

WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

No.2 2022
2022年4月
April 2022

主管: 中国机械工业联合会
主办: 中国机床工具工业协会
地址: 北京市西城区莲花池东路102号
天莲大厦16层
邮政编码: 100055
电话: (010) 63345259
电子邮箱: wmem@cmtba.org.cn

出版: 中国机床工具工业协会
《组合机床与自动化加工技术》杂志社

主任: 毛子锋
副主任: 王黎明 郭长城 王旭

编委:
于成廷 吴柏林 张志刚 李忠波 何敏佳 张世顺
蔚飞 严鉴铂 黄正华 刘德永 陈焱 张波
冷志斌 陈虎 汪爱清 王焕卫 芦华 吴强
唐毅 陈吉红 杜琢玉 王本善 赵延军 王社权
姜华 商宏谟 安丰收 邓家科 穆东辉 于建华

特邀编委(各分会秘书长26人):

吴俊勇 邹春生 刘春时 房小艳 周慧 胡春美
陈瑞雷 李升 王珏 卢智良 刘庆乐 查国兵
陈鹏 崔瑞奇 边海燕 王兴麟 何培彦 张新龙
肖明 叶永生 武平 陈远东 孙兆达 李鸿基
王丽娜 陈长江

总编辑: 李华翔
责任编辑: 梅峰
国际标准代号: ISSN 1015-4809
国内统一刊号: CN 11-5137/TH
国内发行: 北京报刊发行局
订阅处: 全国各地邮局
邮发代号: 80-121

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

承印: 北京久佳印刷有限责任公司

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

2022年第2期(总第179期)

WMEM世界制造技术与装备市场

资讯 News

- 10 第十二届中国数控机床展览会(CCMT2022)延期通知等5则
Postponement announcement of CCMT2022 etc. 5 news

特别报道 Special Report

- 12 加强上下游合作, 机床协会组织召开2022年度用户联络网年会 张芳丽
CMTBA organized the 2022 Annual Meeting of Users Contact Network
14 森泰英格两产品通过中国机床工具工业协会产品鉴定 机床协会
Two products of Centech-EG Company passed the product appraisal of CMTBA

专题综述 Topical Review

- 16 日本机床工业经济运行情况分析 梅峰
Analysis on Japan machine tool industry economic
18 工具行业发展动态及国产工具典型应用案例 萧伟锋
The cutting tools industry development trends and typical application cases of
domestic cutting tools
22 3C产品加工领域关键技术及应用分析 吕环环等
Key technology and application analysis of 3C product machining

展会报道 Exhibition Report

- 26 第十二届中国数控机床展览会(CCMT2022)部分展品综述 机床协会
Review of some exhibits of CCMT2022

研发与应用 Research & Application

- 46 数控机床防碰撞及碰撞技术研究与应用 胡辉等
Research and application of collision prevention technology of CNC machine tool
49 用于石墨电极套料加工的深孔机床开发与应用 鲁绪阁等
Development and application of deep hole machine tool for machining of graphite electrode
casing
52 基于机器人的机加工自动线的应用及选择 张传思
Application and selection of machine automatic line based on robots
55 基于i5数控系统的电主轴星角切换控制技术 白鑫
Electric spindle of star and angle switching control technology based on i5 CNC
system
59 基于SIEMENS840dsl系统大型机床防碰撞方法研究 王红亮等
Study on anti-collision method of large machine tool based on SIEMENS840 dsl
system

编者的话

2022年是党的二十大召开之年，也是实施“十四五”规划的重要一年。

1~2月，中国机床工具工业协会重点联系企业数据显示，重点联系企业营业收入同比增长13.4%，利润总额同比增长48.3%，亏损企业占比同比扩大2.9个百分点。金属加工机床新增订单同比增长4.0%，在手订单同比增长10.1%。1~2月规模以上企业金切机床产量8.9万台，同比增长7.2%。金属成形机床产量3.0万台，同比持平。

3月31日国家统计局服务业调查中心和中国物流与采购联合会发布了中国采购经理指数，制造业采购经理指数、非制造业商务活动指数和综合PMI产出指数分别为49.5%、48.4%和48.8%，低于上月0.7、3.2和2.4个百分点，三大指数均降至临界点以下，表明我国经济总体景气水平有所回落。

3月以来，国内多地出现聚集性疫情，加之国际地缘政治不稳定因素显著增加，我国企业生产经营活动受到一定影响。

原定于4月11日至15日在上海新国际博览中心举办的CCMT2022展览会受疫情影响将延期举办，延期后的具体调整方案将另行通知。

当前，国际经济形势愈发错综复杂，国际国内环境不确定因素增多，我国经济下行压力进一步加大，给下一阶段机床行业企业整体运行带来一定压力。希望行业企业提前做好应对准备，正视和果断应对新挑战。

相信随着局部地区疫情得到有效控制，国家相关纾困政策落地，受抑制的产需会逐步恢复，市场有望回暖，促进行业实现平稳发展。

本刊编辑部

版权所有，未经本刊书面许可，不得转载。

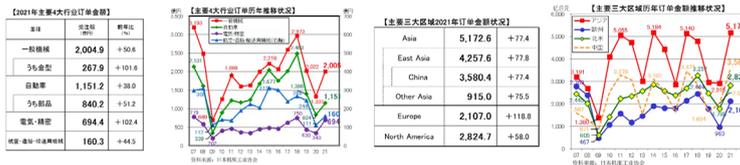
本刊已许可中国学术期刊（光盘版）电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

内容导读

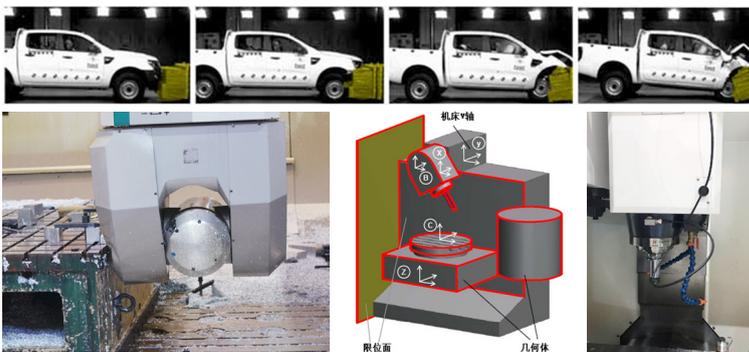
12 加强上下游合作，机床协会组织召开2022年度用户联网络年会



16 日本机床工业经济运行情况分析



46 数控机床防碰撞及碰撞技术研究与应用



52 基于机器人的机加工自动线的应用及选择



WMEM

世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

Competent Authority: China Machinery Industry Federation

Sponsor: China Machine Tool & Tool Builders' Association

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

Tel: (010) 63345259

E-mail: wmem@cmtba.org.cn

Publisher: CMTBA
Modular Machine Tool & Automatic
Manufacturing Technique

President of E-C: MAO Yu-feng

Vice President of E-C: WANG Li-ming

GUO Chang-cheng WANG Xu

Committeemen:

YU Cheng-ting, WU Bai-lin, ZHANG Zhi-gang,
LI Zhong-bo, HE Min-jia, ZHANG Shi-shun, YU Fei,
YAN Jian-bo, HUANG Zheng-hua, LIU De-yong,
CHEN Yan, ZHANG Bo, LENG Zhi-bin, CHEN Hu,
WANG Ai-qing, WANG Huan-wei, LU Hua, WU Qiang,
TANG Yi, ZHEN Ji-hong, DU Zhuo-yu, WANG Ben-shan,
ZHAO Yan-jun, WANG She-quan, JIANG Hua,
SHANG Hong-mo, AN Feng-shou, DENG Jia-ke,
MU Dong-hui, YU Jian-hua

Specially invited Committeemen:

WU Jun-yong, ZOU Chun-shen, LIU Chun-shi,
FANG Xiao-yan, ZHOU Hui, HU Chun-mei,
CHEN Rui-lei, LI Sheng, WANG Yu, LU Zhi-liang,
LIU Qing-le, ZHA GUA-bin, CHEN Peng, CUI Rui-qi,
BIAN Hai-yan, WANG Xing-lin, HE Pei-liu,
ZHANG Xin-long, XIAO Ming, YE Yong-sheng,
WU Pin, CHEN Yuan-dong, SUN Zhao-da, LI Hong-ji,
WANG Li-na, CHEN Chang-jiang

Chief-Editor: Li Huaxiang

Executive Editor: Mei Feng

ISSN 1015-4809

CN 11-5137/TH

Post Distribution Code: 80-121

Advertising agency:

WORLDWIDE SERVICES CO.,LTD

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

Tel: +886 4 23251784

Fax: +886 4 23252967

E-mail: Jessie@acw.com.tw

Contact: Jessie



WMEM官方网站

目录 CONTENTS

2022年第2期 (总第179期)

产品与技术 Products & Technology

- 61 高精度大直径薄壁壳体加工工艺 曾建等
Machining process of high precision and large diameter thin wall shell
- 63 机床刀具全生命周期的柔性技术对可转位刀具“积极惰性”的分析 范亚炯等
Analysis of "positive inert" of transposition tool by flexible technology of the full life cycle of machine tools
- 67 连接管油缸轴的车削加工 周德华
Turning of connecting pipe cylinder shaft
- 69 创新涂层改进结构提高立铣刀加工质量和效率 章宗城
Improving the processing quality and efficiency of vertical milling cutter processing by innovative coating improvement structure
- 72 分体式轴箱体螺纹孔加工工艺研究与优化 管益辉等
Research and optimization of machining process of thread holes in split shaft box body
- 75 复合加工在汽车缸体生产线上的应用 金延安
Application of composite machining in production line of car cylinder block
- 77 航空维修滚动轴承安装工艺 朱金华
Aviation maintenance of the rolling bearing installation process
- 80 基于西门子828D数控系统主从功能应用 邵毅
Application of main and subordinate functions based on Siemens 828D CNC system
- 83 加工中心和扭矩仪器故障排除 周晓琿
Trouble shooting of machining center and torque instruments
- 85 小型曲轴在车铣加工中心的加工工艺开发 丑洋洋等
Development of small crankshaft in vehicle turning milling center
- 89 商用车车轮辐制造误差与定位浅析 周永红
Analysis on manufacturing error and positioning of wheel spokes of commercial vehicle
- 91 薄壁大直径零件车削加工 朱光耀等
Machining of thin wall and large diameter parts
- 93 薄壁不锈钢套深孔镗削中的工装优化设计 朱达新
Fixture optimization design in deep hole boring of thin wall stainless steel sleeve
- 95 成形刀铣削径向均布放射槽分析与宏程序编制 赵乐乐等
Analysis and macro programming of radiative grooves of milling in radial distribution of forming tools
- 97 一种卧式加工中心交换工作台定位夹紧机构设计 张传思等
Design of positioning clamping mechanism of switching workbench in horizontal machining center
- 100 直角弯头法兰钻孔夹具设计 矫永臣
Design of drilling fixture of right-angle elbow flange

消息 (17)

第十二届中国数控机床展览会 (CCMT2022) 延期通知

2022年3月18日,第十二届中国数控机床展览会(CCMT2022)主办单位中国机床工具工业协会及共同承办单位上海市国际展览(集团)有限公司发布,受新冠肺炎疫情在全国多点突发影响,原定于2022年4月11日至15日在上海新国际博览中心举办的CCMT2022展览会将延期举办,延期后的具体调整方案将另行通知。

中国机床工具工业协会文件

中床协(2022) 015 号

第十二届中国数控机床展览会(CCMT2022)

延期通知

尊敬的境内外展团、展商及观众:

近期新冠肺炎疫情在全国多点突发,处于上升趋势,尤其是上海市疫情形势严峻复杂。为积极配合和落实政府部门对疫情防控的相关要求,切实保障参展商和观众的健康与生命安全,确保境内外参展商的参展效果,原定于2022年4月11日至15日在上海新国际博览中心举办的第十二届中国数控机床展览会(CCMT2022)将延期举办。

我们将密切关注疫情的发展,与展馆方和相关政府部门保持沟通协商,延期后的具体调整方案将另行通知。

感谢境内外展团、展商、观众及合作单位20多年来对CCMT展会的大力支持和积极配合!因展会延期造成的诸多不便,我们深表歉意,敬请谅解;我们也将竭诚做好后续服务。

特此通知,望互相知照。祝您身体健康,平安顺遂,事业兴旺!



共同承办单位:



秦川集团秦创原创新基地开工

3月30日,秦创原·秦川集团高档工业母机创新基地重大项目开工仪式在西咸新区沣西新城举行。陕西省委书记刘国中以视频连线方式在主会场宣布项目开工指令,副省长方光华、郭永红等省政府领导出席开工仪式。



秦川集团党委书记、董事长严鉴铂介绍了秦川集团高档工业母机创新基地项目情况并表示,秦川集团将上下一心、多措并举,真正将创新基地建设成为集团研发创新高地,人才聚集高地,科研成果转化与产业化基地。使其成为对外合作、展示形象、提升综合影响力的又一窗口,加快推动我省机床产业链高质量发展,为带动陕西装备制造业转型升级做出贡献。

秦川集团高档工业母机创新基地项目占地234亩,建筑面积12万平方米,计划总投资10.53亿元。着力解决我国工业母机“卡脖子”问题,将围绕“一个基地、三个平台、七个中心”建设,重点打造高端五轴联动数控机床及其关键功能部件产业化、智能制造及系统集成产业化两个孵化转化项目。整合资源,聚焦发力,充分发挥创新引领和示范带动作用,推动高端装备制造业聚集发展,并吸引产业链上下游配套企业入驻秦创原。

济南二机床举行收购济南迈特力集团股权签约仪式

2022年4月2日,济南二机床集团举行收购济南迈特力集团股权签约仪式,济南市国资委党委书记、主任李旭东等领导出席仪式。





方面需要，收购迈特力集团股权。迈特力集团作为国内优秀的冲压工艺解决方案供应商，与济南二机床在产品、市场等方面有较高的重合度。通过此次收购，济南二机床将进一步完善产品结构和市场布局，提高经济效益规模，为客户提供更加优质的产品和服务。

李旭东主任在致辞中说，济南二机床收购迈特力股权，是发挥国有企业“链长”作用、提高国企产业链支撑和带动能力的生动实践，希望济南二机床以此为契机，整合优势资源，加快产业集群建设，持续做大做强企业，为新时代社会主义现代化强省会建设作出更大贡献。

济南二机床张世顺董事长、高守源总经理分别做了致辞和项目介绍。完成收购后，济南二机床将对迈特力集团进行系统投资规划，强强联合，优势互补，为两市经济社会发展贡献力量。

济南二机床将继续发挥龙头引领作用，通过统筹规划和精益管理，加快推进高端装备制造基地建设，努力打造区域性产业集群优势，为强省会战略、工业强市战略的实施以及黄河流域高质量发展作出更大贡献。

星火机床研发国家重点项目高端数控缠绕设备交付用户

4月2日，星火机床公司与武汉理工大学联合研发生产的国家重点项目高端数控缠绕设备交付用户。天水市委常委、副市长景丹，市人大常委会副主任张栋梁，用户单位代表出席交付仪式，星火机床公司干部职工、参研人员代表等参加活动。



星火机床集团公司党委书记、董事长蒋保权介绍项目

研发情况并指出，作为保障国家战略安全的重点装备，参研人员在时间紧，任务重的情况下，克服疫情带来的不利影响，夜以继日，加班加点，保证了项目如期交付。用户代表在致辞中对研发生产单位坚持质量至上、用户第一理念，高质量高标准完成设备生产，按时交付表示感谢。

复合材料缠绕技术广泛应用于航空航天、新能源产业及有关重点领域。但长期以来，高端缠绕设备依赖进口，“卡脖子”问题十分突出。该项目实施以来，星火机床联合武汉理工大学，以“复合材料缠绕设备工程中心”为平台，研发了多款高精度、超重型数控缠绕设备，形成了系列行业制造标准、产品性能达到或超过了国际水平。同时，围绕缠绕设备，按照成线、成组要求，开发了数控石膏芯模成型机、重型卧式加工中心等，实现了系列化、产业化，有效解决了“卡脖子”问题，具有良好的市场前景。

上海机床开展新一轮“高师带徒”签约

近日，上海机床组织举行“高师带徒”结对仪式，签署教学协议，推动落实“传、帮、带”精神在一代代技能人才队伍中传承。大型装配车间、服务事业部等4个部门的12对师徒以及部门代表等一起参加。

按照上海电气新发展理念与培养高素质产业工人的要求，上海机床结合“十四五”发展规划，制定“一个体系四个维度”模式，加快“上机工匠”的培养。在公司加快向数字化、智能化制造转型的背景下，今年的师徒签约，既加强了传统技能工种的培养力度，又针对未来业务发展需要，开发了服务类工种，以此不断适应公司“产品+服务”的业务发展对技能人才的需求。

据悉，公司培养技能工人，从建国初期已采用高师带徒这一模式。自20世纪70年代开始建立起正式机制，至今已有50多年历史。师傅的倾囊相授、悉心指导和徒弟的尊敬师长、笃学上进，使得公司涌现出一批批的劳模、工匠，也使得精密制造中的“匠心匠魂”得以一代代传承。高师带徒这种机制，也将在高质量发展新理念的指引下，为培养新一代上机工匠焕发出新的力量。



加强上下游合作，机床协会组织召开 2022年度用户联络网年会

中国机床工具工业协会 张芳丽



用户联络网年会是中国机床工具工业协会（以下简称协会或机床协会）每年展会前举办的年度例会，已经延续了20多年，是供需双方相互沟通、交流和促进融合的平台，尽管CCMT2022（第十二届中国数控机床展览会）因疫情影响宣布延期，但机床上下游领域间的交流不会停。因此，机床协会按照预定计划，于3月

17日组织召开了2022年度用户联络网年会。

本届年会以线上线下相结合的方式召开，受邀参会的代表来自航空、航天、汽车、兵器、模具、纺织机械、机床再制造、液气密、轴承、煤矿机械、电子、铁路、电力、内燃机、制冷空调等领域的行业组织、兄弟协会及相关企业，协会常务副理事

长兼秘书长毛予锋，执行副理事长郭长城、王旭，副秘书长穆东辉出席线下会议，协会执行副理事长王黎明以在线方式参会。会议由郭长城副会长主持，毛予锋会长做总结发言。

机床协会市场部副主任李雷简要汇报了在过去的一年中，协会在用户服务方面开展的工作。重点介绍了协会顺应数字化发展需求，在工业互联



网平台建设和NC-Link协议标准应用推进方面的进展，概括说明了协会向用户推荐国产高档数控机床、开展上下游间供需对接交流和进口机床国产化认证等方面的情况。

CCMT2022参展企业对于本届展会非常重视，都精心准备了最新产品和技术，市场部专家符祚钢根据展商填报资料归纳总结了六大看点，分别是：数字化、网络化制造技术加速发展；智能化技术日益成为高端数控机床的重要标志；软件技术丰富和完善机床功能；自动化技术推动无人化生产发展；绿色制造技术体现责任和担当；专精特新产品为用户量身打造解决方案。以上特点也彰显了全球机床产业的最新技术发展趋势，无论数字化、自动化、智能技术的应用，还是设备的专业化，都体现出制造链各个环节的有机结合，以及为用户创造更大价值的理念。

协会行业发展工作委员会副主任委员、原上海工具厂总经理萧伟锋，讲述了工具行业动态及典型案例。萧总结合自身在切削刀具领域几十年的工作经验，介绍了工具行业的技术和市场趋势，预测刀具行业正处于国产替代的黄金时期，具有较大的市场空间。同时指出对国产刀具高质量发展的迫切要求和总体提升路径。

通用技术集团机床有限公司副总经理贺大兴，介绍了通用技术集团机

床产业的总体情况和发展战略，表示集团将秉承“诚信、包容、创新、实干、卓越、共赢”的企业价值观，努力打造成为具有全球竞争力的世界一流企业。并将从三个方面大力提升集团机床产业发展能力：整合重构产业发展体系、以创新驱动带动高质量发展、以“三化”（网络化、数字化、智能化）建设推动需求升级。

武汉华中数控股份有限公司董事长陈吉红以“走向新一代智能机床”为题发言，讲述我国数控机床行业转型升级面临的新形势，介绍了智能机床发展趋势及面临的困境。最后介绍了NC-Link的应用推进情况以及华中9型智能数控系统相关情况。

北京博鲁斯潘精密机床研究院吴行飞博士简要介绍了超精密机床及加工技术发展趋势，回顾了超精密加工技术发展历史，概述了超精密机床研制的关键，简介了博鲁斯潘的技术和产品。

在总结发言中，毛子锋会长对各领域协会组织负责人和专家们的参会以及大家一直以来对协会主办的大力支持表示感谢！但也非常遗憾地表示，鉴于目前疫情形势和国家对疫情防控的要求，我们不得不宣布展会延期，由此给大家工作造成的不便诚挚谅解。毛会长还简要介绍了协会配合工信部、发改委等部门，在产业链、供应链提升及产业结构调整方面所做的一些工作。希望今后进一步加

强与各用户领域之间在产业链、供应链方面的对接与合作，也希望大家给机床协会提出宝贵意见和建议，上下游共同努力维护产业安全。

会议期间，机床协会还组织了兄弟协会间的交流沟通会。来自汽车、轴承、内燃机、模具、纺机、维改等行业协会的负责人和专家，分别介绍了各自领域在当前形势下的运行状况以及行业企业对装备的需求情况。大家均提到，目前对进口核心装备还有一定的依赖度，呼吁国内产业链上下游间建立起共同的价值观，聚焦产品的适用性和可靠性，实现从设计、制造到验证的全过程提升，从而进一步加强国产机床主机厂对细分领域的服务能力。郭长城副会长希望与兄弟协会间开展更加深入实际的工作，形成长期合作机制，从机床工具下游产业的核心技术及需求入手，找出国产机床与国外同类品牌产品之间的差距，以尽快实现市场突破。

通过相关介绍和交流，各领域用户对机床协会所开展的用户服务工作以及行业企业在产品、技术方面取得的进步有了更多了解，也表达出对国产中高档设备的更多关注和今后加强合作的意愿。各方代表还谈到，应探索深入开展上下游间联合攻关的有效方式，比如联合申请国家项目，从而推动产业链上下游共同提升和高质量发展。□

森泰英格两产品通过中国机床工具工业协会 产品鉴定

中国机床工具工业协会行业发展部



日前，中国机床工具工业协会在成都主持召开森泰英格（成都）数控刀具股份有限公司产品鉴定会。机床协会邀请中国工程院院士、南京航空航天大学校长单忠德，广东工业大学副校长王成勇，机床协会工具分会秘书长查国兵，航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司原数控加工厂厂长汤立民，四川普什宁江机床有限公司总工程师刘雁，成都新成量工具有限公司总经理潘凡伟，一汽-大众汽车有限公司成都分公司高级工程师陶冶共7位专家组成鉴定委员会，由单忠德院士任主任委员、王成勇教授任副主任委员对“精密谐波减速器关键零件高效加工夹具”、“高效精密加工热装夹头及其加热装置”两款产品的创新性、技术先进性及产业化能力进行评价。鉴定会由机床协会副秘书长穆东辉主持。

机床协会常务副理事长兼秘书长毛予锋致辞，向专家

和与会人员介绍了协会开展产品鉴定的初衷，表示协会将一如既往地支持会员企业自主创新、开拓市场和高质量发展。由于疫情原因，鉴定会采取线上线下相结合方式进行。单忠德院士在线上全程参与了鉴定会，并主持专家评审阶段的议程。



鉴定会上，森泰英格公司副总经理赵庆军向与会专家介绍了两款产品的研发背景、技术路线、技术创新点，同时对鉴定产品的知识产权情况、用户应用效果及其经济效益等内容向专家做了详细汇报。



为了满足精密谐波减速器关键零件高精度、高效率、高自动化装夹定位的需求，2017年由森泰英格公司牵头，成都瑞迪智驱科技股份有限公司参与，开始了液压膨胀夹具系列产品的研制。通过理论分析计算、夹具结构优化设计及谐波减速器关键零件加工工艺方法等研究工作，解决了弹性薄壁套筒膨胀量精确控制、弱刚度薄壁零件加工变形、高压密封等难题，开发出全封闭式、结构紧凑、膨胀量和夹持力均匀一致的液压膨胀定位夹具系列产品。该夹具在用户生产现场得到应用验证，达到了静态跳动 $\leq 0.001\text{mm}$ ，膨胀 0.02mm 状态下跳动 $\leq 0.003\text{mm}$ 的精度指标，并实现了精密减速器关键零件精密加工的产业化。



热装夹头作为一种结构简单、对称性好、无锁紧附件的工具系统，具有夹持精度高、夹持力大、刚性好和动平衡性能优异等优点，是高精、高速加工工具系统的首选。森泰英格公司采用数值仿真、有限元分析等方法，对热装夹头孔径过盈量、防掉刀结构进行了研究，研制了电磁感

应加热、自动识别夹头规格、半导体制冷等技术，拓宽了热装夹头的适用范围。现已实现 $\phi 3 \sim \phi 32\text{mm}$ 标准柄径的热装夹头及其加热装置的系列化、规模化生产。热装夹头在4倍径处的夹持精度 $\leq 0.003\text{mm}$ ，动平衡等级G2.5，25000r/min；加热装置可实现对硬质合金、高速钢及钢制品刀具的装夹，提高了夹头和刀具的使用寿命，操作简单，刀具装取效率和安全性大大提高。



鉴定会上，专家组审阅了森泰英格公司提交鉴定的全部资料，在向森泰英格产品研制团队进行质询后，经讨论达成一致意见，认为：“精密谐波减速器关键零件高效加工夹具”和“高效精密加工热装夹头及其加热装置”已实现系列化、规模化生产，经用户使用反映良好，经济和社会效益显著，市场应用前景广阔；产品具有自主知识产权，总体技术达到国际先进水平。



协会以独立、客观、公开、公正及非盈利为原则，为会员企业提供产品鉴定服务。此次鉴定会情况及鉴定结论已经按程序完成公示，公示期已满且无异议，将形成正式鉴定报告。

森泰英格（成都）数控刀具股份有限公司通过这两款产品的研制，弥补了国产精密夹具及工具系统的技术短板，提升了企业产品的市场竞争力，为行业高质量发展起到了支撑作用。□

日本机床工业经济运行情况分析

中国机床工具工业协会 梅峰

2022年4月7日，日本机床工业协会举办了一场线上媒体交流会，介绍了日本机床工业运行动态以及JIMTOF2022（日本国际机床展）的相关情况。

日本机床工业协会国际业务部长田中一彦重点介绍了2021年日本机床订单情况、对2022年的预测以及日本机床工业未来发展方向。2021年日本机床订单总额15414.2亿日元，同比增长70.9%；其中，日本国内订单5103.2亿日元，同比增长57.3%，海外订单10311亿日元，同比增长78.6%，海外订单占比66.9%。



2021年日本机床订单总额为3年来（自2018年）首次同比呈现增长，在历史订单总额中位于第四位。日本国内机床订单和海外订单都是3年来的首次同比增长，海外机床订单总额达到了历史第二高位，海外订单连续两年增长超过60%。

分析增长因素，2021年日本国内机床订单主要来自4个大行业（一

般机械、汽车、电气/精密机械、航空/船舶/运输机械）及11个其他行业的增长拉动。自2021年下半年开始，回暖趋势增强。由于半导体需求上升，以及电气、精密仪器和零部件短缺，企业开始增加产能投资，进而带动金属制品等产品需求超过了2018年，但汽车、航空、造船和运输机械未达到2019年的水平，复苏缓慢。

【2021年主要4大行业订单金额】

类别	受注额 (億円)	前年比 (%)
一般機械	2,004.9	+50.6
うち金型	267.9	+101.6
自動車	1,151.2	+38.0
うち部品	840.2	+51.2
電気・精密	694.4	+102.4
航空・造船・輸送用機械	160.3	+44.5

【主要4大行业订单历年推移状况】



2021年日本海外机床订单增长主要来自亚洲、欧洲和北美三大区域，同比分别增长77.4%、118.8%和58%。亚洲市场整体复苏趋势逐渐加强，汽车相关需求及半导体相关产品需求强劲；欧洲和北美市场由于年中以来疫苗接种进展顺利，经济活动再次展开，经济复苏趋势增强，因此下半年单月订单量接近2018年水平。由于防疫效果显著，中国市场订单快速恢复，达到3580.4亿日元，创下历史新高。

对于2022年日本机床订单情况，田中一彦部长预测订单总额有望达到16500亿日元，将主要得益于海外市场复苏的需求拉动和日本国内强劲需求的拉动。

【主要三大区域2021年订单金额状况】

区域	订单金额 (億円)	前年比 (%)
Asia	5,172.6	+77.4
East Asia	4,257.6	+77.8
China	3,580.4	+77.4
Other Asia	915.0	+75.5
Europe	2,107.0	+118.8
North America	2,824.7	+58.0

【主要三大区域历年订单金额推移状况】



历年订单推移与预测



未来,日本机床工业协会将努力推动和实现三个目标:

- (1) 采取环保措施,推进实现碳中和,构建减轻环境负荷的生产体系。
- (2) 推广新技术以构建自动化生产系统,通过IoT、AI、DX(物联网、人工智能、数字化转型),促进生产现场革新。
- (3) 加强应变能力以应对国际化需求,应对全球化发展,思考构建经济安

全保障制度。

东京国际展览中心事业推进部部长菊池彻介绍了JIMTOF2022国际机床展览会的筹备情况。JIMTOF2022将于11月8~13日在东京国际展览中心举行,经过扩建后的展览面积达到118540平方米,展会将成为规模最大的一届。JIMTOF2022特别设立了增材制造展区,重点展示增材制造加工机械(3D打印机)、增材制造加工机械相关设备与软件等。展会预计于9月启动参观预登记。



考虑到疫情影响,对于无法来到展会现场的观众,主办方将会安排相关参展人员进行线上交流活动。□

资讯

普什宁江公司召开“万众创新”表彰会

2022年3月10日,普什宁江机床有限公司组织召开2021年度“万众创新”获奖项目表彰会,公司党委书记、副书记和各党支部书记等参加表彰会,并为获奖支部颁发证书和奖金。



“万众创新”活动是公司党委在各党支部中开展的一项群众性创新品牌活动,自2017年活动开展以来,公司广

大党员、员工积极参与,建言献策,创新改进,在技术进步、管理改进、提质增效等方面取得较大进步。2021年,公司各党支部积极落实工作计划,践行“协同创新、拼搏奉献”的企业精神,在公司内部局域网上共“晒”出创新成果800多项,完成目标任务的135%,同比增加8%,取得了较好成绩。

在2021年度“万众创新”项目评比表彰中,科技公司党支部《剪切机刚性链条(内控部分)创新改进》、研究院党支部《核产品零件加工过程质保资料管理创新》项目分获技术类、管理类一等奖;精密制造事业部党支部《提高单机卧加柔性加工效率》等4个项目分获技术类和管理类二等奖;职能管理党支部《办公软件操作网络培训、比赛及复盘演练创新改进》等9个项目分获技术类、管理类三等奖。

公司党委书记姜华在总结发言中对2022年度“万众创新”工作提出了目标建议和具体要求。

工具行业发展动态及国产工具典型应用案例

中国机床工具工业协会行业发展工作委员会副主任委员 萧伟锋

一、切削刀具国内外行业动态

1. 国际制造业复苏放缓

切削刀具主要是服务制造行业，从目前国内外动态来看，国际局势不明朗，制造业复苏放缓；如图1所示，国内1月PMI回落至50.1%，2月份为50.2%，3月份为49.5%；随着原材料价格大幅上涨，以及疫情带来的负面影响，造成供应链危机的风险加大，同时劳动力短缺，这些都将成为制约制造业复苏的关键因素。

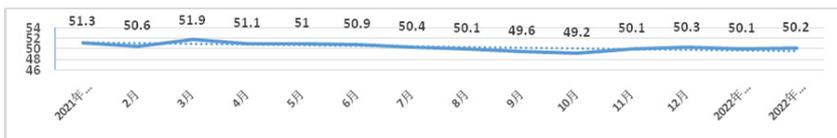


图1 国内PMI走势一览表

总体来看，全球制造业PMI指数在1~2月连续2个月出现回落，3月欧美PMI走势开始分化，如图2所示。根据IHS Markit的数据，3月美国制造业PMI（58.5）与服务业PMI（58.9）较前月分别上升1.2与2.4，为半年来最高。欧元区经济活动也受益于防控措施放松，但地缘冲突对欧元区经济活动的影响更加显著。3月欧元区制造业与服务业PMI双双走低，前者下降1.2至57，后者下降0.7至55.5。但此前出现的复苏势头仍在持续，总体趋势依旧向好。

欧元区	亚洲国家	美国	中国
1月份Markit制造业PMI终值为58.7%，创5个月以来新高。随着供应链瓶颈进一步缓解，欧元区制造业呈现出加速扩张态势，企业报告的1月份产量和订单量出现了4个月来最大的改善。	日本1月份PMI实现连续12个月扩张，涨至55.4%，创2014年2月份以来新高。韩国也实现了连续3个月扩张，1月份PMI提升0.9个百分点至52.8%。东盟PMI与前值持平，继续保持较高水平。	1月份美国ISM制造业PMI为57.6%，连续2个月环比下滑，创14个月新低。分项来看，生产指数和新订单指数的下降是拖累指数下滑的主要原因。	1月份，国内制造业采购经理指数（PMI）为50.1%，比上月回落0.2个百分点，高于临界点，2月份为50.2%，制造业扩张步伐有所放慢；3月份降至49.5%，回落至收缩区间。

图2 近期世界主要经济体PMI指标情况

面对疫情反复和通胀等不确定因素，各国加速制造业转型，通过数字化、智能化、自动化和技术升级等手段，减少外部因素对制造业产生的冲击，同时通过深化合作稳定供应链，为全球经济复苏注入动能。处于制造业基础地位的机床工具业，需密切关注上下游产业变化情况，适时做出有效调整。

2. 2021年汽车工业数据向好或给机床工具行业带来更多机遇

汽车制造业是机床工具行业最大的用户领域。2021年，全年汽车产销分别完成2608.2万辆和2627.5万辆，同比增长3.4%和3.8%，呈现出持续向好发展趋势。加上近几年新能源汽车迅猛发展、中国品牌车出口量增多，势必给机床工具行业带来更多市场机会。机床工具行业企业通过转型升级，积极与汽车及零部件企业进行深度对接，上下游协同创新，更好地满足汽车产业发展需求，将有利于提升机床工具行业的整体竞争力，最终共同实现全产业链上下游高质量发展。2001~2021年国内汽车销量及增长情况如图3所示。



图3 2001~2021年国内汽车销量及增长率

3.国内刀具市场情况

2021年机床工具行业延续2020年下半年以来恢复性增长态势，市场需求持续改善，进出口大幅度增长。中国机床工具工业协会重点联系企业2021年1~12月累计完成营业收入同比增长26.2%，增幅比上年扩大23.2个百分点。所有分行业同比增幅均在10%以上。由于2020年特殊的基数效应，2021年各月累计同比增速则呈现前高后低特点，但至年底仍处于较高的同比增速，全年累计需求将超过2020年水平，表明机床工具行业保持着良好的增长态势。

图4为2005~2020年国内刀具市场的运行情况，2020年国内刀具市场需求达历史最好水平421亿元。

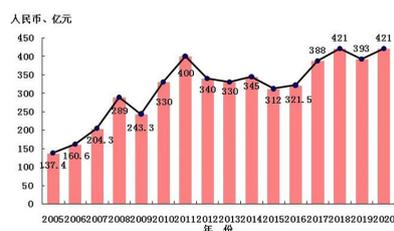


图4 国内刀具市场一览表

2021年刀具出口额225.16亿人民币，同比2020年增长25.45%，与2019年同比增长22.28%，出口额达到历史新高，比历史次高点2019年高50多亿元；进口额106.32亿人民币，同比2020年增长5.69%，与2019年同比下降4.14%。进口工具价格远高于出口价格。其中，涂层刀片的进口平均价格约为出口平均价格的3.81倍，未涂层刀片为6.41倍，攻丝工具为10.03倍，铣刀为2.71倍，量具17.06倍。可见，工具国产化在未来具有很

大的潜力。刀具进出口分类如图5、图6所示。

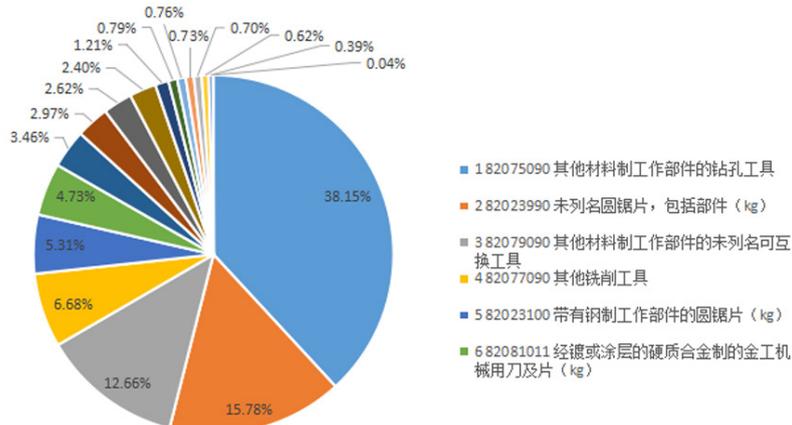


图5 2021年刀具出口分类

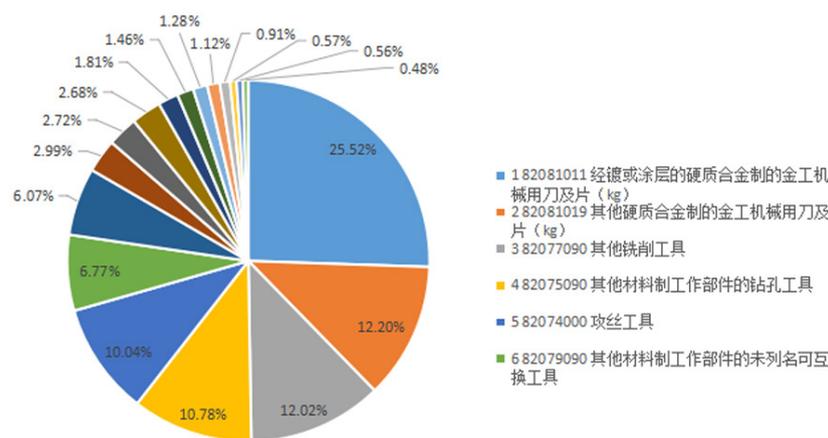


图6 2021年刀具进口分类

4. 预测：刀具行业正处于国产替代黄金时期，进口替代空间约 110 亿元

如图7所示，2020年全球金属切削工具市场规模达到237.3亿美元，预计在2020~2027年间将保持4.8%年复合增长率，并在2027年达到329.5亿美元。中国刀具市场消费规模在2005~2020年间保持7.75%年复合增长率，2020年约为421亿元。考虑制造业转型升级趋势不改，“十四五”期间刀具消费市场有望迎来进一步增长，迈上新的台阶。

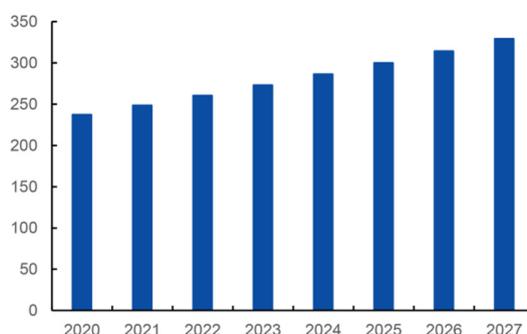


图7 全球工具市场预测

发达国家数控刀具与数控机床协调发展，刀具消费额约为机床消费额的50%左右。而国内由于机床总数控化率较低，刀具消费额占比较低。假设伴随中国制造业转型升级，2030年中国刀具消费在机床消费额占比有望达到37%，同时中国机床消费额以1.5%的年复合增长率增长，中国刀具市场规模有望在2030年达到631亿元，2020~2030年复合增长率达4.14%，如图8所示。

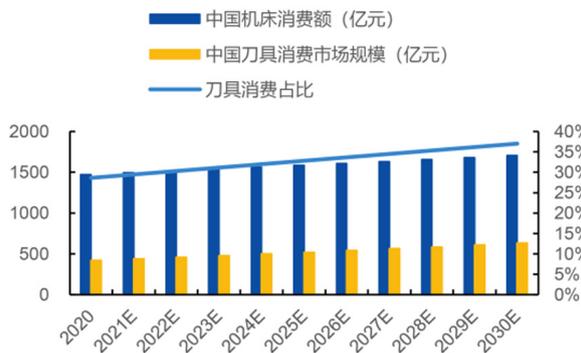


图8 中国机床、刀具市场消费规模

高质量发展是中国刀具行业发展的内在要求。每年百亿的进口刀具主要应用在一些加工精度和质量要求高、一致性要求好的重点领域，在这些领域，国产刀具任重道远。刀具制造涉及材料、设计和成形以及涂层表面强化这三大方面。这些年，在刀具材料领域，通用及一般高性能材料基本实现国产化替代进口，发展较为迅速。但在后两个方面，迫切需要加大能力提升。包括人才、装备和工艺等各个方面，都需进行升级，增强行业技术创新力量和服务能级。

二、国产通用切削刀具

国产通用刀具包括孔加工刀具、螺纹刀具、铣铰刀具、数控硬质合金刀具、复杂刀具以及刀片等。这些刀具，按照相应国际、国内或行业标准，基于加工对象和精度等级要求，形成了各自具有自身特点的系列产品，以满足市场的有效需求。

孔加工刀具包括采用ISO、DIN、GB/T等标准的直柄麻花钻、锥柄麻花钻、阶梯麻花钻、扩孔钻、深孔钻、不锈钢专用麻花钻、中心钻和直柄小麻花钻等各类刀具，广泛应用于机械加工工业对各种被加工材料孔的切削加工。制造材料逐渐由熔炼钢向喷射钢、粉末钢升级换代。

螺纹刀具包括采用ISO、DIN、GB/T等标准的机用丝锥、手用丝锥、挤压丝锥、螺尖丝锥、管螺纹刀具、搓丝板、板牙等各类刀具，广泛应用于机械加工工业对各种被加工材料的内、外螺纹切削加工。

通过对比进出口刀具价格可知，进口螺纹刀具的平均售价为国产刀具的10倍以上，这类刀具，也是国产替代进口的重点关注领域之一。国内上海工具厂基于自身积累和研发，专注行业需求，先后开发出了满足不同行业和材料加工特性需求的丝锥系列，包括：DIN标准高性能螺旋槽丝锥系列、JIS标准高性能螺旋槽丝锥系列、统一螺旋槽丝锥系列、马氏体不锈钢专用丝锥系列、硅铝合金专用丝锥系列、通用螺旋槽丝锥系列、大规格螺旋槽丝锥系列、DIN标准高性能螺尖丝锥系列、JIS标准高性能螺尖丝锥系列、普通螺尖丝锥系列、高性能螺尖丝锥系列、灰铸铁专用丝锥系列、高钒高速钢螺旋槽丝锥系列等，很好地满足了市场需求。

数控硬质合金刀具包括采用ISO、DIN、GB/T等标准制造的各种整体或焊接式硬质合金钻头、铰刀、立铣刀和成型刀具等，广泛应用于现代汽车、模具、航空航天和电子通讯等行业的高精度、高效率 and 高速加工领域。

数控刀片包含铣削刀片、钻削刀片、车削刀片、螺纹刀片、切断切槽刀片以及针对特殊材料加工的刀片，例如株钻研制的难加工材料高温合金YBS系列刀片等，发展非常迅速。

复杂刀具包括拉削刀具、齿轮刀具、冷挤压成形刀具，圆形拉削刀具，平面拉削刀具，滚刀、插齿刀、剃齿刀、齿轮铣刀，轮槽铣刀，花键搓齿刀、螺纹搓齿刀，花键量规量仪等。目前，在复杂刀具领域，体现两个特点，一为刀具制作材料升级较快，二为精度等级要求越来越高。

三、切削刀具典型应用及解决方案

汽车工业和航空工业是刀具应用的两大典型领域。应用在汽车领域的刀具量大面广，在一定程度上，汽车行业的波动将对刀具行业的发展带来非常大的影响。涉及汽车领域加工的零部件，包括缸体缸盖、凸台、曲轴、油孔、凸轮轴、连杆、刹车盘、方向机扭杆组合、转向机万向节球道、汽车保险杠注塑模、电磁阀等，加工零件多，加工工序复杂，材料多样，刀具品种多样，涉及钻、攻、铰、铣、镗、车、深孔等多种加工，对刀具质量要求非常高。可以说，汽车加工用刀具的制造水平在一定程度上代表着这个国家的刀具发展水平。目前，国内在此领域基本能够提供完整的解决方案。

航空用刀具（见图9）是快速增长的领域之一，涉及复合材料加工刀具、飞机制造刀具以及飞机总装刀具等。从加工零部件分析，涉及发动机、腹板、滑轨、机身蒙皮、垂尾、扁尾、机翼、起落架等；从被加工材料分析，包

含高温合金、钛合金、不锈钢、铝合金、钛铝合金、复合材料、复合材料叠层等各种易切削和不易切削的难加工材料，尤其是镍基高温合金和复合材料、复合材料加叠层的加工，对刀具质量和刀具涂层要求非常高。



图9 航空刀具

镍基高温合金加工一般要求高硬度抗高温氧化涂层刀具，而复合材料加工要求结合力良好的金刚石涂层刀具。从加工方式分析，飞机零部件加工涉及铣、钻、铤、铰、攻等不同工序，其中装配用刀具涉及钻、铤、铰或钻铤、钻铤铰一体刀具较多。国内近几年在航空领域刀具开发上投入的力量比较大，包括国家层面的专项支持。国内主要工具企业包括上工、株钻等都在该领域开发了一系列的专用刀具，上工还发布了国内完整的航空航天用刀具样册，对推动行业进步发挥重要作用。

下面结合航空和汽车领域加工，介绍上海工具厂的两个典型加工案例。

(1) 虚拟五轴柔性加工机床配刀

如图10所示，刀具采用硬质合金制造，并配以金刚石涂层及独特钻形设计，实现高强度、高耐磨性和低切削力，在航空、航天复合叠层材料加工中，可有效应对纤维化碎屑不容易排屑、散热，以及刀具易磨损的现象。该刀具可实现铆钉孔的钻、扩、铰、铤窝一次成形。



图10 虚拟五轴柔性加工

(2) 发动机连杆螺纹加工

如下表及图11所示，刀具采用特殊截形设计，由五轴机床制作，确保了设计与制作精度一致性。特殊的表面处理有利于提高纳米硬质薄膜的综合性能。靶向热处理工艺对提升刀具的内在品质起到重要作用。

加工参数一览表

产品名称	连杆	材质	42CrMoA	硬度	HB280
刀具名称	涂层粉末冶金螺尖丝锥		刀具规格	M8X1-110 5HX	
设备型号	专机 ZK5140B		加工方式	立式加工	
冷却方式	水溶性冷却液（外冷）		切削参数	n=500r/min	



图11 发动机连杆螺纹加工

四、结束语

近几年，国内刀具行业整体发展态势较好，国产刀具在国内市场份额从10年前的66%发展到如今的75%左右，且出口比例也处于上升趋势，对支撑国家相关产业发展起到了重要作用。

未来，在提升安全、有效、可靠供给的背景下，国产化的道路还很长。毕竟，越到后面，骨头越难啃，要求越高。为此，希望各工具企业一方面加强自身管理和人才培养，提高盈利水平；另一方面加强上下游协同发展，只有上下游联动，行业才会健康持续发展。□

3C产品加工领域关键技术及应用分析

武汉华中数控股份有限公司 吕环环 张恒 文佳雄 张玲

近年来，市场对3C产品的需求量不断增加，3C产业逐渐成为了当下发展快、革新大的产业，而且，3C产品的设计开始向个性化、便携式、轻巧型的方向发展，极大地丰富了广大消费者的选择空间。无论是3C产品的造型设计，还是材料选择以及工艺优化等，都对3C加工技术提出了更高的要求。

3C产品加工难度

3C产品主要包括计算机、通讯及消费类等电子产品。随着通讯技术的快速发展，以手机、电脑、无线通讯设备等为代表的3C产品逐渐成为当下发展最迅速、最具潜力的新兴产业。

3C产品呈多样化发展，除了部分零件和内部电路板外，还包括塑胶以及钣金等零件。塑胶产品主要有手机、数码相机等，钣金类产品主要有交换和传输设备的外壳，如高低压成套开关的壳体加工制作，这类零件具有批量大、生产周期长等特点，需要模具进行冲压成型。同时，由于3C产品不仅需要考虑实用性，还要考虑产品的美观度，且大多呈复杂的曲面

形状，因此其加工技术要求较高、难度较大，对加工机床的效率、精度等都要求较高。



3C产品CNC市场需求

根据3C产品的主要组成零部件，可以大致分成金属组件加工和玻璃组件加工两大类。

1. 针对金属组件加工

金属组件加工主要包括：五金产品件、手机中框、外框、摄像头等部件、笔电3C产品精密加工；铜工、模具、治具加工等精密加工。



轮廓外形



手机中框

2. 针对玻璃组件加工

加工工艺主要包括手机手表等产品前后面板开孔以及外形加工，2D/2.5D玻璃、PC、亚克力、PET视窗镜片的切割、倒边，陶瓷3D磨削。

手机3D玻璃盖板生产加工工艺的流程主要包括：工程→开料开孔→精雕

→研磨→清洗→热弯→抛光→检测→钢化→UV转印→镀膜(PVD)→印刷(丝网、喷涂)→贴合→贴膜→包装等。所以针对玻璃组件的加工工艺主要集中在精雕和抛光打磨这两道工序。



精雕玻璃是采用精雕机砂轮槽对毛坯玻璃进行磨边,去除余量,并通过钻头将玻璃原料进行倒边和钻孔,用细砂轮对外形及摄像头孔精加工,以满足最终成品要求。加工精度达0.01mm。抛光时加入抛光粉,通过研具在一定压力下与加工面作复杂的相对运动,将玻璃原料磨至要求厚度,并抛光成表面镜面效果。

3.3C加工对数控机床和数控系统的要求

针对3C产品在材料、结构、技术等方面的发展现状,结合用户追求的美感体验,尤其是智能手机为代表的手机产品,主要需要以下三大加工技术。

(1) 高速高精度切削加工制造技术

该技术需要具备预读程序指令、插补前加减速、最佳转角速度控制、前馈控制、圆弧入/出口速度控制、向量精密插补等技术特点。

(2) 成型轮廓曲面加工制造技术

由于3C产品对制造技术有很高要求,需要通过成型轮廓曲面加工制造技术来解决手机边框在加工中出现的入刀痕、拐角痕等问题。

(3) 石墨模具设计与制造的技术

该技术具有耐高温,抗强度,不易变形,耐腐蚀的特性,可实现高精度3D曲面玻璃热弯成型。

华中数控解决方案

针对3C加工对高速高精高质量的要求,华中8型高档数控系统全数字总线式高档数控系统,突破了一系列关键核心技术,批量配套于某重点3C加工领域(精密陶瓷工厂、3D玻璃精密制造工厂、精密金属制造工厂)。



华中8型通用型的多头软件主要应用于玻璃机、陶瓷机、雕铣机及加工中心等。根据不同用户的需求,主要适配机型如下:

(1) B-550E/A、B-400E机型 高速高精密机型,加工陶瓷手表盖,高硬度蓝宝石表盖,以及手机曲面屏幕玻璃,加工效果优,加工效率同类型机台领先。

(2) B800-3机型 3Z轴同时加工,保证加工品质的同时,较单Z轴机台效率提升3倍。

(3) B-350机型 3通道,双X轴双Y轴双Z轴,自带机械手全自动上下料,实现机台持

续自动化加工,大幅降低人工重复性劳动且提高生产效率。

(4) 五轴抛光机

五轴联动磨削加工,带RTCP功能,能够适应不同曲面磨削抛光。打磨金属手机中框,能做到一出30片料的加工效率。

数控系统实现的技术亮点

1.3D补偿功能

随着3D曲面屏在手机行业应用越来越广,3D玻璃、陶瓷加工等3D加工需求量增加,使用传统的编程方式加工玻璃良品率又无法提升,华中数控的解决方案:通过3D补偿方式来提高产品的合格率,满足加工要求和市场需求。

(1) 3D曲面玻璃

由于玻璃在热弯过程变形量是无法管控的,所以导致编程轨迹和实际加工路径不重合,导致加工的玻璃出现了过切或者欠切的情况,这样无法满足加工需求,这时华中数控系统通过3D补偿功能进行X/Y/Z三轴的补偿,满足客户现场的加工需求。



(2) 陶瓷加工

加工陶瓷手表外壳,由于前一道工序加工了孔或者槽,在下一道工序需要进行孔或者槽的倒边,但是由于磨头的磨损和每一件工件有偏差,需要进行探头测量补偿到X/Y/Z三轴坐标,从而时倒边均匀,但是使用传统的编程方式直接补偿会出现台

阶等问题，这时就需要使用华中数控3D补偿功能进行补偿满足客户。

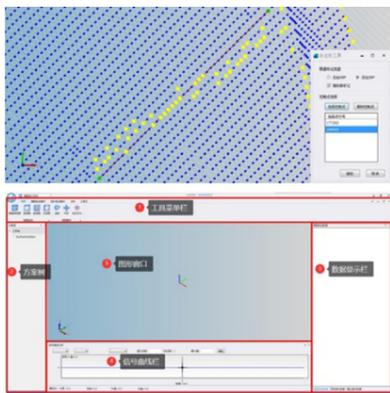
2.多轴多通道功能

一套系统实现“机床1+机床2+机械手”并行控制，完成取料→上料→加工→取料→放料整套流程。得益于系统在双通道控制领域的优势。



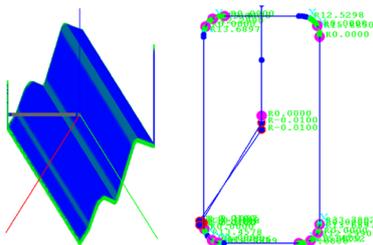
3.iSurfine曲面加工优化软件

iSurfine 曲面加工优化软件是应用于三轴曲面加工中提升零件加工精度、加工效率和表面质量的综合应用软件。零件加工精度、效率和表面质量与加工过程中的控制数据具有高度的关联关系，在插补仿真或实际加工过程中采集的插补点数据基础上，结合零件编程轨迹（G代码）对采集的插补点进行速度和轨迹分析，实现零件加工缺陷的数据溯源，为后续的加工优化提供可信依据和优化方向。



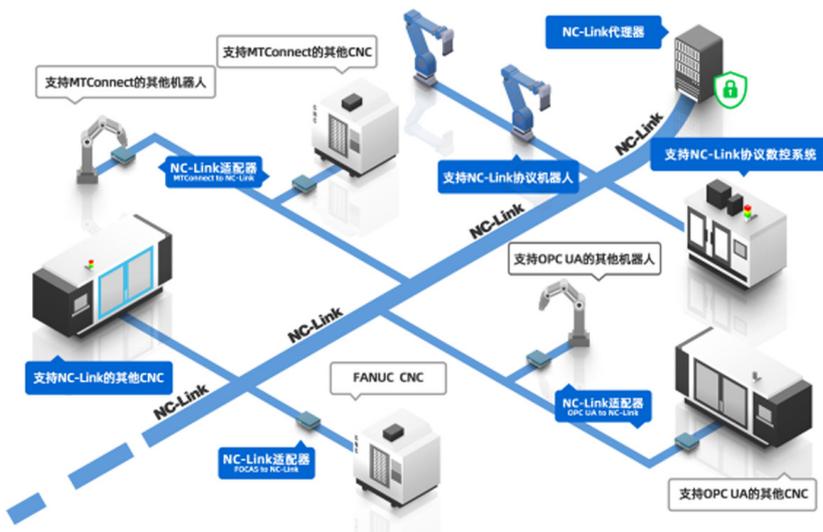
4.高速高精算法解决

优越的速度规划与插补算法，多套小线段参数，对圆弧、拐角处速度和精度的精确处理，达到效率最快精度最高的高速高精控制。



5.NC-LINK数字化工厂

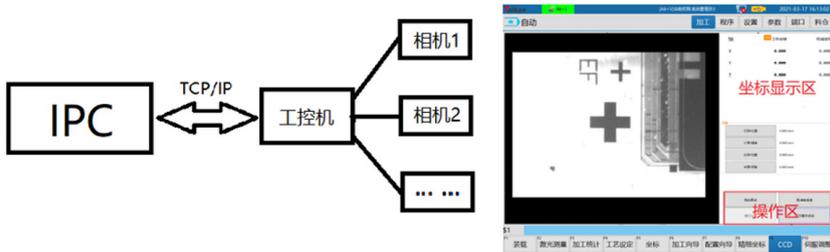
精密陶瓷工厂、3D玻璃精密制造



6.典型专用技术

针对3C加工的特殊性，华中数控开发对应的技术解决方案。

CCD单元技术：3C产业产品加工在线视觉测量及工艺调整已广泛应用，目前对于精雕机客户对于系统集成支持CCD功能用于加工测量及补偿调整。



数控超声波加工系统：建立数控系统与超声波装置、A/B轴转台等数据通讯与操作交互平台，形成超声波加工系统。



批量配置华中8型系统的高速钻攻中心

结语

近些年，华中8型数控系统大批量应用于高速钻攻中心机型、玻璃机、抛光机、超声波雕铣机等机型。



批量配置华中8型系统的十五轴抛光机



汇专科技批量配置华中8型系统的超声波高速雕铣中心车间



批量配置华中8型系统的玻璃机生产车间

未来，玻璃、陶瓷在智能手机上的应用将进一步扩大，3D玻璃将大量应用于手机组件。手机加工产业将由传统的钻铣加工向高进给加工、高寿命加工、高精密切削加工方向发展，如高速高精度切削加工、成型轮廓曲面加工、石墨模具设计与制造等。同时，切削加工将由2D、2.5D逐步过渡到3D。

随着5G技术的升级，叠加消费电子结构复杂度、精度持续提升，CNC设备加工精度从微米迭代到纳米、粗加工和精加工精度进一步提高，国产中高端机床产品的加工精度、加工速度、加工效率和稳定性要求也越来越高。同时为满足不同材料加工工艺的要求，对数控系统的二次开发也提出了更多的需求，倒逼机床企业和数控系统企业不断加大研发投入，攻克关键核心技术，国产数控系统的发展空间更为广阔。□

第十二届中国数控机床展览会 (CCMT2022) 部分展品综述

中国机床工具工业协会市场部

第十二届中国数控机床展览会(CCMT2022)原定于2022年4月11~15日在上海浦东·上海新国际博览中心举办,受疫情影响,展会延期举办,具体时间待通知。原定展会预计展览总面积12万平方米,包括N1~N5、W1~W5共10个展馆,将展示来自全球24个国家和地区的1300余家展商的数万件展品。

本届展会规模大,展品类别齐全,技术先进,配套活动丰富多彩。境内外企业精心组织了技术精湛、功能强大、各具特色的机床工具展品,让人耳目一新。

为使广大观众在展前了解展会和展品,笔者在展商于2022年1月20日前提交的展品资料基础上,对部分展品特点加以梳理汇总,希望助益观众有效参观。

需要说明的是,由于笔者在消化和处理海量资料过程中,受制于时间、人力等客观原因,本文可能对一些特色展品存在遗漏,不足之处敬请广大展商指正,也望读者谅解。

一、车削类机床

1. 概况

车削类机床是量大面广的金属切削机床之一。据已有资料,本届展会车削类机床参展商50多家,参展的车床产品90余台。提供展品资料的展商有北一机床、秦川机床、普什宁江、通用技术集团、齐重数控、山东鲁南、博谷智能、海德曼、纽威数控、安徽新诺、开兰重工、台州屹捷、深圳硕方精密、安阳鑫盛、创世纪、济南一机、山东建哈昱阳、埃马克、德马吉森精机、马扎克、大昌华嘉、力劲精密、因代克斯、哈斯、村田机械等。

车削类机床展品因其主轴和刀塔配置形式的多种多样,衍生出机型丰富多样,按机床整体结构形式有立式(单柱、双柱)、倒立式、正倒一体式、卧式(水平和斜床身式);按主轴布置有对接主轴式、平行主轴式、双头主轴中间驱动式;按刀塔的布置有转位刀台式、转塔刀架式、梳状刀架式,双刀塔或多刀塔式。按功能分有通用型数控车、车削中心、纵切车床,也有各种专用类数控车床,如管螺纹车、轮毂车、端面中心孔车、油缸专用车、多轴多工位专用车。按精度分有普通精度、精密、高精密和超精密车床。联动轴数也有二至四轴不等,机床规格也从小型、中型到重型应有尽有。

2. 车削类展品主要技术特色

(1) 精度与精度保持性

精度和精度保持性一直是机床厂家追求的目标,也是众多用户的关注点。先进的设计理念和手段,高刚性的床身结构和高品质的床身材料,完备的温控系统,稳定的主轴系统,先进的导轨和轴承等功能部件,都是机床高精度的必备条件。

本届展会上各厂家在这方面也是不遗余力,典型的如普什宁江的MICRO-T400超精密数控车床和江苏博谷智能CNC 100SP超精密数控车床,使用静压导轨和静压主轴等确保其精度。博谷智能CNC 100SP机床的X、Z轴定位精度 $1\mu\text{m}$ 、重复定位精度 $0.5\mu\text{m}$,主轴的轴向和径向跳动均 $<0.15\mu\text{m}$ 。大昌华嘉展出的Moore 250UPL超精密金刚石加工机床,采用人造大理石床身材质,闭式静压导轨,耐撞击多孔石墨涂层空气主轴,激光全息线性光栅尺的配置,这样的配置也带来了“面型精度

$P-V \leq 0.1 \mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $Ra \leq 2.0\text{nm}$ ”的加工质量。

(2) 刚性

在基础件和关键功能部件的结构刚度方面，多数厂家利用有限元分析技术进行动静刚度优化，主轴采用双列圆柱滚子轴承，以滚柱直线导轨替代滚珠直线导轨成为趋势。如浙江金火机床主轴轴承采用ROBUST结构，前端由双列圆柱滚子轴承与双列角接触推力球轴承组成，后端为双列圆柱滚子轴承，保障了主轴高刚性及稳定性；深圳创世纪、纽威数控机床采用滚柱直线导轨，秦川机床采用宽矩形淬硬导轨，齐重数控和杭州开兰重工采用山形滑动导轨结构来加强其结构刚性。

(3) 高效率 and 自动化

随着社会发展，车床的加工效率和自动化越来越被市场关注，本届展会展品在此方面表现精彩纷呈。配置双主轴双刀塔已成为中高端产品的发展趋势，多轴多刀塔同步或联动加工屡见不鲜。如因代克斯、普什宁江、深圳硕方的数控纵切车床、台州屹捷中驱型数控车床、埃马克四轴立式轴类车床和秦川机床的双主轴双刀架数控车床等都是典型代表，山东建哈东阳重工还展示了数控双柱立式车床，这些配置极大提高加工效率。

另外，正立式数控车（秦川机床BD500，温岭大众精密DMVL300），主轴对接型数控车床（秦川机床MTF20、台州屹捷YJ-CKST30DJ），动力刀塔及配置各种机械臂则可以轻松完成工件的正反面、左右端及工件其他部位的一次性自动加工。各种工件夹持器、棒料机、集成机器人、机械臂、在线测量技术等大量广泛的应用，使生产的自动化、无人化变得越来越普遍，如村田机械平行、相向双主轴数控车床配置自主研发的机械臂，通用集团D-KX130环类零件车铣复合加工自动线，因代克斯纵切车床和车削中心配置的棒料机及集成机器人卸料系统等。

3. 典型展品

大昌华嘉香港有限公司展出的Moore（穆尔）Nanotech 250UPL V2超精密加工机床。人造大理石床身结构，低频空气隔震阻尼系统，闭式静压导轨，提供平滑、高刚性和高减震能力的线性运动性能。采用耐撞击多孔石墨涂层空气主轴，闭环控制水冷机对主轴进行恒温冷却，保障了主轴全转速范围内跳动 $< 12.5\text{nm}$ 。C轴反馈分辨率为 $0.01''$ ，激光全息线性光栅尺反馈分辨率 $8.4\mu\text{m}$ ，系统线性编程分辨率 0.01nm ，角度编程分辨率 0.0000001° 。可以选配C轴、B轴或Y轴，实现X、Z、C、B或者X、Z、C、Y四轴联动。慢刀伺服技术（S3）加工环形圆纹曲面、双圆锥和自由曲面工件，加工精度能达

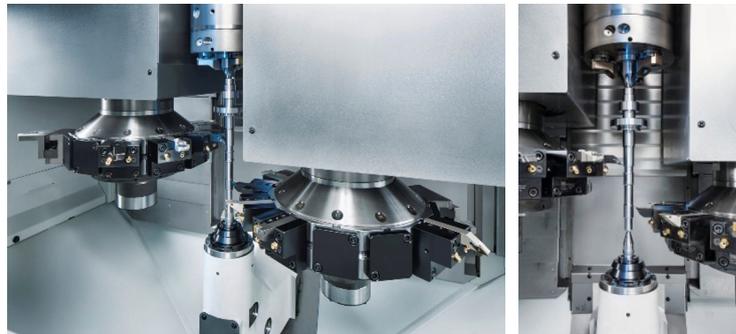
到面型精度 $P-V \leq 0.1 \mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $Ra \leq 2.0\text{nm}$ 。

大昌华嘉香港有限公司展出的Schaublin（肖布林）842 精密生产型车床。高刚性结构，高精度主轴具有大扭矩，可选反向主轴和尾座。16位刀位都可以安装动力刀，圆刀塔容量同时满足两个主轴的加工，邻位换刀0.56s，电机一体式驱动，动力刀最高转速12000r/min。液压卡盘夹紧力可编程调节，肖布林与FANUC合作定制的数控系统。

江苏博谷智能科技有限公司Microtech CNC 100SP超精密数控车床。一款超精密的国产数控车床产品。采用天然花岗岩床身和主轴座、超精密液体静压导轨、超精密液体静压主轴、床身及供油系统恒温冷却、C0级滚珠丝杠驱动并结合Heidenhain光栅尺精密反馈。X、Z轴定位精度 $1 \mu\text{m}$ ，重复定位精度 $0.5 \mu\text{m}$ 。主轴最高转速4000r/min，动平衡等级达G0.1，轴向和径向跳动均 $< 0.15 \mu\text{m}$ 。用于硬车加工淬火后硬度达到HRC58~70的工件，其加工后的尺寸精度 $< 2 \mu\text{m}$ ，形状和位置精度 $< 1 \mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $Ra 0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$ ，可以实现淬火后对于高硬度零件以车代替精磨工艺。此外，江苏博谷智能还将展出超精密气体静压转台，超精密气体、液体静压车削主轴等超精密功能部件。

四川普什宁江机床有限公司MICRO-T400高精度数控车床。配备高精度液体静压主轴、静压导轨、静压丝杠副以及高精度伺服刀塔，主轴跳动 $< 0.2 \mu\text{m}$ ，X、Z轴定位精度 $3 \mu\text{m}$ ，重复定位精度 $1.5 \mu\text{m}$ ，满足超精密车削加工和淬火硬度为HRC55~65的硬车削加工，实现以车代磨的加工方式。

埃马克（中国）机械有限公司太仓分公司VT 4-4四轴立式轴类加工车床。四轴同步控制，双刀塔在同一工件两侧同时切削，两个刀塔分别拥有11个刀位，可以配备动力刀具或Y轴。最大加工长度1050mm，最大加工直径 $\phi 200\text{mm}$ 。配有两个结构紧凑、空间占地非常小的传送带，分别能够容纳28个毛坯件和28个成品组件。而且通过传送装置和翻转单元或机械手还可以将多台VT倒立式车床以低成本和高效率的方式互相联机成生产线。

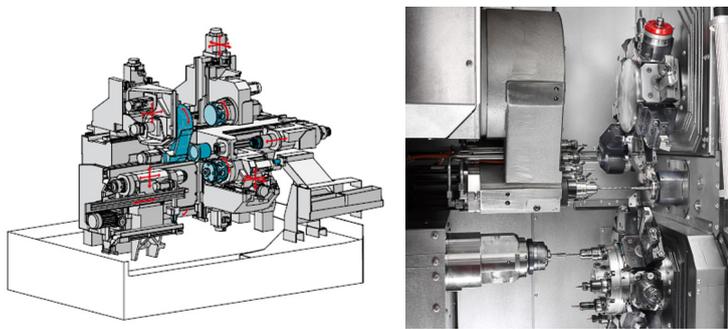


哈斯自动数控机床(上海)有限公司ST-20Y-V车削中心。对其畅销的ST-20系列车削加工中心进行了全面的再设计,更坚固耐用;增加了Y轴,以使机床功能更突出,增大通孔直径,以及其他一系列可提高生产力的选配。独特的HAAS控制系统,具有远程监控、断电保护装置、以太网接口、HAAS控制系统的WiFi连接等。

德马吉森精机机床贸易有限公司NLX2500-700车削中心。机床导轨采用高刚性硬轨,床身配有冷却液循环系统,内置电机BMT刀塔,实现车削及铣削功能。搭载CELOS+MAPPS V系统;配有Multi-threading 2.0螺纹加工模块,自定义齿廓、螺距和齿形,在机床上能直接编写螺纹加工程序;可选配制齿模块,采用对话式输入齿轮参数生成数控程序,可实现直齿、斜齿、曲齿以及蜗轮加工。

因代克斯贸易(上海)有限公司INDEX C200车削中心。两个高功率的电动主轴,60m/min的快速移动速度;配备2或3刀塔,42个刀位及专利设计的W型刀具定位槽,刀塔快速分度;垂直床身结构排屑流畅,龙门式集成工件卸料系统。INDEX新型平面移动导轨提供较高的动力性和吸震性。

因代克斯贸易(上海)有限公司TRAUB TNL20系列数控纵切自动车床。同时具有纵切车床和车削中心结构特点,两个工作主轴和多个带Y轴的刀塔,可以配置前端和后端加工单元。TNL20占地面积紧凑,生产效率高。可配备棒料机或机器人单元,适合用于复杂零件的批量生产。此次展出是TNL20-9,具有9个伺服轴,两个刀塔,每个刀塔8个刀位,动力刀位最高转速12000r/min,后部加工单元和一个独立副主轴,两个刀塔可以联动加工。



四川普什宁江机床有限公司CK1101II数控纵切自动车床。为专业用于微小零件加工的高精密机床,机床主轴内置主轴电机结构,具有Cs轴控制和分度功能,采用高精度向心推力角接触球轴承,主轴装推套的定位孔径向跳动 $2\mu\text{m}$ 、主轴最高转速16000r/min,机床重复定位精度 $2\mu\text{m}$ 。可对冷拉棒料或磨光棒料进行连续上、下料的自动

循环加工。能完成轴类零件的全工序加工。

深圳市硕方精密机械有限公司SZ-206数控纵切自动车床。有限元分析(FEA)优化设计床身,可装30把刀,其中背轴侧14把刀含4把车刀、7支端铣、3支侧铣,模块化布局,采用电导套结构、内藏式油冷电主轴,主轴最大通孔直径 $\phi 27\text{mm}$,C轴 0.001° 分度。

浙江海德曼智能装备股份有限公司T55Msuper高精度数控车床。最大回转直径 $\phi 550\text{mm}$,最大加工直径 $\phi 300\text{mm}$,最大加工长度429mm。主轴和刀塔部件分别采用了自主开发的同步电主轴及伺服刀塔,刀塔采用伺服电机粗定位,高精度牙盘精定位,液压卡紧,保证了刀塔部件的高精度和高速度分度要求,刀塔可以承受 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 的压力。配置伺服尾座,尾座移动距离和顶紧力可以在程序中任意设定,最大可提供500kg推力。可根据具体需求,配备高速机器人,实现无人化生产。

浙江海德曼智能装备股份有限公司Hi6000卧式双主轴双刀塔并行复合加工机。最大回转直径 $\phi 650\text{mm}$,最大加工直径 $\phi 380\text{mm}$,最大加工长度1000mm。机床主体采用箱式结构,刚性高,热敏感度低。主要用于各种旋转零件车削、铣削、钻孔、镗孔、攻丝等加工任务的复合或者并行加工。

台州屹捷数控机床股份有限公司YJ-CKST30DJ对接型数控车床。通过两主轴的对接实现工件左右两端的自动对接加工,带有自动检测功能,系统自动刀具补偿,可实现整个工件的全序加工和无人化加工。

台州屹捷数控机床股份有限公司YJ-CK90ST中驱型数控车床。通过配置两套左右对称结构的刀塔和共用主轴箱的方式,结合中驱动双向电主轴结构,实现高精度双头数控车床的中驱总体布局,实现一次装夹同时完成工件两端加工,解决异形轴类零件加工及双面加工同轴精度问题,并提高了生产效率和加工精度。

秦川机床工具集团股份公司MTF20对列式双主轴双刀架数控车床。采用双主轴(电主轴)、双刀架对列布局,可实现双主轴、双刀架的同时车削加工;机床Z向进给可以完成工件的双向夹持,实现工件的正反面加工,对列式双主轴结构可在高速旋转的情况下进行工件交换,在一次装夹下完成工件的全部车削加工。

村田机械(上海)有限公司MW120II、MW40平行双主轴数控车床。左右两根平行的主轴、村田自主研发的机械臂,可实现从毛坯到成品过程中的自动集成加工及生产过程的自动化,适合大批量生产。

村田机械(上海)有限公司MT200相向双主轴数控车床。全部刀塔可搭载Y轴、动力刀座,将车削、铣

削、精加工等多道工序集为一体，可正反加工。可搭载高速伺服棒料堆载装置，又可通过新型高速门型机械臂对应多样的上下料装置，实现加工自动化。

浙江双正科技股份有限公司SZ10B-1209H3-18W全自动倒挂式多工位组合车床。主要由一个10工位倒挂圆盘工作台、多种功能动力头构成。动力头可沿X、Y轴运动，并做0~30°摆动。倒挂式圆盘工作台，围绕机床立式主轴进行水平式360°定位旋转，并与床身上对应多工位的各功能动力头与刀具相配合，多工位多轴联动。圆盘上10个工位，其中1个工位循环上下料，9个加工工位。每个工位最多可以安装两个工件，与对应的动力头和刀具配合，实现同时对18个工件进行钻、铣、镗、螺纹车削等加工。

温岭市大众精密机械有限公司DMVL 300正立式数控车铣中心。将倒立式及立式车床复合成一体，零件正反两面的加工由机床主轴对接完成，集成了立式车床与倒立式车床的加工优点，定位精度0.01mm，重复定位精度0.005mm；可选装自动检测装置、动力刀塔、送料及收料料道。适用于加工刹车盘、轮毂、轮辐、液压阀体、泵壳体、法兰盘等。

秦川机床工具集团股份公司BDV500正立式数控车。机床按正立式双主轴双刀塔设计，由双通道数控系统控制，一体化布局实现工件在两主轴之间自动对接，完成正反面加工，加工精度可达到IT6级。采用高强度铸铁整体斜床身，多次时效处理；导轨副采用宽矩形淬硬导轨及贴塑、刮研工艺；主轴组件采用精密角接触推力球轴承与双列圆柱滚子轴承组合排列；采用大功率内装式电主轴驱动，强制液冷。

中国通用技术（集团）控股有限责任公司（大连机床）D-KX130环类零件车铣复合加工自动线。整线由CLS20数控车床、DT-16Z数控车床、TD500A钻攻中心，以及自动送料机、输送带、桁架机械、机器人、快换爪库和料仓组成，具有数字化功能，可实现单人负责整线或者多线加工。

杭州开兰重工机械有限公司KWZ140-6000 重型平床身数控车床。高承载设计、兼顾精密车削和重型车削。整体落地式平床身，山形滑动导轨结构，床身及床鞍导轨面采用耐磨铸铁，并经多重时效处理。床身上最大回转直径 $\phi 1440\text{mm}$ ，床鞍上最大回转直径 $\phi 940\text{mm}$ ，最大工件装夹长度6000mm，应用于重型零件的加工。

齐重数控装备股份有限公司HT I 140×60/14P-NC 高精度数控卧式车床。X、Z轴采用双山形结构导轨，Z轴进给为双齿轮齿条结构，主轴箱采用双层壁抗振式箱体，尾座移动为山形和平导轨组合形式。最大回转直

径 $\phi 1400\text{mm}$ ，最大工件长度6000mm，主轴端、径跳 $5\mu\text{m}$ 。机床应用于大型轴类、圆筒类等回转类零件加工。

二、加工中心类

1. 概况

加工中心作为展会的大类展品，一直是历届展会的重头戏，境内外的机床厂家高度重视加工中心产品将在CCMT2022上的亮相机会。据已有资料，60余家加工中心类展商展出100多台展品（不包括镗铣、龙门、复合类加工中心）。提供展品资料的主要展商有：北一机床、北京精雕、普什宁江、通用技术集团、科德数控、浙江日发、宁波海天、沈阳精锐、威达重工、山东蒂德、纽威数控、博鲁斯潘、佳时特、大连三垒、沈阳巨浪、创世纪、新诺精工、汇专科技、超同步、大昌华嘉、牧野、山崎马扎克、大隈、格劳博、爱姆科、斯达拉格、德马吉森精机、哈默、哈斯、惠乐喜、友嘉、丽驰、永进机械、大侨誉远等。

本届参展的加工中心产品充分贴合了市场需要，既有通用型立式、卧式加工中心，又有专用的高速高效钻攻型加工中心和轮毂专机，也有高速双轴和多轴式加工中心和其他特色加工中心。特别值得一提的是，本届参展的100多台加工中心展品中，五轴加工中心颇受重视，有近50台五轴加工中心参展，牧野、马扎克、大隈、格劳博、德马吉森精机、哈默、丽驰、永进机械等境外厂家，以及北京精雕、科德数控、普什宁江、沈阳精锐等境内优秀制造商，都重磅推出各具特色的五轴加工中心。

2. 加工中心类展品主要技术特色

随着市场需求的日新月异，机床厂家与时俱进，推出的展品充分体现了加工中心发展的趋势和方向，即高速高效、高精度、高刚性高稳定性、智能化、自动化和功能模块化等。

（1）高速高效

随着汽车、电子、国防、航空、航天等工业的高速发展以及铝合金等材料的普及应用，对数控机床加工的高速高效化的要求越来越高，同时伺服系统、数控系统及刀具设计和制造水平的发展也为加工中心的高速高效提供了更多可能，本届展会的加工中心充分体现了这些特点。

①主轴转速高：中高端机床普遍采用了电主轴，主轴转速达15000~30000r/min，个别的如大昌华嘉超精密加工中心KERN EVO达到50000r/min。高转速不仅在钻削类加工中心大量应用，在超精密加工中心、五轴加工中心

和卧式加工中心应用也相当普遍。

②进给速度快：在控制、驱动和测量系统高分辨率前提下，既可获得复杂型面的精确加工，又能获得很高的加工效率，如牧野加工中心、科德五轴联动加工中心、普什宁江加工中心等。

③换刀时间短：通过刀库结构特别设计及与主轴的配合，很多加工中心的刀具交换时间普遍已在1~2s，节省大量辅助时间，如牧野机床JA6 首款国产化卧式加工中心，换刀时间1.9s（屑对屑）。

（2）高精度及精度保持

数控机床高精度已经不局限于静态的几何精度，机床的运动精度、精度的稳定性和保持能力越来越被各机床厂家重视，并通过多途径各显其能来实现最终的精度目标。

①直驱直联技术应用：中高端机床的主轴、直线轴和旋转轴广泛使用直驱技术，采用电主轴、直线电机和力矩电机驱动；通用类加工中心主电机与主轴的直联传动，伺服电机直接和丝杠联接。直驱直联技术缩短传动链，传动刚度和动态特性好，显著提高了机床的精度水平。

②机床热变形控制及补偿：加工中心在快速运动和大负荷加工及长时间运行的工作环境下，不可避免会产生主轴、丝杠及床身热变形问题，从而影响加工精度。很多机床厂家在这方面做了很好的设计和改善。如采用热不敏感的矿物铸造材料，热对称设计结构，滚珠丝杠中心冷却，专用温控热交换系统，专有软件算法控制的精密热管理系统，环境热位移及主轴热位移自动补偿技术等。如大昌华嘉超精密加工中心、江西佳时特S系列高精度五轴加工中心等。

（3）高刚性高稳定性

机床厂家重视使用更合理的机床总体布局和结构设计。如龙门式布局由于其较高的结构刚性，被很多中小规格立式加工中心广泛采用，北京精雕和科德数控等厂家的五轴加工中心就大量使用该结构设计；与此同时，厂家应用有限元法分析设计以增强结构件刚度，大跨距导轨结构、各种高稳定性的床身铸造材料（如大理石和密烘铸铁等）及精密滚柱导轨等也被大量使用。先进合理的设计和新材料的应用为机床高刚性高稳定性打下坚实的基础。

（4）功能模块化

根据市场需求的多样性，同一台机床的主轴可以选择不同模块，如高速主轴或大扭矩主轴。如浙江日发RFMV80-5XP 立式摇篮五轴加工中心，可以选配多种电主轴，兼顾轻型切削和重型切削。卧式加工中心的交换工作台基本具备模块化的接口，既可以单机运行，也可以联机组成柔性单元或联成自动生产线。

（5）智能化

功能日益强大的数控系统及自动检测、自动补偿及模拟仿真等技术的应用，使机床智能水平大幅提高。如马扎克展出的HCN-6000 L+FMS 卧式加工中心柔性生产线，通过电脑对全部生产设备进行集中管理，是可灵活应对中批量、大批量、多品种少量、变品种变量的生产制造系统；VARIAXIS i-800 NEO高速、高精度立式五轴加工中心，配置MAZATROL Smooth Ai，具有多项增强智能功能，具有数字双胞胎虚拟仿真、生产项目管理等功能。大隈展品的热亲和、防碰撞、加工导航、五轴自动调整和伺服导航智能技术，Hermle的C42 U五轴联动加工中心的振动抑制、自适应进给、阻尼减振、刀尖点偏移补偿、负载自适应控制等，北京精雕展品的工件自动找正和重建加工面特征坐标系等功能，都充分体现了机床智能化水平。以SIEMENS、FANUC、HEIDENHAIN、华中数控等为代表的智能控制技术仍将是展会的亮点。

3. 典型展品介绍

大昌华嘉香港有限公司KERN EVO超精密加工中心。采用整体人造花岗岩床身，高精度滚柱滑座，双V滑动滚动复合式系统，无反向间隙预紧。机内和机外两套温控系统，机内温控系统能使温度变化范围控制在 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ ，数字直流伺服系统，矢量主轴控制，主轴转速50000r/min（可选160000r/min主轴），分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ 的Heidenhain光栅尺和特选的高精度滚柱丝杠，可以实现定位精度 $2\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $1\mu\text{m}$ ，保证工件精度 $4\mu\text{m}$ ，以及持久的精度保持性，同时由于新的数字直接驱动系统优化了动态加工的轮廓跟踪性能，表面粗糙度可以达到 $Ra \leq 0.1\mu\text{m}$ 。

瑞士斯达拉格公司Heckert H50 高精度卧式加工中心。带交换工作台的四轴卧式加工中心，节省30%占地面积，正T型床身布局。快速进给80m/min，X、Y、Z轴加速度 $0.9g$ 、 $1.2g$ 、 $1g$ ，托盘交换时间9.5s，100L/min的大流量冲屑。可单机使用，也可配合托盘系统和机器人上下料装置集成至柔性制造系统，模块化设计可实现机床的灵活配置，从立柱、刀库方案，到节能方案等选择，提供整体解决方案，满足用户个性化的要求。

德国贝托特·哈默机械制造股份公司C42U五轴加工中心。匣式嵌板结构，积木式模块化设计，拓展机床的应用范围，可升级到柔性制造系统，主轴防撞保护套，用以吸收Z向碰撞时产生的冲撞能量，工作台力矩电机驱动，工作台面位于A轴回转中心下方，为五轴加工提供了较好的动态性能。

四川普什宁江机床有限公司VMC801V立式五轴联动加工中心。龙门框架结构，人造大理石材料床身，Y轴采用四导轨支撑和重心驱动结构，具备良好的刚性和热稳定性，C轴采用力矩电机驱动，A轴采用双伺服电机同步驱动，X、Y、Z轴定位精度 $6\mu\text{m}$ ，A、C轴定位精度 $6''$ ，各直线轴的驱动和导轨都在加工区域之外的上方，避免切屑等因素的影响。

科德数控股份有限公司KHMC 80U卧式五轴联动加工中心。采用墙式立柱，三导轨支撑的挂壁式滑板结构，直线轴全部采用双丝杠重心驱动，摆头式A轴和B轴工作台均采用力矩电机直接驱动，具有高速、高加速度性能特点，适应复杂型面和五面体类零件的高效、高精度加工。可选配托盘工作台交换系统，满足组建自动化生产线需求。

科德数控股份有限公司DerThrone DMC50立式五轴联动加工中心。采用高刚性龙门结构，Z轴导轨无悬臂设计，滑枕悬伸无刚度衰减。摇篮转台采用力矩电机直接驱动、高精度绝对值圆光栅。整机热对称设计，直线轴滚珠丝杠预拉伸并可选配中空冷却。可集成转台车削功能，选配6种主轴，满足大扭矩或高转速应用。

科德数控股份有限公司DerThrone HMC80 U五轴卧式加工中心。一体式倒T型床体铸件结构，加宽加厚立柱，大扭矩直驱转台，高刚度高精度YRT系列轴承，夹紧扭矩 8000Nm ，适用于重切削。选配ZF双档减速箱，可以兼顾强力切削与高速加工；全闭环控制运行精度高。

惠乐喜机床公司NBH 40 Speed卧式加工中心。主轴结构与DIXI结构相同，主轴箱完全镶嵌立柱内，前后端有主导轨和辅助导轨支撑，重型加强筋，阶梯的X轴床身设计，整体铸造，力矩电机驱动的B轴。快速移速度 $90\text{m}/\text{min}$ ，加速度 $1g$ 。有盘式刀库、链式刀库、匣式刀库多种型式选择，适合加工钛合金、镍基合金、各种高温合金等难加工材料。

惠乐喜机床公司NBV 700 5X MT立式五轴联动加工中心。龙门式结构，一体式铸造床身，A轴回转范围 $+90^\circ \sim -120^\circ$ ，可选配高速B轴，实现车削功能，主轴采用HSKA63接口，最大转速 $15000\text{r}/\text{min}$ ，最大扭矩可达 200Nm ，适用于铝合金、高强度不锈钢或钛合金、镍基高温合金的加工。

格劳博机床（中国）有限公司G350卧式五轴联动加工中心。是G系列中代表性产品，适用于有复杂曲面、多空间角度或更高要求的异形件的五面加工和五轴联动加工，卧式主轴可达到同类机床中最长Z轴行程，三个直线轴的独特布局，缩小了导轨与工作点（TCP）之间的距离，保

证在使用最长刀具时机床各旋转轴都不受任何限制，实现加工工件的最大化。

格劳博机床（中国）有限公司G700F框架结构件加工中心。专门为大尺寸轻量化框架结构件和底盘工件的加工而开发的F系列产品，拥有超大的工作区，适合汽车行业的副车架、动力电池外壳等框架结构零部件的加工。手工、半自动、全自动上下料都有成熟的解决方案，也可以与其它机床通过自动化互联。

浙江日发精密机床有限公司CLOCK800 5AX卧式五轴联动加工中心。X、Y、Z轴定位精度 $5\mu\text{m}$ 、重复定位精度 $3\mu\text{m}$ ，A、B轴定位精度 $5''$ ，重复定位精度 $3''$ 。摇篮式转台（A轴）用双力矩电机驱动，回转式工作台（B轴）采用力矩电机，适用于飞机和汽车行业加工领域。

浙江日发精密机床有限公司RFMV80-5XP立式摇篮五轴加工中心。整体桥式布局，一体式高架墙结构床身，内置式电主轴，意大利MCM风格的摇篮工作台结构。全闭环精度控制，适配多种规格电主轴，兼顾轻型切削和重型切削。通过以太网通讯与外部自动化设备的对接，可实现自动化无人化加工。

爱姆科集团公司EMCO UMILL 750。五轴联动立式加工中心，B轴和C轴力矩电机驱动，B轴旋转范围 $\pm 100^\circ$ ，各直线轴的驱动和导轨都在加工区域之外的上方，可以选择90把刀位的刀库。

牧野机床（中国）有限公司JA6卧式加工中心。首款国产化卧式加工中心，采用大直径丝杠、滚柱导轨、三点支撑一体化床身，具备良好刚性。主轴启动时间 0.4s 、快移速度 $75\text{m}/\text{min}$ 、进给速度 $50\text{m}/\text{min}$ 、Z轴加速度 $2.5g$ 、换刀时间 1.9s （屑对屑），多项新技术使用缩短20%的循环时间，适合在压铸铝加工领域高效加工。

牧野机床（中国）有限公司a800Z五轴卧式加工中心。标配高扭矩高转速主轴，最大扭矩 721Nm ，快移速度可以达到 $60\text{m}/\text{min}$ 。工作台采用“Z”型高刚性结构，工件重心始终在旋转台上并且靠近倾斜轴，减少了伴随轴转动产生的惯性，同时配合倾斜式立柱结构，可以有效的抵消切削中的反向阻力，使机床拥有可靠的重切削能力，可实现高速、高精度及重切削的五轴加工。

北京精雕科技集团有限公司JDGR系列精密型五轴高速加工中心。采用龙门式结构，其中JDGR300H/400T/500/600配摇篮式双轴转台，JDGR50/100/150/200T配短悬臂式双轴转台，采用直驱技术，标配JD150S精雕高速精密电主轴，全闭环控制，稳定实现“ $0.1\mu\text{m}$ 进给， $1\mu\text{m}$ 切削，纳米级表面粗糙度”加工，可选配独特的数字化仿真模拟加工软件SurfMill和

成熟的在机测量系统。

北京北一机床有限责任公司MAR-800H-e 卧式加工中心。北一大隈新推出的大型卧式加工中心，X、Y、Z行程1300mm、1100mm、1250mm，托盘尺寸800mm×800mm，托盘最大承载重量2000kg，加工范围大，适合汽车零部件、机床部件及发电动力机械等行业大型箱体类零件加工。

中国通用技术（集团）控股有限责任公司（工研精机） μ 2000/5SS-800HF精密卧式五轴加工中心。机床主机采用倒T型结构，前后床身整体铸造，动态稳定性好。单摆角铣头采用双驱直驱电主轴结构，支撑载荷、热载荷对称设计，精度保持性好。气动钳夹精准定位，断电自锁，安全可靠。内装电主轴配大扭矩型和高速型两种模块，大扭矩模块输出的最大扭矩为420Nm，高速模块主轴最高转速20000r/min，用户可根据加工材料特性选用相应的主轴模块。五轴RTCP精度 ≤ 0.02 mm，具备机内在线检测功能，提高被加工零件的测量效率。

中国通用技术（集团）控股有限责任公司（大连机床）MDH-65M精密级卧式加工中心。采用正T形整体铸造的床身，动柱式结构，配置交换工作台。X、Y、Z三个坐标轴导轨采用了高刚性的滚柱直线滚动导轨、高精度中空冷却丝杠，具有温度补偿功能，定位精度为 $3.5\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $2\mu\text{m}$ 。回转工作台定位精度 $4''$ ，重复定位精度 $2''$ ，工作台分度时间1.7s（ 90° ）。电主轴最高转速12000r/min，X、Y、Z轴快移速度可达75m/min，刀对刀换刀时间2s，工作台交换时间12s。标准刀库的刀具数量为40把，用户还可以选择60、80、120把刀具的刀库。

中国通用技术（集团）控股有限责任公司（沈阳机床）M4-850H 立式加工中心。采用低重心大跨距床身、人字形立柱、倒梯形主轴箱。优化铸件材料配比，添加特殊合金元素，配置滚柱导轨，增强整机刚性和抗振性。大直径两端固定预拉伸丝杠和主轴箱热对称结构，有效保证了机床的加工精度及稳定性。排屑方式采用大倾斜角度床身配合双侧螺旋后排结构，确保排屑过程高效顺畅，并适应自动化应用场景。

安徽新诺精工股份有限公司SVG1580立式加工中心。一体式铸件设计丝杠安装座，下锁式安装的刀库；机台油水分离设计，三轴丝杠、线轨、轴承润滑油有效回收设计。

山东蒂德精密机床有限公司VT60B高效钻攻加工中心。总体布局采用龙门式结构，基础部件采用新型矿物铸件，快移速度60m/min，加速度1g，定位精度（半闭环） $8\mu\text{m}$ （全长），重复定位精度（半闭环） $5\mu\text{m}$ （全

长）。

埃斯维（苏州）机床有限公司BA W02-22卧式加工中心。双主轴、双工作台，进给轴采用直线和力矩电动机。双旋转交换工作台分别集成配备了2个回转轴。整体式框架结构，Y轴采用龙门式驱动，加工单元采用“框中框”结构，独特的符合人体工学的新型Cone控制面板。

山崎马扎克（中国）有限公司HCR-5000 卧式五轴加工中心。融合了马扎克卧式加工中心和五轴联动加工机的技术经验，主轴从标准的12000r/min，到高速、高功率的30000r/min、80kW有四种规格，滚珠丝杠采用轴心冷却方式，主轴搭载冷却装置，配置800L的切削水箱。

山崎马扎克（中国）有限公司VARIAXIS i-800 NEO立式五轴加工中心。最大装载工件：标准机 $\phi 1000\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，1000kg；双托盘交换装置规格机 $\phi 730\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，700 kg。通过工件的一次装夹，实现多面铣削加工，大幅度缩短在制时间，利用先进的刀具和高速加工技术，大幅减少加工时间。提供融合AI、数字孪生技术的高效率数字制造技术。

山崎马扎克（中国）有限公司HCN-6000 L+FMS 卧式加工中心柔性生产线。高品质密烘铸铁床身，可选配旋转变式双托盘交换装置和6托盘交换装置，新一代数控系统SMOOTH G，会话式编程，操作简单，融合了自动化技术、信息化技术、高度集成的柔性线特点。

江西佳时特精密机械有限责任公司S系列高精度五轴联动加工中心。机床为龙门式结构，采用直线电机驱动、天然大理石床身、床身恒温技术和全闭环控制。主轴转速30000r/min，X、Y、Z轴定位精度 $3\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $2\mu\text{m}$ ，快移速度达100m/min，加速度1g。

沈阳巨浪精密机械制造有限公司VMU500摇篮式五轴联动加工中心。整机龙门动横梁式结构，高速直驱电主轴，直线轴电机直联，转台采用直驱力矩电机，适合高精高速加工。

沈阳精锐数控机床有限公司A55y翻板五轴加工中心。机床采用卧式布局，工件水平姿态装夹，竖直姿态加工，方便工件的安装，以及切屑的排除。工作台 $400 \times 500\text{mm}$ ，加速度 $1 \sim 1.3g$ ，直线轴重复定位精度 $3\mu\text{m}$ ，配置双交换工作台，能实现五轴联动加工。一次装夹，完成钻、铣、镗、铰、攻丝以及复杂曲面的多面多工序加工。适用于航空、航天、电子、3C行业铝合金板类构件的高精度高效加工。

纽威数控装备（苏州）股份有限公司HE63S卧式加工中心。正T型斜床身、Z轴双驱的结构，封闭、框架式对称立柱结构，中置双螺排中央排屑结构，前后坡度导

流设计,排屑顺畅,Z轴采用整片式护罩结构,快移速度60m/min。

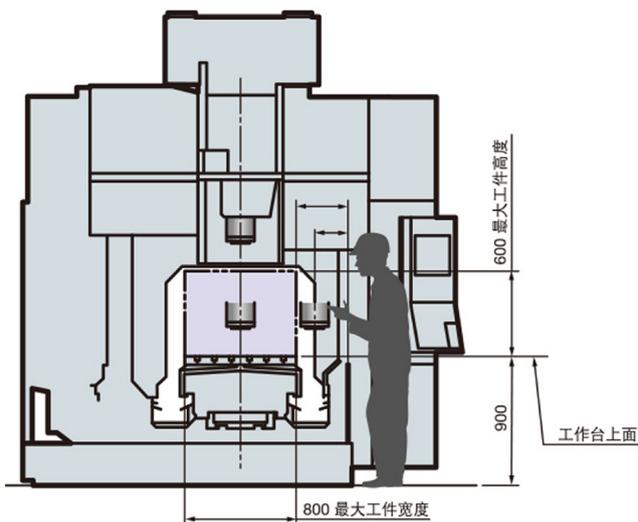


北京博鲁斯潘精密机床有限公司 HMC600DSP-5i卧式五轴联动加工中心。由双主轴和双摇篮式交换工作台组成的卧式加工中心。A、U轴可两端液压锁紧,每个主轴可单独控制,一次可加工2个工件,根据不同的加工工况,可选择四轴或五轴联动。适用于汽车铝合金发动机缸体、变速箱壳体、转向节等汽车零部件精密加工。

大隈机械(上海)有限公司MU-5000V-L五轴立式加工中心。龙门式结构加双耳轴支承的A、C轴可倾转台,滚珠丝杠配有冷却装置,拥有热亲和、防碰撞、加工导航、五轴自动调整和伺服导航五大智能技术,A、C轴定位精度1.4"、1.6",重复定位精度0.8"、0.3",主轴转速25000r/min,C轴转速252r/min,具有车削功能,具有良好的能见性和可操作性。实测S45C材质下的面铣加工能力504cm³/min,立铣加工能力672cm³/min,车削加工能力3mm²。

大隈机械(上海)有限公司MA-600H III卧式加工中心。最大工件尺寸 $\phi 1050 \times 1200$ mm,主轴最高转速6000r/min,主轴最大功率22kW,刀库容量60把。三点式高刚性支承床身可承受重切削,轻量化阶梯式布置线性导轨立柱,内冷却滚珠丝杠。通过主轴内切削液抽吸,无需吹气(最少15s)去除残留切削液,减少换刀时间;通过“SERVONAVI 旋转轴惯性自动设定”等功能,缩短工作台分度时间。“热亲和”智能技术在常温环境室温波动8°C条件下,仍可将加工精度控制在7 μ m之内。

大隈机械(上海)有限公司MB-80V 立式加工中心。采用双立柱龙门框架结构,Y轴行程大,实现对工作台、主轴的良好接近性和操作性。左右对称和箱式组合结构的立柱,达到规则的热位移和均匀的热传播。应用主轴热位移控制功能TAS-S和环境热位移控制功能TAS-C的智能技术。配置 Hyper-Surface,自动修整加工数据,提高模具的加工表面质量。



永进机械(中国)有限公司NCV168A立式加工中心。X轴六滑块、Y轴四滑块设计,鞍座双重壁结构,三轴丝杠预拉设计,三轴滚柱导轨;五个螺旋卷屑装置(4个Y向前排、1个X向侧排),排屑流畅,刀对刀换刀时间1.8s。

宁波赫可贸易有限公司VC500i五轴加工中心。耳轴式工作台,所有轴配备加大重载导轨,一体式整体铸造床身,采用有限元分析(FEA),WinMax Mill会话式编程和NC编程,系统具有刀具中心点管理、转换平面、3D刀具补偿、刀具矢量输入和撤回、最短角度行程、3D 实体模型导入等功能,符合人体工程学设计的控制器MAX5,配备两块19英寸液晶显示屏。

山东威达重工股份有限公司FMS80-WT卧式加工中心柔性生产线。配置丰富且完整的柔性线,由4台HMC800D卧式加工中心、机器人、运行地轨、上卸料位、机器人抓取系统、随行料位6部分构成。上卸料位随机器人同步运行,重载气动抓取系统并可根据工件夹持需求,自动更换不同的抓手,具备刀具、工件在线检测,刀具寿命管理的功能,可实现24小时无人值守生产,实现加工中心、机器人、辅助设备单元互联互通和状态监控。

上海大侨誉远精密机械股份有限公司MHV-500 立卧复合型多面加工中心。大侨精机专利产品——独立的立轴和卧轴结构,立卧主轴都可以自动换刀,兼具立式加工中心和卧式加工中心的功能,可在一台机床上实现立卧两种形式的加工。

汇专科技集团股份有限公司UHB200-5Axis超声五轴联动加工中心。独特的超声技术、具有吸震性能的床身材料,在加工硬脆性材料和难切削材料时可获得好的表面质量、刀具寿命以及加工效率,A、C轴配备锁紧功能,可实现强力定位加工,主轴转速36000r/min,全闭环控制。

三、复合类机床

1. 概况

复合类机床因其独特的设计和功能，在历届机床展中都是被广泛关注的展品。据已有资料，本届展会复合类机床有20多家展商，推出了30余台复合类机床展品。提供展品资料的展商有科德数控、宁波海天精工、天水星火、台州东部数控、深圳兴富祥、山东普利森、沈阳百航智能、沈阳马卡智工科技、斯达拉格、因代克斯、大隈机械、埃马克、斗山机床等。

2. 复合类机床展品主要特点

(1) 本届复合类机床展品包括车铣/铣车复合、车磨复合、铣磨复合、增减材复合等多种形式，以车铣/铣车复合为主，展品超过20台套。

(2) 复合机床具有强大的工艺和工序复合能力，一次装夹可以完成形状复杂工件的车削、铣削、镗孔、钻孔、铰孔、攻丝、磨削、制齿等加工。

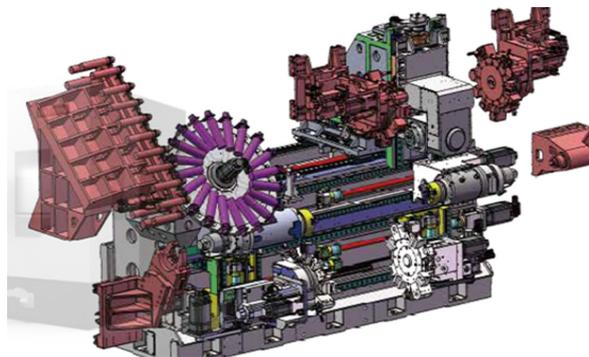
(3) 复合机床减少了工件装夹次数，避免了由于多次装夹和定位基准转化而导致的误差积累，工件的位置精度能得到更好的保证。减少了机床、工装夹具数量，缩短了生产辅助时间。

(4) 复合类机床的刚性和稳定性要求更高。由于复合加工中心同时满足多种工艺加工，比如车铣复合加工中心要同时适应车削和铣削加工，机床的稳定性和抗震性要求更高。因代克斯G420车铣复合中心通过设计使机床的静态部件质量和移动部件质量之比超过了5:1，以确保机床刚性、抗震性和动态性能；科德数控铣车复合加工中心和埃马克的车磨加工中心等多家产品都使用了高减震性能聚合物混凝土材料的床身、滚柱导轨，提高机床的稳定性和刚性。

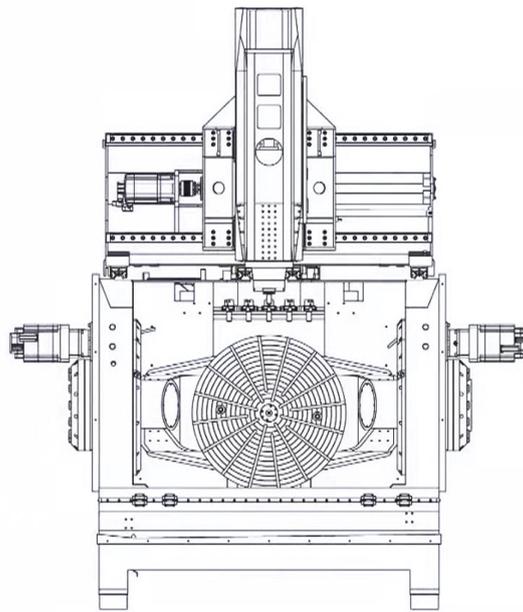
3. 典型展品介绍

科德数控股份有限公司KCX 1200 TM五轴卧式铣车复合加工中心。配置对置的双车削主轴、双下刀塔以及铣削主轴。整体顶置式正交结构设计，导轨采用直线滚柱导轨，增加了机床结构刚性，运动部件远离切削区，降低了切屑、切削液对导轨和丝杠的污染。最大加工直径 $\phi 400\text{mm}$ ，最大加工长度（两卡盘支撑时）1200mm，铣削主轴最高转速12000r/min。控制系统采用科德GNC62系统，实现高速的CNC功能，可同时控制十六轴，五轴联动。车削主轴、副主轴均采用内冷却力矩电机，同时配备高精度电磁角度编码器及液压夹紧，实现C轴高精度任意角度定位。可选配BMT65动力刀塔，可选配编程尾座顶

尖，其顶紧力能够跟零件直径尺寸大小进行编程控制。

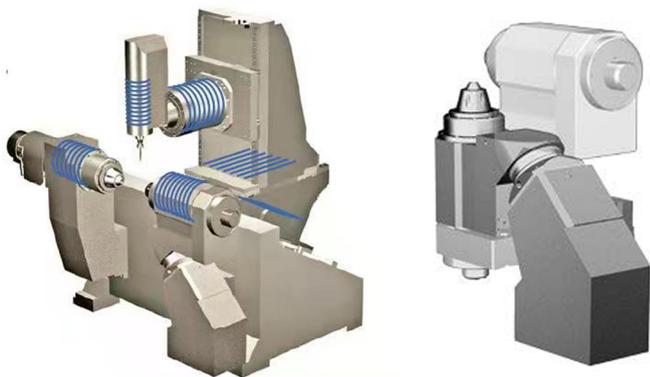


科德数控股份有限公司KMC800S UMT五轴立式车铣复合加工中心。具有铣削和车削两种模式，车削模式下回转工作台C轴最高转速800r/min，工件最大回转直径 $\phi 1100\text{mm}$ 。采用龙门框架设计，摇篮式工作台的双臂嵌入龙门框架中融为一体，Y轴采用四导轨支撑，A轴摆动角度 $-130^{\circ} \sim +130^{\circ}$ 。龙门框架采用矿物铸石材料，具有极佳的抑振性和抗热变形能力。运动轴动态响应速度快，五轴联动精度高，机床结构紧凑，节省空间。



瑞士斯达拉格Bumotec s191。是一款经典高精度高效的复合加工中心，可实现一次装夹完整加工复杂零件，可进行车削、铣削和研磨加工。具有极为通用的模块化结构，针对各种加工任务打造多种类型的机床。包括配7个数控轴和3个主轴，能够实现7轴任意5轴联动加工。副主轴可沿 45° 斜面进行立卧转换，主轴采用动静压轴承（陶瓷球），主轴的润滑和密封有独特的方案。主轴转速从0到30000r/min只需1.5s，B轴从 0° 摆动到 90° 只需

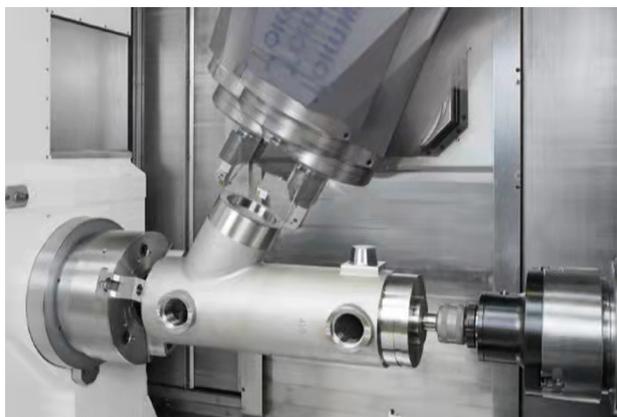
0.35s, 加速度1.2g, 快速进给50m/min, 换刀1.8s。主轴和副主轴附件种类丰富, 可满足坯料或棒料的夹紧要求, 副主轴夹紧系统可配台钳、筒夹系统或尾座, 也可以在必要时集成客户专用系统, 并能实现自动上下料。



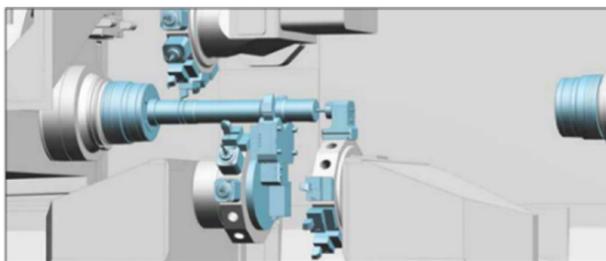
埃马克(中国)机械有限公司太仓分公司VL 200 GT车磨加工中心。使用高减震性能聚合物混凝材料的床身, 实现在一台机床上硬车和磨削加工。在一次装夹中, 工件预车后只给后续磨削留下极少量的加工余量, 砂轮修整频次低, 能实现表面质量 $R_z < 1.6 \mu\text{m}$ 加工, 可配置自动上下料。



大隈机械(上海)有限公司MULTUS U3000铣车复合加工中心。是智能化复合加工机床MULTUS系列中典型产品, 最大加工直径 $\phi 650\text{mm}$, 最大加工长度1000mm, 可选配1500mm。具备同级别最大Y轴行程并采用高刚性立柱移动式结构, B轴分度角度 $-30 \sim +210^\circ$, 使主轴和副主轴拥有同等的加工区域, B轴驱动采用了零反向间隙的滚子齿形凸轮驱动, 主轴和副主轴均可实现精密分度的高精度C轴, C轴定位精度4", 旋转刀具主轴转速 $50 \sim 12000\text{r/min}$, 主轴转速 $50 \sim 5000\text{r/min}$, X、Y、Z轴快速进给速度50m/min、50m/min、40m/min; 双滑板机构可将加工时间缩至最短, 支持倾斜轴的车削, 可选用齿轮加工程序包, 只需输入刀具种类、齿轮规格、加工条件等参数, 即可实现高精度制齿。

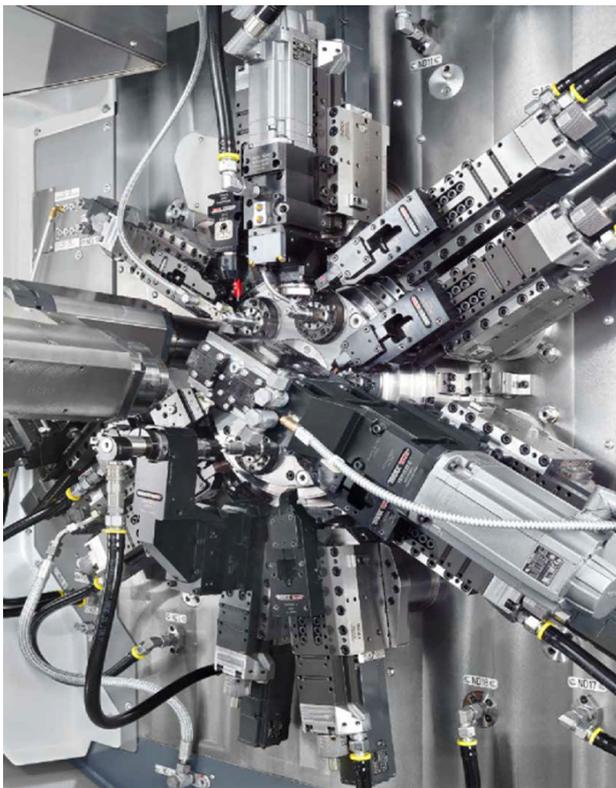


因代克斯贸易(上海)INDEX G420车铣复合中心。机床配备对置正副主轴、铣削主轴、双下刀塔, 五轴联动加工, 独特的设计可以实现三把刀具同时加工, 加工直径 $\phi 102(120)\text{mm}$ 、长度1600(2300)mm的棒料, 卡盘直径 $\phi 315(400)\text{mm}$ 。机床的静态部件质量和移动部件质量之比超过了5:1, 确保机床具有出色的刚性、抗震性和动态值(快移速度50m/min)。机床配备的三个滑台均带有Y轴, 16个运动轴确保了工件加工的各种可能性, 刀库可选115刀位, 总刀位数达139, 增加了加工的柔性。刀塔可选配中心架用于加工长轴类零件, 另外可选配集成的上下料系统或二轴机器人单元iXcenter, 适用于复杂工件。



因代克斯贸易(上海)INDEX MS24-6多轴数控多功能机床。6个主轴, 12个刀架, 两个具有C轴的同步副主轴, 每个同步副主轴有6个用于背面加工的刀具, INDEX快速装夹系统, 获得专利的W齿和开放式工作区可最大程

度地缩短调试时间，紧凑的主轴轮毂通过使用端面齿匹配确保每个位置的最高精度，核心部件由集成在主轴轮毂中的6个液冷电主轴组成，无级变速、高功率、紧凑型设计、低维护成本以及最新的同步驱动技术，可以根据用户的特定需求进行自由配置为十字X、Y、Z滑台或镗孔Z向滑台，配置线性或机器人上下料单元，实现高生产率的加工。



沈阳马卡智工科技有限公司SPACE180-306D五轴增减材加工中心。大型龙门机床结构，增减材一体制造。打印空间大，X、Y、Z加工范围6000mm、3000mm、1500mm；运动速度50m/min，主轴转速24000r/min。超大流量3D打印头，产量10kg/h至100kg/h，打印温度400℃。可打印多种碳纤维、玻璃纤维增强高分子复合材料，及专门开发的用于航空航天高温热压罐模具材料，并且材料可回收再利用。

米克朗Multistar LX-24多工位组合机床。机床采用凸轮驱动，控制刀具轴的快速和加工进给。用调频电机通过齿形带驱动一对刀具主轴，同时驱动单独控制，转速可以不同。有24个工位和最多44个刀具主轴，可以同时从上、下和侧面进行加工，完成钻、车或螺纹切削加工，还可附加24个中间工位，在加工过程中同时进行测量、监控和清洗工序。根据工件的加工工艺，可以将加工区分为2个、3个或4个分区，每个分区分别以相同的生产节拍加工相同或

不同的工件。特别适合喷射系统喷嘴和燃烧器、电子和电器连接器、光波导线的插入式连接器、医疗、通讯和视听领域等高效大批量零件的加工。

四、磨削类机床

1.概况

磨削类机床是本届展会规模较大的板块之一，细分种类繁多。据已有资料，磨削类机床展商50余家，展品110多台（不含齿轮磨床，将在齿轮类机床中介绍）。提供展品资料的主要展商有北一机床、秦川机床、普什宁江、上海机床、浙江杭机、广宇大成、北平机床、广州敏嘉、浙江日发、济南四机、南京南特、银川大河、威海华东、浙江固本、无锡昌亿、联合磨削、埃马克、莱玛特、牧野、孚尔默、哈斯马格、昂科机床、施利博格、全鑫精密等。

主要展品既有内外圆磨、坐标磨、平面磨，成形磨、无心磨、双端面磨、内外螺纹磨、导轨磨，各种工具磨（刀片磨、锯片磨、钻头磨、铣刀磨、车刀磨、微刀磨、丝锥螺纹磨、段差磨、拉刀磨），还有复合磨床、磨削中心、强力端齿磨、随动曲轴磨、珩磨（立、卧，单轴、多轴）抛光机、中心孔磨、磨抛设备等。展品品种、规格丰富，适合多行业的不同应用需求。

2.磨削类展品主要技术特色

（1）高精度

本届展会汇集了众多的精密磨床，不少产品拥有相当高的精度指标。一方面机床的砂轮主轴、工件主轴的径向/轴向跳动、运动轴的定位、重复定位精度等，多在 $2\mu\text{m}$ 左右甚至更高，如北二机床B2-GK3012 \times 500砂轮主轴径向跳动 $\leq 1.5\mu\text{m}$ ，轴向跳动 $\leq 1.5\mu\text{m}$ 。另一方面加工精度也有出色表现，如昂科机床CPX Linear加工零件的加工表面粗糙度达到 $\text{Ra}0.2\mu\text{m}$ ，Studer S31的磨削圆度 $\leq 0.4\mu\text{m}$ 。

（2）高速、高效

高速大功率电主轴、静压技术、直驱技术广泛应用，传动链短，传动精度、刚度、工作平稳性及动态特性高，为各机床厂家设计和制造高速高效磨床打下良好基础，生产出高速磨削、强力磨削、宽砂轮和多砂轮磨削等设备，如秦川机床的MKS1332CBN \times 10数控高速外圆磨床的砂轮线速度达到80~120m/s，联合磨削Walter Helitronic Power 400的多砂轮磨削功能。

（3）自动化和智能化

一方面，展品配置了丰富多彩的自动化功能，如工件

在线自动测量、砂轮自动修整与补偿、砂轮修正与磨削程序自动转换、工件自定心、工件径/轴向位置自动检测、自动工件安装误差找正、砂轮自动平衡、在线探伤、磨头重量和磨削力自动平衡、自动工件卡压、自动磨削循环等功能。如秦川机床数控丝杠磨床SK7432×15GX、广州市敏嘉SMK204数控螺纹磨床、江苏晨光CGK-2000 数控高精度外螺纹磨床等展品。另一方面，智能技术如自动补偿、随动跟踪磨削技术、磨削软件、基于联网数据分析的设备智能运维技术，包括机床负载监控技术、生产管理、工艺优化、自学习功能、维护保养、在线编程等也大量应用。如联合磨削Studer S131R 内圆磨床、S31万能内外圆磨床，哈斯马格Multigrind CA等展品。

(4) 模块化技术

采用模块化设计技术，备有丰富灵活的用于扩展应用范围和提高生产效率的多种选项，达到需求多样化、生产单一化目的，提高产品的性价比和市场响应速度。如瑞士施利博格Gemini NGM和孚尔默（太仓）VGrind 360E等展品。

(5) 抗振、热稳定材料应用日渐广泛

具备优异抗振和热稳定性的天然或人造大理石，已被越来越多的磨床制造企业用作磨床的基础件制造，如北平机床、秦川机床MKS1332×10等展品。

(6) 专用磨床技术精湛

本届展会将有众多专用磨床与观众见面，为用户提供专业的特色服务，其精湛的专业技能深刻体现了制造者对服务领域需求的认知与机械设计制造技能的完美结合，如埃马克PMD 2曲轴磨床，广宇大成GYDC-60XRV减速器行星架专用立式磨床。

3. 典型展品

联合磨削集团Studer S31万能内外圆磨床。直接驱动的转塔式砂轮架，分辨率可达0.00005°，最多可配3个砂轮轴。工件主轴可进行活主轴磨削和两顶尖磨削，活主轴磨削时圆度在0.4μm以内，工件主轴的C轴可实现非圆成形磨削和螺纹磨削，尾架的圆柱度精密微调装置保证了对圆柱度进行1μm范围内的修正。数控软件具有磨削参数计算、修整优化以及成形、螺纹和非圆磨削等功能。在机床控制系统中能够内置加工监测和接触感应的在线测量和传感技术，自动平衡系统，保证了在不同系统中的标准化编程。

联合磨削集团Studer S131R内圆磨床。力矩电机驱动的旋转工作台回转范围为-60°~91°，重复定位精度1"，通过B轴和X、Z轴联动插补，实现精密的圆弧、锥面磨削。磨削主轴转塔能够配置四根主轴和一根测量探

针，具有加工监测、消除空行程、在线测量、接触感应、砂轮自动平衡等自动功能。高精度C轴配置有直接测量系统，可用于非圆成形和螺纹磨削。配置专为内圆、圆弧、球面磨削应用开发的HMI StuderSim系统。适用于采用工业陶瓷、蓝宝石和硬质合金等超硬材料的钟表，以及加工陶瓷或钛合金材质的人工关节医疗器械等零件的加工。

北京北一机床有限责任公司（北二机床）B2-GK3012X500高精度数控外圆复合磨床。X轴和Z轴采用高精度开式静压导轨，直线电机驱动。X、Z轴定位精度4μm、6μm，重复定位精度2μm、3μm，B轴应用力矩电机和绝对式圆光栅，实现任意分度的准确定位，B轴转台重复定位精度±2"，可配置3个砂轮。磨削外圆及端面砂轮主轴系均采用大锥度动压主轴，径向跳动≤1.5μm、轴向跳动≤1.5μm。砂轮主轴的交流变频器分三段调整，实现在一定范围内的恒线速磨削，主要用于外圆柱面、外圆锥面、端面、内孔及非圆面的精密复合磨削。

上海机床厂有限公司MGK1450×1500高精度数控万能外圆磨床。最大外圆磨削直径φ500mm、长度1500mm，最大内圆磨削直径φ200mm、长度200mm。不同组合磨头可选，一次装夹完成内圆、外圆、锥面、端面等加工，B轴分辨率0.0001°，工件主轴电机有力矩电机和伺服电机两种驱动方式可选，自主开发的磨削软件，具有图形编程功能，搭载适用于机床行业典型轴类零件结构特征的典型磨削程序，可以实现加工前磨削程序虚拟仿真。

秦川机床工具集团股份有限公司MKS1332CBN×10数控高速外圆磨床。中心高180mm、最大工件重量50kg、砂轮线速度80~120m/s、磨削的锥面角度0~30°，人造花岗岩床身。可实现自动跳档、定程切入磨削、量仪控制磨削及砂轮自动修整及补偿，工作台纵向移动实现纵磨，CBN砂轮，三轴两联动，华中数控HNC-848DG数控系统，应用于轴类零件的加工。

威海华东数控股份有限公司MGK1620×500高精密度数控外圆磨床。大锥度、四油楔、自动调隙动压轴承的砂轮主轴，静压工件主轴，密珠直线轴承尾架套筒，Z轴静压导轨，高刚度高抗震性矿物材质双层结构床身，机床加工工件圆度0.5μm（短试件）、工件一致性2μm、表面粗糙度Ra0.04μm。

济南四机数控机床有限公司MKS1320CBN/750外圆磨床。动静压砂轮电主轴，直线电机驱动砂轮进给轴，头、尾架为双驱动结构，整体铸造高刚度人造花岗岩床身，顶紧力可根据工件中心孔不同自动调整，配置动平衡

和防撞装置，机床工作精度圆度 $1.5\mu\text{m}$ 、直径一致性 $5\mu\text{m}$ 、表面粗糙度 $\text{Ra}0.2\mu\text{m}$ 。

全鑫精密工业股份有限公司CDC-030外圆磨床。最大加工工件直径 $\phi 350\text{mm}$ ，顶尖距 300mm ，最大工件重量 150kg ，静压砂轮主轴回转精度 $1\mu\text{m}$ ，独家设计的会话式编程界面，同时处理15段不同程序的能力，可实现 $0.1\mu\text{m}$ 进给的X轴静压导轨，伺服电机驱动尾座。

无锡市昌亿机床制造有限公司MK2110数控内圆磨床。磨削内孔直径 $\phi 10\sim\phi 100\text{mm}$ ，磨削内孔最大深度 50mm 。采用工件进给，B轴分度（力矩转台），工作台（砂轮架）左右运动的结构方式。工件主轴及砂轮主轴旋转速度均由变频器控制，实现无级调速。主要用于磨削工件的内圆孔、内锥孔、内端面、外端面等。

北平机床（浙江）股份有限公司BP21数控内外圆磨床。天然花岗岩石床身，直线电机驱动，高精度光栅闭环控制，可配置三磨头，满足多面加工及高内外圆同心度的高精度加工，一次装夹可研磨内径、外径、内外锥面、内外端面，专用内外圆复合磨削软件，操作界面友好，人机交互性强，简化编程等操作过程。

浙江日发精密机床有限公司GF32-1000数控复合磨床。中心高 180mm 、最大磨削长度 1000mm 、最大工件重量 200kg 。转台B轴砂轮架结构可选4个功能工位，无级分度重复定位精度可达 $4''$ ，根据产品工艺要求，外圆砂轮、内圆磨头可随意组合，开发了有多种加工类型的操作界面，操作简单、界面清晰。

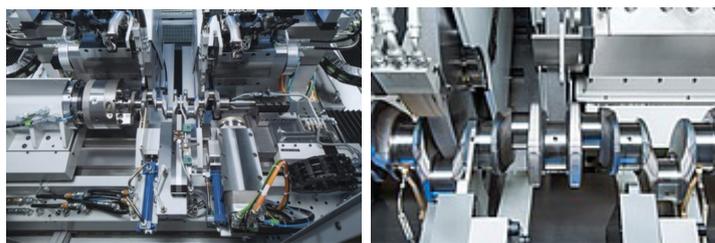
华辰精密装备（昆山）股份有限公司HC-350/600U/1000U内外圆复合磨床。中心高 175mm ，顶尖距 600mm （ 1000mm ），具备切入磨削功能，可实现圆、非圆、轮廓及螺纹的磨削。X、Z轴定位精度 $3\mu\text{m}$ 、 $4\mu\text{m}$ ，X、Z轴重复定位精度 $1.5\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ ，标准长度工件直线度 $2\mu\text{m}$ 。

浙江杭机股份有限公司MKL7150X16数控缓进给成形磨床。成形砂轮加工，适合大余量缓进给强力磨削加工。拥有轴低压气封系统和“中腰立柱”专利，具有多种成形修整技术，连续修整。菜单式的人机对话界面、图形显示，简单易用，可由毛坯直接磨削成形。适用于航发及汽轮机各类叶片和汽车转向齿条等复杂曲面的高效精密成形磨削加工。

莱玛特LAPMASTER WOLTERS AC1200双端面磨。高精气动压力系统，非接触式微测量控制器，强力驱动技术，由PID控制器精确调温的冷却液系统，PC控制及HMI技术使加工过程可视化，设置方便灵活，可连接手动、半自动或者全自动上下料系统，以及“Data Care”分

析工具，实现对加工过程的评估、优化和故障分析。

埃马克（中国）机械有限公司太仓分公司PMD 2曲轴磨床。两个磨削主轴，X轴使用静压导轨，随动磨削和CBN砂轮，配置了NAXOS-UNION磨削技术，能实现磨削速度和轴运动单独控制的对角磨削。特别是对于3缸、4缸汽车发动机曲轴，在摆动行程磨削工艺中，对主轴颈和连杆轴颈进行磨削，可以同时加工两个连杆颈、两个主轴颈，或者一个连杆颈、一个主轴颈，大大缩短加工节拍，提高效率。



北京广宇大成数控机床有限公司GYDC-60XRV减速器行星架专用立式磨床。工作台定位精度 $4''$ ，重复定位精度 $2''$ ，工件主轴上布置电永磁吸盘，装夹方便，测头对工件三个偏心孔的角向测量，主要用于实现对RV减速器行星架的偏心孔、中心孔、外圆、滚道（轴承位）的复合加工，可保证三个偏心孔孔距的一致性 $\leq 3\mu\text{m}$ 。

四川普什宁江机床有限公司NJ-MK4280/1数控坐标磨床。六轴控制（X、Y、Z、U、A、C），三轴联动（X、Y、C、A中任意三联动），龙门架结构，利用直线和圆弧逼近的方法，可对淬火后的具有任意曲线的平面图形的样板、模具型腔和冲头等零件进行连续轨迹加工，配置HSK-E40刀柄接口，可实现砂轮杆的快速更换，也可安装HSK铣刀实现铣削功能。

南京南特精密机械有限公司GDW-13/200超精密龙门导轨磨床。加工范围 $2000\text{mm}\times 1000\text{mm}\times 65\text{mm}$ （长 \times 宽 \times 高），龙门式结构，X向双V导轨结构，搭配双油缸驱动，直线度达到 $3\mu\text{m}/1000\text{mm}$ ，Y、Z轴为镶钢硬轨滚滑一体结构，磨头上下左右能达 $1\mu\text{m}$ 微进给。

宁夏银川大河数控机床有限公司2MK2210X2B数控珩磨机床。珩孔直径 $\phi 30\sim\phi 100\text{mm}$ ，珩孔深度 $\leq 200\text{mm}$ ，立式数控双轴双进给珩磨机床，配置三工位数控旋转工作台，可选择多工位加工，采用广州数控专用珩磨的数控系统，主轴往复运动采用丝杠传动方式，主轴旋转由交流伺服电机带动减速机构，实现无级变速，进给机构为粗精两级液压缸，通过电磁阀的切换可实现粗精进给的单独控制。

秦川机床工具集团股份有限公司智能数控丝杠磨床

SK7432×15GX。七轴三联动，华中数控HNC-948M智能数控系统。机床母丝杠采用汉江机床自制的双零级梯形丝杠，头架主轴采用滑动轴承结构，砂轮主轴采用静压轴承结构与后置式电机直联，配置数控砂轮修整器通过两轴插补实现各种齿型的砂轮修整。具有自动夹紧、自动对刀、自动测量工件中径和锥度，自动中心架等功能。适用于滚动功能部件、汽车零部件、航天航空、高铁等领域精密滚珠丝杠和梯形丝杠的加工。

广州市敏嘉制造技术有限公司SMK204数控螺纹磨床。磨削最大外圆直径 $\phi 150\text{mm}$ ，内螺纹直径 $\phi 20 \sim \phi 100\text{mm}$ ，最大内螺纹长度150mm。双砂轮复合磨削，天然花岗岩床身，全闭环控制，在线测量，能自动测量滚珠螺母反向器孔位置，螺母滚道砂轮修整有成形金刚滚轮和碟形两种方式，金刚滚轮采用数控插补方式修整。用于丝杠螺母、转向器螺母的磨削加工，可实现一次装夹完成丝杠螺母的内螺纹、外圆和端面的加工。

江苏晨光数控机床有限公司CGK-2000数控高精度外螺纹磨床。有效螺纹磨削直径 $\phi 12 \sim 120\text{mm}$ ，螺纹长度2000mm，螺距1.5~48mm，全闭环控制，具有全程自动循环磨削、多头螺纹磨削、动态对刀、螺距补偿、中径锥度补偿以及砂轮修整里自动补偿功能，菜单式输入，操作简便，可加装砂轮自动平衡装置，适用于磨削高精度的圆弧滚珠丝杠，高精度梯形丝杠以及其它螺纹齿形。

孚尔默（太仓）机械有限公司VGrind 360E工具磨。最大工件外径 $\phi 100\text{mm}$ ，最大工件长度360mm，在C轴最佳转动点上有两个垂直布置磨削主轴，聚合物混凝土床身，控制系统易操作，逻辑化直观结构界面，刀具和机床3D图像功能，实用的自动化选配，包括自动换砂轮、8工位砂轮库、自动上下料功能、托盘库等。

瑞士施利博格机械股份有限公司Gemini NGM数控刀具磨。最大加工长度300mm，最大加工直径 $\phi 300\text{mm}$ 。直线轴光栅分辨率 $0.01\mu\text{m}$ 、回转轴分辨率 0.0001° ，配有实用的自动化选项，比如六轴机器人、8或14工位砂轮库、激光打标，对不同的应用有对应的软件、磨削工艺和夹具，适用于插齿刀、车齿刀、铣刀、滚刀修磨、锥度齿轮刀具修磨等批量生产。

北平机床（浙江）股份有限公司BPX5B五轴数控工具磨床。天然大理石底座，直线电机驱动，机械手自动上下料。可选配3D刀具磨削软件，可接入北平机床智慧云平台，实现磨削加工、自动检测、激光打标等工序集成的自动化生产，实现实时数据采集，进行远程诊断、维护、监测和管理等工作。

北京德铭纳精密机械有限公司BT-150DS数控万能

工具磨床。六轴四联动，实现了恒压磨削，柔性进给，1500kg整体铸件底座，光学镜筒和CCD相机严密防水设计，砂轮自动修整、在线测量和自动补偿，磨头主轴径跳 $3\mu\text{m}$ 、端跳动 $2\mu\text{m}$ ，自主研发的磨削应用软件具备数据库管理、显示和通讯功能以及中刃磨削、右刃磨削、左刃磨削、全部磨削四种磨削循环功能。

德国哈斯马格磨床有限公司Multigrind[®]CA。最大工件直径 $\phi 260\text{mm}$ ，顶尖间距450mm，具有在线测量、自动补偿，可设置尾座力和高度，可选配X3辅助轴，占地 $2600\text{mm} \times 2400\text{mm}$ ，是一台加工回转类成形刀具和非标可转位刀片的五轴磨削中心。

联合磨削集团Walter Helitronic Power 400。可加工最大工件直径 $\phi 125\text{mm}$ ，最大工件长度235mm，采用龙门式结构，配置电主轴，也可选配两端带主轴的皮带主轴，每个主轴最多能装三片砂轮，具有4工位或8工位的砂轮更换装置，配备砂轮库，自动砂轮检测和补偿。C.O.R.E操作面板集成前置摄像头和蓝牙耳机接口，每个用户能单独配置自己的用户界面。

牧野机床（中国）有限公司AGE30FX高精数控刀具磨床。采用左右对称的机床结构设计，独有的U轴结构，工件主轴应用直驱马达，转速为1500r/min，灵活简便的MSPS2刀具软件编程，集成一体的砂轮自动更换装置和工件自动更换装置作为标配，可实现无人化批量生产。

昂科机床（上海）有限公司。在本届展会将展出三种工具磨床，分别为GCX Linear齿轮刀具磨、CPX Linear刀具棒料磨床和FX5E刀具磨床。机床直线轴和旋转轴全部采用直驱技术、MTC（电机恒定温度控制）、AEMS（音频监测系统），均有相应的支持软件以及高效的自动功能。GCX Linear齿轮刀具磨集成齿轮刀具测量系统实现了精确的闭环制造过程，CPX Linear磨削区域宽敞，配高功率磨削主轴，工件表面粗糙度 $Ra \leq 0.2\mu\text{m}$ ，跳动 $\leq 2\mu\text{m}$ ，FX5E刀具磨床，内置新型自动工件气动夹紧装置，料盘转换机构方便上下料，砂轮位于C轴电机的回转中心，同时配置了AR300机器人上料机、PREMIERPLUS夹头适配器。

五、齿轮类机床

1.概况

齿轮类加工机床展品涵盖了整个齿轮类加工工艺流程所需切削设备，专业性强。据已有资料，齿轮类机床展商20多家，展品40余台。提供资料参展厂商有：秦川机床、重庆机床、普什宁江、武重、通用技术集团、南京二机、长机科技、中大创远、北京若垦、南京康尼、安徽力成、

浙江日创、卡帕尼尔斯、埃马克、浜井产业等。

齿轮类加工机床展品有：滚齿机、插齿机、珩齿机、磨齿机（展成法）、成形砂轮磨齿机（立/卧）、数控齿条磨齿机、蜗杆砂轮磨、螺旋锥齿轮磨等。

2. 齿轮类展品主要技术特色

众所周知，齿轮是最基础的机械传动元件，应用极为广泛。齿轮类加工机床是专业性强、技术含量高且结构复杂的装备。随着汽车工业、船舶、风力发电等行业以及机床行业本身的高速发展，对齿轮加工的效率、精度、质量及加工成本的要求也愈来愈高，本届齿轮类展品充分体现了数控齿轮类加工机床发展的趋势和方向——高速高效、高精度及精度稳定性、绿色加工、智能化、自动化。

（1）高速高效

加工速度快、辅助时间短的高速高效率机床已成为齿轮机床市场关注的焦点。本届展会展出的主要滚齿机床生产厂家的展品，典型的如埃马克K160、浜井产业N60 CNC滚刀主轴的转速能达到5000r/min以上，秦川机床YK7215数控蜗杆砂轮磨齿机，砂轮线速度100m/s。另外，滚齿机和磨齿机生产厂家通过优化机床动作等手段，压缩工件装卸、工件交换等非加工时间，极大地提高了机床的加工效率，双工件主轴和多工位设计愈加普遍，如埃马克G160展成磨齿机采用双工件主轴，南京二机Y7226 CNC数控蜗杆砂轮磨齿机，采用双工件主轴，多工位交换工作台。

（2）高精度及精度稳定性

针对日益提高机器运行的平稳顺滑、传输效率、机器运行寿命、降低噪音等要求，对变速器和减速器内的齿轮精度要求变得愈加严苛，各厂家的齿轮类机床在高精度及精度稳定性方面各显其能。

①直驱直联技术运用：直驱直联技术被广泛应用于工件主轴、刀具主轴和进给轴的驱动，达到缩短传动链，提高传动刚度、动态特性及精度的目的。如北京若墨、无锡泰诺、上海星合等展商的展品。

②电子齿轮箱广泛运用：采用电子齿轮箱（EGB）实现分齿和差动补偿运动，可实现参数编程代替传统的传动箱、进给箱，不用分齿、差动、进给挂轮，工件轴可以不带误差地跟随刀具轴的速度变化，提高齿轮的加工精度。如重庆机床YE3140数控滚齿机、宜昌长机YK3620卧式滚齿机、普什宁江G180立式滚齿机、浙江日创YKS3612IV高速滚齿机。

③温控和消除技术：采用温控对策保持机床精度的稳定性，如重庆机床展品具有的床身循环冷却热平衡系统，

宜昌长机展品的恒温循环油冷却整机热平衡技术；采用消除技术提高机床传动精度，如秦川机床YK7215工件主轴采用双蜗杆消除技术，宜昌长机YK3620和YK31200A滚齿机的刀具主轴采用差齿消除、工件主轴带齿轮消除机构、工作台采用双蜗轮消除技术。

（3）绿色加工

注重绿色和清洁加工，推出了不少干切、干湿切的环保型产品。展出这类展品的展商有埃马克、重庆机床、宜昌长机、南京二机、浙江日创等。

（4）智能化及自动化

自动上下料、在线自动测量与补偿、自动对中、自动余量分配、自动夹具等自动化功能被广泛采用。如通用技术集团天津第一机床YKH2035数控螺旋锥齿轮磨齿机、浙江日创YKS3612IV滚齿机、北京若墨YK3129CNC6Z滚齿机、南京康尼GV800A砂轮磨齿机等展品。机床健康状态评估、动态轮廓误差补偿、热误差补偿、断刀检测、刀具寿命管理、远程运维与监控等一系列智能化功能应用越来越成熟。如南京二机Y4830CNC 数控内齿珩轮强力珩齿机，配置智能化夹持力控制及自动热变形补偿功能；埃马克G 160展成磨齿机具有各轴状态进行24小时监测并做预估性分析功能。

值得注意的是，磨齿因为可以很好地保证高精度齿轮出色的啮合效果，对齿轮平稳运行及降噪起到极其重要作用，随着市场对高精度和硬齿面齿轮需求的提高，磨齿机和磨齿工艺越来越受到各个主机厂商重点关注，都推出了相应的展品。

3. 典型展品

埃马克（中国）机械有限公司太仓分公司G 160展成磨齿机。虚拟Y轴结构，由机床的Z轴和Y轴联动而产生的虚拟切向位移，双工件主轴，X轴（工件径向运动轴）设有2个滑座，每个滑座各安装一个独立的工件主轴以及与此相应的虚拟Y轴；进给轴为直线电机驱动，工件主轴和砂轮主轴为电主轴，工件主轴交换时间1.5s，切削速度80m/s；面向工业4.0的机床软硬件配置，对机床各轴状态进行24小时监测并做预估性分析，适用于大批量齿轮的高精度高效稳定生产。

埃马克（中国）机械有限公司太仓分公司K 160滚齿机。由MINERALIT[®]高级矿物料浇铸的床身，倾斜床身导轨，滚铣结合，能干湿加工；八轴控制系统，专用的KOEPPER-Dialog对话界面；集成高柔性的工件自动输送系统，可高速切削模数为2.5mm的小齿轮、齿轮轴、蜗轮及转向齿轮。

浜井产业株式会社N60 CNC卧式精密滚齿机。可进行干式切削的六轴三联动数控小模数高精高速卧式滚齿机，可实现二次自动对刀，最大切削外径 $\phi 60$ (120) mm，最大切削长度150mm，最大切削模数2mm，标准滚刀轴尺寸 $\phi 50 \times 50$ mm，滚刀轴最高转速200~5000r/min，滚刀架回转角度 $\pm 45^\circ$ ，采用参数图标会话式编程，操作简单，切屑垂直下落直接排出，配有自动化安装接口，可安装专用的自动上下料供给装置，实现全自动滚齿加工。

卡帕尼尔斯 KX 500 FLEX磨齿机。以数控回转台为基础，将尾座和修整器集成在工件主轴上，工件和刀具直接驱动，修整单元可以配备单轴或双轴结构。以模块组件系统为基础，根据不同刀具和加工工艺，灵活设计布局，能实现展成磨削和成形磨削工艺的组合。



秦川机床工具集团股份公司YK7215数控蜗杆砂轮磨齿机。龙门式立柱、双支撑结构砂轮主轴，矿物质铸件床身；集蜗杆磨与成形磨于一体，用于磨削标准或修形的渐开线圆柱齿轮；砂轮主轴和工件主轴采用直驱方式，最高转速12000r/min，砂轮线速度100m/s；专业化齿轮磨削软件，可实现双联齿轮的相位控制、齿面扭曲控制、单边修整、点修整、网纹磨削、镜面磨削等功能，全新式机械手更换工件的时间小于3s。

秦川机床工具集团股份公司YK7336数控成形砂轮磨齿机。机床床身采用矿物质铸件材料，修整器位于头架侧面，工件主轴(C)采用双蜗杆消除技术；力士乐MICRO伺服控制系统；配置成形砂轮截形计算软件、误差分析和误差调整软件等软件包。

重庆机床(集团)有限责任公司YS7260蜗杆砂轮磨齿机。大立柱移动，工作台固定的立式布局方式，床身采用双层壁结构且前后完全对称设计；刀架采用电主轴直驱，内置动平衡和声发射系统，机床为十二轴五联动数控磨齿机，配备CHMTI特色的人机界面，具有高速对齿功能、齿面扭曲补偿功能、点修整功能、齿向任意修形功能、低噪音磨削功能，以及双压力角非对称齿轮磨削功能，批量加工精度4~5级。

重庆机床(集团)有限责任公司YE3140数控滚齿机。六轴数控滚齿机(可扩展至九轴)，机床各运动轴均由独立交流伺服电机或内置电机(C轴为内置力矩电机)驱

动，用“电子齿轮箱”实现分度运动、差动补偿完成用展成法加工各种齿类零件；模块化设计和制造，可实现干切、湿切、复合微量润滑、水基冷却切削转换等选项；加工精度6级。

重庆机床(集团)有限责任公司Y8060CNC数控车齿机。X、Y轴导轨采用大平面矩形导轨，Z轴导轨为直线滚动导轨，Y轴在大立柱下方的布局；为六轴四联动，采用湿式加工，配备重庆机床特色的人机界面(零编程)，采用滚、插齿一体的车齿切削方式，加工内、外齿圆柱齿轮，加工精度6~7级。

南京二机齿轮机床有限公司Y7226CNC数控蜗杆砂轮磨齿机。配置十三轴五联动数控系统，核心部件砂轮架主轴B轴、工件主轴C轴均采用直驱结构。机床采用双工作台结构实现工件的快速更换，砂轮主轴采用单支撑结构、最高磨削线速度80m/s，工件主轴的转速最高2000r/min。可实现砂轮自动平衡、自动对刀、自动修整、工件自动装夹、自动对齿及自动磨削过程的全自动控制。特别适用于自动变速器及新能源汽车齿轮的硬齿面高精度高效磨削加工。

南京二机齿轮机床有限公司YDB3132CNC数控干式滚齿机。六轴四联动滚倒一体，三直线轴直联驱动，三回转轴力矩电机驱动，主要导轨采用直线滚柱导轨，滚刀主轴(B轴)转速范围1~2000r/min无级调速，切削速度200~300m/min，适用于多头滚刀高速高效干式滚齿加工。

南京二机齿轮机床有限公司Y4830CNC数控内齿珩齿强力珩齿机。七轴五联动，珩齿架主轴B轴、工件主轴C轴、工件轴向进给轴Z2轴均采用直驱结构，采用宜人化的操作界面及自主知识产权的用户操作软件，可实现径向、轴向、摆动强力珩削加工方式，具有自动对齿技术、智能化夹持力控制、自动热变形补偿技术和恒力切削功能，是高端汽车变速箱齿轮制造的关键设备。

宜昌长机科技有限责任公司YK8115数控刮齿机。直线运动轴采用镶钢导轨和滚动块预加载荷的结构，主要结构件采用双层壁多孔高刚度设计，刀具和工件旋转主轴采用直驱技术，刀架自动旋转并具有叠簧锁紧机构。可沿齿向切削，同时还沿齿形方向切削，高速干式切削。具备刀具自动对中、刀具自动保护、人机界面、多轴同步等功能。最大加工直径 $\phi 150$ mm，最大加工模数2mm，加工精度稳定在5级以上，加工效率是插齿的3~4倍，能够加工任意角度的螺旋齿轮和无退刀槽齿轮。

宜昌长机科技有限责任公司YKH5132H高效数控插齿机。机床主运动采用刀轴曲柄盘自动平衡设计，小行

程自动提拉实现刀位的自动调整，采用高速凸轮让刀机构及等力切削技术的高速干切方式，使切削力整体降低30%，提高刀具耐用度。最大加工模数8mm，主轴冲程数125~2000str/min。应用于加工各类盘齿、轴齿及斜齿（需增加斜齿附件）等零件。

宜昌长机科技有限责任公司YK7832数控强力齿条磨齿机。采用典型强力磨结构，重心驱动，水冷主轴，主轴伺服电机同轴驱动，并内置全自动平衡仪，实时监测砂轮状态。主轴跳动 $\leq 2\mu\text{m}$ ，机床配AE自动对刀系统、台置或顶置修整器，可进行插补修型或成形修型。工作台、砂轮架、立柱等直线运动均采用全闭环控制，最大加工模数20mm，最大加工齿部长度320mm，加工精度5级。

宜昌长机科技有限责任公司YK31200A数控高效滚齿机。高效干滚式加工，双蜗轮副消除传动工作台，带差齿消除传动刀架主轴，自动拉刀机构与辅助换刀机构，床身和立柱矩形预加载镶钢滚动导轨，机床重要部件结合面全部采用刮研工艺。最大加工直径 $\phi 2000\text{mm}$ ，最大加工模数25mm，加工精度6级，断电回退功能，搭载自主开发的零编程滚/铣专用软件。

宜昌长机科技有限责任公司YK3620数控卧式滚齿机床。采用大功率电机驱动差齿消除齿轮箱传动的刀具主轴，双蜗轮副消除传动的工件主轴，刀轴和工件轴保持电子齿轮箱耦合。带位置检测及反馈功能的拉刀机构、自动锁紧尾座、顶紧力自动调整及检测反馈、自动对刀机构。最大加工直径 $\phi 200\text{mm}$ ，最大加工模数6mm，具备滚齿及铣齿功能，可加工各类圆柱齿轮、轴齿轮、花键、蜗轮、锥度齿轮及鼓形齿轮，还可选配专用的软件包加工鼓型齿、人字齿、蜗轮等零件。

中国通用技术（集团）控股有限责任公司（天津第一机床）YKH2035数控螺旋锥齿轮磨齿机。最大加工直径 $\phi 350\text{mm}$ ，最大加工模数10mm。八轴五联动，新型床鞍摆动轴结构，力矩电机驱动的工件主轴，在线测量，自动对刀和余量自动分配，具有基于汽车后桥螺旋锥齿轮加工的全数控磨齿机运动控制技术，可磨削单齿齿轮，也可磨削端面弧齿联轴节，用于螺旋锥齿轮副的高效磨削。

湖南中大创远数控装备有限公司CY15C全数控螺旋锥齿轮小模数铣齿机。采用单立柱和各直线轴分布在一侧的机床结构，配置螺旋锥齿轮HCS加工控制软件，全闭环控制。具有分度补偿、温度补偿、夹具补偿功能。干、湿两种切削方式，最大加工直径 $\phi 150\text{mm}$ ，最大加工端面模数4mm，铣齿精度5级，齿面粗糙度 $Ra1.6\mu\text{m}$ 。

武汉重型机床集团有限公司YK31200A高精度重型数控滚齿机。机床总体采用立式布局，高精度双蜗轮双蜗杆

驱动的工作台，立柱水平导轨拥有专用卸荷导轨专利技术；六轴四联动，具有可视化人机齿轮加工专用操作界面，实现多种方式循环加工，并能顺、逆滚齿；可广泛用于圆柱直齿轮、斜齿轮、鼓型齿轮等齿轮加工，也可加工蜗轮。

四川普什宁江机床有限公司G180数控立式滚齿机。配置电子齿轮箱，力士乐MTX micro数控系统，七轴控制四轴联动（X、Y、Z、Z1四个直线轴和A1、B1、C1三个旋转轴，其中B1、C1、X、Z轴为联动轴），采用径向法加工蜗轮，达到6级精度，齿面粗糙度 Ra 可达 $0.8\sim 1.6\mu\text{m}$ 。

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

南京康尼精密机械有限公司KN-GV800A数控成形砂轮磨齿机。零件立式安装，修整器安装位置与磨头砂轮相对固定，减少修整空程时间，砂轮修整采用随动的三轴联动法向修整方式。配置连续扫描式测头，具有在线自动测量、自动对齿、齿形误差补偿功能。

日电产新宝（上海）国际贸易有限公司GE25HS 高效滚齿机。干式切削，主轴电机额定输出功率25kW，工作台最高转速2000r/min，工件最大直径 $\phi 250\text{mm}$ ，最大加工模数6mm，适用于以差速器齿圈为主的汽车用齿轮的批量生产。

浙江日创机电科技有限公司YKS3612IV全自动上下料数控高速滚齿机。九轴五联动，高刚性双层壁结构铸铁底座，刀具主轴伺服电机直联驱动，工件主轴直驱驱动，电子齿轮箱技术、自动窜刀功能、快速回退保护功能、二次对刀切削装置，高速干式或湿式切削功能，自动上下料功能。加工精度5级，齿面粗糙度 $Ra1.6\mu\text{m}$ 。

北京若星自动化设备有限责任公司YK3120CNC6Z高速数控滚齿机。采用直驱、电子齿轮箱技术，精简传动链，提高传动链的传动刚度、精度和动态响应性能，如同步主轴电机直联驱动的刀具主轴，大扭矩力矩电机直联驱动的工件轴，乃至滚刀轴和工作台位置反馈元件的同轴安装，六轴数控，自动窜刀；干湿切加工自动转换，可选自动上下料系统，加工精度6级。

安徽力成智能装备股份有限公司VLC800E立式伺服搓齿机。工件由前后顶尖支撑，顶紧力可设定，前后顶尖由滚珠丝杠同步驱动，通过工件位置尺寸检测确定工件加工部位。对置的两把搓齿模具安装在左右滑台上，通过滚珠丝杠驱动搓齿模具作同步相对直线运动，采用双伺服电机

全闭环同步驱动方式。丰富的模具组合，可逆向搓齿、单段或多段成形，预留自动化接口，方便连线。

六、激光加工类机床

1. 概况

激光加工类机床作为一种利用激光束热能实现切割的专业机床设备，近年来发展迅速。据已有资料，激光加工类机床展商10余家，展品20多台。提供展品资料的展商有：大族激光、江苏亚威、济南邦德、江苏金方圆、大族粤铭、深圳迪能、北京电加工所、江苏合泰、南通麦斯铁、和和机械、西刻标识、信宜华辉、阿格顿、埃马克等。

主要展品有：激光切割机、激光切管机、激光焊接机器人、激光打标机、多用途激光焊接设备等。

2. 激光加工类展品主要技术特色

(1) 大功率

由于大功率光纤激光器制造技术及制造成本的突破，搭载万瓦级以上激光器展品的数量急剧增长，同时机床切割范围也在向着大幅面发展。如江苏亚威4万瓦的1530HLF系列切割机；深圳迪能D-Soar Plus-G光纤激光切割机，可选择3万瓦激光器；济南邦德激光股份有限公司Dream系列激光切板机，能配置4万瓦激光器，切割幅面6100mm×2500mm；南通麦斯铁MLC128025激光切割机的加工区域8050mm×2550mm，加工板材尺寸8000mm×2500mm。

(2) 高动态性能

先进结构形式和新材料的应用，同时结合直驱直联的驱动方式，使机床具有高动态特性。如江苏亚威1530HLF系列高速光纤激光切割机采用龙门双驱结构，轻量化高刚性激光焊接钢横梁，最快联动速度170m/min，最大加速度2.0g；济南邦德Dream系列激光切板机采用直线电机驱动，碳纤维横梁，最大联动速度200m/min，最大加速度4g；大族激光G6025HF激光切割机应用中空一体床身、航空铸铝横梁，X、Y轴最大定位速度160m/min，最大加速度2.5g。

(3) 智能化

控制系统智能技术的高度集成、各种特色软件应用，使操作控制更简单，机床更智能。如济南邦德Dream系列激光切板机配置自主研发的Bodor Thinker 4.0智能控制系统，具有光眼寻边、激光头主动防碰撞、无废边切割、厚板切割过热补偿功能；大族粤铭光纤激光切割机和激光

切管机配置完整的切割工艺参数库，“全时切割、高效切割”的专业切管软件；江苏亚威1530HLF系列激光切割机，智能化操作界面，全天候设备状态监控与切割，专家参数库可实现智能守护，可搭载远程诊断健康保障系统、生产管理系统、亚威智云工业互联网平台，实现车间透明化。

(4) 自动化

如江苏亚威1530HLF系列切割机、江苏金方圆LTP6022激光切管机、和和机械SLT-102FIBER激光切管机都能实现从自动备料架进料、材料自动校准、自动送料及倾转、激光切割至自动下料，全自动化加工。部分展品具有自动换割嘴功能，如亚威的1530HLF系列切割机。

3. 典型展品

江苏亚威机床股份有限公司1530HLF系列高速光纤激光切割机。采用龙门双驱结构，轻量化高刚性激光焊接钢横梁，独有的切割头360°防撞技术，最快联动速度达到170m/min，最大加速度可达2.0g；搭载自主开发的“Thunder Cutting”雷暴切割技术，实现40kW超高功率200mm不锈钢稳定切割；机床智能化操作界面，全天候设备状态监控与切割，专家参数库可实现智能守护，同时可配套兼容自动换割嘴、切割余料快速再生产、亚威上下料、料库等自动化设备，可搭载远程诊断健康保障系统、生产管理系统、亚威智云工业互联网平台，实现车间透明化。

江苏亚威机床股份有限公司YLT-6020YLT系列高速激光切管机。可加工最大管材直径 ϕ 200mm，最大管重120kg；最快定位速度100m/min，加速度1.2g，卡盘最高旋转速度120r/min。配备知名品牌的传动功能部件，IPG光纤激光器，夹紧力自动调整的卡盘。采用总线实时系统，管材中心偏差实时补偿，误差测量，精度与效率参数准确匹配；搭载全自动上料系统，可实现管材大批量自动加工。



济南邦德激光股份有限公司Dream系列激光切板机。导轨安装部分和矿物整体浇铸的大理石矿物铸件床身，碳纤维横梁，直线电机驱动，配置双摆切割头和工位喷嘴，

喷嘴能自动交换及自动清洗；最大联动速度200m/min，最大加速度4g，激光功率6~40kW可选；配置自主研发BodorThinker 4.0智能控制系统，具有光眼寻边、激光头主动防碰撞、无废边切割、厚板切割过热补偿、起步清渣、切割气压恒稳等功能；标配BodorCutting 3.0切割工艺库，具备强大的兼容性 & 数据处理能力。

济南邦德激光股份有限公司M系列激光切管机。采用立式床身，四卡盘侧挂结构，模块化设计，配置自主研发BodorThinker 4.0智能控制系统，可根据用户输入的管材壁厚及材料，匹配切割工艺，实现自动标定、寻边、加工等功能；可加工圆管、方管、矩形管、槽钢、角钢、H型钢等。

大族激光智能装备集团有限公司P6018D激光切管机。焊接式床身、伺服跟随式浮动支撑机构、机械式自定心四爪卡盘、捋料分拨式全自动上料机构、滑落跟随式自动下料机构；可实现管材与型材有序上料、夹料、旋转、切割、进给、切断、下料等批量生产加工，切割加工方管、矩形管、圆管、椭圆管和异形管等管材及角钢、槽钢、工字钢、T形钢等型材，可切割碳钢、不锈钢、铝合金、铜合金、钛合金等金属管材。

大族激光智能装备集团有限公司G6025HF激光切割机。中空一体床身、航空铸铝横梁、独有的抽风系统；X、Y轴定位精度 $\pm 0.03\text{mm/m}$ 、重复定位精度 $\pm 0.02\text{mm}$ （JIS），最高定位速度160m/min，最大加速度2.5g；具有混配低气压切割、自适应无感穿孔切割和变频穿孔等功能，针对中厚板切割过程中传感器电压出现零漂，进行内容算法补偿，实现万瓦机床稳定穿孔切割。



江苏金方圆数控机床有限公司LTP6022激光切管机。加工范围圆管 $\phi 80 \sim \phi 320\text{mm}$ ，方管 $80 \sim 200\text{mm}$ ，可加工工字钢、L型等复杂形状的工件；采用总线和随控一体系统，配置自动上下料装置，可全自动完成上料、切割、下料全过程。

广东大族粤铭激光集团股份有限公司HyTube6522全自动光纤激光切管机。PRECITEC光纤激光切割头，独

特的浮动托管装置，自动整捆上料；管材直线定位速度100m/min，旋转定位速度120m/min；管材截面自动识别，精确控制辅助气体气压和卡盘夹持力的高精度伺服比例阀；搭载人机界面友好、操作简单的专业数控系统，“全时切割、高效切割”的专业切管软件，完整的切割工艺参数库，并且备有人性化的参数界面，根据管材类型实现“一键式设定”加工工艺，也可在界面中修改激光切割工艺参数。

广东大族粤铭激光集团股份有限公司HyRobot W20三维机器人光纤激光焊接机。六轴联动工业机器人，非接触式焊缝跟踪系统，实时检测和纠正焊缝偏差，远程操控（包括手机）功能，能适应不同焊材、不同形状和尺寸的加工要求。

广东大族粤铭激光集团股份有限公司Mach4020高功率光纤激光切割机。高强度龙门焊接机架，IPG激光器、PRECITEC光纤激光切割头，操作简单的智能内嵌工艺数据库，界面友好简单易学的智能操作终端，光眼寻边功能和支持二次切割功能，自动调焦、自主开发的变频变焦穿孔技术，超时自动休眠节能和工作台自动交换功能。

南通麦斯铁数控机床有限公司MLC128025激光切割机。PRECITEC光纤激光切割头，IPG激光发生器；加工区域 $8050\text{mm} \times 2550\text{mm}$ ，加工板材尺寸 $8000\text{mm} \times 2500\text{mm}$ ；切割区域内的床身表面全部覆盖20mm厚的石墨板，切割区采用分区除尘设计，分时、分区、分段抽尘结构；具备远程诊断、数据采集功能。

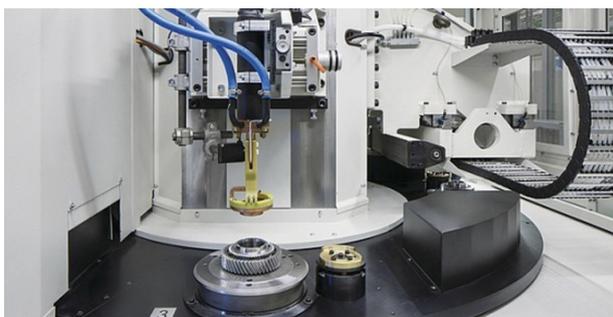
深圳迪能激光科技有限公司D-Soar Plus-G光纤激光切割机。可选配激光功率15kW/20kW/30kW大功率激光器，配备高扭矩伺服电机和高精度进口减速机，定制开发的总线控制系统，具有主动防御系统、防碰撞保护、行程智能控制等功能，可扩展对接机械手、折弯、焊接等系统配套设备，也可升级扩展对接生产管理MES系统及ERP系统。参展的同类产品还有第七代D-Solar系列高功率光纤激光切割机。

深圳迪能激光科技有限公司D-Win T220-B 坡口激光切管机。机床配置五个伺服轴，可三维切割管材，坡口角度 $\pm 45^\circ$ ，切割头6路循环水冷，全行程气动卡盘，随动上下料支撑装置；可选配全自动上料系统，一次性完成V、X、Y等形状的坡口切割。

和和机械（张家港）有限公司SLT-102FIBER激光切管机。机床具有11个伺服轴，其中X、Y、Z、A四轴联动，A轴同步双驱。配置高功率光纤激光器和自动供料、出料系统。可通过CAD/CAM系统，直接读取CAD图纸的数据，对各种形状的碳钢、不锈钢、铝等材质的管材进行

精准切断、挖孔加工，实现从自动备料架进料、激光切割至自动下料全自动化加工。

埃马克（中国）机械有限公司太仓分公司ELC 160 HP激光焊接机。将接箍压装、感应预热（如果材料工艺需要）和最终的激光束焊接集成在一台机床上，专用于棘轮换挡齿轮和离合器齿圈的激光焊接。采用旋转台式结构，将工件传输到各个工作位置。每个工作位置上都有一个独立的主轴单元，同步进行压装、预热和焊接。激光焊接工位X轴用于调整焊缝位置、Z轴用于调整焦点位置。接箍压装工位和焊接工位各装备三个可交换工装，可根据工件类型进行快速交换。



北京市电加工研究所有限公司LASER6120精密刀具激光刃磨机床。机床采用龙门式结构，机床具备五轴四联动，其中A、C轴为光学轴，选用100W光纤激光源，激光波长1064nm，光束质量（ M^2 ） ≤ 1.6 ，可选择60W皮秒激光源；具备自动寻边、自动对焦等功能；可满足PCD、CVD、PCBN刀具（如机夹刀片、轮廓刀等）的刃口加工以及刀具表面断屑槽的加工。

（17）阿格顿（中国）Neo激光刃磨机床。六个伺服轴，其中Z、A、B轴为光学轴，可配置两个托盘和机械手；操作系统简单，备用手持控制器；Neo结构紧凑，占地面积约 $1m^2$ （有机械手的约占 $2m^2$ ），主要用于超硬材料（PCBN、PCD）的可转位刀片边缘、后角和断屑槽的加工。□（未完待续）

资讯

3月汽车销量223.4万辆，环比增长28.4%，同比下降11.7%

4月11日，中国汽车工业协会发布最新汽车工业产销数据显示，受多重不利因素影响，3月份汽车总体产销形势不及预期，同比分别下降9.1%和11.7%。但是，新能源汽车产销表现仍然明显好于行业，市场占有率达到21.7%。

1~3月，汽车产销648.4万辆和650.9万辆，同比增长2.0%和0.2%，增速比1~2月回落6.8个百分点和7.3个百分点。

3月，乘用车产销188.1万辆和186.4万辆，环比增长22.4%和25.1%，同比下降0.1%和0.6%。在乘用车主要品种中，与上月相比，四大类乘用车品种产销均呈增长，其中多功能乘用车（MPV）和交叉型乘用车增速更为明显；与上年同期相比，交叉型乘用车产销呈快速增长，基本型乘用车（轿车）略有增长，其他品种产销均呈下降。

1~3月，乘用车产销549.9万辆和554.5万辆，同比增长11.0%和9.0%。在乘用车主要品种中，与上年同期相比，多功能乘用车（MPV）产销均呈下降，其他三大类乘

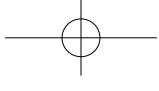
用车品种产销继续保持增长。

3月，商用车产销36.0万辆和37.0万辆，环比增长29.2%和47.7%，同比下降38.0%和43.5%。在商用车主要品种中，货车和客车产销环比均呈快速增长，同比均呈较快下降。

1~3月，商用车产销98.5万辆和96.5万辆，同比下降29.7%和31.7%，降幅比1~2月有所扩大。在商用车主要品种中，与上年同期相比，客车和货车产销均呈较快下降。

3月，新能源汽车产销表现仍然明显好于行业，环比和同比继续保持快速增长势头。产销分别达到46.5万辆和48.4万辆，环比增长25.4%和43.9%，同比增长均为1.1倍，市场占有率达到21.7%。

在新能源汽车主要品种中，与上月相比，纯电动汽车和插电式混合动力汽车产销均呈增长，其中纯电动汽车产销增速更为明显；与上年同期相比，纯电动汽车和插电式混合动力汽车产销继续保持高速增长。此外，燃料电池汽车环比和同比同样延续了迅猛增长势头。



数控机床防碰撞及碰撞保护技术研究与应用

昌河飞机工业(集团)有限责任公司 胡辉 洪忠杰

【摘要】数控机床意外碰撞是造成机床长时间故障停机、精度丧失、贵重部件减寿甚至损坏的一项重要原因,数控机床一旦发生碰撞,将给公司造成重大经济损失,严重影响公司科研生产。目前普遍开展的是通过管理方式进行改善,规范操作及编程,降低犯错率。但如何从技术层面有效避免数控机床发生碰撞,或者即使发生碰撞,机床如何能快速停机,降低碰撞损失,实现碰撞保护,一直是摆在设备维护人员面前的难题,是设备维护人员研究和探索的技术方向。

数控机床尤其五轴数控机床,由于其机床本体结构、加工路径、操作、编程、工装夹具等极为复杂,一旦出现操作及编程疏忽,如刀具长度、工件原点设置错误,机床部件与毛坯件、工装、夹具等辅助部件发生运动干涉(见图1)等,都极易造成数控机床意外碰撞,轻则刀具破损,重则主轴、铣头、工件损坏,精度丧失,机床长时间故障停机,给公司造成重大经济损失,严重影响公司科研生产。



图1 五轴铣头与工装发生干涉

目前公司主要从加强管理入手,规范操作及编程,如培训操作人员规范操作、要求加工前必须进行加工程序模拟仿真等,降低犯错率,从管理方面进行预防,取得了一定的效果,但机床碰撞事件仍时有发生。

如何从技术层面有效避免数控机床发生碰撞,或者即使发生碰撞,机床如何能快速停机,降低碰撞损失,实现碰撞保护,是值得设备维护人员探索的两个技术方向,本文针对以上两个技术方向进行的研究与应用进行简要的介绍和说明。

1. 数控机床防碰撞功能的研究与应用

随着数控系统不断发展和升级,数据运算处理能力不断增强,目前对于一些高端数控系统,已经陆续推出数控系统防碰撞功能,如海德汉数控系统DCM功能、西门子数控系统COLLISION AVOIDANCE功能(选项功能6FC5 800-0AS02-0YB0)、FIDIA数控系统VIMILL功能。该功能用于在数控系统中全面构建机床实际加工的数字化环境,实时监控机床部件、工装、刀具、夹具之间的空间位置,避免在机床运行过程中发生碰撞,提高机床运行安全性。以下就以海德汉数控系统DCM功能为例,进行介绍。

(1) DCM功能简介

海德汉DCM功能(动态碰撞监测功能)是通过海德汉Kinematics Design软件,应用几何形状,例如立方体、圆柱和平面,描述工作区和碰撞对象,同时还可以组合多个几何体构成复杂的机床部件,最后将这些3D实体插入到机床运动链中。

在机床实际加工过程中或测试模式下,DCM软件都能实时监控这些机床部件的相对位置,如果部件之间的间距小于3~5mm,则数控机床立即停止运动,同时数控系

统会出现报警提示。DCM功能对数控系统有如下要求：
①#40选项功能“DCM Collision”；②MC 422B/C；③系统版本不低于340 49x。

(2) DCM功能使用方法

一台德国德马吉五轴加工中心采用海德汉iTNC530数控系统，配有DCM系统功能，下面就以该设备为例，简单介绍下该功能的使用方法。

①建立机床部件实体。首先需要搭建机床的主件3D虚拟模型，通过使用Kinematics Design软件对机床部件进行描述定义（见图2），通过使用限位面描述工作区域的限制，使用立方体以及圆柱体描述机床的一些主要部件，如工作台、主轴头、立柱、刀库等。

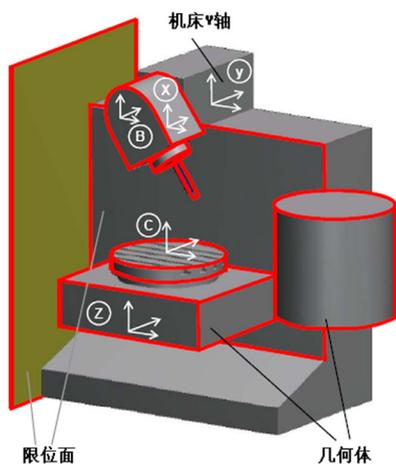


图2 机床主件模型

②建立夹具以及刀柄实体。同样是使用Kinematics Design软件对常用夹具以及刀柄进行描述定义，并将生成的模板文件拷贝到数控系统TNC分区的根目录下。为了生效夹具以及刀柄，必须在Kinematics table中扩展定义TOOLFILE以及Clamp，如图3所示。

NR	DOC	KEY	AXIS	COORD	FILE
0	ToolCarrier	TOOLFILE			
1	Werkzeugachse Z	ToolAxis Z			
2	CHO_Kopf	CHO			CHO\CHO_Kopf
3	Trans X	Trans	X	+100.0105	
4	Trans Z	Trans	Z	+260.2277	
14	CHO_Tisch	CHO			CHO\CHO_Tisch
15	Trans X	Trans	X	+400.2875	
16	Trans Y	Trans	Y	-279.2627	
17	Fix elements Table	Clamp			Fix1.tab
20	Achse C	MachineAxis C			
21	CHO_RundTisch	CHO			CHO\CHO_RundTisch
25	BasicRot C	Trans	C	+0.0000	
26	BasicRot B	Trans	B	+0.0000	
27	BasicRot A	Trans	A	+0.0000	
28	Fix elements Round Table	Clamp			Fix2.tab

图3 Kinematics table

③DCM功能使用方法。完成以上配置后，可在海德汉iTNC530数控系统上使用DCM功能。在手动操作菜单项

中，进入COLLISION界面，可分别在程序运行和手动操作状态下打开或关闭DCM功能，如图4所示。

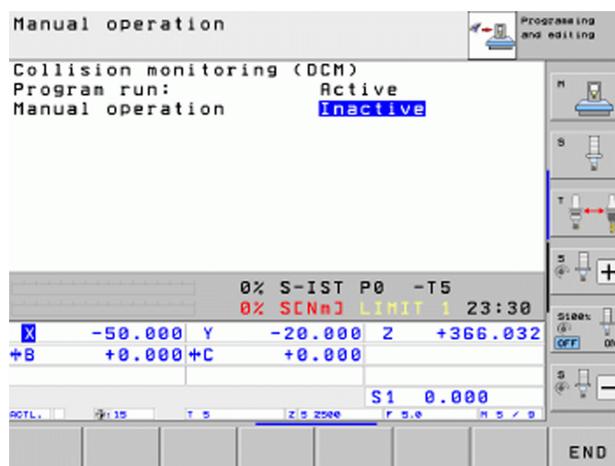


图4 激活DCM功能界面

由于机床厂家已经描述定义了DCM系统中的机床主体部件，为实现夹具监控，需要进入FIXTURE MANAGEMENT界面，如图5所示，调用夹具模板文件（后缀名.cft），并根据实际情况修改模板尺寸并保存（后缀名.cfx）。然后进入PLACE界面，利用机床配置的接触式探头测量功能，测出夹具在机床区域内实际位置。

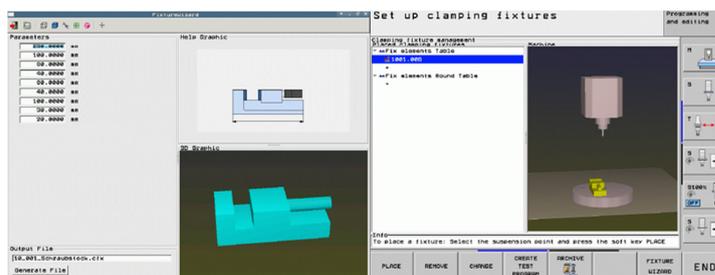


图5 夹具设置界面

关于刀具参数，如刀长、直径，数控系统可以从刀具表中获得。但刀柄的形状则各不相同，为了实现刀柄监控，还必须对刀柄的形状进行描述定义，如图6所示，设定方法与夹具设置方法类似，这里就不详细介绍了。

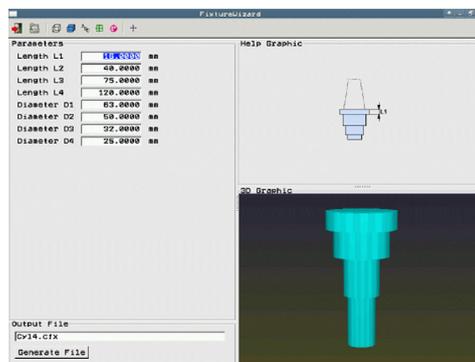


图6 刀柄设置界面

在完成以上步骤后，一个模拟机床的实际加工环境建立起来了。当机床移动时，DCM功能实时模拟运行，当监测到刀具与夹具之间距离 < 5mm时，存在碰撞风险，数控系统会立即停止加工，并弹出报警提示信息DCM: Tool-Flex Jaw，如图7所示。

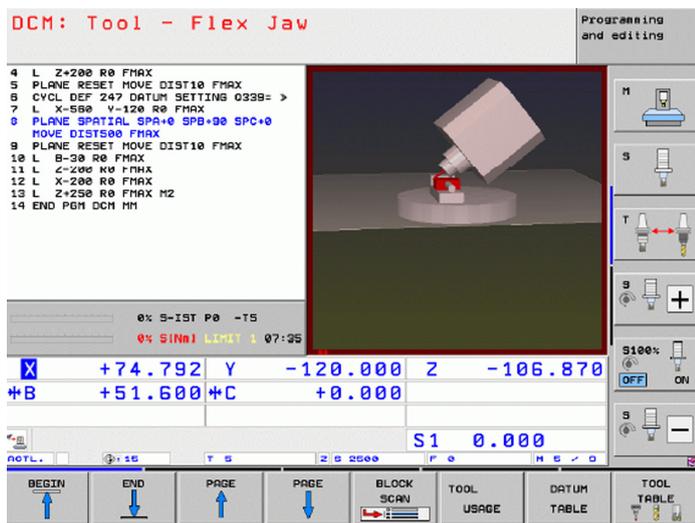


图7 DCM报警界面

2.数控机床碰撞保护功能的研究与应用

经过研究表明，大部分伤害不是由碰撞本身造成的，而是由碰撞发生后瞬间持续的压力状态引起的，从碰撞发生到停止之间间隔的时间越长，则损害越大（见图8）。数控机床发生碰撞后，数控系统会增加进给力以达到设定的目标坐标点，直到伺服电机扭矩或电流监测超过数控系统设置的限定值，且达到一定的持续时间（以西门子数控系统为例，持续时间200ms）后发出停机指令，并弹出报警提示信息，在此期间，机床与工件开始损坏、精度开始丧失。如何最大限度的降低机床碰撞造成的损失，需要快速的判断机床是否发生碰撞，一旦判断为碰撞事件，数控机床快速反应停机，才能将损害降到最低。



图8 碰撞损坏状态

(1) 碰撞保护功能介绍

以一台三轴立式加工中心为例，在机床主轴端安装振动传感器，如图9所示，越接近主轴鼻端效果越佳。通过振动传感器进行数控机床碰撞识别，通常振动加速度 $\geq 30m/s^2$ 时，判断为碰撞事件，同时监控模块在3ms内发出报警信号，给机床控制系统触发急停报警，机床快速停止，如图10所示，将碰撞造成的损坏降到最低。



图9 传感器安装

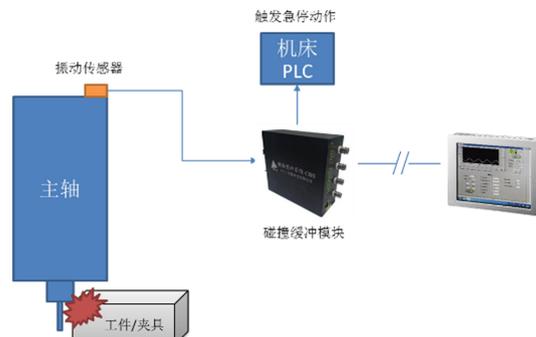


图10 碰撞保护原理

(2) 碰撞保护功能测试实验

①实验条件：一台三轴立式加工中心，配置FANUC 0i数控系统，以G00速度（最大移动速度）分别从X和Z方向进行两次撞机测试（具体条件如表1所示），测量撞机前后主轴静态和动态精度差异，用以验证碰撞保护功能效果。

表1 测试条件

撞机次数	撞机条件: $\phi 10$ mm铣刀; 撞机对象: 工作台虎钳		
	撞机方向	进给速度/ (mm/min)	主轴转速/ (r/min)
第一次撞机	X轴负方向	10000	4000
第二次撞机	Z轴负方向	10000	4000

撞机前后主轴精度测量方法主要有动态精度和静态精度法。

静态精度法：使用千分表测量在0mm（近端）和300mm（远端）处的跳动，以及主轴轴线与Z轴在Y-Z平面和 X-Z 平面的平行度，如图11所示。

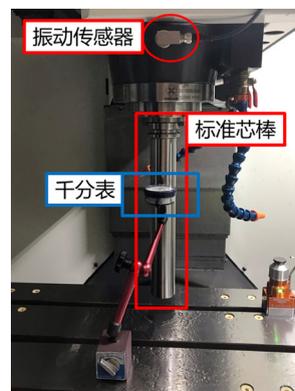


图11 主轴精度测量

(下转第51页)

用于石墨电极套料加工的深孔机床开发与应用

德州普利森机床有限公司 鲁绪阁 卢传杰 齐鹏 张国武

【摘要】本文设计了相应的深孔机床用于石墨电极的套料加工，达到了加工效率高、材料利用率高、自动化程度高、无环境污染等技术指标。

深孔一般是指孔深与孔径之比大于5~10的孔，常用的深孔加工方式有内排屑深孔钻削、内排屑套料钻削、深孔镗削、深孔滚压等方式，以深孔加工方式用于加工深孔类部件的机床设备称为深孔机床。

石墨电极是一种典型的深孔石墨管部件（最大长度达2500mm，孔径尺寸 $\phi 77.8 \sim \phi 112.8\text{mm}$ ，深径比超过25:1），因其导电、耐高温特性，广泛应用在炼钢、核工业等领域中。在石墨电极的选材及加工过程中，为保证避免疏松、裂纹等缺陷，通常不使用管材，常用的方法是用高质量研磨石墨粉进行制坯，自然固化后进行烘烤烧结，粗车外圆后进行内孔到量加工，检测后，对无缺陷的部件进行内孔烧结，以内孔为基准再次精加工外圆而得。

在上述加工中，内孔加工是最重要的环节，传统的加工方式是采用加长杆麻花钻钻削后，再用减振刀杆进行内孔车削，鉴于内孔的深径比，车削必须采用掉头的方式。对石墨类脆性材质，掉头车削接刀痕形成的应力集中会大大降低部件的性能。并且整个加工过程排出的石墨粉会严重污染环境，不但对人体造成伤害，且石墨粉尘会进入电控柜，附着在电路板上，形成短路等直接的破坏。

本文研究设计了相应的深孔机床，综合考虑机床结构、加工工艺、刀具设计等因素，很好解决了石墨电极内孔加工的问题。

1. 深孔机床结构设计

(1) 加工方式的确定

确定用内排屑套料钻削的方式加工石墨电极内孔，套料钻即环钻法，在大规格孔的钻削过程中，不但可以减少切削扭矩及功率消耗，还可以获得完整的料芯，减少材料

消耗。综合石墨电极的孔径及长度尺寸，经过试验确定在加工孔径为 ϕd 的条件下，选择套料钻杆的外径尺寸为 $\phi d-2\text{mm}$ ，套料钻杆的内孔尺寸为 $\phi d-12\text{mm}$ ，获得料芯的尺寸（即为套料刀的内刃尺寸）为 $\phi d-16\text{mm}$ 。

确定切削的冷却冲屑介质为干燥洁净的压缩空气，气源压力0.4~0.6MPa，使用车间内的集中供给压缩空气即可满足要求。

为尽可能减小套料钻孔的出口轴线偏斜，确定采用工件旋转、刀具钻杆反向旋转并进给的加工方式。鉴于石墨类脆性材质不适于高速旋转，确定工件的旋转速度不超过50r/min，低速旋转也有利于保证切削过程中呈悬臂状态的料芯不至于强力偏甩发生脆断。

(2) 机床结构

如图1所示，机床由床身、床头箱、授气器、钻杆支架、钻杆箱、进给拖板、抽屑装置、出芯装置等组成，压缩空气通过授气器进入切削区，携带切掉的石墨颗粒向钻杆箱排出，由负压抽屑装置排向集中集尘袋，实现切削区与外界环境的完全隔离，杜绝了环境污染。

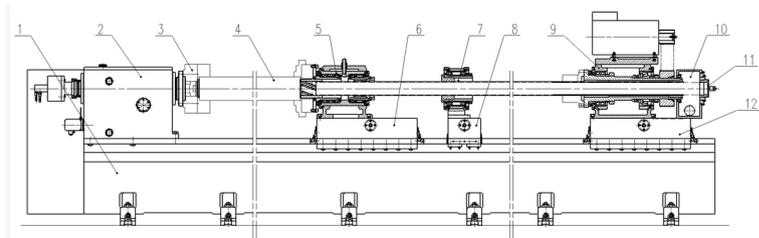


图1 深孔机床结构

1.床身 2.床头箱 3.液压自定心卡盘 4.工件 5.授气器 6.授气器拖板 7.钻杆支架 8.钻杆支架拖板 9.钻杆箱 10.抽屑装置 11.出芯装置 12.进给拖板

床头箱部分采用变频电机+蜗轮蜗杆直接驱动主轴旋转的结构，满足低速旋转，若加工短工件时，利用床头主轴的自锁性能，可实现工件固定，仅刀具旋转进给的加工方式。床头主轴端配液压自定心卡盘，和授气器前端的三爪自定心卡盘一起，实现石墨工件的快速精确定位夹持。

授气器拖板由伺服电机驱动，通过伺服电机的堵转及恒扭矩控制，可满足长时间顶靠工件右端面实现封气；钻杆支架拖板的工进设定为以进给拖板移动速度的1/2进行随动，保证在进给过程中，钻杆支架始终处于授气器与钻杆箱的中间，实现对钻杆的良好辅助支承。

(3) 机床关键部件

①授气器。如图2所示，其主要作用包括：头部安装刀具导向套，用于刀具的导向，实现切入精度；头部安卡盘，实现工件的定位夹持；顶紧工件的右端面，形成密封腔，供给高压气体对切削区形成冷却并带走切屑；尾端实现对钻杆的导向。

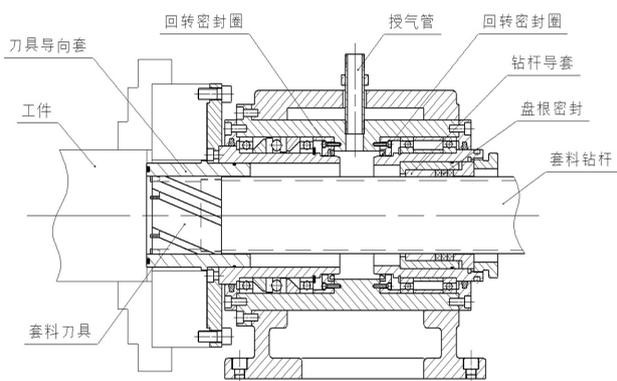


图2 授气器结构图

②钻杆箱及出芯装置。

钻杆箱（见图3）主轴采用同步带直联结构，实现不低于1000r/min的输出转速，主轴前后端分别布置夹头及辅助支承，实现薄壁钻杆的良好夹持。钻杆箱尾端插入抽屑装置，并配置两个方向的旋转密封圈，抽屑装置通过排屑口外接夹钢丝螺纹管，连接至负压吸尘集中集屑装置。

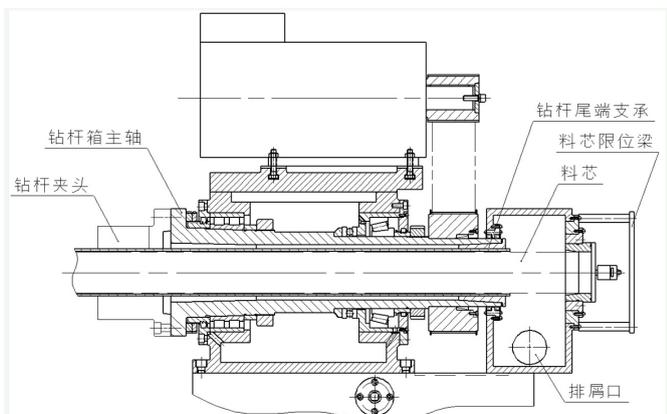


图3 钻杆箱结构图

在抽屑装置的尾端配置了出芯装置（见图4），工件套料加工完毕后，料芯与工件分离，在气压作用下自动向后移动，直至碰触图4中的密封盖，并使得接近开关工作，通过转角油缸实现密封盖自动旋转开启，料芯向后移动一端距离后通过图3中的限位梁停止，手动打开限位梁后将料芯抽出，关闭尾盖，再进行下一工件的加工。因为负压抽屑装置的存在，密封盖的打开会使空气反向流入，不会造成粉尘飞溅，环境保证可靠。

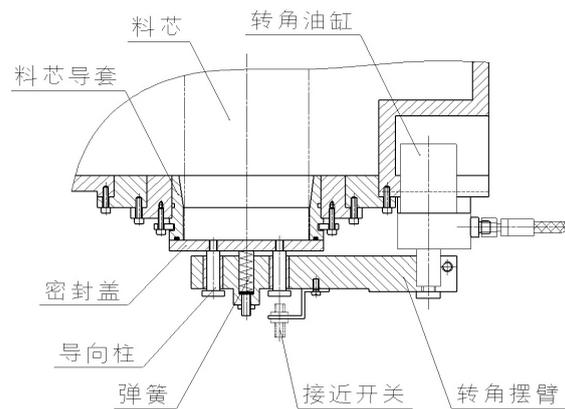


图4 出芯装置结构图

2. 套料刀具设计

套料刀具的设计遵循切出的环面尽可能窄的原则，对于石墨材质，刃部的磨损很小，使用寿命长，采用图5所示焊接刀片的整体结构设计。刀片材质选用硬质合金，6组刀片采用相同结构在同一截面内均匀分布，刀具理论每转进给量可达1.8mm/r以上，保证加工效率。

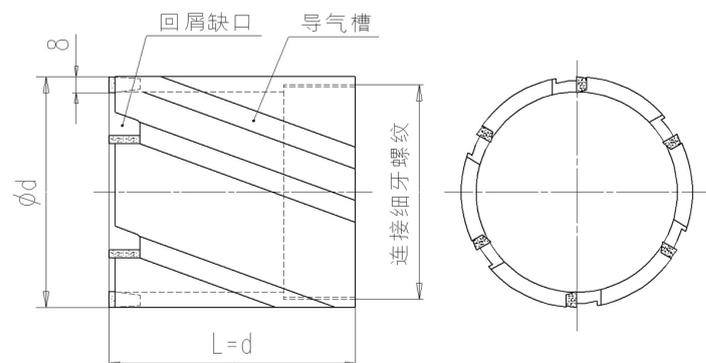


图5 套料刀具结构图

刀具以 ϕd 外圆面与已加工表面配合，形成自导向效应，保证大深比孔的稳定加工。在每组刀片的后方布置螺旋槽，用于高压气体的注入，在切削区实现气流速度增加，迅速带走剥落的切屑至刀具内孔里，向后排出。

3. 机床配套辅具

辅具作为深孔类机床重要的配套件，依据不同规格内

孔的工件进行配置，本文中石墨电极套料深孔机床的辅具包括：

(1) 封气盘

按照加工内孔和工件外圆综合设计，安装在床头液压卡盘内顶靠工件左端面，用于钻穿时容纳钻头并密封。

(2) 刀具导向套

按照套料刀具的规格配，外端面处布置平面密封圈。

(3) 套料钻杆

外径按照套料刀具的规格配，长度按照工件长度+授气器长度+钻杆支架长度+钻杆箱主轴内含长度之和配。

(4) 套料钻杆套件

包括授气器尾端的钻杆导套、密封组件；钻杆支架处的钻杆导套；钻杆箱主轴处的钻杆夹头、钻杆尾端支承。

4. 加工应用

通过反复的试验切削参数，石墨电极内孔套料加工应用上述深孔机床结构及刀辅具配置，可稳定的实现加工线速度150~200m/min，每转进给量1.2~1.5mm/r的工作状态，较大的孔径采用较高的线速度、较小的进给量，保

证排屑顺畅。以 $\phi 112.8$ 内孔工件为例，采用床头转速50r/min，钻杆箱转速500r/min，每转进给量1.2mm/r，进给速度可达660mm/min，是目前为止该类工件效率最高的加工方式。图6所示为加工工件实物。□



图6 加工工件实物图（工件及料芯）

上接第48页

动态精度法：利用三向振动传感器，测量主轴4000r/min空转时，在X、Y、Z三个方向主轴振动值，评估主轴轴承状态。

②实验结果：通过两次撞机测试，检测撞机前后主轴静态精度和动态精度（如表2、表3所示），主轴静态和动态精度均未发生明显的变化，碰撞保护功能效果良好。

表2 主轴静态精度

主轴静态精度	撞机前/ μm	第一次/ μm	第二次/ μm
主轴近端跳动	8	9	10
主轴远端跳动	13	13	15
主轴与Z轴平行度 (Y-Z平面)	16	18	19
主轴与Z轴平行度 (X-Z平面)	17	18	18

表3 主轴动态精度

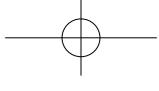
主轴动态精度 (主轴转速 4000r/min)	撞机前/ (mm/s^2)	第一次/ (mm/s^2)	第二次/ (mm/s^2)
X向	1.6	1.7	1.7
Y向	1.5	1.6	1.8
Z向	1.7	1.7	1.8

3. 结语

数控系统的防碰撞功能，对于数控系统硬件配置以及系统版本都有较高的要求，同时需要搭建数控机床实际加工的数字化环境，因此不单需要数控机床本身的数模，且对于常用的刀具、夹具以及工装都需要建数模，导致该功能的使用难度较大且过程较为繁琐，但实现后能够预防碰撞的发生，有效避免数控机床发生碰撞。

而采用振动传感器监测的数控机床碰撞保护功能，对数控系统本身配置没有要求，安装调试完成后就可以直接使用，功能实现较为简易，但是需要额外的硬件采购成本，但该功能实现的是碰撞保护，无法预防碰撞的发生，只能降低数控机床碰撞造成的损失。

因此可根据数控机床的实际配置情况，灵活选用这两种功能，对于新设备，在采购阶段要求机床厂家配置数控系统防碰撞功能，而对于老旧设备，数控系统配置无法满足防碰撞功能需求，升级换代的经济成本太高，则可考虑采用碰撞保护功能。通过采用这两种方式，可以从技术层面有效解决数控机床碰撞问题。□



基于机器人的机加工自动线的应用及选择

科德数控股份有限公司沈阳分公司 张传思

【摘要】本文介绍了基于机器人的机械加工自动线的典型特征，阐述了基于机器人机加自动线的组成型式，分析了基于典型机器人的机加自动线的结构型式及每种结构的优缺点。提出了如何选择适用于机加自动线的机器人，总结了基于机器人机加自动线的发展趋势。

机器人是典型的机电一体化设备，具备多传感器融合技术，已具备类人的多种感观，如视觉传感器、触觉传感器等，其能够按照输入的特定程序执行规定的动作，也可人工对其示教。机器人没有人类的疲劳感、重复性高，已可替代人类完成众多工作。

机械加工由加工设备对金属毛坯件通过去除材料的方式，达到图样要求。目前，金属零件的机械加工多以金属切削的方式来实现，人为因素导致零件的加工效率低、精度一致性差，且工作环境较差。

随着机器人技术的不断发展，以及人口红利的降低，基于机器人的自动化加工单元、自动化加工生产线已越来越多的被采用。不仅局限于较成熟的汽车缸体缸盖行业，目前在各个行业领域零件的加工都朝着自动化的加工方向发展，包括航空航天结构件、汽车发动机零部件目前都已经实现了自动化加工。

1. 机器人机加自动线的特征及组成

基于机器人的机加自动线是集加工设备自动化、工件上下料自动化、工件定位夹紧自动化、工件输送自动化、排屑自动化、自动线连锁保护自动化、工件与刀具自动检测及自动控制的自动化生产系统，具有良好的柔性，生产精度高、生产率高，大大降低操作者劳动强度，易于实现批量生产等特点。其典型特征是将加工设备按照既定的工艺路线依次排列，用机器人及自动输送装置和其它辅助装置连接起来，使其按规定的程序自动地进行工作。

在自动线中，工件以一定的生产节拍，按照工艺顺序

自动地经过各个工位，自动完成预定的加工过程，最终制造出合格的产品。其具有较高的自动化程度、集中的控制系统，保证工件的自动准确加工。

典型的机加自动线主要由机器人、加工设备、工艺装备、输送装备、辅助装备、控制系统等组成。根据工艺要求、工艺过程、生产率要求、自动化程度等因素，机加自动线的结构、复杂程度差别很大。

(1) 机器人

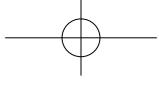
加工设备的上下料装置主要由机器人或小车来完成，具体型式有桁架式机器人、关节型机器人、RGV与AGV小车、协作机器人等。其中桁架式机械手与关节机器人承载较小，承载较大的多用RGV小车来完成。可根据产线布局及工件大小进行工件输送设备及机床上下料装置进行选择。

(2) 加工设备

主要为数控机床，多为具有封闭的加工区域，含有自动上下料门，具备自动交换刀具功能，自动排屑功能，有的还带有机内刀具测量、工件检测系统。数控机床的选择主要根据被加工零件的尺寸、质量、加工精度和生产类型等来进行选择，同时也要兼顾加工效率和加工稳定性，主要为立式加工中心、卧式加工中心、数控车床等。通常大批量生产选用组合机床，生产批量不大而品种繁多应选柔性加工机床。

(3) 工艺装备

主要包括夹具体统、刀具系统、量具、辅具。其中夹具完成对工件装夹及转运，保证工件在每次加工中固定稳定可靠。每次交换能够准确无误的完成工件的定位及紧



固，夹具有固定在工位上的，也有随工件一起运行的随性夹具。

而刀具作为机加材料的去除工具，要保证刀具性能可靠。生产线所用的刀具种类规格较多，还要保证能自动交换，这就要求每台加工设备具备自动交换刀具功能，具备自己的刀库及换刀机械手，同时根据需要可以有中央刀库，通过交换装置把刀库运到所需的设备上。同时为了掌握刀库的使用情况，可配备RFID功能，掌握每把刀具的使用寿命等情况。同时机床内还可安装对刀仪，对刀具的磨损、刀长、刀径、断刀等进行在线检测。

(4) 输送装备

主要包括工件输送装置、储料装置（料库）等。工件输送装置负责工件在不同机加设备之间运转，多为链式、带式传送机构。储料装置也可称为料库，主要用来存储工件，包括毛坯、半成品与成品，有单一线形、矩阵式立体库、环岛式等机构型式。可依据工件大小、加工频率、场地面积等进行合理的料库选择。

(5) 辅助装备

主要包括清洗装置、排屑装置等。针对机加自动线的持续高效加工，要保证切屑及时顺利的清除出工作区，尤其是夹具定位面的切屑，如清除不干净，就会导致定位不准，损伤工件，最终导致零件加工不合格。因此，通常加工设备通常配置主轴中心出水、主轴环喷、顶棚喷淋等装置，大力冲刷工件及夹具表面，保证工件准确的定位及装夹。

每台加工设备通常具有自己的排屑系统，而每台设备的切屑统一排入到产线的接屑系统中集中处理，即集中排屑，集中排屑后可对积屑进行压块处理。

(6) 控制系统

自动化生产线的控制系统就像大脑一样，控制整个产线协同生产，对下位机的加工设备、输送设备、辅助装置等进行控制，实行统一调度管理，保证生产线按节拍有序进行。

智能的机加自动线主要包括数据层、物理层和人机交互平台。数据层主要负责数据的传输和分析，物理层与设备之间的数据交换主要依靠现场总线来完成。物理层通常包括控制站、操作站和现场控制层，主要负责数据的收集和遥感。人机交互平台使人人与设备完美结合，保证产线准确的、高效的完成既定加工。

2. 机器人机加自动线典型结构型式

基于机器人的机加自动线，工件上下料的方式主要有采用桁架机器人、关节机器人、有轨自动化小车、AGV叉车、协作机器人的方式等。

桁架式机加自动线主要由加工中心与桁架机器人组成，如图1所示。桁架机器人通常由主体、驱动系统与控制系统组成，也叫直角坐标机器人，由两个或三个相互垂直的直线运动来实现的，直线运动易于实现全闭环的位置控制，可达到很高的位置精度。



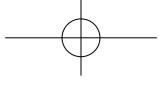
图1 桁架式机加自动线

桁架型式主要为悬臂式、龙门式、天车式三种结构。悬臂式用来搬运较轻部件；龙门式结构，主横梁采用齿轮条加线轨传动，具有高刚性、负载重等特点，不会受到物件重量限制，整体移动十分灵活；桁架机器人在高空输送零件，直接把被加工零件从一台机床输送到另一台机床上，桁架机器人兼有工序间运输和自动上下料及物料回转等辅助功能。具有输送快捷、精准、柔性，结构相对简单，便于组合等优点。

关节机器人机加自动线（见图2）主要由关节机器人与加工中心组成，其中关节机器人多为六轴工业机器人，通常由齿轮齿条驱动在加工中心前面的轨道上直线运行，形成第七轴，实现在不同加工中心间上下料及运输工件。如地面面积有限，关节机器人可布置在桁架之上的，桁架布置在加工中心之间，这可使产线空间更加紧凑。总之，关节机器人适用于各种机床的上料和下料，动作灵活，结构紧凑，占地面积小。关节型机器人自由度多，工作空间比较大。可通过更换末端执行器及相关夹具类型，进行换产，具有效率高和高稳定性，易于维护，柔性化等优点，可以满足不同种类产品的生产。



图2 关节机器人式机加自动线



关节机器人还可配置视觉系统,使产线更加智能化。关节机器人也可用在加工中心刀具的自动交换系统上,使产线加工中心的自动换刀更加柔性化,提升加工中心的加工效率。该类型式自动线的料库通常布置在产线的一侧,便于集中管理。

有轨小车式机加自动线(见图3)主要由搬运小车、轨道、加工中心、料库等组成。小车通常具有三个直线轴:整体运动轴、伸缩轴、升降轴,有的还有第四轴的旋转轴。其中整体运动轴在使小车在各个工位的加工中心间运行;伸缩轴可伸长进入到工作区,之后升降轴升起,拖住工件托盘,之后缩回,到下一个工位升降轴再下降,伸缩轴再缩回,就完成了工件在不同工位之间的交换。该类型式机加自动线可用于输送重质量工件,小车轨道可随需求任意加长,具有速度快、可靠性高等特点。该类产线的料库多布置在加工中心的对面,依据产量需求,可为单层与多层立体库型式。



图3 有轨小车式机加自动线

图4为由搬运小车组成的航空结构件的生产线,由于航空结构件为大去除率加工设备,故该类加工设备工作台垂直布置,工件在上下料位就行水平上料与下料,之后翻起,在交换到RGV小车上,由小车运行到不同位置机床进行上下料,料库也是垂直地面布置,虽然航空结构件都很大,但这种长线布局方式占地面积小,结构紧凑。如斯特拉格的Ecospeed航空结构件自动线被应用于很多飞机结构件的生产商。



图4 航空结构件产线

AGV叉车式机加自动线主要由AGV叉车与加工中心、料库等组成。AGV更加灵活,柔性更大,产线结构简化,减少了有轨小车的轨道,缩小了占地面积,开放性更好。自动化水平更高,可十分便捷的与加工中心、物流系统实

现自动对接,多台AGV叉车可组成多条柔性加工线,服务于不同的产线之间,效率更高,更加智能化。

3. 选择适合机加自动线的机器人

基于机器人的机加自动线型式多样,如何选择一款适合于机加自动线的机器人呢?主要从以下几个方面选择。

(1) 自由度

自由度即机器人的轴数,轴数越多机器人的灵活性也就越强。主要依据工作空间进行轴数的选择。空间足够,通常四轴机器人即可完成指定工作。如果空间狭小,需要避障就要选择更多轴数的六轴机器人,再加上直线移动轴构成七轴。

(2) 负载

要依据工件的重量,重量太重的只能应用工业机器人来完成,协作机器人承载较小无法满足,重量大小依次可选择RGV小车、桁架机器人、关节机器人。

(3) 最大运动范围

要确定好机器人的有效臂展及回转直径,要保证能抓取到目标工件,路径上不能有其他障碍。

(4) 速度

如果要考虑上下料的效率,还要选择合适的机器人速度,优化路径估计,才能提高自动化的效率。

(5) 重复定位精度

指机器人重复执行一个动作的位置准确性,只有重复定位精度高了,才能保证了机器人每次都停在理论的目标位置。

另外,还要根据工件的几何形状、工艺特征、毛坯形状等,选择合适的机器人。且要依据生产车间的面积大小及形状适合何种结构型式的机器人满足作业空间。机器人的选择尽量要满足产线的柔性化,以便适应不同种类、不同特征零件的灵活换产,提高生产线的利用率。

4. 结语

随着机器人技术的不断发展及智能制造装备的强大,为了提升被加工零件的效率与加工精度的稳定性,机器人会被广泛应用于机加自动线中。基于机器人的机加自动线未来的发展趋势将是高度的智能化,即智能化生产线,其是信息化与工业化深度融合的进一步提升。

具备多传感器融合的智能机器人,智能化的数控加工设备,智能化的工艺装备、智能化的在线测量部件、智能化的物流运输装置等,融合了先进的信息技术、先进的制造技术、自动化技术和人工智能技术的高度柔性和集成的智能化生产线。进一步形成智能化加工车间,最终真正实现无人化、智能化加工在机械行业各领域的应用。□

基于i5数控系统的电主轴星角切换控制技术

沈机（上海）智能系统研发设计有限公司 白鑫

【摘要】根据用户对于加工工艺的需求，对电主轴的星接、角接运行状态及电气参数进行分析，归纳出电主轴在不同加工工艺时需对应不同的接线方法。针对以上需求，基于i5数控系统设计开发了系统预读电主轴旋转速度，实现主轴自动星角切换，以及通过M代码实现主轴手动星角切换的系统方案，并在M8.4立式五轴加工中心上进行了功能性测试、稳定性测试及客户样件试切测试。通过以上测试证明，本方案可以满足用户对于电主轴在低速运行时输出相对高的扭矩，在主轴高速运行时工作在恒功率区间并提供相应扭矩的需求。

随着现代数控高速五轴加工中心产品中高速切削技术的持续发展，以及用户加工工艺需求的多样化，有效促进了数控高速五轴加工中心向高精度、高速度、智能化、网络化的不断发展。

电主轴作为高速数控机床的核心部件，尤其是在高速立式五轴加工中心、高速卧式加工中心、大型龙门式机床中，对于需要多轴联动加工、多面体加工的工艺需求，高速电主轴的优异性能远远超过普通机械主轴箱匹配异步电机的方式。随着电主轴制造企业技术水平的不断提升，及数控系统控制技术的不断发展进步，采用高速电主轴的数控机床目前已广泛应用于航空航天、汽车制造、模具加工，以及叶轮、叶片、叶盘五轴联动加工等相关机械加工行业。

使用电主轴的数控机床不仅可以获得更高的加工效率，同时能够得到更高的工件加工表面质量，进而降低客户的生产加工成本，因此高速高精度的数控机床使用高速电主轴成为目前发展的普遍趋势。而随着数控系统控制技术、高速切削加工技术的发展，以及用户实际工件加工的需要，对电主轴的加工性能也提出了相应的需求。

国内的大部分用户对于数控机床的要求是，既需要满足低速大扭矩的重切削加工，也需要满足高速精加工切削，因此，要求电主轴应该同时具有低速恒转矩、高速恒功率的性能表现。

为了满足以上需求，电主轴企业开发出了星型连接以及三角形连接两种不同的电源供电连接方式，并采用相适配的主轴驱动器，通过数控系统控制主轴的不同连接方式并切换相应的驱动器参数，即可满足机床加工时，主轴低速恒定大扭矩、高速恒功率的要求。而如何实现电主轴星三角的安全切换，保证数控机床的正常运行，保护电主轴和伺服驱动模块的使用寿命，既能发挥电主轴的高速特性，又能发挥电主轴低速大扭矩加工的特点，是一项关键的控制技术。

本文以沈阳机床股份有限公司自主研发的M8.4五轴加工中心为研究对象，其电主轴采用Kessler公司生产的异步电主轴，最高转速24000r/min，额定功率24kW，主轴驱动器采用KEB公司生产的F5系列主轴驱动器，数控系统采用沈机自主研发的i5数控系统，在实际加工测试中，控制电主轴星型-三角形连接方式的切换，满足用户加工时低速恒转矩、高速恒功率的需求。

1. 电主轴工作原理及概况

数控机床电主轴的驱动动力来自内置的三相电机，电机由转子、定子组成，电动机转子直接套装在转轴上，定子通过冷却套固定在主轴箱体孔内，形成一个完整的主轴单元，由于使用内装式三相电机直接驱动，所以将机床主传动链的长度缩短为零，实现了机床的“零传动”。电主

轴的机械传动结构采用主轴电动机与机床机械主轴“合二为一”的方式，使主轴部件从机床的传动系统和整体结构中相对独立出来，由于当前电主轴主要采用的是交流高频电动机，故也称为“高频主轴”。由于没有中间传动环节，有时又称它为“直接传动主轴”。

电主轴包括电主轴本体及其附件，包括电机单元、内置编码器、电机冷却系统、电机热保护器、高精度轴承、油雾或油脂润滑系统、气幕保护及锥孔清洁系统、松夹刀系统及传感器等组成。电机为了适应加工应用要求而特殊设计，具有很高的功率密度和扭矩。电机绕组经过灌胶密封处理，保证使用中绕组的绝缘可靠性，绕组端部安放热保护器，防止在过载及异常情况下损坏绕组。

由于采用一体式的传动结构，电主轴具有结构紧凑、噪音低、惯性小、重量轻、动态响应快等特点，进而改善了机床的整体动平衡，减少了震动及噪声，在小型高速立式加工中心、中型卧式加工中心，以及大型龙门式、桥式五轴机床中都得到了广泛的应用，特别是在高速精密加工行业，如航空航天、模具加工、车船用发动机、手机壳体加工等领域，采用电主轴的数控机床的占比逐年上升。

本文测试机床M8.4五轴加工中心的主轴采用Kessler公司生产的异步电主轴，型号为DMS100.36，其具体电气参数见表1。

表1 电主轴星型-三角形电气参数表

转速/(r/min)	2300	5000	5000	20000	24000
功率/kW	24	24	24	24	18
扭矩/Nm	100	46	46	11.5	7.2
电压/V	313	400	354	400	400
电流/A	60	44	56	46	36
频率/Hz	81	173	168	676	810
连接方式	星型连接		三角形连接		

由表1的数据，可以绘制出电主轴星型-三角形运行速度-扭矩比较图，如图1所示。

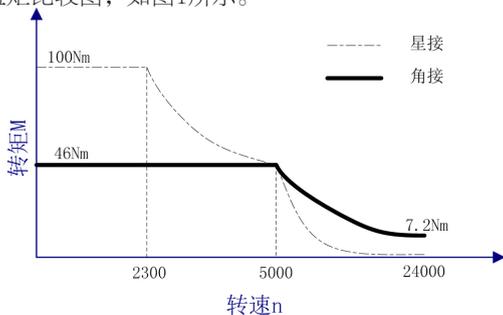


图1 电主轴星型-三角形运行速度-扭矩比较图

由上图可以得知，当机床电主轴的供电采用星型连接方式时，主轴以不超过5000 r/min运转时，会输出相对较大的扭矩，而一旦主轴运转速度超过5000 r/min，主轴的输出扭矩会急速下降，导致数控机床在高速切削时无法进行相对较大切深的加工，限制了数控机床的应用范围。

此时，如果通过数控系统将电主轴的供电方式切换为三角形连接，则主轴的输出扭矩会保持相对缓慢的下降，即使在最高转速时，仍有7.2Nm的输出扭矩。

并且电主轴以不同的供电连接方式运行时，即使旋转的速度相同，但输出扭矩明显有很大差别。尤其是在电主轴低速运行时，相同的转速下供电方式转换为星形连接后，可以使电主轴输出更高的扭矩。数控系统不具备电主轴星型-三角形连接方式切换功能时，只能采用将主轴三角形连接，并且增大主轴驱动器的功率等级，以达到输出较大扭矩的目的，而数控系统具备星型-三角形切换功能，不仅使得主轴运行在更合理的工作区间，也相应的减少了机床的硬件成本。

2. 星角切换在i5数控系统中的控制方案

(1) 硬件设计与选型

电主轴星型三角形切换的电气原理图设计如图2所示，电主轴的进线端子U1、V1、W1分别连接驱动器的电源输出接口，电主轴的出线端子U2、V2、W2分别连接星型连接接触器QA102，以及三角形连接接触器QA101。

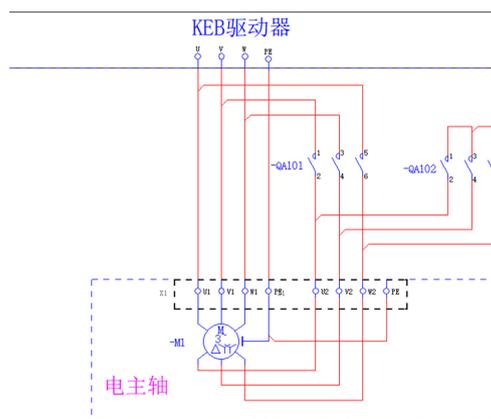


图2 电主轴星型三角形切换的电气原理图

CNC预读加工程序中主轴的转速，通过PLC程序控制接触器QA101及QA102的闭合与断开，实现主轴的星型三角形切换。即当接触器QA102闭合、接触器QA101断开，电主轴的定子绕组星接，电主轴以星型连接方式运行；当接触器QA102断开、接触器QA101闭合，电主轴的定子绕组角接，电主轴以三角形连接方式运行。

为防止短路，QA101与QA102不能同时闭合，因此在接触器的型号选择时，选用具备机械互锁功能的接触器，即通过机械互锁的结构防止两个接触器同时闭合的情况的发生，并且通过将控制接触器闭合的继电器的常开常闭触点互相接入的方式即电气互锁的方式防止两个接触器同时闭合的情况，以及在切换过程中一个接触器断开和另一个接触器闭合之间通过PLC程序增加一个延时时间，以上三种方法共同作用，防止两个接触器同时闭合，规避电主轴

短路情况的发生。

(2) CNC控制系统的设置

进入CNC数控系统的主轴参数设置页面，找到主轴星角切换的设置页面，将参数“主轴星角切换支持”设置为ON，代表开启主轴自动星角切换功能，将参数“主轴星角切换转速”设为5000r/min，代表当CNC预读到加工程序中主轴的转速超过5000r/min时，自动将电主轴的连接方式转换为三角形接法，反之，当主轴的转速不高于5000r/min时自动将电主轴的连接方式转换为星型接法，主轴星角切换的设置页面如图3所示。



图3 数控系统中主轴星角切换参数设置界面

(3) 主驱动器的连接方式与参数的设定

主轴驱动器的选型根据电主轴的额定电流、额定功率、额定转速、最高转速以及主轴类型等相关参数，最终采用德国KEB公司的F5系列驱动器，其支持通用性及开放性较强的Ethercat总线协议，可通过总线直接与i5数控系统连接，硬件连接方式及控制方法简便。

驱动器控制部分的接线如图4所示，其中X2A的21脚与22脚接直流稳压电源的24V及0V；16脚为驱动器的硬使能，通过PLC来控制驱动器的使能与否；13脚为驱动器切换主轴星型三角形连接不同参数的输入信号，接PLC的输出点Q8.0，当Q8.0为0时，驱动器激活星型连接的运行参数，当Q8.0为1时，驱动器激活三角形连接的运行参数；29脚为驱动器输出信号的电源端口，接入直流24V；27脚及28脚为驱动器参数切换完成的输出信号，接入PLC的输入点I8.0及I8.1，当I8.0为0并且I8.1为1时，认为驱动器已完成星型参数的切换，反之，认为是已完成三角形连接的参数切换。

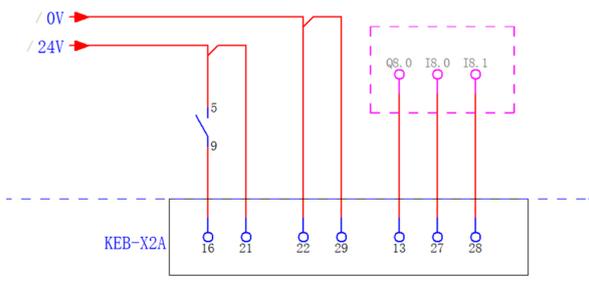


图4 KEB驱动器控制部分接线图

通过查询电主轴的详细资料，将电主轴星型连接与三角形连接时的两套不同参数分别写入KEB驱动器与电机设定有关的DR系列参数中。表2为部分星接与三角形接法的参数对比。

表2 电主轴星型接法与三角形接法的参数对比

参数	星接	角接
额定电压/V	305	354
额定电流/A	43	44
额定频率/Hz	79	168
脉冲频率/kHz	3.2	5.33
定子电阻/mΩ	148	49
转子电阻/mΩ	127	42
额定转速/(r/min)	2300	5000
最大转速/(r/min)	5000	24000

(4) 控制逻辑的设计

①自动星角切换。电主轴自动星角切换时三角形接法转换为星型接法的具体过程是，首先CNC预读主轴将要执行的转速，如果转速等于或者在星角切换速度以下时，判定主轴进行星型切换，主轴会先减速为零。

当系统检测到主轴零速后，延时一段时间（该延时时间可通过参数进行设置），主轴驱动器下使能，CNC发出星型切换的请求，将引脚‘星接切换请求’置1，PLC收到切换请求后向驱动器发送星接参数切换信号，进而驱动器切换星接参数，驱动器通过IO点将参数切换完成反馈给PLC；驱动器星接参数切换完成后，PLC请求接触器进行星接切换，角接接触器断开，星接接触器吸合并通过辅助触点将完成信号反馈至PLC，PLC通过引脚告知CNC主轴星接切换已完成，主轴驱动器上使能，主轴按照编程转速开始旋转。同理，电主轴星形接法转换为三角形接法的过程与以上过程类似，仅相关引脚及IO信号有所区别。电主轴自动星角切换控制流程如图5所示。

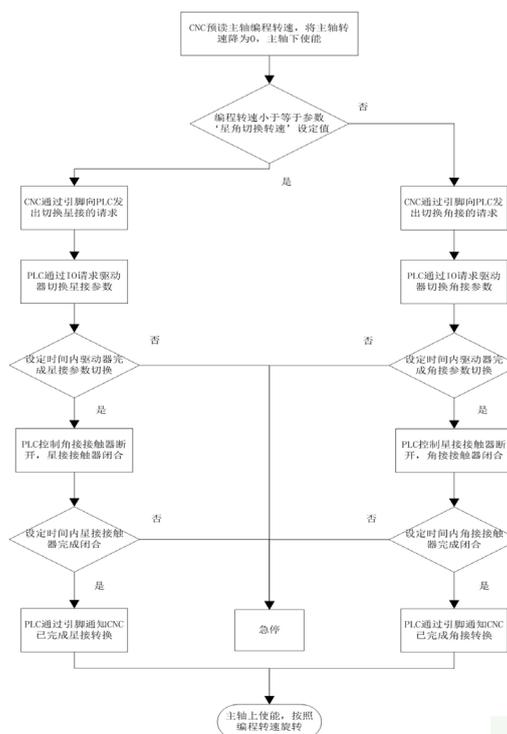
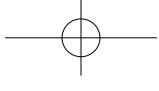


图5 电主轴自动星角切换控制流程图



②手动星角切换。在做电主轴星角切换的功能调研时发现，个别客户在加工特殊工件时需要电主轴星角切换实现手动可控，所以开发了利用M代码实现电主轴手动星角切换的功能。电主轴手动星角切换的过程与自动星角切换类似，对于主驱动器参数的切换以及星型三角形接法接触器的切换的过程及硬件方案与自动星角切换基本相同，仅仅在星角切换的请求发出端是不同的。手动星角切换需将参数“主轴星角切换支持”设置为OFF，代表关闭主轴自动星角切换功能，对于主轴转速的预读以及主轴电源接法采用星接还是角接完全由编程者自主判断，仅需要在主轴旋转指令前添加星接M代码或者角接M代码即可。

3. 试运行测试

(1) 主轴星角切换测试

由于主轴自动星角切换与主轴手动星角切换对于驱动器参数切换及星角接接触器切换的控制方法基本一致，所以测试主要以主轴自动星角切换展开。测试的过程主要是模拟各种实际的工况，对主轴星角切换的过程及切换完成后驱动器、CNC以及硬件连接的状态进行监控，通过i5数控系统自带的示波器工具，对与主轴星角切换相关的信号进行实时监控并记录，通过分析各个信号的实时变化，对主轴星角切换的过程及切换后各部件的状态是否正确、是否稳定进行测试。

主轴角接转换为主轴星接的具体测试过程为，首先以MDA方式将主轴转速旋转至5000r/min以上，此时主轴连接方式为角接，然后MDA再执行M03S1000，由于1000r/min小于参数“主轴星角切换转速”的设定值，所以主轴应转换为星接，然后再旋转至1000r/min。主轴角接转换为星接主要分为以下步骤：

①CNC预读MDA指令中主轴的转速，与参数“主轴星角切换转速”的设定值对比，做出主轴应该以星形接法匹配该主轴转速，然后再与主轴当前状态三角形接法做比较，由于状态不一致，所以CNC做出主轴星接切换的请求；

②CNC发出主轴停止旋转请求，主轴转速降为0；

③主驱动器下使能；

④主驱动器切换星接参数，切换完成后反馈至PLC；

⑤角接接触器断开，星接接触器闭合，动作完成后通过辅助触点将状态反馈至PLC；

⑥若参数切换及接触器切换都正常完成，即PLC收到相应的输入信号，将CNC相关引脚置一，认为星接切换完成；

⑦主轴上使能；

⑧按照MDA中主轴的转速1000r/min旋转。

在角接转换为星接的过程中，需确认角接的请求信号一直为0，在CNC发出主轴星接的请求后，主轴角接完成信号由1变为0。

利用示波器采集的相关信号状态如图6所示。

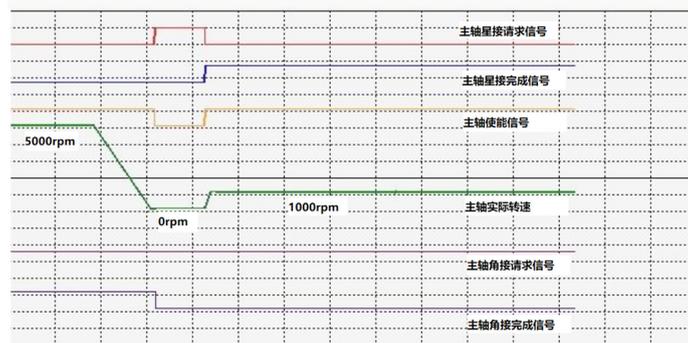


图6 主轴角接转换为星接示波器采集信号图

(2) 试切测试

对于车用涡轮增压器中的小叶轮，为了提高效率，在加工外轮廓及流道即粗加工时，工艺要求加大切深量，而在加工叶片即精加工时，工艺要求主轴高转速且切深很小以提高工件的表面质量。所以要求主轴在粗加工时采用星型接法，输出相对较大的扭矩，而在精加工时采用三角形接法，在高转速时提供一定的切削扭矩。

通过在M8.4机床的实际切削测试，主轴自动星角切换功能可以满足小叶轮的加工工艺需求，且效率及稳定性满足客户相关需求。

4. 结论

本文主要通过对高速电主轴星型接法三角形接法电气性能参数的分析，利用i5数控系统控制KEB主驱动器切换不同参数以及编写PLC逻辑控制星型-三角形接触器的吸合与断开，设计了一套根据加工程序中主轴编程转速实现电主轴星型-三角形自动切换的系统方案，并在沈阳机床股份有限公司研制的M8.4五轴机床上加以测试。

通过不同应用场景、不同工况、不同加工工艺要求的条件下测试了主轴自动星角切换方案，测试证明，该方案可满足相关需求。目前，该方案已应用至M8.4生产中，经过对实际客户的调研得知，电主轴自动星角切换的方案可靠性及稳定性皆满足客户的加工需求。□

基于SIEMENS 840dsl系统大型机床防碰撞方法研究

沈阳机床设计研究院 王红亮 严昊明 王天宇

大型双龙门架数控机床，具有两个龙门框架，一个龙门架的横梁固定，一个龙门架的横梁可以升降，工作台固定，两个龙门架安装在同一个X轴床身上，可进行往复运动。定梁龙门架是X1，动梁龙门架是X2，当X1和X2进行相对运动时，必须设置防碰撞保护装置，防止相撞。本项目根据实际情况，采用了硬件和软件相结合的方式双重保护，同时，利用西门子的碰撞监控功能，进行机床和工件的防碰撞监控，提高了机床使用的安全性，解决了机床在运行中的安全问题。机床的结构如图1所示，下面将逐一介绍项目中用到的四种方法。

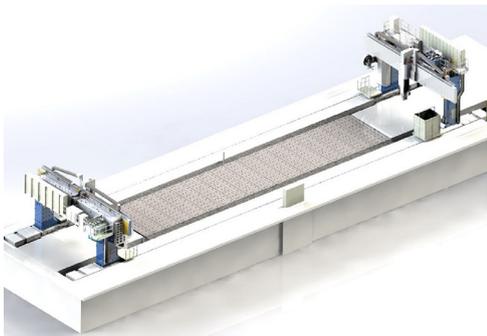


图1 大型双龙门架数控机床

1. 硬件限位开关，配合第二软限位功能

机床双龙门框架具有防碰撞保护装置，在两个龙门架接近时，通过在滑座端头固定支架上安装的全自

动控制电气开关，在双龙门主轴中心接近一定距离时，达到最小距离后自动发出报警信号并反馈给各自的数控系统，从而控制各自龙门动作及时停止。

如图2所示，开关支架1固定与定梁龙门架一侧的滑座上，撞块1和触发开关1固定在开关支架1上。同样，另一个开关支架2，撞块2、触发开关2固定于动梁龙门架一侧的滑座。当两个龙门架接近到最小距离时，固定于各自龙门上的撞块触发对方的电气开关，两个龙门框架同时停止运动，并且激活数控系统的“第二软限位功能”，保证机床不会沿着原路径方向继续运动。为防止其中一个电气开关失灵，项目中采用冗余设计，即在两龙门另一侧对应位置上安装上述同样的装置，一对滑座两侧的固定电气开关同时生效，无论哪组触发开关，都能实现两个龙门的停止运动，以达到双重保护最安全的防碰撞目的。

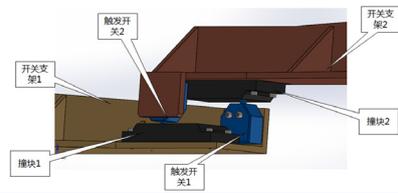


图2

此方法的优点是，硬件机构和软

件双重防护，安全系数高；缺点是，硬件成本增加，安装复杂，并且开关被压上后，机床会立即停止，对于机床造成较大冲击，客户体验较差。

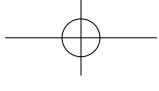
2. 读两个龙门架的X轴坐标，判断是否进入干涉区

利用STEP7编程软件，新建一个功能块FC100，利用FB2读取实时 X_1 和 X_2 的坐标值（回零完成状态），已知X轴导轨行程全长L和两个龙门架之间最短安全距离 D_s ，建立干涉区距离 X_s 公式如下：

$$X_s = L - (X_1 + X_2)$$

机床实时读取 X_1 和 X_2 坐标值，并进行计算，如果 $X_s \leq D_s$ ，那么表示龙门架以及到达安全距离，需要立即停止运动，机床发出报警，并且读入禁止，进给禁止，以保护机床。需要注意的是，定梁龙门架需要把 X_1 坐标值通过网络传输送到动梁龙门架的系统内进行运算，同理，动梁龙门架的 X_2 坐标值也要送到定梁龙门架内进行运算，需要处理好数据传递的准确性和实时性。

此方法的优点是，不需要任何硬件设备，应用简便；缺点是，安全性不高，如果 X_1 和 X_2 轴有任意一个没有回零，则计算结果将存在问题，导致功能失效，机床将失去防护功能。



3. 硬件限位开关，配合异步子程序增加碰撞减速效果

此方法跟方法1类似，但是方法1中，机床会产生真实碰撞，冲击较大，如果可以在发生碰撞的时候，进行减速运动，到达安全距离后再停止，可以有效的减少冲击带来的损伤。具体做法如下：

当行程开关被压上后，激活系统的异步子程序，在程序中将X轴运行速度限定在低速，并在规定时间内让其停止，这样可以有效的减缓上述三种办法带给机床的冲击。

异步子程序如下：

```
Xstop.SPF
SUPA G90 D0 FA[X]=500
; 500是X轴进给速度被限定在
500mm/min
POS[X]=CAC(100)
; 100是安全距离100mm
M92
;程序读入禁止，进给禁止
```

PLC编程调用异步子程序，在OB1中调用FB4，目的是把“Xstop.SPF”子程序和中断号1连接起来，如果出现中断号1，系统会跳出当前的循环指令，并自动执行“Xstop.SPF”，等待子程序执行完成后，再继续执行原程序。实际情况是，当行程开关I35.0被压上后，触发中断响应，调用Xstop.SPF，对X轴进行限速，同时，限制X轴余程为100，在这个余程内，X轴以500mm/min的速度运行，并停止，起到安全停的作用。具体做法如下：

```
CALL FB4, DB200
; "PI_SERV"
Req :=I35.0
; 中断启动信号，触发中断
PIService::=P#DB16.DBX 18.0
BYTE 26
;调用PI服务
Unit :=1
```

```
Addr1 :=P#DB228.DBX 0.0
BYTE 34
;调用Xstop文件名称
Addr2 :=P#DB228.DBX
34.0 BYTE 34
;调用Xstop文件路径
Addr3 :=
Addr4 :=
WVar1 :=W#16#1
WVar2 :=W#16#1
WVar3 :=
WVar4 :=
WVar5 :=
WVar6 :=
WVar7 :=
WVar8 :=
WVar9 :=
WVar10 :=
Error:=M230.1
Done:=M230.2
State:=MW232
```

```
CALL FC9 ; "ASUP"
Start :=M230.2
ChanNo :=1
IntNo :=1 ;事件号1
Active:=M230.3
Done:=M230.4
Error:=M230.5
StartErr:=M230.6
Ref :=MW234
```

此方法的优点是，需要任何硬件设备，并且发生碰撞时，有减速效果，机床平稳停止，不会造成较大冲击，安全防护功能效果好；缺点是，硬件成本增加，安装复杂，并且设计编程复杂，需要较高的设计水平进行功能测试。

4. 碰撞监控功能介绍

“Collision avoidance” 碰撞监控功能（6FC5800-0AS02-0YB0）可实时计算两个保护区域（机床部件或者刀具）的间距，机床可以在线实

时监控刀具轨迹，防止发生碰撞。

此功能可用于多种机床类型：卧式加工中心，如Y轴上下与旋转工作台（B轴）；车削中心，如刀架与主轴、B轴与主轴；五轴加工中心，如旋转轴与主轴头（摆台型）；龙门镗铣床，如附件头与工件。

可在数控系统中设置碰撞检测参数，实时计算两个保护区域（机床部件或者刀具）的间距，防止发生碰撞。碰撞识别和预防功能不论在自动还是点动运行方式下均可使用。碰撞识别和预防功能使用预读功能得出的运动数据。

该功能对刀具的运动轨迹的预判如图3所示，预判时间可自由设置，保证碰撞被及时的检查。

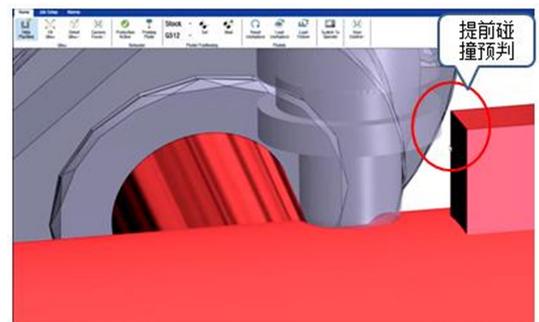


图3 刀具刀柄碰撞预判功能

应用此功能，需要建立精确的机床模型，以及刀具和工件的模型，精确的模型可以准确预计膨胀位置，并输出报警26280，使机床停止运动，保护机床和工件。

目前，此功能为西门子选项功能，客户可以根据需要进行选购，对于航空航天行业机械加工企业，机床设备和工件的材质较为昂贵，非常有必要选购此功能进行碰撞监控。

5. 结论

以上方法，既可用于大型双龙门架机床，也可用于普通数控机床的防碰撞控制，简单实用，安全可靠，可作为机床安全保护使用方法借鉴。□

高精度大直径薄壁壳体加工工艺

中船重工集团公司第七二二研究所 曾建 徐家品 易肖昆 刘辉

【摘要】本文就某型天线零件的外壳加工方法为例，分析了加工难点及加工工艺改进，实用性较强，为相关大直径薄壁壳体零件加工提供借鉴。

在航天、航空、船舶领域，对零件的质量要求严格，对传动中非承载的零件一般采用铝合金材料，这样既可减轻质量又能降低成本，同时满足零件之间的相互配合精度要求、强度要求和使用寿命要求。下面就以某型天线零件的外壳为例，来说明此类零件的加工方法。

1. 零件结构及技术要求

如图1所示外壳属于薄壁零件，材料为LY12-CZ，孔径和外径尺寸都 > 140mm，跳动为0.02~0.04mm，壁厚为2mm，该材料加工过程中受温度影响尺寸变化较大。零件尺寸大，装夹不易实现，且零件为硬铝材料，较大夹紧力易造成工件塑性变形，从而影响加工精度。此零件还涉及端面薄壁，且厚度要求为 2 ± 0.05 mm，加工过程中受夹紧力和切削力及切削热影响，极易变形，很难保证要求。

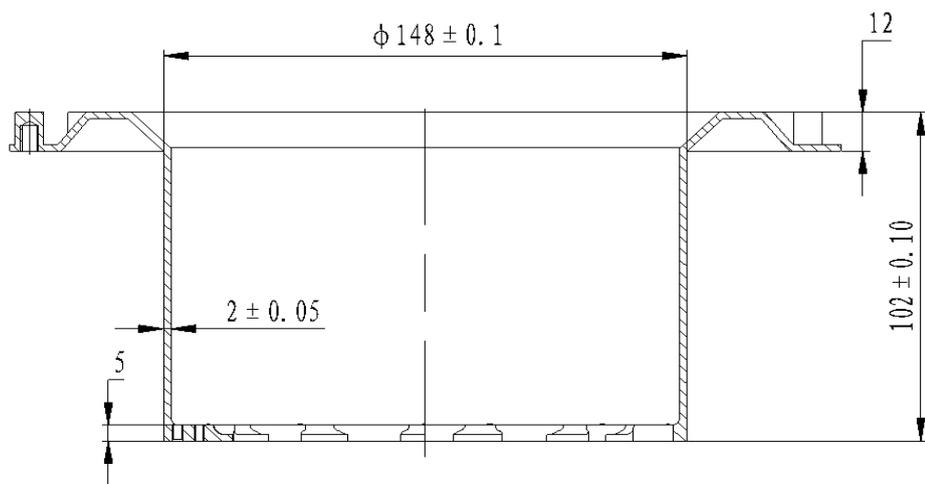


图1 外壳

2. 薄壁零件加工重难点

(1) 装夹不当易变形，壁厚尺寸不易控制

从零件图样及技术要求来看，零件加工要考虑保证工件的尺寸精度、定位精度，制定合理的加工工艺。同时装夹过程中尽可能减小零件的加工变形，选用合理的装夹方案。此零件加工的难点，一方面在于壁厚尺寸不易控制，加工过程中极易变形；另一方面，车削过程中的受力点与夹紧力作用点不容易控制，车削过程中产生弹性变形，导致成品的平面度和平行度超差。

(2) 切削热的影响

对于高精度薄壁工件来说，切削热对加工质量的影响也是不可忽视的因素。尤其是在精加工阶段壁很薄的时候，受温度变化影响较大。这里的温度变化包含加工后工件自身温度变化和环境温度变化，相比较，前者对工件加工尺寸精度影响更大。所以要将温度变化的综合因素考虑到工件加工和测量过程中去，以保证工件最终

加工质量。

(3) 加工过程的影响

在加工过程中导致工件变形的因素很多,常见的大致有:①因工件较薄,切削热会引起工件热变形,使工件尺寸难于控制;②因工件结构特点和加工部位限制,装夹后零件悬伸长度较长,在切削力(特别是径向切削力)的作用下,很容易产生振动和变形,影响工件的尺寸精度、形状、位置精度和表面粗糙度等;③切削用量的选用;④加工流程和加工内容的工艺安排也是影响零件加工变形的因素之一。如尽量减少精加工内容和加工余量,精度要求不高的部位可安排在粗加工和半精加工阶段完成等,均可对工件加工变形起到控制作用。

3. 薄壁壳体加工工艺改进

(1) 设计工装夹具

如图2所示,工件端面螺纹孔与夹具体1左端面孔相配合定位,螺母通过螺纹与夹具体联接,对工件不产生径向压力,克服径向力对工件产生的变形。一次装夹零件,将零件内孔,锥度,端面,端面锥度槽一次加工到位,从而达到保证工件加工基准面的精度要求。

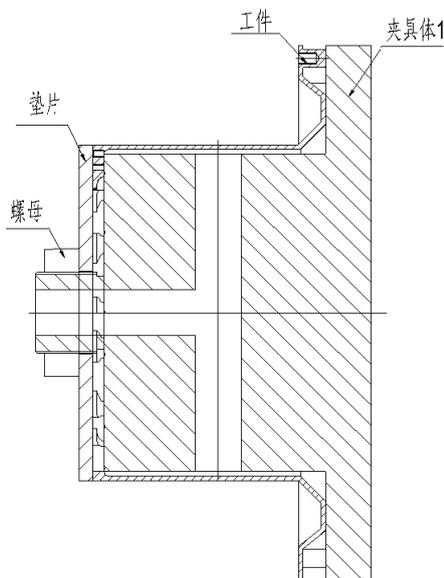


图 2

如图3所示,工件用两处孔和夹具体的外圆相配合定位,压板通过螺纹与夹具体2联接,工件内孔左端面与夹具体端面贴合,外端面通过压板压在工件右端面上用螺纹锁紧,通过端面压紧工件,对工件不产生径向压力。通过工装一次装夹将零件外圆,端面,锥度一次加工而成,从而达到保证工件的尺寸精度和形位公差要求。

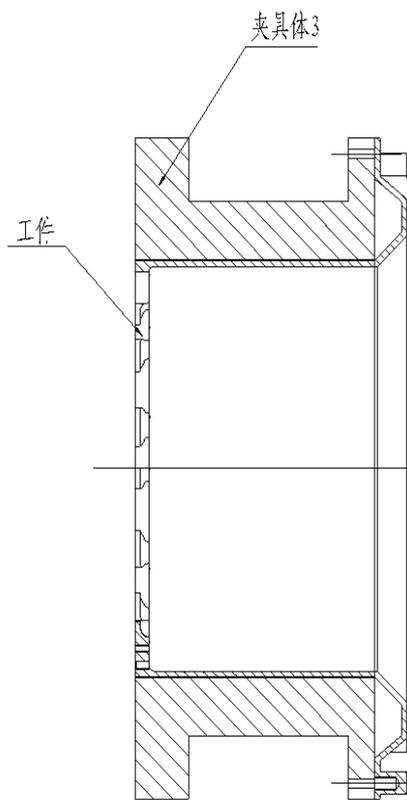


图 3

(2) 减小切削热

如图3所示的夹具体2中加工3- $\phi 20$ 轴向径向相贯通孔,同时夹具体2与工件内孔留有单边1mm间隙,这样在加工过程中,冷却液可以通过 $\phi 20$ 孔流向1mm间隙中,达到循环冷却的目的,进而减小加工中产生的热变形。

(3) 选用合理的加工工艺

加工工艺步骤分成粗加工、半精加工和精加工三个阶段,并安排辅助加工基准工序。毛坯粗车后,进

行淬火热处理,使材料重新结晶,组织恢复平衡,硬度提高,满足产品的强度需求。粗车后进行冷态循环稳定材料组织,控制半精加工过程中的变形量。半精车后再进行一次时效去应力,消除切削过程产生的变形。最后精车后进行低温热处理,进一步稳定材料内部组织和尺寸精度要求较高的部位,满足产品装配长期使用要求。

①刀具材料选择。工件材料为LY12-cz,是一种高强度硬铝其抗拉强度 $\geq 410\text{MPa}$,屈服强度 $\geq 265\text{MPa}$ 。为确保加工精度,选择白钢刀作为镗刀刀具材料,刀具的几何角度一次磨削成形。

②刀具几何参数选择。在车削过程中,切削力的产生是必然的,但通过合理选择刀具几何角度可以改变其大小。精镗内孔时,刀柄刚度要求高,车刀的修光刃不易过长(选取 $0.2\sim 0.3\text{mm}$),刃口锋利。

③切削用量的选择。在保证零件加工精度的情况下,提高加工效率。根据加工经验及实践,精加工时切削转速 $n=500\text{r/min}$,进给量 $f=0.06\sim 0.10\text{mm/r}$,零件越薄进给量要越小,背吃刀量 $a_p=0.05\sim 0.10\text{mm}$ 。车尺寸 $\phi 144\text{mm}$ 、 $\phi 148\text{mm}$,切削用量为 $a_p=0.05\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/r}$,加工完圆柱度控制在 $0.01\sim 0.03\text{mm}$ 之间,控制零件变形,保证产品质量。

④切削液的选择。采用湿加工降低切削区温度,提高表面质量,延长刀具寿命。充分使用切削液进行冷却,防止零件热变形,防止热量集中。

本工艺有效控制了工件的变形量,解决了此类工件的加工变形难题,满足了产品设计技术要求,实用性强,具有一定的推广价值。□

机床刀具全生命周期的柔性技术 对可转位刀具“积极惰性”的分析

上海教智信息有限公司 范亚炯 范欢欢
上海宇自航测控科技有限公司 杨峰
南京工程学院 史潮

【摘要】人们在设置柔性制造系统时,往往忽视刀具的部分柔性技术问题,现大部分企业侧重完全柔性技术的需求与选择上。相对完全柔性技术而言,刀具的部分柔性技术指能对企业相关产品的工序起集中与过程能力提高的技术,有其选择与规划的具体问题。不可调刀具结构决定了刀具元件和功能的不变分布状态及相互关系,限定了系统重构时柔性的属性,其工艺动作的静止状态,决定了其柔性变化只能局限在刀具材质与类型、品种的变化上,只有通过可调式刀具机构的综合可靠变化,才能简化刀具类型、品种的变化。对制造系统效能的影响程度,综合表现了在其生命周期的不同阶段上采用或转位、或调整、或重磨、修复、重用刀片,最后调换不同刀片的柔性技术措施,提高了刀头几何参数动态适应性与刀片利用率高,有效延长刀具使用寿命与报废、增强绿色化的全部过程。其柔性技术的需求和选择方面不同于现可转位不重磨刀具刀片型号不变的单向转位与调换的延续技术,能使刀具系统几何参数的静态优化状态,演进为参数可调的动态优化技术,从而对不可调式刀具“积极惰性”进行切实的分析与创新,提高生产效率与经济效益,使其LCC最小化扩张到“LCV/LCC”(产品生命周期价值/产品生命周期成本)的最大化,体现了现代先进切削技术的基本特征。相关研究结果表明,只要企业合理进行投资分配,通过获得部分的产品柔性可获得近似于完全柔性的收益。

刀具切削工艺生命周期的柔性技术不同于现可转位不重磨刀具刀片单向转位与型号不变的调换技术,它是刀具适应大批量定制化生产的需要,在其生命周期的各个阶段上,或转位、或调整、或重磨、修复、重用刀片,最后在内接圆半径变化的允许范围内调换不同型号刀片,演进为可调式刀具的全部过程。所以,其工艺生命周期的柔性技术能面向工艺系统各个环节动态优化参数,运用并行与集成化处理的系统方法和综合技术,预见刀具切削工艺生命周期各个环节的加工特征并优化操作参数,克服了可转位不重磨刀具“积极惰性[1]”,提高了刀具现代先进切削技术的特征与性能。

一、对可转位不重磨刀具“积极惰性”分析

可转位不重磨刀具的“积极惰性”是其技术不适应大批量定制化生产模式的需求所出现的不稳定、不适应的工艺切削特征。其技术的积极合理性,是随20世纪70年代,刀具结构与工艺的两次革命出现的。一是使焊接刀具变革为机夹可转位刀具;二是使刀刃切削寿命成倍提高的涂层工艺的诞生与飞速发展。其背景是生产进入数控化、自动化对切削刀具提出的高可靠性、高精度、高耐用度、断屑良好、可快换性等方面的系统准静态优化机制。其机制是少

品种、大生产的稳定环境,但面向大批量定制化的生产形式,再对其这种仅在历史上成功的合理积极性进行重复应用,只能表现出一定的惰性行为。只有柔性技术和横向学习的方式才能利用其积极性,克服其惰性。

面对大批量定制化生产形式与按需定制的生产模式,可转位不重磨刀具不能充分适应的特点现日益突出。因为,几何参数的不可调造成刀具种类、数量巨大,参数繁多,要想取得现代先进工艺切削的先进特征就较困难,这是目前很多企业面临必须尽快解决的难题。因而,要求刀具结构动态演进,并能给刀具或在其生命周期各个阶段,实施转位、调整、重磨、以致调换不同刀片、刀垫的不同柔性技术措施,简化其类型与品种,才能使其静态优化参数向动态优化参数演进,适应不同工艺系统与加工特征的要求,并从LCC最小化扩张到“LCV/LCC”(产品生命周期价值/产品生命周期成本)的最大化。

这样根据对刀具切削工艺生命周期柔性技术机制的认识与运用,能对现可转位不重磨刀具“积极惰性”进行破解与分析,否则将进入一种技术误区,难以使可转位刀具技术发展与创新。

1. 刀片性能的局限与优化

高性能切削的粗加工阶段金属去除量和切削力大,需根据被加工零件材料来选择刀片材料的牌号、优化其系统几何参数。但可转位刀片静态切削参数常因机床主轴和进给机构的功率不足,使刀片性能得不到充分的利用,也不能保证工艺设备始终得到充分利用,刀具切削参数动态优化是解决这一矛盾的最佳途径。用遗传算法求解刀具体系的调度问题,可获得较好的静态初始解,能加快求解速度与质量,但不能解决其机床工具的现代先进切削工艺技术特征的具体问题,所以,其切削参数必须进一步动态优化,如图1所示。

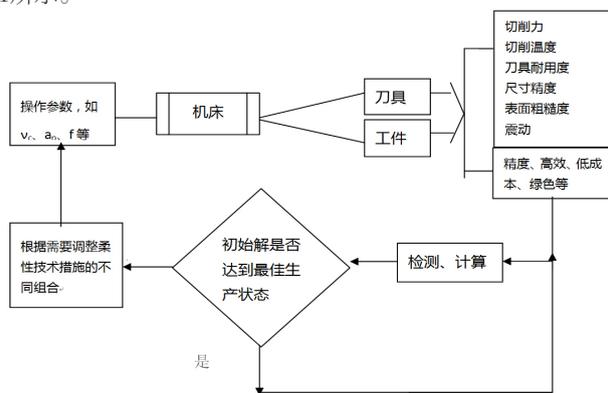


图 1

2. 长寿命设计的单调性与空间扩展

随着硬质合金可转位刀具在切削加工中的应用日趋普

及,也对其设计与制造提出了越来越高的要求。用户需要的硬质合金可转位刀具已不是满足于基本切削功能的粗糙刀具,而是动态优化的结构性能与系统几何参数,工艺先进体现现代先进切削特征的先进刀具。为此,必须准确地确定和把握其设计目标,确保其现代先进切削工艺技术的系列特征,延长其寿命周期。但多品种、小批量生产形式的加大却使现可转位刀具使用寿命呈缩短的趋势,因而,延长其使用寿命必须进行系统的设计。主要是对其可能的破坏进行准确的分析预测,例如:基于刀具构件疲劳力学的安全寿命分析与基于断裂力学的损伤容限耐久性分析,材料客观性能指标的实验测定、制造和加工工艺质量的评估以及载荷谱与环境谱的编制等,从而是降低刀具材料消耗、节省机床动力与提高机床利用率的有效措施。

在此基础上,还应通过合理制定转位、调整、重磨、以致调换不同刀片、刀垫的柔性技术措施流程与不同组合的关联机制,例如焊接重磨前后角可调刀具、机夹重磨前后角可调刀具、机夹重磨主偏角可调刀具、机夹综合可调刀具使其刀具等,使其结构与几何参数的动态演进系列化。其经济寿命设计原则,应将一些关键的易损、不适应部件及时调换,不可以调换的部件应按“等寿命”设计,关键的薄构件也应设计为可检测与便于维修,例如:刀片定位销、不同型号的刀垫、刀台与刀杆加持机构部位相关联的调整高度等。

根据国际生产工程研究会(CIRP)曾公布的一项研究报告指出:由于刀具材料的改进,刀具许用切削速度每隔十年约提高一倍,而由于刀具结构与几何参数的改进,刀具耐用度几乎提高两倍。所以,可转位刀具一个刀杆可配用同一类型的80~200个刀片,在车床类可调式刀具则包括可调换5~6个不同类型刀片(SNMM19、CNMM19、DNMA15、WCMT08、RCMT20),主偏角相对初相角也可在正负20°内调整,前后角也可相对安装初相角调整正负10°,简化了可转位车刀的头部形式的数量与种类2/5以上,所共用不同类型的80~200个刀片就能得到精简,也能降低刀片的疲劳应力和相应刀杆数量,还使刀具的工艺切削寿命向范围矢量扩展,机床刀库与自动换刀装置也能进行相应的精化设计。

如就刀具材料消耗而言,现可转位刀具刀杆单一的材料节约,其消耗率为焊接刀具的5%~10%,但未向刀具类型与品种繁杂的整体材料节约优化目标拓展。因为,刀具类型与品种并未有所简化,以致有所增大。加之重磨修复技术受到限制,也使刀片的维修包括调整后的重复利用不被重视,致使刀片使用量居高不下,这也是不能忽视的问题。

3. 自动化生产过程整体功能的局限与提高

刀具静态先进几何参数的工业化设计与生产,使机床刀具切削工艺质量与效益均大幅度提升,但其适应性仅局限刃口切削区功能提高的技术范围内,尚未扩大到整个自动生产线范围适量的拓展与提高。例如:以前角值为特征的平均值与单元理想值就大约相差约 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。如其动态优化,就可能节省4%左右的切削动力,达到节省能源的目的。加之,几何参数的关联度不大,刀头又无相应的有限关联调整机构,刀片工艺集成度不高,刀具类型、品种数量得不到进一步精简,刃口的重磨、修复的技术措施不足,使简单的转位不重磨刀片资源节约型设计得不到全面的展示,不能降低刀具生命周期的综合成本与机床功能的充分发挥。

4. 工艺适应性不足的现场使用的技术与管理问题

现工具企业只是标准刀具的生产提供商,仅研究了刀具生命中的一个或几个时期的技术与管理问题,缺少对整个刀具生命周期的相关分析,刀具信息也不够全面。因而,刀具使用期的许多工艺适应性不足的问题约束了现代先进切削技术的要求。其服务项目也被“积极惰性”局限在时间与强度柔性矢量所决定的准静态平面内,即简单的不重磨与快换刀片的技术,解决不了刀具切削工艺需进一步拓展与工艺集中以及精密与重负荷切削过程指数提高的具体问题,机床效率得不到相应提高也需要得到解决。

5. 现可转位刀具工具系统的“积极惰性”

刀具体系从过去单一的可转位刀具扩展到工具系统,初步解决了提高现代制造业工艺切削系统效能的复杂性问题。但系统所配置的不可调刀具

仍种类繁多,虽然刀具标准化、系列化、模块化提高了其工艺操作的快捷化程度,但刚性自动化[3]的先进技术仍未突破时间柔性及强度柔性所决定的准静态特征。刀头切削部分的转位与调换只是简单的重复与线性叠加,不能用先进技术特征来充分描述其整个生命周期空间宽展的优越性。

6. 模块化夹紧机构技术的拓展

机床工具系统模块化夹紧机构使刀柄的快换技术有了进一步的拓展,无疑是大批量刚性生产技术的一种巨大进步,系统效应也不差。但只有刀头结构与参数的动态综合调整,才能使其工艺范围矢量得到工艺空间的进一步扩展。

例如:建立模块化刀具系统时,应使刀头模块功能单一、合理细化,以达到灵活性大、适应性强、寿命周期长的效果,并使其适应产品品种和参数变化的要求,形成经济合理的系列化,最大限度地满足用户的不同需要,利于高效生产、降低成本和提高产品质量。例如:模块式可转位面铣刀,一种刀体可配用不同的刀垫,可以形成 45° 主偏角通用面铣刀、 45° 主偏角轻切削低功耗面铣刀、 75° 主偏角通用型面铣刀、 $89^{\circ} 45'$ 主偏角的经济型立铣刀、 90° 主偏角的小切深($a_p < 9\text{mm}$)和大切深($a_p < 15\text{mm}$)以及刀尖角较小(60°)的立铣刀、修光铣刀、圆刀片型腔铣刀、八角刀片的多功能铣刀等10种类型的铣刀;另一类是各种刀垫可分别在直径80、100、125、160、200、250、315、400、500mm的各种刀体上使用,这样就可以扩大刀具的柔性技术的应用范围。

只有机床刀具生命周期切削工艺柔性技术的综合设计,才能使切削区切削性能的提高扩充到适应大规

模定制(Mass Customization)生产线效益的提高。因为,可调式刀具柔性技术措施的转位、调整、重磨、调换、自保在刀具生命周期各阶段的有限关联机制,表示了刀具切削工艺生命周期有效延续与生产线有效关联的整体性,其不同的组合机制不仅适应工艺系统的不同加工特征,还保证了现代制造业的集约化、绿色化的更高标准。

二、刀具切削工艺生命周期柔性技术的重要属性分析

大批量定制化生产形式与按需定制的生产模式的先进切削技术特征,要求在单元刀具切削工艺生命周期上的柔性技术,不仅要考虑在其各阶段柔性的强度分量与时间分量的适应能力与耐用度,还要考虑其范围分量。其范围分量可分别通过刀片转位、调整、重磨、调换、自保各属性功能进行描述。其柔性能力通常也被理解为单元刀具工艺切削适应范围、时间和强度的反映灵敏度,它们构成一个虚拟立体空间。系统柔性越高,意味着能达到的状态或范围越宽,作出变化的时间越短,费用越少,才能改变现可转位刀具寿命缩短的弊病,增强其寿命周期。因此,我们须用适应范围、时间及强度三个指标作为刀具在切削工艺生命周期上的柔性技术评价指标(见图2),对其进行描述。

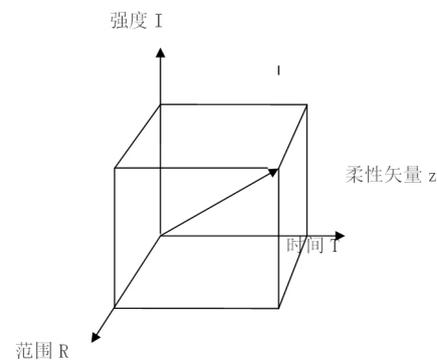


图 2

1. 刀具全生命周期上的柔性适应能力

这种柔性适应能力使刀具机构从静态向动态有限关联机构演进，其设置的延续其生命周期多元机制，包括转位、调整、重磨、调换、自保功能的有限关联机构与复合机制。以车床类刀具为例：其各阶段上的可调功能就是，使刀具可转位刀片多方位不重复转位、几何参数（包括修光刃、断屑槽参数）综合可调、刃部重磨预留尺度可调（侧重精磨）、刀片不拘型号（内接圆半径额定在一定范围内）的多品种调换等，形成合理延长刀具经济寿命的综合能力。

可调式刀具柔性技术措施可调模块的不同组合，使现可转位刀具仅有刀头切削部分简单转位、调换的准静态结构，添加了一系列动态功能。使刀具的各独立几何参数与工艺切削性能、操作性能在其生命周期内发生关联与动态优化、刀具品种得到相应的简约与优化。所以，既赋予刀具切削工艺的生命周期具有较长的三维延续性（为现可转位刀具的3~5倍），又可使不可调式刀具多品种系列不同层次简化，满足了多种经济形式需求，避免大材小用、优品劣用。这种新需求与新标准，需要进一步映射机床、刀具相关机构、切削用量、数控编程、冷却润滑等关键技术问题的影响，系统考虑其动态几何参数、多目标关联与优化的高效切削技术的一系列问题。其核心技术在于半圆弧刀台的形位调整初相角、以及与刀垫、刀片的等强度组合梁、刀垫与刀台的圆弧面运动低副、压板尾部与挡板前端的球面运动低副的可靠与稳定性，以及便于调整前角的压板前端和与调整刀片装夹后刀角的高副灵活性，刀杆圆柱面传递载荷所需的最小过盈量的可控与可靠性等。这样能在刀具切削生命周期动态柔性技术管理平台（Product Lifecycle Management）上挖掘刀具综合可调功能各方面的关联技术，使切削参数动态优化而进一步推广高效切削技术、为客户提供有针对性的工艺方案，解决其相关的服务问题与需求。

2. 刀具全生命周期上各种需求的协同优化能力

现不可调刀具的切削参数一般多从零件材料角度出发考虑，不考虑机床刀具生命周期工艺柔性技术多目标优化的系统性，导致了加工系统与刀具功能的不完全匹配[5]。因而，在刀具生命周期上不同工艺切削柔性技术的设计应能预见和满足不同阶段的各种需求，并按不同层次的要求先后协同组合、优化。工件对刀具和加工设备柔性的综合要求如图3所示。

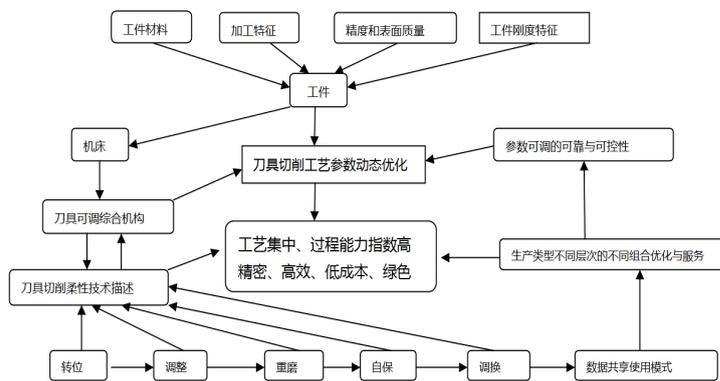


图3

刀具柔性技术措施不同单元的可靠组合，应结合生产形式的各自特征，以及流程节点关联规则与兴趣度的不同，挖掘其与工艺流程的有限关联技术，从而可在工艺决策的最高层面，以最经济、直接的方法，改变焊接刀具的低效、盲目和粗浅的工艺理念和操作程序，以及可转位刀具仅适应少品种、大批量生产工艺系统的局限性。

3. 刀具经济生命周期上的拓展能力

刀具管理以满足生产制造中的需求为目标，不考虑到刀具全生命周期内的成本问题，无法给企业生产经营提供决策支持。所以，切削参数柔性矢量空间范围的进一步拓展，不管是单向目标向多目标延伸、优化算法由离线调整向在线自适应控制拓展、优化目标由定参数向变参数拓展、还是由确定型向模糊化拓展，都说明需要对刀具工艺切削生命周期柔性技术各阶段的关联性进行综合，对其相关兴趣度作系统的深入调研与推广、应用。刃口几何参数动态优化，能使刀具耐用度几乎提高二倍，而刀片的单向重磨、修复、调整工艺，也使刀片重磨周边后的小规格化修复与重用符合标准，能使刀片的利用率达20%~30%以上，填补了其不能重磨的缺陷，延长了刀具的使用寿命。现可转位刀具技术限制了刀具使用寿命、拓展工艺加工深度与宽度的关联度很小或为零，也使重磨与转位的技术得不到提高，完全割离了转位与重磨功能的关联与丰富内涵。

三、结论

刀具切削工艺生命周期柔性技术的论述，展示了刀具全生命周期在多方面的有效延续与加工工艺的集成与拓展。其可调柔性技术措施，保证了制造业集约化、绿色、环保的时代需求，开拓了机床刀具研制、开发创新平台，无疑将是我国现代先进切削技术的重要特征。刀具柔性结构的改进，实现了刀具系统几何参数的动态优化方案，是现可转位刀具先进技术演进的必然结果，其产业升级应该有所预期，从而保证刀具柔性技术的演进与推广。□

连接管油缸轴的车削加工

四川省攀枝花市攀钢（集团）工程技术有限公司修建分公司 周德华

【摘要】本文介绍了多年来在CY6140-B型卧式车床上对连接管油缸细长轴加工实践中的技术摸索，总结出超细长轴车削加工的成功经验，更好探索与研究出更高效、快捷、更科学合理的加工方法。从而达到用户的使用要求，保证设备的正常运行，拓展低成本设备的适用性和优越性。

一般来说，细长轴是车削中比较难加工的工件，由于刚性较差，切削时很容易出现弯曲变形、锥度、竹节、棱形等，而使轴件报废，甚至无法加工。同时车削时如果装卡不当，很容易因切削力及重力作用而弯曲变形，产生振动，从而使精度降低，表面粗糙度增大。

细长轴的散热性能差，轴向线性尺寸长，在切削热作用下，会产生相当大的线膨胀而导致工件受挤而弯曲变形。 L/d （长径比）的值愈大，加工愈困难。“车工怕车杆”，这句话反映出车削细长轴的难度。若能掌握和解决细长轴加工的三个关键技术和注意工艺中的问题，这个困难是可以克服和解决的。

1. 车削细长轴的三个关键技术

(1) 跟刀架的选用

车细长轴外径时，最好采用三卡爪跟刀架，跟刀架的卡爪与工件的接触压力要适中，不宜过大或过小，过大会将工件车成“竹节形”，过小则跟刀架不起作用。切削过程中，跟刀架卡爪磨损以后要及时调整，以免将工件车成“多棱形”。如果将跟刀架的卡爪改为滚动轴承，使跟刀架卡爪由面接触改为滚动

接触，跟刀架与工件形成三轴联动就能解决以上问题。滚动轴承还能起到滚压作用，有助于提高加工件的表面粗糙度，从而提高工件的加工质量，以两爪跟刀架为例，如图1所示。



图1 传统跟刀架与改进跟刀架对比（图中滚动轴承采用高速滚动轴承）

(2) 工件的热变形伸长

车削时工件受车削热影响，使工件温度升高，并发生伸长变形，由于工件本身刚性差，工件伸长后会使工件产生弯曲而车成“麻花”形。工件热变形伸长量的计算方法为：

$$\Delta L = aL \Delta t$$

式中， ΔL 为工件热变形伸长量（mm）； a 为材料线膨胀系数（ $1/^\circ\text{C}$ ）； L 为工件总长（mm）； Δt 为工件温度升高度数（ $^\circ\text{C}$ ）。

在实际工作中防止工件热变形伸长的措施是使用弹性活顶尖。当工件受热伸长后，使弹性活顶尖向后退让，防止工件产生弯曲变形，并使用

充分的切削液。

(3) 车刀角度选择

选用YT15、YT14硬质合金材料，刀具切削部分的几何形状，从前角、后角、卷屑槽型来考虑，为了排屑顺利，应磨有 $R1.5 \sim 3\text{mm}$ 的断屑槽，前角选择 $\gamma_0 = 8^\circ \sim 12^\circ$ 最为合适。从切削热的产生和散热方面来说，增大前角可减小切削热的产生，切削温度不至于太高。

初加工时对强力切削的刀具要求，切削刃口强度高，应取较小的后角，半精加工时，其刀具磨损主要发生在切削刃和后角上，其后角取 $6^\circ \sim 8^\circ$ 最好；精加工时，应采用大刃倾角。刃倾角的大小和方向确定了流屑的方向，为了控制积屑瘤的产生，需提高表面的质量，刃倾角应该取 $3^\circ \sim 5^\circ$ 为宜，外圆车刀如图2所示。

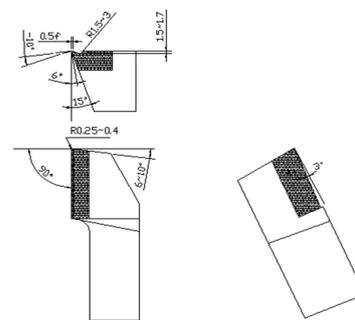


图2 车刀角度

2. 实例分析

以攀钢炼铁厂炼焦系统连接管油缸轴为例。该轴精度要求高、工期紧，我单位没有数控车床和磨床，采用CY6140-B车床，工件如图3所示。

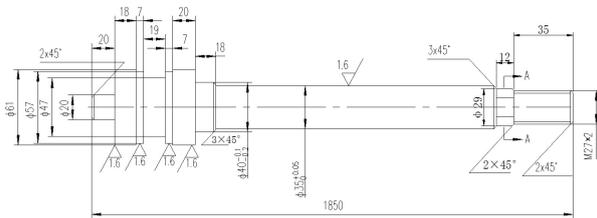


图3 加工零件

该轴的长度L与直径d之比为68.5，典型的超长细轴（该轴最大直径为61mm，最小直径为20mm）。为了车削加工该细长轴，我们制订了二套加工方案：

- ①一夹一顶结合跟刀架来车削细长轴；
- ②双顶（固定顶尖和弹性回转顶尖）结合拨盘、跟刀架来车削细长轴。

一夹一顶结合跟刀架来车削细长轴，经实践验证，轴端面的垂直度对轴的轴线超差，轴表面对轴的轴线全跳动超差，轴表面圆度、圆柱度超差，该方法不适宜加工连接管油缸细长轴。

经实践论证采用第二套方案，双顶结合拨盘、跟刀架来车削连接管油缸细长轴为最佳方案。经检验完全符合图纸技术要求和设备使用要求。

3. 双顶结合工艺安排

双顶结合拨盘、跟刀架车削连接管油缸细长轴的工艺安排

- ①下料 $\phi 65\text{mm} \times 1850\text{mm}$ ；
- ②将坯料较直；
- ③粗车细长轴右端（轴上螺纹端M27×2），见图4。



图4 粗车轴的一端

- ④粗车细长轴左端（轴上 $\phi 61\text{mm}$ 端），见图5。



图5 粗车轴另一端（找正“两个点”、打中心孔、反向走刀车外圆）

⑤自制一固定顶尖安装在机床卡盘上，每次使用都必须修正顶尖，使顶尖与机床轴线重合，如图6所示。

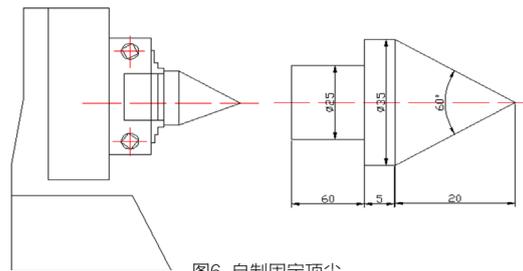


图6 自制固定顶尖

⑥拨盘的各部尺寸，见图7。

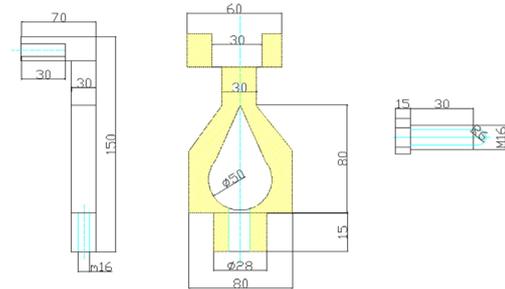


图7 拨盘

⑦双顶中拨盘的安装方法和位置，见图8。



图8 安装拨盘和工件

⑧半精车细长轴，使机床主轴与尾座两中心线的连线与车床大导轨上下左右必须平行，允差应小于0.02mm，避免锥度发生。切退刀槽，加工M27×2螺纹。

⑨精车细长轴 $\phi 35 + 0.05\text{mm}$ ，车刀主偏角 $K_r=90^\circ$ 、前角 $\gamma_0=8^\circ-12^\circ$ 、刃倾角 $\lambda_0=3^\circ$ 、背吃刀量 $a_p=0.1\sim 0.3\text{mm}$ ，进给量 $f=0.05\sim 0.1\text{mm/r}$ ，车床转速 $132\sim 210\text{r/min}$ ，浇注充分的切削液。

⑩超精车细长车轴，采用弹性刀杆装夹W18GV高速钢刀头，车刀的刀刃必须光滑平直，前角 $\gamma_0=30^\circ$ ，保证切削轻快，切屑排出流畅，减少切削热同时减少切削热引起的变形。采用低速光车，背吃刀量 $a_p=0.05\sim 0.1\text{mm}$ ，进给量 $f=0.5\sim 0.8\text{mm/r}$ ，车床转速 $n=9\sim 22\text{r/min}$ 。

经实际验证，采用本套方案车削加工的细长车轴完全可行，经用户检验完全符合图纸的各项技术要求和加工精度。□

创新涂层改进结构提高立铣刀加工质量和效率

尚亚国际贸易公司 章宗城

机械设备和模具零部件除一些较简单的平面、内外圆周表面外，还有许多难加工的曲面、复杂成形表面、立面等，这些表面的加工主要采用多种立铣刀。为实现高效加工，需要不断改进原有立铣刀的结构和材料，选择出相应的更优质的立铣刀。

要实现高效加工，就要尽可能加大切削用量，增多单位时间金属余量的切除率，缩短加工时间，提高经济收益。但这样加工直接就会导致切削力、切削热加大，刀具磨损加快，工艺系统颤变形。如果没有相应的准备和处理，会使刀具寿命缩短，加工质量变差，经济性反而下降。

另一方面，所加工主要零部件的设计者为保证这些零部件质量和使用寿命，又要求将这些被加工件达到一定的高硬度。因此，这些被加工件的材料坯件常采用预硬钢（HRC50左右），在制造工艺过程中安排淬硬热处理，使硬度提高甚至达到HRC60或更高，硬度的提高又限制了切削用量和效率的提高。

为保证高效解决这些问题，许多刀具公司作了多方面的努力。本文介绍一下三菱公司在这方面的研发成果，相关的改进和具体措施。

就刀具产品本身的竞争力而言，最主要的，一是要有结构设计的优势，二是要有材料性能的优势，即主要指切削部分的基体和涂层材质的优势。

涂层很薄，一般不超过刀片厚度的0.2%，甚至只有几纳米。但这薄薄的一层作用巨大，改善革新潜力很大。目前，切削加工时刀具有没有涂层，具有怎样的涂层，在切削效果上可显示巨大的差异，各自可承受的切削用量和耐

磨性和使用寿命可相差甚多，甚至数倍。如果具有良好的基础涂层，并由此衍生开发出能适应各种被加工材料、加工形态的系列涂层，将它涂到不同的刀片和整体刀具上应用在不同场合，就会全面提高立铣刀产品在整个工艺过程的效率和产品的质量，提高公司的竞争力和效益。三菱公司特别重视涂层开发，甚至把涂层的研发提到与公司的命运联系在一起，下面介绍他们最新开发用于立铣刀两种先进涂层和相应结构。

1. 高效加工中等硬度多种材料的涂层和相应结构的立铣刀

对于中高硬度钢材的铣削，固然可用坚硬的CBN立铣刀，但是在良好硬质合金基体材料上涂敷先进优质的涂层，能够更经济地实现高效的加工。

性能较好的复合氮化物涂层得到应用，三菱在这方面以MIRACLE专利技术开发的(Al, Ti)N涂层和(Al, Ti, Si)N涂层综合性能好，通用性高，由此基础开辟了途径，为适应不同需要，在此技术基础上开发了型号为MS的(Al, Cr)N新涂层。这种涂层的特点是抑制了与被加工材料切屑的粘结，降低切削阻力，很适合于立铣刀。

最近他们又开发了更先进的MS+ (PLUS) 涂层，独创性地将(Al, Ti)N涂层和(Al, Cr)N涂层结合在一起，实现多层化发挥两种涂层优点，达到更高性能的(Al, Ti, Cr)N多层涂层，图1是与原两种涂层性能的比较。MS plus涂层的硬度可达HV3200，显示耐热性能的氧化开始温度达1100℃，涂层和基体的结合力达100N，均远高于其他两种涂层，MS+涂层可加工硬度为HRC52的工件。

MS+ (Al,Ti,Cr)N类多层涂层(MS plus)

采用本公司独创的涂层技术,(Al,Ti)N与(Al,Cr)N实现多层化。该涂层可适用于多种工件材料。

(Al,Ti,Cr)N类多层涂层(MS plus)的特点

	(Al,Ti,Cr)N类多层涂层	(Al,Ti)N	(Al,Cr)N
硬度(HV)	3200	2800	3100
氧化开始温度(°C)	1100	800	1100
结合力(N)	100	80	80

图1 几种涂层性能比较

如图2所示,涂敷MS+涂层的立铣刀有直角平头、直角带圆弧头、球头,长刃、短刃、长颈等。几种直角平头的如图2中的左2、左3,刀具具有不同的螺旋槽角,故有良好的抗振能力,能适合碳钢,不锈钢等多种材料零部件和模具的高质高效多用途加工,整个立铣刀性能得以提升。其中图2左2的刃长有3D和4D两种(D为立铣刀直径),可直接加工此范围内长度的侧壁和立面。图2左3和左1刃长均为2.5D,它们的头型分别为直角平头和圆弧头,都具有不等螺旋角,抗振效果好,可加工2.5D长的侧壁,也可分段加工更长的侧壁,因其悬伸短刚性较好。

MS plus 是性价比的代表



图2 几种MS plus涂层立铣刀

各种用于侧壁的高效加工立铣刀,柄部较刃部直径小,可不影响刃部的加工。图2右4是直角带圆弧头的立铣刀,圆弧头的半径精度达 $R \pm 0.005\text{mm}$,用于型面的高精度高效率加工。其中 $\phi 1\text{mm}$ 以上立铣刀带有抑制高频震颤的结构, $\phi 0.4 \sim \phi 6\text{mm}$ 立铣刀具有4刃。

图2右4的长颈直角带圆弧头 $\phi 2\text{mm}$ 立铣刀加工深长侧壁和底面的实例如图3所示,显示出立面和底面加工的表面质量。

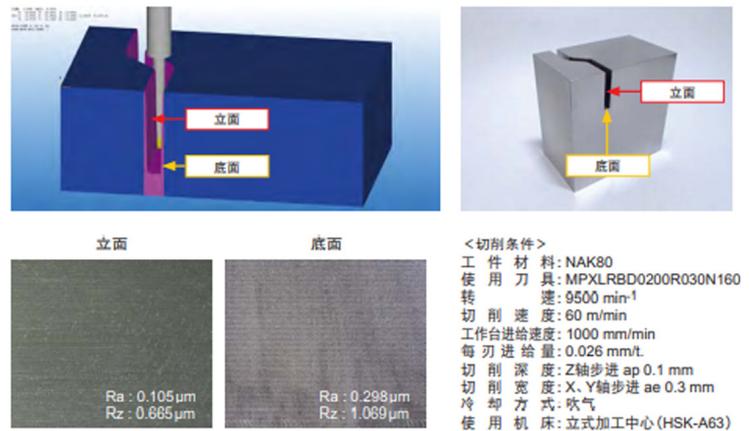


图3 长颈直角圆弧头立铣刀加工实例

图2中的多种MS+涂层的球头立铣刀更多地运用在模具和零件复杂曲面和型面的加工,由于运动和受力复杂,采用强韧的超微粒硬质合金基体,非常适合于锻模的粗加工、半精加工。其中的长锥颈球头立铣刀结构特点如图4所示,细长的结构适合锻模(HRC40~52)的深挖粗和半精加工,前端采用大螺旋角的刃槽,可减少切削力,提高刀具寿命。具有三刃易于分断切屑,颈部呈锥形,提高了整体刚性。

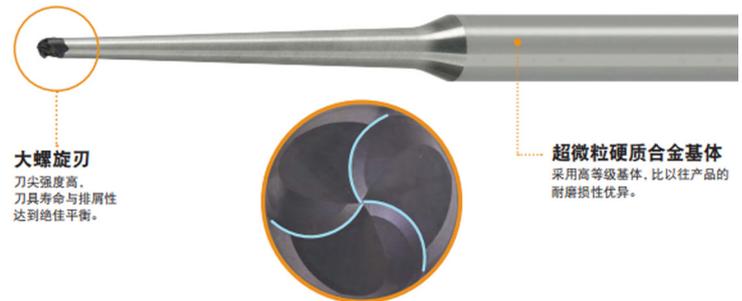


图4 长颈球头立铣刀

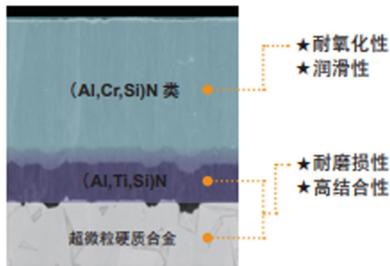
为了满足高精加工的要求,改善刃形结构的高精度球头立铣刀,球头半径精度达 $R \pm 0.005\text{mm}$ 。

2. 高效加工硬度高达HRC70的涂层和相应结构的立铣刀

MS plus涂层加工硬度最高可达HRC52,三菱原有以IMPACT MIRACLE技术开发的单相纳米(Al, Ti, Si)N涂层,型号为VF,能加工硬材的立铣刀。为使立铣刀能更高效加工高硬度模具和机械零部件,他们又在MS plus和VF这两种涂层的基础上,开发了IMPACT MIRACLE革新涂层(代号VFR),结构组成和优点如图5所示,性能更好,能加工最高硬度范围达到HRC70。

VFR IMPACT MIRACLE革新涂层

新开发的耐氧化性与润滑性优异的(AI,Cr,Si)N类涂层与耐磨损性、结合性优异的(AI,Ti,Si)N涂层相结合,高硬度钢加工中发挥优异的耐磨损性。



不同工件材料硬度的使用区分



图5 VFR涂层组成及与MS+涂层加工硬度范围比较

图6是VFR涂层用作一般加工的2刃短柄(SB)和超短柄(SSB)球头立铣刀和用作精加工的2刃短柄球头光整加工(F)立铣刀,在高硬材料的加工中取得了良好的加工质量和长寿命。

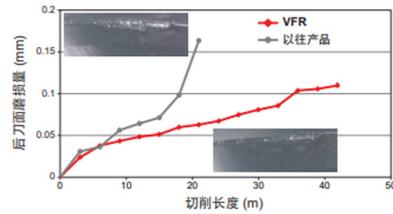
高硬度钢加工中, 实现惊人的长寿命



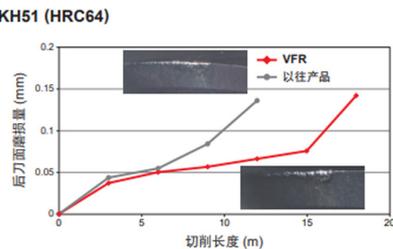
图6 VFR涂层两种立铣刀

加工实例如图7所示,此涂层短柄球头半径3mm的立铣刀在立式加工中心上以刀具悬伸22mm,吹压缩空气加工HRC62的ASP23粉末高速工具钢,转速 $n=5400r/min$,每分钟进给速度 $F=540mm$,切削轴向深度 $a_p=2mm$,径向深度 $a_e=0.2mm$,在加工长度达40m后,刀具才开始磨损,比同类刀具寿命长三倍多。以同样切削条件加工HRC64的SKH51制模具钢,也比其他同类刀具寿命长一倍多。

ASP23 (HRC62)



SKH51 (HRC64)



<切削条件>
 工件材料: ASP23 (HRC62)
 使用刀具: VFR25BR0300
 转速: 5400 min^{-1}
 进给速度: 540 mm/min
 每刃进给量: 0.05 mm/t
 切削深度、切削宽度: a_p 2 mm a_e 0.2 mm
 悬伸量: 22 mm
 冷却方式: 吹气
 使用机床: 立式加工中心 (HSK-A63)

图7 VFR涂层立铣刀加工硬材实例

图8所示为在五轴机床上使用VER25BF光整加工用立铣刀以多种角度加工复杂型面,加工表面非常光洁,实测表面粗糙度可达 $Rz0.8\mu m$ 以下。切削条件:立铣刀球头半径3mm,刀具转速 $n=20000 r/min$,每分钟进给量 $F=600mm$,沿表面加工切深为0.015mm,以MQL最小油量方式润滑,切后看不见刀痕残留量,加工效率也大为提高。

VFR25BF
工件材料: 预硬钢

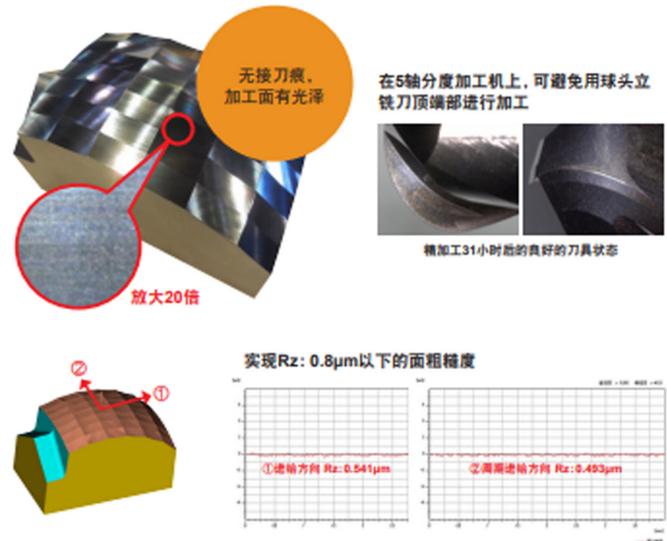


图8 光整加工模具型面实例

同样的刀具在立式加工中心上加工STAVAX模具不锈钢的曲面型腔, $n=32000r/min$, $V=603m/min$, $F=1289mm/min$, $a_p=a_e=0.02mm$,刀具悬伸量15mm,吹压缩空气冷却的切削条件,加工结果表面质量光洁,放大50倍看不见刀痕。这类不锈钢约相当我国1Cr13、1Cr17,一般较难切削,加工后表面粗糙度差,如能取得这样的人工结果实属不易。□

分体式轴箱体螺纹孔加工工艺研究与优化

中车青岛四方机车车辆股份有限公司 管益辉 张一然 刘万 王涛 王宝林

【摘要】某车型动车组分体式轴箱体螺纹孔加工过程中极易出现乱扣、表面粗糙度高等工艺问题，制约了分体式轴箱体生产质量与效率的提升。本文针对上述问题，进行了分体式轴箱体螺纹孔加工工艺现状与需求分析，分别从材料毛坯、加工设备与刀具使用三个方面提出了工艺优化方法，形成了分体式轴箱体螺纹孔加工新工艺规程。通过新工艺的应用与普及，实现了分体式轴箱体螺纹孔的高质、高效加工，取得了显著的经济与社会效益。

转向架是轨道交通车辆组成中承载整车质量、影响车辆运行安全性与稳定性的关键件。作为转向架核心部件的轴箱体是联系构架与轮对的关节，轴箱体在将轮对沿钢轨滚动转化为车体平动的同时，传递着各向复杂的动静载荷。

在检修过程中，采用传统轴箱体（整体式）的车辆需执行抬车工序更换轮对，该过程造成了检修工作量大、检修周期长等问题。某车型动车组率先采用了分体式轴箱体（见图1），该创新结构可以省略抬车工序，直接进行轮对更换，能够大幅减少检修工作量、缩短检修周期。

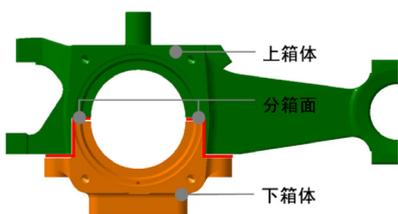


图1 分体式轴箱体结构

分体式轴箱体的螺纹孔具有材料硬度高、螺纹有效深度大等特点，在螺纹孔加工过程（见图2）中极易出现乱扣、表面粗糙度高等问题，严重

制约了分体式轴箱体的生产质量与效率提升。为此，本文针对上述问题，开展了分体式轴箱体螺纹孔加工工艺优化研究，达到了降低螺纹孔加工不合格率的目的。



图2 分体式轴箱体螺纹孔加工

1. 分体式轴箱体螺纹孔加工工艺现状

（1）分体式轴箱体材质及螺纹孔加工方法

目前，各类轴箱体的材质见表1。其中，分体式轴箱体所采用的新材质是G20Mn5+QT，该材料的热处理方式为：先淬火，后回火。经过热处理，工件硬度可提高20%。

表1 各类轴箱体材质对比

轴箱体类型	材质
整体式轴箱体	ZG25MnNi
分体式轴箱体	G20Mn5+QT

数控加工设备通常采用G84（攻丝循环指令）直接完成分体式轴箱体

各规格螺纹孔的加工，在加工过程中，经常出现螺纹孔加工异常现象。

（2）分体式轴箱体螺纹孔加工异常处理方法

当分体式轴箱体螺纹孔加工出现异常后，为了避免工件报废，需要由人工根据生产经验分情况进行处理，具体处理方法如下：

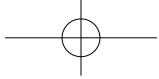
①当螺纹孔在前工序中重要尺寸未加工时出现异常，工件需要返回毛坯铸造厂家，采用扩孔、焊补与热处理后等修复措施后，重新返回班组进行二次加工；

②当螺纹孔在重要工序完成后出现异常，尤其是在轴承孔精镗后出现异常，工件直接进行报废处理。

综上所述，为了避免精镗孔后出现产品报废，需要在数控加工程序中增设暂停指令，提前对螺纹底孔进行观察判断，该过程影响了产品生产效率。

（3）分体式轴箱体螺纹孔加工异常不利影响

分体式轴箱体螺纹孔的加工异常现象，已经成为制约公司生产能力与水平提升的瓶颈，具体表现为：



- ①因工件无法修复导致报废，将造成较大的经济损失，影响公司效益；
- ②大量的返修工序，将造成人力与物力的极大浪费，直接影响生产效率；
- ③不合格的螺纹孔将影响转向架的装配质量，存在安全隐患。

2.分体式轴箱体螺纹孔加工异常原因

(1) 毛坯硬度不同

根据制造工艺要求，工件毛坯在铸造完成后，将由铸造厂家进行毛坯粗加工，在该过程中便于及时发现毛坯铸造缺陷，并对缺陷采用焊修等方法进行处理。

为了满足公司的产能需求，毛坯的供货厂家共有4家，由于各厂家所采用的铸造及焊修工艺不同，毛坯的硬度也不同。选取毛坯样本进行待加工面里氏硬度测试（见图3），测试结果表明各厂家毛坯硬度不同，具体数据见表2。

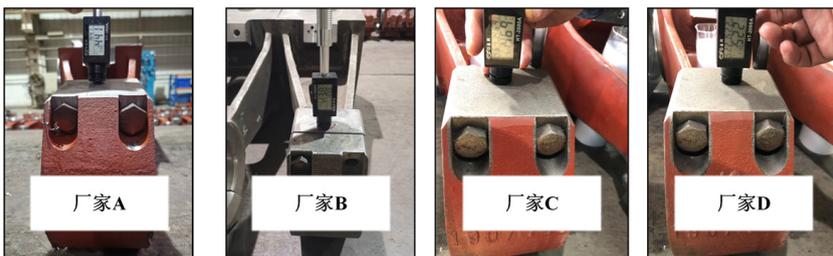


图3 毛坯待加工表面里氏硬度测试

表2 各厂家轴箱体毛坯待加工表面里氏硬度值

厂家	A	B	C	D
硬度/HL	441	438	469	522

(2) 加工设备精度不理想

根据典型数控加工过程的工艺特性，数控加工设备的精度主要分为两类：

- ①影响机床各主运动的床身、立柱、溜板、主轴箱等大部件运动过程的直线度、平行度与垂直度等；
- ②影响切削运动的主轴自身回转精度及直线运动（切削进刀）精度等。

在此基础上，分别对分体式轴箱体上、下箱体单体的加工设备及工序精度进行检测，结果表明个别数控加工设备主轴存在反向间隙，属于上述第二类设备精度影响因素。使用该类设备进行螺纹孔加工，易出现螺纹孔断牙问题。

(3) 刀具性能不佳

常用钻头的材质一般可分为高速钢（HSS）和硬质合金（CARBIDE）。硬质合金钻头具有硬度高、耐磨、耐热、耐腐蚀等优良性能，但由于其本体硬而脆，使用不当容易发生断裂。数控加工设备主轴精度高、功率大，通常使用硬质合金钻头来提高加工效率。

螺旋槽丝锥具有加工效率高、精度高、排屑效果好、对中性好等特点，该类丝锥前部具有容屑槽结构，通常用于通孔内螺纹的加工。

综上所述，分体式轴箱体螺纹孔加工采用硬质合金钻头与螺旋槽丝锥相结合的方式。通过开展螺纹孔加工实验，发现了加工过程存在刀具易磨损、排屑困难等现象。

3.分体式轴箱体螺纹孔加工异常解决办法

(1) 提高毛坯质量

根据分体式轴箱体的制造工艺要求，箱体毛坯的里氏硬度一般为

(425~489) HL。如果毛坯的硬度高，在加工过程中易产生较大的应力变形，进而导致精加工后工件尺寸不易控制。经过反复试验验证，发现当毛坯热处理后的里氏硬度为(435~470) HL时，能够获得较好的加工效果。

(2) 提高加工设备精度

由于加工设备存在反向间隙，导致加工过程设备关键部件的进退位置不同，该现象易导致螺纹乱扣。开展加工过程设备精度驱动的参数自适应补偿机制研究，实现加工设备反向间隙精确调控，进而提高设备精度，能够有效解决加工过程螺纹乱扣问题。

(3) 优化刀具使用

①M20螺纹孔底孔加工用钻头。

A型快换钻头（见图4）：使用该型刀具进行底孔加工，刀具易磨损，钻头结构强度降低，导致螺纹底孔垂直度超差。攻丝后，螺纹孔一侧牙型粗，另一侧牙型细。该型钻头验证失败。



图4 A型快换钻头

B型硬质合金整体钻头（见图5）：该型钻头刃带具有浅槽结构，该结构能够达到方便冷却润滑剂流动、防止加工过程钻头缠屑等目的，进一步提高钻孔质量。



图5 B型硬质合金整体钻头

通过加工验证，结果表明与传统钻头相比，使用该型刀具的加工效率提升了35%，刀具寿命提高了50%；此外，根据刀具浅槽结构可以统计出刀具的修磨次数，表征出刀具应用状态。该类钻头确保了底孔垂直度，提升了刀具排屑能力，实现了底孔的高

质、高效加工。该型钻头验证成功。

②M20螺纹孔攻丝用丝锥。

某种直角丝锥：该型丝锥具有TiN涂层，冷却方式为轴向内冷，所形成的短切屑能够有效避免缠屑，但所加工出的螺纹表面粗糙度高，故该型丝锥验证失败。

某种螺旋丝锥（见图6）：该型丝锥具有ACN涂层，刀具刚性良好、后角较大，能够有效降低螺纹表面粗糙度，提高攻丝质量。但该型丝锥由于大后角易产生崩刃现象，故该型丝锥验证失败。



图6 螺旋丝锥

某种镀层螺旋丝锥（见图7）：该型丝锥材质为粉末冶金高速钢，具有TiNIN涂层，丝锥的刃部锋利、耐磨性好、寿命长，所加工出的螺纹表面粗糙度低，认定该型丝锥验证成功。



图7 镀层螺旋丝锥

M16螺纹孔底孔加工用钻头：该钻头所需性能同M20螺纹孔底孔加工用钻头，因此，选用同M20螺纹孔底孔加工用同类型钻头。

M16螺纹孔攻丝用丝锥：M16螺纹孔加工过程螺纹挤牙、乱扣现象频发，所选择的丝锥需解决以上问题。

螺纹孔加工缺陷成因主要有以下因素。

螺纹孔设计深度影响：根据内螺纹加工原则，当螺纹孔深度大于2倍螺纹大径时，因排屑不畅易造成螺纹挤牙、乱扣等缺陷。分体式轴箱体M16螺纹孔有效深度为43mm，同时还需加工导向螺纹，即螺纹孔深度为螺纹大径的3倍，攻丝过程难度大，易产生螺纹加工缺陷。

螺纹孔设计位置影响：攻丝时，切屑沿丝锥排屑槽排出，因螺纹孔位于轴箱体筋板中间位置（见图8），切屑碰撞筋板易缠绕丝锥，影响后续切屑排出，造成螺纹加工缺陷。



图8 螺纹孔位置

M16螺纹孔攻丝用丝锥验证：针对上述螺纹孔加工缺陷成因分析，先后验证了4种类型的M16丝锥，最终刃带设计浅槽结构的丝锥（见图9）验证成功，该丝锥攻丝过程所形成的切屑呈片状（见图10），有效解决了螺纹加工缺陷。



图9 刃带设计浅槽结构丝锥



图10 理想攻丝过程切屑形貌

4. 分体式轴箱体螺纹孔加工新工艺应用效果

（1）工艺优化后的产品质量

据统计，在2020年4月至2020年9月的生产周期内，共生产了4800件分体式轴箱体。其中，螺纹孔一次加

工不合格产品为9件，一次加工不合格率仅为0.19%，具体统计数据如图11所示。

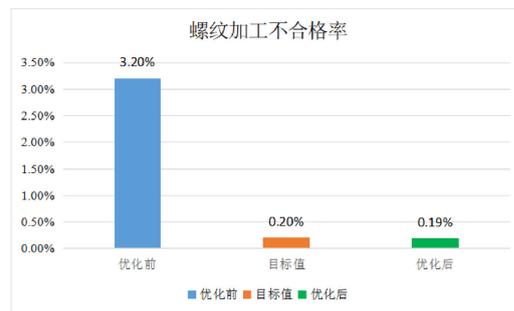


图11 螺纹加工不合格率前后对比

（2）工艺优化后的经济效益

分体式轴箱体螺纹孔加工新工艺得到应用，生产效率与产能得到了显著提升，攻克了分体式轴箱体生产技术瓶颈。据测算，新工艺的实施具有如下经济效益：

①生产成本：按照2020年产量，每月报废件将减少18件，除去毛坯因素，降低成本约8万元/月；

②减少刀具损耗：选用工艺优化后的钻头、丝锥，刀具耐用度提高，可节约辅助工时32小时/月。

（3）工艺优化后的社会效益

通过此次工艺优化，在攻克了分体式轴箱体螺纹孔加工难题的同时，有效解决了生产过程新结构、新技术数据积累与经验认知不足的问题。这次工艺优化与应用是生产过程“创新提质”的经典案例，具有十分重要的指导意义。

5. 结语

本文根据分体式轴箱体螺纹孔加工工艺现状与需求分析，分别提出了提高毛坯质量、提高加工设备精度与优化钻头、丝锥使用的三点工艺优化措施。通过新工艺的应用实现了分体式轴箱体螺纹孔的高质、高效加工，显著提升了产品质量，降低了生产成本，同时为分体式轴箱体其他部位螺纹孔加工过程的工艺优化提供了借鉴。□

复合加工在汽车缸体生产线上的应用

上海华普发动机有限公司 金延安

高速、高效、高精度的复合加工技术及设备已进入现代汽车制造领域。复合加工体现了工件在一次定位夹紧中完成多个加工工序，从而达到减少机床、刀具、夹具等，免去工序间工件的搬运和储存，提高工件的加工精度，缩短和平衡工序节拍，节约生产面积。现今复合加工工艺的实现，可通过以下两种途径。

1. 组合机床上是通过采用多主轴来实现复合加工

我公司MR479缸体生产线上采用的组合机床具有复合加工工艺的典型特征。

(1) 缸体铣顶面、镗缸孔的复合加工。

缸体顶面、缸孔处于缸体曲轴中心平面以上，是发动机的核心部位。缸体顶面与缸盖底面、活塞顶面构成了发动机的燃烧室，其密封性直接影响发动机的功率。

为此，图样规定缸体顶面的平面度0.020mm，表面粗糙度Ra1.6 μ m，与缸套孔中心对缸体顶面的垂直度为0.020mm要求。由于缸套孔是活塞上下往复运动的导向，也要求缸套孔的园度 ϕ 0.015mm，园柱度 ϕ 0.010mm。

为了保证顶面与缸套孔的垂直度，顶面与缸套孔的加工在编制工艺时，通常将两道工序安排在一道工序内完成。一次定位夹紧缸体中完成顶面与缸套孔的加工，这样加工位置误差最小。采用的是立式双工位镗铣组合机床结构形式，应用在半精加工和精加工两个工序，如图1所示。

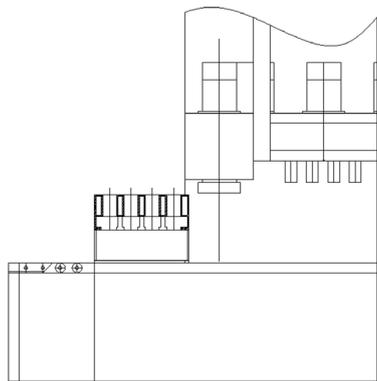


图1 双工位镗铣组合机床工序完成后缸体的位置

①半精加工缸套孔和顶面工序。

加工开始，机床立式液压滑台快进至缸体顶面距离5mm时，主轴箱启动，慢速工进，在液压滑台上主轴箱的四根主轴镗杆上的镗刀同时进行1、2、3、4缸套孔的半精镗工步，缸套孔留0.5mm精加工余量，完成后，立式液压滑台快退至原始位置时，机床的行程控制器接通，铣削动力头主轴端的盘形密齿铣刀立即起动，水平液压滑台和缸体同步快进。在距铣刀外侧5mm距离时，水平液压滑台转慢速工进，进行缸体顶平面半精铣加工，完成后，人工将缸体拉回至水平滚道转入下道工序，机床的水平液压滑台快退至镗孔原始位置，完成机床的一次加工循环。

②精铣缸体顶面，精镗缸孔工序。

机床位置安排在缸体生产线的珩磨机床的工位前，因为后面工序不用缸体顶面作为运送基面，本工序可去除因前面多道工序使缸体（顶面作为运送基面）在工序转换运送过程中造成顶面的划痕，从而保证顶面的平面度。

精加工缸体顶面、缸孔的组合机床结构与半精加工组合机床相同，加工过程也和半精加工工序也相同，此处不再多叙。

(2) 粗、精铣缸体前、后面的复合加工。

本工序采用双面两工位卧式复合加工组合机床（见图2），机床布局为前置粗铣缸体专用铣削头，后置精铣缸体专用铣削头，左侧两个铣削头和右侧两个铣削头与机床中心线对称，中心设置进给液压滑台，上置铣夹具，缸体进给方向与左右铣削头中心垂直。

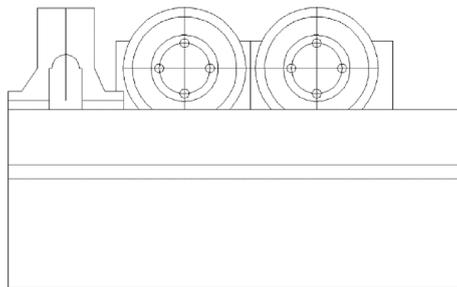


图2 双工位粗、精铣组合机床工序完成后缸体的位置

由于缸体前后面加工，铣削面积大，为保证合理的铣削速度，采用了圆盘机夹密齿铣刀，它的工作投影直径大于缸体高度，保证缸体前面和后面一次铣削完成。

操作人员由侧面水平滚道将缸体推入夹具并定位夹紧，机床自动循环，水平液压滑台快进距粗铣刀外齿5mm处，转工进，缸体完成粗铣，当缸体离开粗铣刀外齿5mm处时才开始精铣。

精铣完成后，两侧两缸体专用铣削头后退（寸退），水平液压台快退至开始位置，卸下缸体，完成机床一个工作循环。缸体进入侧面水平滚道转入下道工序。

(3) 双工位组合机床上半精镗缸体曲轴承孔，精车曲轴止推面，精镗主轴承孔，精铰后油封座定位孔 $2-\phi 6H7$ 、变速箱定位孔 $2-\phi 10H7$ 。

①第一工位为半精镗缸体曲轴承孔，精车曲轴止推面 $21\pm 0.05\text{mm}$ 。缸体在夹具中定位，缸体抬起（因为镗杆直径加刀尖高度的之和大于曲轴轴承孔合盖后的直径），靠镗杆中心偏离主轴承孔中心，使镗杆顺利通过缸体，每个镗刀停在主轴承孔前5mm位置后，缸体落下并夹紧，工进开始。半精镗主轴承孔完成后，由油缸推动镗杆内的斜齿条前进，在斜齿条作用下，推动两把车刀进行径向走刀，完成曲轴止推两面的粗车，先精车前止推面（镗杆后拉），再精车后止推面（镗杆向前），保证了曲轴止推面宽度 $21\pm 0.05\text{mm}$ （见图3）。



图3 粗镗主轴承孔镗杆（中间为粗精加工曲轴止推面两把刀）

完成后，油缸拉动镗杆内的斜齿条，使两侧精车刀回到镗杆内，缸体抬起，半精镗曲轴承孔镗杆快速退回到开始位置。缸体转入第二工位，即精镗工位。

②第二工位：精镗主轴承孔、精铰后油封座定位孔 $2-\phi 6H7$ 、变速箱定位孔 $2-\phi 10H7$ 的复合加工（见图4）。

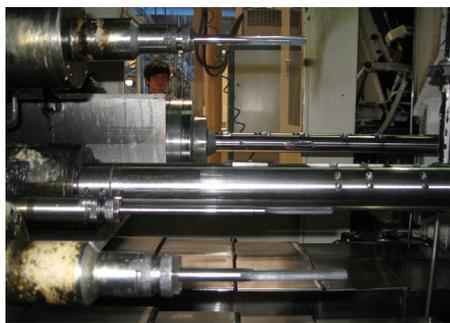


图4 铰后油封定位孔、变速箱定位孔、精镗主轴承孔刀具位置

主轴箱为五个主轴，按各要素在缸体的位置呈轴向长度不等的排列，精镗主轴承孔分镗杆向前工进，完成半精镗曲轴承孔，同时完成精铰后油封座定位孔 $2-\phi 6H7$ 、变速箱定位孔 $2-\phi 10H7$ 。主轴箱上镗杆后退（拉镗）过程中，完成精镗曲轴承孔至图样尺寸。

2. 复合刀具来实现复合加工

在加工中心机床上，由于加工中心机床是单主轴，可通过采用复合刀具来实现复合加工。

缸盖生产线上加工中心机床工位，大都采用复合刀具，例如精镗导管安装孔和精镗气门座圈安装孔采用复合刀具，可较好保证同轴度要求（见图5）。

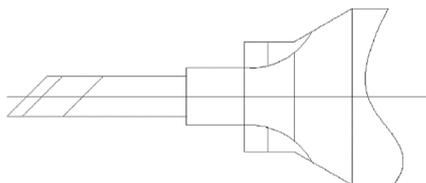


图5 精镗导管孔、座圈安装孔复合刀

3. 结语

组合机床具有多轴多工位的特性，所以往往将缸体上的关联要素安排在一台双工位组合机床上加工。例如，缸孔套和缸体顶平面（垂直度要求）；粗、精铣缸体前、后面（平行度要求）；半精镗主轴承孔、精车曲轴止推面（垂直度要求）；精镗主轴承孔，精铰后油封座定位孔 $2-\phi 6H7$ 、变速箱定位孔 $2-\phi 10H7$ （位置度要求）。

从缸体生产线建成，经过大批量生产的考验，证明复合加工工艺如果安排合理，就能保证缸体加工质量稳定、高效率。

与采用加工中心相比，工序节拍大大缩短，在我公司发动机年产量由50000台提升至100000台时，加工中心数量增加1倍，而组合机床工序节拍仍然能满足产量提升的要求。

组合机床刀具结构简单，刀具价格便宜，更换刀具调整十分方便，也便于车间刀具站刃磨，刃磨周期缩短，有利于生产，而刀具占整个工艺成本相对加工中心要低。□

航空维修滚动轴承安装工艺

空军93199部队飞机修理厂 朱金华

【摘要】滚动轴承在航空装备中主要起着动力支撑、传输部件的作用，处于交变载荷、变速转动等工作环境。在维修过程中滚动轴承受安装的稳定性影响很大，为防止因安装不当出现故障隐患，通过研究、探索行之有效的轴承安装规程，确定标准施工方法，有效提高轴承使用精度、性能和寿命，为保证航空装备的质量安全提供有力技术支持。

在航空领域，滚动轴承广泛使用在发动机、电机、泵体和操纵等系统中，由于精度要求高，使用环境复杂，运转条件苛刻，其质量状况直接影响着飞机各系统的可靠性。航空装备维护过程中，轴承通常是可更换的易损基础件。

1. 轴承安装前的准备工作

(1) 装配工具

按照所装配的轴承准备好所需的量具、工具，同时备好拆卸工具，在装配出现偏差时能及时拆卸，重新装配。

(2) 清洗

对于用防锈油封存的新轴承，可直接用洗油清洗；对于用防锈脂封存的新轴承，应先使专用工具（塑料、竹子做成的工具）将轴承中的油脂挖出，切记不要伤到滚动体、保持架、滚道等，然后将轴承放入热机油中使残脂融化，将轴承从油中取出冷却后，再用洗油洗净，并用干净的白布擦干。另外，还应清洗与轴承配合的轴、轴承座、端盖、衬套和密封圈等零件。

(3) 加润滑脂

对清洗干净的轴承添加符合指定标准的润滑脂。涂油过程中应同时使轴承缓慢转动，使油脂进入滚动体和滚道之间。

油脂填充量要与轴承的使用条件、转速、尺寸相匹配。填充时所有工作面都应被油脂覆盖。润滑脂的填充量标准以沟道有效空间的 $1/3 \sim 1/2$ 为好。填充量过多，容易在运行中被甩出轴承外，还将产生空气搅拌声，并且引起发热。

(4) 检查

原件检查：检查轴承有无卡滞现象，是否转动灵活，轴承内外圈、滚动体和保持架是否有锈蚀、毛刺、裂纹和碰伤。

配合体检查：与轴承相配合的表面是否有凹陷、毛刺和锈蚀等。

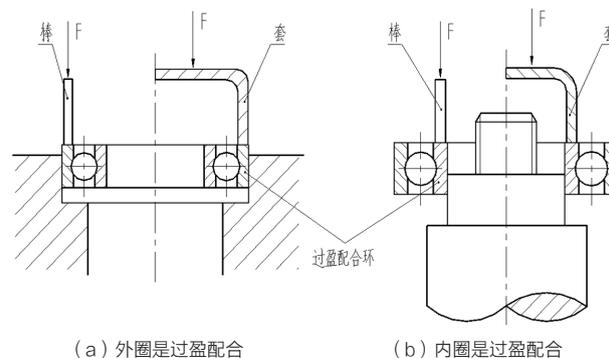
配合性质检查：要仔细检查轴颈、轴承、轴承座之间的配合公差，相互配合表面的粗糙度。

2. 轴承安装的方法选择

依据轴承结构、尺寸、轴承部件的配合性质及施工条件等因素选择安装方法。

(1) 敲击法

敲击法主要用于轴承套圈和与之装配的轴是过渡或间隙配合、过盈量小的小型航空轴承的装配。在有过盈量内外圈端面垫上垫片或棒，如图1所示，用木锤或质地较软（铝、铜）的工具将轴承敲入。



(a) 外圈是过盈配合 (b) 内圈是过盈配合

图1 过盈配合的装配工装

敲击法装配时需注意四点：①敲击力应适度，力量过大易造成受力处变形等意外损伤；②力的作用点应是其与之装配的轴承内外圈上，且要求均匀对称受力或整圈均匀受力，保持架和滚动体等部件不得承受附加力的作用；③直接作用于轴承套圈的敲击工具硬度应低于套圈硬度，以防轴承套圈变形而影响轴承精度、性能、使用寿命；④严防敲击过程中砂粒、金属粉尘等异物掉入轴承体内。

(2) 压入法

压入法主要适用于轴承套圈与配合体之间有一定过盈量、不宜或无法用其他方法装配的较大尺寸轴承。用压入法安装时，安装压力应用专门的套筒直接加在过盈配合环上，不得通过滚动体或保持架传递压力或打击力。

轴承外圈、内圈分别为过盈、间隙配合。轴承外圈与轴承座内孔是过盈配合，内圈与轴为间隙配合时，可将轴承先压入轴承座孔内，这时装配套管的外径应略小于轴承座内孔的直径（如图1a所示）。

轴承外圈、内圈分别为间隙、过盈配合。轴承内圈与轴是过盈配合，外圈与轴承座内孔是间隙配合时，可用压力机将轴承先压装在轴上，然后将轴连同轴承一起装入轴承座孔内，压装时在轴承内圈端面上，垫一软金属材料做的装配套管，装配套管的内径应比轴颈直径略大，外径直径应比轴承内圈挡边略小，以免压在保持架上（如图1b所示）。

轴承外圈、内圈均为过盈配合。如果轴承套圈与轴及座孔都是过盈配合时，安装时内圈和外圈要同时压入轴和座孔，装配套管的结构应能同时压紧轴承内圈和外圈的端面（如图2所示）。

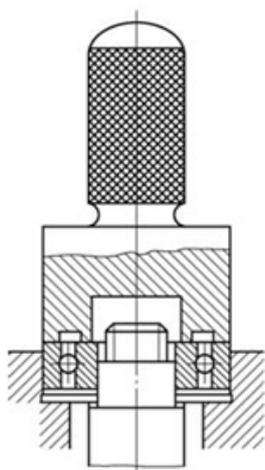


图2 内、外圈均为过盈配合的装配工装

在装配过程中，过盈量相对较小或内径小于70mm的轴承，可用简易手压床施工(如图3所示)；如过盈量较大或大型轴承用压力机进行施工(如图4所示)。

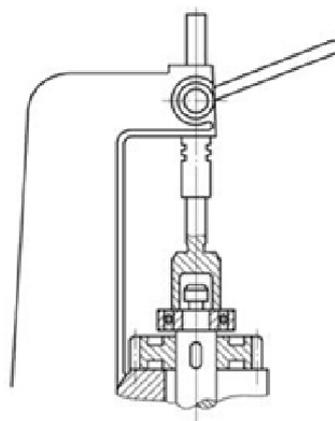


图3 手压床装配轴承

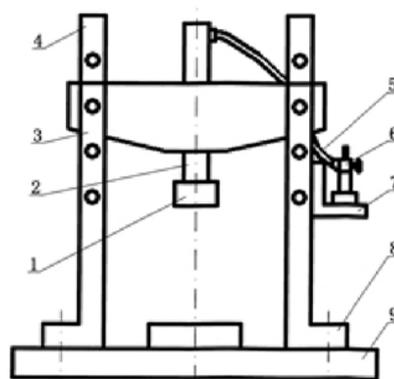


图4 压力机装置

1.压块 2.油缸 3.油缸架 4.支架 5.油管

6.手动油泵 7.油泵架 8.可换垫块 9.底座

压入法装配时需注意两点：①装配压力要通过专用装配套管施力于紧配合的轴承套圈上，切不能直接作用于轴承体上；②安装过程中需确保轴承端面与装配的部件轴线垂直，严禁压偏而造成相关部件损伤。

(3) 加热法

通过对轴承或轴承座加热，利用热膨胀原理将过盈配合转换为间隙配合的安装方法。此方法适于过盈量较大轴承的安装。常用的加热方法主要有4种。

电热板加热法：将轴承放置在温度为100℃的电热板上几分钟即可。此法简单易操作，但必须翻转若干次。注意一定要进行恒温控制，使轴承达到受热均匀，各种轴承都可使用此法。

电炉加热法：将轴承置于封闭的自动控温箱加热，此方法加热均匀，控温准确。主要适用于加热中小型轴承，但加热时间相对较长，适用于批次加热轴承装配的场合。

油槽加热法：油槽距底部50~70mm处设支架、金属网，轴承置于网上(如图5所示)，较大轴承要用钩子吊起(如图6所示)。轴承不要直接放于槽底，以防局部受热过高，槽底的污物进入轴承。此方法不适合加热前填充润滑脂的轴承。

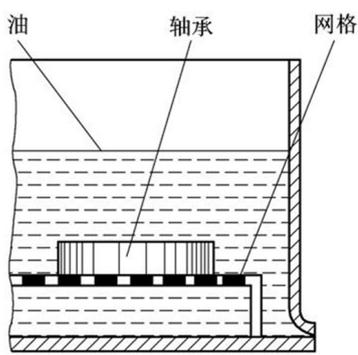
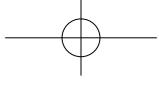


图5 支架加热轴承

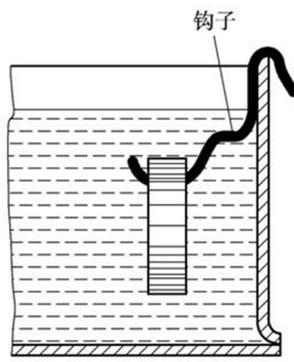


图6 吊钩加热轴承

感应加热法：如轴承内圈与轴为过盈时，利用感应棒能够快速、可靠而又洁净地将轴承加热至所需温度，由于被加热的只是内圈，而外圈受热很少，这样可以较易装于轴上，也容易装入端盖轴承室中。

加热法装配时需注意四点：①根据轴承结构、配合过盈量大小等因素确定加热温度；②加热温度的控制要根据轴承结构、尺寸等因素确定。一般控制在75~100℃，在能满足装配要求的前提下，加热温度越低越好，以75~90℃为最佳，加热温度不得超过120℃，以防发生回火效应，使套圈的硬度降低；③加热后，装配应快捷、标准，防止因装配不规范，造成不必要的损失；④严格加热温度的控制，防止轴承过热现象。使用油浴加热，必须插入温度计，随时监测油浴温度；使用感应加热器，应以设定的温度值作为控制要素。

(4) 冷却法

通过冷却轴承外圈或相配合的轴，利用冷缩原理将过盈配合转换为间隙配合。此方法适用于过盈量较大轴承的安装。

如轴承外圈与轴承座孔为过盈配合时，将轴承放在零下40~50℃的工业冰箱里，冰冷10~15min，使轴承尺寸缩小，然后装入座孔。

如轴承内圈与轴为过盈配合时，将轴放在冷却装置中，用干冰或液氮冷却到一定温度，迅速取出，然后插装在轴承内圈中。

冷却法装配时需注意两点：①冷却温度应不低于-80℃；②用干冰或液氮冷却时，不要把异物带入轴承体内部。

3. 轴承安装完工检查

(1) 一般检查

①转动体是否与静止体相摩擦；②轴向紧固装置的安装是否正确，推力轴承游隙公差是否符合标准，有无卡滞现象；③润滑脂是否顺利地进入轴承滚道内部，填充量是否符合标准；④密闭装置型号是否匹配、安装可靠。

(2) 精度检查

①轴承内圈与轴的相互位置，轴承内圈要贴紧轴肩。检查方法有漏光法和塞尺测量两种方法；②轴承外圈与轴承座挡肩的相互位置是否符合标准，主要用塞尺检查。

(3) 旋转试验

用手先旋转滚动体或轴，若无异常，便以动力进行低速、无负荷运转，然后视运转情况逐步提高旋转速度、负荷，并检测噪音、振动情况及温升状况，

发现异常，应停止运转并检查，运转试验正常后方可正常使用。

4. 轴承装配的注意事项

(1) 判断配合性质

正确分析判断轴承与座孔和轴颈的配合性质。首先分清轴承的紧环和松环(由轴承的内、外径大小进行判断，孔径相差0.1~0.5mm)。其次分清机构的静止件(即不发生运动的部件，主要是指装配体)。无论任何情况，轴承的松环始终应靠在静止件的端面上。

(2) 判断受力机件

装配轴承组件时，无论采用任何方法，压力只能施加在过盈配合的套圈上，不允许通过滚动体传递压力，否则会改变轴承的原有精度、性能，甚至造成滚道损伤，使轴承早期失效。

(3) 判明装配方向

轴承装配时，应将轴承上带有标记的一端朝外，以方便检修、更换。

(4) 进行表面涂漆

轴承装配过程中，为了便于装配，应在轴承及相配合的零件表面上涂一层薄薄机械油。

(5) 合理使用方法

针对轴承性能、使用状态，选择正确的装配方法。尤其是对于内部充满润滑脂的带密封圈或防尘盖的轴承，不易采用冷却法、加热法装配。

5. 结语

航空维修过程中，滚动轴承的正确装配，不仅能够提高轴承使用寿命，防止早期失效。更重要的是提高航空发动机、电机、泵体和操纵等系统的运行状况，延长其使用寿命。所以说积极研究、探索正确的轴承装配工艺、方法，才能更好的提高轴承的安装精度，确保轴承的使用性能、运行可靠性，从而为航空安全奠定坚实基础。□

基于西门子828D数控系统主从功能应用

沈阳机床（集团）有限责任公司 邵毅

【摘要】本文主要针对西门子828D系统，介绍了主从轴控制在数控机床上双电机驱动消除功能及原理，阐述了双电机驱动消除功能在数控机床上的应用特点，给出了主从轴控制在系统上调试方法以及技术参数。

目前，许多数控机床会遇到需要大扭矩、大负载的情况，为了满足控制性能达到要求，需要用多个电机共同驱动一个数控轴。对于这样的控制结构而言，有一种主从控制方式可以应用，尽管有多个电机共同驱动，但是对于数控系统控制而言，只作为一个控制轴来看待，其中只有一个轴为主动轴，其余的轴均为从动轴。另外大型或重型数控机床直线进给传动多采用齿轮齿条结构。

由于齿轮齿条的制造精度，齿条自身的节距误差以及安装误差，齿条与齿轮间会产生间隙，通过机械调整无法完全消除间隙，间隙的存在会影响到机床的稳定性和加工精度。传统的机械消除机构，机械制造成本高，调整困难。如图1所示，使用双电机或多电机驱动，主从间设置张紧力，可有效消除传动间隙，提高机械系统刚性，进而提高机床运动可靠性和稳定性。本文基于西门子828D系统对于主从轴控制方式进行介绍，给出调试方法以及技术指标。

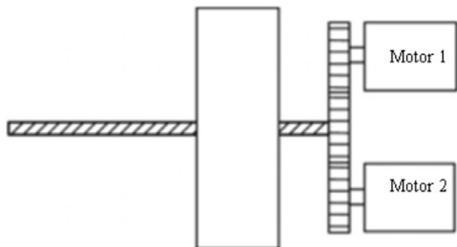


图1 主从轴机械机构

1. 技术特点

“主从轴控制”又可以称之为“转矩控制”，该功能

主要应用于用机械连接电机的数控机床：数控机床需要分配一定的驱动转矩；在数控机床中，被控系统零件间的反向间隙可以通过“张紧”伺服驱动部分来消除间隙。

在数控机床上，主从功能可以实现两个功能：一是大型或重型机床上使用双伺服电机，或多伺服电机同时驱动同一个机床轴；二是通过在主从电机间力矩补偿控制器对各个伺服电机的力矩进行分配，并可在主从间增加张力消除传动间隙。主从轴有一个特点是，只有主动轴才具有位置环，而其它的从动轴则没有，从动轴只有自己的电流环和速度环，从动轴的位置环在逻辑上由主动轴给予，所以主从轴配置不能像龙门轴那样可以检测出主动轴和从动轴之间的位置偏差，如果从动轴有必要访问位置环信号的话，可以访问主动轴的位置环信号。

机床配置成主从控制结果，则有以下需要注意的事项：①主从结构一般应用在机械结构刚性比较好的机床上；②因为主从结构一般是机械地耦合在一起只需要一个位置编码器，该位置编码器应该分配给主动轴。

2. 主从轴功能分析

(1) 控制原理

主从功能激活后，从动轴以速度控制方式按主动轴在负载端的设定速度移动，而不是机床轴通常的位控方式。控制系统对主动轴进行位置环的控制，实现坐标的精确定位。从动轴根据主动轴的速度指令实现速度环的控制，并根据负载分配情况完成输出扭矩的控制。

主从轴的电气控制结构如图2所示，表明了主从轴的控

制特点：NC控制器只对主动轴进行位置控制，从动轴无位置环。NC控制器的速度设定（ N_{sol} ）同时给定到主动轴和从动轴，主动轴和从动轴各有自己的速度和力矩控制器。通过参数设定，力矩补偿控制器可调节扰动扭矩，并控制主从轴间的张力；主从轴间无位置偏差补偿。力矩补偿控制器是一个PI调节器，附加张力经PT1滤波器和PI调节器计算输出到主动轴和从动轴的速度设定点，作为附加的速度分量，实现张力控制以消除反向间隙。通过参数设定，力矩补偿控制器可分配主动轴或从动轴的力矩，并可调节控制主从之间额外的张力（Tension torque）。

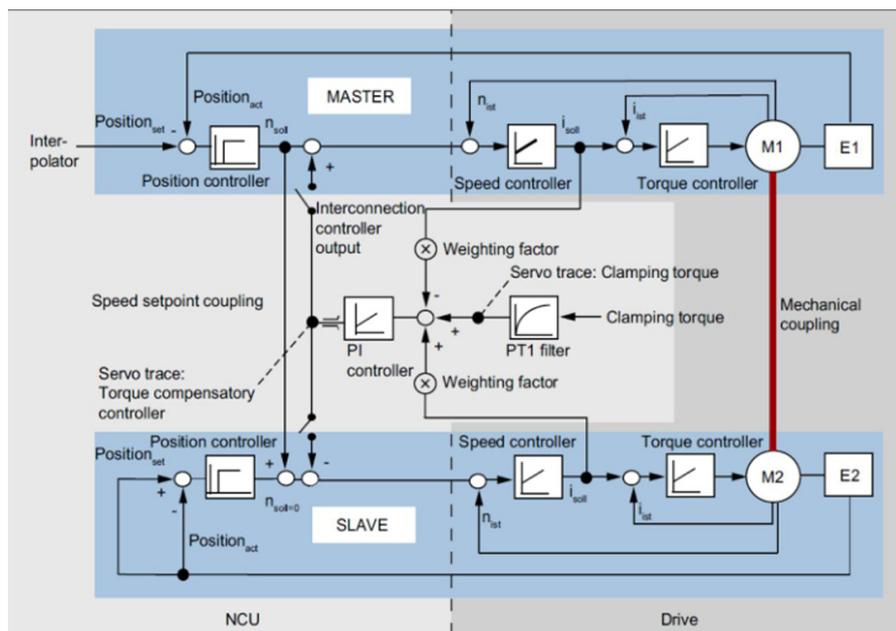


图2 主从轴控制结构

(2) 主从轴力矩分配

参数MD37268\$MA_MS_TORQUE_WEIGHT_SLAVE设置力矩百分比，即从动轴对总力矩的贡献。按负载需要施加端扭矩计算输出力矩，主动轴对总力矩的贡献为100%的MD37268，允许主动轴与从动轴有不同的力矩分配。通常选择主电机50%、从电机50%，只有在两边使用不同传动比的减速箱时，才使用不同系数。一般机床都采用的是相同的电机，且减速比相同，主从电机出力一致。当特殊情况采用减速比不一致时，主从电机出力不一致。减速比小的电机出力大，容易发热。参数MD N37264 \$MA_MS_TENSION_TORQUE 设置主从间张力，MD37264是参考力矩 驱动参数P2003Reference torque 的百分数。张紧力矩一方面消除间隙，另外一方面可提高机械刚性，进而提高位置环增益。

(3) 消隙过程说明

通过引入一个预张紧的扭矩，消除齿轮齿面间的间隙。通过伺服跟踪电流或力矩实际值调整力矩控制器参数和张紧力，电流或力矩不应有较大的波动，否则轴运行不平稳，会有震荡。张紧力不宜设置过大，否则电机发热。刚性好的主从结构，主从间增加张紧力后，主动轴和从动轴的输出力矩一正一反，且轴静止或移动时电流不应波动过大，如图3所示。灰色区域：粗加工或高线性速度（高加速度）主从电机的工作方向是相同的。黄色区域：精加工或者低加速度时主从齿轮的运动方向相反，作用是消除间隙，此时预紧力=张紧力。

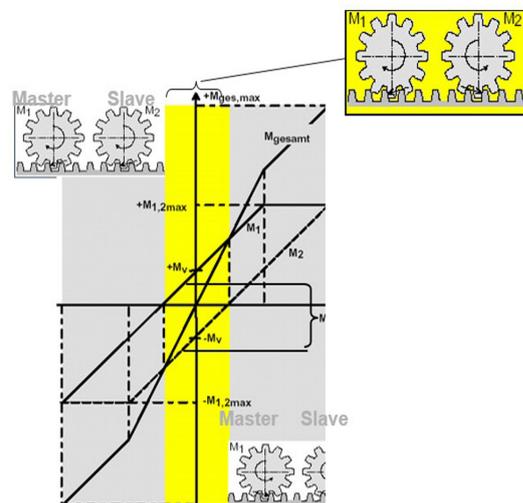


图3 消隙

主从轴在运动时齿条位置及齿条受力方向分为以下五种：

①若机床运动或静止时所需扭矩小于预载扭矩时，主从轴的两个电机输出不同方向的扭矩，形成了两个齿轮接触齿条不同方向的齿面，这时机床处于较好的消隙状态，主从共同驱动负载；

②若轴加速时，机床运动所需扭矩大于预载扭矩时，主从轴的两个电机输出相同方向的扭矩，这时两个齿轮接触齿条相同方向齿面。机床不处于的消隙状态，主从共同驱动负载；

③若轴加速时，如果要求的负载侧力矩小于张紧力矩，主电机和从电机间恢复张紧力矩，主从共同驱动负载；

④当预载扭矩等于机床运动所需扭矩时，机床处于消隙的临界状态，此时其中一个电机的输出扭矩为0。

⑤若预载扭矩值为零，自动消除间隙的功能将无效。变成两个电机输出相同的扭矩同时驱动机床运动。

实际机床中主从电机力矩曲线如图4所示，从图中可见第一个尖角为主电机从静止到正向运动启动时的扭矩输出情况，图中可见主从产生的力矩方向相同，之后匀速运行，匀速运动时主动轴电机产生力矩2.88Nm，从动轴电机产生力矩输出几乎为0。

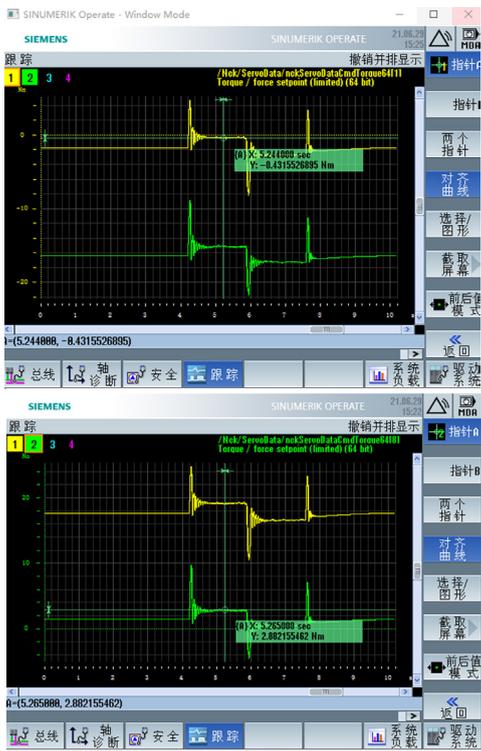


图4 实际机床主从间力矩监控

(4) 主从消除张力调整

张力调整前，除检查主从控制的配置参数外，如果主从机械结构相同，主动轴和从动轴的驱动和轴参数应一致；如速度环增益，积分时间，电流设定值滤波器等。需要注意的是所有的主从轴的参数设置都在从动轴的轴参数下进行设置。

优化力矩平衡PI调节器使其快速并稳定地使主从平衡，可以借助张紧力矩做伺服跟踪，调整力矩平衡PI调节器；另一项是张紧力矩，用于消除间隙，以提高机械刚性，从而进一步提高位置环增益，获得更高的加工精度。使用阶跃响应，借助力矩控制器参数的变化，使用SINUMERIK Commissioning的伺服跟踪，监控主动轴的光栅位置反馈，从动轴的编码器位置反馈和主从轴的力矩设定值。优化力矩控制器，如主从张紧力矩10%突变为20%，监控主动轴与从动轴电流或力矩的变化过程。或者从力矩10%突变为-10%，还可看到反向间隙等信息。

通过伺服跟踪电流或力矩实际值调整力矩控制器参数和张力，电流或力矩不应有较大的波动，否则轴运行不平稳，会有震荡调试应注意，张力参数37264 \$MA_MS_TENSION_TORQUE不应设置过大，一般小于20%，否则电机容易发热。刚性好的主从结构，通过跟踪电流或力矩实际值调整力矩控制器参数和张力，电流或力矩不应有较大的波动，否则轴运行不平稳，会有震荡。调试时，PI调节器必须开通，即 MD37256≠0；而 MD37258 设定一个

不为零的数有助于主从控制的稳定。

当MD37264=0时，使用百分表测量X轴反向间隙轴，主从轴存在反向间隙，此时利用示波器跟踪主从力矩，显示主从轴之间张力扭矩为零。逐渐增大参数37264内值，当百分表测得的反向间隙为0时。再次追踪主从轴的扭矩值如图5所示，静止时主动轴的扭矩为1.42Nm，从动轴扭矩为-1.72Nm，主从间的张力为3.14Nm。

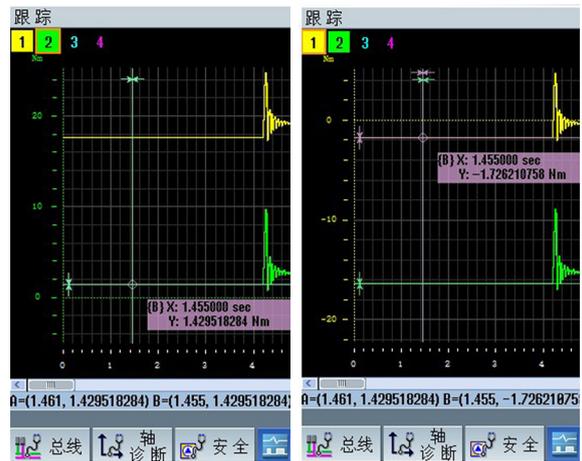


图5 主从轴张力值

(5) 力矩控制器的调整

将从动轴参数MD37253设置为1H，轴从正向到反向运动时跟踪变量主动轴力矩值以及从动轴力矩值，以及各自速度曲线。逐渐增大从动轴参数MD37256和MD37258。当主从力矩波动小，0.5s后趋于稳定时，说明从动轴参数MD37256和MD37258设置的值为合适。

3.主从轴优化

依次优化电流环、速度环和位置环，主从功能用作消除时，必须先调整力矩补偿控制器。速度环以及位置环时，主从机械结构一致时，主动轴和从动轴的驱动参数保持一致，如速度环增益、积分时间、电流设定值滤波器、位置环增益、速度环滤波器、前馈等，优化时主从两条曲线应基本重合，如果差别较大，须检查机械装配。

4.总结

主从结果可用较小的齿轮箱和电机就可拖动较大负载运动，提高机械系统刚性，拥有更高的动态响应特性，并且可以提高机床定位精度。使用主从功能消除，必须对主动轴和从动轴进行优化，设置合适的力矩控制器，才能达到消除目的。

和传统的机械消除机构比较，西门子数控系统828D系统双或多电机驱动消除参数调整方便灵活，张力扭矩使用参数量化设置更精确，机床安装调试更方便，节约机床的机械制造成本，简化机床结构，提高机床竞争力。□

加工中心和扭矩仪故障排除

珠海康晋电气股份有限公司 周晓晖

【摘要】本文叙述了一台镗铣加工中心因N线连接错误和一扭矩仪因其它设备N线、PE线连接错误和本身接地不当，导致镗铣加工中心和扭矩仪功能失效，不能正常工作原因的理论分析和处理办法。对镗铣加工中心，由于误把电网N线接至设备控制电源漏电断路器上，形成非正常电流，致使此断路器无法合闸，设备无法工作。解决办法是拆除N连接。对扭矩仪，则是由于电网中有设备的N、PE合并接至PE，导致PE线上有工作电流，而又由于扭矩仪的传感器与接收器在不同点接地，且用接地的单芯电缆传递信号，导致PE线上的工作电流形成的电压与传感器信号相叠加，干扰了扭矩仪，最终干扰使扭矩仪无法正常工作。解决办法是N、PE分开，扭矩仪不同部分在同一点接地。

大多数设备功能失效或发生故障不能正常工作，是由于设备自身的元器件失效，或参数异常变化引起的。但有时一些设备功能失效或发生故障不能正常工作时，设备本身并没有故障或元器件失效和参数变化，而是外部电磁环境不合适的问题引起的。不合适的电磁环境常常是由于接线错误引起的。下面举两个例子，一个是设备的进电源线连接错误引起，另一个则是由于设备所接电源网络其它设备N线、PE线连接错误和设备本身接地不当所引起。

1. 控制电源漏电开关合不上故障排除

本例是一台进口镗铣加工中心第二次安装后不能工作的原因查找、分析和处理。此设备原来工作正常，移位重新安装后送电不工作，经检查发现控制回路的漏电保护断路器Q跳闸，使控制电路无电压（见图1）。进一步检查发现即使设备电源开关未合闸，即L1、L2之间无电压Q也合不上。对此现场维修人员大惑不解，经询问得知，图1中的N和接地标识端子分别与电网的N和PE线相连接，至此就好解释了。

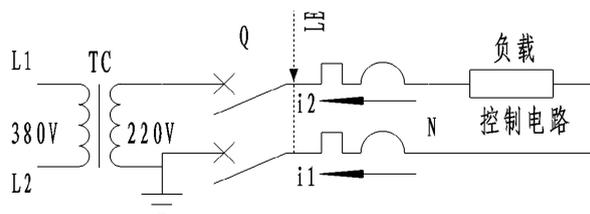


图1 设备内部漏电开关及相关线路图

电网N与PE是不等电位的，之间有电压 U_{NPE} 。按图1所示连接， U_{NPE} 会在Q上形成 i_1 和 i_2 电流。其中 i_1 与 U_{NPE} 同相位，其幅值取决于 U_{NPE} 和Q触点以及线路阻抗。尽管 U_{NPE} 一般并不大且不稳定，实际只有不到2V，但是Q触点以及线路阻抗一般很小，所以 i_1 数值一般会较大，常会超出Q的短路保护电流值（本例只有二十几A），会远超Q的漏电保护电流值（本例30mA）； i_2 滞后 U_{NPE} 一个小于 90° 的角度（感性负载），数值取决于 U_{NPE} 、负载和TC的参数。 i_1 和 i_2 的矢量和会大于 i_1 ，一样会远超Q的短路保护电流值和漏电保护电流值。而且不管设备电源开关是否合闸，只要电网有用电， i_1 和 i_2 就一直存在。

而此漏电开关是电磁型，不依赖电源跳闸，即使短路保护没有动作，只要通过开关电流的矢量和超过漏电保护电流就会漏电保护跳闸。显然，如此接线设备无法工作。我们把电网的N线与设备上的N端子脱开就可以了。再仔细看设备说明书的图纸发现，其N只是Q的一个极而已，并不需要和电网的N端相连。设备安装人员自作主张把设备N端子与电网N端连接了从而导致Q无法合上闸。

2. 扭矩仪转速、扭矩测量异常故障排除

某冷却风扇产品试验用扭矩仪JW-3（传感器JC1A）测量扭矩和转速。安装以来正常工作了几年，后来测量过程中出现测量显示转速明显低于实际转速，而扭矩高于实际扭矩的现象，但有时又正常。扭矩仪及传感器和部分相关设备的布置及部分相关接线如图2所示，故障之前某用电设备新装不久，且并不知道其接线方式。

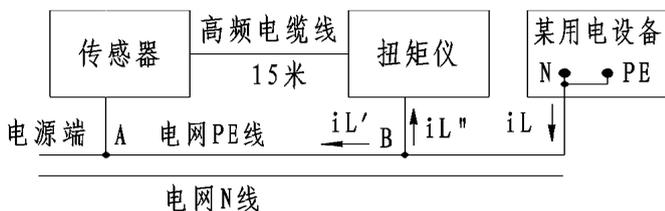


图2 扭矩仪及相关线路图

故障发生时，扭矩仪和传感器才修理检定不久，因此重点怀疑电缆线及其连接，当带电拔下电缆线的接头再插上时发现了明显的打火现象。经查，扭矩仪与传感器之间的信号线为单芯高频电缆线，传感器输出信号一端接电缆线芯，另一端接传感器外壳和电缆屏蔽层。扭矩仪输入信号一端接高频电缆线芯，另一端接电缆屏蔽层并接扭矩仪金属外壳，这样屏蔽层接传感器和扭矩仪外壳用于信号传递。

明显的打火现象表明扭矩仪和传感器的金属外壳之间电位不相等。为何两点电位会不相等呢？检查发现，扭矩仪和传感器外壳虽然与电源PE线相连，但不是连于一点，而是相距十几米。但是正常情况下PE线上是没有电流的，应该处处等电位。进一步检查新装不久的某用电设备及其接线发现，某用电设备有220V的单相负载，其N线与PE线合并（见图2）接到电源PE线上。这样会导致电源PE线通过工作电流，此电流对于扭矩仪的影响如图2、图3所示。

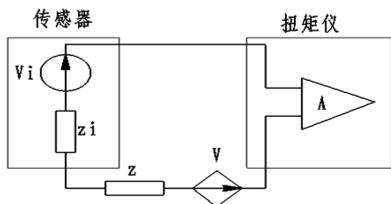


图3 扭矩仪和传感器部分原理电路

某用电设备的单相负载电流在PE线和高频电缆屏蔽层上形成一个受控电源V，这个V与传感器信号Vi相串联输出到扭矩仪的信号放大器A的输入端。V相对于Vi是一个干扰信号，当这个干扰信号达到一定强度时将淹没信号Vi，导致扭矩仪对扭矩和转速的检测失准。由于某用电设备单相负载不稳定，有时极小。因此有时在PE线上的V很小，不至于淹没信号Vi，此时检测就正常。

根据前述分析可见，解决的办法有两个。一是把某用电设备的N与PE分开，使得PE线上正常情况下没有电流流过就好了；二是如图4所示，把传感器和扭矩仪的外壳接到PE线上的同一点。这样，不管PE线上有无电流流过都不会在扭矩仪和传感器外壳间产生电位差，也就不会干扰测量。最好是两个办法的措施同时采用更好。

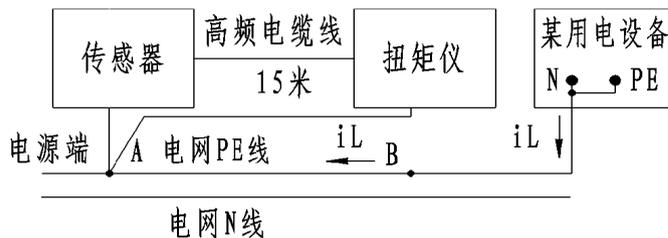


图4 扭矩仪和传感器外壳接同一PE点

3. 结语

过去我国大部分地区电网的N线与PE线是合二为一的，现在很多都分开了。需要知道，尽管这两根线间电压很低，但这两根线是不一样的，不能随意接。在前一例中，还要注意此设备上的N与电网的N意义是不相同的。如果把设备上的N与PE连起来，设备送电后断路器Q会因为部分工作电流流经NPE连接线流通，而未全部流过Q的触点，致Q两对极触点电流之和不为零使漏电保护动作而跳闸。因此即使电网的N与PE是合二为一的，也只能把设备外壳即有接地标识的端子与电网NPE连起来。

本例这种情况，要特别注意设备上的标识是否可用于电源接线。对于后一例，把某用电设备N与PE相连虽然能正常工作，但安全性不高。因为一旦PE线断开此设备外壳将带电。因此，对于N与PE分开的电网，所接设备一定要把N与PE分开接，既提高了所接设备自身安全性又不影响别的设备运行。对于设备的接地，同一台套设备各部分应尽量在同一点接地而不要分开接地，以免产生干扰。□

小型曲轴在车铣加工中心的加工工艺开发

中车资阳机车有限公司资阳曲轴分公司 丑洋洋 赵信强 周艺 欧虎

【摘要】针对开发结构复杂的小型出口曲轴，传统加工方式已无法满足加工质量及加工效率要求，导致小型曲轴生产制造进度受阻，进入瓶颈状态，无法按期保质保量完成。为此，本文主要通过利用车铣加工中心高精度、高效率的特性，进行装夹工装设计、工艺开发及典型结构模块化程序设计等方法，成功开发出小型出口曲轴加工工艺。

某型号曲轴是国外机车使用的一种典型的异形结构小型细长曲轴，该曲轴成品加工精度要求高，为保证该曲轴加工精度及生产周期，在车铣加工中心上进行了该曲轴加工工艺的开发。

车铣加工中心是我公司引进的大型曲轴加工机床，采用西门子840D高端控制系统，能实现五轴联动，可完成复杂空间型面的加工。集成了车削、铣削及孔类等多种加工功能，能实现一次装夹下完成曲轴车削、铣削、钻镗孔、攻丝等工序内容，其主要规格参数见表1。

表1 车铣加工中心的主要规格参数

最大回转直径 /mm	最大长度 /mm	中心架支撑夹持范围 /mm	支撑架宽度 /mm	操作系统
1500	8000	200~600	85	西门子840D

1. 曲轴结构分析

某型号曲轴材料为42CrMo4，成品总长2876mm，主轴颈 $\phi 160$ mm，连杆颈 $\phi 128$ mm，长径比 $\approx 18:1$ ，安装面与主轴颈及连杆颈中心连线成 5° 夹角，倒角由 15° 斜面与偏心圆弧R50mm组成，主轴孔贯穿整个曲轴。该曲轴具有轴细长、加工刚性差、结构异形、加工中容易出错、精度要求高等特点。该曲轴具体参数见表2，结构如图1所示。

表2 某型号曲轴具体参数

主轴颈直径 D /mm	主轴颈开档 /mm	连杆颈直径 D /mm	曲柄半径 R /mm	总长 /mm
160 (0/-0.025)	70	128 (0/-0.025)	105 \pm 0.1	2876

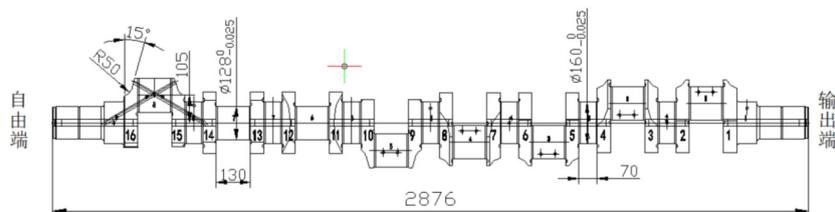


图1 某型号曲轴结构

通过表1和表2对比分析能够得出，某型号曲轴的主轴颈大小和开档宽度与大型车铣加工中心的装夹参数不匹配，且车间没有匹配的车铣中心对该曲轴进行加工。

该曲轴为中频淬火曲轴，如采用传统的普通机床进行加工，不仅效率低、耗时长、无法防错，而且其加工尺寸精度、形位公差等都难以达到成品图纸的要求。因此，在进行工艺路线设计时，将铣连杆颈、连杆颈开档、倒角、安装面及安装面孔类加工等重要工序，安排在大型车铣中心上进行加工，使小型曲轴在普通机床上加工所存在的问题得以解决。

2. 装夹工装设计

为保证小型某型号曲轴能够在大型车铣加工中心上进行装夹加工，必须满足曲轴的夹持部位与车铣加工中心的装夹参数相匹配的要求。为此，通过设计一种过渡连接装置满足该要求。该装置采用上下半瓦，螺栓拉紧的方式实现工装内孔与曲轴轴颈配合，工装外圆支撑在中心支架上。该设计同时保证该装置与曲轴不能相对旋转及轴向攒动。

工装配合尺寸选型按照过盈配合方式进行设计,轴颈与工装内孔过盈配合定位装夹,能够避免曲轴装夹后在加工过程中与工装相对转动及轴向攒动,曲轴装夹工装如图2所示。

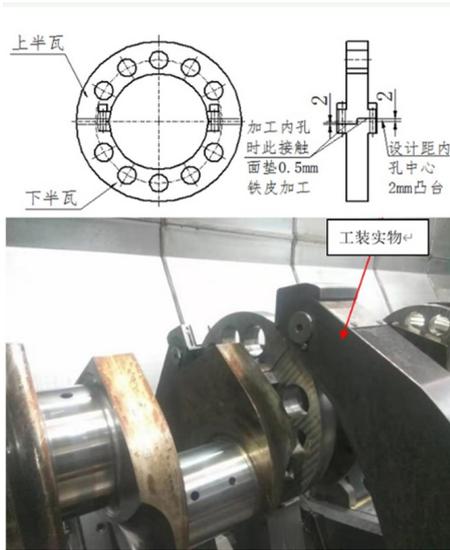


图2 曲轴装夹工装

3. 加工工艺开发

(1) 工艺路线制定

① 传统加工工艺

某型号中频淬火曲轴传统工艺的主要流程:时效处理→精车主轴及开档→精铣连杆颈、曲柄椭圆→精车连杆颈开档→精车倒角→划安装面找正线→铣安装面→粗磨连杆颈→精车连杆颈内R→油孔加工→中频淬火→再精加工。

某型号中频淬火曲轴传统加工方式:采用磨床进行粗磨加工,采用双头车床或旋风车床进行倒角加工,采用卧式数控镗铣床进行安装面及安装面孔加工。

传统加工方式的缺点:传统工艺流程长,曲轴转序、装夹找正、磨削过程耗时长,加工效率低;二次装夹存在重复定位误差;磨床手动找正,存在找正误差,操作者劳动强度大。

② 车铣中心加工工艺

经过周密的工艺分析,并结合某型号曲轴本身结构特点,开发其在车铣中心的加工工艺,制定了更加合理

的工艺流程:时效处理→精车主轴及开档→精铣曲柄椭圆、连杆颈、连杆颈开档、安装面及倒角→精车连杆颈内R→油孔加工→中频淬火→再精加工。

某型号中频淬火曲轴在大型车铣中心工艺开发,实现某型号曲轴连杆颈及开档以铣代磨、偏心倒角插铣铣削、安装面及安装面孔等集成加工,实现了一次装夹找正完成多部位加工,并将工序由原来的12道减少到7道,减少了转运,避免了重复定位误差的出现,且曲轴加工采用程序控制,不仅降低了操作工劳动强度,而且程序控制加工还保证了加工质量、提高了加工效率。

(2) 曲柄倒角加工

① 加工倒角部位设备选型

通过分析曲轴偏心倒角结构(见图3),并结合现有曲轴加工设备,发现只有3种数控设备满足加工要求,三种设备的性能对比见表3。

表3 三种设备性能对比

设备名称	数控双头车	数控旋风车	车铣中心
工件(主轴)转速	30r/min	20r/min	无级调速
工件支撑方式	两托盘夹紧工件旋转	两支架锁紧工件,刀排旋转	卡盘夹持、两顶尖顶紧及附加3个中心架支撑工件旋转
找正方式	人为调整回转偏心达到偏心部位,拐拐找正	人为调整回转偏心达到偏心部位,拐拐找正	程序控制
加工方式	工件旋转、刀具进给车削	刀排旋转并做进给运动车削	工件绕主轴颈回转,铣刀插铣运动

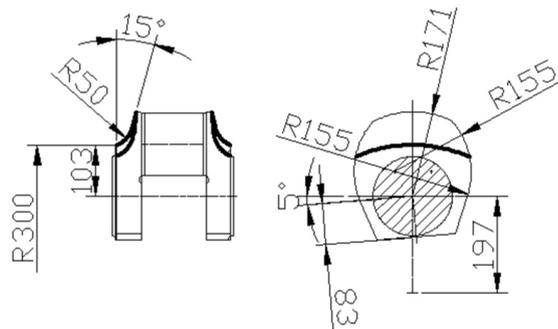


图3 曲柄倒角结构

② 不同设备加工倒角偏心部位时间对比

举例论证三种设备加工倒角偏心部位的时间见表4。

表4 三种设备加工倒角偏心部位时间

加工设备	双头车	旋风车	车铣中心
工件(主轴)转速/(r/min)	30	20	500
进给量/mm	0.6	0.6	1
吃刀量/mm	2	2	2
毛坯余量/mm	10	10	10
需要加工的长度/mm	100	100	100
加工时间/min	27.7	41.6	1

通过上述分析,综合设备的性能及加工过程中的刚性和加工效率的对比,选用大型车铣加工中心铣削某型号曲轴曲柄倒角。

③ 车铣中心倒角加工工艺

在大型车铣加工中心上采用铣刀仿形插补,分步完成某型号曲轴倒角的铣削。该加工方式能够减少空行程,且加工吃刀量及切削深度大,加工效率得到提高。如图4所示,第一步先用 $\phi 100\text{mm}$ 玉米铣刀铣削 15° 斜面;第二步再用 $\phi 100\text{mm}$ 的端铣刀插铣铣削R50mm。加工后的倒角完全满足图纸尺寸及形状

要求，且曲柄倒角加工效率得到极大的提高，倒角加工时间有由24小时缩短至7小时，加工效率提升70%。

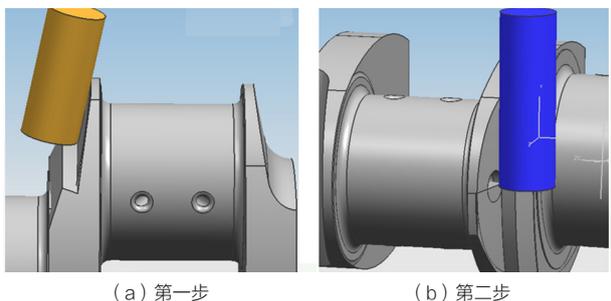


图 4

(3) 连杆颈、连杆颈开档面及安装面加工

① 连杆颈、连杆颈开档面加工

传统加工方式与车铣中心加工的工艺流程对比见表5。

表5 两种加工工艺流程对比

序号	传统加工工艺	车铣中心加工工艺
5	精铣/车连杆颈	精铣连杆颈及开档
10	精车连杆颈开档	中频淬火
15	粗磨连杆颈	
20	中频淬火	

对表5进行分析得出，在车铣中心上进行连杆颈、连杆颈开档面加工，能够实现该曲轴一次装夹找正完成连杆颈以铣代磨、连杆颈开档以铣代车等集成加工，避免重复定位误差出现和工序转运，曲轴加工采用程序控制，操作工劳动强度低。铣削代替车削加工，空行程减少，提高加工效率，铣削后曲轴连杆颈完全满足中频淬火要求，铣削后的连杆颈及开档状态如图5所示。



图5 铣削后的连杆颈及开档状态

大型车铣中心铣削小型某型号中频淬火曲轴连杆颈、连杆颈开档工艺开发，使得某型号曲轴加工时间由原来的30小时减少为现在的7小时，缩短70%以上，铣削后曲轴进行中频淬火，淬火后主轴颈跳动小于1mm。

② 安装面加工

某型号曲轴安装面与主轴颈与连杆颈中心连线有5°的夹角，且夹角旋转方向不同，曲轴安装面结构如图6所示，采用传统方式加工安装面时容易出错，找正耗时且误差大。

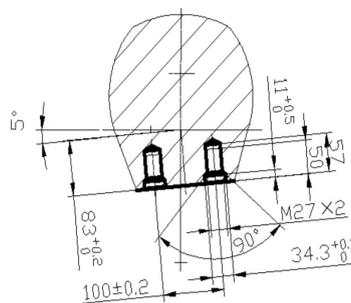


图6 安装面结构

在车铣中心加工安装面及安装面孔，测量头找正长度及角度，数控程序控制加工，程序完成验证后，再次加工曲轴时直接调用程序，起到防止人工找正犯错、程序加工防错的效果。

(4) 典型部位数控程序开发

某型号曲轴曲柄倒角结构为偏心圆弧R50加15°斜面方式组合而成，斜面结构是以R300基圆处偏心(0, 197)旋转生成，在程序设计时：

第一步，采用φ100mm玉米铣刀铣削15°斜面，铣削方式为侧铣，刀具要加工倒角偏心特征，刀具轨迹也是偏心圆弧，横截面下刀具的轨迹路线如图7所示。在实际铣削过程中刀具是有15°的倾角，所以在A-A剖面视图中，刀具的实际位置如图8所示。铣刀编程时计算刀具的中心(起点)位置： $x1=153.28+\$p_toolr*\sin(15)$ ， $z1=-\$p_toolr*\cos(15)$ 。

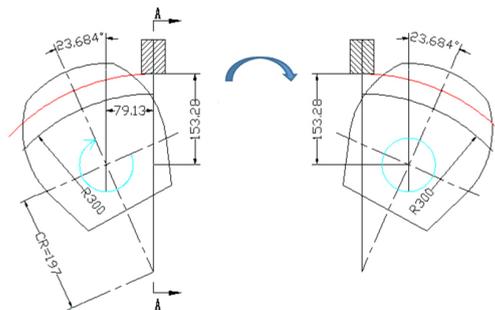


图7 横截面下刀具的轨迹路线

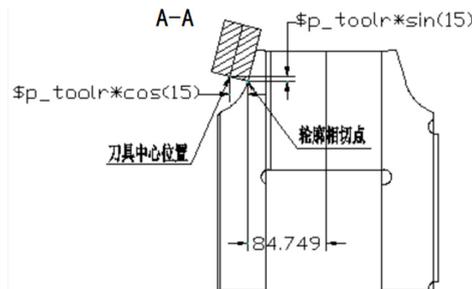


图8 刀具的实际位置

数控加工主程序如下：

```

;***xi xie mian 15du***
N10 tlch1("ymd100",0)
N20 tlpred1
    
```

N30 mcmills1 ; 铣削功能
 N40 m126 m3=8
 N50 mccc1zero
 N60 g55 g64
 N70 gd[60]=380
 N80 gd[61]=1

数控加工子程序内容如下:

```

;****xi_XM15_Z****
N1 tlch1("YMD100",-15)
N2 mcmills1
N3 mccc1zero
N4 d1
N5 mcgain(0.5,1)
;****left side ****
N6 g95 s3=gd[60]
    m3=3 f=gd[61]
    N7 mcb1cl ; B轴夹紧
N8 set_pin_positions1
N9 r10=trunc((r1-r2)/r3)
N10 r11=(r1-r2)/r10 ;
    设定铣削次数
N11 r15=gd[61]
N12 tlcosof
N13 mcgain(0.5,1)
    
```

N90 m0
 N100 R1=20 ;余量
 N110 R2=0
 N120 R3=1.5 ; 切削深度
 N140 gd[99]=8 ; 第8连杆颈
 N150 xi_XM15_Z ; 铣削子程序

```

N14 r12=r1-r11
N15 while r12>=r2
N16 g0 x1=400
N17 g0 g55 z1=-266.09/2-r12
    c1=dc(23.684)
N18 y1=79.13+10
N19 g0 x1=166.22
N20 m3=8
N21 cgcuton
N22 r15=gd[61]
N23 if r12==r2
N24 r15=gd[61]/2
N25 endif
N26 g1 y1=79.13 fb=3
N27 mcs1uncl ;
N28 mcs1damp
    
```

N160 xi_XM15_Y
 N170 m3=5
 N180 tlcosof
 N190 gohome
 N200 m0
 N210 M30

 N29 fgroup(x,y,c1)
 N30 g3 y1=-79.13 x1=166.22 cr=197
 c1=ic(-23.684*2) f=r15 ; 铣削加工
 N31 g1 y1=-79.13-5
 N32 g0 x1=400
 N33 fgroup0
 N34 stopre
 N35 r12=r12-r11
 N36 endwhile
 N37 mccc1zero
 N38 mcgain
 N39 m01
 N40 IF(\$p_search == 0)
 N41 mczShift(55,"Z1","F1",0)
 N42 mczShift(55,"C1","F1",0)
 N43 endif
 N44 m17

第二步, 采用 $\phi 100\text{mm}$ 端面铣刀插铣 R50mm, 刀具运行轨迹如图9所示。

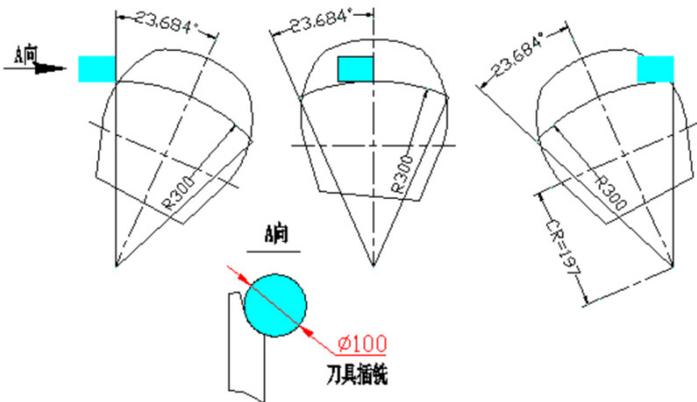


图9 刀具运行轨迹

插铣过程中通过修改刀补控制圆弧R50mm与15° 斜面相切的状态, 完成铣削的倒角状态如图10所示, 加工后倒角尺寸及形状良好, 满足图纸要求。



图10 倒角铣削后状态

4. 结束语

某型号小型曲轴在车铣加工中心上的加工工艺的成功开发, 实现了小型中频淬火曲轴连杆颈及连杆颈开档首次以铣代磨方式的加工, 且曲柄倒角R50mm铣削首次采用了端面铣刀代替传统球头铣刀进行插补铣削, 不仅保证了小型曲轴的加工质量, 提高了加工效率, 而且开发了大型车铣中心的加工功能。并为加工小型曲轴开拓了新的加工方法, 为类似小型曲轴加工工艺的开发提供了新的思路, 其加工工艺已推广至其他型号小型曲轴的加工。□

商用车车轮轮辐制造误差与定位浅析

吉凯恩车轮（连云港）有限公司 周永红

车轮是连接轮胎与制动鼓的部件，车轮轮辋负责安装轮胎，车轮轮辐负责与底盘中制动鼓安装，本文介绍的车轮轮辐与制动鼓通过螺栓直接相连方式。

1.现状

目前市面上有两种定位的平面安装方式。

(1) 轮辐中心孔定心的平面安装方式，即制动鼓台阶轴与轮辐中心孔定位，螺母平面圈通过螺栓夹紧轮辐螺栓孔平面（见图1）。

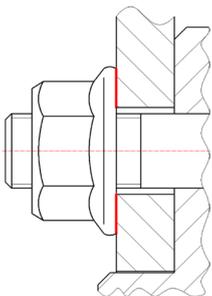


图 1

(2) 轮辐螺母座定心的平面安装方式，即螺母球面（或锥面）夹紧轮辐螺母座，即定位又夹紧。理论状态是全表面全接触，见图2。

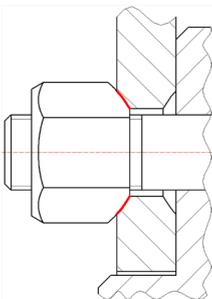


图 2

2.分析

(1) 由于制造误差、装配误差的原因，实际螺栓孔、螺栓座与螺栓装配的理想位置会发生偏移，在扭紧螺母时，螺栓受到的反作用力，会不均匀。两种定位安装方式受力分析如图3、图4所示。

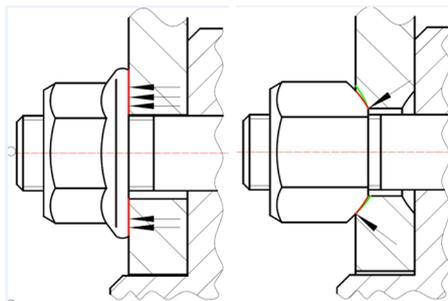


图3

图4

(2) 夹紧状态比对分析

中心孔定心方式：轮辐螺栓孔平面和螺母平面圈通过螺栓夹紧，通过这个夹紧力在轮辐螺栓孔平面与螺母平面圈之间、轮辐螺栓孔平面与制动鼓安装平面之间产生的摩擦力带动车轮转动，不是由螺栓或者螺母直接带动车轮转动。因为扭紧对螺母只产生反向垂直应力（见图3），所以螺栓只受到拉应力作用，即使在一个螺栓圆周上不是绝对的均匀，也不会产生剪应力。

螺母座定心方式：轮辐螺母座与螺母球面（锥面）通过螺栓夹紧并定心。通过这个夹紧力由螺栓、螺

母直接带动车轮转动，同时还有相对应的摩擦力带动车轮转动，状况相对复杂。因为扭紧对螺母只产生反向斜向应力（见图4），斜向应力分解，螺栓不仅受到拉应力作用，同时还受到剪应力作用（不均匀接触）。当且仅当处于理想状态下，如图2所示情况下，剪应力为零（均匀接触，相互抵消）。

当扭力值一定时，中心孔定心方式的夹紧力大于螺母座定心方式的夹紧力，这是由于螺母座定心方式被剪应力分解掉了一部分。

当扭力值相同，负载相同，螺栓相同，中心孔定心方式的螺栓使用寿命大于螺母座定心方式的螺栓使用寿命，这是由于剪切力作用所造成的。

这也可以从GKN公司做的有限元分析中可以看到，详见图5。

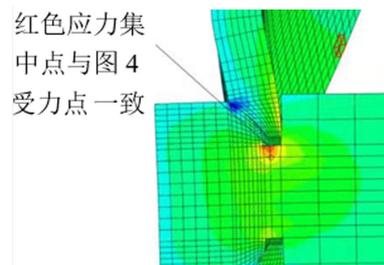


图 5

(3) 制造误差、装配误差对两种安装方式的位置影响因素对比见下表。

位置影响因素对比表

零件名称	项目名称	误差	中心孔定心方式	螺母座定心方式
轮辐	中心孔	公称尺寸	无	小
	螺栓孔	公称尺寸	小	大
	螺母座	位置度	小	大
		公称尺寸	无	大
制动鼓	分布圆	公称尺寸	小	大
	台阶轴	公称尺寸	小	小
	螺栓孔	公称尺寸	小	大
		位置度	小	大
螺母	分配圆	公称尺寸	小	大
	螺纹与球面(锥面)	同心度	无	大
	螺纹	公称尺寸	大	大
螺栓	球面(锥面)	公称尺寸	无	大
	螺纹	公称尺寸	大	大

从对比表中可以明显看出对中心孔定心方式的影响因素相对少,在设计时对尺寸精度、形状误差、位置误差等关联因素的技术要求的精度等级就低,便于加工,相对制造成本也低。

从对比表中可以明显看出对螺母座定心方式的影响因素相对多,且关联因素之间的尺寸链关系复杂,在设计时对尺寸精度、形状误差、位置误差等关联因素的技术要求的精度等级就高,加工难度增加,造成制造成本上升。

3.台架试验

采用GB/T5909-2009(商用车车辆车轮性能要求和试验方法),作扭力试验(见图6)。

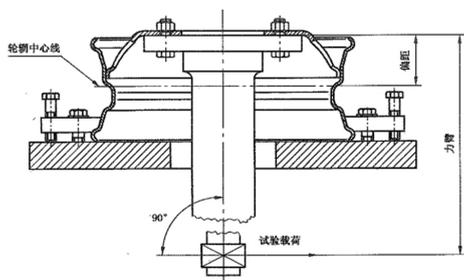


图 6

试验车轮参数:规格型号22.5mm×8.25mm, 221mm×275mm×21.5mm(中心孔直径×分布圆直径×螺栓孔直径),轮辐厚度10mm,螺栓规格M18×1.5,详见图7。

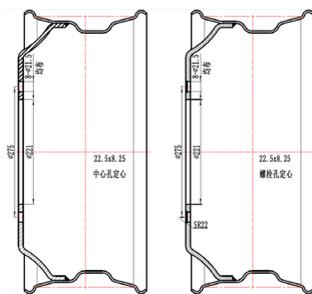


图 7

中心孔定心、螺母座定心各进行一次台架试验,车轮定位在圆盘弯曲试验台上,假设工艺要求扭矩为520Nm,那么初始扭矩设置为520Nm,旋转1万次后重新紧固一次扭矩520Nm(目的是消除间隙产生的影响);用600Nm的扭力扳手测量,螺栓扭矩每旋转1万次测量一次,每次8棵螺栓全测并记录,共计旋转24万次,依据试验数据作曲线图。中心孔定心螺栓扭矩与旋转次数曲线如图8所示,螺母座定心螺栓扭矩与旋转次数曲线如图9所示,中心孔定心螺栓平均扭矩、螺母座定心螺栓平均扭矩与旋转次数曲线对比如图10所示。

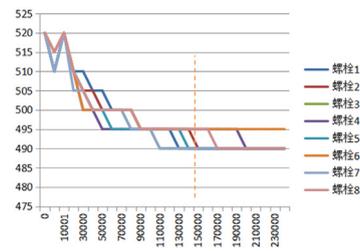


图 8

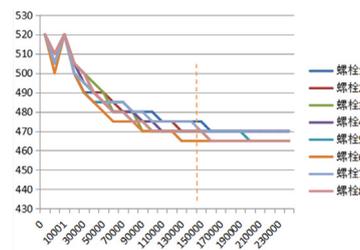


图 9

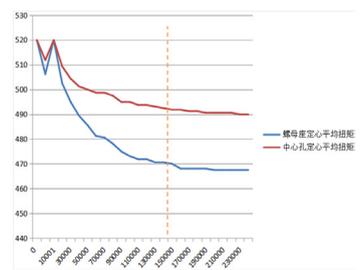


图 10

中心孔定心螺栓扭矩从520Nm通过旋转大约150000次后稳定在490Nm左右,螺母座定心螺栓扭矩从520Nm通过旋转大约150000次后稳定在470Nm左右;从GKN的台架试验来看,也说明从旋转后的扭矩值来说,中心孔定心的平面安装方式优于螺母孔定心的平面安装方式。这多损耗的20Nm(490Nm-470Nm)可以了解为被剪切力分解掉了。

4.总结

无论从设计分析、工艺分析、制造误差分析、有限元分析、夹紧力及台架试验结果来看,中心孔定心的平面安装方式都优于螺母座定心的平面安装方式。这也是国标为什么只推荐中心孔定心的平面安装方式,将旧版国标中的螺母座(球面孔、锥面孔)定心的平面安装方式删除掉的主要原因。□

薄壁大直径零件车削加工

常州铁道高等职业技术学校 朱光耀 葛成荣

【摘要】超越太阳轮总成焊接后的车削加工一直是一个难点，该类焊接总成类零件的车加工一般是车削焊接面，而本文首次改为同时车削轮毂和内孔，车削直径达 $\phi 144\text{mm}$ ，而轮毂壁厚仅有 3.5mm ，实现了平稳切削。

1. 工艺确认

根据产品图样如图1所示的要求和加工成本，焊接后车加工工艺需要同时车削轴套内孔、C基准面和直径分别为 114mm 和 144mm 的轮毂面，而其中轮毂面的厚度仅 3.5mm ，加工直径却达到 114mm 和 144mm ，薄壁零件加上高达 144mm 的加工直径，材料偏硬则易发生断裂，塑性变形；材料偏软则易发生弹性变形，在整个加工过程中不断振动，引起振纹，影响加工精度和表面粗糙度。该轮毂的材料为HLSA SAE J2340，材料偏软，故加工过程中可以预见可能存在的问题。

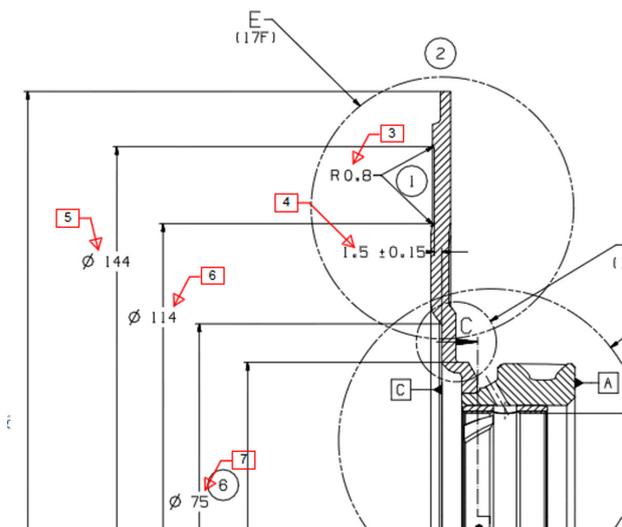


图1 轮毂产品

2. 工艺及加工难点分析

(1) 车削工艺分析

如图2所示，该道工序需要在一道车床加工工序中完成内孔、轴承面和轮毂面的加工，且加工工艺要求高。考虑到批产后的加工成本，虽然该工序中包含了高难度的薄壁大直径的车加工，零件尺寸偏软，会不可避免存在车加工时零件变形的情况，但是必须要克服困难。

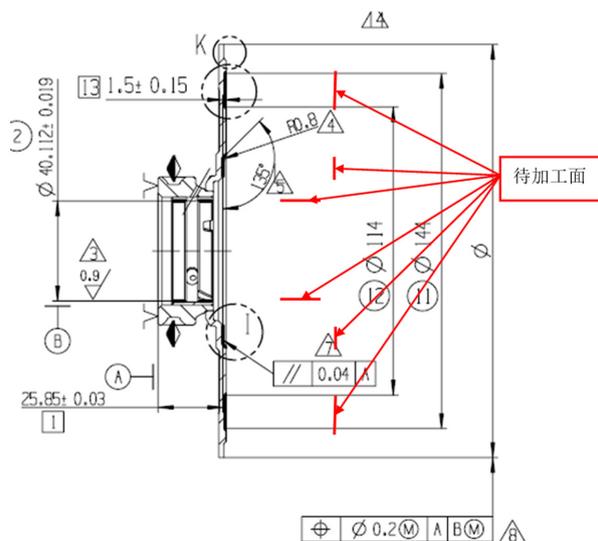


图2 车轴套和轴承面工艺部分截图

首先，加工零件内孔时，因内孔经过热处理后，齿轮硬度和刚性都比较好，故加工尺寸比较稳定。其次，加工轴承面，加工直径相对轮毂面小得多，变形会相对小一

些。最后，也是最难的加工轮毂面，薄壁壁厚仅仅3.5mm，加工直径却达到114mm到144mm，在加工过程中的径向切削力的作用下，会产生较大的零件弯曲变形，而当这种径向切削力消失时，则零件又会在弹性形变的作用下回弹，可能会产生较大振动，加工难度较大。

(2) 加工难点分析

根据以上分析得知，该道车轴套和轴承面的热后焊接后车加工工艺最大的难点就在于车削轮毂面，故在这里主要对车削轮毂面的难点进行分析。

由图3可见，在现有的定位夹紧方案下，很难避免零件发生大的弯曲变形和回弹。所以在加工过程中，可能会因零件变形而产生尺寸问题和加工过程中的振动问题。在加工过程中，超越太阳轮总成零件只有齿轮部分有定位夹紧，轮毂部分无支撑是主要问题所在。

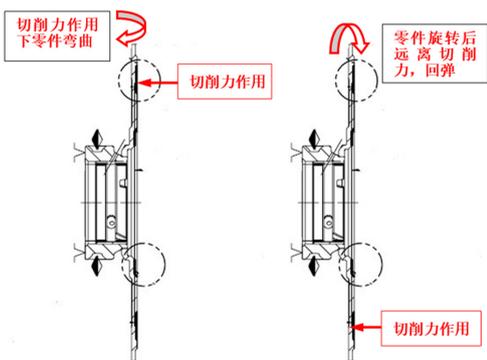


图3 超越太阳轮总成在切削力作用下形变

3. 实际试制问题及解决方案分析

(1) 初步试制结果

根据以上分析，可以预见，初次试制应该不会很顺利，确实如我们所预料的，在加工过程中，发生了很大的振动，在零件表面形成了振纹，表面粗糙度、尺寸都不符合交样要求。但是内圈轴承面轮毂处比较稳定，如图4所示。



图4 试制后零件加工振纹

(2) 零件分析和初步方案

经过分析，加工此道工序最大的问题就是解决振纹问题，超越太阳轮的轮毂上无任何支撑，导致在径向切削力的作用下，轮毂以最大幅度变形。如果要解决此问题，最合适的方案就是在径向力作用的轮毂位置处增加支撑。

根据现有条件和交样日期，没有很多的时间对夹具进行比较大的改造。最终，经过讨论试验，确认方案为在卡盘上增加螺钉，如图5所示。根据轮毂实际夹紧后的位置微调螺钉，使螺钉尽量靠近轮毂而不对轮毂施加压力，不主动造成零件变形，又在径向力对轮毂施压时，支撑住轮毂不让轮毂变形。

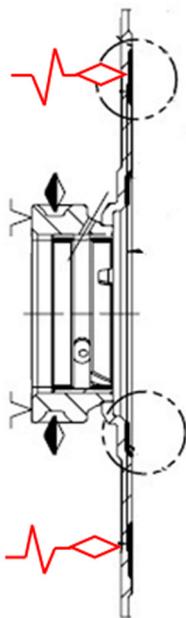


图5 预定支撑方案

(3) 初步方案确定

因为交样时间紧，零件加工复杂度高，交样数量不多，所以我们紧急根据现有夹具通过增加辅助支撑的方式，对零件夹具进行了改进。根据实验，逐步增加辅助支撑数量，最后在辅助支撑增加到6个时，加工结果比较符合预期，如图6所示。在卡盘夹紧齿轮的同时，调节六个螺栓的高度，使之可以尽可能贴近轮毂，也不给轮毂施加压力。

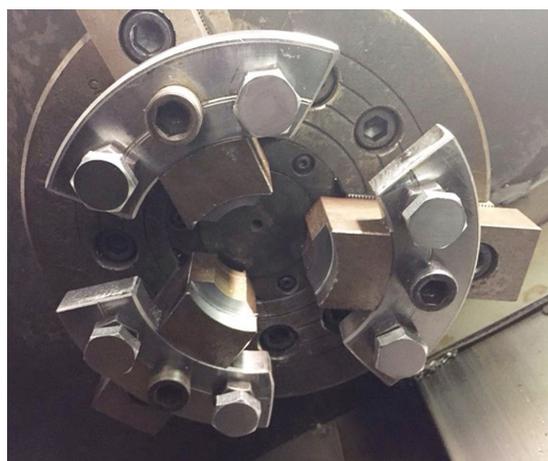


图6 改进后的夹具

(4) 初步方案的缺陷

虽然初步方案最终解决了实际交样的问题，但是初步方案最大的缺陷就在于，所有超越太阳轮总成的零件在经过焊接后，参照原来的轮毂面轮廓度和焊接变形，每个零件在齿轮定位夹紧后，轮毂的位置差别都是非常大的。

也就是说，每加工一个超越太阳轮总成，都必须对所有这六个作为支撑的螺钉进行微调，必须调整螺钉到轮毂的距离在0.01~0.02mm，这个工作量是非常巨大的。一个熟练的调整工，每加工一个零件的时间在20~30min，如此加工效率，在交样数量较少时，方案可行，但是在后期的批量生产中，这样的加工效率根本无法满足加工要求。

(下转第94页)

薄壁不锈钢套深孔镗削中的工装优化设计

江苏省江阴中等专业学校 朱达新

【摘要】提高薄壁不锈钢套内孔加工质量及有效地控制工件的变形一直是机加工的难点之一。由于手工和砂皮打磨的内孔表面质量不高，笔者结合该材料的加工工艺及装夹特点有针对性地设计出一套专用工装，实践证明应用该工装后加工件内孔的尺寸和粗糙度等指标均能达到图纸设计的要求。

由于不锈钢材料导热性差、切削性能差，材料比较耐磨、韧性大，难以实现精确的切削加工。不锈钢套内孔直径大、长度长，加工时尺寸难控制，造成加工后内孔成锥度。随着加工过程的持续，不锈钢套材料温度随之升高，加速了刀具的磨损，散热能力差导致加工过程中产生变形，影响加工精度。再加上装夹方法的不准确和加工工艺的不合理，加工后工件产生的椭圆及内孔粗糙度难以达到图纸要求等，由此可见，薄壁不锈钢套内孔的加工在机加工行业中属于难度较大的加工件。

1. 薄壁不锈钢套内孔镗床加工工艺

选择镗床加工不锈钢套内孔，一般都使用中心架，特点是装夹受力比较均匀，与V形铁装夹相比变形量较小，工件装夹可靠。在使用长刀杆镗孔前，一般先在主轴上安装百分表校调前后内孔，径向跳动应小于0.2mm。安装长刀杆时，使用磁性百分表校调尾座端和主轴端，由于长刀杆自重，刀杆中间一般要比两端大0.2mm左右。一般校调时，尽量靠近尾座端和主轴端，通过调整尾座中心，使长刀杆两端同轴度小于0.03mm。

以镗削加工长度780mm、外径 $\phi 551_0^{+0.063}$ mm、内径 $\phi 515_{-0.044}^0$ mm的316L不锈钢舵杆轴套为例。加工前，根据图纸尺寸，检查零件毛坯尺寸是否有加工余量（内外圆直径5mm，长度5~8mm），内外圆表面无缺陷（内外圆如接刀加工的无明显台阶）。检查毛坯内外圆的同心度偏差，不超过0.5mm。检查穿芯镗排是否符合加工要求。

装夹时，加工时在镗床工作台面、后适当的位置放置两只中心架，并将中心架安全固定牢靠，将中心架的三个爪预放到尺寸。

校调时，按工件内孔两端校调，跳动量小于0.03mm，并检查外圆跳动量。穿入长镗排，根据工件中心高度，调整尾座中心高度，校调使长镗排两端与主轴的不同轴度小于0.02mm。

2. 专用工装设计

根据薄壁不锈钢套加工特点，设计制作了一套专用工装（见图1），目的是提高内孔表面质量及有效地控制加工切削造成的工件变形。工装的组成：U形夹紧装置2和木块沙皮组合4用内六角螺栓固定，根据孔径再用可调节螺栓7和调节轮6调节工装的伸出长度，保证和不锈钢套内孔表面接触，最后通过锁紧螺栓5锁紧。

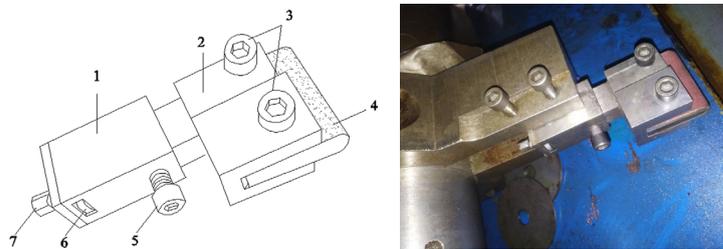


图1 可调式不锈钢套抛光专用工装

1. 可调节块 2. U形夹紧装置 3. 固定螺栓 4. 木块沙皮组合 5. 锁紧螺栓
6. 调节轮 7. 可调节螺栓

图2是设计制作的可调式抛光工装，安装在长镗刀杆上的加工示意图。先把可调式抛光工装安装在镗刀杆上，木块外包装沙皮形成软接触的圆弧状夹头，能有效提高装夹接触面。可调节块能调节加工件的中心。

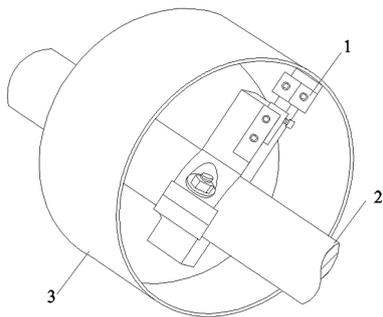


图2 工装装夹加工

1. 抛光工装 2. 长镗刀杆 3. 薄壁不锈钢套

该工装优点是：装夹方便，使用的沙皮包裹在木块上与工件形成软接触；用螺栓调节工装的伸出长度可以扩大加工范围；调节螺栓可用扳手拧紧等多种调节方式，为工件校调提供了方便；夹具的稳定性能好，稳定且不产生移动，有效地提升了产品的加工质量。

抛光过程如下：第一次抛光时（粗抛）选用60#砂皮，转速选用200r/min；第二次抛光时（精抛）选用研磨砂进行抛光，在羊毛毡上涂抹研磨砂，转动主轴，转速仍选用200r/min。

3. 改进加工方法

原有的加工方法为：粗、精镗加工内孔，最后进行手工打磨和砂皮打磨。改进后的加工方法为：粗、精镗加工内孔，然后用专用工装夹60#砂皮打磨内孔，再用100#砂皮对内孔进行抛光，最后在羊毛毡上涂抹研磨砂进行内孔研磨，通过清粗、精加工工艺改进内孔表面粗糙度。

4. 镗孔时注意事项

加工时要分粗、精加工，在粗加工结束后等待精加工之前，加工件要充分冷却。内孔加工时切削力不宜过大，以减小工件的变形；应选用合理的切削用量，尽量使用工作台进给，以减少由于刀杆刚性不足或弯曲而产生的内孔锥度。内孔精加工结束后，

在刀排上装夹细砂纸进行抛光处理，以提高内孔的表面粗糙度等级。精加工前应试切削加工内孔，检查加工后的椭圆度和锥度，并重新调整两中心架松紧，减少加工后的变形。

在加工时要及时清理铁屑，防止铁屑缠绕在刀具和刀杆上。铁屑缠绕后会影 响工件表面粗糙度，造成崩刀影响尺寸。

5. 结束语

不锈钢套常规加工方法之所以难以达到图纸要求。上述表明，只有通过 对加工工艺、工装等方面进行改进，正确选择切削参数，加工件可达到图纸设计要求。通过编制《不锈钢套工艺过程卡》、《不锈钢套镗床加工质量控制点》等作业指导文件，使不锈钢套深孔镗加工质量控制点从加工前、加工中、驳运过程方面得到有效控制，特别是驳运过程中不锈钢套在安装和搬运过程中要做好保护，轻吊轻放，不得碰撞，工件精度较高的应用尼龙吊带吊装，安放时要用橡皮垫妥木块放置以防止变形。□

上接第92页

4. 长期解决方案

因为短期初步方案的重大效率缺陷，所以必须另外采用更高效的方案来解决加工效率问题。而根据初步方案成功解决了薄壁大直径零件加工的振纹问题，所以可以确定，增加轮毂支撑，在径向力施加在零件时减小零件变形的方案可行。那么，将人工调整支撑改为设备自动调整支撑将大大减少加工时间，同时也能解决薄壁零件车削加工的振纹问题。

根据简易夹具更改后的加工结果，重新进行具体夹具的设计制造，新夹具很好消除了车削振纹问题，并

控制了加工节拍，适用批产条件。如图7所示，夹具有6个孔，在加工过程中，在这6个孔中会自动伸出辅助支撑。零件夹紧后，辅助支撑伸出，以最小力碰触轮毂，辅助支撑固定，零件开始加工。

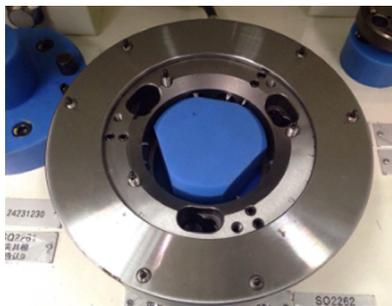


图7 最终夹具

5. 总结

对于车削加工来说，加工这样一个大尺寸的薄壁零件，最初无论是加工工艺，还是加工经验都是空白。经过努力实践尝试，零件的调试加工成功，填补了我们加工大尺寸薄壁零件这一空白，为将来的各种新型零件加工提供了很好的经验和教训。

在初步方案简易辅助支撑加工零件成功之后，我们又进行积极的反思，努力通过新夹具的设计来填补加工调试时间长的问题，对简易夹具取长补短，最终解决了节拍问题，累积了经验。□

成形刀铣削径向均布放射槽分析与宏程序编制

山东能源重型装备制造集团新汶分公司 赵乐乐
泰安嘉和重工机械有限公司 赵忠刚

【摘要】本文分析了应用数控铣床铣削径向均布放射槽的常见缺陷及科学的避免方式，并以三种编程实例阐述了在凯恩帝和发那科系统数控铣床上加工径向放射槽的通用宏程序的编写，通过三种程序的对比，更加容易掌握该类工件槽加工编程要点和选刀技巧。

在机械加工领域，经常遇到铣削径向均布放射槽的状况，许多业内朋友采用小直径平底立铣刀配合调用子程序的方式在数控铣床上加工。对于一些老设备，由于导轨间隙的存在及“让刀”现象，利用小直径平底立铣刀铣削的槽的宽度尺寸会发生不稳定状态，应用调用子程序的方式也会编程也较为复杂繁琐。

笔者通过进一步探索，总结了一套较为优质高效的编程铣削该类槽的加工方法。现以采用直径40mm的平底合金立铣刀铣削图1所示工件的十二槽，工件坐标系选择G54，其原点为工件上平面的圆心，坐标系如图2所示，以三种方式分别编程。

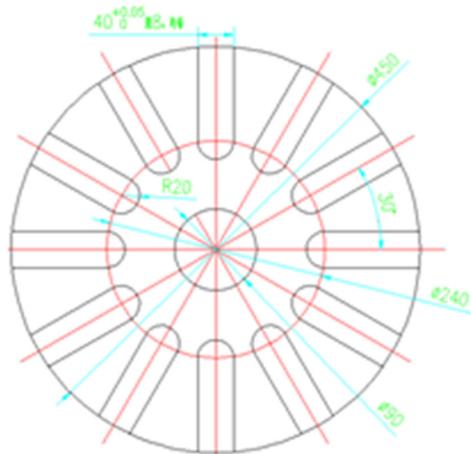


图1 导向盘

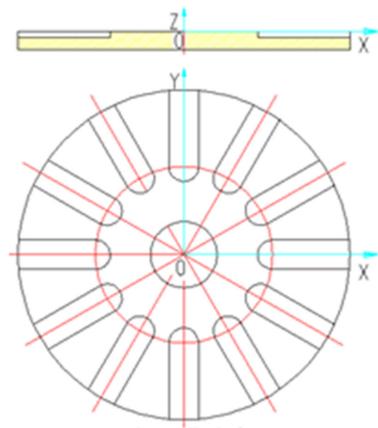


图2 工件坐标系

(1) 一次下刀铣削完成的简捷宏程序

如果工艺系统刚性牢靠，工件材质较软，刀具刚性足够，可以一次下刀至深，把槽铣削完成，其程序如下：

```
%O0001
```

```
#1=0; (初始槽的中心线与坐标系X轴的正向夹角，  
初始角度赋值为0)
```

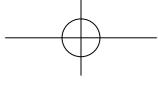
```
G0 G90 G54 X0 Y0 Z100;
```

```
M03 S2000; (顺时针旋转，转速2000转/分钟)
```

```
WHILE[#1LE330]DO1; (当#2小于等于#3时循环1继续执行)
```

```
M08; (冷却开)
```

```
G68 X0 Y0 R#1; (建立坐标系旋转指令)
```



X246 Y0; (刀具快速移动到下刀处: 工件外圆
450 ÷ 2 + 刀具直径40 ÷ 2 + 安全距离1=246)

Z1; (快速下刀至安全距离点)

G01 Z-8 F600; (下刀至槽底)

X120; (铣削至槽终点)

Z1; (提刀至安全距离)

G0 X246; (刀具快速返回到下刀处)

#1=#1+30; (上述程式执行一次, 角度递增: 360度
÷ 槽数12=30度)

END1; (循环结束)

M09; (冷却关)

G0 G69 Z100 Y100; (取消极坐标编程方式, 并使刀
具和工作台均运行到可卸工件的位置)

M30; (程序结束)

(2) 多次下刀铣削完成的简捷宏程序

若工件材质较硬, 铣削阻力偏大, 可以分多层下刀铣
削, 其宏程序如下:

%O0002

#2=2; (每次下刀量赋值)

G0 G90 G54 X0 Y0 Z100;

M03 S1000;

M08; (冷却开)

WHILE[#2LE8]DO1;

#1=0; (初始槽的中心线与坐标系X轴的正向夹角, 初
始角度赋值为0)

WHILE[#1LE330]DO2;

G68 X0 Y0 R#1; (建立坐标系旋转指令)

G0 Y0 X246; (刀具快速移动到下刀处: 工件外圆
450 ÷ 2 + 刀具直径40 ÷ 2 + 安全距离1=246)

Z1; (快速下刀至Z1)

G01 Z-#2 F1000; (以进给速度下刀至-#2)

X120;

Z1;

G0 X230;

#1=#1+30; (上述程式执行一次, 角度递增: 360度
÷ 槽数12=30度)

END2; (循环结束)

#2=#2+2; (上述程式执行一遍, 下刀深度增加
2mm)

END1; (循环结束)

M09; (冷却关)

G0 G69 Z100 Y100;

M30;

(3) 铣削径向放射槽通用宏程序实例

采用通用宏程序如下:

O0001;

#2=2; (下刀初始值)

#3=8; (槽深度)

#4=2; (每次下刀递增量)

G0 G90 G54 X0 Y0 Z100;

M03 S2000; (顺时针旋转, 转速2000转/分钟)

M08; (冷却开)

WHILE[#2LE#3]DO1; (当#2小于等于#3时循环1继
续执行)

#1=0; (初始槽的中心线与坐标系X轴的正向夹角,
初始角度赋值为0)

#5=12; (槽数)

#6=360-[360/#5]; (最后被加工的槽的中心线的角度)

#7=450; (导向盘外圆直径)

#8=230; (槽止端圆弧的圆心所在圆的直径)

#9=[#7-#8]/2; (槽止端圆弧的圆心到工件外圆的距离)

#10=40; (平底立铣刀直径)

#11=#7/2+#10/2+3; (铣削槽时的起点, 下刀处)

#12=#8/2; (铣削槽时的终点, 提刀处)

#13=200; (铣削时的直线运行速度)

#14=360/#5; (槽间夹角)

WHILE[#1LE#6]DO2; (当#1小于等于#6时循环2继
续执行)

G68G90X0Y0R#1; (建立坐标系旋转指令)

G0Y0X#11; (刀具快速移动到下刀处)

Z1; (快速下刀到距离工件上平面1mm处)

G01Z-#2F#13; (采用直线插补方式下刀)

X#12; (采用直线插补方式铣刀运行到提刀处)

G0Z1; (采用快速方式提刀至工件上平面上1mm处)

X#11; (刀具快速移动到下刀处)

#1=#1+#14; (上述程式执行一次角度递增一次#14)

END2; (循环2结束)

#2=#2+#4; (上述程式执行一次铣刀量递增一次#4)

END1; (循环1结束)

G0G69Z200Y200; (快速移动刀具远离工件并取消工
件坐标系旋转)

M05M08; (停止主轴旋转和关闭冷却)

M30; (程序结束)

应用凯恩帝及发那科系统铣削径向放射槽的三种宏程
序, 既有简便快速的, 又有复杂通用的, 再工作中都曾经应用
过, 对初学编制宏程序的操作者是一份较好的指导资料。□

一种卧式加工中心交换工作台定位夹紧机构设计

科德数控股份有限公司沈阳分公司 张传思
沈阳机床（集团）有限责任公司 张建中

【摘要】卧式加工中心多配置交换工作台系统，而如何保证交换工作台的准确定位与可靠夹紧至关重要。本文设计了一种用于卧式加工中心交换工作台的定位及夹紧机构，采用一面两销的定位机构，通过液压缸固连T型导轨夹紧工作台，利用行程开关实现工作台到位检测，气密检测装置实现工作台夹持信号反馈，最后经过液压阈值确定工作台可靠夹紧。

卧式加工中心广泛应用于航空、航天、汽车等领域中铝合金、钛合金、复合材料的加工，可实现零件多面、多工艺特征的加工，而交换工作台是卧式加工中心的必备组成机构之一。配置交换工作台的卧式加工中心，由加工区及前工位组成，两者通过防护完全隔离开，加工区工作的时候，可以在前工位进行工件的上下料，两者并行工作，节省了机床的加工辅助时间，提高了机床的有效利用率。而如何保证不同工作台的精准定位，可靠的夹紧至关重要。

本文设计了一种用于卧式加工中心交换工作台的定位及夹紧机构，采用一面两销的定位机构，刚性好、定位可靠。通过液压缸固连T型导轨夹紧工作台，夹紧可靠。利用行程开关实现工作台到位检测，气密检测装置实现工作台夹持信号反馈，压力开关反馈夹紧完毕，各检测装置实现定位夹紧机构的闭环控制。该种定位夹紧机构适用于大规格、高承载的推拉式卧式加工中心，并可扩展应用于柔性制造系统中，具有广泛的适用性。

1. 交换工作台系统工作原理

交换工作台系统由两个交换台站并排组成，布置于机

床横梁身前侧，滑座载着回转座在横梁身上左右移动，实现在两个交换台站之间切换运行。每个交换台站具有推拉式推进、拉回机构，通常为链传动或滚珠丝杠传动。在前工位区的某个交换台站上安装好工件后，通过交换台站将工作台（图1所示）送进工作区的回转座（图2所示）上，工作台依靠两侧T型槽顶部的支撑轮在回转座的T型夹紧导轨上滚动，此时的T型夹紧导轨处于升起状态，两侧侧面的导向轮起导向作用，保证工作台直线运动。

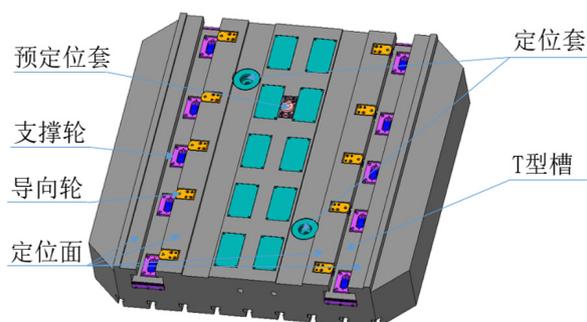


图1 工作台结构图

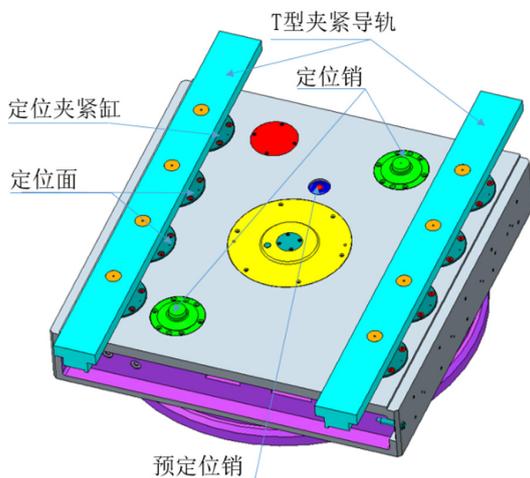


图2 回转座结构图

当工作台到达直线运动的位置检测开关时候，送进机构停止送进，此时预定位销的钢球（图3所示）卡入预定位套中，定位夹紧油缸的活塞下降，带动固连的T型夹紧导轨落下，使定位套锥面与定位销的锥面接触，另工作台的定位面与定位夹紧缸的定位面接触，既实现一面两销的定位结构。通过夹紧信号及气密检测、压力反馈完成工作台的夹紧。

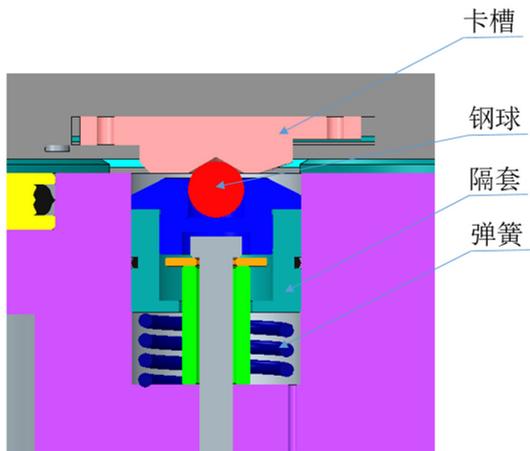


图3 预定位结构图

工作台经过定位夹紧后开始加工工作。当工作区工作时，另一交换台上的工作台进行上料。待工作区零件加工完毕，承载工件的工作台交换到没有工作台的交换台站之上，之后滑座移动到另一个交换台站处，进行待加工工件工作台的交换。交换完毕，可对加工完的零件进行下料，然后再上料新的待加工零件，反复交替，节省了机床的上下时间，提升机床的有效利用率。

2. 定位夹紧机构的设计

(1) 定位机构设计

本交换工作台的定位机构由预定位结构（图3所示）

与精准定位结构（图4所示）组成，其中预定位结构由钢球卡槽实现，精准定位结构由一面两销的定位机构实现。首先，在交换工作台使工作台运行到达理论位置时，由预定位销进行粗定位，然后工作台降到两定位锥销及定位平面，最终到达准确的定位位置。

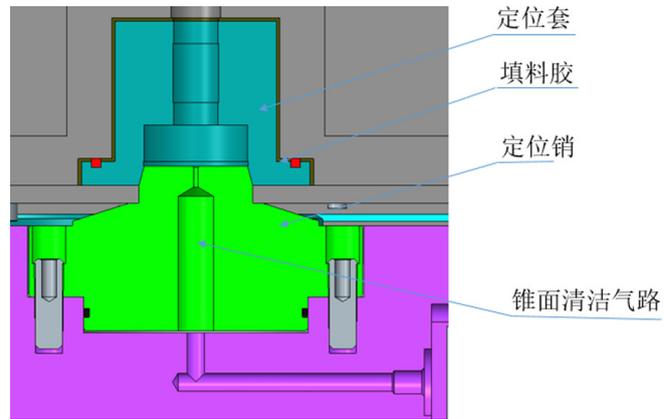


图4 精准定位结构图

(2) 夹紧机构设计

工作区的工作台交换到准确位置之后需要可靠的夹紧，才能保证切削过程中，工作台准确的位置精度。本夹紧机构采用液压油缸通过T型导轨夹紧工作台对应的T型槽来实现夹紧功能（图2、图5所示），T型夹紧导轨对称布置，每个夹紧导轨由4个活塞通过螺钉与其紧固，保证工作台两侧受力均匀。工作台的夹紧力计算如下：

$$F_i = P \cdot S = P \cdot \pi r^2 = 7.5 \times 10^6 \times \pi \left(\frac{0.11}{2} \right)^2 = 7.13 \times 10^4 \text{ N} = 71.3 \text{ kN}$$

$$F_1 = 8F_i = 71.3 \times 8 = 570.4 \text{ kN}$$

式中， F_i 为单个油缸夹紧力（kN）； F_1 为总的夹紧力（kN）。

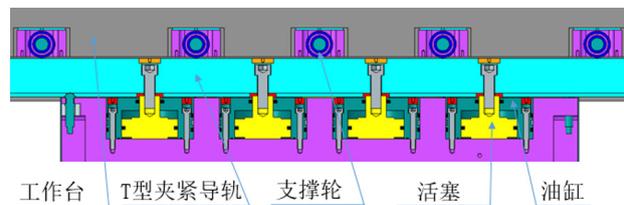


图5 夹紧机构图

夹紧机构液压原理图如图6所示。工作台的松夹动作转换由三位四通阀（以下简称阀1）双电磁铁实现，并由独立的换向阀（以下简称阀2）及减压阀实现工作台夹紧的高低压切换以减小夹紧时的压力冲击，阀组上设有压力开关反馈压力信号，设有液压锁具有断电保持功能，叠加转座两侧设有节流阀控制松夹速度。

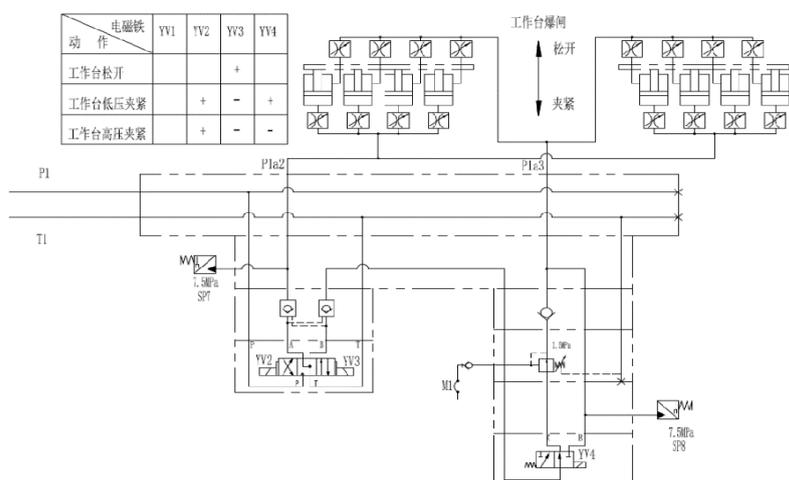


图6 夹紧机构原理图

具体工作原理如下：当YV3通电时，油液经过阀1A口、Pla2路进入液压缸下腔，液压缸上腔油液经过节流阀、Pla3路、阀2B口、阀1B口回到油箱，液压缸上升，使工作台处于松开状态，松开到位时压力开关SP7反馈信号到PLC，提示工作台松开到位。当YV2通电时，油液经过阀1B口进油，YV4通电，油液经过阀2A口、减压阀、单向阀、Pla3路进入液压缸上腔，液压缸下腔油液经过节流阀、Pla2路、阀2A口回到油箱，使工作台处于低压夹紧状态，通过外置的限位开关反馈信号到PLC，提示工作台夹紧到位；此时将YV4断电，油液由阀2A口进油切换为阀2B口进油，压力开关SP8反馈信号，提示工作台夹紧压力正常。

(3) 检测装置设计

工作台的检测主要包括直线方向的送进到位检测，垂直升降方向的夹紧信号开关（图7所示），此两处采

用限位开关实现检测反馈。

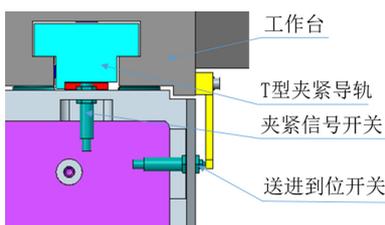


图7 限位开关位置检测

另采用气密检测（图8、图9所示）实现工件是否夹紧。气密检测系统由减压阀、节流阀及压力开关组成，当检测距离达到设定值时，反馈信号，结合压力液压压力开关SP8证明工作台夹紧完毕。

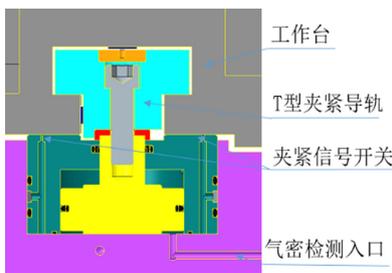


图8 气密检测

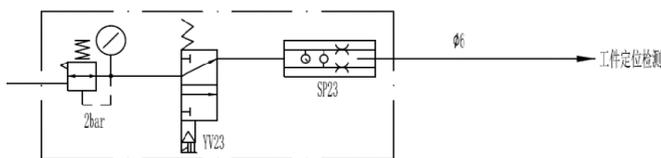


图9 气密检测原理

3. 定位夹紧机构精度的实现

由于交换工作台的定位精度较高，为了保证定位销与定位套的互换

性，必须保证定位销与定位套具备较高的精度一致性，直接靠机加保证零件精度较难，且装配的尺寸链较多，

很难实现两个工作台的互换性，因此采用灌胶的工艺来实现。

同时，本交换工作台定位机构的定位销与定位套成组加工，保证一个定位销与两个定位套成组一起入库，保证锥面接触面积不小于70%。由于需要经常交换，要保证定位销锥面与定位套接触面的耐磨性，故定位销的接触面进行渗碳处理与高频淬火，同时定位锥与定位销配合的锥面部分也进行相应的高频淬火。

装配过程中以定位销为基准，定位套采用灌胶工艺实现准确的位置如图4所示。灌胶孔从定位套底部的工作台侧面进入，上部有排气孔，经过多次试验，灌胶层厚度在1.5~2mm机械性能最佳。注入填料胶前先在零件表面刷涂脱模剂，方便更换定位套，然后就可以进行填料胶的注入，当填料胶从顶部孔溢出时候，证明胶已填充满，用堵将注胶孔和排气孔封堵，待24小时后液体胶完全固化后，在工作台顶部用紧固螺钉将定位套与工作台锁紧，使其完全固定，保持精度。

在装配过程中，交换后的工作台要保证工作台的台面、平面度、中心孔的精度在公差内，且两个工作台要保持一直，保证良好的互换性。

4. 结语

为了满足卧式加工中心交换工作台的准确定位与可靠夹紧，设计了一种应用于卧式加工中心交换工作台的定位及夹紧机构，及其精度实现方法。经实际应用结构方便可靠，该结构可应用于有类似定位与夹紧的机构中，可用于单机自动化的双工作台交换，也可应用于柔性自动化产线中的多托盘交换系统中，且其中的灌胶工艺也可应用于机床装配中的机加工难以保证的结构中。总之，该定位夹紧机构及相关技术对提升数控机床的质量、效率具有重用的实用意义。□

直角弯头法兰钻孔夹具设计

蓬莱水城铸石管道阀门有限公司 矫永臣

如图1所示，我厂外协加工2000件DN125口径PN1.6MPa的弯头法兰钻孔任务。以前没有钻过弯头法兰孔，为此我们做了两个与弯头外径相似的V形垫铁，放在镗床工作台上，放上工件，用压板压好，找正后就可对弯头法兰加工了。虽然上述方法还算奏效，但钻孔的速度很慢，加工又显得很麻烦，因此在镗床钻孔也不是一个很好的办法。

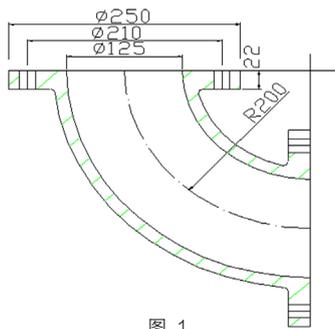


图 1

经过仔细的研究，进行了大胆创新改进，就此批弯头法兰钻孔的加工，专门设计如图2所示的直角弯头法兰钻孔夹具。经过试验一次成功，不仅工作可靠，还能提高钻孔的加工速度，节省了工时，在很短的时间内完成任务起着决定作用，赢得顾客的信赖。

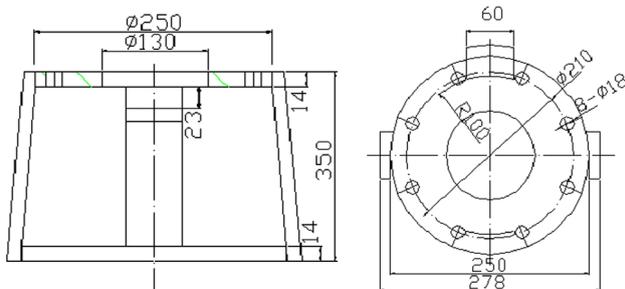


图 2

夹具主要工作原理：首先将夹具用4个T型螺栓M20×75mm固定在钻床工作台上，如图3所示，将需要钻孔的弯头顺着简易工装口推入，在垂直于操作人员工装里面有一个法兰厚薄的定位口，根据三点是一个平面的原理，在以定位口顶端为基准分别有两个成120°角处，用两个夹子卡紧，固定好就可对弯头法兰钻孔了。

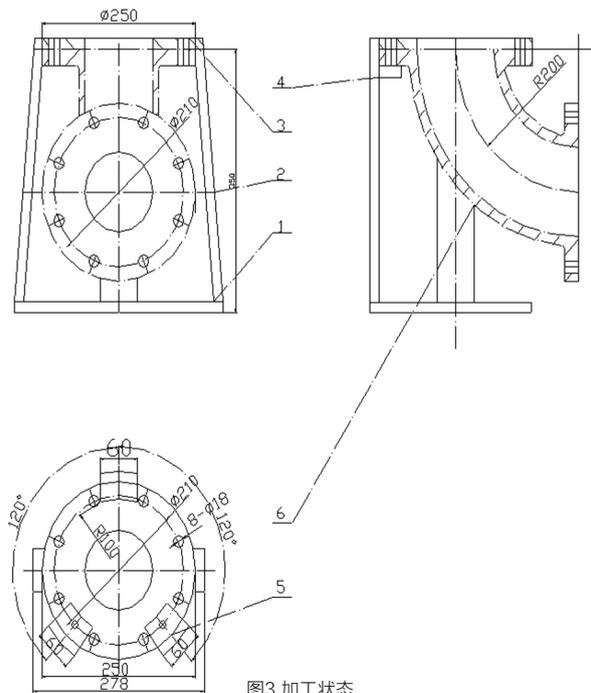


图3 加工状态

直角弯头法兰钻孔夹具主要由底板1件、支板3件、钻模板1件、定位块1件、夹子2件等5个零件组成。这种结构形式的最大特点是装卡方便，定位准确，简单适用。与镗床钻弯头法兰孔速度相比可提高8倍以上，既方便可靠，还大大提高了工作效率。□