

# WMEM

## 世界制造技术与装备市场

World Manufacturing  
Engineering & Market

No.6 2016  
2016年12月  
Dec. 2016

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: 陈惠仁  
副主任: 王黎明 毛予锋  
编委:

王旭 关锡友 张志刚 龙兴元 马伟良 马俊庆  
石光 叶军 邱丽花 刘炳业 刘家旭 李金泉  
杜琢玉 李屏 李保民 吴日 何敏佳 张明智  
陈吉红 罗勇 周辉 姜华 潘云虎 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 魏而巍 夏萍 范小会 徐宁安 陈德忠  
徐刚 吴建民 李志宏 桂林 汪爱清 王跃宏  
张国斌 初福春 王明远 高克超 刘庆乐 王兴麟  
董华根 胡红兵 武平 肖明 钟洪

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

2016年第6期(总第147期)

# WMEM世界制造技术与装备市场

## 行业资讯 News

- 19 中国重庆国际机床展览会(CCIMT2017)招展工作全面启动等5则消息  
Five news such as CCIMT2017 exhibition invitation has been fully started and so on

## 特别报道 Special Report

- 21 周密部署 协调配合 稳步推进  
——第十五届中国国际机床展览会境内展区展览预备会在长沙召开 李华翔  
Carefully deployment and coordination for steadily promoting  
——CIMT2017 exhibition prelude about China exhibition area was held in Changsha
- 23 聚焦意大利BIMU机床展  
——第30届意大利机床展(30.BIMU)在米兰召开 李华翔  
Focus on Italy BIMU machine tool exhibition  
——The 30th Italy BIMU machine tool exhibition was held in Milan
- 27 埃马克于重庆成立公司 持续深入客户  
EMAG (Chongqing) has been built continuously for customers

## 研发与应用 Research & Application

- 29 五轴联动高速、精密可转位刀片周边和双端面刃磨数控工具磨床的研发和应用 谭晓庆等  
Research and application of five-axis high-speed precision indexable insert peripheral and double end face CNC tool grinding machine
- 37 机床箱体类零件柔性制造系统研发与示范应用 刘雁  
Development and demonstration of the machine box body flexible manufacturing system

## 专题综述 Topical Review

- 42 机床行业智能制造的发展与展望 邵钦作  
Development and outlook of the machine tool industry intelligent manufacturing
- 45 大型汽车冲压生产线技术与装备现状与发展 徐刚  
Present situation and development of the large automotive stamping production line

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: CHEN Hui-ren

Vice President of E-C: WANG Li-ming,  
MAO Yu-feng

Committeemen:

WANG Xu, GUAN Xi-you, ZHANG Zhi-gang,  
LONG Xing-yuan, MA Wei-liang, MA Jun-qing,  
SHI Guang, YE Jun, QIU Li-hua, LIU Bing-ye,  
LIU Jia-xu, LI Jin-quan, DU Zhuo-yu,  
LI Ping, LI Bao-min, WU Ri, HE Min-jia,  
ZHANG Ming-zhi, CHEN Ji-hong, LUO Yong,  
ZHOU Hui, JIANG Hua, PAN Yun-Hu, 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, WEI Er-wei, XIA Ping, FAN Xiao-hui,  
XU Ning-an, CHEN De-zhong, XU Gang,  
WU Jian-min, LI Zhi-hong, GUI Lin, WANG Ai-qing,  
WANG Yue-hong, ZHANG Guo-bin, CHU Fu-chun,  
WANG Ming-yuan, GAO Ge-chao, LIU Qing-le,  
WANG Xing-lin, DONG Hua-gen, HU Hong-bing,  
Wu ping, XIAO Ming, ZHONG Hong

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官方网站

## 展会信息 Exhibition News

- 53 CIMT2017展品预览(1) 协会传媒部  
CIMT2017 exhibits preview (1)

## 展品评述 Exhibits Review

- 61 CCMT2016刀具展品评述 杨晓执笔  
CCMT2016 exhibit review of cutting tools
- 73 CCMT2016数控转塔刀架展品评述 吴华平  
CCMT2016 exhibit review of CNC turret heads

## 海外市场 Overseas Market

- 75 聚焦IMTS2016展会(上) 杜智强  
——IMTS2016展品情况介绍  
Focus on IMTS2016 (1)  
——IMTS2016 exhibits introduction

## 产品与技术 Products & Technology

- 88 大型汽车覆盖件模具加工机床的选型及应用 杨兴  
Selection and application of the mould processing machine tool for large automotive covering parts
- 94 数控软件自动化测试系统的研发 孙楠 邹捷  
Research and development of CNC software automotive test system
- 98 城际动车组铝合金车体关键尺寸控制工艺研究 张明伟等  
Research on key size control technology of the CRH Al alloy body part

消息(87)

- 72 广告目次索引  
Advertisers Index

### 编者的话

作为高端制造业的重要基础组成部分，机床工业的转型成功与否，关乎成就中国制造业强国梦想的最终实现。

机床制造是一个高度复杂的体系，数控系统、主轴、丝杠、导轨等基础功能部件的性能优劣对机床的整体性能起到了决定作用。而这些关键功能部件又是设计、材料、制造三位一体的技术集成。正如国内一位知名专家所言：我们必须要建立三个技术体系：设计技术体系、材料技术体系、制造技术体系，并且设计、材料、制造三个技术各自独立、不可分割，同等重要、不可偏废，方能制造出优质合格的关键功能部件。

思路决定出路。当前机床行业正在朝着产业链的中高端方向迈进，想要生产出合格优质的关键功能部件，最终制造出优质的机床产品，必须要以系统性思维来规划未来发展，踏踏实实地做好基础性的东西，过去欠的帐终究要还上，那种想要实现弯道超越的想法终究是行不通的。

2016年即将过去，历史又将翻开崭新的一页。在世界经济低迷、中国经济步入新常态的大背景下，我国机床企业经过几年的艰苦转型，效果已逐步显现。一些顺应市场需求，找准定位，调整经营架构，加大研发投入的企业正走在通往成功的道路上；而那些固守传统思维，瞻前顾后、没有明确方向的企业经营则逐步陷入困境，甚至最终退出市场。一句话，整个机床行业正在分化中加快转型升级。

即将于2017年4月召开的CIMT2017展会将集中展示我国机床工具企业转型升级的最新成果的大舞台。届时，中外企业齐聚京城，携最新产品和技术，共同诠释“新需求·新供给·新动力”的展会主题。

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。



荣获日经Business评选为「全球上市企业综合成长力百大」第5名  
 荣誉福布斯(Forbes)2015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

仿冒品  
 请向合格经销商购买

## 工业4.0 优质伙伴

### INDUSTRIE 4.0 Best Partner



直驱马达CNC回转工作台  
Direct Drive CNC Tilting Rotary Table



直驱马达立式回转工作台  
Direct Drive Vertical Rotary Table



2011-2016连续16年荣获台湾精品金银质奖



滚珠丝杠  
Ball screws



直线导轨  
Linear Guideway



单轴机器人  
Single Axis Robot



关节式机器人  
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



直驱式定位平台  
Torque Motor



伺服驱动器  
Servo Drive



AC伺服电机  
智能型电机  
AC Servo Motor  
abilitymotor

#### 中国大陆子公司

**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唯新路59号  
 Tel: (0512) 8068-5599  
 Fax: (0512) 6579-4105  
 www.hiwin.cn

#### 全球营运总部

**上银科技股份有限公司**  
 HIWIN TECHNOLOGIES CORP.  
 台湾40852台中市精密机械园区精科路7号  
 Tel: +886-4-23594510  
 Fax: +886-4-23594420  
 www.hiwin.tw  
 business@hiwin.tw

#### 关系企业

**大银微系统股份有限公司**  
 HIWIN MIKROSYSTEM CORP.  
 台湾40852台中市精密机械园区精科路6号  
 Tel: +886-4-23550110  
 Fax: +886-4-23550123  
 www.hiwinmikro.tw  
 business@hiwinmikro.tw

#### 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
法国 www.hiwin.fr	捷克 www.hiwin.cz	新加坡 www.hiwin.sg	韩国 www.hiwin.kr	以色列 www.mega-fabs.com

#### HIWIN大陆专属经销商

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

金太客传动科技(苏州)有限公司  
Tel: (0512) 6690-8988

上海玖钰机械设备有限公司  
Tel: (021) 3471-8911

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: (022) 2339-3860

上海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

青岛鹏诚达机电设备有限公司  
Tel: (0532) 8602-5666

## 中国重庆国际机床展览会 (CCIMT2017) 招展工作 全面启动

由中国机床工具工业协会与美国机械制造技术协会 (AMT) 联合主办的首届中国重庆国际机床展览会 (CCIMT), 将于2017年11月13~16日在重庆国际博览中心举行。展会将占用重庆国际博览中心N1、N3、N5馆, 展出面积35000平方米, 预计观众人数5万人(包括来自美国及其他国家和地区的海外观众)。

聚焦重庆, 辐射西部。近年来, 重庆及其周边地区的制造业发展迅猛, 有250多家世界五百强企业。2015年重庆GDP达到11%, 高居中国31个省市之首。重庆是中国最大的汽车生产基地、笔记本电脑制造基地以及主要的摩托车生产地区。当地有1000多家企业专业从事汽车和相关零部件的生产; 600多家企业从事摩托车和相关零部件的生产, 年生产汽车超过300万辆、摩托车800万台、摩托车发动机超过1000万台, 其中15%左右出口海外市场。

2017中国重庆国际机床展览会将采用国际化运作模式, 按展品分区, 国内外展商价格服务完全并轨, 同台竞技。为期4天的展会将为机床企业开拓以重庆为中心的西部市场, 打造全新的展览服务平台。

展会的国际招展工作已经于今年9月15日正式启动, 目前已有美国、日本、德国、中国台湾等国家和地区的机床协会将组团参展, 预计国际展商占比将达30%。国内招展工作也已在2016年11月底全面启动, 我们将优先给提前报名的企业分配展位, 协会的会员企业也将享受200元每平米的优惠。招展工作将于2017年4月30日结束, 如有意向参展, 请关注展会官方网站www.ccimtshow.com。 (中国机床工具工业协会展览部)

## 华中数控与阿里云合作 推动数控一代向智能一代升级

12月15日, 在云栖大会·广东分会上, 华中数控股份有限公司与阿里云达成合作, 双方将在云计算、大数据、物联网等领域工作规划与实施方面开展合作, 推动制造装备从“数控一代”向“智能一代”升级, 贯彻“中国制造2025”战略。



此次华中数控和阿里云的合作, 将结合双方各自的技术优势, 聚焦基于工业云的大数据智能应用平台, 服务其他中小型制造企业, 并建立数控加工设备租赁服务、资源共享、高级数控操作维修人员服务共享平台等。

华中数控还将通过工业云服务系统, 将数控设备接入云服务系统, 实现智能应用, 进行健康诊断分析, 深入挖掘机床的性能、可靠性、利用率提升。此外, 双方还将积极推动工业云的工业设备网络通信标准设立, 建立云设备的数据模型、应用模型、在线接入等国家及行业标准。 (华中数控科技有限公司)

## 普什宁江着手实施 FMS智能升级

在不久前举行的四川省重大装备制造业劳动竞赛启动仪式上, 中航工业成都飞机工业集团有限公司、四川普什宁江机床有限公司等15家全省重大装备制造业的知名企业齐聚一堂, 展示了24个参赛项目。作为四川省首次以产业工会牵头的省级劳动竞赛, 本次竞赛聚焦全省供给侧改革, 以服务《中国制造2025》四川行动计划、促进制造业转型升级为目标。



普什宁江FMS柔性制造系统智能升级作为此次竞赛参赛项目, 具有高集成性、高效率、自动化、智能化等特点, 是典型的构建智能数字化车间的智能制造基础、共性模型。该项目以箱体类零件智能制造、数字化管理

以及标准体系研究为目标,研发产品工艺数据库系统,研究云制造服务技术,掌握并突破包括刀具管理、日程计划管理、运行监控、程序管理等FMS柔性制造系统核心技术,建立智能FMS柔性制造系统试验平台,开展柔性制造系统应用标准的研究,实现FMS柔性制造系统智能升级。通过项目实施,将促进高端装备创新、智能制造模式创新,推动《中国制造2025》十大重点领域之一“高档数控机床与机器人”的率先突破,对促进传统制造业转型升级,实现制造强国具有重要的现实意义。

此次竞赛参赛项目涵盖装备制造的诸多领域,普什宁江的FMS柔性制造系统智能升级等项目,展现了四川重大装备制造业的最高水平。(郭艳)

## 车床分会第十一次会员大会暨第七届换届改选会议在沈阳召开

11月25日,车床分会第十一次会员大会暨第七届换届改选会议在沈阳顺利召开。会议讨论通过分会工作报告和换届选举制度(试行),并进行了换届选举。



会议经无记名投票选举,产生了由24家会员单位组成的车床分会第七届理事会。新一届理事会成员投票选举了理事长和副理事长单位,沈阳机床(集团)有限责任公司再次当选分会理事长单位,济南一机床、宝鸡机床、安阳鑫盛、天水星火等4家单位当选为分会副理事长单位,云南CY、重庆二机床等9家单位当选常务理事单位。

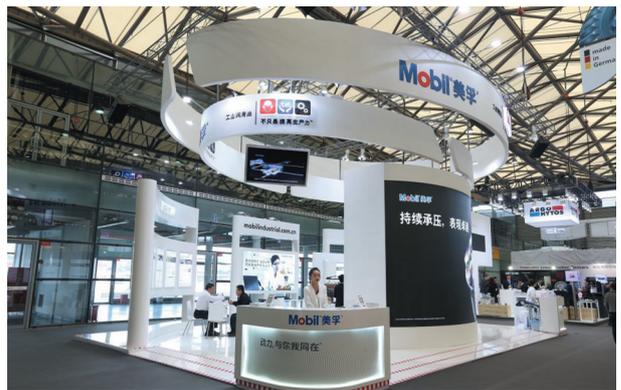
会上,毛予锋执行副理事长代表总会发言,通报了全行业2016年1-9月份的行业经济运行状况,对明年行业运行形势进行了预判。刘春时代表关锡友理事长致辞并做大会总结发言,同时介绍了沈阳机床承担的“高档数控车床智能化制造”项目的有关信息。

此外,会议还邀请了汽车、航空领域的两位专家,

介绍了相关领域对于机床工具产品的一些需求信息。会后,代表们参观了沈阳机床园区的2个生产车间。

## 美孚工业润滑油为动力传动系统提供全面润滑解决方案

近日,埃克森美孚(中国)投资有限公司在2016亚洲国际动力传动与控制技术展览会上集中展示了其专为动力传动系统打造的全面润滑解决方案。美孚工业润滑油不断探索高效节能型润滑油,旨在满足液压、空压、齿轮及轴承等动力传动系统的润滑需求,帮助企业依托安全、环保、高效的润滑效益发力“中国制造2025”,促进企业加快可持续发展的步伐。



动力传动系统是现代工业设备不可或缺的组成部分。无论被运用在何种行业领域,动力传动系统的表现都会对设备性能产生直接影响。工业设备的可靠运行、高效生产和节能表现都离不开卓越的润滑保护。因此,为动力传动系统添加杰出的润滑产品可有助于避免非计划停机,实现高效生产、节能降耗,全方位提升企业自身核心竞争力。

性能稳定、效果出色的美孚工业润滑油不仅能够满足各类机械设备独特的润滑需求,还能帮助企业实施绿色生产。展会期间,美孚工业润滑油展示了其近年来不懈努力的研发成果,包括:美孚DTE 10 超凡™系列、美孚SHC™拉力士系列、美孚SHC™600系列、美孚润滑脂XHP™222等产品。

埃克森美孚(中国)投资有限公司副总经理黄卫防先生表示:“未来五年,是中国落实制造强国战略的关键五年,也是实现工业绿色发展的攻坚阶段。埃克森美孚始终坚守承诺,不断将升级的产品、创新的服务带入中国市场,帮助企业将生产效益提升到安全、环保、高效的新高度,在工业绿色发展浪潮中占据一席之地。”

# 周密部署 协调配合 稳步推进

## ——第十五届中国国际机床展览会境内展区展览预备会在长沙召开

本刊记者 李华翔



2016年11月29日，由第十五届中国国际机床展览会（CIMT2017）境内展区展览预备会在美丽的山水洲城——长沙顺利召开。来自境内近两百家展商代表220多人参加了本次会议。中国机床工具工业协会常务副理事长兼秘书长陈惠仁出席会议并讲话，中国国际展览中心集团公司郑世钧副总裁和中国机床工具工业协会执行副理事长毛予锋、副秘书长杨青参加会议并在主席台就座。会议由毛予锋主持。

会议分析了2016年中国机床工具市场和产业形势；通报了CIMT2017展览会总体筹备和组织工作；介绍了承办单位配合展会组织工作及展馆情况。此外，展会部分服务供应商代表分别介绍了展览会展品运输、现场操作，以及展览会特装搭建、水电气供应、展具租赁等注意事项和服务保障工作等情况。

### 新常态下的CIMT2017引人关注

2017年4月17-22日，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十五届中国国际机床展览会（CIMT2017）将在北京·中国国际展览中心（顺义新馆）拉开大幕。在全球经济持续低

迷、行业经营困难重重的大背景下，作为国际机床界四大名展之一，CIMT2017自然倍受国内外广泛关注。

本届展会的主题是：“新需求·新供给·新动力”。该主题内涵丰富，充分诠释了当前环境下世界机床工具产业面临的全新挑战和机遇，准确地反映了行业的时代发展特征。

会上，陈惠仁作了题为“2016年中国机床工具市场和产业形势分析”的报告，从市场发展情况、面临的新挑战、行业加快转型升级，以及中国经济呈现的积极变化等四个方面进行了分析总结。报告为展商进一步认清形势、积极备展有着很好的指导作用。

作为2017年度最具影响力的行业盛会，CIMT2017将集中展示中外企业在转型升级方面的最新成果。

### 中外名企齐聚京城

与往届一样，本届展会中外展商报名踊跃，再次展示了CIMT展会强大的吸引力和号召力。

预备会最新发布的展会信息显示：CIMT2017将占用新国展全部8个室内馆、南北登录厅及东西连廊，同时还将在展馆东侧搭建8个临时馆，展会总面积13.1万平方米，预计将有来自28个国家和地区的1600多家企业参展。其中，德国、美国、英国、瑞士、意大利、韩国、西班牙、日本、捷克、印度、台湾地区等12个国家和地区的机床协会和贸促机构组团参展。国内外知名机床工具企业悉数到场，共同演绎行业发展的新格局。

境内展商主要包括：沈阳机床、大连机床、秦川机床、北一、济二、北京精雕、宁波海天、浙江日发、山东威达、山东永华、上海机床厂、重庆机床、齐二、武重、齐重、星火、宁江、青海华鼎、江苏亚威、金方圆、湖北三环、扬力、大族、迪能、埃斯顿、广州数控、华中数控、大连光洋、哈量、株洲钻石等。境外展商主要包括：

德玛吉森精机、埃马克、马扎克、大隈、牧野、哈挺、赫克、格里森、阿奇夏米尔、帕马、友嘉、斗山、现代起亚、通快、百超、萨瓦尼尼、发那科、西门子、海德汉、海克斯康、三菱、THK、上银、蔡司、雷尼绍、马波斯、马尔、山特维克、伊斯卡、肯纳等。

## 展品亮点突出，活动精彩纷呈

近年来，需求市场结构加速升级，自动化成套、客户化定制、普遍的换档升级的新特征日益显现。针对这些需求变化，机床工具企业在分化中加快转型调整步伐，一批企业主动贴近和适应市场，努力倾听客户的声音，积极调整自身产品结构、组织架构，在转型的道路上取得了长足的进步和发展，其成果也将在本届展会上得到集中展示。

据介绍，目前申报的展品中就包括28条自动化生产线的展品展示。此外，工业机器人、激光加工企业的展商数量和参展面积比上届都有很大比例的提升。一批具有智能、绿色、高效、精密、复合等技术特点的展品将成为热点。

在行业活动方面，本届展会将围绕展会主题，举办一系列精彩的活动，主要包括：CEO国际论坛、国产数控机床应用座谈会、数控机床专项成果展、行业十佳表彰、国际化经营座谈会、“院校之窗”、展览信息发布会等。此外，展会期间，机床工具工业协会拟举办一场国际先进制造报告会，邀请国内外专家，围绕物联网应用技术、智能制造等先进制造技术热点，深入探讨智能制造发展之路。

## 展会服务水平全面升级

一流的展会需要有一流的服务作保障。为进一步提升CIMT展会的组织管理和服务水平，努力打造升级版国际化展会，本届展会在前期的招布展阶段进行了调整，在后续展会的现场运营和管理方面也采取有效措施，切实改进展会的管理和服务水平，为展商和观众提供更好的交流平台。

会上，针对如何进一步提升服务质量，展会主办方以及相关的合作伙伴代表在发言中均提出了具体举措，希望通过进一步强化专业化布展、打造专业的展会信息化服务平台，提供优质的展场运输、搭建、会务、餐饮等服务工作，带给广大展商与观众更加优质的服务体验。

目前，展会的后续各项筹备工作都在有条不紊的进行当中。届时，中外展商将齐聚京城，同台竞技，为观

众带来最新的技术和产品。我们也将与广大展商与观众一同见证CIMT2017展会盛况和全球机床工具产业发展的新风采。

CIMT2017值得期待！□

## 行业资讯

# 数控装备互联互通及互操作标准及试验验证项目在京启动

近日，“国家智能制造专项《数控装备互联互通及互操作标准及试验验证》项目启动会暨SAC/TC231数控装备互联互通及互操作标准工作组第一次会议”在北京召开。



据悉，该项目是工信部2016年智能制造综合标准化项目，责任单位是国家机床质量监督检验中心。该项目所建设的标准体系是《国家智能制造标准体系建设指南》提出的重点行业标准之一，项目所解决的互联互通及互操作问题是当前离散制造业智能制造需迫切解决的核心瓶颈问题之一，其系列标准的建立将有助于推动行业智能制造的发展。

项目负责人、检测中心副主任黄祖广在进行项目介绍时表示，将自主制定《数控装备互联互通及互操作通用技术要求》、《数控装备互联互通及互操作设备描述模型》、《数控装备互联互通及互操作面向实现的模型映射》、《数控装备互联互通及互操作 数控机床对象字典》、《数控装备互联互通及互操作 工业机器人对象字典》、《数控装备互联互通及互操作信息安全要求》、《数控装备互联互通及互操作数控机床测试与评价》、《数控装备互联互通及互操作 工业机器人测试与评价》等8项行业标准草案，并完成8项测试验证规范。

# 聚焦意大利BIMU机床展

## ——第30届意大利机床展（30.BIMU）在米兰召开

本刊记者 李华翔

2016年10月4-8日，由意大利机床、机器人、自动化系统及配件制造商协会（UCIMU）主办的第30届意大利机床展（30.BIMU）在意大利米兰的fieramilano展览中心如期召开。

作为意大利机床工具市场的晴雨表，BI-MU展会始创于1956年，是意大利规模最大，历史最悠久的展会之一。展会主办方UCIMU现有近200家会员单位，占到意大利机床工具企业总数的70%。



### 展会概况

本届展会的展品涉及各类机床、机器人、自动化、辅助技术，以及分包和服务等，占用4个展馆，展出面积9万平方米。共有1072家国内外企业参展，其中41%的企业是来自33个国家的国外展商。展品近3000台套，价值约4.5亿欧元。

为提高展会的关注度和展商的参展效果，展会主办方UCIMU和意大利对外贸易委员会（Italian Trade Commission）合作，共同邀请了20国家的用户参观团参观展会，参观团成员约200人。参观团主要来自当今一些机床消费活跃度较高和消费潜力较大的国家和地区，如巴西、加拿大、墨西哥、美国、波兰、俄罗斯、土耳其、摩洛哥、沙特阿拉伯、阿联酋、科威特、伊朗、阿曼、巴勒斯坦、伊拉克、乌兹别克、中国、印度尼西亚、泰国等。据统计，展会期间，主办方为各国参观团和意大利展商之间一共安排了近2000场B2B技术交流洽谈会。

主办方统计的入场数据显示：共有62576参观了本次展会，其中59554是专业技术人员，与上届相比增长超过6%。3022学生受邀参观了展会。专业观众中，有2418人来自75个外国和地区，这一数据较上届高出17%。

除了这些满意的数据外，展会的知名度和所展示的综合性解决方案给参观者留下了深刻印象。除了机床、机器人、自动化及配套技术等传统的、国际化的展品外，本机展会还增加了增材制造、工业4.0、液压动力系统和机电一体化、表面加工技术等展品内容并在创新展示区展示。

增材技术展示区展示一些增材制造的加工工件以及详细的应用细节，反映出这一技术领域强劲的发展趋势。流体动力展示区不仅为机床展商创造了寻找好的合作伙伴的机会，也给大家提供了一个通过技术交流探讨促进该领域水平不断提升的场所。机电一体化展示区展示了组装技术、工业机器人、人工视觉、工业自动化、机械电子组件，以及这些技术在相关领域的应用案例。表面加工技术专区展示了约20多家企业的热处理、表面处理、抛光等设备。

此外，今年适逢BI-MU展会60周年及30届，为加强展商、外国用户、记者间的相互交流，展会主办方在展馆服务中心举办了国际联谊活动，共有500位嘉宾参加。欢快的音乐，轻松友好的氛围，活动受到大家的一致赞许。



## 展品亮点

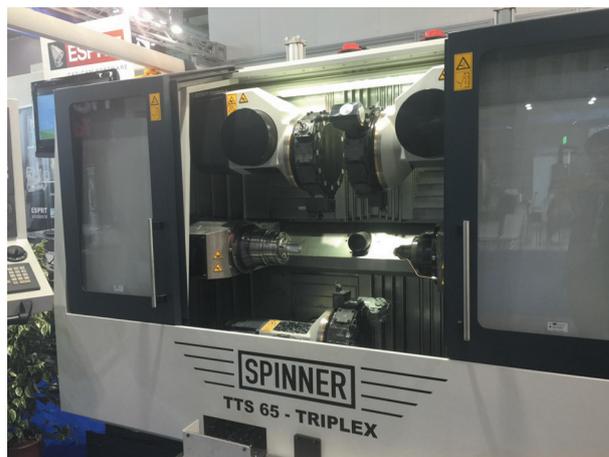
本届展会吸引了世界众多的知名机床工具企业参展。展会展品的复合、高速、高精、环保等“专精特新”的特点明显，从一个侧面反映出意大利本土机床市场特点和需求水平。

意大利breton公司展出的摇篮式双摆工作台五轴加工机床，适用于航空航天、模具制造、能源和半导体工业。摇篮式双摆工作台采用纵向布局，回转工作台由力矩电动机直接驱动，结构紧凑。摇篮采用伺服电动机和无背隙齿轮传动，可以进行五轴联动的立/卧式车削加工或五轴联动铣削加工和5面铣削加工。



breton公司的摇篮式双摆工作台五轴加工机床及加工样品

Spinner Werkzeugmaschinenfabrik公司展示的Spinner TTS 65 Triplex型车床，通过采用经过Programsync软件系统优化了的程序，在加工速度上可以比采用常规编程的同类车床快大约30%。该系列车削中心可以在两个主轴上同时使用最多三把刀具进行加工作业。每个转塔上配备12把电动刀具，因此除了传统的车削加工之外，还可以完成铣削和钻孔的加工任务。两个主轴上的每个转塔都可以投入使用。机床的动力性和生产效率都非常高。



集车、铣、钻于一体的Spinner TTS 65 Triplex型车削加工中心

Spinner TTS型机床在加工精度方面同样令人折服，在常规车间条件下对各种测试工件进行加工的结果表明，同圆精度为 $<1\mu\text{m}$ ，工件误差 $<10\mu\text{m}$ 。达到这种高精度的一个基础便是车削中心采用一个刚性很强的铸造机身和所有轴上经过硬化和磨削的滚动导向，这种滚动导向不允许出现运动导向间隙，从而保证了机床的精度。由于有两个Y轴可供使用，因此该机床的用途就显得更加灵活，可以同时左右侧主轴上进行切削作业。作业侧的更换也是随时可以进行。该机床设备为大批量和中等批量生产而设计，并通过装载机对棒材进行送料，因此可以实现无人操作的作业班次。

DMG MORI公司展示的CELOS系统，能持续管理、文档查看和对任务单、工艺及机床数据可视化。同时，它能简化、标准化和自动化机床操作。此外，DMG MORI与Schaeffler Technologies的合作项目“机床4.0”，选用DMC80FDduoBLOCK铣/车复合加工中心为样机，在机床的关键部件处加装了超过60多个传感器。这些传感器记录加工期间的振动、受力及温度数据，并将这些数据在一个特殊处理系统中采集、处理及保存。首先，借助CELOS的“状况分析器”直观显示加工参数，因此能实时分析机

床工作性能和状态。其次，采集的数据送到多节点的云端系统中并用特殊算法评估不同机床及不同工厂的数据。特别是，可以用“行为模式”经验为基础的状态数据合理地预测潜在故障，例如主轴故障。因此，所有这些功能特性构成一个智能预警系统，它能优化机床保养及维护间隔，避免机床意外停机及显着提高机床可用性。因而，机床4.0很好地说明了机械、电子及信息技术三位一体数据用法，为用户创造真正可见的附加值。



DMG MORI公司展台

FICEP公司是全球最大的钢结构和板材以及锻造行业自动化加工设备制造商，由于受参展面积所限，该公司在本届BI-MU展上仅展示了等离子火焰切割机、数控钻孔机等几款单机产品。据介绍其Excalibur CNC型材加工机床，面市30多年，已经成为一些机床厂家生产机床的参考标准。其钻削单元安装在可在工作台移动的机架上，因此可加工最长达12米的钢材，也可以加工排列组合在一起的多个小型工件。另外，经数控编程可以进行定位、钻削、攻丝、镗孔、铣削、划线等操作。用户在Excalibur机床的基础上，可以组成多种型材加工生产线。

奥地利WFL公司展示的MILLTURN 车-钻-铣复合加工中心，配备标准B、C、X、Y、Z轴，通过一次装卡（或尽量少次数的装卡）完成对复杂工件完整、精密的机加工。



奥地利WFL公司展示的大型铣车复合加工中心



专为航空制造领域设计的M-900lb/700发那科机械人



KUKA公司的自动化解决方案

## 意大利国内机床市场情况

目前，意大利是全球第四大机床生产国，2015年意大利机床、机器人及自动化行业的产值达到52.17亿欧元，比上年增长7.8%。意大利还是全球第三大机床出口国，国内机床产值的近2/3都出口到其他国家和地区，意大利机床的主要出口国依次为德国、美国、中国、法国、波兰、墨西哥、西班牙、土耳其、俄罗斯等。

意大利机床协会统计数据显示，上半年第二季度意大利机床订单数同比下降了6.9%，其中，受国外市场需求低迷的影响，国外订单同比下降了10.5%，相较于一季度4.3%的下滑，趋势有所加大，其中中国和俄罗斯出口市场的下滑明显。对此，意大利机床协会新上任主席解释说，中国市场主要受其经济增速明显放缓的影响；而俄罗斯市场主要受到来自欧盟经济制裁的影响。

尽管国际市场低迷，但意大利国内机床市场良好表现。意大利机床协会市场研究部门，采用移动加权平均法统计得出：最近4个季度的在手订单指数为132.1，其绝对值远超2010年的指数参考值（以2010年=100为基准），这从一个侧面佐证了意大利机床工具业市场活跃程度。

另外，2016年9月21日，意大利经济发展部公布了意大利版的“工业4.0”计划，该计划将投资130多亿欧元，通过研发支出抵免税收等一系列的优惠措施来促进私人投资和产业创新，为意大利机床行业发展带来进一步的利好。



展会主办方新闻发布会现场

## 意大利机床协会的质量认证体系的介绍

为了帮助用户识别意大利优质企业，以及帮助会员企业培育品牌，UCIMU利用自己在行业中数十年的经营而建立起来的声望，于2011年开展了UCIMU制造系统认证。UCIMU制造系统为意大利机械领域的成功做出了重要贡献，其最终目标就是确保企业能拥有最强竞争力。凡通过严格的测试的企业，才能获颁蓝色的UCIMU认证商标。UCIMU商标，不仅是对产品本身的肯定，更是一个企业实力的象征。只有技术领先，经营稳健，市场表现卓越，服务体系完备的企业才能够获准使用UCIMU认证商标。不过，该商标并不是可以永久使用的，制造企业必须接受UCIMU周期性的检验。

UCIMU制造系统最主要的特点就是以“质”取胜。已经注册的UCIMU商标，只有通过近乎严苛的测试，拥有高效的技术架构、市场营销能力而符合ISO 9000标准的企业才可以采用。更确切的说，有权利使用UCIMU商标的公司必须拥有完备的设计、生产、服务架构，有能互通有无的信道。在保证质量的前提下，生产出顾客所需的产品并提供相应服务。这些苛刻的条条框框才保证了UCIMU商标的权威性。



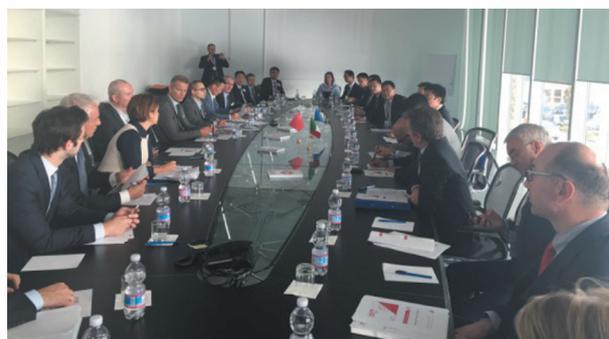
UCIMU认证标识

据了解，目前共有70多家会员企业通过了UCIMU认证。展会上，这些会员企业都将UCIMU认证标识放在了显要的位置。

## 中国用户代表团的情况介绍

本届展会中国用户代表团由来自汽车、模具、家电等行业的十余名国内用户代表组成。这些代表所代表的企业实力较强，对日本、德国、意大利等发达国家的机床都有着多年的使用经验。

展会期间，中国用户代表团按照主办单位事先的安排，按各自领域的设备需求，分头与相关意大利展商在展台进行了有效的面对面的沟通与交流。主办单位UCIMU现任主席和意大利对外贸易委员会中国首席代表在展会期间也接见中国用户代表团。双方进行了友好的交流。



短暂几天的参观交流给代表们留下了深刻印象。当被问及对意大利机床的整体印象时，代表团的几位成员对意大利机床的整体质量性能、系统开放性等方面表示了肯定，但也有成员反映，意大利厂商在售后服务等方面还存在反应慢，备件少，沟通不畅等现象，这在一定程度上影响了用户的服务体验，希望意大利机床协会能够借鉴德国、日本、美国等行业组织的经验，进一步提升意大利机床企业在中国市场的售后服务水平。□

# 埃马克于重庆成立公司 持续深入客户



图1 2016年10月21日，埃马克（重庆）机械有限公司举办盛大开业庆典活动。

2016年10月21日，全球领先的金属加工解决方案供应商埃马克集团在重庆永川举办了盛大的开业庆典活动，正式宣布埃马克（重庆）机械有限公司成立。这是埃马克集团在中国的第二家市场和技术服务公司，是其在中国的又一里程碑。当天，来自客户、合作伙伴、媒体等200多名嘉宾受邀出席，埃马克创始人及全球和中国区高级管理层人员悉数到场，重庆永川区区委书记腾宏伟，区长罗清泉，区委常委、区委办公室主任、高新区党工委书记罗晓春，以及永川区相关部门的领导莅临到会。

埃马克（重庆）机械有限公司目前投资总额为1,500万欧元，车间与办公面积为6,500平方米，主要为西南、华中和西北的客户销售、技术、工程和客户定制化服务。2016年产量为50台设备，计划在2017年实现产量90

台。由于埃马克在中国已经拥有两个工厂，一个是2003年在太仓建立的工厂，另一个是2014年在金坛建立的工厂，埃马克现在已成为在中国最大的欧洲机床制造商。共有550名员工为中国乃至全世界生产高端制造系统。

“在中国，埃马克的客户群正从以往的金字塔尖逐步向中层发展，客户数量快速增长。在这种情况下，我们发现必须离客户更近，在当地直接为客户提供更快服务，才能满足其日益增长的需要，这是成立新公司的最主要目的。重庆具有独特的战略地位，不仅仅因为它是齿轮和变速箱生产的世界核心之一，本地大量汽车零部件企业和机械加工企业对高端制造需求巨大，更重要的是可以此为中心辐射更广大的区域，对埃马克在中国取得长久的、持续的发展提供了有利条件。2015年这一地区的GDP增长了11%，这个数字超过了2015年中国在“新常态”下

GDP增长6.7%的平均水平。我们希望能在中国拓展业务，而这正是合适的地区、合适的时间。”埃马克全球CEO Mr. Markus Hessbrueggen（小汉斯）表示。

在埃马克负责销售工作多年的杨铭先生担任埃马克（重庆）机械有限公司的总经理，他表示：“埃马克在西南地区一直保持着快速且平稳的发展，从订单总数来看，今年年底仅重庆地区预计将实现翻番。这尤其得益于我们本地服务能力的提升。西南地区汽车产业发达，军工企业密集，亟待开发的新市场、新应用潜力巨大，我们只有深入到客户中去，在现场掌握客户的真实需求，才能快速响应，提供出最适合的加工方案。我们坚定看好在智能制造环境下对自动化以及自动化生产线的需求发展，并将不遗余力地推进客户的升级飞跃。重庆公司的成立，是重要的起点，我们已经准备好！”

埃马克（中国）机械有限公司CEO Dr. Uwe Ronde 也表示，埃马克位于江苏金坛的生产基地成立仅两年，年生产量已超过1000台机床。而重庆公司作为在中国市场第二家技术和服务型公司，自今年7月份开始入住厂房以来，已陆续为周边客户提供了50台机床的装运。随着生产公司与技术服务公司联动的深入化，埃马克提供定制化解决方案的能力正与日增强。

在开业仪式现场展示了由埃马克机床集成的生产线，简单高效。在中国生产的VL和VT系列模块化机床是同时期最先进的机床之一。从盘类件和轴类件的车削到滚齿加工技术，直至硬加工的所有技术，模块化解决方案的机床为成套工艺链的研发提供了理想的前提条件。同时，还展示了新的双主轴立式车床VL3 DUO，它是专为生产传动部件而研发的。连同立式滚齿机VL 4 H 和

立式去毛刺机VLC 100 RC，组成了世界上最紧凑和最高效的齿轮生产线之一。



图2 公司的车间与办公面积为6,500平方米，主要为西南、华中和西北的客户销售、技术、工程和客户定制化服务。

客户的需求愈发清晰：最佳节拍时间，最优品质，成本最低。通过埃马克机床可实现完整的工艺链，即从软/硬加工到感应淬火和ECM工艺技术，直至压装工艺技术和激光焊接。从毛坯件到成品件，一站式完成，同时保证了从咨询到维护保养的最佳服务。

从产品到服务，从咨询到解决方案，埃马克集团持续创新；从太仓到金坛再到重庆，埃马克在中国一步步深入客户；埃马克已然在中国——世界经济引擎——这个最重要的机床市场站稳脚跟，智能化、重塑生产力，埃马克助力客户达成目标。□



图3 配备 TrackMotion 自动化系统的齿轮生产线将更好满足客户对自动化生产线日益增长的需求。

# 五轴联动高速、精密可转位刀片周边和双端面刃磨数控工具磨床的研发和应用

汉江机床有限公司  
厦门大学

谭晓庆 姚博世  
姚滨

## 一、概述

伴随切削加工技术的发展和近年航空航天、汽车制造、大飞机等一批关系国计民生的重大项目实施，加工制造行业对高精度、高性能可转位刀片质量要求越来越高。由于可转位刀具几何形状和成形原理的多样性和复杂性，我国可转位刀具及其制造刀具的机床总体水平落后，加之国外长期技术封锁，国产超硬材料刀片刃磨设备档次低，与国外同类产品相比，差距较大，制约了可转位刀片行业的发展。

近年来，国内市场对精密数控刀片加工设备需求在200台/年，我国五轴联动高速、精密可转位刀片周边刃磨数控工具磨床几乎全部依赖进口，以瑞士AGATHON公司、德国JUNKER、WENDT公司、日本WAIDA公司、瑞士EWAG公司的四轴或五轴工具磨床等为代表，在高端刀片磨削制造装备领域占有绝对垄断地位，威胁到我国制造业的安全，精密数控机床上使用的精密可转位刀具大部分被国外产品所垄断。我国在航空航天、军工电子、汽车制造、火电风电设备、轧钢设备、深海石油钻探设备、船舶高铁制造、工程机械、矿山机械、精密工具制造及机械加工等行业急需的高精度、高效、高速可转位刀片受制于人，许多先进设备和先进技术难以充分发挥其优势，同时制约国产高档数控工具机床装备业的发展壮大。

汉江机床有限公司联合厦门大学长期致力于对国外同类先进设备的深入研究，并结合大量国内用户使用经验，对五轴联动高速、精密可转位刀片周边和双端面刃磨数控工具磨床整机结构动、静刚度及优化设计技术、热变形研究及其补偿技术、机床可靠性技术和机床模块化和可重构

性技术等机床设计制造基础理论持续深入研究，掌握了机床整机结构及关键部件的设计制造技术，基于对可转位刀片加工工艺和刀尖及刃口结构优化研究及高速磨削机理与方法的试验研究，解决了复杂型面加工数学模型建立与自动编程软件的开发和超硬材料刀片刃磨工艺专家系统的建立。针对难加工材料，在磨削时采用砂轮磨削力自适应控制技术、砂轮在线自动平衡技术、砂轮自动修整和误差补偿等技术等，确保机床加工精度。

2MZK7150全自动可转位刀片周边磨床（见图1）集机床制造技术、复杂型面加工数学模型与磨削力自适应控制技术、视觉识别技术、自动编程技术、模块化和可重构技术、伺服控制技术、数控技术、可靠性技术等关键技术为一体，机床适用于加工符合国标规定的硬质合金、陶瓷和CBN材料典型可转位刀片周边轮廓、负倒角及刃口钝化工等，通过机械手一次装夹，实现可转位刀片的全数控精密加工，适用于大批量生产。



图1 2MZK7150全自动可转位刀片周边磨床外观

2012年4月参展CCMT2012的2MZK7150全自动可转位刀片周边磨床，荣获中国机床工具工业协会颁发的数控工具磨床类唯一“春燕奖”，成功加工出多家用户典型可转位刀片（见图2），表明了该新产品在自主创新、技术水平以及适应市场需求等方面的优势，是公司多年来在继数控螺纹磨床、数控蜗杆磨床、数控螺杆转子磨床之后的再次获奖。

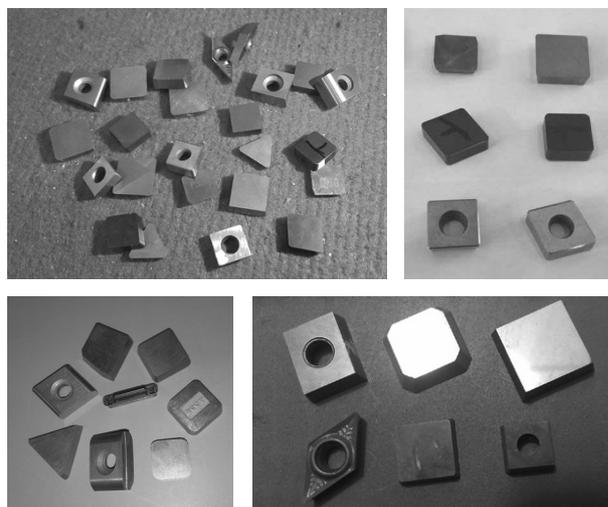


图2 加工的典型可转位刀片

## 二、产品性能介绍

2MZK7150全自动可转位刀片周边磨床采用FAGOR高档数控系统，实现五轴联动。机床集成有机械传动系统、计算机控制系统、液压系统、润滑系统、气动系统、恒温冷却系统、吸雾分离系统等，机床配备自动料库，辅以工业机器人实现工件自动上、下料；具有视觉识别、工件自动调资定位、自动测量、自动夹紧、自动清洗和成品自动检测等功能，可实现自动编程、砂轮磨削力自适应控制、砂轮在线自动平衡、砂轮自动修整和

误差补偿等操作。

2MZK7150全自动可转位刀片周边磨床与国外先进水平相比虽有一定差距，但该机床在借鉴国外同类产品成熟经验基础上，应用多项专用技术提高机床精度，针对国内用户操作习惯开发的人机交互界面方便快捷，同时还具有自动化程度高，加工刀片种类范围广，加工效率高，工艺适应性好、节能环保、性价比高、售后服务反应快速等优势。

该产品主要技术参数如下：

1	加工范围（内切圆直径）		$\phi 5 \sim \phi 50\text{mm}$	
2	砂轮直径		400mm	
3	砂轮线速度（最大）		120m/s	
	精度 数控轴	分辨率	行程范围	工作速度
4	X轴	0.0001mm	160mm	130mm/s
5	Y轴	0.0001mm	590mm	500mm/s
		往复频率：0~2Hz		
6	A轴	0.0001°	-25° ~ 40° ; -25° ~ 202°	1° ~ 60° /s
7	B轴	0.0001°	任意角度	1° ~ 60° /s
8	C轴	0.0001°	-100° ~ 100°	1° ~ 90° /s

主要技术指标与国内外同类先进产品对比如下:

主要指标		国外	2MZK7150	2MK7130
加工范围(内切圆)		$\phi 4 \sim \phi 50$	$\phi 5 \sim \phi 50$	$\phi 5 \sim \phi 50$
砂轮直径		400mm	400mm	400mm
主轴转速		3000r/min	6000r/min	1500 r/min
砂轮最大线速度		63m/s	120m/s	30m/s
分辨率	X轴	0.0001mm	0.0001mm	0.0001mm
	Y轴	0.0001mm	0.0001mm	0.001mm
	A轴	0.0003°	0.0001°	—
	B轴	0.0003°	0.0001°	0.0001°
	C轴	0.0001°	0.0001°	0.0001°
行程范围	X轴	160mm	160mm	150mm
	Y轴	539mm	590mm	170mm
	A轴	$-22^\circ \sim 28^\circ ; -22^\circ \sim 67^\circ$	$-25^\circ \sim 40^\circ ; -25^\circ \sim 202^\circ$	—
	B轴	任意	任意	任意
	C轴	$-100^\circ \sim 110^\circ$	$-100^\circ \sim 100^\circ$	$-45^\circ \sim 90^\circ$
工作速度 (最大)	X轴	160mm/s	130mm/s	130mm/s
	Y轴	0.5m/s	0.5m/s	0.5m/s
	往复频率: 0~2Hz			
	A轴	60° /s	60° /s	—
	B轴	500° /s	430° /s	430° /s
C轴	90° /s	90° /s	90° /s	

该产品在采用创新专利技术的同时,还进行了多项专用新技术设计,使其具有以下特点:

(1) 独有发明专利技术的可转位刀片周边磨床工件夹紧和传动装置,实现工件快速夹紧和运动传动。

(2) 独有发明专利技术的高精度蜗轮蜗杆副分度定位装置,提高机械传动精度和工作定位精度。

(3) 基于可转位刀片几何参数数据库和加工工艺参数数据库,建成可转位刀片刃磨工艺专家系统,实现快速自动编程。

(4) 独有磨削力自适应控制技术降低工件因磨削力不均引起的加工误差,提高了工件表面加工质量。

(5) 用于五轴刀片磨床视觉识别与专用背光料盘技术大大降低了环境光源对工件识别误差影响,提高了识别的精准度。

(6) 以机床主要运动部件为标准单元,搭建模块化和可重构技术应用平台,缩短产品研发周期,以快速响应市场需求。

### 三、新技术应用情况

#### 1. 全自动可转位刀片周边磨床整机设计制造技术

##### (1) 概要

全自动可转位刀片周边磨床主要由主机和自动上料装置组成,主机由床身、两坐标工作台、卧式转台、立式转台、砂轮主轴、头尾架、砂轮修整器,辅以计算机控制系统、液压系统、润滑系统、气动系统、恒温冷却系统、吸雾分离系统。

##### (2) 创新点

① 利用ANSYS对机床整机及关键部件结构进行分析优化,结合Deform环境下对关键部件进行热力耦合和分析,优化关键部件结构和受力分布,降低零部件热变形对工件加工精度的影响,从而提高机床精度保持性和可靠性。

② 方案设计初期利用ANSYS对机床整机及关键部件结构进行分析优化,结合Deform环境下对关键部件进行热力耦合和分析(见图3),优化关键部件结构和受力分布,降低零部件热变形对工件加工精度的影响,从而提高机床精度保持性和可靠性。

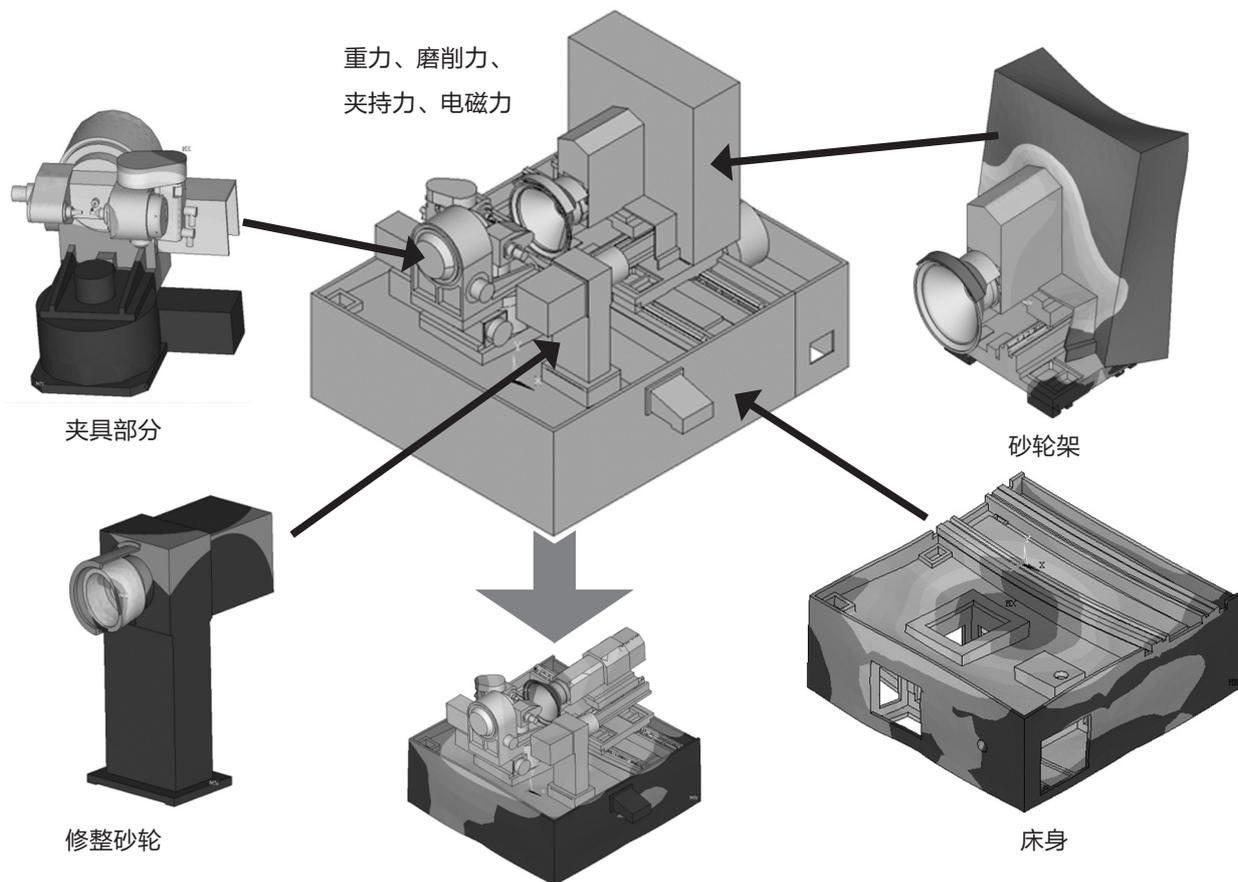


图3 整机及关键部件结构优化分析

③按照工具磨床运动和功能特性，对机床进行模块化划分，构建机床单元模块库（见图4），根据用户对工具磨床配置需求的差异，将模块化和可重构性设计理念贯穿产品设计生命全周期，得到数控工具磨床最优方案，旨在提高关键零部件的模块性，适应加工制造领域的整体搬运思路，缩短新产品开发周期，达到快速响应市场的目的。

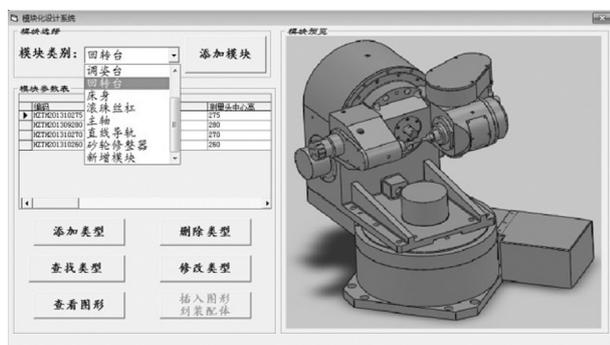


图4 模块化系统运行图

④自动上下料装置是由工业机器人和自动料库组成，由主机数控系统与机器人控制系统协同控制，自动完成料盘出库、工件抓取、调姿、检测、装夹定位等上料过程，和自动完工检测、抓取、更换工件、清洗、干燥、分装及料盘入库的过程。该装置大大降低了辅助加工耗时，提高机床加工效率，降低了人工重复性劳动强度。

### （3）技术特点

①将仿真设计与数字设计相结合，极大地提高了设计质量，缩短了工程设计周期。通过仿真设计，对机床整机及关键部件结构进行优化，提高了整机动静态特性和热特性，并通过机械结构优化或加装恒温控制来提高关键部位热稳定性，提高整机各项精度指标。

利用有限元模型分析和三维仿真分析技术对整机和关键部件热特性预测分析，如床身、砂轮主轴受环境温度变化以及各种温度变化产生的原因，研究运动发热、切削热及其它热变形对五轴联动数控工具磨床工艺系统精度和稳定性的影响，制定热平衡及热变形补偿技术策略。综合运用控制环境温度、隔离热源、恒温控制、强力工件冷却、循环冷却等热平衡技术创新设计，保证机床精度。

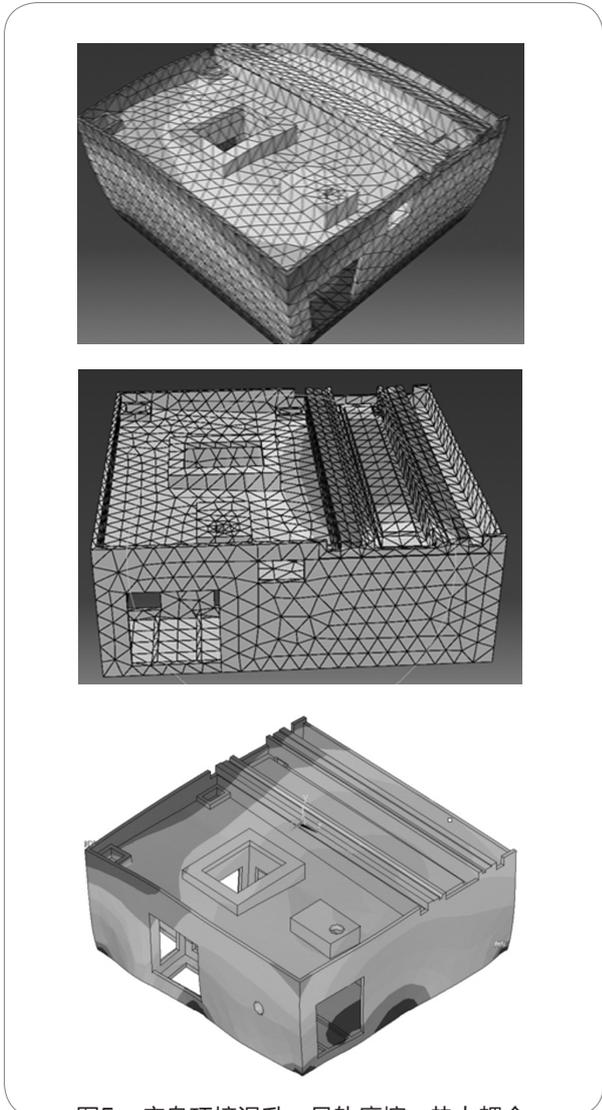


图5 床身环境温升、导轨摩擦、热力耦合

②通过研究高速、高精度回转轴设计制造技术、高速磨具高精度保持技术及抑振技术，主轴冷却、主轴平衡和主轴热伸长、受力变形的测量与补偿技术，对磨削主轴进行热力学和动力学分析优化设计。对比静压主轴、滚动主轴的优缺点，选择合理的砂轮主轴支撑结构形式，辅以精密动平衡仪，以满足砂轮主轴高速高精度回转要求。

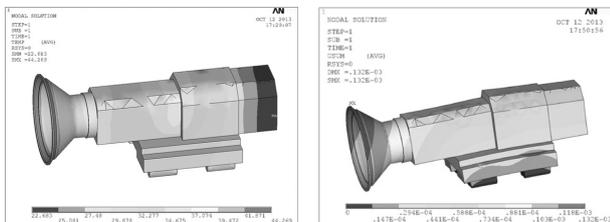


图6 砂轮主轴温度云图、热变形云图

③借助有限元模型分析和三维仿真分析技术对整机热特性预测分析研究，诸如环境温度变化以及各种温度变化产生的原因，研究运动发热、切削热及其它热变形对五轴联动数控工具磨床工艺系统精度和稳定性的影响，制定热平衡及热变形补偿技术策略。综合控制环境温度、隔离热源、恒温控制、强力工件冷却、循环冷却等热平衡技术创新设计，保证机床精度。

④根据可转位刀片加工工艺，要求配置专用于分度定位的精密回转工作台。按机床结构布局形式采用卧式和立式结构，工件加工时也必需进行分度定位。分度定位多采用直驱技术、蜗轮蜗杆传动实现。直驱技术成本高，需配备恒温系统，加大恒温处理设备载荷，不利于机床温控。采用一种高精度双节蜗杆-蜗轮副驱动技术实现回转工作台精密分度，通过调节双节蜗杆之间的间隙来消除蜗轮-蜗杆正、反转间隙。精密位置检测反馈元件，实现全闭环控制，提高转台分度定位精度。发明专利技术（ZL201220055869.2）高精度蜗轮蜗杆副分度定位装置在精密回转工作台上得到了应用示范。

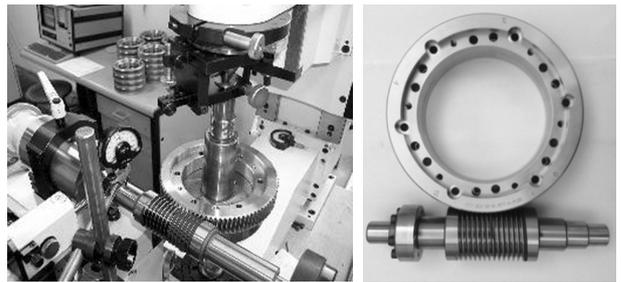


图7 双节蜗杆-蜗轮副及啮合检查

⑤为了实现工件自动装夹，研发一种既可快速稳定实现工件自动夹紧又能同时实现工件运动传动的机构，申报发明专利技术（ZL201220055868.8）可转位刀片周边磨床工件夹紧和传动装置。

⑥为提高工件抓放位置精度，适应工件随机放置的几何角度与调姿定位角度相适应，配备了工件视觉识别功能，创新一种用于五轴刀片磨床视觉系统工件识别与定位背光料盘专利技术（ZL201420126457.2）。

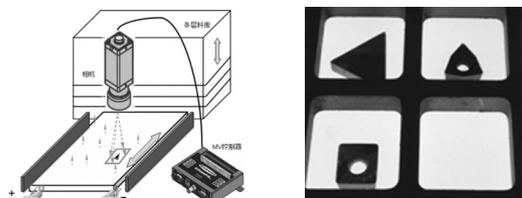


图8 五轴刀片磨床视觉系统工件识别与定位背光料盘

## 2. 全自动可转位刀片周边磨床基础理论研究

### (1) 概要

五轴联动高速精密可转位刀片周边磨床研发过程中,充分运用各种先进设计理念和设计手段,将理论分析、数学建模、设计仿真与工程实验相结合,综合运用诸如运动部件轻量化设计、重心驱动、在线测量及误差补偿、机床热温度控制、可靠性设计等先进设计方法,使机床综合性能指标和精度保持性和可靠性得以保证。

### (2) 创新点

①针对五轴工具磨床磨削用金刚石砂轮,根据砂轮磨粒密度建立虚拟砂轮,并随机分布等磨粒密度的多颗正六面体磨粒,并随机分配磨粒的位姿,模拟砂轮的真实形貌。将复杂的磨削过程简化为单一磨粒的磨削过程,研究难磨削材料的磨削机理。

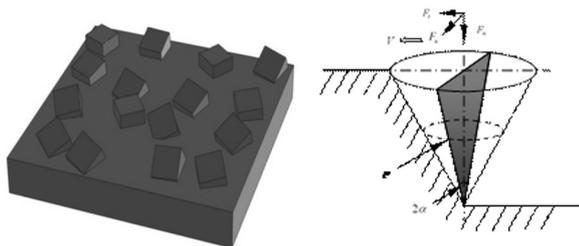


图9 虚拟砂轮及单颗磨粒磨削模型

②借助采用三维CAD/CAE工具(UG, ANSYS、Hypermesh等),建立机床虚拟样机模型及含有结合面动态参数的整机虚拟样机有限元分析模型,并对虚拟样机模型进行动静特性分析。根据分析结果和机床基本组成结构的性能,提出基于虚拟整机的结构优化方案,指导设计和现场生产,确保机床高刚性动态设计与复合优化技术。

对整机结构及关键零部件进行动静热态分析,提出整机结构优化方案及热平衡方案,依据分析结果指导设计和现场生产。在机床设计过程中,采取缩短传动链、采用消除结构等方式减少传动误差,并采用进口高精度反馈元件,将实时捕捉机床动态信息反馈给机床控制系统,对关键的功能部件、轴承均选用进口,对关键零件的选材、热处理工艺和加工工艺进行改善,以提高整机精度和可靠性。

### (3) 技术特点

①对砂轮基体材料选择及处理,基体、磨料层及砂轮结构优化设计,高强粘结工艺研究的基础上,研制高速磨削用砂轮;应用强度校核、数值计算、回转强度试验、实

际磨削试验等手段,结合砂轮的高速使用安全性进行校核和检验,使砂轮的综合磨削性能达到预期设计要求。



图10 离心力、温升、磨削力、热力耦合

②对整机结构及关键零部件进行动静热态分析,提出整机结构优化方案及热平衡方案,依据分析结果指导设计和现场生产。在机床设计过程中,采取缩短传动链、采用消除结构等方式减少传动误差,并采用进口高精度反馈元件,将实时捕捉机床动态信息反馈给机床控制系统,对关键的功能部件、轴承均选用进口,对关键零件的选材、热处理工艺和加工工艺进行改善,以提高整机精度和可靠性。

## 3. 全自动可转位刀片周边磨床超硬材料可转位刀片刃磨工艺专家系统

### (1) 概要

机床采用FAGOR高档数控系统,选用进口高精度位置反馈元件和测量元件,实现五轴全闭环联动控制。开发了适合本机床加工要求的人机交互界面。

### (2) 创新点

①可转位刀片品种多,形状各异,不同类型刀片的数学模型描述不同,针对粗精磨削的工艺要求和工件材质不同,基于国标规定的典型可转位刀片几何参数及精度等级等信息建立刀具参数数据库,用户在磨削软件中根据图形显示输入刀具几何参数信息,合理选择加工参数,即可快速生成加工程序(见图11)。

②采用数字测力系统研究磨削力与磨削用量、超硬磨料砂轮参数及其修整状况、冷却条件等之间的变化关系规律,通过测量磨头主轴电机的电流反馈获取瞬时磨削力的变化控制方式,控制系统根据结果使伺服电机产生相应的运动,控制进给速度和吃刀量,从而保证高效、精密磨削加工的顺利进行。



图11 加工程序

(3) 技术特点

①从空间复杂型面成形理论入手，围绕刀刃建立各类刀片刀刃邻域的空间复杂型面数学模型，然后沿周边或端

面刀刃线进行几何角度跟踪磨削理论的刀位计算，实现刀刃邻域几何参数（前后角）的主动控制（见图12），从而满足多种形状可转位刀片的周边高效、高质量数控磨削。

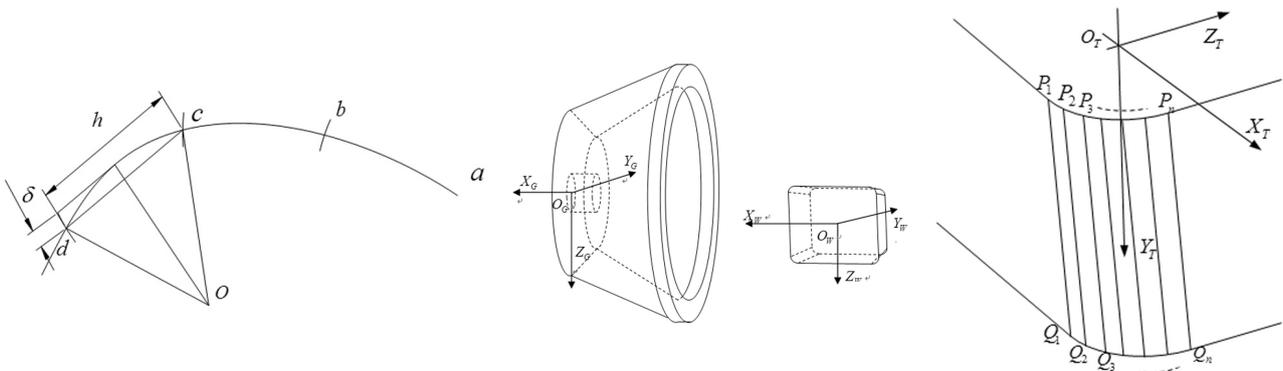


图12 等步长插补节点数值计算与小平面逼近曲面图

②通过在计算机虚拟环境下获取虚拟加工的刀片产品，通过捕捉刀片关键几何尺寸，实现刀片3D模拟加工（见图13），检验被加工对象与用户要求的吻合程度，

确保加工工艺的行之有效。由于刀片几何形状复杂，参数要求高，因此，在虚拟检测功能上要直观显示虚拟检测的数据。

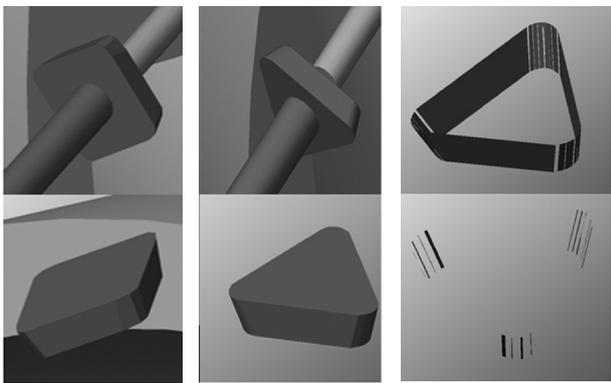


图13 刀片3D模拟加工图

③由刀片定位自动测量系统模块, 虚拟检测功能模块, 在线检测功能模块, 刀片周边柔性数控加工技术模块, 超细硬质合金材料磨削力自适应控制与自动控制软件编程等组成可转位刀片刃磨工艺专家系统。系统根据不同类型刀片的几何特征建立被测刀片的理论模型, 规划测量路径, 控制测量过程, 完成数据采集, 计算分析测量数据, 并得出测量结果, 输入至磨削刀片的刀位计算模块中, 系统根据数据处理结果, 进行粗精磨削工艺参数的优化分配。

④研究陶瓷材料与超细硬质合金材料刀片的刀尖及刃口高速磨削表面质量, 探索超高速磨削条件下硬质合金、陶瓷的共性规律, 根据研究结果对陶瓷材料与超细硬质合金刀片高效磨削工艺与磨削参数进行优化(见图14), 保证高效、精密磨削加工的顺利进行。

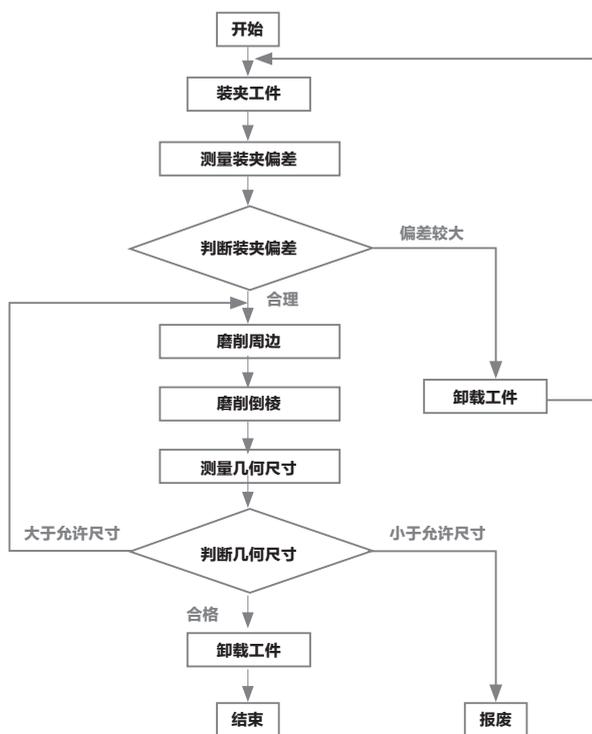


图14 工件磨削工艺流程图

⑤2MZK7150全自动可转位刀片磨床具有在线测量功能, 是整机自动化、智能化关键技术之一。该功能节省了工件拆卸、运送、检测及重新调整机床等重复性工作, 大大提高了工作效率。

#### 四、成果应用及推广情况

2MZK7150全自动可转位刀片周边磨床是国内首台五轴联动高速、精密数控工具磨床, 具有完全自主知识产权。该机床也是国内首次将工件自动上下料系统与五轴数控工具磨床控制系统的集成与整合, 主要技术性能指标与国外同类高端产品指标相当, 部分指标优于国外同类产品, 打破了国外长期在高端可转位刀片周边精密刃磨装备领域的垄断地位, 对提升我国高档数控机床的制造水平和维护民族品牌产业具有重要意义。

公司为了满足市场需求, 成功开发了经济型配置产品: 2MK7130数控可转位刀片周边磨床(见图15), 机床采用进口FAGOR8055 数控系统实现四轴三联动, 配置有自动测量装置、自动上、下料装置、砂轮修整装置, 选用高精度位置检测反馈元件, 并集成有液压系统、润滑系统、气动系统和高效冷却分离、吸雾装置等, 机床关键的滚动功能部件选用国内外知名品牌, 配备电动储料盘, 由简易机械手, 辅以电驱送料装置协调机床完成工件自动上料, 工件中心调节方便快捷, 效率大幅提高, 一次装夹实现刀片周边轮廓、倒角、倒圆、单面倒棱的精密加工。



图15 2MK7130数控可转位刀片周边磨床

机床在国内多家用户得到成功应用, 用户通过选用我公司国产数控可转位刀片周边磨床设备并获得满意的技术支持和售后服务, 节约大量设备采购成本及维修费用, 同时可为用户提高生产效率和产量, 带来良好的经济效益和社会效益。□

# 机床箱体类零件精密柔性制造系统研发和示范应用

四川普什宁江机床有限公司 刘雁

## 一、概述

当今全球制造业发展模式正在发生深刻变革，国内制造业向自动化、柔性化、网络化和智能化方向发展成为必然的发展趋势，产品制造变批量、多品类的需求，促使传统的制造技术及生产管理模式进行巨大变革。柔性制造技术作为先进制造技术的重要组成部分，其应用的广度和深度成为衡量我国机床制造业综合技术水平和企业现代化水平的重要标志之一。

在我国，制造加工业中箱体类零件加工基本还是采用单机加工的传统制造模式，这种孤岛式加工装备，其资源配备、数字化管理等已不能适应当前市场快速变化的需求，具备高柔性、自动化、智能化的柔性制造系统作为国内制造业智能制造新模式中重要的一种加工模式，为箱体类零件的柔性、自动化及智能化加工提出了全式序解决方案。

四川普什宁江机床有限公司（以下简称普什宁江公司）研制的箱体类零件加工柔性制造系统由多台精密卧式加工中心（可配清洗机、三坐标测量机等数控装备）、物流贮运系统、总控系统组成。该系统实现了物流与加工及辅助设备的一体化集成，能确保在一定的时间内机床零停机加工，从而满足了用户设备高效率加工的效果。由于是多台机床（一般由3~6台组成）集成，其机床、刀具、清洗、检测等资源得到了最大的共享利用。在总控控制下，柔性制造系统可进行多种零件的混流加工，可实现24小时连续工作，16小时无人看管运转。同时为确保资源的最大利用效率，设计保证了柔性制造系统内停机不停线、停线不停机等智能功能。

柔性制造系统是为了应对订单不平衡，解决不同生产组织方式，实现多种工艺路线而出现的，适用于多品种、变批量的零件加工，具有向数字化车间/智能化工厂发展的良好基础，可促使传统的制造业及制造技术发生革命性的变化。在应对加工零件变化，简化生产调度管理、缩短生产周期、优化工艺过程、提高设备的利用率、提高劳动生产效率、减少设备数量和厂房面积、减少直接劳动力、降低成本等方面成效显著。

“为用户解决关键技术难题，用更全、更先进的集成技术为用户提供整体技术解决方案”成为普什宁江公司不断升级产品技术的源动力。普什宁江公司经过近20多年柔性制造技术的潜心研究和经验积累，从1995年成功研制第一条柔性生产线开始，先后开发了FMS63、FMS80、FMS50、FMS100等系列产品，分别在机床制造、汽车制造、工程机械、船舶等国内重点行业领域用户中成功应用。满足用户对机床床身箱体，汽车液压泵泵体、泵盖、工程机械减速箱箱体、支座、汽车变速箱壳体等典型箱体类零件的柔性加工要求，应对包括通过工序分解的大批量生产和高效多品种、变批量生产等多种生产形态，减少人为因素，保持稳定的高质量、高可靠性，并保证用户在基本初期投资基础上，根据产品持续升级需求的系统设备扩展、软件升级等。

2012年普什宁江公司联合武汉华中数控股份有限公司、四川大学、重庆大学承担了课题《机床箱体类零件精密柔性制造系统研发及示范应用》（课题编号2012ZX04011-031），其主要研究目标为研制精密柔性制造系统，实现多品种箱体类零件的单元或批量的柔性、高效、高精加工制造，并在机床制造企业示范应用。

机床箱体类零件精密柔性制造系统是根据机床制造企业提升设备能力、适应机床箱体类零件多品种、变批量、柔性、自动化智能化加工的需求而设计和制造的。研制了630mm、800mm规格（各4台）两条精密柔性制造系统FMS63、FMS80（见图1），其中FMS80配套进口数控系统，FMS63配套国产数控系统（见图2、图3）；工作台交换重复定位精度0.002mm，运输小车快速移动速度达到75m/min，精密卧式加工中心THM6380平均故障间隔时间MTBF1645.1小时；开展了基于国产数控系统的FMS应用技术研究、在线测量及监控技术研究、可靠性技术、刀具及工装夹具管理技术、基于MES无缝集成的FMS应用支撑技术、综合性能测评技术等技术研究，取得软件著作权3项，申报发明专利3项，授权实用新型专利2项，制定企业标准3项，技术规范2项。建成的两套FMS在四川普什宁江机床有限公司精密加工事业部进行箱体类零件混流加工、可靠性理论和方法的验证、国产系统与进口数控系统对比试验，以及国产数控系统应用验证和改进等示范应用，并通过对机床典型箱体类零件的加工及示范应用，形成FMS应用规范，为FMS推广应用奠定基础。



图1 机床箱体类零件精密柔性制造系统FMS80、FMS63现场图

产品主要技术参数如下：

序号	项 目	规格参数		单位
		FMS63	FMS80	
1	托板台面（宽×长）	630×630	800×800	/mm
2	托板台面最大承重	800	1200	/kg
3	托板库容量	18	48	（工位）
4	加工中心数量	4	4	（台）
5	RGV搬运小车行程	19000	27360	/mm
8	搬运小车最高快速移动速度	70	70	/m·min <sup>-1</sup>
9	主机及RGV搬运小车控制系统	华中HNC 8系统	FANUC—0iMD	

## 二、产品性能介绍

机床箱体类零件精密柔性制造系统FMS作为新一代产品，具有高精度、高可靠性、高柔性、自动化和智能化等特点。

**高精度：**机床箱体类零件精密柔性制造系统的加工单元是由公司自主研制的精密卧式加工中心组成，属于数控机床专项“精密卧式加工中心”（课题编号：20009ZX04001-023）课题成果，直线轴定位精度小于0.008mm（最高可达到0.002~0.004mm）。

**高可靠性：**机床箱体类零件精密柔性制造系统的加工单元（精密卧式加工中心）主机经国家专业检测机构现场检测，平均故障间隔时间MTBF达到1645.1小时。

**高柔性：**研制成功的FMS63、FMS80两条机床箱体类零件精密柔性制造系统实现床身、立柱等8种机床零件、4种工艺路线并行加工要求，实现多品种、变批量混流加工。

**自动化：**自主研制RGV输送小车，集成自动上下料、物流、智能识别以及自动化控制等技术，具备作业计划制定、任务分配、可视化操作和监控功能，能进行24小时连续工作，16小时无人看管运转。

**智能化：**自主开发的总控系统，完成FMS内所有设备的监控、计划管理、零件调度，向下层对物流系统与加工系统进行控制，对零件的换装、混流、混工序以及向上层MES系统进行信息传递。通过智能识别、智能调度等功能，实现零件的柔性化加工；在更换加工对象时，借助零件识别、智能调度和混流加工技术，不需要对FMS进行停机调试即可实现品种自动转换，实现基于混流加工的“零”调整。

主要技术指标与国内外同类先进产品对比如下：

主要技术指标	FMS63	FMS80	国内	国外
加工中心数量(台)	4	4	4	3
托板库容量(工作)	18	48	36	18
搬运小车最高快速移动速度/m·min <sup>-1</sup>	70	70	50	120
运动轴重复定位精度/mm	±0.1	±0.1	±0.2	±0.1

### 三、关键技术研究情况

#### 1. 典型机床箱体类零件加工工艺技术及FMS系统集成设计

##### (1) 概要

开展典型机床箱体类零件工艺需求分析和加工工艺技术研究，完成机床箱体类精密FMS的总体设计；开展柔性生产制造技术研究，实现机床箱体类零件的多品种、小批量的柔性、高效、高精混流加工的生产示范应用；建立加工工艺参数数据库；开展机床箱体类零件加工特征自动建模技术研究；开展国产数控刀具切削性能和高效柔性夹具运用的研究，在满足零件的高效优质加工的前提下，降低生产制造成本。

##### (2) 创新与特色

①通过分析机床箱体类零件的工序长、加工精度高、工序种类多等特点，采用半精加工和精加工加工中心共线配置，同时采用刀具配送、加工程序后台保障等方式，确定机床箱体类零件精密FMS的集成方案，规划设计其物理布局、设备、控制结构等。

②完成了柔性制造系统模块化、单元化设计；掌握了单机联线装配调试等技术，并形成了相应的工艺和质量控制文件；利用CAPP平台初步建立了加工工艺参数数据库。

③通过刀具、夹具的智能化管理；夹具的定位和装夹等技术研究和试验；国产数控系统与进口数控系统的设备应用对比验证，完成机床箱体类零件的多品种、变批量的柔性、高效、高精混流加工的生产示范应用验证。

#### 2. 基于开放式数控的FMS集成控制技术

##### (1) 概要

开展基于开放式数控的FMS集成控制技术研究工作，完成各4台共计8台卧式加工中心组成，分别以国产数控系统和进口数控系统为控制平台的两条机床箱体类零件精密柔性制造系统的电气控制系统的开发设计、生产制造、调试改进、技术验证、车间应用、对比测试和验证，建成了FMS80和FMS63柔性制造系统，实现多品种箱体类零件的单件或批量的柔性、高效、高精加工制造的示范应用。

##### (2) 创新与特色

①提出了一套基于卧式加工中心机床为加工主体，多托板库物流自动搬运和计算机总控制系统的柔性制造系统，电气控制系统控制硬件结构和软件模块的集成方案；实施了基于以太网及现场总线技术的分布式网络系统，实现对FMS运行状态信息的远程实时采集和在线监测。

②形成了具有自主知识产权和宁江特色的，采用计算机软件技术、自动控制及技术、网络信息化技术，开放式数控系统应用技术平台开发的机床箱体类零件的管理系统控制软件，用于柔性制造系统控制和管理。软件具有效率优先、先进先出、急事先办，安全高效，高柔

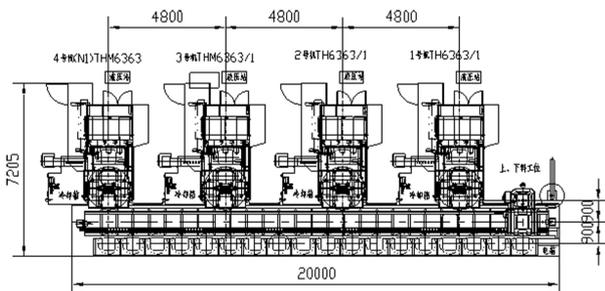


图2 FMS63柔性制造系统总体布局(配国产数控系统)

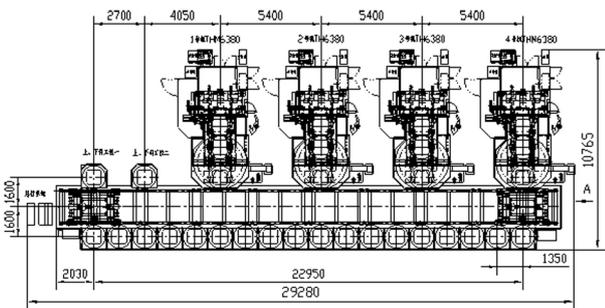


图3 FMS80柔性制造系统总体布局(配进口数控系统)

性并行、混流工艺的FMS无人化自动调度加工的特点。

③集成开发了基于国产HNC8数控系统为控制平台的FMS63柔性制造系统,进行了进口、国产数控系统的集成特点和性能对比研究,将国产FMS63柔性制造系统实际用于机床箱体类零件的柔性化批量制造生产中。

### 3. 基于国产数控系统的FMS应用技术研究

#### (1) 概要

完成了基于华中8型数控系统的功能扩展及基于NCUC-BUS总线的控制、物流、信息的网络融合;完成FMS多个数控系统的分布与协同控制;完成刀具自动识别、监测及自动换刀的功能;完成了综合精度测量技术研究;完成物流布局、节拍、流程、逻辑控制;完成托盘编码及自动识别的功能;完成了物流子系统的安全控制;完成了网络化作业计划管理及智能调度;完成了机床箱体零件在线检测测量;实现了精密卧式加工中心监控的功能。

#### (2) 创新与特色

①对比进口数控系统的功能,开展基于HNC8型数控系统功能扩展,攻克了国产数控系统在柔性制造系统中的首次应用,实现国产FMS63柔性制造系统主机及物流的集成控制。

②基于国产数控系统的物流控制系统,节拍、精度控制及流程逻辑控制技术,随行托盘自动识别技术和物流系统安全控制技术。

③进行了多个数控系统的分布式管理与协同控制,包括主控PC对数控系统的分布式管理及物流车对数控系统的协同控制。

④基于NCUC-BUS总线的数控、物流、信息三个层次网络融合技术的研究,完成单个数控系统的现场总线、以太网集成;在单个数控系统上实现现场总线与以太网并行传输,现场总线控制周期为1ms,以太网传输周期为50ms;完成多个数控系统的现场总线、以太网互联方案设计。

### 4. 基于国产数控系统的在线测量与监控技术

#### (1) 概要

研究基于国产数控系统的刀具在线检测、工件在线检测技术,达到工件、刀具的在线检测和补偿。整个过程都由测量软件控制自动进行,避免人为误差。

研究基于国产数控系统的监控技术,实现零件物流的动态模拟监视;以图形化的形式显示机床的设备状况、加工状态和信号数据的实时信息;开发柔性制造系统的历史数据管理系统,同步记录柔性制造系统的重要事件,包括机床的报警、托板的物流、设备的在线/离线

等等,以便于历史追溯和问题分析。

#### (2) 创新与特色

①提出了运用国产精密卧式加工中心机床为核心检测设备,充分利用其精密特点和测量功能,实现FMS在线测量。

②形成了基于国产系统设备对刀、刀具破损检测、工件找正、序中测量和首件检测的解决方案。

③开发了国产数控系统的刀具在线检测、工件在线检测技术,达到工件、刀具的在线检测和补偿,整个过程都由测量软件控制自动进行,避免人为误差。

④提出了基于国产数控系统的FMS数据、信息、视频的实时监控技术研究,实现数字与视频的动态监视与记录。

⑤开发了以图形化的形式显示机床的设备状况、加工状态和信号数据的实时信息;开发了柔性制造系统的历史数据管理系统,同步记录柔性制造系统的重要事件,包括机床的报警、托板的物流、设备的在线/离线等等,以便于历史追溯和问题分析;开发FMS动态运动视频监控与存储系统。

### 5. 柔性制造系统可靠性技术研究

#### (1) 概要

以柔性制造系统(FMS)的可靠性研究为主线,通过对FMS的可靠性进行建模、预计和分配,形成对FMS可靠性状况的科学认识。在此基础上,对该FMS的典型分系统的可靠性技术和可靠性试验进行了研究,形成了一套相对完整的针对FMS的可靠性研究体系。该体系将理论研究与可靠性试验有机结合,以理论指导试验的制定,又通过试验的结果确定进一步试验的方向,不断循环改进,使合作企业的FMS生产线的可靠性水平显著提高,最终达到该FMS的加工单元THM6380的MTBF超过1500小时技术目标。

#### (2) 创新与特色

①提出了广义随机Petri网对FMS的可靠性进行建模;系统混合可靠性分配的方法;FMS典型分系统的可靠性强化试验方案;基于任务的FMS可靠性预计模型。

②形成了FMS两个典型分系统的可靠性强化试验方案。

③建立了表征机床工作状态的谱系(零件谱、工况谱、载荷谱、功能谱、故障谱)结构;有轨小车状态监测与故障诊断系统总体框架。

### 6. FMS刀具及工装夹具管理系统

#### (1) 概要

刀具智能管理系统是柔性生产线所必备的关键模块

之一，特别是对于机械生产车间，刀具、夹具和量具的管理是否合理、科学，在很大程度上决定了柔性生产线的可靠性、柔性程度与生产效率的高低。因此，刀具必须纳入企业的物流和信息流之中，建立完整的、实时的刀具数据库，实现无纸化的刀具管理和信息集成已经成为柔性化制造的一个重要环节。

研究并提出了两种单元控制系统：在线柔性制造系统刀具管理、静态刀具管理模型；结合FMS生产管理需要及研究内容中调度要求的柔性制造系统动态管理；刀具寿命管理；将柔性制造系统上的刀具信息与FMS刀具管理软件平台服务器进行共享，对刀具寿命进行实时动态的管理。

#### (2) 创新与特色

- ①提出了两种单元控制系统：在线FMS刀具管理、静态刀具管理模型。
- ②形成了完整、详细的刀具编码规范及编写方法。
- ③开发了FMS刀具及工装夹具管理系统。
- ④提出了JSP综合刀具流调度数学模型。
- ⑤提出了PSO-BP神经网络预测刀具寿命模型，并对FMS刀具进行了动态寿命管理。

### 7. 基于MES无缝集成的FMS应用支撑技术的研究

#### (1) 概要

设计FMS应用支撑系统，连接企业上层MIS、ERP和现场柔性线，有效提高FMS柔性和生产效率，支持FMS实现多品种、多工艺混流生产模式，为精密柔性制造系统提供应用支撑系统，为大幅度提高柔性制造系统的综合性能及运行效率提供基础。

#### (2) 创新与特色

- ①提出FMS信息化管理系统运行控制系统一体化，并结合基于约束理论排产算法。
- ②实现了FMS多品种、多工艺混流生产模式。
- ③加强了FMS资源信息的集成化管理，向下实现与设备层总线技术的实时数据采集，向上实现与MES无缝接入，实时反馈现场制造信息到企业级MIS/ERP系统，制定能够快速响应市场合理的生产计划，有效提高了FMS的柔性和效率。
- ④研究开发出了一套适合国内企业运行和使用的柔性制造系统的运行支撑系统。

### 8. 精密柔性制造系统综合性能测评技术与规范研究

#### (1) 概要

通过对FMS综合性能指标的评测研究，找出提高FMS精度稳定性和FMS加工效率的有效办法，有效提高FMS柔性和生产效率。重点研究FMS精度指标集建立技术、FMS精度测试技术、FMS综合性能评测技术等关键技术，为大幅度提高精密柔性制造系统的综合性能及运行效率提供基础。

#### (2) 创新与特色

- ①提出了基于球杆仪、激光干涉仪、数控机床动态误差检测技术和基于机床实时状态监测的机床动态精度分析技术等的柔性制造系统设备单元的误差检测方法。
- ②形成了针对确定的综合性能指标的数控机床性能测试规范。
- ③开发了数控机床误差源分析及精度评价指标集设计技术、柔性制造系统精度指标检测技术、柔性制造系统加工效率和设备利用率测评技术和基于层次分析法的数控机床精度测评技术。
- ④建立了基于层次分析法的数控机床综合性能评价体系。

## 四、成果应用及推广情况

柔性制造系统作为一种智能制造新模式，具有高柔性、高自动化、智能化等特点，必定因其灵活快速应对多品种、变批量混流加工，满足个性批量化要求，愈加受到国内外制造业的广泛关注。

研制完成的FMS63、FMS80两条精密柔性制造系统，全部应用于普什宁江公司精密箱体零件加工，进行了8种以上机床箱体类零件混流加工、4种工艺路线并行生产、年生产能力1200件的验证；进行了可靠性的理论和方法的验证，国产数控系统应用验证和改进，及国产与进口数控系统对比试验；对FMS应用支撑系统的资源集成管理、生产计划管理、智能调度等各项功能进行验证，并通过对机床典型箱体类零件的加工及示范应用，形成FMS应用规范，为FMS推广应用奠定基础。

研制的机床箱体类零件精密柔性制造系统在机床企业的试验、验证和实际生产应用，不但提升了公司技术和设备升级，保证了产品质量和加工效率，良好的应用也为用户采购FMS增强了信心。近年来，公司研制完成近30套柔性制造系统应用到机床、汽车、船舶、能源、航空航天、通用机械等重要行业领域，很好地满足了用户需求，在行业内起到良好的示范作用。

(下转42页)

# 机床行业“智能制造”的发展与展望

中国机床工具工业协会

邵钦作

## 一、概述

机床工具行业是关系国民经济和国防安全的战略性基础行业。机床是装备制造业智能制造的工作母机，没有机床的智能化，就无法实现装备制造业的智能制造。加快发展智能机床，是实施《中国制造2025》打造制造强国的关键和基础。

智能机床是具有自感知、自决策、自诊断、自调节、自适应和即时网络通讯功能的高技术机床，它是先进制造技术、信息技术和智能技术的集成与深度融合的产物。智能机床是数控机床发展的高级形态。目前，技术先进国家在机床监控、测量、补偿、诊断、加工优化等智能化技术的突破，为智能机床的发展提供了技术基础。随着科技不断创新，智能机床作为移动互联网智能终端，将成为智能生产系统的关键加工设备。

我国处于数控机床的发展阶段，在高速、高精、多轴联动控制、多通道复合加工、网络通讯等数控技术与国际先进水平比较存在一定差距。目前，我国数控机床的智能化技术尚处于起步阶段，我国现阶段生产的绝大部分数控机床还不具备智能化功能。近年来，经过行业科研攻关，某些智能化技术开始试验和应用，并取得积极成果。

## 二、数控机床智能化有所突破

### 1. 国产高档数控系统在智能化功能的研发上取得可喜进展

华中数控、广州数控、大连光洋、沈阳高精和航天数控等5家数控系统企业在04专项的支持下，自主研发高档数控系统关键技术。经过多年努力，5家企业均攻克了数控系统软硬件平台、高速高精、多轴联动、总线技术、纳米插补等一批高档数控系统关键技术，研制出全数字总线式高档数控系统产品，实现从模拟接口、脉冲接口到全数字总线控制、高速高精的技术跨越。智能化技术主要涉及：空间误差补偿、热补偿、震动补偿、多轴控制、RTCP编程、多通道同步控制、虚轴插补、电子齿轮箱、平滑处理、镜象功能、加加速度控制、刀具智能管理、设备智能维护、远程监控与诊断、加工参数优化、智能生产管理技术等。我国数控系统企业联合研制的自主知识产权的NCUC-Bus现场总线技术，已获批了5项国家标准，并获得省部级发明一等奖。以华中数控为例，公司组织了400多人的研发团队，经过6年多的艰苦奋斗，终于攻克了高速高精控制技术、多轴多通道技术、五轴联动技术等一批关键技术，在平台化、网络化、智能化等技术方面形成了自身的特色和亮点。

上接第41页

《中国制造2025》将“高档数控机床及机器人”作为十大重点发展领域之一，提出“开发一批精密、高速、高效、柔性数控机床与基础制造装备及集成制造系统”。柔性制造系统尤其是配国产数控系统的柔性制造系统研制正是在国家科技支持下形成的智能制造装备和

产品，随着研究成果的产业化进一步推进，将在更多加工领域实现少人化、柔性化、智能化加工，将更快、更好地促进加工制造业转型升级，为保证国家产业经济安全发展、实施制造强国、智能制造新模式推进做出更大的贡献。□

沈阳机床集团通过与上海同济大学合作组建自己的研究院，从底层技术源代码算法做起，历时5年，投入近12亿多元巨资，研制成功i5数控系统，建立了iSESOL云平台，形成了基于iSESOL云平台的智能机床互联网应用框架。i5数控系统实现了操作、编程、维护和管理的数字智能制造控制，管理智能化工具可以提供车间级的生产管理信息，能够实时收集机床信息，掌握设备状态，进行设备效率分析、成本分析、工单计划、生产趋势分析等管理，具有通过手机终端访问车间管理功能。沈阳机床集团通过充分利用的市场优势和i5数控系统的技术创新，支撑了商业模式的创新，带动了i5数控系统产业化。

## 2. 数控机床主机的智能化进程加快

一批数控机床主机制造企业通过科技攻关，在主机上集成应用智能化技术，提高了数控机床的使用性能。主要智能化功能有：主轴监控和温度补偿、运动部件的位置补偿和热补偿、加工件在机精度检测和补偿、刀具磨损和破损在机监控、防碰撞功能；同时开发智能化应用软件，应用于自动编程、仿真、加工参数优化、自适应控制等取得进展。

如沈机集团昆明机床股份公司开发的TGK46100高精度坐标镗床采用温度传感器、温度模块等，通过数控系统实时监控主轴系统的发热变形和热补偿，其五轴联动机型具有反向间隙补偿、螺距补偿和体积补偿功能。

秦川机床工具集团最新开发的数控蜗杆砂轮磨齿机采用高精度同步控制技术和电子齿轮箱等，整机操作可实现自动装卡、自动对刀、自动磨削及修正砂轮自动控制，机床配置了压力、震动、位置、温度传感器实时监控机床状态，提供的智能磨削软件提高了机床磨削性能，方便用户使用。

机床行业最新开发的高精度单向走丝线切割机床，配置了六轴数控系统及无电解智能电源、自动穿丝及恒张力机构、温度补偿装置、电火花线切割加工工艺数据库等。

机床行业最新开发的五轴数控工具磨床，配置专用数控系统和工具磨削专用软件，具有复杂型面加工数学建模和自动编程、工件和砂轮在线检测、磨削尺寸补偿、砂轮修正补偿、磨削工艺及工艺参数优化等智能化功能，提升了整机智能化水平。

## 3. 具有一定智能功能的国产高档数控机床示范应用效果明显

如由武汉华中数控股份有限公司、东莞劲胜精密组件股份有限公司等企业共同建设的东莞劲胜移动终端智能制造示范车间，实现了全国产、自主化的智能制造，被选

为全国智能制造试点示范交流会的唯一示范现场。整个项目历时1年建设，目前已建成拥有10条自动化钻攻生产线的智能车间，智能车间包括180台配置华中数控HNC-818AM系统的国产高速高精钻攻中心、81台国产华中数机器人、30台RGV、10台AGV小车、1套全自动配料检测系统。同时搭载全国产化的工业软件系统，包括华中数控新一代云数控系统平台、CAPP、APS高级排程系统、MES生产管理系统、三维虚拟仿真系统等。该车间应用华中数控系统和国产机床，具备智能管理、智能调试、智能补偿、智能加工、健康保障、网络销售平台、租赁服务、云端工厂等功能。同时，武汉华中数控股份有限公司在武汉建立了“数控加工大数据中心”，可通过无线网络对用户车间生产线相关数据实现远程监控、加工优化、健康诊断等智能化功能，提升了为用户的服务水平。

大连光洋科技工程有限公司与北京动力机械研究所（航天科工集团3院31所）合作，致力于采用04专项在数控系统、伺服驱动及电机等方面以及立式五轴加工中心等方面取得的成果的应用推广，结合航天复杂、核心零部件的工艺制造需求开展了深度合作。2013年8月，大连光洋科技工程有限公司向北京动力机械研究所交付了2台不同规格的高速高精度五轴立式加工中心。至今，这两台承载04专项多项成果的五轴机床已经完成了多个批次，多个品种的航发关键零部件的加工，支持了北京动力机械研究所的军工生产任务。在成功应用示范作用下，北京动力机械研究所推广10多台大连光洋科技工程有限公司立式五轴加工中心。大连光洋科技工程有限公司先后与哈尔滨东安发动机、贵州黎阳航空发动机、湖南株洲南方动力等军工企业签订合同，进一步扩大专项成果在航空航天中的应用示范。

## 4. 国内首个智能制造装备项目通过验收

由云南CY集团有限公司承担的工信部首个“智能制造装备项目”——《高档数控车床制造数字化车间的研制与示范应用》于2016年8月通过验收。该项目建设期3年，总投资3.5亿元，由生产线内加工和生产线外加工两部分组成，生产线内加工主要承担零件的精加工，生产线外加工主要承担零件的部分半精加工及上线前工艺验证。项目由91台（套）设备组成，实现混流柔性制造，自动上下料、产品自动识别和跟踪、在线自动检测、产品流向智能控制、智能故障诊断、加工参数优化、生产过程实时监控和管理信息化。该项目关键设备数控化率100%，生产效率由月产100台，提高到300台，生产线人员减少57.5%，能耗降低

38.4%，零件关键工序交验合格率由64%提高到96%，零件制造精度和稳定性显著提高，项目实施取得明显经济效益。该项目是近年来机床行业应用智能生产线制造机床的首例，具有示范意义。

### 5. “数控机床互联互通协议标准与试验验证”项目开始启动

随着“中国制造2025”发展战略的推进，数控系统、数控机床及相关数字化装备将得到大力发展。数控机床的智能化升级，智能制造标准在整个战略中起着至关重要的基础性作用，而这一切都依赖于数控机床装备的互联互通。实现数控机床的互联互通，相关的协议标准是决定性要素。智能制造，标准先行，要实现机床的智能化，首先要解决好数控机床之间的互联互通及保障信息安全前提下的信息协同共享的标准问题。在中国机床工具工业协会的组织下，列入工信部智能标准制订计划的“数控机床互联互通协议标准与试验验证”项目已经按计划开展有效工作。

## 三、机床协会推进《智能制造》的主要工作

(1) 编制“十三五规划”指导性文件——《中国机床工具2020》，其中《智能制造》被列为“十三五”数控机床技术发展的重要方向，并提出数控机床智能化发展任务和重点研发内容。

(2) 贯彻国家《智能制造发展规划2016~2020》。机床协会组织行业重点企业积极承担国家智能制造新模式示范项目，积极参与国家智能制造标准制定工作。机床协会及时派出专家，参与工信部组织的“智能制造”项目论证工作，反映机床行业智能制造的紧迫需求。目前机床行业有：沈阳机床集团公司，济南二机床集团公司、秦川机床工具集团公司、大连机床集团公司、华中数控股份有限公司、大连光洋科技工程有限公司、四川普什宁江机床有限公司、宁波海天精工有限公司等二十多家企业承担国家智能制造新模式示范项目和智能制造标准制订项目。其中济南二机床集团公司与德国博世集团联合承担中德智能制造示范项目—智能生产排产系统，借鉴德国先进的工业自动化技术，对提升国内机床行业乃至离散型制造行业的智能制造水平具有示范带动作用。

(3) 积极推广国产高档数控机床应用工作。通过与军工制造企业建立长效合作机制、举办国际机床展览会展示成果、运用军工生产进口机床国产化审查、建立国产高档数控机床推广目录、加强机床厂与用户交流等手

段，推动高档数控机床预研和制造，积极推广国产高档数控机床应用，推动军工领域制造装备国产化，促进军工装备自主、安全、可控，为我国国防建设现代化作出贡献。

(4) 由中国机床工具工业协会牵头组织成立“数控机床互联互通协议标准联盟”，该联盟由武汉华中数控股份有限公司、沈机（上海）智能系统研发设计有限公司、广州数控设备有限公司、沈阳高精数控智能技术股份有限公司、大连科德数控股份有限公司、天津市泰森数控科技有限公司、大连机床集团有限公司、四川普什宁江机床有限公司、北京北一机床股份有限公司、武汉华工激光工程有限责任公司、华中科技大学、北京航空航天大学、北京兰光创新科技有限公司等企事业单位组成，首届联盟理事长由机床协会担任，副理事长由华中数控股份有限公司担任，联盟下设工作组，开始启动“数控机床互联互通协议标准与试验验证”项目工作，取得可喜进展。

## 四、机床行业“智能制造”发展与展望

“智能制造”是国家战略——“中国制造2025”确定的重点工程之一，“数控机床和智能机器人”是“中国制造2025”确定的发展战略重点领域。“智能制造”是基于新一代信息技术与现代制造技术融合的新型制造模式，是新一轮产业变革的核心驱动力，是“中国制造2025”确定的抢占未来制高点的主攻方向。在国家“863”、“04专项”、“智能制造”等科技专项支持下，机床行业要有计划的开展“智能机床技术及智能制造系统研究”，推动“智能制造”模式的应用。

### 1. 数控系统智能化技术研究

(1) 开放式智能化数控系统的研制，具体包括支持温度、振动、RFID等传感器介入的物联网平台，基于高级语言的智能化数控系统解释器等。

(2) 基于开放式智能化数控系统智能加工技术的创新研究，包括热误差补偿、进给率自适应、故障诊断等技术的研究。

(3) 开发有关应用软件如优化编程及仿真技术，研制开放式应用软件平台，支持第三方管理软件，如能效，能量管理的嵌入、优化加工程序，提高机床加工效能。

(4) 智能传感器和智能功能部件的研发。

(下转第60页)

# 大型汽车冲压生产线技术与装备现状与发展

济南铸造锻压机械有限公司 徐 刚

以国内具有代表性的汽车制造企业的大型汽车冲压生产线为例，介绍了生产线的设备组成及其典型工作流程，对冲压线的效率、精度以及冲压板材现状、模具工艺等作了重点关注，提出了汽车冲压生产线面临的挑战和发展趋向，对内高压成形等汽车制造相关工艺做了简要介绍。通过本文可以对目前国内汽车冲压生产线的设备及应用现状有基本了解。

## 一、技术与装备现状

### 1. 一汽马自达长春工厂

一汽马自达长春工厂具有年产轿车整车40万辆，发动机33万台，变速箱52万台的能力。其冲压车间成立于2004年，厂房面积4.48万m<sup>2</sup>，相当于6个标准足球场大小。人员330余人，生产最紧张的时期采用三班倒（人停线不停）工作方式。车间现有模具551套，部分模具由一汽自主提供，另一部分模具由日本设计和生产。如图1所示为车间内各工序分布图。



图1 车间工序分布

一马使用的钢材主要来自宝钢、鞍钢和韩国浦项制铁。宝钢及浦项制铁均在工厂附近设有厂区，材料供给方便。其开卷落料线为由德国舒勒提供的800t钢铝混合开卷落料线，可对钢带进行清洗并可矫直板料，自动化率达90%以上，如图2所示。



图2 开卷落料线

钢/铝卷由开卷机进入生产线，经清洗机、矫直机，再经压机剪切、落料，再进一步冲压成形，直至将产品成品堆垛，全程自动化操作，如图3所示，其中800t剪切机为伺服控制，生产效率最快可达75件/min，并可自动换模。

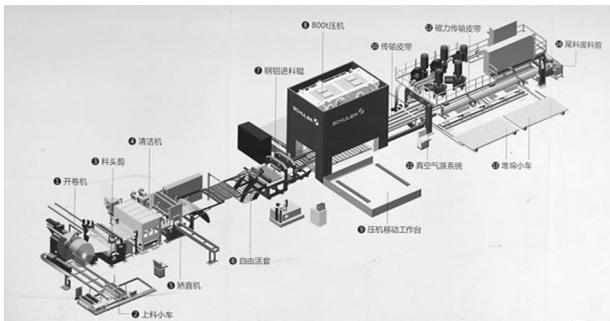


图3 生产线组成示意

冲压车间共有A、B、C、D四条冲压线，均采用全封闭、全自动、人机分离生产方式。四条线全部由舒勒公司设计制造，A、B线主要生产大尺寸零部件，最高生产节拍12次/min，C线15次/min，D线主要生产小型零部件以及高强度部件，最高生产节拍25次/min。A线冲压吨位为6000t，B线冲压吨位为5000t，两线的线首压力机冲压吨位均为2000t，D线为伺服多工位压力机自动冲压生产线，吨位3500t，如图4所示。



图4 生产线组成示意

如图5所示，板件从拆垛站开始，经清洗、涂油、对中后，进入压力机进行冲压成形生产。模具上一模多件技术广泛采用，比如较为常见的一模四件的门外板。还有一些是大工件套小工件的一模多件组合方式。在换模时间上，A、B线约7~10min，D线约3~5min。从模具使用维修方面看，一般情况下，生产数量达到10000件后就需要对模具进行维修。

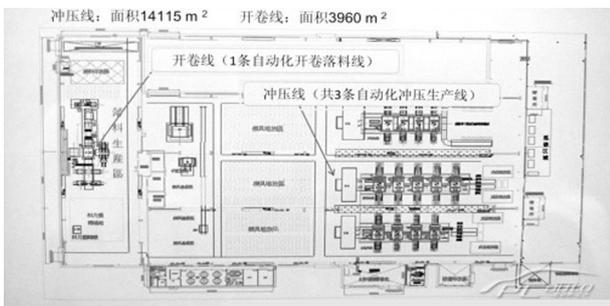


图5 自动生产线示意

如图6所示，为生产线上冲压废料的处理方法。一马的处理方式是将冲压后的零散废料经过地下废料运输装置运送至废料处理间。

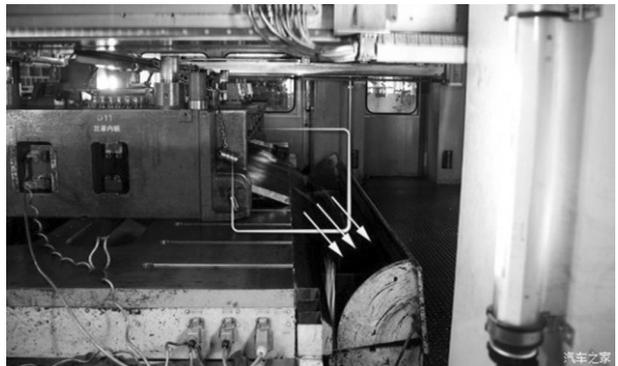


图6 线上废料处理

如图7所示，为D线多工位压力机线正在冲压的阿特兹小工件，采用4序冲压，即同时安装了4套模具。多工位压力机工作的特点即是在一台压力机上一次布置多套模具、多道工序。一次下行后，通过横杆式机械手将工件送入下一道工序模具。D线可以生产高强钢制件。

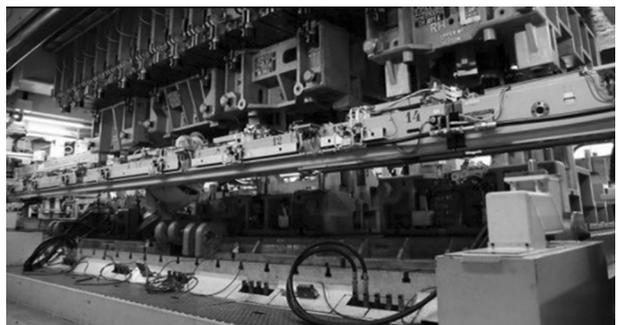


图7 多工位线上模具示意

左右对称件是一模多件配置的典型应用。对于翼子板等一些左右对称件，需通过如图8所示的翻转机对相同大小但方向相反的预冲压板材进行翻转，然后再冲压。



图8 翻转机

冲压好的工件，如图9所示为引擎盖内板，从冲压线上下来，经传送带送到人工检验工位。人工检验工位是冲压生产线的末端，技术人员通常采用平行光方法再检查工件是否平整，并检查有无其他瑕疵。除了借助平行光检查，还经常可见使用油石检查。经验丰富的技术人员也通过手摸的方法来检验，这点对于经验的要求就更高了。



图9 人工质量检查

抽检员会在每50~100个不等的冲压件中抽取一个进行更为细致的检查。要求冲压件尺寸合格率达到97%。如果发现工件表面有毛刺或小坑，通常作立即修复处理。而如果发现有裂纹或较为严重的凹凸坑，则会作废弃处理。

每一批次工件的首件会和末件作对比，并且上一批次的末件和下一批次的首件也会作一个对比，以保证工件冲压的一致性。首末件检查合格后，可放置在首末件检查架上，并将之前批次的工件入库。

如图10所示即为成品库存放区，这里对温度和湿度有严格要求。另外，工件的进出库采用先进先出原则，先入库的工件会先调用。



图10 成品库

到这里，一个完整的冲压生产线的主要过程就完了。

## 2. 华晨宝马铁西工厂

华晨宝马铁西工厂目前生产BMW 3系、5系和X1三个系列，号称全球速度最快、效率最高、精度最高、最环保的冲压生产线。其全球领先的6序伺服冲压线，每小时可以完成上千个冲压件，最高可以达到每分钟冲压17个件，是目前世界速度最快的万吨级冲压机（见图11）。冲压线采用全封闭模式，噪声低，冲压车间噪声级别仅为80dB，相当于站在普通的马路十字路口，使用正常语调即可进行交流，确保人性化的工作环境和更高的生产质量。



图11 宝马铁西厂伺服冲压生产线

其6序伺服冲压机里共有22台电脑进行控制，冲压精度达到0.1mm，保证了宝马汽车的完美车身线条。对于这样的精度，铁西工厂仍要执行严格的质量控制体系，对每一个冲压件随流水线进行电脑扫描分检，同时工人检查孔数、变形和毛刺等，不遗留任何瑕疵。每50个冲压件会抽取一个进行全面检测。冲压模具的校正工具同样非常先进，采用的视模压机设备能够更加精确地对设备进行校准（见图12）。



图12 门外板一模四件

从华晨宝马的冲压线来看，其生产的宝马车身冲压件质量处于国内一流水平。

### 3. 长安马自达南京江宁工厂

长安马自达南京江宁工厂生产马2、马3昂克赛拉等车型。其冲压车间分A、B两条冲压线，由小松提供，均为全封闭、自动化。其中，A线7200t，5台压机，B线6000t，4台压机，两线冲压速度可达12次/min，两线均可柔性调整。

两条线的组成非常相近，均为线首压力机2400t，后序的压力机均为1200t。这个搭配非常简洁而有效率，增加了柔性和互换性。冲压线每次可冲压1~4个成品零件。



图13 长马江宁厂冲压线构成图

所有模具均可互换。两条线均适合高强度钢板的生产，同一零件可在两条冲压线生产。两线均为全封闭和全自动化，表现在板材从裁剪、清洗、涂油、物料运输、冲压以及压力机间传输等均为在冲压线内部完成。人工操作部分只有一头一尾：线头的板材上料、线尾的冲压件检查。

模具更换为电脑全自动控制方式，换模时间3~5min。冲压600件后要对模具进行保养。

板材主要来自日本新日铁、韩国浦项及宝钢。其中新日铁和宝钢均在长马工厂附近设有厂区，材料供给十分方便，同时也提供板料剪切服务。限于空间，长马车间没有设置开卷剪切工位。

值得注意的是，此线钢板在进冲压线之前没有设置清洗工序。据工厂自己的统计，此工序清洗与否合格率仅相差约1%~2%。

接下来板材正式进入封闭的冲压房，先后完成拆垛、涂油、上下料、冲压及压力机间传输，均封闭进行。机内支架上共有16组喷油嘴，喷油嘴上设有电子开关，可通过外部控制装置选定模具和设定喷射次数。这些喷油嘴可均匀地将拉延油喷洒至板料表面，提高加工质量。此外，端拾器对应相应的模具，模具更换时，端拾器也要随之更换。

### 4. 上汽通用临港工厂

临港工厂生产荣威等车型。冲压车间主要设备有1条开卷落料线和3条全自动冲压生产线。其中冲压线占地面积14115m<sup>2</sup>，开卷线占地面积3960m<sup>2</sup>。设备总投资4.1亿元（见图14）。

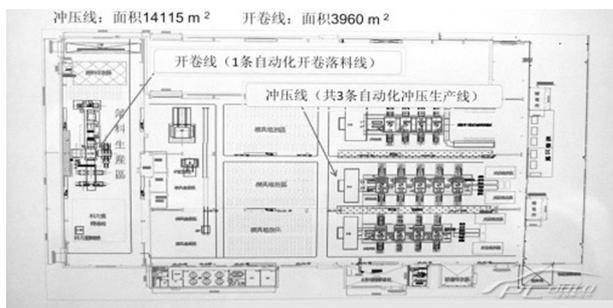


图14 临港工厂冲压车间布置

三条冲压线及一条开卷落料线的基本情况为：

开卷线：西班牙法格设计制造的全自动800t开卷落料线。SPM22.3，ASPM15.7。

1#线：济南二机床厂设计制造的4000t机器人自动化冲压生产线。SPM7.5，ASPM5.5。

2#线：济南二机床厂设计制造的6000t机器人自动化冲压生产线。SPM6.4，ASPM4.5。

3#线：日本小松设计制造的5000t全集成横杆式高速伺服冲压线。SPM12.1，ASPM7.2。

如图15所示，为济南二机床6000t机器人自动化冲压生产线。5序，线首压力机2000t，其余4序均为1000t。

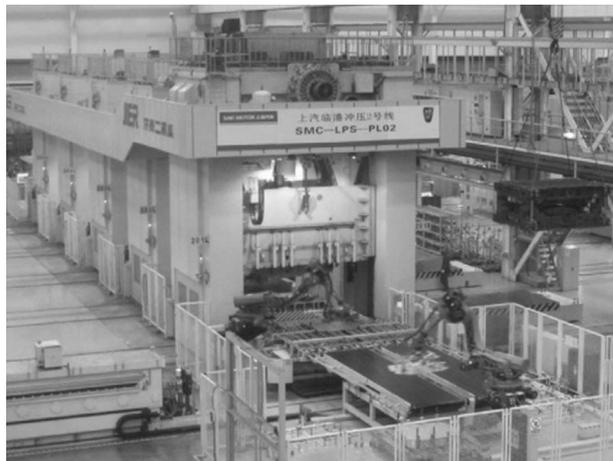


图15 临港冲压车间2#线

如图16所示，为小松5000t全集成横杆式高速伺服冲压线。

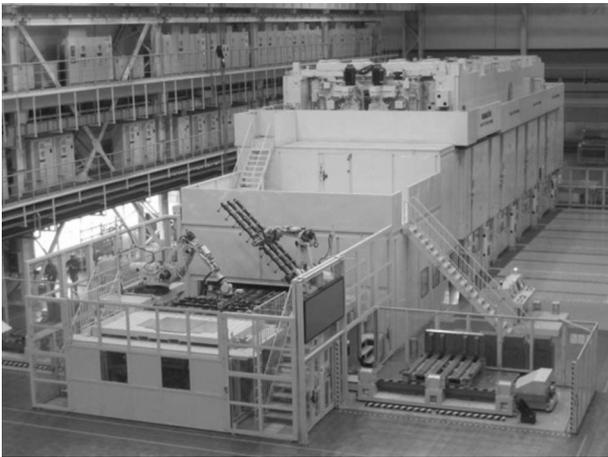


图16 临港冲压车间3#线

### 5. 别克英朗武汉工厂

英朗线主要欣赏一下其开卷落料线，如图17所示。该线是西班牙法格的产品，可以看出整个开卷线全封闭操作，整洁大气上档次，值得国内厂商学习借鉴。整个开卷线只有2~3个工人。



图17 法格开卷落料线

板材进入冲压程序，需用两旁的线圈首先将板材磁化，使其磁性全部呈S极，这样，在同性相斥的作用下，板材相互分开，单张依次进入冲压机，避免粘料导致停机事故。由于全新英朗的发动机盖为铝合金材质，无法利用上述原理，只能单配一套空气刀将其分离。



图18 一模多件模具图

如图18所示为一个比较清晰的一模多件模具实物图。武汉厂采用一模多件工艺，实现前后门内板一模四件、铝板前盖内外板一模两件、前中地板一模三件，生产效率由原来的平均每分钟15.8件提升至31.6件。

本冲压车间的另一个亮点是建立了一套模具碎屑吸收系统，如图19所示。在冲压模具内，有类似吸尘器一样的装置，将生产过程中产生的碎屑吸收至管道中，排入工作台地坑，更大限度避免碎屑被带入模具或者在零件表面产生碎屑压印，使冲压件外观更加光滑，提高了品质。

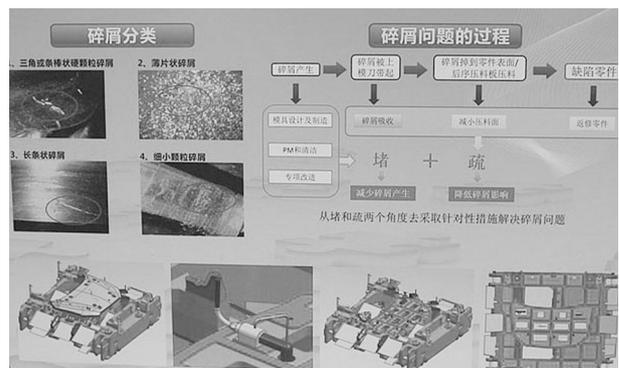


图19 模具排屑系统

### 6. 奇瑞公司五车间

奇瑞公司五车间生产艾瑞泽等车型。其54号高速自动化冲压线（见图20），由齐齐哈尔二机床厂提供，线首压力机1800t，后面是3台800t压力机。



图20 奇瑞五车间54号生产线

由济南二机床提供的51号冲压线，由一台2400t压机和三台1000t压机组成。主要负责较大部件的冲压生产（见图21）。



图21 奇瑞五车间51号生产线

该车型模具由韩国制造。换模时间达到3min40s，换模时间处于较高水准。

奇瑞公司的其他车型模具，例如风云车的整套模具则来自台湾福臻公司。台湾模具行业的水平在业界有目共睹，为此奇瑞公司与台湾福臻公司在芜湖合资建立模具厂，以保证模具生产的精度和进度。

从使用的板材上看，奇瑞公司所使用的钢材主要来自宝钢、鞍钢等国内一流钢铁公司，少数关键冲压件板材全部从日本、韩国浦项等进口。可见在板材供应商品牌上，自主和合资的重合度越来越高。

## 7. 东风日产花都工厂

东风日产花都厂生产天籁、骐达、丽威、轩逸、逍客、奇骏等耳熟能详的车型。其冲压车间非常具有代表性，是国内少有的具有5条冲压生产线的冲压车间。这5条冲压生产线分别来自济南第二机床厂、齐齐哈尔第二机床厂、德国舒勒、日本IHI和日本小松等五家不同机床厂。5条线除济二和齐二的为人工操作外，剩余三线均为自动化操作，其中最快的效率是每分钟冲压15件。这5条线保证了花都厂每天1500台车的生产需求。

为保证冲压件精度，东风日产所有车型冲压模具全部为日本进口，节省了二次返工时间，现在东风日产花都工厂的冲压件返工率为1.5%，为同业较低水平。

在采用的钢板上，花都厂也是少量采用进口钢板。目前虽然国产汽车用钢材在质量上没有任何问题，但由于国内钢厂的供应量有限，导致国内绝大多数车企都会引进一部分进口钢材。花都工厂进口和国产钢材的使用比例约为4:6。此外为保证车辆安全，东风日产全部车型的钢板厚度最低0.8mm，最高厚度为1.2mm。不过最高厚度的钢板多用在逍客和奇骏这种要求刚度较大的SUV车型上。

花都工厂在生产高峰期实施“双班倒”，每班10小时，而机器则要连续工作20小时，剩余4小时用来进行设备维修维护。这样的工作强度对设备可靠性的要求可

想而知。

## 8. 广汽丰田冲压车间

广汽丰田工厂有两个冲压车间，一车间（冲压一厂）主要生产凯美瑞、致炫、雷凌，二车间（冲压二厂）主要生产汉兰达、逸致。冲压生产线占地4.6万m<sup>2</sup>，员工300人，产能38万台，每天生产量约为1200台。可以看出，东风日产花都厂每天1500台的生产量已经差不多是行业天花板水平。

广汽丰田工厂模具数量共有1000余套，其中凯美瑞108套，致炫140套，逸致249套，汉兰达264套，经典版凯美瑞176套，雷凌102套。其模具全部按照丰田全球公司标准制作。丰田模具具有一种网格模技术专利，就是在模具表面加工很多微型凹槽来排气，避免空气中的微尘造成模具凹凸点。

广丰冲压车间冲压线主要有两条，一条是伺服串联线，1600t+800t×3，速度16件/min；一条是伺服多工位线，一位2300t，二位300t，速度30件/分。伺服线噪声控制在85dB以下。

广汽丰田冲压车间最小安全在库时间为4小时。日产花都厂也在4小时以内，而行业一般水平在12小时以上。日系车企的精细化管理水平可见一斑。

## 9. 济南二机床厂福特项目

从以上介绍中可以看出，济南二机床厂在国内的汽车冲压线市场拥有广泛的用户，是真正进入汽车冲压生产线主流队伍的国产装备代表。其中，济二与美国福特公司的跨国合作，可谓备受关注、影响深远。

2016年初，经过一场激烈博弈，济二最终又拿下福特汽车美国Woodhaven工厂的一条7100t大型高速冲压生产线订单。这是济二为美国福特提供的第9条大型冲压线，尤其需要说明的是，这9条线全部在美国本土，福特公司的大本营。

如图22所示，为2012年投入使用的福特堪萨斯工厂大型冲压线。



图22 福特堪萨斯工厂冲压线

如图23所示，为济二为福特底特律工厂提供的大型冲压生产线。从2013年11月~2014年7月，济二先后为福特底特律工厂提供了4条大型冲压生产线。



图23 福特底特律工厂冲压线

自2011年以来，济二连续赢得福特汽车美国本土4个工厂、9条冲压线、共计44台不同规格的冲压设备订单，囊括了福特美国本土工厂的全部新增冲压设备。目前，已有6条冲压线投入使用。济二与福特美国的合作，可以说创造了中国制造的一个奇迹。

## 二、挑战及发展趋势

### 1. 技术规划路线

从以上介绍可以看出，目前汽车冲压线典型规划路线主要有两种方案：一是全自动全集成高速冲压线方案，二是兼具性价比的机器人自动冲压线方案。

其中，机器人自动线方案SPM通常为6~9，单臂横杆线SPM通常为8~12，而双臂横杆线SPM通常为10~17。更为早期的机械手线其SPM通常为4~7，手工线SPM一般为2~3。

### 2. 合资车与自主车

从本文介绍可以看出，在板材使用上，合资与自主车企有相当部分重合。但在模具设计制造、轻量化制造以及采用的生产线装备上仍然存在差距。

(1) 轻量化已成大势所趋，其中热成形钢板、冲压铝板以及各类铝材越来越多出现在高端车上，既减轻了重量，安全性也有所提升。但自主车企的应用还相对缓慢。其中有技术、工艺的原因，有装备、资金的原因。

(2) 模具直接影响冲压件质量。单个冲压件往往有4~6副模具，单个车型往往有上百套模具。除非车型改款或换代，价值千万的模具才会大改。模具的差距主要体现在精度上。汽车属于高精度产品，任何误差都可能带来装配问题，继而影响驾乘体验，比如车门铰链固定面不平（肉眼观察不到的误差）使得车门出现跳动间隙

等。国内企业以往多采用“大件国外模具，小件国产模具”的方式，但随着近年来的快速发展，这种状况正在得到改变。

(3) 冲压线规划不同则效果有别。普通压力机+机器人自动线是以往自主车企采用的方案，缺点是压力机速度慢，停顿时间长，效率低。而以德系为代表的全自动高速伺服线则效率高，速度快，换模速度也远超普通压力机（换模3~5min已属常见），生产效率几乎快了两倍。至于近几年逐渐得到应用的多工位冲压线更不必多说。

(4) 人才团队。大型冲压车间稳定运作的背后是优秀的工程师团队。其中，在人才队伍的薪资问题上，同样是工艺人员，合资厂的薪资明显高于自主，相同的岗位，待遇或有两倍差距。在日系厂，生产班长都是211院校毕业，而自主厂还在想怎么吸引本科生来做生产。汽车作为复杂的大宗产品，需要大量的高水平工程师保证产品品质。相比合资厂，自主厂的投入相对较少，成本有限。解决同样的问题，自主工程师的困难更大，既要控制成本，又要保证质量，鱼和熊掌难以兼得。当然，近年来自主车企获得了迅猛发展，情况已经开始变化。

## 3. 挑战与趋势

(1) 随着车型越来越多，产品更新越来越快，小改款、中期改款越来越频繁，加上车型设计越来越突出个性化、高颜值方向，对冲压生产线的包容性、柔性以及对模具的设计制造都带来巨大压力。

(2) 在安全、环保、节能的大趋势下，轻量化技术日益成熟并得到应用。铝材应用、高强钢应用、包括尚在发展中的碳纤维材料应用，对冲压工艺及设备技术路线都带来巨大挑战。新材料预示着新的工艺路线及设备路线，因而其中蕴含着巨大机会，传统设备供应商和新兴厂商均有机会。

(3) 随着人工成本的不断上升，自动化趋势已势不可挡。其中要求设备高兼容高适应性、高的自动化程度、少或无人值机、周密可靠的故障诊断、预防性故障维修等将成为标准配置。如随着多车型共线越来越多，自适应风刀连续拆垛技术、自适应视觉对中技术的应用，双臂快线的应用，冲压车间信息整合，激光扫描检测代替人工检测，机器人装箱代替人工装箱，在线监测机器状况，等等，均是面临的课题。

(4) 从设备需求上看，大型伺服压力机+高速传输自动化应用将愈加广泛。同时，伺服压力机应用扩展到开卷剪切线上，开卷线与大型高速线的同步升级匹配不可避免。另一方面，大型多工位全自动冲压生产线的应用也将继续扩大。大型多工位压力机是目前集机械、

电子、数控和检测技术为一体的最先进、高效的冲压设备，是当前高自动化的典型代表。目前，大型多工位压力机的SPM通常为10~30，800~5000t，采用变频电机或伺服电机驱动多连杆或偏心机构，拆垛机+三坐标送料形式。制约大型多工位压力机推广应用的因素一是价格门槛，二是技术门槛。简单说，买得来还能用得起来，这并非易事。

### 三、内高压成形线

在一汽马自达冲压车间，除板材冲压线外，还有一小块区域为内高压成形线。该成形工艺也广受业内科技人员关注。如图24所示，为一马的内高压成形件，主要为发动机排气管及副车架等零件。



图24 一马内高压成形件

内高压成形线主要包括弯管、预成形和内高压成形三道工序。先将欲成形的管件毛坯在弯管机上进行必要的弯曲成形，然后在预成形机上根据需要进行高压成形前的预成形处理，最后进入内高压成形工序。如图25所示，为内高压成形的主角内高压成形机。图中为瑞典AP&T公司设备，采用液压传动，可产生35000kN的压力。内高压成形时，先在管材中填充特定的乳化水液，压机驱动模具闭合，随着压力上升，材料发生延展，并按模具型腔实现成形。



图25 内高压成形机

经过三道工序后的内高压成品零件及原材料对比如图26所示。



图26 内高压成品零件

### 四、结语

本文选取国内具有代表性的汽车制造企业的冲压车间及其大型汽车冲压生产线为例，介绍了生产线的设备组成及其典型工作流程，对冲压线的效率、精度以及所采用冲压板材的来源现状、模具工艺等作了重点关注，提出了汽车冲压生产线面临的挑战和发展趋向，对内高压成形等汽车制造相关工艺做了简要介绍。通过本文可以对目前国内汽车冲压生产线的设备及应用现状有基本了解。□

#### 参考文献：

- [1] 何福林，汽车覆盖件冲压生产线概述及选择[J].锻压装备与制造技术，1999，34（4）：6-7.
- [2] 刘辰，范淑琴，赵升吨.汽车大型覆盖件冲压线上工件传送方式合理性探讨[J].锻压装备与制造技术，2012，47（2）：21-24.
- [3] 彭雁，多工位压力机在汽车冲压生产中的应用[J].锻压装备与制造技术，2011，46（2）：34-37.
- [4] 徐刚等，金属板材冲压成形技术与装备的现状与发展[J].锻压装备与制造技术，2004，39（4）：16-22.

# CIMT2017展品预览(1)

中国机床工具工业协会传媒部

卡尔蔡司(上海)管理有限公司

展位号: E2-201

## O-INSPECT坐标测量机

O-INSPECT综合了最佳的测量技术与光学技术:除了接触时测量系统之外,本测量仪器还具有光学传感器。O-INSPECT是在塑料工业、医疗和电子及精密机械应用中的最佳方案,特别是在必须快速和大批量以高精度测量零部件时。



## PRISMO坐标测量机

PRISMO是世界顶级测量技术的领航者,设立了全球高速扫描测量技术标准,其测量精度、运动特性和出色的环境耐受性是此测量机的商标。PRISMO多探头系统具有最大测量速度、最高测量精度,能为您提供测量领域最好的服务,为您奠定高效生产的坚实基础。集成Navigator技术的VAST主动扫描探头和与RDS旋转测座连接的各种探头,是您进行各种测量任务的最理想选择。



## O-SELECT坐标测量机

O-SELECT数字测量仪主要用于距离、半径及角度尺寸的快速检测,只需简单地按下按钮,O-SELECT即可检测评价零件的各个特性,并以专业的PiWeb报告的形式呈现测量结果。O-SELECT数字测量仪采用自动对焦的方式确保始终于正确的位置测量零部件。全自动的照明设置确保每个特征都处于最佳的光照状态,消除人为操作导致的误差。编程简单方便,仅需点击及挑选即可完成编程。硬件与软件的完美匹配,确保以最佳的速度及可靠性量测零部件的二维尺寸。紧凑性及稳固性的设计使其几乎可安装于任何位置。无论于进货检验处还是于生产加工的产线中,随时随地且准确地测量零部件。



### CONTURA坐标测量机

CONTURA延续CONTURA系列的设计理念，并进一步提升测量稳定性及测量效率。CONTURA不仅是一台三坐标测量机，更是国内众多加工业企业产业升级必不可少的工具。使用CALYPSO标准测量软件，CONTURA在得到精准测量结果的同时，也提供了产品品质改善的可能。CONTURA系列三坐标测量机除了拥有稳定的测量结果外，还首次集成了蔡司Navigator技术，使得扫描测量速度有了质的飞跃。同时，CONTURA还提供快速更换吸盘及节气选项，保证您可以高效且节能地完成测量任务。



### ACCURA坐标测量机

ACCURA即使在温度波动变化环境中，也能确保在高精度的前提下实现高速检测。全新材料的应用使ACCURA受温度变化的影响降到了最低。ACCURA完全适合未来发展的应用需求。模块化的结构设计，使您在整个产品生命周期内轻松实现对设备的升级。



### 湖北三环锻压设备有限公司

展位号：W2-233

#### 高精度电液伺服数控折弯机

Easy-Form精密折弯机提供顶级性能：高精度和高工作效率。这款顶级折弯机基于PPEB系列设计，通过配置LVD荣获专利的Easy-Form在线角度监控校正系统进行强化。Easy-Form<sup>®</sup>，向TOUCH-B控制提供即时反馈，保证每个工件从一开始折弯就形成正确的角度。

其主要特点为：国际独有工业用红外线19寸触摸屏，嵌入式的Win 7数控折弯机专用系统CADMAN-Touch，功能强大，操作直观简单；自对中式上模快速夹紧机构（机械式或液压式），上模更换装夹简单；整体楔块式机械挠度补偿机构，补偿点多，使用寿命长；高精度全铝型材式6轴（X1、X2、R1、R2、Z1、Z2）后挡料，结构牢靠，运行速度快；全数控板料托扶装置，折弯全程自动托扶板料，提高工件精度，降低劳动强度；箱式整体防护罩，安全防护等级高。



## Strippit-PX成形冲床

Strippit-PX1530冲床在单个冲床上完成冲孔、折弯、攻丝及成形。PX系列冲床在柔性生产方面做到了极致，即使加工复杂的三维工件亦可胜任，所有刀具都能够完整旋转360°。PX系列机床具备较为全面的多种功能，其最多可装200套模具，任何一副模具都可在薄板上的任意位置、以任何角度进行加工，且能够加工达75 mm高的折弯翻边。单头冲系统配备可回缩的下模以及对所有刀具做了可旋转的功能设计。

其主要特点为：20个可分度的模具工位；可采用5或10个工位的可分度多子模；可兼容T型模具；三个完全可编程和重复定位的工件夹钳；节能系统使耗电量降至最低；智能夹钳确保将可能的冲裁死区降至最小；“智能冲裁行程控制”自动优化滑块行程；可编程工件落料槽；集成TOUCH-P控制器操作直观、简单易用。



## 光纤激光切割机

Phoenix 光纤激光切割机结合高效、超具动力的激光切割能力、先进的自动化方案及LVD直观的Touch—L控制终端，为多种材质和厚度的板材提供快速、全面的加工处理解决方案。具有超高的加工速度、优秀的切割质量、高效的自动交换工作台，先进集成的控制和驱动系统、直观的操作体验式系统及多种材料的加工能力。

Touch—L采用19寸触摸屏控制和图形化的用户界面。结合工件设计和排样的功能让使用者可以直接将图纸导入控制器，并可在设备上完成切割应用和排样。使用者可以方便简单地添加余料切割线，更改引入线类型和位置，并根据需要添加微连接等。



## 翰默（上海）贸易有限责任公司

展位号：E4-282

## 刀柄

德国翰默公司（HAIMER）是德国最大的专业刀柄生产厂家，研发和生产各种高精度、高动平衡等级的加工中心刀柄，在热缩刀柄领域更是处于世界领先地位。产品适用于DIN69871、BT、HSK、CAPTO等各种主轴系统，包括各类筒夹式、热缩式、面铣刀刀柄等多种夹紧方式。同时翰默也是热缩夹紧技术的开拓者和领导者。热缩刀柄系列涵盖了从精加工、半精加工至重粗加工的全部工况，3 μm的高跳动精度，翰默的热缩刀柄已成为行业标准，在世界范围内被广泛认可。另外，翰默独创的SAFE-LOCK专利结构彻底解决了航空材质加工中的“拔刀”现象，并与多家知名刀具厂家如山特维克、瓦尔特、肯纳等合作，在众多的航空及大型构件制造企业中广泛运用。



### 3D 寻边器

德国翰默生产的3D寻边器精度高，使用方便，而且价格便宜，广泛使用于普通机床和加工中心，减少生产准备时间，提高生产效率和准确性。其中寻边器分为表针式和数显两种，用于加工零点设置和长度测量。寻边器结构设计可靠、精度高、使用简单，测量探针分为长短两种，更换快速，无需重新校正，并带有预置的保护方式，延长寻边器寿命。根据加工工件情况，表针式分为通用型、新型、超小型设计。数显寻边器带有防水功能，适合大型加工中心的远距离读取数值，使主轴定位更加精确和便捷。



### 热缩机

翰默Haimer的热缩机是世界上最快的热缩机，强大的功率和准确的控制使换刀过程仅需3~5秒钟，换刀过程刀具不会被加热，因此能安装硬质合金和HSS刀具。独创的水循环快速冷却系统更是能在30秒钟内将刀柄冷却至常温，整个过程刀柄和刀具不接触任何液体，安全、干净、高效。同时翰默专利的智能加热线圈使异型刀具的安装成为可能，效率倍增。翰默的热缩机也是模块化的系统，能满足各个层次用户的需求。



### 刀具动平衡机

平衡过的刀具系统可以减少加工振动，保护机床主轴，延长刀具寿命且提升加工质量，提高切削效率。翰默的动平衡机广泛适用于刀柄/刀具系统平衡、木工刀具制造、砂轮及整体刀具制造、非标及PCD刀具制造、高速旋转件平衡等。翰默的动平衡机提供各种高精度的主轴夹持系统，精细检测被测物的单、双面不平衡，提供加重和去重多种平衡方式选择，精度高，使用简单高效。针对不同的客户需求，有桌上型、经济型、舒适型、对刀一体型等多种机型选择，选配功能可由客户自由搭配。其中自动动平衡机能快速检测不平衡并自动去除，效率极高。



**济南邦德激光股份有限公司**

展位号: W2-402

**全包围交换平台式光纤激光切割机**

该机床提供封闭式加工环境, 防尘、防烟、安全环保。整体重型龙门结构机床、高强度铸铝横梁, 整体刚性好, 性能稳定。进口高精度传动装置与伺服系统完美匹配, 保证切割精度与效率。专业激光切割数控系统, 自动寻边、自动排料, 提高板材利用率和生产效率。配置高速交换工作平台, 简化工作流程节省时间。其切割范围: 1500×3000mm; 激光功率: 500w/700w/800w/1000w/1500w/2000w/2500w/3000w; 定位精度: 0.03mm; 重复定位精度: 0.02mm; 最小线宽: 0.1mm。



**无锡诺佳工具有限公司**

展位号: E2-692

**修边器, 磁力座, 喷液器, 模块式塑料软管系统**

NOGA(诺佳)来自以色列, 是专业生产手工修边去毛刺工具; 磁性表架; 喷液器的世界领导者, 其产品以高效; 便捷; 高性价比著称。

LOC-LINE (诺克-莱恩) 来自美国。是世界柔性喷液管的发明者、制造者, 我们的产品广泛的应用于世界顶级的机床制造商。品种多, 质量高, 交货迅捷。

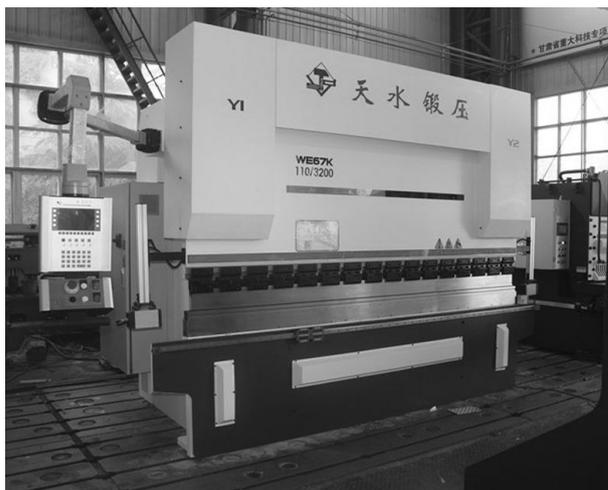


**天水锻压机床(集团)有限公司**

展位号: W2-707

**数控折弯机**

该机床具有节能、环保、高速度、高效率、高精度等特点; 可配全自动机器人柔性加工单元; 全新自主研发的经济型数控系统, 触摸式操作, 界面简单友好, 支持用户各种定制化服务; 油液伺服控制, 同步精度高, 制件精度高; 工作台设有机械自动挠度补偿机构; 上模采用快速夹紧装置, 模具更换方便。



**多功能联合冲剪机**

该机床为多功能联合冲剪机, 采用单滑块结构, 单缸驱动, 具有六个标准工位; 可实现冲孔、折弯、圆钢/方钢剪切; 扁钢剪切; 角钢剪切、开槽/切角; 还可实现槽钢剪切、圆管切角、弯管等功能。快速换模功能, 自动压料功能; 连锁、保护功能。该机制件精度高, 操作简便、高效、灵活, 使用安全。



## 钣金加工轨道机器人

钣金加工专用机器人，可与剪、折、冲或其它设备构成柔性加工生产线，实现全过程自动化生产；确定跟随折弯轨迹，折弯效果接近人手手臂；支持多夹具生产模式，适应不同加工需求；专为钣金加工工艺开发的机器人控制系统，触摸式操作，界面简单友好，支持用户各种定制化服务；高刚度，大负载，精度高，工作空间大，适应各类大型复杂工件；高速度，高效率，可24小时全天候工作；高安全性，配有多种安全装置及检测手段，保证操作安全。



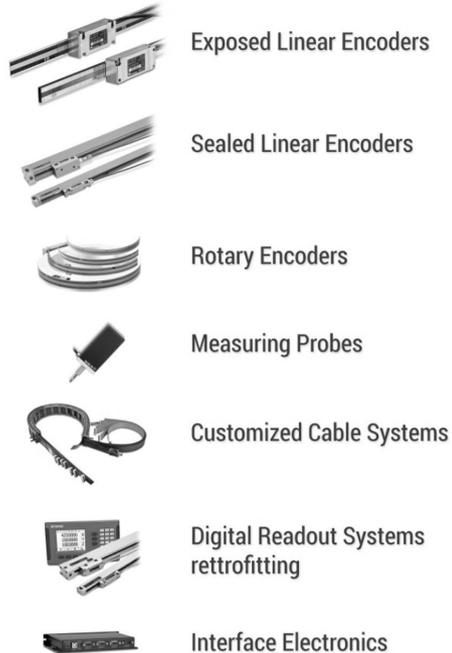
## 奥地利RSF电子有限公司北京代表处

展位号：E2-291

### 绝对式、敞开式精密测量光栅尺

敞开式直线光栅尺：精度可达 $\pm 1 \mu\text{m}$ ，测量步距可达 $0.01 \mu\text{m}$ ，最大位移速度 $10\text{m/s}$ ，敞开式绝对光栅尺使定位更快速、更精准。封闭式直线光栅尺：精度可达 $\pm 2\mu\text{m}$ ，测量步距可达 $0.02 \mu\text{m}$ ，最大位移速度 $2\text{m/s}$ 。

精密长度仪：精度可达 $\pm 1 \mu\text{m}$ ，测量步距可达 $0.025 \mu\text{m}$ ，测量行程： $10\text{mm}$ 、 $30\text{mm}$ 、 $48\text{mm}$ 。敞开式直线光栅尺：读数头和光栅尺之间没有摩擦；运动速度快；尺寸紧凑重量轻。安装公差大，最大安装公差 $(0.75 \pm 0.3) \text{mm}$ 。主要用于测量机、比较仪和长度测量领域以及半导体生产和检测。封闭式直线光栅尺：安装简便、快捷；安装公差大；能承受大加速度载荷；抗污染能力强；用于数控机床和自动化生产中。敞开式绝对光栅尺使定位更快速、更精准。



## 北京发格自动化设备有限公司

展位号：E4-217

### 数控系统、光栅尺、编码器

CNC8065，程序段执行时间达 $0.25$ 毫秒、触摸屏可选、体积补偿、最大 $28$ 轴插补、 $4$ 主轴、 $4$ 通道、 $2400$ 段预读、纳米精度、支持第三方软件。CNC8065适用于加工中心、车削中心及车铣复合加工中心。



**威尔逊模具（上海）有限公司**

展位号：W2-802

**数控冲床模具**

威尔逊公司自1966年由 Ken和 Ruth Wilson在美国明尼苏达州的圣保罗创立。现在美国、英国、中国、巴西、意大利、加拿大等地设有生产基地，并在德国、法国、丹麦等地设有分公司。美国总部位于明尼苏达州的白熊湖，生产车间面积35000m<sup>2</sup>，研发中心4000m<sup>2</sup>，公司设有数控冲床模具部，折弯模具部，精冲模具部。威尔逊模具(上海)有限公司隶属于美国威尔逊，专业从事威尔逊模具在中国市场的销售与服务。

公司可为国内外各大品牌数控冲床如：LVD/STRIPPIT, NISSHINBO, MURATA, TRUMPF, AMADA, FINN-POWER、Salvagnini、Haco、Durma、EHRT、Euromac、Pivatic、Pullmax、Prima Power、Accurpress(爱克)、金方圆、亚威、台励福、大同、扬力、梁发记、黄锻、济南捷迈等设备提供产品和服务。

**浙江金火机床有限公司**

展位号：E1-232

**CKG0625Z线轨数控车床**

该机床为一款小型精密、高速、高刚性、平床身线轨数控车床，采用知名数控系统。高质量密烘铸铁铸造整体结构床身底座，横截面积大，使整机刚性大大提高，导轨跨距大，使切削过程更加稳定。主轴结构采用前三后二配对高精度角接触球轴承，保证主轴的高刚性和持久的精度保持。新颖的排刀式刀架使重复换刀误差为最小，X向大行程扩大了刀具安装范围，换刀快速准确。主轴采用高性能伺服主电机驱动；纵、横向驱动采用高性能的交流伺服电机，定位精度高，动作灵活可靠；采用自动集中润滑装置，润滑充分可靠，确保高速进给。该机床的水箱铁屑箱放置在机床底座右侧，排屑方便且排

屑口放置在底座右侧后，不会削弱床身底座的刚性，水箱和铁屑箱分开后，方便分离切削液及铁屑，便于清理铁屑。工件采用独特的气动夹紧机构，夹紧方便可靠。

**CKG0635Z线轨数控车床**

该产品是专门针对车削不锈钢产品而设计的一款线轨车床。整体底座与床身显著提高机床刚性，X向和Z向丝杆采用预拉伸结构，减少热变形对切削的影响。主轴轴承采用新式结构，前三后二的角接触轴承串联起来，保证主轴的高刚性和持久精度。大拖板采用箱式结构，轻量化设计，减少惯量，提高拖板组件的加速度，能自动完成普通车床的车削功能，配上伺服主轴及动力头，可以完成车铣复合加工。



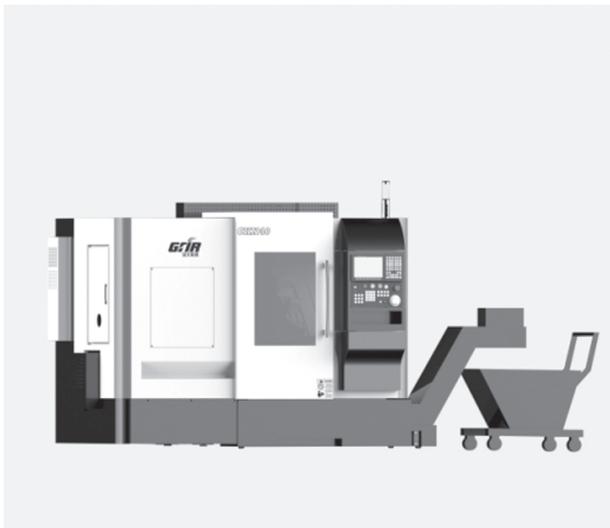
## XT7126数控车床

该机床采用整体45°斜床身设计，结构紧凑，刚性良好，排屑流畅。主轴箱采用了散热片形式结构，使主轴在长期高速工作时能保持主轴的精度稳定性。主要用于各类轴类、盘类零件，可以车削各种螺纹，圆弧，圆锥及回转体的内外曲面，适合汽摩，五金，电子，航天，军工等行业对黑色金属转体类零件进行高效、大批量的精密加工，也可作为学校的教学用机。加工精度可达到IT7级。



## CKW40卧式车床

该机床加工几何形状复杂，尺寸繁多，尤适于盘类、短轴类工件加工；加工圆柱面、圆锥面、阶梯面、球面及其它各种回转曲面；加工各种公、英制内外螺纹；机床不但能车削外圆、切槽及倒角，也可以进行钻、扩、铰、滚压及镗加工；适用于中、小批量及单件生产，也可用于复杂零件的大批量生产。



## 2. 数控机床智能化及智能机床开发

数控机床适应高效高精加工、生产系统信息集成和智能控制需求，开发在线智能检测技术、机床智能诊断和智能维护技术、基于智能制造技术的加工优化技术、根据加工数据调整自身的应用模式和工作模式的自适应技术等，以及基于工业互联网和大数据的远程通讯功能和服务能力，开发智能金属切削机床和智能化成形装备。

## 3. “智能制造”模式的研究和应用

开展制造网络化、数字化车间与智能制造系统的智能制造模式研究和应用。采用CAD/CAPP/CAM等数字化技术和网络通讯技术，实现产品和制造信息能够贯穿制造、管理、质量全过程，实现产品全生命周期管理（PLM）；建立制造执行系统（MES），实现计划、排产、生产、检验全过程闭环管理；建立数据采集系统，能充分采集制造进度、质量检验、设备状态的生产现场信息；建立工业互联网，不同装备之间实现互联互通和有效集成；企业资源计划管理系统（ERP）安全运行，其中供应链管理模块能够实现采购、外协、物流的管理与优化。利用云计算、大数据等新一代信息技术，实现经营、管理和决策的智能优化等。

综上所述，“智能制造”作为中国制造业发展战略的重点方向，在国家产业政策支持、新技术革命推动和市场需求牵引的“三驾马车”驱动下，机床行业的“智能制造”将步入加速成长期。“智能制造”的发展将对传统制造体系带来猛烈冲击，推动产业格局发生深刻变革，如推动制造业由批量化生产向个性化定制生产趋势发展；由集中生产向网络化异地协同生产趋势发展；由传统制造企业向跨业融合企业趋势转变。价值链重点环节发生转移，掌握核心技术的企业将发挥主导作用。在我国经济新常态下，机床工具行业面临市场需求升级的紧迫需求，经过新技术革命的洗礼，机床行业企业的经营模式将逐步转变，从单纯提供“硬件”向同时提供“硬件和软件”转变，从提供“单机”向提供“系统解决方案”转变，从“以质取胜”向“以智取胜”转变，“软硬兼施，以智取胜”将成为企业竞争的制胜之道。

“数控机床—数控机床智能化—智能机床—智能制造车间—智能制造工厂—智能制造大系统”的技术发展进程，为机床行业展示了美好的发展前景。毋庸置疑，“智能机床”将成为智能制造体系中的核心装备，加快发展“智能机床”，是实施《中国制造2025》打造制造强国的首要任务。□

# CCMT2016刀具展品评述

中国机床工具工业协会工具分会

杨晓 执笔

由中国机床工具工业协会主办的第九届中国数控机床展览会（CCMT2016）于2016年4月11日至15日在上海新国际博览中心举行。来自国外的刀具厂商伊斯卡、玛帕、蓝帜、三菱、泰珂洛、号恩、翰默、京瓷、雄克，来自国内工具行业的株钻、成量、哈量、哈一工、大连远东、成都工研所、赣州澳克泰、苏州阿诺、无锡方寸、苏州锦玛、北京沃尔德、常熟万克、常州富力、成都锋宜、哈尔滨中天、绵阳绵工、宁波三韩、无锡泰诺、株洲科力特、浙江上优、无锡斯米卡，以及代理商尚亚等数十家企业组成了本届展会工具展区的主要阵容。本文仅就本届CCMT工具展区的重点新品和技术述评如下。

## 一、车刀

不少厂商在CCMT2016展会上推出了新的车刀材质、车刀片槽型或车刀结构。

伊斯卡展出的车刀新品中可以说是以上三者兼而有之。在材质方面，伊斯卡展出了适用于加工不锈钢材质的IC6025（见图1）、用于高温合金车削及切槽加工的硬质合金牌号IC806（见图2上）和IC804（见图2下）。

IC6025是在具有富钴层的基体上经TiCN中温化学涂层（MTCVD）结合 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 涂层，并进行了束魔涂层后处理（SUMO TEC），加工范围涵盖了ISO（M20—35），建议用于中低速对不锈钢进行粗加工及断续切削。

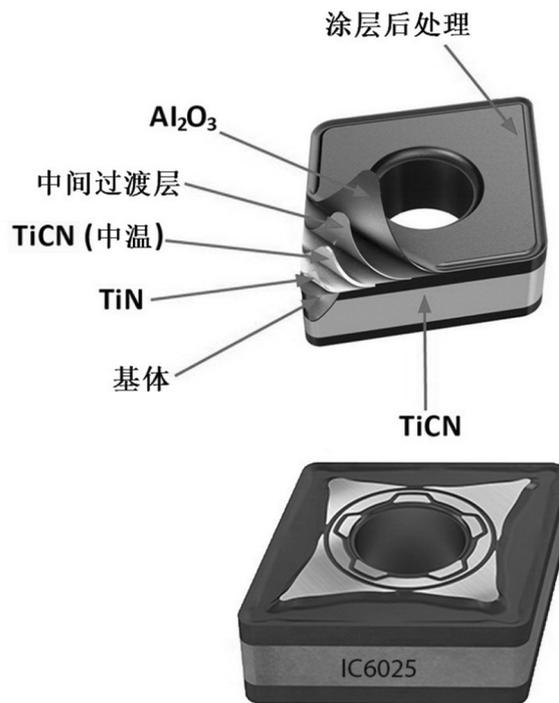


图1 伊斯卡的IC6025

IC806在超细晶粒基体上进行氮铝钛（ $\text{TiAlN}$ ，PVD）涂层并进行束魔涂层后处理，具有更加出色的耐磨性，显著提高了刀具寿命和可靠性；而IC804是在其未涂层材料IC4上进行氮钛铝（ $\text{AlTiN}$ ）涂层并进行了特殊的涂层后处理，刀具寿命和可靠性得以显著提高。两者相比较，IC804的耐磨性更高而IC806的韧性稍好。



图2 伊斯卡的IC806（上）和IC804（下）

三菱材料也展出了两种用于车削的材料，即被称为“开天涂层”的UE6120（见图3）和被称为“辟地涂层”的MP735（见图4）。

“开天涂层”UE6120具有专用强韧硬质合金基体，因此其耐破损性优异；较厚的膜层是微细TiCN，采用了近年来流行的晶粒定向生长技术，耐磨损性特别好；次外层是平滑的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜层，耐热性优异；外层被称为“超平滑安定涂层”，具有平滑表面及涂层稳定性优异的特性。

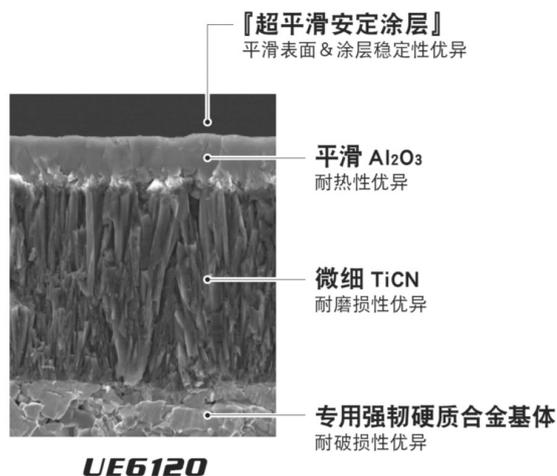


图3 三菱材料的UE6120

“辟地涂层”MP735采用Al含量大幅提高的新技术——“高铝技术”，涂层硬度提高且高硬度相稳定。据介绍，MP735在超耐热合金车削加工时的耐磨损性、耐前刀面磨损性和耐粘结性大幅改善。

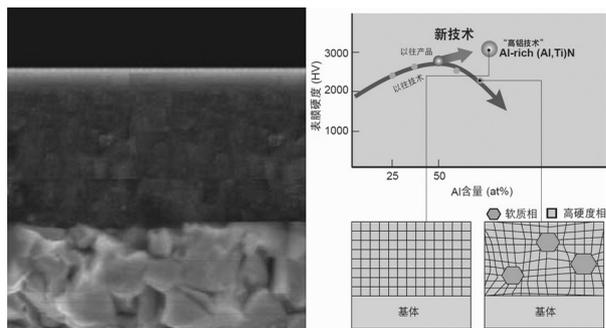
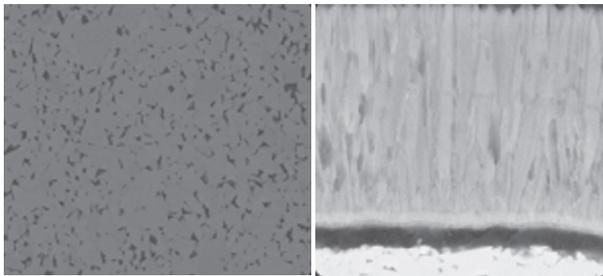


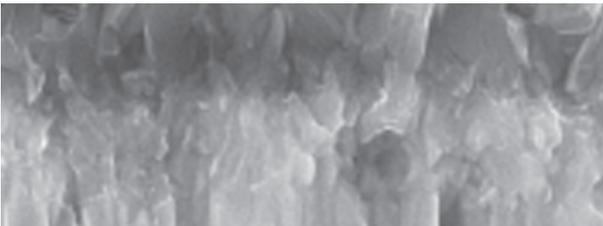
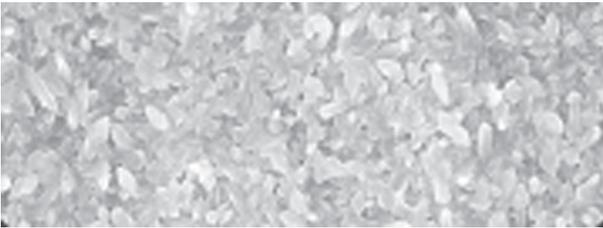
图4 三菱材料的MP735

国内硬质合金刀具的领军企业株洲钻石在本届CCMT展会展出了其数控刀片牌号体系的全新构架，在切削材质方面包括了YB7315、金钻YB9320和银钻YB6315（见图5~图8）。

YB7315是株洲钻石用于加工铸铁类材料车削新牌号。它具有全新的基体：全新硬质合金基体配合优化的烧结工艺，粘结相和硬质相的完美搭配使基体具有出色韧性和优异的耐磨性；精细控制的超细晶粒涂层：通过成分优化，涂层晶粒进一步微细化、均匀化，综合性能更加优异，大幅提高刀具寿命；晶核预植Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>生长技术：采用晶核预植技术的超细Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>涂层，在提高涂层厚度后仍具有优异的结合强度，保证了加工的安全性。



(a) 全新的基体 (b) 超细晶涂层



(c) 晶核预植 $Al_2O_3$ 生长技术

图5 株洲钻石的YB7315

金钻YB9320则是株洲钻石的第三代涂层产品通用加工牌号，可用于钢件、不锈钢件车削、铣削新牌号。据介绍，YB9320采用了能控制原子级的高端涂层技术：其独一无二的原子重排技术，实现涂层硬度、韧性及热稳定性的完美匹配；多层涂层：最薄涂层仅为6~7个原子厚度。据介绍，通过原子重排技术使得其涂层与基体结合力、韧性、硬度和高温性都得到了有效提高。

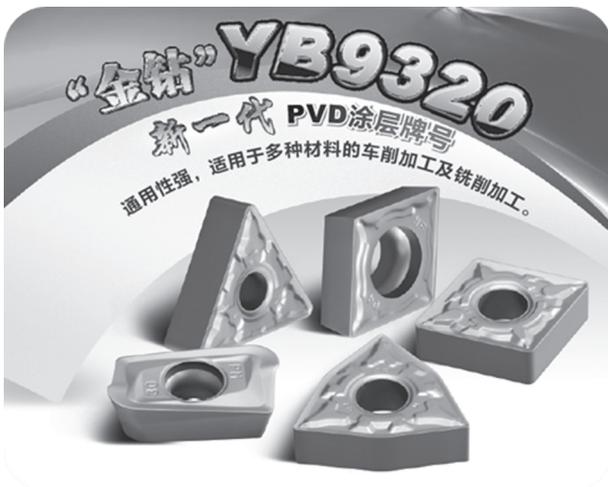
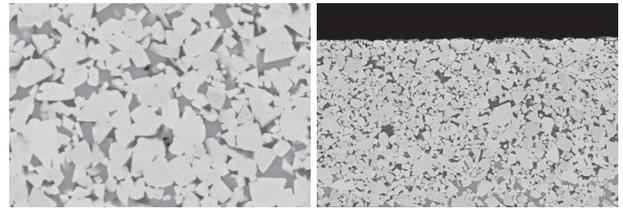


图6 株洲钻石的金钻YB9320

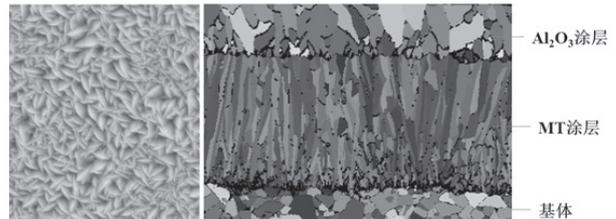
而银钻YB6315则是株洲钻石用于钢件材料车削新牌号，也属于株洲钻石的第三代涂层产品。株钻介绍说，银钻YB6315采用了全新的高钴含量硬质合金基体和全新的烧结工艺，提高了抗冲击性能（见图7）。



(a) 原用基体 (b) 全新银钻YB6315基体

图7 银钻YB6315基体特性

银钻YB6315具有梯度结构的超细晶中温(MT)涂层（见图8），这使得银钻YB6315的高温性能和耐磨性能提高。我们看到的银钻YB6315都是银色的外表，这种颜色使刀片的磨损更容易判别，这点上可以说与瓦尔特的“银虎”、山高的“新金刚甲”都有共同之处。



(a) 中温涂层，细小均匀 (b) 剖视图，基体-中温(MT)涂层- $Al_2O_3$ 涂层

图8 银钻YB6315涂层特性

赣州澳克泰则在本届展会上展出了其AC150P材质（见图9）。AC150P基体材料采用特殊改性技术，其组织均匀、性能稳定、高温条件下抗软化性能较优；涂层通用性强，可用于铸铁、碳钢、合金钢和不锈钢的车削；涂层中的中温TiCN沉积温度低，因而获得了细小晶粒度的涂层，提高了涂层的耐磨性；而独特的中温TiCN与 $Al_2O_3$ 涂层之间的过渡层成分，使过渡层厚度比一般刀具厂家的涂层厚，增强了涂层的结合强度；优化了 $Al_2O_3$ 与中温TiCN涂层厚度比例，使刀具寿命最大化；采用特殊的涂层后处理工艺，使涂层表面处于压应力状态，得到光滑的涂层，延长刀片的使用寿命，提高工件的光洁程度。

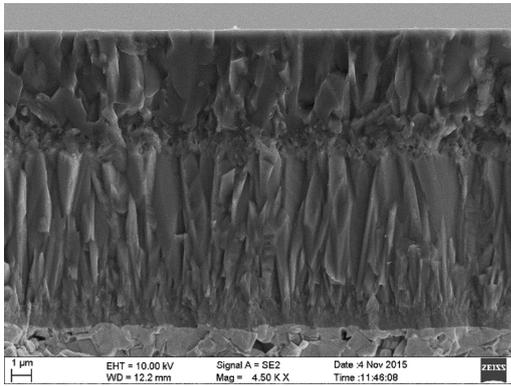


图9 赣州澳克泰AC150P的电镜扫描

在车刀的断屑槽形方面，总能见到一些不仔细看难以发现的新槽形。这次伊斯卡展出的车削钢件的槽型由粗到精分为R3P、M3P和F3P三种：带有强固切削刃的R3P断屑槽用于钢的粗车，大正前角降低了切削力，切削轻快；带有强固切削刃的M3P断屑槽（见图10）用于钢的半精车，大正前角降低了切削力，切削轻快；带F3P断屑槽（见图10）的双面刀片用于钢的精车，强固切削刃，这种断屑槽的大正前角设计使得切削更轻快，降低了切削力及刀片磨损，最终大幅提升刀具寿命。

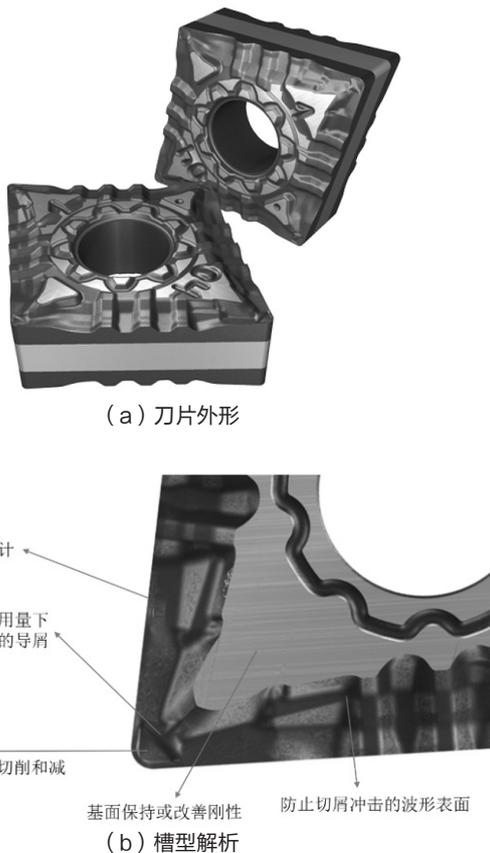


图10 伊斯卡F3P钢件精加工槽型

澳克泰用AC150P开发了其PC3槽型（见图11）。PC3刀尖槽底部小斜面的设计，能加强刀尖强度，从而延长刀具寿命；能减小切削阻力，让切屑自然弯曲折断，从而减小振动；阻力和振动的减小均有利于寿命的延长；它实现开放型槽型，不但在小切深和小进给时能良好断屑，在大切深和大进给时刀尖仍有较大的容屑空间，达到良好排屑的目的。

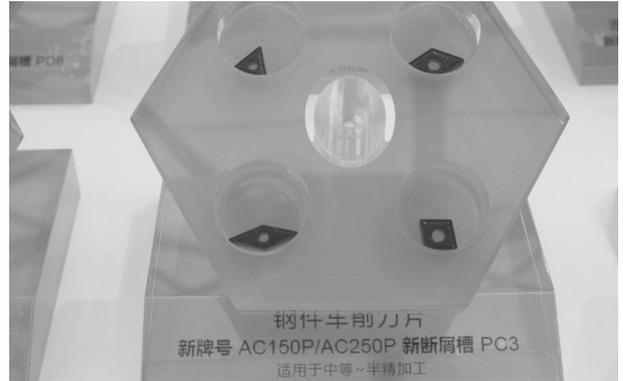


图11 澳克泰展台上的AC150P/AC250P新断屑槽PC3

在小零件的切槽车刀上，伊斯卡推出了许多有新意的产品。用于小零件车削的自动车床通常称为瑞士式车床，这种车床所用的刀具结构紧凑，与传统车床的刀具有很多不同。由于尺寸小结构紧凑，这方面原本可选刀具不多，新技术应用也少，伊斯卡的新产品为小零件车削提供了更多选择。图12是伊斯卡的瑞士自动车床高压冷却系列，冷却液直达刀片切削刃。刀具的最大冷却压力可达34MPa（340Bar），提供刀方为10mm及16mm的刀杆。



图12 伊斯卡的瑞士自动车床用刀具系列

图12a中左边红色圆圈中是带主偏角的背车刀片。伊斯卡过去只提供不带断屑槽的背车刀片，带0°主偏角，切宽为0.7mm。为了给直径非常小的工件及脆性材料工件的加工提供解决方案，伊斯卡推出切削刃口宽度为0.3mm的刀片，刀片带有7°主偏角用于加工延展性良好的材料；图12a中右边红色圆圈中以及图12b是带压制断屑槽的高效切槽刀片：该刀片能为合金钢及不锈钢的加工提供出色的切屑控制；图12c是侧面锁紧机构使得切槽刀装夹于瑞士自动车床时更易于操作；图12d中的PICCO小刀杆系列用于小直径内孔切槽加工，目前伊斯卡最小切槽加工孔径为2mm。

伊斯卡在重型切断车刀方面也展出了新产品。

考虑到重型切槽即重型车削一切槽加工中刀具切削区域部位最易受损，伊斯卡设计出一款独特的刀夹(见图13下方的大圈)。伊斯卡介绍说，这种重型切槽刀具更换时只需更换刀夹而不是更换刀体或刀板。刀片的更换易于操作且装夹可靠，这为用户提供了非常经济的解决方案，并提高了刀体或刀板的使用寿命。强固的刚性夹持系统工程设计足以承载重型工业切槽加工的高负载。这种切槽车刀的无上压爪设计使得切屑流无阻碍，冷却液高效直达切削区域，确保刀具切削刃在更长的时间段里保持高效，即便是应用于深槽加工时。除了大幅延长刀具寿命，有效冷却还提高了生产率并使得工件表面质量更高。同时伊斯卡特制了两款高性能切槽刀系列，分别是SUMO GRIP及DOVE-IQ-GRIP(见图13上方的红圈)：刀片切削宽度范围可达20mm，两个系列的切槽刀均体现了在恶劣的加工条件下必不可少的优异性能。



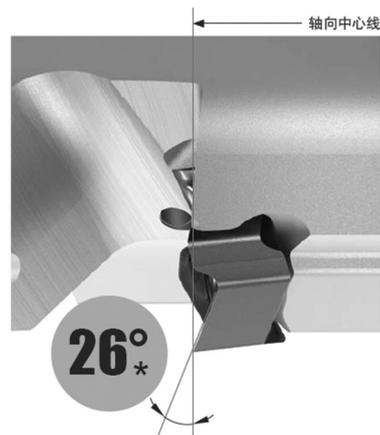
图13 伊斯卡的DOVE IQ GRIP

## 二、铣刀

在铣刀方面，首先要介绍三菱材料的可转位铣刀WSX445(见图14)。这种铣刀的特点是双面刀片却可以有大前角和多个有效的切削刃。以前我们曾经见过不少单面刀片的大前角铣刀，也见过不少双面刀片的铣刀，或者双面刀片大前角但有效的切削刃数量偏少。而WSX445铣刀刀片具有双面各4个切削刃，并在安装在刀体上之后能有26°的大前角。这种设计对于导屑产生了正面的影响，切屑的卷曲更为合理，不易损伤未经使用的其它切削刃。



(a) WSX445铣刀



(b) 刀具前角

图14 三菱铣刀WSX445

要介绍的第二种铣刀是三菱材料的高效精加工用面铣刀FMAX(见图15)。这种铣刀有三个技术特点：第一是锁紧机构，刀夹上有个倾斜的锁紧槽，当锁紧螺钉锁紧刀夹时，刀夹的两个受力面形成一个楔形锁紧(三菱称其为“燕尾槽固定”)，这样就可以防止刀夹在高转速大离心力作用下飞出；第二是调节机构，它的调节采用

大调螺钉与微调螺母相结合，可确保多次重磨后的调整量，且可简单地调整高精度的切削刃正面振摆(5 μm以下)；第三是冷却结构，刀体上安排了接近沿前刀面喷出的冷却液喷孔，能有效防止前刀面上产生粘屑。

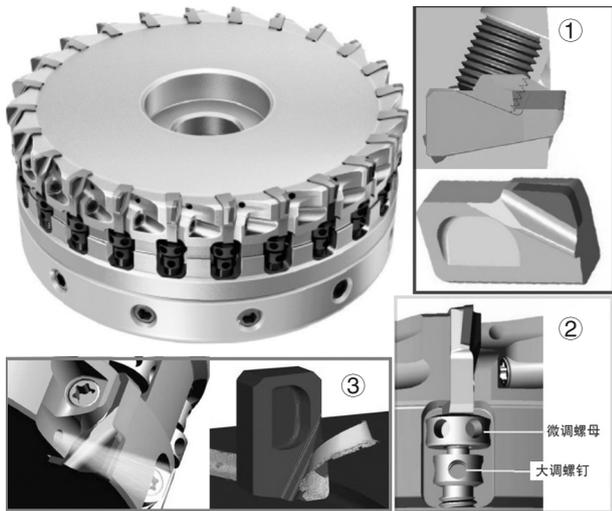


图15 三菱FMAX铣刀

(①为锁紧机构，②为调节机构，③为冷却结构)

玛帕公司也展出了具有新结构的装金刚石刀片的面铣刀FlyCutter和EcoMill-Blue (见图16)。主要应用于小主轴(如BT30)的FlyCutter刀盘采用铝制刀体以减轻刀盘高速旋转时的转动惯量，同时在刀齿前方去除相当一部分刀体，这样既利于进一步减轻刀重和转动惯量，也利于切削时的容屑，保证在刀齿脱离切削区前不至于发生容屑空间被堵塞的情况，确保加工的安全性。EcoMill-Blue则在刀夹上设置了小的临时容屑空间，在切削区域切屑被导入这个临时容屑空间，而当刀夹由切削区域脱离，切屑就在离心力的作用下被甩了出去，临时容屑空间被清空等待下一周期中切削任务的到来。这样一来，加工中所产生的切屑加工完的切屑都被刀夹带走了，工件表面没有切屑残留，使得后面的清洗工序非常简单易行。



(a) FlyCutter

(b) EcoMill-Blue

图16 玛帕的两款PCD面铣刀及其刀夹

伊斯卡则在展会上推出了HELIDO 800铣刀(见图17)、旋风槽铣刀和英格索尔铣刀。HELIDO 800铣刀在同一个刀体上既可装切深较大的方形刀片，也可装切深稍小但刀刃数翻倍的八角形刀片。伊斯卡介绍说，HELIDO 800铣刀的刀片是由斜螺钉牢固夹持于定位槽中，因此装夹具有高刚性和高可靠性。



图17 伊斯卡的HELIDO 800铣刀

德国蓝帜展出了其旗下基宁格的新型仿形铣削刀具CopyMax2(见图18)。传统的仿形精加工铣刀基本上都是无法转位的，一旦用到磨钝就废弃整个刀片。而CopyMax2带有二个全功能切削刃，当第一个切削刃磨损时，该刀片可以转位并重复使用，且和第一个切削刃具有相同的刀具使用寿命。蓝帜介绍说：其开发的解决方案包括新型锥形杆、专门设计的夹紧螺丝和仿形铣削刀具，这些部件之间的完美结合能够实现最大化的工艺可靠性。



图18 蓝帜的CopyMax2铣刀

号恩公司展出了其微径立铣刀系统DS（见图19）。据介绍，号恩已经针对用于加工未硬化钢的DS系统进行了显著扩展，新的立铣刀系列产品具有更优的几何结构，可提供超精细的表面质量。现在，号恩的球头立铣刀规格最小直径可达 $\phi 0.2\text{mm}$ ，立铣刀规格最小直径可达 $\phi 0.1\text{mm}$ 。号恩称，全新的锐角或圆角式四刃微型立铣刀是精整加工和仿形切削操作的理想之选。同时，加工深度可达到公称直径的3倍、5倍甚至7倍。



图19 号恩的微直径铣刀

### 三、孔加工刀具

在孔加工刀具方面，大连远东用其收购的美国克利夫兰品牌展出了各种高速钢专用钻头。

伊斯卡的IQ变色龙钻700系列也令人瞩目（见图20）。IQ变色龙钻700系列设计独特，通过硬质合金刀头开槽部位弹性变形实现自锁紧，无需任何其他锁紧螺钉等配件。钻削直径范围为33~40mm，除了1.5XD、3XD、5XD及8XD的整体式钻头，还推出了钻深400mm的大钻深比模块式钻头。IQ变色龙钻700系列中DFN钻杆的燕尾槽设计可更有效防止刀头从定位槽中脱落；革新的定位槽设计，避免了利用刀杆定位槽弹性夹紧刀头的方式，使得每一钻杆装夹刀头的次数更多，寿命更长；更大的定位面设计可承担更大的切削力，使得钻头能应用于高切削负载；大螺旋角、钻杆表面抛光设计使得排屑更顺畅；螺旋内冷却孔设计为钻削过程提供了高效冷却及润滑；强固的钻杆夹持伊斯卡独特凹弧面刃型刀头，保证高效率钻削下获得高精度的孔。



图20 伊斯卡的IQ变色龙钻700系列

尚亚则展出了来自MILLER的三刃钻Tritan-Drill（见图21）。尚亚介绍说，Tritan-Drill具有高定心性，适用于贯穿孔和破孔的加工；通过修磨横刃，降低切削力和加工热量。



图21 MILLER的Tritan-Drill三刃钻

近来，3D打印成为制造业的一个热门话题。许多人对包括3D打印在内的增材制造对应用于减材制造的刀具行业会产生什么样的影响忧心忡忡。玛帕展台上的2个产品给了我们一种回答：3D打印并不是抢了刀具的“饭碗”，3D打印可以用来制造我们原本很难制造的刀具，从而丰富了刀具的品种规格。图21是玛帕3D打印的可换头钻头QTD。我们知道原本钻头的内冷孔会对钻头的槽型产生影响，带双内冷孔的可转位钻头或冠齿钻由于内冷孔只能是直孔或两段搭接的直孔，在经济的范围内无法制造出螺旋长度较长的螺旋槽钻头。玛帕运用了3D打印技术，使螺旋内冷孔甚至螺旋异形内冷孔（见图22，右上角小图左侧为三角形内冷孔）加工难题迎刃而解。



图22 玛帕采用3D打印的可换头钻头QTD

复合材料加工是近年来增长较快的行业之一。玛帕在本届展会上展出了不少复材加工刀具（见图23）。由于复材加工是一个较新的领域，许多刀具用户和服务商对复材的了解还不够全面。玛帕展出的复材用冠齿钻（即可换头钻头）能够简化复材的刀具使用，一般无需刃磨，在钻头切削刃磨钝后更换齿冠（即头部）就能再次进入加工过程。

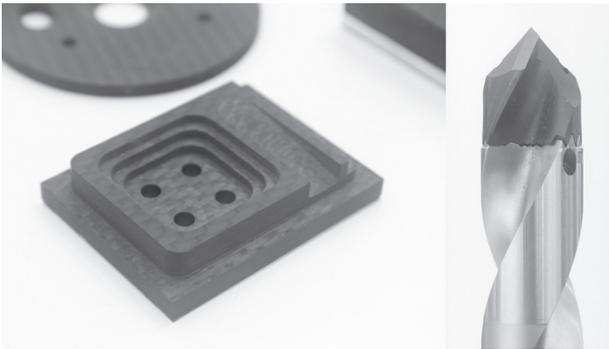


图23 玛帕展出的复材工件和加工复材的可换头钻头

玛帕还展出了一种用于复合材料钻孔的套料钻（见图24）。对于这种套料钻，玛帕解释说，这并不是因为用户需要节约材料、减少切削功率、留下芯部以供取样等采用常规套料钻头的目的，而是为了减少切屑。因为复合材料的切屑常常呈粉末状，切屑的比重大小，漂浮在空气中的切屑极易被操作者吸入体内，对工人的健康非常不利。尽管工作场所一般都有控制粉尘的措施，但加工时更少地产生复材切屑就更容易得到更好的工作环境。



图24 玛帕的玻璃纤维套料钻

无锡方寸展出了一种正在申请实用新型专利的粗镗刀。如图25所示，这种新型模块化可调直径粗镗刀包括镗刀体1和装有刀片3的刀座2，镗刀体1与刀座2通过螺

钉4固定，而镗刀体和刀座具有互相啮合的定位齿条5，这组定位齿条与镗刀体的轴线形成一个小于90°的夹角。据无锡方寸介绍，这种粗镗刀利用了倾斜齿分力作用，合理地将切削抗力按设计方向传递至镗刀体，减少了切削抗力对模块间定位的影响，从而提高了镗刀在切削过程中的稳定性。

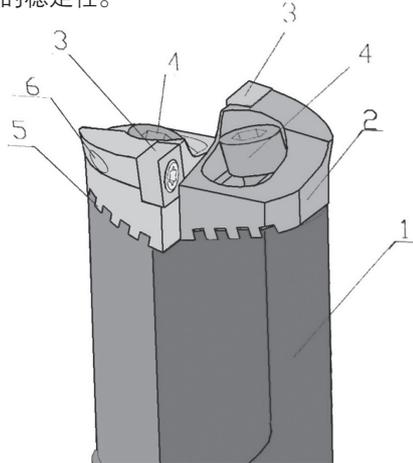


图25 无锡方寸的新型模块化可调直径粗镗刀

上海松德也展出了他们的微米级镗刀和减振镗刀（见图26）。

与常规微米级镗刀调节精度每格半径1m直径2m不同，上海松德将微米级镗刀的调节精度提高到每格半径0.5m直径1m。松德介绍说，其精镗刀主要部件由不锈钢制成；调整精度特别高，加工稳定可靠；通过不同刀座的更换可实现镗孔范围的扩展，减少镗刀库存数量；可选择安装不同类型刀片的刀座，适应不同的加工材料及工况；模块化接口，拆装简单方便。这种微米级镗刀的尺寸范围已覆盖了 $\phi 2 \sim \phi 86\text{mm}$ 。上海松德凭借这一产品在本届CCMT展会上获得了中国机床工具工业协会颁发的“CCMT2016春燕奖”。



图26 上海松德的微米级镗刀

上海松德展台上另一个引人注目的产品是减振镗刀（见图27），这一产品刚刚获得了当年的“金属加工行业——2016荣格技术创新奖”。松德介绍说，减振刀有效解决了长悬伸刀具切削振颤问题，特别是在深孔加工中的减振镗刀应用最为广泛。但一直以来减振刀具被国外刀具品牌所垄断，国内刀具制造业始终难以望其项背。松德研发团队坚持不懈地致力于减振系统的研究，终于攻克了这一难题。上海松德的技术人员充分研究了动力减振技术和阻尼减振技术，设计开发出了独特的有阻尼减振系统及其结构形式，有助于精确地将刀具振动的振幅快速减至最低；同时研究了切削振颤控制技术，便于准确地确定不同领域的振动类型，有效地控制这些振动。因此，松德的阻尼减振镗刀悬伸长径比可达加工孔径的10倍，加工孔径范围 $\phi 21\sim\phi 300\text{mm}$ 。同时，这种减振镗刀使用简单，无需在线调整；性能稳定，在不同的切削环境下均能达到有效减振防振的效果；加工效率比普通刀具效率提高2~10倍。



图27 上海松德的阻尼减振镗刀

#### 四、螺纹、齿轮加工

在螺纹刀具方面，伊斯卡展出了带10个切削刃的IQ五角双头螺纹刀（见图28）。伊斯卡介绍说，该刀片采用了其通用合金牌号IC908，螺纹刀片寿命显著延长；相比于常见的三刃平装螺纹刀片，该刀片增加了切削刃数量；刀体设计有内冷却通道，既适用于常规冷却加工，也适用于高压冷却加工；刀片转位简捷方便，操作者不需完全取下刀片锁紧螺钉即可在机床上进行转位操作(不包括换面)，故可实现“无停机时间”。



图28 伊斯卡IQ五角双头螺纹车刀 (DECA-IQ-THREAD)

苏州錡玛展出了一种石油阀门专用螺纹铣刀（见图29）。錡玛介绍说，用于石油阀门零件的刀具尤其要能够适应恶劣的工作环境，确保安全可靠。这是因为客户机床通常为大功率的卧加，平常大多进行石油阀门的面铣和大孔加工，刀具一般为大的铣刀盘和大的浅孔钻，负载非常大，这样久而久之主轴和刀柄的精度都不太好；加上石油阀门的材料为有一定耐腐蚀性的高强度合金钢，加工难度大。在这种工况下，螺纹铣刀必须克服跳动大和振动大的困难，才能确保铣刀在切削过程中不崩刃和断刀，加工出来的螺纹也不会有喇叭口的现象。

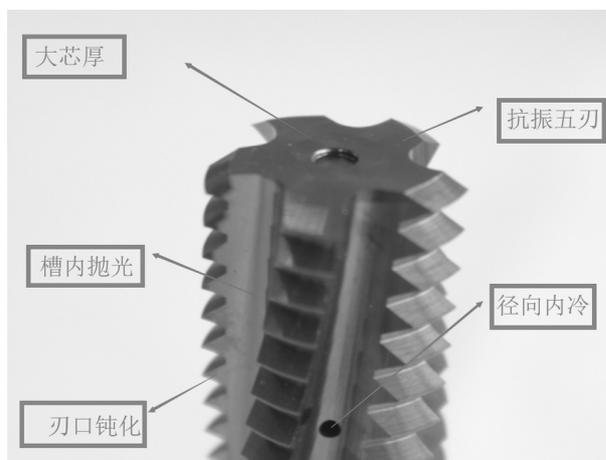
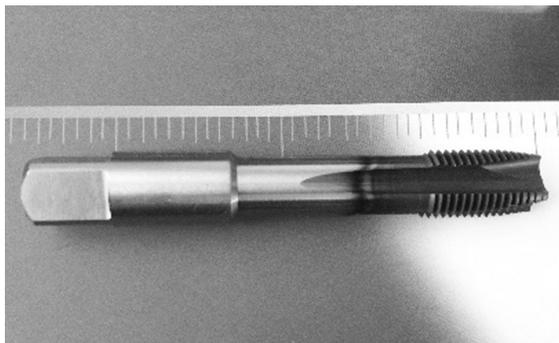
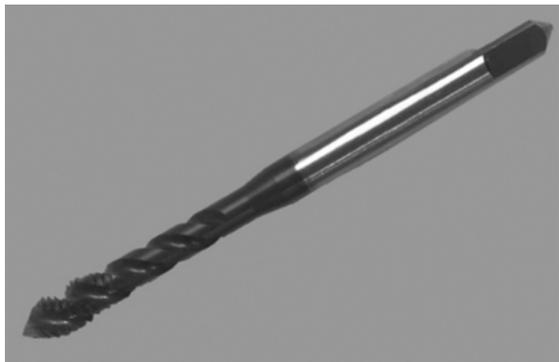


图29 苏州錡玛的石油阀门专用螺纹铣刀结构

成都成量工具展出了其开发的3种专用丝锥（见图30）。第一种是汽车轮毂专用丝锥。这是一种针对汽车轮毂通孔专门设计的螺尖丝锥，采用高性能高速钢和M.power涂层，适用于S53C等难加工材料的加工和硬度在25~32HRC的其它淬火钢加工。成量推荐了35~40m/min的切削速度（采用油或冷却液）。第二种是针对加工奥氏体不锈钢等难加工材料（如301、304、305、316、316L等）而设计的专用丝锥，同样采用高性能高速钢和M.power涂层，但丝锥的槽型经过特殊设计，推荐的切削速度降低到了4~8m/min。第三种是针对淬火后材料硬度达到45~52HRC的高硬钢加工的丝锥，材料采用粉末冶金高速钢和M.power涂层，结构上是多刃直槽，成量推荐的切削速度进一步降低到了2~4m/min或者手动攻丝（采用油或油膏冷却）。



(a) 汽车轮毂专用丝锥



(b) 奥氏体不锈钢专用



(c) 高硬钢专用

图30 成都成量工具的3种专用丝锥

在齿轮刀具方面，德国蓝帜展出了滚刀—倒角复合刀（见图31）。蓝帜介绍说，此刀具可以根据齿轮加工的要求设计为粗滚、倒角和精滚或粗滚、倒角，精滚刀的加工精度最高可达IT6~7级，可取代原有的剃齿工艺，同时倒角加工效率比原工艺提高30%，而且省去了倒角机的投入，大大降低了生产成本和设备投资。这款刀具既适用于加工汽车工业的小模数齿轮，又适用于风电、建筑、起重机、军工等行业大模数多齿数的齿轮加工。蓝帜表示，随着对齿轮精度的要求不断提高，倒角的质量及效率要求将逐渐成为重要的问题，其独创的倒角刀系统既可提高产品质量，又可大幅提高生产效率，降低加工成本。

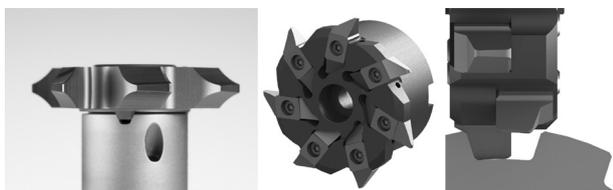


图31 蓝帜的滚—倒刀具系统、加工状况及结果

哈一工也展出了可转位齿轮滚刀。哈一工介绍说，他们的可转位齿轮滚刀采用模块装配式结构，由多片刀夹模块及两侧法兰盘组装成一件滚刀。适用于磨磨或磨前大模数齿轮的高速、高效加工。这种滚刀的刀夹模块为片状结构，每个刀夹模块形成一圈螺旋线，制造精度更高；刀齿为硬质合金可转位刀片，刀片刃口用钝后可直接转位（更换刀片可在机床上进行而无需卸刀，减少辅助时间）。

除了可转位齿轮滚刀，哈一工也展出了可转位齿轮铣刀，包括可转位齿轮粗铣刀、可转位半精切齿轮铣刀和可转位精切齿轮铣刀。以可转位精切齿轮铣刀为例，哈一工的展品可加工8~9级精度齿轮，带倒角的铣刀可直接加工出齿轮倒角，而带沉割的齿轮铣刀可用于磨制齿轮的火前加工，能够获得更高的表面质量，避免淬火时的应力集中问题。

德国号恩这次也展出了一款齿轮铣刀（见图32）。号恩的齿轮铣刀是与其盘形锯片铣刀类似的结构，分为头部整体式、多齿单排和多齿双排几种。号恩说，他们提供从模数0.5到模数30的齿轮刀具，可加工直齿圆柱齿轮、铣削轴/轮毂连接、插削内齿、铣削蜗杆轴及非标齿轮。



(a) 头部整体式 (b) 多齿单排 (c) 多齿双排

图32 德国号恩的齿轮铣刀

## 五、成形加工刀具

成形加工刀具是刀具厂商提供解决方案的重要特征之一。在本届CCMT2016展会上，不少厂家尤其是国内刀具厂商展出的成形刀具颇为令人欣喜。

哈一工展出了可转位转子槽铣刀和可转位榫槽拉刀（见图33）。哈一工介绍说，可转位转子槽铣刀是一款专业化极强的专用配套刀具，是加工大型电机各类转子槽最理想的刀具。哈一工根据用户需要先后设计制造了5万至100万千瓦发电机组转子槽粗铣刀、半精铣刀、精铣刀等配套刀具，其中有加工直槽的铣刀，也有半精加工斜槽铣刀及精加工斜槽铣刀等等。铣刀刀片切向排列在可换刀片座上的相应位置，具有最佳的刚性与可靠性，能最大程度地发挥机床的效率，因此，该转子槽铣刀也是最经济的电机转子槽加工刀具，在国内电机行业广泛应用。

哈一工的可转位榫槽粗拉刀，通用性强，拉削槽型为矩形，适用于对键槽或榫槽等成形槽的粗拉削，尤其适用于汽轮机行业的榫槽拉削。哈一工说，他们的硬质合金可转位粗拉刀在刃口磨损后只需更换刀片，无需再重新对刀，通过刀片及刀体的一致性就能保证拉刀的精度，减少了辅助加工时间，极大提高了该刀具加工机床的使用效率。

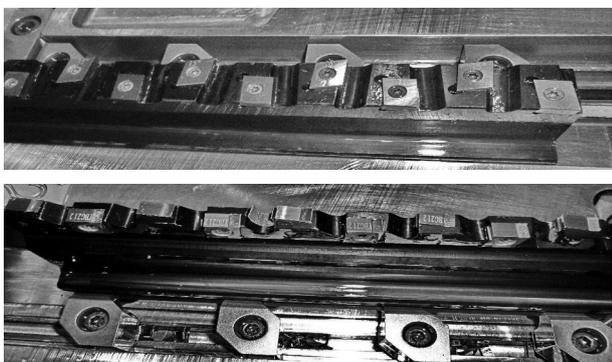


图33 哈一工的可转位榫槽粗拉刀

苏州阿诺展出了其曲轴、连杆的整体刀具解决方案和用于发动机缸盖、液压阀块加工的成形刀具（见图34）。在阿诺的曲轴整体刀具解决方案中，30倍长径比的超长整体硬质合金钻头特别引人注目，已经达到与国外类似的高水平。阿诺还展出了几种有优势的产品：用于刹车盘等产品加工的多槽钻浅孔钻有效解决了浅孔钻孔倒角一次加工刀具修磨次数少成本高的问题；用于钎具行业43~55HRC高硬材料精密加工的强力钻，有效实现了以钻代铰，极大地提高了加工精度和工作效率；为液压行业开发的成形阶梯钻有效解决了阀块孔加工尺寸、结构复杂问题。

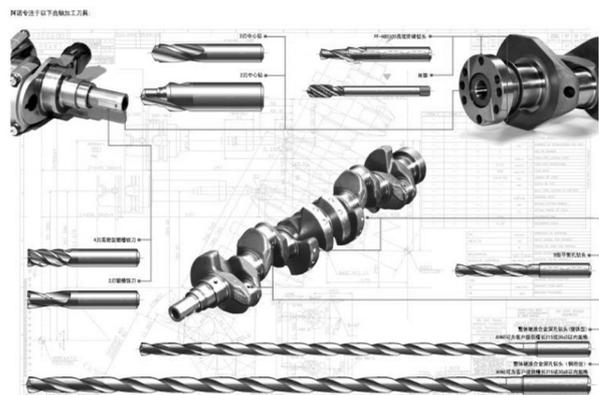


图34 苏州阿诺的曲轴整体刀具解决方案

无锡方寸也展出了多款成形刀具。图35是无锡方寸展出的为柴油机高压共轨系统零件“轨”提供解决方案的案例。方寸的解决方案包括了套车外圆及平面、铣外螺纹和套车零件的回油口。通过成形和复合，减少了加工时间和换刀时间，用户的加工效率大为提高，经济效益较为显著。



图35 无锡方寸用于柴油机高压共轨系统零件“轨”的解决方案

## 六、工具系统

在工具系统方面，德国翰默展出了带安全锁（Safe Lock）的飞瀑（Cool Flash）刀柄。几年内，翰默先后推出了能防止刀具从夹头中拔出的安全锁技术（图36中红色箭头所指）刀柄和以贴近刀具喷射切削液为特征的飞瀑冷却（图36中蓝色箭头所指）刀柄，本届CCMT上翰默展出了将这两项技术结合在一起的刀柄。翰默介绍说，这种结合两种新技术于一体的新型刀柄在国内和国外的航空发动机制造业已得到了用户的认可，认为这样的刀柄对于耐热合金的加工很有帮助。



图36 德国翰默带安全锁的飞瀑刀柄

玛帕和尚亚则展出了采用3D打印的液压夹头（见图37）。由于液压夹头的液压腔形状要求较高，因此小直径的液压夹头制造存在较大困难。但3D打印技术的兴起为这种小直径液压夹头的制造提供了新的解决途径。玛帕和尚亚展出的3D打印液压夹头就是这种技术的应用成果。对于3D打印液压夹头的经济性，玛帕表示，由于他们的3D打印处于日夜连续生产的模式，成本不很高，其售价与传统制造的液压夹头相比相差不大。



图37 采用3D打印的液压夹头

洛阳信成是国内拉钉专业厂商。本次展会上洛阳信成展出的拉钉除了包括我国标准、国际标准、德国标准、美国标准、日本标准等相对大路的产品外，还有马扎克、三井系列拉钉、韩国三星卧式加工中心拉钉和德国巨浪机床专用拉钉。□

## 广告客户索引 | Advertisers Index

第十五届中国国际机床展览会	
CIMT2017.....	front cover
2017中国重庆国际机床展览会.....	广告号码36
China Chongqing International Machine Tool Show.....	inside front cover
《世界制造技术与装备市场》	
World Manufacturing Engineering & Market.....	Inside Back Cover
约翰内斯·海德汉博士（中国）有限公司.....	广告号码41
Heidenhain Co., Ltd.....	back cover
西门子（中国）有限公司数字化工厂集团.....	广告号码89
Siemens Co. Ltd.....	P1
埃马克机床（太仓）有限公司	
EMAG Machine Tools (Taicang) Co., Ltd.....	P2
开天传动技术（上海）有限公司	
KTR Co., Ltd.....	P3
山东法因数控机械股份有限公司.....	广告号码38
Shandong FIN CNC Machine Co., Ltd.....	P4
卡尔蔡司（上海）管理有限公司.....	广告号码488
ZEISS Co.Ltd.....	P5
武汉华中数控股份有限公司.....	广告号码 90
Wuhan Huazhong Numerical Control Co., Ltd.....	P6

健椿工业股份有限公司.....	广告号码 459
KENTURN NANO TEC Co., Ltd.....	P7
哈尔滨量具刀具集团有限公司	
Harbin Measuring & Cutting Tool Co., Ltd.....	P8
涌镇液压机械（上海）有限公司.....	广告号码486
Yongzhen Hydraulic Machinery (Shanghai) Co., Ltd.....	P9
沈阳机床（集团）有限责任公司.....	广告号码36
Shenyang Machine Tool (Group) Co., Ltd.....	P10
马波斯（上海）商贸有限公司.....	广告号码414
MARPOSS Co.,Ltd.....	P11
埃克森美孚（中国）投资有限公司.....	广告号码489
Exxon Mobil (China) Investment Co., Ltd.....	P12
第26届台北国际机床展.....	广告号码505
TIMTOS Show.....	P13
北京北一机床股份有限公司.....	广告号码47
Beijing No1 Machine Tool Co.,Ltd.....	P15
上银科技有限公司.....	广告号码 398
Hiwin Technologies Corp.....	P16
南京工艺装备制造有限公司.....	广告号码70
Nanjing Technical Equipment Manufacture Co., Ltd.....	P17

# CCMT2016数控转塔刀架展品评述

江苏宏达数控科技股份有限公司 吴华平

由中国机床工具工业协会主办的第九届中国数控机床展览会（CIMT2016）已经于4月15日在上海新国际博览中心圆满闭幕，本届展览会从4月11日开始，历时五天时间。在本届展览会上，云集了国内外众多知名企业，展出了代表最新数控机床的制造技术水平，特别是自动化生产线、智能控制技术、柔性制造单元等新技术、新产品带给我们新的启迪。

数控转塔刀架作为数控机床的关键功能部件，是体现数控车床整体水平的主要部分。我国的数控转塔刀架总体来说，经过业内人士的呕心沥血，目前有了很大的提高，无论从规格品种、产品结构、功能、性能等方面与国外先进水平相比差距越来越小。但是，最重要的技术方面确实存在不小的差距：刀架的精度、稳定性、可靠性、实用性等，要达到国际先进水平，路漫漫其修远兮，我们还需要不懈努力才能实现我们的目标。

这次展览会在机床行业市场几年连续下滑的形势下举行，规模较往年要小，参展商的数量与各自展出规模都有降低。特别是数控转塔刀架参展商，是历届最少。

国外只有德国肖特和印度普拉盖蒂二家正式参展，台湾地区主要有旭阳国际精机股份有限公司、六鑫股份有限公司二家参展。国内主要有江苏宏达数控科技股份有限公司、烟台环球机床附件集团有限公司、常州新墅机床数控设备有限公司等。展品覆盖了经济型四方刀架到高档次动力刀架的全部产品，总体体现了国内外数控车床配置的数控转塔刀架大趋势。

展览会展示自身产品的一个窗口，各个企业都尽量用自己最先进、品质最高、最新的产品在展览会上亮相，以获得参观人员的重视、客户的青睐。其实，部分国外企业的产品并非如此，他是由国内代理商来参展，参展的产品就受到很大的限制。因此，部分国外产品的品种、技术水平会高于展出的产品。

## 一、产品对比

下面就这次展览会上的产品进行部分技术参数及品种做一个对比（见表1~表3）。

表1 动力刀架

技术指标	大陆企业			台湾企业		国外企业	
	企业A	企业B	企业C	企业A	企业B	企业A	企业B
动力头最高转速（转/分）	5000	5000	5000	4000	6000	5000	6000
分度精度（角秒）	±5	±6	±4	±4	±2	±2	±4
重复定位精度（角秒）	±1.6	±1.6	±1.6	±1.6	±1.6	±1.6	±1.6

表2 伺服刀架

技术指标	大陆企业			台湾企业	
	企业A	企业B	企业C	企业A	企业B
分度精度 (角秒)	±5	±6	±4	±4	±2
重复定位精度 (角秒)	±1.6	±1.6	±1.6	±1.6	±1.6
45° 换位锁紧时间 (秒)	0.42	0.50	0.45	0.42	0.42

表3 液压刀架

技术指标	大陆企业		台湾企业	
	企业A	企业B	企业A	企业B
分度精度 (角秒)	—	±7	—	—
重复定位精度 (角秒)	±2	±2.5	±1.5	±1
45° 换位锁紧时间 (秒)	0.65	0.65	0.60	0.60

## 二、原因分析

通过上述比较,可以看出国内产品的品种已经遍及各个种类,可以说是品种繁多,种类齐全。但是,在精度方面与欧洲产品相比有非常明显的不同,也可以说有很大的距离。这次展览会上展出的国内外复合切削中心配置的动力刀架基本都是意大利迪普马公司、德国肖特公司生产的产品,高速、高精的数控车床配置的也是欧洲几家的产品,始终看不到配置国内生产的数控刀架的车床。只有中档数控车床很少配置国内厂家的数控刀架。这是什么原因,个人认为有以下几方面的因素:

(1) 尽管展出的国内数控转塔刀架技术参数与欧洲产品相比非常接近,但是,由于各个国家或地区的某种文化区别,国内的技术参数一般是以高的方面标注,国外却是以最低的水平来标注,一上一下的结果是可以产生很接近的效果。

(2) 国内数控机床功能部件由于起步较晚,起点也比较低,开始配置中档数控转塔刀架时出现的问题相对很多,主机企业的设计、销售人员对此有长期的不信任感,至今还有挥之不去的感觉。因此,在选型、推销中高档数控车床时首选的就是欧洲产品。

(3) 在用户使用过程中,意大利迪普马、德国肖特产品的稳定性、可靠性、外观、精度、噪声、速度等方面非常有明显的优势,国内产品仍有较大差距。

## 三、结语

我们必须认识到自己的不足之处,发现别人的长处,取人之长,补己之短。

(1) 数控转塔刀架毕竟是以机械为主的产品,一个适合的机械产品有很长的生命力。因此,各家数控转塔刀

架生产企业不要在品种选择方面多多益善,而应该一方面根据市场的需求,另外一方面也要根据自己的特点来选择产品。产品种类宜精不宜多,产品品种多,企业的精力容易分散,不容易做出精品。就欧洲的电动刀架和台湾的液压刀架来说,一旦进入市场,基本不再改变。这两款刀架在市场上销售超过或接近二十年,目前仍然是中高档数控车床的必然配置,究其原因,是产品做得精。

(2) 数控金切机床行业已经连续五年的下滑,企业处于转型升级的重要时刻。这次展览会上主机厂设计的产品充分发挥了机器人的技术优势,推出了大量的自动化生产线、柔性制造单元,以满足目前机械制造业提高效率、降低劳动力成本的需求。而功能部件行业的新产品、新技术寥寥无几。因此,数控刀架行业的升级转型没有找到真正的抓手,难以发力,也就是没有真正找到自己的发展方向。

(3) 欧洲的数控转塔刀架行业与主机厂的配合是鱼水关系,相互依存,对数控机床行业的发展需要了如指掌,对自己产品的适应性得到及时了解和延伸。因此,数控转塔刀架除了配置在数控车床上,通过改型延伸配置到加工中心上实现多轴、多头加工,比如皇冠型刀塔,B轴动力头等。这种高端产品国内数控转塔刀架行业始终是望尘莫及,只能处于中低端产品的低价竞争中。在目前恶劣的市场形式下,低端产品市场的竞争带来的是数量,质量、技术的提高相对就很小。因此,与主机厂建立一种紧密的合作关系,产品联合开发设计,知识产权、技术共享,成为同盟,从而以技术取得市场才是长远发展之道。

目前,国家对数控装备制造业高度重视,在《中国制造2025》宏伟规划中,数控转塔刀架是其中重点项目之一。我们刀架人有责无旁贷的责任为行业的发展做出自己的努力。□

# 聚焦IMTS2016展会（上）

## ——IMTS2016展品情况介绍

中国机床工具工业协会

杜智强

在美国芝加哥举办的国际制造技术展览会（IMTS2016）上，来自国际的2407家机床工具和自动化制造装备制造商展示了各自最新、最主流的制造技术和装备。从本届展会展品的总体表现看，在技术展示上主要突出最新制造技术发展趋势方面的研究成果和探索方向；在展品方面则以美国及周边市场的实际制造需求为主，兼顾全球新兴制造需求。因此，IMTS2016在展品和技术方面与CIMT、EMO和JIMTOF等国际知名机床工具展览会的风格和主题内容有所不同。根据机床工具典型技术和产品领域的划分对IMTS2016的展品情况和主要技术特点进行梳理可发现以下几个突出的特点。

（1）加工中心和复合加工机床更加智能和高效，复合化和五轴联动技术业已模块化和功能化

（2）齿轮加工技术向制造系统深入发展，制造生态更趋完备

（3）磨削技术在追求极致的同时融入更多智能、高效和复合加工新技术

（4）重型和超重型机床表现低迷，但极限制造能力仍是工业重器

（5）特种加工制造技术随新兴制造需求兴起而快速拓展

（6）金属成形机床侧重市场实际需求

（7）数控控制和测量技术发力拥抱“工业4.0”

（8）工业机器人与先进制造系统深度融合

（9）切削刀具和机床功能部件适应自动化、柔性化和智能化背景下的先进制造要求

下面将结合IMTS2016上主要公司的展品分别介绍反映出的技术发展趋势，由于时间和能力有限，不足之处

还请业内人士批评指正。

### 一、主要展品和技术

#### 1. 加工中心和复合加工机床更加智能和高效，复合化和五轴联动技术业已模块化和功能化

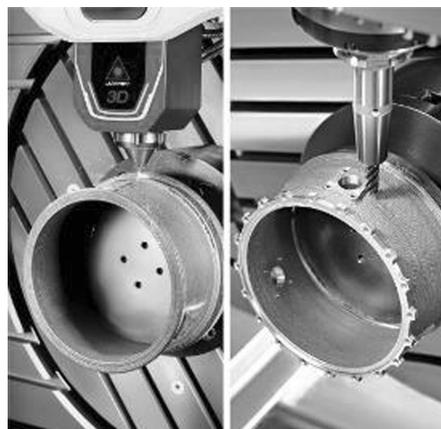
当今世界机床制造领域中，DMG MORI公司、MAZAK公司、Okuma公司和Makino公司无疑在加工中心和复合加工机床产品种类上最丰富，其产品在车铣类先进切削加工技术领域也处于领先地位，具有相当的代表性。上述主流公司在本届IMTS展示的展品反映出一些共同的发展趋势，即使用智能化和产出高效化。另外，五轴联动加工技术和复合加工技术已经比较成熟，一流公司已实现这些技术的模块化和功能化，可以在本公司产品线上方便的移植和拓展。这样不仅降低了五轴和复合加工技术的应用门槛和成本，而且大大提升了公司产品线面向制造需求形成最优解决方案的能力。这是近年来该领域技术发展中反映出的一个突出变化。



从DMG MORI公司整个展品和近期技术研发成果看，复合技术和五轴加工技术已经很成熟，形成公司产品和技术图谱中一个完整的单元模块。在此模块化的发展思路下，几乎所有产品线都可以实现“高低简繁”的灵活机床配置，这对以更优的价格、更快的反应速度和更高的性能去赢得市场更加有利。其复合化突出表现在不同切削加工方式的复合和不同制造工艺的复合。比如，最新推出的MTG功能，即可在DMC 80 FDS duoBLOCK卧式五轴加工中心上一次装夹实现铣削、车削和磨削加工，提高了加工精度和设备的集成度。其中，磨削功能可实现对内外圆和平面的磨削，磨削表面粗糙度 $Ra < 2.54 \mu m$ ，圆度小于 $10 \mu m$ 。



不同制造工艺复合的突出代表就是复合了3D打印功能的五轴立式加工中心和铣车复合机床代表型号分别为LASERTEC 65 3D和LASERTEC 4300 3D。两年前推出的LASERTEC 65 3D，配备2.5kW激光器，可实现与铣削刀具的自动更换。



最新又增加了ULTRASONIC磨削/铣削复合功能，使得加工能力涵盖3D打印成型、车削、铣削和磨削基本制造工艺流程。LASERTEC 4300 3D是最新推出的3D打印复合加工机床产品，在数控车铣复合机床基础上增加3D打印功能模块，加工范围 $\phi 600 \times 1500mm$ ，除具备3D打印成型和车铣复合加工功能外，激光喷头的数量增加到5种，并可以实现自动更换。由于机床采用双主轴（C轴）结构，可以对工件的6个表面进行最终加工。

上述两种新型复合加工机床主要用于由多种金属材料组成零件的复杂表面高效制造领域，比如石油工业中的钻头零件，航天中的涡轮室零件，模具和泵轴杆等。



正是基于上述模块化和功能化的软硬件载体，DMG MORI公司实现了在不同应用领域提供全套解决方案的能力，拓展了应对市场需求变化的产品技术快速重构能力。由于高端应用领域具有技术升级快、预研投入大和研发周期长等特征，形成产品技术快速重构能力对于有志于开拓高端市场的机床制造商来说就显得尤为重要。

MAZAK公司，在本届展会上也是倾力展示旗下最新的机床产品，共展示了20余台先进数控机床和制造单元产品，包括车削、铣削、复合加工和五轴加工机床等。

本届展会上，MAZAK公司在数字化制造解决方案的最新研究成果方面又有进一步的展示，人们口熟能详的工业物联网(IIoT)在本展区内就以“数据驱动技术”的方案得到展示。并且还根据用户的实际情况提供了不同水平的解决方案，从单机到工厂级的互联，这使得用户可以选择适合的方案来更好的使用机床设备。



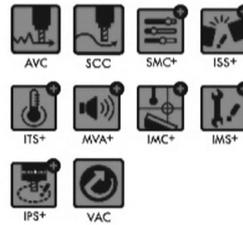
MAZAK公司也在不同制造工艺复合方面有前瞻性的研究和实践。继Integrex i-400am之后，MAZAK公司新推出VC-500 AM铣削与增材制造技术复合的机床。该复合机床结合了五轴加工和激光熔覆技术，提高了加工零件的设计自由度，缩短制造周期，降低研发成本。VC-500 AM的加工直径达19.7"，高度达12"，工件重达440 lbs。激光熔覆头安装在加工主轴上，采用光纤激光器可以从无到有的制造近净成型零件，或者对磨损或损坏的零件进行修复。



VARIAXIS i-800T 立式加工中心则是最新推出的切削工艺复合的机床产品。其全功能的五轴加工能力和车铣复合技术，使得其可以对大尺寸、重载零件进行一次装卡全面精密加工。如果选配交换托盘系统，可以实现不间断的自动加工。另外，该机床还可以和PALLETECH物料系统结合，形成24小时/7天的无人值守的不间断生产能力。机床加工范围(D×H)：φ39.37"×19.69"，

φ31.5"×19.69" (带交换托盘时)；刀库根据需要可配置30至120把刀具；主轴最高转速10000rpm，功率：37kW；A轴150°，C轴360°。

INTELLIGENT MACHINE FUNCTIONS



由于采用SmoothX五轴加工数控系统，具有丰富的智能加工辅助应用程序(见左图)。这些应用程序可以实现温度控制、安全保护、加工优化等方面的功能，提升了机床应对多任务、复合化加工需求的能力。

Okuma公司，在本届展览会上共展示十几台先进数控机床及最新的制造技术。其中，全球首发的机床有两台，分别是GENOS L3000-M带铣削功能的入门级数控卧车和V920EX回转直径为36"的数控立式车床。新品种的机床两台，分别是MU-4000V五轴立式加工中心和GA26W数控外圆磨床。另外，还有7台在性能上有所改进的机床展品。可见Okuma公司主要是面向美国市场需求准备的相关展品。下面主要介绍下MU-4000V五轴立式加工中心的基本情况。

MU-4000V五轴立式加工中心是面向多品种小规格零件的制造需求。通过一个多功能夹具可以实现面铣削和车削的高精度加工，柔性夹持功能可以提供更宽的加工适用面和更小的占地面积。最大加工范围(X/Y/Z)：740mm/460mm/460mm，工作台直径：φ400mm，主轴转速：15000rpm(可选配20000、25000rpm)，主轴功率：22 kW(可选配30 kW)，X/Y/Z 快移速度：



50m/min, 刀库容量: 32把链式(可选配48、64链式; 64把以上采用矩阵式)。

MU-4000V五轴立式加工中心配置OSP-P300数控系统, 具有OSP解决方案, 操作简单, 界面友好。采用全方位的智能技术, 包括热友好的概念、防撞系统、加工导航和五轴自动调节系统, 非常适合用于航空航天和模具行业。

INTELLIGENT TECHNOLOGIES

STANDARD



Thermo-Friendly Concept

OPTIONAL



Collision Avoidance System



Machining Navi



5-Axis Auto Tuning System

Makino公司, 在本届展会上以全新的加工中心展品和工程解决方案展示向参观者诠释如何构建自适应的自动化制造系统以适应不同的用户需求, 如汽车、模具、航空航天和通用设备制造等。由于北美市场对降低制造成本的竞争日益激烈, 对机床自动化和高效加工能力的要求也日益高涨。



50m/min, 刀库容量: 32把链式(可选配48、64链式; 64把以上采用矩阵式)。

MU-4000V五轴立式加工中心配置OSP-P300数控系统, 具有OSP解决方案, 操作简单, 界面友好。采用全方位的智能技术, 包括热友好的概念、防撞系统、加工导航和五轴自动调节系统, 非常适合用于航空航天和模具行业。

a51nx、a61nx、a71nx卧式加工中心是本届展会上展出具有新技术应用的展品。a51nx和a61nx卧式加工中心的新版本通过增加新的制造功能实现扩展设备加工能力, 包括视觉刀具破损检测, 惯性主动控制和几何智能技术等。为了扩大中等规格零件的加工制造能力, IMTS 2016上还介绍了新的a71nx, 50锥度的高速主轴, 500mm卧式加工中心带一个标准直驱数控转台, 以及NX系列的下一代技术等。

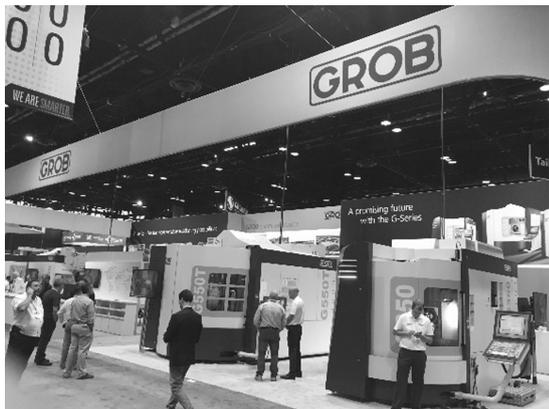


Makino公司还展示一些新的立式加工中心系列产品, 如L2立式加工中心, 可以实现大批量小型零件的高效加工, 且占地面积很小; 新的DA300五轴立式加工中心的高加工速度减少了制造时间, 并且托盘共用系统有助于减少准备时间和物流转换与加工主轴间的高效无缝衔接。



其它公司, IMTS 2016上, 除了上述几家展位面积比较大, 展品多、综合性强的公司以外, 还有一些传统“专精特新”的小巨人型机床制造商, 其产品和技术专注于一些应用领域, 技术水平丝毫不逊色于大规模的综合性机床制造公司。比如, 瑞士+GF+集团中的米克朗高速加工中心, 日本JTEKT的丰田工机立/卧式加工中心及

FMS, 德国GROB五轴加工中心和奥地利WFL的大型车铣复合加工机床(可复合激光增材制造技术)等。这些公司的展品也或多或少反映出当前加工中心和复合加工机床在技术发展趋势上共通的一些特征。由于篇幅所限就不一一列举了。



## 2. 齿轮加工技术向制造系统深入发展, 制造生态更趋完备

齿轮加工技术和机床是先进制造技术和装备中的一个重要领域。随着风力发电、船舶、海洋工程装备和汽车等应用领域对机械传动效率和寿命要求的不断提高, 对齿轮加工技术的极限也不断被突破。这些快速增长的新应用需求使得齿轮加工技术取得不断进步, 同时也呈现出一些鲜明的发展趋势。主要就是齿轮加工技术正在向形成涵盖机床、测量仪、制造控制软件、工装及切削刀具的系统化制造体系发展, 即一体化解决方案; 该系统内的上下游配套关系更加紧密, 实现以追求齿轮极限制造精度目标下的最优配置, 类似自然选择下形成的生态系统。下面选择本届展会上的一些国际主流齿轮加工机床制造商的展品情况来梳理该领域的发展趋势。

Gleason公司, 在IMTS 2016上以提供一体化解决方案的理念全面展示了公司旗下涉及铣齿、滚齿、磨齿、测量和齿轮刀具等方面的产品, 这也是Gleason公司一贯的风格。这次的展品主要有260GX新型螺旋砂轮磨齿机、300PS硬齿面强力刮削机床、500CB齿轮刀盘检测仪、400HCD数控滚齿倒角机床、GMSL多传感器测量系统和齿轮切削刀具等。

200/260GX新型螺旋砂轮磨齿机是最近新开发的产品系列, 该产品采用双主轴结构实现最高的加工效率和最少的调整时间。最新开发的260GX磨削工艺软件具有扭矩控制和镜面加工要求的抛光/磨削功能。使用简便的操作向导软件可以在20分钟内实现更换加工零件程序设置。采用“First Part Cycle”可以实现自动化的首件加工设置。

300PS硬齿面强力刮削机床在本届展会上是首次推出, 实现在内齿精密加工方面的突破。格里森公司可以提供定制化的解决方案来满足高要求的零件加工需求, 包括强力加工机床、模块化夹具和合适的切削刀具等。格里森强力刮削仿真软件可以展现切削过程中的每次切削过程, 确保加工周期最小化和刀具寿命最大化。

500CB齿轮刀盘检测仪是本次展会首发的自动化、精密和可重复安装刀盘检测仪, 调整和检测均为闭环定位, 同时还可控制刀片固定螺栓的拧紧力以实现安装精度和自动化的要求。

400HCD数控滚齿倒角机床带有新的GEMS 软件包, 最新特点是可以实现滚齿和倒角并行加工。这个新功能可以使用户在加工中型齿轮时比以前更加经济, 柔性更强。为了实现干式滚齿切削, 400HCD配置了最新的高速主轴、滚刀和刚性更强的结构。当然, 还装备了最新的操作软件包实现简便、高效的机床控制和操作。



其他还展示了新型GMSL多传感器测量系统，紧凑的和智能的设计，集成巴克豪森检测能力和表面粗糙度测量，具有六个运动轴可实现齿轮完整的形面精度测量；具有RFID射频技术的现代刀具管理系统和完整的齿轮加工工具体系，包括G90材料的新切切削刀具材料（优化的抗磨损涂层），强力刮削刀具，创新的Pentac® Plus RT刀具夹头实现快速更换功能，用于磨齿和珩齿砂轮修整的工具等；Quik-Flex® Plus新一代的齿轮快换夹具系统和适应干式滚齿加工的液压夹具解决方案，等等。



EMAG公司，是一家全球化的机床制造商，旗下拥有多个专有品牌和主流的倒立车床产品，比如Eldec, Naxos-Union, Koepfer, Reinecker, Lasertec, ECM, Kopp, and Karstens。公司产品主要是用于汽车、越野车和其他动力传动部件制造领域的生产制造单元。在本届展会上展示了其知名的车削中心、齿轮加工机床、磨削、铣削、倒立车和镗孔机床，还有先进的电化学加工和激光焊接设备，以及热处理等。

VL4是模块化的立式车床，具有自动化集成、高生产效率和较小的占地面积，适合用于生产线组线。可加工直径达 200 mm 的工件，工件夹持主轴通过十字滑台固定在前部并可实现向 X 和 Z 轴的移动，带有12把切削刀具的刀塔进行切削，动力刀架最大转速6000rpm。机床通过主轴移动自动上下料，传送带将毛坯和加工完成品循环运入和运出机床。本机床还可以选装一个Y轴以用于更为复杂形状零件的加工。



VM9是最新系列的模块化机床，可以复合车削、铣削、钻削功能，用于大尺寸盘类零件的制造。由于工件主轴位于床身下部，VM9的车削直径为450mm，工件最大高度是300mm，工件最大重量300kg。



LIEBHERR公司，在IMTS 2016上主要展示了六个方面的展品，分别是LC180数控滚齿机床（带独立倒角单元），LGG280数控磨齿机，LS180F数控插齿机，PHS立体仓库技术，RLS回转上下料单元和齿轮切削刀具。



LC180数控滚齿机床（带独立倒角单元）最大的新优势是可以将原来滚齿和倒角两个工序合并在一台机床上同时进行，提高了加工效率和成本效益最大化。HSK 50接口的倒角切削主轴，安装的铣削主轴带有冷却喷嘴。独立的滚齿和倒角主轴均进行了刚度优化。工件直径180mm，模数3mm，滚刀直径90mm，滚刀转速6000rpm，倒角长度213mm。



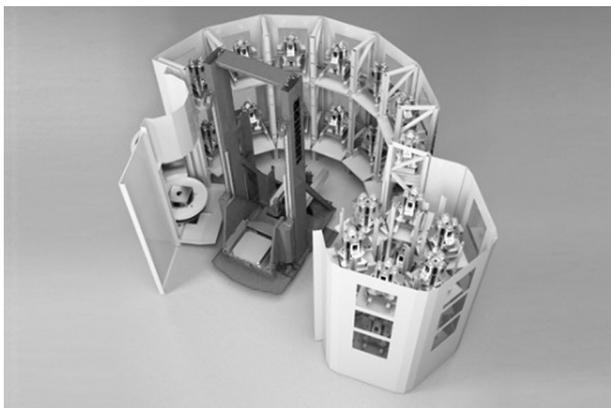
LGG280数控磨齿机是新开发的一代数控磨齿机。具有抛光功能和在机齿轮检测能力。工件直径280mm，模数6mm。突出的特点是新的磨头部件，磨齿时可以安装磨抛一体的蜗杆砂轮，一部分用于磨齿，一部分用于抛光；针对高精度磨齿的GH5.0/5.1砂轮头，配置双端动平衡系统，砂轮芯轴的主轴锥面为HSK50/40或者HSK40/32，转速分别为12000rpm和17000rpm。砂轮最大直径220mm，长度200mm。该系列机床还有加长型和高效磨削型（换装更大磨头部件GH6.0）。



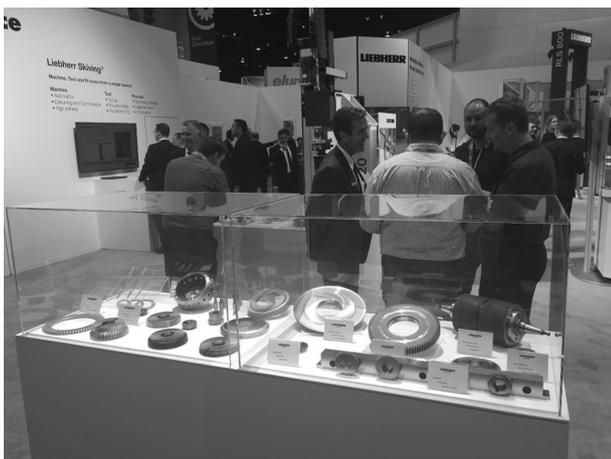
LS180F数控插齿机是面向变速箱制造中的多联齿轮轴零件的高效加工需求，这些齿轮零件往往为了追求紧凑的空间而导致齿轮间距离很小，其他齿轮加工工艺无法应用。新设计的该型机床插齿刀驱动采用数控方式，这有效降低了设置时间，并提高了加工精度。还有一个好处是可以实现工件一次装卡完成内外齿的加工。最大工件直径：180mm，模数：5mm，最高加工效率：1500、2000、3000往复/分钟，往复行程：70mm，切削范围：275mm，插刀锥柄：SK40/HSK-B80。



RLS回转上下料单元主要用于高效生产制造场合，具有占地面积小，存储效率高，模块化设计组线灵活等特点。既可以一台机床使用，也可以两台机床共用。存储和移动能力可达800-1500kg。



齿轮切削刀具部分主要展示了新近开发的齿轮刮削刀具，以替代成本昂贵的内齿拉削刀具。该刀具的间隙和实际前角在切削接触过程中会不断变化，巨大的切削力作用于齿轮刮削刀具的连续切削和挤压过程。同时切割和整形对制造该类刀具的材料也提出了更高的要求。还有用于不同应用领域的PM钢刀具、滚刀、硬质合金刀具等。



REISHAUER公司，在本届展会上展示的还是其主打产品RZ260蜗杆砂轮机磨齿机床，加工齿轮最大直径260 mm，模数0.5~4mm，螺旋升角 $-45^{\circ}$ ~ $+45^{\circ}$ ，齿宽150 mm，传动轴最大长度490 mm，最大磨削速度80 m/s，砂轮直径125或160 mm。对于生产率要求非常高的场合，可配备双砂轮主轴。在此配置中，主砂轮可以与位于第二主轴上的砂轮进行交换。还具有很大的灵活性，通过使用一个旋转修整装置可实现在更大的范围内修整齿轮。



为了适应自动化生产的需要，在本次展会上还展示相应的解决方案，即集成自动存储系统-堆垛存储单元 FSC 600。该系统由REISHAUER公司旗下的子公司Felsomat为物流传输生产线而独特设计的。堆垛存储单元的高度、长度和功能均可以无限扩展，并且可以根据生产需要进行更改。堆垛交换由操作者在中央装载位置操作，而不用中断存储单元的运行。

### 3. 磨削技术在追求极致的同时融入更多智能、高效和复合加工新技术

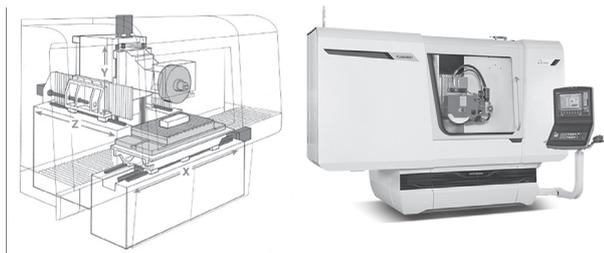
磨削技术和机床一直是先进制造技术领域的一个重要部分。随着对加工精度、效率的不断提高，特别是被加工零件基于寿命要求而采用高性能材料和表面硬度不断提高，磨削加工正越来越多成为许多零件制造流程中的最后一道“关键”工序。因此，在上述应用领域磨削加工的精度和效率也就决定了整个制造系统的精度和效率。近几年，国际磨削技术研究和工程领域在不断追求最大、最小、最精等极限制造的同时，也在向智能、高效和复合加工等方向拓展。这些新变化是制造领域提出的新需求推动的，另外新兴技术间的融合也将引起制造技术体系的全新变革。

UNITED GRINDING 集团,在本届展会上集中旗下在磨削及相关制造领域的8个子品牌向参观者展示在平面成型磨削、外圆磨削和刀具磨削方面的最新技术研究应

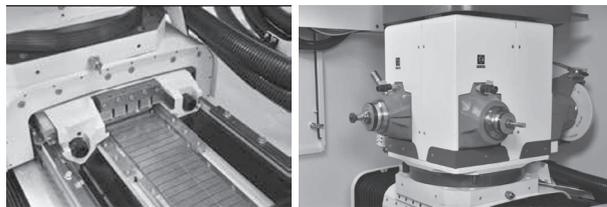


用成果，主要包括创新性的数控万能内圆磨床可实现圆角磨削能力和用于金刚石刀具加工的激光精细加工机床等。同时，还展示了带有工业机器人的磨削加工系统，可以实现和操作者同时工作。

Blohm公司推出带有Fanuc CR-7协作机器人的Planomat HP 412平面成型磨床，不仅可以实现自动上下料，而且可以在没有安全围栏和光栅的情况下与操作者在同一区域一起工作。这有助于操作者搬运较重的零件，同时操作者可以随时继续和中断机器人的运行。重新启动后，机器人将自动继续执行任务。Planomat HP 412平面成型磨床采用精密滚珠丝杠和免维护的线性导轨驱动，Y和Z轴安装光栅尺实现闭环控制，因此进给速度和精度都得到很大提高。磨削主轴功率最高可选配24.5kW。配置新的EasyProfile控制工艺软件和Siemens 840D CNC，机床操作更加简便，该系列6个规格的机床加工范围分别为400 x 800 mm、400 x 1200 mm、600 x 800 mm、600 x 1200 mm、600 x 1600 mm和600 x 2000 mm。



STUDER公司新推出的带有圆角磨削功能的S131R数控内圆磨床，采用StuderGuide®导轨系统和直驱方式，同时B轴也采取直驱方式，旋转角度范围为-60°至90°，砂轮主轴转塔最多可以配置四个主轴。该机床拥有卓越的吸震性和优异的热稳定性的GRANITAN®S103人造花岗岩床身，适合于磨削超硬材料的模具类零件，如硬质合金、陶瓷和蓝宝石等。零件最大回转直径300mm，内孔磨削最大直径和最大回转直径一致，磨削长度可达177.8mm。外圆最大磨削直径160mm。并且可以采用B轴和X/Z轴插补联动的往复磨削方式达到抛光精度要求，实现外圆、圆锥和过渡圆弧的精密磨削加工。



Ewag公司的激光精密加工机床可实现对CBN、PVD、CVD等涂层材料的金刚石刀具传统加工方式的替代。机床具有5个机械运动轴、2个光路轴和短脉冲光纤激光器，可实现一次装夹下的所有表面的激光加工。具有自动校准和三维测量探头确保工件的安装精度不受焊接误差的影响，加工范围在直径7.87英寸和长度9.84英寸以内，可转位刀片直径0.12英寸到1.97英寸之间。工业20w短脉冲光纤激光器可产生532nm波长和1.5ns脉冲时间的激光，是加工超硬材料刀具的理想激光光源。该光源保证激光在材料产生离子体效应前完成对刀具的加工。



UNITED GRINDING 集团除了推出以上几种新机型以外，还展示了一些在精密、高效磨削领域的新技术成果。比如，采用陶瓷基体金刚石砂轮超精密磨削超音速火焰喷涂工艺（HVOF）处理过的零件外圆表面；带有Wiredress功能的S41，用于超高速、高精度和成型砂轮修整，效率提高30%等。另外，在刀具磨削加工方面，刀具磨削加工系统依然集成了磨削、测量和自动上下料系统以实现高效和高精度的制造。

TOYODA公司在JTEKT集团下主要展示了用于汽车制造领域的磨床展品，这些磨床大多属于在传统产品上的改型提高，技术创新性虽然没有欧美品牌那么超前，但应用的针对性很强。主要展品有用于磨削刀柄和曲柄的GL4i/GL5i数控端面外圆磨床，具有双主轴驱动工件的e300G中小规格生产型数控外圆磨床，TG4万能外圆磨床等。



其它国际磨削和超精加工机床展商和展品还有HARDING集团的KELLENBERGER数控内圆磨床，OKAMOTO公司的超精密的平面和成型磨床产品，NAGEL公司的砂带和油石抛光机等。



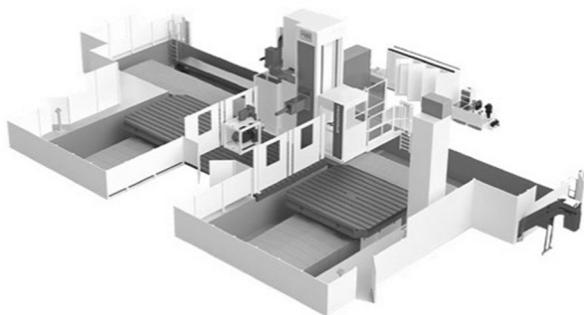
#### 4. 重型和超重型机床表现低迷，但极限制造能力仍是工业重器

受全球性的经济衰退影响，能源和交通运输业的需求下降明显，这也直接导致重型和超重型机床的市场形势表现低迷。本届展会上，相关展商和展品的数量和质量已大不如以往展会，不少知名展商没有参展，参展的展商也大多没有实物展品呈现。但从应用需求细分情况看，重型和超重型机床所代表的极限制造能力，特别是在航空航天、国防工业和能源装备等高端应用领域的极限制造能力依然是工业发达国家的“镇宅之宝”和工业重器。因为没有这些制造装备就造不出核心零件，就要受制于人，这也就体现出这些技术和产品的不可替代性。由于本次展会上，重型机床展品不多，大多数展商是以图片展板、关键功能部件和典型加工零件作为展示宣传的主要方式。下面以几个代表性的展商和展品介绍重型机床展品方面的情况。



PAMA公司, 在本届展会上提出的口号的“您的解决方案提供者”, 在展示方面主要通过视频和文字资料介绍公司概况、主要产品技术和解决方案案例等, 展品上没有实物机床, 仅展示了中高速船用柴油机缸体零件。从PAMA公司提供的资料上看, 产品和技术应用领域主要为:

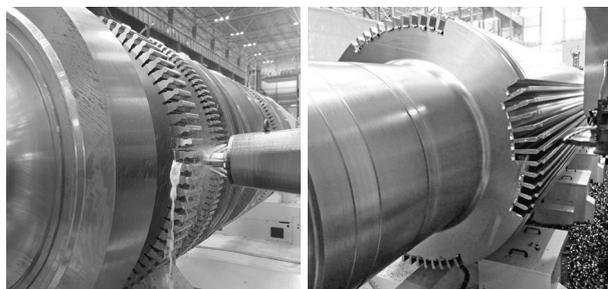
用于能源行业的大型落地镗铣床, 这一部分大约占到总产出的80%左右(其中90%出口), 主要代表机型是Speedram 4000, 配置Siemens 840D系统, 镗轴直径225mm, 转速1600rpm的最大功率和扭矩分别是100kW和17277Nm, 加工范围(X/Y/Z/W): 16000/5000/1600/1400mm, 静压转台可承载120t(尺寸4500mm x 4500mm)。



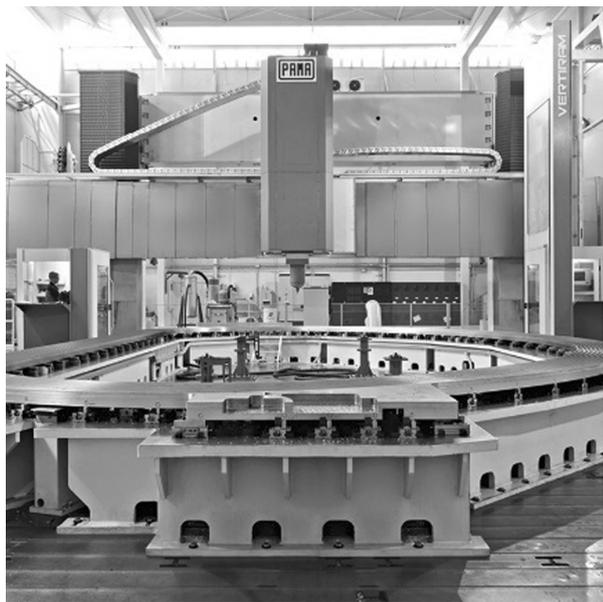
用于通用制造领域的镗铣加工中心, 可用于精密孔系的加工领域, 如注塑机机体加工, 代表机型Speedmat由六种基本机型组成, 其镗轴直径130mm(最高转速4000rpm, 功率37kW)和160mm(最高转速3500rpm, 功率52kW), 托盘尺寸1250 x 1250 mm至2000 x 2500 mm, 工作台最大承重10至25t, 工件最大回转直径φ2000至4600mm。



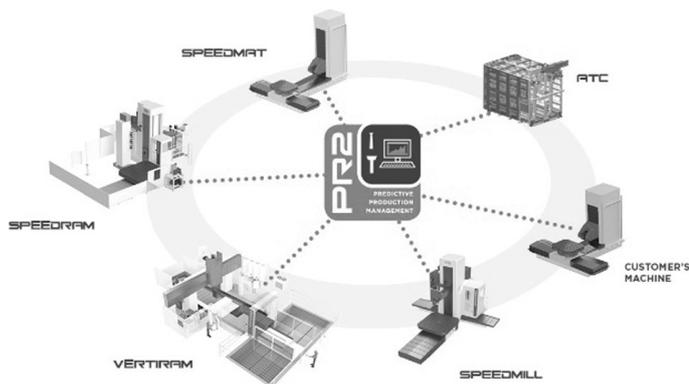
用于高效金属切削领域, 主要代表是汽轮机叶轮轴加工, 由于该类零件加工对精度和效率要求都很高, PAMA公司专门开发了MCR加工中心, 该技术方案是将两台机床布置在工件工作台的两侧, 实现由两台机床组成一个制造单元, 不仅提高效率, 也大大提高了精度。工件支撑系统由一个中心支撑架和两个液压支撑组成, 可以支撑最重220t和直径3m以内的叶轮转子轴。支撑轴径可在200mm至900mm之间调整。纵向行程15m, 立式行程分别为2.5m和1.2m。使用1.2m的铣刀盘可以实现最大300mm的切槽深度。



Vertiram是用于大型或重型零件加工的龙门加工中心，最适于立式主轴加工，镗、铣和车削加工可在一次装夹中进行。Vertiram系列龙门加工中心有龙门架移动式（GT）和工作台移动式（TT）型号可选，两者可配备固定或移动横梁和车削工作台等选项。大范围的立柱间距从2100到10100mm。主轴端面到工作台面距离从1700到5500mm。滑枕Z轴行程从1300到2500mm。主轴最高转速可从3000至7000rpm，主轴功率可从45至103kW。



预测性生产管理-PR2系统，PAMA研发的成套应用软件包更大地提高了用户的生产率和收益，这得益于方便型接口和预测性系统。



fives集团下属机床制造部门在本次展会上主要展示了落地式镗铣床、部分切削附件头等展品。由于辛辛那提和Line等机床制造商还在其旗下，所以在航空航天等高效高精领域的制造能力还是令人瞩目的。

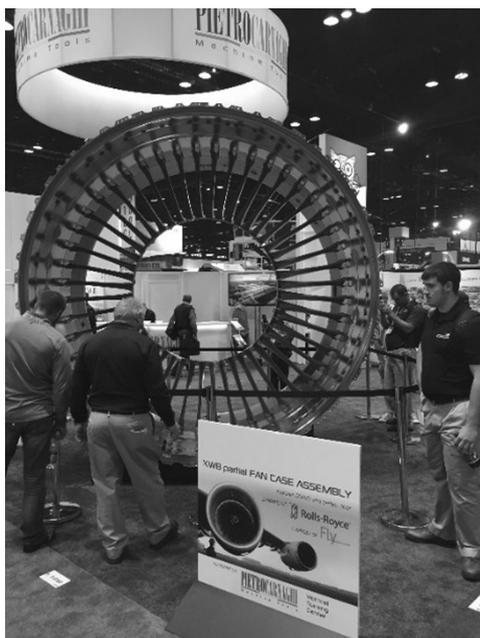


展位中最大的实物展品就是右图的RT130卧式镗铣机床，加工范围（X/Y/Z/W）：2500-3600/2100-3600/800-1250/1500-3500mm，最大承载：15000-25000kg。通过安装不同功能的附件头可以实现对国防工业、船舶、风电、工程机械等用户领域的大型零件的加工。

在附件头展品方面，展示了用于龙门铣床加工铁路行业的道岔、钢轨等零件的独特专利4+1轴铣头。其中，四个轴可以连续运动，A周摆动范围 $\pm 90^\circ$ 。齿轮驱动的铣削主轴，最大功率60kW，最大扭矩3800Nm，主轴锥柄ISO60。



PIETROCARNAGHI公司的展位上引人注目的是其为罗尔斯罗伊斯公司提供的航空发动机压气机叶片机匣组件，该组件上采用的是Ti6Al4V和碳纤维材料，机匣零件是采用该公司大型立式车削中心进行复合加工完成的。虽然没有机床实物展示，但来自高端用户领域的精密复杂零件很好的说明公司的技术能力、产品水平，展示效果也不比那些落了一座小山似的重型机床展品的差。因此该展位也吸引了不少观众驻足和交流。由此可以看出，重型机床产品的进一步提升如果不能和典型用户的高端需求相结合，就很难实现从提供机床向提供制造能力的蜕变，也就不可能实现从追求生产能力向追求技术提供能力的提升。



WFL公司是国际知名的大重型车铣复合加工机床制造商，其对产品技术研究非常专注。本次展会上主要展示了M120车铣复合加工机床实物、新开发的加工附件头和激光修补/加工技术。另外，还在展办上着力展示推介其最大规格的M200车铣复合加工机床，最大顶尖距14m，最大加工直径2m，最大工件重量60t。产品主要应用领域有：航空发动机传动轴、起落架零件加工；重型运载卡车的凸轮轴、传动零件加工；船用中高速柴油机曲轴零件加工；风电、工程机械、液压泵、海洋工程、印刷设备等领域的传动轴、螺杆转子、传动件等。主要产品型号从最大规格的M200到最小的M35，均可实现一次装夹下的完全加工。在复合加工技术方面又有新的发展，增加了激光增材制造技术的复合，在大型复杂型面零件加工能力方面又有新的拓展，不仅可以实现在

机的局部异型结构增材制造和加工，还可以实现对零件的局部修补、增强和再制造，提高了大重型机床的适用范围。



(未完待续) □

行业动态

## SW在苏州建工厂 意欲深耕中国市场

日前，德国埃斯维（SW）机床有限公司在苏州工业园区举行了新工厂开业庆典活动，这是SW集团在德国以外的首家海外工厂，表明了其对中国市场的重视和立足中国的决心。这也是世界上首家多主轴高端供应商首次落户中国。



埃斯维机床（苏州）有限公司总投资1750万欧元，工厂占地近18000平方米，现已具备在德国原装进口的SW裸机上完成交钥匙方案的服务，仅一号车间的年产就能就可实现44台。同时，苏州工厂还集合了客户定制服务、预验收、试切、技术展示、培训、备件仓库、售后服务等多项功能，SW致力于将相对完善的服务链带给中国客户。  
(来源：SW公司)

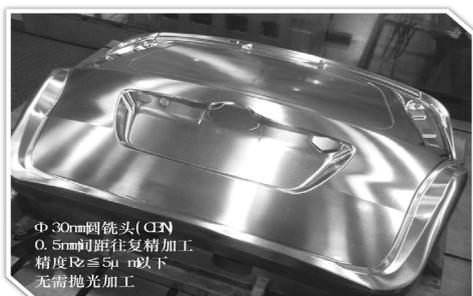
# 大型汽车覆盖件模具加工机床的选型及应用

东风汽车公司技术中心 杨兴

汽车覆盖件模具生产制造技术在国内日渐成熟，已经从过去主要依靠规模扩张和数量增加的粗放型发展模式，逐步向主要依靠科技进步与提高产品质量及水平为重点的精益型发展模式转变；从以引进消化吸收国际先进技术为主的发展模式，向引进消化吸收和提高自主创新能力并重的发展模式转变；从以技能型为主的行业特征向以技术型和现代企业管理型为主的行业特征转变；大力推进创新驱动的发展方式，积极培育和发展新的增长点。在国际市场方面，跨国公司到我国来采购模具的趋势和市场份额不断加大，模具行业的发展技术进入加速竞争的时代，各个模具公司均加大了先进技术和装备的投入。数控加工机床作为大型汽车覆盖件模具生产的重要装备，在模具生产质量、周期、成本控制上起着关键作用。在大型汽车覆盖件加工数控机床选型主要从以下几个方面综合评估选择。

## 一、高速加工性能保证模具零件的高品质

大型覆盖件的零件加工质量需求逐年提高，特别是模具的基准件的加工要求。具体体现在：加工型面公差控制在0.2mm以下；无明显段差和接刀痕迹；孔位尺寸公差小于0.02mm。



对于数控机床实现高速加工，机床需要对应以下技术参数：

### 1. 高速高刚性主轴

① 主轴直径：φ 100 转速不低于：12,000min<sup>-1</sup>；欧洲大型数控机床转速24,000min<sup>-1</sup>。

② 标准2面拘束主轴（对应BIG+规格）；HSK高速刀柄。

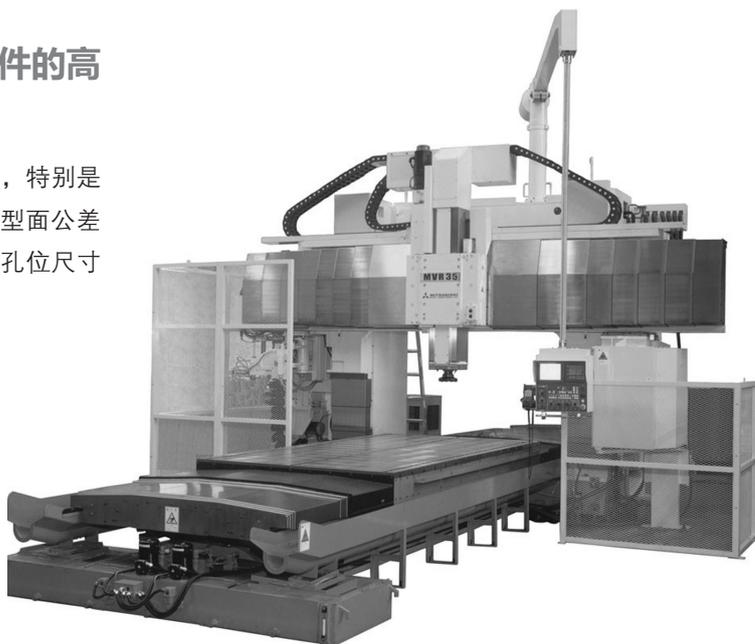
### 2. 高速进给

① XY轴：30m/min。② Z轴：10m/min。

③ W轴：4.8m/min（选用）。

### 3. 高速ATC

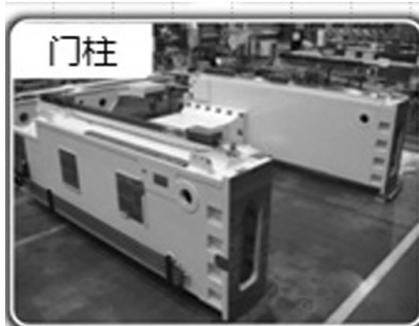
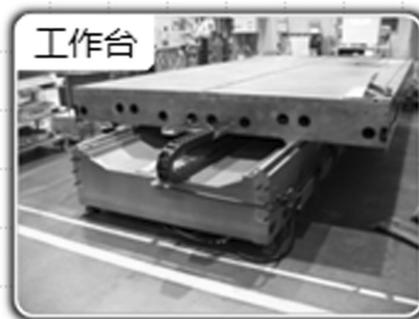
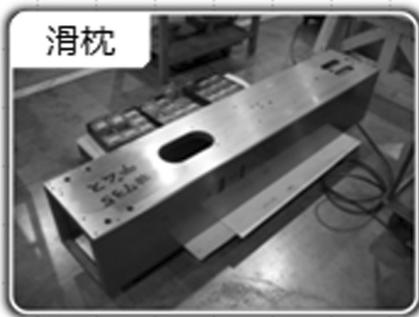
① Tool to Tool：5秒。② Chip to Chip：15秒。



## 二、高刚性结构保证模具零件加工过程的高效性

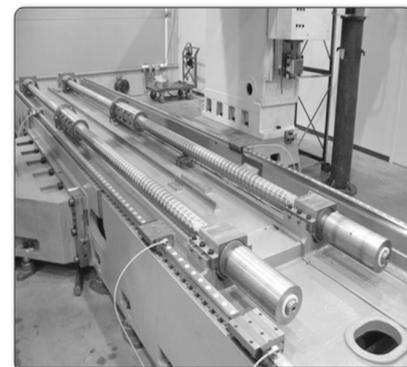
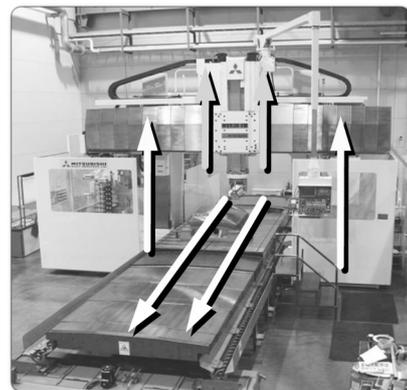
### 1. 铸件工作部件的使用

主要的工作部件由减振性高的铸铁件组成，对切削振动有高度抗性的机床结构，能够满足加工中刚性需求。



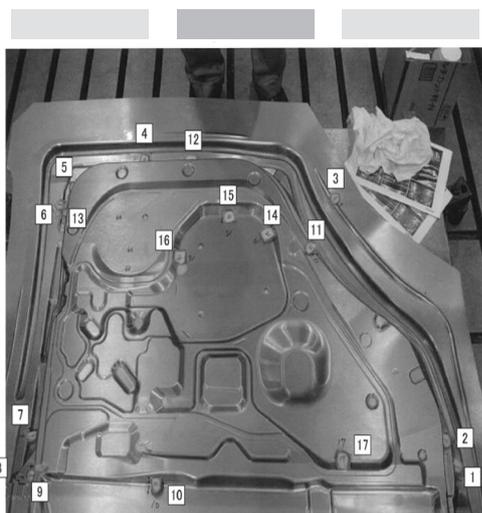
### 2. 双滚珠丝杆结构

X轴方向采用此结构在承载重型工件时加减速和反应精度会有效提升；Z轴刚性和进给稳定性能够长期保持。



### 三、热补偿功能和刀尖补偿功能保证模具零件的高精度

覆盖件模具对于零件的段差要求严格，通过机床功能有效减少段差对于后期模具调试不利因素，通常段差控制在0.02mm以下。



测定番号	Z方向落差	壁落差
1	0.019	0.017
2	0.013	0.009
3	0.014	
4	0.013	0.009
5	0.013	0.011
6	0.017	0.003
7	0.016	0.017
8	0.019	0.013
9	0.014	0.013
10	0.011	0.018
11	0.010	
12	0.006	0.014
13	0.011	0.013
14	0.012	0.018
15	0.013	0.019
16	0.007	0.009
17	0.014	0.013
最大	0.019	0.019

工件名称: 车门内板。

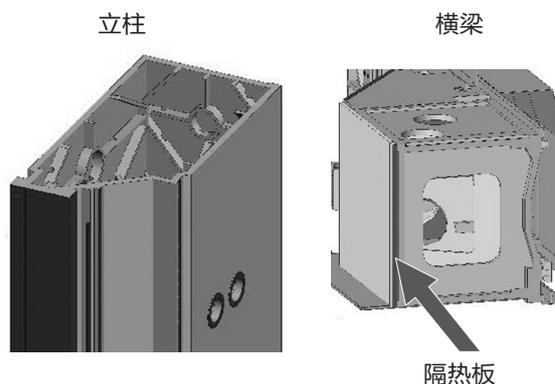
刀具轴分度角度: A轴 0° 10° 30° , C轴 90° 180° 270° 。

刀具: φ10 φ20 φ30 球形铣头。

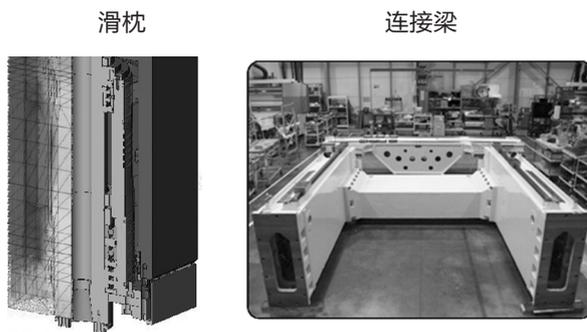
总加工时间: 35小时无人加工(室温变化4℃)。

### 1. 抑制热变形的机床结构设计

(1) 前后左右的热容量完全平衡化; 无法热平衡的材料用断热板实现热等价。

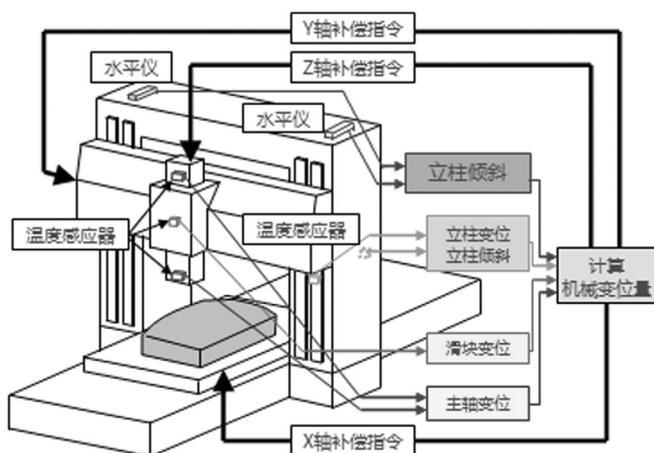


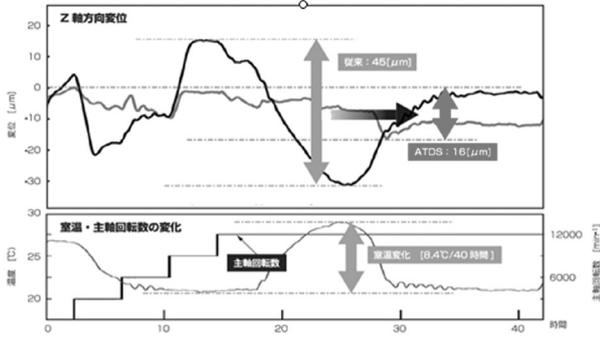
(2) 利用充分的热解析和冷却控制主轴温度



(3) 主轴滑块热变位补偿

主轴冷却系统抑制发热的同时，温度感应器进行热变位补偿。附件头也安装温度感应器，配合加工条件进行补偿。立柱热变位补偿受到周围环境的变化影响立柱会发生倾斜，可通过温度感应器及水平仪进行高度补偿。





## 2. 刀尖补偿功能

从3个方向对附件头圆心偏移、旋转位置偏移进行测定并补偿（包括热变位在内的工作台与刀尖的相对误差）。

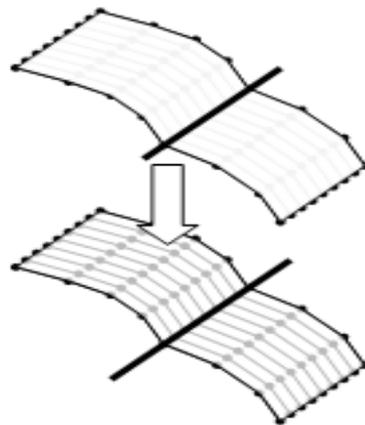
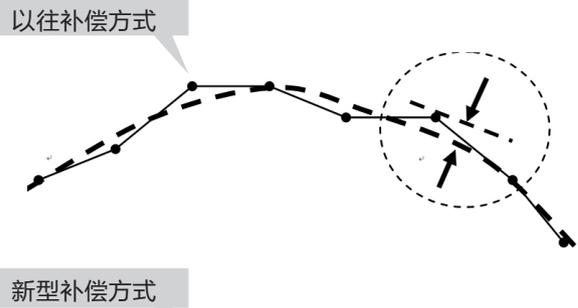


## 四、高速高精数控技术

### 1. 平滑补偿功能的应用

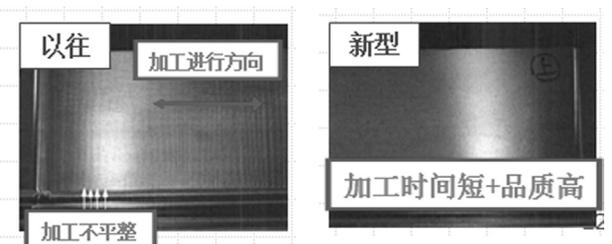
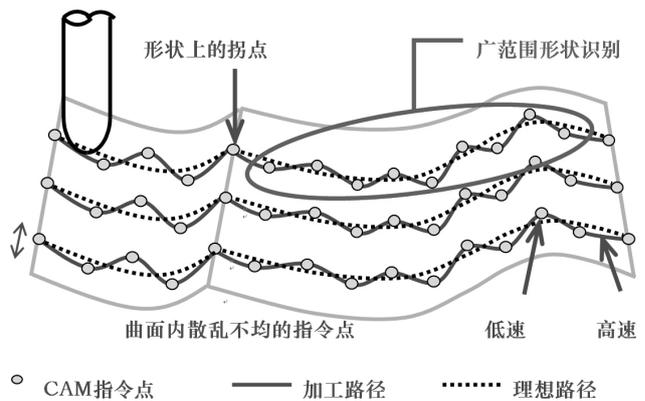
以往的补偿功能由数控程序作出平滑的曲线，根据曲线与数控程序的误差（公差）用平滑补偿处理修正，有时曲面边界也会受到平滑处理，以致发生变形。

新型的补偿方式由数控程序识别曲面边界，曲面内部受到平滑补偿处理，曲面边界不受平滑处理影响，曲面内部更加顺滑，边缘轮廓更加清晰。



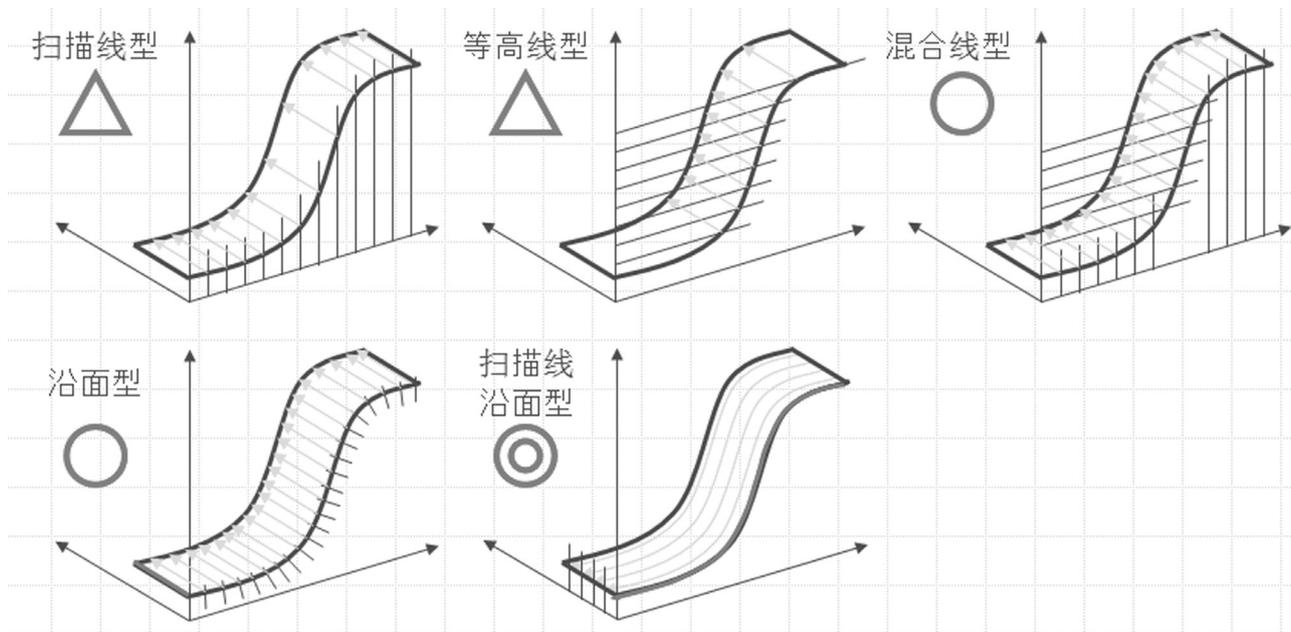
### 2. 进给轴振动补偿

沿面加工中指令点在曲面内常不按照理想情况排列，机械按指令点路径运动，造成减速使加工面不平整，不受程序环境影响实现平滑的速度节奏。进行进给轴振动补偿后能够改善加工效果。

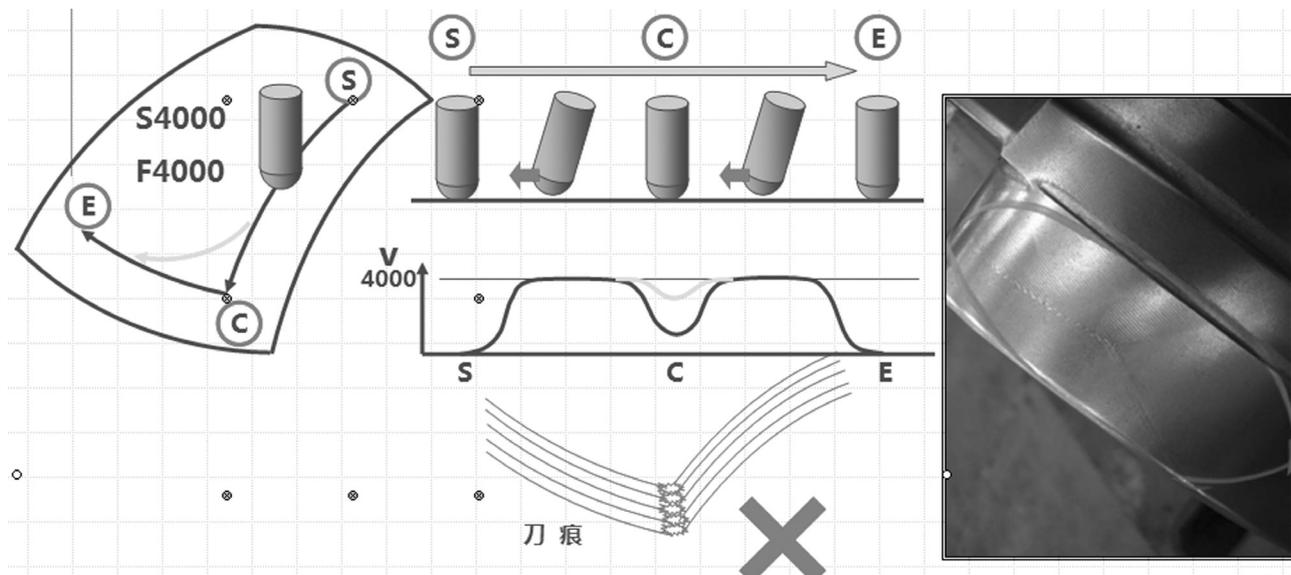


### 3. 编程策略和机床功能匹配

通常在曲面形状中，单凭扫描线或等高线不能使点距均一排列，所以要用混合型或沿面型。沿同一面编成路径时，路径数越少进给时的减速次数越少，效率越高。



刀具路径发生急速转折时，进给减速导致刀具、机械上的挠曲变化，在加工面形成创伤。因此，平滑的刀具路径很重要。



## 五、机床加工模式的选择

(1) 加工模式种类。根据零件加工的要求, 可以划分成高精度、标准、高速加工, 用户可以根据相应的加工模式, 灵活进行数控加工, 在保证质量的前提下, 提升加工效能。

(2) 圆滑处理设定。自动推定数控系统误差, 以最合适的参数进行数控加工。

(3) 数控程序公差。检测元件匹配相应的加工参数, 可以使加工进给平顺性更好。

(4) 工件重量设定。采用龙门数控机床, 工作台移动的设备, 工件在移动中加减速对于加工质量还是有影响的, 在不同重量加工时, 适当调整伺服系统的参数可以保证数控加工的平顺性, 同时能够合理保持机床精度的稳定性。

FM控制支援 加工模式设定



工件重量推定

## 六、机床灵活的柔性化功能

模具生产过程是典型的单件、小批量的工艺类型。大型模具加工过程中, 需要具备有相关技能等级的人员操作。为了尽量减低加工过程对技能素质的依赖, 模具生产设备根据需求可以订制相关宏指令功能, 虚拟轴功能和局部区域限位等功能。大型模具加工的周期时间较长, 机床的加工稳定显得非常重要, 机床选型中应该考虑机床本身对环境因素、振动因素、强电环境下的抗干扰能力。

## 七、CAD/CAPP/CAM/CAE无缝集成数字化虚拟制造的数控机床选型

CAD/CAPP/CAM/CAE过程以产品加工数据为中心, CAE模拟分析、模具设计、模具NC加工、以及模具CMM(三坐标)检测、均使用同一数据流, 用于车间的工艺文档可直接由CAD生成传输到CAPP中使最终模具产品和设计者的意图保持高度一致。这就是CAD/CAPP/CAM/CAE一体化技术。三维模型的同一性保证了CAX链的闭环特性, 难于产生设计、加工错误, 从而提高模具的开发效率。CAX的无缝集成使虚拟制造技术成为现实。从根本上改变了设计、试制、修改设计、规模生产的传统制造模式。在产品真正制出之前, 首先在虚拟制造环境中, 对其性能和可制造性进行预测和评价, 从而缩短产品的设计与制造周期, 降低产品的开发成本, 提高系统快速响应市场变化的能力。在高集成化、数字化生产中, 数控加工机床选型要求良好的数据传输能力, 自适应加工能力, 柔性化制造能力。

国内模具制造企业随着技术水平不断提升, 已经缩小了与国际先进制造模具地区的差距。模具企业单从价格进行竞争的优势逐渐减弱, 今后除了在数控加工装备选型上参数不断细化外, 必须要从技术上和管理水平突破, 仍需各个模具企业不断探索。□

### 参考文献:

- 1) 孟少农主编 机械加工工艺手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 2) 张伯霖主编 高速切削技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002
- 3) 范钦武主编 模具数控加工技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004

# 数控软件自动化测试系统的研发

武汉华中数控股份有限公司 孙楠 邹捷

本文分析了数控软件传统手工测试的优缺点，介绍数控软件自动化测试系统的研发与设计，并简明扼要讲解数控软件自动化测试系统工作过程及原理。数控软件自动化测试系统现已应用在数控软件的单元测试、研发中测试、发布性测试中，并且数控软件测试系统也应用在可靠性实验中，未来将在智能工厂中广泛应用。数控软件自动化测试系统缩短测试周期，提高解决问题效率，增强用户对数控软件信任度。

传感器能够探测、感受外界的信号、物理条件（如光、热、湿度）或化学组成（如烟雾），并将探知的信息传递给其他装置。在机床试验中利用传感器这种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将检测感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。

## 一、引言

随着科学技术的发展，“工业4.0”时代来临，数控系统现已实现三化：信息化、智能化、网络化，由此可见数控软件在数控系统中扮演越来越重要的角色。数控软件的可靠性、稳定性、易用性直接决定了生产加工零件正确性及安全性，一旦数控软件的可靠、稳定性出现问题可能会导致严重的生产安全事故。因此数控软件版本发布前，必须进行充分、有效的可靠及稳定性测试。

现阶段国内数控软件基本由人工手动完成可靠及稳定性测试，需要测试人员长时间守候在测试设备或平台前执行各项操作。这给测试工作带来几处难点：测试工作量大，测试周期长，测试人员对于软件功能理解及故障问题描述出现不一致现象，并且当数控软件版本更

新，人员会进行大量重复测试工作。对数控软件测试来说，即便投入大量人力物力，很多时候覆盖面依旧不够。

现有的成熟自动化测试软件大多为Windows环境下的软件，而且不能对数控软件进行测试，对于嵌入式自动化测试软件国内市场依旧空白，尤其缺乏针对数控装置上的数控软件自动化测试，这给数控软件测试工作带来很大困难。

## 二、数控软件测试系统设计

数控软件自动化测试系统，应用于数控技术领域，依据“自主创新设计、智能转化、节约资源、可持续发展”理念进行设计与研发。数控软件自动化测试系统研发创新“一个核心”及“六化”。一个核心：指的是“自动化智能测试大数据平台”，自动化测试案例集中上传至“云”数据平台，“云”数据平台对案例进行归类划分，再下传至自动化测试系统，自动化测试系统对案例进行不间断测试，当案例出现问题时再传输到“云”数据平台中，同时相关测试人员可通过电脑或移动端APP程序观测到自动化测试结果，测试

及开发人员准确快速分析问题出现原因并且及时修改数控系统软件。六化：“测试自动化、过程可视化、信息集成化、更新自主化、数据网络化、分析智能化”。自动化测试系统利用智能传感器技术、移动互联网、云计算技术，并建立基于移动终端对数控软件进行智能网络化监控。测试内容数据上传与下载都无需人为操作，同时自动化测试系统可自主智能完成对案例的测试，如图1所示。

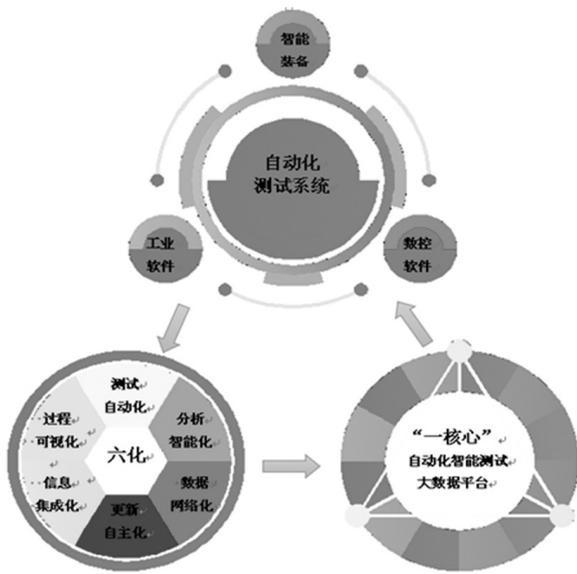


图1 自动化测试系统应用领域及科研图

### 三、数控软件测试系统工作过程

自动化测试系统可完成几个方面测试：测试用例库、界面模块、G代码功能模块、多个配置文件和多个配置模块。其中测试用例库、界面测试模块、G代码功能测试模块和被测试对象数控系统软件均存放在“云”数据平台，多台数控装置中的每台数控装置上均存放一个测试配置文件和一个测试配置模块。自动化测试系统工作过程如下：

- (1) 在“云”数据平台端建立文件传输协议（FTP），并设置数控装置访问的用户名和密码，用于“云”数据平台与多台数控装置之间的文件的传输；
- (2) 根据测试要求，制作界面测试用例或者G代码功能测试用例，并存放测试用例库中；
- (3) 编写测试配置文件，设定此次测试类型，测试用例名；

(4) 当自动化测试系统装置开机后，执行测试配置模块，从“云”数据平台中下载数控系统软件并加载到数控装置上，读取测试配置文件，从“云”数据平台下载界面测试模块或G代码功能测试模块，并执行；

(5) 所有测试用例测试完成后，生成此次测试的结果；

(6) 测试结果通过网络通信传输到“云”数据平台，测试人员可通过移动端APP程序或互联网主页查看自动化测试结果。分析测试数据，并且标注问题出现原因（见图2）；

(7) 测试人员分析及标注数据后，文体通过“云”数据平台传输至软件部门。软件开发人员对数控软件进行修改后，数控软件重新上传至“云”数据平台；

(8) 自动化测试系统重新对数控软件模块进行分析测试。



图2 移动端APP程序界面

## 四、测试模块工作原理

自动化测试系统对数控软件中的界面模块、G代码功能模块、多个配置文件和多个配置模块等测试工作原理如下。

### 1、测试配置模块执行下述操作

(1) 建立所在数控装置与“云”数据平台之间的网络连接。

(2) 从“云”数据平台下载数控系统软件并加载到所在数控装置上。

(3) 读取测试配置文件，当其中测试类型为界面测试时，执行界面测试模块步骤，当其中测试类型为G代码功能测试时，执行G代码功能测试模块步骤。

(4) 从“云”数据平台下载界面测试模块并运行，生成测试结果文件。

(5) 从“云”数据平台下载G代码测试模块并运行，生成测试结果文件（见图3）。

(6) 从“云”数据平台下载功能模块并运行，生成测试结果文件。

```

22 mkdir incBa
23 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h /@18\trunk\@18_Utrunk_D.$now.BTF
24 sync
25 tar xvf @18_Utrunk_D.$now.BTF -C /h/incBa
26 tar xvf @18_Utrunk_D.$now.BTF -C /h/incBa
27
28 rm -rf @18_Utrunk_D.$now.BTF
29
30 rm -rf /h/incBa/plc/*.DIT
31 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h/incBa/plc /AT_@18_NCU\trunk/*.DIT
32
33 rm -rf /h/incBa/para/@18BM.DAT
34 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h/incBa/para /AT_@18_NCU\trunk/@18BM.DAT
35 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h/incBa/bin /AT_@18_NCU\trunk\@18REG.DAT
36
37 rm -rf /h/incBa/bin/hdxdev_n2
38 rm -rf /h/incBa/bin/m
39 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h/incBa/bin /AT_@18_NCU\trunk\hdxdev_n2
40 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h/incBa/bin /AT_@18_NCU\trunk/m
41
42 #rm -rf /h/incBa/bin/LNC32.CFG
43 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h/incBa/bin /AT_@18_NCU\trunk\LNC32.CFG
44
45 rm -rf /h/incBa/tmp/*.txt
46 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h/incBa/tmp /AT_@18_NCU\trunk\TestConfig.txt
47
48 rm -rf /h/incBa/prog/*
49 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h/incBa/prog /AT_@18_NCU\trunk/prog/*
50
51 cd /h/incBa
52 mkdir test
53 ncftpget -u grf -p grf 192.168.28.7 /h/incBa/test /AT_@18_NCU\trunk/test/*
54
55 cd /h/incBa/
56 chmod +x bin/*
57 ./n
    
```

图3 从“云”数据平台下载相应测试模块代码图

### 2、数控软件中G代码功能测试模块具体执行下述操作（见图4）

(1) 从测试配置文件中获取测试用例名，根据测试用例名及其顺序，从测试用例库依次顺序执行G代码功能测试用例。

(2) 将G代码功能测试脚本加载到自动化测试系统中，将自动化测试系统的加工模式切换为“自动”或“单段”模式，并向自动化测试系统发送运行指令，由自动化测试系统运行G代码功能测试脚本。

(3) 接收自动化测试系统的处理结果，对照G代码数据校验文件，逐行比较X、Y、Z轴当前的机床实际坐标值与对应的理论坐标值是否相同，如果均相同，则测试成功，否则测试失败，并将测试结果写入测试结果文件。

(4) 所有G代码功能测试用例测试完成后，统计本次测试的G代码功能测试用例个数、成功的G代码功能测试用例个数、失败的G代码功能测试用例个数、失败的G代码功能测试用例名称以及成功率，并写入测试结果文件。

(5) 从“云”数据平台下载G代码功能测试模块并运行，生成测试结果文件。

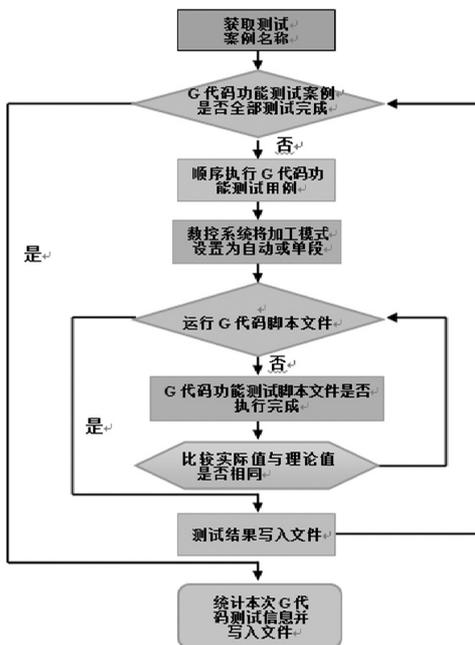


图4 从数控软件中G代码功能模块组自动化测试工作原理图

### 3、数控软件中界面测试模块执行下述操作（见图5）

(1) 从测试配置文件中获取测试用例名，根据测试用例名及其顺序，从测试用例库依次顺序读取界面测试用例。

(2) 解析界面测试用例中的界面测试脚本，每解析一行，获取按键标识符和延迟时间，并将它们送至自动化测试系统，自动化测试系统根据不同按键标识符进行不同处理，每个按键标识符操作后停顿所设定的延迟时间，然后进入下一个按键标识符的处理。

(3) 接收自动化测试系统的处理结果，对照界面数据校验文件，逐行比较检查项对应参数的实际值和理论值是否相同，如果均相同，则测试成功，否则测试失败，并将测试结果写入测试结果文件。

(4) 所有界面测试用例处理完成后，统计本次测试的界面测试用例个数、成功的界面测试用例个数、失败

的界面测试用例个数、失败的界面测试用例名称以及成功率，全部写入测试结果文件。

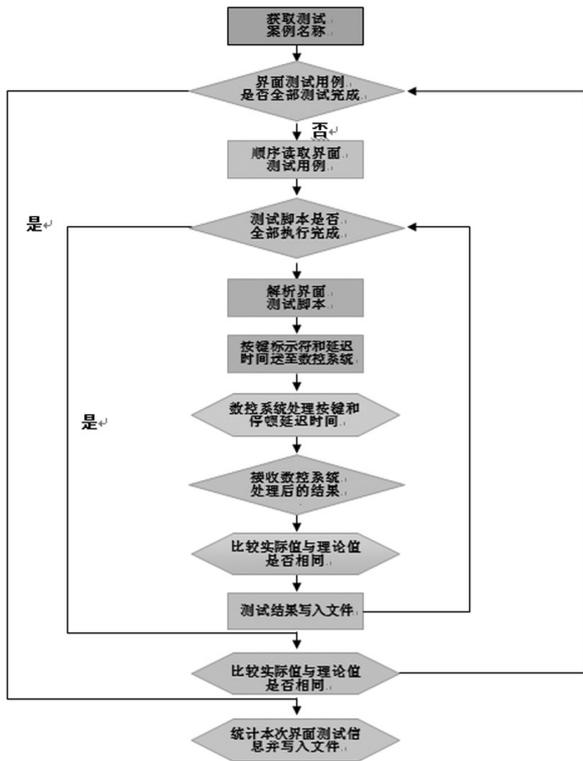


图5 数控软件中界面功能模块自动化测试工作原理

## 五、数控软件测试系统的应用

数控软件自动化测试系统目前已经应用在数控软件的单元测试、研发中测试、发布性测试中，同时数控软件测试系统在长时间连续运行的可靠性实验环境中也得以应用，未来将应用到智能制造工厂中。

数控软件的单元测试、研发中测试、发布性测试中应用数控软件测试系统主要检测数控软件打包BTF文件后功能模块、G代码模块、配置文件的适配性，确保功能模块、G代码模块、配置文件的正确性，同时检测每个案例是否能正常通过测试。

数控系统可靠性实验中应用自动化测试系统，主要是测试人员通过移动端APP或网络主页监测多台数控软件测试系统的测试结果和同步更新多台数控软件测试系统的文件及测试案例；还可检测到多套数控系统长时间连续运行时多个配置文件和多个配置模块自动更新正确性与准确性。“云数据平台”与多台数控软件自动化测试系统文件实时传输，可确保测试结果及可靠性测试平台的驱动器、电机、数控系统硬件工作中出现的故障或问题第一时间被记录和传输给测试技术人员，测试技术人员可更加快速的分析出问题出现原因，便于开发人员解决问题。

自动化测试系统未来将在智能制造示范工厂中应用，主要检测G代码模块在实际生产加工中运行正确性，及功能模块被连续使用时稳定性。同时可监测到每台数控机床运行状态。保证智能工厂零件加工的安全性与可靠性（见图6~图8）。



图6 智能制造示范工厂



图7 自动化测试系统

图8 数控系统可靠性测试平台

## 六、结论

数控软件测试系统，首先，填补数控软件自动化测试的空白，主要解决人工手动测试不全面、测试工作量大、测试结果不准确等问题；其次，使数控软件的回归测试更加方便，缩短回归测试周期，该系统可对数控软件各个功能、参数、编程代码模块进行回归测试，提高数控软件测试覆盖率；最后，每次测试的结果和执行内容的一致性是可以得到保障，从而可对测试内容和结果进行归纳总结，达到测试的可重复性，对测试人员后续的测试分析提供帮助，缩短解决问题的周期，提高了测试工作效率，充分利用资源，保证了软件质量，增强客户对数控软件的信任度。

但自动化测试系统并不能完全取代传统的手工测试，因为有很多测试的结果需要人脑进行分析与判断，自动化测试系统并无想象力，所以受软件开发者约束。然而自动化测试系统与人工手动测试可以相互弥补彼此的不足，两者有效的结合是保证测试质量的关键。□

本数控软件自动化测试系统设计已经申请了实用新型专利。专利号：201210524866.3

### 参考文献：

- [1]郑慧，范忠诚，等.零基础学Visual C++[M].北京：机械工业出版社，2008.
- [2]William A. Shay 著，高穿善，等，译.数据通信与网络教程[M].北京：机械工业出版社，2005
- [3]黄延，林跃.软PLC技术研究及实现[J].计算机工程，2004，30（1）：15-17
- [4]陈维钧.运动控制系统[M].北京：清华大学出版社，2006

# 城际动车组铝合金车体关键尺寸控制工艺研究

唐山轨道客车有限责任公司制造技术中心

张明伟 孙学亮 孙宏海

在交通运输市场竞争激烈的今天，铁路高速化是当今世界发展的潮流和必然趋势，城际动车组作为一个新型的动车组产品孕育而生，其时速远远高于普通地铁车辆，具有运量大、适合长距离运输等优点，成为目前当今社会大都市之间交通运输的发展趋势。本文主要阐述了新型城际动车组铝合金车体关键尺寸的控制工艺，对城际动车组铝合金车体的产品结构和关键尺寸进行介绍，通过系统的分析制定出关键尺寸控制工艺，保证了城际动车组车体的质量，顺利完成了铝合金车体的生产制造。

城际动车组时速一般在120~160km之间，是当今世界铁路高速化的必然产物，其作为一个新兴的动车组产品，时速远远高于普通地铁车辆，具有运量大，适合长距离运输等优点，成为目前当今社会大都市之间交通运输的发展趋势。本文介绍了时速140km城际动车组铝合金车体关键尺寸的控制工艺。

## 1. 车体结构

新型城际动车组最高时速140km，由1辆中间车和2辆带司机室的头车组成共3辆车的编组，采用2M+1T配置，其编组如图1所示。

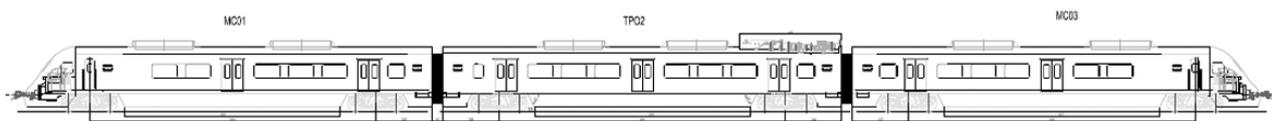


图1 编组示意图

车体采用的是铝合金车体，其具有重量轻、耐腐蚀、寿命长、外观平整度好和易于制造美观车体等优点，同时还能提供良好气密性，隔音、降噪，为乘客提供舒适的车内环境，节省能源。

车体作为动车组列车的关键承载部件，是一个封闭的焊接箱型结构，在运行过程中会受到各种力的作用，起到了保护乘客安全作用的同时，也为乘客提供宽敞、舒适的旅行空间。车体由底架、侧墙组成、车顶和端墙等铝合金材质的大部件组成，如图2所示。

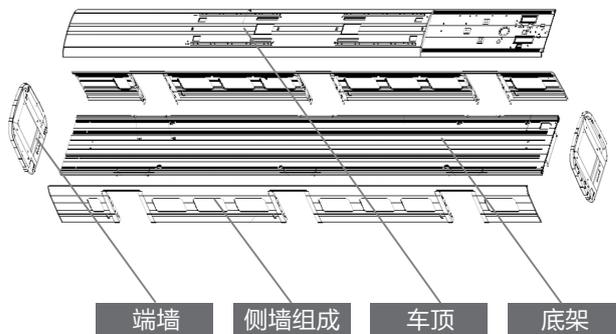


图2 车体结构图

## 2. 车体组成的关键尺寸

车体组成的关键尺寸为车体长度、箱体断面尺寸和挠度值等，箱体断面尺寸包括宽度、高度和对角线差值，这些尺寸直接决定了车体的内部空间大小、运行安全和车体的使用寿命等。具体尺寸详见附表。

车体关键尺寸

车体长度（头车）/mm	23580
车体长度（中间车）/mm	21880
车体宽度/mm	2972
车体高度/mm	2640
车体挠度/mm	7-13

## 3. 关键尺寸控制工艺

### （1）车体长度尺寸控制工艺

车体是由底架、侧墙、车顶和端墙装配焊接后形成的，其长度取决于底架、侧墙和车顶的长度，所以其三大部件的长度就相当关键。车体长度尺寸的控制是通过在大部件上进行工艺放量的手段来实现的，分析总结长度公差和考虑焊接会造成长度方向上收缩，将底架边梁和地板加长6mm，保证底架组焊完成后的长度为+6mm；将边顶和圆顶加长5~6mm，保证车顶组焊完成后长度+5mm；侧墙为分块侧墙，单侧3个门口，考虑到侧门口尺寸要求均为正差，所以侧墙的长度放量只将一二位端的小侧墙加长2mm，其余分块侧墙不放量。该样放量分布可保证三大部件长度上的匹配，保证车体形成后的最终长度尺寸满足公差要求。经过多种车型铝合金车体制造的经验累计，将各大部件的放量等于车体长度的上公差值，形成车体后长度可满足要求。

### （2）箱体断面尺寸控制工艺

车体的制造难点即在箱体尺寸的控制上，因为其累计了各大部件的公差，制造阶段保证的尺寸关联性较大，且车体组成后调修困难。箱体的断面尺寸由底架、侧墙和车顶三部分拼焊而成，内外共8道焊缝，为保证其焊接完成后车体的宽度、高度和对角线尺寸，在预制反变形、组装和焊接的各个阶段都需要控制不同的参数。

车体的高度主要取决于侧墙的高度，而且还受车体挠度和侧墙挠度匹配度的影响，如侧墙没有挠度，需通过在侧墙上修磨出挠度的方法来保证装配质量，这样就会降低车体的高度，所以侧墙的高度尺寸需控制在理

论值（+3mm，+6mm）的范围才能保证挠度修磨的需要。车体的宽度尺寸是在保证各大部件符合公差要求的前提下，通过焊接过程中预制反变形来保证的。

城际动车车体的焊接顺序为先外后内，先下后上。焊接车体外侧焊缝会使车体在宽度方向上变大，所以车体内部的支撑主要内高支撑起作用，可以不必支撑宽度支撑，通过图3的数据统计折线得出了在装配阶段尺寸高度的组装尺寸为理论值（+2，+4）mm。

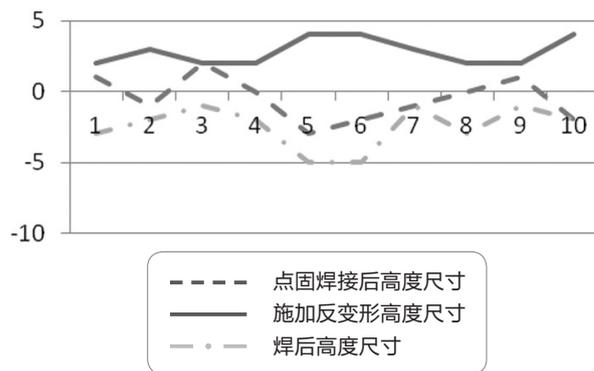


图3 高度尺寸折线图

焊接完成外侧焊缝后需撤掉所有支撑对箱体断面尺寸进行检测，根据检测数值调整箱体宽度的预制反变形量，相应宽度值越小反变形量越大。焊接内侧焊缝会对车体宽度收缩较大，根据图4的数据统计折线，使用宽度支撑调整宽度方向的反变形量到理论值+14mm~+18mm。由于宽度支撑量的加大会使内高降低，所以高度的反变形调整为理论数值+10mm左右，重新调整斜支撑，保证对角线尺寸。因盖面焊对车体尺寸影响较小，所以待内侧焊缝的打底焊接完全冷却后可以撤除内部的所有支撑，便于焊接操作，提高生产效率。

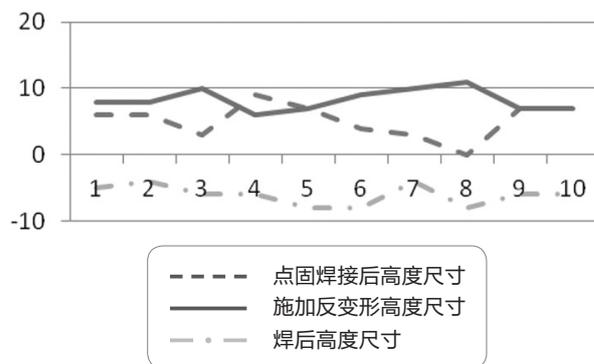


图4 宽度尺寸折线图



图5 车体箱体尺寸控制

待所有焊缝冷却至室温，就形成了最终箱体的断面尺寸，最后可通过局部的机械调修或火焰调修来实现宽度和高度的最优比（见图5）。

### （3）车体挠度控制工艺

城际动车组车体挠度要求为7~13mm，是通过焊前在底架上预制一定的反变形来保证的。依据其他种类铝合金车体制造经验，在车体组成工装上预制一个合理的反变形（ $a=13\text{mm}$ ），利用水准仪精确测量各支撑面的高度差值，在每个对称的门口处增加横梁下拉装置（见图6），保证底架边梁下面和定位支撑块密贴。车体挠度的尺寸应尽量控制在中差，不可过大也不可过小，过大会由于下拉值过大，影响车体的高度，过小会使在满载情况下，车体中部下垂量大，缩短车体的寿命。

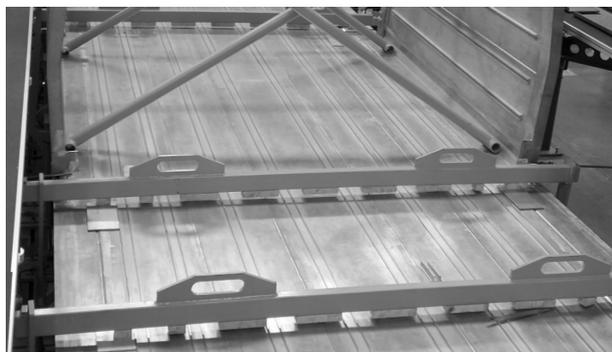


图6 挠度尺寸控制

车体挠度的控制不仅仅是要控制底架下拉的挠度，还要控制侧墙的挠度值，以保证在底架下拉状态下，侧墙和底架间装配出均匀的间隙，从而保证焊缝的质量。侧墙的挠度值需要在侧墙组焊时通过工装上预制反变形来实现，在车体组装阶段在窗口处设置了侧墙窗口下拉装置，保证和底架间的装配间隙，也保证了焊接完成后车体挠度值的形成，通常侧墙的挠度值在8~10mm间最好。

## 4. 结论

通过对城际动车组铝合金车体的产品结构介绍和分析，确定了车体关键尺寸的控制要点和制造工艺，保证了城际动车组车体的质量，顺利完成了铝合金车体的生产制造。□