比

矿物铸件是由砂石、填充料、树脂胶黏剂、固化剂、缓凝剂等原材料按照一定的百分比调配而成的。其原材料的比率多少往往对矿物铸件有较大影响，另外，砂石的种类、硬度、粒度大小、形状和含水率都会对矿物铸件的强度等有比较大的影响，所以，只有不断研发、试验、优化原材料比率，才能铸造出更好的矿物铸件。

(2) 混合搅拌

通过搅拌机或者数控化式连续式搅拌机让各类砂石、填充料、胶黏剂和添加剂均匀分布和充分混合的过程。搅拌时间不能过短，否则混料不充分；同时

需要搅拌均匀、使砂石填料充分润湿，否则会影响浇铸后的产品的性能。

(3) 模具制作及部件装配

预先制作相应的专用模具，并将其他环节的线管、液压管、叉车槽、冷却水管、排屑槽、钢件等预先整合在模具中，便于铸件的整体浇注成型。

(4) 浇注

将充分搅拌的原材料浇灌入预先做好的模具中。与普通铸铁浇注类似，该过程要尽可能快速的完成。同时还要通过机械振动的方式，减少气泡，让原料快速、紧密的结合。与铸铁材料浇注相比，浇注是在常温下完成，其能耗较低，符合低碳节能环保的要求。

(5) 固化成型

在常温下即可固化形成矿物铸件。而铸铁铸件往往需要较长的制造周期，且过程复杂，而矿物铸件其制造周期一般为10~15天左右，所以矿物铸件大大缩短了生产周期。降低了生产成本。

矿物材料铸件的主要技术参数

矿物铸件由于材料不同，与铸铁铸件相比，关键技术参数指标（如：抗压强度、弯曲强度等）比铸铁铸件要逊色一些。为解决此难题，一般矿物铸件其铸造壁厚设计为铸铁的3~4倍，以满足其结构的强度要求。然而，其优势是密度小、比重低，热传导率低，成型快，精度高，具体对比见表1。

表1 矿物铸件技术参数与铸铁铸件对比

序号	技术参数	矿物铸件	铸铁铸件	天然大理石
1	密度/(g/cm ³)	2.30~2.45	6.6~7.4	3.0~4.5
2	抗压强度/(N/mm ²)	140~170	300~900	200~300
3	弯曲强度/(N/mm ²)	25~45	100~300	20~30
4	弹性模量Kn/(N/mm ²)	30~50	80~120	50~100
5	热传导率数/(W/mK)	1~3	40~50	2.5~3.5
6	热膨胀系数(10 ⁻⁶ /K)	10~20	10~15	5~7
7	泊松比	0.25~0.3	0.2~0.3	0.2~0.3
8	阻尼系数	0.01~0.02	0.001~0.002	0.002~0.003

另外，矿物材料铸件其热变形小，成型精度高，加工余量一般较少，所以相应减少了加工成本。

矿物材料铸件的应用前景

矿物铸件经过不断地开发及应用，现已经在一些领域广泛使用，与传统的铸铁铸件相比，具有很多独特的特点和优势，已越来越受众多工业企业的青睐（见表2、图4）。

表2 矿物材料铸件应用领域

应用领域	矿物材料铸件产品
机床工业	各种类型加工中心机床铸件
电子工业	钻孔机、分析仪设备基座铸件
能源工业	汽轮机、发电机基座铸件
测量工业	三坐标、平衡机、高精密检具基座铸件
其他工业	包装机械、纺织机械、化工机械铸件



图4 矿物材料铸件应用

随着矿物铸件树脂配方体系的不断开发和完善，集料种类的选择和级配的不断优化，以及矿物材料铸件产品力学性能测试的不断提升，从而可生产出更加高品质的矿物材料铸件产品，以获得更多用户的认可和青睐。

随着我国工业水平的不断发展，以及对环境保护的要求越来越高，将会有越来越多的铸造行业企业进行转型升级，越来越多的企业将会采用这种新型材料制造设备，以减少使用传统铸铁材料所产生的工业废水、废渣、废气所带来的环境污染。 □

整体硬质合金立铣刀的创新结构

尚亚国际贸易公司 章宗城

1. 立铣刀的主要形式结构

立铣刀主要有整体式和装可转位刀片式两种基本形式。

整体式按材料分主要有整体高速钢制和整体硬质合金制两种。采用整体硬质合金制造，虽价高，但刚性大，硬度高，耐磨损，加工效率高，加工质量好，其直径范围约在0.1~25mm。整体高速钢制的特点是韧性高，最大直径可达60mm以上。

装可转位刀片的立铣刀直径约为12~160mm，立铣刀除用在加工一般零件的侧面、台阶面和槽外，随着数控技术的发展可随机床数控插补运动的控制做复杂型面的加工，如铣切内外圆柱面、各种曲面、成形表面，成为加工模具型腔和复杂形状零件的主要刀具。

为了加工各种不同的表面和材料，并具有更高的效率、精度和表面质量，立铣刀除具有直角头、圆弧头、球头这三种基本形式外，还可设计制作出了多种特殊的形状和结构。

为高效加工具有多种表面的零件，需要能快速更换使用不同形状的立铣刀。为了提高加工效率，节省辅助时间，于是可换刀头的立铣刀出现了，它们一般是在钢制刀杆上用螺纹

联结装上可更换不同形状的装可转位刀片的刀头，这样就不用拆卸已定位安装好的刀杆，只换个刀头就行，这样可快速加工出多个表面，甚至全部表面，实现工艺集中，使各个表面的相互位置精度也得以提高，且大大节省工时，许多制造立铣刀的公司都进行了这方面的开发。

2. 新联结结构及效果

目前各公司的可更换刀头的立铣刀，主要是装可转位刀片的立铣刀，立铣刀刀杆和装可转位刀片的刀头都是钢制的，为保证一定的刚性，常仅用于较大的直径。在加工较小的型腔，狭窄的表面时，只能使用许多小直径不同形状的整体立铣刀，小直径高速钢刀头刀杆联结问题不大，但刚性差。

有没有可更换较小直径的整体硬质合金的立铣刀呢？能否解决好同是硬质合金刀杆和刀头的联结和拆装的难题呢？

针对以上问题，三菱综合材料公司的技术人员经过一段时间的设计试验和修正，开发出了iMX可换硬质合金刀头刀杆系列立铣刀，其联结结构如图1所示。在刀杆和刀头内都装有钢制螺栓和内螺纹套，用螺纹联结。

定位对中和主要受力则是靠硬质合金刀杆的圆锥体，刀头的圆锥孔和两端面多重可靠密切的接触和配合。

新研发的联结方式看起来很简单，但这是具有划时代意义的革新，其刚性接近整体硬质合金立铣刀。经试验对比它的寿命比过去产品高约3倍以上。

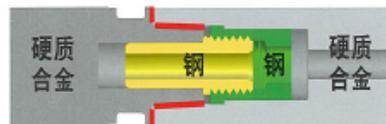


图1 iMX联结结构

接着他们又开发了多种刀头，并通过对其几何结构、材料和涂层的改进（见图2），开发了可高效加工一般钢、模具钢、不锈钢、铝合金、钛合金和耐热合金、复杂型面加工、高效加工、粗加工、倒角加工等的小直径可更换刀头立铣刀系列。



图2 EP7020涂层

iMX系列立铣刀可换刀头目前已开发出近20种。除一般直角头、

圆弧头、球头、顶角为90° 专门加工倒角用外，还有专门适合钢材、难加工材料、铝合金、叶片加工的和专门适合高速加工、大进给加工用，减振和加强冷却也在各刀头结构中得到反映。

(1) 适用难加工材料。如对钛合金Ti-6Al-4V (HRC32) 等，在切削速度 $v=69\text{m/min}$ 、切削深度 $a_p=10\text{mm}$ 、切削宽度 $a_e=20\text{mm}$ 、悬伸量为72mm的条件下，iMX系列 $\Phi 20\text{C4HV}$ 立铣刀可比一般联结的可换刀头立铣刀的耐抗破损能力高80%左右，并专门开发代号为EP的涂层。其中EP6120适用于圆弧头立铣刀大进给加工钢，而EP7020适合加工不锈钢等难切削材料（涂层结构见图2）。用它加工INCONEL718耐热合金时，和以往产品的比较如图3所示。iMX12B4HV如以后刀面磨损高度达到0.2mm为磨损限定最大值，可知它可切削长度远大于其他产品。现在iMX系列的最小直径可做到 $\Phi 10\text{mm}$ 。

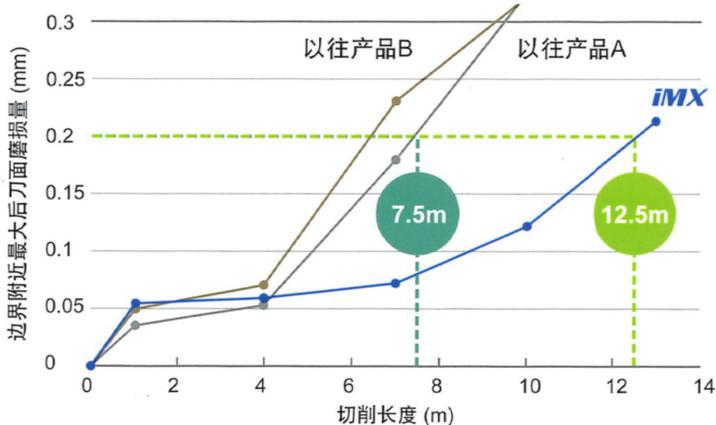


图3 与以往产品比较例

(2) 适用粗加工。许多叶片、模具型腔等常采用实体整块毛坯加工，切除量非常大，如用直角头立铣刀，要切除的余量是台阶状，切削力大，刀具易弯曲，刃尖易损伤。为此iMX系列开发了具有桶状圆弧，可分屑的带槽4刃的刀头，型号是iMX-R4F（见图4）。加工时它的切屑厚度可变，主偏角从很小到90° 负载逐渐增加，从而使总的切削力减少，切削保持平稳，可以较大的进给率实现高效加工。在机床刚性和工件刚性低的条件下也可以使用，并发挥良好的加工效果。

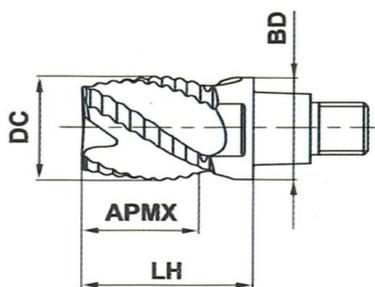


图4 高效粗铣刀头R4F

(3) 适用高效大进给。大进给带冷却孔的 $\Phi 10\text{iMX-C4FD-C}$ 型立铣刀如图5所示，切削钢材时每刃进给量达0.4mm，转速达4800r/min，因此进给速度可达7700mm/min。结构特点是具有复合圆弧刀头，形成的切屑形状是又长又薄，产生的切削力小，且主要作用在轴向，径向分力小，这样就可以抑制刀具的振颤与挠曲。复合圆弧增大了圆弧半径，使底刃转角处强度增加，减少刀刃损伤。保证了实现大进给高效加工，降低了加工表面粗糙度。

这种刀具的寿命和可切削的长度远高于一些老产品。如直径 $\Phi 10\text{mm}$ 的此型刀具加工Co-Cr合金钢，在切削速度 $v=100\text{m/min}$ 、每刃进给量 $f=0.15\text{mm}$ 、切削深度 $a_p=0.2\text{mm}$ 、切削宽度 $a_e=3.5\text{mm}$ 、悬伸量32mm等条件下，寿命比老产品可提高70%左右。

$\Phi 20\text{mm}$ 的刀具加工模具钢SKD61 (HRC52，相当我国的40CrMoV5)，在悬伸80mm、切削速度 $v=100\text{m/min}$ 、每刃进给 $f=0.1\sim 0.4\text{mm}$ 、切削深度 $a_p=0.5\text{mm}$ 、切削宽度 $a_e=5\text{mm}$ 条件下，在立式加工中心 (BT50) 进给速度可达到2500mm/min以上，以往产品进给速度在1000mm/min多即破损，因此比起老产品不但寿命长，加工效率更是它的4倍。

(4) 抗振用。立铣刀由于总是悬伸出一定距离加工，故易产生振动，减振的一般方法是减少切削力、防共振和降低切削用量，而降低切削用量就使切削效率下降。但如果设计出能减少切削力和共振的刀具，就可以不降低切削效率。

为达此目的措施主要有选用高韧性超微粒硬质合金做刀头材料，刀刃设计具有正前角，具有良好的槽

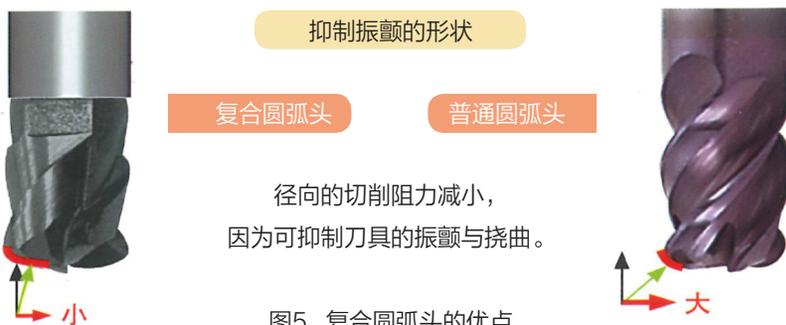


图5 复合圆弧头的优点

形和刃口圆角半径，采用疏齿和不等齿距，不等螺旋角，不同的切削刃曲线，刀头和刀杆的平衡性好，装有减振机构等。

iMX系列针对难加工材料和大悬伸的直角头、圆弧头刀头采用不等螺旋角，球头刀头采用不等曲线刃，3刃加工倒角刀头采用耐高频振颤设计，从而实现了高质量加工。

(5) 用于复杂曲面加工。为适应叶片空间三维曲面的加工，

iMX系列专门开发了几种立铣刀头，特点是圆弧头（圆弧半径 $R=0.5\sim 2\text{mm}$ ），多刃（8~15刃），头部带锥形约 8° ，故顶端直径约比铣刀直径小1mm左右，底刃中心带有冷却孔，不仅有冷却润滑作用，还可使排屑稳定顺利。其精加工叶片的质量可媲美整体硬质合金立铣刀，刀具持续使用和总体费用却可降低很多。

圆弧头立铣刀比球头头部强度

大，刚性高，可实现大进给。有条件时将圆弧头立铣刀倾斜一定角度，相当于增大圆弧头半径，可进一步增大进给量，减少加工表面粗糙度。用此系列的iMX20C15T在5轴加工中心进行叶片精加工，如叶片的材料是不锈钢SUS420J1（近似我国4Cr13），切削速度 $v=304\text{m/min}$ 、每刃进给量 $f=0.09\text{mm}$ 、切削深度 $a_p=0.4\text{mm}$ 、切削宽度 $a_e=2.5\text{mm}$ ，可获得较高的加工表面质量。

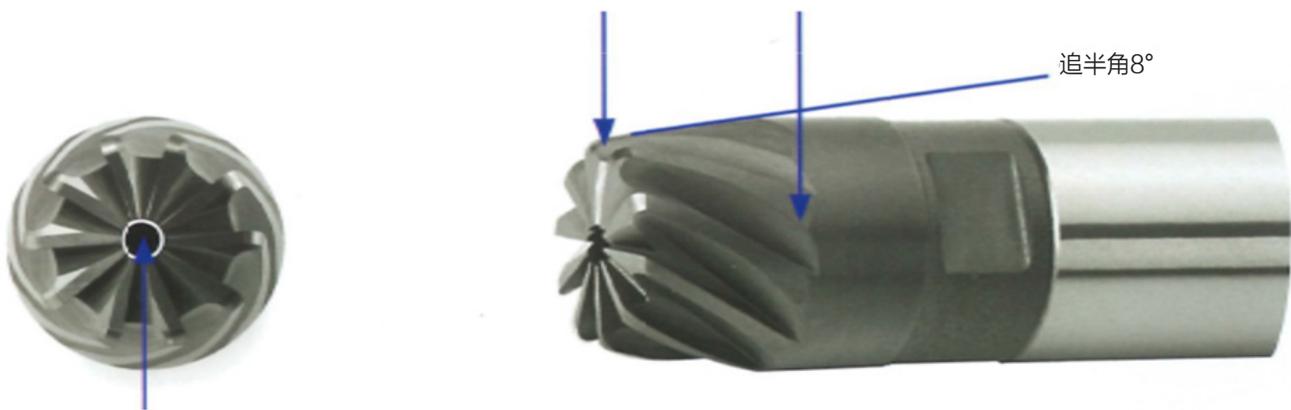


图6 带冷却孔多刃锥形圆弧刀头

(6) 用于铝合金加工。铝合金的加工特点是强度较低，塑性较好，易生成带状切屑。iMX-S3A和iMX-C3A的3刃直角头和圆弧头立铣刀头都采用大前角，为防止铝屑黏附并快速排出，前刀面作了抛光镜面处理。在各尺寸立铣刀最大切深处的刀刃做出曲面，这样可减少毛刺，提高表面质量。

(7) 用于高硬度钢（HRC65）加工。采用了抗氧化性和润滑性均优异的（Al, Cr, Si）N类涂层与结合力强的（Al, Ti, Si）N涂层相结合，材料牌号为EP8100。可以在加工高硬度钢中发挥杰出的耐磨性能。现用于球头立铣刀2刃和4刃的iMXB2S和B4S上，球头的顶刃设计为小螺旋角加工精度高，可直接高效

地对淬硬的模具型腔和具有复杂曲面的工件进行高质量加工。

(8) 用于倒角。为专用于加工孔缘和工件外廓的倒角，他们又开发了两种顶角呈 90° 的刀头，前者是3刃，后者是6刃。使用专用的倒角立铣刀比其它刀具加工倒角效率高得多。如加工合金钢旋转轴承齿部倒角，不但效率高，寿命也提高了许多，受到客户的广泛欢迎。

为适应各种零件加工，刀柄有下挖式、直柄、锥柄等形式，有不同的长度。如果零件形状不深，立铣刀悬伸可缩短，切深不大时，也可以采用价廉的钢刀柄。

3. 结束语

为使这种新的联结结构充分发挥

其良好的作用，在安装时必须注意清洁结合部，刀头和刀柄间应该密合不能有间隙，应用扳手拧紧至推荐的安装扭矩和参考夹紧角。

一般用此系列立铣刀加工不锈钢、钛合金、耐热合金等材料时，用水溶性冷却液效果较好。切一般钢与合金钢也可吹压缩空气，干式切削。切削深度小时，可灵活地进一步提高切削速度和进给速度。

尽管本系列若干刀头采用抗振结构设计，若机床刚性低时，仍需适当降低切削用量；加工斜面时也需要减少每刃进给量。注意到这些问题，可获得优质、高效、低成本的加工效果。

国外各种先进的产品值得我们认真学习参考，才能不断提高我们自身的水平。 □

圆柱外直齿轮盘刀包络铣削方法

南京工大数控科技有限公司 孙小敏

针对圆柱外齿轮精加工铣齿刀盘无法通用的问题，提出了一种通用盘刀包络铣削方法。这是一种高效、高精、柔性的精加工方法。本文论述了通用盘刀包络铣削原理和刀具轨迹计算方法。

齿轮是机械设备的基础零件，被广泛地应用于机械、航空、仪表等行业。齿轮加工方法很多，有铸造、热轧、冲压、冷挤、模锻、粉末冶金和切削法等。其中切削法应用最为广泛，切削法加工也有很多种，从加工原理分为展成法和成形法两大类。成形铣齿，粗铣时可以高效地去除大部分余量，效率极高，但精加工时刀盘无法通用，定制刀盘昂贵。盘刀包络铣齿机床完美地解决了这个问题。它集成成形铣齿的高效率和滚齿机床的高精度于一体。作为一种全新概念的切齿加工方法，国内外的研究工作还不够深入。深入研究盘刀包络铣齿加工理论，对提高齿轮加工效率、精度和降低齿轮制造成本有着重要的意义。

1. 盘形铣刀数学模型

盘形铣刀的齿廓如图1所示：

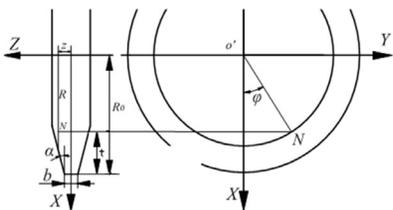


图1 单盘铣刀截面

方程为：

$$\left. \begin{aligned} X &= R \cos \varphi \\ Y &= R \sin \varphi \\ Z &= \pm \left(\frac{b}{2} + (R_0 - R) \tan \alpha \right) \end{aligned} \right\} (1)$$

式中：

R_0 及 α 为锥面的最大半径和锥底角，锥底角通常取；

R 为变参数，表示与 Z 对应的圆锥面半径；

b 为齿顶宽；

φ 为参变数，半径线 R 与 $XO'Y$ 平面的夹角，从 X 转向 Y 的为正。

上式中的负号表示刀具的右侧面截形，正号表示刀具的左侧面截形。

2. 渐开线齿面数学描述

外齿齿面是由平面渐开线，沿着主轴运动而成。

渐开线齿面的方程为：

$$\left. \begin{aligned} x &= r_b \cos(\sigma_0 + u) + r_b u \sin(\sigma_0 + u) \\ y &= r_b \sin(\sigma_0 + u) - r_b u \cos(\sigma_0 + u) \\ z &= z \end{aligned} \right\} (2)$$

其法线的分量为：

$$\left. \begin{aligned} n_x &= r_b u \sin(\sigma_0 + u) \\ n_y &= -r_b u \cos(\sigma_0 + u) \\ n_z &= 0 \end{aligned} \right\} (3)$$

3. 通用盘刀包络铣削轨迹计算方法

盘刀包络铣削模型如图2所示。

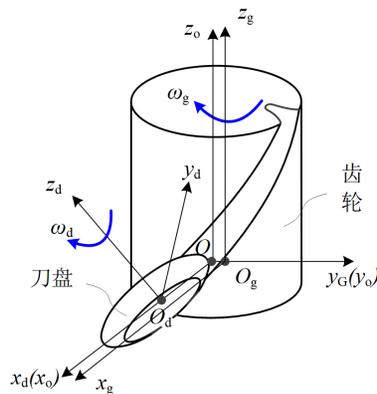


图2 盘刀包络铣削模型

刀盘回转面在坐标系 $Oxyz$ 中可表示为：

$$\begin{cases} xg = x_0 - R * \cos(\theta) \\ yg = y_0 - R * \sin(\theta) * \cos(\epsilon) - f(R) * \sin(\epsilon) \\ zg = z_0 - R * \sin(\theta) * \sin(\epsilon) + f(R) * \cos(\epsilon) \end{cases} (4)$$

则刀具回转面上任意一点的法矢

分量为：

$$\begin{cases} exg = \cos(\theta) * \frac{f'(R)}{\sqrt{f'(R)^2 + f(R)^2 + 1}} \\ eyg = (\cos(\epsilon) * \sin(\theta) - \frac{\sin(\epsilon)}{f'(R)}) * \frac{f'(R)}{\sqrt{f'(R)^2 + f(R)^2 + 1}} \\ ezg = (\sin(\epsilon) * \sin(\theta) + \frac{\cos(\epsilon)}{f'(R)}) * \frac{f'(R)}{\sqrt{f'(R)^2 + f(R)^2 + 1}} \end{cases} (5)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} f(R) &= \pm \left(\frac{b}{2} + (R_0 - R) \tan \alpha \right) \\ f'(R) &= \pm \tan \alpha \end{aligned} \right\} (6)$$

如图3所示, 齿条插齿刀加工渐开线齿轮时, 齿条刀具以速度 v 平移运动, 而齿轮以速度 ω 转动。渐开线齿廓由两者相对运动形成的共轭齿条曲线族包络而成。盘刀包络铣削, 可作为一种特殊的单齿齿条。

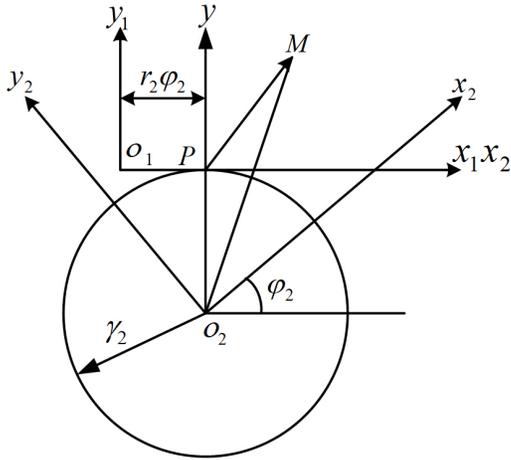


图3 齿轮齿条啮合的坐标系

由图3所示, 工件与刀具坐标系的转换矩阵为:

$$M_{12} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_2) & -\sin(\varphi_2) & 0 & r_2\varphi_2 \\ \sin(\varphi_2) & \cos(\varphi_2) & 0 & -r_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$M_{21} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_2) & \sin(\varphi_2) & 0 & r_2(\sin\varphi_2 - \varphi_2 \cos\varphi_2) \\ -\sin(\varphi_2) & \cos(\varphi_2) & 0 & r_2(\cos\varphi_2 + \varphi_2 \sin\varphi_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

令M点在工件坐标系下的位置矢量为 rg , 在齿条坐标系下位置矢量为 rt 。

$$rg = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ 1], \quad rt = [x_2 \ y_2 \ z_2 \ 1]$$

$$\text{则} \begin{cases} x_2 = x_1 \cos(\varphi_2) - y_1 \sin(\varphi_2) + r_2\varphi_2 \\ y_2 = x_1 \sin(\varphi_2) + y_1 \cos(\varphi_2) - r_2 \\ z_2 = z_1 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} x_1 = x_2 \cos(\varphi_2) + y_2 \sin(\varphi_2) + r_2(\sin\varphi_2 - \varphi_2 \cos\varphi_2) \\ y_1 = -x_2 \sin(\varphi_2) + y_2 \cos(\varphi_2) - r_2(\cos\varphi_2 + \varphi_2 \sin\varphi_2) \\ z_1 = z_2 \end{cases} \quad (10)$$

实际切削盘刀中心在齿条坐标系下的位置关系为: 令刀盘与工件的中心距为 a , 刀盘分度圆处宽度为 dt , 齿条刀具的压力角与盘形刀具倾斜角差值为 αdt (见图4)。工件坐标系下, 渐开线压力角为 α_0 , 右侧渐开线与分度圆交点为 $C(x_0, y_0, z_0)$ 。将该点作为铣削时的一个固定参考点。

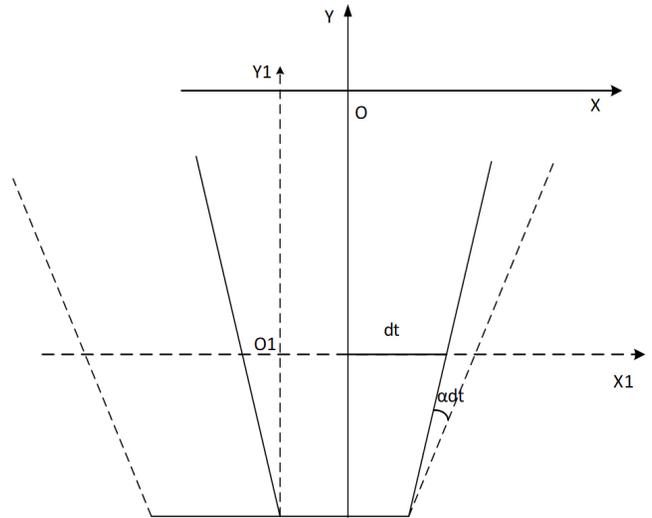


图4

可见, 需要在原变换角度 ϕ 的基础上加上 αdt , 使得盘形刀具刀刃与渐开线齿形共轭。则初始状态时, $\phi_0 = \alpha dt$, 接触点的坐标为:

$$\begin{aligned} & C1(r_2 \sin(\arctan(x_0/y_0) - \alpha dt), \\ & (r_2 \cos(\arctan(x_0/y_0) - \alpha dt), \\ & (z_0) \end{aligned}$$

则刀盘中心的起始坐标为:

$$\begin{aligned} & O(r_2 \sin(\arctan(x_0/y_0) - \alpha dt) - dt, \\ & (r_2 \cos(\arctan(x_0/y_0) - \alpha dt) + a - r_2, \\ & (z_0) \end{aligned}$$

因此, 切削刀位点可表示为:

$$\begin{cases} X = r_2 \sin(\arctan(x_0/y_0) - \alpha dt) - dt + r_2 \varphi_2 \\ Y = r_2 \cos(\arctan(x_0/y_0) - \alpha dt) + a - r_2 \\ Z = z_0 \\ C = \varphi_2 + \varphi_0 \end{cases} \quad (11)$$

4. 结束语

本文介绍了一种通用盘刀加工渐开线齿轮的方法。该方法结合了齿条刀具和齿轮的共轭理论和空间包络理论, 特别适用多品种小批量的场合, 体现了柔性加工的特点。□

参考文献:

- [1] 吴序堂. 齿轮啮合原理[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2009.
- [2] Litvin F, Fuentes A. Gear Geometry and Applied Theory, second ed. Cambridge University Press, New York, 2004.
- [3] 陈兵奎, 梁栋, 高艳娥. 齿轮传动共轭曲线原理[J]. 机械工程学报, 2014, 50(1): 130-135.
- [4] Litvin F L. 齿轮几何学与应用理论[M]. 国楷, 叶凌云, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 2008.

高速列车及动车组的车轮多边形改善研究

珠海启世机械设备股份有限公司 张庭耀

为了保证高速列车及动车组运行过程中的安全性和舒适性，在检修车辆时，需要数控不落轮镟床对车轮踏面（含轮缘）进行镟修加工。本文通过对现有德国镟修工艺技术的缺陷分析，找到其引起车轮多边形的原因对应关系，提出了法国镟修工艺技术的特点及优势，为高速列车及动车组提供一套成熟可靠的镟修工艺方案。

随着高铁运营里程和速度，及动车组服役数量的增长，高速列车车轮非圆化（主要体现为车轮多边形）问题十分突出。车轮不圆顺是列车运行中普遍存在的客观现象，其形成和发展的机理十分复杂，国际上尚无定论。而国内现在的高速列车的轮对镟修，受限于德国的不落轮镟修工艺，国内已经有研究人员通过试验测试和数据分析其存在的工艺技术缺陷。

一、高速列车及动车组不落轮镟修工艺分析

目前高速列车车轮镟修一般采用德国技术不落轮镟床进行，图1给出了车轮的镟修示意图。在镟修过程中，同一转向架四个车轮同时进行，每个车轮由两个驱动轮支撑并驱动车轮旋转，驱动轮中心与车刀固定于机架上。这种镟修方式无法保证车轮绕其中心旋转，导致车轮偏心无法完全修复。同时驱动轮的不圆顺状态也将周期性的出现在车轮表面。驱动

轮约旋转4~6周将带动车轮旋转一周，因此驱动轮本身的非圆化将导致车轮出现4~6阶的多边形。而同一车轮由2个驱动轮驱动，在其综合影响下将导致车轮的8~13阶多边形现象。所以，目前高速列车的不落轮镟修工艺会导致新镟车轮出现偏心(1阶)4~6阶及10~13阶多边形峰值。

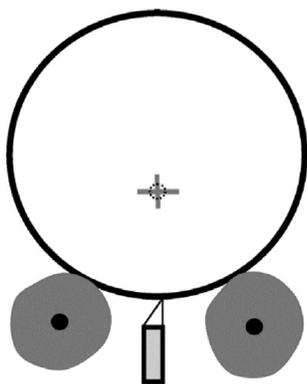


图1 德国不落轮镟修示意图

另外有试验结果表明，对车轮高阶非圆化的可能成因研究，得出以下结论：

(1) 因采用经济镟修，不能有效消除车轮与钢轨滚动接触时在车轮表面形成的硬化层，镟修后硬度不均使车轮周向“谷值”磨耗加快，会导致非圆化在原有基础上快速“长大”。

(2) 因车辆固有特性与车轮第20阶附近非圆化频率重叠，固有特性长期作用并与特定的镟修结果匹配时，镟修后车轮易出现20阶非圆化磨耗。

(3) 现有的车轮车削手段本身存在弊端，不但不能修复车轮已经出现的高阶非圆化，甚至有可能将不存在高阶非圆化特性的车轮镟修成含有高阶非圆化特性的车轮。

通过上述试验研究可知，德国不落轮镟修工艺技术存在的缺陷：驱动轮的径向跳动、驱动轮直径、装夹方式都可能影响车轮多边形的走势，甚至可能加剧非圆化。了解了这些缺陷，即可使我们有的放矢的分析如何改进镟修工艺，以更合适的镟修工艺改善车轮多边形。

二、法国不落轮镟修工艺与德国不落轮镟修工艺的对比

法国Sculfort公司的不落轮镟修工艺技术，经过70年研究发展，其双轴机早在1982年开始镟修法国的第一条TGV列车线路，如图2。其镟修技术又陆续应用于多种TGV（如TGV-R、TGV-D、TGV-POS）列车的镟修，包括欧洲之星，在欧洲的高速列车领域已经有30多年的应用经验。



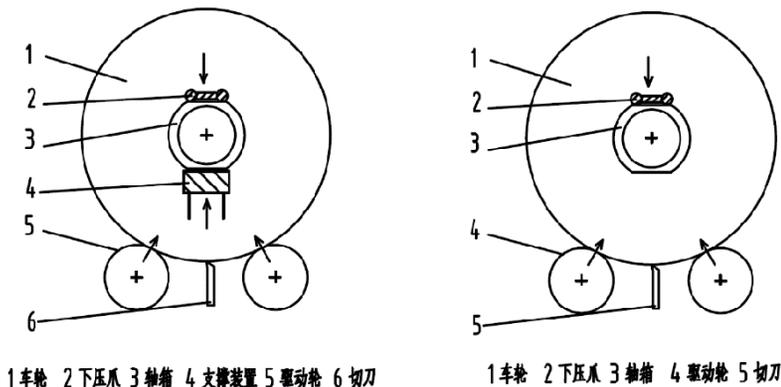
图2 1982年应用于TGV列车上的不落轮镟床

德国Hegenscheidt公司与中国企业通过技术合作的方式，将德国不落轮镟修工艺带入到中国高速列车与动车组领域，凭借其技术可靠性为中国的高速列车及动车组发展做出了重要贡献。

1. 轴箱定位技术对比

法国镟修工艺的轴箱定位技术原理图如图3 a，被加工轮对的轴线基准设置在支撑装置的上面表，支撑装置经过调教保证与轨道面平行的平行度，镟修过程中承担大部分轴重，轴箱的上部由下压爪辅助定位防止加工过程中振动，驱动滚轮以足够保证摩擦驱动力的接触力压在轮对踏面上实现轮对驱动，并分担小部分轴重。

德国镟修工艺的轴箱定位技术原理图如图3 b，被加工轮对的轴线定位基准设置在下压爪的下表面，镟修过程中驱动轮上升支撑起车轮并承担全部轴重（因径向切削力相对很小，这里忽略不计），同时驱动轮通过踏面提供摩擦驱动力实现轮对驱动。



1车轮 2下压爪 3轴箱 4支撑装置 5驱动轮 6切刀

(a) 法国轴箱定位技术原理

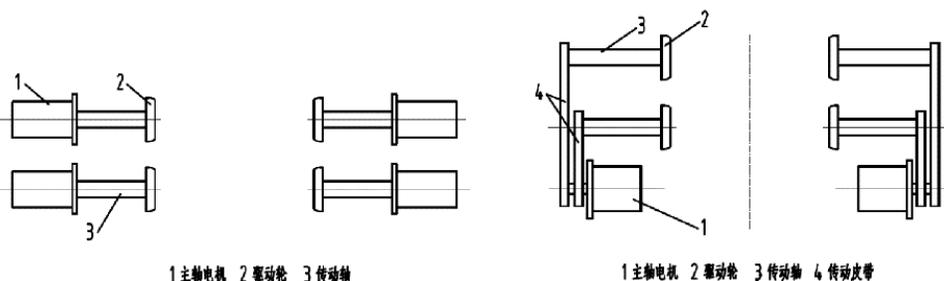
(b) 德国轴箱定位技术原理

图3 轴箱定位技术对比

2. 主轴驱动技术对比

法国镟修工艺的主轴电机与驱动轮配置方式如图4 a，其机械传动特点是每一个驱动轮都是由一个单独的主轴电机驱动，机械传动环节相互无干扰，在轮对的踏面提供前后左右对称的四点稳定驱动力矩输出。镟修过程中的驱动轮与车轮四点接触力可监控（接触力异常会有打滑报警）、可调整，提高了镟修工艺的灵活性，可以根据车辆、踏面、切削参数的需求，适当调整接触力。蓄能式浮动驱动技术的原理如图5a，镟修过程中，开关阀闭合后，驱动轮支撑油缸形成封闭油路，油缸附近安装有气囊式蓄能器，蓄能器通过气囊薄膜的振动吸收车轮踏面的不圆顺，使驱动轮以基本不变的接触力与轮对踏面紧密接触，实现稳定驱动力矩输出。

德国镟修工艺的主轴电机与驱动轮配置方式如图4 b，其机械传动特点是同侧两个驱动轮由单独的一个主轴电机通过传动带驱动，因为同侧两个接触点必然存在线速度偏差，所以机械传动环节两个驱动轮的存在相互干扰。其浮动驱动技术原理如图5 b，通过闭环控制来完成，液压传感器检测支撑油缸的压力的变化情况，由数控系统控制判断补充压力或泄压，达到驱动滚轮吸收轮对表面不圆顺的结果，以达到浮动驱动。



1主轴电机 2驱动轮 3传动轴

1主轴电机 2驱动轮 3传动轴 4传动皮带

(a) 法国主轴电机与驱动轮配置

(b) 德国主轴电机与驱动轮配置

图4 主轴电机与驱动轮配置方式对比

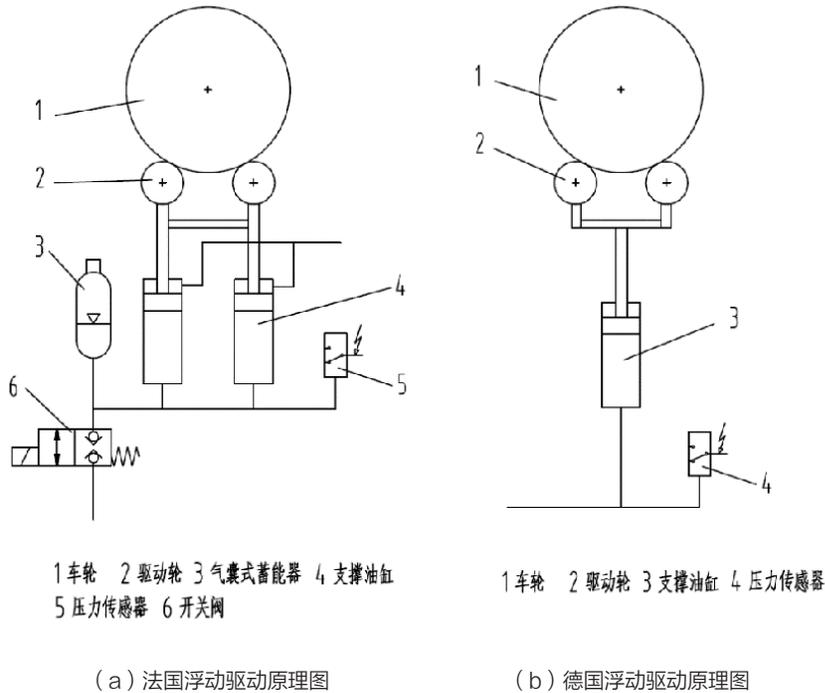


图5 驱动原理对比

三、法国不落轮镟修工艺技术优势分析

1. 轴重分配方式的优势分析

在法国的不落轮镟修工艺中，大部分轴重由固定的支撑装置承担，所以驱动轮可以以尽量小的接触力与踏面接触。相对于德国的全轴重由驱动轮支撑的好处有几点：

- (1) 可减少驱动轮的不圆顺状态周期性的反应在车轮表面，减少8~13阶多边形的幅值。
- (2) 减少驱动轮与车轮直径比产生的4~6阶多边形的幅值。
- (3) 另外，相对较小的接触力可以减少驱动轮对镟修完成的踏面的压痕深度，减少对车轮踏面加工精度的破坏。

2. 轴箱下端基准定位优势分析

德国不落轮镟修工艺以轴箱上端面为定位基准的设计原理一定程度的违背了重力学原理，轮对轴线定位要求轴箱始终紧靠上基准面，但重力始终将轴箱向下拉，这种轴箱定位方式很可能会放大车轮多边形的情况。法国不落轮镟修工艺以轴箱下端为定位基准，支撑力与轴重互补，形成有效的振动吸收力传递流向，有利于改善车轮镟修的多边形情况。从安全方面考虑，法国不落轮镟修工艺中的支撑装置具备梯形螺杆自锁和液压刹车（断电刹车）双重保险，可保证突然停电或失去压力时，被支撑起的车辆不下落。

3. 蓄能式浮动四驱技术优势分析

德国不落轮镟修工艺的浮动驱动技术，闭环控制环节较多，相对于法国镟

修工艺单纯的气囊振动吸收轮对径向跳动的方式反应时间长，难以快速响应。法国不落轮镟修工艺稳定的接触力和扭矩输出，可避免对镟修前原有车轮多边形的加剧。

四、结语

法国不落轮镟修工艺的轴重分配方式、轴箱下端基准定位、蓄能式浮动四驱技术，相对德国不落轮镟修工艺有如下优势：

- (1) 可以降低4~6阶、8~13阶多边形的幅值。
- (2) 避免异常车轮多边形的产生。
- (3) 避免对原镟修前车轮多边形的加剧。
- (4) 支撑装置提供更好的安全保障，减少对踏面的压痕。

这些为改善中国高速列车及动车组车轮多边形的问题，提供了一套可靠的不落轮镟修工艺方案。现在中国的高速列车与动车组没有法国镟修工艺设备，所以上述研究缺少实验条件。将来的研究重点是法国镟修工艺技术在线上的试验研究。□

参考文献：

[1] 王兴宇, 范军. 高速列车车内噪声与车轮不圆顺关系的研究[J]. 铁道学报, 2013, 35(9): 14-18.

[2] 崔大宾, 梁树林, 宋春元, 等. 高速车轮非圆化现象及其对轮轨行为的影响[J]. 机械工程学报, 2013, 49(18): 8-16.

[3] 韩光旭, 宋春元, 李国栋, 金学松. 高速列车车轮非圆化与振动噪声关系跟踪试验研究[J]. 学术专论, 2017, (2): 1-9.

[4] 张庭耀. 数控不落轮镟床的摩擦轮浮动驱动装置的分析[J]. 工程技术, 2016(11): 285.

保证夹具装配精度的加工方法

陕西法士特齿轮有限责任公司 吕军涛

在生产制造过程中，各种类型夹具制造的难点主要反映在如何保证装配精度上。笔者根据多年的生产实践，总结出了一些常见类型夹具的加工工艺方法，这些方法能有效地解决夹具在生产实际中遇到的困难，从而保证夹具的装配精度，具有较高的实用价值。

夹具质量的好坏，主要反映在装配精度上。在夹具装配图上，定位元件与引导部分，以及定位元件之间都有不同的精度要求。在制定工艺时，必须充分地考虑如何保证夹具在装配后的精度，选择什么样的加工方法。

通常保证夹具装配精度的方法有：在装配后进行某一部分的精加工，以达到装配图的技术要求（如最后镗孔或者磨削）；将总装公差分配到有关零件上去，控制零件来保证装配后的公差，靠钳工在装配中调整零件的位置来达到总装的技术要求；或者以上方法的综合使用。由于夹具种类繁多，形状大小和精度各不相同，装配方法也不一样，往往也取决于设备条件和工人的熟练程度，

1. 几种夹具的装配方法和几种装配方法的特点

(1) 钻模和一些检验、装配等夹具，孔与孔之间，或者孔与面之间的位置精度较高，并且带孔部分材料的硬度不高（低于35HRC），或者材料为20钢，但孔部去掉了渗碳层。这类夹具都是装配后在坐标镗床上镗孔，以保证精度要求。坐标镗床上加工来保证孔与平面的位置精度较高，并且很方便，如图1所示的钻

模，钻套孔应在装配后找正C面镗出。

(2) 夹具各平面相互之间的位置精度较高时，而夹具的体积不大，装配后可在平面磨床上磨其中一个平面。如图2为一铣床夹具，对刀块顶面与V型中心的高度公差为 $\pm 0.01\text{mm}$ 。如果靠提高零件的精度来保证装配后的要求，则在加工V型块和对刀块时，各自的公差不得大于 $\pm 0.005\text{mm}$ ，这样使得制造困难，比较好的方法是在装配后，根据V型中心位置（放上量柱测量），修磨对刀块顶面。这样在零件加工中可以放大零件的制造公差，只要求保证配磨时对刀块有适当的磨量即可。这样配磨方法，一般是在比较容易加工的平面上做装配后的修磨。

图3为钻模板的铰链支座，装配后要求盖板1的顶面和支座5的地面平行，该平行度主要靠顶销2和4的顶面来保证。顶销2和4的固定孔是由钳工钻铰出，将顶销压入后，磨削4的顶面，磨平即可。销轴3的固定孔在镗床上加工完成，装配前件1和5的各面都磨好，装配后只修磨销2的顶面，修磨时的装置如图4所示，将盖1翻转开，以顶面为基面放在导磁垫块上磨销2顶面，磨后和着检查盖1顶面是否平行，一直磨到平行为止。

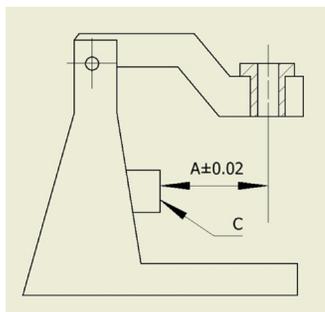


图1

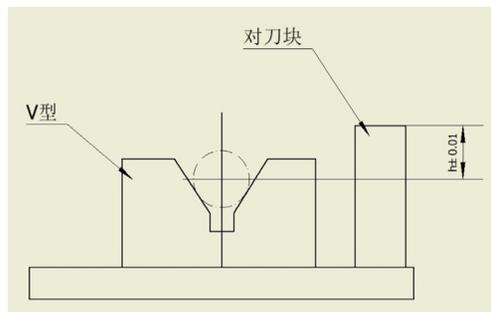


图2

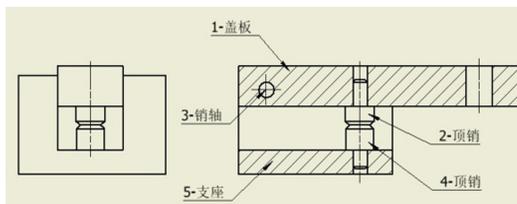


图3

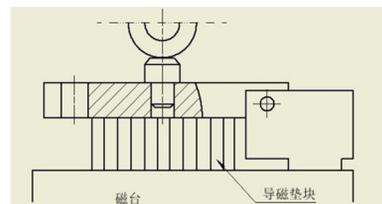


图4

(3) 车磨等圆形旋转夹具，其定位夹紧部分往往为同一零件，这些部分大都是在装配后修磨。以消除累计误差，图5为车床上使用的以孔定位的夹具，由三块斜块来加紧，斜块3在夹紧状态组成80mm的圆，并且与套筒1的外圆同心，这类夹具在装配后，可压在内圆磨床上，将三斜块用铜丝缠紧，找正套筒上以磨削好的外圆C，然后再磨削斜块外圆。

图6所示的三爪卡盘，三个卡爪要在同一圆周上，也是装配后加工，在内圆磨床上找正卡盘本体上的内孔磨爪面。

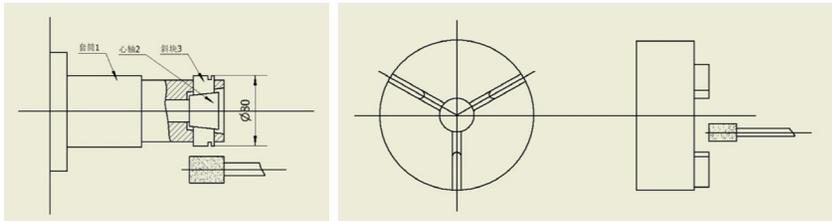


图5

图6

(4) T型滑柱钻模（见图7）的定位元件大都装在本体1上，而钻套孔盖板2上，这类钻模都是成批制造成标准的零件入库保存，在使用时，根据不同的设计要求，增添钻套孔和定位孔，在坐标镗床上加工这些孔时，是先将盖板2拆下，加工本体1上的D，然后再装上盖板2，作件2上的钻套孔d，这样容易保证两个零件孔的精度。

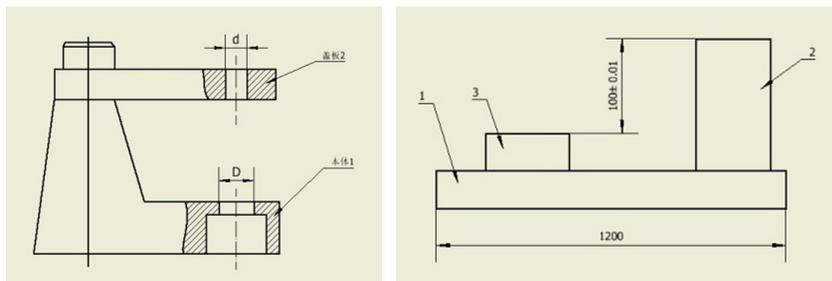


图7

图8

(5) 夹具装配后各平面之间的相对位置精度比较低时，或者夹具较大，装配后不便于上机床加工，这些夹具可以采用提高零件制造精度的方法来保证装配精度。如图8中的件2和件3高度差为105mm，如果夹具体积小，尚可装配后在平面磨床上修磨件2的顶面，但这夹具太大，装配后不好加工，则在制定工艺时，应规定件2和件3的高度公差，使累计误差低于0.03mm即可，分配给各件公差，不一定两件平均分配，一般将容易加工的部分公差规定的小些，有时也可先磨不易达到精度的零件，在测量实际尺寸，根据实际尺寸算出另一件应该加工到的尺寸和公差。在精度不高的情况下，用提高零件的精度来达到装配精度的方法比较好，这样可缩短生产周期，减少工序周转。如果夹具都在装配后加工，钳工和磨工之间的往返增多，一套已装好的夹具必须等镗、磨等工序加工后才能制造好，这就延长了生产周期。

(6) 夹具上各平面位置精度较高时，可用镗定位销孔来定位的方法，即是各子装配件的销钉孔在坐标镗床上加工，要求销钉的位置和测定平面的公差在0.01mm以内，在夹具底座上也镗有相应的销钉孔，各孔的位置可根据装配图上位置计算出来，每一个被固定的工件，只镗两个销钉孔，在装配时，按孔压入销钉，即可保证装配后的位置。

如图9所示的检验夹具，两测量块1和柱销3有公差要求，测量块的测量面，

在装配后磨削很不方便，如果靠钳工装配时调整也比较困难，花时间很多，效率低。最好的方法是先将测量块1的几个平面都磨好，然后在镗床上镗定位销4的销孔。在底板2上除镗出柱销3的孔外，也镗出定位销4的4个销钉孔，定位销孔和柱销孔之间的尺寸可根据装配图计算出来。有销孔之间的公差一般可选为0.01mm，如果公差太大，两个销钉4可能不能同时放入，这种方法对钳工装配非常方便，花费的镗床工时也不多，特多适于大型夹具。这是因为大型夹具装配后很不好检验，需要大型的平板和检验夹具。夹具翻转，移动也都很不方便，钳工也不好调整，同时由于体积重量较大，装配后受机床规格的限制，不能再加工，所以装配前加工就比较好。但是这种装配方法精度不够高，对于位置公差小于0.02mm的夹具，就不易采用这种方法，这是因为镗孔时有误差，装配中压定位销也会产生偏斜的误差。

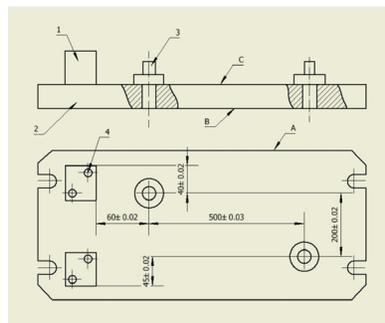


图9

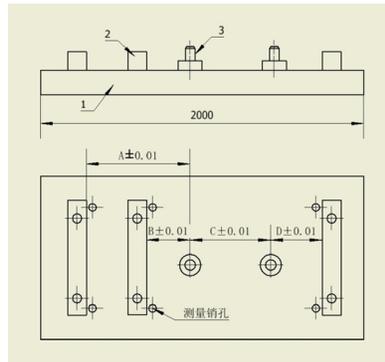


图10

(下转第68页)

断丝锥的原因分析、改善及后期处理方式对比

江铃车桥厂 华斌

孔系加工中，钻孔加工是半封闭状态，而内螺纹用丝锥加工是较为普遍的方式，丝锥的加工过程既简单又困难，很多因素影响螺纹加工的质量、效率、成本，其中最难以改变的当属断丝锥了。

相对于各类开放式加工，丝锥的结构、材料、角度、涂层就显得十分重要。为此，丝锥厂家也各显其能，

在丝锥的设计制造上有着各自的见解和方式来改善加工问题，每一种丝锥都有很多型号可供选择，需要我们用各自的理论和经验正确选型。但这仅仅是开始，现场的加工工况是千变万化的，而且即使是最佳的工况，随着时间的推进而变化，我们还是要深入的现场了解，才能将问题消灭在萌芽状态！

查阅的相关资料上没有比较全面介绍的文章，但加工出现问题的状态很多，一篇短文不能可能全部概括，为此，本文针对“断”这个概念进行讨论，希望能抛砖引玉。

1.断丝锥原因、表现和处理

断丝锥的原因、表现和改善方式等经验汇总见表1。

表 1

断丝锥原因		加工表现		处理方式
底孔原因	直径	直径小了	连续断丝锥	钻孔后检测
	位置度	位置度差	某个孔经常断丝锥	位置度检测并改善
	圆柱度	椭圆	不定孔位置断丝锥	圆柱度检测并改善
	深度	深度不够	螺纹底部断丝锥	深度检测并改善
	孔壁	孔壁加工硬化	螺纹中下部时断丝锥	更换新钻头
	孔底	孔底有切屑	加工到中下部时断丝锥	清理切屑
	倒角	无倒角、倒角角度不正确	进入几牙后折断	正确倒角，通孔两端要倒角
	垂直度	钻孔和攻丝垂直度不良	稳定的入口后几牙折断	保证垂直度
丝锥刀柄	径向跳动	丝锥安装跳动大	换刀后有时断丝锥	检测跳动、更换刀柄或夹套
	刚性攻丝刀柄	设备同步精度差时	在某固定位置处断丝锥	选用浮动刀柄，消除设备误差
	锁紧可靠	加工时打滑	不确定位置断丝锥	使用专用夹套
设备	扭矩	超过丝锥强度	在丝锥某固定位置处断	使用带扭矩调整能力的刀柄
	攻丝同步精度	同步精度超差	固定在某孔位置断丝锥	调整设备旋转精度和轴向精度误差，使用浮动刀柄
	停车及反转精度	停车、反转与退刀不同步	在螺纹底部断丝锥	选用浮动刀柄，消除设备误差
夹具	位置度	丝杠或轴承损坏	固定位置断丝锥	修复设备
	夹紧可靠性	工件左右移动、旋转	无规律断丝锥	改善夹具压紧能力
	夹具刚性	工件和工装变形	无规律断丝锥	改善夹具刚性
	工件刚性	工件悬伸部分弯曲	固定某个孔位断丝锥	改善夹具夹紧和辅助支撑
切削液	系统整体刚性	工件、工作台松动	无规律断丝锥	改善系统的整体刚性
	浓度	太低	异常多的断丝锥	使用高浓度切削液
	类型	不适合丝锥加工	不稳定断丝锥	更换切削液，必要时用油膏
	丝锥温升	喷出位置不良	不稳定断丝锥	控制切削液位置
	洁净度	过滤损坏或不达标	往回转时断丝锥	过滤精度小于12μm
工件材料	喷射角度或位置	角度、位置不准确	无规律断丝锥	正确稳定浇注
	材质	不均匀	材料换批次后断丝锥	排除超硬工件
	硬度	硬度不均匀或超差	异常多的断丝锥	排除超标工件
	选型	盲孔用了直槽丝锥	在螺纹底部断丝锥	选用内冷或上排屑丝锥
	涂层	无涂层	剖面发现丝锥烧结折断	选用涂层丝锥
	材质	太硬、韧性差	不确定孔位置断丝锥	选型韧性好的丝锥
	磨损	磨损后没换刀	加工一定数量后断丝锥	设定强制换刀
	参数	转速太高	加工一定数量后断丝锥	设置合理参数
	切削锥长度	短	加工一定数量后断丝锥	选用长切削锥的丝锥
	前角	过小	崩刃后折断	选用大前角丝锥
工艺	丝锥强度	强度不够	刚进入就断	选用芯部直径大的
	摩擦力	丝锥与工件接触面大	刚进入或稍有磨损就断	选择大铲背、较小刃带表宽度

看了表格，估计很多人对切削液的过滤净度表示不理解。丝锥的切削部分的横截面是铲磨的，一般呈楔形，前刀面切入工件，流出切屑；后刀面减小阻力，反转时楔形会使切削液中的颗粒物卡住，当切削液中的颗粒物个头越大、硬度越高、数量越多，卡住丝锥的能力也就越大。开始是引起丝锥的切削刃崩损，但设备还在运转，主轴还在反转，崩损的这边就没有阻力了，而其他的几个刃依然会有严重摩擦，而产生偏向扭矩，也就是力偶不平衡，折断丝锥的机会也就越大（见图1）。

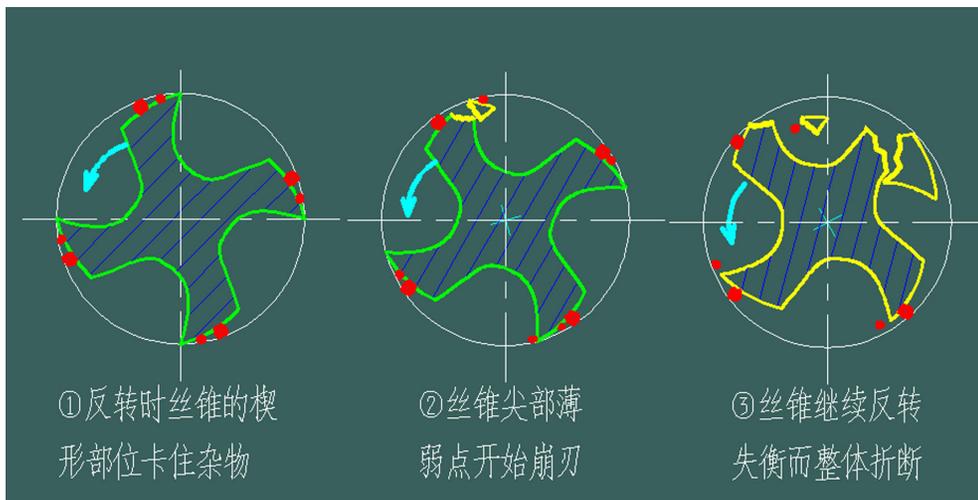


图1 切削液中的颗粒状杂物造成断丝锥的作用机理

当切削液中有颗粒直径大于50 μm 时，折断丝锥的概率将会增加3~5倍，而当这个级别的颗粒大量存在时，不管你如何优化，丝锥就是会断。其实，我们可以在枪钻对切削液的要求中看到一些端倪。在多次经历后肯定了这种想法，希望能引起大家足够的重视。

另外，在影响攻螺纹丝锥加工的数据这方面，EMUGE（埃莫克）做了很多细致的研究和分析，可以找一点数据帮助理解。以一支M10 \times 1.5

的丝锥为例。

（1）当设备有主轴转动位置缺陷（未受控的主轴转动1.4°），轴向节距误差将会有5.8 μm ；而当使用挤压丝锥时，转速从500r/min提高到2000r/min时，轴向力将会从1900N升高到2500N。

（2）当一支M10 丝锥长度100mm，整体温度变化20℃，长度将会变化32 μm ，根据DIN EN22587标准，参考7牙的检测长度和1.5mm的螺距，轴向长度可能变化

3.4 μm ；而实际上一支M10切削丝锥加工速度在20m/min时，牙面温度可到150℃，当切削速度在80m/min时，牙面温度可到225℃。

以上两点仅仅是从EMUGE公司诸多数据中抽取的两个案例，对主动改善断丝锥有很好的理论研究。

2. 去除断丝锥

去除已经折断丝锥的方式是有很多的，如能因地制宜，还是能很好的处理断了丝锥的工件，挽回一些损失（见表2）。

表2 各种取断丝锥方式优缺点对比

方式	优点	缺点	投资额	可行性
电火花	不损伤本体	效率低，易腐蚀底孔	1000~20000元	相对较好
钻断丝锥钻头	专用刀具，效率高，无需下线，直接加工	需要经验技能，单件成本较高	每支200~700元	可行，需优化
取丝锥器	快捷方便	只能用于直槽丝锥	每个约500元	一般
人工剔除	投入少，位置灵活	一些无法剔除，效率不高，不安全	一般自制工具	较困难
化学腐蚀	方便，有利于大工件上的施工	危险品，要专人施工以及可靠防护，对不锈钢有效	未知	特定条件可行
电焊手柄	对M20以上丝锥有效	不能处理小丝锥，专业技术，要特制焊棒	电焊机、焊接棒	难度大
插钢丝工具	成本低，容易做，低强度材料可行	卡爪易损坏，对咬紧的丝锥难处理	自制或采购	适用性差
退火后钻除	钻断丝锥要求降低	工件也会退火	退火装置	差

大多数去除断丝锥的方法，笔者现场基本都试验过，各有千秋，但直接钻掉断丝锥的方式（见图

2），感觉是比较好的方式（前提是你的生产线能够接受为了减少损失而花费一点时间），工件基本没

有二次损伤，也不用拆装工件，只要备用专用钻头、刀柄和相关程序即可。



图2 用钻丝锥钻头钻出的两种M14×1.5断丝锥

但这个方式的最大问题是加工成本比较高，中小型零件可能很难接受。为此我们也正在与某企业合作研究一款专用于将丝锥钻除的经济型专用钻头（见图3），为广大机械加工者造福。

3. 因断丝锥而在加工中产生的浪费

根据以下模式统计分析断丝锥是否会对企业的加工成本有影响，生产加工时丝锥折断产生的问题与浪费：

(1) 工件加工中止，物料统计困难（造成每日交付的统计量错误）。

(2) 工人的动作成为无效的



图3 研制过程中的华氏钻头钻断丝锥的效果

动作。

(3) 丝锥的正常摊销成本陡然升高（正常磨损后不按要求强制换刀的除外）。

(4) 去除断丝锥的成本，含运输、管理费用（直接在本设备上去除断丝锥的方式没有这两项）、水电费、人工费，刀具、工具费用。

(5) 去除断丝锥后的返工成本，修复螺纹并保证螺纹深度，检验、以及防锈。

(6) 重新上线需要的运输成本、管理费用等。

以上这些加起来可能就是一笔不小的费用了。从取出断丝锥的方式看，投入类型复杂，方式多样，优缺点不一，需要优秀的技术工人；因此看待断丝锥问题非常明确的态度是：预防断丝锥比被动去除断丝锥的效果好、收益高。

改善断丝锥现象是个长期的工作！要把问题放到桌面上，把隐性问题分析清楚了，就付诸行动验证效果；在最不起眼的地方消灭浪费，把好钢用在刀刃上！ □

上接第65页

(7) 当夹具位置公差小于0.02mm，或者在零件上无法镗定位销孔时，可在底板上镗几个测量销孔，作为装配后的检验基准，这些孔的位置一般与固定零件的边相切，或者有一段距离。装配时，插入测量销。将固定零件靠在测量销边上，或者有一段距离，装配时，插入测量销。将固定零件靠在测量销边上，或是保持一定距离，中间塞入块规和塞尺，然后再固定紧。在夹具装配后还可以用销钉孔做检验用。

如图10所示的夹具，如果在银条2上镗销钉孔定位，达不到要求的精度。可在件2边上做测量销孔，与之相切，测量销孔和柱销3的固定孔，一起镗在底板1上，每个银条上应有两个测量销孔，以保证装配时平行。在装配银条时，以一边靠上测量销，然后再固定螺钉和定位销定。测量销孔也可做的与银条边有一小距离，装配时中间垫块规，这样可测量误差数，并且便于修理。

2. 结语

夹具的装配精度决定了夹具质量。在日常的生产实际过程中，依据夹具单件小批量生产的特点，本文总结出了以上多种常见类型夹具加工工艺的方法，并且在生产实践中得到了验证。

由于夹具种类繁多，形状大小、精度和交付周期各不相同，我们要根据现有的生产实际情况综合考虑安排夹具的加工工艺，以最终满足客户的需求。 □

三爪卡盘车削偏心件可调偏心垫板

山东新泰德泰机械有限公司 赵忠刚

本文重点叙述利用三爪卡盘车削偏心工件所需垫板的厚度计算方式及可调偏心垫板的设制与应用事项，该型偏心垫板具有周向微厚度变化状态，并带有刻度指示，可在对工件试车后能够快速准确调整被车削工件的偏心误差，值得推广应用。

山东省管企业第三届数控车决赛已经顺利结束，赛件如图1所示（其余尺寸与本文论述目的无关而被省略）。在整个赛程中，各路精英都表现得极其出色，可谓弓马娴熟、游刃有余，车出了许多精美的作品，令检测专家叹为观止。

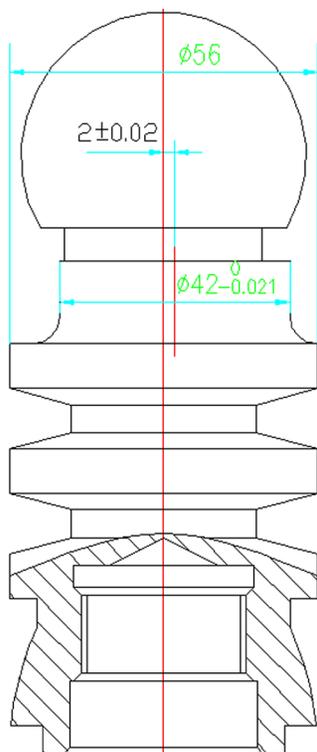


图 1

其中山东能源重型装备制造集团新汶分公司的选手取得了可喜的成绩。虽然许多作品堪称“美玉极品”，但还是难免“碧玉含瑕”，未至尽美！主要缺陷就是18个作品的偏心距除一件合格外其余皆超差。期间，虽然许多选手都频繁选用不同厚度的垫板、或加垫铜皮、或加薄纸等方式对赛件偏心距进行了繁琐的调整，但最终多是事与愿违，丢失了该项分数。

赛后，笔者专门对此项课题进行了深入的研究，分析总结了一套较好的调整车削工件偏心距的方法，设计了直观式可调偏心垫板，使在三爪卡盘上车削偏心件时调整偏心距的行业难题瞬间瓦解了。

1. 偏心垫板的计算

在三爪卡盘上通过加垫板的方式车削偏心工件时，通常其偏心垫板的厚度计算公式为：

$$X = 1.5E + 1.5(E - E_c)$$

其中，X为偏心垫板厚度，E为工件偏心距， E_c 为试切后实测偏心距。

由于每台车床的三爪同心度误差

不一，在不同车床上车削同一工件及在同一车床同一卡盘上车削同一工件时，工件偏心处所对应不同的卡爪车削所垫的偏心垫板的厚度是不一样的，必须根据实际情况对垫板厚度进行调整。但当工件偏心距公差很小时，调整就很麻烦了。很难实现微小的调整，即便通过再更换垫板调整好了偏心距，在车削过程中，由于偏心车削时冲击力较大，铜皮极有可能发生因车削冲击力变薄的现象，从而导致偏心距误差二次出现超差的隐患。

通过垫纸调整偏心距时，同样存在上述隐患。在技术比武过程中，由于时间紧迫，没有充足的时间允许选手对偏心垫板进行调整，往往多数选手会自然的放弃这项分数。

2. 直观式可调偏心垫板的设制

为防止在夹紧工件过程中偏心垫板发生变形，垫板通常做成圆弧板，且其内径略大于工件的被夹紧部位的外径。通过图1可知，车削偏心部位 $\phi 420 - 0.021$ mm时，卡爪只能夹持工件 $\phi 56$ mm的外圆处，所以，偏心垫板的内圆弧半径应为R28mm；又因其偏心距为 2 ± 0.02 mm，则偏心

垫板的厚度必然为2mm左右方可，所以其外圆弧半径应选为 $28+2=30\text{mm}$ ，即R30mm。

为实现垫板具有无级可调的作用，垫板厚度应从一端到另一端实现由大到小或由小到大的变化状况。实现上述目的不难，当其内圆弧与外圆弧不同心时，垫板的厚度就会发生由小到大的变化，这就是新式的快速可调偏心垫板。根据赛件的图示尺寸可设计其偏心垫板尺寸如图2所示。

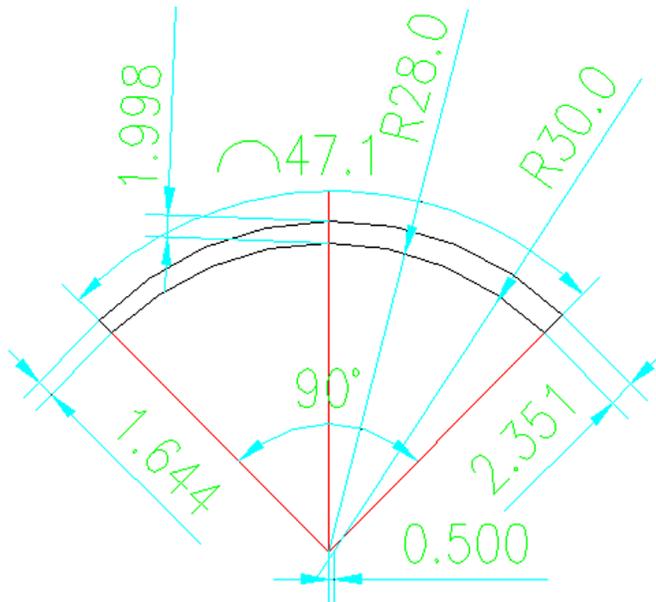


图 2

制做时，可通过调整其内圆弧与外圆弧的偏心距为0.5mm的方式对其先进行车削，淬火后在线切割上进行了实样割制，再在其侧面按照1mm的间距均匀刻划上线条，这就制成了数字可调偏心垫板了，如图3所示。

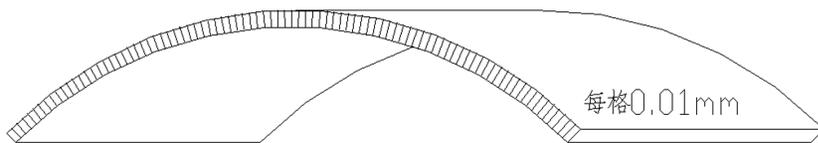


图 3

通过在CAD测量，其中间厚度为1.998mm，其两端厚度分别为2.351mm和1.644mm，厚度差为0.707mm，又知其外弧长为47.1mm，那么，其厚度由小端到端沿外弧每毫米增加量必然是 $0.707 \div 47.1 = 0.015\text{mm}$ 。0.015mm正好是0.01mm的1.5倍。

在车削偏心件过程中，如果试车后发现工件的偏心距有超差现象，需要调整0.05mm时，只需将该偏心垫板左或右移动5个格，即5mm。设制其它尺寸工件的偏心垫板时，可参照该型偏心垫板的设制过程，根据生产过程中被车削工件的夹持部位尺寸和工件的偏心距进行设制即可。

3.直观式可调偏心垫板的应用

该型偏心垫板的大体应用方法不言而喻。但还是有几点需要提醒：由于车床的卡爪多有“敞口”现象，垫板在卡爪的不同位置必然会引起偏心量大小的变化，调整偏心垫板时，不要改变其在卡爪上的前后位置；应用过程中，工件、卡爪及垫板必须擦拭干净，防止有导致可变因素的油污、毛绒等。

该型偏心垫板设制新颖，应用简便，可实现快速准确调整工件的车削偏心量，值得推广应用，特别是针对近年来数控车削普遍存在车削偏心件的情况。 □

资讯

2019年1~5月全国轴承行业主要企业概况

据全国轴承行业127家（其中115家参与汇总）企业集团和主要企业统计，2019年1~5月累计完成工业总产值（当年价）287.09亿元，同比减少2.33%；工业销售产值286.83亿元，同比减少2.54%；工业增加值75.27亿元，同比减少

5.67%。

1~5月，115家企业共计生产轴承21.07亿套，较去年同期减少1.7亿套，同比减少7.46%；轴承销售量为22.39亿套，较去年同期减少0.26亿套，同比减少1.16%；轴承出口销售量为7.89亿套，较去年同期减少0.01亿

套；同比减少0.16%。

1~5月，115家企业累计完成主营业务收入358.69亿元，同比减少1.54%；主营业务收入较去年同期增长的企业为56家，占115家企业的48.70%。

（中国轴承工业协会）

第十六届中国国际机床展览会 特种加工机床评述

CIMT2019特种加工机床评述专家组

通过对第十六届中国国际机床展览会（CIMT2019）参展特种加工机床的现场调研、资料收集以及与参展厂商的座谈交流，对国内外电加工机床、激光加工机床、增材制造机床的技术特点及发展趋势进行了比较深入和系统的评述，并对特种加工机床的应用与市场拓展进行了分析。

第十六届中国国际机床展览会（CIMT2019）于2019年4月15日至20日在北京中国国际展览中心（新馆）举行。本届展会展览总面积达14.2万平方米，吸引了来自世界28个国家和地区的1700多家厂商参展，荟萃了全球机床工具制造业的新品、精品、名品，是一场高水平的行业盛宴。

据统计，参加本届展会的国内外特种加工机床厂商共70余家，其中境内展商50多家、境外展商20多家；展出特种加工机床140多台（套），包括电加工机床60多台、激光加工机床60多台、增材制造机床10多台及少量其他特种加工机床。

一、电加工机床

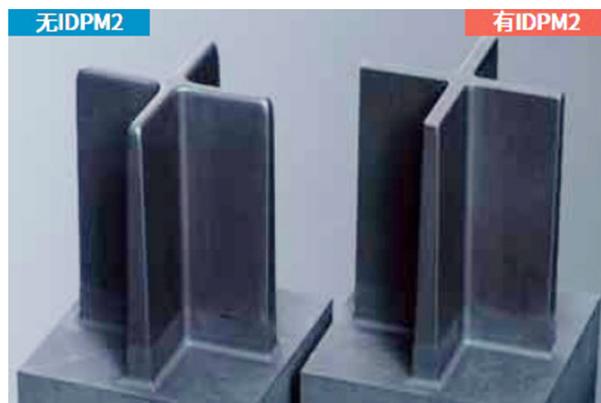
1. 数控电火花成形机床

本届展会共有10家厂商展出了13台数控电火花成形机床，与上届展会相比无论展商及展品数量都有所减少。总体来看，参展机床的精度指标、加工工艺指标等没有重大突破。近年来，各厂商都把重点放在巩固完善已有产品上，开发完善了电极低损耗甚至零损耗的脉冲电源控制技术，提高了加工的可靠性、稳定性和一致性，推动实施信息化、智能化、自动化及网络化，进一步拓展产品的应用领域、深化细分市场应用，更加注重为用户提供解决方案。

（1）国外数控电火花成形机床

本届展会上，瑞士GF加工方案、日本沙迪克公司和日本三菱电机公司分别展出了FORM P 350、AG40LP和EA85数控电火花成形机床。虽然这些机床都不是首次亮相，但在技术细节上有一些进步。

①电极零损耗加工技术。参展机床的一个技术亮点是脉冲电源低损耗甚至零损耗控制技术。瑞士GF加工方案的iQ技术、日本三菱电机公司的IDPM2技术等可以实现石墨电极和铜电极的无损耗加工，保证加工工件的一致性和稳定性。图1是日本三菱电机公司采用新的IDPM2技术（零损耗模块）和未使用该技术时，石墨电极在加工后的损耗情况对比。



（a）未采用无IDPM2技术 （b）采用IDPM2技术

图1 石墨电极损耗情况对比

②精密微细加工技术。为了降低电极损耗，使用更少

的电极更有效率地加工出更精细的电子元器件模具，三家公司都做了相关研究并展示了电子插接件的尖角加工技术和样品。瑞士GF加工方案展出的FORM P 350精密电火花成形机床（见图2）可以实现微米级的细微加工曲面。日本沙迪克公司的放电稳定电路“无电弧Plus”电源技术，可在超微细底面尖角加工中发挥出色的加工性能。



图2 FORM P 350数控电火花成形机床

③在整体自动化解决方案的前提下，对客户提供更全面的服务。日本三菱电机公司展示了iQ Care Remote 4U放电加工机床远程服务，包括远程监视和远程诊断二种功能。其中，远程监视功能是指即使客户远离生产现场也可使用智能手机和平板电脑实时掌握机床的运行状态、预估加工时间，从而对生产工艺过程进行调整、降低运行成本；远程诊断功能是将服务中心的专用终端直接连接到客户的放电加工机床进行远程诊断，以最快的速度解决客户的问题，能大幅度缩短停机时间，降低客户对机床维护与维修人员能力的要求。

④为适应自动化、生产线的需要，展示了与电火花成形机床相关的专项技术。如日本发那科公司展出了ROBODRILL α -DiB 铜电极加工自动化系统（见图3）；瑞士GF加工方案展出了3R NANO测量系列产品，其定位精度和重复定位精度可以控制在 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 以内。借助这些专项技术，可真正实现超高精密加工。



图3 ROBODRILL α -DiB 铜电极加工自动化系统

⑤为用户提供一站式整体解决方案。值得关注的是，国外从事电火花加工技术研究的主要公司纷纷涉足多方面特种加工技术的研究和应用，更加重视工艺链的完整性和综合技术，为客户提供用于生产的整体解决方案。

（2）国内数控电火花成形机床

本届展会上，展出了数控电火花成形机床的国内单位有：北京市电加工研究所/北京迪蒙数控技术有限责任公司、苏州三光科技股份有限公司、北京迪蒙斯巴克科技股份有限公司/江苏德瑞加数控机床有限公司、北京迪蒙卡特机床有限公司、北京机床所精密机电有限公司、苏州汉奇数控设备有限公司和广东商鼎智能设备有限公司。这些公司的展品基本代表了目前国产数控电火花成形机床的技术水平。与上届展会的展品相比，五轴联动机床更加实用化，自动化、信息化程度也在提高，外观设计和制造工艺有进步，从产品外观到内在结构都有升级换代，产品性能不断提升，同时拓展了应用领域。

①油槽自动升降式电火花成形机床更便于实现工件和电极的自动拆装、找正和调整，是实现自动化、并入生产线、提高加工效率、方便操作的必不可少的基础。本届展会展示的此类产品明显增多，图4为北京市电加工研究所展出的ADV600精密数控电火花成形机床以及北京迪蒙斯巴克科技股份有限公司展出的DR400S高精密切面电火花成形机床。



(a) 北京电加工所的ADV600机床 (b) 北京迪蒙斯巴克的DR400S机床

图4 油槽自动升降式数控电火花成形机床

②展品均为三轴以上数控机床，且数控系统均为自主研发并进行了升级，多数厂家已采用基于Windows XP操作系统的人机界面。以北京市电加工研究所的ADV600机床为例，其数控系统配置了最新的Windows MarkPower软件，脉冲电源增加了“放电能量精确控制电路”，使放电加工表面均匀性大幅提升，搭载智能专家系统，加工效率更高、加工方法更灵活。

③针对难加工材料开展了电火花加工工艺技术的研究，实现了聚晶金刚石（PCD）、硬质合金、钛合金、钛铝合金、高温合金、碳纤维复合材料、超高温陶瓷基复

合材料以及炭/炭复合材料等的高效及高表面质量加工，已形成“钛合金”“高温合金”“硬质合金”专用模块。

④实现四轴联动、五轴联动电火花成形加工技术的工程化应用，且加工出高品质的整体闭式叶轮、带冠涡轮盘等难加工材料空间复杂结构，建立了大流道整体闭式叶轮一体化制造解决方案，已实现最大直径为730.5 mm、流道最窄出口宽度为4.07 mm、流道投影长度与出口宽度比为28.29 mm的三元闭式叶轮加工，缩小与国外同类产品的技术差距。图5是高温耐热合金材料整体闭式叶轮流道的局部照片。



图5 整体闭式叶轮流道局部照片

⑤自动化成为各家公司主要的关注点和研究方向，且有了实质性的进步。如北京市电加工研究所的ADV600机床带有机械手臂，为首次展出；北京迪蒙特机床有限公司的CTM350C机床带有电极工具库，可方便地对接自动化及无人加工的需要。

⑥运用网络通信功能实现网线连接、远程监视、远程诊断、远程编程与传输、远程工艺技术服务等已成为各公司研究的主要方向之一，提升了产品和技术服务的水平。

⑦国产数控电火花成形机床与国外厂家的产品相比，差距仍然很大且主要体现在基础技术方面，如机床尚无恒温设计概念、脉冲电源精细化控制还需加强、在精密加工方面的差距甚至在加大。随着国内应用市场转型

升级的加快，国内产品有可能受到进一步的挤压。

2. 数控电火花线切割机床

本届展会共有21家企业展示了33台电火花线切割机床，其中单向走丝电火花线切割机床11台、往复走丝电火花线切割机床22台。

(1) 单向走丝电火花线切割机床

本届展会上共有日本沙迪克公司、日本三菱电机公司、日本牧野公司、日本发那科公司、台湾庆鸿机电工业股份公司、北京安德建奇数字设备股份有限公司、苏州三光科技股份有限公司、北京机床所精密机电有限公司和江苏冬庆数控机床有限公司等国内外厂家展示了单向走丝电火花线切割机床。

单向走丝电火花线切割机床近年的市场与技术发展有以下一些特点：

①市场需求继续稳步上升。虽然近年来国内新机床的购买力不断下降，往复走丝电火花线切割机床也对部分中低端单向走丝电火花切割机床市场造成一定冲击，但单向走丝线切割机床销售量却呈现出了上升的趋势。预计未来随着加工制造业产业升级及军工行业业务量持续增长，高端单向走丝线切割机床市场需求量还会稳步增长。近年来，国内企业加快了产品的升级换代步伐，增加相关功能并提高加工性能，如北京安德建奇数字设备股份有限公司展出的AG560-SA新机型（见图6），实现厚度为50 mm零件的穿丝成功率99%、最佳表面粗糙度Ra0.15 μm 、加工精度 $\pm 3 \mu\text{m}$ 的技术指标；苏州三光科技股份有限公司展出的LA500A带自动穿丝系统的机床（见图7），在脉冲电源、数控系统、加工精度等方面进一步提升，具有良好的粗中加工能力和稳定性。



图6 北京安德建奇AG560-SA机床



图7 苏州三光科技的LA500A机床

②主要加工性能指标无明显提高。单向走丝线切割机床的最大切割效率、最佳表面粗糙度、加工精度等主要加工性能指标在近两年没有明显提高，基本维持在最佳表面粗糙度Ra0.005 μm 、加工轮廓精度 $\pm 1 \mu\text{m}$ 的技术指标水平上。总体来看，目前单向走丝线切割技术发展处于瓶颈状态，技术参数未有新突破。

③智能化实用性加工技术能力不断提升。尽管主要加工技术指标无明显提升，但各生产厂家通过开发智能化控制技术，在提高机床实用性加工指标方面做了很多技术改进工作。如瑞士GF加工方案的“Variocut变高度专家系统”、日本沙迪克公司的“DSF系统”、日本牧野公司的“T.G.控制（平面精灵）”通过预先导入的三维实体模形与实际加工轨迹检测比较的办法，实现优化放电能量并相应调整相关参数，从始至终保持阶梯形工件加工表面的一致性，使得中空、阶梯形等零件的加工稳定性及加工速度得到提高。日本沙迪克公司使用

“无凹凸控制Ⅱ”技术、日本牧野公司使用“GS-Cut（凸面精灵）”技术、日本三菱电机公司使用“GS-cut功能”在一次切割300 mm厚度零件时的单边直线度 $<5\ \mu\text{m}$ ，减少了厚工件的后续精加工修刀量，提高了厚工件中、精加工效率与轮廓精度。瑞士GF加工方案使用“IPG智能数字脉冲电源”技术，精确控制每个脉冲的放电能量，使切割速度提高20%、六次切割表面质量达到 $\text{Ra}0.1\ \mu\text{m}$ 。日本沙迪克公司使用“Digital-PIKA-W Plus”超高频数字脉冲技术实现硬质合金最佳表面粗糙度 $\text{Ra}0.04\ \mu\text{m}$ 、模具钢最佳表面粗糙度 $\text{Ra}0.1\ \mu\text{m}$ 的精修表面质量。日本牧野公司的“LL-Circuit”技术、日本沙迪克公司的“Super-BS”技术，可防止电解现象导致加工面氧化、软化、点腐蚀，以及防止硬质合金材料钻的溶析和硬度降低，还可在钛合金材料加工中抑制阳极氧化进而防止发生变色。

④一些新技术得到稳定应用。日本沙迪克公司的机床配置了K-SMC运动控制系统以及X/Y/U/V轴搭载直线电机；日本三菱电机公司的MP系列机床采用M8数控系统及X/Y/U/V四轴搭载直线电机；台湾庆鸿机电工业股份有限公司和北京安德建奇数字设备股份有限公司也可向客户提供直线电机选配服务。采用直线电机的单向走丝线切割机床，其坐标精度保持性很好，可长期保持机床初始的机械精度。日本沙迪克公司AL系列G型机床（见图8）配置了“热变位校正系统”（CUSTOMER FIT功能），在机床内部安装多个精密温度传感器，可持续监测机床温度并自动补偿由于温度变化所造成的床身微量变形，或采用循环冷却技术精确控制床身温度，从而保证机床的机械精度。参展的国内外单向走丝线切割机床都具备

采用互联网技术，将单台或多台机床与网络环境相连，并对联网的机床收集各种信息和数据，实现监控、维护、控制、分析等功能。



图8 ALN400Gs高速高性能电火花线切割机床



图9 U6 七轴单向走丝线切割机床

⑤智能化生产单元与生产线将有更大的应用前景。限于展览场地，本届展会没有企业展出单向走丝线切割机床独立生产单元及自动化生产线。但瑞士GF加工方案、日本沙迪克公司、日本三菱电机公司、日本发那科公司等都能向客户提供成熟的智能化生产单元与生产线技术解决方案，并在近年来已经在国内外一些客户中得到实际应用。智能化生产制造是未来

的发展趋势，智能化单向走丝线切割生产单元与生产线也会被越来越多的生产企业及用户所接受。

⑥拓展更加广泛的加工应用领域。针对近年来PCD、PCBN等超硬材料在刀具上应用量不断提升的情况，日本沙迪克公司、日本发那科公司、台湾庆鸿机电工业股份有限公司和北京安德建奇数字设备股份有限公司等通过在标准机床基础上增加PCD刀具切割套件实现了对PCD等超硬材料刀具的加工应用。日本牧野公司展示了1台七轴单向走丝线切割机床（见图9），可对叶轮盘榫槽进行粗中加工且加工效率高、成本低。

（2）往复走丝电火花线切割机床

本届展会共有苏州三光科技股份有限公司、北京安德建奇数字设备股份有限公司、苏州宝玛数控设备有限公司、北京凝华科技有限公司、江苏冬庆数控机床有限公司、杭州华方数控机床有限公司、苏州汉奇数控设备有限公司、昆山瑞钧机械科技有限公司、江苏三星机械制造有限公司、北京迪蒙特机床有限公司、江苏赛维斯数控科技有限公司、上海伊阳机械有限公司以及上海特略精密数控机床有限公司等国内企业展出了具有多次切割功能的往复走丝电火花线切割机床（俗称“中走丝机床”）。“中走丝机床”经过近几年的发展，在加工性能指标、应用范围、产品外观与内在质量等方面都有所提高，但行业产能过剩、同质化竞争现象比较严重。

①市场需求量处于上升阶段。

“中走丝机床”因其良好的加工性能与低使用成本被越来越多的客户所接受，目前还没有其他新技术产品可完全将其替代。随着加工制造业产业结构的深入调整，用户企业加快设备更新换代，促使“中走丝机床”市场销售量不断上升。从市场与技术角度来看，“中走丝机床”目前还处于一个

不断发展的过程中。

②新技术在机床上的应用。“中走丝机床”通过借鉴单向走丝线切割机床的电感式脉冲电源、交变极性脉冲电源、智能控制放电脉冲等技术，快速提高了最大切割效率与最佳表面粗糙度等性能指标。苏州三光科技股份有限公司的HB400L机床（见图10a）采用电感脉冲电源、无电解电源技术，在最大加工效率与表面质量方面有很好的表现，而使用直线电机驱动则提高了尖角加工性能及圆加工的精度。江苏冬庆数控机床有限公司的DK7732ZT机床（见图10b）具有探测、引燃脉冲及智能控制放电脉冲，可保证等能量脉冲放电加工，提高了加工件的表面粗糙度及加工效率。苏州宝玛数控设备有限公司、江苏冬庆数控机床有限公司、江苏三星机械制造有限公司在机床上使用带压力传感器的智能自动双向调节丝张力的系统，提高了加工的稳定性与加工尺寸的一致性。江苏三星机械制造有限公司在其发明专利技术储丝筒不做左右移动、仅做正反转动、电极丝收放由排丝轮左右移动来实现的基础上，结合大摇摆锥度机构开发出一款DK7732CT全伺服控制的大锥度机床（见图10c）。

③加工性能指标继续提升。本届展会展出的“中走丝机床”的最大切割效率普遍为 $300 \text{ mm}^2/\text{min}$ 、最佳表面粗糙度 $Ra0.6 \mu\text{m}$ ，个别厂家的机床在特定加工条件下能够实现最大切割效率 $600 \text{ mm}^2/\text{min}$ 、最佳表面粗糙度 $Ra0.3 \mu\text{m}$ ；加工精度指标基本满足 $\pm 5 \mu\text{m}$ 的要求，部分厂家机床的加工精度指标为 $\pm 2.5 \mu\text{m}$ ；一些实用性加工指标也有所提高，如三次切割表面粗糙度达到 $Ra0.8 \mu\text{m}$ 、切割面积为 500000 mm^2 的电极丝直径损耗小于 0.01 mm 、连续切割50个相同零件的一致性误差 $< 0.005 \text{ mm}$ 。由此

可见，近年来各厂家的产品研发及制造投入较多，促使“中走丝机床”的总体技术水平不断提升。

④应用范围进一步拓展。近年来“中走丝机床”在加工PCD等超硬材料成形刀具方面得到广泛应用，部分厂家推出了超硬材料刀具电火花线切割专用设备或者在标准“中走丝机床”基础上增加超硬材料刀具加工附件等，以满足快速增长的超硬材料刀具加工制造需求。超高超厚金属零件加工一直是“中走丝机床”的强项，如杭州华方数控机床有限公司展出的超高厚度“中走丝机床”（见图10d），在切割厚度为 2000 mm 的零件时可保证上、中、下边的单边精度误差 $< 0.1 \text{ mm}$ 。



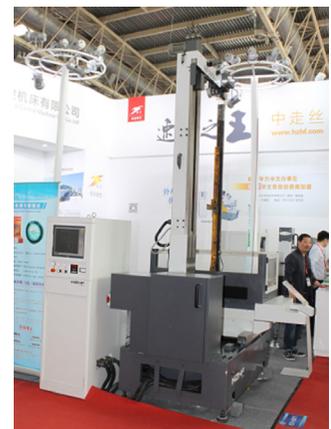
(a) 苏州三光HB400L机床



(b) 江苏冬庆DK7732ZT机床



(c) 江苏三星DK7732CT机床



(d) 杭州华方超高厚度机床

图10 国内参展的部分“中走丝机床”

⑤不断提高环保、清洁生产能力。此次参展的“中走丝机床”基本都配备了防护性能良好的加工液槽，其运丝系统的整个区域内都有合适的装置回收由电极丝带出并跌落的加工液，使加工液槽中与主机上的加工液全部回到加工液箱中，同时配合使用水溶性环保加工液，可彻底改变机床工作区域加工液满地横流以及加工区域乌黑油腻的状况。未来“中走丝机床”的加工液箱不仅会有供液、循环过滤等功能，还将集成加工液浓度与电导率自动检测、自动收集金属颗粒物并进行烘干整形、自动调节添加工作液等装置功能。

⑥自动化发展提出了新的挑战。虽然目前可以实现生产车间内的“中走丝机床”的组网与联网、实现加工程序文件传输以及机床重要信息的传输功能并连接到生产车间的MES系统上、可以实时管理机床运行状态与加工零件完成情

况甚至链接外部互联网实现对机床的远程操作、监控、机床管理信息的发送等，但针对“中走丝机床”本身的自动化基础性工作还未做到位，如机床液槽自动升降或液槽门自动开启、自动穿丝以及与机器人料库连接的电气硬件接口与通讯协议等，由此期望下一届展会展出的“中走丝机床”能在自动化与智能化方面有更大的突破。

3. 电火花微小孔加工机床

本届展会上共有5家企业展出电火花小孔、微孔加工机床，其中有用于航空发动机叶片气膜孔加工的多轴数控电火花小孔加工机、用于汽车发动机零件喷孔加工的电火花微孔加工机，以及用于深孔、顶针孔和硬质合金材料小孔加工的电火花小孔加工机床。

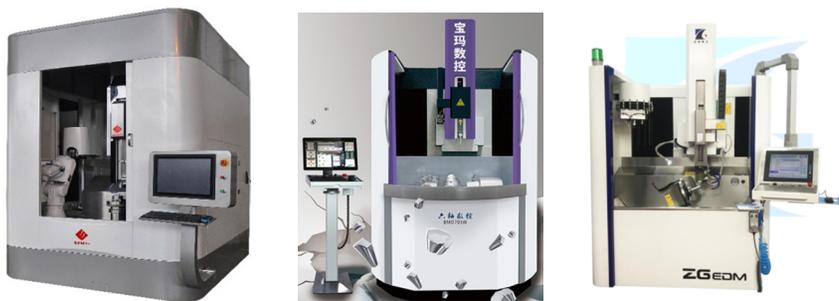
(1) 多轴数控电火花小孔加工机床

苏州电加工机床研究所有限公司的SE-GK020A六轴数控电火花小孔加工机床（见图11a）适用于航天航空发动机叶片类等较小零件复杂空间位置的小孔加工，配置了能装8个电极的刀库和1台六自由度机械手，能完成电极、导向器和工件的自动更换，具有自动检测加工零位、自动转换加工规准、深度自动控制、孔加工穿透检测等智能控制功能，大幅度提高了单机自动化水平，可实现批量零件群小孔的高效、高质量自动加工，其加工表面重熔层 ≤ 0.01 mm。利用简单电极进行异形孔、微细槽的电火花铣削加工是该机的亮点。

苏州宝玛数控设备有限公司的BMD703W六轴数控电火花小孔机（见图11b），采用了全封闭结构以及基于ARM硬件平台和Linux操作系统软件平台构建的数控系统和面向未来智能制造环境的新一代架构，具有

原生支持互联网+、MES、远程监控、远程分期授权等功能；系统扩展通过总线或网络实现，硬件集成度和系统可靠性高；采用大触屏全数字化显示，界面简洁、直观、易学易用；配合专用的CAM软件插件模块，可在UG等商用CAD系统上自动生成孔加工的三维空间G代码；带有智能型数据库，只要输入电极直径、工件材料及加工孔深，系统能自动生成最优分段加工参数。

苏州中谷实业有限公司的ZGDC406六轴数控精密电火花小孔加工机床（见图11c）采用全包围结构、机电一体化的设计，摇臂式操控台使整机紧凑、操作方便；采用window视窗界面，实现人机对话，可通过CAD直接转换或MDI列表方式编制加工程序；配置电极自动交换装置（ATC）和自动导向交换装置（ADC），可在一个零件上进行不同孔径的连续加工。

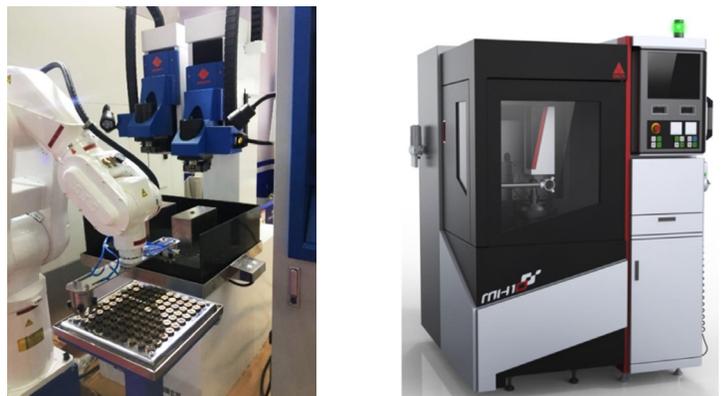


(a) 苏州电加工的SE-GK020A (b) 苏州宝玛的BMD703W (c) 苏州中谷的ZGDC406

图11 多轴数控电火花小孔加工机床

(2) 电火花微孔加工机床

苏州电加工机床研究所有限公司的SE-WK008D多工位数控电火花精密微孔加工机床（见图12a），用于汽车发动机高压共轨阀体组件喷孔的加工，具有自动检测零位、自动找中心、自动整修电极、自动变换加工参数及自动控制加工深度等智能型功能；配置纳秒级微能量数字脉冲电源、微孔加工专家系统、微细电极纳米级微量再进给及精密导向机构，加工孔径范围为0.08~0.5 mm、最佳加工表面粗糙度为 $Ra0.4 \mu\text{m}$ 、加工孔径精度（板厚为1 mm）为 ± 0.002 mm；配置1台六自由度机械手，可完成工件的自动交换，实现高压共轨阀体组件喷孔的批量自动加工；最具特色的是可采用微细长圆丝、扁平电极等各类简单形状的电极加工出各种精密微细型腔、微细窄槽和微小异形孔。



(a) 苏州电加工的SE-WK008D

(b) 北京电加工的MH10

图12 电火花微孔加工机床

北京市电加工研究所的MH10精密微孔电火花加工机床（见图12b），具备六轴联动加工功能，采用气动送丝方式，配置放大倍数可调的CCD视觉采集装置，能实现电极丝在线检测，可满足各种微细孔槽的加工需求；设计的精密微细倒锥孔加工机构能满足高压共轨喷射系统精密微细倒锥孔的加工需求且锥度连续可调，可适应多样化锥度加工需求，加工孔径范围为0.1~0.3 mm；多回路高效精准脉冲电源放电技术和精确快速的放电状态检测与控制技术，可保证微小孔孔径散差可控制在 ± 0.003 mm以内、最佳表面质量 $\leq 0.4 \mu\text{m}$ ；设计的专用锥度调节装置可加工 $0^\circ \sim 2^\circ$ 的倒锥孔。

苏州中谷实业有限公司的ZGM401数控电火花微孔加工机床，采用windows操作系统，中文界面显示；数控轴采用直线电机驱动，电极为磨制硬质合金丝，旋转速度为0~1500 r/min，可加工直径为0.08~0.5 mm的微孔以及锥度 $< 2^\circ$ 的倒锥孔，加工孔的圆度 ≤ 0.002 mm、深径比10:1、最佳表面粗糙度 $R_a \leq 0.6 \mu\text{m}$ 。

(3) 电火花小孔高速加工机床

苏州亚马森机床有限公司展出了4台电火花小孔高速加工机床。其中，MS-DC435P为一款专用于纺织机械、阀门等行业精密小孔加工的四轴数控机床，配置了三个直线轴、一个旋转轴，可使用3B代码、G代码、NC代码等多种代码格式编制加工程序，可在球形、圆柱形、圆弧形零件上加工出直径为0.2~3 mm的群小孔，加工表面粗糙度为 $R_a 1.5 \mu\text{m}$ ；MS-DZ430C机床作了立柱加高、XY轴行程加长、脉冲能量加大的改进，可适应大厚度零件的孔加工，能装夹长度800 mm的电极，从而能加工深度600 mm、最大孔径6 mm的

深孔，且入口与出口的孔径差不大于0.3 mm；MS-DZ435A电火花小孔机是专用于硬质合金零件上精密小孔加工的机床，具备特有的硬质合金加工回路，采用直径0.2 mm的电极只需1分钟便可在硬质合金上加工深度5 mm的小孔，其电极损耗为20%（1 mm）、单边间隙 ≤ 0.03 mm、孔径 ≤ 0.26 mm。

4. 专用电加工机床

(1) PCD刀具及金刚石砂轮电火花加工机床

北京安德建奇数字设备股份有限公司的AT40R数控电火花PCD刀具切割机床（见图13）是用于PCD刀具切割加工的专用机床，能对所要加工的刀具进行自动分度检测，在选择关键数据条件后可根据检测数据自动生成加工程序，并在加工结束后自动进行精度检测；可切割最大直径300 mm的盘状刀具，圆周跳动精度小于 $25 \mu\text{m}$ 、刀齿形状精度小于 $20 \mu\text{m}$ 。武汉机床有限责任公司展出了1台PCD7-5CNC数控刀具加工机床，具有五个数控轴，其切割精度0.01 mm、最佳粗糙度 $R_a 0.4 \mu\text{m}$ 。

北京凝华科技有限公司的SL25I超硬材料砂轮放电修整机（见图14）专为金刚石、CBN砂轮成形加工与修整和PCD整体刀具外圆加工而设计，配置了经过优化的精细脉冲电源，加工效率有了进一步提高；新增的特殊设置功能和电极轮在线车削、在线补偿功能，有效降低砂轮的径向跳动、精确补偿电极轮的损耗，保证了零件的加工精度，可在直径400 mm以内的金刚石、CBN砂轮和PCD整体刀具上高效磨削出精度在0.03 mm以内的高光洁度外圆、内孔以及异形端面。

德国孚尔默公司展出了QXD 250专用电火花成形磨削机床和Vpluse500刀具电火花线切割加工机床，这两台机床在上届展会也有展出。



图13 AT40R数控电火花PCD刀具切割机床



图14 SL25I超硬材料砂轮放电修整机

(2) 电化学去毛刺机床

苏州电加工机床研究所有限公司展出了1台DJK6032电化学去毛刺机床，其主机采用全封闭结构，机床主要部件采用优质不锈钢板和耐腐材料制作，为气动驱动，工作液泵采用丹麦格兰富不锈钢泵，可控硅电压可调式直流电源，最大加工电流600 A；SCD控制单元能在线检测极间短路情况，当极间出现短路状况时，OCP控制单元能快速切断加工电流，有效防止过电流加工，保证工件不受损伤；去毛刺加工的最小圆角为 $R0.1$ mm、表面粗糙度 $R_a 0.2 \sim 0.4 \mu\text{m}$ ，可广泛用于不同金属材质的泵、阀、缸体、齿轮、曲轴及连杆等零件交叉孔或棱边的去毛刺加工。

二、激光加工机床

激光加工技术在汽车、电子、电器、航空航天、冶金、机械制造等领

域的应用越来越广泛，在提高产品质量及劳动生产率、减少污染、降低材料消耗、实现自动化等方面愈发显示出优越性。近来特别值得人们关注的是超快激光加工技术，由于超快激光器输出的激光脉宽在皮秒级或小于皮秒级，而分子转动的周期为皮秒量级、振动的周期约为飞秒量级，可在很大程度上避免对分子整体热运动的影响而在分子振动的时间尺度上对物质产生影响，从而在达到加工目的的同时显著降低热效应。随着生产工艺逐渐成熟、成本逐渐下降，超快激光器在未来有望广泛地应用于航空航天、消费电子、能源环境、医疗生物和精密机械等领域。

本届展会汇聚了国内外30多家激光机床制造企业，实现了境内外展商同台竞技的场面，体现了当前世界激光加工产业最高的技术水平及未来发展趋势。国外的德国通快公司（TRUMPF）、德国德马吉公司（DMG）、瑞士百超公司（Bystronic）、日本天田公司（AMADA）、日本三菱电机公司、日本远州株式会社和山崎马扎克公司等展出了最新的激光加工设备。国内众多的知名企业也亮相于本次展会，如深圳大族激光科技产业集团股份有限公司、武汉奔腾楚天激光设备有限公司、江苏亚威机床股份有限公司、江苏扬力数控机床有限公司和武汉华工激光工程有限责任公司等，与此同时本届展会还吸引了武汉华俄激光工程有限公司、苏州领创激光科技有限公司、济南邦德激光股份有限公司、武汉高能激光设备制造有限公司、信宜华辉数控机床有限公司、佛山宏石激光技术有限公司和苏州迅镭激光科技有限公司等新兴企业积极前来参展。

本届展会现场展出的激光加工机床有60多台套。与上届展会展示的情

况相比，精密激光加工已成为激光加工市场中重要的组成部分，国内外部分企业展出的激光精密加工设备均为飞秒、皮秒级超快激光加工设备，具有更好的加工精度和更小的热损伤。而就历届参展设备中占比最大的激光切割设备而言，本次展出的设备普遍具有三维激光切割能力并呈现出高功率、超高速和切厚板等特点，实现了对大幅面、大厚板及高反射材料良好的切割能力。与此同时，部分企业还展出了能适应不同工艺要求的高度集成自动化的激光焊接工作站；多家企业还推出了多用途激光加工机和复合加工机，为激光加工设备的未来发展拓宽了方向。

具体来说，本届展会展出的激光加工机床呈现出以下几个特点：

（1）“更高、更快、更厚”是本届展会的一大亮点。具体而言，主要体现在激光切割设备方面具有更高的输出功率、更快的切割速度以及可切割更厚的板材。更高的激光输出功率除了能保证切割更厚的板材之外，还可保证切割板材的平行度。对于大幅面的薄板来说，采用超高速的切割工艺可显著地提高生产效率并确保良好的切割质量。本次展出的激光切割设备普遍搭配了“万瓦级”输出功率的激光器，特别是大族激光智能装备集团、奔腾激光（温州）有限公司和苏州领创激光科技有限公司的激光切割设备均可搭配“2万瓦级”的激光器，济南邦德激光股份有限公司更是搭配了25 kW级别的激光器。相应机床的加速度则普遍达到了2.5 G，其中武汉奔腾楚天激光设备有限公司的BOLT 5.0“闪电”系列20 kW智能极速光纤激光切割机的最大加速度达到了4.0 G（见图15）；江苏亚威机床股份有限公司的HLS-1530磁悬浮光纤激光切割机，其X、Y轴的最大加速度更是达到了4.5 G。在厚板

切割方面，大族激光智能装备集团的G4020HF 高速光纤激光切割机（见图16）已达到了切割厚度为50 mm的Q235低碳钢板的能力；江苏亚威机床股份有限公司的磁悬浮光纤激光切割机HLS-1530可以切割厚度为60 mm的不锈钢板和厚度为30 mm的铜板。

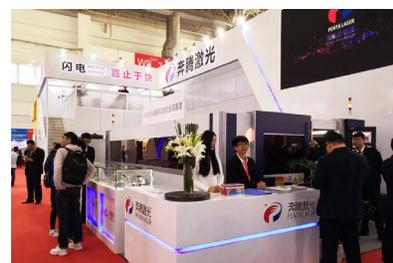


图15 BOLT 5.0“闪电”系列20 kW极速光纤激光切割机

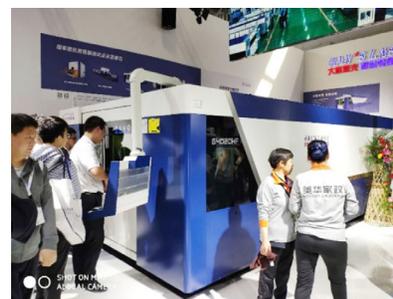


图16 G4020HF 高速光纤激光切割机

（2）精密激光加工设备，特别是超快激光加工设备在激光加工领域扮演越来越重要的角色。国外方面，柯尔柏斯来福临机械（上海）有限公司（EWAG）展出的是LASEER LINE ULTRA高精度5轴激光烧蚀系统（见图17），并搭配了最大输出功率为50 W的皮秒超短脉冲激光器，能在一次装夹的情况下完成对切削刃、空心型腔和断屑台以及激光打标的所有加工；加工时，采用脉冲持续10皮秒的超短脉冲激光技术，使材料直接被汽化蒸发且无显著的热量输入，被加工的刀具不会因为受热而损坏，可明显提高刀具的使用寿命；瑞士GF加工方案展出的ML-5超快激光微加工平台，搭配了功率为50 W的飞秒激光器，采用了高精度天然大理

石底座，热稳定性好，其直线轴全部由直线电机驱动，移动速度快，无反向间隙，轴运动重复精度达到亚微米级，从而满足高精度加工的要求。国内方面，西安中科微精光子制造科技有限公司在“04专项”的支持下，率先研制出四轴、五轴和六轴超快激光极端制造设备，其部分性能指标已达到国际先进水平，填补了国内在该领域的空白，并在诸多国计民生行业领域实现突破性应用；中科微精展出了自主创新的针对复杂型面零部件加工而研发的五轴超快激光微加工设备（见图18）。

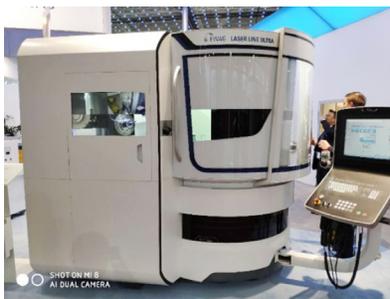


图17 LASER LINE ULTRA高精度五轴激光消融系统



图18 五轴超快激光微加工设备

（3）激光切割设备搭配各式激光切割头成为本次展会的一个创新点。通过优化切割喷嘴的设计，可提高边角/复杂零件加工质量、降低熔渣量、提高切割质量。如日本三菱电机公司的VZ10二氧化碳三维激光加工机搭配的三维切割头更加细长化（见图19），可实现出色的工件接近性，降低了深冲形状加工时的干涉范围；日本天田公司（AMADA）的

LCG 3015 AJ II 高效光纤激光加工机搭配的新型切割喷嘴具有更适合的气体流向，辅助气体压力为以往压力的一半，切割速度却可达到以往的7倍，大幅减少了加工成本；德国通快公司（TRUMPF）的TruLaser Cell 5030三维激光加工系统搭配的是X-blast喷嘴（见图20），其切割距离是传统切割喷嘴的两倍，有效地减少了喷嘴碰撞的机率，降低喷嘴消耗。

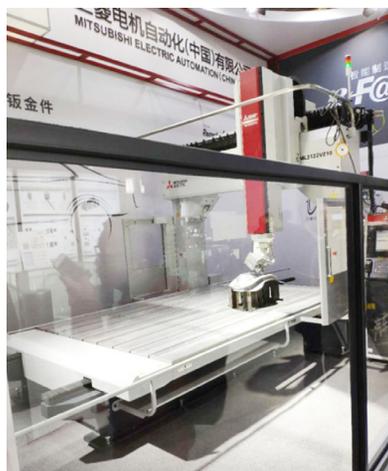


图19 VZ10二氧化碳三维激光加工机

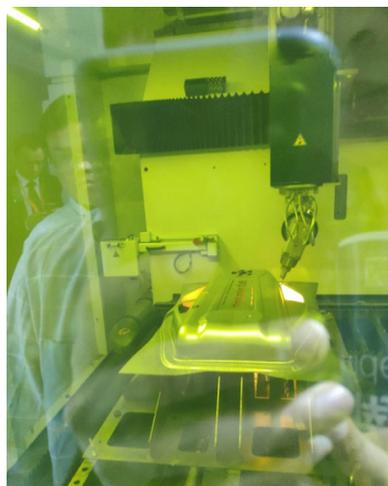


图20 X-blast激光切割喷嘴

（4）多用途激光加工机和复合加工机以其独特的理念成为本次展会中一道“亮丽的风景线”。国外方面，日本远州株式会社生产的LBM10/20是在各种激光加工专用机

的构造基础上采用最新理念制作的多用途机型，而本次参展的LMB10型设备主要用于激光焊接与激光淬火；日本AMADA公司是世界领先的综合金属加工机械设备制造商，本次展出的LC2512C1AJ光纤激光复合加工机（见图21）综合了数控冲切、激光切割和攻丝成形等全部工序，利用数控冲床冲孔，可利用激光进行非常用的特殊孔的加工，从而节省模具费用、缩短交货期，还可利用仿形传感器以及通过加工头的上下调整采用激光轻松完成很难冲切的段差外周及倾斜部位的加工。国内方面，武汉奔腾楚天激光设备有限公司的BOLT 5.0“闪电”系列极速光纤激光切割机不但具有切割功能，还能进行激光打标，实现了一机多用途的功能；华辉数控机床有限公司首次展出的LS3-1225冲激复合一体机（见图22），很好地结合了转塔冲床和激光切割的优势，打破了模具安装数量的限制，节省了档板材变更带来的设备停止、调整下模具的时间，实现了冲孔和激光切割的自动化。



图21 LC2512C1AJ光纤激光复合加工机



图22 LS3-1225冲激复合一体机

三、增材制造（3D打印）机床

近年来，增材制造机床延续了快速发展的势头。在2014年~2018年间，全球增材制造行业的年均增长率达32.4%。据估计，2019年工业级增材制造机床的出货量可增长18%，2020年全球增材制造市场总值将达205亿美元，到2020年出货总量将超过670万台，至2023年增材制造产业的市场规模预测值为350亿美元。

1. 金属增材制造机床

本届展会期间，全球增材制造的龙头企业美国3D Systems公司展示了金属增材制造技术及其全套装备，体现了该公司在2016年9月宣布的全面新战略的意图，即通过将增材制造系统纳入工厂基础设施，创建硬件和软件，使各大制造业公司能够将增材制造实施到工作流程中，从而将本公司从原型制造专家发展成为加工生产的领导者。3D Systems公司还与瑞士GF加工方案合作推出了基于金属增材制造的零部件加工一站式的解决方案（见图23），该集成解决方案将为工厂自动化提供包括用于增强型零件设计、增材制造机床、材料和材料自动化处理、放电加工（EDM）、铣削设备和先进后处理技术在内的各种软件，这些新的设计和制造选项可直接帮助改善现有的产品、新的设计、新的业务模式和新的市场。其中，Flex 350金属增材制造机床是上述工业生产一站式解决方案的核心设备，采用光纤激光器，层厚可调，保证了成形件的精度；可加工最大尺寸达275 mm × 275 mm × 380 mm的金属零件，所使用的金属粉末最小粒径为5 μm，X、Y、Z三轴的重复精度达20 μm。应用领域包括航空航天、发动机/组件制造、医疗（骨科植入物、齿科、整形外科等）、工模具中

的随形冷却镶件、珠宝和首饰业等。

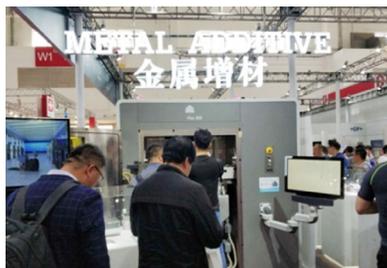


图23 瑞士+GF+公司与美国3D SYSTEMS公司联合展台

英国雷尼绍公司展示了专用于工业生产的RenAM 500Q多激光增材制造机床（见图24）。该机床配有4个500 W大功率掺镱光纤激光器，每束激光均可同时覆盖整个粉末床表面，极大地提高了加工效率；自主开发的具有动态聚焦功能的光学系统更利于聚焦和引导激光束，使得整个工艺流程更加紧凑；自动化粉末和废料处理系统有助于实现工艺品质的一致性，减少人机交互时间并确保高标准的系统安全性；数控系统及专用的QuantAM加工文件处理软件与雷尼绍InfiniAM过程规划和监控软件完全兼容，可更加紧密地集成到机床控制软件中，并充分发掘增材制造的优势。近年来，雷尼绍公司还开发了各种专用的医疗增材制造设备，如口腔科和齿科用增材制造机床，用于颌面、颅骨和各种骨骼修复的增材制造机床等。



图24 RenAM 500Q多激光增材制造机床

西安铂力特增材技术股份有限公司展出的BLT-S310型金属

增材制造机床（见图25），采用500 W激光器，其粉末床的铺粉方式为单/双向铺粉，分层厚度为30~60 μm，粉末预热温度范围为RT+20° C ~200° C，激光扫描速度为0~2 m/s（可调）；其成形件尺寸为250 mm × 250 mm × 400 mm（W × D × H）、工作氧含量≤100 ppm、工作湿度≤75%；可用材料包括钛合金、铝合金、高温合金、钴铬合金、不锈钢、高强钢、模具钢，配套软件包括Magics、BP以及自行开发的BLT-MCS。



图25 BLT-S310型激光增材制造机床

从本届展会的情况看，金属增减材复合机床受到了人们的重视。日本沙迪克公司为了满足人们对金属增材制造机床的多样化需求，推出了LPM 325金属增减材复合机床（见图26）。该机床通过金属粉末的熔融和凝固进行零件的增材制造，并由同一台机器对零件进行基准面加工，虽然仅限于处理金属3D成形和参考面加工的功能，但是为后续的减材制造打好了基础。目前LPM325金属增减材制造机床有标准型和MRS型两种机型，其最大成形件尺寸为250 mm × 250 mm × 250 mm。

德马吉森精机公司展出的LASERTEC 30 SLM金属增减材复合机床（见图27），先利用激光选区熔化（SLM）技术堆积零件的局部结构，再采用高速铣削对刚成形的局

部结构进行切削加工，可直接获得尺寸精度及表面粗糙度都很高的金属零件。该机床可在一台机床上同时完成增材制造和铣削精加工，采用了粉床式的供粉方式，可随意组合不同材料，可加工多种材质的镂空结构、蜂窝结构和内嵌结构；其粉床成形区尺寸为300 mm × 300 mm × 300 mm，层厚在20~200 μm之间，打印速度是同类设备的10倍。



图26 LPM 325激光增减材复合机床



图27 LASERTEC 30 SLM增减材复合机床

北京北一数控机床有限公司展出的XKR40-Hybrid增减材复合机床，是在技术成熟的XKR40五轴加工中心基础上增加了激光增材制造单元，实现集增材和减材于一体的复合功能（见图28）。该复合机床的光纤激光器的功率为4.5 kW，其增材制造单元采用激光熔覆头及随

动的送粉头，加工工具库设置于成形室的后方，激光增材制造单元可实现三轴直线移动，可完成具有复杂空间曲面形状零件的增材加工和修复，也可实现由多种材料构成的零件的制造，能广泛应用于航空航天、机械制造、交通运输等行业。



图28 北一机床公司XKR40-Hybrid激光增减材复合机床

2. 非金属增材制造机床

陶瓷（或陶瓷/金属两用）增材制造机床是展会的亮点之一。比如，荷兰Admatec公司展出了基于数字光处理（DLP）技术的ADMAFLEX 130型陶瓷/金属两用增材制造机床（见图29）。该机床的打印层厚范围为15~100 μm、打印表面粗糙度Ra < 1 μm、与CAD模型的误差 < 0.3%；打印完成的零件经过脱脂烧结后会有30%的收缩量，零件的致密度可与陶瓷粉末注射成形（CIM）零件和金属粉末注射成形（MIM）零件相媲美，陶瓷零件致密度达98.5%以上、金属零件致密度达96%以上；机床的适用材料包括Al₂O₃、ZrO₂、SiO₂、316L不锈钢、17-4PH不锈钢、Inconel 625合金。

武汉华科三维科技有限公司将SLS和SLM工艺相结合，推出了可同时打印非金属材料 and 金属材料的HK PM250工业级增材制造机床（见

图30）。该机床采用“光纤激光器+CO₂激光器”的双激光复合扫描系统，具有一套预热、熔化和光整的工艺，能在一台设备同时完成金属和非金属的复合成形；可根据零件功能和设计需求，针对指定区域粉末进行吸取和定量喷送，精确控制在零件的不同部位打印非金属或者金属粉末；使用精密双导轨自转式铺粉技术，解决了SLM工艺对铺粉系统高平面度、高效率要求的难题，铺粉平面度误差小于0.02 mm、零件成形精度达到（100 ± 0.1）mm；提出了零件特征自识别及自适应扫描填充生成技术，开发了SLS/SLM设备的模型数据预处理软件系统，实现了不同特征大面积成形自适应扫描，解决了大尺寸复杂零件加工精度难以保证、加工效率不高的问题。

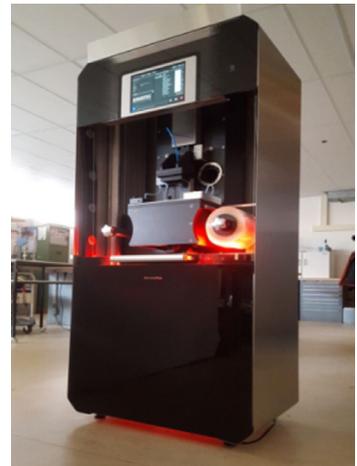


图29 DLP ADMAFLEX 130型陶瓷/金属两用增材制造机床



图30 陶瓷/金属增材制造机床HK PM250

美国3D Systems公司推出的Figure 4 TM工厂解决方案,是数台甚至数十台并行的3D打印机,使用可扩展、模块化的高速数字成形解决方案进行零部件的3D打印生产。Figure 4TM采用高速数字成形,加速和简化塑料件的生产,结合了服务、技术、材料和软件,致力于革新生产型企业的生产环境,可帮助客户无障碍地从原型制造转向零部件的生产。其中,Figure 4TM Production是可直接进行3D打印生产的可扩展、全集成工厂解决方案,通过可分离的模块化解决方案实现了在自动化组装型生产线上超快速的增材制造生产技术,并且能与清洗、干燥与固化等后道工艺流程集成,打印速度可提高15倍,能降低20%的零部件制作成本,且无需浪费时间和成本制作工

模具; Figure 4 TM Standalone使用一台至数台3D打印机,适合于小批量的零部件生产,属于经济紧凑型的工业级解决方案,具有工业级的耐用性,能为用户提供高质量和精度的零部件。3D Systems公司最新推出的Figure 4 Modular是可升级的生产解决方案,可随着生产规模的增大来扩展设备(见图31)。



图31 3D Systems公司Figure 4 Modular是可升级的零部件生产解决方案

另外,美国3D Systems公司还展出了光固化增材制造机床及生产方案、珠宝行业熔模铸造方案、3D软件等系列产品,如高解析度3D打印系统ProJet MJP3600系列、立体光固化增材制造机床ProX^R 950 SLA、桌面型的CubePro机床(可3种颜色同时打印)及Projet 1500机床(可打印6种颜色的材料)等,其中大部分展品已在过去的展会中进行了展示,此处不再作详细介绍。

CIMT2019特种加工机床评述专家组 成员:

吴国兴(组长)、叶军、肖荣诗、林峰、卢智良、徐均良、郭建梅、张宝华、伏金娟、山昌祝、张人佶、张景泉、王应、王晓娟。

资讯

拓展应用领域 格劳博中国积极应对汽车产业变革

7月17日,格劳博机床(中国)有限公司(GROB)携手德国钴领刀具(GÜHRING)和德国卓勒(ZOLLER)在其大连的生产基地,举办了一场“五轴技术研讨会”。德国钴领集团是知名的旋转刀具制造商,卓勒是知名的刀具预调和测量设备、刀具检测设备和刀具管理软件解决方案综合供应商。作为数十年的优质供应商,钴领刀具和卓勒助力格劳博五轴联动加工技术得以更充分的发挥。

在此次研讨会中,格劳博重点推出了其针对汽车、机械制造等行业具备较高创新性的五轴联动技术解决方案。在应用技术中心,现场的格劳博专家和应用技术工程师在其五轴联动通用(万能)加工中心G350上展示了铝制汽车悬架的铣削全过程,这也是专程从德国总部引进的第二



代G350在中国的首演。五轴联动通用加工中心G350(第二代)/G550(第二代)/G750(第一代)尤其适用于切削加工量较大的复杂组件,其独特的“翻转式加工”理念可实现良好的排屑效果,避免因切屑残留造成故障。并且,除了突出的机械刚性之外,A轴230°的摆动范围增强了加工的灵活性,更适于五面和五轴联动加工。

除了五轴联动通用加工中心的

现场演示,在工厂参观过程中,格劳博第六代配备托盘交换系统的双主轴加工中心G320也吸引了大家的关注,该机在今年4月于北京举办的CIMT2019期间首次亮相。

借助此次研讨会,格劳博中国大连生产基地三期扩建工程也在竣工后首次对外亮相。于2018年5月启动的三期扩建工程占地面积约6700平方米,是为了应对中国市场的强劲销售增长以及汽车市场动力驱动转型而实施的。扩建后,格劳博中国可以扩大产品范围和生产灵活性,首先是逐渐扩大围绕装配线的产品范围,之后扩展至电动汽车领域。任宏志表示,在汽车动力驱动市场转型的大环境下,格劳博中国已在技术、人才、基础设施等方面做好了充分准备,有信心迎接汽车产业的变革。

从CIMT2019看国际数控复合内外圆磨床的发展趋势

陕西秦川格兰德机床有限公司 席春江

2019年4月15~20日，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)盛大举办。全球各主要磨床制造商基本都参加了本届展会。现对本届展会部分具有代表性的数控精密万能外圆磨床即复合外圆磨床评述如下：

一、部分代表性展品介绍

1. UNITED GRINDING集团STUDER公司的S31数控精密万能外圆磨床

新款S31数控万能外圆磨床（如图1所示）是其2019年推出的新款，该机床中心高为175 mm，顶尖距为400/650/1000/1600 mm，最大工件重量80/150 kg。展品中心高175 mm，顶尖距为650 mm，展览期间，机床展示了用两个外圆砂轮磨削台阶轴（如图2~图4所示）。



图1 STUDER公司S31数控精密万能外圆磨床

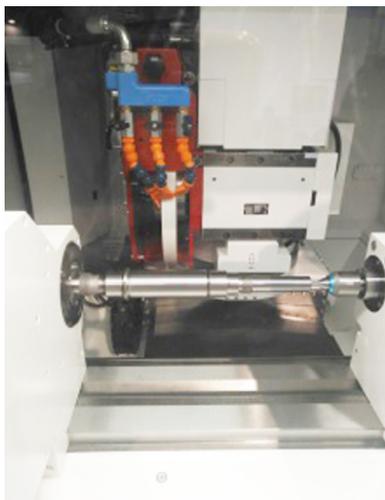


图2 轴磨削演示

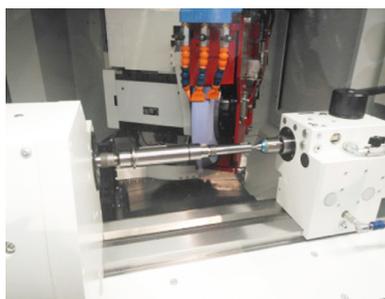


图3 轴磨削演示

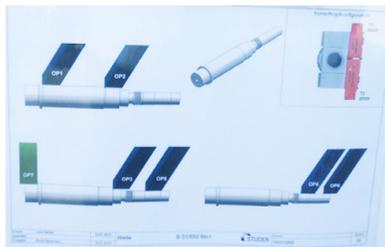


图4 磨削示意图

新款相对于老款主要变化包括：机床采用新的外观，顶尖距由650/1000 mm拓展为400/650/1000/1600 mm，顶尖支撑的最大工件重量由120 kg变成了150 kg，X轴行程由280 mm增大为370mm；床身采用了新的设计，水槽由人造石直接铸出，砂轮修整器安装在工作台双T型槽上，以减少调整和换装的工作量，B轴取消2.5度分度，增加直驱并配高分辨率测量系统，可用一片砂轮磨削多直径和多锥面而无需修整砂轮；数控系统由FANUC31i-A变成了Oi-TF，而31i-B变成了高速磨削选项，示意图如图5、图6所示。

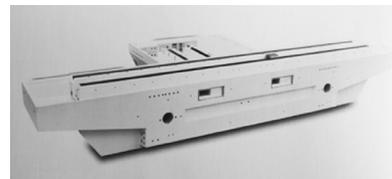


图5 新款床身

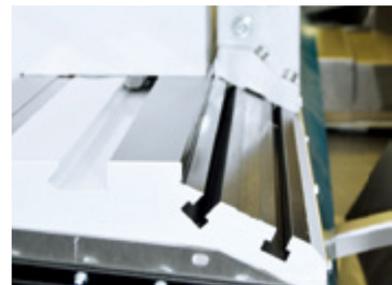


图6 修整器安装结构

该机床可配万能工件头架，既可以进行活主轴磨削又可进行两顶尖磨削，还可以配置卡盘式工件头架适于卡盘装夹的磨削。工件头架主轴配置滚子轴承，几乎是免维护并且在活主轴磨削时可达极高精度的圆度 $0.4\ \mu\text{m}$ ，可选配 $0.2\ \mu\text{m}$ 。在活主轴磨削时，通过工件头架精调装置可以对圆柱度进行 $1\ \mu\text{m}$ 范围内的调整。同尾架一样，工件头架也配有气垫抬升机构，便于机床设置调整中工件头架的移动。

该机床标配弹簧尾架，通过弹簧尾架套筒进行夹紧，可锥度微调。尾架配置一：莫氏3号顶尖，套筒行程 $35\ \text{mm}$ ，套筒直径 $50\ \text{mm}$ ；尾架配置二：莫氏4号顶尖，套筒行程 $60\ \text{mm}$ ，套筒直径 $60\ \text{mm}$ 。也可配同步尾架，承重 $50\ \text{kg}$ ，对工件的全长进行磨削时，或不能采用常规的工件驱动方式情况下，选用同步尾架则会特别经济高效。

UNITED GRINDING集团STUDER公司还展出了新款S33数控精密万能外圆磨床，该系列磨床与新款S31保持了通用，突出高性价比，主要在砂轮架配置上不同。

2. 哈挺集团新款JONES & SHIPMAN 10数控精密万能外圆磨床等三款

从新款JONES & SHIPMAN 10数控精密万能外圆磨床、新款KELLENBERGER 100和1000数控精密万能外圆磨床等三款展机看，哈挺集团对其精密万能外圆磨床产品进行了较大的整合，也是哈挺并购JONES & SHIPMAN公司后多次对其磨床线产品进行整合并推出的新产品（如图7、图8所示），该产品突出了性价比。



图7 J10精密万能外圆磨床

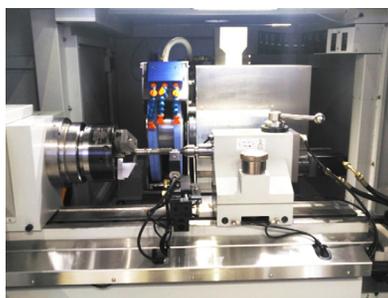


图8 磨削演示

新款KELLENBERGER 100和1000数控精密万能外圆磨床为哈挺所属KELLENBERGER公司整合磨床产品推出的新型号。其中KELLENBERGER 1000（如图9所示）代表着其最高磨削水平，该系列精密万能外圆磨床顶尖距 $1000/1600\ \text{mm}$ ，中心高 $200/250/300\ \text{mm}$ ，两顶尖承重 $150/200/300\ \text{kg}$ 。突出各导轨采用静压技术，满足最高精度的磨削要求，基本上就是原来的KEL-VARIA系列。



图9 KELLENBERGER 1000数控精密万能外圆磨床

展会上，该机床演示了一次装夹条件下完成机床主轴的外圆、内外锥面、内孔和螺纹的全部加工（如图10所示）

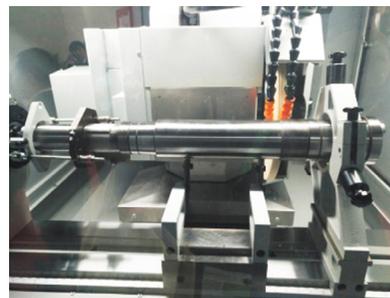


图10 机床主轴螺纹和内孔磨削演示

该系列磨床采用海德汉GRINDpuls 640或发那科31i数控系统，砂轮架进给X轴、工作台移动Z轴和砂轮架回转B轴均采用闭式静压导轨，X/C轴插补可实现非圆磨削/螺纹磨削/坐标磨削/沟槽磨削，X/Z轴插补可实现锥度磨削/轮廓磨削/修整，X/Z/B轴插补可实现带B轴的轮廓磨削和随动功能的成型轮廓磨削，同时静压导轨的使用确保 $800\ \text{mm}$ 长度上直线性 $0.0015\ \text{mm}$ ， $1200\ \text{mm}$ 长度上直线性 $0.002\ \text{mm}$ 。示意图如图11~图13所示。

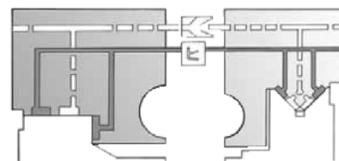


图11 静压导轨

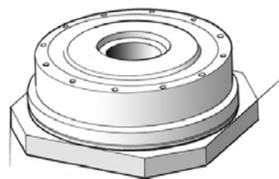


图12 静压B轴

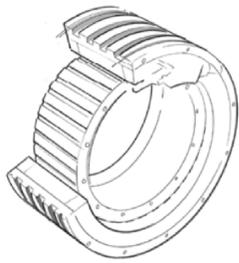


图13 B轴直驱系统

头架可配置标准型、卡盘型和直驱型，头架轴承采用高精度滚子轴承，卡磨工件圆度为 $0.4\mu\text{m}$ ，可选配 $0.2\mu\text{m}$ ，C轴非圆磨削配海德汉圆光栅。尾架采用密集轴承支撑套筒，具有锥度微调功能。示意图如14、图15所示。

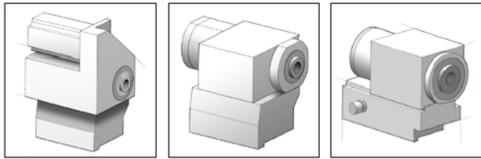


图14 标准头架和直驱头架

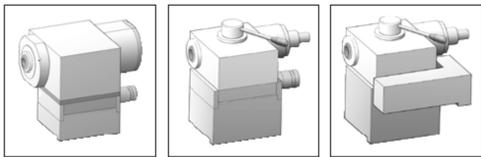


图15 丰富的尾架选项

砂轮架可配置各种规格的磨头，外圆磨头采用多油楔动压轴承，水冷电机；通用型、对角型、前后排列型和批量生产型，B轴为力矩电机直驱，可无变形锁紧，砂轮自动测量系统测量并存储砂轮尺寸，B轴旋转后，系统自动更新砂轮坐标。内圆磨头采用高频电主轴。示意图如图16~图18所示。

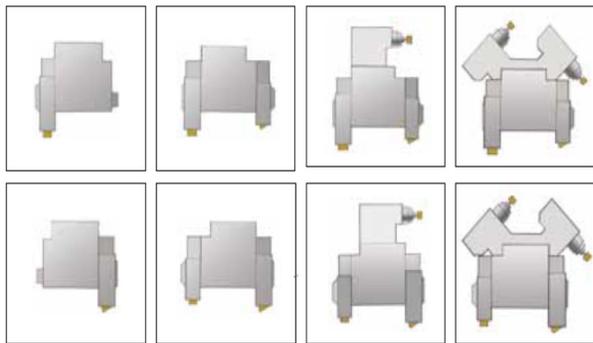


图16 通用型砂轮架配置

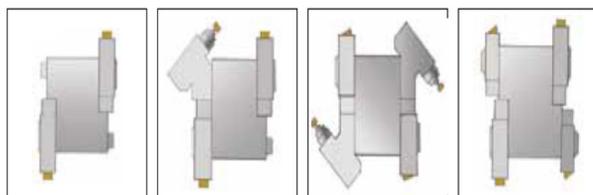


图17 对角型砂轮架配置

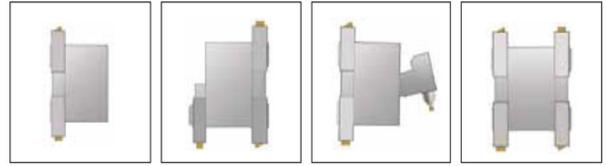


图18 前后排列型砂轮架配置

二、数控万能外圆磨床即复合内外圆磨床的发展趋势

(1) 砂轮架配置多样化，丰富磨削功能。砂轮架从原来典型的1个直砂轮、1个斜砂轮和1个内圆砂轮到现在可通用型、对角型、前后排列型和批量生产型多种砂轮配置，也可CBN砂轮高速磨削，可实现轴套类零件在一次装夹中的各种内外圆多部位磨削，可中小批量甚至大批量磨削。

(2) 砂轮架B轴技术日臻完善。B轴驱动从最初鼠牙盘手动 2.5° 分度，自动 1° 分度到伺服电机驱动蜗杆蜗轮连续分度，到现在力矩电机直驱，圆光栅直接检测，轴承从滚动转台轴承到现在采用闭式静压导轨。可实现用一片砂轮磨削多直径和多锥面而无需修整砂轮或X/Z/B轴插补可实现B+的轮廓磨削和随动功能的成型轮廓磨削。

(3) 精密数控万能外圆磨床工作台和砂轮导轨普遍采用静压导轨或独家技术导轨，确保磨削精度和抗振性。外圆磨头主轴轴承基本采用独家高精度动压滑动轴承。内圆磨头普遍采用高速电主轴。

(4) 头架配置多样化，普遍增加力矩电机直驱活主轴头架，C轴非圆磨削配圆光栅。一般配置万能头架即死活顶尖、活主轴头架和直驱活主轴头架，主轴采用高精度滚动轴承支撑，卡磨圆度一般为 $0.4\mu\text{m}$ ，最高可达到 $0.2\mu\text{m}$ 。

(5) 尾架一般配有锥度微调功能，满足高精度磨削调整需求。

三、结语

从本届展会看，数控万能外圆磨床技术日臻完善，技术炉火纯青，瑞士STUDER和KELLENBERGER公司处于全球领先地位，其展出的S31和KELLENBERGER 1000代表了目前的全球最高水平。目前其它外圆磨床制造商在复合内外圆磨床技术上与其差距较大，尤其国内该类磨床发展刚刚起步，要实现追赶超越，还有很长的路要走。 □

CIMT2019双端面研磨机床展品评述

新乡日升数控轴承装备股份有限公司 潘继超

2019年4月15~20日，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。

本届展会的磨削类展品包括外圆磨床、内圆磨床、双端面磨床、立式复合磨床、工具磨床、坐标磨床、螺纹磨床、齿轮磨床、中心孔磨床等在内的各类磨床展品近100台，展品技术水平高、且门类较齐全。其中双端面研磨机床展品国内外品牌主要厂家均有展品，且以数控立式结构为主，国外品牌主要有德国Peter Woltlers、德国DISKUS、韩国AM等；国内品牌主要有新乡日升等。

双端面磨床主要用于工件的两个对向平面的磨削，具有加工效率高、尺寸精度高、自动化程度高等特点，广泛应用于汽车、液压、量具、刀具、轴承、精密陶瓷等行业，典型加工零件类型（如图1所示）。



图1 双端面磨床典型加工零件

1. 德国Peter Woltlers

Peter Woltlers本届展品相较于前两届展会规格更大，属于同一系列产品，展出了 AC 1200 双端面研磨机，该设备为工件的批量精加工而设计。AC 1200通过采用模块化设计，可用于精密磨削、研磨以及抛光加工（如图2所示）。



图2 AC1200双端面研磨机床

AC1200设备采用该公司经验证较为成熟的核心部件，如高精密气动压力系统、非接触式微测量控制器、强力驱动技术以及PC辅助控制。Peter Woltlers开发的软件只需要通过菜单便可直观操作设备（如图3所示）。转动式的操纵台和框架设计方便人员进入设备内部。可连接手动、半自动或者全自动上下料系统。



图3 AC1200双端面研磨机操作面板图

设备可以选择不同的行星转动装置、驱动功率和砂轮盘转速，以匹配最大范围的工件尺寸。可确保每种应用都可实现最佳设备配置（如图4所示）。

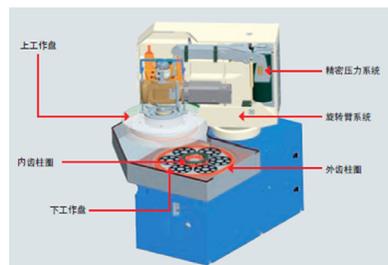


图4 AC1200双端面研磨机结构图

AC1200可配备多种广为业界所知、久经验证的附加功能，例如上料台间隙控制、对齐调整装置及磨削、研磨或者抛光耗材的定量进给系统。其它附件，如测量传感器及加工后测量系统可提供统计加工控制数据，为加工关键工件提供安全保障。

“Data Care”作为拥有专利的分析工具，可收集所有的控制器数据，因此是加工评估、优化和故障分析的完美平台。其主要指标为：最大直径380 mm；最大厚度100 mm；平行度 $<1 \mu\text{m}$ ；表面粗糙度 $\text{Ra}0.1 \mu\text{m}$ 。

2. 韩国AM

AM公司展出ADL-700双端面研磨机床，该系列设备工作时，上下两个磨盘及内环驱动行星轮同时旋转，行星轮携带工件在两个磨盘间作往复行星运动。根据工件材质不同，可选用金刚石、CBN、铸铁、GC、PVA等不同类型的磨盘，可对各种材质的工件进行双端面精磨、研磨及抛光加工。采用先进的接触式探头测量方式，配备分辨率为 $0.5 \mu\text{m}$ 精度的尺寸控制器，对加工工件实时进行在线测量控制（如图5所示）。



图5 ADL-700双端面研磨机床

机床主要特点如下：

(1) 数字化尺寸控制系统，保

证长时间的加工精度。

(2) 上、下盘及内环均采用独立电机驱动，工艺拓展性较高。

(3) 对话框式触摸屏控制界面，无须编程，简单易用。

(4) 可适应精磨、研磨及抛光多样的加工应用方式。

(5) 采用气缸加压，多阶段压力控制，压力值可任意调整。

(6) 上盘可旋出，操作空间大，加上半自动上下料工作台，可以实现快捷的加工效率（如图6所示）。



图6 ADL-700双端面研磨机床内部

3. 新乡日升

本届参展的机床为改进机型，采用不锈钢拉丝防护罩壳，床身流水面采用平坦化、宽广化设计，设有光滑自流平树脂隔离层，具有防腐隔热功能，同时可有效防止磨削残渣堆积，保持床身内部清洁（如图7所示）。



图7 2M84100G双端面研磨机床外观

机床上砂轮轴采用NSK精密滚动轴承支撑，结构稳定易于维护。上砂轮升降导向部分，表面经镀铬硬化处理具有较强的耐磨性和耐腐蚀性。机床下砂轮采用专利组合轴承支撑的转台式结构，高刚性且精度稳定持久（如图8所示）。



图8 2M84100G双端面研磨机床工作区

机床主要对加压缸与主轴连接部分加入调心轴承，使二者浮动连接，显著提升上盘移动的灵敏性，更有利于加工薄片型工件。

机床具体特点包括：

(1) 采用日本Magnescale尺寸控制系统，分辨率为 $0.1 \mu\text{m}$ ，保证加工精度；同时能够自行判断工件放置叠加、错位等异常情况。

(2) 机床床身、上砂轮架等关键支撑件，分别采用高强度灰铸铁、球墨铸铁铸造成型，经二次时效处理，强度、稳定性、阻尼性良好。

(3) 触摸屏控制界面，具有尺寸控制和时间控制两种加工模式，根据不同磨削工艺要求，可自由切换，无须编程，简单易用。

(4) 机床具有自诊断功能，故障信息具有文字说明，并以图片的形式显示具体故障位置，便于及时排除。

(5) 采用多阶段压力控制，压力值可任意调整，控制系统在不同加工阶段自动切换，新型加压浮动连接结构。

(6) 机床采用大容量冷却液过滤温控系统，采用纸带精密过滤，配

备冷热同调型温度控制器，保证加工表面质量和稳定性。

典型零件可达到如下精度：

最大加工直径320 mm；最大加工高度80 mm；厚度差 $\pm 1 \mu\text{m}$ ；平面度 $\leq 1 \mu\text{m}$ ；平行度 $\leq 1 \mu\text{m}$ ；表面粗糙度 $Ra 0.1 \mu\text{m}$ 。

4. 德国DISKUS

DISKUS双面磨床业内久负盛名，本届展出的是一件DFine系列单/双面研磨机大理石模型（如图9所示），是一台创新性研磨机床，支持2~8主轴行星研磨，一次磨一个面，通过自动翻面机构实现双面精密研磨（如图10所示）。

该机床采用天然大理石床身，具有优良的机械稳定性、热稳定性和阻尼性，特别适合高精度、高表面质量零件的加工。机床具有传统双端面磨床的高效率和大切除量特点，同时又有双面研磨机工件做行星运动精密研磨的特点，结合了二者的优点。

另外，该机床采用固定夹具夹持，可以加工比普通行星研磨更大长径比的工件，更适用于各类滚子、行星减速机齿轮等典型零件的端面加工。同时，工件两个面分别磨削，也能更好地解决因两端磨削面积差异较大造成的磨量不一致的问题。

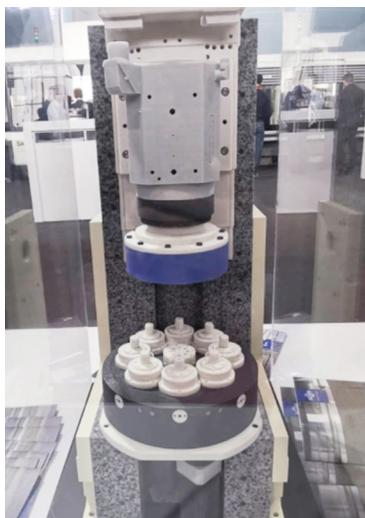


图9 DFine双端面研磨机床模型

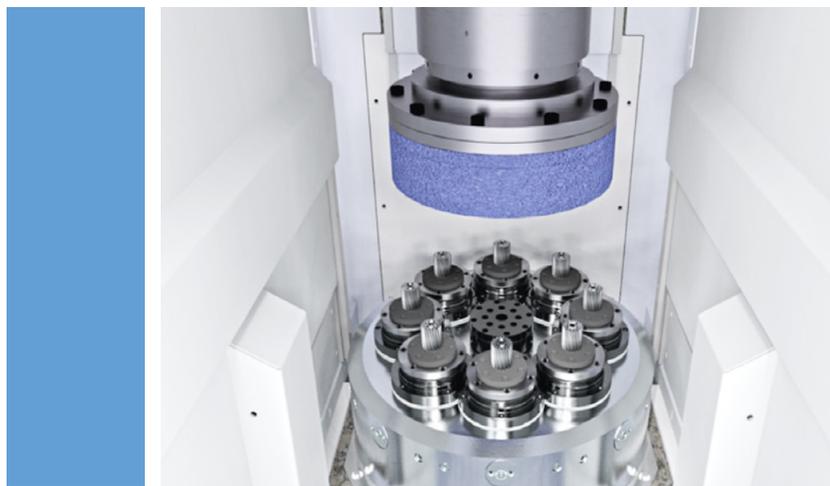


图10 DFine工作区及工件自动翻面装置

机床的主要参数指标及典型零件加工精度为：最大直径250 mm；最大厚度80 mm；平行度 $< 1 \mu\text{m}$ ；表面粗糙度 $Ra 0.1 \mu\text{m}$ 。

5 结语

本届展会由于规模较大，展品较多，总的感受是该类产品数量较往届并没有增加，但是起点较高，多以精密、高效、数控、自动为主，同时又有新型机床结构展示，一定程度上反映出双端面研磨机床的发展趋势。

目前，国内外各品牌产品，多数为与德国Peter Woltlers的展品类同的经典传统结构，近年来在结构、工作方式等方面并没有太多的革新。此次DISKUS的展品具有一定的革新性，集合双面磨床和研磨机的优点，采用固定夹具夹持，解决了一些双面研磨典型的难题，是该类展品的一个亮点。而一些传统老牌厂商瑞士Stahli、意大利Melchiorre均未带实物产品参展，在一定程度上降低了对双面研磨机国际发展水平的认知，不能不说是一点遗憾。

国内企业针对超硬刀具、粉末冶金等行业，正在开发新型结构的大功率磨研一体机，采用气电双模加压方式，可实现“零压力悬停”，高效磨削阶段上盘锁定、精密研磨阶段上盘浮动，可以直接磨毛坯工件，兼顾高效率和高精度，将于明年CCMT2020上展出，希望能够给国产品牌抛砖引玉，加速追赶国外同类产品。

总的来说，国内的展品也在不断进步，但还有较长的路要走，无论是技术成熟度、加工精度、产品档次、机床外观等相对国外品牌展品，仍具有较明显的差距。加大创新研究力度，多研发有针对性特色的产品，先局部突破，再全面发展，才能不断拉近与国外先进产品的距离，满足国内外客户对高端产品的需求。 □

技术连接未来（下）

——日本JIMTOF2018综合报道

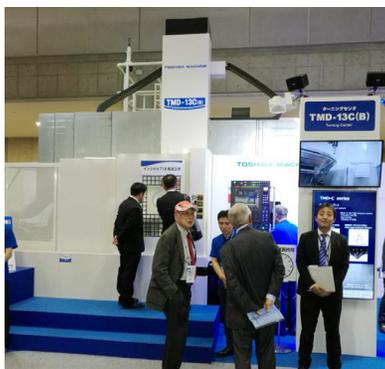
中国机床工具工业协会 娄晓钟 执笔

6. 东芝机械展品

东芝机械株式会社（TOSHIBA MACHINE CO., LTD.）1949年成立，已有70年历史，主要业务包括注塑成型机、压铸机、塑料挤出机、印刷机、机床、高精度机床、微图案压印机、工业机器人、电子控件、铸件等。目前以“能源/环境”、“提高劳动生产率”、“IoT/ICT”、“应用新材料”作为重点战略关键词，在汽车、电子、光学、纳米技术等时代要求的领域，通过注塑机、压铸机、挤出成型机、精细转印装置、精密仪器、机床、电子控制装置、工业机器人等的开发、制造、销售及其改造与售后服务，致力于发展成为“为世界的‘制造’提供支持的综合机械制造厂家”。本届展会东芝机械展出了卧式加工中心BM-1000Q，立式车削中心TMD-13(B)，超精密立式加工中心UVM-700E(5AD)。其中立式车削中心TMD-13(B)和卧式加工中心BM-1000Q为世界首发。

(1) 立式车削中心TMD-13(B)是先进的高速、高精度3轴控制车削中心，拥有重型机械加工能力。主要

特点为：



①改善加工能力。横梁每250mm一节距，具有最大可以500mm(TUD-20:750mm)上下移动的停止位置机构，快速对应工件高度。方枕底座采用四面封闭型结构，内置220mm的方滑枕。立车最大切削力24500N(2500kgf)，铣削由X-C轴相结合可以直线切削。

②高速·高精度。在主轴箱导轨(X轴)采用了超刚性光栅尺线性导轨。工作台和立柱均采用了左右对称设计，将电机等热源配置于热对称位置，大大减少了热位移，而且标配了工作台润滑冷却装置。

③出色的可操作性。采用了FANUC最新锐、最先进机种的31

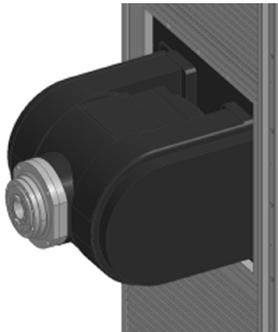
系列。丰富的NC机能，可进行高度的各种NC加工。定制化机能应有尽有。推进节能化，自动化。通过安装作为特殊选配的自动托盘交换装置(APC)，推进节能化和自动化。

主要技术规格：工作台直径1250mm，最大回转直径1600mm，工作台转速范围2~450r/min。

(2) 卧式加工中心BM-1000Q是在大受好评的BMC系列基础上升级的全新BM系列，提供多种主轴选择，既可实现高速切削又可以实现重切削，既提高加工效率又有足够高的刚性。友好的人机设计既节省空间，易于维护又操作简单。搭载了最新锐的安装简单的CNC系统。主要特性点为：高刚性、高精度，实现了高速5轴加工，节省空间，可应对大型加工。



①通用主轴头。通过A轴旋转，可以通过1次准备加工复杂形状。工序聚合有助于提高利用率。A轴头旋转采用直接驱动马达。将精度劣化最小化。



②实现大件工件的高效率加工的机械结构。通过双驱动装置(Y轴)确保高速、高精度、高应答性。高刚性加工的强有力的后备。通过使工作台最小分辨角度0.0001°成为可能的独自的蜗杆机构，实现了高精度的加工。采用旋转往复型APC。适合工作效率的规划区域。以快进速度40m/min，切削进给速度25m/min实现大件工件的高效率加工，保证生产性提高。

③专为提高工作效率而设计。可在0~180°旋转的操作面板和斜门上提高操作性和可视性。需要日常检查的装置集中配置在机器背板上。铁削传送带和冷却装置根据布局可以设置在左右任意一侧(选项对应)。

④简单智能CNC TOSNUC PX200。是一台通过简单智能操作支持操作的CNC，从手动加工到生产管理系统的自动加工的广泛用途的CNC，通过充实诊断功能，迅速检测出机器的异常，提高运转率的CNC。

主要技术规格：移动量(X轴×Y轴×Z轴)：1800mm×1600mm×1600mm；工作台长度宽度：1000mm×1000mm；主轴回转速度：6000r/min。



7. 三菱电机展品

三菱电机株式会社创建于1921年，是引领全球市场的电机产商，目前拥有10万多名雇员，是世界500强企业。三菱电机作为一家跨国企业，在90多年的历史中，始终致力技术及专业领域的研究、开发与制造。主要从事信息通信系统、E器件、重电系统、工业自动化系统、汽车电装品设备和家用电器气务，并在卫星、防务系统、通风设备等领域处于世界领先地位。



在本届展会上，三菱电机展示了面向未来的制造业“智能工厂”e-F@ctory/IoT智能制造解决方案，搭载新功能的数控系统M800/M80，提高运转率和生产性的放电加工机自动化系统线切割放电加工机(油液

型)MX2400、新型电火花放电加工机SV8P+自动化系统EDCHANGE SLIM、线切割放电加工机MP1200 D-CUBES+自动化系统EDCHANGE Robo，新一代模块型金属(AM)的3D打印机/激光微孔/搬送系统，响应多样化需求，解决实现问题的新型光纤激光加工机+自动分拣系统，与人合作的MELFA 人体协同机器人手臂六大类展品。其中新型光纤激光加工机+自动分拣系统为世界首发。

新型光纤激光加工机+自动分拣系统具有高生产性、节能及低运行成本、自动化及省力、高可靠性、易操作性的特点。



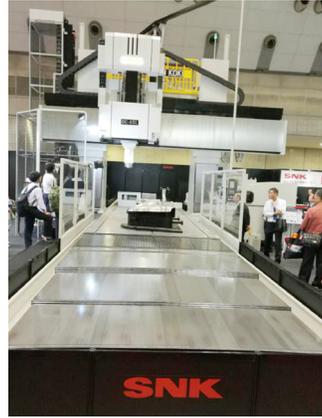
e-F@ctory智能制造解决方案将云、IT系统、网络、人与设备"进行无缝关联,形成FA与IT协同联动的优化管理。可以现场观看机器人自动化生产单元的高效运行,并通过可视化管理系统看到实时生产状态,还可以看到边缘计算层的设备预测性维护的AI技术应用。在e-F@ctory将生产现场、边缘计算层、IT信息层进行纵向贯穿的同时,还可以通过e-F@ctory Alliance形成覆盖工程链和供应链的横向连通,最大限度地实现企业管理优化和运营优化。



搭载新功能的数控系统M800/M80具有机器人联动（Direct Robot Control功能）、AI热变形补偿功能、控制装置和驱动单元及马达、与iQ Platform对应的C80系列、高精度五轴同步加工、远距离监控服务和全球服务、操作体验（CNC显示器，软件工具）等功能。其中机器人联动为新增功能，可实现在机床数控装置上为机器人编程，为生产现场的自动化需求做出贡献。

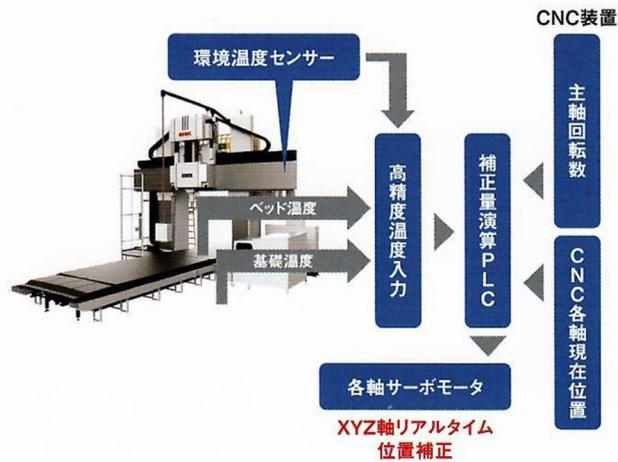


将长时间切削加工的稳定性和切削进给高速化发挥到极致的高效龙门机，配合“DCS”模具加工专用控制软件的使用，实现无手工打磨的模具加工。该机床采用了如下新技术：



①X轴采用线性马达驱动。通过采用高推力的线性马达，快进速度、切削速度和进给速度都比传统机械快20%以上，同时降低成本，提高了生产效率。

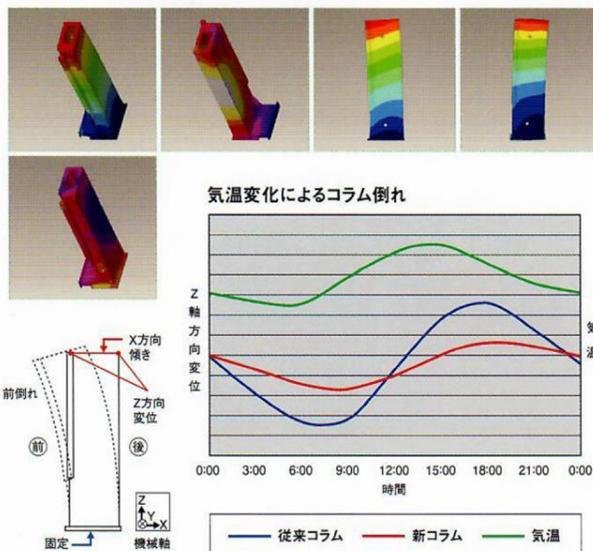
②环境热变位校正(TDC: Thermo Dynamic Control)。在整个加工范围内进行实时、动态的修正，以抑制热变位误差。在传统方式中，长行程X轴方向的热位移误差容易变大，可能难以保持在平均0.02mm/4.5m以下的间距误差内。为了缓解其影响，优化了不容易出现误差的机械构造，还改进了本公司独有的修正算法。这使得螺距误差降到了以往机的1/2以下。



③热阻抗TR(Thermal Resistance)。采用左右立柱的内部加入无维护的流体，大幅增加了立柱的热容量，减少了影响立柱的前壁后温差，提高了稳定性。同时，实现了最优化的热对称结构，把立柱的前后倾斜降到了传统设备的1/3以下。

8. SNK新日本工机展品

新日本工机（SNK）已有百年历史，以提供面向汽车、产业机械等行业的龙门型5面加工机，面向航空制造业的高速5轴加工机为代表，能够满足各行各业的生产技术需求的丰富的机床产品，现在该公司已经归属中国台湾友嘉集团（FFG）旗下，本次展会展出了一台世界首发的高速轮廓5轴加工机DC-5SL，该机床属于DC系列的新品，是专注于模具高速、高精度加工的高等级龙门机床。是一台



④图像识别刀具测量装置。在传统的激光式测量中，如果刀具刀刃上粘有异物，刀具长度、直径测定误差会变大，有因测定错误而停止的问题。为了解决这个问题，新开发了图像识别测量装置，通过图像识别自动判别粘在刀刃上的异物。由此实现了高精度的刀具长、径测量和稳定的自动运行。并且通过图像处理缩短了测量时间。

其主要技术参数：立柱间有效间距 3000mm，工作台尺寸（长×宽）5000mm×2500mm，主轴转速范围 40~6000 r/min，各轴行程（X）6750mm、（Y）3700mm、（Z）800mm、（W）1450 mm，快速进给（X）24（Y）24（Z）20m/min。定位精度±0.004/1000mm，重复定位精度±0.003mm。

9. 日精本间展品

日精本间机床株式会社（HOMMA）是一家有七十年历史机床制造企业，2017年由日精树脂工业株式会社接管本间机床株式会社所有业务，更名为日精本间机床株式会社。该公司产品以通用型立式车床、加工中心、5面加工机等，特别是大型特殊专机、超大型车铣复合机床、超大型龙门加工中心、超长车床等著称。日精本间机床在实现自动化和复合化的最新技术创新的同时，追求控制技术和设备高刚性，致力于研发提高高精度、重切削的加工技术，满足客户的特殊需要。其产品广泛应用于航空航天、船舶、铁路、汽车、发电、建筑、钢铁等重大领域，至今已向国内外交付500多台机床。现在日精本间在中国江苏设有中国生产子公司（太仓工厂）。

本届展会日精本间展出了一台高刚性立式车削中心NHT-12M，具有高性价比。特点是采用触屏式面

板，有智能手机般的操作感觉；结构优化实现了空间最小化；串联驱动的工作台构造简洁、可靠性高；车削刀座采用鼠牙盘定位。主要参数为：工作台直径 1260mm，最大车削直径 1600mm，最大车削高度 1250mm，最大承载重量 8000kg，最大扭矩 25000N·m，工作台转速 1~400r/min，滑枕断面尺寸 200×200mm，ATC16把刀具。



10. O-M Ltd. 展品

日本株式会社OM制作所（O-M Ltd.）已有近100年的历史，机床以立式车床为主，是享誉日本乃至世界的立式车床生产厂家，业界与客户给出“立车专家OM”美称。作为日本唯一一家以立车为主业的机床生产厂家，在中大型立车领域取得日本国内80%的份额。在航空航天、能源发电、特种材料加工、风电、精密轴承、铁路机车、建筑机械等领域得到客户的广泛认可。2012年在中国上海设立了全资子公司“欧安睦（上海）商贸有限公司”负责中国的销售和售后服务工作。在这次展会上OM展示了两台机床，VT7-1600Mi型CNC立式车削中心和世界首发的RT-915型CNC立式车床。

VT7-1600Mi 车削中心具有高刚性和高精度，可选高压切削液，触摸屏操作面板，工作台双电机驱动大幅提升X-C轴仿形加工的精度和铣削能力的提升。主要技术参数：工作台直径 1600mm，最大车削外径 2000mm；最大车削高度 1600mm；最大切削力 35000N；最大承载重量 10000kg；最大扭矩 34973N·m；工作台转速 1.6~320r/min，滑枕断面尺寸 240×240mm，ATC刀库容量24把刀具；最大钻孔直径 80mm，最大攻丝直径 M42×4.5。



RT-915立式车床，具有滑枕式刀架台，简洁的设计，追求更节省的空间，一体式的搬运，可缩短安装日程。全封闭式护罩，可应对高压切削液。主要技术参数：工作台直径 915mm，最大车削外径 1000mm；最大回转直径 1100mm；最大车削高度 700mm；最大切削力 20000N；最大承载重量 1500Kg；最大扭矩 4380Nm；工作台转速 800r/min；滑枕断面尺寸 240×240mm；ATC刀库容量18把刀具。

11.OKK展品

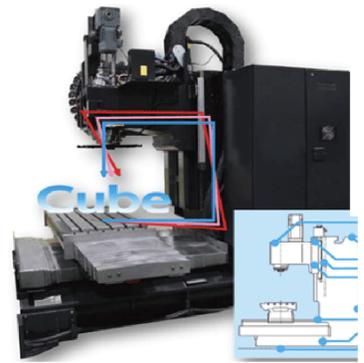


OKK株式会社已有百年历史，在OKK的品牌“重切削·高刚性的100年品质”的基础上，面向产业界的各个领域，以自动化、省力化、节能为基础，以高速、高精度、高性能的加工中心为中心，把在100年的历史中培养出来的技术和最新技术的融合，进行人和环保的机床的开发，将高质量的OKK产品提供给“制造”现场，继续满足顾客的信赖和期待。2006年OKK在中国上海设立“大阪机工(上海)商贸有限公司”作为服务于中国用户的市场窗口。在本届展会上OKK展示了立式加工中心、卧式加工中心、5轴立式加工中心、磨削中心等5台机床，其中立式加工中心VB53 α 为世界首发。该机床是面向模具、精密零部件实现高质量加工的立加工中心，采用“Soft Scale Cube”对环境温度引起的加工点位移进行实时修正技术。以从安装在机器上的传感器得到的温度变化信息为基础，推定由机体结构构成的立方体

的变形，实时修正加工点的位移。立式加工中心VB53 α 具有如下特点：

①通过减小高速加工时的残余振动，提高了被加工表面的质量，缩短了加工时间。

②它结合了环境热位移修正“Soft Scale Cube”，响应一般工厂环境温度的变化，支持稳定的加工精度。



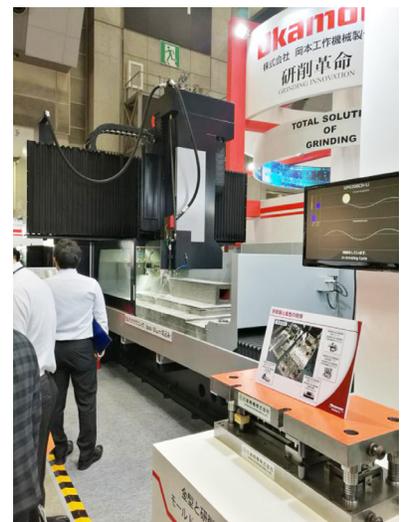
③标准配置包括线性标尺（直线光栅尺）、高分辨率(小导程)滚珠丝杠、超高HQ控制、大容量数据服务器，支持模具的高速、高品质加工。

主要技术参数：X、Y、Z轴行程 1050×530×510mm，工作台尺寸 1260×600mm，主轴转速 100~20000r/min，主轴电机功率 15/11kW，快速进给速度X、Y、Z轴 20m/min，换刀时间2s，刀库容量 30把。

12.冈本展品

冈本工程机械株式会社是一个创业超过80年的磨床制造企业，主要产品是平面磨床、超精密平面磨床、内外圆磨床、超精密成形磨床、大型龙门磨床等。冈本追求磨削加工的最新技术与未来制造业相关的产品的超精密精度要求相融合，提出“磨削革命”的四大主题“全自动磨削，高效率磨削加工，机内测量和自动补偿磨削加

工，复合磨削加工”。以高效率且超精密加工能力为目标，通过提高每单位时间的磨削去除量，增加绝对的工作量，实现高效率。以较少的能量完成同等的工作，实现相对高效的生产。革命的进步不仅在于机器的性能和功能上，在与外围设备厂商的协作中，产生了许多倍的协同效果。



冈本工机在本届展会展出了7台磨床，CNC超精密成形磨床UPZ63Li、CNC超精密平面磨床UPG84CALi2、CNC超精密龙门平面磨床UPG208CHLi、CNC精密内园磨床IGM15NC-2、CNC精密平面磨床PSG63CA3、CNC精密复合磨床UGM360NC、CNC高精度成形磨床HPG500NC，其中前4台是世界首发。



(1) CNC超精密成形磨床UPZ63Li，是为了满足今后复杂形状零件的成形磨削加工，而开发的通过上下、左右、前后3轴CNC控制进行轮廓加工，并且通过增加加工件倾斜轴和旋转轴，实现了5轴CNC控制的成形磨削加工。

主要技术参数：台面（卡盘）尺寸：600×300mm，砂轮尺寸： $\phi 350 \times 38 \times \phi 127\text{mm}$ ，5轴磨削规格：上下·前后·左右·倾斜·旋转。

(2) CNC超精密平面磨床UPG84CALi2，冈本最佳超精密平面磨削加工和高效磨削加工改变了对传统的磨削加工的认识。经过对铸件床身的反复优化设计，研发出了T型一体框架结构的高刚性床身，在高效磨削时不会产生振动，实现了基于

静压滑动导轨的高直线度镜面磨削，展示磨床行业最优方案。



主要技术参数：台面（卡盘）尺寸：800×400mm，砂轮尺寸： $\phi 350 \times 38 \times \phi 127\text{mm}$ ，精细泡沫发生装置TWIN-BIX。

(3) CNC超精密龙门平面磨床UPG208CHLi，左右导轨采用静压支撑（静压导轨），线性驱动，实现了左右滑动面的高度跟随性。在工作长度1500mm时也可以达到凹凸 $10\mu\text{m}$ 的磨削精度，并可与测量装置的高速自动测量对应。是一款能够应对高效率磨削的新机种。

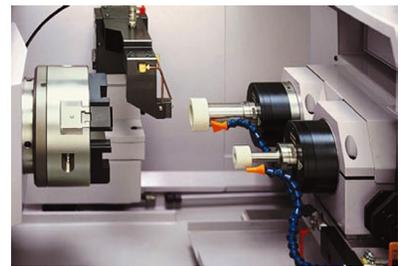


主要技术参数：台面（卡盘）尺寸：2000×800mm，砂轮尺寸： $\phi 510 \times 50 \times \phi 127\text{mm}$ ，精细泡沫发生装置：TWIN-BIX。

(4) CNC精密内园磨床IGM15NC-2，这是一台为满足汽车零部件更高加工精度需求而开发的新型内园磨床，以安装2个内园磨砂轮轴为标准配置，用户可以选择粗精加工砂轮的组合和外园内园砂轮的组合。通过缩短砂轮交换的时间和工件转换工序来提高生产效率。

主要技术参数：磨削内孔直径： $\phi 6 - 100\text{mm}$ ，磨削行程：max

125mm，磨杆轴数：2磨杆轴。



13. FANUC展品



发那科成立于1956年，是日本一家以专门研究数控系统起家，目前已扩展到机器人、机器人自动化工程、全电动注塑设备、高精度电火花加工机、小型加工中心及自动化加工成套工程的跨国集团公司。在本届展会上发那科展出的展品阵容强大，品种丰富，从数控系统、控制软件、驱动伺服单元、机器人到光纤激光器、电火花加工机、小型加工中心和AI及FIELD system物联网系统平台共计42项。

(1) 展示的三种数控系统

①FANUC Series Oi-MODEL F，采用更先进的FANUC世界标准CNC，其与高端的30i系列拥有相同的操作性，并且配备了可以实现高质量表面加工的最新技术。可供加工中心使用，提供1路径总控制轴数：最多9轴，2路径总控制轴数：最多11轴。

② FANUC Series 30i/31i/32i/35i-MODEL B, 可实现高速、高质量加工的纳米CNC。提供最多路径数:6路径,最多总控制轴数:34轴(26进给轴、8主轴),最多同时控制轴数:4轴。是世界最高水平的高性能FANUC CNC中的核心机型,其功能丰富,控制技术先进,最适合高档的车床和加工中心。

5轴机床的旋转轴等。Dis-B系列电机由直接驱动来实现高速、高精度和免维护。

②实现高速和高精度进给的直线电机FANUC LINEAR MOTOR Lis-B series,使用FANUC直线电机L+S-B系列的机床由于没有滚珠丝杠等部件造成的变形和部件磨损,可以通过提高伺服系统的刚性来实现高增益、高精度,并可免去机械结构部的维护。此外它还具有下列优点:适合高刚性长行程轴、可通过在一根磁铁导轨上配置多个线圈获得大推力、可简化复合机头结构等。

高速、高精度加工,与发那科已有的CO₂激光器具有同样的易操作性以此可以缩短激光加工的开发周期。

支持机种: Series 30i/31i-LB,可以实现与轴控制同步的高速激光输出指令,缩短循环时间,并可实现高速、高精度的激光加工。实现了与CO₂激光器同样的易操作性,可以缩短激光加工机的开发周期。通过高速激光指令和输出反馈功能,可以稳定地输出激光光束同时,还提供丰富的激光控制功能,包括非常适用于打标的微小输出控制功能。具备丰富多彩的激光加工功能,如便于设置激光加工条件的加工条件设置功能、根据速度自动变更激光输出的功率控制功能和间隙控制功能等。



③FANUC Power Motion i-MODEL A, 是响应的一般工业机械用CNC。广泛适用于般业机械的高响应CNC。

(2)展示的高速、高精度、高效率的纳米控制伺服包括:FANUC AC SERVO MOTOR ai-B series; FANUC AC SPINDLE MOTOR ai-B series; FANUC SERVO AMPLIFIER ai-B series。

a+-B系列伺服是拥有丰富产品阵容的智能型伺服系统,广泛适用于各种机床类型。通过高分辨率的编码器和最新的伺服和主轴HRV控制,可实现高速、高精度和高效率的纳米控制伺服系统。

(3)展示的伺服电机

①旋转平滑的大扭矩同步内装伺服电机FANUC SYNCHRONOUS BUILT-IN SERVO MOTOR DiS-B series, FANUC同步内装伺服电机DiS-B系列最适用于机床的旋转台和



③适合高性能机床主轴的内装主轴电机FANUC BUILT-IN SPINDLE MOTOR Bi-B series, FANUC内装主轴电机Bi1-B系列和Bis-B系列可以使主轴在保持简单结构的同时获得高精度和低振动的特性。Bi1-B系列从低速到高速区域均可以保持大功率输出,因此适用于所有机床的主轴。Bis-B系列采用强磁力钕磁铁,具有低速大扭矩的特性,特别适合车床和齿轮加工机的主轴。

(4)展示的光纤激光器

FANUC FIBER LASER是能够支持金属加工及树脂加工等多种领域高输出光纤激光器。可实现CNC



(5)展示的协作机器人

CR-7iA/L是FANUC本届展会上世界首发的人机协作机器人,无需安全栅栏,人机料共享某个区域进行作业,人机可相互协调进行零部件的搬运、装配等作。而SR-3iA是多功能智能小型机器人,此外还展示了不同规格的机器人12台。

(6)展示的小型加工中心、慢走丝切割机、精密电动注塑机

①FANUC ROBODRILL小型加工中心, BT30小型加工中心的销量

世界领先。除了钻孔和攻丝加工外，还可以进行铣削、镗孔加工，广泛服务于机械、汽车零部件、IT精密零件、精密模具、模型等各个行业，加工领域也根据客户的要求不断扩大。其与智能机器人融合的机床上下料系统，集高效生产、稳定运行、节约空间等优势于一体，更是发那科强大系统集成实力的体现。



②ROBOCUT慢走丝线切割机，以高速度、高精度、高可靠性、低成本维护及智能化享誉业内，被广泛应用于模具、医疗和超硬材料制造行业，在日本、欧美、东南亚具有很高的市场占有率。

③FANUC ROBOSHOT全电动注塑机，拥有先进的功能、精密的控制、快的速度、低的能耗等优势，在中高端注塑市场占有率有领导性的地位，被广泛应用在精密光学、生物医药、汽车电子、精密齿轮、数码电子、食品包装、微型连接器等行业。



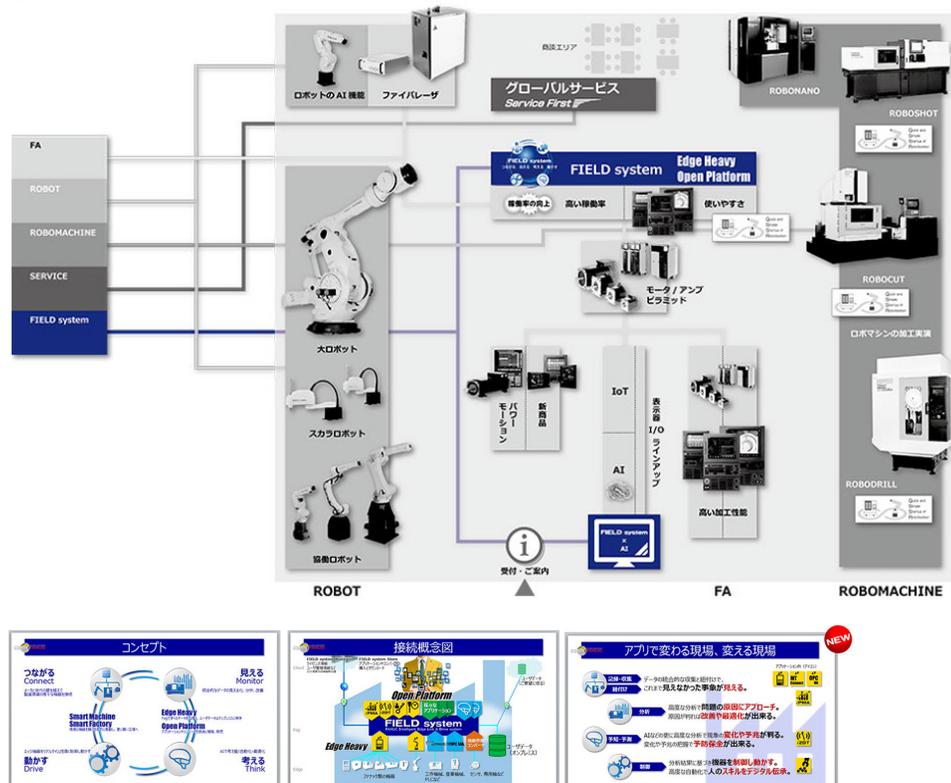
④展示的FIELD system。FIELD系统是为了在制造现场使用IoT (Internet of Things)的平台。FIELD system的“FIELD”是FANUC Intelligent Edge link&drive的意思，包含了想要实现“密切联系”的@现场”的意思。



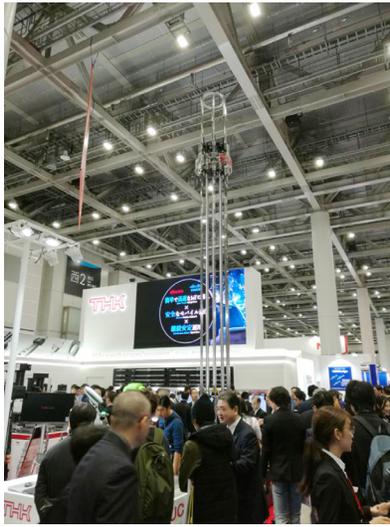
FIELD system是具有以下特点的平台。能实现自动化系统中的机床、机器人、周边设备及传感器的连接并可提供先进的数据分析，提高生产过程中的生产质量、效率、灵活性以及设备的可靠性——从而提高设备综合效率（OEE）并促进生产利润的提升。同时，FIELD system还实现了先进的机器学习和深度学习能力。FIELD system不仅适用于发那科的机器人、智能机器等设备，也可用于自动化工厂中的其它厂家的设备，为用户提供统一集成的数据平台。用户可在同一平台对所有设备进行管理、升级以及远程服务和支持。

新版本（2.0）增加了以下内容：增加了更容易制作应用的API，增加了可向边缘设备下达指令的API，增加了连接各种边缘设备(PLC、传感器等)的转换器用SDK，在FIELD BASE Pro, GPU兼容可以操作AI应用程序，改进了iPMA (Production monitoring&analysis)和iZDT (Zero Down Time)。

这样一来，就可以通过连接制造现场的所有设备来收集数据，通过边缘设备处理数据并高效使用，能够更加简单地制作出能够更加快速、自动化的应用程序。



14. THK 展品



THK 成立于1971年，是一家在日本、欧洲、美洲和亚洲拥有生产和销售基地的跨国公司，在中国大连、无锡等地设有多家生产制造基地。主要产品是直线运动系统（例如，LM 导轨和滚珠花键）、滚珠丝杠、XY 工作台、连杆球和杆端轴承等。THK公司的经营理念是基于“向全球提供创新产品、给社会带来新风、为创建富裕社会做出贡献”，THK公司产品广泛应用于各种工业机械，如机床、工业机器人、平板显示器和半导体制造机械等，并作为提高这些系统性能的重要组成部分，目前其产品又扩展到汽车零件、隔震及阻尼系统、医疗设备、飞机、机器人及可再生能源等新领域，其产品市场占有率排在前列。

THK在本届展会上展示了26个系列新产品，这些产品通过实现高刚性、高精度和节能等特点，满足了各种机器和设备的性能要求。其中：

(1) 球保持器LM滚动导轨系列 SPR/SPS型

LM滚动导轨SPR/SPS型，采用8条沟道，实现了超低波动性及超高刚性。具有如下特点：

①可与静压导向相匹敌的低波动性。采用8条滚动沟道及小型钢球，

大幅增加了有效钢球数量的同时，将滚动体进出带来的振幅降低到最小。



②超高刚性。将钢球的变形量极小化，实现了超过滚柱导轨的超高刚性。

通过这些特长，不仅大幅增加有效钢球数，亦将钢球进出引起的振幅降低到最低。实现了足以媲美静压导轨的低波动。同时，将钢球的变形量降低到最低，实现了超越滚柱导轨的超高刚性。有助于装置的高精度化。

(2) 双列角接触滚柱轴环系列 RW型

该型轴承通过采用双列滚动面以及小径滚柱，使RW型产品的滚柱数量约为以往交叉滚柱轴环（RW228 的场合）的5倍。在维持其紧凑性的基础上，刚性、精度得到提高，同时扭矩也得到了降低。而且一体构造的内外圈上设置了安装孔，可直接固定在装置上。具有如下特点：



①低扭矩。RW型由于采用了小径滚柱，降低了摩擦系数，实现了低扭矩、低升温特性

②刚性提高。RW型与传统的交叉滚柱轴环RU型具有基本相同的尺寸，但与RU型相比，轨道列数为2倍，采用DB构造刚性得到提高。

③实现高刚性、高精度。RW型的内环和外环作为一体构造实现了部品的高刚性。另外，内外环上设置了

安装用螺栓孔，通过优化安装用螺栓的尺寸与个数，抑制了由安装引起的滚动面变形，得到稳定的转动性能。而且，由于加工精度的提高可对应高精度的转动精度。

15. 刀具及量仪



位于展会东7馆和西部的3个馆集中展示了量仪、刀具、磨料磨具、功能部件和机床附件。其中刀具展馆可谓琳琅满目，品种繁多，各种类型的切削刀具争奇斗艳。山特维克可乐满、瓦尔特、京瓷、三菱、美国肯纳金属、Tungaloy、OSG、ISCAR、TaeguTec、Cominix等公司都展示了自己的最新产品，有的公司还在现场用实体机床进行切削性能展示，还有公司展示了成套应用领域解决方案。



HEXAGON (海克斯康)、MARPOSS (马波斯)、RENISAAW (雷尼绍)、THK、NSK、上银 (HIWIN)、银泰 (PMI) 等都以较显著的展位展示自己的最新的智能化产品和解决方案, 同台竞技、难分高低。



展区建设得就像一个大型工厂, 来自72家公司的300多台机床共用IoT平台。可以看到很多企业通过IoT平台上的大型监视器显示机床的操作和运行状态等的信息, 从而跟踪生产进程、避免故障发生, 这可能是全世界第一次如此规模的IoT展示。



主办方希望观众可以在这里实际体验物联网, 然后在每个参展企业的展位上再加深他们的理解。另外也让他们看到了介绍易于理解的说明、以及物联网平台 (基础) 和导入案例。

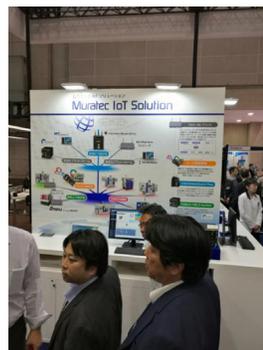


除了在东7号馆专门开设了一个IoT (物联网) 展区外, 日本著名企业大多设置了专门展区或展示板就本企业在IoT (物联网) 应用方面的成就作出重点宣传, 如马扎克、大隈、牧野、DMG森精机、发那科和三菱电气等, 展示的数量之多已经超过了美国芝加哥IMTS2018展览会, 成为本届展会的一大吸睛之处。

16. IoT技术展示



本届展会的一大显著亮点就是本届展会的关键词“连接”展示淋漓尽致, 展会主办方在东7号馆专门开设了一个展区用于展示“连接”的实际场景, 其目的就是针对目前中小型企业实际导入 (应用) IoT的案列还不是很多, 为往来参观的观众能亲眼见到IoT的实际应用场景并消除导入IoT的障碍。



在工厂智能化方面, 运用IoT技术的马扎克的Mazak iCONNECT、大隈的Okuma Smart Factory、DMG森精机的CELOS、发那科的FIELD system等系统分别具有如下展示特点:

马扎克综合支持系统Mazak iCONNECT, 以Mazak SMART Cloud (马扎克智能云) 为载体, 植入万物互联的制造理念, 将马扎克为客户提供的智能化工厂及技术支持、售后服务紧密连接, 帮助客户提升生产效率, 为客户的智能生产保驾护航。



这次大限的展位将所有展机进行连接，展位整体就是一个智能工厂。针对制造业中的巨大变化，处于不断成长中的Okuma Smart Factory为客户的各种问题提出了解决方案。

DMG森精机在整个东8展馆以“DMG MORI Digital Factory”为主题进行展示。数字化工厂(Digital Factory)由22台机床和各自的IoT技术进行展出，并提出以专有操作系统CELOS为中心的IoT技术和AI解决方案。除此之外，DMG MORI还使用“数字映射(Digital twin)”作为未来类型提案的实际演示。



由包括发那科、思科、罗克韦尔自动化等多家公司共同研发的FANUC Intelligent Edge Link and Drive (FIELD) system，能实现自动化系统中的机床、机器人、周边设备及传感器的连接并可提供先进的数据分析，提高生产过程中的生产质量、效率、灵活性以及设备的可靠性——从而提高设备综合效率(OEE)并促进生产利润的提升。同时，FIELD system还实现了先进的机器学习和深度学习能力。通过与思科、罗克韦尔自动化的合

作，发那科可以为用户提供全方位的自动化解决方案，包括网络和计算设备的架构、应用程序以及授权的中间件平台。基于这个开放平台，广大的应用开发者、传感器及周边设备制造商和系统集成商等可以打造不同的解决方案来提升设备效率、制造产出以及产品质量。目前，发那科已将这些新技术应用于机器人散堆拾取、生产异常检测和故障预测。FIELD system结合了人工智能和尖端计算机技术使分布式学习成为可能。机器人和设备的运行数据在网络上被实时的进行处理，这也使各种设备之间能更智能的进行协调生产，令原来难以实现的复杂生产协调成为可能。

上述这些在工厂智能化方面做的比较突出的日本著名厂商，还有一个显著的特点就是除了向客户宣传介绍自己的IoT技术外，各自都先行建立了自己的智能工厂(Smart Factory)，对本身生产的产品所需的机械零件进行智能制造加工，通过建立IoT、传感器、机器人、云平台等，亲自体验和掌握智能制造带来的好处，积累经验并为客户作示范应用。以真实的应用场景来推广自己的先进IoT技术，以取得客户的信任，推销自己的先进产品。

此外在展会主办方所展示的“智慧机床”和“智慧工厂”之外，为确保连接到物联网的基本安全性，与其他公司产品合作的安全系统的程序分析功能等也将增加。对于到目前为止一定要人工来选择最佳加工条件等，也都提出了活用AI的提案，这无疑将大大提高自动化和效率化。主办方今后将进一步致力于混合化(融合)，例如近年来引起人们关注的AM和切削的融合等。活用机器人的自动化提案也积极响应了日本机床用户领域强劲的需求。而软件公司转向IoT是非常明智的选择。日本政府将“IoT”作为日本第四次产业革命战略的旗舰课题，进行开发和扶持。

日本机床协会会长饭村幸生表示“当然这些仅仅是第一步，未来AI技术将发挥重要作用。例如，要判断机床噪声是否正常，就需要设定一个噪声的门槛值，通过传感器收集噪声，IoT获取噪声数据。如果缺乏这些技术，日本乃至世界的机床工业将停滞不前。”如果不是大型机床厂，只由一家公司整合实施物联网提案是一件非常困难的事情。日工会表示，不分制造商大小，将全体都连接起来就现在来说，是一件很有意义的事情。包括用户的管理，都会以一种整合的形式实现，不管企业大小都可以共享。

17. 其他

本届展会除了前述的几家具有代表性的日本机床企业外，沙迪克、三菱重工、西铁城、东京精密、村田、JTEKT、YKT、ENSHU、Komatsu NTC、HORKOS、YASDA等企业都进行了较大面积的展示。

但大展商基本以日本企业为主，境外企业仅有格里森、利勃海尔、莱斯豪尔、联合磨削、+GF+、INDEX、通快、西门子等为数不多的厂家。



格里森和利勃海尔分别展示了280G滚齿机、LGG400M磨齿机等系列产品，莱斯豪尔展示了RZ260磨齿机。联合磨削、+GF+展示了市场上热销的经典产品如数控五轴工具磨床、精密数控车床等。



通快展示经典的激光加工机床TruLaser 3030、TruBend Center 5030。

西门子、WFL、INDEX、Hass、REISHAUER展示的规模和水平与它们在EMO展和IMTS展比要小的多。这主要是由于日本国内机床市场的特点是本土的机床制造企业对国内需求的满足度较高，而且日本本身就是世界机床制造强国，境外产品进入该市场难度很大。因此，欧美大公司缺少参展热情，有些直接缺席，有些则是委托当地经销商参展。



三、参观感受和展品特点

1. IoT（物联网）应用向更加深入和普及方向发展

JIMTOF2018的总体参观感觉是在制造技术创新和前瞻方面的气息浓厚，IoT（物联网）应用扑面而来，展会主办方在东7号馆专门开设了一个展区用于展示“连接”的实际场景，其目的就是针对目前中小型企业实际导入（应用）IoT的案例还不是很多，为使来参观的观众能亲眼见到IoT的实际应用场景并消除导入IoT的障碍。主办方希望观众可以在这里实际体验物联网，然后在每个参展企业的展位上再加深他们的理解。另外也让他们看到了介绍易于理解的说明、以及物联网平台（基础）和导入案例。除了在东7号馆专门开设了一个IoT（物联网）展区外，日本著名企业大多设置了专门展区或展示板就本企业在IoT（物联网）应用方面的成就作出重点宣传，如马扎克、大隈、牧野、DMG森精机、发那科和三菱电气等，展示的数量之多已经超过了美国芝加哥IMTS2018展览会，成为本届展会的一大吸睛之处。

此外还有一个显著的特点就是日本著名的大企业除了向客户宣传介绍自己的IoT技术外，各自都先行建立了自己的智能工厂（Smart Factory），（如马扎克不仅在日本建立了智能工厂，甚至在中国也建立了智能工厂）对本身生产

的产品所需的机械零件进行智能制造加工，通过建立IoT、传感器、机器人、云平台等，亲自体验和掌握智能制造带来的好处，积累经验并为客户作示范应用。以真实的应用场景来推广自己的先进IoT技术，以取得客户的信任，推销自己的先进产品。

2. 人工智能（AI）、增材制造（AM）、电动汽车（EV）等新技术被广泛关注和应用

本届展会上马扎克、大隈、牧野、DMG森精机等公司都结合自己新推出的产品将人工智能（Artificial Intelligence）、增材制造（Additive Manufacturing）、电动汽车（Electric Vehicle）等新技术融合到其中。如机床设备可以通过AI诊断主轴的状态，在故障发生前及时解决隐患。将复合加工机与AM技术相融合，可以实现DONE IN ONE理念，既包含了所有的加工流程——从放入原材料到最终的加工——只在一台机床上进行。这样工序集约加工，能够降低机床成本，减少占地面积，使用更少的夹具、更少的操作员以及更短的再制时间同时保证高加工精度。

3. 产品创新体现在新技术的真正采用、结构的优化和改进、功能的扩充和提高

提及多年的机床结构优化、静动刚度、热变形补偿、防碰撞、加工导航、伺服优化、五轴调整等机床基础理论与技术在与AI技术融合后得以真正的实际应用。过去只停留在大学理论上、试验室中的机床基础理论技术，在日本的一些著名企业中已经在实际产品中得以真正应用，并取得了显著效果，使产品占据市场竞争新的制高点。这方面DMG森精机、马扎克、大隈等公司在本届展会上都有体现上述技术的展品展示。（全文完）□