

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing
Engineering & Market

No.3 2018
2018年6月
June 2018

主管: 中国机械工业联合会
主办: 中国机床工具工业协会
地址: 北京市西城区莲花池东路102号
天莲大厦16层

邮政编码: 100055
电话: (010) 63345259 传真: (010) 63345699
电子邮箱: wmem@cmtba.org.cn

出版: 中国机床工具工业协会
《组合机床与自动化加工技术》杂志社

顾问: 吴柏林 于成廷
主任: 毛予锋
副主任: 王黎明 郭长城
编委:

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 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 邹春生 张自凯 崔瑞奇 徐刚 吴建民
赵博 李志宏 桂林 汪爱清 王跃宏 张国斌
初福春 王明远 刘庆乐 王兴麟 边海燕 董华根
胡红兵 武平 肖明 陈长江

总编辑: 李华翔

国际标准代号: ISSN 1015-4809

国内统一刊号: CN 11-5137/TH

国内发行: 北京报刊发行局

订阅处: 全国各地邮局

邮发代号: 80-121

广告代理: 台湾总代理-宗久实业有限公司

地址: 台湾省台中市南屯区文心路一段540号11F-B

电话: +886 4 23251784

传真: +886 4 23252967

电子邮箱: Jessie@acw.com.tw

广告负责人: 吴佩青(Jessie)

承印: 北京博海升彩色印刷有限公司

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



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

目录 CONTENTS

2018年第3期(总第156期)

WMEM世界制造技术与装备市场

资讯 News

15 CIMT2019招展工作全面启动等6则信息

6 pieces of news, such as the launch of CIMT2019 exhibition.

展会报道 Exhibition Report

17 精彩演绎 圆满落幕

——CCMT2018在上海成功举办

协会传媒部

Comprehensive report of CCMT2018 show

19 全球机床界CEO聚焦: 数字·互联·智造

——2018机床制造业CEO国际论坛成功举办

协会传媒部

The report of 2018 international CEO forum of machine tool manufacturing industry

22 2017年度中国机床工具工业协会先进会员(十佳)

暨CCMT2018春燕奖颁奖仪式隆重举行

协会传媒部

The report of the ceremony for 2017 annual advanced members (Top 10) of

CMTBA and CCMT2018 spring swallow award

展品评述 Exhibits Review

25 复合机床: 展现强大的加工能力

协会传媒部

Brief introduction of Compound machine tool exhibits in CCMT2018

28 智能制造: 引领行业未来

协会传媒部

Brief introduction of Intelligent manufacturing in CCMT2018

31 透过CCMT2018看国产机床工具技术进步

协会传媒部

Look at the domestic machine tool technology progress from CCMT2018

35 西门子以“数字化双胞胎”应用推进机床工业的数字化

西门子公司

Siemens promote the digitization of machine tool industry with the application of "digital twins"

研发与应用 Research and Application

36 齿轮测量中心关键技术的研发与应用

赵建

Research and application of gear measurement center key technologies

40 全自动曲轴类零件加工线的研发和应用

王瑞

Research and application of full-automatic crankshaft parts processing line

编者的话

2018年4月9-13日,由中国机床工具工业协会主办,并与上海市国际展览有限公司共同承办的第十届中国数控机床展览会(CCMT2018),在上海新国际博览中心成功举办。

作为中国国际机床展览会(CIMT)的姊妹展,凭借中国市场强大吸引力和展会良好组织,CCMT境外展商数逐届增加,国际参与度不断提高。

在展品方面,围绕着“聚焦一数字·互联·智造”展会主题,CCMT2018为观众呈现了业界最新的数字化制造、信息互联解决方案和智能制造系统等方面的应用成果。其中,以数字化、互联互通,集成,智能技术,专用化为主要特点的展品,成为人们关注的焦点。

近几年,作为机床行业未来发展和转型升级的主攻方向,智能制造正受到越来越多企业的重视,并朝着这个方向持续发力。展会上一批国内企业带来了转型升级的最新成果。展会期间,一批国内企业的产品荣获了2017年度行业十佳、CCMT2018春燕奖等荣誉表彰,让人们感受到了国产机床工具产业的进步与发展。

但我们也应清醒地看到,与国外机床相比,我们在机床的可靠性等方面差距依然明显,在数控系统、主要功能部件等高端产品上依然严重依赖进口。最近持续发酵的“中兴”事件再次提醒我们,核心技术是永远买不来的,作为传统产业的机床工具制造业,业内那种“弯道超车”的想法永远只是个梦想。

唯有坚持正确的方向,加上坚忍不拔的耐心、恒心、决心,踏踏实实地走好每一步,机床工具企业的发展之路才能越走越宽广。

本刊编辑部

版权所有,未经本刊书面许可,不得转载。

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



荣获日经Business评选为「全球上市企业综合成长力百大」第5名
连续2年荣获福布斯(Forbes)全球创新成长大企业
入选美国NASDAQ股市机器人指数型基金(ROBO-STOX)权重排名TOP 10

工业4.0 优质伙伴

INDUSTRIE 4.0 Best Partner



关节式机器人手臂 并联式机器人手臂 史卡拉机器人手臂

Articulated Robot Delta Robot SCARA Robot



2001~2018 HIWIN连续18年荣获台湾精品金银质奖



滚珠丝杆
Ballscrews



直线导轨
Linear Guideway



单轴机器人
Single Axis Robot



晶圆机器人
Wafer Robot



直驱马达回转工作台
Direct Drive Rotary Table



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 Direct Drive Motor



伺服驱动器
Servo Drive



AC伺服电机
AC Servo Motor

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

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

上海玖征机械设备有限公司
Tel: (021) 5978-9980

昆明万辰科技有限公司
Tel: (0871) 6830-1918

河南广原精密机电有限公司
Tel: (0371) 8658-1632

乐为传动科技(苏州)有限公司
Tel: (0512) 6667-0809

江苏台银机电科技有限公司
Tel: (021) 5480-7108

厦门聚锐机电科技有限公司
Tel: (0592) 202-1296

金太客传动科技(苏州)有限公司
Tel: (0512) 6690-8988

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

Competent Authority: China Machinery Industry
Federation

Sponsor: China Machine Tool & Tool Builders
Association

Add: 16/F., Tianlian Mansion,
102 Lianhuachi East Road,
Xicheng District, Beijing,
100055 P.R. China

Tel: (010) 63345259 Fax: (010) 63345699

E-mail: wmem@cmtba.org.cn

Publisher: CMTBA

Modular Machine Tool & Automatic
Manufacturing Technique

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

President of E-C: MAO Yu-feng

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

Committeemen:

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
Jinquan, 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, ZOU
Chun-shen, ZHANG Zi-kai, CUI Rui-qi, 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, CHEN Chang-jiang

Chief-Editor: Li Huaxiang

ISSN 1015-4809

CN 11-5137/TH

Post Distribution Code: 80-121

Advertising agency:

WORLDWIDE SERVICES CO.,LTD

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

Tel: +886 4 23251784

Fax: +886 4 23252967

E-mail: Jessie@acw.com.tw

Contact: Jessie



WMEM官方网站

44 iNC-848D: 华中数控新一代iNC智能数控系统

iNC-848D: new generation iNC intelligent CNC system of Huazhong Numerical
Control Co., Ltd

48 数控机床高精度电主轴变频温控制冷机的研发与应用

刘振波 等

Research and application of NC machine tool high precision electro-spindle
variable-frequency temperature-controlled refrigerating machine

51 数控可转位刀片周边磨床的研发和应用

谭晓庆 等

Research and application of NC indexable rotary blade peripheral grinding machine

55 双油缸上拉式内拉床的研发与应用

刘 坚 赵建华

Research and application of double-cylinder upper-pull internal broaching machine

产品与技术 Products & Technology

58 在线测量和智能修正技术在数控机床上的应用

孟少鹏

Application of on-line measurement and intelligent correction technology in CNC
machine tools

61 基于西门子机床制造业数字化的工件研发和生产

周繁荣

Development and production based on Siemens machine tool manufacturing digitization

63 航空发动机机匣加工工艺研讨

徐吉存

Process discussion about aviation engine casing processing

66 eldec技术应用于机械制造中标准化高性能感应电源提供一流机床解决方案 埃马克公司

Application of eldec technology in standardize high performance induction power
for machinery manufacturing to provide the first-class machine tool solution

68 数控回转工作台的夹紧定位机构探讨

徐吉存

Discussion about NC rotary workbench clamping and positioning mechanism

70 基于SolidWorks Simulation的支撑轴有限元疲劳分析

韩立光 刘 芳

Finite element fatigue analysis of support shaft based on SolidWorks simulation

27 广告客户索引

CIMT2019招展工作全面启动

由中国机床工具工业协会主办并与中国国际展览中心集团公司共同承办的“第十六届中国国际机床展览会（CIMT2019）”，将于2019年4月15-20日在北京中国国际展览中心（新馆）举办，预计展览总面积13.1万平方米。

目前，展会的招展工作已全面启动。请有意向参展的企业登录展会官网www.cimtshow.com 进行在线申报。有关展会组织工作进展情况，敬请关注展会官网、协会官网、协会微信公众号、《中国机床工具》报、《世界制造技术与装备市场（WMEM）》杂志发布的相关信息。

来源：中国机床工具工业协会

华中数控参与承办的第二届中国（武汉）智能制造大会成功举办

2018年6月5~6日，华中数控参与承办的“第二届中国（武汉）智能制造大会”在武汉成功举行。本次会议由工业和信息化部指导，由机械工业信息中心、全国智能制造发展联盟主办，湖北省机械工程学会与湖北省机械行业联合会、华中数控等单位承办。来自政府、行业协会的领导、智能制造领军人物以及优秀智能制造企业代表近千人参加本次会议在为期两天的大会中，围绕“中国制造2025”行动纲领，就智能制造政策解读、产业规划、市场分析、技术交流、案例应用等话题展开探讨。



作为会议的重要组成部分，与会人员专程还参观考察了华中数控与东风实业共建的东风楚凯汽车零部件智能工厂，其高压油泵驱动单元和轮毂及轮毂单元2条应用示范生产线，共应用了64台配套华中8型的高档数控机床和25台华数机器人。本项目对促进汽车关键零部件行业向智能制造模式转型升级，在汽车及零部件制造领域具有很好的示范意义。

中国领创激光与意大利Prima Power举行战略合作签约仪式

2018年6月15日，中国领创激光与意大利Prima Power在沧州市国际会议中心举行战略合作签约仪式。

意大利对外贸易委员会、意大利普瑞玛集团、领创激光、中国机床工具工业协会、中国光学学会、香港力丰集团等单位领导，以及沧州市运河区相关政府部门、部分园区企业代表、客户供应商代表，以及20多家知名新闻媒体约150人出席了签约仪式，共同见证了领创激光与Prima Power合作签约仪式。

领创激光董事长陈智宏在发言中表示：此次通过与Prima Power联手，要与Prima Power优势互补、资源共享。领创激光将吸收Prima Power在自动化、三维方面的先进技术，在未来的3~5年内发展成为行业内激光自动化、智能化的标志性企业。这不仅对领创激光的发展有着至关重要的推动作用，更会在很大程度上带动我国甚至是世界激光产业的进步升级。这是一次具有深远意义的商业合作。

秦川集团产品推介会在湖北成功举办

3月29日，秦川集团“YKS7225、YKZ7230高精高效蜗杆砂轮磨齿机科技成果鉴定会”在湖北十堰举办。借此机会，公司在十堰市进行了齿轮加工工艺装备链等系列产品和服务推介会，来自全国各地的100多家企业代表参加了推介会。



会上，集团公司本部、宝鸡机床、汉江机床、汉江工具、秦川格兰德、秦川华兴机床、秦川思源量仪、秦川融资租赁及东风汽车装备公司等人员分别介绍了高精高效磨齿机、新能源汽车减速器齿轮设计及加工工艺方案、高端齿轮加工刀具技术、汽车零部件加工设备、测量仪器等新产品、新工艺。此外，公司还组织用户参观了东风汽车关键零部件生产车间，考察了公司高精高效磨齿机的运行情况。

凯特工业园开工仪式隆重举行



2018年6月18日，凯特工业园开工仪式在江门市新会区今古洲经济开发区临港工业区隆重举行。有关项目施工单位、监理单位、设计单位、勘测单位以及本公司董事长、高管人员、顾问、中层干部和员工代表等出席了本次开工仪式。

凯特精机作为国内领先、国际先进的精密滚动直线导轨副生产制造企业，近两年来，随着市场的变化和技术的发展，凯特精机发展迅猛，原有的生产场地已远远无法满足企业的发展需求，为此，公司决定在新会区今古洲经济开发区建设全新的生产基地，项目命名“凯特工业园”。作为江门市重点项目，凯特工业园定位为西脉国际医疗集团的“精密制造中心”，致力于打造成为国内最大的直线导轨副生产基地。

凯特工业园项目总投资5亿元，建成后将形成100万平米直线导轨副的生产能力。项目开展伊始，我司便得到了新会区委区政府和开发区领导的大力支持，从用地审批、项目规划、建设许可等方面给予了我司最大的帮助，使项目前期筹备的各项工作得以顺利开展。

CCMT2018“院校之窗”展区引人关注

在第十届中国数控机床展览会（CCMT2018）上，中国机床工具工业协会继续设立“院校之窗”展区，以推进产学研相结合，打造技术市场。由于展会面积有限，学校参展实物较往届多且体积大，故精选了清华大学、大连理工大学、大连工业大学、南京工业大学、南京工程学院和合肥工业大学6所高校参展。

各参展院校非常珍惜“院校之窗”的展示机会，纷纷拿出自己最新的、具有标志性的科研成果，现场也表现出很多企业对各校技术成果的浓厚兴趣。“院校之窗”这一平台已经得到了各方极大的认可，呈现出参与性强、关注度高，实物展品多、技术水平高的特点。



精彩演绎 圆满落幕 ——CCMT2018在上海成功举办

中国机床工具工业协会传媒部

2018年4月9~13日，由中国机床工具工业协会主办，并与上海市国际展览有限公司共同承办的第十届中国数控机床展览会（CCMT2018），在上海新国际博览中心成功举办。



作为中国国际机床展览会（CIMT）的姊妹展，凭借中国市场强大吸引力和展会良好组织，CCMT境外展商数逐届增加，国际参与度不断提高。



CCMT2018展会共启用10个展馆，展出总面积达12万平方米，来自中国、德国、美国、日本、意大利、瑞士、英国、韩国、中国台湾地区等23个国家和地区的1200余家机床工具行业制造商参展，其中境外展商500余家，展出面积占总面积的比例40%，比上一届CCMT展会增长近5个百分点。德国、美国、瑞士、意大利、韩国、西班牙、日本、捷克、法国和台湾地区等10个国家和地区的机床协会和贸促机构将组织展团参展，其中法国是首次组团参展。



在展会人气上，CCMT2018同样展现了强大的号召力，参观人数再创历史新高。据统计：进馆总人数125723，同比增长19.70%；进馆总人次171176，同比增长17.51%。



在展品方面，围绕着“聚焦一数字·互联·智造”展会主题，CCMT2018为观众呈现了业界最新的数字化制造、信息互联解决方案和智能制造系统等方面的应用成果。展品范围涵盖金属切削机床、金属成形机床、特种加工机床、柔性加工单元、自动化生产线、工业机器人、控制系统与自动化元器件、功能部件、量具刀具工卡具、计

量与检测仪器、附件与材料等众多产品。其中，以数字化、互联互通，集成，智能技术，专用化为主要特点的展品，成为展会的焦点。



展会期间，主办方领导同来自美国、德国、日本、瑞士、法国、捷克、韩国、印度、中国台湾等国家或地区的机床协会、组团机构或部分展商举行了友好交流，为中外双方合作打下了更加坚实的基础。同时，一批展会相关活动也相继亮相，2018机床制造业CEO国际论坛、军工行业国产数控机床应用座谈会、滚动功能部件性能测试结果发布会、2017年度行业十佳评选结果发布、CCMT2018春燕奖评选结果揭晓、各国家和地区机床协会负责人联谊会、国际化经营座谈会、数控机床专项成果展、院校之窗现代加工影像大赛等丰富多彩的活动，为观众和展商提供了更多的观展视角，带来了更多的体验。



伴随着CCMT2018展会的圆满落幕，其后续在沟通、交流和贸易往来方面的积极影响也将由此开启。当前，我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。《中国制造2025》也将高档数控机床列为重点发展的领域之一，CCMT展会和数控机床产业未来的良好发展前景令人期待！ □

全球机床界CEO聚焦：数字·互联·智造 ——2018机床制造业CEO国际论坛成功举行

中国机床工具工业协会传媒部

2018年4月8日，在春光明媚的上海，一场全球机床工具行业CEO的盛宴在浦东上演，来自全球机床业界的精英们齐聚“2018机床制造业CEO国际论坛”，共襄盛举，给本已准备就绪、热情高涨的第十届中国数控机床展览会（CCMT2018）拉开帷幕。



机床制造业CEO国际论坛是中国机床工具工业协会主办的，专为全球机床工具行业CEO们量身打造的交流平台。作为中国国际机床展览会（CMT）和中国数控机床展览会（CCMT）的重要配套活动，CEO国际论坛在每届CMT和CCMT展会开幕的前一天举办，经过主办方和各合作机构的精心组织以及展商和观众的热情参与，CEO国际论坛已在业界享有很高的声誉和品牌知名度。本届论坛吸引了更多境内外机床协会的首脑和业界知名企业老总光临，中国机床工具工业协会原常务副理事长吴柏林先生，现任监事会监事长、北京北一机床股份有限公司董事长王旭先生、现任执行副理事长郭长城先生，美国机械制造技术协会（AMT）会长道格拉斯·武德先生及AMT亚太区总经理李星斌先生均亲临论坛并全程参与论坛活动。

中国机床工具工业协会常务副理事长毛予锋先生在论坛致辞中提到，作为CCMT、CMT两大展会重点主题活动之一，机床制造业CEO国际论坛已成功

举办4届，每届论坛主办方广泛邀请国际国内先进制造企业CEO、相关国家协会负责人和相关领域专家学者、媒体朋友们共襄此事，就每届展会主题和行业发展趋势展开广泛讨论与深度解析，行业同仁们以各自独到的视角畅论百家之言，碰撞智慧的火花，2018机床制造业CEO国际论坛将开启CCMT2018的序幕。



中国机床工具工业协会常务副理事长
毛予锋

2018年机床制造业CEO论坛的召开，又是适逢行业发展新契机。2017年党的十九大胜利召开，习近平总书记在十九大报告中提出，建设现代化经济体系，必须把发展经济的着力点放在实体经济上，把提高供给体系质量作为主攻方向，显著增强我国经济质量优势，同时指出，要加快建设制造强国，加快发展先进制造业，推动互联网、大数据、人工智能

和实体经济深度融合，在中高端消费、创新引领、绿色低碳等领域培育新的增长点，形成新动能。

作为主办方，中国机床工具工业协会自成立以来，一直以促进行业发展为已任，以全心全意为行业企业服务为宗旨，协会多年来不断加强与企业互动，深入开展调查研究，构建交流、研讨平台，广泛汇集行业智慧，为促进行业持续健康发展不懈努力。毛予锋表示：

“2018年，机床制造业CEO国际论坛正是带着这样的使命，使我们相聚在春天，在播种希望的季节里，让我们共同描绘、共同致力于实现机床工具行业发展的美好愿景。”

本届论坛由中国机床工具工业协会秘书长王黎明主持。在简述智能制造发展背景时，王黎明提到，人类对于人工智能的提出和技术上的探索已经有几十年了，随着围绕信息技术的相关技术不断突破。近年来，人工智能技术得到迅猛发展，并且以势不可挡之势，迅速向各个领域渗透，制造业是人类赖以生存和发展的基础产业，机床工具制造业更是制造业的基础，是基础的基础，是最具个性化服务特征的行业。



中国机床工具工业协会秘书长
王黎明

产品的多样化，越来越多的个性化需求，给机床制造带来了新的挑战，在新技术的牵引下，制造业正在发生着深刻的变化，这个变化主要是向数字化、网络化、宜人化、绿色化、智能化几个方向发展，这个发展方向也为各主要工业国家所共识。在

此背景下，世界各国对制造业高度重视，纷纷制订了制造业的发展规划，中国提出了“中国制造2025”，主要是要解决数字化制造、网络化制造、智能化制造等核心问题。因此本次论坛主题确定为聚焦——数字·互联·智能，并特别邀请到来自中国、美国、德国、意大利、日本等国家机床协会负责人，从事相关工作的技术负责人、资深专家和知名企业CEO作为演讲嘉宾。围绕论坛主题，他们就各个国家相关研究工作安排和进展，以及实践成果，发表演讲并阐述了他们各自的观点。

龙兴元：数字化助力机床工具行业持续升级



中国机床工具工业协会当值理事长、
秦川机床工具集团董事长兼党委书记
龙兴元

目前的行业变化特征是总量下降、结构升级，而今年到今后几年很可能是总量降幅收窄，质量加速升级。总量需求下幅趋缓，呈现逐步进入底部运行的趋势，需求节奏快速变化，质量升级，其中数控化、自动化、数字化、网络化、智能化和高精高效制造技术快速占据消费主导地位。

所以，2018年总体形势判断是机遇期，但风险大于挑战，挑战是很明确的。但是这个风险带有不确定性意味。需求总量趋稳、需求总量加速升级已经成为机床工具行业的常态；经济运行质量逐步回升，供给侧结构性升级取得成效，但任重道远；呈分化态势，其中功能部件、附件优于主机，成形机床优于金切机床；在华外

资独资企业经营状况比国内企业好；行业发展要走专用化、定制化、有限规模化之路，要高度关注新材料、新技术给我们行业带来的替代冲击和机会，要借助数字化、网络化、智能化的技术进步，把握行业发展新机遇。

对于中国机床工具行业的发展国家也出台了相关政策。国务院2017年新一代人工智能发展计划，比如网络协同制造及智能工厂，这一项目值得行业企业关注，“十三五”规划对机床工具行业也有指引意义。从2015年到2017年，中国智能制造发展在探索中不断明确重点内容和方向，逐步建立起顶层规划。在国务院以及工信部、科技部等政府部门的网站信息中，都有智能制造发展规划相关内容，这是机床工具行业今后几年重点的发力领域。此外，在与机床工具行业密切相关的几个用户领域中，从2017年开始，工程机械领域开始恢复性增长，近年有可能爆发式增长。同时还有汽车模具领域、航空航天领域、商用发动机、能源、3C电子、军工等领域对机床工具新需求都比较旺盛，需要机床工具行业重点关注到这些领域。

在数字化制造方面秦川机床取得了一些实践经验。在现在行业普遍关注的汽车自动变速器以及新能源汽车变速器方面，秦川机床过去只做齿轮磨床这一项，现在产品已经扩展到各种专业齿轮加工设备以及自动夹具、仪表，还有齿轮箱装配成套解决方案，秦川机床现在提供的是制造工艺装配链。目前秦川机床的机床设备具有先进的故障诊断功能，通过系统自诊断和PLC相结合的手段，能够在故障发生时及时报警，并提供相应措施、常规故障诊断等等。机床标准配置有自动对刀功能等。此外，秦川机床在国家支持下，已经建成了数字化工业机器人RV减速器装配车间。秦

川机床的制造执行系统可合理整合和利用资源，优化生产流程，完善管理手段，掌握生产现状，提供评价依据，最后指出改进方向。

Tim Shinbara: 开启互联和协同制造



美国机械制造技术协会（AMT）副会长、MTConnect研究院执行董事 Tim Shinbara先生

数字化对于制造业来讲是非常关键的一部分，能够更快更多地进行数据的搜集、传输、存储以及进行数字化，对于很多制造业工厂来说，这些都是新的趋势。

数字化会给我们带来挑战，不只是数据的收集，还包括需要进行结构化分析，其实很多工厂已经开始在做这样的工作，以应对这些挑战，如数字化工厂。数字化不只是在机床工具领域，还有很多方面，包括工厂层面发挥它的作用。现在在很多机床工具企业已经开始提供数字化服务，包括通过数据采集来帮助企业提升服务，以及通过数字化来实现更好的产品生命周期。这使得整个行业也在发生着变化。

数字化不只是企业针对客户的垂直方向解决方案，应该是行业当中所有的利益相关者都必须一起携手才能推动或者适应新的趋势。另外，整个消费者期望也在变化，这些不同的期望、客户需求会给我们带来新的商业模式，帮我们提高能力。数字化的发

展趋势已经成为一种生态，我们需要更加开放的、可扩展的跨界解决方案。数字化的突破发展，需要像阿里巴巴、Facebook、Google、华为这些不同的互联网巨头企业的跨界、跨行业地参与，让他们进入到制造行业，能够学习制造行业，能够在制造行业发挥它的作用。

数字化技术以及IT技术给制造业带来了不同的变化。美国信息技术创新基金会2017年做了一项研究调查表明，数字化可以帮助工厂提高生产能力，同时在这个调查中，可以看到电子化、计算机技术可以提高生产效率。那些没有应用数字化技术的工厂，它们的生产率并没有得到改善。在调查中，存在一个共性问题，就是那些生产效率得到提高的工厂，他们都依靠数字化策略或者拥抱数字化生态，他们也真正把数字化策略变现，或者利用到他们业务优化中。

对于数字化的未来，信息模型、语义、语境缺一不可，并且还要拓展。当然也要支持加工设备、零件、产品以及工艺，支持注意记录保存、模拟和数字化双胞胎的实现，并支持系统化的相关分类，这些都是必要的。

Claudia Tovaglieri: 意大利工业4.0计划及其与中国制造2025的对接



意大利机床、机器人和自动化制造商协会（UCIMU）市场官员 Claudia Tovaglieri女士

意大利是世界主要制造国之一，排在世界第五位。2017年是机床行业飞速发展的一年，产值增长为两位数，还有其他行业，如机器人、自动化都有很好的发展。从意大利机床协会开展的行业数据调查可以看到，出口比2016年增加了5.8%，产值增加了10%。意大利国内机床消费，2017年比2016年上涨了14%。各种数据显示意大利国内外机床市场都处于良好的发展趋势。

2018年相信对于机床工具工业，尤其对于意大利来说，会是值得期待的一年。比如，意大利“工业4.0”国家计划遇上“中国制造2025”，在北京中意双边机床工业论坛上，意中双方加强交流，最终在论坛上签订了双方谅解备忘录，同时还包括跟大学的合作，相信通过这种学术界和大学的参与，能够进一步实现两国的计划。

与“中国制造2025”略有不同，意大利模式以推动自动化、智能化，改善劳动生产率为己任。在机器更新换代方面，意大利新的制造商有相对更多机会。因此意大利机床制造企业是中国企业的理想合作伙伴，包括工业悠久的传播和发展史、贴近客户需求、灵活性、强大的定制能力等。我们可以为客户提供全面优质的产品与服务，实现双赢。中国在不远的将来会成为业界领袖，意大利制造商可以帮助中国更快走向成功。

我们将与中国共同努力，共建“中国制造2025”，全力提供各种供应链及机床设备。意大利总理呼应习近平主席发表了重要讲话，有了他的鼓励，我们看到了意大利机床制造商针对中国市场有了越来越优秀的解决方案，期待双方更深层的合作。 □

2017年度中国机床工具工业协会 先进会员（十佳）暨CCMT2018春燕奖 颁奖仪式隆重举行

中国机床工具工业协会传媒部

2018年4月9日下午，2017年度中国机床工具工业协会先进会员（十佳）暨CCMT2018春燕奖颁奖仪式在上海新国际博览中心隆重举行。中国机床工具工业协会领导向获奖企业颁发奖项，与会代表及观众向获奖企业表示热烈祝贺。

2017年度中国机床工具工业协会先进会员（十佳）评选活动经企业申报、用户现场核实、专家评审、媒体公示等评定工作程序，最终评定20家企业分别获得了自主创新和产品质量先进会员（十佳）荣誉称号。

2017年度中国机床工具工业协会先进会员（十佳）

（按企业名称的首字母排序）

自主创新十佳

申报企业	产品型号、名称
北京工研精机股份有限公司	N2825—II 航天器对接机构用滚珠丝杠副
大族激光科技产业集团股份有限公司	W4020D 高架龙门三维五轴激光切割机
哈尔滨量具刃具集团有限责任公司	螺旋锥齿轮闭环制造成套装备
杭州杭机股份有限公司	HZ—092 4m级光学元件研磨抛光设备
齐重数控装备股份有限公司	DMVTM2500×60/550L—NC 数控龙门移动式双柱立式车铣床
秦川机床工具集团股份公司	QMK012 数控扇形齿轮磨床
上海机床厂有限公司	MK8220/SD 双砂轮架数控切点跟踪曲轴磨床
天津市天锻压力机有限公司	THP63—3500/5000 汽车大型铝合金覆盖件双动充液成形装备
宜昌长机科技有限责任公司	ZX300 数控梳槽机
株洲钻石切削刀具股份有限公司	汽车行业成套刀具

产品质量十佳

申报企业	产品型号、名称
重庆机床（集团）有限责任公司	YW7232CNC 数控万能磨齿机
汉江工具有限责任公司	高精修缘插齿刀
济南二机床集团有限公司	XKV2525 五轴联动高架式龙门镗铣加工中心
江苏亚威机床股份有限公司	HLF 高速光纤激光切割机
科德数控股份有限公司	KToolG3515 五轴工具磨床
南京工艺装备制造有限公司	凹槽式滚动花键副
山东普利森集团有限公司	ZK2102A 数控深孔钻床
沈阳机床（集团）有限责任公司	i5T3系列 智能车床
武汉重型机床集团有限公司	CKX53200 数控单柱移动立式铣车床
中南钻石有限公司	耐高温钛膜超硬复合材料



为了促进参展产品水平提高，激励会员企业加快产品自主创新，丰富CCMT展会活动内容，也为了帮助企业进一步宣传研发成果，展示数控机床精品、新品和名品，中国机床工具工业协会开展了“中国数控机床展览会春燕奖”的评选

活动。评选活动坚持公平、公正原则，企业自愿参加，不向申报企业收取任何费用。最终50多家企业的60件产品获得CCMT2018春燕奖。在此祝贺获奖企业，也期待今后能有更多企业的优秀产品参与评选并取得优异成绩。

CCMT2018春燕奖获奖名单

(按汉语拼音字母排序)

序号	参展商名称	展品型号	展品名称
1	宝鸡机床集团有限公司	BMC-500TV	铣车复合加工中心
2	北京安德建奇数字设备股份有限公司	AG360T	精密数控电火花单向走丝线切割机
3	北京北一机床股份有限公司	XKR40-3D	增减材复合机床
4	北京第二机床厂有限公司	GA20-63 II	数控端面外圆磨床柔性制造单元
5	北京精雕科技集团有限公司	JDGR200_A10H	精雕CNC雕刻中心
6	北京市电加工研究所 北京迪蒙数控技术有限责任公司	UT300A	油槽自动升降式精密数控电火花成形机床
7	北京沃尔德金刚石工具股份有限公司	PCD	可转位面铣刀
8	长沙思胜智能设备有限公司	L55720	双油缸上拉式内拉床
9	常州新墅机床数控设备有限公司	SLTM80A	径向伺服动力刀塔
10	成都成量工具集团有限公司	APIspece7-2、GB系列	全单项参数螺纹量规
11	成都普瑞斯数控机床有限公司	PX500	五轴联动叶片加工中心
12	重庆机床(集团)有限责任公司	Y8030CNC	数控车齿机
13	重庆机床(集团)有限责任公司	YDA3132CNCCR	滚齿铣床复合机床
14	大族激光科技产业集团股份有限公司	G4020HF	光纤激光切割机
15	广东高新凯特精密机械股份有限公司	CP35、45、55、65系列产品	气压钳制器
16	广州市昊志机电股份有限公司	DGZM-08100QA GZM12A-000	磨床主轴
17	广州市敏嘉制造技术有限公司	HF302A	两联车铣复合一体机
18	哈尔滨量具刀具集团有限责任公司	L30A	齿轮测量中心
19	济南第一机床有限公司	J1RAL-P	轮毂自动化生产线
20	济南二机床集团有限公司	XHSV2525A × 40	高架式五轴联动高速镗铣加工中心
21	江苏亚威机床股份有限公司	HLF-1530	第二代光纤激光切割机
22	科德数控股份有限公司	KHMC125UMT	卧式五轴复合加工中心
23	南京二机齿轮机床有限公司	YD3132CNC	滚倒一体机
24	南京工艺装备制造有限公司	GGB45IIBA2P1 2 × 3000-1	1级超精密滚动直线导轨副
25	宁波海天精工股份有限公司	GTi2740	龙门式五轴联动铣削中心
26	宁夏银川大河数控机床有限公司	2MK2215 × 20A	高档数控珩磨机
27	齐齐哈尔二机床(集团)有限责任公司	CXH5225 × 25/16	双柱立式车铣加工中心
28	齐重数控装备股份有限公司	VTMF160	立式铣车柔性加工单元
29	秦川机床工具集团股份公司	YKS7225	数控蜗杆砂轮磨齿机
30	青海华鼎装备制造有限公司	MCK8011	数控摩擦传动车轮车床
31	三河同飞制冷股份有限公司	MCWI-10C	高精度电主轴用变频水冷冷却机
32	森泰英格(成都)数控刀具股份有限公司		可调液压刀柄
33	山东博特精工股份有限公司	JSX120H-8/5.5	加工中心机械主轴单元
34	山东威达重工股份有限公司	DMC1300	门式高速立式加工中心
35	山东永华机械有限公司	RY-GB8550BF5	桥式五轴联动龙门加工中心
36	陕西汉江机床有限公司	2MK7130A	数控可转位刀片周边磨床
37	上海工具厂有限公司		航空航天用复合材料系列化刀具
38	上海机床厂有限公司		全自动曲轴类零件加工线
39	上海松德数控刀具制造有限公司	VT40 C60 × 1050VE-16010	阻尼减振车刀
40	上海维宏电子科技股份有限公司	NC65C	超高压五轴动态水切割控制系统
41	深圳市中图仪器股份有限公司	SJ6000	激光干涉仪
42	沈机集团昆明机床股份有限公司	HoriMill63	精密卧式加工中心
43	四川普什宁江机床有限公司	CK1104VI	数控纵切自动车床
44	四川普什宁江机床有限公司	FMC50	柔性制造单元
45	苏州电加工机床研究所有限公司	SE-WK012	两工位电火花加工喷孔专用机床
46	苏州三光科技股份有限公司	HB400	中走丝电火花线切割机床
47	台州北平机床有限公司	BPX6	六轴数控磨削中心
48	台州屹捷数控机床有限公司	YJ-CK130ST	双刀塔数控车床
49	无锡贝斯特精机股份有限公司	JZI.BST01	智能夹具
50	武汉华中数控股份有限公司	HSR-BR系列	双旋机器人
51	武汉华中数控股份有限公司	iNC-848D	智能化数控系统
52	武汉重型机床集团有限公司	ZH5480 × 2/60 × 10	龙门铣钻加工中心
53	西安爱德华测量设备股份有限公司	10128	Legend
54	烟台环球机床装备股份有限公司	AK33100D-2DMG1	伺服动力转塔刀架
55	宜昌长机科技有限责任公司	YK78200	七轴四联动数控齿条磨齿机
56	云南CY集团有限公司	CY-BDV35g	数控立式刹车盘专机
57	浙江海德曼智能装备股份有限公司	Hi6000	双主轴双刀塔车铣复合中心
58	浙江日发精密机械股份有限公司	CLOCK800	五轴卧式加工中心
59	郑州市钻石精密制造有限公司		发动机缸孔珩磨机
60	郑州市钻石精密制造有限公司	RTS系列	可换式小锥柄PCD导管精铰刀

复合机床:展现强大的加工能力

中国机床工具工业协会传媒部

复合机床以强大的复合加工能力，较高的自动化水平和事半功倍的效率备受青睐，在注重高效、高精度的未来，这种趋势只会增强不会削弱。我们要在立足“精”而“高”的基础上夯实创新。

大隈MULTUS U3000卧式复合加工中心

参展商：大隈机械（上海）有限公司



大隈机械（上海）有限公司MULTUS U3000卧式复合加工中心。最大加工直径650mm，中心距1000mm（1500mm可选），车削主轴做高转速5000r/min，铣主轴最高转速12000r/min，车削主轴功率15kW（连续），铣主轴功率11kW（连续）。可将加工时间缩至最短的双滑鞍结构，可以从各个方向进行灵活高效的切削加工，并可完成超出复合加工机床限制的加工任务，并保持长期稳定的结构精度。

埃马克VLC 200 GT倒立式车磨复合加工中心

参展商：埃马克（中国）机械有限公司太仓分公司



VLC 200 GT倒立式车磨复合加工中心的卡盘最大直径210mm，最大回转直径270mm，工件最大直径160mm，工件最大长度100mm。可进行硬车和磨削复合工艺的复合机床，集成有自动化系统，加工区可自由配置可装夹多把车刀的刀塔、内圆磨削主轴和外圆磨削主轴等，一次装夹完成所有加工。

VMC-C100HMT五轴车铣复合立式加工中心

参展商：上海拓璞数控科技股份有限公司



VMC-C100HMT五轴车铣复合立式加工中心的工作台尺寸直径1050mm，工作台最大承重1000kg，主轴最高转速12000r/min，主轴功率（S1/S6）23/31kW。高刚性桥式结构，直驱大扭矩可倾A、C轴转台，具备自动换刀、自动换头功能，机床RTCP动态精度可达0.02mm，提供定制化加工CAM软件和工艺服务。

DMG MORI 万能型车削中心NLX 2500|700

参展商：德马吉森精机机床贸易有限公司



NLX2500|700通过使用主轴和副主轴，以及Y轴行程100mm的刀塔进行6面加工成功机型，具有一次装夹高效完整加工或功能齐全特质。标配BMT60接口刀塔并可选配VDI-TRIFIX（12位），主轴最高转速至10000r/min。全新

CTXbeta2000TC为同级别机床中Y轴行程最大、可达300mm的车铣复合完整加工机床，是CTXTC成功系列中最新机型，能对最大车削长度2m的工件进行车铣复合完整加工。

KHMC125UMT卧式五轴复合加工中心

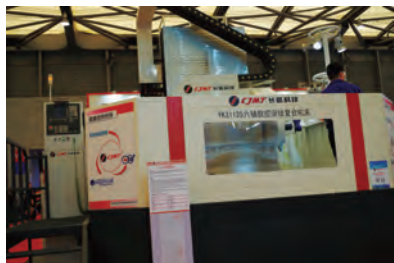
参展商：科德数控股份有限公司



KHMC125UMT卧式五轴复合加工中心的最大回转直径1500mm，工作台尺寸1250mm，工件最大重量2000kg，铣主轴最高转速18000/12000r/min，额定功率38/56.5kW，车主轴最大扭矩1048N·m（力矩电机直驱）。机床为具有A、B轴可倾转台的卧式复合加工中心，并采用多项先进技术，如分辨率的高精度位置反馈技术、双主轴同步控制、全闭环、热变形补偿等。

宜昌长机YK31125数控滚铣复合机床

参展商：宜昌长机科技有限责任公司

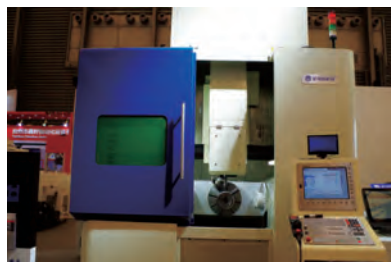


YK31125数控滚铣复合机床的最大工作直径1300mm，最大模数25，最大齿宽800mm，最大螺旋角 $\pm 45^\circ$ 。六轴系统四轴联动，双蜗轮闭式静压支撑工作台，床身和立

柱采用镶钢导轨及滚动体结构，内外刀架上装有滚刀和盘铣刀，配合专用程序实现外齿铣滚工序的复合加工，加工精度GB6级。

XKR40-3D增减材复合机床

参展商：北京机电院机床有限公司



机床采用双立柱高架结构，带双回转工作台，五轴联动。机床配置功能先进的数控系统、主轴及坐标驱动装置，直联式主轴，激光头安装于主轴侧面，线材给料、激光熔融，可靠的光栅测量系统，成熟的滚珠丝杠和线性导轨，稳定的集中润滑系统等，确保机床具有高刚性、高精度、高可靠性等特点，工作稳定可靠，适用于多种材料制成的具有空间复杂形状零件的加工。机床具备增减材复合制造能力，并可实现增减材交替加工需求，满足一些特殊零件或材料的需求。

INDEX RatioLine G220

参展商：因代克斯贸易(上海)有限公司



G220所拥有的宽阔加工区域以及基于一体化加工的机床设计理念，让车削与铣削复合加工得以在一台机床上实现。机床从设计上即拥有独立的配置选择，以最大化满足客户在使

用中对于设备灵活性的要求。动力强劲且功能强大的电主轴适用于对生产高要求的工具，适用于五轴加工。此外，具备强力驱动的下刀塔带有Y轴，确保了配合主轴及副主轴进行三维加工的能力。

升级版混合式复合加工机

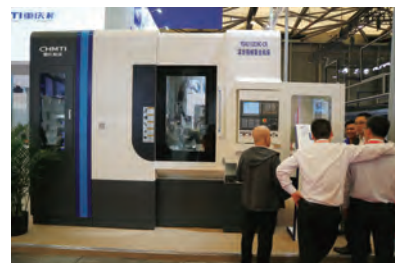
参展商：山崎马扎克（中国）有限公司



该产品具有摩擦搅拌焊搅拌针的自动切换功能。利用摩擦搅拌焊接（Friction Stir Welding）的原理，FSW与传统的通过熔解材料进行焊接的方式不同，它是通过摩擦热将材料软化搅拌进行结合，从而可以不需要材料以外的素材就可以进行焊接。这种方式可以在很小的曲面上进行焊接，具有焊接面也能保持美观的优点。

YDA3132CNC-CR 滚齿铣复合机床

参展商：重庆机床（集团）有限责任公司



该产品采用展成法加工圆柱直齿、斜齿齿轮，小锥度齿轮，鼓形齿轮；适用于商用车变速器齿轮，减速度器齿轮，工程机械齿轮的滚齿加工及铣齿加工；干式切削，绿色环保；高精度、精加工

精度为GB 10095.1-2008的6级；高效率：生产效率是湿式、单序加工的2~3倍，适合大批量生产；配备自动化上下料机构；机床控制为八轴数控四轴联动，数控系统为Fanuc3li；机床刀具主轴采用电主轴直接驱动，工件主轴采用力矩电机直接驱动，确保传动系统的刚性及精度。

BMC-500TV五轴铣车复合中心

参展商：宝鸡机床集团有限公司



BMC-500TV五轴铣车复合加工中心，机床运动由3+2轴实现五轴铣削功能。BC回转轴采用直驱结构，C轴能实现高速车削主轴功能，结合铣车分置刀座和铣车共用刀库结构，实现铣车五轴加工的无缝复合。铣削主轴与车削主轴结构相互独立，铣削主轴与车削主轴高速大功率内置式电主轴，铣、车共用链式刀库，使铣削和车削功能的效率

与灵活性都能最大化。

SR-G40高光机

参展商：江苏新瑞重工科技有限公司



SR-G40车铣复合高光机，龙门框架结构，矿物质铸件床身、立柱，配套高速车铣复合电主轴及高速转台，转速可达2500r/min，三轴采用直线电机驱动并配置光栅尺实现全闭环控制，实现高动态响应，加速度达2g，可实现3D曲面的车铣复合加工。

VMA412T立式五轴车铣复合加工中心

参展商：辽宁西格马数控机床有限公司



VMA4系列机床是以工序集中及工序复合为目的，在一台机床一次装夹完成零件加工理念的立式五轴加工中心和车铣复合中心。主机采用U型龙门结构设计，其中Z轴四轨约束，静动态刚性强大。三轴丝杠采用重心双驱动结构，进给平稳。

Hi6000双主轴双刀塔车铣复合中心

参展商：浙江海德曼智能装备股份有限公司



Hi6000是海德曼开发设计具有完全知识产权的高精度、高刚性、高效率车铣复合机床。该款机床主轴动力和铣削动力强劲，尤其适用各种大中型轴类、盘类零件的车、铣、镗、钻、攻复合并行加工。它的特点：高精度结构设计和配置；车铣复合顶置式正交结构；多项前沿技术、创新设计；X、Y、Z轴全闭环控制；主轴冷却及负压防护系统；双通道数控系统等。 □

广告客户索引 Advertisers Index

南京工艺装备制造有限公司..... 广告号码70
第十六届中国国际机床展览会（CIMT2019）..... 广告号码58
约翰内斯·海德汉博士（中国）有限公司..... 广告号码41
马波斯（上海）商贸有限公司..... 广告号码414
西门子（中国）有限公司数字化工厂集团..... 广告号码89
埃马克机床（太仓）有限公司..... 广告号码428
开天传动技术（上海）有限公司..... 广告号码450
斗山机床（烟台）有限公司..... 广告号码83

卡尔蔡司（上海）管理有限公司..... 广告号码488
郑州市钻石精密制造有限公司..... 广告号码198
武汉华中数控股份有限公司..... 广告号码 90
《世界制造技术与装备市场》..... 广告号码 703
北京北一机床股份有限公司..... 广告号码47
上银科技有限公司..... 广告号码 398
联合磨削公司..... 广告号码 706
哈尔滨量具刃具集团有限责任公司..... 广告号码 806

智能制造：引领行业未来

中国机床工具工业协会传媒部

智能技术深入发展并得到广泛应用。多种智能技术以软件和功能形式贯穿于工艺制定、编程、模拟与检查、设置与操作、过程控制与检测、维护与保养等各环节各要素中，富含专业技能的工艺软件、专家系统以及与人沟通能力、虚拟与仿真、加工导航、工作环境感知与补偿、对“力”的感知与控制、预测、视觉与听觉等智能技术进一步融合了人机关系，为作业提供了卓越支撑。

DIAMOND EVOLUTION 电解与磨削二合一刀具磨床

参展商：柯尔珀斯来福临机械（上海）有限公司



磨削直径范围1~165mm，整体磨削工件最大长度185mm，外圆磨削工件最大长度255mm，端面磨削工件最大长度185mm。在一次装夹的情况下能够自动完成复杂刀具几何形状的电解加工（EDM）和磨削加工。内置的专家工艺系统，具有3D仿真模拟、碰撞检查等智能功能。

VirtualPro编程辅助工具及 TRAUB铣削软件包

参展商：因代克斯贸易（上海）有限公司



两者可方便快速地创建多种加工数控程序，优化的路径和刀具应用策略可显著提高切削率，减少刀具负荷，提高刀具寿命。VirtualLine虚拟机床（VM）软件，含有INDEX机床的全部功能，可在机床和CAM系统中进行与物理机床行为一致的模拟，包括程序检查、碰撞检测、切削仿真。软件使用方便简单，具有所有机床刀架、主轴和刀具的3D设计模型，按需调用。

HSC 75 linear高速精密立式五轴加工中心

参展商：德马吉森精机机床贸易有限公司



主轴最高转速18000r/min，主电机功率25kW（连续），工作台最大承重800kg，X/Y/Z轴最快速度90m/min，加速度大于2g，西门子840Dsl或海德汉iTNC 530数控系统。直线轴采用直线电机驱动，全闭环控制，热对称结构，操作接近性好，配有高速控制软件，具有会话编程、可视化功能和新的应用程序。

ELITE 51B高性能车削中心

参展商：哈挺机床（上海）有限公司



最大加工直径310mm，主轴转速5000r/min，主轴棒料通过直径42mm，主轴功率11kW，数控系统为FANUC Oi-TF。哈挺ELITE家族最新系列高精度车削中心，功能完备，配备哈挺传统夹头式主轴，可以得到更高的精度，优秀的抗震性和热稳定性，带来出色的零件圆度、表面质量、尺寸稳定性，并力求刀具寿命的提高。

HCN6800 L 豪门经典卧式加工中心

参展商：山崎马扎克（中国）有限公司



主电机功率30kW（连续），主轴最高转速10000r/min，最大扭矩586N·m（1min额定）。经过H、FH、PFH三代磨砺的第四代卧式加工中心产品，搭载第七代SMOOTH控制系统，可将加工过程数据形成数据并链接到管理层和分析层，形成新的价值。

OKUMA复合加工中心

参展商：北一大隈（北京）机床有限公司



OKUMA复合加工中心的齿轮加工软件包，只需通过3步编程，即可在五轴加工中心上完成过去只能在齿轮机床上完成的工作。“加工导航”功能，当切削振动发生时，能够将主轴转速自动改变至最佳，或提出备选方案并模拟效果供操作者选择。“伺服导航功能”，当工件和卡具的质量变化，加速转矩变化、机械磨损变化、震动发生时，可自动调整相关伺服参数，保持加工精度和表面质量，缩短加工时间。“五轴自动协调”功能，利用传感器和公司机电一体化技术，用户在10min内通过3步简单的操作，即可完成五个联动轴的综合几何误差检测，并自动确定误差补偿值。

GAN3020型三维五轴光纤激光切割机

参展商：奔腾激光(温州)有限公司

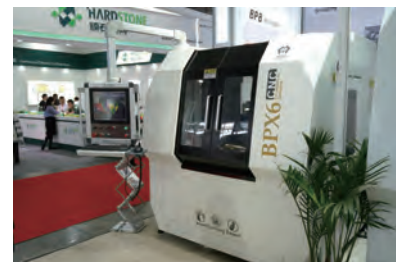


加工幅面3000mm×2000mm，X、Y轴定位精度0.05mm/m，重复定位精度±0.02mm，A、B轴重复定位精度±10"。X、Y轴最大定位速度30m/min，最大加速度0.8g，A、B轴最高转速60r/min。机床采用意大利Penta研发的Smart

Manager 4.X操作软件，具有可优化空间轨迹的RTCP功能和可自动检测切割头与被加工件（金属板材）之间距离的功能。

BPX6六轴数控工具磨削中心

参展商：台州北平机床有限公司



X、Y、Z、A、B六个主控轴，全闭环控制，直线轴由直线电机驱动，回转轴直驱电机驱动，采用双端磨头磨削工件外圆，具有自动上下料装置，搭载自主研发的磨削软件，界面友好，内置多种标准刀具图形，通过参数输入即可轻松完成编程。

Y4830CNC数控内齿珩轮强力珩齿机

参展商：南京二机齿轮机床有限公司



七轴五联动，机床主轴及工件主轴采用直驱技术，工作台轴向进给采用直线电机驱动，宜人化的操作界面及自主知识产权的用户软件，具有自动余量补偿、夹持力控制、自动热变形补偿、恒力切削、工件相位检测、自动对齿等智能功能。加工精度5~6级，齿面粗糙度值Ra在0.63μm以下，使用西门子840Dsl数控系统。

BMD703-500CNC电火花穿孔机

参展商：苏州市宝玛数控设备有限公司



本产品嵌入式控制系统，可实现与CAD无缝连接，兼容UG\ SOLIDWORKS\AUTOCAD等绘图软件的DXF图形，具有“互联网+”功能，可实现远程实时监控，具有智能化数据库并且定期免费更新。可选配C轴，为一些特定产品的小孔加工提供了解决方案。搭载宝玛具有完全知识产权的穿孔机编控系统，加工工作中可同时绘图编程。

G150A数控精密立式滚齿机

参展商：四川普什宁江机床有限公司

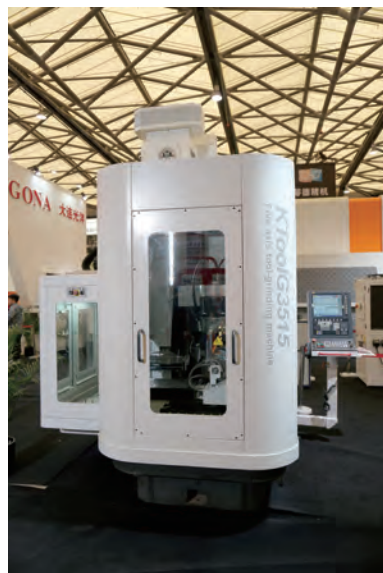


最大工件直径150mm，最大加工模数3mm，滚刀主轴最高转速2000r/min，螺旋角范围 $\pm 45^\circ$ ，

FANUC Oi-MF/H数控系统，六轴四联动，最高加工精度6级。还具有轴向鼓形齿、锥度齿、径向法蜗轮以及硬齿面齿轮加工和干式切削加工能力，具有二次对刀、自动磨刀、柔性同步、会话式编程等功能，可与自动上下料装置配合完成连线加工。

KToolG3515五轴工具磨削中心

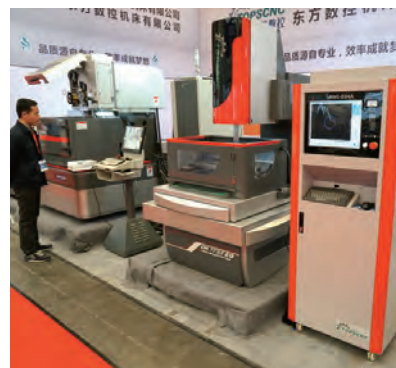
参展商：科德数控股份有限公司



最大工件直径350mm，最大棒料工件长度350mm，最大工件重量50kg，定位精度0.008mm，重复定位精度0.004mm，分辨率0.0001mm，回转轴定位精度 0.004° ，重复定位精度 0.003° ，分辨率 0.0001° 。搭载自主研发的GNC61总线式数控系统和G-TOOL磨削工艺软件系统G-TOOL，适应多种刀具的磨削加工，并可选配多种自动化装置，实现无人作业。

DK7732ZG-I全伺服智能中走丝线切割机床

参展商：泰州东方数控机床有限公司



该机床配有自主研发的全智能数控系统及自主知识产权的控制软件和数据库，五轴四轴联动，采用慢走丝放电电源技术，几何精度和数控精度接近慢走丝标准，具有双向恒张力动态控制，高速切割、多次切割、原点记忆、螺距补偿、无条纹修蚀等功能。一致性尺寸误差 $\leq 0.004\text{mm}/40\text{件}$ ，纵剖面尺寸误差 $\leq 0.004\text{mm}/100\text{mm}$ 。

CUT E 350数控慢走丝线切割机床

参展商：GF加工方案



CUT E 350数控慢走丝线切割机床配有最新的AC CUT HMI操作系统，该系统为自主开发的简单易用的智能人机对话界面，用户只需轻轻点击就能快速操作，其内置全面的加工工艺参数，使用户能够合理简化任务设置；提高加工速度、改善表面质量、保护贵重工件，确保整个加工过程安全可靠。同时，该机床还具有集成的3轴碰撞保护（ICP）。□

透过CCMT2018看国产机床工具技术进步

中国机床工具工业协会传媒部

随着CCMT展会国际影响力不断提升，国产机床工具展品水平也在不断提高。特别是CCMT2018上，随着行业转型升级步伐的加快，国产机床工具展品创新纷呈，亮点颇多。本文根据行业资深技术专家邵钦作老师在协会内部的讲座内容整理，涉及国产重型机床、车铣复合及加工中心、数控车床及车削中心、数控磨床、齿轮加工机床、特种加工机床、检测仪器、智能化数控系统及智能化机床等八个产品领域。

一、重型机床（龙门铣、立车卧车、落地镗床等）类

技术特点

结构形式多样化：栋梁、定梁、龙门移动式、高架式、单双动柱式等；功能复合：车、铣、镗、磨、钻孔、攻丝等多工序精密加工；双摆角铣头国产化取得进展；直驱技术应用：电主轴、直线电机、力矩电机转台等；技术指标有所提升。

典型展品

1.XHSV2525A×40高架式五轴联动高速镗铣加工中心（济南二机床集团有限公司）

高架式龙门结构，自制双摆角铣头；工作台尺寸2500×4000mm；横梁快移速度(X)15000mm/min；额定输出功率(S1/S6-40%)37/46kW；额定输出扭矩(S1/S6-40%)60/73N·m；转速范围10~24000r/min；刀库容量32把。



2.VMMS系列运载火箭贮箱箱底五轴龙门式加工中心：双五轴镜像铣系统（上海拓璞数控科技股份有限公司）

龙门加工中心配五轴双摆角铣头，对称配置四轴镜像运动支撑机构，与刀具同轨迹运行，支撑机构上有激光扫描测量装置，实时测量实现曲面重构，具备程序自动补偿功能，实现五轴柔性加工。箱底柔性装卡和自动上下料，阻尼多点支撑减震加工，水侵式超声波非接触测量。主轴转速20000r/min；主轴功率24kW。



3.VTMF160立式铣车柔性加工单元（齐重数控装备股份有限公司）

为船用燃气轮机机匣加工而研制的立式铣车柔性加工单元新产品，机匣一次装卡能完成车、铣、镗、磨、钻孔、攻丝等多工序精密加工。该装备配有寿命监控、精度监控、健康预警等管理系统，可通过云端实现机床的远程监控与维护。最大加工直径1600mm，最大工件高度1200mm，工作台最大承重8t。



二、车铣复合及加工中心类

技术特点

机床动静刚度和热性能普遍提高；直驱技术应用：电主轴、力矩电机转台、直线电机驱动等；精度、速度等技术指标提高；智能化技术应

用；软件技术应用；自动化成线技术；多轴联动、复合加工中心。

典型展品

1.HoriMill63精密卧式加工中心

（沈机集团昆明机床股份有限公司）

采用德国电主轴和数控系统（含伺服电机）；力矩电机；主轴电机功率52/73kW；直线轴定位精度0.007mm；转台定位精度5"；工作台尺寸2-630×630mm；工作台承重1.2t；刀库容量40把。



2.UPDL450型超精密单点金刚石车床

（江苏哈博精密机械科技有限公司）

加工范围 $\Phi 450 \times 300\text{mm}$ ，主轴跳动 $\leq 0.1\mu\text{m}$ ，重复定位精度 ≤ 1 角秒，定位精度 $\leq \pm 0.15\mu\text{m}$ 。



3.Hard T型超精密超硬车床

（江苏哈博精密机械科技有限公司）

加工范围 $\Phi 380 \times 350\text{mm}$ ，主轴跳动 $\leq 0.2\mu\text{m}$ ，定位精度 $1\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $0.2\mu\text{m}$ 。



4.BMC-500TV铣车复合加工中心

（宝鸡机床集团有限公司）

悬臂式结构、直驱技术的双转台；武汉华中848CM数控系统；核心功能部件 $\Phi 400\text{mm}$ 高速铣车复合BC双轴转台自行研发制造；滚珠丝杠：陕西汉江；滚动导轨：广东高新凯特；链式刀库：台湾产品；铣主轴：欧系品牌。机床工作台直径 $\Phi 400\text{mm}$ ；铣削主轴转速20000r/min；车削主轴转速1500r/min。



三、数控车床及车削中心类

技术特点

刚度、稳定性提高；多主轴、多刀架车削中心较快发展；动力刀塔功能扩展：车、铣、钻；加工技术指标提高；自动化水平提高了效率。

典型展品

1.Hi6000双主轴双刀塔车铣复合中心

（浙江海德曼智能装备股份有限公司）

结构设计先进，紧凑合理，复合程度高，机床精度较高。主轴孔的径向跳动靠近主轴端面0.003mm；主轴孔的径向跳动距主轴端面300mm处0.008mm；主轴定心轴径的颈向跳动0.003mm；主轴端面跳动0.003mm；双向定位精度(X、Z)0.008mm。



2.CK1104VI数控纵切自动车床

（四川普什宁江机床有限公司）

自主研发16000r/min主、副主轴，机床结构紧凑，精度高，能替代进口产品。最大加工棒料直径4mm；最大加工零件长度30mm；主轴最高转速16000r/min；主轴电机功率0.75/1.1kW；副主轴最高转速16000r/min；副主轴电机功率0.75/1.1kW；快速移动速度20m/min；控制轴数（直线）6轴；重复定位精度0.002mm(ISO)；刀具数量（标准）11把。



四、数控磨床类

技术特点

人造花岗岩床身应用；直驱技术应用加快；自动化和智能化技术应用；磨削应用软件；磨削技术指标和效率提高。

典型展品

1.全自动曲轴类零件加工线

（上海机床厂有限公司）

本项目由1台端面外圆磨床、1台

曲轴磨床、1台六关节机器人组成自动生产线CPK1.67, 外圆磨床配置进口断面刀仪, 曲轴磨床配置进口角度定位和端面自动定位仪及曲轴在线测量仪。具有端面定位相角定位、偏心点自动检测、在线圆度检测和圆度补偿功能, 自动化程度和可靠性高。最大磨削直径200mm; 最大工件重量35kg。



2.KToolG3515五轴工具磨床 (大连科德数控股份有限公司)

高精度五轴联动数控工具磨床, 床身采用矿物铸石材料, 砂轮主轴采用专用同步主轴电机驱动, 体积小, 扭矩大, 稳定性强。配备大连光洋自主研发的总线式数控系统GNC61和磨削工艺软件系统G-TOOL, 加工刀具种类齐全。配备气动锁刀缸, 完成拉刀功能, 自动调节锁刀压力。选配自动上料装置, 实现自动上下料, 实现一人看管多台机床或无人看管, 提高加工效率。选配移动中心架, 实现超长刀具加工。加工能力: 工件最大直径 $\phi 350\text{mm}$, 主轴最高转速9000r/min。



五、齿轮加工机床类

技术特点

数控车齿机产品化; 自动化、智能化水平提高; 直驱技术应用加快; 软件应用; 环保型干切工艺应用; 滚齿铣齿复合机床; 齿轮加工自动化生产线。

典型展品

1.Y8030CNC数控车齿机(重庆机床集团有限责任公司)

新型齿轮高效加工方式, 可对齿向修形, 加工效率比插齿高4倍, 特别适合内齿轮加工。最大工件内齿齿根圆直径 $\phi 300\text{mm}$, 最大工件外齿直径 $\phi 300\text{mm}$, 最大模数4mm, 车齿刀具主电机功率、工作台主电机功率29.3kW。



2.YK78200七轴四联动数控 齿条磨齿机(宜昌长机科技有限责任公司)

齿条磨床采用金刚滚轮修形技术和声纳技术进行砂轮修整, 加工余量自动分配。最大加工模数20mm, 最大加工工件(20°斜齿)长度2000mm, 加工斜齿条最大角度 $\pm 20^\circ$, 砂轮主轴转速1-4000r/min, 最大砂轮宽度105mm, 砂轮直径 $\phi 210-400\text{mm}$, 行程(X/Y/Z1/Z2)500/2000/420/105mm, 进给速度(X)10000mm/min, 磨削精度4级(GB10096-88)。



六、特种加工机床类 (含电火花加工机床和激光加工机床)

电火花加工机床技术特点

机床刚度和稳定性提高; 工作台自动升降; 自动穿丝、张力稳定技术; 多轴联动应用; 直驱技术应用; 专家系统扩展; 机床加工精度和性能提高。

激光加工机床技术特点

采用光纤激光器、功率增大趋势; 机床轴运动速度加快; 机床轴定位精度提高; 光束聚焦质量提高; 软件功能更加丰富。

典型展品

1.XKR40-3D增减材复合机床 (北京北一机床股份有限公司)

在五轴加工中心基础上增加了激光头。工作台最大回转直径 $\phi 450$; X/Y/Z轴行程500/500/400mm; X/Y/Z快移速度30m/min; A/C轴转动范围 $-100^{\circ}+10^{\circ}/360^{\circ}$; 主轴最高转速10000r/min, 48N·m; 激光器功率4.5kW。



2.UT300A油槽自动升降式精密数控电火花成形机床(北京市电加工研究所, 北京迪蒙数控技术有限责任公司)

油槽自动升降、超光加工、高精度等技术具有先进性。工作台尺寸600×400mm; 行程(X/Y/Z)300×210×270mm; 工件重量400kg; 最大电极重量50kg; 控制轴/联动轴数4/4, 可扩充为5/5; 最小

电极损耗0.1%；最大加工电流50A；表面粗糙度 $Ra0.1\mu m$ (铜/钢)；模具钢加工效率 $\geq 500mm^3/min$ (50A)， $\geq 1000mm^3/min$ (100A)；总输入功率9kVA。



3.HLF-1530第二代光纤激光切割机（江苏亚威机床股份有限公司）

各项指标以及主要创新技术等方面特色明显。行程(X/Y/Z)3100/1550/120mm；定位速度(X、Y/Z)120/60m/min；最大合成速度(X、Y)170m/min；加速度(X、Y、Z)20m/s²；定位精度 $\pm 0.03mm$ ；重复定位精度0.02mm；切割加工精度 $\pm 0.1mm$ ；割缝宽度0.15-0.3mm；工作台最大载重750kg；整套机床占地面积11400 $\times$ 5000mm；整机重量11t。



七、检测仪器类

典型展品

1.L30A齿轮测量中心（哈尔滨量具刀具集团有限责任公司）

三维测头，多种齿形测量软件，工件系统自动找正，高精度回转主轴直线电机运用等新技术的运用。可测齿轮模数0.5~20mm；可测齿轮外径450mm；上下顶尖距离20~700mm；测头至下顶尖距离0~390mm；螺旋角范围0~90°；

可承载最大重量300kg。



2.SJ6000激光干涉仪（深圳市中图仪器股份有限公司）

检测机床各项误差及修正，检测坐标测量机位移精度及对静态/动态误差测量和补偿，对位移传感器检定，以及形位误差等几何量的检测；效率高、测量精度高、速度快、抗干扰能力强、最高测速下分辨率高及测量范围大；稳频精度0.05ppm；测量距离(0~80)m；测量精度0.5ppm(0~40)℃；测量分辨率1nm；动态采集频率50kHz。



八、智能化数控系统及智能化机床类

典型展品

1.iNC-848D智能化数控系统（华中数控股份有限公司）

智能化功能：质量提升，精度、质量提升，7项补偿和刀具管理等功能；工艺优化：加工效率提升，8项加工工艺优化功能；健康保障：保障设备安全完好，9项诊断、保障功能；生产管理：提高管理和使用效率，6项生产管理功能。

主要指标	国外同类产品	本产品
最大通道数	10	10
最大控制轴数	32	64
最大联动轴数(每通道)	8	8
最小插补周期	0.25ms	0.125ms
系统分辨率	1nm	1nm
总线接口	Profibus	支持两种
小线段、样条插补	有	有



2.智能立式加工中心BM8-H（宝鸡机床集团有限公司）

数控系统：宝鸡数控系统B-800M；新增传感器：温度传感器12个，振动传感器2个，光栅尺3根，视觉传感器1个。



3.智能数控车床BL5-C（宝鸡机床集团有限公司）

数控系统：宝鸡数控系统B-800T；新增传感器：温度传感器12个，振动传感器2个，光栅尺2根，视觉传感器1个。 □



西门子以“数字化双胞胎”应用 推进机床工业的数字化

西门子（中国）有限公司

西门子在第十届中国数控机床展览会（CCMT 2018）上，重点展示了机床加工与制造过程中如何借助“数字化双胞胎”来实现从产品研发、设计、生产、直到服务的全过程，从而提高生产力、可用性和过程可靠性，优化加工精度、设计、加工过程乃至维护和服务。同时，西门子在本次展会上延续了2017汉诺威国际机床展的展示理念，借助实际案例展示了“数字化双胞胎”在机床制造商和机床用户中的应用以及其所带来的优势。

“产品研发到生产的不断整合是迈向‘工业4.0’的关键。”西门子（中国）有限公司数字化工厂集团副总裁、运动控制部总经理Frank Golueke表示，“西门子一直致力于数控制造领域的仿真、虚拟机床以及数控系统与工厂IT系统的集成，以持续深化这一过程。”

借助“数字化双胞胎”实现 机床加工与制造的数字化

采用西门子控制技术的机床，其虚拟机床的控制系统与西门子的Sinumerik数控系统使用相同的语言代码。借助虚拟NC内核，可生成仿真和试运转的“数字化双胞胎”，即完全对应的虚拟镜像，从而提前对程序和复杂运动序列进行虚拟测试，以

提高实体机床后续加工的精确度和可靠性，最大限度缩短调整时间。这些优势在小批次、定制化产品的生产中更为明显。

西门子还展示了其功能强大的、基于云的开放式物联网操作系统MindSphere在机床领域应用的多种连接和安装选项。利用MindSphere上的“Manage MyMachines”应用程序，西门子在展台上连接了北京数控技术应用中心的两台机床，向现场观众展示借助该应用程序所采集和分析的相关机床数据。“Manage MyMachines”能轻松快速地将Sinumerik 840D sl这样的机床数控系统与MindSphere相连，为用户提供来自联网机床的信息，使用户能清晰地了解机床的当前以及历史状况，从而缩短机床停机时间，优化服务和维修流程，提高生产力。

Sinumerik —— 数控系统软硬件全面升级

在本次展会上，西门子还展出了一系列数控系统软硬件的新产品，其全系列的Sinumerik 808D、828D和840D数控系统，全面覆盖从普及型和标准机床控制方案、到模块化高级解决方案，再到高端工件生产的智能解决方案。Sinumerik 808D ADVANCED 是基于操作面板的

普及型数控系统，其结构紧凑、使用方便，适用于车削和铣削应用。Sinumerik 828D BASIC、828D以及828D ADVANCED都是高性价比的数控系统，数控性能高，便于调试。

全新升级的Sinumerik 840D sl数控系统采用多核处理器技术、基于驱动的高性能NCU（数控单元），性能潜力更高。在NCU链路中，30个加工通道可控制多达93根轴。使用该数控系统的多轴机床，可在最短的加工时间内完成极高的加工精度。

Sinumerik 840D sl的NCU性能可扩展，其操作部件还采用了高度模块化设计。例如，借助于灵活M:N操作，所有操作面板都可与NCU配套使用。此外，Sinumerik 840D sl还具有优秀的开放式架构，通过采用Sinumerik Integrate，可根据机床的工艺条件对数控系统进行最佳调整，从而确保生产自动化环境的高度灵活性。Sinumerik 840D sl采用领先的工业以太网标准Profinet进行通信，出色的通信功能可完美集成到西门子全集成自动化（TIA）环境，并通过TIA博途工程软件平台进行工程组态。先进的触控屏幕技术为机床操作带来崭新的智能生产体验。

（下转第67页）

齿轮测量中心关键技术的研发与应用

哈尔滨量具刀具集团有限责任公司 赵建

本文介绍了齿轮测量中心关键技术的研究背景，重点阐述了齿轮测量中心有限元分析优化结构、激光干涉仪检验、齿轮测量中心三维测头和三维测量软件的研发应用。

一、研究的目的和意义

齿轮传动是机械传动的重要转动形式之一，其具有速度范围大、功率范围广、结构紧凑等优点，已广泛应用于各种机械设备和仪器仪表中。随着现代工业的发展，齿轮的种类越来越多，从渐开线齿轮发展到弧齿轮、锥齿轮、伞齿轮、人字齿甚至是非圆齿轮，各种新型齿轮层出不穷。

CNC齿轮测量中心是一个包含回转轴的四轴四坐标测量机，其测量原理为电子展成法，计算机控制电机控制模块实现各轴按预定参数运动，使测头相对工件运动轨迹为测量曲线，测头相对运动的同时，计算机不断采集各光栅轴的实际位置和测头示值，实现同步采集，将采集数据与理论齿面展开位置进行比较，完成测量及误差评定。工业的发展使齿轮加工机床和齿轮刀具的精度随之提高，对齿轮测量的精度要求也越来越高，齿轮及其加工刀具都对测量仪器的精度提出了更高的要求，且随着评价技术的发展，评价齿轮和齿轮加工刀具质量的测量项目也越来越多。

目前国外生产齿轮测量中心的国家有德美日等少数几个发达国家，代表产品为德国Klingelnberg，美国Gleason公司生产的齿轮测量中心，测量等级达到VDI/VDE I级，能检测各种齿轮及齿轮刀具。对较复杂的螺旋锥齿轮，不仅能检测齿轮加工误差，还能根据误差值通过最优算法算出机床的调整误差，再反馈给数控机床，形成了加工、检测、再加工的闭环系统，不仅提高加工效率，也提高了加工精度。

国内齿轮测量中心的研究起步较晚，目前国内齿轮量仪厂家生产的产品，主要是采用一维电感测头的中低端产品，高端市场上，国产仪器几乎呈空白状态，例如机器人行业使用的RV减速器，其中高精度摆线轮和针齿等关键部件精度测量和汽车行业变速箱使用的多联齿轮正时关系测量等，主要依靠进口齿轮测量中心实现测量评定。中低端产品的附加值也较低，且近几年经济形势对中低端市场的冲击越发严峻。所以研发高精度、高稳定性、高附加值、动态特性良好的齿轮测量中心刻不容缓。

二、产品性能介绍

齿轮测量中心主要由机械系统、控制系统和软件系统三大系统组成，如果把齿轮测量中心比喻成人，那么机械系统和控制系统是它的身体，软件系统是它的大脑，机械系统和控制系统的精度和稳定性会反作用给软件系统。例如RV减速机用的摆线齿轮，要完成其几何参数的扫描测量，对机械精度、刚性，控制系统的稳定性，软件的算法和整机的动态特性都提出高标准的要求。目前国内齿轮测量中心以触发式测量为主，因为齿轮测量中心要完成复杂工件某些参数的扫描测量功能，得到准确的测量数值，必须对齿轮测量中心三大系统统一分析处理。

要得到一款高精度、高稳定性的齿轮测量中心，需要在设计过程中对整体结构进行有限元分析，验证结构的正确性、稳定性，预测分析不同工况下齿轮测量中心的模态、共振、谐响应等动力学变形等机械系统的动力学特性的变化规律，分析其对精确度的影响规律，优化结构设计。产品试

制过程中,通过使用激光干涉仪等设备,对关键指标检查验证,重点验证分析各运动轴的动态特性曲线。设计分析和实验验证缺一不可。

齿轮测量中心配置和精度指标

配置内容	名称	齿轮测量中心
测头系统	三维测头	SP80H三维测头(英国雷尼绍)
电控系统		以美国PMAC控制卡为控制核心
3个直线轴	X驱动方式	直线电机驱动密珠导轨
	Y驱动方式	直线电机驱动密珠导轨
	Z驱动方式	直线电机驱动密珠导轨
	光栅尺	海德汉高精度光栅尺
C主轴	主轴电机	直驱力矩电机
	主轴光栅	海德汉高精度光栅尺
精度指标制定		参考VDI-VDE2612 VDI-VDE2613 AGMA ISO 10064-5-A06

三、主要研究内容和新技术应用情况

哈量集团立足于市场需求研发齿轮测量中心的关键技术,着力解决了“激光干涉仪检测齿轮测量中心运动轴的静态、动态性能”、“激光干涉仪对光栅尺校准和修正”、“齿轮测量中心应用三维测头和三维软件建模测量与评定”、“绝对式光栅尺的应用和实验”及“齿轮测量中心测量结果反补偿机床加工”等多项技术瓶颈。

本文中主要介绍以下几个创新点:

(1) 齿轮测量中心的结构设计验证,将有限元分析的建模验证与激光干涉仪的产品试制验证相结合论证。

(2) 高精度轴系研发,轴系部件整体磨削工艺。

(3) PID参数调试。

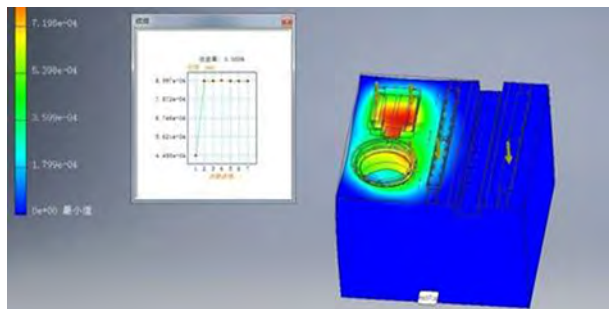
(4) 齿轮测量中心应用三维测头和三维软件研发。

1.主机座的设计、分析和验证

(1) 设计验证

机座部件安装顶尖立柱及轴系部分,支撑切向滑板及测量立柱,受力较大,机座的刚性和稳定性除了影响仪器切向的精度,还会对仪器各运动轴的直线度误差,各轴间的垂直度误差等产生影响。基座设计时通过有限元工具设计本身分析,试验阶段通过激光干涉仪对其验证。

测量主机座的材料为灰铸铁,其材料的弹性模量为 $1.38 \times 10^4 \text{ Pa}$,密度 7280 kg/m^3 ,泊松比为 0.3。根据工况对机座加载,拓扑优化分析模型。

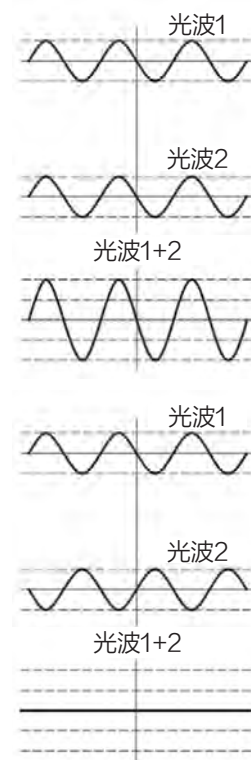


根据拓扑优化后模型,满足设计要求,确定基座结构。

(2) 利用激光检测验证拓扑分析准确性

齿轮测量中心检测使用的雷尼绍公司的激光干涉仪XL-80。干涉技术是一种测量距离精度等于以至于高于1ppm的测量方法。该技术是基于光束一种波动的事实,其波长是精确已知的。波长是指两个相邻波峰间的距离。在可见光谱中,波长范围在0.45微米至0.7微米之间变化。

测量技术的基理是把两束相干光合并或引起相互干涉,其合成结果为两个波形的相位差,用该相位差来确定两个光波的光路差值的变化。



因此,若两个相干波形的相位差随着其光程长度之差逐渐变化而相应变化的话,那么合成干涉波形的强度则会相应周期性变化。

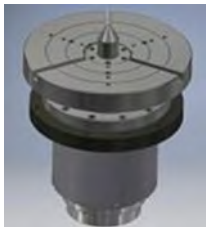
论证中利用激光干涉仪检测齿轮测量中心的各直线轴线性误差、平行度误差、直线度误差、垂直轴的垂直度误差、并利用角度误差测量功能完成齿轮测量中心系统的动态综合误差检测。



通过激光干涉仪检测,分析激光干涉仪输出数据,多次论证、优化设计,再将试验论证后的结构加工试验测量,论证到齿轮测量中心各项指标满足设计要求,论证出齿轮测量中心使用工况下有限元分析结构结果与实际发生结果之间的关系。

2. 高精度回转工作台的设计加工和验证

(1) 概要



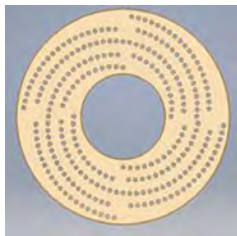
齿轮测量中心的轴系精度,主要包括轴系装配后下顶尖跳动精度和闭环控制时主轴的转位精度。目前齿轮测量中心主轴的下顶尖跳动精度,主要依靠保证轴系组成工件精度,装配后调试完成,传统的方式,装配后单件误差综合后误差会集中于下顶尖锥面,下顶尖锥面不同高度难以都达到理想的精度,既对装配人员的技能要求很高,还难以达到VDI标准规定的一类仪器精度要求。

(2) 创新点

a) 轴向预紧力密珠轴系,整体磨

削加工工艺。

b) 激光干涉仪检测齿轮测量中心转位精度。



轴系部分采用轴向预紧力密珠轴承轴系,它由主轴、轴套和密集于两者之间的具有过盈配合的滚珠所组成。滚珠的密集分布与过盈配合,有助于减小各组成件制作误差对轴系精度的影响,从而使轴系回转精度有所提高。密集的滚珠相当于多头螺旋线排列,每个滚珠公转时沿着自己的滚道滚动,互不重复,减小了滚动磨损,使轴的精度得以长期保持。滚珠的过盈相当于预加载荷,通过微量的弹性变形起着消除间隙,减小几何形状误差影响的作用,密集的滚珠与过盈配合共同作用结果,均化了轴套、主轴和滚珠尺寸误差和形状误差,提高了轴系回转精度。同时,主轴的轴向预紧力,也为主轴的整体磨削提供了前提条件。

主轴系统是在垂直情况下安装使用的,轴系载荷都集中在了轴向承载滚珠上,所以主轴的承载能力由轴向承载滚珠的承载能力决定,影响滚珠承载能力的因素有滚珠的材料、直径和数量,滚珠材料通常是轴承钢GCr15,所以我们只需通过计算确定滚珠直径和数量即可。按强度条件计算滚珠直径 d_1 的公式为:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{W_k}{9.8[P]}} = \sqrt{\frac{W_0 a_1 a_2 a_3}{9.8[P]}} = \sqrt{\frac{[W(z_1 k) a_1 a_2 a_3]}{9.8[P]}}$$

式中, P 为滚珠材料许用负荷强度; a_1 为负荷情况系数,静载荷时取1; a_2 为工作时间系数,10000h时

取2; a_3 为座圈转动系数,取1; W 为最大轴向载荷; k 为承载负载滚珠比例,通常 $K=0.8$; z_1 为止推滚珠个数。

从公式中我们可以看出,滚珠直径 d_1 是与滚珠个数 z_1 之间相关联的,在主轴载荷确定的情况下,两者之间呈反比关系,滚珠个数 z_1 越大,所需的滚珠直径越小。根据材料力学分析,减小滚珠直径会有助于提高密珠滚动轴承轴系的刚性,但是滚珠个数 z_1 太多会影响轴系的运动灵活性。所以,我们应在不影响主轴旋转灵活性的前提下,根据主轴尺寸合理排布滚珠,确定滚珠个数 z_1 ,从而确定钢球直径 d_1 。最后还应通过计算滚珠的直径变形量 δ 来校验所选的滚珠直径是否满足要求。滚珠的直径变形量公式如下所示:

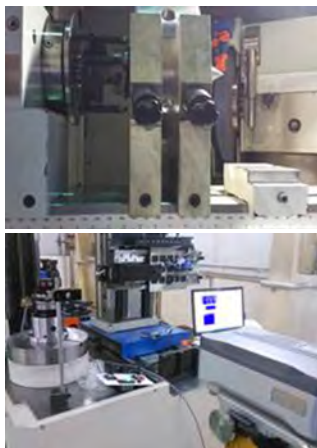
$$\begin{aligned} \delta &= 2 \times 0.67^3 \sqrt{\frac{2W_0^2}{d} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^2} \\ &= 2 \times 0.67^3 \sqrt{\frac{2[W(z_1 k)]^2}{d} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^2} \end{aligned}$$

式中, E_1 、 E_2 分别为滚珠和滚珠接触面的材料弹性模量。

轴系零件在加工中不可避免的存在加工误差,导致轴系在装配时径向会产生间隙,影响轴系运动精度和刚性,所以为了能够消除此间隙,常用的做法是采用过盈量装配的方法。本设计的轴系,轴向方向也采用预紧力装配方式,根据以往的设计经验和装配后验证,确定合适的预紧力。

轴系加工和装配后,整体磨加工,并使用激光干涉仪等手段检测,根据检查结果优化设计,反复论证,直至满足设计需求。





3. PID参数调试

高精度齿轮测量中心在实现各种测量功能的过程中,需要各直线轴和旋转主轴按照程序指令平稳、快速地完成测量动作,因此仪器各直线轴和旋转主轴的运动精度直接影响仪器的测量精度,运动轴的运行平稳性、响应速度和定位准确是仪器精度保障。高精度齿轮测量中心采用CNC全闭环控制系统,高精度光栅精确定位的电机和多轴运动控制卡组成闭环,控制各运动轴的运动定位,为使这套闭环系统能够快速协调的运转,在多轴运动控制卡内部我们采用高精度PID控制算法进行调节,相比传统的PID算法,控制单元内部增加了稳态误差调节、速度前馈、阻尼前馈、陷波滤波器等多个辅助调节环节,使我们能够调试出更加理想的运动状态,充分满足高精度齿轮测量中心运动轴对于综合运动精度的需要。

4. 软件功能支持

(1) 概述

LinksGear三维齿轮检测软件是在四轴(X、Y、Z、C)坐标系平台下,适配先进的三维测头传感器开发完成,现可对圆柱齿轮、直齿锥齿轮、弧齿锥齿轮、圆弧圆柱齿轮、摆线齿轮等工件进行测量及误差评定,其测量项目更加丰富,测量方式更加灵活多变,测量效率也更为高效。

(2) 创新点

a) 基于NURBS(非均匀有理B样条)理论的曲面重构技术,利用复杂曲面的特征点实现了空间曲面的NURBS重构,不仅实现曲面的误差计算算法的统一,也使测量方式更加灵活,比如:渐开线的测量可以按照两轴或三轴的电子展成法,也可以按照极坐标方式测量,这对超大齿轮的测量有非常重要的意义。也可利用NURBS曲面控制点实现曲面的连续扫面测量,极大地提高了测量效率。

b) 工件装卡自动找正技术(支持30多种找正方式),通过三维测头测量工件的基准面,实现了工件坐标系与仪器坐标系的统一,对装卡允许误差由原来的 μm 级降低到了mm级,不仅满足了工件的快速装卡要求,而且极大减轻了对装卡人员安装水平的要求,通过测量位置和测量数据的双重修正最大程度地降低了装卡误差对测量结果的影响。

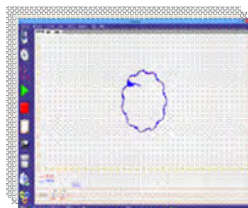
以盘形弧齿锥齿轮为例,利用NURBS理论曲面重构技术及工件自动找正技术,测量单次的时间由原来的约20分钟缩短到4分钟,测量精度提高1个等级以上。

c) 软件可以根据用户选择的测量项目,自动生成运动程序代码,利用控制卡的循环缓冲区,边执行边下载,从而实现任意空间曲线的运动轨迹,比如在弧齿锥齿轮上已实现的形状连续扫描,测量效率得到了极大提升。

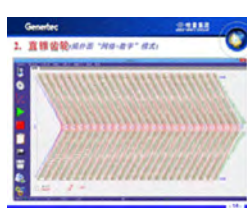
d) 坐标系复位功能,若仪器选用增量光栅尺,在仪器开启后各轴将执行回零动作,用以复位光栅坐标系和测头坐标系,和以往的测量中心相比,省去了上电重新校准测头等步骤,简化了测量准备工作;若选用绝对式光栅尺,上电后仪器即可进入测量状态,使测量准备工作更为简单。

e) 三维测头自动校准功能,通过测量球规,可对测头三轴(PX、PY、PZ)与仪器三轴(X、Y、Z)的平行度,测头三轴间的相互垂直度,测力引起的测针变形等误差进行自动校准,不仅提高了测头的测量精度,也降低了测头对安装误差的要求。

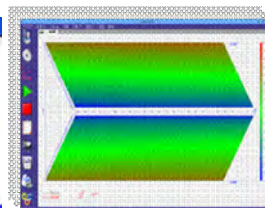
f) 软件具有测针库管理功能,可以对多种规格及方向的测针进行标定及管理,同时记录测头标定的详细信息,如测球及测针直径,坐标系、悬空值,标定时的仪器及环境温度等。程序可在测量工件时根据需要自动更换用户指定的测针,省时省力。



摆线轮廓扫描



拓扑图(网格、数字、色彩)



四、成果应用及推广

本文研发的齿轮测量中心关键技术,已经推广应用到哈量集团生产的L30A型齿轮测量中心和L65G型齿轮测量中心等产品,至今已经销售多台,例如一汽解放汽车有限公司齿轴中心、合肥长源液压股份有限公司、江西乾元机械制造有限公司等企业。哈量集团生产的齿轮测量中心对以上关键技术的应用,使产品的精度、稳定性、人性化的操控界面、针对不同用户提供定制化的成套解决方案等,均得到厂家的肯定与认可。L30A型齿轮测量中心等产品的研制成功和产业化,结束了国内高精度齿轮测量中心市场由国外厂商统治的局面。□

全自动曲轴类零件加工线的研发和应用

上海机床厂有限公司 王 瑞

一、概述

第十届中国数控机床展览会（CCMT2018）于2018年4月9-13日在上海新国际展览中心举办。CCMT2018主题确立为：聚焦——数字·互联·智造。这一主题响应了国内外机床工具消费市场的最新变化，凝练了国内外机床工具产业对未来发展方向的关注和思考。上海机床厂有限公司展出的“全自动曲轴类零件加工线”获得了本届“春燕奖”。

随着“工业4.0”和“智能制造2025”概念的提出，由工业机器人替代传统人工的发展趋势已在制造行业越发明确。不论是行业巨头如上海宝钢的全自动无人磨辊车间，还是传统用工大户富士康新建建立的机器人工厂，都已经宣告这股“机器代替人”浪潮的不可阻挡。

随着我国船舶、汽车等工业的发展，各种发动机、内燃机的产量越来越大，质量要求也越来越高。曲轴及偏心轴类零件是汽车发动机和船舶、机车等内燃机上的关键零件，需求量大，要求的加工精度高。加工精度对发动机、内燃机的性能起决定性作用。曲轴及偏心轴类零件作为传统工业传动中的核心零件，在当前国家倡导“绿色经济”，强调提高质量、增加效率发展的大环境下，应用领域得到了大幅拓展。随着新技术的不断

完善，新能源汽车混合发动机的曲轴、高效节能压缩机的新型曲柄轴、关节机器人RV减速器中的偏心轴，都在方方面面改变着人们的日常生活。曲轴及偏心轴类零件加工工艺相对复杂，往往需要加工主轴颈、连杆颈和定位端面。传统曲轴制造行业多采用人工装夹方式，通过调整偏心分度卡盘，实现不同相位连杆颈的磨削。同时需要另外配置主轴颈磨床和端面磨床来完成整个加工过程。主轴颈和连杆颈分配在多台机床上磨削，多次人工装夹不可避免会造成累积误差，对加工的一致性影响较大，不符合工业自动化的发展要求。所以，如何既高效又持续稳定的加工曲轴类零件，就变得尤为重要。基于以上的研发背景，上海机床厂有限公司设计并制造了全自动曲轴类零件加工线。

二、产品性能介绍及关键技术应用

本产品“全自动曲轴类零件加工线”由一台MK1620×750端面外圆磨床、一台MK8232/SD×750数控切点跟踪曲轴磨床和一台FANUC R-1000iA/100F六轴关节式机器人组成，配置了完善的感应开关及可靠的电气保护系统。在加工线中，端面外圆磨床主要负责磨削曲轴的定位端面，数控切点跟踪曲轴磨床主要负责以“切点跟踪”的随动方式高效地完成曲轴主轴颈和连杆颈的磨削，各工位的自动上下料及工位之间的自动转换均由六轴关节式机器人循环实现。该加工线可以实现曲轴及偏心轴类零件从定位端面磨削到主轴颈、连杆颈一次装夹磨削的全自动运行，无需人工参与，大幅提升了零件出产效率，提高了零件加工一致性，显著降低劳动强度。



图1 全自动曲轴类零件加工线

1. MK1620 × 750 端面外圆磨床

MK1620 × 750 端面外圆磨床是用于大批量加工轴类零件外圆、端面和圆弧的设备。该机床为工作台移动式机床。工作台在床身上作纵向往复移动，砂轮架在垫板上作横向进给运动，砂轮主轴旋转由静压或动静压或滚动轴承等三种支承方式中的一种来支承（支承方式可根据用户或被加工工件来选择）。工件由头架驱动旋转并可无级调速；砂轮架导轨采用直线导轨，工作台导轨采用V-平导轨。该机床能在一次安装工件的情况下，完成多档外圆、端面的自动循环磨削。具有砂轮自动进给、粗、精、无火花磨削、工作台自动跳档、工件转速自动切换、前置修整实现砂轮自动修整及自动补偿、自动测量工件及循环动作安全联锁等多种功能。机床采用FANUC数控系统，内装PLC，带手摇脉冲发生器，LCD彩色中文显示。机床配有专用的用户界面，其中包括坐标设定画面、砂轮形状参数设定画面、修整参数设定画面、量仪对刀补偿画面、磨削参数设定画面等，这些专用画面大大方便了用户的操作。

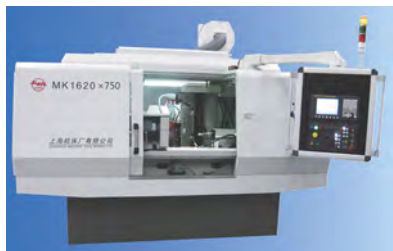


图2 MK1620 × 750 端面外圆磨床

1.1 主要规格参数

最大磨削直径:	200 mm
最小磨削直径:	6 mm
最大工件长度:	750 mm
最大工件重量:	50 kg
砂轮线速度:	45 m/s

中心高:	125 mm
工作台转角范围:	+3° ~ -7°
圆度	0.0015 mm
纵截面内直径一致性	0.003 mm
外圆表面粗糙度	Ra0.32 μm
端面表面粗糙度	Ra0.63 μm

1.2 主要部件结构概括

(1) 床身为整体式结构，内部筋板呈箱型布置。采用低合金高强度孕育铸铁，具有很高的整体刚度和表面耐磨性及抗震能力。满足高效、高精度设备对基础件的要求。宽水槽设计确保冷却水回水的畅通。

(2) 砂轮架部件有四个主要部分组成：砂轮架，砂轮主轴系统，砂轮驱动单元，砂轮罩。砂轮架用于安装砂轮驱动单元和砂轮主轴系统，并可在直线导轨上运动。砂轮主轴系统采用动静压轴承，配有单独油箱和压力保护装置以及用于装砂轮的法兰。砂轮法兰和砂轮安装在主轴的右端。砂轮驱动单元是指安装于砂轮架后部的一个交流电机通过皮带从主轴的左端带动砂轮主轴旋转。砂轮罩为安全防护部件。砂轮罩包括砂轮罩壳、砂轮罩门和可调节的小罩。

(3) 工作台采用双层结构，可回转角度，角度调节范围为+3° ~ -7°，以磨削具有锥度的工件，并且可以用于微调工件的圆柱度。工作台进给机构采用带内置高精度编码器的交流伺服电机直接驱动滚珠丝杆并控制工作台移动。工作台导轨采用引进LANDIS技术特殊工艺制造的液压平-V滑动导轨。导轨表面经过深刀花人工刮削，并采用了专用导轨润滑油，使工作台运动平稳可靠。

(4) 头架是为工件提供传动动力和支承定位的部件，由变频器控制交流异步电机转速，通过一级皮带传动减速带动法兰，使工件获得所需的粗、精磨的各种速度。

(5) 尾架与头架功能类似，是为工件提供回转支承和定位的部件。该尾架采用套筒移动式，顶尖由其连接的油缸来驱动。顶尖套筒由直线轴承支承，并在直线轴承导向下作直线往复移动，以实现工件的张紧和松开。

(6) 砂轮修整器对修复砂轮外形，修复砂轮切削表面特性和调整砂轮来说是必要的，并且在磨削循环中可以自动修整砂轮。砂轮修整器紧固在头架外侧靠砂轮一面，在修整过程中，砂轮架与工作台移动实现联动修整。

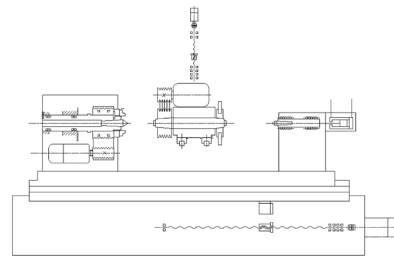


图3 MK1620 × 750 机械传动原理图

2. MK8232/SD × 750 数控切点跟踪曲轴磨床

MK8232/SD × 750 数控切点跟踪曲轴磨床能在一次装夹下实现曲轴主轴颈和连杆颈和小轴端的磨削，适用于汽车整机厂发动机生产线四缸机、六缸机的曲轴磨削，是为汽车、柴油机行业配套，主要用于大批量磨削曲轴的设备。

MK8232/SD × 750 数控切点跟踪曲轴磨床床具有自动顶紧工件、工件轴向自动定位、工件相位角自动识别、直径自动测量、砂轮恒线速运转、自动修整砂轮及自动砂轮补偿、自动跳档等功能。目前，国内只有一两家公司有能力制造。根据结构分析，本机床处于国内先进水平。与国外的同类产品比较，我们机床有些结构及性能接近它们。



图4 数控切点跟踪曲轴磨床

2.1 主要规格参数

最大磨削直径:	320 mm
最大工件长度:	750 mm
中心高:	200 mm
最大工件重量:	50 kg
CBN砂轮最大线速度	90 m/s
圆度	0.003 mm
圆柱度	0.004 mm
表面粗糙度	Ra0.32 μ m

本机床采用工作台移动式结构。

工件安装在工作台上，由头架、尾架、托架支承工件，工件作旋转运动，工作作纵向往复移动和砂轮架作横向进给运动由数控控制的结构布局。主要部件结构如下：

(1) 床身为整体式结构，内部筋板呈箱型布置。采用低合金高强度孕育铸铁，具有很高的整体刚度和表面耐磨性及抗震能力。满足高效、高精度设备对基础件的要求。宽水槽设计确保冷却水回水的畅通。

(2) 砂轮架主轴系统采用电主轴。主轴电机由交流变频器控制转速并与数控系统相连，通过数控系统对砂轮直径的监测从而实现砂轮恒线速。

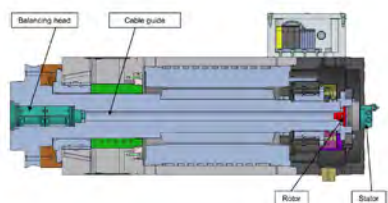


图5 砂轮电主轴系统图

砂轮架进给系统采用直线电机带动砂轮架进给，力学闭式结构。经过静压导轨供应商的Zollern公司的建议，采用其闭式结构的静压导轨，导轨为内部节流形式，导轨间有相互反馈。具有良好的定位精度、耐磨性、刚性、低速运动平稳性及抗震性，以保证砂轮架进给灵敏度和稳定性。

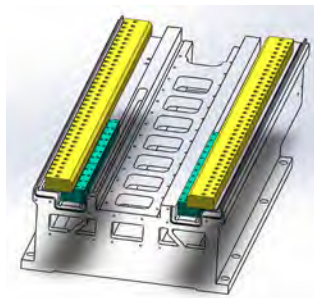


图6 砂轮架静压导轨结构图

(3) 工作台采用单层结构。工作台进给机构采用带内置高精度编码器的交流伺服电机直接驱动滚珠丝杆并控制工作台移动。工作台导轨采用引进LANDIS技术特殊工艺制造的液压平—V滑动导轨。导轨表面经过深刀花人工刮削，并采用了专用导轨润滑油，使工作台运动平稳可靠。

(4) 头架为可回转内置力矩电机结构，为工件提供支撑和平滑无振动的旋转动力。头架主轴被称为C轴。力矩电机与数控系统相连，实现磨削过程中的转速自动切换。四爪卡盘安装面与头架主轴轴线相互垂直，通过定位销保证四爪卡盘的角度。头架移动机构位于头架后侧，安装在工作台直线导轨安装面之上，通过液压缸精确地移动头架啮合工件，为磨削做准备以及在磨削循环结束后退回。

(5) 尾架为死顶尖结构，通过涡轮蜗杆可对头尾架中心连线进行调整，保工件回转轴线与砂轮回转轴线保持平行。尾架移动机构位于头架后侧，安装在工作台直线导轨安装面之上；通过齿轮齿条结构粗略地长距离

移动尾架以满足磨削长短不同的工件要求；通过液压缸精确的短距离移动尾架啮合工件，为磨削做准备以及在磨削循环结束后退回。

(6) 修整器采用修整电主轴形式，为金刚滚轮修整，安装于工作台上，尾架后侧，在磨削循环中可以自动修整砂轮在修整过程中，砂轮架与工作台移动实现联动修整。

MK8232/SD x 750数控切点跟踪曲轴磨床是在现有的系列型谱的基础上开发的新一代磨床。借鉴非圆磨削和凸轮轴磨削的方式，采用西门子曲轴随动磨削的软件包程序，根据随动磨削的运动学特性，重新计算设计了导轨驱动结构，经前期试验台试验，能很好地满足曲轴磨削加工。

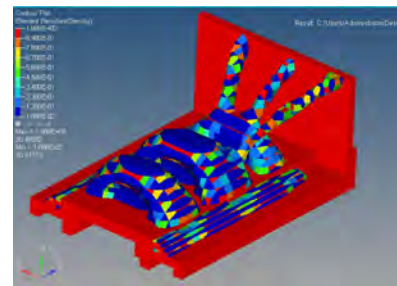


图7 X轴随动部件（砂轮架）有限元刚性分析图

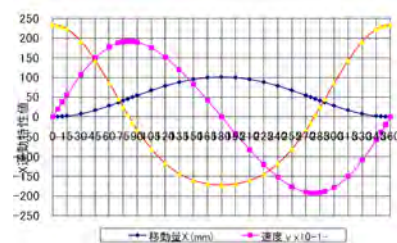


图8 X轴随动运动特性曲线图

3.FANUC R-1000iA/100F 六轴关节式机器人

FANUC R-1000iA/100F六轴关节式机器人具有包含机器人背部和机器人下方广阔的动作领域，能够顶吊安装。机器人的横向宽度减小到了

极限，所以可以贴近邻接的机器人、夹具或者工件进行安装。从待机位置到工作位置的具有高速移动功能以及短距离移动时的快速定位的动作特性，大大地缩短了机器人的作业时间，提高了机器人的节拍。根据实测，机器人在距离为30mm的正方体运动一周（空间6条边）节拍为0.247秒，距离为150mm的正方体运动一周节拍为0.387秒。

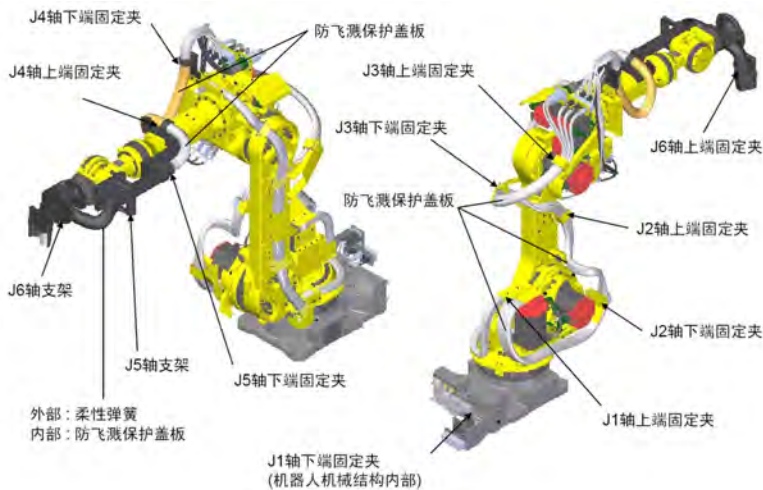


图9 FANUC R-1000iA/100F六轴关节式机器人机械结构图

FANUC R-1000iA/100F六轴关节式机器人有五大特性：

- （1）高速运动性能：具备同级别机器人中最高速度及负载容量；通过强化的振动控制实现快速的加减速。
- （2）紧凑的机械结构：焊接电缆和软管布置在机器人手臂内部，使用改良型手臂实现高密度布置，增加了单位空间和时间的生产能力。
- （3）宽广的运动范围：通过优化设计的手臂配置及手臂长度实现宽广的运动范围，能支持地面安装和棚架安装。
- （4）最大负载容量达到100kg。
- （5）维护方便。

表1 FANUC R-1000iA/100F六轴关节式机器人规格参数

型号	R-1000iA/100F					
机构	多关节型机器人					
控制轴数	6 轴（J1, J2, J3, J4, J5, J6）					
可达半径	2230 mm					
安装方式	地面安装、倒吊安装					
动作范围（注释1） （最高速度）	J1	360° (130°/s)	J2	245° (110°/s)	J3	360° (120°/s)
	J4	720° (170°/s)	J5	250° (170°/s)	J6	720° (250°/s)
手腕部最高运动速度	2000 mm/s					
手腕部最大负载	100 kg					
J3手臂部最大负载	20 kg					
手腕允许负载转矩	J4	690 Nm	J5	690 Nm	J6	260 Nm
手腕允许负载惯量	J4	57 kgm²	J5	57 kgm²	J6	32 kgm²
驱动方式	交流伺服电机驱动					
重复定位精度	± 0.2 mm					
机器人质量（注释2）	665 kg					
输入电源功率（平均功耗）	12 kVA（2.5 kW）					
安装条件	环境温度：0 ~ 45°C					
	环境湿度：通常在75% RH以下（无结露现象），短期在95% RH以下（1个月之内）					
	振动加速度：4.9 m/s² (0.5G)以下					
	注释1）短距离运动时，可能达不到各轴的最高标称速度。					
	注释2）不含机器人控制器的质量。					

FANUC R-1000iA/100F六轴关节式机器人通过安装在基础轴电机上的冷却风扇，提高机器人重负荷性能，支持重负荷的应用，例如冲压搬运和高速码垛。该机器人还可通过可选增加隔离尘（液防护包），增强机器人对恶劣环境的抵抗力。对所有暴露在外面的电缆及管线都可添加防护盖板。机器人外部设置防护服，对暴露在外面的螺母及垫圈采用不锈钢材质。机构部主题可达IP56，J3轴手臂和腕关节部分防护等级可达IP67。

三、成果应用及推广情况

“全自动曲轴类零件加工线”的成功制造，展现了以上海机床厂有限公司为代表的国内磨床设备生产厂家，不再仅仅着眼于单独磨床设备的制造，更多的是结合机器手、机器人等的全自动化加工生产线，为用户提供生产线的成套设备，并为其解决提供配套服务的完整技术方案。

“全自动曲轴类零件加工线”核心技术“切点跟踪”技术是国家重大专项《汽车发动机生产线用数控曲轴磨床、凸轮轴磨床》的研究成果，是对该课题进一步应用推广的体现。该技术第一台专机MK8220/SD双砂轮架数控切点跟踪曲轴磨床于2016年10月在上海通用浦东金桥LGE发动机生产基地正式并线生产，机床精度和加工效率完全满足了用户的生产和技术要求，部分指标优于生产线上的进口机床。本自动加工线将在石家庄耐力股份有限公司并线生产。该加工线的成功制造，标志上海机床厂有限公司已经成为我国小型曲轴及偏心轴类零件加工设备生产的示范基地，形成了一批掌握了“切点跟踪”研究开发的核心技术的研究与开发团队队伍。

（下转第47页）

iNC-848D: 华中数控新一代iNC智能数控系统



一、研发背景

《中国制造2025》从国家层面确定了我国建设制造强国的总体战略,明确提出:要以创新驱动发展为主题,以新一代信息技术与制造业深度融合为主线,以推进智能制造为主攻方向,实现制造业由大变强的历史跨越。智能制造为中国制造业跨越发展提供历史性机遇,新一代人工智能技术与先进制造技术深度融合所形成的新一代智能制造技术,成为了新一轮工业革命的核心驱动力。今后二十年,正是“智能制造”这个新一轮工业革命核心技术发展的关键时期,中国制造业完全可以抓住这一千载难逢的历史机遇,集中全国优势兵力打一场战略决战,实现战略性的重点突破、重点跨越,实现与西方发达国家并行甚至超越,实现中国制造业的换道超车、跨越发展。

目前,我国高档数控系统主要被国外所垄断,国外系统的部分高档功能、内部数据接口和控制执行接口对我国封锁限制。用户开发智能化功能

需要按毫秒级采样周期采集数控系统内部数据,而国外系统不能向用户开放数据接口。用户所开发的智能化控制功能,也无法与国外数控系统的深度集成。此外,智能化技术的研发需要吸引和凝聚大批第三方用户,深度参与开发、验证、应用,形成一大批扩展灵活、功能强大的智能App应用软件。由于国外系统没有形成开放式平台,无法形成智能化技术的共享、共用、共创的开发模式和App Store式的商业模式。因此,新一代人工智能技术与数控机床的融合,形成新一代智能机床,将为数控机床产业带来新的变革。这将是中国机床行业“换道超车”,最终实现从“跟跑”到“领跑”的重大机遇。

二、创新技术介绍

在华中8型数控系统(HNC-848D)的基础上,智能数控系统(iNC-848D)提供了机床指令域大数据汇聚访问接口、机床全生命周期“数字双胞胎”的数据管理接口和大

数据智能(可视化、大数据分析和深度学习)的算法库,为打造智能机床共创、共享、共用的研发模式和商业模式的生态圈提供开放式的技术平台,为机床厂家、行业用户及科研机构创新研制智能机床产品和开展智能化技术研究提供技术支撑。

在此基础上,iNC-848D智能数控系统已初步实现了质量提升、工艺优化、健康保障和生产运行一批智能化功能,使得数控加工“更高,更快,更智能”。

此外,iNC-848D智能数控系统采用了多点触控虚拟键盘,替代了传统的数控机床键盘;采用机器视觉人脸识别,对操作者身份认证。

1. 数字化:自动感知—数字双胞胎

以数控系统内部的电控数据作为大数据主要来源,根据智能化应用软件的实际需要,适当增加一些温度、振动、位移等外接传感器,进行高频数据采集,实现对数控加工过程中影响零件加工质量、效率和工艺系统稳

定性的切削力、热、振动、误差等物理量的直接或间接的状态感知的大数据，构成由大数据逆向建模的智能机床的全生命周期的“数字双胞胎”模型，实现对智能机床工作行为和工作状态的可追溯的精确描述，并可对智能机床和数控加工过程的理论模型的参数进行修正和预测。

2. 网络化：内部总线（NCUC-Bus），外部协议（NC-Link）

智能数控系统具有内部强实时现场总线（NCUC-Bus），实现数控系统内部的电控数据和外接传感器数据的高频采集和汇聚。智能机床具有与外部连接的设备互联互通协议的网络化数据接口（NC-Link），可以与其他智能设备和信息管理系统互联互通互控，将智能机床的内部电控数据和传感器数据实时汇聚到车间大数据中心，最终通过互联网相连，实现与工厂的设计、生产、管理系统的信息共享。



3. 平台化：开放式平台

华中数控新一代iNC数控系统是一个深度开放的数控系统，在统一的Apps开发环境中，提供机床指令域大数据访问接口，新一代人工智能算法库，实现制造过程要素互联互通的接口，为机床厂家、行业用户及科研机构开发智能化应用提供工具和环境。



三、主要技术特点

华中数控新一代iNC智能数控系统应用大数据可视化、大数据分析、基于新一代人工智能技术，对智能机床的大数据按指令域进行关联分析和深度学习，以及智能机床和零件加工的理论建模和仿真分析结果，形成智能机床的优化控制策略和控制知识，自动积累经验并自我学习提升。这些优化控制策略和知识的描述，构成智能控制代码，能由智能机床的控制系统接受、理解和执行，实现加工几何轨迹控制代码和智能控制代码的“双码联控”，完成多种模拟和替代人类智能活动，实现数控加工的质量提升、工艺优化、健康保障和生产管理的智能化。

1. 华中数控新一代iNC数控系统主要技术基础：

(1) 自主感知：通过独创的“指令域”大数据汇聚方法，按毫秒级采样周期汇集数控系统内部电控数据、插补数据，以及温度、振动、视觉等外部传感器数据，形成数控加工指令域“心电图”和“色谱图”。伺服驱动系统既是“执行器”，又是“感知器”。实现了数控加工过程的状态信息和工况信息的自主感知，建立了数控机床的全生命周期“数字双胞胎”（Digital Twins）和“人-信息-物理系统”（Human-Cyber-Physical Systems, HCPS）。

(2) 自主学习：在大数据、云计算和新一代人工智能技术的基础上，建立了大数据智能（可视化、大数据分析和深度学习）的开放式技术平台，形成智能机床共创、共享、共用的研发模式和商业模式的生态圈。从大数据中隐含的“关联关系”中，应用大数据智能技术，进行自主学习，获得数控加工智能化控制知识，通过开放的技术平台，实现智能控制

策略、知识的积累和共享。

(3) 自主决策: 根据数控加工的实时工况和状态信息, 利用自主学习所获得的智能控制策略和知识, 形成多目标优化加工的智能控制“i-代码”。

(4) 自主执行: 通过独创的“双码联控”控制技术, 实现了传统数控加工的“G-代码”(第一代码)和多目标优化加工的智能控制“i-代码”(第二代码)的同步运行, 达到数控加工的优质、高效、可靠、安全和低耗的目的。

在以上技术基础上, 华中数控与机床企业率先研制了基于新一代人工智能技术的智能数控系统(iNC)和智能机床(iNC-MT)概念机, 开发了一批质量提升、工艺优化、健康保障和生产运行的智能化功能模块。

2.iNC-848D的智能模块

(1) 质量提升: 提高加工精度和表面质量

- ①基于温度传感器的热误差补偿。
- ②基于能耗大数据的热误差补偿。
- ③机床定位精度与反向间隙补偿。
- ④数控机床空间误差补偿。
- ⑤五轴RTCP几何结构参数测量与补偿。
- ⑥基于数控加工“心电图”智能断刀检测。

⑦基于能耗大数据的刀具寿命智能管理。

⑧主轴振动主动避让。

(2) 工艺优化: 提高加工效率

①加工G代码的光顺性评估和平滑拟合。

②基于主轴负载数据的加工工艺参数评估。

③基于主轴负载数据的加工工艺参数优化。

④加工振动分析的指令域示波器。

⑤三维曲面双码联控高速加工。

⑥自生长、自学习加工工艺数据库。

⑦虚拟加工仿真。

⑧“一脑双控”自动上下料智能控制。

(3) 健康保障: 保障设备完好、安全

①机床运行数据记录与回放。

②数控机床健康状态检测和预测性维护。

③主被动平衡分析和智能健康管理。

④进给轴全生命周期负荷图。

⑤基于二维码的设备调试档案管理。

⑥基于二维码设备维修案例管理与搜索。

⑦数控机床机电联调工具集。

⑧可靠性MTBF统计分析。

⑨加工过程视觉智能监控。

(4) 生产管理: 提高管理和使用效率

①操作者身份人脸识别和权限管理。

②iNC-Cloud云服务移动端APP。

③远程状态监控。

④工艺文件浏览与管理。

⑤生产效率统计分析。

⑥作业计划管理。

四、市场性及产业化前景

目前智能机床绝大部分是“数控机床+互联网”, 远没有达到替代人类智能的水平。这是因为在自主感知、自主学习等方面, 没有取得革命性的技术突破, 现有的智能机床过于依赖人类专家, 进行理论建模和数据分析, 导致知识积累艰难而缓慢, 最终导致智能机床的适应性和有效性不足, 更重要的没有形成一个共用共享的生态圈。

因此, 现在有关智能机床的研究还是传统的研究方法, 存在一些困境, 主要包括: 一是对智能机床尚未

形成一个学术界、工业界认可的定义; 二是基于机床理论建模仿真研究的成果准确度不高, 达不到最优加工效果; 三是基于新增大量外部传感器的信号特征阈值比较分析法, 有效性和敏感性不够, 还大幅增加了机床的复杂度和成本, 不被用户和市场接受; 四是数控系统的开放性不足, 制约了智能化技术的开发和应用; 五是对人在智能机床技术框架中的作用定位不准确。

华中数控开创性地提出新一代智能机床的定义, 在工业互联网、大数据、云计算的基础上, 应用新一代人工智能技术和先进制造技术深度融合的机床, 具有自主感知机床、工况、环境有关的信息。通过自主学习获取知识, 并能应用这些知识进行自主决策, 进而实现自主执行, 从而实现加工制造过程的优质、高效、低能耗的运行。大数据智能是发展智能机床的核心技术, 但目前的应用存在一些难点, 一是用于深度学习的负向样本信息太少; 二是样本的标识仍需要人工介入。

而如何做好智能机床? 首先要打好数字化的基础, 构建机床双胞胎。这个双胞胎能够把机床的行为和状态变成一个可追溯的精确描述。数据完备有效, 能够反映机床加工过程中的力、热这些物理变量; 二是机床的健康保障, 保持设备完好和安全; 三要

提高生产使用效率。在中国工程院、工信部的指导和支持下, 华中数控、宝鸡机床、华中科技大学提出了新一代智能机床(iMT)的新理念, 开展了智能数控系统(iNC, intelligent NC)和智能机床(iNC-MT, intelligent NC Machine Tools)的探索, 已经与宝鸡机床、富强科技、纽威机床等机床企业合作生产智能机床, 并且与许多机床企业达成合作研制智能机床的合作。

1. 智能高速钻攻中心HSC-430自动化单元

机床制造：苏州富强科技有限公司
 数控系统：HNC-848D
 机器人：华数HSR-612机器人
 新增传感器：温度传感器12个，
 振动传感器2个，光栅尺3个，视觉传感器1个



2. 智能立式加工中心VM903

机床制造：纽威数控装备（苏州）有限公司
 数控系统：HNC-848D
 新增传感器：温度传感器6个，
 振动传感器1个，视觉传感器1个



3. 智能立式加工中心BM8-H

数控系统：宝鸡数控系统 B-800M
 新增传感器：温度传感器12个，
 振动传感器2个，光栅尺3个，视觉传感器1个



4. 智能数控车床BL5-C

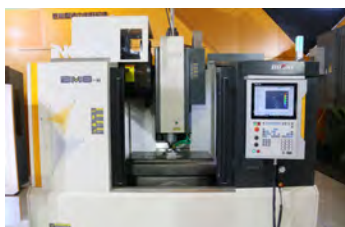
数控系统：宝鸡数控系统 B-800T
 新增传感器：温度传感器12个，
 振动传感器2个，光栅尺：2根，视觉传感器1个



同时，很多机床与华中数控一起研制配置新一代智能数控系统和华中8型高档数控系统的中、高档数控机床。



济南二机有限公司XHV2525A龙门五轴机床配置华中数控HNC-848D数控系统



宝鸡机床集团有限公司BL5-C机床配置华中数控B800T系统/BM8-H机床配置华中数控B800M系统



嘉泰数控科技股份有限公司JT-GL8五轴机床配置华中数控HNC-848D数控系统



大连三垒科技有限公司SVW80A五轴机床配置华中数控HNC-848D数控系统



福建省威诺数控有限公司WN-5V320Z-AC五轴机床配置华中数控HNC-848M数控系统

（上接第43页）

随着工业自动化的进一步发展，机器人+机床的复合加工单元日渐受到市场青睐。面对日益增长的新能源、节能环保产业，新型曲轴、曲柄轴、偏心轴的需求量增长迅猛，市场前景非常可观。目前，国内能够提供较为成熟的全自动曲轴类零件加工线整体解决方案的厂商还很稀少。根据结构分析，本加工线处于国内先进水平，与国外的同类产品比较，我们参与组线的机床均为成熟产品，有些性能及参数接近甚至优于进口产品。此外，目前国外的同类加工线价格昂贵，柔性不足。我们提供的加工线机床均为上海机床厂有限公司厂自行设计制造，面对国内的市场，我们在灵活性及成本控制方面有着很强的竞争能力。□

数控机床高精度电主轴变频温控制冷机的研发与应用

三河同飞制冷股份有限公司 刘振波 陈振国 唐明德

一、概述

随着科技的不断发展，制造行业对生产母机的要求越来越高，高速高效、高精度、多功能、智能化已经成为对各类数控机床的通用要求。

在现代工业生产中，“高速”代表数控机床主轴的转速以及工作行程的快速响应，是提高生产效率的重要指标；“高精度”则是指数控机床自身几何精度和加工精度，反映为被加工件的几何尺寸和表面质量；“多功能”则是将加工内容的集中整合，在一台机床上实现多种加工任务，缩短生产周期；“智能化”反映机床的通讯功能，可以通过远程技术、网络技术、云服务等远程控制机床，逐渐实现工厂的“无人化”。这些技术在各类数控装备中得到越来越广泛的应用，正在成为当今金切加工的主流技术。高精度、高转速数控机床主轴单元（即：高速电主轴）是承载高速切削技术的主体之一，是高速高效、高精度数控机床的核心功能部件，在航空航天、汽车、船舶、军工、精密模具、精密加工等尖端制造领域凸显其重要性。高档数控机床，如并联运动机床、五面体加工中心、多功能复合加工中心、高精度坐标磨床、高精度雕刻机等，都必须采用高速电主轴，

方能满足完善的功能要求。

电主轴由内装式电机直接驱动，以满足高速切削对机床“高速度、高精度、高可靠性及小振动”的要求，与机床高速进给系统、刀具系统一起组成高速切削所需要的必备条件。电主轴技术与电机变频、闭环矢量控制、交流伺服控制等技术相结合，可以满足车削、铣削、镗削、钻削、磨削等金属切削加工的需要。目前国内外电主轴技术的发展十分迅速，各生产厂商都在高速、高精度、高可靠性等方面进行持续的科技攻关，以期形成自身的特色，占领电主轴技术发展的制高点。

目前，加工中心的主轴转速大多在18000~42000r/min，德国Kugler公司的五轴高精度铣床，其最高主轴转速达160000r/min(采用空气轴承)。德国Fraunhofer生产技术研究所在开发转速为300000r/min的空气轴承支撑的电主轴。

由于电主轴将电机集成于主轴单元中，且转速很高，运转时会产生大量热量，引起电主轴温升，使电主轴的热态特性和动态特性变差，热量会使主轴头整体升温，轴线将发生偏离以及轴伸长变形，从而严重影响电主轴的回转精度和加工精度。据统计，热变形引起的加工误差占40%~

70%，因此必须采取一定措施控制电主轴的温度，使其恒定在一定值内。数控机床目前采取强制循环液冷却的方式对电主轴的定子及主轴轴承进行冷却，即将经过冷却装置的冷却液强制性地主轴定子外和主轴轴承外循环，带走主轴高速旋转产生的热量以保证其热稳定性。

电主轴温度变化越小，其热变形越小，加工精度越高且稳定，所以液体冷却机的液温控温精度是保证高档数控机床加工精度的重要保障。作为高精度机床的重要辅助设备，制冷机的液温控制精度提高，是高精度机床发展的必备条件。



二、产品性能介绍

1.方案介绍

工业制冷行业通用的制冷机精度控制方式为压缩机启停，通常液温控控制精度在 $\pm 1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。目前机床使用的冷水机最高可以做到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，实现方法有如下几种方案：

（1）压缩机运转，用加热管来抵消恒定输出的部分制冷量以达到控制精度的稳定性。此方案能耗较高，一般不采用。

（2）压缩机运转，通过电磁阀开关调节压缩机制冷与制热比例，达到控制液温精度的目的。缺点是电磁阀的机械动作寿命会影响整机的可靠性，另外因电磁阀单位时间内的动作次数的限制，使此方案不能将液温精度控制的更高。

（3）使用变频压缩机，通过控制压缩机转速进行制冷量的调节。因无动作次数的限制，所以大大提高制冷机的可靠性和整机寿命。因为变频压缩机转速可以在25%~100%无极调节，可以保证液温控制精度更高且更加稳定。

另外，变频压缩机可以根据负载不同自动调整压缩机的运转频率进行能量调节，更加节能。变频压缩机分为交流变频和直流变频。交流变频压缩机，通过控制器2次调节电压转换，相对于定频压缩机不会频繁起停，从而达到节能的目的。直流变频压缩机只经过一次电压转换，同直流电机类似，去掉了电路中的铜损，故相对于交流变频能节省18%~40%的电能。

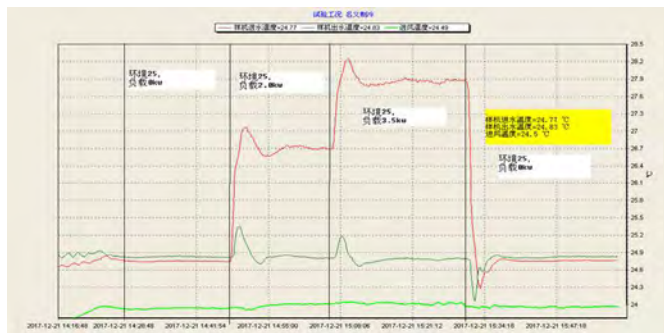
采用变频压缩机缺点是成本偏高，随着近年变频压缩机技术的成熟，价格相对定频压缩机差距越来越小，已不是限制其使用的客观条件，故采用变频压缩机的高精度制冷机控制方案是目前的首选。

2.性能介绍

目前行业内使用变频压缩机的制冷机主要为日本厂家，其中以日本大金为代表。欧洲制冷机行业还未使用变频压缩机，主要以制冷系统电磁阀开关控制精度为主。国内工业变频制冷机还是空白，各制冷机厂家还属于刚刚起步阶段，未实现高精度变频控制功能。本产品与日本大金变频制冷机性能持平，填补国内此行业的空白，为国内高档高精度机床发展提供可靠的先决条件。

性能参数指标：

性能	参数
电源适应范围	AC200V~460V 50/60Hz
制冷能力	1~20 kW
环境温度	5~45℃
液温范围	15~50℃
控制精度	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ （最高精度 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ ）
精度稳定时间	< 10min
节约能耗	> 20%
液温显示分辨率	0.01℃
制冷剂	环保制冷剂R410A、R134a
节流装置	电子膨胀阀
显示界面	液晶显示器
通信接口	RS485



样机测试曲线图

三、新技术的应用情况

1.风机调速稳定冷凝压力技术

（1）概要

冷凝压力是制冷循环中的主要运行参数之一，直接影响到制冷机的制冷效果。对于一台采用风冷式冷凝器的制冷机，环境温度是引起冷凝压力波动的主要因素，如果环境温度降低的话，冷凝压力也相应降低。变频制冷机低频工作点相应降低，在低负载运行时控制精度很难维持，采用冷凝风机调速维持固定的冷凝温度，确保低温环境的可靠性，同时起到节能的效果。

（2）创新点

冷凝压力与冷凝温度是一一对应的，变频制冷机采用直流调速风机，根据预设定的冷凝压力对应的温度，驱动系统采用PID的控制方式调节冷凝风机转速，使冷凝温度恒定。因为冷凝温度与冷凝压力具有对应关系，所以保证冷凝压力恒定，使外界环境温度的变化不会影响控制精度。

（3）技术特点

变频制冷机利用控制风机转速维持冷凝压力恒定，可以有效减少整个控制系统精度调节过程中的外界影响因素，使精度调节更稳定可靠。

2. 热气旁通补偿技术

(1) 概要

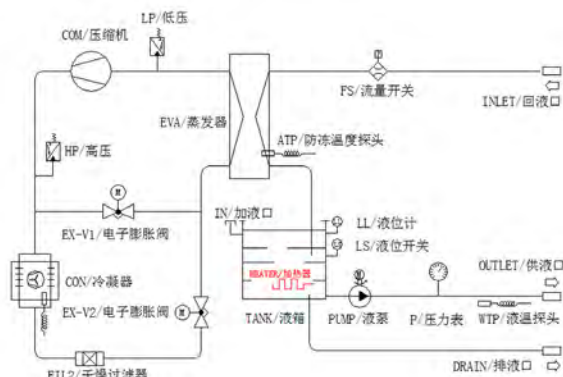
变频压缩机最低工作转速一般在700~900r/min, 变频压缩机频率降到最低, 但依然会出现制冷量大于热负荷的情况, 这时候热蒸汽补偿阀控制板会控制热蒸汽补偿阀将未冷凝的高温高压制冷剂热蒸汽补偿到蒸发器中中和制冷量, 使制冷系统可以在零负载情况下依然能保证极高的液温控制精度。

(2) 创新点

变频制冷机根据外界负载的变化速率、压缩机的转速和环境温度等条件判断出当前制冷系统是否可以维持精度稳定。当负载持续降低、压缩机接近最低转速和环境温度低于特定系统设定值时, 热蒸汽补偿的电子膨胀阀就会开启, 利用压缩机排出的热蒸汽抵消通过节流电子膨胀阀到蒸发器中的冷量, 控制系统会根据温度的变化调节节流电子膨胀阀和热蒸汽补偿电子膨胀阀的开度, 使变频制冷机0~100%负载变化都能够保持很高的液温控制精度。

(3) 技术特点

变频制冷机热蒸汽补偿有效地解决了高精度变频制冷机低负载(20%以下)工况时的精度控制问题, 较传统的加热管补偿方案, 在同等条件下节约50%的电能消耗。



变频制冷机循环原理图

3. 变频压缩机控制技术

(1) 概要

通过整流系统将380V动力电整流成540V的直流电, 通过直流变频控制器驱动直流永磁电动机在900r/min~7000r/min的转速下工作, 带动压缩气缸。根据系统的温度变化通过直流变频控制器改变输出频率, 从而实现不停机的高精度控制。

(2) 创新点

①采用动力电源380V直接输入得到高压540V的直流电, 和机床电源完全一致。

②宽电源范围, 由于采用高压直流方式, 通过开关元件的PWM输出方式可以实现260~480V的宽电源范围, 使制冷机对电源的适应能力更强。

③过电流降频运行模式: 变频压缩机控制系统嵌入了自保护程序, 当检测到控制系统电流达到最大允许电流的95%时, 自动降低上限频率20Hz, 保证制冷机正常运行。

④EMI控制技术: 采用差模抑制和共模抑制两种方式抑制干扰信号, 同时采用电抗续流方式抑制波形畸变。

(3) 技术特点

变频压缩机控制技术, 采用了高压整流方式, 对电源的适应能力大幅度提

高。对于中国国内的电源制式可以完全适用, 即便当电源电压降低/升高到额定值的 $\pm 20\%$ 恶劣工况, 本系统也可以轻松兼容。此外本系统还能完全兼容英制415V/50Hz, 欧洲400V/50Hz, 美国460V/60Hz甚至480V/60Hz的电源制式。采用电源跳线还能兼容日本、韩国、台湾的200V/50~60Hz的电源。可以说使用范围几乎涵盖全球任意一种动力电源制式。变频压缩机采用高温冷媒R134a结合过电流降频运行模式, 可以使环境温度适用范围提升到5~55℃, 可适应中国、欧美、日本、甚至东南亚、中东、非洲等国家与地区的各种环境条件。

四、成果应用及推广情况

本产品属于高精度变频工业制冷机, 其主要应用场合: 数控机床高速电主轴、水冷式伺服电机、高速直线电机、对液温控制精度要求严格的各类高端数控机床切削液和液压站等。

深圳市创世纪机械有限公司、嘉泰数控科技股份有限公司等生产的高精度雕铣机、加工中心, 广泛应用于3C产品(计算机、通讯、消费类电子产品)雕刻及高精度模具加工等精密加工行业。在零件加工过程中精确地控制机床主轴温度具有十分重要的意义, 使用高精度变频水冷却机, 可以使主轴温度精确, 恒定地控制在预设的温度, 使电主轴热变形最小, 从而得到尺寸精确、加工表面粗糙度最小的零件。

数控机床行业的不断发展, 对高精度变频制冷机的需求也逐年旺盛, 加之其优异的精度控制和节能、环保特点, 使机床的加工精度、稳定性、节能指标等得到显著提升。□

数控可转位刀片周边磨床的研发和应用

陕西汉江机床有限公司 谭晓庆 王飞 姚博世
厦门大学 姚斌

一、概述

随着高速切削技术的深入发展，航空航天、汽车制造、大飞机、高铁制造等国家重点领域和民用加工制造行业精密数控刀片市场需求不断增长，硬质合金、陶瓷和CBN材料可转位刀片加工制造业快速壮大。国产精密可转位刀片加工制造装备发展起步较晚，经过多年的潜心研究，国产精密可转位刀片周边磨床整机设计制造水平有了大幅提升，机床性能和技术水平赶超国外同类先进设备。

陕西汉江机床有限公司联合厦门大学，一直致力于精密可转位刀片加工制造装备的研发与制造。陕西汉江机床有限公司凭借在精密工具磨床、精密螺纹磨床领域雄厚的技术实力，以国家科技重大专项实施为契机，先后完成了2MZK7150、2MK7130、2MK7130A系列可转位刀片周边磨床产品的研发制造和产品定型。



图2 加工的用户试磨件

二、产品性能介绍

2MK7130A数控可转位刀片周边磨床采用FAGOR 8070数控系统实现多轴联动插补，机床配置上下料机械手，通过机械手一次装夹即可完成刀片周边轮廓、倒角、倒圆、双面倒棱、开槽等加工操作，也可用于非标刀片的周边曲线加工，适用于批量生产。机床配置机械手自动上下料，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、性价比高等特点，针对国内用户，还具有人机交互界面宜人、售后服务方便迅捷等优势。

机床主要技术参数如下：



图1 2MK7130A数控可转位刀片周边磨床

其中，以2MK7130A为代表的数控可转位刀片周边磨床，产品各项性能指标和机床工作精度，达到国外同类先进设备水平，打破了国外高端装备长期垄断我国精密可转位刀片加工装备市场的局面，产品已在国内多家用户得到示范应用。

加工范围（内切圆直径）		$\phi 5 \sim \phi 32\text{mm}$	
砂轮直径		400mm	
砂轮线速度（最大）		31m/s	
加紧行程		25mm	
数控轴	精度	分辨率	行程范围
			工作速度
	X轴	0.0001mm	150mm
	Y轴	0.0001mm	600mm
		往复频率：0 ~ 2Hz	
	B轴	0.0001°	任意角度
	C轴	0.0001°	-90° ~ 90°
			1° ~ 60° /s,
			1° ~ 90° /s

机床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	2MK7130A	2MK7130	2MZK7150
加工范围 (内切圆直径)	$\phi 4 \sim \phi 50$	$\phi 5 \sim \phi 32$	$\phi 5 \sim \phi 32$	$\phi 5 \sim \phi 50$
砂轮直径	400mm	400mm	400mm	400mm
砂轮线速度max	63m/s	31m/s	31m/s	120m/s
行程范围	X轴	160mm	150mm	160mm
	Y轴	539mm	600mm	590mm
	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	$-100^{\circ} \sim 110^{\circ}$	$-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$	$-100^{\circ} \sim 100^{\circ}$

三、新技术应用情况

2MK7130A数控刀片周边磨床在设计开发时，借鉴了2MZK7150、2MK1730机床成熟的结构和工艺，结合计算机三维仿真技术、结构分析与优化、热力耦合等多种先进设计手段，特别是一些关键技术应用，对提升机床整机的性能和机床工作精度具有促进作用。

1.高刚性精密机床结构设计与制造技术

(1) 概要

数控可转为刀片周边磨床主要由床身、两坐标工作台、回转工作台、头尾架、砂轮主轴、砂轮修整器、砂轮清洗装置、工件自动测量与自动定位装置、上下料机械手，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、油雾分离系统、安全防护装置等组成。

(2) 创新点

根据整机结构布局和刀片加工工艺要求，建立整机数字模型，借助仿真分析技术对关键部件进行结构优化和热力耦合与分析，提高整机动静态特性和热特性，降低零部件热变形对刀片加工精度的影响，提高整机结构刚性、可靠性和精度保持性。

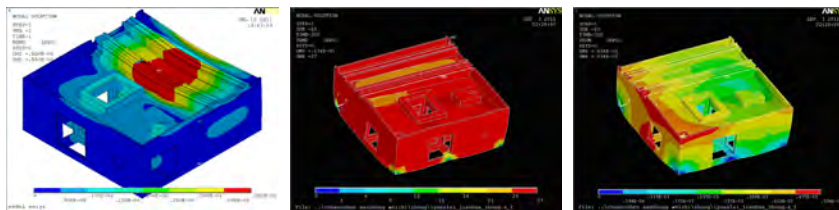


图3 床身位移云图、温度场分布、总变形云图

(3) 技术特点

针对床身受环境温度变化和各種温度变化产生的原因，研究运动发热、切削发热及其热变形对床身几何精度、床身稳定性的影响，制定热平衡及热变形补偿技术策略。

经过床身结构优化，在机床载荷集中位置采用三角式或田格式加强筋增加床身刚性，采用自然时效处理方式，人工精密刮研，确保床身的几何精度稳定可靠。



图4 床身的时效处理和精密刮研

2.两坐标工作台设计与制造技术

(1) 概要

安装在床身上两坐标工作台主要是为磨头提供X、Y向驱动力。刀片加工时，需要磨头纵向进给（X轴）、工件主轴回转（B轴）与回转工作台（C轴）三轴联动插补。有双面倒棱工艺要求的刀片，还需磨头磨头横向进给插补（Y轴）。

(2) 创新点

两坐标工作台采用高精度滚珠丝杠驱动，精密丝杠专用轴承支撑，安装时合理预紧丝杠，提高系统刚性以及定位精度和重复精度。

工作台双向导向支撑可选用平V导轨、贴塑导轨和直线导轨等方式。鉴于工件材质均为难加工材料，且系统要求参与插补各轴运动灵敏，选用精密直线导轨作导向支撑，通过导轨和滑块间的油膜起到减震阻尼作用，降低振动对加工精度和工件表面质量的影响。

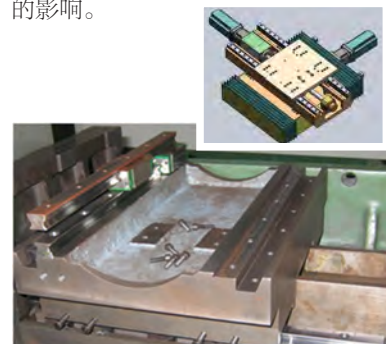


图5 两坐标工作台模型图

(3) 技术特点

精密直线导轨具有精度高、运动灵活、互换性好、安装调试方便等特点，装配时需对导轨接合面，丝杠轴承座安装基面进行精密刮研。为了满足插补轴较高的定位精度要求，还需配置直线光栅尺作为位置反馈元件，实现全闭环控制。由于机床工作时，磨削液中含有大量的高硬度粉末，需对两个方向的精密直线导轨、高精度滚珠丝杠副增加防尘、防喷溅等防护装置。

3. 精密回转和分度定位技术

(1) 概要

机床在加工带后角的多边形可转位刀片时，需要头架驱动刀片回转和刀片后角加工两个运动，都需要精密回转和分度定位技术，采用直驱技术或蜗轮蜗杆传动实现。

(2) 创新点

直驱技术传动便捷，但生产成本和加工成本较高，而且结构复杂，还会引入因电机发热和密封对机床温控带来的不利影响。因此，选用一种高精度双节蜗杆-蜗轮副驱动技术，通过调节两节蜗杆间的间隙，达到消除蜗轮-蜗杆副反向间隙的目的，实现回转轴的精密分度。



图6 双节蜗杆-蜗轮副啮合检查

(3) 技术特点

机床在加工这类刀片时，回转工作台和头架主轴都有精密分度和可靠定位的要求，采用双节蜗杆-蜗轮副传动可实现较大的扭矩传递，且传动过程中滑动啮合产生的噪音和振动小，借助其自身的反向自锁性，在液压锁紧辅助下，能可靠实现精密定位要求，通过精密位置检测元件，实现全闭环控制。该技术已取得实用新型发明专利。

4. 精密砂轮主轴的设计与制造技术

(1) 概要

砂轮主轴是刀片周边磨床的关键部件之一，主轴的热伸长、振动、轴端跳动等误差都会直接反映在工件上，主轴精度直接影响磨削工件尺寸精度和表面质量。

(2) 创新点

根据周边磨床砂轮主轴三维模型的仿真分析，对砂轮主轴结构和支撑方式进行优化，配备平衡块或精密在线动平衡装置，并综合运用精密回转主轴抑振技术、强制冷却和恒温控制技术，降低主轴不平衡、震动和主轴热伸长对工件尺寸精度的影响。

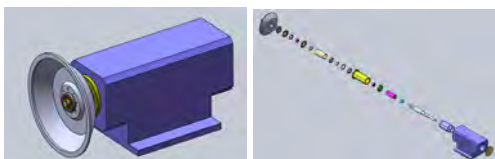


图7 砂轮主轴模型图

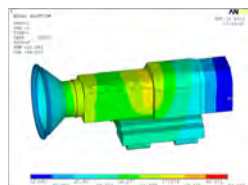


图8 砂轮主轴温度云图

(3) 技术特点

精密砂轮主轴采用滚动轴承支撑，灵活合理的轴承配置形式能将大部分的磨削抗力有效地传递给机床床身，并限制主轴受热后向不影响工件尺寸精度的方向伸长。轴承采用强制油气润滑方式，在轴承润滑同时，高速气流将摩擦热量带出，可有效控制主轴热伸长引起的加工误差，防止连续加工时，超硬磨屑因冷却液喷溅对精密轴承造成损坏。

5. 工件自动测量与自动定位技术

(1) 概要

单件可转位刀片周边加工耗时较短，为适应批量生产模式，应该尽量减少人为干预机床正常工作，配备了柔性机械手实现工件自动上下料。由于同种规格刀片毛坯尺寸误差较大，为节约辅助时间，提高加工效率和合格率，机床配备有工件自动测量与自动定位装置。

(2) 创新点

刀片加工前，预先设置好自动定位装置毛坯装夹位置。机床工作时，机械手将完工零件取下后，换上待加工刀片毛坯。工件自动夹紧后，自动定位装置返回初始位置。数控系统控制自动测量装置检测毛坯余量和装夹偏差数据，数据经后台程序运算后，系统自动分配各联动轴进给量，实现误差自动补偿。工件加工完工后，数控系统根据预先设定的尺寸公差对完工零件尺寸进行抽检，以判断工件是否合格和确定砂轮修整补偿量，实现砂轮自动修整和误差修正补偿。

对有双面倒棱工艺要求的刀片来说，机床还选配有刀片厚度自动测量装置。

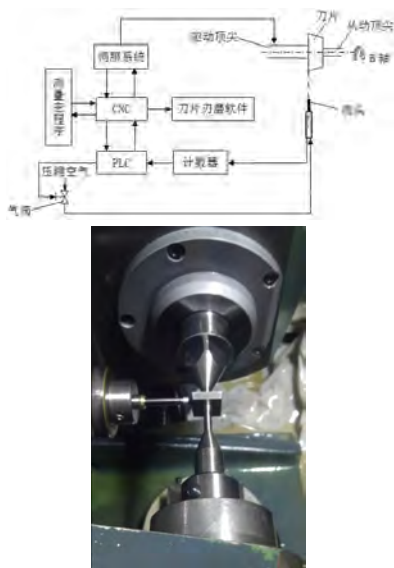


图9 机床自动检测系统结构图

(3) 技术特点

刀片检测、定位均在机床上完成，由数控系统程序控制自动完成，避免因多次定位、装夹带来的重复误差，减少机床辅助时间，提高机床加工效率，可通过系统程序参数设置，对测量装置进行误差补偿。



图10 测头误差补偿界面

6. 砂轮在线清洗技术

(1) 概要

可转位刀片磨屑呈细粉状，机床连续加工时，磨屑在冷却液作用下粘附在砂轮端面而来不及去除，造成砂轮钝化。机床配置有砂轮修整器，砂轮在加工一定数量刀片后，可根据系统设定自动完成砂轮修整。

由于陶瓷、CBN材料刀片硬度大，为保证加工效率和加工质量，要求金刚石砂轮磨削时，时刻保持磨粒

锐度。根据加工刀片材质，机床选配砂轮在线清洗装置，可满足金刚石砂轮实时修锐要求。

(2) 创新点

加工陶瓷、CBN材质刀片时，金刚石砂轮快速钝化，造成机床加工效率和工件表面质量下降，甚至因砂轮堵塞导致冷却液无法进去磨削区，造成工件烧伤报废。

砂轮清洗装置的作用在于，清洗因砂轮磨粒空隙堵塞和对钝化磨粒修锐，确保砂轮锐度，提高加工效率和加工质量。通过数控系统程序控制，实现金刚石砂轮在线清洗。

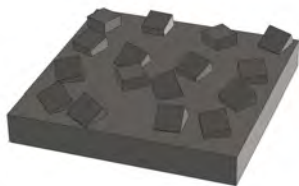


图11 虚拟金刚石砂轮三维视图

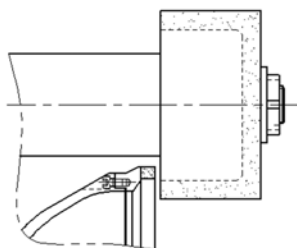


图12 砂轮在线清洗装置

(3) 技术特点

砂轮清洗装置工作时，清洗砂轮端面与金刚石砂轮端面实时接触，金刚石砂轮参与工件磨削加工后即进入砂轮清洗区，数控系统控制砂轮清洗装置微量进给，确保清洗砂轮与金刚石砂轮实时接触，实现对金刚石砂轮的清洗和修锐。

该装置在结构布局上，有效利用砂轮周边空间位置，确保金刚石砂轮工作的同时清洗砂轮实时对砂轮金刚石磨粒清洗和修锐。通过数控系统参数设定和程序控制，实现清洗砂轮转

速调节和进给误差的自动补偿，控制系统后台将补偿量分配给各插补轴，提高工件加工精度。

四、成果应用及推广情况

2018年4月，陕西汉江机床有限公司参展的2MK7130A数控可转位刀片周边磨床荣获第十届中国数控机床展览会（CCMT2018）春燕奖，陕西汉江机床有限公司2MKZ7150全自动可转位刀片周边磨床荣获CCMT2012春燕奖以来，在精密数控工具磨床领域的再次获奖，表明陕西汉江机床有限公司数控可转位刀片周边磨床系列产品结构和性能指标，得到了中国机床工具协会的一致认可，机床经过国内多家用户生产验证，技术水平和自动化程度满足国内刀片生产企业的要求，具备替代进口设备的能力。

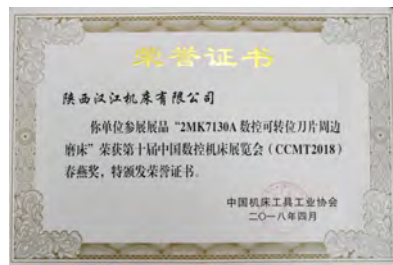


图13 2MK7130A数控可转位刀片周边磨床获奖证书

经过陕西汉江机床有限公司多年来在精密数控工具磨床领域的潜心研究和技术积累，2MK7130、2MK7130A系列数控可转位刀片周边磨床结构日趋完善，机床配置经济合理，满足国内数控精密刀片制造市场需求。公司凭借在国内精密磨削领域的雄厚的技术实力和业界良好的信誉口碑，以及专业的技术支持和迅速的售后服务体系，该系列产品已在浙江、深圳、江苏、成都、河北等多家用户成功应用示范。□

双油缸上拉式内拉床的研发与应用

湖南大学 刘 坚

长沙思胜智能设备有限公司 赵建华

一、概述

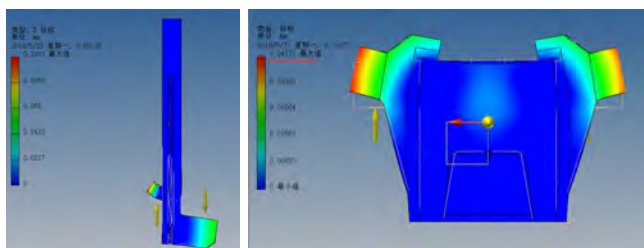
公司自主研发设计的L55720上拉式内拉床采用全新框架式结构，整体性好，主体部件均通过有限元和在线仿真分析。该机床属于全护送双油缸立式内拉床，在拉削过程中采用拉刀固定、工件运动的方式实现全护送（即拉削工件时，下夹头夹紧拉刀前刀柄不松开、上夹头套住拉刀后刀柄外圆，直至工件拉削快完成时，上夹头才退出后刀柄）。机床结构选用全新的直线滚珠导轨副实现拉刀接刀或送刀，保证机床的拉削精度。主液压系统采用伺服电机控制双油缸驱动，消除拉削过程中的颠覆力矩，机床工作时的震动明显减小，噪音也得到有效控制，较之传统电机下降40%。电控操作系统使用西门子系列，简单易操作，除基本配置以外，此机型还增加了，自动调刀系统，自动换刀系统，采用二次退料，极易实现自动化连线。此机床主要用于拉削各种零件内孔、内花键、单键，生产率高，产品精度稳定，安装维修方便，每个循环拉削一至三个零件，适用于成批大量生产。通过更换主、辅刀夹头、工装及拉刀，能拉削不同形状及尺寸的产品，适用于不同品种的批量生产。



图1

二、技术创新点

相比单油缸上拉式拉床优势：双油缸拉床拉削更为平稳；拉削孔中心和主油缸活塞杆运动中心在一个平面上，没有单油缸拉床工作时的翻转力矩，拉床作为断续重切削机床，工作时的震动是影响拉削精度和考核机床设计能力的关键指标，此类机床大大降低了工作时的震动，提高了拉削精度；（对比图片）



机床采用长溜板形式，四个大面的接触，有效保证双油缸同步，若出现磨损可单块修复

机床采用短溜板形式，难以抗拒不同步的特性，出现导柱磨损后，导柱精度不可调整，需重新配磨铜套，严重需整体更换

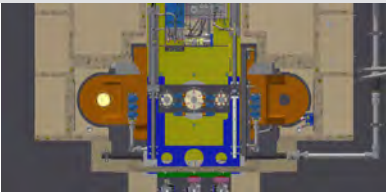


图2 双油缸上拉式内拉床

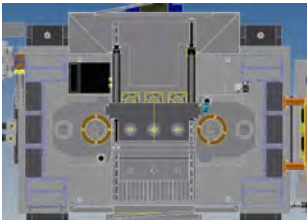


图3 双立柱上拉式内拉床

相比传统双立柱上拉式拉床，此类拉床原理相同但如何控制双油缸的同步性是关键所在。我们充分考虑国内材料和工艺的实际情况，采取的还是主运动轨道为55°燕尾导轨，经过几十年的验证，耐磨性好，使用寿命长，且长时间使用磨损后间隙可做补偿调整，主滑板采用长滑板形式，有效增强了拉削刚性，同时在伺服数字化控制双油缸同步的基础上也可起到机械式帮助双油缸同步的效果，精度稳定可靠，主滑动面采用传统刮研工艺，配合间隙严格控制在0.03~0.04mm之间，滑动面布有润滑油槽，工作时可形成一层油膜，不易磨损。主辅滑板为独立导轨，辅滑板用直线导轨负责送刀等动作，滑板均可单独调整，精度不互相影响，也方便了后期的维护保养。自动调刀采用步进电机控制丝杆螺母的结构，安全精准，可快速实现刀具更换。液压系统采用伺服电机控制日本住友齿轮泵，工作时全力输出，待机时降速节能，伺服系统精确供油保证主辅滑板位置度精准控制，先进的液压原理使得拉削平稳，震动小，噪音小，节能环保，并且主滑板不存在传统液压拉床滑车的现象。

三、产品性能介绍

在双油缸立式内拉床的研发制造过程中，长沙思胜智能设备有限公司与湖南大学机械与运载工程学院成立联合课题小组，对机床的液压系统简化且稳定可靠做了大量研究和试验。液压站较之传统机型减少三分之一的液压元件，在双油缸消除不同步的技术攻关上做了大量验证，通过刘坚博士团队的数据建模仿真分析，结合实际工况下其对精度的影响，不断修改受力结构，直至达到满意的效果。目前双油缸上拉式内拉床机的振动控制，机床稳定性和重复精度均达到国外先进技术同水平。

其主要技术参数如下：

额定拉力200 kN；额定行程1600mm；拉削速度（无级调速）1~10 m/min；主滑板返回速度（无级调速）1~20 m/min；接送刀机构最大行程450 mm；接刀速度（相对于主滑板）1~10 m/min；送刀速度（相对于主滑板）1~10 m/min；工作台平面尺寸（长×宽）600×500 mm；最大工件外径X厚度 $\phi 160\times 400$ mm；工作台孔径 $\phi 140\times 2-\phi 75$ mm；最大拉刀长度1800mm。

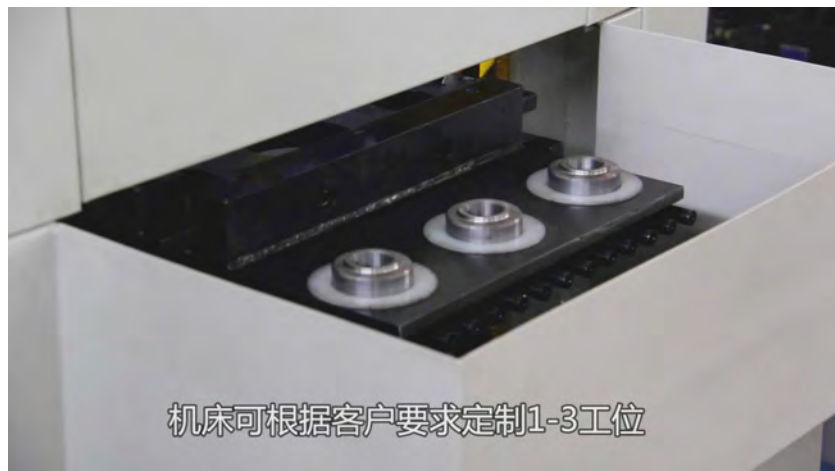
序号	主要指标	国外	国内	本产品
1	额定拉力	200	200	200
2	额定行程	1600mm	1600	1600mm
3	拉削速度（无级调速）	1~8m/min	1-8	1-10
4	返回速度（无级调速）	2-10	1-10	1-20
5	最大工件外径X厚度	$\phi 160\times 380$	$\phi 160\times 360$	$\phi 160\times 400$
6	最大拉刀长度	1800	1800	1800
7	拉削精度	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.02

四、新技术应用情况

（1）液压系统伺服控制，减少了液压件数量，可实现全数字化输入输出，系统数据能实时反馈，在待机状态下降低转速实现节能，较之传统三相异步电机噪音大大减小，油箱体积相应减小。



（2）机床配备二次推料机构，机床上下料位置均在机床防护外，对操作者更安全可靠，且易实现自动化连线，目前所销售的机型均采用自动上下料（可搭配桁架或关节机器人），根据客户实际产量机床可定制1~3工位，将性价比发挥至极致。



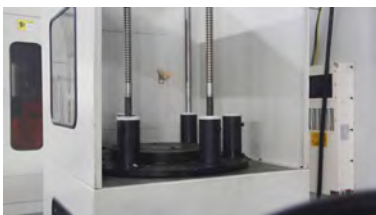
(3) 标配自动调刀装置, 不同的品种对应的刀具长度也不同, 为加快加工节拍, 可设计为一键式调刀, 通过手动在操作屏上进行刀具参数设置, 后期更换品种直接选择品类号, 快速匹配拉刀长度。



(4) 选配自动换刀机构, 传统多采用吊刀机构进行更换刀具, 而自动换刀系统可实现一键切换全自动换刀, 机械手读取刀具旋转数据, 按此数据机械手进行刀具抓取, 直接放置在指定工位处, 刀库和工装库带防错功能, 系统发现不匹配立即报警停机。

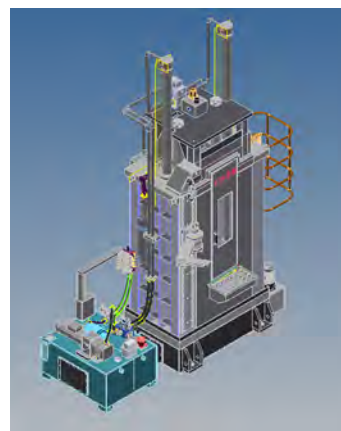


换刀机械手



刀具库

(5) 机床采用全新框架式结构, 不存在漏水漏油现象, 冷却系统采用高低压结合, 床身冲屑大流量, 刀具冲屑高压, 具有先进的操作系统, 通过人机介面能显示出刀具的移动位置以及拉削速度或返回速度, 同时可任意设定拉削距离, 能直观地观察到在拉削过程中工作压力变化值和各种状态。对于各种故障能自动显示出故障的所在位置且给予报警。拉削力及拉削速度均采用电液伺服阀, 可在操作屏上通过触摸键任意设定。



双油缸上拉式内拉床三维图

五、成果应用及推广情况

双油缸上拉式内拉床在中国有着广阔的市场前景, 产品需求量大, 可广泛适用于汽车、工程机械、军工、航天和农机等行业。长沙思胜智能经过工程技术人员2年多时间的潜心研发与制造, 技术优势已在行业内得到广泛的认可, 浙江万向、天海同步器、江苏驰翔等众多企业使用了此类型机床, 稳定性和加工精度得到了客户的一致好评, 为提升我国民族工业国产化水平起到了积极的推动和示范作用。我们在下阶段的工作中, 将继续加大科技创新平台和软实力提升, 为振兴民族工业发展、为湖南智能制造和传承原中国机床十八罗汉做出更大努力。 □

在线测量和智能修正技术在数控机床上的应用

北京精雕科技集团有限公司 孟少鹏

随着现代制造业对零件加工要求的不断提升，越来越多的制造企业都在向着智能化高效生产的方向进行转型，而在这种高效稳定的智能化生产过程中，离不开机械加工中在线测量技术的强力支撑。目前，这项技术在机械行业内已经逐渐被应用到了实际生产当中，确实帮助制造企业提升了产品的生产效率，改善了生产品质，降低了生产成本。本篇文章主要结合北京精雕独立研发的在线测量和智能修正技术，对这项技术的应用优势及发展情况做一阐述。

一、为什么要引入在线测量和智能修正技术

智能化是现代信息社会工业奋斗的目标所在，要实现智能化生产，就必须首先让数控机床实现智能化，要让切削过程变得更透明，更易于控制，那么这就必须追溯到产品加工的品质问题上。在CNC加工过程中，尺寸精度是评测产品品质的主要指标，造成尺寸精度不合格的因素是由于各类误差复合作用形成的，包括：机床精度、材料变形、夹具形变、夹持变形、刀具磨损、切削工艺、人为操作、环境温度等等，而这多方面的因素在不同的加工领域、不同的加工环节所起的作用是不同的，加工中的这类误差极易形成难以控制的复合误

差，而形成的这种误差是客观存在的，也是难于避免的，这样就会导致加工结果难以判定。

面对这样的问题，在一般的工艺生产中，就会在生产加工过程中增加一些检验工序，这样不仅增加了工序环节，增加了辅助成本，而且会导致整个生产流程不连续，尤其在3C产品加工中，这种问题更加明显。而产生的这种不连续和不稳定的问题的关键原因是：在加工过程中，技术人员无法直接在机床上监控切削过程的中间结果和最终结果，并对加工结果进行实时修正，只能在一个工序的结果形成后离机交给检验工序去判断，合格品才能转入下道工序，不合格品要么报废，要么返回本工序进行返修。如果对于精密模具行业，模具成本高昂，技术员在加工完成后真的心里没底，只能凭借所谓的经验去判定。

因此，为了解决这类问题，“在线测量和智能修正”技术应运而生。这种技术把三坐标测量机上的部分功能集成到机床上，实现了加工过程和机内测量的一体化。在线测量和智能修正技术不仅可以检测加工前、加工中、加工后的几何误差，实现了加工过程的闭环效果，而且还可以基于这些测量结果自动修正加工坐标系、自动修正切削参数、自动修正切削轨迹、自动修正切削用量，从而实现对

过程的智能修正，使得整个生产管理过程更加稳定高效。

二、基于“在线测量和智能修正”技术的“制检合一”应用

在线测量和智能修正技术将加工与检测安排在了同一台设备进行工作，实现了工件的数字化采集工作，并根据所测数据进行数学分析、几何评价、工艺改进，可以说，这项技术是北京精雕集团的一项特色的标志性技术、一项标杆技术。基于这项技术形成的“制检合一”生产模式已经在多个产品领域取得了重大突破，解决了多项生产技术难题，保证了制造企业的连续性高效稳定生产。

1. 在线测量和智能修正技术在大批量生产中的应用

在产品批量加工中，为了提升产品的品质，传统的生产模式就是在生产环节中不断地增加检验环节，工序检验的环节基本都是由人工来完成的，这种方式虽然可以提升本道工序的准确性，提高整个生产制程的稳定性，但是随着产品要求的不断提升，工序段数的不断增加，这种方式暴露出来的问题也越来越突出。首先，人工检验就引来了人工检验误差，人工检验误差就更为随机，在生产线上，

把合格品误检、不合格品漏检的情况屡屡发生。其次，增加过程检验就会导致生产中断，影响生产的整体连续性，而且这些增加的检验工序基本都是由人工完成，这无疑又增加了人工成本。

为了提升整个产品批量生产的稳定性，改善生产流程的连续性，越来越多的生产企业选择了在机床上增添在线测量系统，对生产过程进行管控，形成了一种全新的“制检合一”生产理念。在线测量和智能修正技术在批量性产品加工过程中体现的优势主要包括以下几点：

(1) 在线测量和智能修正技术可以提升生产效率：传统的生产模式工序流转环节多，尤其对于检验环节，花费的时间就更多，从检验工序上分，包括首件检、巡检、换刀检等，从检验流程上分，又包括上下料、工件流转、检验室排队、离线检验等，从检验成本上分，包括人工成本、检具成本、时间成本、辅料成本等等，可以看出，影响生产效率的因素就是一些辅助工作。增添在线测量系统后，实现了测量加工一体化，所有测量工序都可以在机内完成，加工完成后直接测量，节省了80%以上的辅助时间，同时降低了生产成本。

(2) 在线测量和智能修正技术可以保证既定工艺准确执行：传统的检验模式基本都是依靠人工来完成，只要是有人参与的工作，必然会存在犯错的机率，比如巡检人员不能严格按照预设的巡检间隔去采集数据，存在漏检现象等等，如果出现漏检尺寸，流过好几道工序才发现，处理起来就会非常麻烦，甚至会造成一些不可挽回的损失，这就归结为工艺执行的严格度和准确度问题，反观在线测量技术，整个过程均由程序控制，能够严格执行既定的流程。

(3) 在线测量和智能修正技术

实现了测量过程的自动化：离线测量模式自动化程度低，很多检测数据都是依靠质检人员手工录入，而在线测量技术实现了数据的自动检测、自动存储、自动计算，中间不存在人工干预，自动化程度高。

(4) 在线测量和智能修正技术提升了生产的连续性：在线测量系统可以实现加工产品在序前、序中、序后的状态检测，对于不合格的产品直接剔除，减少了人工调机的辅助时间，改善了整个产线的生产节拍，提升了生产的连续性。



2. 在线测量和智能修正技术在精密模具行业的应用

在精密模具加工行业，为了使得加工出的模具尺寸合格，那么就是要对每道工序的切削余量进行管控，余量稳定了，加工出的产品质量就稳定了。传统的模具加工方式就是无法预知CNC加工后的模具品质，只能下机进行检测，若没有加工到位，就只能返回CNC进行返工。那么，在这种情况下，精雕在线测量和智能修正技术的价值就充分体现出来了，在加工之前，可以自动修正加工坐标系，在加工中，可以动态检测切削余量的分布，提升工艺改进的准确性，在加工后，可以检测零件加工精度，包括尺寸精度和形位误差，确保放心下料，从而保证加工过程的连续性与稳定性，减少后端修模的工作量，提升一次合模的成功率。

因此，在精密模具加工方面的应用点主要包括：

(1) 加工面余量测量及修正：刀具磨损、让刀变形、刀具尺寸不标准等都会造成模具加工面余量不

均匀，模具分型面余量不均匀不仅会造成配模失败，还会造成模具在锁模力的作用下挤压变形，影响模具使用寿命，传统只能通过更换新刀反复精加工或修模。精雕在线测量和智能修正技术可以在线测量模具加工面余量，真正实现制检合一，缩短模具加工周期。

(2) 接刀痕测量及修正：模具型腔内的圆角位置多数是需要加工到位的，需要进行清根处理，但是因为对刀具尺寸、工件加工余量、主轴热伸长无有效的管控措施，导致更换刀具后会出现接刀痕。精雕在线测量和智能修正技术可以实时测量刀具加工状态下尺寸、刀长及加工余量，从而避免接刀痕产生。

(3) 刀具中心点偏移测量及管控：一般模具加工周期都比较大，由于振动、温度等因素影响，会造成加工原点漂移导致工件加工偏位，最终表现在产品上就是合模线偏位，以前没有什么很好的办法解决。精雕在线测量和智能修正技术可以实时检测工件加工原点，智能补偿加工程序，减少原点漂移影响。

(4) 模具表面轮廓度和关键尺寸的测量：模具表面轮廓度和一些关键尺寸的管控，直接影响着模具本身的品质，以前没有量化的管控分析手段，无法对这些关键尺寸进行实时测量，导致生产工艺落后，模具生产周期长，不能按时交货。精雕在线测量和智能修正技术可以在机检测模具的表面轮廓度和关键尺寸，直接对这些关键尺寸进行评测分析，进而改善工艺，稳定生产。

(5) 基于表面余量测量方法的刀具磨损管控：有些模具加工区域非常大（一模多穴），小刀具使用多，加工时间往往也比较长，需要多把刀具分别进行加工，而且不同路径轨迹的刀具寿命也是不一样的，传统做法

是定时观察加工效果并决定是否换刀，缺少定量管控刀具寿命的依据。精雕在线测量和智能修正技术可以实时检测刀具磨损情况，定量管控刀具使用寿命。



3. 在线测量和智能修正技术在五轴精密零件行业的应用

目前，在线测量和智能修正技术已经成为了五轴机床的标配，通过在线测量和智能修正技术，不仅可以提升五轴精密零件的加工精度，而且还可以管控五轴加工流程，让五轴加工更加稳定，过程更可控，该项技术在五轴加工方面主要的优势体现在三个方面：

(1) 在线测量和智能修正技术弱化了夹具的作用：夹具的作用主要包括固定和定位的作用，其实数控加工对夹具的要求，难点是在定位，尤其是为了保证批量生产，工件必须要通过夹具定位面来保证装夹精度，一些复杂零件的夹具定位部分设计都比较讲究，要求比较高，制造周期长，那么，费用高就是必然结果。而且夹具装夹到机床后，还必须通过人工进行打平、找正，这个过程也是比较费时间的。

那么使用在线测量和智能修正技术后，夹具只需要把工件固定到机床上，测头可以在工件上自动探测加工基准面的位置，计算出偏差数据，提供给机床，机床再根据偏差值进行自动摆正，而且也不需要人工干预。该项技术基本弱化了夹具的定位作用，仅需要对其进行粗定位即可。

(2) 在线测量和智能修正技术实现了模糊基准零件的精确加工：压铸后的铸件，或者经热处理后的零件，经过多道工序到精雕五轴设备上做精细加工的零件，往往会出现基准模糊、基准精度传递损失的情况，这就需要加工时多次反复调整才能确认基准的准确性，这个过程以前全是通过人工来完成的，不仅工人的劳动强度大，而且整个生产过程很不顺畅。



采用在线测量和智能修正技术，可以很方便地识别工件的基准表面，模拟出虚拟的基准位置，再根据这个位置精铣加工出准确的基准位置，并以此为基准，完成后续的加工，整个过程完全自动化。

(3) 在线测量和智能修正技术可以动态重建坐标系：大多数的五轴多面加工都是确定一个加工基准，然后根据这个基准完成其他面的定位加工，但是由于复合误差的影响，造成不在一个坐标系下加工的两个特征精度达不到要求。应用在线测量和智能修正技术可以基于一个基准面动态再建一个基准，而且可以建立多个基准，修正这些复合误差。

三、在线测量和智能修正技术的应用前景

通过以上几个方面的应用点来看，在线测量和智能修正技术已经成为智能化加工必不可少的一项支撑技术，那么，这项技术后期的应用前景主要包括以下几个特点：

(1) 通用化：即对于任意复杂曲面、复杂模型，在线测量和智能修正技术都能给出合理的工艺规划，并按照一定的策略完成高速测量及补加工，确保不留死角。

(2) 集成化：精雕在线测量和智能修正技术将持续完善集成化工作，将CAM软件、数控系统、测量技术、精密加工等体系以一定规范、采用特定接口高度集成在一起，实现数据的实时共享。

(3) 智能化：即在线测量和智能修正技术将集成各类传感器，根据各类型的数据反馈做出判断，并调节工艺策略，实现自动化的智能加工。

(4) 高速化：高速不仅体现在加工效率上，更要体现在数据采集及计算的效率上，要以更高的效率采集数据并对数据进行评测。□

基于西门子机床制造业数字化的工件研发和生产

西门子（中国）有限公司数字化工厂集团运动控制部 周繁荣

一个工件如何由构思到合格的产品？西门子可提供涵盖整个产品生命周期的全数字化方案，实现灵活地定制产品，提高生产效率和产品质量，缩短产品上市时间。

机床工业是制造业中的基础工业，其水平和质量对于制造业的发展至关重要。西门子长期致力于机床制造业的发展，针对市场需求可提供整体解决方案：机床制造业的数字化。设计制造一台机床和使用一台机床有着不同的需求，为此，针对机床用户和机床制造商，西门子可提供定制化的数字化解决方案，如下图所示：



本文就一个样例工件 - 叶轮的研发和生产为例，对西门子针对机床用户的整体数字化解决方案进行一定的探讨。



机床用户使用机床生产工件，一个工件如何由需求、构思到合格的产品，西门子可提供涵盖整个产品生命周期的全数字化方案：产品设计，生产规划，生产工程，生产执行，服务。所有环节基于统一的数据管理平台Teamcenter共享数据，互相支持和校验，实现设计产品和实际产品的高度一致，数字化双胞胎在整个过程中发挥着重要作用。

1. 产品设计

当工件叶轮的需求明确后，首先需要进行产品设计。NX CAD可以协助我们高效地完成叶轮的3D设计。

2. 生产规划

当产品设计完成之后，如何规划后续的生产并确保质量，Teamcenter工件工艺规划模块Part Planner可以协助我们进行科学、透明可追溯的规划，如图1所示：



图1

一个工件从构思到一个合格的产品，需要科学合理透明的规划，涵盖从软件虚拟世界的工艺规划，3D设计，切削策略，测量策略，以及机床设备、工装夹具、切削刀具等生产资源规划；到物理世界的生产资源的透明度，生产资源准备，工件在机床设备的实际切削和成品的质量检测和质量管理。全过程的所有数据都由Teamcenter统一管理，很好地保证了数据共享和数据一致性。

3. 生产工程

在这个阶段可以通过软件的帮助，在物理世界进行实际产品生产之前，在软件虚拟世界进行产品仿真验证，支持保障后续实际生产。

叶轮工件使用NX CAD进行3D设计之后，使用NX CAM结合Teamcenter制造资源库中丰富的刀具数据制定加工策略，之后可以生成NC程序、刀具清单和作业指导书用于后续的实际机床生产使用。

NC程序有没有语法错误？叶轮工件在机床的加工过程中有没有机械干涉和碰撞？加工节拍多长时间？虚拟机床可以在工件的实际机床生产验证之前回答诸如此类的问题，是工件加工仿真的理想环境，如图2所示。

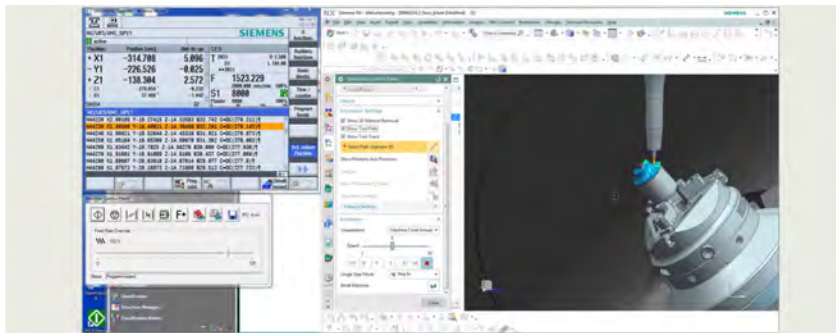


图 2

虚拟机床可集成于NX CAM环境中，基于真实的包括工装夹具、工件和刀具的机床3D数据和西门子软件数控系统Sinumerik VNCK，使用与实际物理机床相同的CNC数据确保一致的控制特性，实现和物理机床近乎相同的测试环境。VNCK和Sinumerik硬件数控系统具备相同的控制内核，虚拟工件在由VNCK驱动的虚拟机床上进行切削加工仿真，整个仿真加工过程和实际工件在物理机床的加工过程近乎一致。

NC程序经过虚拟机床的加工过程的仿真，验证了NC程序的正确性，提前发现并且规避可能的机械干涉和碰撞，精确预知了生产节拍，为后续生产执行阶段的实际工件在物理机床的加工提供了安全保障，缩短试制时间。

4. 生产执行

自此工件从软件世界进入现实物理世界的生产阶段，进入生产车间。生产管理非常复杂，涉及资源管理，生产安排等，本文仅就资源管理做一定的探讨，如图3所示：

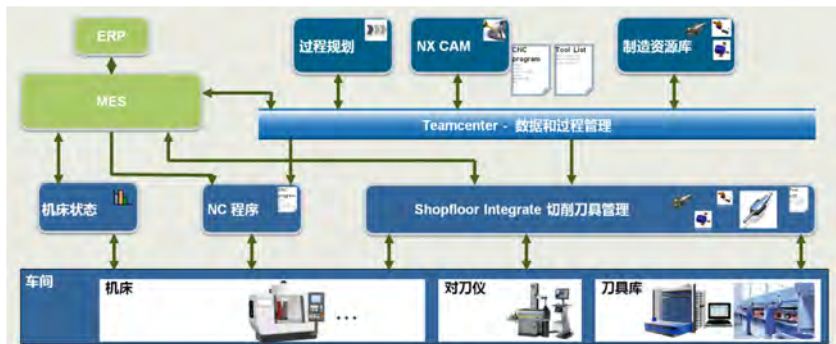


图 3

(1) 机床管理。生产安排需要机床设备的实时状态和设备效率，机床绩效分析软件AMP (Analyze MyPerformance)可以实时采集机床状态，分析机床的整

体设备效率 (OEE)、可用性、生产力等，并且可以将这些数据上传到制造执行系统MES用于生产安排。

(2) NC程序管理。在生产工程阶段，经过虚拟机床仿真验证的NC程序由NX CAM上传至Teamcenter，然后根据生产安排把NC程序通过程序管理软件MMP (Manage MyPrograms)释放到目标机床。MMP还可以标注程序版本和属性，管理使能，集中有效透明地管理NC程序。

(3) 切削刀具管理。切削刀具的管理是一项重要但复杂的工作，需要清楚每台机床上刀具的品类、数量和寿命等的透明度，需要清楚刀具库房的刀具部件和成品刀具的透明度，需要清楚对刀站的透明度，需要清楚所需采购刀具的技术数据，更重要的是所有这些透明高度需要一个高效、透明的数字化管理平台。车间资源管理软件SFI RM (Shopfloor Integrate Resource Management) + 刀具管理软件MMT (Manage MyTools)就是可以执行此项任务的理想平台。

和NC程序一样，在生产工程阶段经过虚拟机床仿真验证的刀具清单由NX CAM上传至Teamcenter，然后释放到SFI RM + MMT。刀具清单中的刀具是否都存在于目标机床？缺失刀具是否在刀具成品库？缺失刀具是否需要组装？组装需要的刀具部件存放于刀具部件库的什么位置？如何组装？哪些刀具需要在对刀站进行测量？测量之后数据如何传输到目标机床？新刀具如何安装到目标机床？SFI RM + MMT可以透明的管理、指导操作人员准备好需要的刀具和数据，并且在目标机床上安装好所需要的刀具，全程数据基于网络进行透明可追溯的管理。

(下转第65页)

航空发动机机匣加工工艺研讨

沈阳机床(集团)有限责任公司 徐吉存

航空发动机机匣加工具有结构复杂、加工工艺性差、精度要求高、加工余量大、刚性差等特点,在其加工过程中易产生加工变形。通过研究航空发动机机匣的加工机床、刀具应用等加工工艺,分析机匣加工变形的原因,结合航空发动机机匣毛坯特点及加工工艺方法,提出的加工变形控制的措施,对薄壁类机匣的加工有一定的指导作用。

航空航天技术发展日新月异,航空发动机技术首当其冲,作为航空发动机的核心关键部件的机匣,为了满足其功能需求结构变得越来越先进复杂,机匣类零件的结构相应的也变得复杂,机匣设计结构也越来越先进、精巧,单一机匣所具有的功能也越来越多,同时加工制造的难度也大大增加。机匣属于薄壁圆盘型零件,控制加工变形显得尤为关键,这就要求制造机匣零件的工艺方法不断得到改进与提高。

一、机匣加工工艺

主要体现在材料切除率高、薄壁易变形、材料难切削和对刀具切削性能要求高等多个方面。

1. 加工工艺特点及切削机床的选择

(1) 加工工艺特点

航空发动机机匣具有各种复杂形状的凸台和型腔等集合特征结构,而且机匣在壁厚方面变化较大,对加工提出了很高要求。机匣加工表面主要分为内、外两部分,如图1所示。由于其外部需要连接到许多如电气、冷却、油路及管路等附件系统,导致其表面形状结构复杂,对机加要求比较高,尤其是对位置和尺寸精度要求较高;另外发动机机匣的内部主要是承载其压气机的涡轮叶片,包括动、静力叶片,这些都是其关键的动力输出部分,所以也对制造精度要求较高。综上所述,机匣制造加工工艺的难点

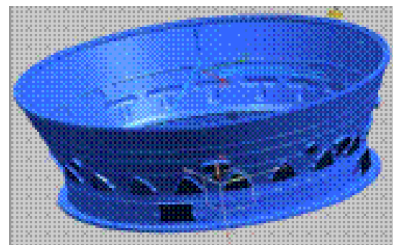
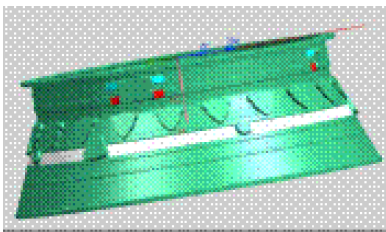


图1 机匣内、外壁

(2) 切削机床的选择

按照常规加工工艺路线,发动机机匣内腔表面及前后安装边需要数控车削加工,外腔型面及安装座采用五轴联动机床加工,传统加工涉及到二次装夹误差,难以保证加工精度要求。随着数控加工技术的发展提高,航空发动机机匣一般采用铣车复合加工方式,这样可有效的避免二次装夹带来的找正误差。机匣的加工装卡位置如图2所示。采用铣车复合技术,可以在一台铣车复合加工中心上一次装夹完成机匣的内、外表面铣车加工,以及零件表面上孔加工。因此,针对发动机机匣整体薄壁环形结构特点及其功能实现技术要求,特制定了

以下铣车复合加工方案,使端面基准、端面孔及止口表面通过一次装夹在一台机床上加工完成,从而提高加工效率,保证加工质量。夹具设计时要考虑拆卸、定位和夹紧方便可靠,减少辅助时间,提高整体加工效率。



图2 工件装卡位置

2. 刀具选择

航空发动机机匣加工主要体现在高速、高效、高精等方面,刀具的合理选择尤为关键。在选择刀具时,首要考虑满足加工精度,其次是可靠性及效率成本等因素。

(1) 车刀的选择

粗加工选择顶角为80度菱形或四方双面切削刀片,为了提高加工效率和节省成本,粗、半精和精加工可选择同一把陶瓷车刀。

(2) 铣刀的选择

在粗加工铣削刀具的选择时,应在加工动作空间允许的情况下尽可能地选用大直径刀具,从而保证一次铣削面积尽可能大,不用频繁换刀,既可以提高金属切除率,又可以提高加工效率。精加工时避免选用一把刀加工所有的部位,应根据不同的部位和不同的区域选用不同的刀。为了保证零件的光洁度及加工质量,精铣宜使用带圆角的整体硬质合金铣刀。

(3) 钻头的选择

依据孔径大小及相应精度要求不同选取钻头,直径大的孔径选用U钻头,精度要求不高的一般孔径采用带涂层的硬质合金钻头,对于精度要求较高(7级精度以上)的孔采用钻、扩、铰来加工。为了提高加工效率和节省成本,10mm以上的铰刀采用可换头的形式。

3. 工艺路线

按照上述的工艺编制方法与原则,将航空发动机机匣的工艺路线规划如下如图3所示:

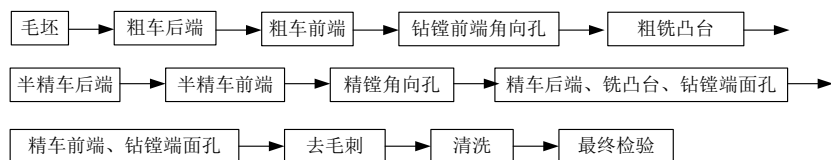


图3 机匣加工工艺路线

从工艺路线上来看,该零件的粗车前后端面及工艺定位孔加工用数控立车来加工实现,其它所有机加工序均在铣车复合加工中心上完成。

二、加工变形及其控制

1. 加工变形影响因素

航空发动机机匣属于典型的难加工材料制造的复杂薄壁零件,其加工变形问题主要集中在毛坯处理和加工工艺安排上。

(1) 毛坯影响

机匣类零件现在大量采用铝合金、钛合金、耐高温合金、高强度钢等铸件。航空发动机机匣毛坯属于大尺寸、结构型面复杂的精密铸造件,受到国内铸造技术的限制难免会出现一些铸造缺陷,如少肉缺肉现象及工艺铸造基准达不到要求等。由于工期紧,加工前及加工工序间的时效处理不充分也会给最终的加工精度造成很大危险。

(2) 加工工艺影响

加工工艺的影响主要在于装卡刚度、走刀路线的合理规划及切削参数的选择等方面。由于航空发动机机匣件属于大型薄壁零件,在装卡过程中通过增加辅助支撑来提高工件的装卡刚度,另外通过模拟仿真软件规划走刀路线及工艺切削参数优化。

2. 加工变形的控制

加工变形的控制主要从以下几个方面考虑:应力释放、合理装夹及在线检测控制等。

(1) 应力释放

航空发动机机匣毛坯在加工前需要进行自然时效处理,通过合理安排加工工序使工件在加工过程中有应力释放过程。毛坯提前准备时间宜在半年以上,至少是提前两到三个月。另外合理分配粗、精加工余量,尽量减小精车的切削量,使切削应力逐步均匀释放,减小变形。

(2) 合理装夹定位

对机匣进行合理的装夹,能够对

效的减小发动机机匣的加工变形。尽可能采用一次装夹,进行机匣的完整加工。在机匣装夹过程中宜采用辅助支撑或内涨紧套的形式。定位方式采用一面两销,利用后端面的止口面作为加工定位面。

(3) 工艺流程优化及在线检测控制

细化加工工艺流程,充分利用先面后孔、工序集中的工艺流程原则,优化切削参数及走刀路线,合理分配粗精加工余量,充分释放切削应力。

由于锥体机匣外壁直径尺寸和外

壁安装座表面距回转中心距离尺寸的测量无法使用通用测具和专用测具实施手工测量。通常需要在全部尺寸加工结束后,从机床卸下,由三坐标测量机测量上述尺寸,即离线检测。当检测尺不合格需要返工时,只能在机床上重新装夹、再次加工。二次装夹在定位精度上引起的误差,对零件返工合格率影响非常大。

为解决此类问题,可以在铣车复合加工中心上使用在线检测功能,实现了环形机匣外壁直径等尺寸的在线检测及控制。并对加工尺寸给

予补偿和修正,能够提高机匣一次加工合格率。

三、结论

本文通过研究航空发动机机匣的加工机床、刀具及加工工艺路线,分析了航空发动机机匣加工变形的影响因素及控制方法。综上所述,通过航空发动机机匣加工工艺技术研究,能够缩短机匣加工周期,减小加工变形,从而提高加工效率及加工精度,为机匣类零件的加工提供技术支持。□

参考文献

- [1] 于翠苹. 航空发动机短机匣加工变形控制工艺研究[D]. 大连理工大学, 2008.
- [2] 李国明. 航空发动机机匣加工工艺研究[J]. 北京: 中国新产品新技术, 2012, 13: 120—120.
- [3] 赵宏亮, 王大勇, 梁向葳, 朱波. 闭环式整体机匣工艺研究[J]. 北京: 中国新产品新技术, 2012, 15: 159—160.
- [4] 徐金梅. 大型薄壁机匣加工工

艺研究[J]. 北京: 中国新产品新技术, 2012, 18: 118—118.

[5] 张小伟. 金属增材制造技术在航空发动机领域的应用[J]. 航空动力学报, 2016, 31(1): 10—16.

[6] 罗和平. 航空发动机典型零部件数控加工技术研究[J]. 机械制造, 2017, 4: 46—49.

[7] 张春华, 赵冬梅, 袁仲欣, 等. 航空发动机机匣构件的表面完整性工艺控制[J]. 机械设计与制造, 2015(10):

136—138.

[8] 赵明, 刘德生, 俸跃伟. 铣车复合加工技术在薄壁机匣加工中的应用. 航空制造技术, 2012, 16: 50—53.

[9] 赵玉坤. 高效加工在航空机匣零件制造中的应用[J]. 北京: 中国新产品新技术, 2012, 6: 4—5.

[10] 冯守胜. 浅谈薄壁焊接机匣车削技术研究[J]. 科技创新与应用, 2012, 8: 68—68.

(上接第62页)

(4) 工件生产和产品检验。生产资源就绪后,操作人员按照来自于生产工程阶段的作业指导书进行工件准备、试切,之后进入质量检测,质量检测的数据可用于产品设计、生产规划和生产工程阶段必要的改进,所有这些工作都通过Teamcenter统一管理,确保数据一致性。

5. 服务

如何减少机床停机时间,提高设备使用效率? 设备的维护是重要的服务内容之一。

机床状态分析软件AMC (Analyze MyCondition)可以协助用

户掌握透明的机床状态,定期进行设备的性能测试,提供维护建议,进行有效的预防性设备维护。

除此之外,基于开放物联网IoT操作系统的西门子工业云MindSphere的机床管理软件MMM (Manage MyMachines),可以实时采集设备状态和用户定制的设备数据,生成设备看板和设备状态透明度,协助用户科学地规划设备使用和维护。

6. 结语

西门子针对机床用户的整体数字化解决方案可以协助用户进行透明科学的产品全生命周期管理,从工件需

求构思开始,到产品设计、规划、仿真、生产,到产品成品,到后续的产品改进和服务。

从中我们可以体验到数字化双胞胎的重要作用。软件虚拟世界的3D设计工件,和物理现实世界的实际工件,是一对产品数字化双胞胎;与此类同,软件虚拟世界的虚拟机床,和物理现实世界的实际机床,是一对设备数字化双胞胎。

全程数据基于Teamcenter进行管理,确保数据统一和一致,加上数字化双胞胎的成功应用,可以灵活地定制产品,提高生产效率和产品质量,缩短产品上市时间。□

eldec技术应用于机械制造中 标准化高性能感应电源提供一流机床解决方案

埃马克（中国）机械有限公司

什么样的操作模式对德国机械制造业的成功起到决定性作用？

两年前，德国机械与设备协会（VDMA）和麦肯锡咨询公司（McKinsey）的调查报告“德国机械未来前景”的结果不近相同。接受询问调查的公司中有超过百分之七十的公司认为，按照客户特殊要求定制的系统以及集成解决方案的发展是成功的一个主要因素。这也是埃马克自动化有限公司几十年来一直奉行的宗旨。

公司研发一体化及符合汽车制造行业要求的完美产品解决方案，这些汽车制造行业主要致力于激光焊接和热套装配加工技术。这个团队的成员有：eldec感应电源。该产品提供感应加热工艺的能量源，这种加热工艺是热套装配和激光焊接中一项重要工序。产品的可靠性和高效性为埃马克自动化有限公司取得成功起到了重要的作用。同时产品程序是eldec另一个亮点，每个设置都配有与之相适应的感应电源，这是迎合重要客户要求的基本前提条件。eldec感应电源的性能等级超过百分之九十。设备有助于机床的高效节能。比如热套加工机床SFC 600。该设备的部分部件采用

复杂的工艺制造而成，在供货之前已经过全面检测。



图1 E281_SFC600

传动齿轮、差速器外壳或者凸轮轴 - 相似的传动齿轮部件和发动机部件的生产几乎已经不再利用标准机械制造解决方案。与之相反：个性化机械制造的需求量急速增长。客户要求更个性和一体化的生产解决方案，通过最理想的方案完成任务。所有部件工序，从输出部件的净化到成品的检查，必须被集成，而且还要符合部件特殊条件的要求 - 这是对各种部件尤其具有丰富经验的机械制造专家的任务。由此，埃马克自动化有限公司将目标定位在：公司专门致力于激光加工中央传动齿轮部件，并为客户提供一项一体化项目计划和实施，并保证提供有效突破的生产解决方案。

传动齿轮的举例：使用埃马克自动化有限公司的自动化ELC设备保证您的加工仅在十秒种内：自动上料机床，部件相互压紧，感应预热到近170 ° C，然后使用激光焊接。利用感应预热可以可靠并无裂纹地焊接增高碳等效工艺的敏感材料或者几何尺寸不规则的部件。eldec感应电源对精确度及随时可以重现的热量输入起着决定性的作用。一方面它保证可以达到所需的预热温度，另一方面可以防止超温而引起的超过允许范围外的金相组织改变。

为什么埃马克自动化有限公司的专家采用eldec作为一体化系统的解决方案。“首先，技术研发现状是可以值得我们信服”，埃马克自动化有限公司的执行董事Andreas Mootz博士说道。“感应电源配有先进的电子器件、现代化控制技术。我们可以将之简单地集成到机床上，并可精确配置。另外，产品技术可靠性高”。eldec产品要求就满足这些评价：设备的部分部件采用复杂的工艺制造而成，在供货之前已经过全面检测。谐振电路组件以及大部分部件为专有成品部件。只有高功率密度设备才能满足这些部件的要求。所有感应电源必

须满足极高的品质要求，因此该设备内使用一个成熟且坚固的逆流器流。利用高度精密调整的控制技术设计制造出一个极其可靠和高效节能的产品。“这是各个机械制造客户要求的重要质量因素”，eldec感应电源的商务发展部总经理Stefan Tzschupke解释到。“我们设计制造实用，免维护的产品。可将其毫不显眼地整合到机床中。几十年来，我们一直注重产品的可靠性和高性能的研发，这样才能制造出完美匹配的高效组件”。

始终提供符合要求的感应电源解决方案

另外，机床制造公司埃马克自动化有限公司从eldec产品范围中受益非浅。公司专家通常提供低频、中频和高频感应电源，功率为5至1500 kW。以及DF和SDF^R感应电源，功率为50到3000 kW。^①埃马克自动化有限公司的机床只使用中频感应电源（MFG）。“多样化的eldec程序帮助我们简单地为机床中的感应预热工艺选择一个精确的能量源”，Mootz博士讲到。

“同时也简化了外向的合作。我们完全可以在产品目录上订购，并获得一个完美的解决方案”。量身定做感应电源对机械制造的重要性主要体现在感应电源的多路输出：eldec可以按照客户的需求提供两个到八个输出端的感应电源。各输出端可相互毫无影响地独立地或者同时进行功率调节。



图2 eldec CUSTOM Line感应电源

“由于部件几何外形的不同，我们经常需要两个感应电源进行预热。若可以使用一个感应电源，当然对布满线路和控制器的机床内部空间利用是一个很大的有利帮助”，Mootz博士解释到。

eldec产品焦点

自五年前埃马克自动化有限公司与eldec建立合作关系以来，双方的合作继续扩大。专家已经习惯使用eldec的紧凑型MFG感应电源提供热套装配机床和激光焊接机床中的预热的能量源。以及eldec研发和生产的所属感应器。成功模式对于eldec来说是个榜样—机床对感应专家的重要性。同时，在合作伙伴项目实施前期，专家还帮助他们解释说明其计划设备需要的最佳解决方案。最终为能量源、感应器和冷却系统提供一个强大、量身定做和高效节能的解决方案。“若客户要求，我们也为客户研发工艺。



图3 感应电源_安装

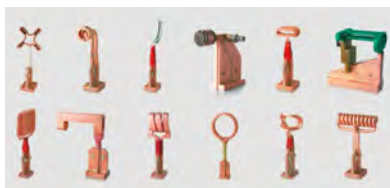


图4 eldec_感应器

比如我们今后为埃马克自动化有限公司提供的感应电源附带预设置方案”，Stefan Tzschupke先生讲到。“重要的是，我们在自己公司运行系

统，包括感应电源、感应器和客户的部件。通过这种方式我们可以保证，设备集成之后整个工艺在客户方立即实施。各个机床制造商都从我们的感应技术和经验知识中受益”。□

（上接第35页）

在软件方面，Sinumerik拥有便捷操作的用户界面。Sinumerik Operate用户界面上设计了大量功能来简化Sinumerik的操作。比如预先配置好的边屏显示（Sidescreen），不仅丰富了人机界面（HMI）的原有界面，还能提供更多功能。针对当前操作任务，边屏显示会显示所有相关信息，一目了然。另外，用户可以随时合上或展开、水平或垂直滚动边屏显示来浏览内容。其次，为了保障机床的高可用性，Sinumerik还提供了实时的防碰撞功能Collision Avoidance。无论是使用一个NCU的单通道加工，还是五轴同步铣削等复杂加工，防碰撞功能都可有效防止机床上发生意外干涉，为安全生产保驾护航。

除数控系统之外，西门子展台同时展出的还有与之相配套的Sinamics驱动系列、Simotics电机系列、电主轴等产品，数控系统在航空航天、汽车、医疗、电力、电子零件加工、和教育等行业上的成功应用，以及PLM产品生命周期管理软件、融资租赁、电柜集成等增值服务解决方案。其中，融资解决方案和金融服务可以为客户提供全面、专业并且高效的融资解决方案，助力机床行业数字化及未来发展。□

数控回转工作台的夹紧定位机构探讨

沈阳机床(集团)有限责任公司 徐吉存

首先通过对数控回转工作台的夹紧定位机构的设计与选型进行研究,其次对液压、气动、齿盘等几种不同形式的数控转台夹紧定位机构的结构及其优缺点进行详细的论述。最后建议在设计转台夹紧定位机构时应根据所设计回转工作台的应用场合选择合适的夹紧定位机构。对于重切削的工况,应选用大夹紧扭矩的夹紧定位机构,而针对精密零部件的加工,要选用高刚性的夹紧定位机构。

数控回转工作台是加工中心实现五轴联动的关键性功能部件,能够为数控机床五轴联动提供第四轴和第五轴回转运动。数控回转工作台的夹紧定位是保证加工精度的关键技术,当数控回转工作台旋转到指定位置必须夹紧定位才能保证工件加工时不会产生位置偏移,而单纯靠驱动装置很难实现此功能,因此需要夹紧定位装置实现此功能。本文主要介绍数控回转工作台常见的夹紧定位装置,并对其工作原理和设计方法予以阐述。

一、液压式夹紧机构

液压夹紧是目前数控旋转工作台的常用夹紧方式,比传统刹车片具有更高的夹紧力和夹紧扭矩。

1. 摩擦片式夹紧装置

摩擦片夹紧结构如图1所示,摩擦片固定在旋转座上面随旋转座一起转动,布置在摩擦片上方的活塞在液压油的推动下压紧摩擦片,实现夹紧动作。活塞行程一般为1mm,夹紧油压一般为20bar~50bar。

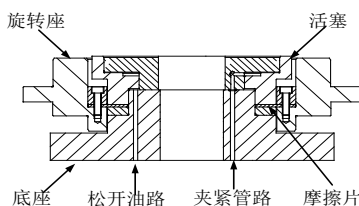


图1 摩擦片式夹紧装置

单摩擦片夹紧力矩与摩擦片的摩擦系数和尺寸,以及夹紧油压P相关,如公式1所示。

$$T = 2 \pi u P (R^3 - r^3) / 3 \quad (1)$$

式中:

T——夹紧力矩,单位为牛米;

u——摩擦片摩擦系数;

P——夹紧油压,单位为巴;

R——摩擦片作用面外径,单位为毫米;

r——摩擦片作用面内径,单位为毫米。

摩擦片由于受到空间结构限制其作用面积较小,因此其夹紧力和夹紧扭矩受到限制,只能应用于扭矩要求较小的回转工作台,为了解决此问题

可采用多摩擦片式夹紧机构,如图2所示为多摩擦片夹紧定位机构,旋转座内环面安装多片摩擦片,随旋转座一起转动,旋转座下方底座的上方安装多片固定摩擦片,摩擦片上方组装挤压摩擦片的活塞装置。底座外缘放置回弹装置,起到分离摩擦片和固定片的作用。两片安装在转动座底面的摩擦片,配合两片安装于底座的固定片,相互交叉排列,摩擦片与固定片按照薄板环片加工制作。

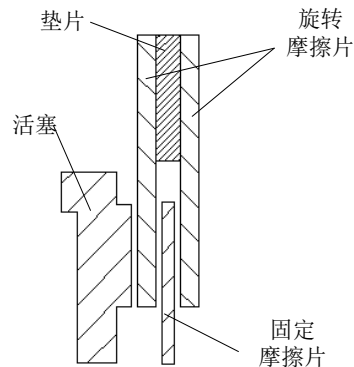


图2 多摩擦片式夹紧机构

多片式刹车装置相比普通刹车装置增加多层摩擦面,刹车力提高2~3

倍,且结构简单、可靠,克服了单刹车片摩擦力不足、容易产生滑移的缺点,具有方便实用的特点。

2. 环抱式夹紧机构设计

摩擦片式夹紧装置是在旋转件轴向施加夹紧力,而环抱式夹紧定位是在径向施加夹紧力,通过产生摩擦扭矩来达到夹紧定位的目的。

环抱式夹紧机构一般采用胀紧套为夹紧机构,如图3所示。胀紧套是由特殊材料制成的弹性元件。当液压油经过管路均匀充满整个胀紧套时,胀紧套在液压油的推动下夹紧旋转座,实现转盘的制动。环抱式夹紧面与数控回转工作台能大面积接触,具有高刚性和耐重切削的特性,胀紧套厚度一般为5mm至10mm。

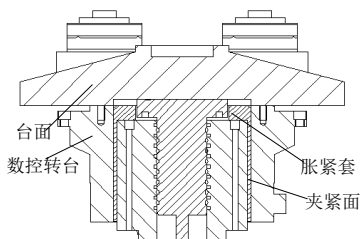


图3 环抱式夹紧机构

环抱式夹紧力矩与胀紧套面积、压力以及材料的摩擦系数相关,公式如下:

$$M=2\pi uDHP \quad (2)$$

式中:

M——夹紧力矩,单位为牛米;

u——摩擦系数;

D——胀紧套夹紧面外径,单位为毫米;

H——胀紧套夹紧面有效作用高度,单位为毫米;

P——夹紧油压,单位为巴。

二、气动抱闸夹紧定位

气动夹紧是利用气体压力压紧环形刹车片从而阻止回转轴的转动。

图4为HEMA公司生产的气动钳夹式

夹紧机构。向OPEN口内充入压缩空气,弹性皮腔会鼓起,从而缩短摩擦片与旋转件的距离,此时旋转件为松开状态。当旋转件旋转至指定位置后,弹簧皮腔内部的压缩空气被排放,弹簧皮腔得到放松并沿径向伸展,压紧摩擦片,抱紧旋转件的旋转轴,达到夹紧的目的。

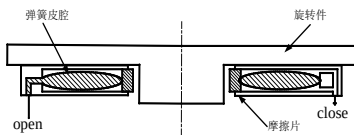


图4 气动钳夹式夹紧机构

气动钳夹式夹紧机构由于使用了气动装置能够快速反应,比液压装置更加简便,成本更低廉,清洁度高,更加安全。

三、端齿盘夹紧定位机构

端齿盘夹紧定位是通过动齿盘与静齿盘的分离、旋转和啮合完成转台的分度与夹紧动作,如图5所示。端齿盘只能用于固定角度的夹紧定位,最小分度单位与齿盘的齿数相关,一般情况下,齿数越多,定位精度越高,啮合精度越高,定位精度越高。



图5 端齿盘定位

端齿盘按齿形可分为直齿和弧形齿,按照齿槽深浅分为刚性齿盘和弹性齿盘。端齿盘定位精度高,通过凹凸齿的啮合能实现自动定心,高刚性,承载能力强。

端齿盘的夹紧力是体现承载能力的重要标志,但不应过大,否则会引起齿盘变形而影响加工精度。

差动齿盘是齿盘定位的另外一种形式,它是把两对齿数不相同的齿盘A和B叠放在一起,且使A的下齿盘

和B的上齿盘连结在一起,组成I、II、III三层结构,如图6所示。相对一对齿盘能够旋转的角度更小。

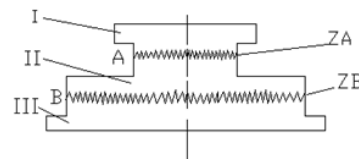


图6 差动分度齿盘

四、结语

夹紧定位机构是数控回转工作台实现夹紧定位的核心部件。目前大多数数控回转工作台制造厂家常采用端齿盘、液压和气动等几种夹紧定位机构来实现夹紧定位。设计者应根据所设计回转工作台的应用场合选择合适的夹紧定位机构。对于重切削的工况,应选用大夹紧扭矩的夹紧定位机构,而针对精密零部件的加工,要选用高刚性的夹紧定位机构。随着科技的不断发展,数控回转工作台正朝向高精度、高效率、高可靠性的方向发展,作为数控回转工作台的关键部件,夹紧定位机构也正在不断的改进与创新。 □

参考文献

- [1] 陈心昭, 权义鲁. 现代实用机床设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 蔡光起. 机械制造技术基础[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2002.
- [3] 王胜. 大型数控回转工作台传动的消隙机构设计[J]. 机械设计与制造工程, 2014, 43(3): 68—70.
- [4] 王妮娜, 张广鹏. 回转工作台结构优化设计方法[J]. 制造业自动化, 2017, 39(4): 125—127.
- [5] 柳耀阳, 李翔宇, 韩廷超, 曹铎. 数控回转工作台关键技术研究[J]. 机械制造, 2013, 4: 23—25.
- [6] 李立强, 姜辉. 数控回转工作台设计[J]. 制造技术与机床, 2014, 1: 99—102.
- [7] 赵越, 姜莉莉, 雷晓钟. 一种液压夹紧机构在直驱式双轴回转工作台的应用[J]. 机床与液压, 2015, 43(21): 176—178.

基于SolidWorks Simulation的支撑轴有限元疲劳分析

济南翼菲自动化科技有限公司 韩立光 刘芳

本文针对一种受交变应力的支撑轴建立了三维模型，采用有限元分析方法，以Solidworks Simulation有限元分析软件为平台，先对该受力轴进行静态受力分析；在此基础上，再根据该支撑轴实际受力情况，运用有限元疲劳分析理论，对支撑轴进行有限元疲劳分析，得出比较准确的疲劳生命周期和疲劳损坏百分比等理论数据，为指导该零件的设计生产提供了理论依据。

DIAMOND型机器人是一种并联型两自由度机器人。其由主上臂，主下臂和副上臂，副下臂等零件连接组成。副上臂与副下臂连接处由一个支撑轴支撑。当动平台悬挂负载做周期往复运动时，该支撑轴承受一个交变应力。该支撑轴长期承受交变载荷，除了静强度和振动等因素需要考虑外，疲劳分析也是掌握该受力轴运行状态及使用寿命的重要手段。本文将利用大型参数化软件SolidWorks对该支撑轴进行精确建模，在定义材料疲劳曲线(S-N曲线)的基础上，利用Solidworks Simulation对该支撑轴进行疲劳分析，得出了该支撑轴的使用寿命及损坏百分比等相关数据，为指导该零件的设计及生产制造提供了理论研究基础。

一、用SolidWorks建立支撑轴的精确模型

准确建立精确零件模型是对其进行有限元分析的前提。SolidWorks

是美国EDS公司推出的集CAD/CAM/CAE/PDM为一体大型参数化软件，能为工程师提供一个虚拟产品开发的良好环境，具有很强的三维实体造型、曲面造型、虚拟装配及产生工程图等功能，可以大大节省用户的作图时间，提高了设计工作效率，将现代产品设计提升到一个新的水平。首先，在Solidworks的零件环境下，对支撑轴建立精确模型。该支撑轴前部为受力区光轴，后部为用来连接的外螺纹结构。支撑轴螺纹部分是一个容易产生应力集中的部分，该特征会对应力分析结果产生重要影响，所以建模过程中螺纹部分不可忽略，需要精确建模。建模过程如下：先利用拉伸命令建立支撑轴的圆柱部分，再绘制后部螺纹部分特征。该支撑轴螺纹部分为GB-M8粗牙螺纹。M制粗牙螺纹的牙型为三角形，牙型角为 60° ；螺距1.25mm，大径8mm，小径6.647mm。根据上述参数，先按螺距建立一条螺旋线，再在螺旋线垂直面绘制一角度为 60° 的三角形，然后利用扫描切除命令沿螺旋线进行扫描切除，绘制此螺纹部分精确模型。建立的模型截图如图1所示。



图1

二、支撑轴静态受力有限元分析

要利用Solidworks Simulation进行疲劳分析，须先对优化对象进行静态受力分析，因此先对支撑轴进行静态受力有限元分析。Simulation受力分析，包括

预处理, 求解和后处理三个部分。预处理包含定义分析类型, 添加材料属性, 施加载荷和约束, 网格划分等步骤。求解即运行程序计算所需结果。后处理是对结果的分析 and 处理。下面遵循上述三个步骤, 对支撑轴进行有限元分析[1]。

1. 预处理

此处分析支撑轴材质为45号钢, 在SOLIDWORKS材料库中相当于DIN标准中C45钢。此零件经过调质处理, 弹性模量 $2.1\text{E}+5\text{MPa}$, 抗拉强度 750MPa , 屈服强度 580MPa , 伸长率16%, 硬度230HB。

该支撑轴使用过程中后部20mm处固定, 因此对该件螺纹20mm处添加一分割线, 以确定施加约束面。对该约束面施加一固定约束。

对施加载荷模拟实际应用情况。先建立一个Z轴与支撑轴轴心重合的坐标系, 然后对轴前部小圆柱面施加一个100N的轴承载荷。施加完约束与载荷的模型如图2所示。

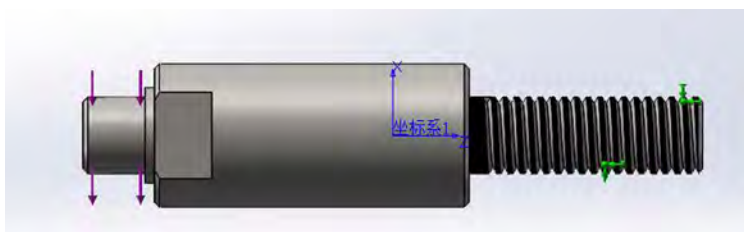


图2

对模型进行网格划分。采用自动过度网格划分, 高品质网格划分, 网格大小约 0.58mm , 雅可比点位4, 共174252个单元。生成的网格如图3所示。



图3

2. 求解及结果分析

当模型、材料、网格、约束及加载均已完成, 即对支撑轴进行有限元分析求解, 本文采用的解法是FFEplus算法, 并采用P-1自适应方法调整[2]。为更清楚显示变形结果, 在变形图中设定变形结果扩大50倍显示, 在求解后的的应力图如图4所示。

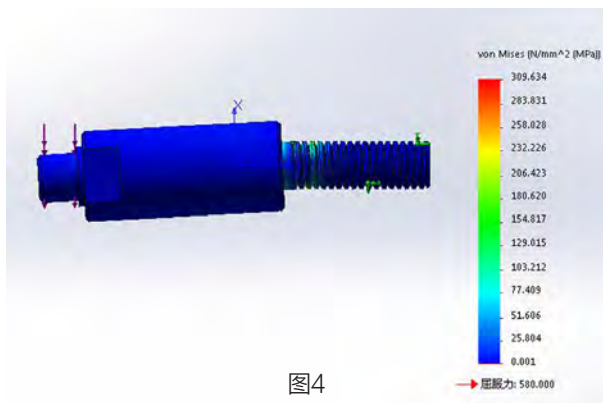


图4

由图可看出, 该件最大应力处应力为 309.634MPa , 发生在切割线分割面上, 即发生在螺纹结合边界处。与实际使用情况相符。由于已知材料的屈服强度是 580MPa , 所以零件不会发生屈服变形。

三、疲劳有限元分析

1. 疲劳概述

载荷值随时间作周期性或非周期性变化的载荷成为交变载荷, 由于载荷的变化, 使零件受到交变应力, 经足够次数的交变应力后, 零件内部会产生积累损伤。直至裂纹或断裂的过程, 称为疲劳失效。本文中所分析的支撑轴正是受到上述类型的交变应力, 故对该件进行疲劳有限元分析非常必要。

2. S-N曲线选定

将试验材料制成直径为6-10mm的标准试件, 按国标规定分别在旋转变曲, 拉压, 扭转材料疲劳试验机上进行试验。在给定 σ 的情况下, 若按不同的应力副S加载, 每组按同一标准记录循环次数, 将试验结果画在应力幅值S (或疲劳强度) 为纵坐标, 疲劳寿命N为横坐标的图上, 所得出的曲线成为S-N曲线。要进行疲劳分析, 先需要对算例赋予一条S-N曲线。本算例中, S-N曲线如图5所示。

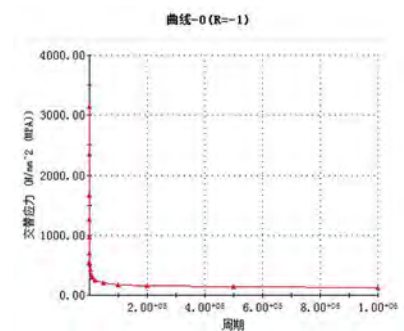


图5

3. 疲劳有限元分析

该分析例中, 支撑轴受到一个交变的应力作用。在该算例中, 首先添加一个事件, 即上述静态分析结果, 载荷循环数设定为10, 000次, 由于该件受力是一种从幅值从最大到零再到最大的循环过程, 所以负载类型选择基于0的交变载荷[3]。由于所选材料的S-N曲线是在R=-1时得出的, 而加载载荷是基于R=0的形式, 由于给定S-N曲线R-比率不同于实际载荷的R-比率, 所以需要在疲劳属性中选择Gerber平均应力纠正选项。Gerber平均应力纠正是适用于弹性材料的应力纠正方法, 其方程式如下:

$$S_{ca} = \frac{S_a}{1 - \left(\frac{S_{mean}}{S_u} \right)^2}$$

式中, S_{ca} = 纠正的交替应力

S_{ca} = 交替应力 = $(S_{max} - S_{min})/2$

S_{max} = 最大应力

S_{min} = 最小应力

S_{mean} = 平均应力 = $(S_{max} + S_{min})/2$

S_u = 终极强度

上述参数都设置好后, 运行分析。

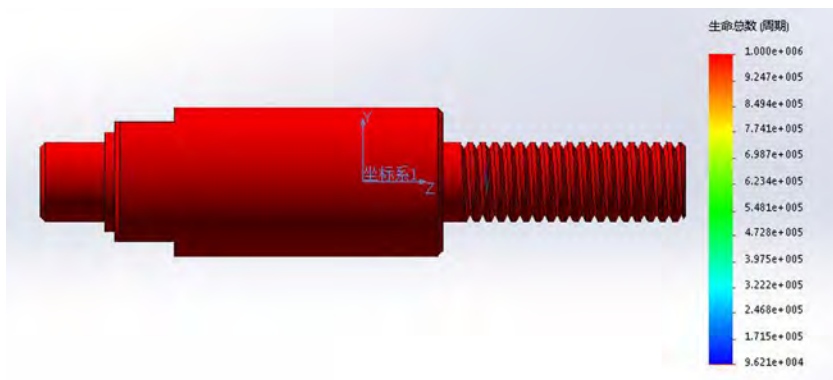


图6

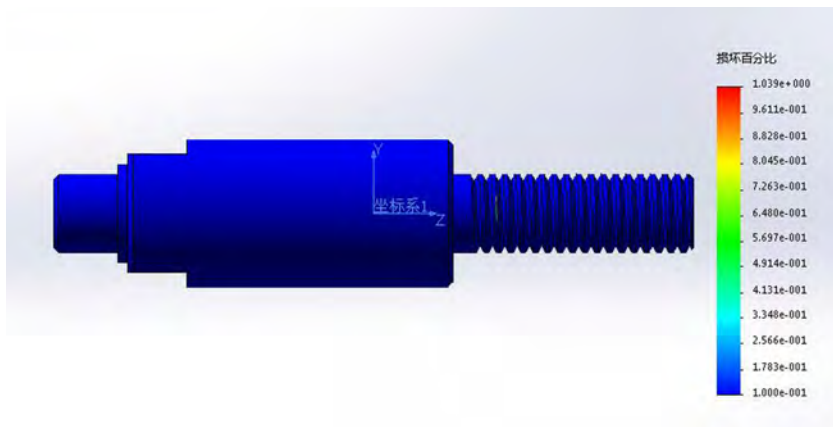


图7

由图6可以看出, 支撑轴在经过1000次承载循环后, 其最小生命周期为9.6e+004次, 最大生命周期为1.0e+06次, 大于设计循环次数80000次, 故支撑轴的整体结构满足n=80000次条件下的疲劳强度要求, 因此该支撑轴的结构设计是满足设计要求的。由图7可以看出, 支撑轴在经过1000次承载循环后, 最大损坏1.28%, 最小损坏0.01%, 因此此处支撑轴的设计是安全的。

四、结语

本文首先建立了支撑轴的三维模型, 并在该三维模型基础上, 设置相关参数, 对支撑轴进行了静态应力有限元分析; 随后在定义材料疲劳曲线(S-N曲线)的基础上, 根据实际使用情况, 对支撑轴施加一个R=0的载荷情况; 同时采用Gerber算法对平均应力进行纠正, 利用Solidworks Simulation对支撑轴进行了疲劳分析, 得出了支撑轴的使用寿命等相关数据。对类似零件的疲劳应用场景具有参考意义。 □

参考文献:

- [1] 李春玲. 发动机连杆疲劳强度有限元分析[J]. 柴油机设计与制造, 2007, (2): 9-11. doi:10.3969/j.issn.1671-0614.2007.02.003.
- [2] 兴长喜, 孙民. 航空发动机主轴承保持架疲劳断裂机理[J]. 航空发动机, 2002, (2). doi:10.3969/j.issn.1672-3147.2002.02.008.
- [3] 滕爽, 但丁, 程芬, 王宏建. 基于SolidWorks Simulation带接头装配体有限元分析[J]. 现代制造技术与装备, 2013, (5). doi:10.3969/j.issn.1673-5587.2013.05.005.