

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing
Engineering & Market

No.5 2016
2016年10月
October 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5期(总第146期)

WMEM世界制造技术与装备市场

行业资讯 News

20 机床协会在IMTS2016期间成功召开新闻发布会等6则消息

产销市场 Production & Marketing

23 中国机床消费市场的新变化 陈惠仁
New changes of China machine tool consumption market

研发与应用 Research & Application

25 TKG46100高精度数控卧式坐标镗床的研发与应用 张晓毅
Research and application of TKG46100 high-precision CNC horizontal coordinate boring machine
36 大型数控切点跟踪曲轴磨床的研发和应用 王瑞等
Research and application of the large NC tangent point tracking crankshaft grinding machine
42 带自动穿丝装置的高精度六轴数控慢走丝线切割机床的研发和应用 张伟明
Research and development of the high precision six axis CNC wire machine tool with automatic feed wire device

展品评述 Exhibit Review

48 重型数控机床的发展与展望 高晓明
Development and outlook of the heavy NC machine tool
52 结构升级 时不我待 聂艳
——CCMT2016观后感
Time to upgrade structure
——Impression of CCMT2016 exhibition
55 珩磨加工现状及发展趋势 张晓明
——CCMT2016展评
Status and development trend of the honing processing
59 CMT2016展会观感 东全宏 王芳
Impression of CCMT2016 exhibition

编者的话

近几年，作为生产资料的机床工具产品，受中国经济、投资增速放缓和需求结构升级影响，其消费市场的总规模呈阶段性下降的状态。新兴市场需求快速增加，传统工业领域需求低迷，导致市场需求结构性变化明显。市场需求的快速升级，使得低端机床工具产品产能过剩现象日益突出。

严酷的市场现实倒逼着行业企业艰难转型升级，在这一过程中，有的企业从此一蹶不振甚至倒下，而有的企业却脱胎换骨、逆势而上，在转型路上取得了喜人的成绩。

总结成功企业的经验，我们不难发现，虽然很多企业在规模、基础、产品结构等方面各有不同，但都有一些共同的特点，那就是主动适应市场的变化，顺势而为。具体表现为：在经营战略方面明确市场定位，深挖客户需求，调整自身生产经营模式；在技术研发方面，立足自身基础，加大投入，通过外引内联，尊重知识，尊重人才，不断提升技术研发实力；在生产组织方面，加强企业管理，倡导工匠精神，严控产品质量关等。

作为工业母机，机床研发制造技术更需要积累和传承。就拿当前大家热议的智能制造来说，未来无论发展到何种高度，都需要性能可靠的机床产品作保障。而机床可靠性等指标又恰恰是我们长期受到用户诟病的地方。

“不积跬步，无以至千里；不积小流，无以成江海。”面对经济的长期低迷，我们需要做长期、艰苦的努力和坚持。展望未来，作为体系完备制造业大国，中国市场充满着机遇和挑战。当前国家在积极倡导和营造“匠人”精神的文化范围，广大企业管理者们需要在实践中努力践行“知行合一”行为理念，不断提升自身的市场竞争力，抓住机床工具消费水平升级的新机遇，实现中国经济和制造业的可持续发展。

本刊编辑部

版权所有，未经本刊书面许可，不得转载。

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



Motion Control and System Technology



仿冒品
请向合格经销商购买

荣获日经Business评选为「全球上市企业综合成长力」第5名
荣获福布斯(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

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



2001~2016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



关节式机器人臂
Articulated Robot



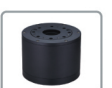
晶圆机器人
Wafer Robot



下肢康复训练机
Robotic Gait Training System



直线电机
Linear Motor



直驱式定位平台
Torque Motor Direct Drive Motor



伺服驱动器
Servo Drive



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

中国大陆子公司

上銀科技(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

上銀科技股份有限公司
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

大銀微系統股份有限公司
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
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

上海玖征机械设备有限公司
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

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

63 为中国2025打造柔性自动化生产线

——CCMT2016展品评述

邹月

Building the flexible automatic production line for China 2025

——CCMT2016 exhibits review

72 从CCMT2016看机床智能制造

徐正平

Review the machine intelligence from CCMT2016

产品与技术 Products & Technology

76 高效、先进多工位级进模、多工位传递的特殊功能与合理应用

陈炎嗣

Special function and application of the high efficiency, advanced multi-station
progressive die

79 卡车纵梁自动化生产工艺分析

方赫等

Analysis of the truck longitudinal beam automation production process

82 分度转台的技术现状分析与亟待解决的技术难题

王学新

Technology situation and problems of indexing table

85 卧式铣镗床下滑座蜗轮传动机构的装配工艺措施

晏昆等

Assembly process of the horizontal milling and boring machine down-slide block
worm gear drive

87 在15℃和40℃之间依旧如此可靠

蔡司公司

Still be so reliable between 15 ~ 40℃

89 大型龙门机床自适应框架的结构设计与装配要点

范会军等

Design and assembly key points of the large gantry machine tool adaptive
framework structure

消息 (41、58、75)

78 广告目录索引

Advertisers Index



WMEM官方微信

机床协会在IMTS2016期间成功召开新闻发布会

中国机床工具工业协会（CMTBA）于美国芝加哥国际制造技术展览会（IMTS2016）举办期间，美国当地时间2016年9月14日上午10点，在McCormick Place 新闻中心召开了新闻发布会，会议由机床协会常务副理事长兼秘书长陈惠仁主持，中国国际展览中心副总经理姚俊先生和中国机床工具工业协会执行副理事长王黎明先生出席了发布会。发布会上，陈惠仁常务副理事长简要介绍了中国宏观经济形势、机床工具消费市场和CMT2017的筹备情况。美国制造技术协会（AMT）会长伍兹先生等来自国内外行业组织、制造商、经销商的代表和专业媒体记者共50余位来宾参加了发布会。



济南二机床与博世联合承担中德智能制造示范项目

9月13日上午，济南二机床与博世举行智能制造战略合作协议签约仪式。国家工信部信息化和软件服务司高林副司长、济南市经信委李会宝主任等领导出席签约仪式并讲话。张志刚董事长与博世（中国）陈玉东总裁在合作协议上签字，同时双方联合承担的中德智能制造合作试点示范项目“智能生产排程系统”正式启动。

张志刚董事长致辞中说，项目的实施有助于实现制造系统的信息化、智能化升级，进一步提升济南二机床的数字化制造能力。

博世（中国）总裁陈玉东表示，希望“智能生产排程系统”项目在未来能够助力济南二机床提高生产效率和自动化水平，结合中德双方优势，加快推进济南二机床的全球化进程。



为更好地推动中德在智能制造领域的合作，工信部面向全国开展了中德智能制造合作试点示范项目的申报。9月1日，首批14个中德智能制造合作试点示范项目揭晓，济南二机床与博世集团联合承担的“智能生产排程系统”项目成功入选。此次合作以开展智能工厂改进为目标，借鉴德国先进的工业自动化技术，提升国内机床行业乃至离散型生产制造行业的智能制造水平，具有引领、带动和示范意义。

国家工信部对项目给予高度重视，信息化和软件服务司高林副司长讲话中提到，济南二机床与博世的合作意义重大，希望通过本项目打造出一个适合中国国情的智能排程系统，完善我国智能制造体系，不断解决行业发展中出现的难题。济南市经信委李会宝主任说，济南二机床是中国机床行业内具有较强国际影响力的企业，博世集团是德国工业4.0战略的重要发起者和领先实践者，双方合作是强强联手，希望项目的签订不仅能够推进济南二机床的智能制造，而且能够带动整个济南智能制造的发展。

（张桂枝）

国家科技支撑计划中期检查会议在重机集团召开

大学等单位共同承担的国家科技支撑计划课题“精密机械传动设计制造关键技术及其在齿轮机床的应用”中期检查会议在重机集团召开。

会上，课题负责人廖承渝介绍了课题研究内容、技术方向和技术路线等基本情况，详细汇报了课题中期考核指标的完成情况、下一阶段的工作计划和保障课题验收的具体措施以及课题经费使用情况，与会专家组人员还到企业文化展示厅、总装三分厂、磨齿机分厂进行了参观。

课题中期检查专家组通过听取中期检查汇报，审查课题中期检查报告和车间现场情况及质询，肯定了课题的阶段性成果并给予了高度评价。专家组组长表示，该课题完成了高精度齿轮加工机床主轴中的精密齿轮传动等精密机械传动系统的设计、制造及试验检测等关键技术研究以及齿轮机床主轴部组中精密机械传动系统、齿轮加工机床刀具主轴箱及工作台试车台架开发等工作，一致认为该课题已按计划完成了课题阶段研究内容和考核指标。同时，专家组也对下一阶段工作提出一些建议和意见，希望课题各承担单位能够再接再厉，明确各自的职责并不断深入的研究，加强各参与单位之间的交流，将各单位的研究成果有效地集成起来，更好地完成课题的研究任务。



陈惠仁首先发言，介绍了目前行业运行基本情况，对当前行业发展的看法，以及对国家相关产业政策和科技政策的理解。分会理事长陈吉红随后致辞。作为会议的承办方，北京超同步科技有限公司总经理项久鹏介绍了超同步这家“研发型”工厂的发展历程，并安排会议代表参观超同步生产车间。

此次会议的一大特点就是技术、学术氛围浓厚。会上，北京兰光创新科技有限公司总经理朱铎先作《数控机床互联互通关键技术及应用》演讲、同济大学樊留群教授作《面向智能制造的数控系统》演讲、华中科技大学国家数控系统技术研究中心惠恩明博士作《数控机床互联互通协议及其工程实践》演讲等。充分彰显了数控系统行业作为技术密集型行业，技术研发才是企业获得核心竞争力的硬道理。（兰海侠）

中国机床工具工业协会数控系统分会2016年度理事扩大会议在京召开

9月20日，中国机床工具工业协会数控系统分会2016年度理事扩大会议在京召开。中国机床工具工业协会常务副理事长兼秘书长陈惠仁、分会理事长陈吉红出席会议，分会会员企业代表共近50余人参加会议。

重庆机床荣获2016年全国“质量标杆”

2016年，在国家工信部组织开展的“全国质量标杆”活动中，重庆机床集团以“致力于国际化品牌培育管理体系的实践经验”为题，凭借典型的质量管理经验和成效喜获2016年度“全国质量标杆”企业称号，并于首期质量标杆交流会上被授予奖牌。

据悉，此次由国家工业和信息化部、中国质量协会等机构共同开展的“质量标杆”活动是以加快工业转型

升级为导向，以企业为主体进行的一项长期性质量活动，在国内工业界极具权威性和影响力。该活动围绕质量管理（技术）方法、“互联网+”应用、品牌培育三个方向，遴选具有适用性、有效性、先进性的全国质量标杆经验。经各组织单位推荐、案例评审和企业现场答辩等环节，共有33项典型经验被确定为2016年全国“质量标杆”。

重庆机床始终致力于打造国际化的品牌，不断推进品牌培育管理体系，通过品牌培育与管理能力的提升，品牌的影响力和综合竞争实力进一步增强。此次获得全国“质量标杆”，是对重庆机床多年来实践国际化品牌培育取得经验和成绩的肯定，将鼓舞着重庆机床持续提高质量管理能力，提升产品和服务水平，加快企业转型升级！（重机集团）

协会搭桥CCMT 助力产学研合作初见成效



CCMT2016 展会期间，南京工程学院智能制造装备研究院受邀参加了CCMT2016 展会的“院校之窗”展区，获得了宝贵的校企对接机会。会上，智能制造装备研究院展出了近年来在数控机床与技术、机器人、智能制造、MES、伺服驱动等方面取得的标志性科研成果，吸引了企业、地方高新技术产业园、产学研服务平台等20余家单位的关注，展会期间进行了初步洽谈，并达成初步合作意向。

经过展会期间的初步对接，会后南京工程学院智能制造装备研究院与安

徽省捷甬达智能机器有限公司进行深入的接触，双方本着“合作共赢、务实高效”的原则，就双方联合建立校企合作研发中心、项目合作、人才培养等全方位产学研合作开展了多次洽谈，取得了实质性进展。截至目前，双方联合共建的“捷甬达—南京工程

学院智能制造技术研究中心”挂牌成立并运行。联合研发中心依托南京工程学院智能制造装备研究院的科研力量和专业优势，接轨企业的产品技术研发升级，目前已经启动机器人离线编程系统、AGV 集控系统、直线电机驱动技术等具体项目的研发，并取得了阶段性成果。

这种以校企联合研发中心为平台，以具体项目为切入点，不断扩展专业化领域的深入合作，将有利于高校科研成果转化能力提升，有利于企业研发能力的增强和企业转型升级，从而助力中国制造2025实施。南京工程学院与安徽省捷甬达智能机器有限公司成功合作，说明CCMT设立“院校之窗”这一举措符合目前产学研发展需求，切实为行业内企业和高校搭建了对接平台，下一步将进一步打造“院校之窗”的特色和亮点，服务产学研合作，助力中国制造2025实施。（王宝升）



中国机床工具消费市场的新变化

中国机床工具工业协会

陈惠仁

近几年,受中国经济、投资增速放缓和需求结构升级影响,中国机床工具消费市场的总规模呈现阶段性下降的状态。下面分别从金属加工机床和工具两个主要细分产品领域介绍消费、生产和进口的变化情况。

金属加工机床的消费额从2011年达到最高后到2015年大致经历三个台阶式的下降。第一个台阶是2011~2012年的相对高位,分别为390.9和382.8亿美元;第二个台阶是2013~2014年的显著下降,分别为319.1和318.3亿美元;第三个台阶是2015年至今的小幅下降,2015年机床消费额为275亿美元,2016年上半年是129亿美元,同比下降9.2%。金属加工机床的生产走势与消费额的变化大致相似,也基本形成与消费额同步的三个台阶式下降。2016年上半年金属加工机床生产104亿美元,同比下降8.8%。金属加工机床的进口虽然也呈现下降,但第三个台阶并不明显,这主要由于进口在后期的下降逐步趋缓。2016年上半年,金属加工机床进口额40亿美元,同比下降6.1%。

中国工具消费市场在经历了一个缓变的“龟背式”增长后,于2015年呈现显著下降。2015年工具消费额45亿美元,同比下降12.1%。2016年上半年工具消费额19亿美元,同比下降20.8%。其中,中国工具生产额的运行趋势与消费额基本同步,显著下降的主要原因主要是低端切削刀具的需求大幅萎缩。工具进口额的波动并不大,2016年上半年工具进口额7亿美元,同比下降6.2%,这与进口工具主要是面向中高端领域且中高端需求保持相对稳定有关。

虽然经历了显著的下降,中国机床工具消费市场仍然是世界最大的市场,占有重要的地位。根据全球机床

消费和贸易数据显示,2015年中国机床消费额排在世界第一位,占全部的34.8%,是排在第二名美国的3.7倍;2015年机床进口额占世界第一位,占全部的20.6%,是排在第二名美国的1.9倍。根据今年上半年相关数据估算,预计今年中国机床消费额的降幅将进一步收窄,还将保持世界第一大市场的地位。

结构性变化明显

近期中国机床工具消费市场和产业的显著特征就是结构性变化明显。下面从细分领域和进口两个方面分析结构性变化。

新兴市场需求快速增加,传统工业领域需求低迷。从国家统计局固定资产投资数据分析,2016年上半年中国制造业30个细分领域中,投资增速呈现增长的占66.7%,投资增速呈现下降的占33.3%,2015年底的数据分别是86.7%和13.3%。从增速看,2016年上半年投资增速在两位数以上的细分领域分别是:文教、体育和娱乐用品制造业(17.1%)、食品制造业(15.9%)、纺织业(12.9%)、电气机械和器材制造业(12.3%)、医药制造业(11.7%)。2016年上半年投资降幅在两位数以上的细分领域分别是:金属制品、机械和设备修理业(-34.9%)、烟草制品业(-17.7%)、运输设备制造业(-11%)。从投资额上看,前三位分别是非金属矿物制品业(1131亿美元)、化工产品制造业(999亿美元)、通用设备制造业(902亿美元);后三位分别是烟草制品业(13亿美元)、金属制品、机械和设备修理业(19亿美元)、化学纤维制造业(81亿美元)。

金属切削机床降幅趋缓，金属成形机床仍未见底。无论是市场消费额还是生产数据，近期金属切削机床的降幅都在收窄。2016年上半年，金属切削机床消费额83亿美元，同比下降3.5%，与2015年底相比，增速回升10.9个百分点；金属成形机床消费额46亿美元，同比下降17.9%，与2015年底相比，增速下降5.6个百分点。近几年，中国机床消费市场结构升级加快，突出表现是非数控机床需求快速萎缩。由于金属切削机床细分领域进入调整较早，调整进行得比较充分，数控产品占比也不断提升，所以已经开始适应现在的市场需求结构。与之相对的金屬成形机床细分领域，调整才刚刚开始，非数控需求的快速下降必然会带动市场下行。

低端工具需求下降进一步反映低端制造业开工不足。2016年上半年进口切削刀具细分商品中，硬质合金刀片同比增长2.8%，普通车刀同比下降10.9%；硬质合金镗刀同比增长12.9%，普通镗刀同比下降13.1%；硬质合金钻头同比下降1.4%，普通钻头同比下降9%。从2015年至今，以高速钢钻头、车刀、铣刀等为代表的高速钢标准刀具销售大幅下降，降幅大致在30%左右，这与非数控机床销售和使用大幅萎缩的趋势相呼应。由于工具消费反映制造业的开工率情况，刀具消费结构性变化也间接反映制造业中设备使用情况的结构变化。

进口来源上的变化，2016年上半年金属加工机床进口来源前5名分别是：日本（11.9亿美元、同比-9.6%、份额30%）、德国（10.8亿美元、同比4.8%、份额27.1%）、台湾地区（4.2亿美元、同比-17.4%、份额10.5%）、韩国（2.9亿美元、同比-17.3%、份额7.2%）、瑞士（2.2亿美元、同比-0.2%、份额5.6%）。切削刀具进口来源前五名分别是：日本（1.9亿美元、同比-6.7%、份额29.4%）、德国（1.2亿美元、同比-18.9%、份额19.5%）、瑞典（0.6亿美元、同比24.7%、份额10.2%）、台湾地区（0.6亿美元、同比-5.4%、份额9.9%）、韩国（0.5亿美元、同比9.9%、份额8.3%）。

进口结构上的变化，2016年上半年金属切削机床进口额前3位的是：加工中心（15亿美元、同比-7.3%、份额45.9%）、磨床（5.5亿美元、同比9.2%、份额16.8%）、特种加工机床（4.2亿美元、同比-10.2%、份额12.8%）。金属成形机床前3位是：冲剪折机床（3.1亿美元、同比-3.9%、份额43.7%）、锻造机床（1.9亿美元、同比-24.1%、份额26.8%）、压力机（1亿美元、同比-38.8%、份额14.1%）。切削刀具前3位是：硬质合金刀片（2.8亿美元、同比2.8%、份额40%）、钻攻丝工具

（1.3亿美元、同比-11.7%、份额18.6%）、铣刀（0.9亿美元、同比-6%、份额12.9%）。

新挑战与新机遇

近几年中国经济的下行主要是由于经济发展新旧动能转换和结构升级的影响。机床工具产品属于生产资料，在国内用户产业需求发生变化和结构调整升级时显然不可能独善其身，肯定会随之受到直接或间接的影响。近几年重型机床制造企业受能源、钢铁领域需求变化而出现严重业绩下滑就是其中最典型的例子。可以说，这些对市场需求变化的不适应和如何去适应新的市场需求是当今在中国机床工具消费市场中需要面对的新挑战。

中国有句老话叫“旧的不去，新的不来”，就中国工业化程度和消费潜力而言，这些新挑战本身就孕育着更多的新机遇。首先，中国工业化还未完成，不少基础环节和设备条件还很薄弱，上升空间巨大。通过对照“工业4.0”对工业化发展进程的划分，中国工业中只有极少数领域处于“工业4.0”阶段，大多数则处于“工业3.0”的中前期阶段，甚至还有一定产业或企业处于“工业2.0”阶段。这就可以理解，为什么近十几年中国机床市场消费结构中总会有1/3左右的份额是非数控机床产品。这种工业化发展不平衡意味着未来机床工具消费的稳定需求，也许总量上没有历史上的大，但附加值一定会比之前高。其次，中国是世界第一制造大国，已建立起完整的产业体系，并拥有众多优质的劳动者。这些优势将有助于中国制造业在未来服务于国内、国外两个市场。由于中国正在进入人口老龄化阶段，劳动力的质和量都会呈现下降的趋势，为弥补劳动力的短缺和成本上升，未来对制造装备的要求将在高效化、自动化和智能化方面不断提升。前几年投资高速增长过程中形成的部分中低端机床存量会因为这种提升而被提前淘汰或改造，而并非等到其寿命到期。我们估计，这部分需求将随中国劳动力结构的变化而形成一定程度的爆发性增长。最后，就是与中国经济规模增长和国际地位提升相匹配的节能环保要求和新兴战略性新兴产业发展所带来的机床工具消费水平的升级。如医疗、航空航天、国防工业、能源、交通和电子信息等制造领域的高精度、高效率、高性能、自动化和复杂条件下的制造需求解决方案，要在更优的单位能耗生产率下实现中国经济和制造业的可持续发展。

我们有理由对中国机床消费市场的长期发展充满信心。□

TGK46100高精度数控卧式坐标镗床的研发和应用

沈机集团昆明机床股份有限公司

张晓毅

一、概述

坐标镗床是具有精密坐标定位装置，用于加工高精度孔或孔系的一种镗床。坐标镗床以其精度高和稳定性好而著称，其精度是国际上机床制造业追求的目标，所以被机床制造业称为精密机床之王。坐标镗床的研发、生产、制造是一个国家机床制造业的代表产品，是衡量一个国家机床制造装备业整体水平的重要标志。

在坐标镗床上还可进行钻孔、扩孔（见钻削）、铰孔（见铰削）、铣削、精密刻线和精密划线等工作，也可进行孔距和轮廓尺寸的精密测量。坐标镗床适于在工具车间加工钻模、镗模和量具等，也用在生产车间加工精密工件，是一种用途较广的高精度机床。坐标镗床是高精度机床的一种，它的结构特点是有坐标位置的精密测量装置。坐标镗床可分为单柱式坐标镗床、双柱式坐标镗床和卧式坐标镗床。

20世纪初期，由于钟表仪器制造业的发展，需要加工孔距精度较高的设备，1905年在瑞士制成小型台式坐标中心机床。1917年，在美国制成单柱坐标镗床。1920年瑞士制成双柱坐标镗床。当时绝大多数坐标镗床采用精密丝杠螺母、标准测杆（或量块）和千分表作为坐标定位装置，坐标定位精度仅为6~10微米。30年代，在德国、瑞士等先后出现了以线纹尺定位的光学坐标镗床，坐标定位精度提高到2~6微米。60年代以后，随着电子技术的发展，坐标镗床向数字显示和数字控制方向发展，采用光栅、感应同步器、激光干涉仪和磁栅等作为坐标定位装置，有的还增设了自动换刀装置。

从1905年瑞士DIXI公司研制成功国际上第一台小

型台式坐标中心孔机床起，至今在100余年的机床变革中，坐标镗床逐年得到发展并未被淘汰，说明坐标镗床在机床行业中仍有其市场，并且是不可替代的。

我国坐标镗床的研发、生产制造起步于1958年昆明机床厂研制成功的T4128单柱电感应坐标镗床，1959年研发成功T4163单柱坐标镗床（并分别于1970年、1973年、1984年进行三次重大改进）和T4240双柱坐标镗床，1962年研发成功T4132单柱坐标镗床，1965年研发成功我国第一台大型双柱坐标镗床T42100（该机床的研制成功标志着我国机床制造水平向世界水平迈进），1966年研制成功TA4280双柱坐标镗床，1972年研发成功T42200光栅数显大型双柱坐标镗床（工作台面宽度2000mm），1973年分别研发成功我国第一台TK4163B数控单柱坐标镗床和TK42100A数控双柱坐标镗床，其后对数控单柱、双柱坐标镗床进行了多次重大改进，定型产品型号为：TK4163H数控单柱坐标镗床和TK42100/2数控双柱坐标镗床。

国内制造坐标镗床的主要制造厂主要有：沈机集团昆明机床股份有限公司、北京第二机床厂（已停产）、宁江机床厂、上海第三机床厂（已停产）、汉川机床厂。目前，除沈机集团昆明机床股份有限公司研发、制造大型坐标镗床和数控坐标镗床外，其余制造厂均已只生产小规格坐标镗床和数控坐标镗床。

目前国产坐标镗床其精度一般为：直线坐标定位精度0.005mm，重复定位精度0.003mm。机床的快速移动速度一般 $\leq 10\text{m/min}$ 。而昆明机床1988年研制成功的TGK42100高精度数控双柱坐标镗床通过持续改进完善，使精度不断得到提高，坐标定位精度实测

$\leq 0.003\text{mm}$, 重复定位精度 $\leq 0.0015\text{mm}$ 。因此, 和国内同类产品比较, 沈机集团昆明机床股份有限公司技术优势明显。

昆机继研制出中国第一台坐标镗床(T4128)和中国第一台被誉为“机床之王”的T42100大型双柱坐标镗床之后, 基于“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项, 于2012年成功研发出了一款可用于极限加工的超精密加工机床——TGK46100高精度卧式坐标镗床。

二、产品性能介绍

TGK46100高精度卧式坐标镗床作为集传统精密制造技术与现代机、电、光、液、气、信息控制技术为一体的高科技产品, 在制造上秉承了昆明机床传统精密制造工艺, 配置了日本FANUC 31i-MA数控系统, 实现了传统坐标镗“质”的飞跃, 采用了高刚度整体式床身、方便安装、具有3点支撑的优越稳定性, “箱中箱”式重型高刚性大阻尼龙门封闭框架, 直结式中央出水机械主轴, 直驱式回转工作台, 双驱式直线进给系统等前沿技术, 通过对整机结构动静热态特性的分析及优化、机电耦合优化匹配、低应力制造与装配、热平衡设计及热变形实时监测与补偿、数控系统误差补偿等关键技术的攻关研究及应用, 使机床具有粗加工过程中要求的高刚度和高可靠性, 精加工时要求的极高精度, 高速运动时移动质量小而轻高动态性能等突出优点, 能实现高速及良好的运动特性和稳定的高精加工质量, 满足了机床高速、高精、高效、高可靠性的切削性能要求。

TGK46100坐标镗床作为高精度和高动态响应的工作母机, 适用于箱体类、盘套类、板件及模具类等复杂零件的中、小批量精密加工, 可用轮廓控制方法铣削斜面、框形平面、二维、三维曲面, 特别适用于尺寸、形状和位置精度要求高的孔系加工, 完成镗、钻、铰、铰、攻丝等工序, 还可作为精密划线样板、高精度划线样板、孔距及长度测量样板等, 广泛用于发动机缸体缸盖、变速箱体、阀体、模具等复杂零件的精密加工。

同时, TGK46100坐标镗床选配A摆头或AC头后可实现五轴联动控制, 适用于风电行业的叶片加工、模具制造行业复杂型面加工、航空航天领域铝合金与钛合金的高精度和高速加工、医疗器械领域淬火钢和不锈钢等特殊材料加工、工程机械领域的全自动化柔性制造线零件加工等, 是军工、机床、航空、航天、核电、船舶、汽车、能源、刀具模具及机器制造业精密零件加工的理想设备。

该产品主要技术参数如下:

A	工作台	
	工作台尺寸(长×宽)	1000×1000mm
	工作台T型槽(槽数-宽度)	6~22mm
	工作台最大承重	2500kg
	工件最大回转直径	Φ1400mm
	工件最大高度	1300 mm
B	主轴	
	主轴直径	110mm
	主轴锥孔	ISO50#(7:24)
	主轴转速	10~6000r/min
	主电机功率	22kW
	主轴最大扭矩	560N·m
	主轴最大轴向抗力	5000N
	刀柄规格	JT50(ISO7388/1)
	拉钉型号	LD-50D
C	加工范围	
	滑板横向行程(X)	1200mm
	主轴箱垂直行程(Y)	1100mm
	工作台滑座纵向行程(Z)	1100mm
	工作台回转(B)	360° 连续任意分度
D	快速移动速度	
	X、Y、Z坐标	48m/min
	B坐标	5r/min
E	定位精度	
	X、Y、Z坐标	0.003mm
	B坐标	3"
F	重复定位精度	
	X、Y、Z坐标	0.0015mm
	B坐标	1.5"
	B(4×90°)	1"
	X、Y、Z轴直线度	0.003mm
	主轴端部径向跳动	0.001mm
H	数控系统	
	SIEMENS-840D或FANUC31i	

三、新技术应用情况

1. 高刚度、高稳定性的基础大件及整机结构设计技术

1) 整机结构方案设计

如图1所示, 该机床采用高刚度整体式床身、3点支撑、X坐标及Y坐标成“箱中箱”式封闭框架结构, 整个机床由床身、龙门、滑板、工作台、主轴系统、进给系统、液压系统、润滑系统、冷却系统、刀库、排屑装置、安全防护装置、数控系统等部件组成。所有直线运动坐标导轨采用滚柱式滚动直线导轨。进给机构采用电机与滚珠丝杠直联传动, 其中X向采用双电机双丝杠传动, Y、Z向采用单电机单丝杠传动。

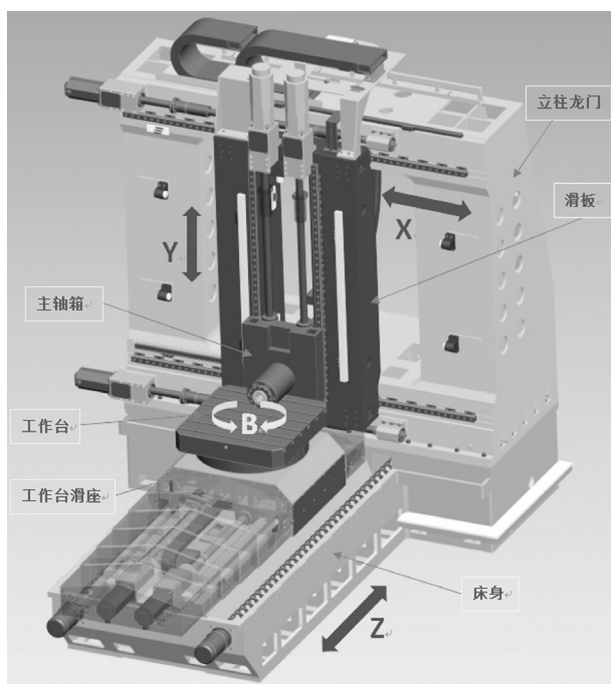


图1 机床整机结构方案图

2) 整机模态理论与试验验证

将机床的三维模型导入到有限元分析软件, 经网格划分、添加边界条件载荷及约束后, 经求解计算, 得到整机的前几阶固有频率及相应的振型。

采用由机床(测试对象)、力传感器、压电式加速度传感器、LMS SCADAS III多通道数采前端即硬件部分、Test.Lab模态分析软件和计算机等六部分组成的试验模态测试系统进行试验, 得到其低阶模态参数与振型。在低阶振型中, 主要为主轴箱上下摆动, 龙门前后弯摆, 滑鞍两立柱的横向摆动, 可以认为在整机结构

中, 这些部件的在振型的振动方向上动态刚度不够, 需要进一步改进和提高。同时, 试验模态分析的结果可作为验证机床模态分析计算结果正确性的标准, 通过在合理范围内调整结合面参数实现有限元分析和实验结果的匹配, 从而实现结合面参数的识别。

对比有限元计算所得的各阶固有频率与试验测得的频率值, 可知相对误差的绝对最大约为20%。经过参数识别, 反复分析, 最终确定结合部的滚珠丝杠副的轴向刚度、单个直线滚动导轨的切向刚度和单个直线滚动导轨的法向刚度。有限元模型修正后, 整机前8阶固有频率有限元计算结果与试验测量结果对比情况见下表。由表可知: 有限元计算所得的各阶固有频率与试验测得的频率值的相对误差的绝对值最大为8.91%, 小于10%。

整机固有频率计算结果与试验结果对比表

模态阶数	试验值/Hz	计算值/Hz	相对误差(%)
1	49.857	52.90	5.75
2	未识别	64.26	—
3	89.230	97.96	8.91
4	148.883	144.02	3.38
5	未识别	151.88	—
6	189.641	179.55	5.62
7	221.636	236.63	6.34
8	265.708	277.19	4.14
9	296.656	290.8	2.01

通过以上试验模态与计算模态的振型与固有频率对比, 可以发现大部分振型是相符合的, 证明结合面参数修正后有限元模型是相对准确的模型, 采用有限元计算的方法可以有效地对机床性能进行分析, 从而缩短了产品的研发周期。

3) 高刚度、高稳定性的床身基础支撑结构设计

床身是整个机床的基础部件, 其刚性高低直接决定了机床的各项精度及其稳定性。本机床采用T型整体式3点支撑床身, 且为封闭的箱型结构, 通过对床身内部筋板结构的优化, 采用竖直与大三角斜筋板交错的网状筋板结构, 可以提高截面抗扭截面矩, 从而提高床身自身的刚度和承受复合载荷的能力, 确保了机床的运动精度和强力切削性能, 如图2所示。

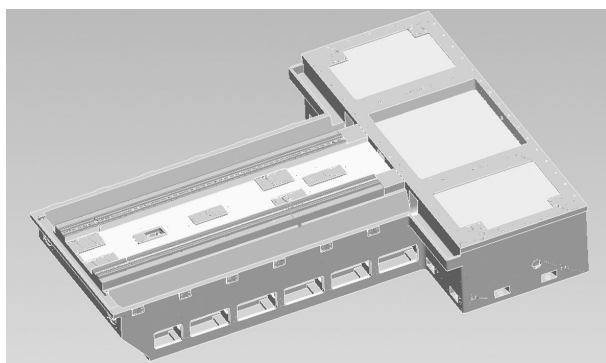


图2 支撑结构图

对该床身结构分别进行了空载和工作状况下的静、动态分析,考察结构在静态载荷条件下的变形特性和结构固有的动态特性。如图3所示,经静力分析和模态分析,结果表明该床身能够较好地满足设计需求,具有较好的静动态特性。

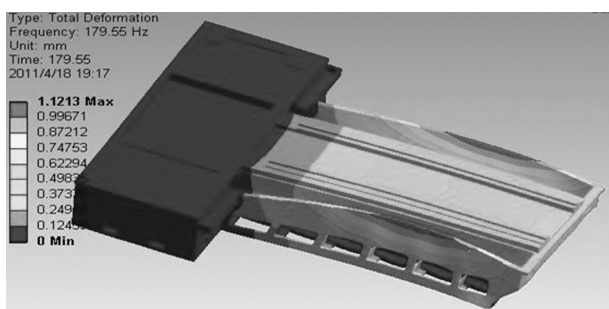
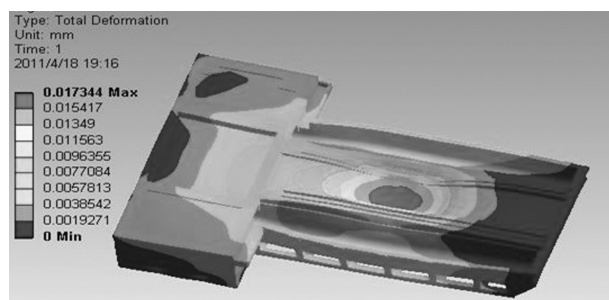
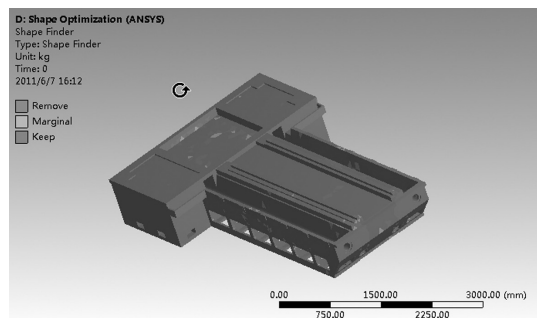


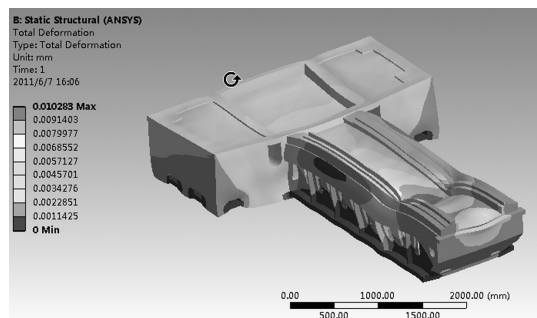
图3 床身动静特性分析结果

针对原有床身静态特性不好的特点,采用拓扑优化与结构优化相结合的方法,对床身结构进行了多种优化尝试(如图4所示),具体结论:①床身流道部分可以完全去掉,将该部分去掉后床身导轨变形不变,模态有原来的160Hz提高到200Hz。②前床身导轨变形较大,达到10 μ m。为减小变形,对床身筋板厚度、筋板高度进行优化,优化后变形为8 μ m,变形减少20%。③前床身整体结构较差,仅对筋板厚度、高度进行优化变形减小

有限。由于前床身中间没有支撑(仅靠前部两点),且导轨靠近前床身中间,故变形较大。在导轨间距离增加125mm后,变形减小1.2 μ m,变形减少12%。



拓扑优化(材料去除20%)



流道优化(一阶模态200Hz)

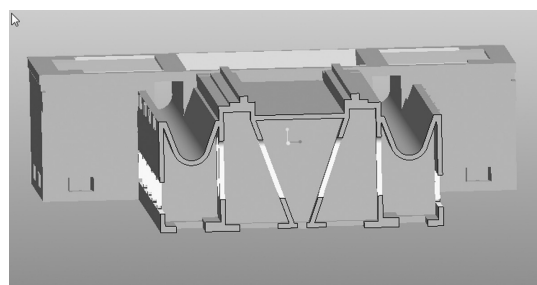
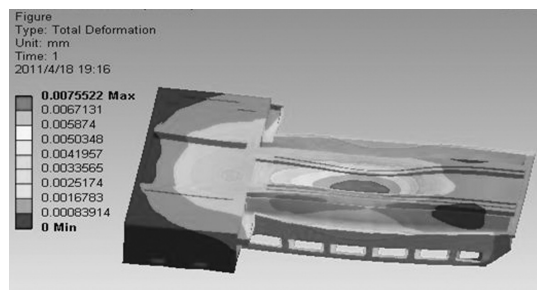
筋板厚度优化(变形为8 μ m)导轨间距优化(变形减小1.2 μ m)

图4 TKG46100床身结构优化设计

4) 龙门立柱结构设计

机床立柱龙门采用优质铸铁的超大重型筋板龙门静态左右对称框架结构, 具有极高的刚性, 与传统的动立柱相比, 移动件质量减轻约1/3, 移动件的重心始终保持在导轨内, 始终保持移动物体的重心平衡。立柱龙门确保了优良的热稳定性, 实现稳定的高精度加工。经静力分析和模态分析, 结果表明该床身能够较好地满足设计需求, 具有较好的静动态特性, 如图5所示。

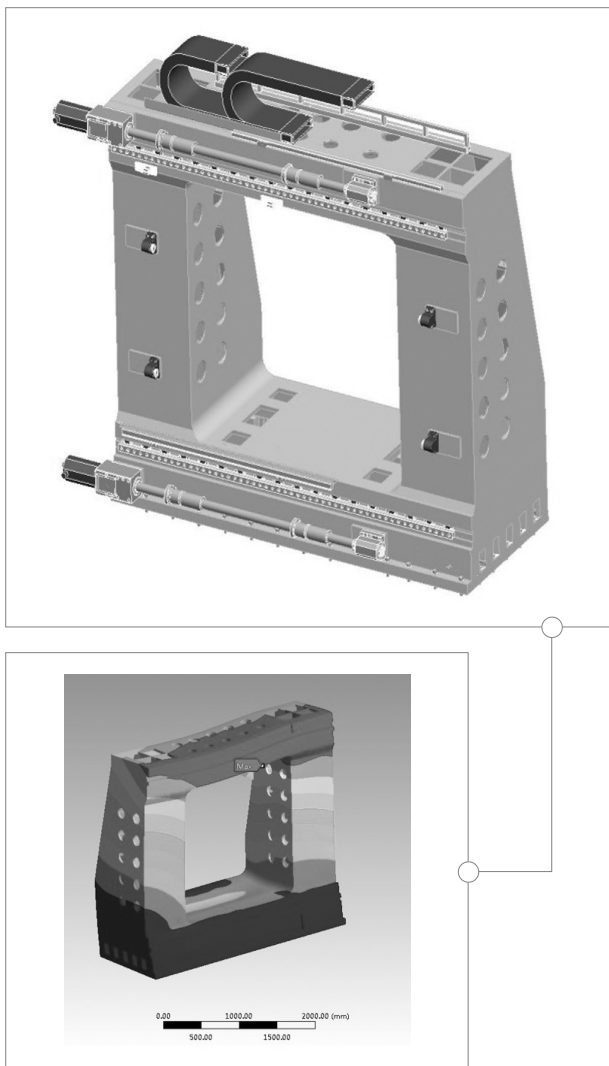


图5 高刚性龙门式立柱结构及其有限元分析结果

针对龙门立柱动态特性不足的问题, 通过拓扑优化及基于拓扑优化的多目标优化进行龙门立柱的结构改进。拓扑优化结果表明, 通过增加龙门立柱底座上部工艺孔旁边的清砂孔和去除底座下部中间筋板, 可在保证静态刚度的前提下, 将龙门立柱质量减少275.3kg。

在拓扑优化结果的基础上, 以立柱的主要筋板尺寸为优化参数, 以立柱的静动态特性为基本约束, 以立柱

质量减小为主要目标, 进行立柱的多目标优化。基于拓扑优化的多目标优化后, 龙门立柱质量减少460.6kg。

5) 高精度的主轴箱及主轴轴系结构设计

主轴系统采用中央出水直结式机械主轴, 可实现低转速区域的中切削以及高速区域的低发热高精度切削; 主轴轴承采用前轴承二联同向轴承, 后轴承二联同向轴承结构, 前、后轴承背对背安装(热对称结构)。依据主轴转速选用四联端面带密封的混合式陶瓷球轴承, 精度等级为P2级; 主轴箱平衡采用平衡油缸与大蓄能器(容量 $\geq 100\text{L}$)实现液压平衡; 主电机通过减速箱直接与主轴联接实现可换档的主运动; 用电机自带编码器作为主轴准停编码器(外加开关)。

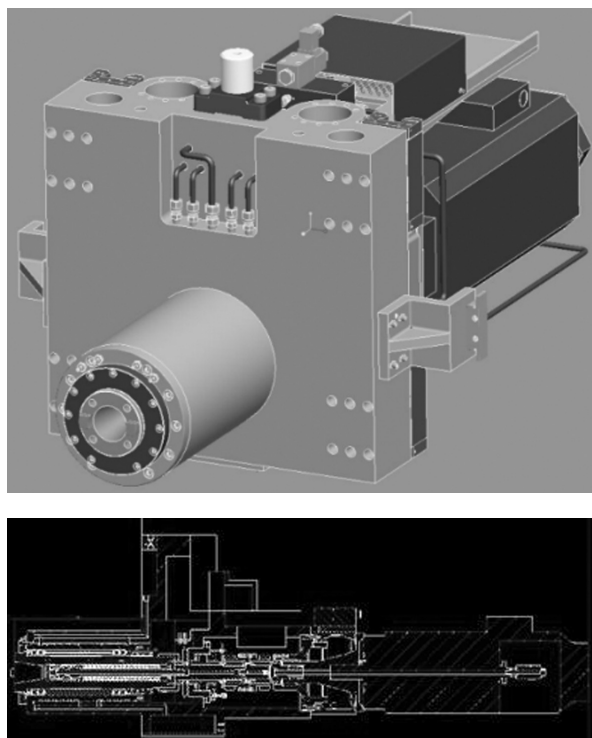


图6 主轴系统结构图

6) 高精度回转工作台设计

数控机床中常用的回转工作台有分度工作台和数控回转工作台, 它们的功用各不相同。分度工作台的功用只是将工件转位换面, 和自动换刀装置配合使用, 实现工件一次安装能完成几个面的多种工序, 提高工作效率; 数控回转工作台除了分度和转位的功能之外, 还能实现数控圆周进给运动。

本产品采用直驱式转台: 采用力矩电动机的转子直接驱动旋转部件运动, 回转传动零背隙且没有磨损, 回转工

工作台采用轴向径向复合的转台轴承；工作台可以实现编码器级别的精度；轴承刚性夹紧构造实现高精度和高刚性。

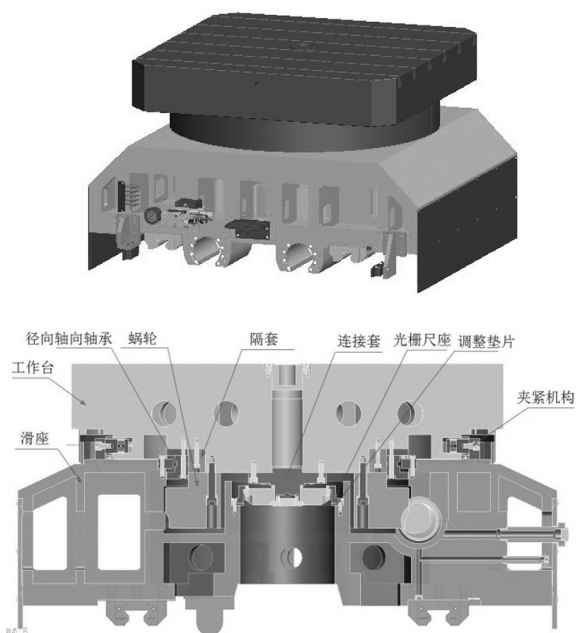


图7 精密回转工作台

7) 电气系统设计

根据项目总体目标以及设计任务书要求，为保证产品样机TGK46100达到高速高精技术指标要求，在高刚度结构设计和精密制造装配的基础上，电气控制优选匹配国外知名品牌FANUC 31i数控系统，集成系统的精密插补技术、高动态伺服控制技术、多项精度补偿技术，以及高精度光栅监测系统等构成电气系统集成解决方案如图8所示。

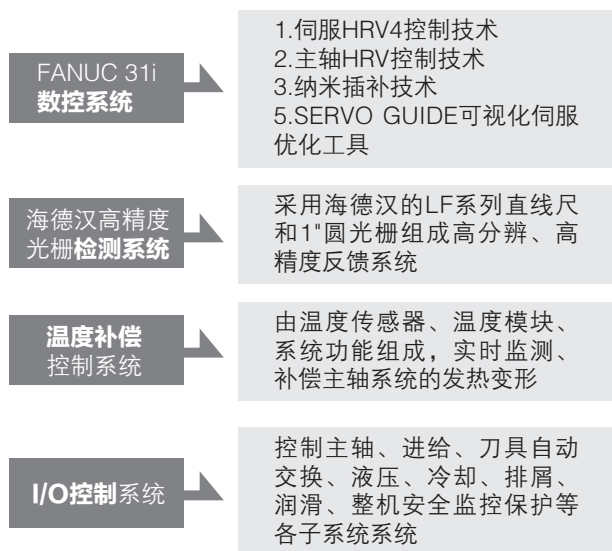


图8 电气系统集成解决方案

8) 排屑系统设计

本机床采用复合式排屑系统：在床身两侧分别分布两个螺旋排屑器，床身后端面设置一个链板排屑器。切屑从机床床身上掉落到螺旋排屑器沟槽内，螺旋杆转动时，沟槽中的切屑即由螺旋杆推动连续向前运动，送到位于床身后端面的链板排屑器上，再由链板排屑器最终排入切屑收集箱。

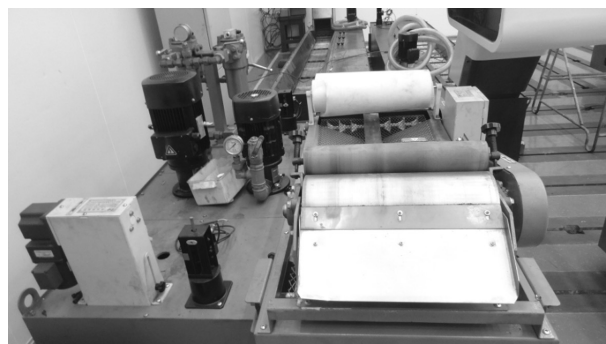


图9 排屑系统设计

9) 其他系统

①液压系统：机床液压系统用来完成刀具装卸、回转运动坐标B轴的夹紧松开的操作动作。机床液压系统采用L-HL32#或者L-HL46#机械油，液压油必须过滤后才能使用。机床液压系统设有一个液压油箱，并由一个油温冷却机来控制油温，提高了液压元件的使用寿命和液压系统的工作可靠性。

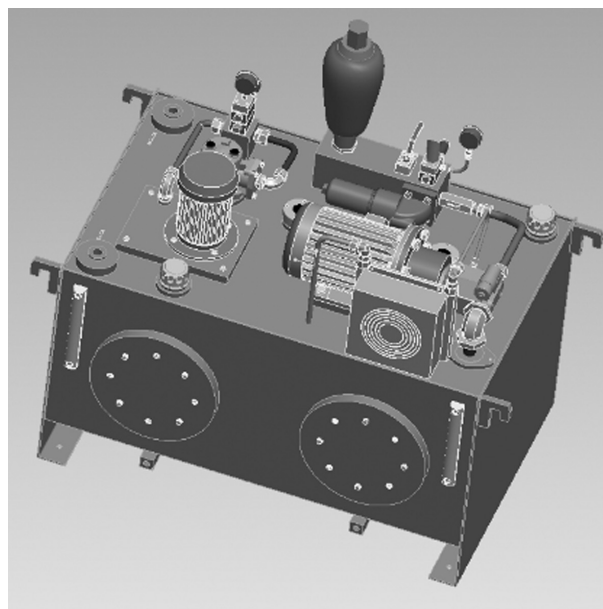


图10 机床液压系统示意图

②润滑系统：润滑是减少摩擦和磨损的重要措施，根据各部件的运动和工作情况，本机床的润滑有油脂润滑，周期集中润滑。

油脂润滑：主轴轴承用瑞典SKF产LGLT2合成润滑脂（或同等质量进口名牌润滑脂）润滑，X、Y、Z轴丝杆轴承用2号润滑脂润滑。

周期集中润滑：X、Y、Z轴运动导轨面，X、Y、Z轴的丝杆螺母用L-HG68#或L-HG150#液压导轨油润滑，由电动润滑泵间隙供油，油量分配器（PDI）将润滑油按所选定的注油量定时定量地输送到各个润滑点，润滑周期可在PLC中设定。出现缺油报警时，向润滑泵中加注润滑油。

③检测系统：本机床的X轴、Y轴、Z轴直线测量均采用高精度的HEIDENHAIN直线光栅尺，组成全闭环测量系统；B轴采用HEIDENHAIN圆光栅，构成全闭环测量系统。

④安全防护装置：主机防护采用全封闭式的整机防护罩，避免高速加工时因切削液和铁屑飞溅而造成的环境污染或人身伤害，防护装置能有效回收铁屑及切削液，性能安全可靠。

2. 关键零部件精密制造技术

1) 机床关键零部件无应力制造工艺

床身、立柱龙门、滑板、工作台、工作台滑座、主轴箱等基础大件因精度要求高，为了使铸造应力和加工应力得到充分释放，保证其精度稳定性，工艺上进行三次热时效处理，分别为铸造、粗加工和半精加工后各一次。基础大件加工及装配的主要工艺流程如图11所示。

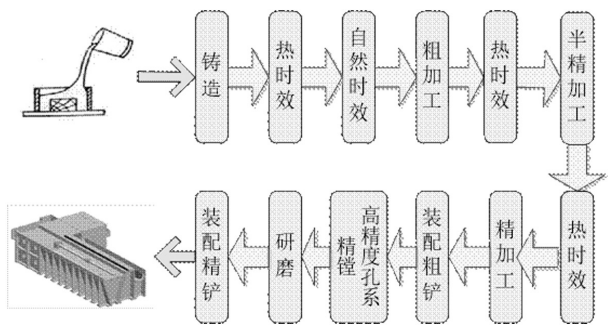


图11 大件加工及装配流程图

2) 高精度导轨安装与刮研技术

本项目采用滚动直线导轨，最基本的要求是保证直线导轨安装面的平面度。对安装螺钉孔进行铰沉孔处理，避免由于螺栓拉力导致安装基面膨出。同时，在滚动直线导轨紧固过程中，按装配工艺要求进行粗预紧、半精预紧和精预紧，并对滚动直线导轨副的直线度进行检测。将滚动直线导轨滑动块与各部件结合面进行刮铲，保证其平面度，并控制导向面的精度，确保达到国家标准。

3) 高精度主轴系制造技术

TGK46100精密轴系零件为主轴、冷却套、工作台轴承定位套、主轴装配的内（外）隔圈等零件，精度要求圆度和柱度为0.001mm，内（外）隔圈厚度尺寸一致性及其平行精度为0.001mm。工艺上在粗加工后采取高温消力、半精加工后采取中温消力、精磨过程中采用二次油煮定性方式消除加工中产生应力，并在加工中采取加工余量逐渐减小的方式，保证精密轴系零件的尺寸和精度的稳定性（如图12所示）。

该产品主轴转速为6000r/min，其结构形式为主电机通过减速机直联主轴，因转速高，主轴部件在装配后把所有运动件装上进行部件的动平衡试验。

因主轴部件装配后的综合精度要求非常高，锥孔跳动径向跳动 $\leq 0.002\text{mm}$ ，为了保证该精度要求，工艺上采取主轴部件组装后进行主轴部件外圆的精磨削，在以其外圆为基准，上高精度磨夹具精磨主轴锥孔至要求。

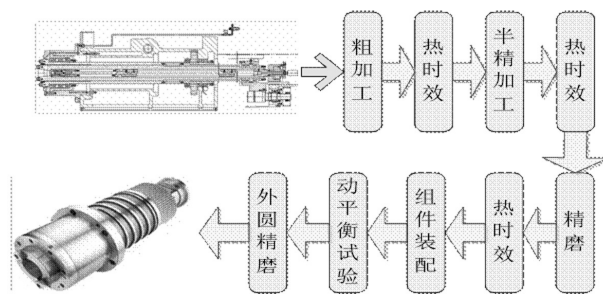


图12 精密轴系零件加工及装配流程图

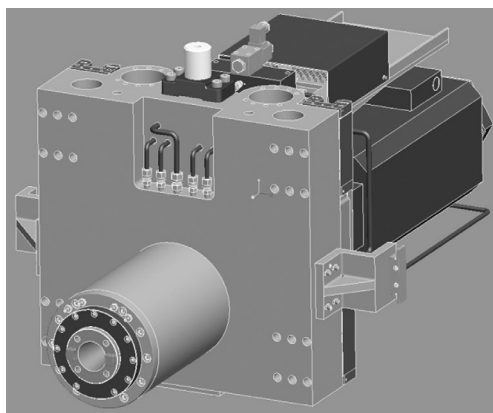
3. 机床装配工艺与测量调试技术

1) 三维数字化装配工艺过程仿真技术

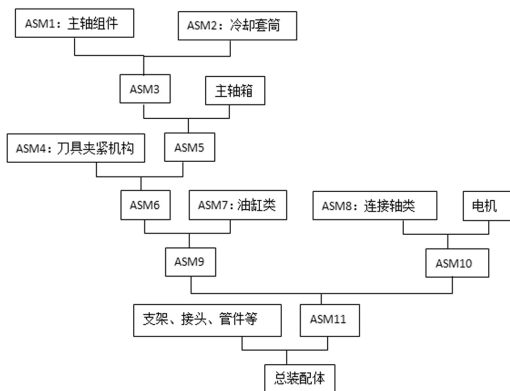
三维数字化装配工艺过程仿真技术可使用户在产品生产以前在虚拟环境中模拟实际的装配过程，评价零部件的可装配性；预先检验装配结果，展示产品原型

结构和功能；分析产品原型性能，并最终利用这些结果指导实际设计开发过程，从而大大节约开发成本，缩短开发周期。

以主轴装配为例，首先建立主轴的三维装配模型，根据主轴各个零件的装配要求和各个零件的基本安装要求，以先组件、后部件的方式，对主轴的装配顺序进行规划，形成的主轴装配路径（如图13所示）；然后生成主轴及组件装配序列表；最后对装配好的主轴单元部件进行数字化干涉检查。



(1) 主轴系统三维模型



(2) 主轴装配路径

图13 主轴系统模型及装配路径

2) 固定结合面低应力装配技术

为减小固定结合面装配过程中可能产生的应力，采取时效处理、高精度平面加工、装配前零件质量检测、装配中确保按照装配工艺规程文明装配。

时效处理，就是工件不加热，仅依靠长时间存放，或者加热到较低温度，并进行长时间保温，再缓慢冷却至室温，以使工件的性质、形状和尺寸趋于稳定的处理过程。对于床身、立柱等大型毛坯在进行机械加工前，要经过良好的时效处理。

在装配之前，对需要连接的两个结合面进行表面粗糙度、尺寸精度、平行度、平面度等进行全方面测量，确保装配前的零件尺寸符合设计要求。装配中，严格执行结合面装配工艺规程，确保装配过程中安装孔对中和零件未发生变形，切忌盲目装配和强力装配。

3) 运动结合面手工刮研技术

为了保证运动结合面的刮研效果，采用推刮、粗刮、细刮、精刮相结合的结合面刮研方法。推刮中，将刮刀加大压力在导轨上行走一段距离，刮削层厚而宽，去屑量大，刮削时刀痕连成一片交叉推刮，防止结合面出现波纹。粗刮用点刮法将推刮接触面进一步扩大，刀花控制在30mm左右，刮削过程中用平板合研，千分表测量。达到工艺要求后，进入细刮，细刮刀花控制在10mm左右，使接触点均匀分布，用平板合研，千分表测量，达到工艺要求后，转入精刮。精刮，将上下运动结合面拖研，分布刮削上下结合面，使得接触点数均匀分布，并达到工艺设计要求。最后刮花装饰。

4) 装配调试工艺设计

因为该产品的定位精度要求高，因此要求装配工艺对丝杆部件的定位、装配方式及轴承轴向预紧力大小进行工艺试验，以便确定工艺数据。

主轴部件因其锥孔跳动精度高，为了保证精度，须对主轴部件装配时的内外隔圈轴向尺寸调整和轴承预紧力大小进行工艺试验，以达到既保证主轴部件的精度，又使其具有足够的刚性，即重切后的精度稳定性高的目的。

因各基础大件的精度要求高，须在装配场地对其所有基础大件的导轨直线度及其平行精度进行稳定性验证后才能进行后续装配工作。

5) 电气系统调试技术

电气系统硬件按照设计要求正确安装、连接完毕，完成初次通电检查后，进入调试阶段，按照电气调试工艺流程进行调试，是保证数控系统正常工作的基础。数控系统控制部分的调试内容及工艺流程：

a) 数控系统初始化：完成数控系统功能配置和控制轴的配置。

b) 调试PLC应用程序所涉及的相关功能：检查基本操作功能、驱动器的使能控制、机床急停、硬限位控制功能、机床参考点返回功能、机床辅助设备——即冷却、液压、润滑系统的控制功能，检查所设计的功能是否可以正确无误的运行，PLC应用程序功能的正确无误是调试驱动器和数控系统参数的基本保证。

c) 配置驱动器基本参数：如驱动功率模块型号、

伺服电机型号、驱动总线地址、测量系统类型等，通过参数配置，可以使驱动器加载与配置相关的默认数据，保证驱动器正确地对伺服电机进行控制。

d) 设置数控系统的基本参数：设置控制参数、机械传动参数、速度参数、反馈系统匹配参数等。通过基本参数设定数控系统的位置控制、驱动控制、测量系统、速度控制、设定机械传动系统与电气系统的匹配，设定每个轴的独立的速度给定接口和独立的位置反馈接口，设定参考点参数，建立机床坐标系和螺距误差补偿的参考点位置。数控系统参数的正确设置是保障数控系统功能正常的前提。

e) 误差补偿：调试反向间隙补偿、螺距误差补偿、体积误差补偿功能。数控机床是典型的机电一体化产品，数控机床的品质，如加工精度和动态特性，取决于高品质的机械部件和优化的装配工艺，取决于机电的密切配合。坐标轴的位置精度是由机械系统的精度和刚性主导的，尽管构成机械传动系统的零部件的加工、装配采取了各种措施消除反向间隙，消除螺距误差，而实际上数控机床的精度受到很多因素的制约，如铸造应力的缓慢释放、地基的基础状况、环境温度的影响、运动部件的热变形、丝杠的弹性变形、导轨支撑与导轨之间的间隙、机床工作台的弹性变形等等，所以需要运动轴进行反向间隙和位置精度补偿。对于具有5轴联动功能的高精度数控卧式坐标镗床，体积误差补偿系统-VCS，不仅可对刀尖空间误差的进行补偿，还可对刀具取向误差进行补偿。

f) 驱动器速度控制特性优化：所谓驱动特性的优化是指驱动器的参数与机械系统之间的匹配，使驱动系统达到尽可能高的动态特性，以确保数控系统精度。

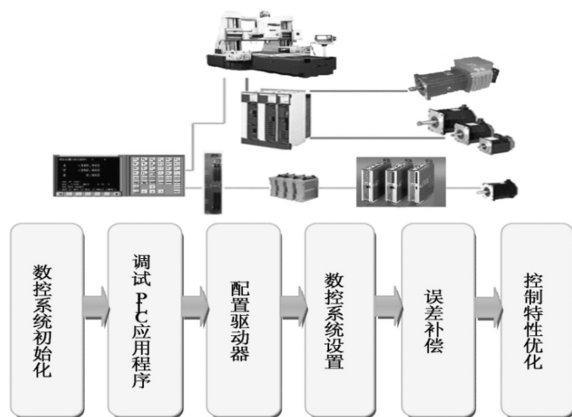


图14 电气系统调试流程图

6) 高精度测量技术

因产品整机装配后的几何精度很高，为了保证测量数据的真实和稳定，测量所用的精密直尺、方角尺和检验棒，因其精度要求非常高，工艺上采用在公司已经使用10年以上的精密直尺、方角尺和检验棒提高精度要求来保证。

该产品的基础大件和精密轴系零件的测量，此次都是使用公司测量精度最高的精密测量仪器进行精度测量。

4. 机床高定位精度与高重复定位精度保障技术

1) 机床基础支撑件精度保障技术

TGK46100高精度坐标镗床的基础大件包括床身、立柱龙门、工作台、滑座、滑板、主轴箱，为了保证这些基础大件获得高精度要求和稳定性，工艺将其加工工序划分为粗加工、半精加工和精加工，以逐步提高零件精度；为了充分释放铸造应力及加工中产生的加工应力，工艺上采取了三次热时效处理，分别在粗加工前、粗加工后、半精加工后进行，以此保证零件的精度稳定性。为了提高加工效率并保证稳定达到基础大件的精度要求，工艺新提部份工艺装备进行保证。在零件加工工艺规程中根据设备条件和加工需求，正确选择零件的加工、测量和装配基准统一，以控制零件误差；在加工过程中对夹紧力、加紧方向、着力点进行了优化匹配，并采取了防止零件振动的有效措施，选用合理的刀具角度、合适的切削用量和冷却方式，以控制基础大件在加工中的变形。在零件加工过程中，工艺进行全过程跟踪验证，最终保证基础大件高精度及其稳定性要求。

TGK46100高精度坐标镗床的床身是目前我公司生产的最宽、精度要求最高的床身，其尺寸为4560×3400×800mm，导轨全长直线度要求0.008 mm，为了保证其精度要求，工艺上采用了在高精度的意大利数控导轨磨上进行精磨来保证几何精度要求。为了保证装配尺寸精度要求，工艺提制了角度样板来保证尺寸的精度要求。

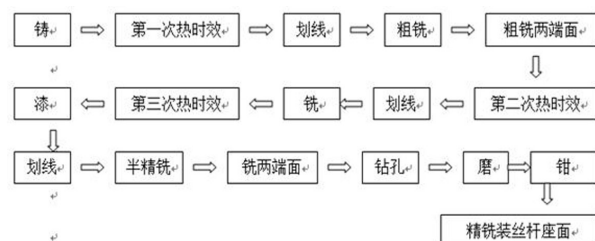


图15 床身高精度的加工工艺流程

2) 立柱龙门导轨的高精度保障技术

TGK46100高精度坐标镗床的立柱龙门是目前我公司生产的最宽、精度要求最高的立柱龙门，其尺寸为 $3415 \times 3020 \times 1350\text{mm}$ ，与床身结合面($3415 \times 1350\text{mm}$)平面度要求 0.01 mm ，导轨全长直线度要求 0.008 mm 。为了保证其精度要求，工艺上采用了先由人工研铲床身结合面，再在高精度的意大利数控导轨磨上进行精磨导轨面来保证精度要求。

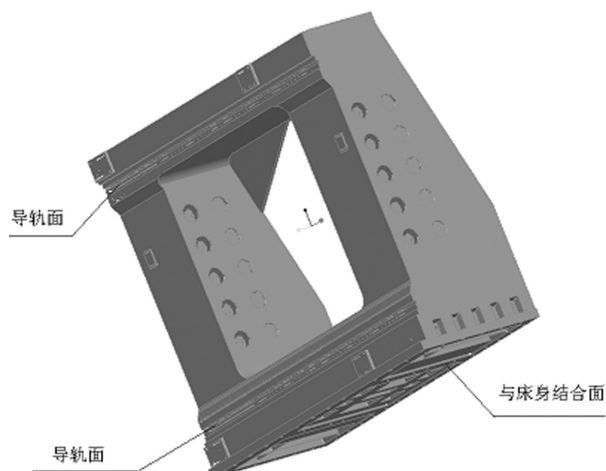


图16 立柱龙门三维图

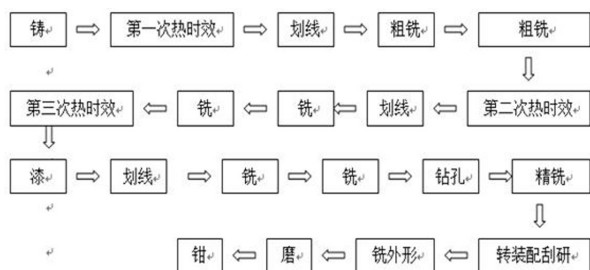


图17 立柱龙门加工工艺流程

3) 滑板高精度的保障技术

滑板为上导轨面和下导轨面呈纵横分布，精度要求很高，上导轨长 2535mm ，两导轨跨距 527 mm ，导轨直线度要求 0.008 mm ；下导轨长 1300 mm ；两导轨跨距 2299 mm ，导轨平面度要求 0.01 mm ，上下导轨相互平行、垂直精度都要求在 0.01 mm ，两个丝杆孔端面与下导轨面垂直在 0.01mm 。

为了保证其精度要求，工艺上采用了在高精度的意大利数控导轨磨上进行精磨上下导轨面来保证其导轨精度要求，再在高精度的数控落地镗床上进行丝杆孔端面的铣削及孔的精镗来保证其精度要求。

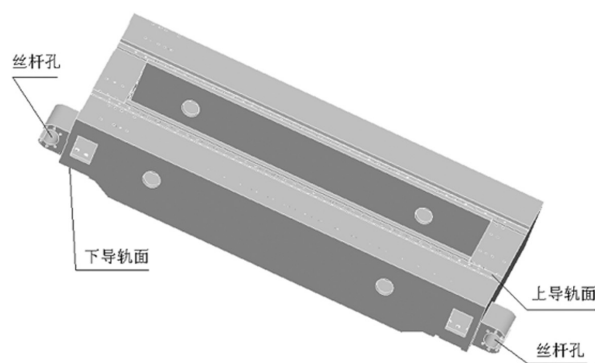


图18 滑板三维图

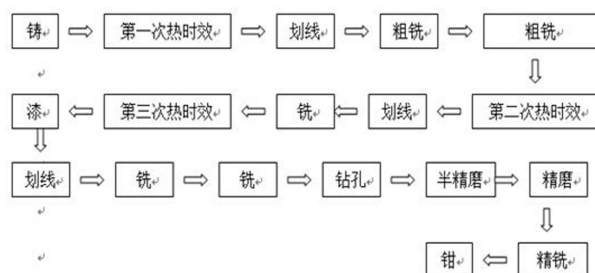


图19 滑板加工工艺流程

4) 主轴箱高精度的保障技术

TGK46100高精度坐标镗床的主轴箱是目前我公司生产的精度最高的主轴箱，其导轨面平面度 0.005 mm ，主轴孔圆度及圆柱度都是 0.0015 mm 。为了保证其精度要求，通过指定标准的工艺流程，工艺上采用了用人工研铲保证导轨面精度要求；在高精度坐标镗床上精镗主轴孔，然后用立式研磨机进行研磨来保证主轴孔的精度要求。

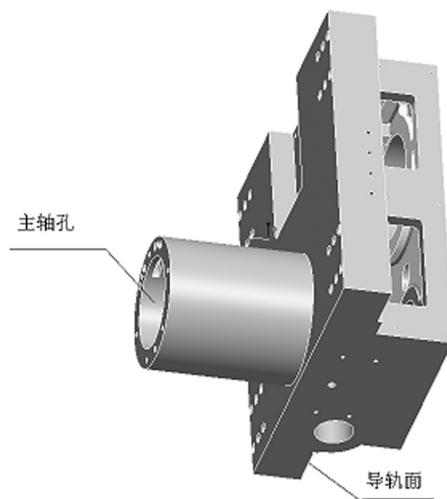


图20 主轴箱三维图

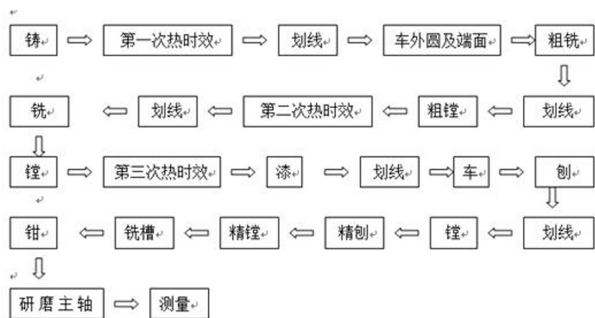


图21 主轴箱工艺流程图

5) 滑座高精度保障技术

TGK46100高精度坐标镗床的滑座尺寸为1250×1050×337 mm,是目前我公司生产的精度最高的滑座,其导轨面平面度0.005 mm,圆导轨面平面度0.008mm,侧面蜗杆孔中心与大孔中心尺寸公差0.02 mm。为了保证其精度要求,工艺上采用了用人工研铲保证圆导轨面精度要求;在高精度的意大利数控导轨磨上进行精磨导轨面来保证其导轨精度要求,再在高精度的数控镗床上进行蜗杆孔的精镗来保证其精度要求。

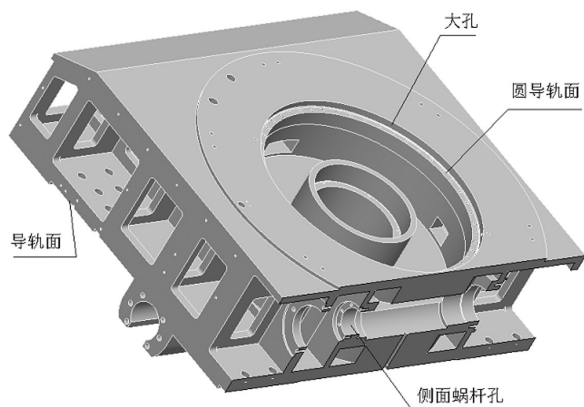


图21 主轴箱工艺流程图



图21 主轴箱工艺流程图

四、成果应用及推广情况

在机床研制过程中,采用了数字化设计、分析、优化技术、“箱中箱”式崭新布局、“转台和主轴直驱”、“直线进给轴双驱”等一系列新技术,积累了丰富的设计经验,并形成相应的技术、工艺标准与验收标准,为同类机床的开发奠定了丰富的理论与实践基础,特别重要的是提升了现有的机床设计模式,做了大量了技术探索、试验比较与理论分析,努力克服了我国机床设计领域长期缺乏理论研究,技术积累等的一系列瓶颈。

本项目研制的TGK46100 高精度数控卧式坐标镗床,机床各项精度及性能指标达到国外高精度高端产品的先进水平,同时企业也掌握了高精度数控卧式坐标镗床设计、制造关键技术;加强了企业创新能力建设,形成了高精度坐标镗床研发、试验创新基地;可全面开展针对用户的加工工艺和技术服务等方面工作,建立了高精度数控卧式坐标镗床的示范基地;在产品成功应用基础上,建立了高精度数控卧式坐标镗床生产线,实现高精度数控卧式坐标镗床的产业化。

(1) 沈机集团昆明机床股份有限公司联合西安交通大学与西安黄河机电有限公司,以“产、学、研、用”形式,通过自主设计、制造、安装调试,研制完成满足本课题技术指标要求的高精度数控卧式坐标镗床。

(2) 通过TGK46100 高精度数控卧式坐标镗床的研制,掌握高精度数控卧式坐标镗床关键单元技术、系统集成技术、关键试验技术、关键设备和仪器的开发技术,形成高精度数控卧式坐标镗床研发、试验创新基地。

(3) 联合西安黄河机电有限公司,全面开展针对用户典型产品的高精度数控卧式坐标镗床加工工艺研究和技术服务等方面工作,建立高精度数控卧式坐标镗床的示范基地。

(4) 在样机制作的基础上,开发并完善高精度数控卧式坐标镗床的加工制造手段,建立高精度数控卧式坐标镗床生产线,形成可以批量生产高精度数控卧式坐标镗床的加工制造能力,实现高精度数控卧式坐标镗床的产业化。

(5) 联合西安交通大学,聚集国内其它关键技术优势单位,形成产学研用开发研究和制造队伍,为高精度数控卧式坐标镗床等相关高精度机床的研究、开发、制造培养相应的优势团队。□

大型数控切点跟踪曲轴磨床的研发和应用

上海机床厂有限公司

王瑞 汪学栋 何楠

一、概述

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。传统的曲轴连杆颈磨削常采用偏心装夹法:用偏心夹具装夹曲轴,使曲轴绕连杆颈中心线旋转来磨削连杆颈。虽然偏心装夹方法易于实现,但在磨削不同类型的曲轴时,需对偏心夹具分度头进行调整或更换偏心夹具。这种调整过程比较费时费力,影响加工效率和机床的加工柔性且调整的重复精度也很难得到保证。

切点跟踪磨削技术是一种通过工件旋转运动和砂轮横向往进的联动控制来实现轴颈的偏心磨削以及非圆表面加工的新型磨削技术。它作为曲轴连杆颈高效高精度的磨削方法,一经出现,就立刻引起国内外众多科研机构的关注。目前,在大型曲轴切点跟踪数控磨床研发方面,能够代表国际制造技术前沿的典型产品主要有:德国NAXOS-UNION的PMS465、美国LANDIS的LT3、捷克TOS的BK140。它们垄断了大部分市场。近年来,国内也针对切点跟踪磨削技术开展了一定的探索与实践。其中,上海机床厂、北京第二机床厂、上海交通大学、上海大学、北京航空航天大学、湖南大学等各自在不同领域做了一定探索。但对于切点跟踪磨削产品方面除了上海机床厂、北京第二机床厂以及湖南大学海捷公司开发的切点跟踪磨床外,国内其他机构均没有切点跟踪磨床产品推出。但

在大型曲轴加工方面,没有公司有产品产出投入市场。为了扭转这样的局面,需要加快我国大型曲轴高精加工装备的研制,突破我国大型曲轴制造瓶颈。上海机床厂有限公司申请了国家科技重大专项课题——“大型数控切点跟踪曲轴磨床”就是针对船舶曲轴、机车曲轴等制造企业大型曲轴的磨削加工的需求设计开发的。

通过构建关键部件的试验台以及对大型数控切点跟踪曲轴磨床总体构型设计优化与动态性能分析、大型曲轴磨削过程中随动刚性支撑与多轴同步驱动、砂轮架驱动系统的随动特性及其控制方法、切点跟踪磨削工艺与精度控制、在线测试系统与切点跟踪磨削软件开发、大型数控切点跟踪曲轴磨床的制造装配与系统测试和曲轴磨削的精度稳定性和曲轴磨床的整机可靠性等核心研究任务的攻关,上海机床厂有限公司完成了MK8280/SD-H数控切点跟踪曲轴磨床的设计与制造。这一方面改善了采用国产传统结构磨床进行加工时加工效率低、精度稳定性差的缺点,另一方面打破了船舶曲轴和机车曲轴相关行业所需大型、高精度、高性能曲轴依赖进口或采用十分昂贵的进口机床加工而导致的对大型切点跟踪数控曲轴磨床的垄断和制约,填补了国内该领域的空白,提升了我国高档数控机床的竞争力。在大型数控切点跟踪曲轴磨床设计、大型曲轴磨削工艺以及精密测量与测试等方面,上海机床厂有限公司获得了国家发明专利3项和实用新型专利1项权,完成了企业标准“砂轮架移动式 数控切点跟踪曲轴磨床”的编制。MK8280/SD-H数控切点跟踪曲轴磨床在2012年(第十四届)中国国际工业

博览会上展出,取得了良好的反响,大大提升我国曲轴生产的技术水平,具有广阔的市场前景。目前该机床已经实现了产品的示范性应用,可磨削加工各类型大型曲轴。图1为MK8280/SD-H数控切点跟踪曲轴磨床外观图。



图1 MK8280/SD-H数控切点跟踪曲轴磨床外观图

二、产品性能介绍

MK8280/SD-H数控机床能在一次装夹下实现曲轴的主轴颈和连杆颈的外圆磨削。一方面,在工件回转的过程中砂轮需要以高动态响应特性随动进给磨削;另一方面,在重型曲轴磨削过程中,还要保证头架与尾架的驱动同步,并基于高精度的伺服托架技术,减少工件挠曲变形,实现高精度磨削。

为了确保机床的加工精度和提高工作的安全性,开发了专利技术的头尾架的高精度驱动和可靠定位装置(ZL201010597617.8),形成了头尾架同步驱动技术。运用含有TRAILON、TRAILOF指令的程序,利用高精度回转编码器闭环控制头架和尾架所在的力矩电机,实现了头尾架的数控轴C1和C2的同步。为了提高曲轴磨削过程中工件的刚度,开发了具有专利技术的可对曲轴主轴颈进行随动支撑的装置(ZL201020671048.2),采用伺服电机控制两点式支承中心架的垂直和水平的支承头,确保了在磨削过程中使工件的回转中心与机床的回转中心保持一致,提高了加工精度,也有利于曲轴

磨削时的托持稳定。为了很好地满足曲轴磨削加工,开发了具有专利技术的曲轴测量方法和速度控制方法(ZL201110055011.6、ZL201110058262.X)。

主要技术指标为:磨削回转直径 $\Phi 1000\text{mm}$;最大工件长度 8000mm ;砂轮线速度 125m/s ;磨削轴颈圆度 $\leq 0.010\text{mm}$;圆柱度 $\leq 0.013\text{mm}$;外圆表面粗糙度 $Ra \leq 0.32\mu\text{m}$;砂轮直径 $> 1600\text{mm}$ 。该磨床突破了大型曲轴切点跟踪数控磨床的总体设计方法与性能保证技术、曲轴变速回转驱动磨削工艺方法、高随动特性的砂轮架驱动系统设计、磨削过程中的随动支撑技术以及曲轴尺寸、位置与变形量的在线检测与控制等多项关键技术,开发了以Fenar L专用曲轴在线测量装置为核心,由Marposs测量软件及机床自动控制的在线测量与误差补偿系统。

由表1和表2可见,本公司所开发的大型数控切点跟踪曲轴磨床,在磨床功能、曲轴规格尺寸、磨削加工质量等主要指标方面,达到了上述三个国际前沿产品的技术水平。

表1 技术指标对照

大型数控切点跟踪曲轴磨床		主要生产企业及代表机床型号			
		德国 NAXOS-UNION	美国LANDIS	捷克TOS	上机SMTW
		PMS465	LT3	BK140	MK8280/SD-H
尺寸 规格	最大回转直径(mm)	750	850	1400	1000
	最大工件长度(mm)	6300	8000	12500	8000
	最大工件质量(kg)	5000	8500	25000	10000
	最大砂轮直径(mm)	1400	1600	2400	1600
加工 精度	主轴颈圆度误差(mm)	0.015	—	0.01	0.01
	主轴颈纵截面内直径一致(mm)	0.01	—	—	≤ 0.013
	主轴颈表面粗糙度(μm)	0.4	—	—	≤ 0.32
	连杆颈圆度误差(mm)	0.015	—	0.01	0.01
	连杆颈纵截面内直径一致性(mm)	0.01	—	—	≤ 0.013
	连杆颈表面粗糙度(μm)	0.4	—	—	≤ 0.32

表2 主要功能及部件对照

大型数控切点跟踪曲轴磨床		主要生产企业及代表机床型号			
		德国 NAXOS-UNION	美国LANDIS	捷克TOS	上机SMTW
		PMS465	LT3	BK140	MK8280/SD-H
主要功能及部件	数控系统	CNC 6400	SIEMENS 840D	SIEMENS 840C 并联	SIEMENS 840D
	砂轮修整	金刚滚轮、两轴	金刚滚轮、两轴	金刚滚轮、两轴	金刚滚轮、两轴
	头架电机	力矩电机	——	伺服电机	力矩电机
	砂轮架横向、纵向进给驱动	直线电机	直线电机	伺服电机+滚珠丝杠	直线电机
	在线检测	直径/圆度/悬垂量	直径/圆度	直径/圆度	直径/圆度/悬垂量
	轴向径向自动定位	是	——	——	是
	静压砂轮架导轨	是	是	是	是
	静压砂轮主轴	否	是	否	是
	静压头架主轴	否	是	否	是
	工件变速驱动	——	是	否	是
	头尾架同步驱动	是	是	是	是

为满足高效率、高精度、操作方便，在研发数控切点跟踪曲轴磨床时，采取了以下几个主要措施：

- ①前、后床身采用分离结构。移动式砂轮架置于后床身上，提升了机电系统的动态性能。
- ②头尾架采用了静压轴承技术和体壳分层技术。静压轴承主轴柔性好，便于调整；体壳分层，有利于工件的安装调整。
- ③中心架采用了伺服电机控制。伺服中心架可在随动磨削中有效地支承其曲轴，提高磨削加工的精度。

三、关键技术应用情况

船用大型曲轴切点跟踪数控磨床的技术难点主要体现在两大方面：

- 一方面，船用曲轴重量大、跨距长、多轴段、多相位、轴段尺寸与轮廓精度要求高，为磨床设计带来三个方面的特殊要求：①大型曲轴磨床长度大、结构复杂，需要采用高性能的导轨和主轴系统；②需要对曲轴定位尺寸、轴颈尺寸、挠曲变形进行在线检测与误差补偿；③在磨削过程中需要用伺服托架对曲轴的主轴颈进行随动支撑。
- 另一方面，采用切点跟踪磨削工艺，可以避免传统磨削中使用专用的分度与偏心夹具多次定位，减少定位误差和调整工时，降低劳动强度，但是由于砂轮架在切点跟踪磨削过程中的随动要求，同时带来三个技术难点：①要求砂轮架具备高动态随动响应特性；②要求砂轮架与曲轴回转驱动轴进行数控联动，增加了砂轮架的运动维数，也提高了对整机动力学性能的要求；③切点

跟踪磨削由于磨削去除率随着砂轮架－工件相对位置的变化而变化，使磨削力的大小和方向具有时变性，从而影响磨削温度和磨削工件表面完整性，因此需要开发大型曲轴切点跟踪磨削工艺数据库并建立专家系统，为切点跟踪磨削过程的参数控制提供依据。

1.大型曲轴磨床总体构型设计优化与动态性能分析

(1) 概要

船舶曲轴重量大、跨距长的结构特点，切点跟踪磨削过程的工艺复杂性和高柔性以及曲轴高精度磨削质量要求等，决定了船舶曲轴磨床具有体积大、结构复杂、整体动态性能要求高等特点。本课题将按照机床的整体性能与技术指标要求，进行机床主要部件的功能分解，确定部件间连接与支撑方式，砂轮架、头架和尾架等关键部件的技术指标，为开展大型曲轴磨床整机与关键功能部件的详细设计提供依据，从而确定船舶曲轴磨床的整体布局和结构设计。基于动力学分析与数字化仿真，对大型曲轴切点跟踪数控磨床的动态性能进行系统研究。建立曲轴磨床整机的动力学模型，通过研究磨床的固有振动特性，确定曲轴磨床结构中的刚度薄弱环节；同时，根据大型曲轴类典型零件磨削加工工艺需求，综合考虑磨削效率、磨削精度和制造成本，对大型曲轴磨床整体布局和结构进行优化设计。由于篇幅原因，本文重点介绍装在砂轮架体壳上的大跨度悬臂测量装置的结构优化与动态性能分析。

MARPOSS FENAR-L在线量仪，其支架安装在砂轮架体壳上，通过一个特殊的旋转臂设计自动转入和转出，测量头可以跟随连杆颈旋转移动而移动。测量装置

结构为大跨度悬臂结构, 需要对其动态性能进行分析, 通过结构优化, 保证稳定测试。图2为原测量悬臂装置三维模型图, 图3为原测量悬臂装置有限元分析模型及伸展状态静力学分析结构变形云图。

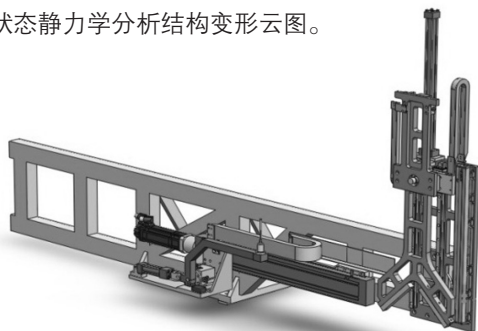


图2 原测量悬臂装置三维模型图

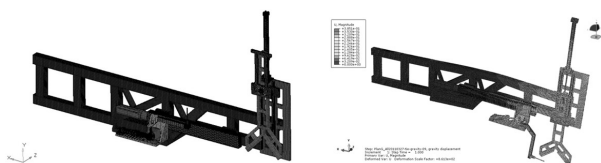


图3 原测量悬臂装置有限元分析模型及伸展状态静力学分析结构变形云图

分析发现原方案关键点变形过大, 为了提高结构刚度, 对测量装置多种结构进行对比分析, 分析支架高度及结构对变形、重量等的影响, 最终确定了测量装置的优化方案, 并通过了验证。图4为最终测量悬臂装置三维图。

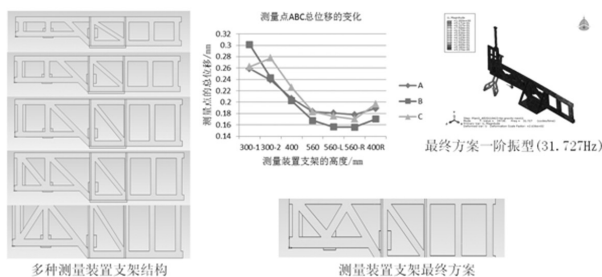


图4 最终测量悬臂装置三维图

(2) 技术创新点及特点

设计方面: 通过试验研究、数字仿真、性能衰变控制, 保证磨床的精度稳定性和整机可靠性。重点开展数字化设计与动力学性能仿真、基于试验台测试数据分析的优化设计、关键部件性能衰变规律与精度稳定性控制方法研究。

制造方面: 通过材料性能检测分析、结构件的性

能检测、运动副配合面性能匹配, 形成产品制造质量检

测规范。通过结合面接触刚度控制、运动轴相对位置检测、关键部件运转试验, 形成磨床装配工艺规范。

测控方面: 利用驱动力、磨削力、支撑力、温度场等物理量以及尺寸、位置和变形等几何量在线测量数据, 通过误差分离与补偿、多轴联动控制等技术, 实现机床精度的稳定与可靠。

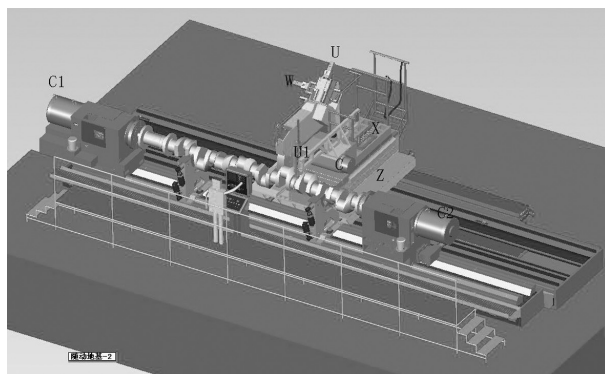


图5 整机三维模型

2. 大型曲轴磨削过程中随动刚性支撑与多轴同步驱动

(1) 概要

为了提高曲轴磨削时的工作刚度, 开发了在磨削过程中可对曲轴主轴颈进行随动支撑的装置, 如图6所示。该中心架为两点式支承中心架, 垂直和水平支承头均采用伺服电机控制, 使其能使用于不同轴颈的曲轴, 保证曲轴磨削时的托持稳定, 在磨削过程中使工件的回转中心与机床的回转中心始终保持一致, 提高加工精度。

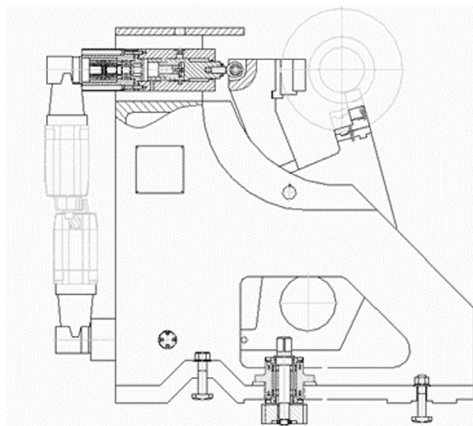


图6 随动支承中心架

该技术已获得了国家实用新型专利授权，其名称为“曲轴加工随动支撑装置”（专利号 ZL201020671048.2）。

为了确保机床的加工精度和提高工作的安全性，开发了头尾架的高精度驱动和可靠定位装置（如图7所示），形成了头尾架同步驱动技术。

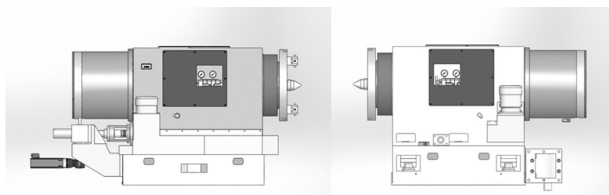


图7 头尾架结构

头架为旋转轴C1，尾架为旋转轴C2，均为数控轴，运用含有TRAILON、TRAILOF指令的程序实现头尾架的同步运动。相关技术获得国家发明专利，专利名称“机床头和尾架精密驱动定位装置”（专利号 ZL201010597617.8）。

（2）技术创新点及特点

大型数控切点跟踪曲轴磨床使用的伺服中心架是二维高刚度随动支撑中心架，可以沿着曲轴主轴颈的半径方向数控移动，随曲轴主轴颈磨削半径的不断变化而进行两维连续随动支撑。伺服中心架的每个运动都通过NC轴实现，在磨削过程中能够实时调整支撑位置，实现曲轴磨削时的稳定托持，既简化了调整工作量，又提高了支撑刚度，保证了曲轴在磨削过程中的高精度旋转和稳定加工。

为了防止曲轴产生挠曲变形导致各档连杆颈相位角位置误差。头尾架采用力矩电机驱动，嵌装高精度回转编码器，结合静压主轴支撑与高精度角度编码器监测，通过数控程序实现头尾架的同步运动，达到了角秒级的同步精度。

3. 大型曲轴切点跟踪磨削运动控制

（1）概要

在开展的切点跟踪磨削运动分析及磨削控制方法、大型曲轴辅助支撑技术、切点跟踪磨削中曲轴角向定位策略及大型曲轴连杆颈圆度误差在线检测与补偿技术等研究工作的基础上，自主开发了大型曲轴切点跟踪磨削控制软件，有效地提高了大型曲轴磨削加工效率及磨床的自动化水平。曲轴切点跟踪磨削的主要特征是砂轮在磨削连杆颈圆柱面时，随着连杆颈的偏心回转，砂轮架

进行横向动态进给运动。砂轮架的横向进给与曲轴回转的同步运动精度影响着连杆颈轴段的尺寸精度和轮廓精度；砂轮架的随动特性决定了颈轴段的表面质量。

随动磨削的运动过程非常复杂，磨削点的运动由4个部分组成：曲轴绕主轴颈轴线的回转运动、磨削切点绕连杆颈轴线的回转运动、砂轮架（X轴）周期性的往复直线运动以及切点沿砂轮表面往复的圆周运动。对连杆颈进行随动磨削的最终目的是要使其表面形成一个符合要求的圆柱面，同外圆磨削的目的是一致的。所以，不妨将其转化为外圆，磨削来对比分析，如图8所示。

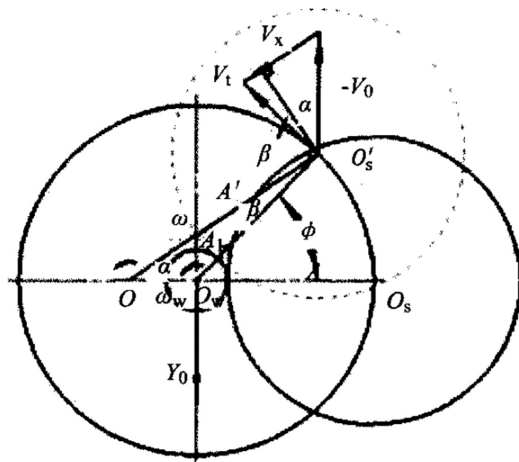


图8 换一视角的切点跟踪磨削运动模型

在图8中， O_s 为砂轮中心位置； O 为主轴颈中心位置； O_w 为连杆颈中心位置。将砂轮与连杆颈的连心距 O_sO_w 看成是不变的，砂轮中心 O_s 绕连杆颈中心 O_w 旋转，则容易得到切点绕连杆颈中心 O_w 回转的工件速度 V_w 为：

$$V_w = \omega_w R_w = R_w \frac{d\phi}{dt} = R_w \frac{d(\alpha + \beta)}{dt}$$

上式中， ω_w 为切点相对于连杆颈中心 O_w 沿连杆颈外缘运动的角速度。

从图8中的矢量三角形中可以看出，砂轮中心的速度 V_t 是由C轴和X轴的运动产生的两速度矢量 V_0 和 V_x 之和。曲轴绕O点旋转时，连杆颈中心点的速度为 V_0 （在图示位置中方向向下），根据相对运动原理，转换到砂轮中心 O_s 时，等价于砂轮中心获得一方向向上的速度为 $-V_0$ 。此时砂轮中心为保持磨削点的轨迹，轴沿 OO_s 方向的运动速度为 V_x 。 V_x 与 $-V_0$ 的合成速度即为 V_t 。X轴随动速度为

$$V_x = \frac{dX}{dt}$$

当曲轴以角速度 ω 回转时,砂轮中心的速度为

$$V_t = \frac{V_o \times \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{\omega R \times \cos \alpha}{\cos \beta}$$

砂轮架X轴随动速度又可表示为:

$$V_x = V_o \times \sin \alpha + V_t \times \sin \beta = \omega R (\sin \alpha + \cos \alpha \times \tan \beta)$$

对于一般的外圆磨削,砂轮线速度 V_s 、工件回转速度 V_w 和磨削深度 a_p 是恒定值,所以精度和圆度容易得到保证。但切点跟踪磨削就不同了,在磨削时很难控制 V_s 、 V_w 和 a_p 使之同时恒定。然而在控制好恒磨除率之后,这个问题就能迎刃而解。

(2)技术创新点及特点

船用大型曲轴切点跟踪磨床砂轮进给系统结构尺寸大、整体质量大、系统惯量大,要满足切点跟踪磨削对砂轮架的高随动响应特性,给砂轮架系统的设计带来较大的技术困难。

在结构设计方面,研究砂轮进给系统采用闭式静压导轨实现精确横向进给、精准重复定位及载荷平衡控制。在驱动性能方面,采用大推力高分辨率直线电机驱动技术及伺服电机加滚珠丝杠两种技术同步研究,并通过闭环控制技术提高砂轮进给系统的运动精度和动态响应特性。切点跟踪磨削通过控制X轴与C轴的联动,实现对曲轴连杆颈的随动切点跟踪磨削,比较研究并选择适合大型曲轴的磨削控制方法。

在测控技术方面,通过对曲轴轴颈加工误差的在线测量,对砂轮的随动进给进行精确补偿,以提高曲轴轴颈的磨削精度。在动态性能分析方面,建立“砂轮及轴系—横向进给系统—大型曲轴”组成系统的多体动力学模型,揭示砂轮进给系统与工件旋转系统联动的动力学特性,优化砂轮架驱动系统的结构设计参数和运动控制参数。直线或圆弧逼近精度难以满足曲轴切点跟踪磨削中轨迹逼近精度要求,比较研究轨迹逼近及插补方法,提高切点跟踪磨削运动插补精度,达到工件精度要求。

四、成果应用及推广情况

近年来,我国船舶、机车、发电设备以及重型机械制造业快速发展,市场对大型曲轴的需求旺盛;然而大型曲轴国产化率并不高,例如船舶中速柴油机用曲轴国产化率仅为30%,相当一部分高精度大型曲轴仍然需要长期依赖进口,其价格昂贵、交货期长且数量上有所限制。上海机床厂有限公司研发的大型切点跟踪曲轴磨床——MK8280/SD-H数控切点跟踪曲轴磨床,属于国

内第一台,填补了国内大型数控切点跟踪曲轴磨床方面的空白,打破国外对大型切点跟踪数控曲轴磨床的垄断和制约,提升我国高档数控机床的竞争力。

MK8280/SD-H数控切点跟踪曲轴磨床,能在一次装夹下实现曲轴的主轴颈和连杆颈的外圆磨削,效率高,自动化程度高,大大提高了生产效率。从精度上看,经过该磨床加工的曲轴,具有精度高、可靠性好、稳定性和精度保持性俱佳的特点。此外该机床外形美观大方,各类操作机构和开关等布置合理,其人性化的设计,良好的易用性也得到了现场操作人员的肯定。

本课题研发的大型数控切点跟踪曲轴磨床,已成功用于广州柴油机厂和镇江中船设备有限公司多种型号大型船用柴油机曲轴的随动磨削加工,精度均达到大型船用曲轴产品的技术要求。

通过本课题的研究,推动了我国大型曲轴切点跟踪磨削加工的技术突破,增强了我国大、精、尖装备的创新能力。同时,本课题所开发的技术,将为今后其他切点跟踪磨床的开发提供技术支撑。作为新一代的切点跟踪曲轴磨床,以专利新技术代替传统的曲轴磨床技术,产品的通用性好,从而进一步提高了上海机床厂有限公司的技术创新能力及市场竞争能力。□

行业资讯

日发精机意大利子公司 获空客公司1.5 亿订单

9月2日,浙江日发精密机械股份有限公司(日发精机)公告,公司之控股子公司意大利Machining Centers Manufacturing S.p.A(以下简称“意大利MCM公司”)近日与Airbus(空客公司)签订设备销售合同,交易标的为六台五轴翻板铣及选配附件,金额折合人民币约1.5亿元。

公司表示,Airbus作为全球知名的飞机制造商,其向意大利MCM公司分批采购多台翻板铣,充分证明意大利MCM公司在航空设备领域的技术领先性,具有良好的示范效应,有利于意大利MCM公司以及公司在国际航空航天领域的市场拓展。协议均采用分批交货的方式,合同分四年交货,将对意大利MCM公司以及上市公司未来经营业绩产生积极影响。

公司认为,依托意大利MCM公司在航空领域的先进技术,结合公司在国内军机及民机市场的布局,随着双方技术上的进一步融合,也将对公司未来经营业绩产生积极影响。(日发精机)

带自动穿丝装置的高精度六轴数控慢走丝线切割机床的研发和应用

北京安德建奇数字设备股份有限公司

张伟明

一、概述

慢走丝线切割机床是电火花线切割机床的一种，是利用连续移动的细金属丝（称为电极丝，一般为铜丝）作电极，对工件进行脉冲火花放电，产生6000℃以上高温，蚀除金属、切割成工件的一种数控加工机床。电极丝作低速单向运动，电极丝放电后不再使用。

目前慢走丝机床的发展极为迅速，在加工精度、表面粗糙度、切割速度等方面已有了较大的突破，加工精度可达 $\pm 0.001\text{mm}$ 、切割速度在特定条件下可达 $500\text{mm}^2/\text{min}$ 、经过多次精修加工后工件表面粗糙度可达 $\text{Ra}0.05\text{ }\mu\text{m}$ 以内，并可使表面“变质层”控制在 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以内，使得慢走丝加工的硬质合金模具使用寿命可达机械磨削的水平。慢走丝机床已广泛应用于航空航天、发电设备、电子、汽车等领域的精密零件、模具加工，由于其优异的加工性能，目前还找不到其他加工技术可以与之竞争。

根据行业报告显示，自2009年以来，国内市场上的慢走丝年销售量在2500~3500台，其中约90%的机床是通过进口或由国外企业在中国设厂生产出来的。国内慢走丝机床的发展处于起步阶段，目前还缺少与国外高端产品相抗衡的产品，要想在短期内赶上或者达到国外慢走丝的先进水平，走引进技术、合资建厂的道路原本是一个很好的方法。但从目前合资的慢走丝厂家现状来看，大部分的意义只停留在了商业目的上，对国内慢走丝技术的发展贡献甚微。在这些合资企业中，中方往往只负责一些无关紧要的工作，

如外壳钣金生产、基础结构件铸造等，像脉冲电源、控制系统等电加工核心技术的研发根本不会让中方人员参与。

北京安德建奇数字设备股份有限公司是国内目前为数不多的能够掌握放电加工核心技术的企业之一，公司生产的所有产品都拥有完全的自主知识产权。公司已取得专利三十余项，获得国家级“专利试点单位”、“中国机床工具协会特种加工机床分会常务理事单位”、科技部“国家重点新产品”、“质量信得过企业”等荣誉称号。

2009年底，公司承担了国家重大专项“带自动穿丝装置的高精度六轴数控低速走丝线切割机床的研发和应用”课题，重点开展了对慢走丝相关核心技术的研发工作。其中通过对交变极性的无电解脉冲电源系统的开发与应用，大大提高设备加工效率和零件表面质量；对自动穿丝技术的研究，在国内首次将自动穿丝技术成功应用到了慢走丝机床上，提高了设备的智能化加工水平；通过对整机结构热平衡的研究，成功的将机床温度场检测和误差补偿系统用到了机床上，显著提高了机床动态位置精度和零件加工精度。

课题开展过程中，共获得发明专利2项，实用新型3项，软件著作权3项。2013年，课题任务完成并顺利通过了国家权威部门对该课题的验收，同时还获得了国家科技部授予的“国家重点新产品”荣誉证书。图1为“国家重点新产品”荣誉证书照片。

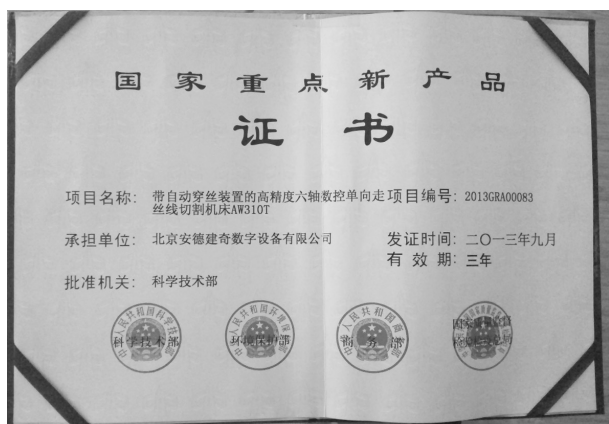


图1 “国家重点新产品荣誉证书”照片

通过对课题产品的技术研究,使我国该类高精度慢走丝线切割机床的技术水平接近世界先进水平。打破了长期以来国外企业在慢走丝线切割技术上的垄断,提高了国产设备的市场竞争力。图2为课题产品实物照片。



图2 AW310T型精密数控慢走丝线切割机床

(1) 性能稳定。主机采用T形床身、C形结构,使得整机具有良好的结构刚性。温度补偿系统的应用,使得机床精度受温度变化的影响大大降低,能长期保持稳定的加工精度。

(2) 切割速度快。新的脉冲电源技术的应用使得该

产品的切割速度比原有产品提高了50%以上,主切效率达 $300\text{mm}^2/\text{min}$,而且能够持续加工。

(3) 加工精度高。该机床采用了光栅尺全闭环控制技术,提高了机床的坐标定位控制精度,日常零件加工精度高达 $\pm 0.002\text{mm}$ 。

(4) 表面质量好。通过新的控制系统对微小脉冲能量的控制,结合稳定的恒张力运丝控制系统,使得多次切割后能够得到 $Ra < 0.2\mu\text{m}$ 的表面粗糙度。目前这一指标达国产同类产品的最高水平,处于国际高档机的水平。

(5) 节约能源。传统脉冲电源的放电回路里,多余的电能都是通过吸收电阻转换成热能散发到空气里了,形成了资源浪费。在该产品的脉冲电源回路里,能够将多余的电能回收并二次应用到放电加工回路里,提高了能源利用率。相比较原有产品,新产品节能30%以上。

(6) 智能化程度高。该设备带有自动穿丝装置,自动穿丝技术的应用,使得设备能够实现持续无人化加工。特别是在薄板多孔位切割方面,零件加工效率有了明显提高。

(7) 应用范围广。该设备在传统五轴的基本上,增加了一第六轴功能。这一功能的增加应用使得该机床的应用范围更广,如对木地板刀具的加工,只需通过一次装夹,就可将刀具上的各刃口加工完成。

二、产品性能介绍

AW型带自动穿丝装置的高精度慢走丝线切割机床是一种高效、精密的放电加工设备,属于国家高新技术研究发展计划中先进制造技术领域。该产品是在本公司原有成熟慢走丝产品的基础上,融入了一些新的技术而研制出来的新一代产品。该产品具有性能稳定、切割速度快、加工精度高、表面质量好、节约能源、智能化程度高、应用范围广的优势。

该产品主要技术参数指标如表1所示:

表1

1	坐标轴行程	X360/Y250/Z210/U90/V90 (mm)
2	分度轴(第六轴)精度	30秒
3	最大加工锥度	$\pm 20^\circ / 80\text{mm}$
4	丝径范围	$\Phi 0.15 - 0.30\text{mm}$
5	最大加工效率	$300\text{mm}^2/\text{min}$
6	最佳表面粗糙度	$Ra \leq 0.2\mu\text{m}$
7	加工零件精度	$\leq \pm 2\mu\text{m}$
8	穿丝方式	自动

主要技术指标国内外同类产品对比如表2所示：

表2

	日本某品牌	台湾某品牌	大陆某品牌	本产品
最大切割速度	300mm ² /min	250mm ² /min	250mm ² /min	300mm ² /min
最佳表面粗糙度	≤0.2 μ m	≤0.2 μ m	≤0.5 μ m	0.2 μ m
加工零件精度	± 2 μ m	± 3 μ m	± 5 μ m	± 2 μ m
最大加工锥度	± 20° /80mm	± 14.5/80mm	± 15° /80mm	± 20° /80mm
穿丝方式	自动	自动	手动	自动
丝直径范围	0.1~0.3mm	0.15~0.3mm	0.15~0.3mm	0.15~0.3mm
第六轴功能	有	有	无	有
浸水or喷流加工	浸水加工	浸水加工	部分高度浸水	浸水加工

注：上表只列出了世界上同等档次慢走丝机床对比情况，世界顶级的慢走丝机床的参数没有列出，它的技术指标在文章开头有所介绍。

三、新技术应用情况

本产品的技术创新点主要在脉冲电源、运丝机构、温度补偿系统三个方面。

1. 脉冲电源方面：交变极性的无电解脉冲电源的研发与应用

交变极性的无电解脉冲电源技术是本公司的一项发明专利，也是该技术在国产慢走丝设备上的首次应用。它解决了加工工件的软化变质层问题，有效提高了加工工件的表面质量。通过交变极性的无电解电源的应用，使加工零件的表面粗糙度有了较大改善，最佳粗糙度达到Ra0.17 μ m。

本产品采用的交变极性的无电解脉冲电源的主要技术指标为：

- (1) 最小脉冲宽度2ns，最大脉冲宽度50 μ s。
- (2) 最小脉冲停歇时间4 μ s，最大脉冲停歇时间40 μ s。

(3) 最小单位脉冲峰值电流0.4A，最大单位脉冲峰值电流400A。

(4) 加工状态自动检测、调整和伺服进给自适应控制。
实际加工时，加工工件和电极丝之间的高频脉冲放电电源在几十微秒时间内作周期性交变极性，两个极性之间的平均电压为零，使加工中产生的正/负离子基本在原地不动，负离子不会涌向变极性的加工工件，解决了加工工件的软化变质层问题，提高了加工工件的表面质量。结合纳秒级高频脉冲控制技术的无电解脉冲电源，实现微能量加工，可以获得Ra≤0.2 μ m的工件表面粗糙度，使加工零件的表面质量有了质的飞跃。

交变极性的无电解脉冲电源技术应用实例1：
用户提供工件材料YG8（硬质合金的一种）27×12mm的长方形。经过试验，加工三次，即可满足用户需求。加工参数（见表3）和加工实物见图3：

表3

工件材料		硬质合金		丝直径（黄铜）		0.25mm		试件编号							
工件厚度		13~20mm		水质		10 μ s		室温/水温							
	ON	OFF	SET	SPT	WS	PM	SS	IP	SV	V	WT	WP	MS	加工速度 (mm/min)	加工水压 (MPa)
E4640	4	15	2	15	16	0	0	15	45	14	10	7	0	0.88	0.4/0.3
E4641	8	10	5	12	16	0	0	15	40	14	13	7	0	1.7~2.0	0.4/0.3
E4642	2	8	2	8	16	0	0	15	55	14	17	1	4	3.2	0.03
E4643	7	3	1	1	16	1	0	9	55	18	17	1	7	6.5	0.03
		H1	H2	H3											
补偿值		197	142	136											

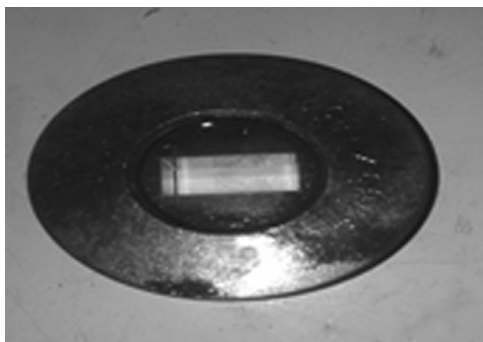


图3 硬质合金加工参数和加工实物

加工实物用肉眼在灯光下仔细观察，表面无条纹。在显微镜下观察，也没有发现条纹。最后用800目砂纸轻轻打磨加工表面后，再放到显微镜下观察，也没有发现条纹。这一效果让客户非常满意。图4是工件用800目砂纸打磨后，放到显微镜下观察截屏所得到的图片。

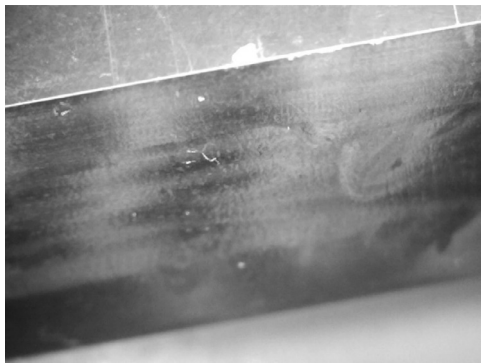


图4 硬质合金加工件表面打磨后的效果

交变极性的无电解脉冲电源技术应用实例2:

对合作单位提供的PCD材料PCD-010, PCD-025, PCD-302, 韩国CF, 韩国CM等超硬PCD材料刀具进行加工试验。针对PCD材料导电性不好, 易崩裂, 加工时锥度大等特点, 本公司做了大量的工艺试验, 目前已经形成了完整的超硬PCD材料加工参数数据库。图5是工艺试验中加工实物的图片, 表面粗糙度达 $Ra0.17\mu m$, 在400倍的电子显微镜下观察, 加工的直线平整, 无崩塌, 表面质量非常均匀。

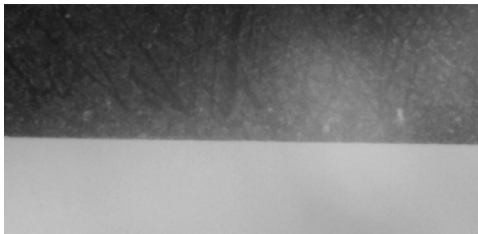


图5 超硬PCD材料电子显微镜下观察

2. 运丝机构方面：带自动穿丝装置的恒张力运丝机构的研究与应用

运丝机构作为慢走丝机床的核心功能部件之一，担负着非常重要的角色。首先，运丝系统的平稳性对加工表面质量起到非常关键的作用，电极丝的抖动会影响到加工过程中放电状态的稳定性，最终会导致放电加工效率低下，工件表面产生加工条纹的后果。其次，是否具有自动穿丝功能的运丝机构是慢走丝机床能否实现无人化加工的决定性因素，是慢走丝机床能否成为智能化产品的关键技术壁垒之一。

本产品采用了本公司的另外一项发明专利——“具有自动穿丝功能的恒张力运丝机构”。该运丝机构在运丝张力的稳定性和整机的智能化方面都有良好的表现。该运丝机构的结构示意图如图6所示。

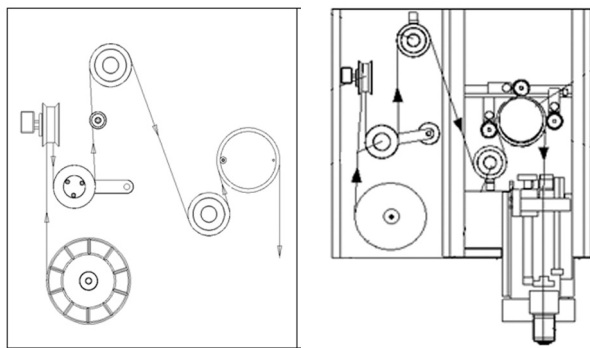


图6 具有自动穿丝功能的恒张力运丝机构示意图

该自动穿丝装置共包括放丝机构、张力调节机构、自动穿丝机构、收丝机构四部分内容。其中放丝机构负责丝卷的运行，按系统指令要求输送电极丝；张力调节机构负责整个运丝系统张力的调节，使其能够在 $3.9\sim 23.5N$ 之间平稳运行，各档张力误差在 $\pm 20g$ 以内；自动穿丝机构负责实现机床的自动穿丝功能，提高机床的智能化水平，适应了现代加工的要求；收丝机构负责将已使用过的电极丝回收。

在实际应用中，本运丝机构输出张力平稳，各档张力的实际检测值如表4、表5所示：

表4 直径0.2mm电极丝张力检测数据

张力 (WT)	张力给定值	实测	最小	最大	稳定性	丝是否跑出
0	31	400	380	420	良	否
1	31	400	380	420	良	否
2	30	400	380	420	良	否
3	29	500	480	520	良	否
4	28	560	540	580	良	否
5	27	610	590	630	良	否
6	26	670	660	680	优	否
7	25	730	720	740	优	否
8	24	790	780	800	优	否
9	22	950	940	960	优	否
10	21	1050	1040	1060	优	否
11	20	1130	1120	1140	优	否
12	20	1120	1110	1130	优	否
13	18	1220	1210	1230	优	否
14	17	1350	1340	1360	优	否
15	16	1430	1420	1440	优	否
16	15	1530	1520	1540	优	否
17	15	1600	1590	1610	优	否
18	14	1660	1650	1670	优	
19	13	1750	1740	1760	优	
20	11				断丝	

表5 直径0.25mm电极丝张力检测数据

张力 (WT)	张力给定值	实测	最小	最大	稳定性	丝是否跑出
0	31	400	380	420	良	否
1	31	410	390	430	良	否
2	30	400	380	420	良	否
3	29	600	580	620	良	否
4	28	600	580	620	良	否
5	27	650	630	670	良	否
6	26	720	710	730	优	否
7	25	800	790	810	优	否
8	24	800	790	810	优	否
9	22	970	960	980	优	否
10	21	1080	1070	1090	优	否
11	20	1160	1150	1170	优	否
12	20	1150	1140	1160	优	否
13	18	1330	1330	1340	优	否
14	17	1400	1400	1410	优	否
15	16	1450	1440	1460	优	否
16	15	1600	1600	1610	优	否
17	15	1550	1540	1560	优	否
18	14	1660	1650	1670	优	否
19	13	1740	1730	1750	优	否
20	11	1930	1920	1940	优	否

传统的手动穿丝机构里，剪丝需要用剪刀或打火机将电极丝剪断或者烧断，穿丝时也必须需要人为的参与。这样就难以实现无人化加工，降低了设备的智能化水平。特别是在薄板上进行多孔位的小孔加工时，更是影响到生产效率。因为在薄板上加工时，单个孔的加工时间也就几分钟，一个孔加工完了，就需要操作者剪丝，将导丝嘴移动到下一切割位置，再进行穿丝并执行程序加工。这样操作

者基本上就离不开这台机床。但在一般的加工厂里，都是一个人需要操作多台慢走丝机床的。使用手动穿丝的机床时，这样会导致设备利用率不高，浪费资源。

自动穿丝技术的应用，通过编程系统，能够用程序控制来实现穿丝、剪丝等穿丝功能。在薄板多孔位切割时，一个孔切完了，机床会执行剪丝、移轴、穿丝、继续加工等一系列指令，中间过程不需要操作者参与。都

是程序化的指令，也不容易出错。这样劳动力就得到了释放，使机床操作变得更加简便可靠，操作者也就有了时间去操作别的机床。

3. 温度补偿系统方面：环境温度与机床精度规律的研究与应用

热胀冷缩是物体的一种基本性质，慢走丝作为一种高精密的设备，为了提高其精度的稳定性，我们就不得不考虑环境温度的变化对机床精度的影响。不光要研究环境温度变化与机床精度变化的对应关系，而且还应该采取相应的应对措施来规避掉环境温度对设备精度影响。

通常我们用热膨胀系数来衡量物体随温度的变化程度，热膨胀系数是指材料加热时尺寸膨胀的比率。设 α 表示线膨胀系数， L 为材料初始长度， l 为伸长量， t 为材料温度变化量： $l = \alpha * L * t$

本机床采用了光栅尺全闭环控制系统，故环境温度对光栅尺本身测量精度的影响就作为我们要考虑的一个问题点。当机床各轴用激光干涉仪检测，定位误差不稳定时，就有可能是环境温度变化过快而导致光栅尺测量不准而引起的。也可能是环境温度的变化引起丝杠等传动部件的热胀冷缩导致的，即机床精度确实差了。无论哪种情况，问题都归根于环境温度的影响。要提高精度稳定性就要提高恒温等级。但要想使机床都在恒温环境下使用显然是不现实的。

为使得机床精度不受环境的温度的影响或者降低环境温度对机床精度的影响，我们在本设备上应用了环境温度补偿技术。该技术简单描述为直线光栅尺的标准工作温度为20℃，一般情况下，检验精度仅对该温度有效。环境温度升高或降低都会影响最终的检测数值。我们在机床本体的不同区域进行温度采样，把采样的温度通过传到给控制系统，NC控制软件部分对温度进行分析处理，对X、Y、U、V、Z轴的伺服运动进行温度补偿，从而使机床精度更高且持久稳定。

图9是在环境温度22℃时，机床X轴未进行温度补偿时的激光检测结果：定位精度为 $A = 0.0040\text{mm}$ 。

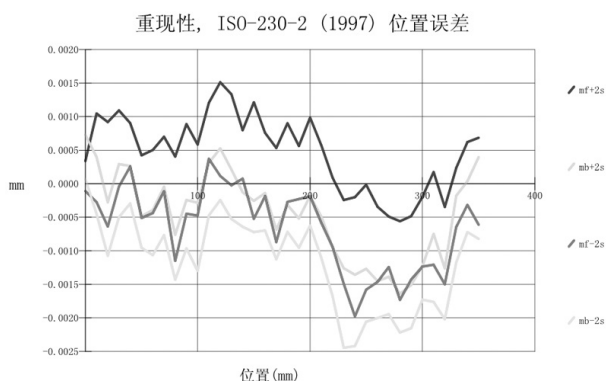


图9 未采用温度补偿的检测值

进行温度补偿，在同样的环境温度22℃时，机床X轴检测精度见图10，定位精度为 $A = 0.0021\text{mm}$ 。

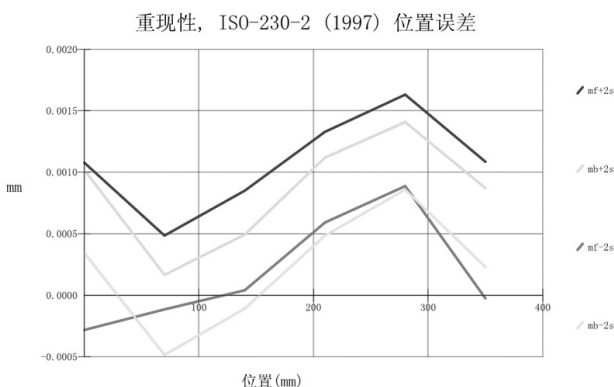


图10 进行温度补偿后的激光检测

四、成果应用及推广情况

通过“带自动穿丝装置的高精度六轴数控慢走丝线切割机床的研发和应用”课题的开展，使得本企业的产品在技术指标方面取得了进一步的突破，缩小了与国外设备的技术差距，提升了产品的市场竞争力。企业已将课题研究成果不断运用到现有慢走丝线切割机床产品中，目前已形成了AW310T、AW510T、AG360T、AG560T四个型号的产品，并已经将这些具有重大专项课题研究成果的产品不断销售到用户中去。

课题的研究成果提高了企业高精数控单向走丝线切割机床在市场上的竞争力。公司已经建成年产200台此类机床的生产线，正向国内外市场大力推广，并逐步取得用户的认可。

中海油田服务股份公司（COSL）是中国近海市场最具规模的综合型油田服务供应商，主要进行海上石油及天然气勘探相关设备的提供和技术服务。该公司使用我公司产品“带自动穿丝装置的高精密数控慢走丝线切割机床AW510T”进行复杂不锈钢和钛合金零件加工，满足其公司承担的国家重大工程项目的研发需要。

贵州航空工业某公司使用我公司产品“带自动穿丝装置的高精密数控慢走丝线切割机床AW310T”进行军品发动机相关科研课题零件的加工，为该公司重大科研任务的完成起到积极的作用。

我公司在研制产品的过程中，还积累了一些零件、材料的加工经验，可以为客户提慢走丝加工问题解决方案。□

重型数控机床的发展与展望

中捷机床有限公司

高明明

和煦的清风吹拂着初春的上海，CCMT2016第九届中国数控机床展览会，于2016年4月11日-4月15日在上海新国际博览中心如约举行。本届展会以“新环境·新格局·新作为”为主题，是在“十三五”开局之年举办的一次机床展览盛会。共有来自中国、德国、美国、日本、意大利、瑞士、英国、韩国、中国台湾地区等20多个国家和地区的1100余家机床工具企业参展，其中境外展商近400家，展出面积占总面积的比例近40%。德国、美国、瑞士、意大利、韩国、西班牙、日本、捷克和台湾地区等9个国家和地区的机床协会和贸促机构也组团参展。展会展示了国内企业在新环境下取得的丰硕成果，为我国机床制造业带来了新的空气，也为制造商和用户之间搭建了良好的交流平台。

目前，中国国民经济正处于转型升级的关键阶段，航空航天、国防军工、能源、轨道交通、船舶、工程机械等行业均需要大量的中高端重型、超重型机床，为我国重型机床行业的可持续发展提供了巨大市场空间，为转型升级带来了发展机遇，国内制造业将进入新的发展期。近几年来，在国家“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项的牵引下，相继研制出了一大批具有自主知识产权的中高档数控重型机床，除少数高档高精度重型机床产品国内尚不能生产外，已基本能满足市场需要，且产品的技术水平已经接近或达到了国际先进水平。因此，国内重型机床已经初步具备了与国际先进水平竞争的基础和条件。本次展会的重大型数控机床产品在外观、性能和精度上都有了显著的提高，科技感十足，充分体现了本次展会的主题。

一、部分典型展品

1. 重型数控车床

浙江日发纽兰德机床有限责任公司展出了RNCK5316数控立车，具备车、铣、磨功能，可以完成车内孔、外圆端面、磨削内孔、外圆面、磨削锥面、内外圆弧面加工，并能够通过三轴三联动方式完成铣削曲面、镗孔、圆周钻铰孔、攻丝等功能；一次装夹可完成车、铣、钻等粗、精加工，是中大型精密零件加工必备的加工设备。其最大车削直径1600mm，工作台直径125mm，最大车削高度1000mm，加高车削高度1600mm，最大工作台载重12000kg。工作台回转使用具有专利的预负荷和高转速润滑油技术的大型交叉圆锥滚柱轴承，确保高效性载荷能力，并且增加了刚性和精度；最大转速为650r/min，主电机功率60kW，工作台最大扭矩20000N·m；X轴行程-100~1500mm，Z轴行程800mm，横梁升降行程600mm，X、Z轴快移速度12000mm/min，最大进给速度为5000mm/min。采用双头丝杠驱动两侧的蜗轮-蜗杆减速箱，实现横梁升降的同步。X轴导轨采用滚滑复合导轨，综合了滑动导轨的刚度、阻尼优点和线轨的高精度优点，使机床长期保持高精度和耐用性，X、Z轴定位精度0.01mm/m，重复定位精度0.005mm/m，转台最大端面跳动0.012mm，工作台径向跳动0.012mm。



图1 RNCK5316数控立车



图2 CKQ61100 x 6000数控卧车

由上海机床厂展出的CKQ61100 x 6000数控卧车，重在吸收国外先进技术基础上全新开发、研制的高性能高精度数控卧式机床。主要配套件均按德国标准选用世界品牌，生产过程中大量采用德国先进成熟工艺方法和手段，精心制作，体现了德国品质、中国制造的产品特征。该机床采用程序控制方式，能对轴套类、盘类零件进行圆柱面、圆锥面、圆弧面等复杂型面的切削加工，并可进行切槽、钻、扩、铰孔、各种螺纹等加工，适宜多品种、小批量、高精度零件的自动切削，也可适用于大批量加工，从而保证零件加工尺寸的一致性，提高加工质量和效率，减轻劳动强度。

其机床主要技术参数为中心高530mm，床身最大回转直径1000mm，拖板上最大回转直径650mm，最大加工长度6000mm，主轴转速范围3.5~710r/min，最大工件重量5000kg，机床外形尺寸9170 x 2520 x 2230mm，机床总功率55kW，主轴连续/30分钟最大扭矩5000~6000N·m，机床重量26t，Z向进给伺服电机扭矩36N·m，X向进给伺服电机扭矩27N·m，数控系统采用SIEMENS 828D，加工圆度0.005mm，尺寸精度IT6，圆柱度0.025/500mm，表面粗糙度 $Ra \leq 1.6 \mu m$ 。

2. 落地式铣镗床

FBM3016 数控落地铣镗床是山东威达重工自行设计开发的重型数控卧式铣镗床。整机结构合理，质量稳定可靠，外形美观大方。FBM3016 数控落地铣镗床基本配置为X、Y、Z三轴联动，主电机为大功率伺服电机，可进行铣削、攻丝和各种曲面加工。机床有多种固定循环，如端铣、钻孔、钻台阶孔、铰孔等供用户自主选择。机床换刀、加工均由预设程序自动控制，且换刀过程中配置主轴中心吹气，以保持刀柄和锥孔的清洁度。机床的自动化程度高、适应面广，可在一次装夹中完成多种工序粗、精加工，广泛适用于航空航天、军工、模具、汽车、内燃机、纺织机械、化工、石油、电子等行业的机械加工。该机床主要技术参数为工作台面积3000 x 1600mm，工作台大型槽宽度为36mm，T型槽数量为6，工作台最大承载（均载）50000kg，纵向行程（X）3000mm，溜板垂向行程（Y）1600mm，滑枕铣头横向行程（Z）800mm，主轴端面至工作台中心距离500~1300mm，主轴端头规格BT50，主轴转速0~4000r/min，进给速度X、Y、Z轴1~5000mm/min，快速移动范围X/Z轴1~8000、Y轴1~6000，主电机功率（连续/S6~60%）30/37kW，X向进给电机功率7kW，Y向进给电机功率7kW，Z向进给电机功率4kW机床外形7500 x 6000 x 4500mm。



图3 FBM3016 数控落地铣镗床



图4 MAR-500H卧式加工中心

3. 卧式加工中心

MAR-500H卧式加工中心是由北京北一机床股份有限公司展出的，其优势亮点在于高速度、高精度、超强力、高环保性，节省能耗、工作环境更加舒适，Hi-Cut 功能可以实现高速切削拐角时不会产生塌角；采用坐标镗床式及有限元分析方法设计的高刚性及高稳定性床身，厚壁工作台结构具有高防震性能；可长时间稳定加工：抑制热变形，防止热源生成（切削和冷却液）其主要技术参数为X轴行程（立柱左右移动）700mm，Y轴行程（主轴头上下移动）800mm，Z轴行程（工作台前后移动）700mm，托板尺寸500 × 500mm；分度角度1°，最大承载工件尺寸 $\Phi 800 \times 900\text{mm}$ ，最大承载重量 800kg，主轴转速50~5,000r/min，快速进给速度（X,Y,Z）40m/min，切削进给速度（X,Y,Z）0.001~40m/min，主轴电机（VAC）20/15 kW（10分钟/连续），刀柄型式 BT50，定位精度 $\pm 0.004\text{mm}$ /全行程，重复定位精度 $\pm 0.0015\text{mm}$ ，数控装置 OSP-SUITE。

4. 大型龙门加工中心

纽威数控设备（苏州）有限公司展出的PM1630HA型龙门加工中心主要适用于航空、航天、汽车、军工、能源、信息、模具等行业的零件加工，以加工黑色和有色金属中小型复杂零件为对象，具有高速、高精度、高柔性、环保等特点，其性能指标提供精指标完全符合国家标准，产品经模块化设计，可以按市场需求进行产品系列化制造，其良好性能价格比是国内外客户的最佳选择。其主要技术参数为，工作台行程（X轴）3200mm，滑鞍行程（Y轴）2300+400mm（换刀行程），主轴箱行程（Z轴）1000mm，主轴端面到工作台面距离200~1200mm，两立柱之间距离2300mm，工作台尺寸1600 × 3000mm，工作台承重10000kg，T型槽尺寸22 × 11（宽 × 个数），刀柄规格BT50，拉钉规格P50T-1（MAS403），转数范围40~6000r/min，最大输出扭矩770/910N.m，主轴电机功率400 × 400mm，削进给速度范围10/10/10m/min，X、Y、Z轴快移速度20/18/15m/min，机床外形尺寸8500 × 5500 × 5400mm，主机重量32000kg。



图5 PM1630HA型龙门加工中心



图6 YHMC-GB6555SF5桥式五轴加工中心

5. 桥式五轴加工中心

山东永华机械有限公司展出的YHMC-GB6555SF5桥式五轴加工中心，是针对大型特种材料工件高精度加工的先进设备，与德国ROTTLER公司合作设计制造的高性能五轴桥式龙门加工中心，可广泛应用于航空航天、模具制造、船舶发动机等行业的大中型复杂零部件的加工要求。“拱形散射”筋板的横梁结构，实现高刚性大跨距横梁的轻量化，有效控制了大跨距横梁的静、动态变形异况；两侧立柱墙板主体材质选用矿物铸造材料，提高机床刚性、抗震性，降低机床热变形，提升机床的精度保持性、可靠性。Z轴采用滚动导轨块结构，有效提升Z轴的快速进给，优化了滑枕的抗震性、切削刚性，保证了对于冷硬模具钢、钛合金等特殊材料的硬铣削时工件的高精度、高光洁度。双驱同步控制技术实现高加速度情况下运动的平稳性。可搭配多种数控系统。其主要技术参数为工作台尺寸（宽 × 长）4000mm × 6000mm，两立柱间距（不包括内部的金属板）5500mm，主轴鼻端至工作台距离200~1700mm，T型槽宽度28mm，T型槽间距250 mm，工作台最大承重5000kg/m²，X轴行程16500 mm，X轴进给速率10~20000mm/min，X轴快移速度20000mm/min，Y轴

行程4000mm, Y轴进给速率10~20000mm/min, Y轴快移速度20000mm/min, Z轴行程1000mm, Z轴进给速率10~20000mm/min, Z轴快移速度20000mm/min, 主轴箱尺寸600mm×600mm, 主电机功率60kW, 主轴转速12000r/min, 最大输出扭矩344N·m, C轴速率60r/min, C轴转动角度±360°, A轴速率60rpm, A轴转动角度±105°, 主轴型式HSKA100, X轴定位精度(闭环): 0.06mm/全行程, Y轴定位精度(闭环): 0.04mm/全行程, Z轴定位精度(闭环): 0.02mm/全行程, C轴定位精度(闭环)±3", A轴定位精度(闭环)±5", X轴重复定位精度(闭环): 0.012mm, Y轴重复定位精度(闭环)0.012mm, Z轴: 重复定位精度(闭环)0.012mm。

二、重型机床行业现状及发展方向

我国重型机床行业经过近十年的高速发展, 无论是生产能力还是产品技术水平都取得了长足进步。但是, 从本届展会总体上来看, 我国重型机床产品水平距国际先进水平还有很大差距, 还处于国际分工和产业链的中低端。由于中高档重型机床产品的市场竞争力不强, 目前还无法与国际先进产品相抗衡。国产重型机床与国际先进产品的差距主要体现在: 机床可靠性、稳定性不高, 整体机床制造工艺水平与质量有欠缺, 核心运行部件的技术水平有待提升, 以及全面解决问题的能力不足等方面, 这已成为国产重型机床产品在市场竞争中长期处于被动地位的主要原因之一。

加强创新能力建设, 提高市场竞争能力是促进重型机床行业发展的有效途径, 具体内容体现在以下八个方面:

(1) 尽快建立起以企业为主体、产学研用紧密结合的技术创新体系。依据我国国情, 充分发挥企业作为创新主体的作用, 以有利于整合各方资源和调动科研人员积极性为出发点, 探索构建适合我国国情的重型机床行业研发机构或院所, 建立完备的重型机床研发创新和检验检测体系。要鼓励企业加大创新投入, 尽快改变目前我国重型机床行业技术研发能力较弱或缺失的现状。

(2) 企业要向差异化、特性化、定制化方向发展。企业要依据自身的特点, 在产品结构对市场的适应性和产品质量上下真功夫, 制定出符合市场结构的发展战略和方向, 要有所为有所不为, 要专心做精益、特色产品, 形成差异化的发展格局, 实现可持续发展。

(3) 通过市场实现资源的优化配置。国家或行业应采取必要措施和制定相关的政策法规及市场规则, 建立

起良性的社会信用体系, 打造公平竞争平台, 构建起我国良好的市场经济和秩序。可按照国际通行惯例, 建立“企业黑名单”制度, 让恶性竞争者、损害消费者权益的行为无生存的土壤和空间。

(4) 全面提高中高档重型机床的可靠性、稳定性。这是一项系统性工程, 涉及到研发、试验、设计、制造、装配、外购配套件、材料、服务、用户等企业内外的众多环节。企业首先要以市场为出发点, 加大企业自主创新投入力度, 构建完备的研发创新、试验、检测体系, 从影响机床的可靠性、稳定性的因素入手, 加强对基础技术的试验和研究, 致力于对关键核心技术的“瓶颈”取得突破。

(5) 提高为用户提供成套解决方案的能力。进入新世纪后, 企业不仅要做出高品质的重型机床, 同时还要具备为用户提供成套解决方案服务的能力。它涵盖了用户的加工工艺、刀具的选用、夹具、软件编程、测量检测、装备维护与使用、远程诊断等诸多内容。提高以整体解决方案服务能力为特征的全方位优质服务, 已成为我国重型机床行业发展的必然趋势。

(6) 着力推动传统加工制造向价值链的高端延伸。实现制造业从低端向高端转型升级主要有两条途径, 一是向全球制造产业链的高端, 即向高附加值、高技术含量的装备产业和新兴产业发展; 二是制造业的产业链升级, 是依托已有的装备制造业基础, 推动传统加工制造向价值链的高端延伸。

(7) 加强人才队伍建设。要积极培养一大批高素质的一线工程技术人员和产业技术工人队伍。首先, 要在观念上倡导尊重产业技术人员和技术工人的社会氛围。同时, 要努力改变目前产业一线员工的现状, 提高其社会地位和待遇, 完善社会保障体系, 保证产业一线员工能够得到体面的生活。这将有助于我国装备制造业再造质量型的人口红利优势。

三、结语

重型机床行业产值在近三年连续大幅下降, 面临的形势不容乐观。当前面对的困难不是单纯的市场需求萎缩, 而是要进行转型升级、产品结构调整, 尽快摆脱产能过剩的被动局面。

从国内外市场需求特点可以看出, 今后市场将围绕高档数控机床竞争, 世界各国都在转型升级, 以先进技术再造装备制造业。重型机床行业应顺应这一新趋势, 强化集设计开发、制造、服务、应用于一体的综合竞争能力, 全面提升市场竞争力, 为参与国际竞争做好充分准备, 开创重型机床发展的新局面。□

结构升级 时不我待

—— CCMT2016观后感

沈机集团昆明机床股份有限公司

聂 艳

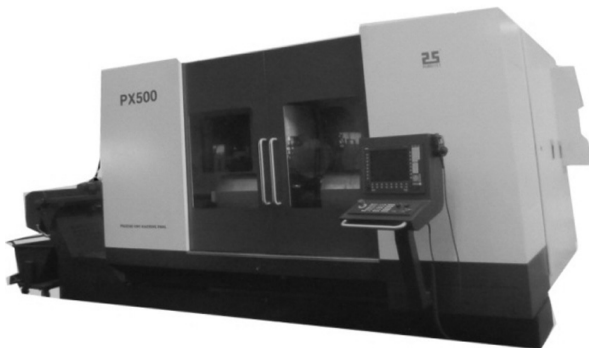
第九届数控机床展览会（CCMT2016）在上海成功举办。本届展会的主题是“新环境·新格局·新作为”，该主题准确、鲜明地反映了我国机床行业发展和产业市场的时代特征，反映了本次展会的背景。本届展会规模再创历届新高，来自全球20多个国家和地区的1100余家境内外企业参展。展出总面积达12万平方米，使用了上海新国际博览中心10个室内展馆，比上届展出面积增加20%。展品范围涵盖金属切削机床、金属成形机床、特种加工机床、柔性加工单元、自动化生产线、工业机器人、工量具等，展品种类和数量远超历届展会，展示了全球机床工具制造业的最新技术和产品成果。

随着全球经济放缓的步伐，中国机床工具行业的发展趋势也发生了全面的改变，“需求总量明显减少，需求结构加速升级”的市场特征日益明显。在此大背景下，本次展会主要呈现了以下特点：自动化技术日新月异，展会上琳琅满目的机器人以及机器手的出现，就体现了该特点；智能化以及数字化深入发展；多轴以及高速的发展以成为主流模式，本次参展的展品，五轴以及更多轴的机床占了很大比重，且该类机床在加工精度以及可靠性方面都有了一定的发展。据不完全统计，本届展会镗铣类机床展商90余家，展品120余台，五轴联动加工中心30余台。下面就本次展会参展的五轴联动加工中心典型代表做一个简单的评述，希望能为广大机床行业从业者提供一个参考。

一、国内五轴联动加工中心

1. 成都普瑞斯数控机床有限公司的五轴联动叶片加工中心PX500

该机床是在汲取国外同类产品技术的基础上，专为航空叶片加工所开发的五轴联动加工中心。机床采用了新型轴系分配布局、可变预压主轴、无间隙摆动传动机构、轴系进给传动支撑、工件A轴双驱及Z轴双驱等技术，有效解决航空发动机叶片复杂自由曲面的高效精密铣削加工的成套制造与应用问题，突破了钛合金、高温合金叶片高效精密加工的关键技术，打破此类设备长期依赖进口的结局。



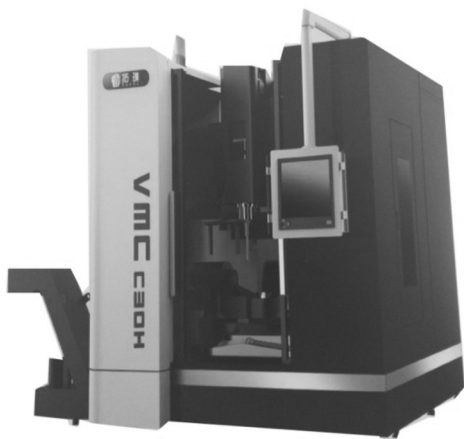
PX500主要技术参数

X/Y/Z行程 (mm)	500/±150/310	主轴最高转速 (r/min)	12000
A轴行程 (°)	360	A轴进给 (r/min)	100
B轴行程 (°)	±40	B轴进给 (r/min)	22

2. 上海拓璞数控科技有限公司的 VMCC30H五轴加工中心（首次展出）

该机床主要用于满足中小型叶轮、涡轮、复杂曲面凸轮、小型箱体等盘状类零件高速五轴加工的需要，设计开发的经济型五轴数控机床专适用于机械、航空、汽车、医疗器械、模具等行业。

该机床具有以下特点：①经济型高速五轴联动加工设备；②立式设计，结构紧凑，横梁、滑座和滑枕完成三个方向的直线进给运动，配合双支点回转台完成五轴联动加工，刚性高；③VMC-C30H机床A、C旋转轴均采用滚子包络蜗杆传动，承载能力高，材料均为钢件，传动精度更高且耐磨损；④五轴全闭环控制，配备海德汉绝对式光栅，精度高；⑤提供装夹定位、加工工艺到质量控制的整体解决方案，常规叶轮最快加工效率可达到8min/件，生产成本低至0.8元/min。

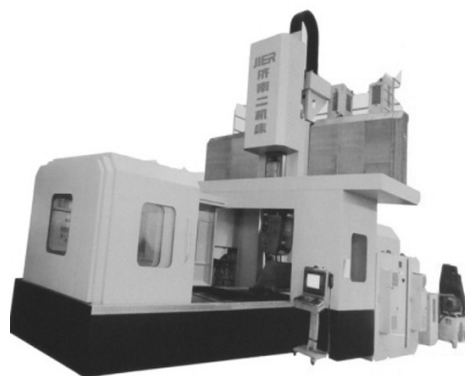


VMCC30H主要技术参数

工作台尺寸 (mm)	φ 210	A轴摆角 (°)	- 30~ + 100
X/Y/Z行程 (mm)	500/370/450	C轴旋转范围 (°)	0~360
主轴最高转速 (r/min)	20000		

3. 济南二机床集团有限公司的 XHV2416×30五轴联动定梁龙门镗铣加工中心

该机床是国内首台配置自主研发的4000r/min机械双摆角万能铣头的五轴联动龙门系列产品。主要用于航空航天行业高温钢、钛合金等大型复杂曲面零件的加工，可完全替代进口产品。XHV2416x30 五轴联动定梁龙门加工中心的 A、C双摆角机械传动主轴，最大扭矩 1322N·m，最高转速 3000r/min，一次装夹可完成粗、精铣削加工，镗孔、钻孔、铰孔、攻丝等多种加工。



KHV2416X30 主要技术参数

工作台尺寸 (宽x长) (mm)	1600x3000	A轴回转角度 (摆动范围) (°)	± 110°
龙门间距 (mm)	2000	C轴回转角度 (摆动范围) (°)	± 360°
X/Y/Z行程 (mm)	3500/2900/950	A、C轴最高旋 转速度 (°/min)	5
主轴最高转速 (r/min)	4000		

4. 大连三垒机器股份有限公司的立式五轴加工中心SVW80B

该机型为摇篮式五轴联动立式加工中心，标准配置海德汉iTNC530数控系统，并可根据用户要求配置其他系统。摇篮式五轴联动立式加工中心SVW80的直线进给轴（X、Y、Z）均采用国际上目前最先进的“箱中箱（box-in-box）”结构设计，可确保最佳的粗加工时的刚性和精加工时的精度。该机床是通过滑枕箱（X轴）运动，横梁（Y轴）移动，滑枕（Z轴）移动，摇篮式转台（A、C轴）旋转，实现五轴联合动作。整机由床身、立柱、横梁、滑枕箱、滑枕、气动系统、自动润滑系统、液压系统、冷却排屑系统、电气控制系统、数控系统、检测系统以及全封闭防护系统等部件组成。摇篮式五轴联动立式加工中心SVW80的主运动采用进口电主轴，主轴转速最高可达12000r/min，并可实现主轴的自动松、拉刀。X、Y、Z轴均采用伺服电机带动同步齿形带驱动滚珠丝杠进给，A、C轴旋转采用力矩电机驱动，使传动系统具有较高的运动精度和传动刚性。该机床的主要外购件均采购自世界一流品牌，机床标配国产的水冷机、切削液纸带过滤机、排屑器和铁屑车等，并可按照用户的需求，选配各种测量、工装夹具和刀具，实现机床的交钥匙工程。



SVW80B主要技术参数

工作台直径 (mm)	φ 800	A轴最大转速 (rpm)	50
主轴最高转 速 (rpm)	12000	C轴最大转速 (rpm)	100
X/Y/Z轴行程 (mm)	800/800/600	A轴摆动范围 (°)	± 140
X/Y/Z切削速 度(mm/min)	20-10000	C轴旋转范围 (°)	nx360

5.台湾友嘉集团展出的五轴联动立式加工中心U-600

该机床Y轴行程520mm，却能以五轴加工最大工件直径为600mm（工作台最大宽度600mm），顶罩设计可防切削油雾喷出机外，有效提升装卸大型工件能力。

因该五轴工具机具有旋转轴，可透过旋转功能达到短行程加工大物件。底座立柱侧面操控区，操作者可容易，清楚地观察刀具与加工过程。箱型结构铸件及最佳化跨距设计，大幅提升整机之刚性与稳定性。一体式独特底座立柱设计，提升了刚性及精确度，减少累积误差，达到高精度，高刚性加工。加工者靠近工作台面更易换刀具、安装工件。两扇门设计，可供使用者双边观察及操作。



U-600主要技术参数

工作台尺寸 (mm)	φ 600	C轴旋转角度 (°)	360°
主轴转速 (rpm)	直结式10000 (OPT 12000/15000)	A轴最大转速 (rpm)	25
X/Y/Z行程 (mm)	460/520/400	C轴最大转速 (rpm)	25
A轴倾斜角 度(°)	+ 40~ - 110		

二、国外五轴联动加工中心

除了以上这些国内的典型产品以外，本次展会国外很多机床工具厂家也有典型的五轴数控机床参展，以下是较为典型的代表：

德玛吉展出的DMU50五轴加工中心是应用于车间生产、培训、实验室以及刀具、夹具及模具方面具有开创性的划时代机床。该机床采用创新的机械工程技术制造。亮点包括：所有的轴及主轴均配有数字驱动，快速移动速度达30m/min，加速度达5m/s²，电主轴转速达18000r/min.DMU50的这些技术亮点代表着高动态性能。除标配刚性工作外，选配工作台包括2个附加进给轴的工作台，例如配备液压夹紧的电动回转工作台和联动工作台。现代化的复合滑枕设计以及用性能高度稳定的铸铁材质制造的机架显著提升了该机床的精度。

日本牧野公司的N2-5XA小型卧式五轴加工中心，是首次推出的专用于石墨领域高效加工的新产品，外观设计小巧精致，A、B轴均采用力矩电机直接驱动。高进给速度，高扭矩高刚性电主轴使其从粗加工到精工一次完成，可以大大提高石墨电极加工效率，降低刀具费用。该机床三轴行程300/300/230mm，A轴摆角-30° ~ 120°，B轴360°，刀柄HSKA40，主轴转速20000r/min。

韩国斗山机床携2台韩国产、3台中国产的性价比高的产品以及高端机型等产品参展，其中包含采用斗山最新技术制造的FM 200/5AX五轴加工中心，该设备具有超高速、高精度、便捷性等优点。FM200/5AX linear是斗山代表性的高端5轴联加工设备，这是一款安装了高速主轴和线性电机，具有超高速进给能力和强大可靠性的超高速超精密5轴立式加工中心。

FM系列的基础(床身)采用大理石铸件结构，所有轴标准配备线性标尺，即使长时间工作，仍能保持高精度。采用40000 r/min 的超高速主轴，大幅提高了生产力。也可适用于无人操作的自动化龙门式上下料系统。

(下转第92页)

珩磨加工现状及发展趋势

—— CCMT2016展评

宁夏银川大河数控机床有限公司

张晓明

2016年4月11-15日,第九届中国数控机床展览会(CCMT2016)在上海新国际博览中心隆重举行。来自20多个国家和地区的1200余家境内外企业踊跃参展,其中国际知名企业众星璀璨,不胜枚举。展会规模宏大,展示面积达到创纪录的12万平方米。

本届展会主题是“新环境·新格局·新作为”,该主题准确、鲜明地反映了我国机床工具产业发展和产业市场的时代特征,反映了CCMT2016的展会背景。

展会展品数量众多,新品精品连连,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,集萃了当代机床工具最新制造技术水平之大成。

一、珩磨加工现状

珩磨加工起源于20世纪初期,最先由美国的Barnes公司和Micromatic公司发明,然后被当时工业发达国家如德国、英国、日本等纷纷采用,并将其应用于汽车机内燃机汽缸的加工中,收到了很好的效果。

在发达国家,对珩磨技术方面的研究主要侧重于新型珩磨技术研发,如德国拉格尔公司研制的双向双进给平顶珩磨,德国格林公司最新研制的激光珩磨,美国善能公司新开发的刷珩磨技术。而表面粗糙度检测仪器的研究,主要是为适应精密偶件珩磨技术的发展而开发的。根据珩磨网纹微观结构,国际先进的检测仪器可检测70种以上参

数。通过对这些参数的检测,操作人员或技术人员可对珩磨切削参数进行调整,从而获得较为理想的珩磨网纹。著名的检测系统有英国泰勒、德国霍梅尔、德国马尔、日本精工等。

这些工艺、检测技术的研发,大大改善了发动机运行性能,延长了发动机的使用寿命,但均存在各自利弊:通过激光珩磨技术,可以获得理想的近似矩形的交叉网纹沟槽,使发动机汽缸套、缸体的使用寿命、耐磨性、配副性、储油性等大大提高,为目前最理想的加工表面技术,但其功效太低,难以适应发动机大批量生产需求;刷珩磨为当前国际最新研制的珩磨技术,使表面轮廓的顶部变成圆形,这就意味着表面的贮油性能高、切削深度小,与平顶结构相似,但该技术对机床配置、性能有较高要求,且刷磨头的材质还处于试验研究阶段,目前很难获得普及。

珩磨技术在不断向前发展,控制系统也由传统的机电液压控制向数字行程控制,甚至是向CNC发展。控制系统为珩磨机的关键技术,各公司都投入大量的人力、物力进行研究、开发和更新换代,因此各公司的控制系统又有所不同。可编程数字行程控制系统为目前使用最广泛的控制器,可自动控制旋转速度、形成速度、粗珩进给、精珩进给,可故障报警,并可遥控调节,包括遥控调节珩磨油石磨耗补偿、进给速度和扭矩。另一类为远程行程调节系统,可设定和修改机器数据,用于设定上下反向点、上下预停点、最大行程、参照点、短行程范围等,另外还可以对错误信息报警。

目前国内发动机汽缸套、汽缸体以及工程机械液压系统制造业普遍采用珩磨技术,但珩磨水平较低,对珩磨工

艺参数研究较为松散,珩磨国家标准仅相当于国际上世纪70年代水平,对珩磨控制的参数仅有少数几组。另外,我国珩磨设备与国外大公司生产的先进珩磨设备之间的差距还体现在国外珩磨设备具有先进的冷却技术及过滤技术、先进的温控技术、先进的夹具技术等。

国外珩磨技术的飞速发展对中国的珩磨机制造业和珩磨工艺的使用提出了挑战。据统计,国内近年来引进的珩磨机达到上百台,高端市场基本上被国外的珩磨机制造企业占据。国内生产珩磨机的专业厂家生产出的珩磨机技术水平与国外产品有一定的差距。一些国内机床厂家在总结德国格林、美国德隆、美国善能产品的基础上,结合油缸、喷嘴、异性工件等深孔产品的精加工特点和实际工作经验,制订了适合冷拔、镗孔等管坯加工使用的强力珩磨机设计方案,在满足加工工艺指标的前提下,取得了价格低、性能好的效果。

二、展会珩磨机展品概述

本届展会珩磨类展品不多,下面就本届机床展珩磨机展品作简要介绍:

1. 银川大河2MK2215X2双轴数控珩磨机床

2MK2215X2双轴数控珩磨机床为加工四、六缸柴油发动机体的双主轴移动式的数控珩磨机床。机床整体采用模块化设计,可适用于各种汽车摩托车缸体、连杆、汽车制动鼓、缸套孔、液压阀体孔、活塞环孔,以及其他类型的通孔和盲孔的精密加工,既能单机使用,又能并入到各类零件的自动生产线使用,是珩磨加工必备的理想设备。

本机床运动模式原始创新,核心技术、关键元件自主研发,机床主要功能及性能、主要珩磨指标全面超越国产同类机床,达到了进口同类产品的技术水平,是我国自主研发、制造的具有国际水准的高档数控珩磨机,具有以下技术特点:



(1) 采用了原始创新专利——复合式数控珩磨机双进给机构和珩磨机床主轴往复运动数字控制装置。抗污染能力强,系统工作可靠,维护保养方便性。主轴往复采用机液伺服阀控制,用数控机床中常用的数控轴作为引导机构,再用机液伺服随动装置作为驱动机构,将数控轴的电控接口的控制灵活性与机液伺服装置的高机械随动精度和大驱动力相结合,组成新一代珩磨主轴往复数控驱动系统;主轴往复最大加速度达到2.5g。

(2) 可对主轴往复、主轴旋转、工作台移动或旋转、珩磨油石粗涨压力、珩磨油石精涨压力等进行数控控制;可实现被加工零件内孔任意夹角网纹的加工。

(3) 机床具有珩磨工件的自动短行程修磨功能,保证了加工精度一致性,提高了磨削效率。

(4) 机床进给系统采用电液比例控制,实现了微小进给力控制,改善了进给控制的动态响应与控制范围。

(5) 珩磨机床专用数控系统的使用,具有操作使用宜人、维护方便的特点,可根据工件实际情况实现多种珩磨工艺的设定和组合。

(6) 珩磨专用数控系统的参数化、程序化及友好的人机界面独树一帜。

(7) 机床在精珩和粗珩都配有在线自动测量系统,确保工件尺寸一致性。

(8) 本机床有主轴正、反向旋转转换功能和螺旋珩磨功能,该功能使被加工的发动机缸孔的网纹指标清晰、均匀、无换向圆角。

机床主要组成部件: 主轴旋转机构, 主轴往复机构, 进给机构, 液压系统, 密封夹头, 测量系统, 润滑系统, 床身, 冷却系统, 夹具, 上料机构、中间送料机构、下料机构, 电气系统, 珩磨头及连杆。

2MK2215X2双轴数控珩磨机床的主要技术规格

珩孔直径	φ 150mm
主轴往复速度	3~35m/min
主轴往复上下点换向精度	≤0.5mm
主轴旋转转速	10~600r/min
珩磨头进给方式	多级液压进给
主轴旋转驱动电机型号	ZJY-208-7.5BM-B5(Y1)
功率	7.5/11kW
液压系统驱动电机功率	主运动 5.5kW 辅助运动 2.2kW

2.台州新潮XCHM强力型系列数控深孔珩磨机床



图2 XCHM强力型系列数控深孔珩磨机床

XCHM强力型系列数控深孔珩磨机床具有高精度、高效率、高性能，任何加工循环所需的时间都可以通过安装在控制面板上的定时器预置，在每个循环结束后，定时器复位到预置的时间，准备下一个循环加工。适于每一珩磨工作的理想主轴转速，可以通过主轴变频器的设置。电子刹车消除了珩磨结束时的孔壁划伤现象。珩磨结束后，通过数字控制系统自动支撑珩磨头从零件中移出，方便进行测量和更换油石。各种各样的工件都可以用调整夹具，精确地定位并牢固的固定。数字控制系统在触摸屏能显示出油石进给速率和最适宜的切削压力、珩磨时间、往复次数、往复位置、能设定空的大小，能自动调整往复位置，能自动进行孔形的修正，确保孔的精度，以实现对孔形的最佳控制。

冷却系统主要特点：5级过滤，其中1级磁性过滤，2级网络加沉积过滤，2级滤芯过滤。冷却液低压供给，工件内部喷液和外部供应两种。深孔珩磨头采用一种可保证油石进给量调整准确，扩张范围50~100mm，并用压板或固定油石，更换油石方便提高效益的特点。

XCHM强力型系列数控深孔珩磨机床主要技术规格

加工孔径	$\phi 30 \sim 1000\text{mm}$
加工长度	0.5~16m
主轴转速	15~350r/min 无极调速
进给电机	0.75kW (减速器)
电流	380V 50HZ
主轴电机功率	5.5~11kW (无极调速)
往复电机功率	3.5~5.5kW(伺服)

3.池贝 (IKEGAI) HM3数控珩磨机床



图3 HM3数控珩磨机床

HM系列数控珩磨机床是池贝针对用户希望在一台机床上实现高精度镗削加工和珩磨精加工的需求而开发的一款数控珩磨复合加工机床。这样不但可以节省二次装夹的时间，大幅提高加工效率，并且可以消除工序之间的积累误差，从而实现高效率高精度的加工。经过20多年的市场应用，池贝已为本系列机床开发配备了从小直径到大直径的各种珩磨加工功能和软件。本系列机床广泛应用于RV减速机、液压泵阀和发动机行业。

HM系列机床特点：基于NC扩展功能（U轴）的数控加工；基于刀具交换功能（ATC）的多直径珩磨精加工；基于（底孔）的镗削加工而实现的高精度珩磨精加工；省设备、省装夹、缩短时间的生产线化；采用塞规规定尺寸、气密定尺寸，多种检测的稳定控制；丰富的自动化功能、珩磨软件。

HM3数控珩磨机床主要技术规格

珩孔直径	$\phi 10 \sim \phi 40\text{mm}$
工作台台面尺寸	350X500mm
主轴锥孔	BT30
主轴拉杆	JISB63390P
珩磨速度	MAX30000mm/min丝杠轴心冷却
行程	X:400mm Y:350mm Z:400mm
刀库容量	8把
主轴电机功率	3.7kW/5.5kW
主轴转速范围	100~3000r/min

4. 重庆聚研JYHM4250-2-2双轴双工位立式珩磨机床



图4 JYHM4250-2-2双轴双工位立式珩磨机床

JYHM4250-2-2双轴双工位立式珩磨机床主要技术规格

珩孔直径	$\phi 4 \sim \phi 50\text{mm}$
冲程长度	350mm
最大往复速度	25m/min可调
行程控制方式	伺服方式/电液伺服
主轴电机	变频/伺服
珩磨条扩张方式	定量定压
珩磨条最小进给量	0.1 μm
主轴电机功率	2.2kW/4kW
主轴转速范围	80~1500r/min 无级变速

三、珩磨加工发展趋势

未来数控珩磨机床必然向高速度、高精度方向发展；向柔性化、功能集成化方向发展；向智能化方向发展；向高可靠性方向发展。除了这些以外，数控珩磨机床还将向网络化方向发展，向驱动并联化方向发展，向标准化方向发展。

作为复杂的生产工具，珩磨机床最根本的是加工工艺与主机结构布局设计，而各种新工艺、新材料、新元件、新刀具、新控制系统等也将运用在珩磨机床上，未

来的珩磨机床的加工精度会更高，加工效率更快，加工范围更广泛。

四、总结

2016年，既是“十三五”开局之年，也是全行业面临压力继续加快转型升级步伐的关键一年。希望我国的数控机床行业一直不断进步、不断发展，坚持创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，全力推进数控珩磨机床中国制造向中国创造转变，中国速度向中国质量转变，中国产品向中国品牌转变，促进数控珩磨机床行业的可持续发展；加快实施机床行业走出去战略，使数控珩磨机床产品全面达到国际先进水平，为发展成为制造强国打下坚实基础。□

行业资讯

全国机床数控系统标准化技术委员会年会在新疆召开

2016年8月，全国机床数控系统标准化技术委员会2016年年会暨二届三次会议在新疆召开。

会上，机床协会胡瑞琳通报了中国机床工具工业协会近期开展“协会标准”的基本工作思路和重点方向，以及“协会标准”的组织体系建设情况和下一步的工作安排，同时还通报了“数控机床互联互通协议标准联盟”的有关信息，会议代表对成立标准联盟表示了极大的关注。

标委会秘书长金健传达了质检总局、国家标准委、工业和信息化部三部门联合下发的“装备制造业标准化和质量提升规划”，介绍了机械工业联合会关于机械行业标准复审的工作安排和具体要求、国标委关于推荐性国家标准立项评估的流程和要求，并重申了国标委关于标准报批材料的质量要求。

标委会副秘书长张玉洁主持了由数控系统标委会归口管理的11项现行国家标准和4项在研计划及2项现行行业标准的复审工作。另外对与机床数控系统相关的一系列标准草案进行了汇报和讨论。目前这些标准草案正在补充完善中。

(胡瑞琳)

CIMT2016展会观感

天水星火机床有限责任公司

董全宏 王芳

2016年4月11~15日，第九届中国数控机床展览会（CCMT2016）在上海新国际博览中心隆重举办。

本届展会的主题是“新环境·新格局·新作为”。该主题虽延续CCMT2014的主题“新变化·新未来”以及CIMT2015主题“新常态·新发展”脉络，仍以“新”字为代表，统领主题形式，但每次又有不同的内容。该主题准确、鲜明地反映了我国机床工具产业发展的时代特征，反映了CCMT2016的展会背景。

本届展会是在“十三五”开局之年举办的一次机床展览盛会，共有来自中国、德国、美国、日本、意大利、瑞士、英国、韩国、中国台湾地区等20多个国家和地区的1100余家机床工具企业参展，其中国际知名企业众星璀璨，不胜枚举。展会规模宏大，展示面积达到创纪录的12万平方米。

CCMT2016（第九届中国数控机床展览会）不仅是一个最新机床工具产品的展示平台，更是一个深入了解客户需求、把握行业发展趋势、了解最新科技信息的交流平台，值得各方参会。通过参加此次盛会，开扩视野，触发灵感，就我参观后的一些看点、感想和大家一起分享。

一、大中型数控车床创新成果显著

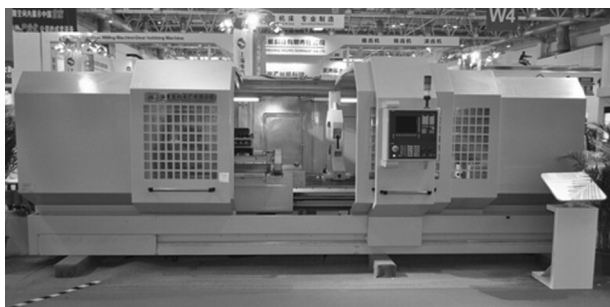
本届展会一批创新成果闪亮登场，以其崭新的理念和技术诠释了创新的活力。这些创新成果涵盖了设计、结构、规格、工艺、控制等诸多领域，形成了一批具有自主知识产权的创新产品和专利技术，提升了各企业在市场竞争中的地位和能力。

2015年，复杂严峻的国内外经济形势为企业经营带来了许多不确定性，“需求总量明显减少，需求结构加速升级”的市场新特征日益明显。这些变化已经对中国制造业产生了全面而深刻的影响，“不好过”成为不少制造业企业的“口头禅”。为此星火机床公司研发生产的CKG61100/3m数控高性能卧式车床产品亮相展会，引起了国内外参展客商的关注，新老客户纷纷前来参观、洽谈合作。



CKG61100数控高性能卧式车床具有精度高、功率大、刚性高、制造精良、功能齐全、自动化程度高等特点。其主要部件和结构均经过优化设计，大大地降低了成本，是性价比极高的产品。主要用于轴类和盘类回转体零件的加工，能自动完成内外圆柱面、锥面、圆弧、多头蜗杆、多头螺纹等机加工序，并能进行切槽、

内外特型面、钻、扩、铰孔等工序，能满足高精度零件的粗、精加工，特别适用于形状复杂、硬度高、精度高等轴、盘类零件外圆、端面、螺纹等的加工，广泛应用于汽车、航空航天、电子、军工等多个行业领域，并带动了众多中小企业设备更新改造和产业升级。



同时，上海机床厂有限公司展出了一台CKQ61100数控卧式车床。CKQ系列数控车床是上重在吸收、消化德国Wolensberg公司PT1系列数控车床基础上全新开发、研制的高性能、高精度数控卧式车床。主要配套件均按德国标准选用世界品牌，生产过程中大量采用德国先进成熟工艺方法和手段，精心制作，体现了德国品质，中国制造的产品特征。该产品除结构，性能优良之外，尾座、镗孔装置很有特色，值得同行欣赏。采用SIEMENS 828D数控系统控制，中心高530mm；床身最大回转直径1000mm；拖板上最大回转直径650mm；最大加工长度6000mm；主轴通孔直径104mm；主轴顶尖莫氏6；主轴前支承直径 $\phi 190$ ；主轴头GB/T5900.3-1997 C11自动变速级数2；主轴转速（无级变速）范围4.5~710 r/min；持规定卡盘转速范围4.5~500 r/min；最大工件重量5000kg；主电机额定功率连续/30分钟30/36 kW；Z向进给伺服电机扭矩27 N·m；X向进给伺服电机扭矩26 N·m。



其次，本次展会，安阳鑫盛机床股份有限公司也展出了一台ADPT200M数控斜床身管螺纹车床。该机床主要为油田油岩管的加工而开发，适用于管类零件螺纹和径向孔、槽加工；机床配有挡料、带卡盘大通径移动尾座，可方便组成管类零件加工自动线。本机床属于半闭环控制系统，能够实现X、Z、C三轴联动，适宜加工各种形状复杂的轴、套、盘类零件，具有车、铣、钻、攻等功能，也可作为通用卧式车削加工中心使用。在机床设计中，对主轴、床身、床鞍的刚度进行合理分配，大大提高了整机的刚性，确保了重切时的稳定性，本机床的加工精度为IT6~IT7，表面粗糙度Ra 1.6~0.8 μ m。该机床工艺适应性强，效率高，成品一致性好，除用于油田油管加工之外，可广泛适用于汽、摩、航天、家电、液压气动、轴承、仪器仪表、五金阀门等制造业零件的批量加工。展品主要技术参数：床身最大回转直径：720mm；最大切削直径：540mm；最大切削长度：2000mm；X轴行程：395mm；Z轴行程：2100mm；X/Z轴快速移动：12/15m/min；主轴转速：25~600；主轴孔径：201mm；主轴端部形式：C15；刀位数：12；刀具安装尺寸：32*32/内孔刀60；副主轴卡盘通孔直径：205mm；主轴电机： α ilp50/6000 365N·m。



另外，山东普利森集团有限公司展出的CH6156D-4型车铣中心。该机床主要是为了解决半精车、精车轴类及盘类零件而设计的X、Y、Z、C四坐标连续控制CNC车床，具有铣削外圆、端面、键槽及钻削径向、轴向孔的能力，适合加工形状复杂、精度高的各种盘类、套类及轴类零件。机床采用整体45°后置斜床身，包砂铸造工艺，机床主电机为日本FANUC宽调速双绕组伺服主轴电机，通过同步带带动主轴旋转，提高了传动的平稳性和C轴的定位、分度精度，具有低速大扭矩切削和高速切削功能。机床配备顶级的意大利12工位卧式液压伺服动力刀架，并配有轴向、径向动力头和适当的附具，因而机床具有较宽的工艺适应性，能够实现一次装夹，完成车削、铣削、钻孔、攻丝等工序，缩短加工过程中的辅助时间。



武汉重型机床集团有限公司CK5116B数控单柱立式车床。最大车削直径1600mm，最大车削工件高度1600mm，最大车削工件重量8t，卡盘转速范围3.15~315r/min，最大切削力40kN，滑枕行程1400mm，X/Z轴快速10m/min。动梁单柱结构，双导轨立柱整体铸造，预载恒流闭式静压导轨，大截面滑枕，海德汉直线光栅尺全闭环反馈，全封闭防护，主变速箱两档行星减速，X轴定位精度0.015/1000mm，Z轴定位精度0.015/1000mm。该设备为高要求的行业用户设计，具有高标准加工能力，该机床在车削上体现了高精度和高效率，可广泛用于航空、铁路、风力发电、精密轴承等行业。最大回转直径450mm，工件长度范围890~1500mm，主轴转速范围50~2500r/min，主电机功率5.5kW，进给快速16~20m/min。双床头箱、双拖板，双刀架，桁架式自动上下料机械手，全封闭防护，自动开合天窗，数控系统FANUC 31i双通道8伺服轴控制。适用于汽车前桥扭杆类零件一次装夹同时完成两端外圆、端面、打中心空、倒角等多个工序的高效高精加工。

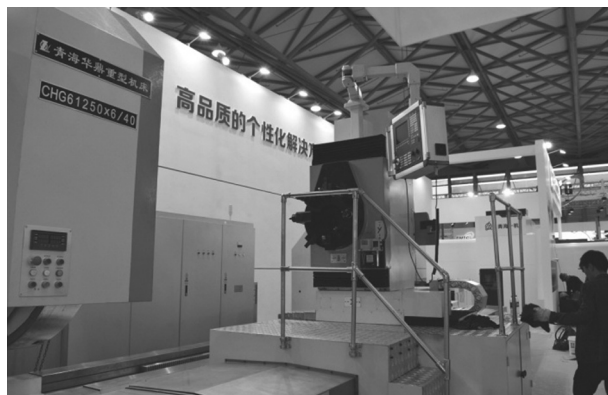


总之，在国际、国内经济形势日趋复杂和严峻，机床相关行业发展趋缓，需求回落的今天，我们发现实际上下滑严重的企业其主要产品仍是中低端产品，高端机床的需求总体上仍保持了旺盛的势头。创新是企业的生命，是企业发展不竭的源泉。目前，我国大中型数控车床自主创新成果显著，自主创新成果产业化进程加快。经济环境的不景气，也带来了发展的机遇。如果能契合各行业对优化工艺流程，降低成本，提高效率的迫切需求，一方面提供性价比高的卓越产品，另一方面提供有针对性的机床开发及配套解决方案。通过创新为客户提供降低成本，提高效率的高效全方位服务。那么我们就能够利用好危机，使危机成为机遇，从而赢得市场竞争，进一步提高企业品牌及市场地位。

二、重型数控车床在向专业、高效、复合、智能化方向发展

随着能源电力、船舶制造及远洋运输、航空航天、交通运输、国防军工、工程机械、冶金设备等行业迅速发展，而且规模越来越大，对重型机床的需求也越来越突出。为适应国民经济发展需要，专业、高效、复合、智能化的重型机床不断涌现，已能基本满足各领域的发展需要。

数控车床的多轴化、复合化已成为当今国内外机床发展的必然趋势，它不仅能够扩大机床的使用范围，提高机床的使用效率，还能满足一机多用，一机多能的工艺加工要求，数控车削中心就是其中最具代表性的产品之一。国外先进机床企业在数控车削中心的设计制造上的技术已成熟，其产品在国内市场占有很大的份额，尤其是在大、重型、高精度机床方面，长期以来更是独占一席。





为此，青海华鼎重型机床有限责任公司展出的CHG61250X6/40高精度卧式车铣复合车床填补了国内在这一领域的空白。该机床为全功能数控车削中心，采用全闭环控制，基本控制轴数为五轴，可三轴联动，是高精度卧式车铣复合车床。本机刀架部分为立柱可回转式（即B轴），立柱左侧为双伸出式车刀板，采用山特维克快换刀具，立柱右侧为双头式高速铣削装置，安装标准铣刀，因此机床加工范围极广。该机床造型优美大方，功能齐全，卡盘及刀架导轨均有防护罩，刀架上有一悬挂式操作按钮站及彩色液晶显示器，机床操作面板符号简单、清晰、操作简单方便、安全。机床可对大型轴类零件或筒形零件）进行各种曲端面的车削加工，还可以对工件表面进行各种铣削、铣扁、加工椭圆、螺旋槽、镗孔、钻扩、攻螺纹等粗、精加工。机床实现了工件一次装夹多工序加工，既实现一机功能集成化，多工序工艺复合化，使机床成为全功能的卧式车削中心，适用于能源、化工、轻工、机电、造



纸、航空航天等行业，是重要的把关设备之一。

星火机床公司展出的CK61160/5m数控重型卧式车床，主要用于绞车滚筒上的各种里巴斯绳槽的整体车削加工，能实现不同的里巴斯绳槽的参数化编程，还具有普通重型数控卧式车床的全部功能，如对不同材质的轴类、圆筒类、盘状类零件进行外圆、端面、切槽、螺纹及回转曲面等的车削加工，还具有粗、精加工，各种特性表面加工。其特点：主要由床身、主轴箱、尾座、床鞍、框式刀架、防护、数控系统、电气控制装置等组成；床身为整体两导轨结构，主传动为四挡无极变速，纵横向为滚珠丝杠传动；尾座采用内置活顶尖结构，尾座移动设有机动移动装置，操作方便快捷。



另外，沈阳机床股份有限公司展出的HoriTurn125F数控卧式车床，其特点：主轴箱变档，摒弃传统的液压变档方式，采用伺服驱动变档方式，使主轴箱高低转速转换时更加平稳可靠；主轴、床身、尾座等部件的刚度进行合理匹配，大大提高了整机的刚性；机床整体布局紧凑合理，具有高效率、高精度、高刚性的特点；直线轴双电机双齿轮箱技术的应用，使机械部件在几乎无磨损的情况下，保证了Z轴的运行精度。

HoriTurn125F是一种新的模块化的大型数控车床。机床床身长度和中心高度为模块化。该产品为大尺寸，旋转对称工件设计。它主要的部件为：主轴带3挡齿轮变速，最大转速为700r/min，峰值扭矩为16kN·m；床身模块化，从最短4m到最长14m，每2m递增；Z-X的溜板座和滑板上装有沈阳机床的刀架；防护。该机床可应用在造船、电力等行业。

本次齐重数控参展的HDFVT400×8/40P-MC高精度双柱定梁立式车削加工中心，主要用于风电轴承内、外环的全工序、高精度的硬车切削。以车代磨，效率提高三倍，充分展示了齐重数控的创新能力。

（下转第71页）

为中国2025打造柔性自动化生产线

——CCMT2016展品评述

中捷机床有限公司

邹月

2015年5月19日，国务院正式印发了《中国制造2025》。这是党中央、国务院总揽国际国内发展大势，站在增强我国综合国力、提升国际竞争力、保障国家战略安全的战略高度做出的重大战略部署，其核心是加快推进制造业创新发展、提质增效，实现从制造大国向制造强国转变。

《中国制造2025》提出，坚持“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优先、人才为本”的基本方针，坚持“市场主导、政府引导，立足当前、着眼长远，整体推进、重点突破，自主发展、开放合作”的基本原则，通过“三步走”实现制造强国的战略目标。而此次在上海新国际博览中心举办的第九届中国数控机床展览会（CCMT2016）上，很多机床厂家也是围绕这一发展趋势，推出了新的产品来迎合当今的国内市场。

本届展会的主题是“新环境、新格局、新作为”，意在新经济环境下，以积极主动之精神，探索寻求发展之路，实现新作为，再创新辉煌。

此次展会展出较多的便是智能化柔性加工单元和生产线，不论是德国的EMAG还是日本的FANUC，或者是国内的知名机床厂家，都在为中国2025打造智能工厂做出一步步的创新和规划。

一道亮点。整个生产线从加工到检测都是由快速道化输送系统和3台机床的主轴自动抓取完成。工件的水平传输速度和垂直抓取速度分别达到150m/min和25m/min。整线结构紧凑，具有很高的柔性和效率，适用于齿轮特别是汽车工业变速箱齿轮的批量生产。这是EMAG在亚洲市场的首次展出，这条自动化生产线提供了齿轮（直径200mm，最大模数4mm）从毛坯-精车-滚齿加工的全套交钥匙解决方案。生产线由2台VL2倒立式车床、1台VL4H立式滚齿机和集输送带、转换器和翻转器功能为一体的TRACKMOTION自动化系统组成。EMAG产品向来以高效、高稳定性、高精度而著称，而质量的保障更是灌输到每一位EMAG员工的精神意识当中。按照精益生产的理念，生产过程中对质量的检验与控制应该在每一道工序中进行，保证及时发现质量问题。如果在生产过程中发现质量问题，根据情况，可以立即停止生产，直至问题解决，决不让一个环节的问题流向下一个环节。也正是因为这样，EMAG这次展出的TRACKMOTION自动化生产线，在每一道工序完成后都会有一个探针进行测量，可以随时检测出工件的尺寸及合格率。

一、国外典型柔性生产线厂家介绍

1. 德国EMAG埃马克

EMAG埃马克此次展出的是TRACKMOTION自动化系统的齿轮生产线，可以说是整个德国展厅中最惹眼的

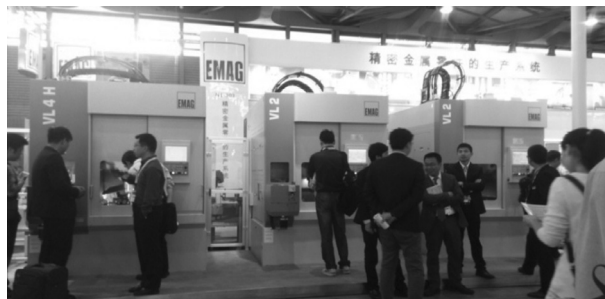


图1 EMAG展出的生产线

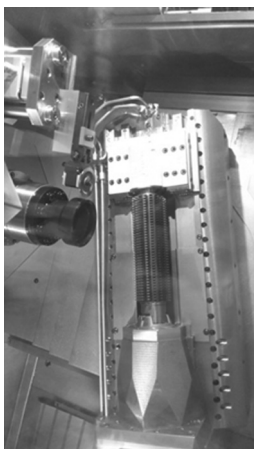


图2 VL2倒立式车床

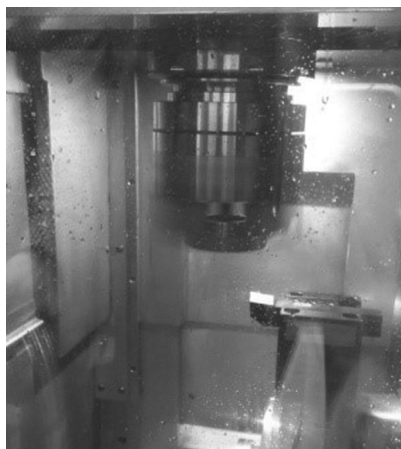


图3 VL4H立式滚齿机



图4 探针检测工件尺寸

2. 日本FANUC发那科

此次FANUC展出的是智能机器人模型装配生产线，此生产线秉承了FANUC一贯的颜色，依旧将黄色作为他们的主打色彩，总是让参观人员眼前一亮。

从图5中可以看出，整个生产线从取料——送料——安装都是由机器人完成。下面详细介绍一下整个生产线的具体生产过程及机器人的作用和运动方式。



图5 FANUC展出的机器人模型生产线



图6 储存机器人模型零件的货架



图7 运送机器人模型零件的机器人

图7主要展示的是机器人输送零件的过程，在机器人的下方是用来横向行走的轨道，两轨道中间用带有花纹式的不锈钢板将其盖住，以方便工人在安装维修时踩



图8 机器人正在从摆放杂乱无章的零件中取件



图9 FANUC LR Mate 200iD 机器人正在进行装配

图8主要展示的是机器人的取件过程。此机器人具有紧凑的结构和优越的动作性能，利用整体视觉系统，识别散乱堆放的零部件并快速精准地取出，从而完成高速拾取功能的作业；即便在被加工件出现装配位置错位的情况下，也能校正后精准作业。

图9和图10主要展示的是FANUC LR Mate 200iD 机器人的工作状态。该机器人是最新型多功能6轴小型机器人，本体轻量化至25kg，手腕部位最大负载提高至7kg；通过展示其高速高负载的运动特性，推动其在IT行业内的应用拓展。对于机器人上下料系统，机器人对无定位工件的自动柔性搬运系统的工作原理，就是利用高清晰摄像头（vision系统）实现对无定位工件的准确位置判断。在机器人收到信号后，机器人装上为工件定制的专用手爪可靠地抓取工件，在与机床进行通讯得到上料请求后，最终完成机床的上下料。通过2D照相机来检出、取出，再通过3D立体传感器校正工件偏差，并利用一体机电脑实时显示视觉拍摄图像。

FANUC iR Vision 2DV视觉系统主要是通过视觉系

统软件设置，建立视觉画面上的点位与机器人位置相对应关系。对工件进行视觉成像，与已标定的工件进行比较，得出偏差值，即机器人抓取位置的补偿值，实现机器人自动抓放。加工工件只需放置于上下料滑台无定位装置的托盘上，待加工工件可以在托盘上移动 $\pm 2\text{cm}$ 以及旋转 $\pm 30^\circ$ 。



图10 FANUC LR Mate 200iD机器人正在进行零件摆放

统软件设置，建立视觉画面上的点位与机器人位置相对应关系。对工件进行视觉成像，与已标定的工件进行比较，得出偏差值，即机器人抓取位置的补偿值，实现机器人自动抓放。加工工件只需放置于上下料滑台无定位装置的托盘上，待加工工件可以在托盘上移动 $\pm 2\text{cm}$ 以及旋转 $\pm 30^\circ$ 。

3D视觉定位技术解决了定位面有偏差的工件上料位置变化问题。由于加工工件为毛坯件，机器人抓取工件后，上料的定位孔位置会发生变化，甚至工件上料时的平面度也有变化。2DV是通过摄像头计算平面变化量，3DL是通过摄像头和激光综合计算空间变化量，实际上是2DV与激光技术的综合应用。该技术的应用大大增加了系统设计的可行性，尤其是在遇到定位面有偏差的工件设计时。使用机器人服务加工中心组成柔性加工生产线的自动化方式逐步得到广泛采用，从而在提高生产效率、减少人工成本、保障作业安全、提高生产品质等方面起到了显著作用。视觉系统，识别散乱堆放的零件并快速精准地取出。



图11 FANUC机器人工作进度显示屏

FANUC为打造更可靠性机器人做了一次又一次的努力，在2015年的FANUC座谈会中，东京大学的石川教授和早稻田大学的菅野教授详细地讲述了未来FANUC机器人发展状态：

(1) 从零停机时间的观点来看，机器人无论出现什么情况也不应停止运动，但今天看到的机器人在使用视觉传感器时一定会停下来。如果能够使用适配机器人运动状态下的高速视觉传感器，那么即使机器人不停下来也能完成检测，而且由于反馈也是在通用高速下完成的，因此在这个时间间隔内还能进行所有的控制。今天看到在三维测量时的图案投影也有些慢。我们几年前就注意到这一点，正在研究仅需1ms，视觉传感也仅需1ms，高精度的三维形状测量就能在一至数毫秒的时间内完成。

(2) 现在许多企业开始考虑安全性及协同作业的问题。为了让日本的机器人领先世界一步，需要研发出即使接触、碰撞也能继续工作的机器人。在这种情况下，罩板的材料、执行机构和传感器等所有的技术都必须进入新的开发阶段。今年展示的区域传感器在环境方面的应用特点是：人员走近且要进入该区域时机器人就会停机，因此不需要护栏，如果能改变机器人周围的环境，考虑视觉等方面的传感器，人与机器人工作场所的建立方法和设计理论等，或许机器人与人能够更加接近地协同工作。

3.日本YAMAZEN山善

本次CCMT中，山善集团携手22家厂家联合开展，并为来场客户带来了由山善集团自主研发改装的整套自动化联动模拟流水线。整套生产线是由2台兄弟S500，安川机械手，泷泽TCN-2100组成的一条在现场进行实际加工的成品流水线。其中兄弟2台S500Z1机床间运用了由山善集团自主研发的工件自动转向驳接技术。该短接半自动化装置可以将放在Z轴的工件，由小机械手自动夹起转向后放入传送带，在设备完成加工后再将加工完的工件夹起放入传送带从而达到无时间及距离损失的最短加工路径。同时改传输加转向设备可以驳接多台设备。

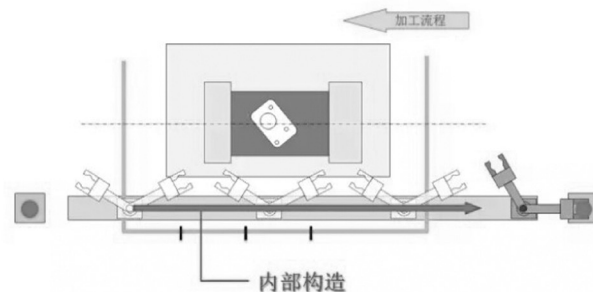




图12 2台兄弟S500和泷泽TCN-2100

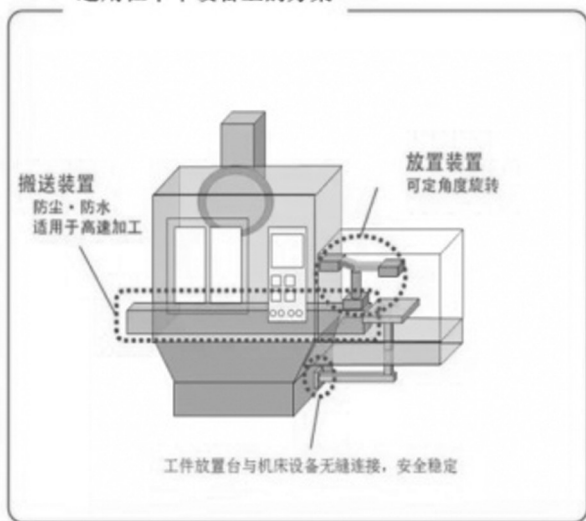
- ①搬送装置：防尘、防水，适用于高速加工。
- ②放置装置：可定角度旋转。
- ③工件放置台与机床设备无缝连接，安全稳定。

山善集团研发的本套转向驳接技术不单单可以运用在单个设备上，也可连接运用于多台设备间。本套改造方案致力于为各位客户构筑高品质、低成本的“柔性生产线”。本套改造方案能广泛适用，同时在整套短接自动化设备的性能上都有很大的提升，在变种变量生产中也可灵活对应。



山善集团自身并不是做设备的，而是做设备代理的，换句话说就是一个代理商。但是这位代理商不单单是把每个设备随意地卖给客户，而是根据客户的需求，将所有他们代理的设备进行了组合安装。就拿这次展会上的生产线来说，总共有三台主要设备，两台兄弟S500，1台泷泽TCN-2100，这两家的设备系统并不是一致的，而为了满足客户，山善电气设计人员将两种不一样的系统进行了连接，使客户在使用时，只有一种系统在执行。而两种机床的连接方式，是使用工件自动转向驳接技术，这是由山善机械设计人员完成的结构上的改变，而传送带也是代理的日本另一家设备。整个生产线就是通过山善自己的设计团队完成，完全得到了客户的认可和好评。同时，山善拥有自己的售前、售后服务人员，服务质量甚至超过了所代理产品厂家的服务质量，使客户省去了为某一台设备出了故障而去找原设备生产厂家所带来的不必要麻烦。这种商业模式可以说是销售模式，是每一个企业应当借鉴和揣摩的。

运用在单个设备上的方案



二、国内典型柔性生产线厂家介绍

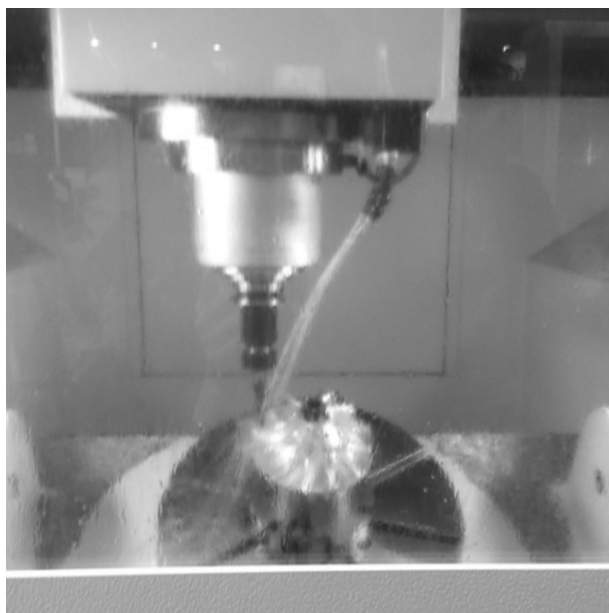
4.北一机床

面对当前“新环境、新格局、新作为”的机床工具行业发展和行业市场的时代特征，北一机床着眼“制造智能化”，为用户提供“数字化工厂”，全面展示公司在智能化制造领域的探索成果。在此次展会上，北一根据企业的理解与实践，通过“数字化工厂”将全面展现“智能化生产调度”与“全自动物流系统”的理念，通过立式加工中心和RV减速器偏心轴试件加工机床组，以及MAR-500H卧式加工中心和XKR40双摆转台五轴加工中心的组合来诠释北一打造“数字化车间”的理念与实力。



立式加工中心组主要包括XHAE788精密立式加工中心与MXR-460V立式加工中心，凭借机器人智能抓取和AGV小车自动巡航运输，完成机床与工装库/刀具库/工件库间的自动化智能交互。

此生产线能有效解决自动化单元的工件装夹和产品快速换型问题，通过模块化的方式有效解决车间生产的标准化。同时，用户在小终端通过简单的操作，可以进行合理安排，实现机床生产数据的管理，进行生产资源调配。



RV减速器偏心轴试件加工机床组主要由LBR-370数控车床与B2-K1026型随动式数控偏心轴磨床组成，此条生产线选取了用在工业机器人减速机上的一个关键零件——RV减速器偏心轴作为实切零件，先利用LBR-370数控车床进行车削工序，然后再转到B2-K1026随动式RV减速器偏心轴磨床进行磨的工序。生产线上的2台机床由机器人衔接，负责工件的抓取、上料，连贯完成偏心轴零件的自动转换工序和车、磨加工，实现由计算机控制的自动化生产。

MAR-500H卧式加工中心采用精密坐标镗床式T型整体式床身，通过有限元分析方法设计的铸铁厚壁床身，床身三点支撑定位保证机床稳定可靠。主轴采用日本原装内置式大功率高速度电主轴，可以保证主轴结构更加简单可靠，同时大大降低运转噪音。主轴前轴承采用一个高精度双列圆柱滚动轴承和两个成组高精度止推球轴承，可承受强力切削、重力切削的传统布局。安装BT50刀柄，主轴功率20/15kW(10分钟/连续)，最大扭矩可达466N·m。

MAR-500H卧式加工中心广泛用于汽车制造、机床制造、发电动力机械、磨具等机械加工行业的应用，高速可靠的完成中小型箱体、阀体及各种复杂加工中的钻、铣、镗、攻丝等工作。

XKR40双摆转台五轴加工中心主要用于各种燃机、压气机叶轮和小型模具、特型箱体等形状复杂的零件高效五轴加工，是航空、航天、汽车、模具等行业必不可少的设备。这种机床是目前用途最广、技术最先进的五轴联动机床。

以上所有加工组、机床、机器人、AGV小车均实现信息集成，同时通过网络可实现机床加工、上下料及物料运输的自动化管理与调度。用户可以通过一个大显示屏实时观看整个“数字化工厂”的运行状况。

5. 华中数控

此次展会华中数控展出的是手机壳自动生产线，如下图所示：

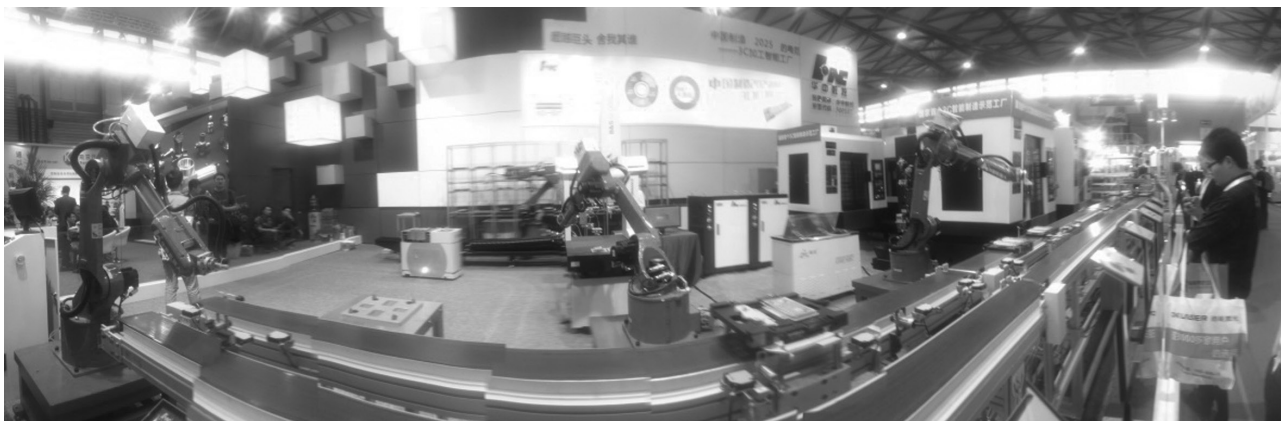


图13 3C加工智能工厂展示

此生产线分为几个单元：

(1) 1拖4CNC加工单元

设备由1台机器人实现对4台CNC加工上下料，前面两个机台加工产品的正面工序，然后机器人夹手把正面加工好的成品取出后通过机器人夹手再自动削面放到后面2台CNC机台进行反面工序的加工。加工完成后，放回输送线上的料盘内。

(2) 数字化体仓库

由立体仓库和仓库机器人组成，一共33个仓位分3层。仓库每个仓位都有自感应器，用于检测仓位是否有料盘，仓库机器人沿导轨运动，从仓库内取放料盘。此数字化立体仓库整合了机器人上下料、机器人夹具以及机器人自动化线上的整体控制，以达到自动上下料目的，可以调整各项参数，带有记忆功能，且有故障警示以及系统参数显示功能。

(3) 基于RFID的数字化自动流水线

数字化自动流水线由坯料输送线、成品输送线、RFID系统、挡料机构、顶升机构、料盘转移机构等部分组成，保障钻攻中心、清洗机、视觉检测等物料流通的需求。使用RFID系统在线实时跟踪物料信息，实现物料的定点投送及混流生产。

(4) 超声波清洗机

机器人把CNC加工单元加工好的成品放入清洗机内部工装板上，清洗机把工件下沉、盖子合上后，清洗机启动清洗程序开始对工件进行表面油污和切削清洗、吹干，为下一道工序或检测做好准备。

(5) 自动检测单元

机器人把加工好的成品放入三坐标工作台的冶具上，三坐标收到有料信号后，启动三坐标测量机对工件进行形位公差检验和测量，判断该工件的误差是不是

在公差范围之内，再把测量出来的数据传输到总控制系统的数据库内。

(6) AGV小车

AGV小车作为物料运输的载体，可通过长距离送料和收料，实现物料的有效配送和成品收回。在控制系统的统一指挥下，组成一个柔性化的自动搬运。用无线网络通信系统来实现AGV车的调度与生产物料系统(MES)。

目前，智能手机已进入市场普及阶段，市场竞争焦点也已从内部性能创新转移到外观设计创新，最明显的体现是“核”战升级步伐有所减慢，而金属外壳的设计则逐渐成为外观创新的一个重要的发展方向。从3C行业的发展趋势来看，外观革新的首要途径是机壳的金属化。相对于平板及笔电等终端设备，手机中的金属机壳比例还比较低，随着无线通信屏蔽问题的逐渐解决，未来金属机壳在手机中的应用将具更大的潜力与空间。

华中数控敏锐地捕捉到3C行业加工市场发展动态，利用其自主开发的高速、高精度、高可靠的H8系列数控系统优势，通过与珠三角地区钻工中心装备制造商的密切合作，成功打入前景广阔的东莞3C市场。3C行业用户对手机金属机壳加工的要求在于获得加工表面高光洁度和精度，需要机床连续运转不停机，对机床的可靠性要求极高，最关键的是高速通过拐角又不能产生振动。华中数控针对用户这一特定需求，派出工程技术人员来到用户加工现场，与用户一起联合攻关，经过反复测试，不断优化加工软件算法，同时配合华中数控最新研发的LDD伺服电机，加减速性能提高了1.5倍，最高转速达到4500r/min，一举攻克了3C加工技术上的难点，获得用户对国产数控系统的高度信任。

6. 大连机床

大连机床此次展出的是DZHX001卧式加工中心生产线，这条生产线也是长安汽车发动机缸盖柔性生产线的一部分，能实现多品种缸盖零件的混流轮番生产，完成汽车发动机缸盖从毛坯到成品包括粗、精加工在内的全部加工内容，高精度、高效率、高柔性，智能化与自动控制相结合。生产线加工设备为高速、精密卧式加工中心单元（HDL-50），工件输送采用桁架机械手自动上下料，生产线年产汽车发动机缸盖可达20万件，生产节拍 ≤ 1.2 分钟，工序能力指数CPK值 ≥ 1.33 ，整线技术指标达到国际先进水平。



图14 DZHX001卧式加工中心生产线

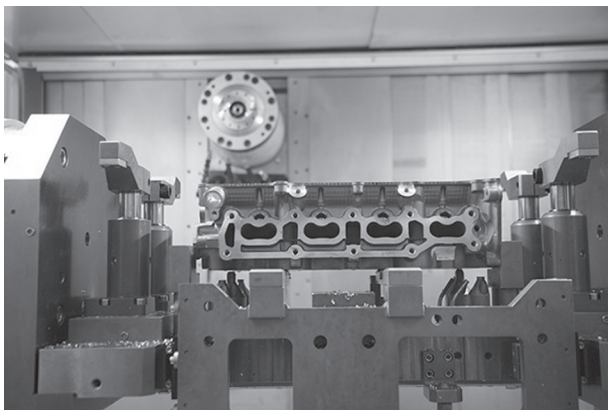


图15 正在加工的发动机缸盖

HDL50主机：首次出展的新一代卧式三坐标加工中心单元，数控系统采用FANUC 31i系统，机床坚稳持久的刚性主结构，经由工程力学的反复仿真与优化，设计合理，结构稳定可靠，达到了刚性倍增而质量精简的工程需求。三向进给系统采用了高速滚珠丝杠、大电机驱动等先进技术，配合高品质的直线滚动导轨的应用，使得本机床具有高速度、高效率、高精度的一流品质。该机床可广泛适用于板类、盘类、箱体类、壳体类以及

精密零件的加工，零件一次装夹后可加工完成铣、镗、钻、扩、铰、攻丝等多种工序，既适用于工序集中零件的多品种中小批量加工，又适于组成柔性加工自动线，用于各类机械零部件的大批量生产，尤其适用于汽车发动机行业。



图16 桁架机械手自动上下料

在国际机床业巨星云集的背景下，大连机床代表中国机床的尖端力量，携工业机器人、DMTG-a数控系统和系列化的设备、智能生产线、汽车行业专用设备、钻攻中心、立卧式加工中心、车铣中心、数控机床等尖端技术精彩亮相，全面展示了其“智能化时代制造专家”时代风貌。

7. 昆明机床

昆明机床此次展出的是FML800柔性制造单元，是昆明机床专为汽车领域用户生产制造的。FML800智能制造单元以工作台宽度为800mm的双工位精密卧式加工中心KHA80/2为基础，配以1台自动传输线、20个工位的双层立体仓储库和上、下料装卸站组成的智能制造单元。

该智能制造单元系统由计算机实现自动控制，能对加工和运输过程汇总所需各种信息自动采集、处理、反馈，并通过工业计算机或其他控制装置（液压、气压装置等），对加工单元（机床）及传输设备（传输小车）实行分级控制的系统，完成对加工单元和物流系统的自动控制和作业协调，可实现主机不停机，并完成工件的装夹及上、下料工序，满足多品种、变批量精密箱体类、盘类、杂件类、模具类零件的加工。

该智能制造单元集高刚性、高速性、高效性于一身。机床独特的设计可有效提高机床的整体刚度，确保机床的运动精度和强力切削性能；60m/min的快速移动速度（X、Y、Z）、 $1g$ （ $9.8m/s^2$ ）的加速度，配备双托盘交换站，极大地提高了零件的生产效率，降低产品成本，并有效地提高批量零件的加工精度，可使用户获得较好的经济效益。



三、柔性生产线未来发展趋势

随着科学技术的发展，人类对产品的功能与质量的要求越来越高，产品更新换代的周期越来越短，产品的复杂程度也随之增高，传统的大批量生产方式受到了挑战。这种挑战不仅对中小企业形成了威胁，而且也困扰着国有大中型企业。因为，在大批量生产方式中，柔性和生产率是相互矛盾的。众所周知，只有品种单一、批量大、设备专用、工艺稳定、效率高，才能构成规模经济效益；反之，多品种、小批量生产，设备的专用性低，在加工形式相似的情况下，频繁地调整工夹具，工艺稳定难度增大，生产效率势必受到影响。为了

同时提高制造工业的柔性和生产效率，使之在保证产品质量的前提下，缩短产品生产周期，降低产品成本，最终使中小批量生产能与大批量生产抗衡，柔性自动化系统便应运而生。

未来竞争的核心不是商品也不是商家，而是消费者，只有满足消费者的个性化需求才能留住消费者。今年年初，总理在政府工作报告中指出，努力改善产品和服务供给。鼓励企业开展个性化定制、柔性化生产、培育精益求精的工匠精神，增品种、提品质、创品牌。

所谓“个性化定制，柔性化生产”，就是通过互联网实行“预售”模式，在生产商品之前，企业先发布供应信息，接受消费者的个性化定制，接到客户的订单后，再安排生产加工。这对于企业和消费者来说，都是双赢的模式。

个性化定制完全打破了库存，是真正的消费者交了钱我们再生产，厂家根据消费者的需求来满足，按需生产的。所以品牌运作成本远远降低，消费者可以用相对便宜的价格，买到物美价廉的商品。现在企业不仅实现了自身的成功转型，还打造出一套柔性生产的整体解决方案。未来企业的目标是成为整体解决方案提供商，来帮助更多的中小企业实现转型升级。□

上接第62页



本机床配备左、右垂直刀架，用西门子828D数控系统实现X、Z两轴联动，主传动最高转速100r/min，工作台端径跳0.003mm，刀架快速进给速度10000mm/min，主要用于风电轴承内、外环的全工序，高精度的硬车切

削。以车代磨，效率可以提高三倍。工作台采用两档无级变速箱，性能稳定可靠。工作台采用闭式全滚动导轨，配置智能化工厂需求，具有高速、高稳定性、高精度保持性、免维护的特点。

三、结语

总之，借助展会我们即可以看到自己的优势又能找出差距，取长补短，以更快的速度从“能做”变为“做好”。现在的市场要求国内企业不是什么产品都生产，什么产品都知名，而是国内各生产厂家应该都有自己的知名产品，通过专注地搞好自己的特色产品，靠质量、靠信誉、靠技术占领市场。希望能够通过鼓励培育自主品牌、支持技术创新和优化结构，则有可能提高技术控制力、品牌控制力和结构竞争力，从而会形成世界知名品牌和无形资产效应。□

从CCMT2016看机床智能制造

上海机床工具集团有限公司

徐正平

CCMT2016中国数控机床展览会于4月11~15在上海新国际展览中心举行。来自20多个国家的1100多家展商参加了这次盛会。值得指出的是，这次展会面积达12万平方米，同比增长20%；观众59101人次，同比增长5%。

当今世界经济形势低迷，制造业也不景气，可这次机床展居然规模扩大，人气也很兴旺，因为强国强军离不开工作母机；然而吸引观众目光的靓点，其主线条便是智能制造。

一、智能网络制造

炒得沸沸扬扬的德国工业4.0，其核心优势便是智能（网络、信息）物理系统CPS（Cyber-Physical Systems）。它依仗了大数据、网络和云计算，将计算、通信和控制这三者结合于一体，在机床制造领域也硕果累累。

当今三大机床巨头，这次均展出了他们的网络智能技术。DMG MORI的CELOS，可帮助用户实现从构思到成品的全方位加工需求。机床能将所有与生产相关信息，都集成在一个加工任务包内，并立即显示在“任务管理器”中。加工任务单所需的所有文档、数据和信息都用结构化方式进行管理，因此这些数据也可在以后的加工中或重复订单中被快速提取。

沈阳机床的i5是由沈阳机床集团自主研发的具有完全自主知识产权的智能化系统。该系统集成了运动控制技术、计算机技术、网络技术和信息技术等，为用户提供操作简单、兼容性强、可靠性高的智能化数控产品。

日本MAZAK这次展出的重点当属顺畅加工SMOOTH

TECNOLYGE。山崎中国区的单总再三与我强调，这是一种系统技术，内容包括五轴复合加工技术，高速、高精度技术，智能化技术，网络技术，自动化柔性生产线，环境保护及人体工程设计等七个方面，从技术到管理几乎至臻至美，而Smooth X等仅是各款智能数控系统。



MAZAK顺畅加工

二、智能数控系统

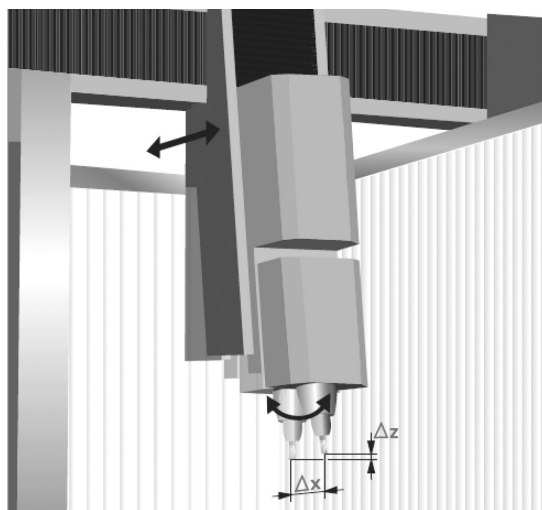
有人认为，在当今互联网+时代，若要称得上智能数控机床，首先控制系统必须是智能的，传统的系统已跟不上潮流了。

西门子当然称得上是数控系统的领军人物之一，他们不仅研制新系统，并且与企业联手解决个案，例如为DMG MORI开发空间曲面三维插补、为KUKA机器人提供直接一体化控制技术等等。

海德汉这次介绍的几款智能系统功能也倍受瞩目，如DCM - 动态碰撞监测。通常在5轴加工的复杂运动及高速加工运动时，碰撞监测功能很有意义的。这种情况时，机床操作人员可以用TNC的DCM（动态碰撞监测）功能。一旦有碰撞危险，数控系统将立即中断加工，因此能提高机床和操作人员的安全性，防止损坏机床，避免代价高昂的停机损失，使无人值守换班生产更安全、更可靠。

DP-动态高精功能是由一系列有效减小机床动态误差的海德汉数控系统功能组成的，它可提高机床动态性能，提高刀具中心点位置的精度，使用户可以根据机床机龄、负载和加工位置所允许的最大理论值进行铣削加工，而且不需要对机床结构进行任何改造。

CTC - 通过关联轴补偿位置误差功能。选用大加速度加工时，机床结构势必受力加大。这些作用力可导致机床部件弹性变形，因此导致刀具中心点（TCP）偏离位置。除了轴向的变形，机械连接轴的大加速运动也导致机床轴在与加速度方向垂直的方向的变形。如果机床轴的受力点不在重心线上，制动期间和加速期间将造成机床轴倾斜，这时这个问题更加突出。CTC伺服控制选装功能（关联轴补偿）就可以补偿这个与加速度有关的误差，避免其对工件表面质量和精度造成负面影响。



海德汉CTC功能

可喜的是，国产华中数控如今也实现了跨越式发展，陈吉红董事长经多方调研，在吃透了CPS物理系统原理的基础上，成功开发了“华中8型”智能化数控系统，在电子信息产品（3C）制造领域内实现规模化应用。



华中8型

“华中8型”基于云计算、大数据、CPS等单元技术，利用控制信息、传感信息、网络信息，实现了从数控设备的运行、加工、操作和编程等环节的智能化，开发了智能管理、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、云端工厂等超越国外的原创性的智能化软件，并在武汉建立了“数控加工大数据中心”，通过无线网络监控用户企业车间生产线的相关数据，实现华中8型数控系统的远程监控、加工优化、健康保障等智能化功能。华中数控由此迈出了向服务型制造业转型升级的步伐。

三、智能机床功能

为迎合用户的特殊加工需求，机床制造商会将标准配置的数控系统进行二次开发。在N3-404展台，霍夫曼（上海）公司展出的摆线切削技术十分引人注目。在通常的铣削加工中，如果使用立铣刀，那么切削宽度就是铣刀的直径D，刀具走的路径是直线。而所谓摆线铣削，是铣刀在切削过程中，刀具不仅是走直线，同时还要走定圆或椭圆复合运动，这样切削的啮合弧就大了，因此随着啮合比的减小，刀具的阻力与磨损就减小，所以铣削的速度可加快切削力减小，刀具可切得更深，铣削范围也就更宽。

这种切削工艺创新，使得铣削变得更高效，特别适宜对高硬材料零件、不锈钢以及高超合金等零件加工。当然，智能切削需要卓越的高档软件予以支撑，以力求确保刀具每齿切削量为恒值。该成果是霍夫曼与海德汉、SolidCAM以及HURCO等公司联合研制而成的。

日本牧野MAKINO的a40卧式加工中心,是为解决铝及铝合金压铸行业特殊需求而研发的。考虑到往往加工此类零件待机时间要占据50%,因此他们采取ROI智能设计,即采用智能惯量控制,让机床定移动加快,以整体缩短非切削时间,从而提高生产力。

ROI智能设计同时也引入在驱动工作台Z轴和回转工作台B轴,能自动估算工件重量,然后优化线性加速度或旋转加速度,以实现最佳的定位或旋转时间,特别在重量较轻时会采用较高的加加速度。

先进的智能运动控制,实现了进给轴移动的快速、敏捷,最小化特征间的线性定位时间,其达到最大快速速度比市场上同类产品快1/3。而智能钻孔功能更是优化路径,缩短圆弧间的移动,始终保持最快的移动速度。

BTS可视化刀具破损检测功能可以实时捕获的刀具影像,一旦发现刀具破损立即自动停止加工。该检测方式为非接触式,仅需0.1s,比接触式探头检测快0.6s。

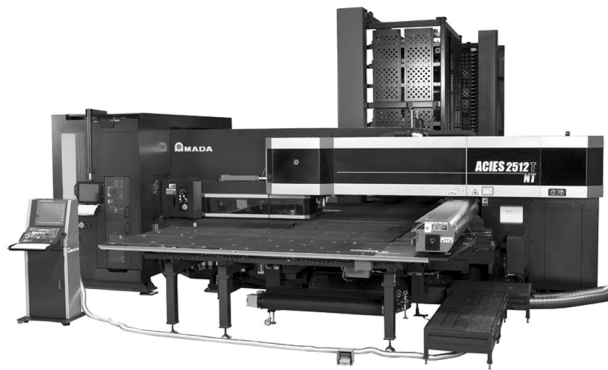
这种智能化机床功能,同样也反映在金属成形机床之中,天田AMADA很早就意识到软件、网络的重要性,一直通过提供各种软件来适应时代的要求,他们尤其在开发智能化软件方面下了不少功夫,具体反映在:

①配置智能化。天田不仅对冲切模具ID化,还对折弯模具也ID化,并将工厂内的模具管理可视化,从而大幅减少配置操作。此外,通过利用折弯加工机的板厚检测系统,能自动检测材料特性,同时采用角度传感器,故无需进行试折弯。

②加工智能化。天田新开发了独创的SEM钣金加工模型。该模型全部保留钣金加工所需的加工属性、加工工序,可实现加工最优化。根据该模型定义的加工方法,现场的AMNC加工机可选择最优加工条件、模具及加工顺序。

③维护智能化。利用AMNC收集各加工机将进行何种工序加工、何时进行等定量信息。根据上述信息,可构建使用云环境始终置于服务部门监视之下的体系。此外,异常信息作为报警信息,向客户及AMADA服务部门发出通知。这样,客户可完全放心地使用AMADA的加工机床。

④操作智能化。随着配置及加工的智能化,操作的智能化有了更大的进展。作为操作智能化的最终目标,天田追求的是“One Push Go”,即现场操作只需1个“执行(Go)”按钮即可进行加工的操作智能化。



ACIES2512T智能钣金加工系统

四、智能机床附件

在金切机床领域,机床、刀具和夹具是三大要素。德国几家专业夹盘制造商的展品是值得一提的。如HWR公司的InoFlex系列四爪浮动定心卡盘,由于夹具能自动校准零件,这就为联机实行高效智能化成为可能。一家名为Schwarzer公司,由于采用了这种四爪浮动定心卡盘,甚至做到了不用更换卡爪,即可实现圆形零件和方形零件的夹持转换,并在很大程度上减小了零件的变形。

德国LANG牌咬合式夹持技术,可以使夹紧无需任何止位,并以Makro.Grip定心虎钳的紧凑结构为五轴加工创造最大效益。

LANG公司还开发了一个Eco Compact 20自动化上下料装置,整机在很小的占地面积下可以存储20个托盘,通过机床自动门或侧面自动窗口连续向机床送料和收回已加工完的产品,有多种安装方式可选,以适合用户车间的自动化生产线机床布局,最大限度地节省空间。

两轴联动摇篮式回转工作台,是5轴联动加工中心最常用的附件,烟台环球为了使企业转型升级并满足市场需求,他们研制成功了具有自主知识产权的TK64320两轴摇篮式直驱数控转台,这次并获得了“春燕奖”。

本转台采用闭环控制,能实时监测机械部分位置误差和速度误差,并及时反馈给数控系统,以确保加工精度和联动插补精度。本转台还采用循环水冷却电机,里面有若干个温度传感器,可实时监测电机温度和冷却水温度,由于确保电机的正常运转和水温恒定,故而可减少由于温度的变化造成的机械部件的热变形,所以加工精度高、零件一致性好。



烟台环球两轴直驱转台

有趣的是，在智能技术日新月异的今天，连工具柜也是智能型的。德国霍夫曼刀具这次展出了一种GARANT TOOL 24 Smartline系统，这是一种具有自动分发功能的工具柜系统，根据“即插即用”原则，能按需扩容，最多可叠加至90层的抽屉柜。它通过网络接口与公司网络相联，也可与ERP系统相联，并可管理外部储存地点。柜子可建立自定义的软件包，使存取工具时间大为缩短。

所谓智能，即工作人员可先设定一个最小库存量，当刀具消耗到一定程度后，管理系统就会发出采购新刀具的指令。而每到年度，机柜能自动盘点，不必人工对账。机柜还可自动设置修磨后的刀具先使用指令，不与新刀混淆。如果有工具借出，也可追溯，记录表述得清清楚楚。

五、机床智能监控

N-311德国Motroni展台，观众始终络绎不绝，因为他们展出的智能监控系统，正是去年米兰EMO展红极一时的展品。

该公司的斯佩拉（Spectra）全方位过程监测系统，不仅可以利用机床本身的数字驱动数据DDD（Digital Drive Data）来进行过程监控和优化，还可结合功率传感器、扭矩传感器、声波传感器和应力传感器等各类传感器，精准识别刀具磨损、断裂、缺失等现象，并且也可实施对撞机与振动过载的监控保护，该系统甚至能识别直径为 $\Phi 1\text{mm}$ 的钻头上的细微破损。

作为简易版的机床保护与诊断系统，普锐斯（PulseNG）系列产品的性能也值得一提。其所配置的测振三轴加速度传感器在一秒内能采集3200多个测量

数据，自带内置温感计，并且抗震、防污、稳定性高。普锐斯系统又分移动版和固定版。移动版也是该公司的一大亮点，其特点是拆装方便，适用多台机床，可快速进行机器状态及故障的诊断、识别机器部件的磨损、优化加工参数，如同机器的听诊器，是维修检验的理想帮手。固定版则只能嵌入一台机床，进行全自动的撞机和振动过载保护，响应时间不超过1ms，如同机器的安全气囊。经加以对应的PLC调试后，还可增加机床自我诊断功能。普锐斯系统能实时对测量信号进行3维快速傅立叶转换（FFT），测量精度达0.01m/s²。该系统还具备记录仪功能，能记录加工过程中所有异常事件。所记录的数据不仅可以供离线分析，还能通过外接通讯系统全球调取。

六、结语

展会之大、展品之精，笔者只能走马观花，挂一漏万予以介绍，更鉴于水平有限文中谬误肯定不少。而且在当今，究竟什么是智能，这个确切定义还在探索，不过在新工业革命时代，智能制造肯定是制造业的一个发展方向。□

行业资讯

汉川机床技工在省级职业技能大赛中夺冠

8月18日下午，为期三天的“2016年陕西省机械冶金建材产业职工职业技能大赛”在古城西安落下帷幕。汉川数控机床股份公司代表队喜获“加工中心团体第一名”殊荣，公司加工中心操作工王增喜获“加工中心个人第二名”。

汉川数控机床股份公司是国家精密数控机床的重要生产基地，公司研制生产的数控铣、加工中心等产品受到用户青睐。近年来，公司全面加强技能人才队伍建设，加快培养数量充足、结构合理、素质优良、技艺精湛的技能人才队伍，组织职工积极参加各类职业技能竞赛，加强高技能人才的培养选拔，促进优秀技能人才脱颖而出，为推动公司战略转型升级、产品跃上中高端水平提供了强大的人力资源保障和支撑。

（张建恒）

高效、先进多工位级进模、多工位传递的特殊功能与合理应用

北京东方电子集团模具厂

陈炎嗣

现代模具工业中，多工位级进模、多工位传递模都是一种高效率、高精度、技术密集型模具的典型代表。也是冲压模具的发展方向之一。

冲模的种类很多，如按工序组合分有：单工序模和多工序模，多工序模又可分为复合模和级进模；按冲模的功效分：普通冲模和高效冲模。高效冲模可分为复合模、多工位级进模、多工位传递模、自动弯曲机模具等。这四种冲模一般都比较精密，所完成的工序多，并且能实现冲压自动化生产，生产效率高，功效突出，所以在现代化大生产中起着重要的作用，应用越来越广。本文就多工位级进模和多工位传递模进行解读，与同行共同切磋、认识并合理应用。

其动作特征是：在副模具内，沿被冲压材料的直线送进方向，具有两个或两个以上多工位，并在压力机的一次行程中，在不同的工位上完成至少两道或两道以上多个冲压工序，压力机每冲压一次，即可获得一个完整的制件。

冲压用材料为事先加工成一定宽度的成卷长带料，一般由设备或附设的送料机构自动送入模具，经连续、等距离地送进冲压，自动完成制件所需的全部冲压工序后得到成品零件，不再加工。

在一副多工位级进模中，各工位按顺序关联，完成不同的加工，并在压力机一次行程中完成，诸如弯曲、拉深、成形、翻孔、攻螺纹及叠铆等工序。由于冲压件各不相同，所要完成的冲压工序和工位因数件而异，也各不相同。一般说来，对于小型件，无论冲压件形状怎样复杂，冲压工序怎样的多，均可以用一副多工位级进模冲制完成。对于批量大的，薄料小型件特别适宜采用精密、多工位级进模加工。

1. 功能特点

(1) 冲模中生产率最高。级进模是连续冲压的多工序冲模，在一副模具内可以完成冲裁、弯曲、成形、拉深等多道工序。仅用一台压力机可完成从板料到成品的各种冲压过程，免去了用单工序模的周转两次冲压的定位环节，显著提高了生产率和设备利用率等。

由于排样采用多排，一次冲压可以出多件。采用高速冲压（目前已有2500次/min，常用700~800次/min，连续拉深100次/min左右），每分钟冲次比普通冲压高出十多倍，生产率大大提高。

(2) 可实现自动化冲压。级进模利用卷料或带料经开卷机——矫平机——弛张或控制器——送料器——压力机和模具——制件收集器——废料或载体切断、收卷等，在调整好的情况下可无人自动生产，一旦冲压过程异常，由于模具上设有安全监测保护装置，设备会自动停机，故能实现自动化冲压生产。

(3) 模具寿命长。采用级进模冲压时，可以将制复杂的外形或内形加以分解，不必集中在一个工位，因此可以解决复合模冲压中的“最小壁厚”问题，若强度不足可设空位，从而简化凸模和凹模的刃口形状，且提高其强度和刚度，寿命也大大提高。

(4) 操作安全。多工位级进模有使用条料的，一般是手工送料；有使用卷料的，一般是自动送料。不论是手工送料，还是自动送料，操作者的手都不需进入冲压危险区，因此操作安全。

(5) 结构复杂、模具设计制造周期长、成本高。多工位级进模的结构随冲件的复杂程度而定，设计模具

结构时要考虑的内容比任何模具都多，模具的制造随着工位数的增加，相应要加工的模具零件也多了，其中工作零件的精加工都要采用高精度设备（例如数控坐标磨、光学曲线磨、慢走丝线切割机床等），不仅加工周期长，而且工时费比普通加工高许多，所以模具成本较高，装配、调试、维修技术要求也高。

（6）制件的形状与尺寸大小适当。当制件的料厚>5mm，外形尺寸>250mm时，不仅冲压力大，而且模具的结构尺寸大，故不适宜采用级进模。

（7）模具大小与压力机的合理匹配。多工位级进模的外形尺寸一般较大，模具的总尺寸和冲压力适用于生产车间现有的压力机大小，必须和压力机的相关参数匹配。

2. 动作特征

多工位传递模具简称传递模具。它是在一台有多个（如7~14个）工位的压力机上，装有相应数量（根据工序的安排工位数可以不用满）的近似单工序模具，可连续自动地进行落料、拉深、冲孔（包括侧冲孔）、翻边、切边、弯曲、整修、攻螺纹等工作。冲压过程中，落料工序，由卷料通过纵向自动送料装置，靠材料的载体运行完成落料外，其他工序，冲件为单个半成品工序件的送进，靠多工位压力机台面上的机械手夹持装置，自动等距离传递。模具在压力机上部滑块上下往复运动下，实现连续自动冲压工作。

滑块的行程数就是每分钟生产的冲压件数量。

3. 功能特点

该模具具有常规多工位级进模的功能，但又有与多工位级进模不同地方：多工位传递模具的每一个工位，独立地装有上下模，并且能各自调整闭合高度，而多工位级进模具则将各个工位常常分布在一块模板上，上下模基本上都装在同一个模架上。多工位级进模具比较完整，而多工位传递模具不用时比较分散。此外，冲压过程中半成品的传递方式也不同，多工位传递模具半成品分离于条料载体，半成品的传递靠机械手；而多工位级进模具的半成品与条料载体在一起，半成品的传递跟着条料送进。一般情况下，制件在最后工位才从条料载体上被分离出来。

4. 合理应用

多工位传递模具适用于电子、仪表行业中小型、精密、复杂、大批量生产的拉深类壳体制作，如电视机显像管子枪零件、收录机磁头屏蔽罩、变压器、电表、微电机和电池外壳等，也适用于汽车行业的中小冲压成形件，如汽车油箱、轮胎毂等。此外应有相应的多工位冲压设备。

5. 两种高效模具的使用特点比较

多工位级进模具、多工位传递模具的使用特点比较见附表。□

多工位级进模具、多工位传递模具的使用特点比较表

序号	项目	多工位级进模	多工位传递模
1	对冲压材料外形的总体要求	要求严格，应采用较长的条料、卷料或带料，料宽一致性要很好	不太严，但仍需用长的条料、卷料、保持自动送料
	①材料性质	金属材料	金属材料
	②料宽	较严（不能有镰刀弯）或严格控制	不严
	③料厚/mm	0.1~6	0.2~3
	④料长	越长越好（料与料之间不应有接头）	长一点比较好
2	材料利用率	不高	一般较高
3	制件形状尺寸	< 250mm	受机床工位中心距限制，落料直径（或长度）一般为1/2机床工位中心距尺寸
4	制件尺寸精度	中高（一般为IT10~IT13级）	中（一般为IT10~IT14级）
5	制件平整度	不平整，高质量要求需校平	冲裁件不平整，有弯曲现象
6	高速化的可能性与对冲压设备的要求	可能 可采用高速压力机，冲速高达400次/min以上，冲速高，行程小，冲速与行程成反比例。配有自动送料装置实现高速自动化	难 采用多工位压力机或普通压力机经改装成多工位压力机。有机械手送料机构
7	生产率	工位间为自动送料，可以自动排除冲件，生产效率高。当采用高速冲时，每分钟的冲次比其他模具均高时，生产效率为最高	工位间具有自动送料、机械手传送坯件、自动排除制件、废料吸除等，并有模具自动润滑，生产效率高。但生产率不如高速冲

序号	项目	多工位级进模	多工位传递模
8	冲压特征:	高(压力机在一次行程内,在一副模具的多个工位上同时可以完成多道冲压工序,原则上工序多少不受限制)	较高(压力机在一次行程内,在固定的几个工位上模具完成相应的冲压工序,即工序数会受工位数的限制)
	①冲压工序的组合程度	适合中小件、大批量生产	适合壳类小型拉深件、大批量生产
	②适用生产批量与特点	冲裁、弯曲、成形	拉深
	③最佳工序种类	翻不能、变更冲压方向可能	可能
	④翻转和变更冲压方向	可能	有空工位的情况下增加可能
	⑤增加工位数的可能性	原则上可以,但应有一定限度,否则模具十分复杂	应有一定限度
9	⑥复杂的弯曲加工	手送料或采用自动送料。工序件跟随条料、带料送进。在压力机的一次行程内,在一副模具的多个工位同时完成多道工序的加工	坯料切离后由机械手夹持自动送料。工序件(半成品)在多工位压力机各工位分别完成各工序。
	送料与完成工序的方式	高	较高
10	模具制造成本(造价)	结构复杂、制造和调试难度大,价格与工位 数成正比例上升 冲裁简单形状零件比复合模低	
11	模具制造难易程度	困难	不难
12	模具硬质合金料的应用	可以	可以
13	模具安装调整与操作	安装、操作简单,调整难些	多工位分别安装,模具较简单,调整稍难
14	模具修理、维护	比较困难(个别小凸模的更换由于结构设计 维修更换方便,使模具修理变得方便)	容易(多工位每副模具为独立结构,便于 维修、保养)
15	模具寿命	高	最高
16	应用的广泛程度	多(除高速冲压外,对压力机的要求不太 严,但行程最好都是可调式)	少(受没有多工位压力机和适用性的限制)

广告客户索引 | Advertisers Index

第十五届中国国际机床展览会

CIMT2017 front cover
 沈阳机床(集团)有限责任公司..... 广告号码36
 Shenyang Machine Tool (Group) Co., Ltd.....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

哈尔滨量具刃具集团有限公司

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
 埃克森美孚(中国)投资有限公司.....广告号码489
 Exxon Mobil (China) Investment Co., LtdP10
 台湾国际机床展.....广告号码501
 TMTS2016P11
 第26届台北国际机床展.....广告号码505
 TIMTOS.....P12
 2016中国(广州)国际机器人、智能装备及制造技术展览会.....广告号码507
 CHINA (GUANGZHOU) International Robot & Intelligent
 Manufacturing Exhibition..... 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
 马波斯(上海)商贸有限公司 广告号码414
 MARPOSS P19

卡车纵梁自动化生产工艺分析

机械工业第九设计研究院有限公司

方 赫 杜庆辉 李延春

纵梁生产工艺水平是影响卡车产品质量的重要因素。对国内某卡车纵梁滚压车间自动化生产情况进行了详细介绍，阐述了卡车纵梁自动化生产工艺及滚压、冲孔、等离子切割、抛丸、折弯、压合等工序成形方法与精度控制，对国内相关行业提高纵梁生产效率，提升纵梁产品质量水平起到了一定的指导作用。

1. 引言

卡车车架作为卡车组成的关键部件，在卡车运行过程中承载着复杂的力与力矩，因此卡车车架在卡车生产过程中占据着举足轻重的地位。纵梁是组成卡车车架的重要构件，其生产工艺制约着卡车的整体生产制造水平。近年来，由于国家建设发展的需要，中重型卡车需求量明显增长，汽车工厂逐渐向自动化、柔性化生产过度，因此，将自动化、柔性化生产工艺应用于卡车纵梁是现今卡车制造工艺的发展方向。

现国内某卡车纵梁滚压车间引进具有世界先进水平意大利STAM的滚压生产线，三面数控冲孔机，与国产打标机、等离子切割机，抛丸机，折弯机等组成自动化柔性纵梁生产线，满足产品多品种小批量生产需求，其生产工艺水平已达到国际先进地位。

2. 生产工艺分析

该纵梁滚压车间年生产纲领79 000辆份，采用三班制生产。纵梁生产原材料采用厚为5mm与8mm钢板，其中5mm钢板为加强板，8mm钢板为纵梁。钢板以卷料形式运入车间，经起重机吊运至卷料存放区。根据生产计划吊运不同厚度卷料至滚压机送料头，滚压成形后利用打标机进行打标，根据不同型号分别运至三面冲孔或腹面冲孔设备进行冲孔，冲孔工序后利用等离子切割机对不同型号纵梁与加强板进行切割，将切割后的板材利用抛丸机抛丸，去除表面氧化皮，最后进行折弯与压合工序，其中少数型号的纵梁不需要加强板，因此经折弯后直接运至存储区。

在整套生产流程中各工序之间均设有板材缓存区，自动化运输采用起重机与地面机械化运输系统，操作人员只需操作相关设备，进行指令控制发送，便可实现生产全过程的自动化。

(1) 滚压成形与打标

滚压是纵梁生产的首道工序，其生产质量直接影响后续工序对板材的加工精度。该工序引进意大利STAM公司制造的滚压生产线，负责完成卷料开卷、校平、切端头与滚压成形。滚压生产线如图1所示。

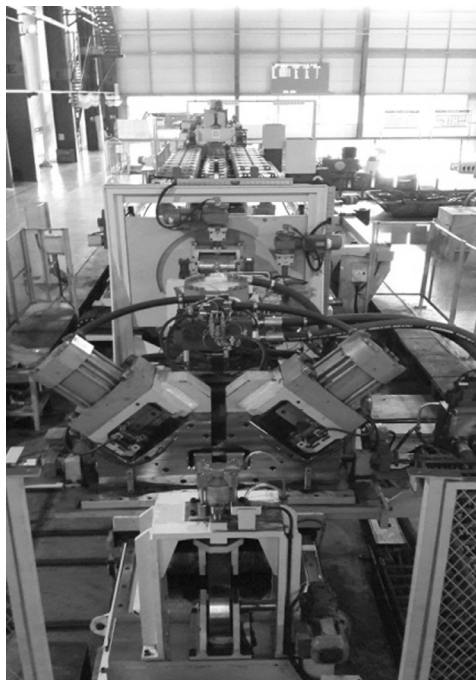


图1 意大利STAM滚压机

滚压成形后对纵梁进行检测,根据滚压工序卡对不同型号纵梁主要进行长度、翼面高度、翼面角度的检测,每批卷料只需检测前四件后两件,中间部分抽检1/10即可。检测合格的纵梁,利用地面机械化传输系统运送至通过式打标机进行打标,形成永久性标识。打标后纵梁经起重运至板材缓存区,等待后续工序加工。

(2) 冲孔与切割

冲孔采用比利时SOENEN公司制造的三面冲孔机(见图2)与国产腹面冲孔机组成的生产线进行加工制造,冲孔主要由三面冲设备完成。纵梁经起重吊运至冲孔机上料线,经红外识别纵梁标号后反馈至主控制系统,由主控制系统给出冲孔机打孔位置并进行冲孔,冲孔后由人工对卷料成形首末纵梁冲孔数量进行检测。



图2 三面冲设备

等离子切割采用国产等离子切割机(见图3)进行,在切割时喷嘴与板材相距一定距离,喷嘴处产生负电极,板材为正电极,由此板材与喷嘴形成导通的回路,产生高能量电火花对周边气体进行加热,其温度可达到上千度,达到板材熔点使板材迅速变成熔渣,后经压缩空气产生高速气流将熔渣吹走,由排风系统吸收至废料灌。在等离子切割时应注意控制喷头与板材间的距离,当距离过小时产生温度过高,会导致切割时切割面呈波浪形(见图4),影响加工精度。纵梁一般在端部进行切割,不同型号纵梁切割方式也不尽相同。



图3 等离子切割机

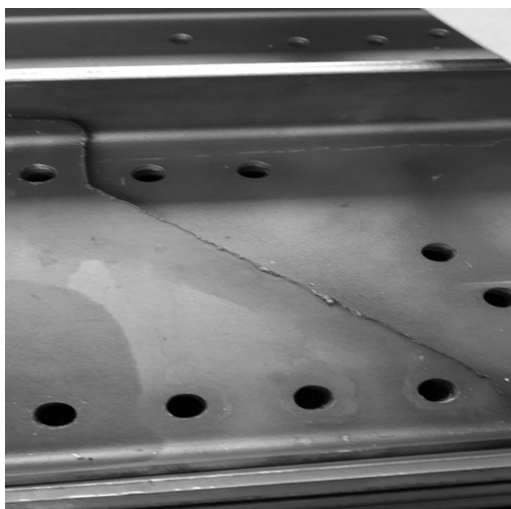


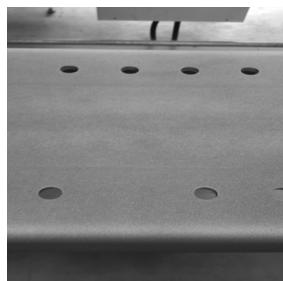
图4 切割面

(3) 抛丸、折弯与压合

利用国产抛丸机对冲孔后的板材进行抛丸处理,去除表面氧化皮。抛丸处理前后板材表面情况如图5所示。从图5b中可看出,经抛丸处理后板材表面光泽度明显提高,表面呈细小颗粒状分布。



(a) 抛丸处理前



(b) 抛丸处理后

图5 抛丸前后板材表面情况对比

抛丸后板材经起重机运至折弯机进行折弯，折弯机为国产设备，如图6所示。根据型号将板材折弯成相应角度与腹面落差后运至板材缓存区，对折弯后板材进行折弯角度与腹面落差检测以保证折弯质量。

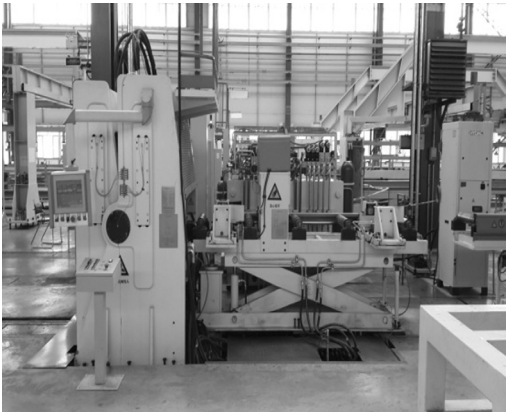


图6 折弯机

某些型号纵梁内部设有单层或双层加强板，因此需要压合工序。本车间压合工序主要是将纵梁经起重机吊运至输送带，经翻转系统使纵梁腹面内侧朝上，加强板由起重机吊运至纵梁正上方，缓慢落下后经人工压合，螺接后运至引孔与打磨处进行处理。将成形后的成品梁运至成品暂存区存放，至此纵梁生产结束，暂存区成品梁由卡车运至车架车间进行下一步装配。

(4) 产品性能介绍

经上述工序加工后，可按生产计划分别生产出单层结构、双层结构及三层结构纵梁，其中翼面孔纵梁占纵梁总量50%，所有内加强板翼面无孔，80%纵梁腹面有落差，需要折弯，纵梁最大屈服强度可达到900MPa。纵梁主要技术参数如附表所示。

多工位级进模具、多工位传递模具的使用特点比较表

技术参数	技术指标
翼面角度(°)	±0.7 (两端200mm范围内±1°)
腹面外开口宽度尺寸偏差/mm	A±0.5
翼面高度尺寸偏差/mm	±2
内圆角尺寸的偏差/mm	R±1
腹板纵向直线度偏差 (翼面平放测量)/mm	0.1%，在12m长范围内总直线度≤8
腹板平面度/mm	腹板D范围内不平度≤0.4
翼面纵向直线度偏差 (开口向下平放测量)/mm	0.1%，在12m长范围内总直线度≤4mm
定尺长度偏差/mm	0~3
最大扭曲挠度/mm	4
表面质量要求 (抛丸前)	无开裂、无起皱,切断口毛刺高度小于0.5mm
表面质量要求 (抛丸后)	表面除锈等级ASaz1/2~BSaz1/2 表面粗糙度≤5μ

3. 结语

该卡车纵梁滚压车间目前已全面实现自动化生产，车间采用一条滚压线打头，南北两侧打标机与五台冲孔线随后，紧接四台等离子切割机与两台抛丸机组成的切割抛丸线，最后是四台折弯机与两台压合机组成的折弯

压合线共同组成卡车纵梁自动化工艺生产线。各工序间均有技术人员进行相关精度检测，以确保纵梁生产质量。该车间在纵梁自动化柔性生产方面已达到国际先进水平。纵观世界卡车纵梁生产领域，自动化柔性生产及智能化控制已是未来卡车纵梁生产的发展趋势。□

参考文献

[1] 王永亮, 荣胜波. 卡车纵梁自动生产线物料跟踪系统的研究与实现[J]. 机床与液压, 2013, 41 (8) : 114-116.
[2] 宋拥政. 卡车纵梁新型生产线的种类及其应用[J]. 锻压装备与制造技术, 2006, 4 (6) : 14-19.
[3] 梁波, 张军, 崔红淼. 提高等离子切割机切割质量的方法[J]. 电焊机, 2009, 39 (011) : 85-87. MW20150820

分度转台的技术现状分析与亟待解决的技术难题

武汉智德立精工制造技术有限公司

王学新

分度转台、数控分度回转台、转矩电机、气动、气浮转台、液压转台作为机床的重要部件，是确保机床加工各种精密零件的核心装备之一，广泛应用于各种机械零件的加工。随着社会的进步，技术的发展以及高端装备制造新的市场需求，对机械零件的加工精度要求越来越高。现在转台技术领域最大的困惑就是转台的分度精度、同心度、平面度等各项精度怎样满足高精度机械零件的加工要求。这个问题也成为当前转台领域的技术难题。世界各国该领域的工程技术专家，思考设计了很多解决方案，但精度提高的效果均不尽人意。

如何解决转台的超高精度分度和精准定位，同时又满足精密机械零件在加工过程中确保转台不会产生角度位移和平面度、同心度误差，成为目前转台领域的世界性技术攻关难题。本文中，作者首先对目前全球各种转台在高精度分度和精准定位上的优缺点进行相关技术分析，而后在此基础上提出了自己的解决方案，供业内同仁参考。

一、蜗轮蜗杆传动转台分析

我们先从常规应用中最为广泛的蜗轮蜗杆传动转台进行分析：

(1) 目前最常用的转台其内部传动方式为蜗轮蜗杆传动。由于蜗轮和蜗杆的传动接触面为滑动摩擦，因此摩擦阻力大、传动效率低。由于蜗轮材质较软而蜗杆材质硬度大，所以蜗轮极易磨损，从而导致分度误差越来越大，再加上蜗轮齿的等分度误差（也就是公法线误差），导致分度误差，所以该型结构传动的转台分度精度不高。

另外，由于蜗轮和蜗杆只能啮合2.5~3个齿，且不能使蜗杆螺旋面的两面与蜗轮齿的两面同时紧密啮合，所以输出转矩不大，而且反向间隙过大的问题无法解决。所以容易导致该型转台在加工零件时产生较大的角度偏摆。为了有效控制加工零件时的角度偏摆，人们想到了用气动和油压刹车锁紧输出端的工作台，来克服加工零件时的刀具切削力，控制角度偏摆的产生。但在刹车锁紧时，由于转台本身的反向间隙大，且输出转矩小，所以刹车锁紧固然能增大静止转矩抗衡加工零件时的切削阻力，但在刹车锁紧时必然产生较大的角度位移，导致加工零件在定位时就已经产生了较大误差。

按照这个技术线路，人们试图通过包络蜗杆，蜗杆螺旋逐渐增厚（也就是变位蜗杆），或蜗杆径向偏心可调等来克服蜗轮磨损后的精度丢失，但结果仍然无法解决超高精密分度的问题。而且由于蜗轮和蜗杆材料的不同，其热胀系数的差异，引发长期使用导致的温度升高，从而使其分度精度也大大降低。

(2) 为了解决以上蜗轮蜗杆传动转台的先天技术不足问题，人们想到了通过鼠牙齿啮合的技术方案。其原理是通过将鼠牙齿圈固定在转台工作台底面，另一齿圈固定在转台箱体上通过蜗轮蜗杆带动抬起的工作台旋转分度，然后落下与固定在箱体上的齿圈进行上下齿圈啮合。这种结构的转台，其分度精度和重复精度都很高，也有足够的静止转矩抗衡加工刀具的切削阻力。但其最小分度只能是整数，且在工作台通过液压顶升，再旋转分度再落下的过程中，会产生工作台平面和中心轴轴心误差的技术问题，从而使装夹在工作台上的零件的基准面和轴心不能达到其精度要求。特别是多面箱体要求面与面上的孔的同心度要

求高时, 该型转台不能满足其精度要求。再就是该型转台在工作台顶升抬起, 再旋转分度再落下啮合上下齿圈时, 由于工作台再旋转分度时所产生的分度误差, 会导致上下齿圈啮合时的对齿偏离, 此时工作台和上齿圈一起落下时, 上齿圈和下齿圈会产生强行啮合、强行摩擦, 而齿面磨损导致其分度精度和重复精度降低。

该型工作台的优点是分度精度高, 且有足够的静止转矩克服加工时刀具的切削阻力, 缺点是不能满足任意分度的要求, 在分度过程中不能有效保证工作台基准面和主轴的同轴度。

(3) 通过对以上两种形式的转台分度精度和定位精度的分析, 我们可以看到其满足高精度零件的加工要求上存在先天不足。光学专家和数控专家想到了利用光栅闭环和计算机数字化处理来满足转台任意分度精度的技术问题。其实施方式无外两种: 一种是在常规蜗轮蜗杆传动机构的转台。输出主轴上加装圆形光栅, 通过计算机系统来实施高精度分度; 另一种是通过在力矩电机主轴上安装圆形光栅, 通过闭环反馈位置信号给计算机系统, 达到精准分度和定位。虽然这两种形式的解决方案都可达到分度和定位精度的超精准, 但这两种形式的解决方案仍然存在分度和重复定位精准后怎样克服刹车锁紧时, 其精度不发生改变的技术问题。由于其输出转矩小, 为克服刀具切削和振动阻力就必须通过分度和定位后气压或液压刹车来锁紧工作台或主轴, 但在锁紧时就会产生角度偏摆, 从而使原本通过光栅闭环系统得来的精度发生变化, 所以实际上还是降低了其精度。

另外, 光栅的安装和使用对转台本身的装配精度和使用环境要求非常高。例如转台在工作过程中自身会产生温升, 停机时温度会下降, 在温度下降的过程中空气中的水份就会带着灰尘逐渐冷凝在圆形光栅上, 从而使圆形光栅闭环的反馈信息产生较大的不确定性, 给系统分度和重复定位带来更大的误差, 最重要的是其精度丢失不可预见。那么, 有圆形光栅闭环系统的转矩电机情况会怎么样呢? 虽然转矩电机没有机械传动部分, 但其输出的转矩更小, 更要通过刹车锁紧来满足加工零件所需力矩要求, 同样会产生锁紧后角度偏差和光栅受冷凝水雾的影响, 使其各项精度降低。

因此, 用以上两种方案同样不能满足高精度零件的加工要求。要害问题就是光栅受到污染后, 其反馈的位置信息的错误信号不可预见, 这就会使加工零件的报废率高。

要解决目前转台高精度分度和定位的技术难题, 我们认为必须首先从机械传动上找到突破口, 并结合数控伺服系统才能解决当前的困扰。第一, 必须解决机械传动部分

的磨损问题。第二, 机械传动部分必须满足强大的输出转矩, 使其足以抗衡其加工零部件时的刀具切削和振动, 保证工作台不产生角度和平面及同心度的变动。第三, 机械传动部分的反向间隙必须尽可能小, 最好是零反向间隙。第四, 传动机构的啮合精度误差达 $0.003\text{mm}-0.005\text{mm}$ 内。通过长期大量的实践证明, 转台只有有效解决这些机械的技术难题, 再配合伺服数控系统, 才能既实现转台分度精度和重复定位精度超精密的要求, 又能满足高精度零件的加工需求。否则转台精度再高也只能用于检测, 而不能应用在实际的高精密加工中。

下面简要介绍作者所在公司是如何解决这些相关技术难题的。我们的解决方案是: 一种空间共轨传动技术及其传动装置的创新发明。

二、Wg系列回转台原理简介

Wg系列回转台采用两级传动, 总传动比为 $1:180$, 其传动机构为有别于传统蜗轮蜗杆的新型蜗轮蜗杆传动件(如图1所示)。新型蜗轮蜗杆传动机构运用轨道共轭原理, 蜗杆轨道与蜗轮上传动销运动轨迹共轭, 实现蜗杆轨道槽面与蜗轮传动销线-线接触, 两传动部件之间作用为滚动摩擦。

除了采用全新传动机构外, Wg系列回转台运用了自主设计的预紧处理, 以消除传动过程中存在的极小间隙。如图2所示, 对两根一级(以传动等级命名)新型蜗杆分别施加不同方向的旋转力矩, 通过一级新型蜗轮的传递, 使得作为一级新型蜗轮主轴的螺旋轨道呈轴对称的两根二级新型蜗杆旋转, 旋转方向相反。在两根二级新型蜗杆同时不同向旋转时, 蜗杆轨道槽面会与二级新型凸轮传动销紧密接触, 实现无间隙线-线接触滚动摩擦传动。预紧处理之后, 传动部件之间已无间隙, 锁紧刚性联轴器, 回转台即可使用。

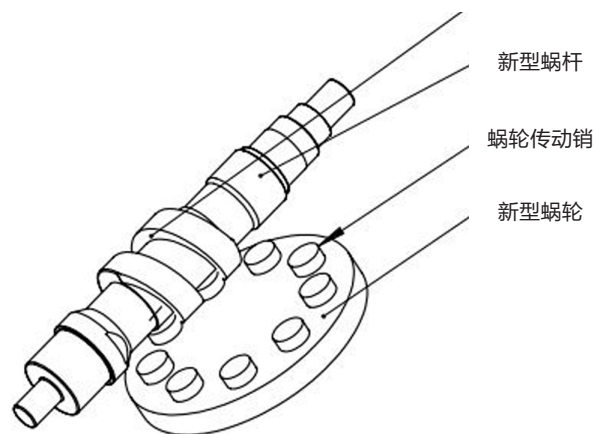


图1 新型蜗轮蜗杆传动件示意图

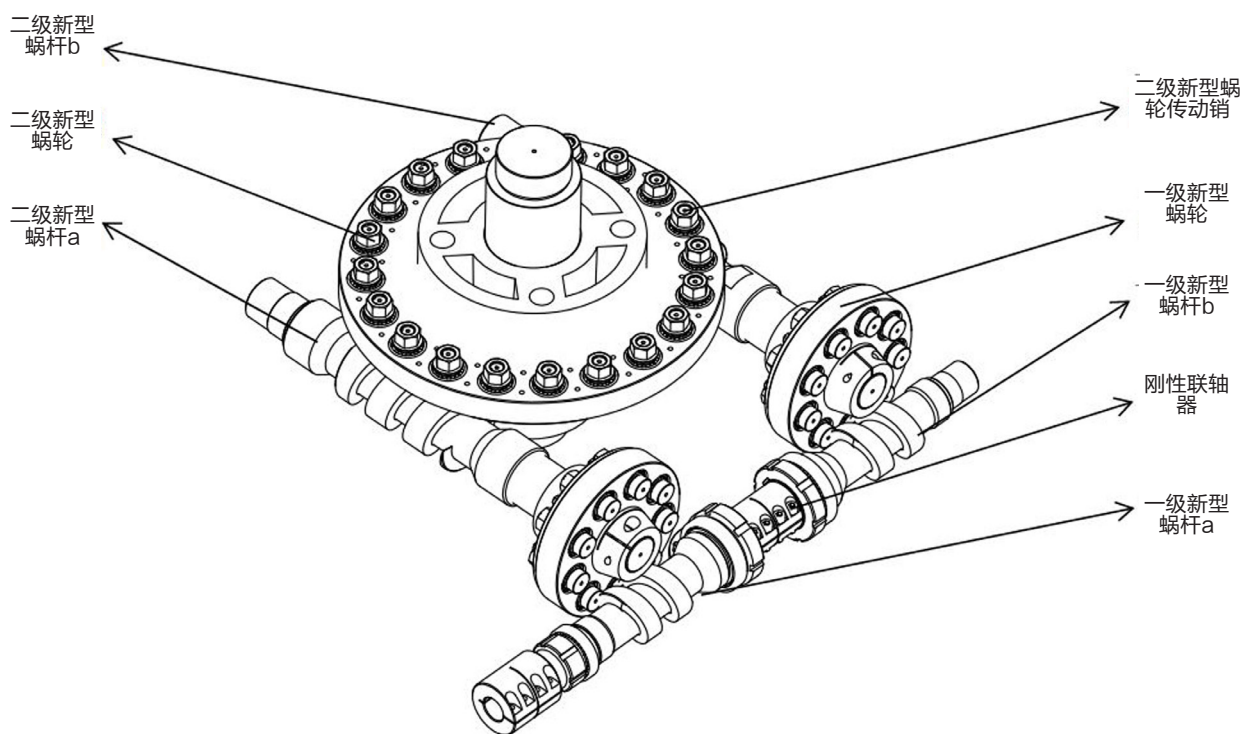


图2 Wg系列回转台内部传动结构示意图

三、Wg系列回转台技术优势论证

由于Wg系列回转台采用独特的传动机构、创新式的结构设计和预紧处理，其相较于传统蜗轮蜗杆回转台，具有以下几大优势：

(1) Wg系列回转台采用线-线接触的新型蜗轮蜗杆传动机构，通过二级传动，实现足够大的转矩平稳输出和静止转矩，使其足以克服零件加工时的切削力和振动力对工作台的角度和平面偏摆位移，从而保证零件的加工定位精准。由于新型蜗轮蜗杆传动机构为滚动摩擦，相较于传统传动机构的滑动摩擦，摩擦力可以小到忽略不计，因此其能耗极低，箱内油温升幅小，噪音小，转台效率高。

(2) Wg系列回转台不仅采用全新蜗轮蜗杆传动机构，摩擦为滚动摩擦，而且各配合传动部件采用相同材料，经过表面渗氮处理，受力处硬度一致，这样在很大程度上减少了摩擦带来的损耗，在大幅提高回转台使用寿命的同时，至少能保证回转台两年以上精度质量。

(3) Wg系列回转台采用独特的传动机构，创新式的结构设计，并通过自主设计的预紧方式处理之后，其最大性能优势为其超高精度。回转台采用了两级精确传动，预紧处理消除了传动过程中接触处存在的间隙，其重复定位精度 $\leq 2''$ ，回程误差达到 $2''$ ，一级产品分度误差 $2''$ 。

本公司三级精度产品已通过湖北省计量测试技术研究院精度质量认证。

(4) Wg系列回转台运用217绝对值编码器伺服电机作为动力输入。由于其传动比高，摩擦损失极小，蜗杆槽壁厚度大且同时与多个传动销深度啮合，因而Wg系列回转台相较于同类型产品，其输出转矩大，在零件精加工时完全不用刹车锁紧，承载力达到8吨(已通过试验证实)。

四、结语

以上技术解决方案所制造的Wg系列转台，不仅有效解决了转台领域的各项技术难题，且通过三年的长期使用验证，其各项精度保持基本不变，能充分满足大工件精密加工的需求。但其结构复杂、生产工艺难度大、成本高，制造小型号的转台难度大，是其不足之处。

本公司wg系列转台所标注的精度为纯机械精度，如果通过系通补偿则结果依次为：正负7秒的通过系通补偿可达正负3.5秒；正负5秒的通过系统补偿可达正负2.5秒；正负4秒和正负3秒的通过系统补偿都可达正负1.5秒。□

卧式铣镗床下滑座蜗轮传动机构的 装配工艺措施

汉川数控机床股份公司

晏昆 孙庆 王雷

卧式铣镗床作为高精度孔及端面加工的普通型机床，其在动力输入部件的经典设计结构和动力输出部件精密稳定的性能，确保了作为以机械传动为主的机床持久、可靠的精度保持性和便利、快捷的可维护性。

汉川数控机床股份公司是作为国内卧式铣镗床重点生产厂家，为了满足批量化生产的规模和产品种类的增加，保证每个装配环节工序的专一性，现采用了分序流水化作业的生产工艺流程，这样既提高了操作者的技能效率、减少了工艺设施的配备，更重要的是保证了关键零部件和机构的精度和可靠性。现对卧式铣镗床工作台部件沿床身纵向运动的主要驱动部件，下滑座蜗轮传动机构的装配工艺流程改进做一分析说明。

1. 装配条件与结构分析

在蜗轮与蜗杆传动机构中，基本的传动过程是蜗轮齿包络着蜗杆齿相互啮合。通常的装配过程是先装好蜗轮轴系，再装与之相配合的蜗杆轴系。而在卧式铣镗床的下滑座中，因传动结构的需要蜗杆被设计在一根长轴的中间部位，这样给装配带来的问题是按照常规方法和顺序装配已不可能实现，需采用倒装法——即先将较复杂的蜗杆轴系先装配在滑座的支承座上，然后将已装配好的蜗轮轴系部件安放在滑座的安装面并做相应调整使其与蜗杆做正确的啮合。

该部分的结构如图1所示。

采用倒装法对于蜗轮的装配有以下调整环节和要求：

(1) 要使蜗轮蜗杆形成正确的啮合关系，必须使蜗杆的轴心线与蜗轮的啮合面处于同一平面内，通过修整调整垫来完成；

(2) 保证蜗轮蜗杆啮合时的正确中心距，通过调整蜗轮轴系在鞍座上的位置来完成。

(3) 倒装法带来的问题是使后装配的蜗轮要有条件

装入，这样就必须将蜗轮啮合装入部分将五个齿加工铣平。(见图3)

(4) 批量化生产规模要求零件的互换性较高，包括一些非关键尺寸的一致性要好，这样可采取一些较简洁的测量方法来保证装配尺寸链的精度要求。

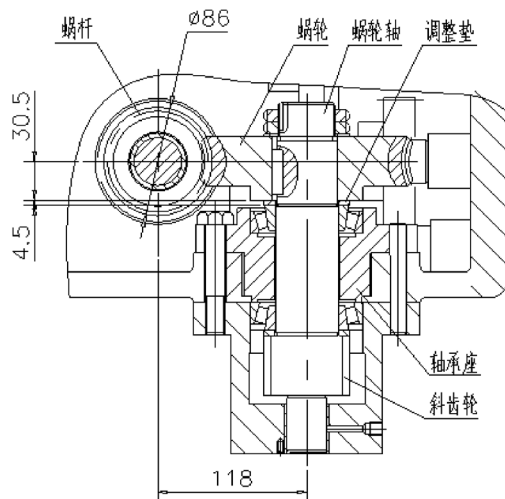


图 1

2. 装配尺寸链的分析

蜗轮蜗杆的正确啮合条件有二：正确的啮合平面和两轴间正确的中心距。

在蜗杆已装配完成的情况下，正确的啮合面是靠装配蜗轮时修配轴向尺寸的调整垫来保证的。

在批量化流水线作业现场，为了找到正确的啮合平面如果靠试装法反复拆装蜗轮来实现，一是效率太低，劳动强度大，二是易损伤零件，造成零件精度的丧失，故不适宜这种生产条件的要求。

经过对图1中蜗轮轴向尺寸链的分析可知：要得到正确的啮合平面，与之相关的有蜗轮的宽度尺寸和调整垫的厚度尺寸，而可用于修配的只有调整垫，故其尺寸是封闭环。

在对批量化装配的工艺和检测方法探索过程中, 为使其能方便快捷地得到封闭环的修配尺寸, 我们针对性的设计了如图2的工艺装备——测量角尺。

从图2中可看出该角尺在无需试装蜗轮的前提下用量块测量角尺A面与蜗杆顶圆(要求批量化零件加工时保证其一定的公差范围和一致性)上母线间距离就可知道调整垫需要修配的高度尺寸F, 而且该角尺在竖直方向的宽度尺寸兼顾控制两轴之间的中心距尺寸, 可谓“一尺两得”了。

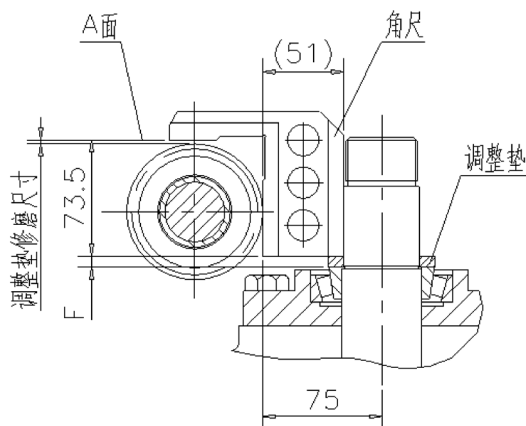


图2

3. 蜗轮装配的工艺及方法

在同批次该机构的装配中, 对第一台蜗轮装配后要进行精度验证, 即对蜗轮蜗杆副啮合旋转后检验它们的接触情况。蜗轮的具体装配工艺顺序如下:

(1) 用红丹粉均匀地涂在蜗轮齿面上, 将蜗轮相邻铣平的五齿半部齿廓与中心平面齿形在一致处做标记, 便于装配时确认蜗轮装入的准确位置。

(2) 在蜗轮轴上装入传动平键。

(3) 将蜗轮孔、轴配合部分端部装入, 使用如图3工装来进行, 旋转手柄将蜗轮逐步压入至蜗轮下端面与调整垫贴紧。

(4) 用工艺手柄摇动下滑座上蜗杆驱动蜗轮顺、逆各转动一整圈, 力量均匀感觉无死点, 达到装配工艺要求。

(5) 为确认蜗轮与蜗杆的啮合精度, 采用如图4工装拆出蜗轮, 查看其接触斑点, 因后续还要通过蜗轮的轴向对轴承进行预紧, 所以接触斑点应在蜗轮轮齿中部稍偏于蜗杆上部。若位置有偏差, 可再修磨调整垫以便达到要求。据实际装配测得数据, 修配量为0.1~0.25mm即可。

注意: 蜗轮装配即将到位过程中应多次旋转蜗杆进行啮合检查, 压入过程应循序渐进, 不可操之过急。

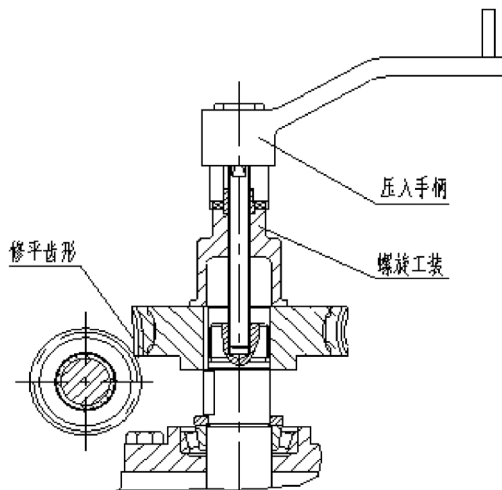


图3

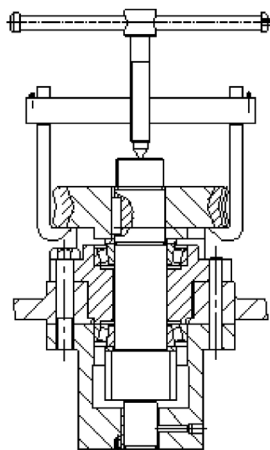


图4

在整个机构的装配过程中最终保证蜗杆与蜗轮的中心距也是关键所在。由于蜗杆中心位置已确定, 而蜗轮轴中心在设计结构上是可做调整的方式, 测量角尺的另一个作用就是在装配时用来保证这项精度的。如图2中, 让测量角尺的竖直面一侧紧贴蜗杆顶圆母线, 另一侧紧贴蜗轮轴的侧母线, 这样角尺的间接尺寸51就保证了中心距的尺寸, 快速准确地确定了机构的中心距的位置。

4. 结语

为了实现设计结构的制造要求, 创新的工艺措施和方法显得尤为重要。在蜗轮蜗杆机构批量化实际装配中, 总结、创新、实践所得到的这套工艺方法, 实现了易于操作, 提高效率且保证了产品的运动精度, 传动精度的检测结果及产品的正常使用过程都证明了满足设计要求, 达到了预期的效果。□

参考文献

[1] 许洪基. 齿轮手册. 北京: 机械工业出版社, 2000.8

[2] 闻邦椿. 机械设计手册. 北京: 机械工业出版社, 2010.1

在15°C和40°C之间依旧如此可靠

卡尔蔡司（上海）管理有限公司

ZEISS DuraMax HTG 即使在极端环境中也能够进行测量

ZEISS DuraMax 坐标测量机占地面积小，对机械振动和温度波动不敏感，特别适用于生产环境中，目前适应的温度范围从15°C至40°C。

“它的测量精度甚至在温度温和的环境和生产车间温度超过30°C的情况下都没有区别，” ZEISS生产经理Johannes Möhrle说。因为机器都会散发热量，ZEISS

此系列机型越来越紧凑的产品设计也有助于减少对室内的热量释放。此外，测量和检查技术正在越来越接近现场的生产系统，热源作为工艺优化的结果也体现出了更多优势。因为热量和温度的波动会极大地影响测量机的精度，因此这样的要求其实对质量检查带来更多额外的挑战。随天气和环境引起的温度完全几乎不能提前进行计划，因而成为目前存在的一个重要难题。空气调节不足也会导致坐标测量机的测量值就如同阵风吹过产生的结果一样不真实。



ZEISS DuraMax 测量机系列



ZEISS DuraMax HTG 测量机

不再需要空调

应用专业空调来确保恒定的温度是一个不错的解决方案。但是，投入专业空调，尤其是对空调系统本身的操作和维护将耗费更多的投资。因而这样高额的投资使得亚洲或中美洲及南美洲的热带和亚热带地区，以及美国和欧洲南部部分地区的许多生产企业对此类设备望而却步。“但这却成为促使我们开发ZEISS DuraMax紧凑型三坐标测量机的原因，” Möhrle说。该机器的温度范围比以前增加了一倍，工作可靠性与以前一样：在15–40° C 的环境温度下，ZEISS DuraMax的高温梯度（HTG）特性可以保证测量精度达到3.9 μm。ZEISS不仅扩展了测量的温度范围，并保证在温度扩展范围内，同样达到高精度的测量，而且还极大提高了机器每小时和每天的最大允许温度波动值的范围。现在测量机在温度波动达每小时50%、每天100%的情况下仍能运行良好，测量质量绝对不会受到丝毫影响。

可靠性

根据世界各地3000台ZEISS DuraMax系统大量数据的基础上充分验证，即使在这种温度和其它情况引起的波动下，使用新型、高品质元件的ZEISS DuraMax完全可以达到这种高精度。现代化升级的结果：研发人员采用了护罩对机器的Z轴进行隔热处理。为了进一步降低温度的影响，他们还为测量机的主机配备了一个不锈钢反

射盖和特殊隔热材料。”与使用空调或通过建设靠近生产现场的测量实验室的运行成本相比，更强的耐高温性意味着能够极大地降低工厂经营成本。——所有这一切都保证了具有更可靠的测量值，”产品经理总结道。

ZEISS DuraMax HTG ——简述

与标准机型相比，ZEISS DuraMax HTG的测量温度范围扩展了一倍。此外，它能够承受高达每小时50%。



生产现场的DuraMax测量机

每天100%的温度波动，而并不影响测量质量。因此，DuraMax HTG特别适合在没有空调设备的生产车间进行精密测量。

大型龙门机床自适应框架的结构设计与装配要点

汉川数控机床股份公司

范会军 刘杰 吕国彦 王雷

通过对一种带内循环平衡压力油缸装置的新型动柱式、自适应温度及其它因素带来的微量尺寸变化而能保持自身运动精度的龙门框架的结构设计分析,进一步在实际装配应用中重点关注和攻克了实现这一功能的关键技术难点,使其设计的目的和作用在实际应用当中达到了预期的效果,有效解决了动柱式、大跨度龙门机床作为基础支撑件的龙门框架在外界条件适量变化的情况下的精度保持难题和制造瓶颈。

龙门框架移动式机床结构多应用于大型、重型、超重型机床,其不仅避免了对大重量运动部件的拖动而带来的高能损耗,而且使得运动部件相对轻量化和对运动行程支撑零件尺寸的进一步缩减。

此类机床工作台一般为落地式置放,在工作台的两侧各有一个用于支承龙门框架沿坐标方向运动的固定式床身。故运动式龙门框架的运动精度不仅依赖于作为支撑、导向的两个床身,更取决于自身精度的保持与变化。影响龙门框架运动精度的因素包括超长行程机床较大的安装调试误差,受环境温度变化和加工中自身温度变化而引起的热胀冷缩变形造成的线性尺寸变化,或这种尺寸变化的趋势使移动龙门框架所形成和承受较大的内应力。

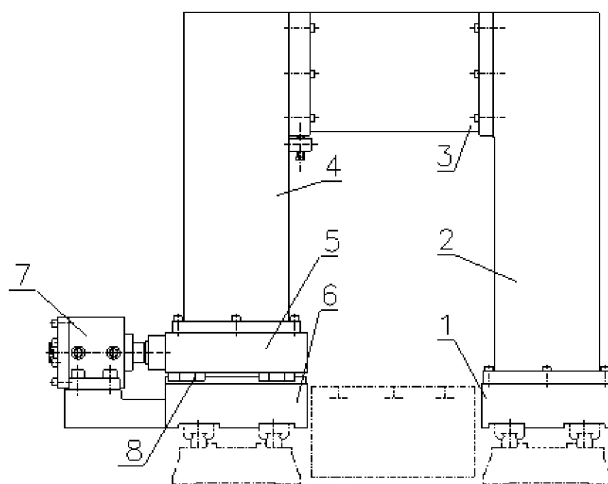
传统龙门移动式机床的龙门框架和两侧支撑运动的滑座都为刚性固定(滑座沿床身导轨运行),这种刚性结构在外界温度和机床工作过程中产生的温度变化,势必影响该结构的内应力变化导致机床零件的几何精度发生变化,这不仅影响机床的工作精度,甚至会造成刚性连接的损坏而导致机床损坏。特别是对于高速度、高精度、高刚度和超长行程的大型龙门移动式机床来说,以上各种因素对机床整体性能的影响就更加突出。这种微动态的变化所形成的不利因素,即使采用提高机床零部件的制造精度和装配精度都很难消除其对机床整体性能的影响,故要从根本上消除这种动态应力对龙门框架运动精度的影响,就必须在设计结构上提供消除这种不确定动态应力的机构或装置,来保证龙门框架既要有足够的支撑刚性还要具备能释放、舒缓应力变形造成的精度

下降和变化的功能。

本文以很好解决以上问题而设计的“自适应龙门框架”机构,从其结构的分析和实际装配应用的特点入手,从分析结构要点和总结装配关键点出发,详细地做一分析和分享。

该设计结构主要包括两大部分:自适应龙门框架和内循环平衡压力油缸。

1. 自适应龙门框架结构分析



1.滑座 2.右立柱 3.定梁 4.左立柱 5.微动托板
6.床身滑座 7.内循环平衡压力油缸 8.微动导轨

图1 自适应龙门框架结构示意图

如图1所示,自适应龙门框架是由左立柱4、右立柱2、顶梁3和右滑座1、微动托板5、左滑座6、内循环平衡压力油缸装置7和一组微动导轨8等零部件组成。

从结构图中可以看出:龙门框架的右端,其结构与传统的结构基本一致,即支撑固定立柱和横梁的滑座1落在了对其起支撑和运动导向作用的右床身上而组成相对的运动连接。而龙门框架的左端在与右端相同的结构的基础上,在滑座的上面增加了一层可自由微动的结构,即左立柱固定连接一个托板5,其下部通过一组直线滚动导轨8与床身滑座6组成一个能相对运动的微动机构,微动方向与龙门框架的伸长方向相一致,也即与龙门框运动的方向相垂直。由这样两个分别坐落在不同结构的床身滑座上的左、右立柱,上端与顶梁3固定连接而组成了一种全新的龙门框架结构。但是这种动态连接方式在单独出现时是大大降低了机床的连接刚性,这时就需要带有一定压力的内循环平衡压力油缸装置7来双向、动态夹紧龙门框的自由微动端,从而确保整个龙门框架的整体刚性不受影响。

2.内循环平衡压力油缸装置的结构与工作原理

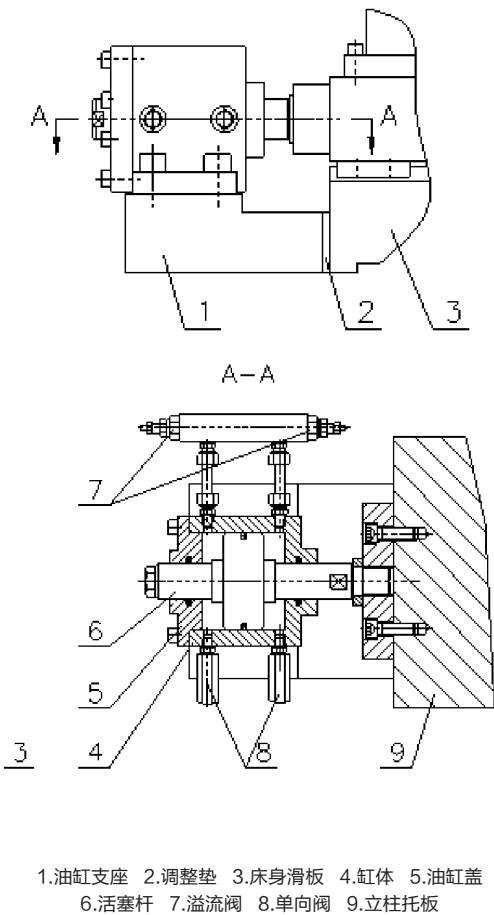


图2 内循环平衡压力油缸装置结构图

如图2所示,内循环平衡压力油缸装置主要是由油缸支座1、两个单向阀8、油缸体4、油缸盖5、活塞杆6、两个溢流阀7组成。缸体4中左右两个油腔大小相等,每个油腔分别连接一个单向阀8及接头等液压元件,在装置使用前用来向缸体的左右两个油腔分别注入压力油,每个油腔各装有一套油腔压力微调组件,用来排除液体内的空气和微量调定压力。两个溢流阀7的进油口分别与左右两个油腔相连,与左腔连接的溢流阀的出油口连接在右腔溢流阀的进油口,与右腔连接的溢流阀的出油口连接在左腔溢流阀的进油口。

油缸支座1安装在图1所示自适应龙门框架非定位侧(即自由微动端)的床身滑板3上,并与其运动方向垂直,床身滑板3沿床身导轨实现X轴运动。内循环平衡压力油缸装置的输出端活塞杆6一端与托板9固定联接,另一端为自由端。

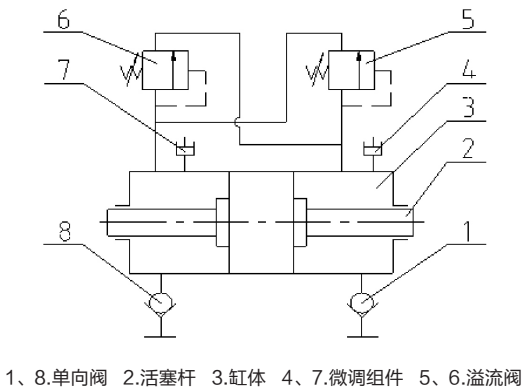


图3 内循环平衡压力油缸液压原理图

由内循环平衡压力油缸装置的液压原理图可以看出:该装置在工作前需经两个单向阀1和8向缸体3左右油腔注入一定压力的液压油,然后调整油腔压力微调组件4和7进行排气并微量调定压力。因油缸两腔活塞的作用面积相同,在相同油压作用下活塞应在中间位置并处于锁紧状态(锁紧力的大小与油压和活塞面积有关)。

将这样一个调试好一定压力的平衡油缸装置固定在机床龙门框的自由微动端的油缸支座上,活塞杆与微动托板固定联接,这样就相当于用一定的双向夹紧力“稳”住了微动托板,使移动龙门框架在当前状态下处于一种动态稳定状态。

当龙门框架的顶梁因热伸长或其它原因发生变形时,推动图2中的托板9向左移动时,油缸左腔的压力升高,在达到设计要求的设定值后,与左油腔连接的溢流阀开启并卸荷,托板等组件沿微动导轨微量左移动,这样左腔的液压油流入右腔,并使其压力逐渐升高,当左右油腔压力相

等时,系统再次达到平衡,此时因龙门框架伸长产生的变形和内应力在释放后由平衡油缸的固定载荷重新把托板固定“稳”住,保持了一定的刚性。同理,当顶梁因冷缩等原因带动托板向右回缩时,油缸右腔压力升高并达到设计要求的设定值后,右油缸连接的溢流阀开启并流入左腔卸荷,托板等组件沿微动导轨微量右移动,使油缸左腔的压力逐渐升高,当左右油腔压力相等时系统再次达到平衡,此时因回缩而产生的龙门框架变形和内应力释放后由平衡油缸的固定载荷再次重新把托板固定“稳”住。所以不管横梁伸长或回缩,该机构始终紧紧动态夹紧龙门框架的托板,使整个消除变形和内应力的过程中,龙门框架的结构刚性始终保持不减弱。

值得注意的是,为防止机床在切削加工时因沿微动导轨方向上的切削力而使该动态装置产生龙门框架的微动,这样势必会对机床的加工精度产生影响。所以在计算设定平衡油缸的溢流阀开启条件时,必须要求当沿微动导轨移动方向产生的内应力大于沿该方向的最大切削力时,两个溢流阀方可产生溢流动作。该装置的动态夹紧所需压力大小的调整,可通过控制注入油缸两腔的油压来实现。

3.自适应龙门框架的装配要点和实战经验

在自适应龙门框架部件的总成装配过程中,按照以上所分析的主要两大部分可划分为微动装置的装配和平衡压力油缸的装配。

(1) 微动装置的装配

依照前面的结构分析可知,微动装置是在安装于床身滑板上又增加的一层水平运动机构,这层水平微动机构的运动精度基础不仅依赖于它自身几条导轨的运动精度,也与其支撑它的下端滑座相互连接的之间的几何精度有关。

下端滑座与床身导轨的装配时,采用“修配装配法”装配,因为在每个导轨块上都配有一块用于调整等高的调整垫,也就是为了保证支撑滑座的每一块导轨块受力均匀,运动平稳。

先将每一块预先加工过的调整垫置于已装配完成的导轨的每一个导轨块上面,选择已安装好的一条基准导轨的一个导轨块作为基准导轨块,将千分表固定于上面,用以检测其它导轨块上自然放置的调整垫相互之间的等高差值并做记录,还要把每个与导轨块一一对应的调整垫做编码标记标识出,以便在修整调整垫后找到它在检测时所属于的导轨块位置,此处通过调整垫的修配,要求每个导轨块的共面度在0.01mm以内,这样就保证了微调机构的支撑基础在一个较高的运动精度要求范围内。

微调机构的三条导轨是安装于滑座上面的,这三条

导轨不但要求相互之间的共面度、平行度在0.01mm范围内,还得保证它们与滑座下面的运动导轨之间的垂直度保证在0.015mm内。在装配微调机构的这三条导轨时,因为在零件的加工时已严格控制了其安装基准面的精度,故只采用“调整装配法”做一些小的修整调整便可完成。

先选择三条导轨中的一条基准导轨与滑座下的纵向运动导轨做相互垂直度的检测,因纵向运动导轨是已经装配调整好的基准导轨,故用大理石角尺或方尺以此作为基准来安装调整微动机构的基准导轨,要求垂直度误差在0.015mm范围内;然后再将其余两条导轨与装配固定好的基准导轨做平行度的检测和装配,要求分别以基准导轨作基准来对比检验、调整、装配,误差保证在0.01mm范围内。

由于微动机构的导轨在承载着立柱、横梁、主轴箱的重量及加工切削力的重载下只在极小范围内运动,所以导轨的承载滑块的润滑就显得极其关键和重要。导轨块的润滑采用以下步骤进行:首先应分别从各自的导轨上谨慎操作依次卸下每一个导轨块,在内腔滚动体上均匀涂抹型号为BEM 34-132的润滑脂后,再小心安装到导轨上,并沿导轨以先慢后快的速度来回推拉运动二十个往复以上,目的是使滚动体充分的得到润滑脂的粘合、包裹。然后再小心拆下导轨滑块再涂抹润滑脂,并从滑块两端的润滑油嘴用油脂枪注油,注满为止,再次将滑块依次装到各自的导轨上并重复推拉运动,最后在安装好润滑管路后,用油脂枪再次将连接滑块润滑接头的油管充满,这样才能保证微动导轨的每个滑块在重载条件下的充分可靠的润滑,进而保证微动机构的有效、可靠的运行。

(2) 内循环平衡压力油缸装置的装配

内循环平衡压力油缸在自适应龙门框架结构中是一个起到“柔性”调节而“刚性”固定的非常关键的集成液压部件,故它的装配除要保证液压装置的装配的条件外,还要在与主机联接调试过程中做好精细的调节工作。

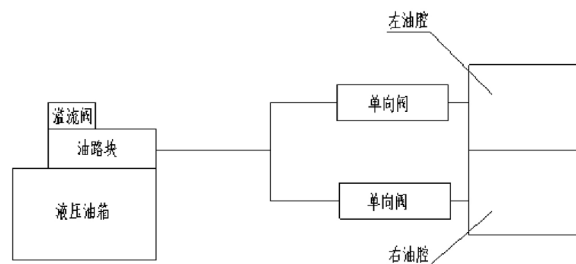


图4 内循环平衡压力油缸加油方式示意图

在依照图2的结构完成部件的组装后,最关键的是在于按以下的步骤来进行左右油腔的注油工作。

如图4所示, 首先应按照设计计算的平衡油缸所承受的最大开启压力来调整油路块上的溢流阀的溢流压力达到设定值, 然后将液压泵的出油口用一个三通装置分为两路并用等长的液压油管连接(目的是保证这两路液压油压力充分相等), 再将这两路液压油管分别与油缸的左右油腔进油口上的单向阀可靠连接; 启动液压泵, 使两路油管同时以同等压力向油缸体的左右油腔注油, 保证左右油腔的注油压力相等, 在注油过程中可小心调整安装在左右油腔上的微调装置, 目的是排除油腔内的空气使油液以相同的压力充分充满左右油腔, 使整个内循环系统处于一种平衡状态。这样经按设定压力注油后的平衡油缸才可安装于自适应龙门框架结构中。

将注油后的平衡油缸按照图2所示的位置先把油缸活塞杆6端头M36×1.5的外螺纹旋入立柱托板9的螺纹孔内, 然后再配磨油缸支座1与床身滑板3结合面之间的调整垫2, 注意在装配时保证活塞杆与旋入托板上的螺纹孔同轴, 不可有额外的受力, 最后在自然状态下将油缸支座1固定在床身滑板3上, 可用扳手旋转活塞杆, 如能轻松在托板螺纹孔中旋转, 说明此时的内平衡油缸没有任何外力的加载, 即达到装配要求。

至此, 用于大型、重载龙门机床的自适应龙门框架结构, 其主要两大部分的结构设计分析和装配操作要点详述于此。

4. 结语

大型、重载机床在受外界环境条件的动态变化而带来的运动精度变化, 需要设计精巧的辅助机构来达到解决的目的。作为实现设计思路的最终制造——装配环节, 也是机床和设备制造过程中不可或缺的关键环节, 是装配操作者用对设计结构的理解和精细化的操作技能来体现、完成设计者目标的再创造过程。□

参考文献

- [1] 闻邦椿 机械设计手册.机械工业出版社, 2010.
- [2] 雷天觉 新编液压工程手册.北京理工大学出版社, 1998.
- [3] 花国梁 精密测量技术.清华大学出版社, 1990.
- [4] 柯明扬 机械制造工艺学.北京航空航天大学出版社, 1996.

上接第54页



三、结语

CCMT2016汇聚了国内外众多机床制造厂家及他们的顶尖产品, 是机床行业和制造行业的一次盛会, 其宏大的规模, 先进的技术, 精彩的展品, 创新的氛围, 探索进取的精神, 再一次引发业内广大观众的高度关注。但是本届展会也让我们深刻的知道, 国内机床跟国外先进制造厂商的机床还存在一定的差距, 只有我们每一个机床从业者不断努力, 才能在未来有一个好的发展, 争取早日赶上国外先进水平。□