

WMEM

World Manufacturing Engineering & Market

世界制造技术与装备市场

《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊

2

(总第161期)

2019

主办 Sponsor:

中国机床工具工业协会(CMTBA)

<http://www.cmtba.org.cn/homepage/cbw.html>

ISSN 1015-4809



邮发编号: 80 - 121

CIMT2019五大看点

CIMT2019部分展品综述

2018年机床工具行业经济运行情况分析

特别策划:航空发动机关键制造技术



德国传动专家

Made for Motion



我们主导着联轴器技术的发展方向

我们有足够的经验为各工业领域提供完善的传动方案

We move the world: KTR!



尽管KTR的标准产品系列非常广泛，但这只是可供产品的一小部分。
KTR不仅仅是供货商，更是技术方案的设计者。

开天传动技术（上海）有限公司

地址：上海浦东王桥路999号中邦商务园1005幢
电话：021-58381800 传真：021-58381900
邮箱：ktr-cn@ktr.com 网址：www.ktr.com



机床数字化制造

Digitalization in Machine Tool Manufacturing

SINUMERIK 840D sl 智能操作，全新的软硬件设计及卓越的模具加工功能，可满足各种数控加工工艺的复杂应用。

SINUMERIK 828D 开放智能，直观导引，高效易用，差异凸显，集成诸多智能化数控功能，为高性能、紧凑型数控机床的优选。

SINUMERIK 808D ADVANCED 全新硬件平台，坚固耐用、操作简便，为标准型数控机床的升级换代提供了全套的数控系统解决方案。

Siemens PLM Software（全球领先的产品生命周期管理软件及服务提供商）的 NX、Teamcenter、Technomatix 等软件为客户提供从 CAD/CAM 到全数字化产品生命周期的解决方案，帮助机床加工行业成就创新，引领卓越。

用于齿轮模数至 3.0 的高效齿轮加工解决方案



精密性



灵活性



高效性

欢迎前来参观！



15.-20.04.2019, 北京
W1-A201展台

亮点

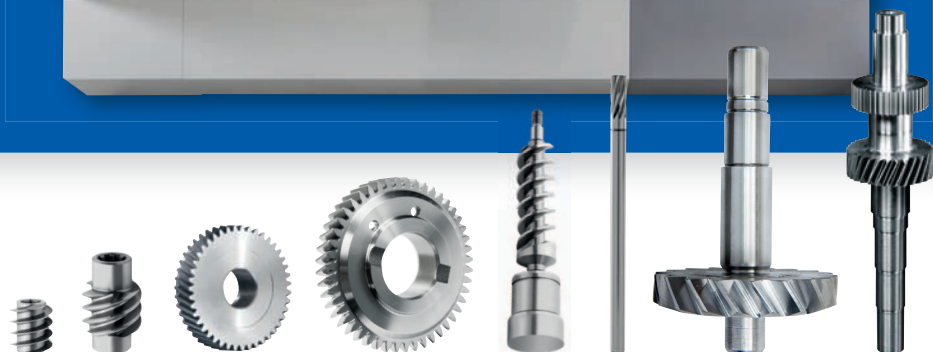
控制系统

采用颇具创意的十字滑座设计方案和 虚拟轴，可加工的工件种类极多。

刀座旋转角度大，可进行蜗杆铣削加工
集成了去毛刺技术

可以实现不同的连线选项，包括

卓越的性能参数



H 技术参数：模数最大为 3.0 毫米 | 工件直径最大 150 毫米 | 工件长度最大 150 毫米 | 滚刀直径最大 150 毫米 | 滚刀头转速最高 1500 转/分钟 | 功率 15 千瓦 | 扭矩 15 牛·米 | 滚刀距离最大 150 毫米



埃马克 (中国) 机械有限公司

地址：太仓市陈门泾路101号工业园区2号厂房

邮编：215400 · 电话：0512-53574098 · 传真：0512-53575399

网址：www.emag.com · 邮箱：info@emag-china.com



新浪微博

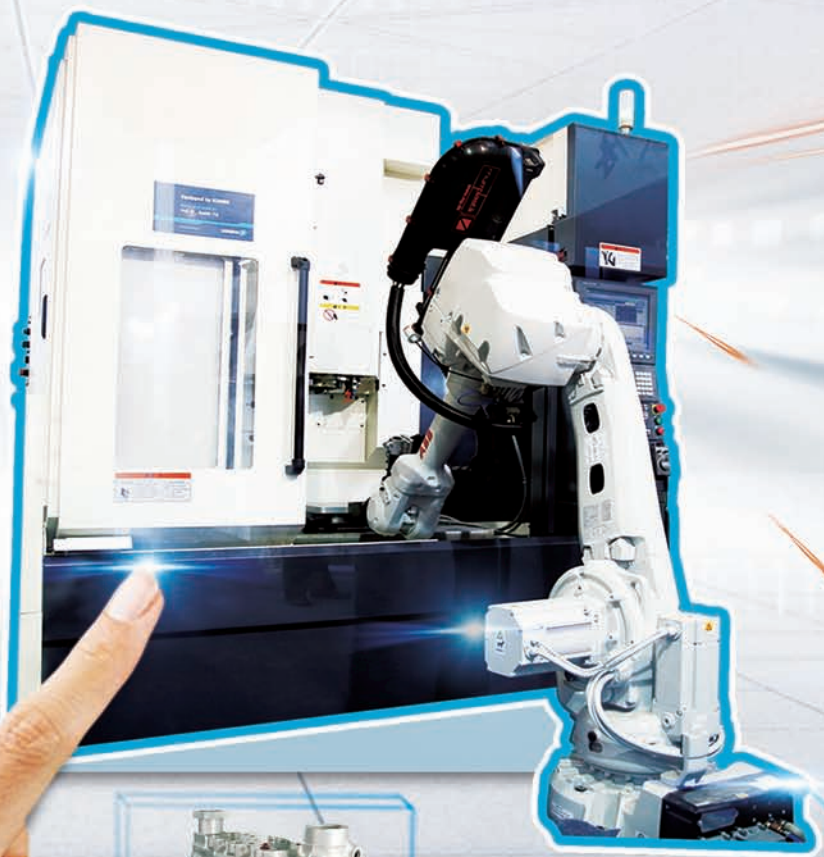


官方微信



北一机床

与共和国同龄，北一机床从变革到超越、追先进至领先，秉承着“制造精良，追求卓越”的核心理念，一步一个脚印，致力于成为具有全球竞争力的机床制造与服务供应商，在“做高端智能制造的工艺师，为用户创造价值的使命”之路上竭诚与您合作、为您服务。



北京北一机床股份有限公司

BEIJING NO.1 MACHINE TOOL CO.,LTD

地址：北京市顺义区林河工业开发区双河大街16号

邮编：101300 电话：010-89496161

网址：www.byjc.com.cn



DOOSAN



您准备好了迎接新的事业巅峰吗？

为您的车间配备一台高性能的五轴加工机。

让我们来认识一下**DVF 5000**：来自斗山机床的最新型五轴机。拥有高速、高精度及高刚性，应对精密零件的全天加工。

18,000 r/min的主轴转速，工作台直径达630mm并可承重400kg，**DVF 5000**使您的事业的进入新的巅峰。在您希望更上一层楼时，它还可以为您提供扩展选项。

如需了解更多详情，请访问我们的网站
DOOSANMACHINETOOLS.COM

CIMT 2019 | **E2-B201**
第十六届中国国际机床展览会



官方微信



斗山机床

DOOSANMACHINETOOLS.COM

MACHINE GREATNESS 铸就非凡™

驾驭未来

蔡司新能源汽车解决方案



欢迎您莅临2019年中国国际机床展

蔡司展位: **W3-A311**

时间: 2019年4月15日-4月20日

地点: 北京中国国际展览中心(新馆)

北京市顺义天竺裕翔路88号



卡尔蔡司(上海)管理有限公司

中国(上海)自贸试验区
英约路60号

电话: (86)21-2082 1188
传真: (86)21-5048 1193

全国售后服务热线: 400-686-9906

全国售后服务E-mail: lmthot.zo@zeiss.com

蔡司中国工业测量官方网站: <http://www.zeiss.com.cn/imt>

蔡司中国工业测量网商城: <http://cn.probes.zeiss.com/>





KENTURN

Since 1983



WWW.KENTURN.COM.TW

● 台湾制造 ● 品质保证 ● 客户信赖



ISO
14001
环境
管理系统

OHSAS
18001
职业安全与卫生
管理系统

ISO
9001
品质
管理系统

ISO
50001
能源
管理系统

Spindles are our profession.

The craftsmanship and originality of our products leads to superior product quality for you. We produce precision spindles, completely made in Taiwan. Contact us for world-class quality and professional service.

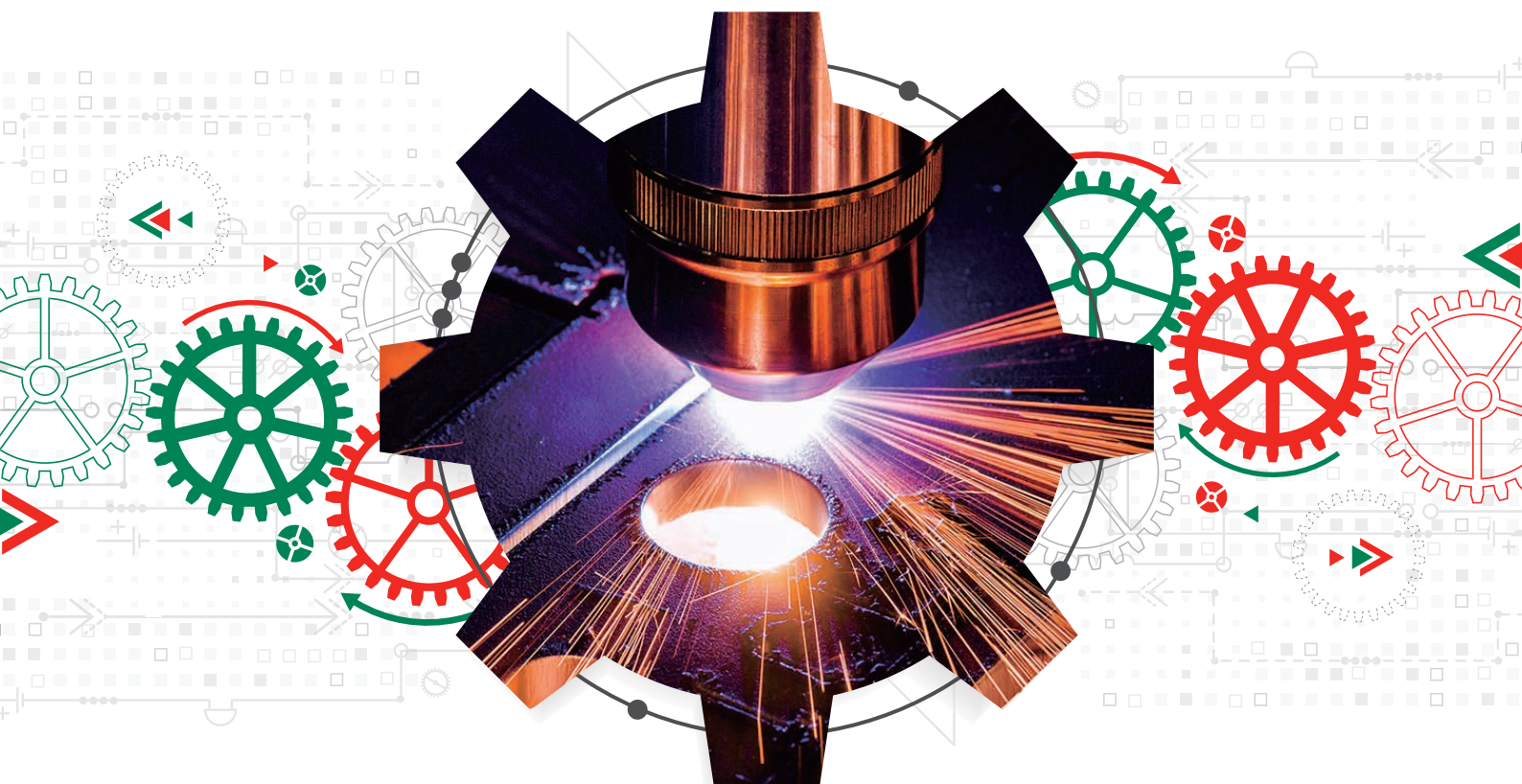
健椿工业股份有限公司

16 E. 7 Rd., Chang Bin Ind. Park, Shian Shi, Changhua 50741, Taiwan
TEL: +886-4-7910271 FAX: +886-4-7910272 cnc-spindle@kenturn.com.tw



ITALIA @ CIMT 2019

意大利国家展团



ITALIAN TECHNOLOGY - TURNING INNOVATION INTO PRODUCTIVITY
意大利技术 - 将创新转化为生产力



2019年4月15 - 20日

(第十六届) 中国国际机床展览会·北京·中国国际展览中心(新馆)·W3展厅





CzechRepublic



MINISTRY OF INDUSTRY AND TRADE
OF THE CZECH REPUBLIC

捷克国家馆
2019中国国际机床展

2019年4月15日-4月20日
展台 E2-B017-1

CZECH NATIONAL PAVILION

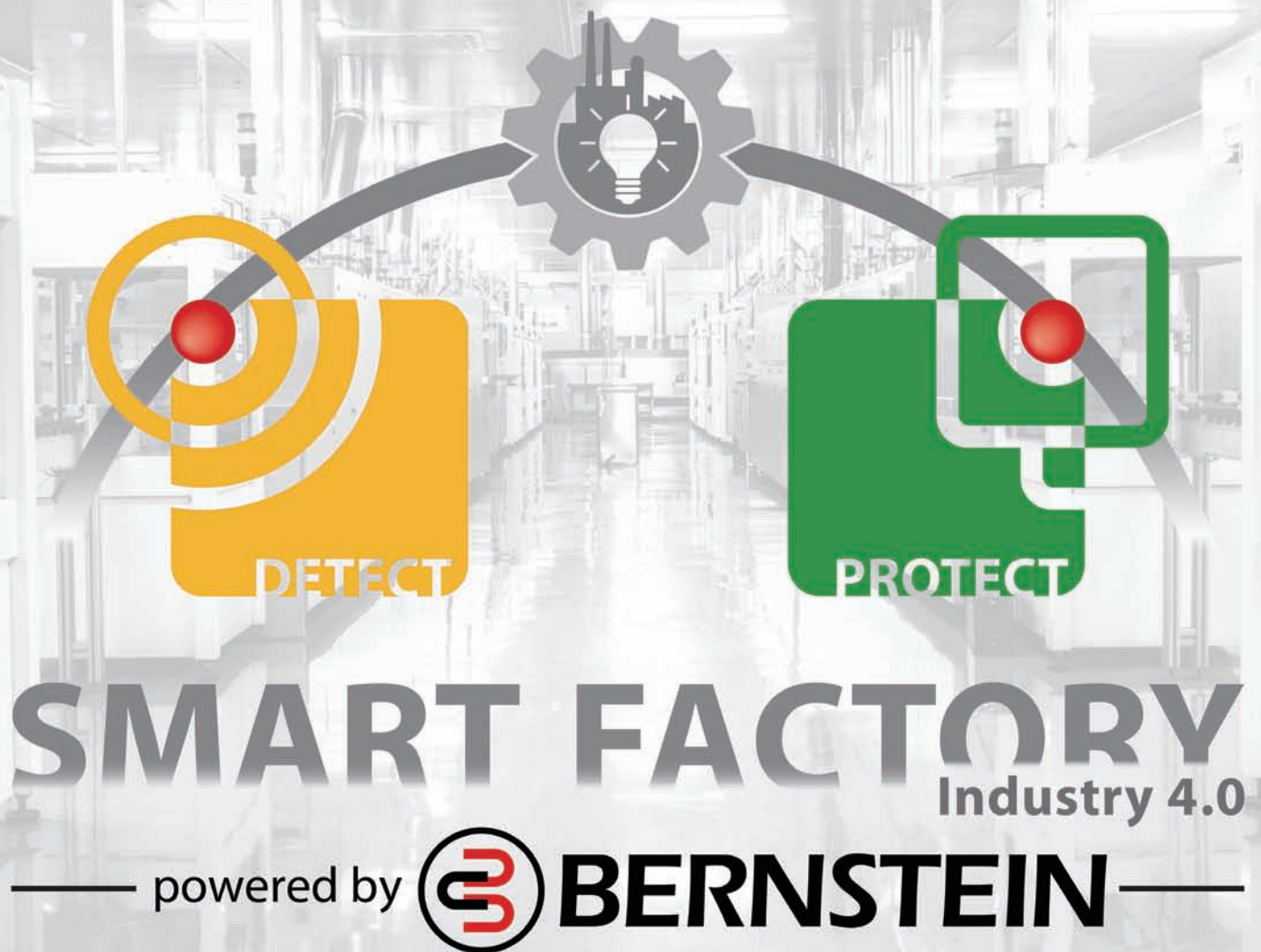
**at China International
Machine Tool Show 2019**

April 15-20, 2019
Stand E2-B017-1

参展商 **Exhibitors**

- ČKD BLANSKO-OS, a.s.
- FERMAT CZ s.r.o.
- KSK Precise Motion, a.s.

- Pilana Metal s.r.o.
- RETOS VARNSDORF s.r.o.
- ŠKODA MACHINE TOOL a.s.
- TOS KUŘIM – OS, a.s.
- TOS VARNSDORF a.s.
- TOS Olomouc, s.r.o.
- TOSHULIN, a.s.



SMART FACTORY

Industry 4.0

— powered by  **BERNSTEIN** —

DETECT.PROTECT — Connect.

IAMD BEIJING 北京自动化展
时间：2019 年 5 月 8 - 10 日
地点：北京展览馆
展位号：12-03

博恩斯坦电子（太仓）有限公司

地址：江苏省太仓市广州东路 188 号
电话：+86 512 8160 8180
传真：+86 512 8160 8181
邮箱：info@bernstein-safesolutions.cn
网址：www.bernstein-safesolutions.cn



WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing
Engineering & Market

No.2 2019
2019年4月
February 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 传真: (010) 63345699
电子邮箱: wmem@cmtba.org.cn

出版: 中国机床工具工业协会
《组合机床与自动化加工技术》杂志社

顾问: 吴柏林 于成廷
主任: 毛予锋
副主任: 王黎明 郭长城
编委:

龙兴元 张志刚 杜琢玉 何敏佳 王旭 王俊峰
王焕卫 闫宁 关锡友 芦华 李屏 李金泉
李保民 杨平 吴日 吴国兴 冷志斌 张明智
张波 陈永开 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
国际标准代号: ISSN 1015-4809
国内统一刊号: CN 11-5137/TH
国内发行: 北京报刊发行局
订阅处: 全国各地邮局
邮发代号: 80-121

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

承印: 北京博海升彩色印刷有限公司

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



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

目录 CONTENTS

2019年第2期(总第161期)

WMEM世界制造技术与装备市场

资讯News

- 16 2019年中国机床工具工业协会用户联络网年会在京召开共7则
2019 China Machine Tool Industry Association user liaison network
annual meeting held in Beijing

贺词CIMT2019 Message

- 18 创新引领 闯关前行 加快迈向机床强国 张志刚
Innovation leads the breakthrough and accelerates China's move
to the machine tool powerhouse
- 19 牢记使命 融合创新 建设一流高端装备制造集团 杜琢玉
Keeping in mind the mission of integration and innovation
establishing first class high-end machine manufacturing group
- 20 融合共赢 智造未来 何敏佳
Win the smart future together
- 21 把握新机遇 共探新发展 龙兴元
Grasping the new opportunities and jointly exploring the new development
- 22 融汇全球 CIMT更上一层楼 毛予锋
Converging globally CIMT up to a higher level

展会信息Exhibition

- 23 CIMT2019: 全球机床工具行业发展的最新风向标
CIMT2019: The latest development of machine tool industry
- 27 CIMT2019五大看点
Five highlights of CIMT2019
- 37 CIMT2019部分展品综述(上) 周敏森
Summary of some exhibits of CIMT2019 (first)

产销市场 Production & Marketing

- 61 2018年机床工具行业经济运行情况分析
Analysis of economic operation of machine tool industry in 2018

本刊专访Special Interview

- 65 意大利制造: 让中国用户得到更多的益处 李华翔
Made in Italy: Get more benefits for Chinese users

第十一届中国数控机床展览会

CHINA CNC MACHINE TOOL FAIR 2020

CCMT 2020



时间：2020年4月7-11日

地点：上海新国际博览中心

Dates: April 7-11, 2020

Venue: Shanghai New
International Expo Centre

主办：中国机床工具工业协会

承办：中国机床工具工业协会

上海市国际展览有限公司



CMTBA微信订阅号

Sponsor: China Machine Tool & Tool Builders' Association (CMTBA)

Organizers: China Machine Tool & Tool Builders' Association (CMTBA)

Shanghai International Exhibition Co., Ltd. (SIEC)

编者的话

CIMT2019的大幕即将拉开,来自28个国家和地区的1700余家参展商将汇聚北京新国展,带来数字化制造与解决方案、智能技术以及转型升级、新旧动能转换的新成果,这将是我国机械制造业的一次顶级盛会。

从数据来看,2018年中国机床工具消费市场呈现前高后低年末平稳的态势:全年金属加工机床消费总额291.3亿美元,同比下降2.8%;生产总额234.6亿美元,同比下降4.3%;出口总额40.0亿美元,同比增长21.6%;进口总额96.7亿美元,同比增长10.6%。虽目前市场需求有波动压力,但未来中国金属加工机床消费市场潜力犹存,总体上保持需求结构持续升级态势。

从展品来看,CIMT2019也反映出五大特点:新品荟萃,尽显市场需求;聚焦定制产品,深耕用户工艺;智能技术,夯实制造基础;工业物联网,联通世界与未来;增材制造,创新制造模式。这也体现出机械制造的现状和未来发展态势。

为了体现用户行业对机床工具的高端需求,本期特别策划了航空发动机关键制造技术:如整体叶盘制造、复合材料加工、难加工材料应对方案以及3D打印应用技术等。航空发动机可谓机械制造技术上的皇冠,代表着一个国家的最高制造水平,对材料、装备以及制造工艺有着极高的要求。本届CIMT期间,各国展商也将展出用于航空制造领域的拳头产品比如五轴联动加工中心、高效刀具系统以及智能检测系统。

转型升级是大势所趋,从想法到产品,CIMT2019都会给你带来新的惊喜。

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我社上述声明。

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 双轴双臂回转工作台
Torque Motor Tilting Rotary Table



Torque Motor 单轴立式回转工作台
Torque Motor Vertical Rotary Table



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 Guideway



单轴机器人
Single-Axis Robot



关节式机器人臂
Articulated Robot



晶圆机器人
Wafer Robot



下肢康复训练机
Robotic Gait Training System



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
abilymotor

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

继往开来 扬帆远航

Diversification Products , Better Choice

HMCT Group is one of the largest precision measuring and cutting tool manufacturers in China, it is also an ISO 9001 quality system certified enterprise.



◀ 精密刀柄

产品有7:24锥柄、HSK和PSC空心短锥柄等组成，该类产品均采用德国先进设计和制造工艺技术，具有制造精度高，定位可靠，结构稳定，系统刚性强的特点，产品质量水平完全与国际先进水平接轨。

孔加工刀具 ▶

品种规格齐全、功能完善的孔加工刀具，浅孔钻使高效钻孔成为可能；粗、精镗刀镗孔范围 $\varnothing 25 \sim \varnothing 2500\text{mm}$ ，精镗刀调整精度达到 $\varnothing 0.001\text{mm}$ 。



◀ 可转位铣刀

可转位铣刀系列产品涵盖平装、立装两种结构类型，轻、重型切削均可实现。包括面铣、立铣、槽铣、螺纹铣以及模具铣刀等多种铣刀形式。整体式铣刀使系统刚性显著提高；模块式铣刀一刀多用，性价比更高。



哈尔滨量具刃具集团有限责任公司

地址：哈尔滨市香坊区和平路44号 电话：0451-86792534 传真：0451-82637661
<http://www.links-china.com> E-mail: links@links-china.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 Fax: (010) 63345699

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 Yong-kai, CHEN Ji-hong, JIANG Hua,
HUANG Zheng-hua, SHANG Hong-mo, WEI 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

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官方微信

特别策划 Special Planning

航空发动机关键技术

- 69 整体叶盘先进制造技术应用与发展 杨万辉 等
Application and development of advanced manufacturing
technology for whole leaf discs
- 73 航空发动机中的复合材料加工 范文倩
Machining solutions of composite material in aero engines
- 75 山高助力航空巨头应对更严苛的航空零件加工挑战
Seco helps aviation giants tackle the more demanding aerospace machining challenges
- 77 航空发动机关键制造技术现状及趋势 李添宇
Current status and trends of key manufacturing technologies for aeroengines
- 80 超声辅助铣销钛合金薄壁件变形研究 奇峰
Research on Ultrasonic Assisted Milling and Deformation of Ti
tanium Alloy Thin-walled Parts
- 85 激光焊接技术在发动机制造及修理中的应用 赵伟 等
Application of laser welding technology in engine manufacturing and repair
- 88 高温合金的加工——进给率堪比铝合金
Processing of superalloys——Feed rate comparable to aluminum alloy
- 90 3D打印在航空制造中的应用与创新 中良
Application and innovation of 3D printing in aviation manufacturing
- 95 开拓增材制造的无限可能
Exploring the possibilities of additive manufacturing

产品与技术 Products & Technology

- 97 光纤激光设备的广泛应用 Lynn Stanley
Wide application of fiber laser equipment

企业报道Enterprise Report

- 99 为共同生存的地球环境保护而努力
——瑞士TURBO公司在中国成功落地十周年庆典召开 赵宇龙
Swiss TURBO company celebrates its 10th anniversary in China
- 72 广告客户索引
Advertisers Index
消息 (84)



汇专科技

超声波加工

陶瓷、蓝宝石、玻璃、3D石墨模具等
硬脆性材料加工全新解决方案

效率提升40% | 变幅 | 谐振 | 脉冲

超系列



“绿色环保，节能高效”

绿色智能制造解决方案提供商

超临界CO₂低温冷却系统

清洁高效切削全新解决方案

精准 | 高效 | 环保

超系列



汇专科技集团股份有限公司
Conprofe Technology Group Co., Ltd.

Tel: +86 20 8201 9166 Email: sales@conprofetech.com
Fax: +86 20 8201 9266 Mb: +86 18144877677

第十六届中国国际机 欢迎莅临
床展览会 2019CIMT HallE7-B501
2019.04.15-2019.04.20

2019年中国机床工具工业协会用户联络网年会在京召开

2019年3月8日，由中国机床工具工业协会主办的2019年用户联络网年会在京召开。本次会议吸引了百余位代表踊跃参加，分别来自航空、航天、汽车、兵器、船舶、模具、电子、轨道交通、通用机械、电力、重型机械、内燃机、液气密、煤矿机械、工程机械、轴承、齿轮、塑料机械、纺织机械、维修改造、农机、核工业等24个行业，部分兄弟协会、大专院校和专业媒体的代表也参加了会议。会议还特别邀请了几家机床工具企业和机床工具协会部分分会的代表参与交流。

中国机床工具工业协会常务副理事长毛予锋、秘书长王黎明、监事长



王旭出席会议，会议由王黎明主持并致欢迎辞。本次年会内容丰富，信息量大，包括综合报告、专题报告、典型案例分享、技术讲座、交流发言等，专家们的精彩报告及主题交流为

参会代表提供了很多重要信息，从不同角度展示了机床工具行业的发展现状，分享了行业间紧密合作的成功案例。

中图仪器启动“高精度三维螺纹综合测量仪的开发和应用”项目

2019年3月12日，国家重点研发计划重大科学仪器设备开发重点专项“高精度三维螺纹综合测量仪的开发和应用”项目启动会在深圳举行。中国工程院叶声华院士、科技部仪器专项总体专家组责任专家欧阳劲松及项目总体组、技术专家组、用户委

员会、当地政府等40余人参加了会议。项目重点针对高端智能制造领域螺纹几何参数的综合性检测需求，研究三维旋转扫描的圆柱坐标测量系统，突破内外螺纹三维扫描高精度测头、三维表面高效重构等关键技术，研制具有自主知识产权、质量稳定可

靠、核心部件国产化的高精度三维螺纹综合测量仪。高精度三维螺纹综合测量仪的成功研制将对我国螺纹制造产生重大促进作用，有利于改善我国高端螺纹严重依赖进口的局面。

大族激光20kW光纤激光切割机成功签约并即将交付

近期，经过一年多的技术攻关，大族激光智能装备集团成功突破了一系列超厚板激光切割技术壁垒，成功掌握了20kW极高功率激光切割工艺技术，不锈钢切割厚度提升至100mm，切割效率与设备可靠

性提升20%以上，日前实现首台签约并即将交付。2008年，大族激光在全球率先研制高功率光纤激光切割机，开辟激光加工新时代。此后，大族激光在万瓦级激光加工领域获得突破，将金属批量加工能力提升至50mm级

水平，在当时成为金属加工领域一次革命性突破。此次20kW光纤激光切割机的交付，将进一步巩固大族激光在超高功率激光切割与焊接领域的优势。

山高开展咨询服务业务 向数字化转型

2019年3月7日，山高刀具在北京举行媒体见面会，新任大中华区董事总经理Jean-François Martins先生与媒体朋友分享公司在2019年的发展新战略、新动态，并着重推出了“山高咨询服务（SECO CONSULTANCY）”业务。“山高咨询服务”是一项独立、中性的新业务，全面迎合工业4.0时代发展需求，针对机械加工多品种、少批量的生产模式，从加工工艺、制造系统、制造环境三个维度，

赋予了刀具服务更丰富的内涵，旨在助力企业实现工业4.0时代的精益生产。

Martins先生强调，山高中国将坚定不移地围绕用户新需求进行创新，深入推进数字化转型战略，与此同时，将着手打造“山高咨询服务”新业务，瞄准制造业发展趋势中企业多品种、小批量生产模式所带来的各项生产挑战，为用户提供定制化、具体的改进方案和建议。山高咨询服务MEE（生产效率评估）是一款自主开

发的工具，通过研究加工工艺，识别出能够提高生产效率和降低成本的改进之处；进而寻找出当前制造系统中各种“浪费”现象及其改进空间；然后发现整个管理中存在的不足，从组织架构、日常活动、人员状况中找出问题结点，给出评估改进的潜力及改进后的收益。据数据统计，通过山高咨询服务以及解决方案，量化企业改进结果表明，可以帮助用户平均降低3%~10%的生产成本。

OMAX并入Hypertherm，进一步加强在水刀切割市场的领导地位

2019年3月20日，OMAX签署合并协议，成为Hypertherm 全资拥有的一个分支业务机构。水切割系统制造商OMAX公司，将并入总部位于美国的工业切割系统及软件的制造商Hypertherm公司。该收购协议将于4月9日完成，届时OMAX行业领先的直驱泵、软件及应用工艺技术将和

Hypertherm的增压器泵及水切割砂料回收系统组成行业领先的水切割技术产品线。

位于华盛顿州肯特的OMAX是一家全球领先的先进加砂水切割系统制造公司，其水切割系统以无与伦比的精度和速度，切割几乎任何种类及厚度的材料。公司拥有OMAX、

MAXIEM、GlobalMAX和 ProtoMAX等品牌。Hypertherm设计并制造业界领先的工业切割产品，并广泛应用于造船、制造、汽车修理等行业。Hypertherm产品包括切割系统、CNC数控、调高控制器、CAM 套料软件、机器人编程软件和易损件。

雷尼绍推出QUANTiC 圆光栅系统

测量产品制造商雷尼绍继推出QUANTiC™增量式直线光栅之后，近日又推出其圆光栅型号——QUANTiC，圆光栅不仅具有更佳的诊断功能兼容性，而且安装和运行公差也极为宽松。QUANTiC圆光栅系统采用栅距为40 μm的RESM40圆光栅，并提供多种不同的规格尺寸。锥面安装式圆光栅适用于高精度应用，薄截面圆光栅适用于要求低转动惯量的应用，客户可根据需求自行选择。

这款新型光栅系统非常适合带有大口径通孔的应用。它不仅具备非常宽松的安裝公差，而且可以配用ADT(Advanced Diagnostic Tool高级诊断工具)进行远程校准和深入诊断，故其安装十分简便。QUANTiC读数头集成有雷尼绍成熟的光学滤波系统，可对多个栅尺周期的读数进行平均，有效滤除脏污等引起的非周期性特征。QUANTiC光栅有助于提高大规模生产线的生产效率，能够为OEM客户大幅节省时间和成本。

兰州大学联合研发出超级隔热陶瓷气凝胶

兰州大学土木工程与力学学院青年教授张强强与哈尔滨工业大学、美国加州大学洛杉矶分校和伯克利分校的学者合作，研制出一种同时具备超轻、高力学强度和超级隔热三大特点的陶瓷气凝胶。利用其设计的超级隔热系统可应用于航天器等领域。该成果日前在线发表于《科学》。



创新引领 闯关前行 加快迈向机床强国

中国机床工具工业协会当值理事长 张志刚
济南二机床集团有限公司董事长



在这万物复苏、生机勃勃的大好时节，乘着全国两会胜利召开东风，两年一度的行业盛会——第十六届中国国际机床展览会（CMT2019）隆重开幕了！在此，我代表济南二机床集团有限公司表示热烈的祝贺！

本届展会以“融合共赢 智造未来”为主题，体现了智能制造在不同

领域、不同行业协同共建，互联互通、信息共享、融合发展的特点，贴合了当下经济发展的时代背景和未来制造业的主流与趋势。

当前机床行业面临着复杂严峻的国内外环境和稳中有忧的宏观经济形势。外部不稳定、不确定因素多，世界经济和贸易增长动能减弱，投资增速持续下降，财政金融风险上升，特别是中美贸易摩擦走向难以把握；行业内多年积累的问题和矛盾，如体制机制不顺、产品结构不能适应市场需求变化等，仍在困扰一些企业，结构调整和运营下行的双重压力进一步加大。

2019年是机床行业转型升级发展的关键一年，面临比以往更大的挑战。加速并购重组、市场出清，行业分化态势会更加明显，新的行业格局将逐步形成。机床行业企业应紧跟时代，创新思维，加快转型升级和新旧动能转换，积极适应第四次工业革命带来的需求变化，充分利用智能制造、工业互联网等先进技术，提升产品技术水平；要因企而异，对症下药，精准发力，能专则专，能精则精，能大则大，务求实效。以做细做实中国制造，做大做强中国“质”造，做高做精中国“智”造为主线，大力推进原始创新，推动中国制造和服务迈上中高端，加快向机床强国迈进。

济南二机床积极应对外部环境深刻变化，坚持创新驱动，着眼于智能化发展趋势，不断提升自主研发能力，通过掌握关键核心技术，为用户提供整体解决方案，满足了国内重点领域和国防建设对高端装备的需求；通过深入推进两化融合应用，加快向绿色、节能、高效、智能转型，主导产品成线、成套进入欧洲、美国、日本等发达国家主机厂；通过对标国际一流，精细管理，培育专家型、复合型人才队伍，增强抗风险能力，努力培育具有全球竞争力的世界一流企业。

本届展会，来自28个国家和地区的1700余家参展商汇聚北京，带来数字化制造与解决方案、智能技术、高效与自动化和专业化的新技术，以及转型升级、新旧动能转换的新成果，必将成为业界人士期盼的一次盛会。济南二机床携XHS2425×50定梁龙门镗铣加工中心，以及全系列不同结构类型的双摆角万能铣头参展，均是自主研发的最新成果，可完全替代进口，满足航空航天、轨道交通等重点行业钛合金、铝合金材料复杂型面的全方位高速加工需求。欢迎各界朋友到济南二机床展位（E3-B001）参观交流。

最后，预祝第十六届中国国际机床展览会（CMT2019）取得圆满成功！

牢记使命 融合创新 建设一流高端装备制造集团

中国机床工具工业协会轮值理事长
武汉重型机床集团有限公司董事长、党委书记 杜琢玉



值此第十六届中国国际机床展览会（CIMT2019）隆重开幕之际，我谨代表武汉重型机床集团有限公司对本次机床制造业国际盛会的召开表示最诚挚的祝贺！向来自海内外的同行和各界朋友表示最热烈的欢迎！

2019年是中华人民共和国成立70周年，也是践行新发展理念，落实高质量发展要求的关键一年。随着机床行业整体需求持续下行，行业内细分领域不断分化，市场需求向中高档机床和智能装备加速升级，推进供给侧改革和高质量发展成为机床行业的工作主线。面对机床行业深刻变化和严峻复杂的发展形势，我们必须准确把握我国经济仍然处于战略机遇期这一重要判断，牢记使命担当，保持战略定力，坚定发展信念，以建设国际先进的机床制造业为己任，履行强国使命，奋进新时代，干出新作为。

本次展会以“融合共赢 智造未来”为主题，准确、鲜明地反映了当前机床行业“变革、创新、融合”发展的时代特征，“智能制造”已成为中国机床行业抢占未来制高点的主攻方向。新一代信息技术、机器人、互联网、大数据与制造业的加速融合，产生了很多新技术、新产业、新业态和新模式，为机床行业带来了新机遇和新挑战，引领我们进一步加快转型升级步伐，向数字化、网络化、智能化迈进。

武重集团近年来深入实施创新驱动，贯彻“以用户为中心”的发展理念，围绕“改革创新转型、精益提质增效”12字发展方针，立足高端装备、短板装备和智能装备，大力推动“产品+”“服务+”“互联网+”的经营模式转变，持续推进高端装备技术创新体系建设和高端装备与智能装备发展，为用户提供整体解决方案，满足了国防军工重点领域和国家重大工程的高端装备需求，企业经营持续向好。

本次展会，来自海内外的行业同仁汇聚北京，展示新产品、新技术和智能制造新成果，必将成为业界人士翘首以盼的一次盛会。武重集团携VTM5925工作台移动式五轴立式铣车加工中心参展，是武重最新研发的高速、高精度、高刚性的智能化新产品，可满足高性能船舶、航空航天等重点行业机匣类典型零件的高精高效加工需求。欢迎各界朋友莅临武重展位（W4-B001）参观交流。

最后，预祝第十六届中国国际机床展览会（CIMT2019）取得圆满成功！



融合共赢 智造未来

中国机床工具工业协会轮值理事长 何敏佳
广州数控设备有限公司董事长



一滴水，融进大海，永不枯竭。CIMT2019盛会，有如美丽的海湾，科技的海洋。

母机航群借“团标”东风再次扬帆起航，沿着协会航标指引航行，机床工业之互联云海，航进智造海洋，不息生态。



把握新机遇 共探新发展

中国机床工具工业协会轮值理事长
秦川机床工具集团股份有限公司党委书记、董事长 龙兴元



值此第十六届中国国际机床展览会（CIMT2019）开幕之际，我谨代表中国机床工具工业协会和秦川机床工具集团股份有限公司对本次机床制造业国际盛会的召开表示诚挚的祝贺！向出席展会的海内外各界朋友及同行表示热烈的欢迎！

本届展会主题“融合共赢 智造未来”，体现着行业未来的发展趋势。2019年是机床工具行业发生深刻变化的一年，行业企业发展模式正由速度规模型增长向质量效益型升级逐步转变。而融合了新一代信息技术、新材料等创新技术及人工智能、大数据、云计算等新兴技术的先进制造业，则是重塑竞争优势、抢占新的竞争制高点的重要发力点。站在行业发展的“十字路口”，秦川集团立足于“精密、复杂”的工艺装备制造优势，聚焦国家关键领域的重大需求，以“两机”工程、智能汽车为内容构建了数字制造工艺装备链，同时紧盯用户定制化需求，围绕工艺装备的全生命周期管理，依托数字化共享开发平台，开展基于工业互联网的数据积累与迭代，大力推动产品制造与增值服务相融合的服务型制造业，赋能秦川集团的数字化转型，为“中国智造”贡献秦川力量。

让我们借助CIMT2019的展示平台携手合作，在新一轮全球产业革命机遇期，探索适合企业自身发展的新路径，共同开创中国机床行业“装备中国，走向世界”的新局面！

融汇全球 CIMT更上一层楼

中国机床工具工业协会常务副理事长 毛予锋



CIMT2019



由中国机床工具工业协会主办，并与中国国际展览中心集团公司共同承办的第十六届中国国际机床展览会（CIMT2019），将于4月15-20日在北京中国国际展览中心（新馆）举办。借此机会，向业内外同仁、海内外客商和各位新老朋友发出诚挚的邀请，欢迎各位前来参观、交流，洽谈合作，共叙友谊。

当前中国发展面临多年少有的国内外复杂严峻形势，经济出现新的下行压力。党中央判断中国发展仍处于重要战略机遇期，拥有足够的韧性、巨大的潜力和不断迸发的创新活力，经济长期向好的趋势没有也不会改变。2019年政府将通过深化市场化改革、扩大高水平开放、创新和完善宏观调控、大力度地减税降负、坚持创新引领发展等措施，以实现稳增长、稳投资。这些变化，都为机床工具行业带来新的挑战和机遇。

CIMT诞生30年来一直坚持国际化、专业化的道路，着力展示全球最先进的制造技术和装备，并得到各国家和地区机床协会、贸促机构，境内外机床工具企业和广大用户企业的鼎力支持，至今已成功举办十五届，为中国的改革开放、装备制造业创新和升级做出巨大贡献。CIMT2019展会聚焦智能制造，吸引了来自28个国家和地区的1700余家制造商参展，其中境外展商874家、境内展商838家，展出面积各占50%左右，全球知名机床工具制造商悉数到场；来自美国、德国、日本等13个国家和地区的机床协会和贸促机构组团参展；展出总面积达到14.2万平方米。

2018年中国机床工具消费市场呈现前高后低年末平稳的态势。全年金属加工机床消费总额291.3亿美元，同比下降2.8%；生产总额234.6亿美元，同比下降4.3%；出口总额40.0亿美元，同比增长21.6%；进口总额96.7亿美元，同比增长10.6%。综合分析上述消费、生产和进出口的数据，虽目前市场需求有波动压力，但未来中国金属加工机床消费市场潜力犹存，总体上保持需求结构持续升级态势。

2019年是新中国成立70周年，是决胜全面建成小康社会第一个百年奋斗目标的关键之年，需求侧的稳增长会继续发力，供给侧的改革将继续深化。当前，新一轮科技革命与产业变革和我国产业转型升级正形成历史性交汇，以新一代信息技术、机器人、物联网、工业互联网、大数据、云计算、人工智能为代表的新技术催生新产业、新业态、新模式，也将为中国机床工具业带来新机遇和新挑战。本届展会主题为“融合共赢 智造未来”，就是响应中国机床工具消费市场的发展趋势。我们相信，在政府深化市场化改革、扩大高水平开放、推动制造业高质量发展、加快建设制造强国的背景下，中国国际机床展览会过去是，未来也将是观察、研究、对接中国机床工具消费市场的最佳窗口和平台。

在CIMT2019展会开幕之际，我谨代表主办方中国机床工具工业协会向来自全球业界的新朋老友们表示热烈欢迎，预祝展会取得圆满成功！



CIMT2019: 全球机床工具行业发展的最新风向标

中国机床工具工业协会

由中国机床工具工业协会主办，并与中国国际展览中心集团公司共同承办的第16届中国国际机床展览会（CIMT2019），将于2019年4月15-20日在北京中国国际展览中心（新馆）举办。届时，作为本年度最重要的世界机床工具盛会，CIMT2019将再次吸引全球目光。

历经风雨30载 机床名展誉全球

自1989年创办以来，伴随着中国经济不断开放和快速发展的脚步，中国国际机床展览会（CIMT）至今已走过了30年的发展历程。在主办方的精心培育、全球范围内展商的热情支持和积极参与、相关合作方与业界同仁的共同努力下，展会规模不断扩大，品牌地位和行业影响力不断提升。作为全球机床界四大国际名展之一，CIMT不仅是展示世界先进制造技术和机床工具产品的盛会，也是推动中外技术交流与商贸合作的重要平台，更是贴近了解中国这一最大机床工具消费市场需求变化的最佳窗口。两年前成功举办的CIMT2017展览会展面积达到13.1万m²，共有来自28个国家和地区的1653家展商参展，吸引了来自82个国家和地区的12.6万观众前来参观采购，现场观众达32万人次。

回顾刚刚过去的2018年，对于行

业企业而言，可谓是压力和挑战剧增的一年。中国汽车产销量出现了28年来的首次年度负增长，加之中美贸易摩擦的风云变幻，不仅给机床工具市场带来了更多的不确定性，更是对机床工具企业的投资和经营的信心带来直接冲击。

新的一年，面对错综复杂的国内

外经济环境所带来的不确定性，以及2018年下半年以来机床工具市场整体持续低迷的严峻挑战，如何准确把握行业未来发展方向，对企业而言就显得更加重要。作为反映市场的晴雨表，CIMT2019也将从一个侧面反映出行业 and 市场的最新发展动态。



CIMT2019主题：“融合共赢·智造未来”

本届展会的主题是“融合共赢·智造未来”。这一主题准确、鲜明地反映了我国机床工具产业市场和产业发展的时代特征，昭示着行业未来的发展趋势。

作为制造业和信息技术深度融合的产物，“智能制造”这一概念与信息化技术的发展相伴而生，发展迅速。随着大数据、云计算、人工智能、区块链等数字技术的日渐成熟，产业的传统竞争逻辑正在发生深刻的变化。人工智能和先进制造技术深度融合这一发展趋势，已成为全球制造业的共识。作为智能制造的主战场，机床工具行业正面临着全方位的深刻变革。

近年来，面对挑战与变革，一批国内外机床行业企业准确把握技术发展趋势，及时调整经营策略，从供给端入手，深挖客户需求，研发相关产品，从而获得了新的发展动力。即将召开的CIMT2019展会，国内外参展企业将通过最新的技术和产品，展现机床工具产业的崭新面貌，生动诠释

释展会主题——“融合共赢 智造未来”的丰富内涵。

展会规模再创历史新高

CIMT2019将使用北京·中国国际展览中心(新馆)全部8个室内展馆(E1、E2、E3、E4、W1、W2、W3、W4)，以及6个临时展馆(E5、E6、E7、E8、W5、W6)，展出总面积达14.2万m²。截至目前，共有来自28个国家和地区的1700多家机床工具行业制造商报名参展，其中境外展商874家，境内展商838家，展出面积各占50%左右。展会规模再创历史新高。全球范围内的知名机床工具制造商将携其最新技术和产品悉数到场。其中，德国、美国、英国、瑞士、意大利、韩国、西班牙、日本、捷克、印度、法国、中国台湾、中国香港等13个国家和地区的机床协会和贸促机构将组团参展。

为最大程度地确保展商和观众的参展与观展效果，集中展示行业热点产品技术，展会主办方将在往届的基础上，继续沿用国家展团与展品分类相结合，境内外展区交叉分布的方

式。同时，设立成形和激光加工机床、工业机器人与自动化，以及刀具/工夹具/工具磨等专业展区，境内外展商混合布展，同台竞技。此外，设立数控机床专项成果展区和院校之窗展区，以加强和促进机床行业产学研用各方的交流与合作。

根据最新统计，本届展会的展品水平和品种、规格的覆盖面均创下新的水平。数万件展品中囊括了主机、功能部件、数控系统、量仪量具、机床电器以及刀具、附件等产业链主要产品范畴。其中主机产品包括金属切削类、金属成形类、特种加工类，以及三坐标测量机、火焰切割等其他类型设备。物联网、人工智能、机器人、增材制造等热点技术将成为关注焦点。

国际交流和行业活动引人关注

为充分满足不同类型和不同层次参会人员的需求，展会主办方围绕展会主题，将组织丰富多彩的主题活动，最大限度地提升观众的观展体验。主要活动包括以下方面：



1. 2019机床制造业CEO国际论坛

4月14日上午,展会主办方——中国机床工具工业协会将在北京举办2019机床制造业CEO国际论坛。论坛将邀请美国、德国、日本等机床协会代表及中国机床工具界知名企业代表,重点就融合、互联互通及智能制造方向等内容进行深入探讨。届时,150位全球机床业界企业家、用户领域企业家和部分专家学者、媒体代表将参加论坛活动。

2. 2019年国产数控机床应用座谈会

4月15~16日,2019年国产数控机床应用座谈会将在北京召开。会议由国家发展改革委员会、工业和信息化部、国家国防科技工业局委托中国机床工具工业协会、中国和平利用军工技术协会具体组织和承办。

会议将通报当前形势与相关支持政策、行业发展和需求现状,发布国产高档数控机床推荐目录、数控机床专项成果、数控机床需求指南,进一步明确和细化数控机床应用效果评价要求,并通过参观CIMT2019机床展和数控机床专项展,考察国内外数控



机床产业最新发展,推动供需双方深度交流。届时将有80余家国防军工企业、50余家机床制造企业代表参会。

3. 数控机床专项成果展示

受工业和信息化部装备工业司委托,中国机床工具工业协会将在展会同期举办第九届数控机床专项成果及应用展。该展区设在展馆东连廊南侧。本次专项展主要以图文方式,宣传和展示专项实施以来,行业在基础研究以及高新产品研发方面取得的成果,以及在重点领域的应用案例,将

对社会各界了解专项进展、成果及其应用发挥积极作用。

4. 数控机床互联互通协议标准(NC-Link)应用成果展示

目前,中国机床工具工业协会组织行业企业开展的《数控机床互联互通协议标准与试验验证》智能制造专项课题研究成果——NC-Link互联互通协议标准已经进入实际应用阶段。该标准的研制为我国数控机床互联互通建立了一套统一的标准,对我国智能工厂、智能车间的建设、智能生产的推进必将带来巨大的促进作用。为了展示我国数控机床互联互通标准的研究应用成果,中国机床工具工业协会将组织专项参与单位在CIMT2019机床展上,开展NC-Link互联互通协议标准的宣传推广工作。中国机床工具工业协会将布置专用的展台,展示NC-Link的代理服务器、适配器、数控系统及相关软件,与展会上的数控机床展品等设备及远程客户的数控机床进行NC-Link互联互通协议标准的应用演示,并展示全套解决方案。

5. “院校之窗”专题展区

为促进企业与大专院校的技术交流与合作,推动行业转型升级,本届





展会将继续设置“院校之窗”专项展区。展区设在展馆东连廊北侧。清华大学、天津大学、南京理工大学、大连理工大学、大连工业大学等5家国内院校将各自展示其前沿和实用的机床、工具及制造工艺技术。

6. 国际化经营座谈会

中国机床工具工业协会将于4月17日上午举办“国际化经营座谈会”。会议旨在使行业内企业通过实施跨国经营战略，推进转型升级和提升品牌影响力，并为企业搭建专门进行海外并购交流的平台。本次会议将邀请来自美国、印度、印尼、欧洲等地专家，介绍有关全球及区域市场信息、中国企业在国际经营中的机遇与挑战，以及全球机床及零部件供应平台的优势等信息。届时，会议还将安排部分中方企业进行相关经验交流。

7. 2018年度四项“行业十佳”会员企业表彰结果发布

为反映会员企业在开展企业技术创新、质量提升等方面所取得的成效，中国机床工具工业协会启动开展了2018年度机床工具行业“自主创新十佳”和“产品质量十佳”评定工作。同时，为了展示行业发展水平和实力，向用户行业和海外推介行业优秀企业，机床协会结合年报统计工作同步启动了2018年度行业“综合经济效益十佳”和“产品出口十佳”评价工作。四项“行业十佳”最终结果将于2019年4月15日下午在展会举行的颁奖仪式上公布。

8. 各国家和地区机床协会领导人联席会 (Networking Party)

4月17日在北京古北水镇举办各国家和地区机床协会领导人联席会 (Networking Party)。预计将有16个国家和地区机床协会的20余名代表出席会议。会议将交流各国家和地区机床生产、消费及市场情况。会后，还将进行包括海外机床协会、贸促会及组展机构相关人员在内的约100人的互动交流。

9. 技术交流讲座

展会为广大观众提供了众多的技

术交流讲座活动，最大程度地丰富观众的参展体验，同时也满足展商的宣传推广要求。截止目前，主办方已经收到47家企业申报的76场技术交流讲座，其中境外企业申报56场，境内企业20场。

CIMT助力机床工具行业高质量发展

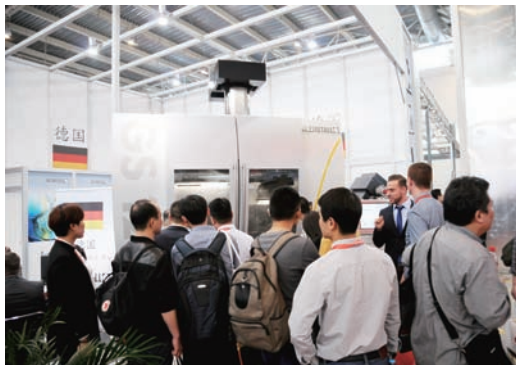
CIMT展会自创办以来，与中国机床工具行业一起发展壮大，在促进中国机床工具行业的技术进步，加强对外交流与合作等方面发挥了积极的推动作用。

面对当前复杂多变的外部市场环境，以机床工具产业为基础的中国装备制造业也受到了越来越多的关注。2018年底召开的中央经济工作会议，把“推动制造业高质量发展”作为2019年要抓好的第一项重点工作任务，体现了国家层面对制造业发展的高度重视；在刚刚结束的两会上，国家又将制造业现行的增值税税率从16%降至13%。这些举措更加坚定了广大机床工具行业企业努力奋斗、振兴行业的信心和决心。

作为兼具融合与开放理念的全球性展会，CIMT2019将紧密贴合世界经济与技术发展的时代背景，以“融合共赢”的大平台思维，在各个层面上服务于展商和观众，积极推动各方在产、学、研、用方面的有效融合。

作为CIMT主办方——中国机床工具工业协会，将秉承行业融合、共赢发展原则，加强国际间的交流与合作，不断推进行业技术进步和发展。

我们有理由相信，在有关政府部门的关心、指导和支持下，在广大中外展商的热情参与，以及合作伙伴的紧密配合下，CIMT将继续助力中国机床工具产业高质量发展进程。□



CIMT2019五大看点

中国机床工具工业协会

第16届中国国际机床展览会（CIMT2019）将于2019年4月15-20日在中国国家展览中心（新馆）举办。展出面积14.2万m²，来自全球28个国家或地区的1700多家展商携10000多台套机床工具产品共襄盛会。届时，国内外著名机床工具企业悉数到场，其中德国、美国、英国、瑞士、意大利、西班牙、法国、捷克、日本、韩国、印度、中国台湾地区等12个国家和地区的机床协会和贸促会等机构组团参展，CIMT2019将再次成为全球机床工具行业关注的焦点。

CIMT2019展会以“融合共赢，智造未来”为主题，旨在促进境内外机床工具企业之间、机床工具企业之间、机床工具企业与合作用户之间的交流和合作，探讨未来智能制造之路。

结合部分展商提供的展品资料，归纳总结出以下展会看点，供读者参考。

一、新品荟萃，尽显市场需求

创新是引领发展的第一动力，也是打造品牌的强大动力。面对日益激烈的国内外市场竞争，唯有不断创

新，一个国家才能够立足不败之地，一个企业才能够实现发展壮大，一个品牌才能够做到长盛不衰。

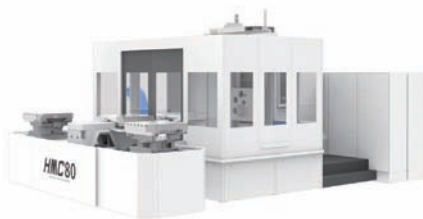
CIMT——中国国际机床展览会，一直是国内外机床制造企业展示其创新产品，演绎其创新能力的国际大舞台。这些产品创新体现在结构改进、功能的扩充和提高、性能改善、操作宜人、自动化操作、功能软件的扩充等诸多方面。本届展会上，众多新产品、新技术竞相纷呈，将吸引全球制造业的目光。

济南二机床集团有限公司的定梁龙门镗铣加工中心XHS2425×50，是在结合国外先进技术的基础上开发研制的系列产品。采用固定龙门框架，移动工作台（X轴），滑枕式主铣头可随溜板在横梁导轨上水平移动（Y轴）；亦可沿溜板导轨垂直移动（Z轴）。机床具有铣削、镗削、钻削、刚性攻丝、铰孔等功能，适用于汽模、能源、轨道交通、航空航天、兵



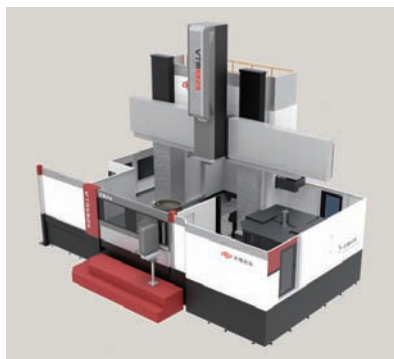
器、船舶等行业的大、中型零件的加工。配备附件铣头后可实现工件的一次装夹，五面加工。

秦川机床工具集团股份有限公司的HMC80卧式加工中心，是在继承瑞典SAJO机床优点的基础上，结合秦川机床精密制造优势研发的一款产品。该机床为四轴联动的高精度卧式加工中心，机床主轴转矩大，快速响应特性佳。适用于加工箱体类、盘环类、板类、轮轴类等零件。可根据不同用户的需求选配不同工位数的工作台交换装置。



武汉重型机床集团有限公司的工作台移动双柱立式铣车加工中心VTM5925X20/16，配有一个右数控车铣复合刀架。适合于各种铸铁、钢及合金、有色金属、非金属材料等的粗精车削，可以加工内外圆柱、内外圆锥、平面、沟槽、螺纹以及各种旋转曲面。滑枕内置铣轴，在配置一定的附件后，还具有铣、镗、钻、攻丝等功能。主要适用于冶金、矿山、

能源、电力、船舶、交通等行业大型、特大型回转体类零件的粗加工、半精加工、精加工。机床具有良好的系统刚性及高精度、高效率、高稳定性及可靠性。



北京广宇大成数控机床有限公司的RV减速器摆线针轮专用机床GY-008-400, 采用三面静压闭式导轨数控静压工作台, 有良好的静态、动态、热态刚度与精度, 立磨头为高精度动静压电主轴, 四个数控轴采用光栅尺进行全闭环控制, 双磨头通过金刚石滚轮对其不同的修整, 分别完成一对摆线轮的磨削加工。通过不同的工艺参数及砂轮选型, 可实现对钛合金、高温合金、不锈钢、9310 钢等不同材料的摆线齿和精密轴承孔加工。

北一旗下的C. B. Ferrari公司推出的立式五轴联动加工中心ML 45, 采用直线电动机驱动, 三轴进给速度60m/min, AC轴摇篮式工作台采用力矩电动机驱动, 具有高速、高定位精度、高重复定位精度的特点, 动态性能高。直线电动机和电主轴的温度控制系统, 保证了机床的热稳定性。非常适用于高速加工一些高精度的复杂造型的零件、型腔、型芯和电极类零件。

GROB的G320双主轴卧式加工中心, 首次在中国展出, 专为汽车工业批量化生产而设计的模块化加工中心, 各运动轴被分别设计在刀具和零件上。这种分离式的轴系统使格劳博

能够根据模块化原理以高度紧凑的方式设计加工中心。机床占地面积小, 动力强劲, 高速高效, X、Y、Z轴快移速度分别为95m/min、75m/min、100m/min。换刀时间2.4s。



埃马克(中国)机械有限公司太仓分公司的大型盘类件立式车削中心VM 9, 是埃马克模块化机床系列的最新产品, 专门为加工直径达450 mm 的大型盘类件而设计。根据所需的BMT 或VDI 刀座, 加工时提供带8 个或12 个刀位的刀塔。刀塔可以配备动力刀, 用于执行钻孔等操作。集成的测量头保证了一贯高质量的工件, 从而确保工艺可靠性。



扫描二维码看视频

新日本工机株式会社的五面体龙门加工中心NeoV-5M, 以大型工件的重切削为加工对象, 工作台宽度2500mm。该机床通过有限元分析升级, 优化了机床的结构, 在不降低机

床刚度和精度的条件下, 减少了机床的重量; 在立柱上安装热平衡板, 降低了环境温度变化对机床的影响; 新设计的高强度球墨铸铁方形滑枕, 采用重心驱动, 保证了Z轴800mm行程的情况下能够实现重切削。该机床还可选配“Intelligent PC”软件, 可监视机床的工作状态以及操作/报警信息, 从而实现远程维护和分析; 还可以选装防碰撞功能(Si-Stop)以及刀库装刀检测功能(Si-ToolCheck), 避免发生一些人为的错误。

西班牙尼古拉斯克雷亚集团公司的落地镗铣加工中心AXIA-100, 配正交自动铣头, 采用了箱中箱式结构技术, 绝对对称式主体结构设计, 热传导均匀扩散, 左右移动速度一致, 超大尺寸立柱和滑枕, 戴姆勒转台, 自动换头机构, 全闭环, 带光栅尺, 铣头、滑枕、立柱三套温度监控及自动补偿系统, 还结合了创新机械滑枕下垂校正系统与滑枕导向系统。



湖北三环展出的高速折弯单元DYNA-Cell, 由一台紧凑型高速折弯机DYNA-Press 40/15 Pro和一台关节工业机器人组成, 用于中小规格零件的快速、经济、高精度折弯加工。机器人可快速检测工件并准确地将它们放入和拿出折弯机, 当对小型工件进行大批量的折弯时, 可保持8小时的无操作人员干预。机床内集成了CADMAN®软件, 折弯程序编写和机床调整时间均小于10min。15inTouch-B触摸式图形用户界面控制直观而且易用。

通快（中国）有限公司TruLaser Cell 5030三维激光加工中心，入门级三维切割系统，五轴联动，切割头可绕C轴做360°旋转，绕B轴做135°摆动，从而实现三维空间加工。它将激光3D切割、焊接和激光金属熔覆复合在一台机床上，并且能够更具需要灵活自由地切换。为运行固体激光器而开发的二合一光纤实现仅用一根激光光缆焊接和切割。在两种工艺之间切换时，仅需交换激光加工头，系统控制器将自动调整激光束，控制系统还能够自动识别已安装哪种加工头，以便能够快速无误切换加工头。



匡德机械科技（上海）有限公司的橡皮囊钣金成型设备，仅需下模即可完成金属成型加工，低成本、高效率，适用于小批量多品种各种金属材料的成形加工，如钢材、铝合金、碳钢、钛合金、高温合金、高强度合金等。其上模为一个柔性橡胶隔膜，通过超高压的液压压力推动隔膜，使金属件在下模中成型。得益于超高的压力（80~140Mpa），成型产品质量非常可靠，复杂形状工件可以一次成



扫描二维码看视频

型，大大减少工艺流程及生产时间。同时，由于只需要一个下模，模具成本也将大大降低。如果批量不大，甚至可以采用硬木或硬塑料生产模具，非常方便修改产品设计。

瓦尔特（无锡）有限公司新一代XT系列铣刀，有面铣刀、方肩铣刀，可满足客户对于各种工件材料的方肩和平面加工的所有需求。新一代XT系列铣刀以提高生产效率和确保工艺稳定性为关注点，通过刀具角度的优化，刀片的定位面更大，降低了刀片槽定位面的压力，整体支撑强度增加40%，耐冲击性更好，同时刀片横截面积更大，不容易崩刀，从而工艺安全性大大提高。



伊斯卡带来的新的LOGIQ系列刀具，包括铣削、车削、和钻削解决方案。LOGIQ铣削解决方案包括坚固耐用的铣刀片、铣刀头，具有更强大的加工能力；LOGIQ车削解决方案以降低切削载荷，产生更细小或更宽的切屑，解决了加工振动问题，具备通流高压冷却射流的能力；LOGIQ钻削刀具概念因其高精度、刀头高重复定位



精度而能提供前沿的高生产率解决方案，进而缩短加工周期，能胜任生产制造高端机械零部件的任务。

二、聚焦定制产品，深耕用户工艺

机床工具市场充分开放，竞争激烈，产品同质化现象非常严重。为了在激烈的竞争中脱颖而出，聚焦用户服务领域，深耕用户生产工艺需求，为用户提供定制化产品和系统解决方案，已成为企业赢得更多市场份额的重要手段，从而催生出一批批优秀的产品和服务。

中国航空制造技术研究院针对薄壁、弱刚性的飞机框梁以及复杂结构的机匣类零件的边缘、内/外转角、腹板表面和复杂腔体曲面的去毛刺、倒角/倒圆、工艺搭台及飞边去除、刀纹及刀痕去除等加工要求，自主开发的机器人柔性打磨系统MTI-DBR2000-REC，以柔顺磨抛控制、动态感知等技术为核心，集成了打磨轨迹规划仿真与离线编程软件、零件基准与特征识别系统、柔性磨抛末端执行器与磨抛工具、柔性工装与夹具、除尘与防护系统等软、硬件，可针对不同结构、材质与磨抛质量要求，提供定制化解决方案，从而实现复杂结构零件自动化、智能化磨抛加工，有效解决人工打磨抛存在的加工质量不稳定、一致性差问题，同时改善人员工作环境，避免职业健康危害。

中国航空制造技术研究院还针对大尺寸复合材料壁板研发了机器人专用恒力执行器FCDM-01，可以在工件表面施加恒定的精确压力，并可自适应工件形状，进行摆动仿型，对复杂曲面的大尺寸工件实现高质量打磨。

成都普瑞斯数控机床有限公司针

对航空发动机叶片加工开发的五轴叶片加工中心PC500,应用了多个专利技术,各轴系的运动质量分布均匀,有很好的加速性能和动态响应特性;A轴双驱结构设计,避免了叶片尤其是薄型航空叶片受到轴向的外力而变形,提高叶片的加工刚性;Z轴双驱结构设计,确保在加工过程中意外停电时叶片随Z轴下移,避免刀具损坏叶面,保护昂贵的叶片。

瑞士斯达拉格公司的高精度车铣复合加工中心S181,双工位的设计,五轴联动,主轴转速30000r/min和大量刀库,能满足最大到棒料直径32mm的复杂零件的加工。适用于航空发动机燃油机构一些耐高温、高硬度材质几何形状复杂的零件的加工,还适用于医疗器械、钟表等精密零件的加工。



西安中科微精光子制造科技有限公司的五轴激光加工设备MicroDrill100主要针对航空航天领域的关键小型零部件的超精细冷加工而开发。可实现各类金属、非金属、特别是复合材料表面的各类微结构的加工,如通孔、异型孔、盲孔、微腔、



型腔、异型槽等复杂形貌微结构,特别适合于航空发动机叶片气膜孔的高品质高效制孔。

南通麦斯铁数控机床有限公司的为汽车横/纵梁板数控冲孔柔性加工生产线MPFMS1212,是专门为汽车的纵/横梁平板梁或U型梁而设计的一种高效、高精度的自动化孔加工设备,适用于各种规格的汽车的纵/横平板梁或U型梁的冲孔加工。上料、下料、板料的定位及送进、模具的选择、冲压过程的实现以及故障报警等均能够通过数控系统控制自动完成。连续冲孔工作节拍为6.5min/件纵梁。



扫描二维码看视频

沈阳众一智能装备科技有限公司的UD360数控正倒立车自动生产线,正倒立车采用主轴立式置(一正一倒),分别配有独立对应的刀塔,双主轴具备自动拾取功能,实现工件自动装卡和自动交换,从而自动完成工件的AB两端面和内孔外圆的加工。根据零件加工工艺,正倒立车后面可串联钻攻中心,同时自动完成工件的钻孔攻丝工序。设备前后还配有自动上下料线,由此组成此自动生产线。

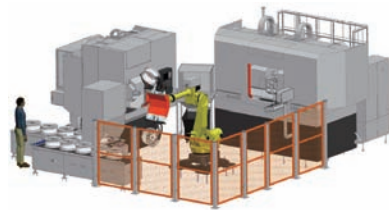


主要针对于大批量加工盘类件如制动盘、飞轮、制动毂、法兰盘、齿轮、短轴等。

上海机床厂有限公司的双砂轮架数控切点跟踪曲轴磨床MK8220/SD,针对乘用车、货车的动力总成的曲轴磨削加工进行了配置,适用于发动机曲轴生产线中四缸机、六缸机的曲轴磨削。为此,CBN砂轮技术和随动磨削技术已成为该机床的标准配置。X轴、Z轴运用了直线电动机驱动技术,采用了静压导轨,为随动磨削能提供高性能的动态特性;采用金刚滚轮修整陶瓷结合剂的CBN砂轮,AE监控自动修整,提高了加工效率;机床采用十字拖板移动式布局,减少了设备的占地面积;使用双砂轮架,在一次装夹下能同时磨削曲轴主轴颈和连杆颈,缩短了加工节拍;其它还配备了在线测量、自定心中心架、切削液过滤装置、烟雾集尘装置。该机床目前在上海通用汽车发动机生产车间与进口机床并线使用。其加工节拍、加工精度、可靠性均能与进口同类设备相媲美。



浙江日发精密机械股份有限公司为轮毂的加工专门开发了立式数控车床RFCL63-D和RFCL63-V,其中RFCL63-D为双刀塔立式数控车床,这两台数控立式车床与一台关节机器人组成一条汽车轮毂自动生产线,可



完成13~26in汽车轮毂的自动加工，并可拓展钻孔设备、检测设备等，实现汽车轮毂的全自动加工及检测。

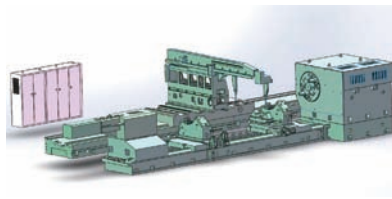
济南第一机床有限公司的轮毂自动生产线J1RAL-P，主要由两台卧式专用车床J1WL-800、一台立式加工中心J1VMC540W，一台关节机器人组成，还有轮毂中心孔检测机、吹气清洁箱。可自动完成14~22.5in轮毂的加工，以及中心孔尺寸误差检测和反馈，并根据需要实现自动补偿，实现生产线的自动循环加工。



重庆机床(集团)有限责任公司研究了汽车变速箱齿轮热后清洗、啮合检测、打标、分拣典型工艺流程，结合成熟清洗、检测技术和设备，基于精益生产思想上，通过优化工艺流程，融合信息技术，最终形成具有齿轮自动化清洗、双啮检查、打标、分拣功能的清洗双啮自动线。该自动线采用标准化和模块化设计，易于装配和扩展；应用快换技术、柔性模块，既适应大批量生产又可实现多品种小批量生产；整线配备现场管理和智能监控信息系统，对生产数据进行实时分析和追踪，以实现设备效率提升、产品质量追溯和整线动态实时监管，做到生产有记录，过程可监管，数据有分析，信息可查询，流向可追踪，责任可追究，实现整线高自动化、智能化和柔性化。

天水星火机床有限责任公司的数控万能轧辊磨床MK84160/63，针对钢铁行业2550热轧生产线上各种轧辊的高效自动化磨削加工而开发的设备，具有在线检测、自动安装误差找

正、在线探伤、在线动平衡，软着陆、齿轮翻箱、轴承箱顶持、静压中心架、带箱磨削等多种功能，可以磨削正弦曲线、圆柱曲线、对称组合曲线、锥度曲线、CVC曲线等任意曲线的轧辊，且可以实现最高8~12次方曲线轧辊的磨削。如热轧线中不带轴承座的粗轧机及精轧机支承辊、带或不带箱磨削的粗轧工作辊、带或不带轴承座的精轧工作辊、带轴承座的卷取机的夹送辊及立辊等。



针对箱体类零件的加工特点，四川普什宁江机床有限公司开发的柔性生产单元FMC50，具有完备的自动化解决方案和信息化解决方案。柔性单元由1台THMC6350精密卧式加工中心、搬运小车、12工位立体托盘库、工件装卸站、总控及其它辅助设备组成，以搬运小车回转中心为圆心呈圆周分布，托盘台面500 x 500 mm。适用于各种箱体类零件加工，由搬运小车自动进行托盘(零件)的自动出入库和上下料，自动选择程序进行零件加工，可24h连续自动化多品种混流工作。

针对小型精密零件加工领域的高精度高品质表面的需求，大昌华嘉香港有限公司展出的汉布雷格Mikroturn 100超精密车床，主轴跳动0.1 μm，采用静压主轴、静压导轨、恒温循环静压油，可极大减少加工过程中的振动；主轴和导轨无磨损，长久保持精



度；保证机床的热稳定性，机床静态、动态刚度高，适用于环类、盘类、棒料等回转类零件淬火后的以车代替精磨加工，以及同类零件的超精密加工和超高表面粗糙度加工。加工68HRC的淬硬零件，表面粗糙度Ra0.1~0.4 μm，几何精度0.2~2 μm，尺寸精度：< 2 μm；车削有色金属可实现镜面车削(Ra0.01 μm)。

Schaublin车磨复合机床202TG，可一次装夹实现车削、铣削、和磨削的加工。主轴跳动0.5 μm，精度好、效率高；根据用户需求，可提供4种不同的组合配置。

科恩超微型加工中心Kern Micro，五轴联动，定位精度2 μm，重复定位精度1 μm，分辨率0.1 μm，适用于淬硬钢、硬质合金、陶瓷材料的高精度、高表面质量加工。可以选配智能温度控制，使切削液、电柜、主轴和所有直线轴等重要机床部件确保20℃恒温。

日本安田公司的微细加工中心YMC430，定位精度0.5 μm，三个直线轴采用直线电动机驱动，高刚性左右对称框架结构，立柱、主轴、工作台等各处采用恒温循环冷却，从而实现长时间运行的高精度及精度稳定性。

牧野机床的超精密加工中心iQ300，主轴采用中心冷却，恒温冷却系统，有效地控制了高速加工过程中的温升，振动抑制技术，集成了刀具长度测量系统等措施，可实现亚微米级的加工精度，还可实现镜面加



工。在车灯模具以及手机光学部件模具领域，汽车导光条的镜面加工领域，得到广泛应用。

德国索菲纳NANO超精研磨机床专为燃油喷射装置组件（如架体、喷嘴或阀板）中密封面的加工设计研发，还可对变速器中的行星齿轮进行加工。索菲纳Nano在平面超精研磨加工领域应用范围极广，包括极其多样的喷油组件、变速器组件、液压系统、滑动轴承以及电机组件，都可完成纳米级别的极小公差和最大柔性的超精研磨加工。



根据小型复杂类零件的大批量生产的需求，机床制造企业推出了各自不同的解决方案。

株式会社FUJI展出的模组式加工设备DLFn，将各种机械和装置模组搭载在规格化平台上，搭建不同的生产线，以最小的空间获得最大的生产能力。这些模组包括车削模组和钻铣模组，以及在线检测、激光打标、清洗、上下料等模组，单模组宽度仅450mm。DLFn配置由FUJI独自开发的控制器UNICORN，加工模组加工、检测、搬送都由统一的控制器操控，实现便捷操作。



朗快智能科技（杭州）有限公司的卧式多工位旋转双面加工组合机床TG0800301，自动上下料、多工位转台，刀具中心高压内冷，实现小型复杂形状零件的大批量高效完整加工。占地面积小，生产效率高。



扫描二维码看视频

普什宁江的双主轴数控纵切自动车床CK1104VI，适用于各类微小零件的高精密加工，最大加工棒料直径4 mm，最大加工零件长度30 mm。采用棒料进行连续上、下料自动循环加工。一次循环可完成零件正面、背面和横向的各种车、铣、钻、镗等加工，配置专用附件还可实现极小模数齿轮的一次成形加工。



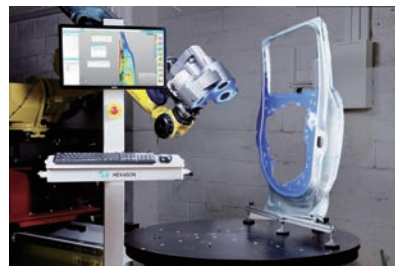
无论是《中国制造2025》的要求，还是企业自身提质增效的需要，制造业企业都面临着检测自动化的挑战。为此，量具量仪企业各尽所能，推出各自的自动化检测解决方案。

海克斯康测量技术（青岛）有限公司的车间智能加工检测自动化方

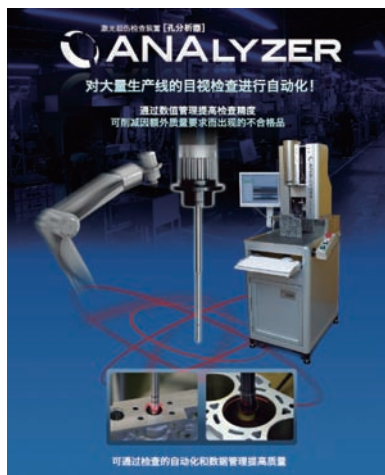
案，集成了车间型测量机、在机侧头和对刀仪、机器人、加工中心以及CAM和SPC等多种软件技术，具备“自动化”“统计分析”“趋势预测”“闭环补偿”等许多项先进和创新技术，将测量室转移到生产车间现场，彻底解决人工检测低效率工作模式和加工质量控制难题，在生产线多产品快速切换的节拍下，检测效率仍可提高2~3倍，是创新性智能工厂中质量环节的智能检测手段。



除“车间智能加工检测自动化方案”外，海克斯康还将针对汽车制造、航空航天、极限制造等行业的需求，展出汽车门自动化蓝光拍照式检测方案、便携式激光扫描汽车尾翼检测方案、GLOBAL S动力总成检测方案、整体叶盘超高精度智能检测方案、微小零部件以及大尺寸工件等检测方案。



重庆盟道工业技术有限公司展出的日本sigma公司的ANALYZER III激光智能缺陷检测设备，用于非接触检测缸体内壁表面缺陷，如划痕、裂缝、气孔等，最深可以检测200mm深孔。所有检测数据和缺陷信息一同被保存，还可以反馈到加工系统，以便加工工艺进行改善。检测仪可以集成到用户的生产线中，实现在线检测和反馈。



二维码看视频

为应对新能源汽车的快速发展，卡尔蔡司(上海)管理有限公司推出了电机的整体测量方案。电机作为新能源汽车的核心动力部件，与传统的内燃机发动机有着截然不同的要求，蔡司作为整体方案提供商，在新能源汽车——特别是“三电”——有着全套解决方案。例如：针对高磁的长探针高精度测量方案，在线快速百分百检测，工业CT测量电池等。

三、智能技术，夯实制造基础

智能制造技术是在现代传感技术、网络技术、自动化技术、智能技术等先进技术的基础上，通过智能化的感知、人机交互、决策和执行技术，实现设计过程、制造过程和制造装备的智能化，是信息技术和智能技术与装备制造过程技术的深度融合与集成。

智能制造是世界制造业未来发展的重要发展方向，智能机床是实现智能制造的基础。融合了各种智能技术的智能机床在本届展会竞相迸发，大

展风采。这些智能技术以设备功能、控制系统和软件、检测装置、制造工艺专家系统为载体，成为企业参与市场竞争新的制高点。

瑞士+GF+公司展出的五轴立式加工中心Mikron P 800 U，具有多项智能功能，如智能热补偿（ITC）、防碰撞（MSP）、电源故障保护（PFP）、主轴振动监测（ISM）、五轴智能热补偿（ITC 5X）、操作辅助系统（OSS）等，保障机床的高精度、高性能高效率加工。

DMG MORI公司的DMU 50 3rd Gen.五轴立式加工中心，较之前的二代，增加了三轴行程和B轴的摆动范围，搭载了DMG MORI公司特有技术循环，刀具监测、退刀循环、高效生产、振动抑制、防碰撞、3D quickSET以及铣齿加工。这些技术循环能给用户提供加工编程帮助，缩短编程时间，保证正确的程序结构，提高用户的生产力和安全性及机床的加工能力。



如防碰撞MPC 2.0（Machine Protection Control），通过主轴上的加速度传感器，监测加工过程中机床的非正常振动，在0.01s之内紧急停止机床运动，避免机床主轴损坏。通过这个功能也可以诊断主轴轴承的工作状态，预先检测到轴承的损坏情况，进行预防性维护。

振动抑制MVC（Machine Vibration Control），通过主轴上的加速度传感器检测机床的振动，系统根据检测到的振动频率调整主轴转速，从而抑制机床的振动，同时在显示屏上显示若干种加工状态。

3D QuickSET，通过测头和校正球测量和修正五轴机床旋转轴的位置误差。这个功能可以自动测量几何误差，并将测量结果自动反馈到系统参数，对误差进行修正。用户在进行高精度加工前，可重新校准机床，避免产生废品。

高效生产（Efficient Production Package），复杂零件高速加工的辅助编程。高效生产功能以程序包的方式提供，包括20个车削固定循环，16个铣削固定循环，其中包括一些难加工材料的加工程序包。高效生产程序包采用会话式编程方式，能大幅减少编程时间。功能丰富的固定循环，还能大幅缩短加工时间。

日本大隈公司展出的五轴立加MU-5000V、车铣复合MULTUS U3000、龙门加工中心MCR-S 30×50等多台设备，搭载了该公司的多项智能技术，如“热亲和”“防碰撞”“加工导航”“伺服优化”“五轴调整”等功能。



“热亲和”功能（Thermo-Friendly Concept），这是机械设计与数控技术的融合。其概念是接受温度的变化，允许规则的热变形，抑制复杂的扭曲、倾斜热变形，并可预测变形。再通过数控系统OSP的“高精度热位移控制技术”，准确控制室温变化，由转速频繁变化所产生的主轴热位移以及切削液的有无所产生的变化都可以得到准确控制。

防碰撞功能（Collision Avoidance

System)，数控系统OSP中内置了工件、刀具、卡盘、卡具及主轴台、刀塔、尾座等的3D模型，在实际操作前，数控系统对机床运动进行实时模拟，在发生碰撞前停止机床运动。

伺服优化（SERVO-NAVI），通过测算工作台上工件、夹具的质量，自动优化包括加速度在内的伺服参数，在维持加工精度的前提下，缩短加工时间；调整伺服参数匹配溜板的阻力，保持机床的长期精度；减少机床振动和噪声，提高加工质量。

加工条件搜索（MACHINING Navi），通过机床内部的传感器检测切削振动，自动将主轴转速调节到最佳。

五轴调整（5 Axis Auto Tuning System），使用探测器和基准球测量“几何误差”，并按照测量结果实施补偿控制，进而调整五轴机床的运动精度。由此实现五轴加工精度的进一步提高。

西班牙尼古拉斯克雷亚集团公司展出的AXIA落地镗铣加工中心，具有机械滑枕下垂校正功能，通过牵引拉杆矫正滑枕下垂带来的角度偏差。还具有热变形自动补偿功能，检测滑枕、铣头、立柱的温升，并对温度变化引起的变形进行自动补偿。



二维码看视频

意大利萨瓦尼尼展出的P2 L-21折弯中心，采用一副通用模具就可胜任各种折弯要求，搭载的Mac 2.0智能技术，能够在折弯时检测每一块板材的回弹系数和拉伸强度，并自动补正折弯力度。在大幅提升首件产品合格率的同时也保证了批量产品质量的一致性。



德国雄克公司的智能液压刀柄iTENDO能完整记录工艺的稳定性、实现无人限值监控、刀具破损检测以及旋转速度和进给速度的实时控制。该智能系统配有传感器、电池和传输单元，可直接在刀具上记录加工过程，通过无线方式将数据传输到接收单元，然后通过电缆从接收单元传输到控制和评估单元，在那里对数据进行评估。在加工过程中，智能刀柄可持续分析加工过程，自动调整切削参数，保证稳定的切削加工。此外，智能刀柄还应能够分析刀具的状况以及提高金属的去除率。iTENDO不改变刀柄外部轮廓，也没有冷却润滑剂使用方面的限制，刚度高。



我国机床企业在智能化机床方面积极探索，取得了很大的进展。北京

安德建奇的精密数控慢走丝线切割机AG360T，具有自动穿丝功能，以及丰富的专家工艺库；南京二机齿的数控强力珩齿机，配置丰富的用户珩削工艺软件，可实现自动强力珩齿加工和加工余量自动补偿，智能化夹持力控制和热变形自动补偿；台州北平的六轴数控磨削中心BPX6具有刀具加工程序自动生成功能，并可以模拟加工。

四、工业物联网（IIoT），联通世界与未来

物联网（IoT）是物物相连的互联网。广义理解，物联网包含3个层面，获取信息的感知层、传输信息的网络层、信息计算和处理的应用层。

工业物联网（IIoT）是物联网在工业领域的应用，将感知技术、通信技术、传输技术、数据处理技术、控制技术，运用到产品设计、制造、配料、仓储、售后等所有阶段，实现生产管理及控制的数字化、智能化、网络化，提高制造效率，改善产品质量，降低产品成本和资源消耗，最终实现将传统工业提升到智能化的新阶段。

在本届展会上，我们能够深入地了解和学习到全球机床工具企业在数字化技术、互联互通技术方面所取得的最新成果。

华中数控的iNC智能数控系统，应用大数据可视化、大数据分析、基于新一代人工智能技术，对智能机床的大数据按指令域进行关联分析和深度学习，以及智能机床和零件加工的理论建模和仿真分析结果，形成智能机床的优化控制策略和控制知识，自动积累经验并自我学习提升。系统汇集了内部电控数据、插补数据，以及温度、振动、视觉等外部传感器数据，形成数控加工指令域“心电图”

和“色谱图”；可建立数控机床的全生命周期“数字双胞胎”（Digital Twins）和“人-信息-物理系统”（Human-Cyber-Physical Systems, HCPS），具有自主感知、自主学习、自主决策、自主执行功能。



华中数控的云管家iNC-Cloud是面向数控机床用户、数控机床/系统厂商打造以数控系统为中心的智能化、网络化服务平台。具有工业设备两级组织结构管理、工业设备实时状态监控、生产过程多种统计分析、机床数据扫码上传、多种权限管理等功能，支持工业设备多种联网模式，支持多种存储介质的数据持久化。

沈阳高精数控智能技术股份有限公司的数字化车间管理系统LT-DNC/MDC，具有加工工件程序网络化自动传输与管理、机床加工状态实时采集与监控、加工效率和故障的统计与分析、车间综合信息管理、远程视频监控等功能。系统在为机床操作者提供方便快捷服务的同时，可让管理者实时、精准地掌握车间详细状况，可显著提高车间精益生产能力和智能制造效率。



西门子公司是德国工业4.0的倡导者和践行者，其PLM（产品生命周期管理）软件，包含了丰富的

产品应用程序，将虚拟生产与现实生产环境紧密融合，将计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、产品数据管理（PDM）和制造过程无缝地集成在一起，帮助企业以经济高效的方式对产品整个生命周期，从创意、设计、制造到维修及处理的信息进行管理。PLM既可作为信息战略，也可作为企业战略。作为信息战略时，它可通过整合系统构建一致的数据结构。作为企业战略时，它使企业可以像一个团队那样进行产品设计、生产、支持和淘汰，并在这一过程中不断得到总结和提高，在产品生命周期的每个阶段做出由信息驱动的统一决策。该公司的SINUMERIK 840D SL控制系统可提供完整的网络方案，实现设备与设备、设备与管理人员的互联。

DMG MORI的基于CELOS平台的集成数字化制造解决方案，涵盖了准备、生产、监控、服务四个阶段。通过集成在CELOS平台中的CAD/CAM软件、仿真程序、数字化工具软件以及加工、监控、通信等27个应用程序，实现产品从设计、生产到售后服务的数字化制造解决方案。

格劳博机床（中国）有限公司的展出GROB-NET 4 Industry数字化制造解决方案，是GROB公司数十年的机床制造经验与IT技术高度融合的产



物，其模块化应用程序能够将企业各要素进行优化整合，以最优产能目标进行高质量运作，提供从生产规划、复杂编程、复杂工件加工工艺模拟、设备监控与分析、加工过程可视化到维修保养的全方位数字化解决方案。

巨浪凯龙机床(太仓)有限公司的SmartLine工业4.0数字化解决方案，集成了多个模块化应用程序，可实现数字化、信息化、透明化产品设计与生产管理；优化产品工艺，提高产品品质及稳定性；可与第三方机床控制系统相互兼容；提高生产效率，简化日常生产管理、机床维护。

株式会社FUJI展出的LAPSYS物联网系统，由LAPSYS Monitor、LAPSYS Trace、LAPSYS Connect三个模块构成，可实现加工设备、工厂运行状态的监控，加工品质的追溯性管理。

瑞士斯特拉格集团的集成制造系统（IPS），涵盖了单元控制器、物联网、机床的自我检测与优化、机床保护、人机界面、过程质量控制、效率等多个模块。其中，单元控制器监控所有过程，集中管理与生产系统相关的信息和资源，它直接接受企业ERP系统的生产指令，实现工件从装载和存储原材料，到各种加工步骤，再到最终卸载成品工件的全自动化生产。

语祯物联科技（上海）有限公司的海量设备物联网解决方案由语祯智能硬件（语祯通讯盒子）和语祯物联软件（生产管理系统&设备保障系统）配合使用，基于边缘计算和云计算，与数控系统进行实时通信，实现生产状态/设备状态监控，结合先进的制造管理工具，帮助企业降低成本、提升效率，为企业经营决策提供智能辅助。可适配市场上常见的数控系统。

上海微茗智能科技将传感器技

术、刀具智能管理系统、生产管理软件及互联网平台技术融合应用于车间加工生产,帮助客户实现生产过程数字化、信息化、智能化。

MAZAK的iSAMRT Factory、OKUMA的OKUMA SMART Factory、AMADA的V-Factory,GF公司的WSM车间管理解决方案等从各自对物联网的理解角度,诠释未来智能制造的解决方案。

五、增材制造,创新制造模式

增材制造技术综合了计算机的图形处理、数字化信息和控制、激光技术、机电技术和材料技术等多项高技术优势,可快速制造出任意复杂形状的零件,解决了一些难加工材料结构复杂零件的加工难题,缩短了制造周期,在航空航天以及医疗领域有很好的应用前景。

欧美先进国家将增材制造技术纳入国家战略和规划,将其视为实现制造业回归,提升制造业竞争力的重要载体。

增材制造技术得到了世界各国政府、研究机构、企业的广泛关注,促进了增材制造技术的快速发展。体现在金属激光沉积的层厚更小,成形速度更快,聚合物材料的强度更高,增减材加工复合应用等。

1. 增减材复合,扩展机床的功能

北京北一机床股份有限公司XKR40-Hybrid增减材复合机床,在成熟的XKR40五轴加工中心机床上增加增材制造单元,实现集增材和减材于一体的复合加工。增减材复合机床的切削主轴和激光增材制造单元可实现三轴直线移动,工件装卡在摇篮转台上可实现两个回转运动。应用五轴切削加工技术和激光层积技术、

CAM技术、测量技术,增减材复合机床可完成不同行业具有复杂空间曲面形状零件(如叶盘、叶轮、叶片、模具、传动部件等)的增减材加工和修复,亦可实现由多种材料构成的零件的制造。



2. 新材料的出现,提高零件的强度

美国Markforged研制的新材料Onyx,是一种由尼龙和碳纤维碎片熔融制成的碳纤维加强尼龙材料,其强度是普通尼龙的3倍,热变形温度达145℃。力丰展出的美国Markforged的3D打印机Mark Two,以Onyx为基本材料,据称打印出来的零件强度比传统的ABS材料高24倍,零件表面散发亚光黑漆光泽。

除Mark Two外,力丰还将展出美国HP、3D Systems,波兰Sinterit的多款3D打印机。

3. 完善3D打印系统

3D打印的目标是实现零件的量产,为此,打印材料的预处理和后处理必然需要结合到系统中。

沙迪克公司的金属粉末3D造形和基准面加工的复合加工机LPM325,通过激光扫描金属粉末使其熔化和凝固进行3D造形,并在不改变设置的情况下进行基准面加工。大幅度缩小了造形室内的体积,进一步优化了激光加工过程中产生烟雾的回收方法,

实现了高品质下的造形速度提升。此外,为了改善造型室内的粉末处理工作,配置自动供粉和粉末吸收装置。该机床配置了沙迪克专门开发的数控系统RM4RP,以及CAM软件LS-BEAMS。



4. 打印精度提高

DMG MORI的LASERTEC 30 SLM以选择性激光熔融(SLM/粉床式)增材制造技术为基础,特别适用于轻量化、功能性优化和个性化复杂工件的增材加工,层厚最小可达0.02mm。可加工多种材质的镂空和蜂窝结构,例如不锈钢、钛、铝或工具钢。带粉料回收功能,提高粉料利用率,配置功能丰富的软件RDesigner/ROperator,实现从CAD文件到工艺控制的全面软件解决方案,用户可以快速调整工艺参数。



结语

本文仅以部分展商提供的文字材料为基础,视角和高度局限,管中窥豹,实难诠释展会精彩之万一,见笑于方家。冀以抛砖之作,待诸位专家莅临展会,探索更多精彩。□

CIMT2019部分展品综述（上）

中国机床工具工业协会市场部 周敏森

第16届中国国际机床展览会（CIMT2019）将于2019年4月15-20日在北京中国国际展览中心举办。

做为全球四大机床展之一，得到国内外业内外广泛关注。为使广大读者大致了解展示内容，本文在汇集截止到元月18日止的700余家厂商1500余种展品简介资料的基础上，对部分展品加以粗略梳理，供大家观前预览。

三点说明。第一，本文展品信息源自厂商报展资料，在截止日前因种种原因没有提供资料的展品不包括在内。第二，之所以称作“部分展品综述”，是因为时间有限，人力有限，知识有限，只能逐类分步进行。即便如此，面对如此规模展会，仍不可能做到完全覆盖。第三，文中肯定有不少遗漏或错误之处，敬请厂商和读者谅解。

尽管本篇受种种条件限制，难以对展会全貌做出完整、准确、精致的描述，但足以向读者揭示本届展会宏大、丰盈、精彩的真貌，这样的展会不应错过。

一、总体印象

第16届中国国际机床展具有以下

几个显著的特征。

第一，规模宏大。展出面积达14.2万m²，包括8个主馆和6个临时搭建馆，将展示来自全球28个国家和地区的1700余家展商（报名数）的数万件展品。

第二，产业链完整，展品丰富。展会有如海纳百川，展品囊括了组成产品生命全周期各阶段的各种软硬要素，任何从事制造业的企业和人员都可从中发现找到自己想要的产品、技术与服务。展品包括主机（车削类、铣削类、磨削类、齿轮类——滚/铣/磨/插/珩齿、钻削类、镗铣和铣镗类、锯削、拉削、线切割与电火花类、水切割类、激光切割与激光加工、复合类、冲剪类、折弯类、冲压类、增材制造与增减材复合类等）、功能部件、原材料辅料附件附具、量仪量具、刀具、数控系统与伺服驱动及伺服电机、生产线与加工单元、各类软件与解决方案等。

第三，国际性。这是一届名不虚传的国际性机床展会，来自28个国家和地区的1700余家展商，是全球制造业最发达最知名地区和企业代表，带来了全球机床制造业的最新发展成果。典型的国家和地区

有德国、美国、日本、英国、瑞士、奥地利、意大利、瑞士、瑞典、西班牙、法国、以色列、澳大利亚、韩国以及中国台湾地区等。世界知名机床厂商悉数到场，典型的企业有MAZAK、OKUMA、YASDA、MAKINO、STARRAG、FG、GROB、CHIRON、INDEX、HERMLE、DMG MORI、UNITED GRINDING GROUP、REISHAUER、SODICK、AMADA、TRUMPF、BYSTRONIC、WILLEMIN-MACODEL、RENISHAW、GLEASON、SIEMENS、FANUC、HEIDENHAIN、FAGOR、DOOSAN、CARL ZEISS、济南二机床、北京北一、四川普什宁江、华中数控、广州数控、重庆机床、台湾友嘉等，不胜枚举。

第四，先进性。本届展会是全球最新机床工具产品与技术的集成，精品荟萃，极品云集，经典传奇，同时也深刻反映并揭示了现代工业制造模式的变革与未来发展趋势。如适应工业4.0发展趋势的各类解决方案及软硬件（大数据、云、网络、连接、信息收集、数据分析及应用、可视化、虚拟与模拟等）、集现代多种先进科

技之大成的智能技术、风靡全球方兴未艾的增材制造产品与技术、高速高精高效柔性的设计/制造/控制/集成技术、针对特定加工领域和特定加工需求的专有技术、质量控制与可靠性技术、节能与环保的绿色技术等,让观众深刻领略现代机床制造业与现代科技同步发展的靓丽风采。

二、车削类机床

1. 概况

据已有资料,车削类机床展商近60家,展品100余台。参展厂商有宝鸡机床、南通国盛、江苏哈博精密、浙江海德曼、山东鲁南、四川普什宁江、北京北一、宁波海天、安阳鑫盛、齐重数控、大隈、埃马克(中国)、巨浪凯龙、德马吉森精机、马扎克、SCHAUBLIN、托纳斯、村田机械、洸泽、Star精密、西铁城、株式会社FUJI、台湾友嘉、亿缙机械、台中精机、现代威亚、程泰机械、福硕科技、esco、杭州川禾机械有限公司等。

车削类展品以中小规格为主,种类繁多,主要有卧式(水平和斜床身式)、立式(单柱/双柱定梁)、倒立式、正倒一体式、对置主轴式、平行主轴式、转位刀台式、转塔刀架(固定刀具/动力刀具)式、双刀或多刀塔式塔式、梳状刀架式、刀塔与梳状刀架混合式、瑞士车式、自动车式、旋风车式(esco)、通用类、专用类(非圆车、管螺纹车、轮毂车、中间驱动两端车削式等)、普通精度、精密和超精密类等,联动轴数二至四轴不等。

2. 车削类展品主要技术特色

(1) 刚性。在基础和关(键)主(要)件的结构刚度方面,利用有限元技术进行动静刚度量化设计

得到广泛采用,如德马吉森精机、宁波海天、欧安睦(上海)、程泰机械、凯柏精密的展品。在提升传动刚度方面,用滚柱直线导轨替代滚珠直线导轨成为趋势,如宁波海天、新乡日升、福硕科技、德马吉森精机等产品。在增强接触刚度方面,采用手工刮研传统技艺提升结合面接触刚度的工艺有进一步回归趋势,如程泰机械产品的纵横滑鞍、主轴箱、刀塔、滚珠丝杠支撑座与底座接触面处等。

(2) 自动与效率。双主轴双刀塔或多刀塔同步或同时加工已经成为盘套类甚至短轴类零件加工(如典型的EMAG VT 2-4立式轴类加工车床)的流行机型,且这类展品贯穿于前述多个展品类型中,包括瑞士车和自动车类机床,再辅之以自动上下料/自抓取、料库与成品库、工件传输与翻转或对接、自动机内测量系统等装置与功能,使得生产效率得到成倍增长。

(3) 精度与精度保持性。展品中不乏高精度、精密类产品,如有大家广为熟悉的SCHAUBLIN公司产品,还有我国在超精密硬车车床领域的后起之秀,江苏哈博精密的展品将在广大观众面前惊艳亮相。在“精度”另一重要内涵——精度的稳定和可靠性方面,特别是应对热变形方面,成为越来越多机床制造商关注的焦点。如大隈LB EX系列产品采用的“热亲和”技术,程泰机械的热流平衡与冷却效果极佳的分离式水箱与侧出屑结构设计,德马吉森精机的精密热稳定温控热对称设计,南通国盛的温控散热片

结构主轴箱设计,三锋机器的精密温控主轴箱加冷系设计,喜志高松机械中国首展精密数控车的原始热位移补偿与主轴底座冷却设计,村田机械MW40平行双轴数控机床配置的无需暖机的DDC系统,洸泽可对应热位移的床身结构设计,宝鸡机床BL5-C智能车床具有的热误差补偿功能,欧安睦VTLex915产品的热对称一体式双柱结构以及齐重数控装备产品机床主体大件热对称结构设计,DMG MORI ALX系列在DDS(直驱主轴)和BMT(内置电动机转塔)的夹套循环冷却设计等。

(4) 专用。与通用型车床发展相对应,一些专用机床以其专业高效的特点同样引人关注。

如宝鸡机床的轮毂加工数控车床,齐重数控用于大型精密风电轴承全工序高精度硬车的双柱定梁立式车床,云南精机琥正机械的刹车盘专机,福裕事业股份的非圆活塞加工车,台州屹捷和安徽力成智能装备的轴类零件两端同时车,山东沂水的管螺纹车,远东机械的大规格客车铝轮毂车等。

3. 典型展品

大隈机械(上海)有限公司LB3000EXII数控卧车。主要看点,



“热亲和”技术（长时间连续加工尺寸分散值由 $10\mu\text{m}$ 减少到 $5\mu\text{m}$ ），高精度全数字伺服控制，电主轴、高频淬火矩形滑动导轨，X/Z轴快进速 $25/30\text{m/min}$ ，仅需 0.1s 分度定位的独创的PREX电机驱动的刀塔。

村田机械株式会社的MW40、MW200EX平行双主轴数控车床。主要看点，平行双主轴，两面同时加工，工序集约—毛坯到成品在一台机床完成，搭载桁架式机械手自动完成物料自始至终的流动，众多的加工实绩。



Star精密株式会社的SR、SB系列瑞士车。主要看点，主/副主轴，两面同时加工，工序集约—毛坯到成品在一台机床完成，丰富可扩展的刀组配置和强大的背面加工能力。

埃马克（中国）机械有限公司太仓分公司的VT 2-4倒立式轴类加工车床。主要看点，倒立式主轴配双刀塔和尾座，双刀塔在工件两侧同时切削，两个刀塔的夹持器分别完成上下料动作，时间重叠，用时极短。



埃马克（中国）机械有限公司太仓分公司的VL 1 TWIN双主轴车削中心。主要看点，同一加工区内配置两个主轴，同步加工两个相同的工件，两个工件的直径和长度可单独修正，集成的工件输送系统，X轴直线电机驱动并闭环控制。



巨浪凯龙机床(太仓)有限公司VDZ 100DS 舍勒双主轴倒立式车削中心。主要看点，同一加工区内配置两个主轴，同步加工两个相同的工件，两个主轴分别配置两个独立床身，聚

合物复合材料的床身，具有良好的振动阻尼和静态动态，高精度光栅尺闭环控制。

德马吉森精机机床贸易有限公司ALX2500 SY / 500卧式车削中心。复合Y轴，自制的具有绝佳车削性能和高刚性的直驱主轴turnMASTER和内置电动机刀塔（BMT），经有限元分析的高刚度床身，X轴滑动导轨和Y/Z轴直线滚珠导轨组合配置，11种可简化编程与操作的技术循环， $0.4\mu\text{m}$ 和 $0.21\mu\text{m}$ 的车加工圆度和表面粗糙度。



宝鸡机床集团有限公司BL5-C智能车床。主要看点，整体式斜床身结构，高强度铸铁铸造，直线滚动导轨，快速 32m/min ，DM直驱刀架，结构简单，具有热误差补偿、工艺参数优化、断刀检测、数控机床健康保障、二维码远程诊断功能及“宝机云”云服务系统。

宝鸡机床集团有限公司DK2010并列双主轴车削单元。主要看点，双主轴、双刀架对称布局，自动上下料机械手和料库，可进行单机加工或多机联线，实现无人化操作。

宝鸡机床集团有限公司BC3751R车削单元。主要看点，配备自动上下料机械手和8工位料库，可进行单机



加工或多机联线,实现无人化操作。

程泰机械股份有限公司的GVI-350正倒立式CNC车削中心。主要看点,正倒立式同体,倒立式主轴兼具自动上料功能,工件正反面转换在正倒立主轴间自动交接完成,配置程泰G.LINC 350 智能化系统可轻松接轨工业4.0。



江苏哈博精密机械科技有限公司Hard 100硬车削机床。主要看点,高精度(液体静压主轴轴向和径向跳动 $\leq 0.2 \mu\text{m}$ 、定位精度 $\pm 1 \mu\text{m}$ 、液体静压导轨定位精度 $\leq 1 \mu\text{m}$ 、重复定位精度 $\leq 0.2 \mu\text{m}$),硬车削(58~68HRC),主轴最高转速5000r/min。



ESCO公司escomatic D5 旋风式自动车。主要看点,适用于棒材和盘料加工的旋风车削方式,加工直径范围0.3~4.0mm,材料经矫直后由夹紧送进轮经套筒送料,旋转刀具最高转速12000r/min,十字滑板式排刀架上安装正面加工单元——2个钻孔主轴、一个螺纹/攻丝主轴和一个反向夹头(工件切断用),使用盘料时具有24h连续工作能力,经验证的escomatic技术,带有菜单引导的CNC控制系统。

宁波海天精工股份有限公司HTC150II卧式车床。主要看点,经有限元分析全新设计的阶梯导轨低重心整体式斜床身,滚柱直线导轨,伺服电机与高精度滚丝杠直连,电主轴,三齿盘结构刀塔。



三、加工中心类

1. 概况

据已有资料,加工中心类展商近60余家,展品近100台(不包括镗铣、铣镗、龙门、复合等类加工中心)。参展厂商有牧野、安田工业株式会社、沙迪克、MAZAK、大隈、格劳博、斯达拉格、WILLEMIN-MACODEL、株式会社FUJI、GF加工方案、德马吉森精机、哈默、C.B. FERRARI、大昌华嘉、VIGER、兄弟机械、北京北一机床股份有限公司、北京精雕科技集团有限公司、成都普瑞斯数控机床有限公司、秦川机床工具集团、科德数、宁波海天精工、协鸿、嘉泰数控科技、西安北村、珠海格力、庆鸿机电、东刚精密、东台精机、南通国盛、台湾丽驰、台中精机、永准机械、远州株式会社、达佛罗、崑立机电、斗山等。

加工中心是展会的大类展品,展品以中小规格为主,种类繁多,

按主轴姿态分有立式、卧式和立卧转换式;按用途分有通用型、专用型、钻攻精雕型、高速性、模组型(即可单机使用也可方便串接组线);按主轴数量分有单轴、双轴和多轴式;按联动轴数有三轴、四轴、五轴和3+2轴;按总体结构布局分有C型结构、小龙门式、倒T型床身式、三轴叠加式(刀尖运动集中在三个直线轴上);按第四第五轴结构分有可倾转台式和转台加摆头式等。

2. 加工中心类展品主要技术特色

加工中心类机床由于其自身的工作特点,如断续切削的切削特点、应对复杂零件加工的多轴多层结构特点、应对磨具及复杂类零件的高转速和高进给的运动特点、复杂零件编程与操作的应用难度特点以及高精高效高表面粗糙度的设计及工艺要求等,对机床提出了更多的挑战。围绕这些课题,我们能够在这些展品中发现很多新的提升和改善。此外,为灵活应对生产要求和适应工业4.0制造环境要求,加工中心类产品也正在发生一些积极的变化。

(1) 刚性。龙门布局由于其较高的结构刚性已被很多中小规格立式加工中心所采用,如北京精雕、达佛罗、成都普瑞斯、哈默、力丰的欧



吉索、南京高传四开、宁波海天、庆鸿机电、山东翰坤、山东威达、丽驰科技、永准机械、协鸿、友盛（上海）精密法国优龙等。利用有限元法增强结构件刚度展品中有很多成功的范例，如成都普瑞斯PL800A立加的大跨距A字型立柱设计，PU500立加关键主件的大截面结构设计，大跨距导轨设计和龙门框架大跨距H字型设计。安田、宝惠机械、北村精密、北京北一、成都普瑞斯采用精密滚柱导轨、3滑块式双滚柱线性导轨用来增加传动刚度。成都普瑞斯在床身与立柱接合面上采用专利的粘接加传统螺栓紧固工艺以及安田、崑立机电等采用的刮研工艺则大幅增强了结构件间的连接刚度。

(2) 直驱与直联。为缩短传动链，提高传动刚度、动态特性及精度，直驱与直联技术得到广泛采用。直驱典型的应用有电主轴、进给直线电机和转台，直联传动多应用于通用类加工中心主电机与主轴的连结。电主轴广泛用于高速主轴，展品不胜枚举，直驱转台在四轴和五轴机床上应用也比皆是。进给直线电机一般用于高档次机床，在本届展会上例子也很多，C.B. FERRARI展品的全五轴直驱，庆鸿机电展品的三轴直驱，安田YMC430 Ver.Ⅲ微细加工中心的主轴、Y轴直驱，沙迪克S50L立加，山东威达重工DMC600H的三轴直驱等。

(3) 智能。广为熟知的MAZAK智能技术，大隈著名的热亲和、防碰撞、加工导航、五轴自动调整和伺服导航智能技术，以SIEMENS、FANUC、HEIDENHAIN等为代表的智能控制技术仍将是展会的亮点。此外，还有许多公司在这方面也有不少杰作，如GF展品的用以提高工效的多种自动作业设置功能以及精密、保护、效率和节能环保智能模块以及世

界仅有的主轴全方向防撞保护技术（MSP），北京精雕展品的工件自动找正和重建加工面特征坐标系等功能，达佛罗展品的SMT智能加工技术（包括AAC轴向热监控和位置补偿、TPC主轴热位移与补偿、SVS主轴振动监测与控制、MRRO轴热位移与补偿、SVS主轴振动监测与控制、MRRO最大金属切除率/切削力和无颤振加工），东风设备制造展品的智能故障诊断与防撞技术。

(4) 精度与精度保持性。安田YMC430 Ver.Ⅲ微细加工中心和大昌华嘉Kern Micro五轴立加是本届展会高精度加工中心的杰出代表（定位精度分别为 $\pm 1\mu\text{m}$ 和 $\pm 0.5\mu\text{m}$ ）。与此同样有意义的是，更多企业在精度稳定性和保持性方面，特别是温升影响的应对，做出了多方位努力。如GF、Hermle、巨浪凯龙、珠海格力、丽驰科技的产品床身采用热不敏感的矿物铸石材料，安田、GF、DMG MORI、华日斯蒂、南京高传、宁波海天、永准机械、远州株式会社的热对称设计结构，安田的立柱内部、主轴头内部、X与Y轴工作台等处的专用温控热交换液系统，大昌华嘉Kern Micro五轴立加的通过专有软件算法控制的精密热管理系统，GF的主轴/转台/直线电机温控功能，北京北一MBR-5000H卧加的环境热位移补偿及主轴热位移控制，北京精雕、丽驰科技的滚珠丝杠中心冷却和主轴自动补偿技术，崑立机电的齿轮箱及主轴的双重冷却设计，永准机械的内建STC主轴热补偿系统等。特别值得一提的是，成都普瑞斯主轴预紧力控制技术（以某一转速为界的可编程液压两挡控制），这是世界上极少数顶级精密机床制造商做的事情，虽然技术深度上仍有一定差距，但这种精益求精的努力还是值得钦佩。

(5) 自动与效率。本届展会将

有多台双主轴、双工位、多刀塔同时加工或同步加工的高效加工中心参加展示，如VIGEL的TW 400H双主轴可交换合同同步五轴卧加、北京北一BV100S双主轴加工中心、GROB的G326卧加、巨浪凯龙机床（太仓）的MC528 TWIN的双主轴双五轴立加。此外，很多展品具有自动托盘交换、工件测量、刀具磨损测量与补偿、刀具自动识别、自动工件找正、断刀检测等自动化功能。此外，大昌华嘉展品具有的能够为所有常见自动化系统提供标准化接口，以便拥有方便融入现有任何生产系统的能力，则为机床自动化含义增添了新的内容。

(6) 适用性。为方便设备的使用、管理和维护，改善应用体验，降低操作要求，充分发挥设备效能，很多展品都具有相应的实用软件和功能，如DMG MOR展品的多种加工循环功能，Makino展品的用于汽车、注塑和包装、医疗、光学市场中常见复杂模具加工的运动控制软件，沙迪克展品的智能编程、零件加工断点和断电复位加工、支持1G超大文件编辑加工等功能，C.B. FERRARI展品的高精度翼型零件加工软件，北京精雕展品的能够将DT（Digital Twin数字孪生）和RTCP（回转刀具中心点）无缝集成的智能SurfMill软件，Hermle展品的允许用户实施精确设置铣削策略的HACS自动控制系统等。

(7) 融入工业4.0。为适应工业4.0制造模式的变革，加工中心与之相适合对接的技术与功能也在不断发展。如安田展品采用FANUC 31i-B5（iHMI）数控装置，帮助用户顺畅实现物物相连。达佛罗产品具有的自行研发的可信赖性（应用）技术（ART—Axile Reliability Technology），颇具工业4.0特色，包括可靠性管理、制造过程、能源管理3个核心功能和6个子功能，具有实时

监控、数据采集、状态反馈、数据分析、生产过程安排和管理,故障预测等功能,可方便集成到数字化工厂中。Hermle产品的信息监控功能,能够将加工对象、机床和生产环境集成在一起,实现运营透明度。沙迪克展品具备网络化管理和在线版本升级功能。众所周知的DMG MORI的基于APP应用程序的CELOS控制与操作系统,与工业4.0密切融合,实现产品从设计、生产到售后服务的数字化制造转型。

(8) 模组式加工中心。这是近年来为适应生产任务多变性而演化出的新机型,其最大特征是体型窄小紧凑,仅可在前后侧进行操作和维修,即可单机使用,也可方便的左右排列成串组线,单体模组设有匿藏式机械手,是一种柔性化新品,本届展会株式会社F U J I和远州株式会社有实物展出。实际上模组概念机型已经不局限于加工中心,本届展会上光洋机械工业株式会社的VGF300立式磨床也属同概念产品。

(9) 专用。如成都普瑞斯PX500五轴叶片加工中心、宝鸡机床集团的轮毂加工龙门立式加工中心、C.B. FERRARI公司GT2000“专供”模具行业的5轴加工中心。苏州上金数控科技有限公司的WX涡旋专机,专用于涡旋盘加工,加工精度<0.01mm。还有深圳市创世纪机械有限公司的B-350/2玻璃精雕机。

3. 典型展品

巨浪凯龙机床(太仓)有限公司



MC528 TWIN斯塔玛双主轴双五轴立加。主要看点,首次中国亮相,成倍的加工效率,拾取式自动换刀方式,配置第四轴桥板和第五轴转台,可实现五轴四联动加工,模块化设计维护简便,2019年即将国产化。

安田工业株式会社YMC430 Ver.Ⅲ微细加工中心。主要看点,卓越的高精高表面粗糙度,支持 $\pm 1 \mu\text{m}$ 精度的加工,全轴(X/Y/Z)高速直线电动机驱动,超精密滚柱导轨,“低振动高精度”的X-Y轴工作台,高刚性左右前后对称框架,立柱内部、主轴头内部、X-Y轴工作台的液体温控系统,实现稳定的高精度加工。采用FANUC 31i-B5 (iHMI) 数控装置,顺畅实现IOT,配备机器人接口后,更可实现24h无人加工,降低生产成本,提高生产效率。



二维码看视频

沙迪克机电(上海)有限公司S50L三轴立加。主要看点,基于运动分析遵从直线电机高速、高响应驱动特性的优化高刚度设计,直联主轴,沙迪克最新研发拥有先进的算法和控制技术的LYNUC2数控系统,具有HiPT(高速度高精度轮廓控制功能)技术,3000行NC指令预读,智能编程,断点和断电复位加工功能,支持1G超大文件编辑和加工能力,以及网络化管理和在线版本升级功能。



GF加工方案Mikron MILL P 800 U高性能立加。主要看点,高架桥式小龙门结构,双驱横梁,双耳轴可倾转台,双驱转台、直径500mm工作台最大承重800kg,适应粗精加工的能力和强大的车/铣金属切除率能力,提高工效的多种自动作业设置功能以及精密、保护、效率和节能环保智能模块,世界上仅有的能够在所有方向上保护主轴的技术。



Willemin-Macodel公司308s2五轴立加。

主要看点,B摆头C转台高刚度紧凑结构,经优化的运动链,可与机器人完美集成,用于最苛刻尖端行业复杂小型棱柱形工件高精高表面粗糙度加工,可选车削功能成为车铣复合加工中心。

牧野机床(中国)有限公司D200Z五轴立式加工中心。主要看点,D系列中

规格最小最灵敏的五轴联动模具精加工机床，可倾转台，主轴最高转速30000r/min，直驱转台，专有的SGI.5运动控制软件，粗精加工的能力，与三轴加工相媲美的表面质量。



牧野机床（中国）有限公司V80S高精度五轴立式加工中心。主要看点，新研发的紧凑高刚性的主轴、倾斜轴和旋转轴结构使进给运动敏捷顺畅，大幅缩短精加工和抛光时间，可有效利用5轴加工中心的优势，发挥机床性能，避开球刀工艺，并可使用小长径比的刀具，延长刀具寿命，尤其适用于平缓曲面工件加工。



牧野机床（中国）有限公司a500Z五轴卧式加工中心。主要看点，基于ROI理念（投资回报）设计的高速高效机床，减少一切非必要切削时间，专注于高速高效生产。



C.B. FERRARI公司GT2000五轴立加。主要看点，一款在欧洲市场获得极大肯定的“专供”模具行业的5轴加工中心，稳定的精度和极高的动态性能，闭环控制，X/Y/Z轴行程2000mm/820mm/850mm，工件最大回转直径1400mm，自主研发的高性能电主轴（多种扭矩、转速可选）和国际知名配套功能部件，西门子840D或海德汉TNC640CNC系统可选用。



意大利VIGEL公司TW 400H高效双主轴卧加。主要看点，高效，双主轴双工位同步五轴加工，轻载高速和重载低速工况的优化平衡，可交换工作台，边工作边装载。



大昌华嘉香

港有限公司Kern

Micro超微型加工

中心。主要看点，微米级加工精度和极小的精度分散度，定位精度 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ ，具有易接近特性的209位特大型刀具库，操作的易接近性，既适合3轴加工也适合5轴联动加工，模块化设计，占地面积小。



大隈机械（上海）有限公司MP-46V立加。主要看点，精密零件/模具加工用三轴立加。主轴最高转速30000r/min时，加工时间可缩短43%（与本公司立式加工中心相比）。



斯达
拉格公司

H50高精卧加。主要看点，正T型床身布局，节省30%占地面积的设计奇迹，X/Y/Z/B四轴联动，每一处细节都严格遵守斯达拉格质量标准，保证加工过程达到



最高精度，模块化设计满足不同个性化需求。

Hermle公司C 650 U五轴立加。主要看点，专利高刚性龙门型结构，双耳轴可倾转台，矿物铸石床身，全闭环控制，HACS和HIMS自动控制和信息管理软件与功能。



德马吉森精机机床贸易有限公司NHC 4000 RPP三轴卧加。主要看点，高动态性60mm/min进给速度和0.87g加速度，直驱转台，阶梯式X轴导轨的高刚性床身，大功率大扭矩主轴，点对称热不敏感主轴，自动物料搬运系统（PPR），三点便于快速安装的支撑结构。



格劳博机床（中国）有限公司G326双主轴卧加。主要看点，三轴，基于动力学和刚性原则设计的Y轴运动工作台，高效的双主轴双工位同步加工，回转式交换工作台（A'），模块化结构设计，B'或A'-B'的灵活快捷组合，适用于湿式或干式切削。

格劳博机床（中国）有限公司GA350通用五轴卧加。主要看点，专为亚洲及中国市场特别研发，与G326相同的结构布局，同类机床最长Z轴行程，使用最长刀具加工最大工件时各回转轴不受限制的“隧道”加工技术。

巨浪凯龙机床(太仓)有限公司MILL FX800高速五轴立加。主要看点，三直线轴叠加与可倾转台布局，拾取式自动换刀方式，工件找正及自动温度补偿功能，加工区域宽敞方便转载。

华日斯蒂科技发展股份有限公司的五轴卧式加工中心。精密热稳定温控对称立柱，自动托盘交换，五轴连续头或45°立卧转换头可选。

力丰(集团)有限公司Eagle V9欧吉索（OPS-INGERSOLL）高速立加。主要看点，为钢件加工设计，龙门双驱。C轴直驱，26000r/min功率25kW新一代HSK主轴具备优异热稳定性，大幅减少预热时间，托盘可自动从左侧或右侧装卸而不影响操作，也便于和不同类型机器人匹配，甚至刀具管理系统也可以整合到同一机器人中。五轴版本可配置新研发的B/C轴转台。



株式会社FUJI模组式加工设备DLFn。主要看点，经公司50年的实际经验总结潜心研发，有铣钻模组和车削模组两类，可自由组合切换，还可方便实现与其它特殊模组（如在线检测、镭射打码机、清洗模组等）的组合应用。单模组宽度仅450mm，体积虽小但并不降低加工能力。自主研发的易操作操作系统，单个模组单元设有内藏式机械手。



东风设备制造有限公司DL500高速立加。主要看点，四轴联动（X/Y/Z/A），伞形刀。

成都普瑞斯数控机床有限公司PX500五轴叶片加工中心。主要看



点,专利的总体布局,均衡的运动质量分布,无隙滚子蜗轮传动的高刚性B轴,主轴预紧液压两档可编程自动可调,工件两端同步驱动,断电时工件远离刀尖的保护功能。

达佛罗AXILE G6五轴立加。主要看点,高架桥式小龙门结构,双耳轴可倾转台, SMT智能加工技术, ART可信赖性(应用)技术。

北京精雕科技集团有限公司JDMR600_A15SH高速加工中心。主要看点,高架桥式龙门结构,可倾转台,主轴最高转速20000r/min,具有在机测量和智能修正功能,可实现工件自动摆正和加工面特征坐标系重建,能够将DT(Digital Twin数字孪生)和RTCP(回转刀具中心点)无缝集成的智能SurfMill软件。

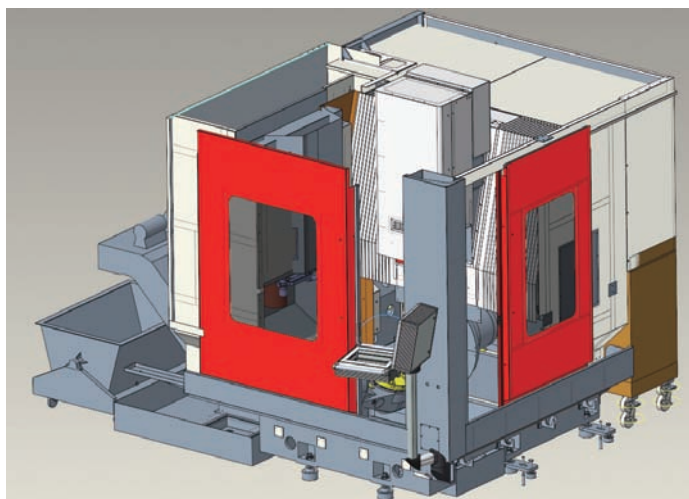
达佛罗企业有限公司AXILE G6五轴立加。主要看点,主轴最高转速20000r/min,符合工业4.0制造环境要求,专利的智能加工技术(SMTTM)和可信赖性(应用)技术(ARTTM)。

东风设备制造有限公司DZ40高速卧加。主要看点,三直线轴叠加布局,四轴联动(A或B或A+B),顶置式盘形刀库,非加工区与加工区完全隔开,带故障诊断、防撞、刀具信息识别智能功能。

东刚精密机械有限公司VLB-10i立加。主要看点,有限元分析优化的刚度结构,三轴联动,主传动两挡齿轮变速,适应低速重载和高速轻载工况。

东台精机股份有限公司HB-630u卧加。主要看点,三轴+分度转台,10000r/min电主轴,重载全周环抱式夹紧分度转台,自动工作台交换,可配置弹性制造系统。

宁波海天精工股份有限公司CFM-40立式小五轴立加。主要看点,龙门结构,可倾转台,闭环控

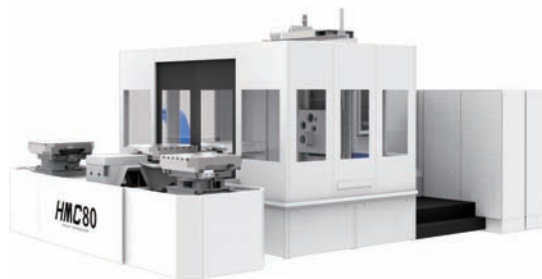


制,刀具和工件自动测量功能,直驱转台,人体工程学设计方便作业。

宁波海天精工股份有限公司HF125H五轴卧加。主要看点, A摆头双电机消除驱动B轴转台结构, A、B轴采用复合化专用精密轴承, 标配用于难切削材料高刚性大扭矩电主轴, 适合干式和湿式加工。



秦川机床工具集团股份公司HMC80卧加。主要看点, X/Y/Z/B四轴联动, 大扭矩主轴, 快速换刀装置, 可选配不同工位数交换工作台。



崑立机电CA-1165三轴立加。主要看点, C型总体布局, Y轴四硬轨高刚度设计, 减少立柱变形的肩载式刀库结构, 双重冷却主轴齿轮变速箱, 导轨及重要结合面经手工刮研。



协鸿工业股份有限公司5A-65E五轴立加。主要看点，三轴叠加式加可倾转台总体布局，高刚性的X轴阶梯导轨及全程支撑Y轴结构设计。

四、复合类机床

1. 概况

据已有资料，复合类机床展商20余家，展品30余台。参展厂商有Willemin-Macodel、斯达拉格、大隈、埃马克（中国）、德马吉森精机、依巴米亚、富信国际（EMCO代理）、科德数控、上海拓璞、北京北一、武汉重型机床集团、宝鸡机床、台湾友嘉、丽驰、兄弟机械、伟新精机、信宜华辉、斗山机床等。

主要展品有车铣复合、铣车复合、磨车铣复合等，其中以车铣类设备为主。需要说明的是，这里汇集的复合机床，是指复合了不同金切工艺的复合机床，仅具工序复合功能的机床不包括在内，同时也不包括诸如冲与剪、磨与激光修整、增材制造的增与切等类设备，这些将随其主功能所在类别中予以介绍。

2. 复合类展品主要技术特色

强大的工艺复合和工序复合能力，一次装卡全部完成杰出性能带来的精度、效率和自动化方面的优良性能，多轴联动具备的加工复杂零件的应对能力和广泛的适应性。此类展品在数量上虽不及其他展品，但在功能和性能上却个个表现出色。

由于此类机床与金切类机床技术相通，制造企业同源，因此具备与车削类、加工中心类机床同样的各种技术特色，如刚性、直驱与直联、智能、精度与精度保持性、自动与效率、适用性、工业4.0功能等，为避免不必要的重复，在此不做赘述。

一些新的技术与功能，如车铣加

工转换造成工作台力不平衡的应对（如Willemin-Macodel和依巴米亚展品），倾斜轴与孔的车削、专有软件支持下的齿轮加工能力（滚齿、车齿、螺旋齿轮等）等，值得关注。

3. 典型展品

大隈机械（上海）有限公司MU-5000V车铣复合加工中心。融合了“机、电、情、知”的机床设计，龙门式结构加双耳轴支承的A/C轴可倾转台，大隈五大智能技术，与3轴加工机相同的加工精度和加工能力，强大的铣削与车削能力，良好的能见性和可操作性。



大隈机械（上海）有限公司MULTUS U3000铣车复合加工中心。主要看点，对置主轴，双高精度C轴，大隈五大智能技术，从各个方向进行灵活加工的能力（超大的240° B轴旋转范围，Y轴全程强力切削的能力），高效强大的车削和铣削能力，倾斜轴车削功能，齿轮加工程序包支持下的齿轮加工能力。



Willemin-Macodel公司的RX10立式车铣复合加工中心。主要看点,用于钢坯料零件加工,工作台式龙门加工中心总体布局,立卧转换头(B轴)加转台(C轴),电主轴和力矩电机双驱(DDT-DOUBLE DRIVE TECHNOLOGY,电主轴提供3000r/min以上转速直至最高18000r/min,3000r/min以下最大扭矩291Nm由解耦后的力矩电机提供),直驱转台具有自动不平衡检测与补偿功能,在最高速度400r/min仍可确保低振动加工,也即铣削和车削转换时工件不需重新装卡,床身和立柱由热不敏感和抗振的矿物铸件制成,主轴热位移检测与自动补偿(应用温度补偿公式),科学的人体工程学设计,无与伦比的视野和操控体验。

Willemin-Macodel公司408MTT铣车复合加工中心。主要看点,B摆角车/铣主轴,兼具铣削和车削的A轴,机床右侧创新设计的转塔可容纳一个活顶尖尾座、三个轴向工具和五个径向工具,可以执行所有内外车削加工。

埃马克(中国)公司VL 200 GT倒立式磨车复合加工中心。主要看点,主要用于盘套类零件(如齿轮)一次装卡的硬车与磨削加工,还可通过模块化选项实现倒角和去毛刺,紧凑的结构,倒立式主轴兼具的上下料功能, $< 1.2 \mu\text{m}$ (R_z)的表面磨削粗糙度,仅需的几微米磨削留量即减少砂轮的磨损也减少砂轮的修整次数与时间以提升加工效率,可与埃马克其他模块化机床实现最佳联接。



二维码看视频

富信国际贸易有限公司的HYPERTURN 65 Powermill车铣复合加工中心。主要看点,卧式总体布局,九轴五联动,可实现工件对接的主副主轴,带Y轴和B轴的上刀架车/铣主轴和车刀夹持功能,12000r/min高功率铣削电主轴,12工位



二维码看视频



可全部安装动力刀具的下刀塔,强大的自动化与加工能力,包括复杂曲面和斜面及斜孔的加工能力。

科德数控股份有限公司KMC 800S UMT立式车铣复合加工中心。主要看点,高刚度的高架桥式龙门加A/C可倾转台总体布局,直线轴快速60m/min,加速度1g,高刚度可倾转台双壁支撑,高刚度四导轨Y轴和中心驱动,热不敏感和抗振性强的矿物铸石龙门龙门架。同时展出的还有同系列的KMC 600S UMT和KMC 400S UMT产品。



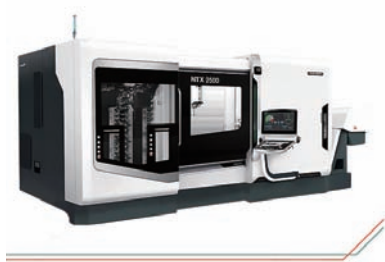
依巴米亚(IBMIA INNOVATEK, S.L.U.)公司THR 12 MULTIPROCESS立式车铣复合加工中心。主要看点,B摆角立卧转换头加转台(C轴),转台具有与Willemin-Macodel公司RX10同样的自动不平衡检测与补偿功能,长车刀有不同固定方式适应相应的镗孔和车削操作,多种自动化选项配置。

德马吉森精机机床贸易有限公司DMU 90 P duoBLOCK车铣复合加工中心。主要看点,有限元设计的高刚



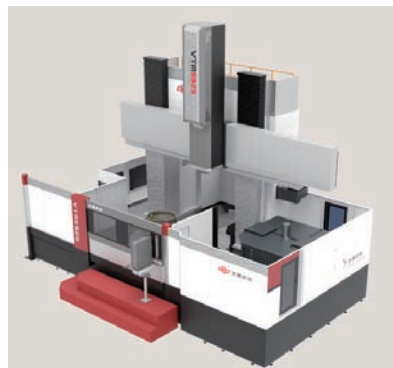
性duoBLOCK构件，立卧转换头（B轴）加转台（C轴），完善的滚珠丝杠中心内冷和主轴温升检测与补偿的热稳定措施，高刚度宽幅直线导轨，大型YRT轴承支承的B/C轴，高功率大扭矩高性能电主轴，高效的加工能力。

德马吉森精机机床贸易有限公司NTX 2500 2Gen铣车复合加工中心。主要看点，直驱B摆角车/铣主轴compactMASTER具有全球同级别中最短的长度（350mm）和更大的加工范围，带C轴的电主轴，高灵活性的位于主轴中心下方-125mm处的下刀塔，选配带Y轴功能第二刀塔可提供4轴加工能力，全面完善的热位移控制措施。



上海拓璞数控科技股份有限公司VMC-C100HMT铣车复合机床加工中心。主要看点，高架桥式龙门加工中心加A/C轴可倾转台总体布局，12000r/min电主轴，三直线轴闭环控制，自动换刀和自动换头功能，RTCP（回转刀具中心点）动态精度0.02mm。

武汉重型机床集团有限公司VTM5925X20/16工作台移动双柱立



式铣车加工中心。主要看点，这是规格较大的铣车复合加工中心展品，双柱动梁工作台运动式总体布局，工作台直径2000mm，最大车削直径2500mm，最大车削高度2000mm，滑枕内置铣轴，右侧数控车铣复合刀架，X/Y/Z/C/W五轴控制，X/Y/Z三轴铣削联动，X/Z两轴车削联动，横梁右边悬挂8工位盘式刀库，具有自动换刀、恒线速切削和螺纹功能。

台湾丽驰科技TM-2500铣车复合加工中心。主要看点，X/Y/Z/W（可编程尾座）/C/B六轴控制五轴联动，B摆角车/铣主轴，闭环控制，丝杠中空冷却，主轴油冷温控，凸轮式自动换刀机械手，多种自动化选选项，数控系统配置优化加工软件。

宝鸡机床集团有限公司BMC-500TV五轴车铣复合加工中心。主要看点，这是一台很有特色的机床，与一般可倾转台车铣复合加工中心不同的是，车削与铣刀的固持不共用同一铣主轴（即前述车/铣主轴），而是在其一侧的专门位置上，并共用刀库和换刀装置，铣主轴和车主轴均为电主轴，可倾转台采用直驱电机。



五、龙门镗铣类机床

1. 概况

据已有资料，龙门镗铣类机床展商20家，展品20台。参展厂商有大隈机械（上海）有限公司、德马吉森精机机床贸易有限公司、新日本工机株式会社、C.B. FERRARI、EEW-PROTEC GmbH、北京北一机床股份有限公司、济南二机床集团有限公司、宁波海天精工股份有限公司、南通国盛智能科技集团股份有限公司、山东鲁南机床有限公司、山东威达重工股份有限公司、南通航智装备科技有限公司、广东润星科技有限公司、高明精工业股份有限公司、崑立机电、崑立科技股份有限公司、星视野精密机械股份有限公司、大前科技、意大利（上海）科技有限公司、河北发那数控机床股份有限公司等。

展品种类有定梁、动梁、工作台式、桥式、高架桥式、碳纤维（材质）龙门式。规格按Y轴行程计，2000mm左右居多，最大规格以大隈、新日本工机和南通国盛的3700mm居首，EEW-PROTEC展品因其横梁采用碳纤维材质及桁架式结构，Y轴行程可达3000~9000mm。

2. 龙门镗铣类机床主要技术特色

（1）刚性。针对龙门机床重载和较大的结构尺寸等特点，各企业采取多种措施予以增强和改善，如有限元结构设计、三维模型加载验证、大截面滑枕、阶梯形横梁导轨、高刚度滚柱直线导轨或滑动导轨、主轴和进给运动的直联直驱、长进给轴齿条—双小齿轮传动、重心驱动、双侧驱动以及主要结合面采用手工刮研工艺等。

（2）精度保持性。主要表现在温升引起精度变化的应对方面，由于龙门机床结构尺寸相对庞大，温升效应明显，因此各制造企业在这方面相对其他机床

做的更仔细更到位,如大隈的对称性结构设计、均衡环境温度结构设计和升温检测与补偿三位一体的“热亲和”技术,主轴电机冷却、传动丝杠中空冷和螺母端面冷却,滑枕滑动导轨冷却、新日本工机的热不敏感对称结构设计和贴装热平衡板的方形立柱等。

(3) 适用性。龙门机床一般是加工企业大重型结构零件的最终加工设备,特别需要面对多种加工对象和多种加工任务的能力。展品除具有镗、铣、钻削、刚性攻丝、铰、平面、斜面、五面、空间曲面、孔等工艺能力以及不同材质、粗精加工、重载低速与轻载高速加工的强大能力外,在工业4.0对策、智能控制、软件支持、高精高效切削策略、功能部件特别是附件铣头的丰富多样性方面,也有很多看点。

(4) 专用性。这里特别推荐EEW-PROTEC公司的HSM-MODAL5080高速碳纤维龙门五轴加工中心,为我们展示了一种结构和用材不同,应用领域与加工零件材质不同的另类龙门加工中心,提示了龙门类机床另一种应用与发展方向。

3. 典型展品

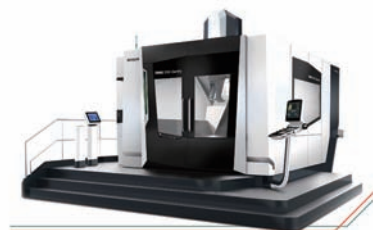
大隈机械(上海)有限公司MCR-S 30×50龙门加工中心。主要看点,总体布局——动梁工作台式。适用性——针对冲压模具高速加工全新设计的高速高品质机床,具备高效强大的切削能力、粗精加工及多种



附件铣头选项的宽泛适用性,快速连续进给能力显著缩短加工用时(较前型号机型节省25%时间)。智能——具备“热亲和”“防碰撞”“加工导航”“伺服导航”四大智能功能。刚度和精度保持性——Y轴采用高刚性的滚柱直线滚动导轨,Z轴滑枕采用高刚性宽尺寸并具备冷却功能的滑动导轨,Y/X轴滚珠丝杠采用螺母端面和丝杠中心冷却。先进的高精高表面加工技术——机床数控系统具备Super-NURBS和Hyper-Surface先进高表面加工技术,通过自适应加速控制和检测补偿CAM加工数据的“干扰”,提高表面加工质量而大幅减少抛光作业,面误差 $\leq 10\mu\text{m}$ 。

新日本工机株式会社NeoV-5M龙门加工中心。主要看点,总体布局——动梁工作台式。适用性——是SNK在长期积累的龙门机床制造技术和经验基础上最新开发的高刚高精度机床,具备高效强大的切削能力,丰富的附件铣头选项拓展了机床的适用范围,标配90°铣头具有与立主轴相同的切削能力,12000r/min高速延伸铣头适应模具从粗到精的全部加工要求,无齿轮传动的高效免维护的双电主轴驱动的主轴。刚度和精度保持性——采用有限元法和优化的铸件壁厚和筋板排列实现高刚度轻量化设计,并通过三维模型加载切削进行预先验证,对机床热影响最大的方形立柱采用热不敏感的对称结构设计和贴装热平衡板,350mm方形滑枕采用高强度球墨铸铁和高刚高动态品质的重心驱动技术,即便在行程800mm情况下也可进行重切削。先进的高精高表面加工技术——最新的高速高精度控制软件DCS-VIII实现高品质型面的模具加工。工业4.0对策——用于手机和PC的机床监测、支持、维护、分析和可视化的“智能PC”的可选功能。

德马吉森精机机床贸易有限公司DMU 200 Gantry龙门镗铣加工中心。定梁桥式总体布局,多种铣头方案使机床具备宽泛的适用性,垂直主轴用于20000r/min高速加工,45°立卧转换铣头和90°摆动铣头用于30000r/min 5轴加工,固定工作台尺寸2250×2000mm,最大载重10000kg,工作台两侧排屑装置,低龙门的高刚度设计,最大快移速度50m/min,compactMASTER高性能主轴(见前)。



北京北一机床股份有限公司XKAM2420×40龙门镗铣加工中心。主要看点,定梁工作台式配双摆角铣头五轴门镗铣加工中心,高刚性大截面滑枕,德国科堡公司主轴电机与减速器,三轴直线滚动导轨,X轴为消除预紧的齿条-双小齿轮传动,HEIDENHAIN光栅尺反馈闭环控制。

济南二机床集团有限公司XHS2425×50龙门镗铣加工中心。主要看点,定梁工作台式,经人工时效处理低应力基础件,三直线轴交流伺服机-同步齿带传动,X/Y轴直线滚动导轨,Z轴贴塑滑动导轨,工作台尺寸



2500mm×5000mm, 闭环控制, 三轴光栅尺反馈闭环控制, 自动换刀功能。

宁波海天精工股份有限公司GNUe32×50龙门加工中心。主要看点, 定梁工作台式总体布局, 高刚性的龙门结构, 大扭矩6000r/min电主轴, 三轴直线滚动导轨, 超高刚性联轴器, 丰富的附件头选配项。



高明精机工业股份有限公司KMC-318HIS高速龙门加工中心。主要看点, 定梁工作台式总体布局, 床身立柱采用铸铁材料并经严格的消除应力处理, 主要结合面采用人工刮研工艺, 大型高刚度直线滚柱导轨, 阶梯式Y轴高刚度导轨设计, 简洁高效高精少振动的直联主轴, 热对称设计的主轴外形结构, 滚珠丝杠中空冷却加两端空气冷却, Z轴双液压缸平衡, 可选的主轴中心出水功能。

EEW-PROTEC公司的HSM-MODAL5080高速碳纤维龙门五轴加工中心。主要看点, 结构与运动特征——这是一台与传统龙门加工中心在外观、结构、用材、用途等方面截然不同的机床, 机床整体布局为高架桥式, 由碳纤维材料制造的桁架式横梁在由方锥形且注沙的桥柱支承的导轨上做X轴运动(最大可至150m), 滑鞍和滑枕由碳纤维和铝合金材料制成, 整机重量只及传统机床的1/8~1/6, X/Y/Z轴最大进给速度150/150/60m/min, 三直线轴均采用双边齿轮齿条驱动, 滑枕上装有B/C双摆角电主轴(24000r/min,

15kW)。适用性——该机床专用于轻质铝合金材料以及非金属材料, 如木材、环氧聚氨酯、泡沫、碳纤维、代木、油泥等材料的高速高效高精加工, 具有极高的动态品质和加工速度(最大加工速度220m/min)。加工精度±0.2mm。智能——后置处理器通过加工前加工要求的分析实现预测控制。

乔崴进科技股份有限公司SE-2618龙门加工中心机。主要看点, 针对汽车模具加工开发的小型龙门高速加工机, 定梁工作台式总体布局, 特有的高效率切削策略和专门的提升结构刚性技术, 最佳力流传递的多点支撑设计, 提升刀尖点动态精度和动态响应能力的精密传动传动技术。



扫描二维码看视频



六、磨削类机床

1. 概况

据已有资料, 磨削类机床展商70余家, 展品约110台(不含齿轮磨床, 将在齿轮类机床中介绍)。参展厂商有联合磨削集团大昌华嘉、北京达诺巴特、光洋机械、杭州杭机、济南四机、金华市纳百川、科德、乐嘉文、上海机床厂、上海善能、台州北平、无锡光洋、无锡机床、厦门创云、喜基亚、孚尔默(太仓)、昂科机床(上海)、德拉克、北京广宇大成、中国航空制造技术研究院、大光荣、戴杰磨床、德马吉森精机、施利博格、阿格顿中国、威尔海姆巴米勒、秦川机床、牧野机床(中国)、Star SU、昂科机床(上海)、南京南特、天水星火、武汉机床、科研精密机械、毅德机械、福裕事业、上一工业、全鑫精密等。

主要展品有外圆磨、内圆磨、内外圆磨、内外圆组合磨、磨削中心、排刀式磨床、非圆磨、坐标磨、平磨、双端面磨、立磨、圆台磨、成形磨、无心磨、珩磨(立/卧, 单轴/多轴)、落地式立轴平面磨、轧辊磨、随动曲轴磨、随动凸轮轴磨、外螺纹磨、滚珠丝杠螺母内螺纹磨、导轨磨、直线导轨磨、刀具磨、刀片磨、摆线针轮磨、锯片磨、钻头磨、枪钻(头)磨、拉刀磨、中心孔磨、压缩机缸体内圆磨、磨抛设备等。

2. 磨削类展品主要技术特色

(1) 抗振、热稳定材料应用日渐广泛。由于天然花岗岩或人造大理石具备

的优异的抗振、热稳定性,已被越来越多的磨床制造企业用作磨床的基础件制造,如ANCA、杭州杭机、台州北平、Star SU、上海黑格、东莞市千岛机械、科德、济南四机等。

(2) 直驱、直联技术广为应用。为提升机床传动精度、刚度、工作平稳性及动态特性,直驱、直联技术被广泛应用于主轴驱动和进给驱动。如上海机床厂、台州北平、昂科机床(三类三种机床的直线轴全部为直线电机驱动)、Star SU、施利博格机械、北京北一、科德数控、戴杰磨床集团、武汉机床等展品。

(3) 自动化水平不断提升。展品中不乏可24h无人值守自动生产的产品,展示的自动化功能主要包括机器人自动上下料、ATC、工件在线自动测量、主动量仪测量、砂轮自动修整与补偿、砂轮修正与磨削程序自动转换、工件自定心、工件径/轴向位置自动检测、自动工件安装误差找正、砂轮自动平衡、在线探伤、磨头重量和磨削力自动平衡、自动工件卡压、自动磨削循环、自动监控等。

(4) 智能控制技术取得新进展。如台州北平机床有限公司BP8数控外圆磨床的砂轮平衡力磨削控制技术,可提升加工的同轴度。中国航空制造技术研究院FCDM-01大尺寸复合材料飞机壁板机器人打磨专用恒力执行器,可自适应工件形状,精确施加下压力进行摆动仿型加工。阿格顿中国Evo Combi 四轴磨削中心具有针对超硬磨削的力监测系统,实时采集主轴负载变化,通过自适应进给功能自动调节提高磨削效率。此外还有德拉克制造有限责任公司的声学辐射监测砂轮修整(AEM)、上一工业股份有限公司的音频防碰撞、毅德机械防碰撞等智能技术。

(5) 适用性技术同步发展。在提供精良装备的同时通过软件和专家

系统提供工艺、编程与操作技能等方面的支持,是众多机床制造商具有的服务特色。如德拉克的SmartForm™软件和硬件包,用于大升程螺纹和闭合螺纹磨削时砂轮的不干涉磨削,PartSmart™菜单驱动的画面控制所有过程参数,从而实现最小的机械调整,有效地转换时间和更高的生产率。昂科机床D的BlankX 磨削软件,使用简单,编程灵活。荣光机械非圆磨床的软件可以快速、安全地编制加工程序。此外,北京德铭纳、东莞市千岛机械、科德数控、上海黑格、台州北平、北京德铭纳、泰州市利优精密、桐乡市三精自动化、Star SU(世界高端的NUMROTOplus刀具磨削软件)、荣光机械、科研精密等的磨削与编程软件也将与机床一起展示其光彩。

(6) 精密。磨床作为精加工设备,其精密特色在本届展会上将再放异彩。展会汇集了众多的精密磨床,其主要精度指标,如砂轮主轴、工件主轴的径向/轴向跳动、磨削的圆度/圆柱度/轮廓度/平面度、运动轴的定位/重复定位精度等,多在 $2\mu\text{m}$ 左右甚至更高,表面粗糙度达到 $0.2\mu\text{m}$ 左右甚至更高。如大昌华嘉坐标磨、乐嘉文用于螺纹规或千分尺的外螺纹磨、台州北平外圆磨、厦门创云外圆磨、DMG MORI的是可能立磨、昂科机床(上海)刀具磨、孚尔默(太仓)的刀具磨、北京广宇大成的V减速器摆线针轮专用机床、Star SU的刀具磨、牧野机床(中国)的刀具磨、德拉克的数控内螺纹磨床、施利博格的刀具磨、威尔海姆巴米勒的外圆磨以及等。

(7) 专用磨床尽显专业本色。本届展会将有众多专用磨床与观众见面,为用户提供专业的特色服务,其精湛的专业技能深刻体现了制造者对服务领域需求的认知与机械设计制造

技能的完美结合。

3. 典型展品

大昌华嘉香港有限公司Moore 500 CPWZ数控坐标磨。主要看点,六轴控制四轴联动,带有完全可编程W轴,除坐标孔磨削外,还可用于端面、平面、锥面磨削,还可用于三维形状的磨削。轮廓精度 $3.0\mu\text{m}$, X轴对Y轴垂直度公差(全程) $0.8\mu\text{m}$, W轴(主轴箱移动)对台面垂直度公差 $2.0\mu\text{m}$, 主轴(Z)移动对主轴箱(W)移动的平行度公差全程 $2\mu\text{m}$, X/Y/Z/W轴定位精度(P) X轴 $2.0/2.0/2.0/4.0\mu\text{m}$ 。



中国航空制造技术研究院FCDM-01大尺寸复合材料飞机壁板机器人打磨专用恒力执行器。主要看点,可自适应工件形状通过工作角度和压力自动调整,对复杂曲面的大尺寸工件实施精准恒定的高质量打磨。



喜基亚精机制作所GPES-30B.25非圆磨床。主要看点,高刚高速高精的闭式静压砂轮头架导轨和直驱工件

主轴，适用于多种磨削，包括冲压工具磨削、曲轴磨削和圆柱面磨削等。



孚尔默（太仓）机械有限公司VGrind 360刀具磨。主要看点，是世界上第一款在C轴最佳转动点上配备两个垂直布置磨削主轴的整体硬质合金刀具机床，拥有高度的灵活性，高效的导向系统和实用的自动化选配（自动换砂轮、8工位自动化砂轮库、自动上下料功能、托盘库等），成熟且通过生产检验的控制系统，易于操作的逻辑化直观结构界面，一览无余的刀具和机床3D图像功能。



阿格顿中国Evo Combi转位刀片磨。主要看点，一次装夹高效高重复精度磨削刀片双边倒棱，广受客户好评的专门针对超硬磨削的力监测软件系统和自适应进给功能，实时采集主轴的负载变化，自动调节最佳进给率，提高磨削效率。



昂科机床（上海）有限公司工具磨。主要看点，昂科机床在本届展会将展出三种工具磨床，分别为TX7 Linear刀具磨、CPX Linear刀具棒料磨床和Tapx Micro微型丝锥磨。机床直线轴全部采用直线电机驱动，均有相应的支持软件

以及高效的自动功能。TapXmicro五轴磨床具备支持无人操作所需的所有功能，iTap丝锥磨削应用软件可对各种几何形状的丝锥进行编程，CIMulator3D模拟软件可在磨削前对刀具几何形状和机床磨削运动进行3D模拟仿真。TX Linear和CPX Linear拥有大的加工范围和强劲的磨削主轴。



荣光机械股份有限公司Ultra GU-3550CNC非圆磨。主要看点，针对偏心 and 异形零件磨削的全新设计，X轴直线电机驱动加光栅尺闭环控制，电主轴C轴，可实现纳米级进给的Rexroth数控系统，CBN砂轮及钻石滚轮式修砂装置，异形磨床专用CAD/CAM软件支持更快速更安全更人性化的编程。

德拉克制造有限责任公司GS:TI280滚珠丝杠螺母内螺纹磨。主要看点，通过artSmart™菜单驱动的画面控制所有过程参数，可实现最少的机械调整与设置时间和更高的生产率。SmartForm™软件和硬件包可校正砂轮形状，用以防止大升程磨削的干涉。声学辐射监测（AEM）技术



使砂轮准确触碰到金刚石修整轮并得到正确的修整。

福裕事业股份有限公司FSG-1632ADIV平面磨床。主要看点, 电主轴驱动的砂轮主轴, 磨削负载的检测与显示, 砂轮动平衡检测与显示, 砂轮修整与自动补偿。



科研精密机械有限公司GJ-400B内外圆组合式磨床。主要看点, 双砂轮头排刀式布局, 兼用于粗精高效磨削参数设定的电流检测式防碰撞技术, 方便易用的对刀功能键及自行研发的支持砂轮修整、路径规划的M代码, 工件主轴的C轴功能配以专用软件可以进行非圆磨削和螺纹磨削。



二维码看视频

牧野机床(中国)有限公司SG10刀具磨。主要看点, 是公司全自动加工机型中占地面积最小的机型, 各轴光栅尺闭环控制并DD驱动, 标配的床身、切削液及油箱温度功能, 自动上下料, 自动交换砂轮及



喷嘴功能。

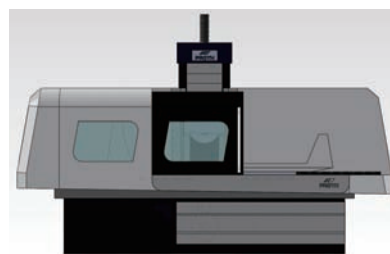
秦川机床工具集团股份有限公司MKS1320×5A/1数控高速外圆磨床。主要看点, 自主研发的自动上下料装置及料仓, 可切入磨削也可实现纵向磨削, 适用于小品种、大批量加工, 也可与其它机床连线。



全鑫精密工业股份有限公司CTS-100外圆磨床。主要看点, 静压砂轮主轴回转精度 $\leq 1 \mu\text{m}$, 独家设计的会话式编程界面, 同时处理15段不同程序的能力, 可实现 $0.1 \mu\text{m}$ 进给的X轴静压导轨, 伺服电机驱动尾座。



上一工业股份有限公司PSGC-50100New立式平面成形磨。主要看点, 兼具硬轨与直线滚动导轨优点的专利的液体静压可调式润滑导轨, 伺服电机—皮带—滚珠丝杠传动的工作



台驱动, 智能音频防碰撞功能。

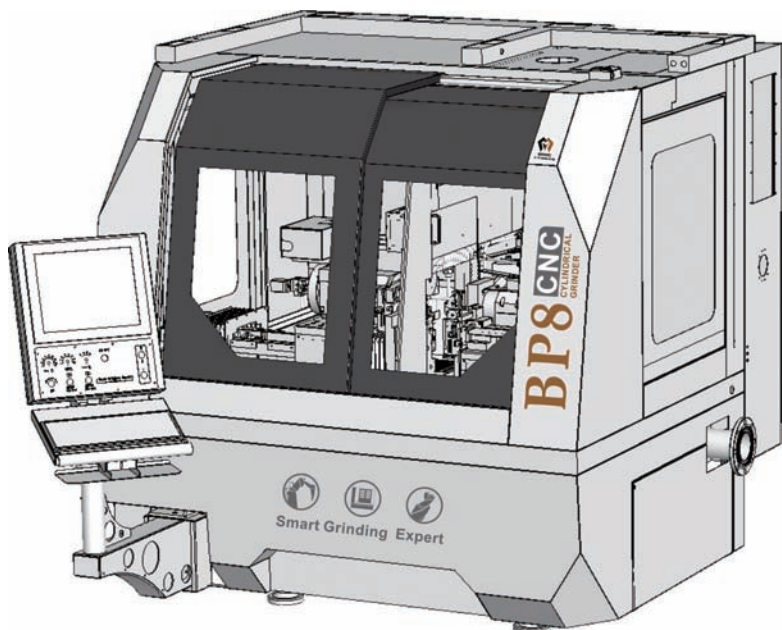
施利博格机械股份有限公司normaNGC刀具磨。主要看点, 长期畅销的一款产品, 高性价比和大加工范围, 铸铁床身, 闭环控制, 直线轴光栅分辨率 0.00005mm , 回转轴分辨率 0.000045° , 完善的热防护措施保护所有必要部件免受切屑影响, 双轴身电主轴双砂轮大加工范围即适用于标准刀具的磨削, 也适用于齿轮类刀具及凸轮刀具的磨削。

威尔海姆巴米勒精密机械(北京)有限公司FLEX高精内燃机燃油喷射系统精密偶件磨床。主要看点, 集成动平衡功能的直驱主轴, 静压支承, 回转精度低于 $0.1 \mu\text{m}$, 纯陶瓷粘合金刚石砂轮、碳纤维增强塑料(CFK)制成的砂轮基体、磨削速度范围 $45\sim 150\text{m/s}$ 。金刚石滚轮修整器, 一次装夹可进行2个直径和2个长度零件的配磨。使用2个独立工具(偏移 180°)进行无毛刺磨削, 两个独立的直径测量头进行过程控制, 声发射传感器自适应误差监测,



加工圆度和直线度 $\leq 0.1\ \mu\text{m}$ ，表面粗糙度 R_z （包括CBN） $\leq 0.5\ \mu\text{m}$ ，圆柱度 $\leq 0.3\ \mu\text{m}$ ，直径公差 $\pm 0.5\ \mu\text{m}$ 。标配的内置自动上下料机器人，与外部系统的模块化接口，可预先规划和预先设计，确定专用配置和基本配置。

台州北平机床有限公司BP8刀具棒料外圆磨床。主要看点，自动上下料机械手、在线测量、保证工件同心度的砂轮平衡力磨削工艺。



台州北平机床有限公司PLUS+1高精微径工具磨床。主要看点，X/Y/Z轴直线电机驱动、A/B轴力矩电机驱动，光栅闭环控制，高精度跳动的新型V块设计，可选配的2~6轴上下料机器人，所有电动机均配备温控和冷却设备。

台州北平机床有限公司BPX6六轴数控磨削中心。主要看点，天然大理石底座，直线电机驱动，高精度光栅闭环控制，自动上下料机械手，创新的智能刀具磨削操作编程界面，选定形状和尺寸并输入刀具参数就可自动生成加工程序并进行模拟加工，可选配欧洲或美国的3D刀具磨削软件。

上海善能机械有限公司SV2020CHN珩磨机。

主要看点，可根据客户需求定制珩磨系统，包括多主轴、气动量仪、双轴或多轴上下料机器人等，珩磨精度 0.00025mm ，广泛用于液压阀、阀体和泵、柴油机燃油喷射器、齿轮（包括传动和其他精密齿轮）、枪管、齿轮滚刀、制冷压缩机零部件、涡轮增压器壳体和轴承、连杆、小型发动机缸体、医用零件等领域。



无锡机床股份有限公司MK2110压缩机缸体内孔磨。主要看点，针对夹持定心和磨削易变形特点研发的专用夹具系统，CBN砂轮恒线速度磨削，金刚滚轮修整，工件主轴C轴功能，自动上下料机构。

无锡机床股份有限公司WX-034D机器人针齿壳数控立式磨床。主要看点，是一款用于机器人针齿壳内孔，内端面，内孔反端面，外圆，外圆端面，外圆反端面磨削加工的一次装夹多表面磨削专用设备，易于工件装卸的立式布局，专用的夹具系统，分别用于砂轮外圆，端面和反端面修整的三金刚石笔修整装置。



光洋机械工业株式会社KVD300W II立式双端面磨床。主要看点，独特的高刚性结构，大型锥面推力轴承和超精密圆柱滚动轴承支承的砂轮主轴，可与抛光相媲美的表面粗糙度，CBN砂轮，标配的上下料装置。



二维码看视频

光洋机械工业株式会社VGF300立式磨床。主要看点, 无需进行侧面维护和节省空间的平台化总体设计, 可通过选配不同磨头实现平面或外圆或内圆的磨削, 即可单机也可多机串列组线使用, 采用机器人进行工序间的传送。

上海机床厂有限公司MK8220/SD双砂轮架数控切点跟踪曲轴磨床。主要看点, 双砂轮架切点跟踪随动磨削, 一次装卡完成主轴颈和连杆颈的磨削, 双砂轮架同步磨削, CBN砂轮, X/Z轴运直线电机驱动, 静压导轨, AE监控下的金刚滚轮修整器自动砂轮修整, 在线测量, 自定心中心架, 油雾收集装置等。



联合磨削集团。旗下GERLE、BLOHM、JUNG、STUDER、SCHAUDT、MIKROSA、WALTER和EWAG八个著名品牌展出了平面、轮廓、内/外圆磨和刀具磨床等多款机床。展品具备的优异性能与创新技术在汽车、医药、航空航天、工具和模具制造、运输和重工业、机械工程、能源和精密机械等行业得到广泛应用, 即适应单件小批也适应大批量生产。



乐嘉文有限公司MATRIX 0550外螺纹磨床。用于螺纹塞规、EPS蜗杆、千分尺螺丝等零件外螺纹磨削, 最大加工直径150mm, 最大加工长度500mm, 磨削直径范围5~100mm, 最大螺纹磨削长度400mm, 具备自动砂轮平衡功能。



科德数控股份有限公司KToolG3515五轴工具磨削中心。主要看点, 造花岗岩一体式床体, 电砂轮主轴, C轴直驱, 自主开发的刀具磨削软件。



东莞市千岛机械制造有限公司GD-X5五轴数控工具磨床。主要看点, 床身底座、X轴托板、Y轴托板、Z

轴立柱、Z轴托板五大件均为天然花岗岩材料制成, 优异的热稳定性, 良好的吸振性, 自主研发的磨削软件带3D模拟、防撞模拟功能。



二维码看视频

北京德铭纳精密机械有限公司150D四轴数控金刚石刀具磨床。主要看点, X/Y/C/B轴四轴联动, 1.5t整体铸件底座, 光学镜筒和CCD相机严密防水设计, 砂轮自动修整、在线测量和自动补偿, 磨头主轴径/端跳动0.003/0.002mm, 自主研发的磨削应用软件具备数据库管理、显示和通信功能以及四种磨削循环(中刃磨削、右刃磨削、左刃磨削、全部磨削)功能。

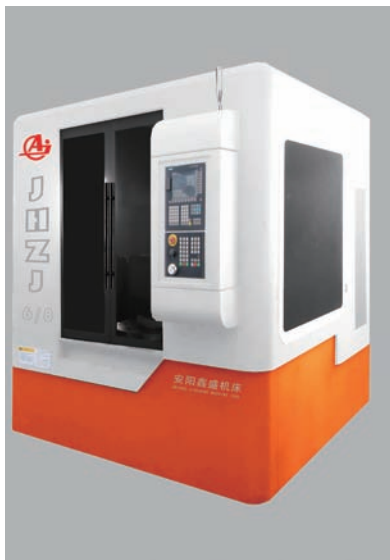


二维码看视频

北京北一机床股份有限公司B2-K1026高速数控随动外圆磨床。主要看点,与上海机床厂有限公司MK8220/SD双砂轮架数控切点跟踪曲轴磨床大体相同,该机床还具有向导式操作界面及无编程软件专家系统,实现无编程加工,并具备圆度、尺寸补偿功能。



安阳鑫盛机床股份有限公司JHZJ6/8铰绗复合机床。主要看点,立式六轴八工位,主轴往复、磨头旋转均由伺服电机驱动。



泰州市利优精密机械有限公司QZ-26枪钻数控工具磨床。主要看点,全球首发,自主研制,打破枪钻自动修磨长度受限的瓶颈,枪钻专用四轴联动软件且升级方便,最大加工长度2000mm。

七、齿轮类机床

1. 概况

据已有资料,磨削类机床展商近20家,展品近30余台。参展厂商有GLEASON、莱斯豪尔、三菱重工业(上海)、秦川机床工具集团、重庆机床(集团)、四川普什宁江、北京若垦、长沙哈量凯帅、宜昌长机科技、湖南中大创远、南京二机齿轮机床、南京康尼精密机械、北京广宇大成、安徽力成智能、Star SU、陆联精密、ESCO、浙江日创机等。

展品种类有搓齿机、插齿机、珩齿机、伞齿轮切齿机、(展成法)磨齿机、成形砂轮磨齿机(立/卧)、内齿成形磨床、蜗杆砂轮磨、螺旋锥齿轮铣齿机、螺旋锥齿轮磨、齿条铣、摆线针轮专用磨床、

2. 齿轮类展品主要技术特色

(1) 效率。压缩一切不必要的非切削时间,每秒必争、锱铢必较地提升机床的加工效率,是许多齿轮机床企业关注的焦点,特别是为汽车制造业服务的企业和产品,甚至将“减少非生产时间作为压倒一切的设计原则”。其中,可大幅节省工件装卸时间的双工件主轴设计和多工位转塔式设计多被采用,如莱斯豪尔公司、GLEASON公司、Star SU公司、秦川机床工具集团、重庆机床(集团)、南京二机齿轮机床的展品。

(2) 自动化。自动上下料、在线自动测量与补偿、自动对中、自动余量分配、自动卡具等自动化功能被广泛采用,与双工件主轴和多工位设计相辅相成,将齿轮机床的自动化水平和效率提升到空前水平。GLEASON公司的蜗杆砂轮磨齿机的“闭环系统”实现检测仪与机床间的在线自动修正。

(3) 精度稳定性。采用温控对

策保持机床精度的稳定性,如重庆机床(集团)展品具有的床身循环冷却热平衡系统,宜昌长机科技展品的恒温循环油冷却整机热平衡技术。

(4) 软件与技术。考虑到齿轮加工运动、控制及工艺的复杂性与专业性,随机搭载或提供相应的支持软件已是常态,软件既是机床的一个重要卖点,也是竞争的重要因素,更是为用户提供有效服务的重要手段。如包括所有磨削和修整工艺参数自动设置的GLEASON软件,陆联精密的软件提供包括参数计算、啮痕设计、传动误差模拟、加工状态监控、在线测量、自动补偿在内的全流程作业支持。湖南中大创远自主研发的螺旋锥齿轮HGS加工控制软件具有兼容性好、功能齐全,人机交互简单方便的特点。还有秦川机床工具集团的全中文的磨削和修整软件、南京二机齿轮机床有限公司的珩齿软件及宜昌长机科技的滚/铣专用软件等。

(5) 适用性。扩大机床应用范围,增强机床适用性是很多展品都具备的优势。如盘形齿轮和轴齿轮磨削,滚/铣加工,齿形加工/倒角/去毛刺,直齿/斜齿/双联齿/小锥度齿/鼓形齿/花键/蜗轮/微锥齿/圆弧齿磨削,不同材料如钛合金/高温合金/不锈钢的加工,不同成形方式如展成法/成型法/变性病/刀倾法的应用,齿形加工与齿形齿向的修型、软/硬齿加工、二次对刀加工等。

(6) 干湿切。不少齿轮机床企业重视环境保护,推出了不少干切、干湿切的环保型产品。干湿虽一字之差,但由于切削条件发生重大变化(切削刀具、切削力、切削热、切削粉尘等),必然导致机床结构、运动参数、力能参数等方面的相应变化,因此这类机床的推出对制造企业而言并非举手之劳,值得人们为之称道。这类展品企业有GLEASON、三菱重

工业、秦川机床工具集团、宜昌长机科技、长沙哈量凯帅、浙江日创等。

3. 典型展品

莱斯豪尔公司RZ 126蜗杆砂轮磨齿机单元。主要看点，由主机和自动装载机组成，双工件主轴设计，以减少非生产时间作为压倒一切的设计原则。由Reishauer完全开发的电子变速箱控制多个数控轴的协调联动，并行执行所有程序，所有超行程运动都已减少并优化到最小值。零件与蜗杆砂轮两个相互啮合的运动传感器保持同步，在转塔抬升转位10s期间仍然保持。多头超宽的蜗杆砂轮的也有助于非生产时间的降低。机床还可用于轴齿轮磨削，并可方便地集成到生产线中。



Genesis 260GX蜗杆砂轮磨。主要看点，双主轴设计，快速简单的软件引导进行机床设置，所有操作只用同一个工具，“首件循环”功能实现从设置开始到第一个工件加工的全自动化的工作流程，闭环系统实现修正值从GMS检测



仪到机床的自动反馈，高速切削和多头砂轮，格里森技术软件包括所有磨削和修整工艺参数的自动设置，CNC系统修整单元具备四种不同修整方法（包括从生产率最大化到灵活性最大化的修整方法），砂轮和修整器尺寸能与市场标准匹配，多个可选自动化选项。

GLEASON公司Genesis 160HCD滚齿及倒角机。主要看点，一款以成熟的Genesis滚齿机为基础，将经过验证的特性与创新的切削倒角技术结合的产品，干式滚齿及倒角设计配有湿式加工选项，SIEMENS 840D SL数控系统以及操作直观方便的格里森人机界面，高速滚刀主轴使机床具备采用最先进刀具的能

力，符合人体工程的工件夹具设计，尾座（选项）可用于齿轮轴加工和倒角，快速CNC数控龙门上料器，滚齿与倒角平行加工的一体化工作台。



Star SU公司G160蜗杆砂轮磨齿机。主要看点，以刚度、稳定性和更高的动态刚性为主要设计目标，创新的正申请专利的双工件主轴设计，X轴（工件径向运动轴）设有二个滑座，每个滑座各安装一个独立的工件主轴以及与此相应的虚拟Y轴。不同于其他同类机床四轴的三轴设计，为增加刚性切向轴是通过Z-Y轴的插补而创建的，工件主轴交换时间小于2秒，该机是市面上不多的加工时间最短的磨齿机床。



三菱重工业（上海）有限公司GE25A干切滚齿机。主要看点，世界上率先成功实现干式切削技术企业的典型产品，早于2011年已经在常熟开



始生产,并取得良好销售业绩。

秦川机床工具集团股份有限公司 YKE3132数控干切滚齿机。主要看点,高速和干切是机床主要特色,高刚性大扭矩主轴电机,伺服电机驱动的两挡斜齿轮减速工件主轴箱,不需切削液的环保的油水气三相微量润滑系统。机床用于直径320mm以内的各种直、斜齿轮、双联齿轮、小锥度齿、鼓形齿、花键、蜗轮的大批量节能环保加工。

秦川机床工具集团股份有限公司 YKS7225数控蜗杆砂轮磨齿机。主要看点,双工件主轴设计,砂轮线速度80m/s,工件主轴转速1700r/min,多头蜗杆砂轮修整与磨削技术,大功率高刚性和直驱的砂轮主轴与工件主轴,方便快捷的液压自动卡具,高精度同步控制电子齿轮箱,实现自动对中和自动余量分配的对刀功能,滚轮压力角自动调整与自动补偿功能,全中文磨削和修整软件。



秦川机床工具集团股份有限公司 YK7240数控蜗杆砂轮磨齿机。主要看点,一款改进型产品,配置了大功率砂轮主轴、工件主轴、修整主轴,砂轮宽度加宽至145mm,工件立柱新增冲洗功能,特别适用于汽车、工程机械、减速器等行业中等规格渐开线圆柱齿轮的高精度磨削。

秦川机床工具集团股份有限公司

YK3125滚齿机。主要看点,四工位(滚齿、倒棱、上下料、待料),齿端毛刺修整功能、可选的双联齿、微锥齿、圆弧齿磨削的多种加工方式,参数编程方式,干切环保。

宜昌长机科技有限责任公司 YKH5132H高效数控插齿机。主要看点,抗振动的主运动全平衡设计与主要结构件的双层壁高刚度设计,有利于加工深孔内齿的小行程自动提拉功能,采用等力切削技术的高速干切能力(切削力整体降低30%,这极大提高刀具的耐用度;针对小齿宽类零件加工效率提升50%以上,同时可提高齿面表面粗糙度),伺服电机直驱与双导程变齿厚蜗轮副消除传动的转台。



宜昌长机科技有限责任公司 YGX5112高精度小模数数控插齿机床。主要看点,实现整机热平衡的恒温循环油冷却技术,静压主轴,采用获得国家发明专利加工的高精度蜗轮



副传动的工作台(接触面齿长及齿高方向达85%以上,蜗轮齿距极限偏差及齿距累计误差均达国标2级)。

宜昌长机科技有限责任公司 YK3180A数控高效滚齿机。主要看点,高效干滚式加工,滚刀最高线速度180m/min,双蜗轮副液压消除传动工作台,差齿消除传动刀架主轴,自动拉刀机构与辅助换刀机构,床身和立柱矩形预加载镶钢滚动导轨,机床重要部件结合面全部采用刮研工艺,加工精度国标7级,断电回退功能,搭载自主开发的零编程滚/铣专用软件。



宜昌长机科技有限责任公司 YK3650数控卧式滚齿机床。主要看点,具备滚齿及铣齿功能,可加工各类圆柱齿轮、轴齿轮、花键、蜗轮、锥度齿轮及鼓形齿轮,还可采用高精度、单分度方式铣直槽或者螺旋槽。大功率电机通过齿轮箱传动的主轴,双蜗轮副消除传动的工件主轴,带位置检测及反馈功能的拉刀机构、自动锁紧尾座、顶紧力自动调整及检测反馈、自动对刀机构。可安装两把不同规格滚刀的加长滚刀架,一次装夹可实现同一工件上两种不同齿轮的加工。

宜昌长机科技有限责任公司 YK8532A数控齿条铣齿机床。主要看点,一款针对汽车转向器齿条活塞、圆齿条、传动轴突缘、突缘等等的加工设备,具有一次性完成铣平

面、侧面、铣齿、倒角、修缘的多种加工能力。全消除的主轴齿轮传动副，预加载滚动滑块式导轨，完善的超程、过载监测报警功能，自动上下料功能可选。



四川普什宁江机床有限公司YK3603精密数控卧式滚齿机。主要看点，八轴四联动，宁江核心技术刮研加工的高刚高精度导轨，加工最高精度5级，具备自动窜刀、双刀去毛刺、电子齿轮箱和会话式编程等功能，选购自动上料部件可实现轴、片齿轮零件的自动加工。



四川普什宁江机床有限公司YK3610III精密数控卧式滚齿机。主要看点，七轴四轴联动，B/C轴电主轴驱动，X/Z轴直线滚柱导轨滚珠丝杠传动，Y轴伺服电机驱动精密窜刀，标配可编程顶紧力精确可调伺服尾座，可选硬齿面精加工二次对刀装

置、“微量窜刀”和“切向进给”功能。

ESCO公司AF110滚齿机。主要看点，小模数高精高效滚齿机，适应灵活的小批量或24h连续大批量生产方式的多种自动上料方案，如通用装载机、振动杯进料器、料库和不同的输送机选项，简单友好的操作界面，具备联网功能并可从PC和服务器上下载加工程序。

陆联精密股份有限公司GBC-4028伞齿轮切齿机。主要看点，这是一台欲与Gleason和Klingelnberg同类产品比肩的智能大众化产品，功能强大性能优异的软件提供包括参数计算、啮痕设计、传动误差模拟、加工状态监控、在线测量、自动补偿在内的全流程作业支持。自行开发的人机界面可显示加工状况、加工进度并记录存储加工数据，用作经验的积累与升级。加工精度DIN 4级。



北京广宇大成数控机床有限公司GY-008-400RV减速器摆线针轮专用机床。主要看点，箱式龙门框架，X/Z/Z1/C四轴控制X/Z/C轴（或X/Z1/C轴）三轴联动，可分别完成一对摆线轮磨削的双磨头设计，动静压电主轴立磨头，滚动支承工件主轴，静压回转工作台（C轴），光栅尺全闭环控制，金刚石滚轮修整器。用于钛合金、高温合金、不锈钢、9310钢等不同材料摆线齿以及精密轴承孔加工。

安徽力成智能装备股份有限公司VLC500E立式伺服搓齿机。主要看点，具备顶紧力设定、工件位置尺寸检测报警功能的前顶尖，高精度的双

伺服电机双滚珠丝杠驱动的左右滑台，伺服电机滚珠丝杠驱动的可编程前后顶尖并可同步移位，直线导轨，手动/点动/自动三种不同加工方式选择，预留自动化接口，方便客户联线。



二维码看视频

重庆机床（集团）有限责任公司YT7226CNC磨齿机。主要看点，双工件主轴设计，反复对研的高精度端齿盘定位加液压浮动拉紧装置的工作台交换系统，床身循环冷却热平衡系统，辅助时间由传统磨齿机的15s提高到5s，进入国际先进行列。



南京康尼精密机械有限公司KN-GIV200数控内齿成形磨齿机。主要看点，整体高刚性床身设计，五交流伺服轴和两个调速主轴，高速伺服主轴电机通过皮带传动的砂轮主轴，三轴联动砂轮法向修整，自动对齿和齿形齿向修形等功能。

南京康尼精密机械有限公司KN-G320A数控成形砂轮磨齿机。主要看点，零件卧式安装，七个交流伺服轴（滑台纵向移动Z轴、滑台横向移动X轴、分度头A轴、螺旋角B轴、砂轮修整U/V/C轴）及交流变频调速电主轴，自动对刀和余量自动分配功能，加工4级精度（GB/T 10095.1—2008）。

南京康尼精密机械有限公司KN-GV800数控成形砂轮磨齿机。主要看点，零件立式安装，修整器安装位置与磨头砂轮相对固定减少修整空程时间，连续扫描式测头在线自动测量、自动对齿、齿形误差补偿功能。



南京二机齿轮机床有限公司Y7250CNC数控蜗杆砂轮磨齿机数控蜗杆砂轮磨齿机。主要看点，十轴五联动（刀架转角A轴、砂轮回转B轴、工作台回转C轴、冷却喷嘴回转B2轴、修整滚轮回转B3轴、工位交换CRT、径向进给X轴、切向进给Y轴、轴向进给Z轴、尾架移动W轴），砂轮电主轴最高转速7000r/min，砂轮在线动平衡功能，西门子840DSL数控系统二次开发的操作界面，支持参数编程。可磨削鼓形齿和锥度齿的齿向修形齿轮也可磨削齿形修形齿轮，增加特殊附件可进行成形磨齿。



南京二机齿轮机床有限公司YDB3132CNC数控干式滚齿机。主要看点，六轴四联动滚倒一体，三直线轴直联驱动，三回转轴电主轴驱动，主要导轨采用



直线滚柱导轨，滚刀主轴（B轴）转速范围1~2000r/min无级调速，切削速度200~300m/min，适用于多头滚刀高速高效干式滚齿加工。

南京二机齿轮机床有限公司Y4830CNC数控内齿珩轮强力珩齿机。主要看点，七轴五联动，直联驱动的刀具主轴及工件主轴，直线电机驱动的工作台轴向进给轴（Z2），智能化夹持力控制和自动热变形补偿技术，针对恒定轴交角加工的恒力切削技术，工件相位检测及自动对齿技术，自主知识产权的用户软件和宜人的操作界面。

另外还有湖南中大创远数控装备有限公司CY35G螺旋锥齿轮磨齿机。主要看点有整体单立柱布局，易操作的零距离装卸工件，电主轴式工件主轴等。



CIMT2019主办方根据部分展商申报和提交的展品技术资料整理的部分展品综述，按专业类别共十个大篇，但由于篇幅所限，此次刊登了上半部分，下期将刊登其余部分。虽然我们一直努力征集并介绍了一些展品信息，但由于很多展商仍没有提前报送展品的详细资料，因此与现场丰富的展品展示相比仍然是管中窥豹，更多展品详情，还需您亲临现场参观、品鉴，相信您一定会收获满满、不虚此行。（待续）

2018年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、概述

2018年我国机床工具行业整体上发展比较平稳。国家统计局提供的机床工具行业5652家年主营业务收入2000万元规模以上企业（以下简称“规上企业”）2018年主营业务收入同比增长了8.3%，高于同期GDP增速。实现利润总额同比增长了5.3%。

2018年我国金属加工机床消费额为291.3亿美元，同比微降2.8%。与此同时，我国金属加工机床进出口两旺，进口同比继续增长，金属加工机床出口达到2001年以来的最高水平。

二、主要经济指标完成情况

1. 主营业务收入

2018年机床工具行业规上企业主营业务收入7151.3亿元，同比增长8.3%。其中，金属切削机床行业完成主营业务收入1190.1亿元，同比增长3.3%。金属成形机床行业完成主营业务收入758.6亿元，同比增长10.0%。工量具及量仪行业完成主营业务收入964.2亿元，同比增长9.6%。2011-2018年机床工具行业主营业务收入增长率情况见图1。

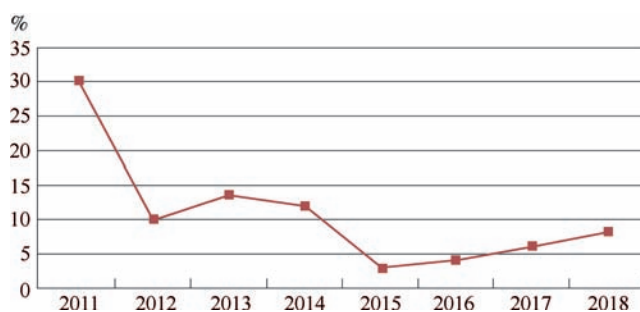


图1 2011-2018年机床工具行业主营业务收入增长率

2. 利润总额

机床工具行业规上企业2018年实现利润总额499.2亿元，同比增长5.3%。其中，金属切削机床行业实现利润总额46.7亿元，同比降低24.8%。金属成形机床行业实现利润总额58.2亿元，同比增长0.3%。工量具及量仪行业实现利润总额91.0亿元，同比增长9.4%。2018年机床工具行业规上企业利润率为7.0%，较上年同期降低0.2个百分点。2011-2018年全行业利润率水平及其同比变化见图2。

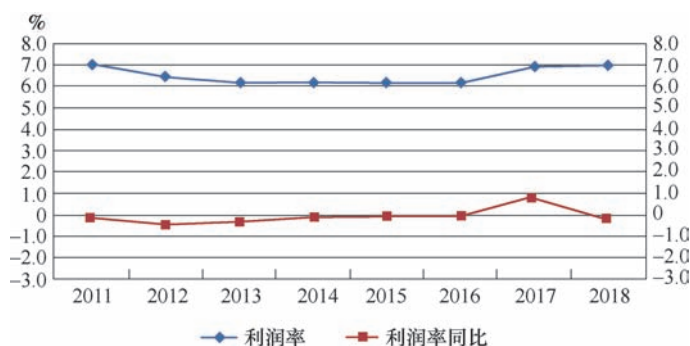


图2 2011-2018年全行业利润率水平变化

3. 金属加工机床产量

机床工具行业规上企业2018年金属切削机床产量为488610台，同比增长0.4%。其中，数控金属切削机床产量为190642台，同比降低5.7%。金属成形机床产量为230012台，同比降低11.1%。其中，数控金属成形机床产量为22653台，同比增长8.8%。2011-2018年金属加工机床产量情况见图3。

单位: 万台

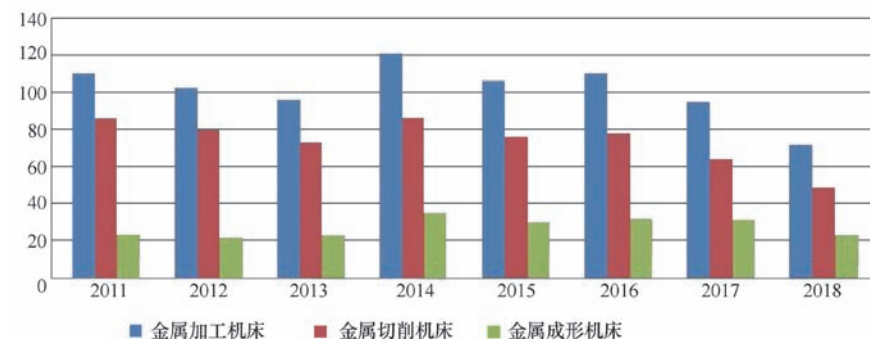


图3 2011-2018年金属加工机床产量

三、机床工具行业进出口情况

1. 进出口总体情况

2018年我国机床工具行业进出口两旺，出口增速高于进口增速。其中，进口总额165.4亿美元，同比增长8.5%；出口总额136.1亿美元，同比增长16.8%。

2018年金属加工机床进口总额96.7亿美元，同比增长10.6%。其中，金属切削机床80.7亿美元，同比增长11.7%，达到了2015年以来的年度最高值；金属成形机床15.9亿美元，同比增长5.6%，也达到了2016年以来的年度最高值。从增速看，金属切削机床进口的增长快于金属成形机床进口的增长。2011-2018年金属切削机床和金属成形机床进出口情况分别见图4、图5。

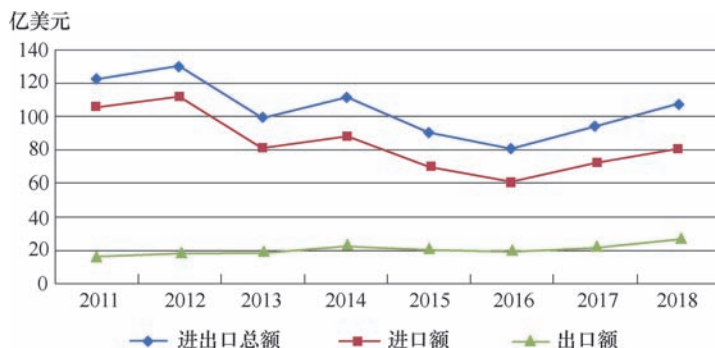


图4 2011-2018年金属切削机床进出口情况

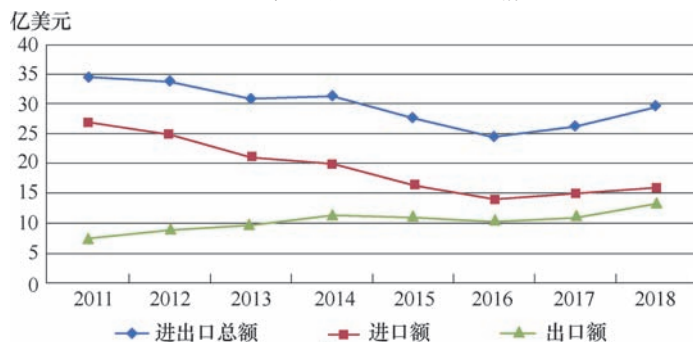


图5 2011-2018年金属成形机床进出口情况

2018年金属加工机床出口总额40.0亿美元，同比增长21.6%。其中，金属切削机床26.6亿美元，同比增长22.0%；金属成形机床13.4亿美元，同比增长

21.0%。无论是金属切削机床还是金属成形机床，出口总额均达到了2001年以来的最高水平。

(以上进出口同比数据系根据2018年与2017年年底海关公布数据直接计算得出。)

从上述数据看出，2018年金属加工机床进出口两旺，而且出口同比增速两倍于进口同比增速。全年进出口逆差56.7亿美元，与2017年54.5亿美元基本相当。

2. 金属加工机床进出口产品构成情况

2018年金属加工机床进口产品情况见图6。

由图6可见，按金额计算，排在前5位的进口产品是加工中心、磨床、特种加工机床、车床、齿轮加工机床。

2018年金属加工机床出口产品情况见图7。

由图7可见，按金额计算，排在前5位的出口产品是特种加工机床、车床、成形折弯机、其他成形机床、磨床。

3. 金属加工机床主要进口来源国（地区）和出口去向国（地区）

(1) 2018年金属加工机床前15位进口来源国（地区）见表1。

由表1数据可见，按金额计算金属加工机床进口来源前3位的国家和地区是日本（33.6%）、德国（25.4%）和中国台湾地区（11.7%），三者合计超过70%。

(2) 2018年金属加工机床前15位出口去向国（地区）见表2。

由表2可见，按金额计算金属加工机床出口去向前三位的国家和地区是美国（9.4%）、印度（8.4%）和越南（7.7%），三者合计约占25%。

2018年我国工量具进口总额为



图6 2018年金属加工机床进口产品情况（千美元）

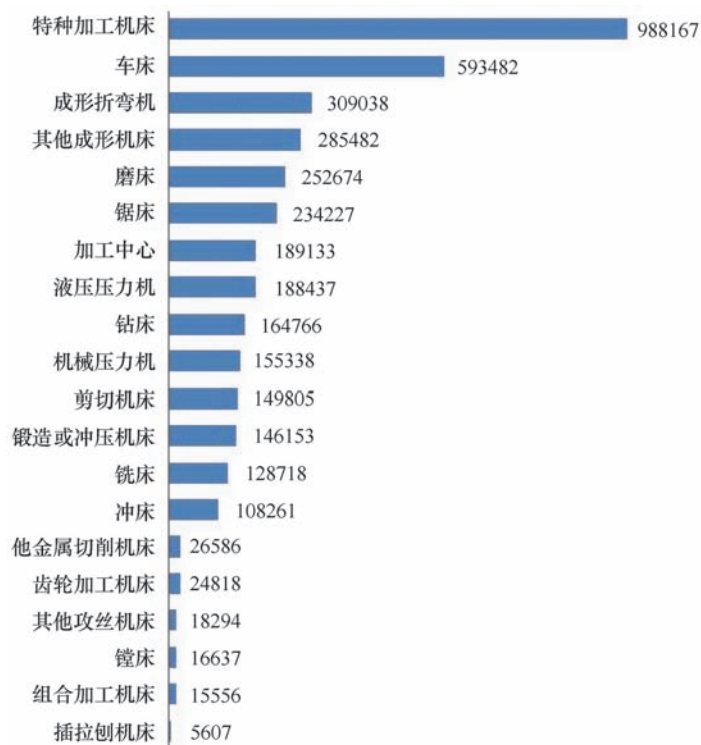


图7 2018年金属加工机床出口产品情况（千美元）

19.24亿美元，同比增长6.45%；出口总额为30.64亿美元，同比减少9.88%。

2018年我国磨料磨具进口总额为7.37亿美元，同比增长10.69%；出口总额为25.06亿美元，同比增长8.37%。

四、金属加工机床消费额

2018年金属加工机床生产额234.6亿美元，同比降低4.3%。其中，金属切

表 1

序号	国家或地区	进口额 (千美元)	进口额 占比 (%)
	总计	9670102	
1	日本	3251887	33.6
2	德国	2453106	25.4
3	中国台湾	1126863	11.7
4	韩国	569948	5.9
5	瑞士	525185	5.4
6	意大利	431390	4.5
7	美国	318532	3.3
8	新加坡	178501	1.8
9	捷克	139220	1.4
10	西班牙	132412	1.4
11	奥地利	131409	1.4
12	泰国	100637	1.0
13	英国	52188	0.5
14	法国	51671	0.5
15	中国	29559	0.3
	其他	177594	1.8

表 2

序号	国家或地区	出口额 (千美元)	出口额 占比 (%)
	总计	4001179	
1	美国	374641	9.4
2	印度	336345	8.4
3	越南	309378	7.7
4	日本	218514	5.5
5	德国	197337	4.9
6	俄罗斯联邦	191621	4.8
7	泰国	150189	3.8
8	中国台湾	148751	3.7
9	印度尼西亚	130566	3.3
10	墨西哥	128740	3.2
11	韩国	123017	3.1
12	马来西亚	113240	2.8
13	荷兰	73184	1.8
14	土耳其	73101	1.8
15	中国香港	71976	1.8
	其他	1360578	34.0

削机床生产额126.9亿美元，同比降低4.9%；金属成形机床生产额107.7亿美元，同比降低3.6%。

2018年金属加工机床消费额达291.3亿美元，同比微降2.8%。其中，金属切削机床消费额181.1亿美元，同比微降1.6%；金属成形机床

消费额110.2亿美元，同比降低4.7%。2018年国内金属加工机床市场容量略有下降。2001-2018年国内金属加工机床消费额见图8。

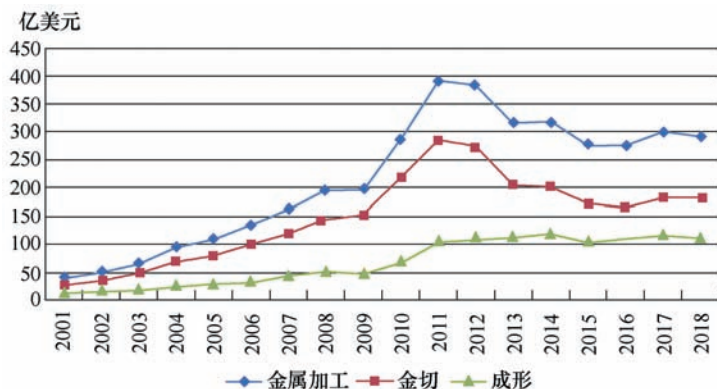


图8 2001-2018年金属加工机床消费额

五、行业运行主要特点和问题

根据上述统计数据，可以看出2018年我国机床工具行业运行呈现如下一些特点和问题。

1. 行业运行呈现前高后低、年末趋稳态势

从图9可以看出，2018年上半年我国机床工具行业延续了2017年恢复性增长趋势，各月主营业务收入和利润总额累计值均同比两位数增长，各月完成额也较均衡。但7月份之后出现了快速的下滑，不过下滑趋势在9月止底后已开始缓慢修复。

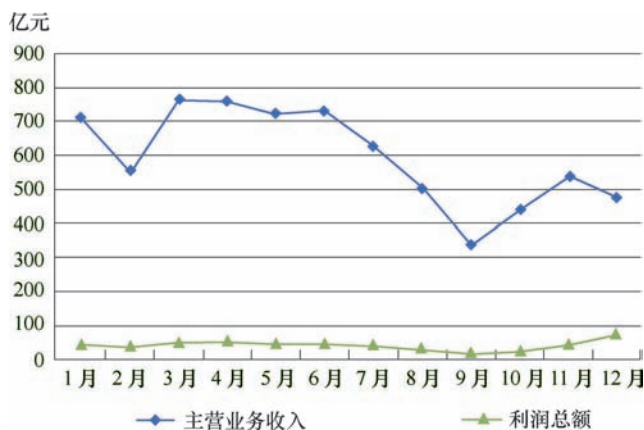


图9 2018年各月度行业主营业务收入、利润变化（国统局）

2. 金属加工机床进出口增速明显

2018年金属加工机床进口继续增长。金属切削机床进口总额同比增长11.73%；金属成形机床进口总额同比增长5.33%。进口的持续增长，一方面表明我国机床市场需求升级趋势明显，另一方面也表明用户对进口产品的依赖程度没有根本改变。

2018年金属加工机床出口总额同比增长21.83%。其中，金属切削机床同比增长22.05%，金属成形机床同比增长21.40%。金属切削机床和金属成形机床的出

口总额均达到了2001年以来的最高水平。

六、2019年行业运行趋势预测

2019年机床工具行业运行的外部环境良好。2018年我国宏观经济发展平稳，国内生产总值增速为6.6%，2019年经济发展也将保持在合理区间。2018年制造业投资增速达到9.5%，为2015年以来最高，并明显高于全社会固定资产投资增速。这些将为机床工具行业的平稳发展提供有利条件。

机床工具行业转型升级取得积极成效。在国家政策支持和引导下，机床工具行业企业逐步加快转型升级步伐，积极适应第四次工业革命带来的需求变化，充分利用智能制造、工业互联网等先进技术，提升产品技术水平，适应用户领域技术革命的新需求，产品结构逐步向中高端延伸，国产机床逐步进入汽车、航空航天、军工等重点领域，涌现出一批市场竞争力较强的企业。

在市场方面，2019年机床工具行业将面临一些不利因素。例如，2018年汽车行业的产销量28年来首次下降，2018年汽车制造业的固定资产投资增速为3.5%，明显低于同期全社会投资增速（5.9%），2019年该行业也不乐观。同时，3C行业对机床需求改善的积极因素还不明显。这两大机床市场的需求预期，对机床行业将有很大影响。

但另一方面，工程机械、轨道交通、航空航天等行业的发展比较强劲，对机床的需求将有一定增长。

综合以上因素分析，我们预测2019年机床工具行业的运行有下行压力，总体上保持需求持续升级态势，主要经济指标收入与2018年持平或略有下行，各小行业领域会表现不同。□

意大利制造： 让中国用户得到更多的益处

本刊记者/李华翔

丰富的文化遗产不仅书写了意大利璀璨的历史，也同样孕育了意大利制造深厚的匠心底蕴。作为老牌工业强国，意大利机床制造的实力毋庸置疑，其机床产品“专、精、特”的特点突出，在中国市场上有着很大的拓展潜力。

就在不久前，意大利与中国刚刚签署了“一带一路”谅解备忘录，标志着中意经贸关系迈上了新台阶，这为意大利机床制造企业进一步开拓中国市场增添了更多信心。即将召开的第16届中国国际机床展览会（CIMT2019）正是展示这一信心的最佳舞台。

为进一步了解相关情况，本刊记者与意大利对外贸易委员会北京办事处首席代表、中国区和蒙古国总协调官Scarpa先生，以及意大利机床、机器人及自动化制造商协会（UCIMU）主席Carboniero先生进行了沟通交流。



意大利对外贸易委员会北京办事处首席代表、
中国区和蒙古国总协调官Scarpa先生



意大利机床、机器人及自动化制造商协会
主席Carboniero先生

本刊记者：请介绍一下2018年意大利对中国的机床工具出口情况？

Dr.Scarpa：中国机床市场在2018年中表现特别活跃，这也证实了这个行业对优质生产和尖端技术解决方案充满了兴趣。2018年意大利对中国的出口额达到了3.4亿欧元。中国成为了“意大利制造”的第三大市场，占意大利出口总量的10%。

作为一个具有悠久传统又极具创新能力的国家，意大利成为了中国市场的第六大进口国，尤其在某些领域表现更佳，例如成型类机械（+13%），磨床类机械更是取得了85%的增长。与此同时，中国也是意大利制造业的第九大供应国。由此可见我们两国之间的商业贸易往来生机勃勃。

这些重要的数据，一方面重申了长达40年值得信赖的供货情况和客户定制是如此重要的宝贵财富，受到客户的认可；另一方面，对于意大利来说，中国也是一个战略市场，并能为意大利带来巨大收益。

意大利供应的技术和机械，占意大利向中国出口总值的近30%。意大利工业领域出口成果显著，2018年内增长了6.2%（而新市场出口增长平均值为-0.4%），是继美国、瑞士、德国之后第四大绝对出口增长国家。

本刊记者：请介绍一下意大利机床工具产业发展的最新情况？

Mr.Carboniero：2018年是意大利机床、机器人和自动化制造企业创纪录的一年，所有经济指标都实现了两位数的增长。在2019年，我们预计将继续巩固这一增长成果，也就是说我们意大利的企业家们将以过去一年取得的成果为基础继续努力。我们对未来充满信心。

根据意大利机床、机器人及自动化制造商协会企业研究和文化中心初步统计的2018年数据来看，在2018年

中，产值增长至69亿欧元，相比上一年度增长了13.4%。对于意大利机床、机器人和自动化制造行业来说，这已是连续第五年实现了行业产值增长，绝对也是该行业的新纪录了。

这样的结果既要归功于意大利企业在国内市场上取得的出色增长表现（国内市场上实现了21.1%的增长，产值达32.7亿欧元），也不能忽略了出口的积极增长（出口额增长了7.2%，达36.3亿欧元产值）。

与此同时，意大利机床行业企业均认为，中国不仅仅是“意大利制造”的销售市场，更是一个可以对话与合作的伙伴。

中国在不久的将来会引领时代，而意大利机械制造业将“帮助”她实现这一在“高端制造”政府规划中描述的远大目标，意大利将会在某些重要的制造业门类中成为首屈一指的参与者，诸如机器人和自动化生产这些门类。这是因为我们能够提供由高质量人才保证的高端技术和专业知识。在这种情况下，意大利机械制造业能够通过合作与协助来完善中国当地企业的所

需要的部分，帮助中国企业走上增长和发展的道路。

第一届意中机床论坛于2017年底在北京举办，论坛由意大利经济发展部、意大利驻中华人民共和国大使馆，意大利对外贸易委员，意大利机床机器人及自动化制造商协会和中国机床工具工业协会联合组织。该论坛为我们之间逐年巩固和成长的合作关系打下了基础。从这个意义上来说，中国国际机床展览会（CIMT）是必不可少的。2019年11月下旬，第二届中意机床论坛将在我们与中国同事共同努力的组织下再次举办，这必将为两国工业体系之间的合作带来新的实际机会。

本刊记者：请介绍一下CIMT2019意大利展团的整体情况？都有哪些产品和技术的亮点？

Mr.Carboniero：意大利企业极其看重这届展览会，届时将会有60家意大利企业出席或参与2019中国国际机床展览会，其中又有46家参加了占地约2000m²的意大利对外贸易委员会-意大利机床机器人及自动化制造商协会官方展团。在本次展会上，整个行业的所有技术都会在





现场进行展示。

灵活性、极高的技术标准、强大的个性化定制、认真的服务态度，这些都是打造意大利制造业举世闻名的传统上的特征。在这些独特性的基础上，今日的意大利制造业更增加了一个强有力的组成部分，那就是由某些基于工业4.0的重要政府措施支持和推动的数字化。

正因如此，“意大利制造”在今日有着比以往更高的质量和更强大的创新能力，能够让世界范围内的最终用户，尤其是全身心投入到举国发展进程中的中国用户得到更多的益处。

本刊记者：在全球经济不确定性日益加剧的当下，意大利贸易委员会对未来中国市场发展走势作何判断？

Dr.Scarpa：最近几年，中意两国贸易互换的不断增加。我们相信，未来几年意大利与中国之间的合作机会将大大增加，这与两国及其各自经济的互补性是一致的；未来发展的方向一定是基于双赢的基础上。习近平主席最近对意大利进行的国事访问是

确认这个前进方向的一个契机，中方与意大利经济发展部联合签署并启动的一大批关于基建、能源、运输、金融、技术和创新方面的合作协议。这样的加速能够带来机械制造行业的合作新形式，就正如我们今天所说，这是意大利和中国之间的第一大贸易往来项目，足以可见它在两个经济体之间的对话中发挥的重要作用。

本刊记者：对于机床行业，意大利对外贸易委员会将在中国市场上有哪些战略和推广活动？

Dr.Scarpa：我们将推行四项重要举措来落实针对中国市场的推广活动，这都得到了我们经济发展部的支持，并将和意大利机床机器人及自动化制造商协会开展紧密合作。

首先，我们会组织中国代表团访问意大利，参加机械行业的各类活动（意大利国际机床工具展 BIMU、意大利国际机床及金属板材成形展）。这些活动是让中国了解意大利工业区很好的机会，其中很多工业区是出口和聚合经济的典范。同时，我们也会

组织意大利展团参加中国的行业展会（例如北京的中国国际机床展览会 CIMA等），每年展团的质量和数量都会有所增加。

还有，我们每年组织意大利机床科技奖来专门培训科技学科的中国青年学生。通过培训让他们了解该行业的进展，并激活意大利公司与未来工程师之间的联系，便于他们了解认识到我们国家好的产品，并将这种认知带到他们将来所在的企业里。

最后，开展政府机构和行业协会之间的机构合作。正如意大利机床机器人及自动化制造商协会主席 Carboniero 先生所说，继2017年在意大利驻华使馆支持下所展开的对话，及“首届中意机床双边论坛”顺利召开之后，我们将再次共同组织中意机床双边论坛，并带来新的内容和更深入的见解。

在本届中国国际机床展览会（CIMA 2019）上，我们还会推出一项新的线上推广计划，以便在中国更好地推广意大利机床技术。□



特别策划：航空发动机关键制造技术

先进航空发动机关键制造技术包括轻量化、整体化新型冷却结构件制造技术，新材料构件制造技术，航空发动机制造新技术新工艺，航空发动机零部件的无损检测技术，以及面向零件制造过程的专业化成套制造技术。

轻量化、整体化新型冷却结构件制造技术包括：整体叶盘制造技术，整体叶环(无盘转子)制造技术，大小叶片转子制造技术，发动机机匣制造技术，宽弦风扇叶片制造技

术。新材料构件制造技术主要指复合材料加工技术，包括金属基复合材料构件制造技术，陶瓷基复合材料构件制造技术，碳/碳复合材料构件制造技术。

数控加工技术在航空发动机制造中主要用于压气机及涡轮机的各类机匣、压气机盘及涡轮盘、涡轮轴和压气机轴等复杂构件的加工。高效精密切削、变形补偿、自适应加工，以及抗疲劳制造等技术的研究和应用在新一代发动机的加工中

需求迫切。

另外还有特种加工技术，特种焊接技术，热障涂层技术，快速原型/零件制造技术以及浮壁式火焰筒制造技术，无损检测技术和面向零件制造过程的专业化成套制造技术等。

本期主题策划了复合材料加工技术、整体叶盘制造技术、以及新技术新工艺新装备，希期读者对这些关键技术能有所了解。

策划人：李华翔



整体叶盘先进制造技术应用与发展

中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司 杨万辉 徐新发 杨金发

国外航空发动机研制应用了大量高端装备及制造技术。以国外整体叶盘发展为切入点，介绍了航空发动机部分先进制造技术的应用现状及发展方向。

整体叶盘是航空发动机的重要转动部件，在离心力、气动力等多变载荷下工作。为提升气动性能以及保证服役周期，国外整体叶盘带有弯掠特征的复杂叶片构型，采用钛合金、高温合金等难加工材料，形位精度及尺寸公差严，加工表面完整性要求高，材料去除量大。国外整体叶盘加工采用了高精度、高效率、高可靠性的先进制造技术。

一、数控加工技术

国外航空领域不断采用高端装备和高新技术来解决整体叶盘复杂叶型高效能加工难题，采用了从加工工艺到工艺装备的整体解决方案。新材料、新工艺不断推动着整体叶盘制造技术的进步。

1 铣削与自动抛光技术

高精度尺寸及形位公差要求，大

扭转、长薄壁的空间曲面叶片构型，钛合金、高温合金等难切削的工件材料，要求整体叶盘叶型铣削技术具有高效、精密、安全、低成本等特点。通用五坐标加工中心已不能完全满足整体叶盘质量、效率与成本方面的综合需求。由于整体叶盘在航空发动机上的广泛应用，促使整体叶盘新型专用数控机床、刀具系统、工艺装备与相应编程软件、加工工艺的综合进

步。

整体叶盘叶型加工工艺应以提升铣削精度和加工表面质量为要点,保证叶片几何精度与物理性能。整体叶盘叶片薄长,气流通道空间狭窄,叶型截面曲率在前后缘区域变化剧烈。叶型铣削加工方案注重增强叶片实时加工刚性,减小叶片加工变形,控制刀轴矢量变化,维持切削力基本平稳。国外整体叶盘加工主要采用型腔填充减振材料以及粗精混合加工方案,采用高性能、长耐用度刀具刀柄系统(见图1),有效增强铣削过程中的叶片刚性,对保证前后缘形状与叶片轮廓度起到重要作用。

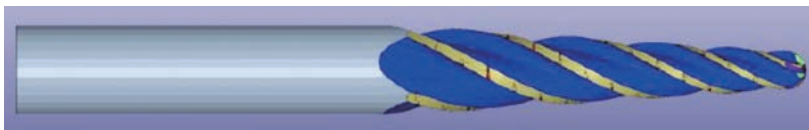


图1 高精度长耐用度刀具

国外加工整体叶盘的五轴联动加工中心向高速度、高精度、智能化方向发展,具有如下特点:

(1) 高动态性能。部分线性轴采用直线电机驱动,线性轴加速度可达 $0.8g$ 以上,转动轴采用力矩电机直接驱动,提高转动轴加速性能和重复定位精度,保证多轴联动精度,提升加工表面质量。

(2) 高主轴转速。加工中心配备高速铣电主轴(见图2),可以在低转速时以高扭矩、大切深的方式进行粗加工,在高转速时以大进给、小切深的方式进行精加工。高速铣电主轴采用油气润滑及油雾润滑等润滑方式。

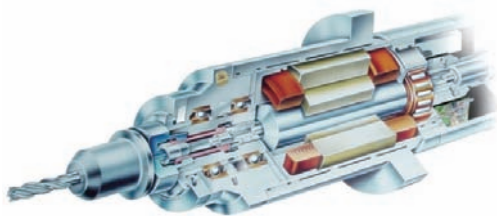


图2 高速主轴

(3) 智能监测功能强。加工中心具有在线测量分析、切削振动监测、刀具寿命监控、主轴断电回退、主轴温度补偿、碰撞监控急停、故障自诊断与智能报警等功能,有效提高整体叶盘加工可靠性与安全性。

(4) 驱动参数优化与机床误差修正准确快捷。深度开发机床数控系统,方便进行人机交互,结合叶盘加工特点,可进行RTCP精度检测、坐标轴运动特性分析与伺服系统驱动参数调整。不同叶盘零件重量差异较大;同一叶盘从叶片毛坯状态加工至叶片最终成型状态,重量不断变化。可对承载零件的转动轴驱动参数进行优化,提高动态响应性能,使各轴动态响应特性达到最佳匹配状态,降低机床路径跟随误差。整体叶盘叶型铣削对环境温度恒定性要求高,在加工中心长时间加工运转以及环境温度变化较大时,可采用球杆仪等工具准确分析和补偿机床各轴运动误差,保证对刀数据准确性,提高叶身及流道加工精度。

加工环境温度变化、机床冷热状态转变、不同规格刀具加工,这些因素使叶片部位难以避免地产生接刀痕、局部铣削缺陷。此外,整体叶盘加工表面质量要求较高,在前后缘一定距离内不允许出现横向加工痕迹;叶身型面表面粗糙

度等级高,叶身型面、流道面与叶根圆角需要光顺圆滑转接。在整体叶盘叶型铣削后,通过柔性机器人或多轴联动磨抛机床,采用砂带、砂轮、抛光轮等磨具对整体叶盘叶片及流道进行自动化抛光。

国外整体叶盘全型面、多要素自动化数控磨抛技术,处于不断发展和完善之中。自动化抛光设备在磨抛介质选型、磨抛参数选择、加工精度控制、运动路径规划等方面有待进一步研究。对于大扭转、长悬伸、窄间距的整体叶盘,叶片前后缘、叶根圆角与流道面一直是自动化抛光的难点,在叶盆、叶背等开敞性好、曲率变化小的区域可基本实现自动化抛光。现阶段主要通过优化铣削策略,控制表面粗糙度与接刀痕大小,再采用自动化抛光设备去除接刀痕迹或局部铣削缺陷,降低表面粗糙度值,保证叶片型面尺寸,防止过抛、欠抛,尤其避免前后缘出现削边、平头、尖边等问题。整体叶盘自动化抛光技术将向柔性随形加工、自适应局部抛修、磨抛与检测一体化方向发展。

2. 程序分析与优化技术

整体叶盘铣削加工属于强时变工况。在加工曲面光顺性差、切削力非线性剧烈变化、加工参数匹配性欠佳等条件下,叶身型面容易出现振纹、凹坑等问题,铣削过程容易存在主轴功率过大、刀具异常振动等现象。在叶盘正式加工前,需要反复迭代试验,试验周期长,调试难度大。整体叶盘加工可利用专业软件与仪器来优化数控铣削程序,缩短加工周期,提高加工表面质量。

基于均衡切削力、均衡主轴功率的原则,整体叶盘叶型铣削程序可通过Production Module切削工艺分析软件、OMATIVE自适应控制系统等工具进行优化(见图3)。通过综合分

析机床、刀具、工件与程序,优化整体叶盘叶型铣削程序中的切削参数数据,降低切削力峰值,平衡主轴负载,提高加工效率,延长刀具寿命,保证加工过程平稳,使数控机床工作在最佳的加工状态。在整体叶盘叶型精铣时应适当避免进给速度的频繁变化,保持加工表面质量的一致性。

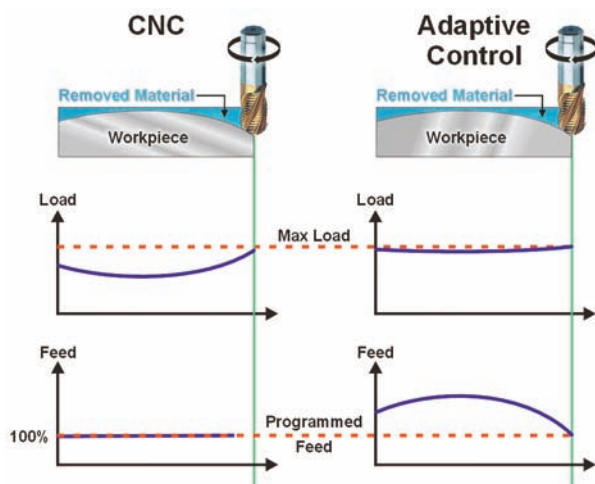


图3 OMATIVE加工优化策略

整体叶盘叶型高速铣削加工时,机床几何轴运动速度及方向不断改变,刀轴矢量快速变化,

引起叶片加工表面出现条状纹理、颤纹等问题。国外部分叶盘加工专用软件可对机床运动状态进行测试记录,识别各运动轴换向点,计算各运动轴速度、加速度以及加加速度,分析叶型铣削加工是否超出机床运动性能极限,进而优化叶型铣削程序。按整体叶盘加工状态,在机床主轴上装载特定刀具并空运行铣削程序,CUTPRO切削动力学分析软件可分析叶型铣削颤振稳定域,通过调整主轴转速与进给速度,提高刀具悬伸、主轴转速与切削力匹配度,预防刀具振动,提高加工表面质量。

3 自适应加工技术

自适应加工技术能够自动适应零件形状进行加工,在国外摩擦焊叶盘精密成形铣削及整体叶盘修复领域具有广泛应用。

线性摩擦焊技术适用于加工大扭转、长悬伸整体叶盘,可以节省毛坯材料,缩短铣削加工周期。采用线性摩擦焊技术将多个叶片焊接到轮毂的轮缘位置后(见图4),需要将焊接工艺台等多余材料去除。焊接式叶盘所用叶片实际形状不尽一致,受焊接精度限制各叶片在焊接后位置不尽一致,需要采用自适应加工技术针对各叶片进行个性化精密数控铣削。



图 4

整体叶盘采用叶片与盘体一体化结构,并出现了多级整体叶盘焊接结构、叶盘与轴颈焊接结构等更加复杂的整体式结构,制造成本更高,加工周期更长。

叶片局部区域受到外物损伤或疲劳断裂后,需要采用补片焊接与自适应精密铣削加工等方法进行修复。在精密铣削时必须基于叶片实际状态进行自适应加工。

自适应加工技术需要采用数字化测量技术,检测整体叶盘待加工叶片的实际形状和位置,基于检测数据与理论模型构建自适应加工工艺模型,确定铣削基准,计算刀具轨迹,保证加工后相关部位尽量接近理论设计模型并光滑接平。国外在该领域已有较成熟的自适应加工软件与制造工艺。德国BCT公司的自适应加工技术、瑞士达拉格集团TTL公司自适应加工编程软件已分别应用于MTU公司、罗罗公司的整体叶盘自适应加工。自适应加工工艺模型构建方法、自适应铣削策略设计是整体叶盘自适应加工技术与工程化应用的重点。

二、叶片测量技术

整体叶盘的加工质量对飞机发动机的气动性能以及服役周期影响甚大,需要对叶片部位的型面和形位精度进行高精度、高效率的检测评价。整体叶盘叶片采用三元流设计,叶片前后缘逐步采用高阶抛物线形,前后缘尺寸薄小且曲率变化大,叶身型面为复杂的空间自由曲面,叶片间气流通道窄小,而整体叶盘叶片数量及检测项目众多。整体叶盘检测需要具有高精度、高效率以及高可靠性。

整体叶盘检测包括测量路径规划、数据采集、模型配准、数据处理与误差评定等基本过程。国外整体叶盘检测目前主要采用接触式坐标测量技术,并逐步采用非接触式扫描测量技术。在整体叶盘接触式测量中,通常采用两种方案:

(1) 采用配置精密转台的高精度三坐标测量机实现四轴联动,进行

点接触式测量。

(2) 采用配置多轴测座及高精度接触式扫描测头进行测量。

国外雷尼绍公司的五轴测座和无级变速测头系统在坐标测量机上能实现高精度、超高速扫描测量(见图5)。整体叶盘非接触测量技术主要采用光学扫描测头,测量速度快、采样频率高,避免接触式扫描引入的余弦误差。国外高端检测设备厂家的光学三维测量系统能高效高精度地完成整体叶盘非接触式检测,提供完整的误差分析和评价结果。目前,相比非接触式测量技术,接触式三坐标测量技术具有更高的可靠性和测量精度。

整体叶盘主要检测和评定叶片上若干等高截面的加工情况,后续将向整体型面误差评定以及加工误差可视化方向发展。为分析加工误差及改进加工质量,保证空气动力学性能,专业测量软件将注重分析统计功能开发,将已有检测数据录入专用数据库,方便查询和分析各检测项目的误

差分布规律。



图5 三坐标测量

三、表面强化技术

作为航空发动机压气机单元体中的转动部件,整体叶盘在高温、高压和高转速的工况下运转,容易出现疲劳断裂。大量疲劳破坏故障表明,多数疲劳断裂始于零件表层,加工表面质量成为影响整体叶盘疲劳强度的重要因素。采用抗疲劳表面强化技术,提高加工表面完整性,增强整体叶盘疲劳强度,对保证整机使用性能以及服役寿命具有重要意义。

国外整体叶盘通常采用磨粒流加

工、振动光饰、喷丸强化、激光喷丸等加工技术,提高叶片部位加工表面完整性。磨粒流加工与振动光饰通过减小加工刀痕深度及锐度,降低应力集中程度,提高表面粗糙度等级,来改善加工表层状态。喷丸强化、激光喷丸通过在加工表层产生塑形变形,引入残余压应力,细化晶粒组织,提高位错密度,抑制或延缓疲劳裂纹的萌生及扩展,增强整体叶盘疲劳抗力。国外整体叶盘表面强化技术主要在提高表面强化能力、叶片强化加工变形控制与补偿等方面开展研究。

四、结语

先进制造技术是航空发动机研制的重要支撑。作为航空发动机的重要转动部件,整体叶盘加工始终追求高质、高效、低成本目标。在制造技术日新月异、航空产品不断升级的大背景下,整体叶盘加工技术将不断提升。□

广告客户索引 Advertisers Index

第十六届中国国际机床展览会 (CIMT2019)	封面
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
约翰内斯·海德汉博士(中国)有限公司	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
北京北一机床股份有限公司	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
健椿工业股份有限公司	6
意大利国家展馆	7
捷克国家馆	8
博恩斯坦电子(太仓)有限公司	9
第十一届中国数控机床展览会 (CCMT2020)	11
上银科技(中国)有限公司	12
哈量集团	13
汇专科技集团股份有限公司	15
瑞士莫尼埃查纳有限公司	87

航空发动机中的复合材料加工

山特维克可乐满 范文倩

由于复合材料具有质量轻、较高的比强度和比模量、较好的延展性、抗腐蚀、隔热、隔音、减振、耐高（低）温、耐烧蚀、透电磁波、吸波隐蔽性、可设计性、制备的灵活性等特点，所以是制造飞机、火箭等航空航天飞行器的理想材料。

复合材料在飞机结构件中的应用日趋成熟，从开始的内饰、连接零部件发展到主承力和次承力结构件。尤其是在大型复材机翼的生产装配中，不仅能够对大型复材薄壁件进行整体加工，而且能够完成复材与其他金属零件的高精度自动化组装。这些除了需要先进的复材生产技术外，也对复材机械加工提出了更高的要求，尤其是刀具在多材料叠层中高精度制孔的应用。山特维克可乐满从国外复材大机型研发开始，就深入这个领域的刀具研发工作，有着丰富的刀具设计和工艺加工经验。

随着越来越高的节能减排的要求，以及新材料新科技的不断发展，更多品种的复合材料进入了飞机发动机制造领域。其中有用于高温零部件的陶瓷基复合材料和用于发动机冷端的树脂基复合材料及金属基复合材料。

1. 应用于飞机发动机的陶瓷基复合材料的加工

陶瓷基复合材料在航空发动机制

造应用中，越来越显示出它的独到之处。陶瓷基复合材料除了具有质量轻、硬度高的优点以外，还具有优异的耐高温和高温抗腐蚀性能。目前陶瓷基复合材料在承受高温方面已经超过了金属耐热材料，并具有很好的力学性能和化学稳定性，是高性能涡轮发动机高温区理想的材料。常见的陶瓷基复合材料主要是C-C和C-SiC，应用于发动机的加力燃烧室燃油杆、隔热屏、喷管等部件中。

对于陶瓷基复合材料，由于其坚硬的材质和部分颗粒组分的不均匀性，机械加工非常困难。尤其是在制孔过程中，传统方法一般采用磨削的加工方式，但生产效率比较低。金刚石刀具具有一定的坚硬程度，但对于颗粒不均匀的材料，容易因不均匀的受力发生刀具断裂。所以CVD涂层刀具就是一种比较好的选择，它比较好地平衡了韧性和耐磨性的要求。此种刀具对CVD涂层的要求极高，只有选择合适的涂层材料和对基底材质的正确处理，才能够生产出适合陶瓷加工的刀具。

山特维克可乐满有自己的材料研发机构，分别对硬质合金基底材料的处理、金刚石涂层的成分、颗粒和涂层厚度进行了研究和试验，最终找出了合适的组合，使得CVD涂层刀具在陶瓷基复材加工中也可表现出良好的性能和寿命。图1显示在试验过程中使用不同涂层材质(None, PB+, Standard Diamond)、不同的硬质合金基底（红色和橘色），不同涂层厚度和基材处理方法的情况下，刀具寿命的区别。合理的选择涂层和基材的材质及涂层厚度，正确的进行基层处理，可以使刀具寿命成倍增长。

图2是系列钻头加工陶瓷基复合材料的案例。

图2是陶瓷基复合材料航空刹车片的加工过程，我们使用了带CVD涂层的

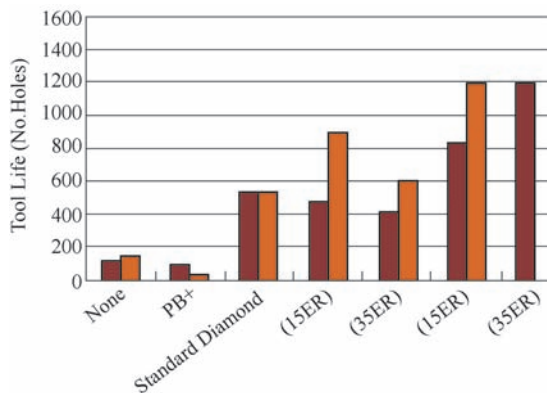


图 1

863-O系列钻头进行孔加工。孔精度和刀具寿命都获得了客户的认可,大大提高了客户的生产效率。



图 2

2. 应用于飞机发动机的树脂基复合材料的加工

树脂基复合材料的服役温度一般不超过350℃。因此,树脂基复合材料主要应用于航空发动机的冷端。主要部件为发动机风扇叶片、机匣、帽罩基短舱等部件。

对于单纯树脂基复合材料的加工相对简单,但在很多部件中是有多种材料一起组成的。尤其是像CFRP和钛合金这样一对加工性质迥异的材料,需要将它们组合在一起加工,这就需要刀具具有同时加工这两种材料的能力。尤其是在很多场合无法重复定位,而只能需要一刀完成且精度达到H7或H8的高精度孔。

山特维克可乐满863.1-OS就是这样一种刀具(见图3a),它适用于复合材料和钛及高温合金等难加工金属的叠层材料制孔。刀具制造精度可达到0.005~0.008mm。在横刃和外侧顶角的特殊设计,使得它在保留了锋利的切削刃的同时也具有耐磨特性。

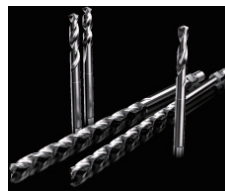
图3b为CFRP和Ti叠层的加工案例,通过使用863.1-OS刀具,我们试验了在啄钻和非啄钻的情况下,制孔精度可稳定的达到0.05mm,且出口和进口表面质量良好。

3. 应用于飞机发动机的金属基复合材料的加工

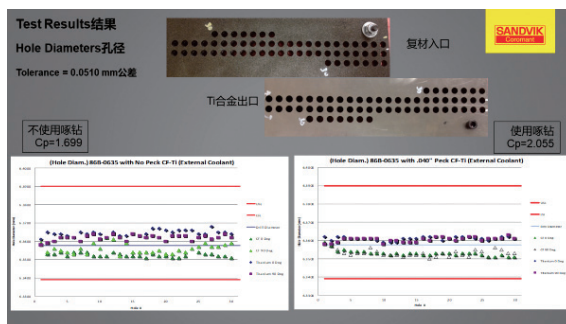
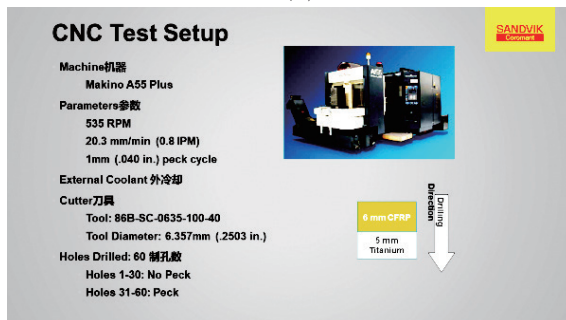
和树脂基复合材料相比,金属基复合材料具有良好的韧性,不吸潮,能够耐比较高的温度。碳化硅纤维增强钛合金基体复合材料可用来制造压气机叶片。碳纤维或氧化铝纤维增强镁或镁合金基体复合材料可用来制造涡轮风扇叶片,镍铬铝钎纤维增强镍基合金基体复合材料可用来制造涡轮及压气机用的密封元件。

金属基复合材料中,作为无机增强纤维的C、SiC等材料对刀具的磨损较大,同时增强纤维和基体金属之间容易发生反应而产生脆性相。因此需要在加工的过程中减小切削力,这就要求刀具的锋利程度和耐磨性更高。

山特维克可乐满推荐使用烧结PCD刀具来加工此类材



(a)



(b)

图 3

料(见图4)。烧结PCD是通过高温高压将PCD粉末烧结在硬质合金基体上,然后再进行复杂刃型的加工。它的特点是能够加工出更出众的切削质量,避免焊接PCD造成的脱焊现象,延长刀具寿命。我们使用了EDGE磨削技术,使得刀具的性能、精度和重磨次数都成倍增长。



图 4

4. 结语

随着新材料技术的不断革新,复合材料的种类和性能也在不断提高,这也要求刀具商不断地研发新产品,改进刀具的设计和加工工艺,才能使新材料能够更合理更经济地应用在飞机制造中。□

山高助力航空巨头应对更严苛的航空零件加工挑战

山高刀具供稿

在过去30年间，巴西加工企业 Globo Machining 一直在为巴西航空巨头 Embraer 生产飞机零部件。随着 Embraer 公司在国际市场上不断发展壮大，他们对 Globo 产品的要求也越来越高。

为了满足不断增长的数量和质量需求，Globo 认为加强与山高的关系将是最佳选择。自 2015 年以来，两

家公司已通过合作来满足 Embraer 公司的需求。Globo Machining 的所有者之一 Gilberto Geraldo de Oliveira 解释说：“山高不仅仅是刀具供应商，还是很好的合作伙伴，他们在整个加工过程中给予我们帮助，为我们提供重要的技术支持。”

为了帮助 Globo Machining 获得最佳生产结果，山高提供了一系列先

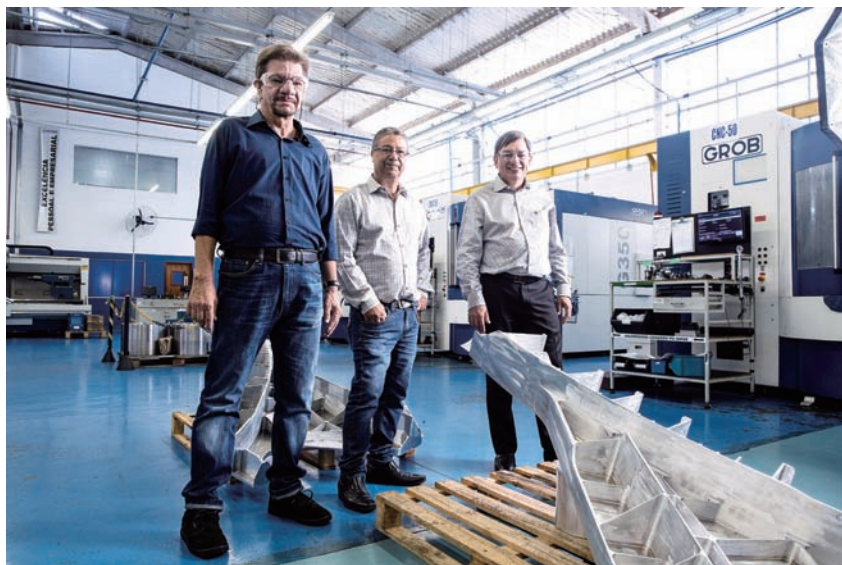
进的刀具和详细的使用说明。“每当我们需要加工 Embraer 公司所要求的零件时，我们都会把项目转交给山高技术人员。”Oliveira 说，“他们不仅为我们提供加工刀具，还为我们提供技术数据、正确的使用说明以及合金的所有切削参数。”

自从与山高合作以来，Globo 取得了令人瞩目的成果，而团队合作使其成为加工市场中更具竞争力的参与者。de Oliveira 说：“我们已经大幅降低了生产成本和时间。而且我们有信心会变得更好。”

GLOBO 的客户 Embraer 是航空领域的巨头。超过 80 家航空公司使用该公司的飞机，这些飞机每年运送旅客约1.45 亿人次，Embraer 还为数十个国家和地区提供军用飞机。

满足这样一家大型企业的需求是一个严峻的挑战，但是凭借与山高的合作成果，Globo 已经做好了准备。de Oliveira 说：“很高兴山高专业人员向我们展示合作成果，为我们的每个新项目提供支持。”

山高航空航天专家 João Marcelo 负责 Globo 项目，强调了加工过程中



Globo Machining 公司的所有者 Claudio Chavette、Mauro Ferreira 和 Gilberto Geraldo de Oliveira 希望满足客户日益增长的需求



不断完善的重要性。“我们不仅为客户提供刀具，并为加工过程提供全方位的支持，由此增添更多价值。”

2009 年山高开始在市场上以细分方式供货，自此一直在不断完善刀具供应。这些经验和知识使 Globo 获得了巨大的差异化优势。除了 Embraer 公司之外，它还为许多其他客户提供服务，包括为空客供应零部件的 Eaton Aerospace、深海石油和天然气勘探领域的 TechnipFMC。

“我们始终针对每种材料为客户提供最佳的刀具使用策略，无论是铝、不锈钢、钛还是其他材料。” Marcelo 解释说，“每种要加工的合金以及每个零件都有自己的特性，加工过程需要考虑这些特性。这是我们从多年的市场工作中获得的诀窍。”

山高巴西分公司的全国销售经理 Jacques Mazo 说：“与 Globo Machining 的合作旗开得胜。工作方式依照联合行动计划，期间不断跟进，这让我们与众不同。”自两家公司开始紧密合作以来，均实现了业务增长。MAZO 说：“Globo 的工作重点对我

们提出了挑战，我们通过及时且出色地响应这些需求，赢得了他们的信赖。”

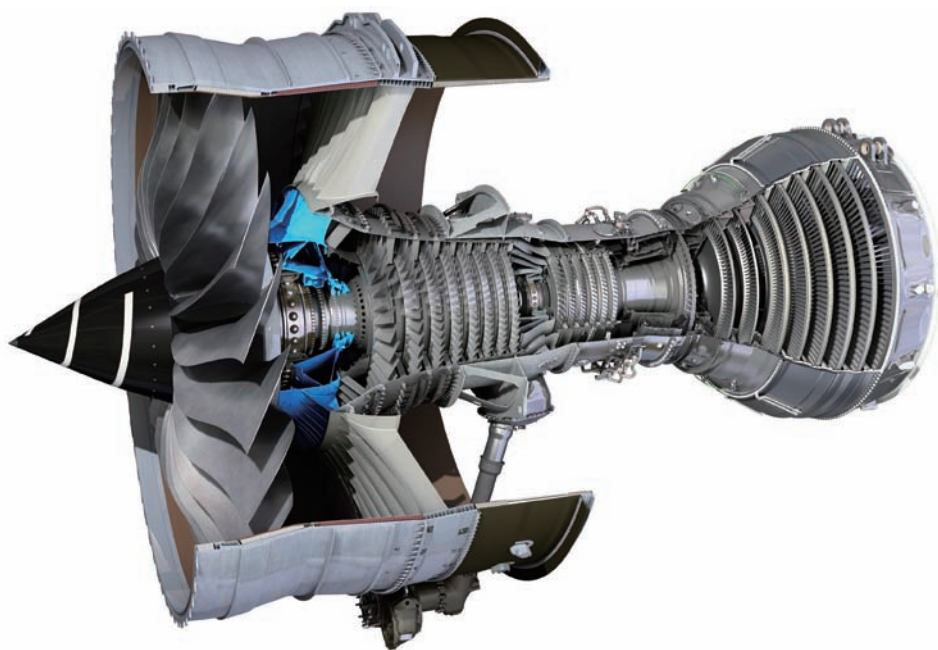
山高技术销售代表 Márcio Martins Gomes 从 2015 年初便参与了这种合作。他对 Globo 工厂的整个加工过程了如指掌，并强调了过去两年中加工过程发生的变化。他说：“这是一项互利共赢的工作，提升了双方在这一市场的竞争力。”



山高巴西公司的 Joao Marcelo Nunes 和 Marcio Gomes 帮助 Globo Machining 实现最佳的生产结果

Globo Machining 的共同所有者 Gilberto Geraldo de Oliveira 对此感同身受，并指出山高不仅及时交付刀具，而且致力于让整个加工过程达到最佳效果。“我们十分感谢能有机会与山高作为一个团队开展工作。”他说，“经过不断发展，我们已经在这个市场上成长起来。我们对此深表感激。”□





航空发动机关键制造技术现状及趋势

惠阳航空螺旋桨有限责任公司 李添宇

航空发动机关键制造技术是未来我国航空发动机工业发展的一个重要指标。传统的制造工艺和生产模式已经无法满足航空发动机制造高精度、高质量、高效率、高可靠性等方面的需求；随之而来的三轴、四轴、五轴数字化加工是未来中国航空发动机制造业发展的重要基础。

基于航空发动机高复杂性、高可靠性等要求，目前航空发动机制造能力仍然按照“制造—试验—修正制造—再试验…”的模式，这就注定了航空发动机研制本身不但是个高科技事业，还是一个“烧钱”的事业。我国在航空发动机研制试验初期走了不少弯路，几经坎坷，“三落四起”目

前正处于“第四起”的阶段，对我们即是机遇又是挑战。世界上只有少数的几个国家具备航空发动机制造技术，它代表了一个国家科技水平、工业水平和综合国力。通过几代航发人的共同努力，我们实现了由喷气发动机向涡扇发动机的历史性跨越，由小推力到中等推力向大推力转变，由二代半向三代机、四代机转变。目前正在开展四代机及大推力、大涵道比发动机的研发工作，发展的需求客观上要求我们用更先进的制造技术引领航空发动机技术的提升。

主要关键制造技术有：整体叶盘、叶环制造技术；静子、转子叶片制造技术；机匣制造技术；宽弦风扇

叶片制造技术；金属基、陶瓷基及碳/碳复合材料构件等制造技术。

航空发动机需在高空、高速、高温、高压、高转速和交变负荷的恶劣条件下长期、重复、可靠使用，与其他运载系统的动力相比，航空发动机是世界上工作条件最苛刻，结构最复杂的物理系统。正如美国在其国家航空发动机关键制造技术推进计划中写到的：“这是一个技术精深得使新手难以进入的领域，它需要国家充分保护并利用该领域的成果，需要长期数据和经验的积累以及国家大量的投资。”

目前，我国已将航空发动机定为重大专项，意在缩小与发达国家的差距，满足我国航空发动机更新换代需求，重点需建立、健全航空发动机发展型谱。这就使得近年来发动机机种多，研制周期短，技术难度大。为了更好地完成各个型号研制的预定目标，如何能科学高效地开展技术创新，工艺突破，技术成熟度提高，成为当务之急。

1. 梳理流程

在关键制造技术领域，以往技术工作的开展一般是围绕型号任务。型号任务下达后，设计部门下达技术图纸和标准，我们围绕图样和标准去开展工艺准备。在消化图样和标准的过程中，不断发现问题和新的工艺难点和新技术，再针对新工艺、新材料进行立项攻关。由于之前没有技术储备，往往导致研制周期过长，造成型号节点一拖再拖。针对问题我们需要重新梳理流程。改变已往下达图样→工艺准备→立项攻关→工艺定型的模式，参与设计过程（MBD），实现并行，针对设计提出的要求开展新材料、新工艺的预先研究，缩短产品研发时间，提高研发效率，即设计阶段（MBD）开展工艺预先研究→三维

图下发→工艺准备→工艺定型。这样就可以在设计阶段就开始新工艺和新技术的攻关工作，为型号研制做好技术储备。研制任务正式下达后可以立即进入生产阶段，减少大量的攻关时间，大大提高研发效率。

2. 知识管理

随着科研型号的不断增多，新材料、新工艺技术应用越来越多，但在新材料、新工艺应用过程中产生的宝贵经验和知识财富，随着一大批优秀专家和技术人才的退休离岗而不断流失；大量新生力量的涌入，缺少相关经验知识支持；型号任务繁重，人才队伍建设能力不能满足型号任务。因此，建立具有专业特色的知识工程平台，全面解决知识积累、共享瓶颈，打造型号研制创新平台，提高研发效率，提升工厂综合创新能力成为当务之急。将知识工程与工厂型号研发实际结合，针对型号产品研发过程中的工装设计、材料、制造过程模拟、工艺改进、产品检测等过程中的知识积累、存储、共享、应用和创新，建设全面的知识工程支撑平台和计算机辅助创新工具，实现知识的快速积累、深度挖掘、充分共享、高效应用，全面系统地提高型号研制的科研水平，传承经验，驱动创新，最终实现基于知识工程的产品创新、研发和生产体系。

3. 薄壁难加工材料制造

图1为某发动机机匣构件，材料为奥氏体不锈钢难加工材料，牌号0Cr17Ni4Cu4Nb，最小壁厚为1.1mm，外弧面要求轮廓度 $\geq 0.08\text{mm}$ ，受变形因素影响，轮廓度超差，严重制约机匣组件的装配质量，造成安装应力，影响到机匣组合件装配及发动机的效能。改善和控制薄壁环块变形不单是生产合格零件的需要，更是提升航空制造能力，提高航空发动机性能的先决条件。

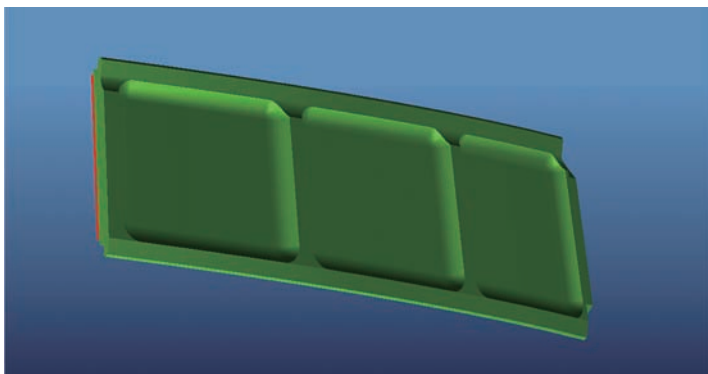


图1 某发动机机匣构件模型

可通过以下工序满足够件结构形状要求：

- (1) 调整加工余量。
- (2) 采用数控车床加工，调整、固化加工。
- (3) 改进零件装夹方式。
- (4) 采取对称铣槽加工。
- (5) 在铣加工型槽之后增加稳定处理工序，改善二次加工应力。

4. 先进的复合材料成型制造技术

树脂传递模塑，即将干态得的复合材料经过预定型，放入特定的模具中夹紧，从设置的适当注胶口在一定温度、压力下将配好的树脂注入模具中，使之

与增强材料一起固化成型的工艺方法。这是树脂基复合材料应用较广的工艺方法，起源于20世纪50年代的冷模浇注，其发展动力是为了使飞机雷达罩的成型技术发展起来。其工艺成本低，尺寸精度高特点，对技术要求高，特别是对原材料和模具要求较高。由于当时难于排除气泡，纤维浸润性差，树脂流动出现死角等制造技术问题未能解决，限制了其当时的广泛应用。直至90年代，随着对树脂传递模塑工艺及理论的研究，设备、树脂和模具技术日臻完善，成为了复合材料行业低成本成型工艺之一。与传统的模压工艺相比，可提高纤维体分含量，有助于树脂对纤维的浸渍，减少孔隙率，提高产品内在质量。

其工艺特点是：

(1) 分增强材料预成型体成型和树脂注射固化两个步骤，具有高度灵活性和组合性。

(2) 采用与制品相近的增强材料预成型技术，纤维树脂浸润一经完成即固化，可用低粘度快速固化的树脂，并可对模具进行加热而进一步提高生产效率及产品质量。

(3) 闭模注入树脂的方式可极大减少树脂有害成分对人体及环境的毒害。

(4) 该技术采取低压（注射压力 $\geq 4\text{kg/cm}^2$ ）注射技术，适宜大尺寸、外形复杂，表面粗糙度低的制件。

(5) 模具可根据生产规模要求选择不同的材料，从而降低制造成本。树脂传递模塑在国内有许多单位在研制，但一直应用于等厚度、等致密度的产品中去，其胶液的流动状态和流速易保持一致，产品稳定性好。但对于各截面纤维厚度、致密度、密度变化的诸如复合材料叶片来说，复杂的内部结构应用树脂传递模塑技术会造成胶液流动状态和速率不

一致，从而导致其生产工艺参数的复杂性与不稳定性，造成工艺难度增大。其关键制造技术：预成型体制造技术。

预成型体制造技术即预定型是树脂传递模塑前工序，其好坏影响树脂传递模塑注射效果。大致可分为五种类型：手工铺层、纺织法、针织法、热成型原丝毡法和预成型定向毡法。根据产品使用要求，可使用不同的预制体。纺织体做成的预制体不存在层与层之间的界面问题，力学性能和热学性能优良。该预制体要求具有疏松的组织结构，以便液态成型时液态树脂能够顺利地浸润和浸透结构预制体。要使干态复合材料结构预制体具有基本的自支撑性和形状保持能力，利于预制体反复的铺放和定位要求，还要有反复变形的性质，制件见图2。

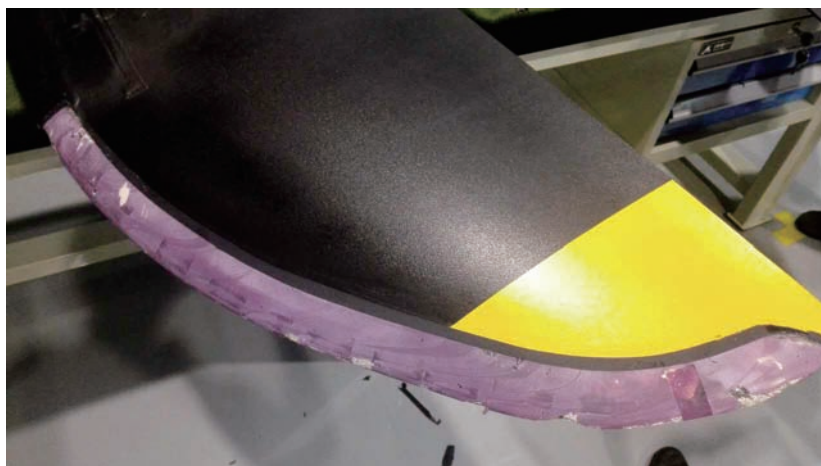


图2 某复合材料制件

5. 先进的五轴行宽数控成型制造技术

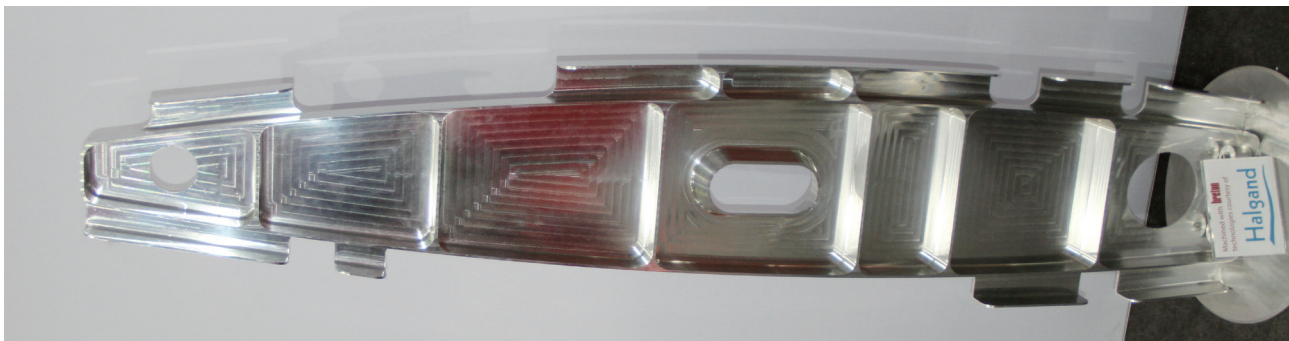
航空发动机静子叶片为复杂异型面。起初，考虑加工变形影响，通过多次调整粗、半精、精加工方案，增加工艺过程中校形、人工时效等工序，试加工效果有所改善，但仍不能满足设计要求。后通过五轴抛铣数控加工实现对其行宽最大化加工，优化加工路线，实现免抛光加工。



扫描二维码看视频

6. 结语

航空发动机关键制造技术的应用，减少了人工干预、人为出错的概率，克服了技术瓶颈。同时，为我国航空发动机发展提供了坚实的技术保障，实现了制造流程的规范化、自动化，提高了生产效率及产品质量，势必对我国未来航空发动机产业的发展起到不可估量的推动作用。□



超声辅助铣削钛合金薄壁件变形研究

汇专科技集团股份有限公司 奇峰

为了提高钛合金薄壁零件的加工精度，本文采用进给方向的超声辅助振动辅助铣削，研究了TC4薄壁零件在超声振动辅助铣削下的变形特性。

钛合金具有比强度高、热强度高、抗蚀性能好等优点，广泛应用于航空、宇航及汽车工业。但钛合金属于典型的难加工材料，其切削特性表现为：

(1) 化学活性大，高温时会形成很高的硬化层；亲和性也大，易与摩擦表面发生粘附现象。

(2) 导热性差，切削过程散热差，致使刀具切削刃的温度大幅上升，刀具磨损加快，寿命缩短。

(3) 弹性模量小，在切削力作用下，容易产生变形，同时加工表面回弹，使刀具后刀面与已加工表面发生剧烈摩擦。同时由于薄壁结构零件的低刚度大尺寸，金属切除量大，极易产生切削振动、局部让刀和表面振纹，从而直接影响零件加工尺寸精度和表面质量，并且极易发生弯扭翘曲等变形，严重影响零件的使用性能。因此在钛合金薄壁结构零件加工中，面临着难加工结构和难加工材料的双重难题。

超声振动辅助切削技术兴起于20

世纪50年代，振动切削又称脉冲切削，它通过传统加工基础上给刀具（或工件）施加超声振动来实现刀具与工件的周期性分离，从而使传统切削模式发生根本性变化，能实现更好的试验效果。振动切削技术最早在日本应用于木材的精密转削。目前，该项复合加工技术在车削、钻削加工中已经取得大量成功应用，获得了很多良好的加工效果，并解决了一些难加工材料的加工问题。国内外众多学者对超声振动辅助切削技术进行了大量的研究。

从国内外研究现状来看，对超声振动切削和振动钻削研究较多。由于铣削加工时工件刀具间相对运动轨迹较复杂，对超声振动辅助铣削研究较少。本文针对小尺寸零件加工，对超声振动辅助铣削加工过程中的刀具运动进行了细致分析，探讨了超声振动辅助铣削不同于传统铣削的切削形态，并进行了超声振动辅助铣削下铣削速度 V 、铣削深度 a_p 、铣削宽度 a_e 、进给量 f 、超声振幅 A 对薄壁件变

形的影响规律研究。

一、刀具运动学及切削力分析

1. 普通铣削切削力计算模型

普通铣削加工时，根据Tlustý 和MacNeil 模型，切削厚度通常表示为刀具转角 θ 的函数，即：

$$h = f_z \sin \theta \quad (1)$$

式中， h 为切削厚度； f_z 为每齿进给量； θ 为刀具所在位置与切入位置夹角。

基于瞬时切削厚度可以计算出，某一切削刃沿长度方向上微元出的主切削力 F_t 和径向切削力 F_r ，即：

$$dF_t = \frac{K_c f_z r}{\tan \beta} \sin \theta d\theta \quad (2)$$

$$dF_r = p dF_t = \frac{p K_c f_z r}{\tan \beta} \sin \theta d\theta \quad (3)$$

式中， p 为比例因子； r 为铣刀半径； K_c 为单位切削力； β 为螺旋角。

对式（2）、（3）进行处理，可计算出单条切削刃的切削力。对于多

条切削刃共同参与的情况，总切削力是各条切削刃上切削力的总和。图1为普通切削力示意图。

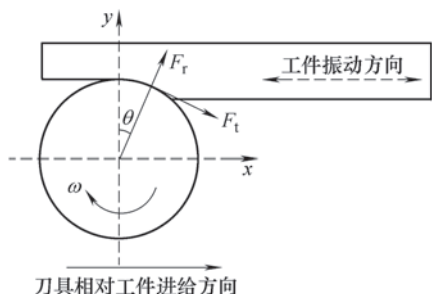


图1 普通铣削切削力示意

在理想条件下，普通铣削主切削力近似波形放大图，如图2所示。

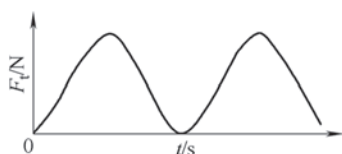


图2 普通铣削时主切削力近似波形

2. 单向超声振动辅助铣削切削力分析

在工件施加超声激励后，工件刀具相对运动必然发生变化。由于切削厚度是计算切削力的重要依据，因此，有必要先对超声振动铣削进行运动分析。为了描述切削轨迹，建立的计算坐标系如图3所示。

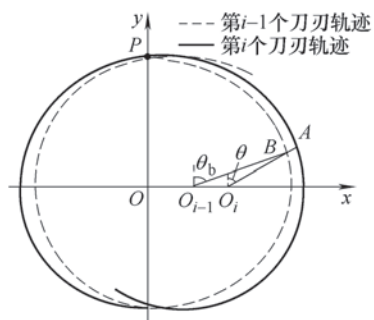


图3 计算坐标系

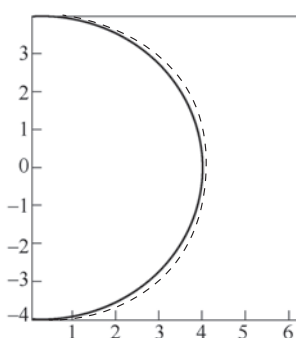
沿进给方向给工件施加振幅为A、频率为f的外激超声振动后，以S点为切削和计算起点，则铣刀的任一刀具的运动轨迹方程可表示为

$$x_i = \frac{v_f(\theta + i\varphi)}{\omega} + A \sin[\lambda(\theta + i\varphi) + \varphi_0] + r \sin \theta \quad (4)$$

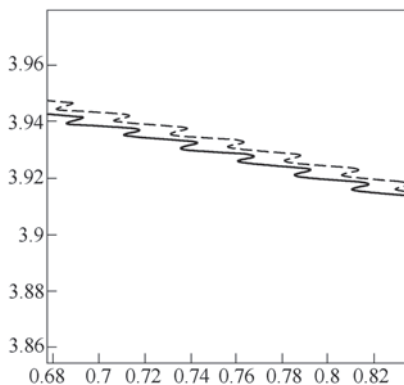
$$y_i = r \cos \theta \quad (5)$$

式中，i为刀刃序号，i=0、1、2、3（四刃铣刀）， v_f 为进给速度， φ 为铣刀齿间角， λ 为振动频率与主轴回旋频率比值， ω 为主轴角速度， φ_0 为振动初始相位角。

以四刃立式铣刀（铣刀直径为8mm）为例，在超声振动频率为20Hz，振幅A为6μm，铣刀转速1200r/min为例。描绘一个切削周期内相邻两个刀刃的轨迹曲线如图4所示。



(a) 整体图



(b) 局部放大图

图4 振动铣削切削刃运动轨迹曲线

从图4b局部放大图中可以清晰看出，合理的选择切削参数以及在进给方向施加的超声激励振动参数可以使刀具与工件在加工周期内不断地分离，从而彻底改变加工过程中刀具与工件的相对位置关系，变传统连续加工为高频间断的细微切削，实现均匀一致的等厚度铣削。

由于侧铣加工主要依靠侧刃铣削，径向切深远小于铣刀直径，所以

进给方向超声振动的侧铣加工可以简化成为超声振动作用在主运动方向上的切削来研究。如图5所示，刀具以x轴为轴心做位移的超声振动，工件以v向x轴负方向移动，刀具振动到点时，开始切削工件，到点时分离，直到下一振动周期的点再开始切削，到点再度进入分离阶段。由此不难作出如下假设：进给方向超声振动辅助铣削主切削力近似脉冲状切削力，如图6所示。图6中，为刀刃一周内的纯切削时间；T为工件振动周期； F_t 为脉冲切削力。

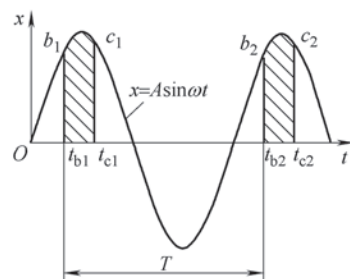


图5 超声振动轨迹

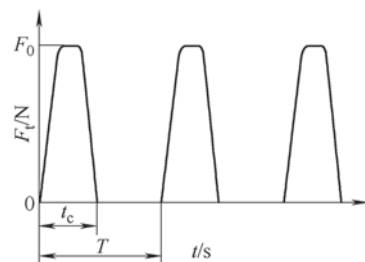


图6 进给方向振动铣削时主切削力近似波形

二、振动铣削试验及结果分析

为了验证本文的分析假设是否正确表达了超声振动辅助铣削时的刀具位移特点，以Ti6AL4V位试验工件材料进行侧铣加工试验。

1. 试验装置及方法

试验在VMC-850立式加工中心上进行，由超声换能器、变幅杆组和夹具头组成的高频振子将高频振荡电能转变为机械振动，带动工件沿进给方

向振动，试验装置如图7所示，试验条件及参数见表1。

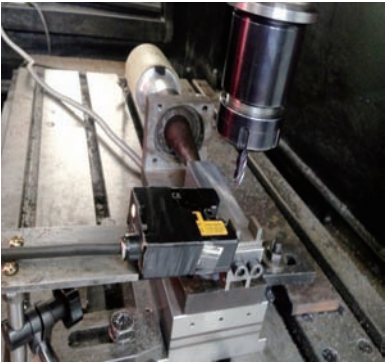


图7 试验装置

表1 试验条件及参数

试验条件	参数
刀具	s550TiAlN涂层硬质合金4刃立铣刀，直径8mm；螺旋角
工件材料	Ti6Al4V
加工条件	主轴转速1195r/min；轴向切深0.5mm；径向切深0.05mm；每齿进给量0.02mm
振动条件	工件沿进给方向振动，频率为19.85K；振幅为0/3/6/9

部分试验设备概述如下：

- (1) 加工中心：VMC-850，主轴转速范围为0~6000r/min，重复定位精度为。
- (2) 驱动电源。
- (3) 匹配换能器。
- (4) 测力仪：三向动态压电式测力仪。

2. 试验结果及分析

图8中显示的分别是振幅为0 μm（普通铣削）和9 μm时一个切削周期内某一时刻的切削力测量数据。图8中 F_x 和 F_y 分别表示进给和法向方向切削力。可以明显看出施加外激超声振动后普通铣削加工连续波形出现了高频中断，切削力不断出现回零现象，呈现近似脉冲状，这与前文的计算分析相吻合，也证明了分析假设。

为了进一步分析超声铣削过程中各参数对薄壁加工精度的影响规

律，在刀具加工材料不变的情况下，采用正交试验方法进行四水平五因素（切削速度 V 、轴向切深 a_p 、径向切深 a_e 、每齿进给量 f_z 、超声振幅 A ）正交试验，试验参数列于表2。

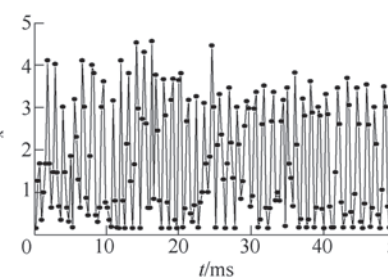
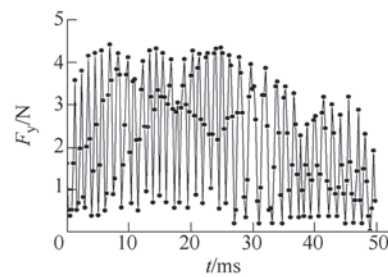
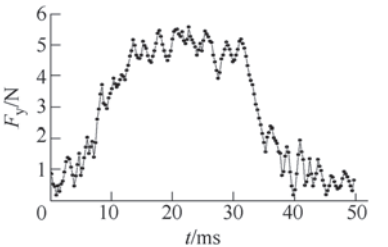
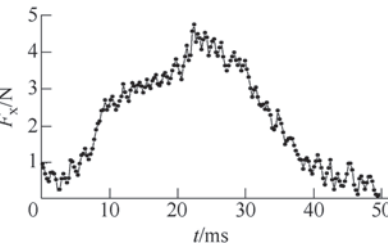


图8 一个切削周期内某一时刻切削力测量数据

(1) 试样准备。用线切割将Ti6Al4V合金毛坯加工成7个如图9所

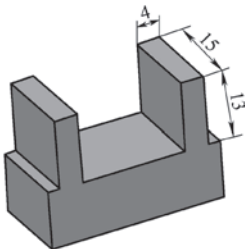


图9 工件示意

示的薄壁件试样。每个试样上都有两个相同厚度的侧壁。

(2) 试验方案设计。在刀具加工材料不变情况下，采用正交试验方法进行四水平五因素（切削速度 V 、轴向切深 a_p 、径向切深 a_e 、每齿进给量 f_z 、超声振幅 A ）正交试验，试验参数列于表2。先以相同参数将所有薄壁加工至壁厚为1mm，再以表2中参数铣削，以薄壁壁厚误差 Δb 为指标，分析各加工参数对薄壁件超声辅助铣削时铣削力与薄壁变形的影响规律。铣削方式为逆铣，切削环境为干切削。试验过程中通过三向动态压电式测力仪及配套电荷放大器记录切削力数据，通过激光位移传感器记录薄壁铣削过程中因受法向切削力偏离原本位置位移数据。据试验结束后使用千分尺测量薄壁如图10中5处壁厚取平均值。测量位置如图10所示。



图 10

(3) 结果分析。以薄壁壁厚误差 Δb 值为指标，利用极差分析法分析各因素水平对值的影响，计算各水平下的 k （见表3）值并画出趋势图如图11a所示。

从图11a中可以可知，超声辅助铣削下对薄壁壁厚误差值 Δb 影响最大的是轴向切深 a_p ，其次是超声振幅 A 、每齿进给量 f_z 、径向切深 a_e ，影响最小的是铣削速度 V 。

从图11b和图11c对比可知，对进给方向平均铣削力和法相方向上平均铣削力影响最大的都是轴向切深 a_p ，影响最小的则都是每齿进给量 f_z 。不同的是超声振幅 A ，对于值的影响程度小于径向切深 a_e 和切削速度 v ，对值的影响程度大于径向切深 a_e 和铣削速度 V 。

表2 试验参数

切削速度 $V/\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	轴向切深 a_p/mm	径向切深 a_e/mm	每齿进给量 $f_z/\text{mm}\cdot\text{z}^{-1}$	超声振幅 $A/\mu\text{m}$
30	0.5	0.05	0.02	0
50	1.0	0.10	0.04	3
70	1.5	0.15	0.06	6
90	2	0.20	0.08	9

表3 铣削正交试验表

试验号	因素								
	V/m·min ⁻¹	a _p /mm	a _e /mm	f _z /mm.z ⁻¹	A/ μ m	$\bar{F}_x$ /N	$\bar{F}_y$ /N	Δb/mm	薄壁振动位移S/ μ m
TC4-1	30	0.5	0.05	0.02	0	2.15	3.52	0.022	5
TC4-2	30	1.0	0.1	0.04	3	4.45	6.08	0.039	6
TC4-3	30	1.5	0.15	0.06	6	15.09	23.05	0.062	8
TC4-4	30	2.0	0.2	0.08	9	27.15	49.51	0.173	13
TC4-5	50	0.5	0.1	0.06	9	5.79	12.87	0.041	11
TC4-6	50	1.0	0.05	0.08	6	3.04	4.51	0.034	6
TC4-7	50	1.5	0.2	0.02	3	10.03	10.24	0.067	5
TC4-8	50	2.0	0.15	0.04	0	12.79	16.17	0.098	12
TC4-9	70	0.5	0.15	0.08	3	5.24	6.17	0.029	13
TC4-10	70	1.0	0.2	0.06	0	8.83	9.25	0.024	11
TC4-11	70	1.5	0.05	0.04	9	5.25	11.87	0.071	11
TC4-12	70	2.0	0.1	0.02	6	8.14	14.37	0.067	9
TC4-13	90	0.5	0.2	0.04	6	3.54	3.96	0.022	12
TC4-14	90	1.0	0.15	0.02	9	9.25	16.97	0.083	11
TC4-15	90	1.5	0.1	0.08	0	8.97	13.32	0.076	15
TC4-16	90	2.0	0.05	0.06	3	6.70	10.87	0.044	10
K1	0.074	0.028	0.043	0.060	0.055	—			
K2	0.060	0.045	0.056	0.058	0.045				
K3	0.048	0.069	0.068	0.043	0.046				
K4	0.056	0.096	0.072	0.078	0.092				
R	0.026	0.068	0.029	0.035	0.047				
因素主			a _p > A>f _z >a _e						

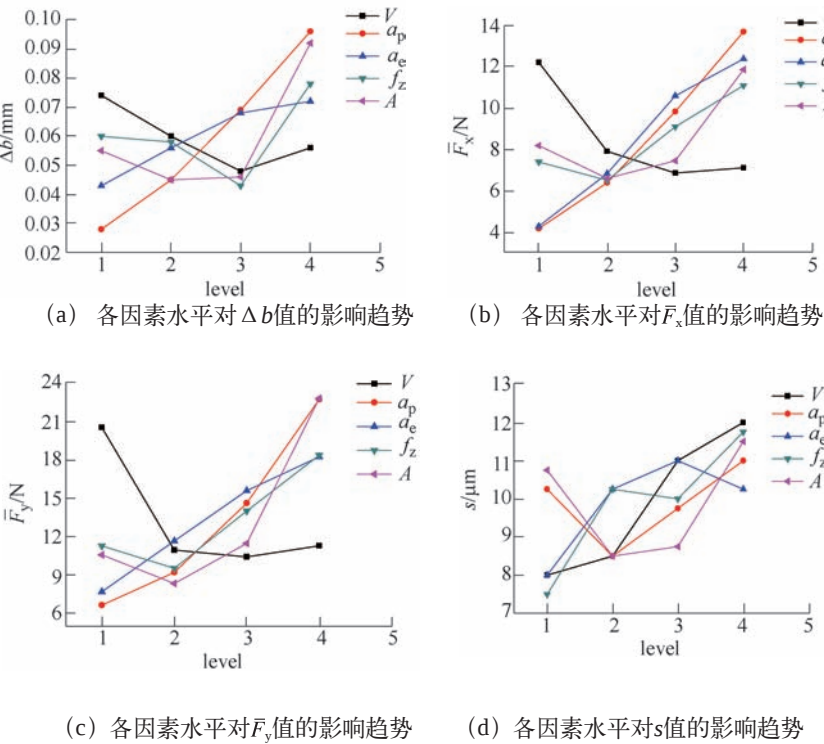


图 11

出现上述现象的主要原因是由于轴向切深 a_p 的变化直接引起薄壁件所受径向力的变化,使得薄壁件加工过程中出现让刀现象,实际铣削用量直接发生变化,产生加工误差。铣削过程中的铣削用量直接联系到进给方向和法向的切削力。以最小薄壁厚度误差值 Δb 为优化目标与以最小平均进给方向铣削力和最小法向方向铣削力为优化指标,都可得到表4所列优化参数。

由于薄壁件弱刚性,钛合金薄壁件在加工过程中因铣削力产生的偏摆振动同样影响钛合金薄壁件的加工精度与质量,同样利用极差分析法,以钛合金薄壁在各参数水平下铣削加工时发生偏摆振动时的位移 s 为指标,

进行分析结果如图11d所示。

表 4

$V/\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	a_p/mm	a_e/mm	$f_z/\text{mm}\cdot\text{z}^{-1}$	$A/\mu\text{m}$
70	0.5	0.05	0.04	3

从图11d中可知,在钛合金薄壁件超声辅助铣削条件下对薄壁偏摆振动位移 s 影响最大的是每齿进给量 f_z ,其次是铣削速度 v 、超声振幅 A 和径向切深 a_e ,影响最小的是轴向切深 a_p 。出现这种现象的主要原因是由于薄壁件的铣削用量小,铣削过程中铣刀每个刀刃都是独立切削,每次刀刃切削都会对薄壁产生一个微弱冲击。以薄壁最小偏摆位移 s 为优化目标得到表5所列的最优加工参数。

表5 薄壁偏摆位移 S 的优参数

$V/\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	a_p/mm	a_e/mm	$f_z/\text{mm}\cdot\text{z}^{-1}$	$A/\mu\text{m}$
30	0.1	0.05	0.02	3

比较表3中不同参数试验下薄壁壁厚误差 Δb 和薄壁偏摆位移 s 的变化规律,如图12所示。从图中可以看出,两者变化规律非常相似,说明薄壁超声铣削过程中的偏摆位移在一定程度上影响着薄壁壁厚加工误差。为获得更高的加工精度,在钛合金薄壁件的超声振动辅助铣削加工过程中的薄壁偏摆位移需要得到控制。加工参数需要得到进一步优化。

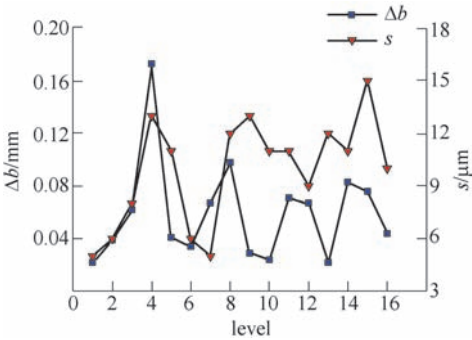


图 12

三、结语

本文以钛合金TC4材料超为研究对象,采用正交试验法对其进行了超声振动辅助铣削参数研究。

(1) 与传统铣削相比,进给方向上施加超声振动后的辅助铣削较传统铣削铣削力明显减小。

(2) 极差分析结果表明,在进给方向上的超声辅助铣削钛合金薄壁件过程中,薄壁变形误差 Δb 受到轴向切深 a_p 和超声振幅 A 的影响非常显著,受铣削速度影响较小,小的轴向切深 a_p 和适当的超声振幅更有利于减小薄壁加工过程中误差 Δb 。

(3) 进给方向超声振动辅助铣削钛合金薄壁件时,薄壁的偏摆振动位移对薄壁件的加工变形有着明显的影响,为获得更高的加工精度需要更进一步的研究,超声参数和铣削参数需要得到进一步优化。□

2019年第二届汽车
工艺师论文大赛

2018年汽车工艺师举办了首届论文大赛,本届论文大赛受到广大汽车工艺师杂志作者和微信公众号平台粉丝们的高度关注,从启动到评选,历时半年多,通过大家积极参与和投稿,编辑部共收集100余篇原创论文。经过编辑部初审、专家二审和终审的三轮筛选,最终有16篇优秀论文入围论文大赛获奖名单,其中一等奖1名,二等奖3名,三等奖4名,优秀奖8名。首届论文大赛的成功举办,以文会友、促进专业技术交流的平台建立,得到了业内的一致好评和认可。

本次征文活动主题

- 1.动力总成高效加工及创新技术
- 2.汽车轻量化制造工艺与连接技术

主办单位

《汽车工艺师》编辑部

奖励办法

奖项设置:一等奖2名,二等奖3名,三等奖5名,优秀奖10名。

评审办法

编辑部初评,再召开评审会,由《汽车工艺师》编委会和行业专家组成的评审小组终评。获奖论文制作成论文集;举办研讨会(2019汽车制造工艺创新论坛)。

投稿方式

电子版发送到:edit@auto1950.com,标题注明:“2019汽车工艺师论文大赛”

激光焊接技术在发动机制造及修理中的应用

沈阳黎明航空发动机有限责任公司 赵伟 曲伸 杨烁 邵天巍

随着长寿命、高可靠性、低成本、高性能的设计及制造要求，越来越多的新型高性能材料、复杂结构在飞机及航空发动机设计中被广泛应用，如整体壁板、整体叶盘/叶环、空心叶片、单晶/定向凝固叶片、粉末合金及复合材料构件等。新型高性能材料、复杂结构的扩大使用，在提高装备性能的同时，也对包括焊接技术在内的航空制造及修理技术提出了更高的要求。

激光焊接具有能量密度高、热输入量低、结构变形小、无需真空环境、高质量、高精度、高效率等技术优势，在各类金属材料熔化焊接方法中独占鳌头；结合工业机器人、视觉传感跟踪系统、自动送丝（送粉）系统（见图1），易于实现集成化、自动化、柔性化、批量化制造，在全球制造产业中占据越来越高的地位。近年来，随着高功率激光器的不断发展，激光束流品质的不断提高，激光焊接技术实现了由传导焊向深熔焊的根本性转变，应用范围进一步扩大，在航空制造及修理中重要性也不断提高。

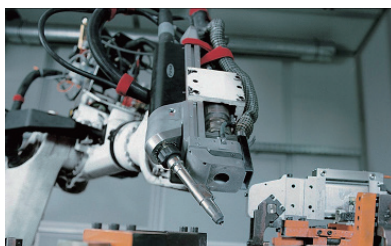


图1 搭载机器人的激光填丝焊接系统

1. 激光焊接在发动机制造中的应用

激光焊接技术以其优异的热源性能、极佳的变形控制优势及较广的材料焊接适应性，在航空发动机薄壁高精度构件焊接方面独具优势（见图2），在航空高温合金、钛合金、钛铝金属间化合物等新型材料焊接方面有较大的发展前景。国外极为重视航空构件激光焊接技术的研发与应用，欧盟第六框架研究项目AROSATEC针对压气机定子与叶栅、高压和低压叶片出口与盖板连接，以及涡轮机匣开展了激光焊接技术研究。

美国普惠公司完成涡轮叶片所需部件的自动激光焊接，如JT9D和FLO的二级涡轮转子叶片以及V2500、

F100-PW-220、PW2037、PW4000等发动机的涡轮叶片、导向叶片、机匣及燃烧室等。美国GE公司也已成功完成了发动机导向叶片组件的激光焊接，有效地解决了镍基合金零件激光焊接变形与裂纹等问题，并用6kW的CO₂激光设备焊接了喷气发动机燃烧室衬套。英国R&R公司用固体激光器与机器人组合完成钛合金和高温合金的自动化焊接，保证了焊缝和焊接过程的一致性，减少了焊接变形，接头残余应力低，大大减少了校形工作量。日本JAEC的相关公司采用6kW的CO₂激光设备完成了V2500发动机的风扇机匣前后段焊接。

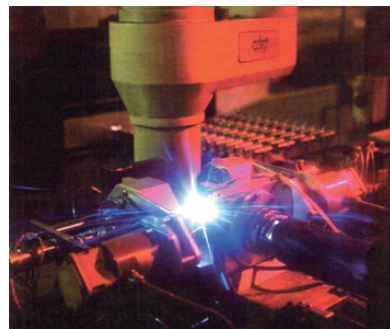


图2 航空结构件的激光焊接

早在20世纪90年代末期,某公司与西北工业大学联合攻关,开展了Inconel625高温合金航空发动机前、后冷气导管的激光焊接工艺研究,采用了CO₂激光焊接设备,开发了从焊前清洗、装配焊接到焊后处理等全套焊接工艺,满足了使用需求。北京航空制造工程研究所已将激光焊接技术应用用于发动机钛合金承力构件制造,并采用激光焊接技术替代板扩散连接技术,在国内率先开展了钛合金超塑成形/激光焊的多层结构制造工艺研究。波音公司和华盛顿州立大学联合也开发了超塑成形和激光焊接的组合工艺,通过激光焊接方法可以更加灵活的构造芯板图案,大大提高生产效率、降低成本。

2. 激光焊接在发动机修理中的应用

发动机部件主要损伤形式有外物打伤、磨损、裂纹、烧蚀和加工缺陷等,部件材料、损伤部位、损伤形式的多样性,决定了损伤后焊接修复的复杂性。激光焊接修复技术利于近净成形,减少裂纹产生,大量应用于航空发动机零部件修理(见图3、图4)。

美国霍尼韦尔公司已经成功将激光焊接技术应用于Avro RJ支线喷气系列飞机发动机LF507的叶片修理。加拿大Liburdi集团公司采用自动送丝激光焊接设备进行叶片修理,已实现了RB211发动机高、中、低压涡轮叶片修理(见图5),并于2001年获得R&R公司授权专门从事RB211发动机叶片和其他部件的激光焊接修复。德国MTU公司开发了可用于风扇整体叶盘的叶片损伤修复的激光焊接技术,形成了焊接、机械加工、精密抛光和无损检测修理规范。

激光低热输入精密金属沉积工艺是H&R公司的专利技术,与激光填

丝焊接类似,主要是利用激光熔化金属扁丝进行一层一层地堆积,不同的是,这种技术无需待修理件上建立熔池。美国海军和空军已将该技术成功地应用于受损整体叶盘修理,使修理时间缩短、精度提高、费用减少、寿命延长,并在T700发动机压气机第1级整体叶盘上得到验证。在此基础上,H&R公司针对普惠公司F135发动机修理,完成了相关的高循环疲劳试验和评估,达到与T700发动机压气机整体叶盘相同的修理水平。

国内在激光增材修复技术方面开

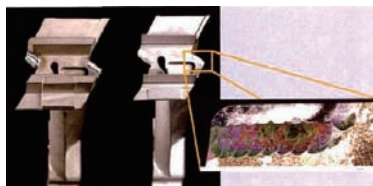


图3 激光堆焊修复叶片叶冠损伤部位

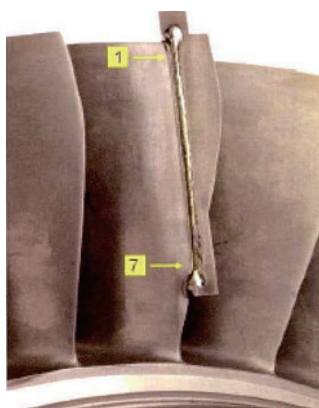


图4 激光焊接补片修理整体盘叶片



图5 自动送丝激光焊修理涡轮叶片

展了较多的研究,已完成了多种结构、材料发动物件的修理验证,但在激光焊接修理应用研究相对较少。中科院金属所采用激光显微焊进行原位无损修复,该技术具有可获得内应力最小、空间界面结合最好、缺陷立体修复区最小的优点,已成功应用于我国研制的某机空心导向叶片的铸造工艺孔修复,以及低压涡轮1、2级三联体无余量精铸导向器叶片大小安装板上的疏松、缩孔与裂纹等缺陷的修理,通过了装机台架试车考核。沈阳发动机设计研究所和沈阳黎明公司联合开展了某型发动机高压涡轮工作叶片叶尖裂纹激光焊修理技术研究,通过了300h热冲击试验考核,符合大修叶片故检标准,满足了使用要求。沈阳黎明航空发动机公司针对发动机主机点火导线深度修理需求,开展了激光焊接修理工艺研究,先后完成6件试验件级修理验证,形成正式修理工艺,完成了两台点火导线修理应用,修理后的点火导线外观及各项电气性能均合格,并通过了试车。在修复某型发动机中介机匣时,对固连环形壳体与支撑板氩弧焊焊缝上的裂纹实施了激光补焊,焊缝成形良好,前后变形量符合要求。

3. 七点建议

虽然经过近40年的不断创新与发展,我国激光焊接技术研究及应用取得了长足的进步,实现了部分飞机及发动物件的激光焊接制造及修理,初步满足了现阶段航空制造及修理应用需求,但是与国外发展及应用现状相比依旧存在一定差距,本文仅对激光焊接技术未来发展提出几点建议。

(1) 加快关键焊接设备自主研发 学习国外先进激光器研制经验,引进、消化、吸收、再创新,加快适用于航空装备产品特点的高功率、高光束质量激光器,以及自动送丝、视

觉跟踪、在线检测等配套系统的自主研发。

(2) 增大激光焊接技术研究深度 建立稳固的校企、研究所合作研发关系,以制造企业应用需求为导向,增大激光焊接技术基础研究深度,如气孔、裂纹等缺陷形成机制及抑制、接头表面完整性及可靠性评估等,开发适用于高温、复杂应力等苛刻环境服役需求的修理用焊接材料,满足高质量、高精度焊接修理要求的工艺配套技术、修理前后处理技术。

(3) 重视新材料焊接工艺开发 积极开展高强高温钛合金、新型高温合金、钛铝系金属间化合物、单晶/定向/粉末高温合金等新型航空材

料的激光焊接工艺开发,形成涵盖材料焊接性、工艺、接头组织及性能的工艺数据储备,建立相应的激光焊接工艺流程。

(4) 加快新型焊接技术应用研究 针对航空产品材料及设计结构特点,加快适用于航空制造及修理需求的新型激光焊接方法应用研究,如激光填丝自动焊、长焦距激光焊、激光复合焊及双光束(填丝)焊等。

(5) 扩宽激光焊接工艺应用广度 借鉴国外航空制造成功经验,建立设计-材料-制造的一体化研发模式,推进激光焊接技术在航空飞机及发动机典型构件上的工程应用,如飞机整体壁板、腹鳍和襟翼等,发动机

的各种薄壁机匣、燃烧室部件、叶片等复杂、精密构件,以及加力筒体、扩散器等简单焊接结构件等。

(6) 建立完善的工艺质量标准体系 结合新材料、新结构、新方法,及新产品研制及应用进展,逐步建立和完善我国激光焊接工艺、质量标准体系,同时建立并不断完善焊接工艺数据库。

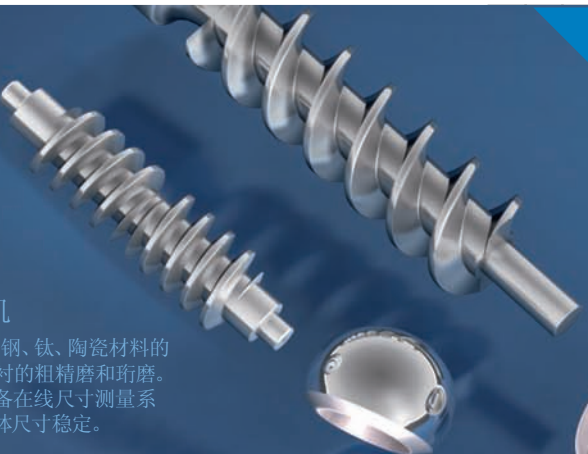
(7) 加快自动化、智能化进程 结合工业机器人系统、自动送料系统、视觉传感跟踪系统、焊接质量在线检测、评估及实时控制系统,助推航空产品自动化、智能化制造实现,提升激光焊接工艺自适应控制能力及生产效率。□

更多信息, 请上官网
www.monnier-zahner.ch



M668
数控球面珩磨机

用于骨科植入物例如钢、钛、陶瓷材料的人工髋关节球头、杯衬的粗精磨和珩磨。试制或量产皆宜。配备在线尺寸测量系统,确保加工出的球体尺寸稳定。



L248
数控蜗杆铣床(外旋风铣)

两个工位同时加工,适合大批量生产。每个加工循环出两件产品,尤其适合汽车电动转向系统(EPS)蜗杆的加工。如果材料和毛坯良好加工精度可达DIN4-6级。



CIMT
中国国际机床展览会
北京 2019.4.15-20
瑞士国家展团
W5厅 B005展位



瑞士莫尼埃查纳有限公司 • CH-2553 SAFERN
Hauptstrasse 115 • Postfach 148
瑞士 +41 (0)32 356 03 70 • 中国 +86 138 133 70 608 • www.monnier-zahner.cn



高温合金的加工——进给率堪比铝合金

瓦尔特供稿



瓦尔特航空工业零件经理Stefan Benkóczy

航空工业的大量订单给发动机制造商及其供应商的能力带来了巨大压力。因此，减少零件加工时间将受益匪浅。对于高温合金，硬质合金铣刀的切削速度约为50m/min。陶瓷铣刀提供了一种不同的方法：其切削速度可达1 000m/min。

瓦尔特的产品包括两个系列的陶瓷铣刀：具有通用槽形的MC275适用于大多数应用场合；MC075为高进给铣刀。两种产品系列均可提供8~25mm的切削直径。直径为8~12mm的刀具可作为整体铣刀使用，而直径为12~25mm的刀具可作为ConeFit铣刀使用。在这两种情况



陶瓷铣刀和ConeFit陶瓷铣刀：具有通用槽形的MC275陶瓷铣刀和具有高进给槽形的MC075陶瓷铣刀作为立铣刀和标准系列的ConeFit解决方案

下，只有刀具的头部由陶瓷制成。该刀头钎焊在硬质合金接柄或碳化物ConeFit基体上。原则上，整个铣刀可以由陶瓷制成，但是硬质合金接柄增加了刀具的强度和阻尼。与整体式陶瓷刀具相比，其悬伸长度更长，材料去除率更高。

陶瓷切削刀具材料的应用范围包括ISO S组中的镍基、钴基和铁基耐热合金。例如典型的合金有Inconel 718、René® 80、Nimonic® 80A、Haynes® 556®、Mar-M-247®和Stellite® 31。这些高温合金（HRSA）是飞机发动机高温部分的首选。

陶瓷切削刀具材料可定制用于铣削应用。与晶须增强陶瓷相比，SiAlON陶瓷更耐温度波动。正因如此，它们成为铣削加工工序的理想选择。断续切削导致切削刃上的温度变化，并且冷却介质的使用可以进一步增加温差，从而产生热冲击效应。因此，瓦尔特建议在使用陶瓷铣刀加工高温超合金时，采用干式

加工。由于不适用冷却润滑剂，加工作业环保，经济实惠。

使用陶瓷刀具铣削镍基合金时磨损的主要原因是由温度和积屑瘤引起的化学磨损。虽然化学磨损或扩散磨损持续削弱切削刀具材料，但是由于在切削刃上堆积而引起的磨损是不可预测的，且会出现突然增加。由于加工温度高，以及高温超合金的韧性高，即使在高温下（例如Inconel®718；750℃时 $R_m = 880\text{N/mm}$ ），刀具上会有大量积屑。这些积屑可熔化到切削材料的表面上，并且在移除时，使陶瓷部分被削掉。即使加工HRSA所产生的高温对刀具寿命有负面影响，但这是必需的。这是降低材料硬度并提高加工效率的唯一方法。

切削参数由切削刀具材料和需要加工的材料确定。脆而耐热的切削刀具材料可在高温下使用，但是低冲击强度要求 $0.02 \sim 0.05\text{mm}$ 的每齿低进给率，全开槽工序 $a_p = 5\%D_c$ 的小吃刀量和最大切削刃长度的轮廓铣削的 $a_e = 5\%D_c$ 。其例外情况是具有高进给槽形的MC075，其中 $a_p \leq a_{pt}$ 时， $f_z = 0.15\text{mm}$ 。两种产品的切削速度均在 $400 \sim 1\,000\text{m/min}$ 。

具有硬质合金切削刃的铣刀与具有陶瓷切削刃的铣刀的结果不可能相差很大。磨损迹象（例如切削刃上的切屑和宽度超过 0.5mm 的磨损痕迹）只是表明硬质合金铣刀的使用寿命快要结束，并不是停止使用陶瓷切削刀具的理由。通过对切削参数进行比较，也可清楚地看出两类刀具材料之间的差异。例如，对Inconel®718全开槽所用的直径为 10mm 的立铣刀进行比较得出：尽管使用碳化物的切削深度较大，但是使用陶瓷的进给率大得多，这种优势是无可比拟的。在这种情况下，使用陶瓷切削刃的金属去除率在 56% 以上。此外，使用陶瓷铣刀去除的金属总量比硬质合金铣刀高 180% 。就金属去除率和每个刀具寿命中去除的金属总量参数而言，陶瓷比碳化物具有明显优势。使用相同的机床，加工时间更短，加工批量更大；用户可以选择配置其现有机床，从而可使用更少的加工中心。总加工量大，刀具成本低。

镍基合金部件加工的经典案例是飞机发动机的整体式涡轮叶盘。使用硬质合金铣刀，通过粗加工，可铣出叶片之间的空间。加工时间约 30min 。具有高进给槽形的MC075陶瓷铣刀可在 10min 内切出相同的空间。对于这种应用，它在硬度为 44HRC 、抗拉强度为 $1\,400\text{N/mm}^2$ 的耐热镍基合金中实现了 $9\,500\text{mm/min}$ 的进给率。这些进给速率值通常用于加工铝，而不是镍基合金。

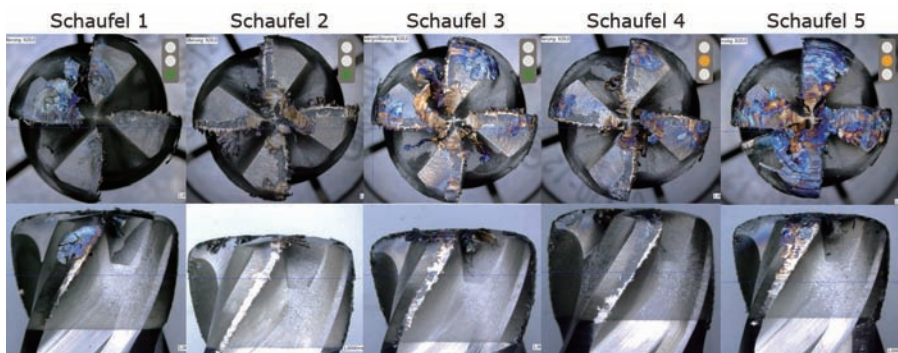
值得考虑的是，陶瓷铣刀达到的高加工温度是否会导致材料的损坏。由于



Inconel® 718-用MC275铣槽：
MC275陶瓷铣刀，用于Inconel®718的槽铣，切削速度为 670m/min 。生产效率和金属去除总量明显高于硬质合金铣刀

陶瓷刀具仅用于粗加工，所以唯一需要保证的是，材料损坏的深度小于精加工的偏差。与位于德国亚琛的Fraunhofer IPT公司通力合作，我们针对具有不同磨损水平的陶瓷铣刀，Inconel®718的全开槽工序，测量了硬化的深度和范围。在陶瓷刀具铣削具有中等磨损的13或14个槽或磨损严重的23个槽后，我们分别对其进行了硬度测量。为了确定并评估最大热负荷，要在槽上选择合适的测量点。为确保收集的数据正确，我们进行了测量。材料的基本硬度为 446HV 。结果：在 $100\mu\text{m}$ 的深度内检测到高达 640HV 的硬化。无论刀具的磨损或测量方向如何，如果深度大于 $200\mu\text{m}$ ，都检测不到硬化。由于通常适用的粗加工偏移量在 $3/10 \sim 5/10$ ，所以不希望使用陶瓷工具进行的粗加工在精加工过程后，会导致任何其他损坏。

陶瓷铣刀是高效可靠加工高温合金的理想选择。□



MC075的磨损模式（ $v_c = 600\text{m/min}$ ； $a_p = 0.4\text{mm}$ ； $f_z = 0.15\text{mm}$ ；Inconel® 718）：尽管积屑瘤和切屑量较大，但陶瓷铣刀在加工五张叶片后，仍然可以使用。粘附在刀具上切屑变色表明加工温度很高

3D打印在航空制造中的应用与创新

机械工业信息研究院 中良

3D打印又称为增材制造。顾名思义，就是通过计算机软件控制材料逐层增加以实现三维物体的打印成型，这是一种可以将聚合物、金属、复合材料、生物材料甚至食品加工成复合物的过程。在过去的30多年来，3D打印从初级的原型样品的创造性制作方法逐渐转变为一种新兴的高级制造技术。

在航空领域，3D打印正在进入产业化生产，通过选区激光熔化成型技术（SLM）一体化高度复杂零件以及通过电子束熔化技术（EBM）替代锻造，成为航空企业新一轮技术竞赛。

一、3D打印的技术分类

(1) SLA (Stereo Lithography)。SLA即光固化成型技术，指利用紫外光照射液态光敏树脂发生聚合反应，来逐层固化并生成三维实体的成型方式。SLA制备的工件尺度精度高，是商业化的最早3D打印技术。

(2) CLIP (Continuous Liquid Interface Production technology) CLIP

即连续液体界面提取技术，是在Carbon 3D公司在SLA技术的基础上开发的具有革命性的3D打印技术，将3D打印的速度提高了100倍。CLIP从底部投影，使光敏树脂固化，不需要固化的部分通过控制氧气，形成死区，抑制光固化反应而保持稳定的液态区域，这样就保证了固化的连续性。

(3) 3DP (Three-Dimensional Printing)。3DP即三维打印快速成型技术，其与传统二维喷墨打印接近，从喷头喷出粘结剂（彩色粘结剂可以打印出彩色制件），将平台上的粉末粘结成型，通常采用石膏粉作为成型材料。3DP技术目前主要应用有两项：全彩3D打印及砂模铸造。

(4) PolyJet。PolyJet即聚合物喷射技术，其成型原理类似3DP技术，但喷射的不是粘合剂而是光固化树脂，喷射完成后通过紫外光照射固化成型。PolyJet采用阵列式喷头，甚至可以同时喷射不同材料，实现多种材料、多色材料同时打印。

(5) FDM (Fused Deposition Modeling)。FDM即熔融层积技术，

利用高温将材料熔化，通过打印头挤出成细丝，在构件平台堆积成型。FDM是最简单也是最常见的3D打印技术，通常应用于桌面级3D打印设备。

(6) NPJ (Nano Particle Jetting)。NPJ技术是以色列公司Xjet最新开发出的金属3D打印成型技术，与普通的激光3D打印成型相比，其使用的是纳米液态金属，以喷墨的方式沉积成型，打印速度比普通激光打印快5倍，且具有优异的精度和表面粗糙度。

(7) SLM (Selective Laser Melting)。SLM即选区激光熔化成型技术，是目前金属3D打印成型中最普遍的技术，采用精细聚焦光斑快速熔化预置金属粉末，直接获得任意形状以及具有完全冶金结合的零件，得到的制作致密度可达99%以上。

(8) SLS (Selective Laser Sintering)。SLS即选区激光烧结成型技术，与SLM技术类似，区别是激光功率不同，通常用于高分子聚合物的3D打印成型。SLS也可用于制造金属或陶瓷零件，但所得到的制件致密

度低，且需要经过后期致密化处理才能使用。

(9) LMD (Laser Metal Deposition)。LMD即激光熔覆成型技术，该技术名称繁多，不同的研究机构独立研究并独立命名，常用的名称包括：LENS、DMD、DLF、LRF等。与SLM最大不同在于，其粉末通过喷嘴聚集到工作台面，与激光汇于一点，粉末熔化冷却后获得堆积的熔覆实体。

(10) EBM (Electron Beam Melting)。EBM即电子束熔化技术，其工艺过程与SLM非常相似，区别在于，EBM所使用的能量源为电子束。EBM的电子束输出能量通常比SLM的激光输出功率大一个数量级，扫描速度也远高于SLM，因此EBM在构建过程中，需要对造型台整体进行预热，防止成型过程中温度过大而带来较大的残余应力。

二、3D打印在航空中的应用

1. 打印涡轮叶片的铸造型芯

为了在铸造金属涡轮叶片时可以形成高复杂的内部冷却通道结构，使用陶瓷铸造型芯是非常必要的。铸造叶片冷却后，叶片从模具中取出，同时内部的陶瓷型芯需要溶解掉。

目前设计的陶瓷铸造型芯越来越复杂，而通过传统的注射成型方式无法实现如此高复杂结构的陶瓷型芯。奥地利Lithoz公司的LCM技术可以实现传统工艺无法实现的高复杂结构陶瓷产品的生产。因此，LCM技术给航空航天和电力工业中的高复杂结构的陶瓷叶片型芯提供完美的解决方案，满足他们日益增长的设计需求。

LithaCore 450 是一款由奥地利Lithoz公司自主研发的一种用于3D

打印生产陶瓷叶片型芯的硅基材料。典型的应用有：用来生产单晶镍基合金的涡轮叶片的铸造型芯；定向凝固铸造型芯；等轴铸造型芯。LithaCore 450 是一种可以3D打印制备高精度、高细节陶瓷叶片型芯的材料。烧结后的叶片型芯产品具有非常低的热膨胀率、较高的孔隙率、优异的表面质量和优良的洗滤性等优点。另外，Lithoz 可以为客户开发定制化的材料，满足客户广泛的合金铸造需求。

2. 打印发动机支架

2018年11月1日，GE 增材制造宣布，美国联邦航空管理局 (FAA) 已批准3D打印支架用于GEnx-2B 发动机，该支架将取代传统制造的电动门打开系统 (PDOS) 支架。GEnx 发动机是GE航空生产的一款先进的双转子轴流式大涵道涡轮风扇发动机，应用于波音787、747-8及空中客车A350上，将安装3D打印支架的GEnx-2B发动机应用于波音747-8 机型。

GE航空集团在其位于阿拉巴马州奥本市的工厂开始批量生产这款获得FAA 审批的3D打印支架。据了解，3D打印支架的制造设备为GE Additive Concept Laser M2 多激光器选区激光熔融系统。

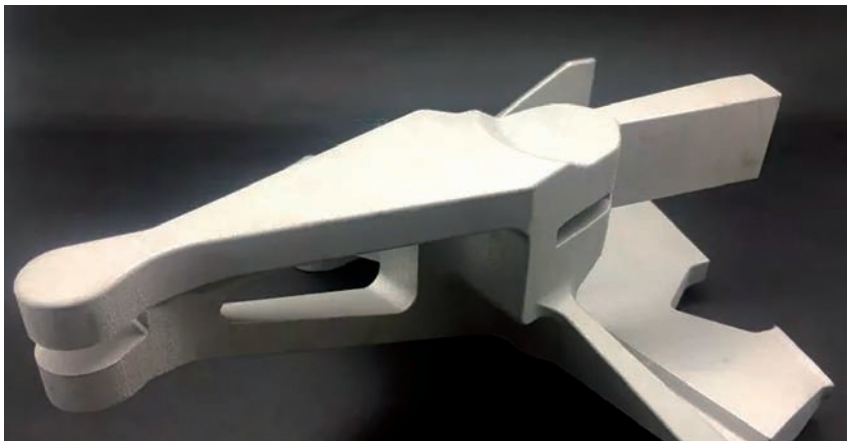
3D打印的PDOS支架作用是打开和关闭发动机的风扇罩门。GE表



示，与传统制造方式制造的支架相比，3D打印技术将减少高达90%的材料浪费，传统支架的制造中，因金属加工而产生的材料浪费约占50%。此外，3D打印支架采用了优化设计方案，重量比传统支架轻10%。

据了解，这款3D打印支架为GE航空创造了两个“第一”。首先，这是GE 第一个获得认证的由Concept Laser 选区激光熔融设备生产的3D打印零件。其次，这是GE 航空第一次在10个月内完成一种3D打印零件的开发项目，该零件从设计到生产的全部工作都在这个期间内完成。

GE航空表示，在进行支架生产



时一次打印过程中可以生产4个支架，在构建室中4个支架以互锁设计的形式实现，打印材料为钴铬合金。实现支架的内部生产将使GE航空降低发动机支架的总体制造成本。

3D打印支架的制造成本低于原有成本，GEEnx发动机的订单量为2200台，整体来看节约的成本是可观的。并且3D打印支架比传统支架重量更轻，轻量化对于航空业是非常重要的，轻量化支架将为航空公司带来燃料的节省。

3. 打印燃料喷嘴

2010年空客将GE生产的LEAP-1A发动机作为A320neo飞机的选配，LEAP发动机中带有3D打印的燃油喷嘴。2015年5月19日，A320neo飞机首飞成功。装有LEAP发动机的A320neo获得欧洲航空安全局(EASA)的认证和美国联邦航空管理局(FAA)的认证。

2018年10月8日，GE航空工厂上周庆祝其第30000个3D打印燃料喷嘴的成功出货。该喷嘴安装在GE的LEAP喷气发动机内，自2018年以来一直在该工厂生产，标志着规模化增

材制造生产的重要里程碑。通用电气航空公司奥本公司的工厂负责人Ricardo Acevedo评论说：“这个里程碑不仅仅涉及达到30000个燃料喷嘴头的生产，团队也应该为他们所担任的角色感到骄傲，他们在为客户提供大批量生产中证明增材制造技术的作用。”他预计2019年这种产品将达到40000支。

4. 其他3D打印应用的重大信息

在过去的2018年，3D打印在航空航天业里还有其他的重大消息。

(1) Sintavia获得霍尼韦尔航空航天公司3D打印生产零件的批准。总部位于佛罗里达州的金属3D打印机制造商SintaviaLLC在1月份宣布，它是第一家获得3D打印飞行生产零件批准的公司，采用粉末床熔合工艺生产零件，并且用于OEM霍尼韦尔航空航天。

(2) 波音和欧瑞康正在制定标准流程。全球最大的航空航天公司波音与瑞士技术和工程集团欧瑞康签署了一项为期五年的合作协议，这份协议涉及开发金属3D打印标准工艺和

材料。除了通过各种不同材料和机器生产金属部件外，两家公司将共同使用他们同意的数据来支持标准3D打印钛金属工艺的生产。他们的研究将首先关注钛粉末床融合的工业化，并确保用该工艺制造的任何部件都能满足美国联邦航空局和国防部的必要飞行要求。

(3) FITNIK在俄罗斯开展业务。FIT和NIK成立了一家名为FITNIK的新合资公司，该公司结合了两家公司提供的最佳产品。在2018年的冬天，FITNIK终于在Zhukovsky的战略位置开展业务，Zhukovsky是一个重要的飞机研发中心。

(4) 航空航天工业用新型聚合物3D打印标准。威奇塔州立大学(WSU)国家航空研究所(NIAR)是该国最大的大学航空研发机构，它宣布将帮助航空航天工业中的3D打印聚合物创建新的技术标准文件。这些新的技术标准文件支持行业对3D打印聚合物的零件认证，以及为StratasysULTEM用于3D打印高质量航空零件的材料原料提供表征。

(5) Premium AEROTEC收购了APWORKS。金属3D打印专家和空客子公司APWORKS宣布，它已被航空结构供应商PremiumAEROTEC收购为子公司。Premium AEROTEC将成为唯一股东，APWORKS作为独立公司保持其自身的市场地位。两家公司合并后，客户可以使用11个生产单元和各种材料。

(6) Gefertec为航空航天开发的送丝3D打印。Gefertec与BremerInstitut für Angewandte Strahltechnik GmbH (BIAS) 合作，对其送丝3D打印方法进行鉴定，以生产大型结构航空航天部件。该研究是REGIS协作项目的一部分，该项目包括来自航空航天业、其他研究机构和机器制造商的几个不同合作伙伴。德国联邦经济事务



和能源部资助了该项目，该项目研究了保护气体含量和热输入对钛和铝组件机械性能的影响。

(7) 航空3D打印嵌入式二维码的研究。据预测，到2021年，75%的新型商用和军用飞机将包含3D打印部件，因此找到一种方法来确保3D打印部件是非常重要的。来自纽约大学Tandon工程学院的研究人员，提出了一种通过将QR码和条形码转换为隐藏在3D打印物体内部来保护零件完整性的方法。

(8) 洛克希德马丁公司获得开发航空航天3D打印的合同。航空航天公司洛克希德马丁公司是世界上最大的国防承包商，与海军研究办公室签订了一份价值580万美元的合同，以帮助进一步开发航空航天业的3D打印。

(9) BeAM和PFW制造合格的3D打印航空航天部件。以其定向能源沉积（DED）技术而闻名的BeAM宣布与德国公司PFWAerospace建立新的合作关系，该公司为所有民用空客型号和波音787梦想飞机提供系统和组件。除了工业化BeAM的DED工艺以测试机加工钛组件的适用性之外，两者共同致力于大型民用客机提供由Ti6Al4V合金制成的3D打印航空航天部件。

三、3D打印创新技术

近期，南极熊介绍了《科学》杂志上发表的论文，加州大学伯克利分校Hayden K. Taylor团队及其合作者发展了一种全新的3D打印技术，无需逐层打印，直接在高粘度树脂容器内



扫描二维码看视频

通过光聚合一次形成整个3D物体。该技术具有以下特点：

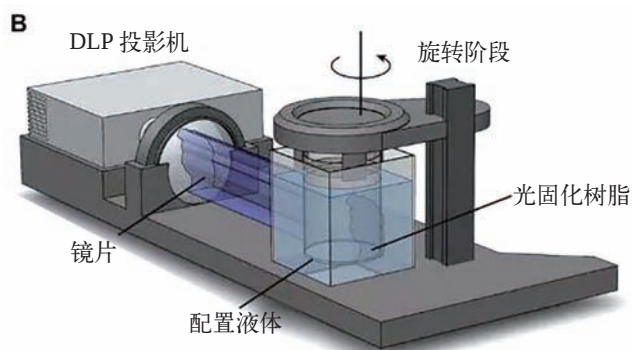
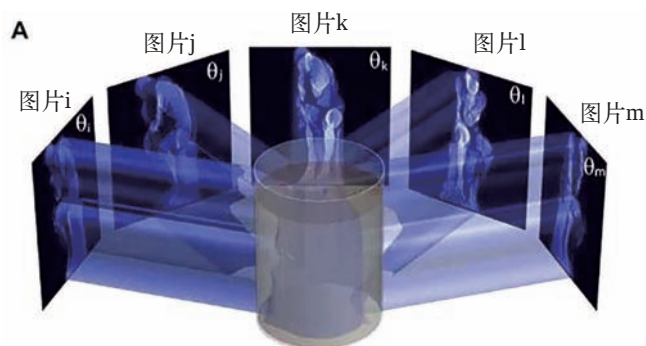
(1) 计算轴向光刻技术CAL。目前常规的立体光刻3D打印机主要使用扫描点光源或投影仪来顺序地逐层构建3D对象，这往往会导致边缘的“阶梯”效应，也难以生产柔性物体，因为可弯曲的材料在打印过程中会变形，并且打印某些特定形状的物体时需要支撑物。

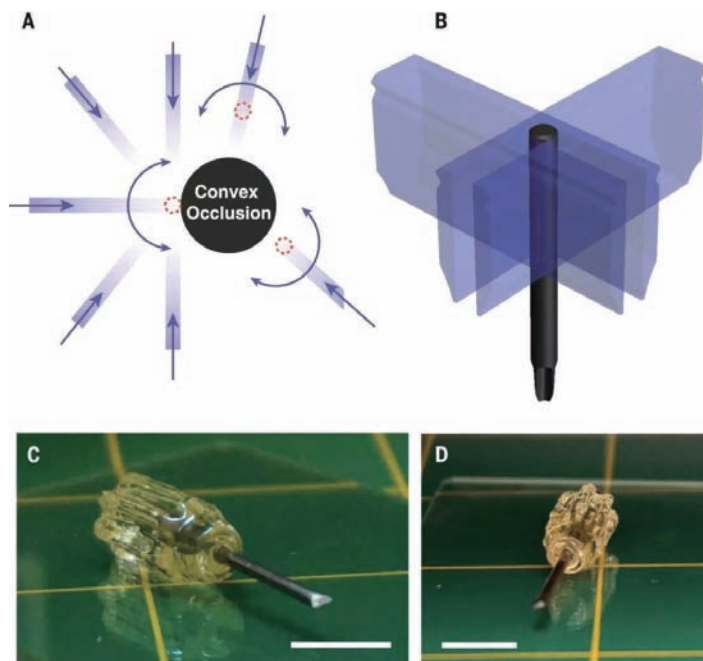
而Hayden K. Taylor团队则创造性地采用了一种计算轴向光刻技术（Computed Axial Lithography, CAL），在围绕垂直轴旋转时，将预先计算的光图案序列数字投影到树脂容器中，旋转时可以在树脂中照射出上千个不同的投影。随着时间的推移，累积的光暴露穿过聚合阈值的区域变为实心，而不穿过该阈值的区域保持未固化，从而一次性印刷出所设计的三维物体。

(2) 打印树脂材料的配制。不想固化的液体，肯定有光线穿过它，因此整个过程需要有一个从液体到固体过渡的光照阈值，打印树脂材料的配置是这项技术的一个关键难点。研究人员所采用的3D打印树脂由混有光敏分子和溶解氧的液体聚合物组成。光激活光敏化合物来消耗氧，只有在所有氧气用完的那些3D区域中，聚合物才形成“交联”，将树脂从液体转变为固体，而未使用的树脂可以通过在氧气氛中加热来回收利用。这种氧气抑制机制可以确保容器中心的物体在积聚足够的光强度变成固体之前，最靠近光源的树脂不会发生反应。

(3) CAL新型3D打印的灵感来源。基于CAL的新型3D打印技术的灵感来自医学领域的计算机断层扫描（CT）扫描技术，常用于帮助医生定位体内的肿瘤和骨折。CT扫描从各个角度将X射线或其他类型的电磁辐射投射到体内，通过分析传输能量的模式来揭示物体的几何形状。

研究人员将层析成像算法与光聚合物的理想阈值行为相结合，并使用迭代





优化方法来提高目标几何的精度。通过这种全新的3D打印技术，他们打印了几种几厘米大小的物体来进行验证，包括罗丹的雕塑模型“思想者”、微型飞机模型、小格子和悬梁等等。

(4) CAL新型3D打印的前景。由于现有的立体光刻技术已经很成熟，CAL很可能在现有方法不足的新兴领域才能找到最大用途。譬如：打印不能承受分层打印时施加的力的软材料；制作具有光滑曲面的透镜；封装其他物体等方面。

作为原理验证，研究人员在螺丝刀的金属轴上封装打印出三维手柄，这是不可能通过现有3D打印技术实现的，而且需要昂贵的注塑工具。

除此之外，由于未固化的树脂材料可以回收，100%可重复使用，这种3D打印技术几乎不产生任何材料浪费。而且，在某些情况下，CAL可能比目前的立体光刻法更快。

不过，速率，分辨率，对象大小和最终材料属性之间的权衡都值得进一步考虑，聚合反应的动力学以及树

脂中的扩散和光散射也将最终限制CAL印刷的物体的保真度。

总之，这项工作使3D打印从逐层打印方式过渡到一次性全三维打印，为3D打印开辟了全新的篇章，堪称里程碑之作。

四、结语

3D打印技术的应用颇具挑战，但它开创了更多可能性、更高效率和更快速度，帮助航空制造业克服发展瓶颈。3D打印具有以下优势：

(1) 提升生产速度。目前一台发动机的生产周期要2~3周，而巨大的市场需求和订单量要求我们达到一周7台的产能。利用增材制造技术一次成型3D打印复杂的发动机部件，避免了传统工艺中连接、热处理、加工和组装等繁琐步骤，能显著提升生产效率，缩短交货时间。

(2) 创造更多可能性。当设计工程师不再受到传统制造工艺的束缚，我们能够利用增材制造技术产出最接近“大自然产物”的发动机部件。它可以实现常规制造过程无法完成的复杂形状，帮助我们针对任何需求制造出最合适的部件。

(3) 减少浪费和降低成本。增材制造技术使我们能在设计/制造过程中的几乎任意一点做出修改，节省了制造时间和加工成本。将材料仅用于需要的地方，而无需对每个部件进行成本高昂的专业加工，在提升产品性能的同时节约了材料。

(4) 数字产业的一部分。利用增材制造技术，工程师只需将所需部件的几何文件上传到3D打印机，便可立即打印出来。这显著减少部件库存和不必要的运输时间，从而缩短交付周期，使我们的发动机能够尽快投入服务。□

开拓增材制造的无限可能

DMG MORI中国供稿

近年来，增材制造的发展呈现出巨大的应用潜力。现在，增材制造市场仍然较小，但年增长率已超30%，金属工件增材制造的年增长率更高。据最新的增材制造市场调查报告，到2020年增材制造市场将增长20%至50%。因此，DMG MORI公司作为增材制造技术领先供应商，将当仁不让地推动该市场的发展。DMG MORI的喷粉激光堆焊增材制造机床已有4年的成功发展历史。最近又成为位于Borchen的REALIZER公司的第一大股东，也就是说，DMG MORI的增材制造已扩展到粉末床技术。DMG MORI先进技术负责人Patrick Diederich介绍了DMG MORI在金属工件增材制造领域的全方位服务。

(1) 增材制造作为拥有巨大潜力的新技术。如何理解其潜力？面向未来和竞争激烈的行业一直在寻找创新和经济的生产技术。因此，他们常常是新技术的驱动力量。增材制造技术也是这样，增材制造在航空航天和医疗器械技术领域的应用不断增加一点不足为奇。特别是美国、欧洲、韩国和日本已成为增材制造的主要市场。飞机制造商发现增材制造技术在减轻飞机零件质量方面拥有巨大潜力。增材制造已在医疗器械生产和牙科诊所获得广泛的应用，因为在许多

单件生产应用中，增材制造是很经济的解决方案。DMG MORI作为金属切削解决方案的提供者，在以上工业领域中的增材制造技术实力已经得到确认。作为这些行业和其他创新驱动行业的长期供应商，DMG MORI当然也关注未来。这也是DMG MORI积极推动增材制造技术发展的原因。

(2) DMG MORI一方面自己开发了LASERTEC 3D加工中心，另一方面又收购了REALIZER公司。如何解释本次收购？四年来，DMG MORI成功地讲喷粉式激光堆焊技术集成在5轴铣削加工中心上（见图1），一机双用，这就是LASERTEC 3D系列加工中心。LASERTEC SLM是粉末床式选择性激光熔融技术。现在，我们同时提供两种增材制造技术，是互补的产品。特别是，粉末床工艺占金属工件增材制造市场的80%。

(3) 是否对这两种增材制造技



图 1

术的目标市场定位不同？他们的应用不同。5轴LASERTEC 65 3D hybrid和LASERTEC 4300 3D hybrid 6轴车/铣加工中心适合生产较大的工件，例如复杂的涡轮工件。LASERTEC 65 3D复合加工中心的加工区为500mm×400mm，LASERTEC 4300 3D复合加工中心为 $\phi 660\text{mm} \times 1300\text{mm}$ ，工件质量达600kg，甚至900kg。LASERTEC 3D复合加工中心的重大贡献在于它能满足大量应用要求。首先，在一台机床上能完成激光堆焊和铣削加工或车/铣复合加工，这意味着一台机床可生产成品质量的工件。而且喷粉头与铣削头间可随时切换。特别是需要复杂的机加工时，成品完成后，某些很难接触到的部位也可进行加工（见图2），灵活性很高。这类应用主要来自航空航天、能源技术和模具制造业。此外，该增材制造技术允许使用两种甚至更多种材质（见图3）。

(4) LASERTEC SLM机床有哪些优点？粉末床式选择性激光熔融工艺适合生产较小、形状较复杂的镂空工件（见图4）。LASERTEC 30 SLM可以在一台机床上灵活使用不同材质，同时智能化的粉料模块允许在不超过两小时内更换粉料（见图5）。

(5) 如何满足工件的高精度

要求？能满足高精度的要求是DMG MORI在金属切削加工领域优势将得到体现的地方。对于粉床工艺加工后的工件，DMG MORI提供工件后处理所需的铣削加工中心。其中的关键是不同技术之间的快捷衔接——包括硬件和软件技术两方面。DMG MORI与Siemens NX合作开发端至端的CAD/CAM 解决方案，在这个解决方案中当然包括粉床工艺。终极目标是集成为一体的工艺技术。

(6) 如何看待“工业4.0”这一概念的重要性？对于DMG MORI来说，它非常重要。DMG MORI推出了“迈向数字化”计划，该计划由智能软件解决方案组成，包括直观易用的用户界面CELOS，在金属加工领域，CELOS 是工业4.0的真正助推器。CELOS已用在LASERTEC 3D复合加工中心上，未来REALIZER为粉床工艺开发的RDesigner产业化解决方案也将集成在CELOS®系统中。数据采集和数据管理以及易用的应用程序为用户准备加工任务和加工生产的

整个流程提供巨大便利。也就是说，数字化将对产能优化利用和生产的灵活性发挥重大的作用。允许用工业化的批量生产方式进行个性化的批量生产。例如，不需要在全球准备库存备件。备件将被“按需”生产出来。数字化和增材制造相得益彰，将呈现巨大潜力。

(7) 如何预估DMG MORI在增材制造领域的机会？作为金属切削机床的领导者且拥有数十年激光应用经验，DMG MORI与REALIZER合作，汇集双方的专有技术，占有金属工件增材制造的领先地位。此外，DMG MORI在服务、应用和销售方面都已布局全球。未来，DMG MORI会将这些专业技术集中到比勒菲尔德、弗朗顿、东京、上海和芝加哥DMG MORI增材制造卓越技术中心。增材制造技术中心的专家将在客户产品开发的初期参与到客户项目的开发之中。他们有机会相互学习未来机床和工件的设计制造。预计在2018年年底，将发布LASERTEC 65 3D纯激

光堆焊机床。更大型号的LASERTEC 125 3D复合加工中心已计划在2018年面市。粉床的未来发展方向是更高生产力，为提高生产力将增大工作区体积和加强工艺间衔接与自动化。简而言之，缩短非生产时间。

(8) 增材制造也将改变工件的开发，这一点是否已经引起了设计工程师的注意？很遗憾，还没有引起广泛关注，但将有越来越多的设计工程师认识到增材制造的潜力并将增材制造技术用于他们的工作中。毕竟，用增材制造技术可实现其他传统生产方法无法实现的工件。这是DMG MORI认为增材制造是一项革命性的技术，也是对传统生产技术有益补充的原因。位于比勒菲尔德的DMG MORI培训学院已配备多台LASERTEC 30 SLM增材制造机床，位于弗朗顿的DMG MORI培训学院配备LASERTEC 65 3D复合加工中心，为客户提供增材制造高素质员工的培训服务。□



(a)



图 3



(a)

(b)
图 2

图 4

(b)
图 5

光纤激光设备的广泛应用

IPG（北京）光纤激光技术有限公司 Lynn Stanley

得益于光纤技术进步的驱动，光纤激光器已经获得了长足的发展。在过去的十年间，光纤激光器的快速工业化和广泛应用，要归功于物理学家Valentin Gapontsev先生，是他引领了光纤技术的发展。Gapontsev先生曾说希望看到光纤能像电脑一样成为批量生产中的一个首选工具。

1991年Gapontsev先生在俄罗斯成立了IPG Photonics公司。该公司与意大利电信运营商Italtel签订了第一份重大合同，随后又与戴姆勒-奔驰航空航天公司签订了第二份合同，这促使IPG于1994年在德国开设了另一家工厂。1998年，IPG在美国马萨诸塞州伍斯特市成立了其全球总部。

2000年，IPG建造了全新高产能

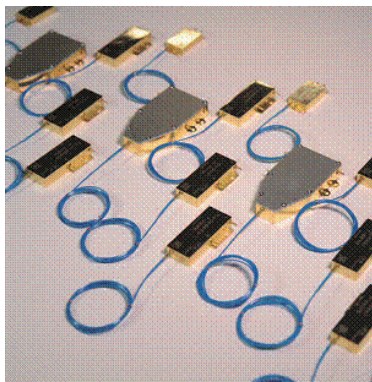
工厂，用于制造其二极管泵浦源。泵浦二极管是IPG光纤激光器和放大器中的关键部件。五年后，IPG在美国上市。如今，IPG能够为光纤激光设备制造商提供从光纤和光学器件、光束耦合器和光闸，到加工头、准直器（一种使光束变窄的器件）、过程控制和工具选择等一整套完备的光束传输组件。

1. 快速前行的步伐

切割市场的趋势是更高功率、更

快速度以及切割更厚的材料，为了满足切割市场领域的这些需求，光纤激光设备中所配备的激光器，必须能够在切割材料越来越厚的情况下，提供卓越的切割质量。IPG是以具有成本效益的价格，提供光纤技术。

激光设备制造商正在将IPG的激光器与他们自己的硬件和软件结合在一起。正因为如此，IPG在2017年美国国际金属加工及焊接展览会（Fabtech）上有许多光纤激光设备



二极管泵浦源



激光焊接

都增添了新功能，而这些功能在三年前是无法提供的。

目前在很多情况下，制造商在面对汽车和其他领域的零部件材料切割应用时，都会选择光纤激光切割机，而放弃等离子切割机和激光水射流切割机。然而，光纤激光器在材料切割领域之外的应用还远未成熟。激光焊接和钎焊（金属连接）将是下一个最具增长潜力的市场。汽车是最早在其产品线上使用激光焊接的领域，因为自动化机器人系统非常适用于汽车生产，其原因在于汽车制造商有能力为一项特定的工艺设计零件。而对于那些没有专门为像激光焊接这样的技术重新设计零件自由的行业而言，这通常是一项障碍。随着自动化变得更加主流，也更加经济，机器人变得更容易编程，激光焊接的应用将会随之增加。

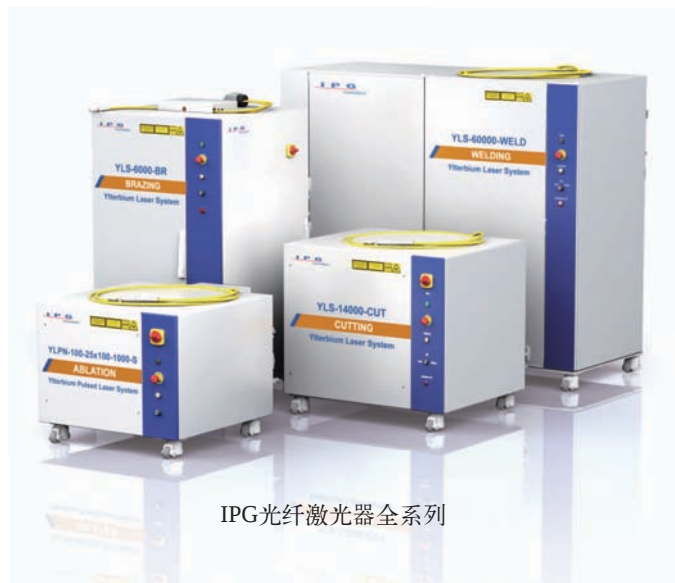
2. 高度差异化的产品

凭借产品的高度差异化和创新性，以及广泛的市场吸引力，IPG的市场份额和收入迅速增长。

与其他类型的激光器相比，IPG光纤激光器的固有优势包括更为小巧的体积、更具有伸缩性的架构、寿命长、更低的拥有成本、稳健可靠性、较高的电光转换效率和易于集成性等，通常为制造商带来最有效和成本最低的解决方案。这一系列令人信服的优势使IPG的光纤激光器成为许多现有工业应用的“首选技术”，并使之成为一种全新的制造解决方案，自然取代传统的激光或其他现有的技术使用。

3. 摆动和焊缝追踪

IPG的摆动和焊缝追踪焊接头适配器使制造商在焊接铝、铜和钛等易产生高反的光亮材料时，能够获得一致的焊接效果。过去焊接此类敏感材料时，通常会导致气孔和热裂纹等缺



IPG光纤激光器全系列

陷。有了摆动焊接头，制造商可以调整不同的模式、振幅和频率，最大限度地优化工艺，将缺陷率降到最低。另外，IPG的摆动焊接头还允许制造商焊接不同材质的金属。

通过摆动头可以控制两种材料的熔化行为，并通过选择正确的摆动参数来平衡它们，通过控制金属间化合物的熔化和凝固来提高焊接质量。IPG将两种技术整合为一个紧凑的模块，这种设计有利于同步激光束摆动和焊缝跟踪。通过摆动激光束，焊接质量和表面粗糙度得以提升。同时，当焊缝位置发生变化时，焊缝跟踪器能够自动调整焊接头的横向位置。焊接头在没有填充材料的情况下，提升了间隙搭桥能力，并可得到高质量焊缝表面，同时整条焊缝的一致性也可明显提升。该模块即插即用，并与IPG的D50大功率焊接头兼容。

4. 清洗与打标

激光消融正在吸引来自航空航天和汽车等领域的客户关注。该工艺可用于去除油漆、清洁模具或在焊接前去除氧化层和涂层，其速度更快，并且产生的废料更少。

此外，打标和雕刻是光纤激光器以性能著称的另外两种应用，其可追溯性需求和规格的多样性，特别是在医疗器械领域显得至关重要。

光纤激光器也越来越多地与自动化加工相结合。如今高产量需求正在驱动制造商做出零件生产线自动化的决策，与此同时，制造商也必须要考虑零件设计。如果零件合适自动化生产，并且有量产需求，那么光纤激光器自然会成为自动化解决方案的一部分。



打标

5. 结语

IPG的构建模块——光纤和泵浦二极管为公司提供了一个以更低成本提供更高输出功率和卓越光束质量的产品平台，其包层侧泵技术和分布式单管泵浦架构，是将光纤激光器技术应用于众多行业大规模生产的关键环节。

IPG是一家垂直整合的公司，其成功的关键在于技术都是自行开发，这使其成本更加低廉。IPG能够尽可能广泛地构建网络平台，因为其产品可独立于任何其他品牌。IPG正在尝试通过与更多客户的合作，来扩大光纤激光器在市场上的应用。□

为共同生存的地球环境保护而努力

——瑞士TURBO公司在中国成功落地十周年庆典召开

特约记者 赵宇龙



2019年3月14日，瑞士TURBO公司在中国成功落地十周年庆典仪式在上海举行。来自机床刀具、汽车、航空航天、医疗等精密机械加工行业的客户和媒体100余人见证了这一时刻。

Turbo Separator AG——瑞士透波过滤设备有限公司，成立于1956年，公司创始人 Walter RUF 博士发明了应用于冷却液净化处理的离心过滤技术，并成功地把这一技术应用于机械加工领域，从而在世界范围内开创了工业过滤的先河。60多年来，TURBO公司紧随欧洲工业发展的步伐，与欧洲各主要机床厂家和全球各地的工业生产企业紧密合作，一直引

领着世界精密工业过滤的发展方向，为全世界的用户提供了数以万计的工业化学品净化过滤系统。

2010年成立的透波过滤科技（上海）有限公司是Turbo Separator AG

在中国的全资子公司。公司致力于为中国客户提供瑞士先进环保的过滤技术和产品。透波的环保过滤设备早在20世纪70年代就已经被成功引入中国，在国内各个工业加工领域得到了普遍应用。

TURBO公司总裁班瓦特先生回顾了自己加入透波公司的经历，他在致辞中说：十年，求索路漫漫；十年，弹指一挥间。2000年，我加入瑞士TURBO公司担任董事总经理。那时候我45岁，雄心勃勃且势必要做一些变革。远东地区和中国从未引起过我们的注意，我个人在那之前也从未踏上过中国的土地。然而，我们的机床客户总是将他们的设备和我们的设备一起销售到中国，并且一直不停催促我们规划解决这些设备在中国的维



陈侠总经理



班瓦特总裁



修维护问题。2003年，我在瑞士的重要城市苏黎世参加了为期3天的“中国日”活动，并萌生了到中国考察一下的念头。于是，在2004年，我们第一次参加了在北京举办的展会。但结果很悲催。似乎没有人对我们感兴趣，只除了少数想和我们留影的学生。然而，这并没有让我气馁。2005年我又回来了。我在中国待了几个星期，参加了瑞士商会的活动，拜访了上海周边的潜在客户和合作伙伴。之后，我就更加迫不及待。自此，我们开始在上海租办公室、参加各种展会及商业活动并拜访客户。我们清楚地知道，要在这里开展业务，首先需要在这里打响我们的品牌知名度。2009年，我们最终决定在中国创办自己的公司。2010年，透波过滤科技（上海）有限公司成立。

班瓦特说：今天，作为十年来的首次，我们将把TURBO中国公司的管理权交给陈侠女士，我们的销售和市场负责人将成为公司新任区域负责人和公司副总裁。她无需担心独但重任，因为有我们的全力支持。首先我将担任总裁，其次我的儿子托比亚斯将担任她的总经理助理，并在上海任职两年。相信她是我们交付这一重

任的最佳人选。

当天，TURBO公司向来宾展示了新址和设备。TURBO离心分离设备利用了液体中的沉降原理，这个过程通过使用离心技术，可以将沉降速度被加速到正常状态下的2500倍。由此能够获得传统的过滤方法所不能达到的纯净度。离心过滤技术以其不需要过滤介质的特点，被广泛的应用于各行各业，应用领域之宽广，远超其他过滤技术。在大力发展离心技术的同时，公司也不断引入磁吸分离、真空负压、转鼓等其他过滤技术。可为

用户提供多种复合型的过滤解决方案。

离心机可以提供 $1\sim 5\mu\text{m}$ 的过滤精度，并且可以灵活地和其他不同材质的滤材结合，更加经济地实现更高精度的过滤，在严格要求下可以实现 $1\mu\text{m}$ 的过滤精度。而TURBO的三相离心技术可以分离切削液和清洗液中的99%的杂油，有效延长切削液和清洗液的使用寿命。

随着使用时间的增加，乳化液的使用性能逐渐降低，直至失效，液体产生臭味，停机维护等，所有这些由于乳化液而困扰用户的问题，TURBO的过滤系统都可以解决。过滤方案对生产成本的影响无论是全厂的统一集中过滤，还是灵活实用的岛屿处理系统，或是随机的移动系统，经济实用的过滤站，都能帮助用户改善乳化液的使用，有效减低乳化液的使用成本和管理成本，带来显著的经济效益。

实现零排放功能是TURBO公司半个多世纪来在过滤领域技术积累和智慧体现。零排放不仅意味着不再有排放的成本和烦恼，更意味着TURBO为我们共同生存的地球环境保护付出应有的努力！□



WMEM

《世界制造技术与装备市场》

读者服务卡、申请杂志赠阅登记卡

为了加强本刊与读者的信息沟通,及时了解读者的需求,使本刊能快捷地随读者的需求变化,更好地为读者服务。我们特为那些渴望通过本刊了解有关装备和技术信息,并对本刊的文章、广告内容等有反馈意见(填写第13项广告号码)的读者,提供免费寄赠服务,赠送一期杂志。

本刊编辑部:北京市西城区莲花池东路102号天莲大厦1608号
中国机床工具工业协会《WMEM》编辑部 邮编:100055

请在以下您确认的项目后□内划“√”

1. 您是本刊的:

老读者 ☐ 新读者 ☐

2. 本刊对您的工作:

十分需要 ☐ 一般参考 ☐

3. 您对本刊中的哪些栏目感兴趣?

01. 专题报道 ☐ 02. 本刊专访 ☐
03. 专题综述 ☐ 04. 论坛 ☐
05. 展览会信息 ☐ 06. 相关产业 ☐
07. 行业资讯 ☐ 08. 产销市场 ☐
09. 产品与技术 ☐ 10. 技术讲座 ☐
11. 产品信息 ☐ 12. 企业风云 ☐

您希望增加哪些新栏目? _____

4. 您是通过何种途径读到本刊的?

订阅 ☐ 赠阅 ☐
社会图书馆 ☐ 单位资料室 ☐
专业人士推荐 ☐ 展览会赠阅 ☐
其他 ☐

5. 贵单位所属行业类别:

汽车、摩托车及其零部件工业 ☐
航空航天 ☐ 机床工具 ☐
国防 ☐ 石化 ☐
铁道 ☐ 冶金 ☐
船舶 ☐ 建设 ☐
电力 ☐ 工程机械 ☐
矿山 ☐ 农业机械 ☐
轻工 ☐ 水利 ☐
林业 ☐ 纺织 ☐
仪器仪表 ☐ 化工 ☐
模具 ☐ 院校 ☐
医疗器械及设备 ☐ 电子电信 ☐
板材加工 ☐ 塑料机械设备 ☐
通用机械及零部件 ☐ 焊接与切割 ☐
其他行业(请具体说明) ☐

6. 贵单位的所有制性质:

国有 ☐ 集体 ☐
民营 ☐ 中外合资、合作 ☐
外商独资 ☐ 其他 ☐

7. 贵单位的业务类别:

- | | | | |
|------|--------------------------|-------|--------------------------|
| 生产企业 | ☐ | 科研院所 | ☐ |
| 贸易公司 | ☐ | 政府部门 | ☐ |
| 大专院校 | ☐ | 协会、学会 | ☐ |
| 信息服务 | ☐ | 其他 | ☐ |

8. 贵单位员工总人数:

- | | | | |
|----------|--------------------------|-----------|--------------------------|
| 1~50 | ☐ | 1001~3000 | ☐ |
| 51~200 | ☐ | 3001~5000 | ☐ |
| 201~500 | ☐ | < 5000 | ☐ |
| 501~1000 | ☐ | | |

9. 贵单位对下列哪些设备/技术感兴趣, 或近三年有采购意向:

- | | | | |
|---------|--------------------------|--------|--------------------------|
| 车床 | ☐ | 铣床 | ☐ |
| 镗床 | ☐ | 钻床 | ☐ |
| 磨床 | ☐ | 加工中心 | ☐ |
| 齿轮加工机床 | ☐ | 锯床 | ☐ |
| FMS/FMC | ☐ | 电加工机床 | ☐ |
| 专用机床 | ☐ | 自动化生产线 | ☐ |
| 板材加工设备 | ☐ | 测量机 | ☐ |
| 机器人 | ☐ | 工具 | ☐ |
| 附件 | ☐ | 刀具 | ☐ |

控制装置 ☐其他特种加工机(如激光、水切削、等离子加工机等) ☐其他设备(请具体说明) ☐ _____

10. 上述设备中贵单位拟选择的类别为:

- | | | | |
|-----|--------------------------|-----|--------------------------|
| 数控型 | ☐ | 普通型 | ☐ |
| 国产 | ☐ | 进口 | ☐ |

11. 您计划参加CCMT2018(第十届中国数控机床展览会)的下列活动:

- | | | | |
|------|--------------------------|------|--------------------------|
| 寻找代理 | ☐ | 参加论坛 | ☐ |
| 参展 | ☐ | 参观 | ☐ |
| 采购 | ☐ | | |

12. 您对本刊哪些文章中的技术、新产品感兴趣?

(填首页目录中的页码)

--	--	--	--

--	--	--	--

13. 请附名片或填写您的通讯地址:

(如欲索取本期广告的详细资料, 请同时填清英文部分, 本刊将转请有关制造商免费寄给您所需资料。)

可装订名片

Name: _____

Organization: _____

Title: _____

Address: _____

Tel: _____

E-mail: _____

邮政编码: _____

地址: _____

单位: _____

姓名(职务): _____

电话: _____ 传真: _____

电子邮件: _____

请在下面方框内填写您对本刊广告中所感兴趣的广告服务项目的号码, 这个号码应与广告下方或附近所注的号码一致

14. 请您对本刊提出改进意见和建议: _____

持续监测您的刀具



 **mida** 超精密测头



马波斯**Diamond** 系统重新定义了在机刀具测量， 在高精度作为最基本的日常需求的当今。 **VTS**钻石系列可视化对刀仪适用于微型刀具测量以及模具生产，保证高切削精度和优化生产。



MARPOSS
YOUR GLOBAL
METROLOGY
PARTNER

www.marposs.com



HEIDENHAIN
海 德 汉

推动创新 见证未来

没有愿景，就没有未来。海德汉致力于将今日科技之梦想转变为明日之现实，一次次地推动机床、电子生产设备和自动化设备精度和生产力的提高。面对未来，海德汉仍将以此为动力，持之以恒将创新概念转化为行业标准。我们将不断开发新项目、新技术和更先进的产品，助您实现愿景、见证未来！



精准有道



欢迎关注海德汉官方微信

约翰内斯·海德汉博士(中国)有限公司
www.heidenhain.com.cn

地址：北京市顺义区天竺空港工业区A区天纬三街6号
邮编：101312
电话：010-80420000
传真：010-80420010
E-mail: sales@heidenhain.com.cn