

# WMEM

## 世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

No.4 2020  
2020年8月  
August 2020

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

顾问: 吴柏林 于成廷

主任: 毛子锋

副主任: 王黎明 郭长城

编委:

龙兴元 张志刚 杜琢玉 何敏佳 王旭 王俊峰  
王煊卫 闫宁 关锡友 芦华 李屏 李金泉  
李保民 杨平 吴日 吴国兴 冷志斌 张明智  
张波 陈吉红 姜华 黄正华 商宏谟 蔚飞  
魏华亮

特邀编委:

刘宇凌 李先广 姜怀胜 李维谦 于德海 刘春时  
李宪凯 邹春生 张自凯 崔瑞奇 徐刚 张新龙  
赵博 李志宏 桂林 汪爱清 王跃宏 张国斌  
初福春 王明远 刘庆乐 王兴麟 边海燕 董华根  
胡红兵 武平 肖明 陈长江

总编辑: 李华翔

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

2020年第4期(总第169期)

# WMEM世界制造技术与装备市场

## 特别报道 Special Report

- 10 学习贯彻习近平总书记在企业家座谈会上的重要讲话精神 毛子锋  
Study and implement the spirit of Xi Jinping's important speech at the Entrepreneurship Symposium

## 产销市场 Production & Market

- 13 2020年上半年机床工具行业经济运行情况分析  
Analysis on the economic operation of machine tool industry in the first half of 2020

## 特别策划 Special Planning

- 21 金属3D打印技术的发展与应用探索 李雪峰等  
Development and application of metal 3D printing technology
- 24 3D打印快速制造技术推动铸造行业革命性发展 陈 垦等  
3D printing rapid manufacturing technology to promote the foundry industry of revolutionary development
- 27 增减材混合五轴装备及应用技术 吕建忠  
Five-axis equipment of adding reducing materials and application technology

## 研发与应用 Research & Application

- 30 航空航天系列化刀具的开发与应用 祝新发  
Serial cutting tools design and application for aerospace industry
- 34 YKA2260全数控螺旋锥齿轮铣齿机的研发与应用 湖南中大创远  
Research development and application of YKA2260 NC milling machine for spiral bevel gear
- 38 国产数控机床和数控系统在航空制造领域应用示范 华中数控等  
Application demonstration of domestic CNC machine tools and CNC system in aviation manufacturing field

## 专题综述 Topical Review

- 46 我国现行机床产业政策梳理及实施效果 杜慧娟  
Review and implementation effect of current national machine tool industry policy

## 产品与技术 Products & Technology

- 48 发动机工厂刀具管理的探讨 黄永辉等  
Discussion on tool management in engine factory
- 51 复合加工在汽车零部件制造中的实践 金延安  
Practice of composite machining in automobile parts manufacturing
- 53 汽车发动机缸盖机加工去毛刺方案 和西录等  
Machining deburring solutions for cylinder head of automobile engine

# WMEM

## 世界制造技术与装备市场

World Manufacturing Engineering & Market

### 编者的话

7月份,随着统筹防疫和经济社会发展各项政策措施逐步落地见效,工业复工复产水平持续提升,多数产品和行业生产不断改善,新动能持续增强,工业生产总体延续稳步恢复态势。

7月份,全国规模以上工业增加值同比增长4.8%,增速与6月份持平;环比增长0.98%。1-7月份,全国规模以上工业增加值同比下降0.4%,降幅比1-6月份收窄0.9个百分点。装备制造业和高技术制造业增加值同比分别增长13.0%、9.8%,快于规模以上工业8.2、5.0个百分点。其中,医疗仪器设备及仪器仪表制造业、电子及通信设备制造业分别增长17.9%、12.0%。分产品看,3D打印设备、智能手表、服务机器人、智能手环等新产品继续高速增长,增速分别为351.9%、228.2%、126.0%、29.5%。

根据国统局规模以上企业统计数据,机床工具行业2020年1~6月累计完成营业收入2946.6亿元,同比降低7.6%,比全国规模以上工业企业完成营业收入同比降幅(5.2%)大2.4个百分点。今年1~2月、1~3月、1~4月和1~5月累计完成营业收入同比分别为-25.4%、-20.8%、-12.9%和-9.4%,降幅逐月明显收窄;从各月当月完成营业收入情况看,3月、4月、5月、6月完成营业收入同比分别为-19.0%、-5.6%、2.5%、-1.1%,月度同比的向好变化更加明显。

本期针对当前机床工具工业的运行情况进行了系统分析,同时针对制造技术热点的3D打印技术方面介绍了金属3D打印的发展与应用情况,本期还组织了大量的新产品、新技术、新装备的实际应用文章,以飨读者。

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。



# HIWIN® 上银®

## 工业4.0 优质伙伴

2019年荣获「日经亚洲评论」亚洲300强 第16名  
2016年荣获日经Business评选为「全球上市企业综合成长力百大」第5名  
2015年荣获福布斯(Forbes)全球创新成长百大企业第37名  
入选美国NASDAQ股市机器人指数型基金(ROBO-STOX)权重排名TOP 10



关节式机器人臂  
Articulated Robot

并联式机器人臂  
Delta Robot

史卡拉机器人臂  
SCARA Robot



2001~2020 HIWIN连续20年荣获台湾精品金质奖



滚珠丝杠  
Ball Screw

直线导轨  
Linear Guideway

单轴机器人  
Single-Axis Robot

晶圆机器人  
Wafer Robot

Torque Motor 回转工作台  
Torque Motor Rotary Table

谐波减速机  
DATÖRKE®  
Robot Reducer

直线电机平台  
Linear Motor Stage

力矩电机  
Torque Motor

直驱电机  
Direct Drive Motor

运动控制器  
Motion Controller  
驱动器与伺服电机  
Drive & Servo Motor

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



扫一扫  
关注上银

#### 全球营运总部

上银科技股份有限公司  
HIWIN TECHNOLOGIES CORP.  
www.hiwin.tw  
business@hiwin.tw

#### 关系企业

大银微系统股份有限公司  
HIWIN MIKROSYSTEM CORP.  
www.hiwinmikro.tw  
business@hiwinmikro.tw

#### HIWIN中国专属经销商

天津龙创恒盛实业有限公司 Tel: (022) 2742-0909	江苏台银机电股份有限公司 Tel: (021) 5480-7108	上海诺银机电科技有限公司 Tel: (021) 5588-2303
深圳海威机电有限公司 Tel: (0755) 8211-2558	上海玖钰机械设备有限公司 Tel: (021) 5978-9980	厦门聚锐机电科技有限公司 Tel: (0592) 202-1296
昆明万辰科技有限公司 Tel: (0871) 6830-1918	乐为传动科技(苏州)有限公司 Tel: (0512) 6667-0809	

#### HIWIN海外厂

德国 www.hiwin.de	日本 www.hiwin.co.jp	美国 www.hiwin.com	意大利 www.hiwin.it	瑞士 www.hiwin.ch
捷克 www.hiwin.cz	新加坡 www.hiwin.sg	韩国 www.hiwin.kr	以色列 www.mega-fabs.com	

广告

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

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

President of E-C: MAO Yu-feng

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

#### Committeemen:

LONG Xing-yuan, ZHANG Zhi-gang, DU Zhuo-yu,  
HE Min-jia, WANG Xu, WANG Jun-feng, WANG  
Huan-wei, YAN Ning, GUAN Xi-you, LU Hua, LI Ping,  
LI Jin-quan, LI Bao-min, YANG Ping, WU Ri, WU  
Guo-xing, LENG Zhi-bin, ZHANG Ming-zhi, ZHANG  
Bo, CHEN Ji-hong, JIANG Hua, HUANG Zheng-  
hua, SHANG Hong-mo, YU Fei, WEI Hua-liang

#### Specially Invited Committeemen:

LIU Yu-ling, LI Xian-guang, JIANG Huan-sheng, LI  
Wei-qian, YU De-hai, LIU Chun-shi, LI Xian-kai, ZOU  
Chun-shen, ZHANG Zi-kai, CUI Rui-qi, XU Gang,  
ZHANG Xin-long, ZHAO Bo, LI Zhi-hong, GUI Lin,  
WANG Ai-qing, WANG Yue-hong, ZHANG Guo-  
bin, CHU Fu-chun, WANG Ming-yuan, LIU Qing-le,  
WANG Xing-lin, BIAN Hai-yan, DONG Hua-gen, HU  
Hong-bing, WU Ping, XIAO Ming, CHEN Chang-jiang

Chief-Editor: Li Huaxiang

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

- 57 关键机械功能部件故障诊断及状态评价 胡 辉  
Diagnostic methods and state evaluation of key mechanical functional components
- 59 屏蔽与接地对机床运行稳定性的影响 林超青  
Effect of shielding and grounding on the stability of machine tools
- 62 全地面起重机固定支腿结构工艺筋板拓补优化 任 洁  
Optimization of process reinforcement plate for fixed leg structure of whole ground crane
- 65 数控机床硬限位报警电气设计改进 关进良等  
Improvement on electrical design of hard limit alarm in CNC machine tools
- 67 一次装夹带倾斜角度支管壳体主、侧法兰的高效加工 赵志刚等  
High efficiency machining of main and side flange of inclined angle branch shell with one clamping
- 68 循环水泵机械密封轴的车削加工 周德华  
Turning of mechanical seal shaft of circulating water pump
- 70 矿用轴承前端盖工艺分析及夹具设计 朱晓慧等  
Process analysis and fixture design of bearing front cover for mining machine
- 73 面向飞机装配自动制孔系统研究现状分析 唐 越等  
Analysis on the present situation of automatic hole making system for aircraft assembly
- 77 高速精密加工中心进给系统并联恒温控制装置设计应用 刘春梅  
Design and application of parallel constant temperature control system for high speed precision machining center of feeding system
- 79 消除曲轴轴颈表面麻点 朱万奇等  
Elimination of surface pockmarks of crankshaft journal
- 81 半圆键加工及提高键槽铣刀修磨次数的解决方案 黄永辉等  
Solution for semi-circular key of machining and increasing the grinding number of milling tools
- 83 设备与零件系统对断丝锥问题的影响及各类攻丝刀柄的应用 华 斌  
Influence of equipment and parts system on broken tap problem and application of all kinds of tapping handle
- 87 基于零件表面刻度线加工工艺的探索研究 张永涛等  
Research on machining process based on surface scale of parts

### 海外市场 Overseas Market

- 89 智能技术驱动未来生产  
——来自EMO2019的报道(中) 穆东辉 娄晓钟  
The comprehensive report from EMO2019

### 品牌故事 Brand Story

- 99 是时候采购一台蔡司SPECTRUM了 蔡司  
It's time to purchase a ZEISS SPECTRUM
- 29 广告索引 Advertisers Index  
资讯(19、23、26、50、56、80、82)



# 学习贯彻习近平总书记在企业家座谈会上的重要讲话精神

中国机床工具工业协会 毛予锋

7月31日，中国机床工具工业协会党支部开展学习活动，协会党支部书记毛予锋讲授专题党课，学习贯彻7月21日习近平总书记在企业家座谈会上的重要讲话精神。以下为专题党课主要内容。

协会上下要深刻理解习近平总书记在企业家座谈会上的讲话内容，正确领会其精神实质，将对我们开展行业工作起到战略指引作用，是我们明确工作方向、确定工作重点和重点任务、找准工作定位和着力点的根本遵循。

习总书记强调，改革开放以来，我国逐步建立和不断完善社会主义市场经济体制，市场体系不断发展，各类市场主体蓬勃成长。新冠肺炎疫情对我国经济和世界经济产生巨大冲击，我国很多市场主体面临前所未有的压力。市场主体是经济的力量载体，保市场主体就是保社会生产

力，要千方百计把市场主体保护好，激发市场主体活力。弘扬企业家精神，推动企业发挥更大作用，实现更大发展，为经济发展积蓄基本力量。

会议指出，市场主体是我国经济活动的主要参与者，就业机会的主要提供者，技术进步的主要推动者，在国家发展中发挥着十分重要的作用。会议强调，要扎实做好“六稳”工作，落实“六保”任务，各地区各部门出台了一系列保护支持市场主体的政策措施，要加大政策支持力度，激发市场主体活力，使广大市场主体不仅能够正常生

存，而且能够实现更大发展。

“六稳”是2018年8月的政治局会议上提出的，分别是稳就业、稳金融、稳外贸、稳外资、稳投资、稳预期。

“六保”是2020年4月17日在政治局会议提出的，分别是保居民就业、保基本民生、保市场主体、保粮食能源安全、保产业链供应链稳定、保基层运转。“六保”是阶段目标、具体要求、重要举措，是宏观调控的着力方向，划定了经济安全的生命线。一要落实好纾困惠企政策；二要打造市场化、法治化、国际化营商环境；三要构建亲清政商关系。

会议指出，企业家要带领企业战胜当前的困难，走向更加辉煌的未来，就要弘扬企业家精神，在爱国、创新、诚信、社会责任和国际视野等方面不断提升自己，努力成为新时代构建新发展格局、建设现代化经济体系、推动高质量发展的生力军。为国担当、为国分忧，做创新发展的探索者、组织者、引领者，诚信守法的表率，承担社会责任，携手渡过难关。立足中国，放眼世界，在更高水平的对外开放中实现更好发展。

习近平强调，在当前保护主义上升、世界经济低迷、全球市场萎缩的外部环境下，我们必须集中力量办好自己的事，充分发挥国内超大规模市场优势，逐步形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局，提升产业链供应链现代化水平，大力推动科技创新，加快关键核心技术攻关，打造未来发展新优势。

以国内大循环为主体，绝不是关起门来封闭运行，而是通过发挥内需潜力，使国内市场和国际市场更好联通，更好利用国际国内两个市场、两种资源，实现更加强劲可持续的发展。从长远看，经济全球化仍是历史潮流，各国分工合作、互利共赢是长期趋势。我们要站在历史正确的一边，坚持深化改革、扩大开放，加强科技领域开放合作，推动建设开放型世界经济，推动构建人类命运共同体。

下面我就习近平总书记强调的一些要点，谈谈自己的认识和体会。

### 构建国内国际双循环相互促进的新发展格局

“国内大循环为主体，国内国际双循环相互促进”是习近平总书记在今年两会期间讲过的话，在政协会议会见经济界委员时强调过，于2020年5月14日中央政治局常委会会议上首次提出。主要考虑是：当今世界正经历百年未有之大变局，新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起。以前，在经济全球化深入发展的外部环境下，市场和资源“两头在外”对我国经济快速发展发挥了重要作用。目

前，由于国际交往受限、不稳定，要在不确定的世界环境中谋求发展。在当前保护主义上升、世界经济低迷、全球市场萎缩的外部环境下，我们必须充分发挥国内超大规模市场优势，通过繁荣国内经济，畅通国内大循环为我国经济发展增添动力，带动世界经济复苏。要提升产业链供应链现代化水平，大力推动科技创新，加快关键核心技术攻关，打造未来发展新优势。

这是党中央审时度势，明确提出坚定实施扩大内需战略，这是应对疫情冲击的需要，是保持我国经济长期持续健康发展的需要，也是满足人民日益增长的美好生活需要。

我国经济的优势就是内部可循环。前提条件是：①拥有全球最完整、规模最大的工业体系，强大的生产能力，完善的配套能力；②拥有1亿多市场主体和1.7亿多受过高等教育或拥有各类专业技能的人才；③还包括4亿多中等收入群体在内的14亿人口所形成的超大规模内需市场；④我国正处于新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化快速发展阶段，投资需求潜力巨大。

我国社会主义基本经济制度，既有利于激发各类市场主体活力、解放和发展社会生产力，又有利于促进效率和公平有机统一、不断实现共同富裕。因此，我们要牢牢把握扩大内需这一战略基点，使生产分配、流通、消费各环节更多依托国内市场实现良性循环，明确供给侧结构性改革的战略方向，促进总供给和总需求在更高水平上实现动态平衡。

要加快构建完整的内需体系，大力推进科技创新及其他各方面创新，加快推进数字经济、智能制造、生命健康、新材料等战略性新兴产业，形成更多新的增长点、增长极，逐步形成以国内大循环为主体，国内国际双循环相互促进的新发展格局。

为什么必须执行扩大内需战略？

第一，缓冲全球化受阻带来的贸易保护主义威胁，尤其是疫情导致保护主义更为严重，一些国家推动制造业本地化和区域化政策，中国在面临供应链产业链转移压力的同时，还受到科技脱钩威胁，威胁中国供应链的安全。

第二，必须以扩大内需帮助形成完整内需体系，补齐供应链产业链短板，维护产业链供应链安全。必须指出的是，这并非是临时应对之策，而是中国长期发展战略，只是在当前形势下得以强化。摆脱出口依赖，推动经济结构的“再平衡”，形成以内需为驱动的发展模式。

满足国内需求不是简单的如何扩大内需以及维护经济运行与增长，而是着眼于内需体系的建立，包括供给侧结构性改革、收入分配改革、金融税务改革、商业消费环境

改革、流通领域改革、知识产权保护等一系列领域的改革，从而构建完整的内需体系。

“双循环”是指以内循环为主体，内外循环互促的新发展格局。内循环是基础：包括产业循环、市场循环、经济社会循环等。对双循环最新概念和最新判断的认识，目前有两种代表性的观点。

一是中央应对疫情以后出现的外部环境变化的一个底线思维，某种程度上也是最坏打算，无奈之举。代表了中央对国际国内经济发展形势最新的，也可说是最为严峻的预判。

二是中央基于国内发展形势，把握国际发展大势做出的重大判断和重要战略选择。既是推动经济高质量发展的现实要求，也是世界百年未有之大变局的主动选择和战略选择。

我认同第二种观点。

### 在双循环发展格局中构建中国供应链配置

无论哪种观点，只有产业链供应链安全有保障，才能构建以内循环为主体的新发展格局。后疫情时代全球化何去何从？在“双循环”的新发展格局构建中，如何思考中国机床工具产业的供应链配置？

我们知道，发展至今的本轮全球化，是二战后美国主导的全球化，是世界各国纷纷积极加入，是主动的全球化。中国1978年改革开放，2001年加入“世界贸易组织”，是主动拥抱世界，积极融入全球化。中国是本轮全球化的最大受益者，逐步改变了世界经济版图。2009年，中国成为世界第一大商品出口国；2010年超过美国，成为全球第一制造业大国；2011年超过日本，成为世界第二大经济体。

本轮经济全球化的过程，中国的产业链供应链已与全球产业链供应链紧密相连。如何保住现有供应链，尤其是如何升级供应链水平，是我们产业界应该思考的一个重大而紧迫的战略问题。

在供应链配置理论方面，我本人较倾向于新供给经济学派的相关理论，主要观点如下：

第一，经济收益是全球经济布局供应链的首要考量，但意识形态也会影响全球化的配置以及全球化下社会和制度结构的转变。

第二，高科技能够主导全球供应链的配置布局，高科技的背后是国际资本。没有资本背书和投资的高科技无法形成产业。

第三，国际资本投资需要权衡的最重要因素有：供应链配置现状（经济全球化）；共同信仰（价值全球化）；

支撑全球化运行秩序的配套因素（规则体系的全球化）。

第四，资本逐利更逐安全，决策的过程艰难而复杂。中国未来能否不被全球供应链边缘化，不仅仅是表象上的经济问题，更是深层次的政治问题。

中国国内供应链配置布局的全球地位，目前水平有两个特征，一是整体上低端供应链优势明显；二是参与高端供应链的部分中下游环节。既拥有劳动密集型的低端供应链全产业链，同时参与资本密集、技术密集的高端供应链的元器件生产（中游参与）以及组装（下游参与）。

中国在低端供应链中占据主导地位，拥有龙头企业、成本优势与广大消费市场是国际资本布局中国的重要原因。低端供应链的特征是技术含量低、资本门槛低、劳动密集、供应链条短。把全供应链做起来相对容易，所以转移搬迁、复制就不会太难，替代性极强，而且关税可能挤掉成本优势，现在已经出现向越南、印度等东南亚转移的趋势，东盟也在分流我们的产业链供应链。

在高端供应链中我国处于中下游位置，受国际资本支配，缺乏主导权，甚至经常被上游企业卡脖子打压。高端供应链中的上游拼的是技术的研发能力、创新能力，技术是决定全球高端供应链配置的最核心要素，没有之一，这是国际资本布局的风向标。以我国目前的技术水平来说，如果完全单纯靠市场自发调解，是无法影响国际高端供应链布局的。因此，以技术突破带动而大力发展高端供应链上游产业，应该成为我国未来供应链布局的一大战略性发力点。

自主研发掌握核心技术，就成为中国制造业向高端供应链攀登的必由之路，这将是一场旷日持久的攻坚战，是一项艰苦卓绝的系统工程，关系到高质量发展的成效。在研发上，我们可以利用“举全国之力”的体制优势，辅之以相关支持政策，同时我们应探索出一条市场化的操作路径和方法。针对此次疫情，全球供应链产业链如何再配置成为一个热点。国内主要有两种看法：一是全球供应链尤其不对应中国消费市场的那部分产能将陆续搬离中国；二是供应链将聚集中国。

我国正在不断推进更高水平的对外开放，比如金融业的对外开放。全球化供应链再配置不仅仅是经济账上的盈利那么简单，后疫情时代我们对价值体系的全球化以及规则体系的全球化要予以高度重视，综合分析，认真研判，积极应对，在制造业升级中完成“双循环”目标。

最后，以习总书记在企业家座谈会上的一句话作为对我们工作的要求和鞭策：“集中力量办好自己的事”。□

# 2020年上半年机床工具行业经济运行情况分析

中国机床工具工业协会信息统计部

2020年上半年，新冠疫情成为影响我国经济社会的最突出事件，机床工具行业也因此受到严重影响。1~2月主要经济指标大幅下滑，在疫情防控迅速取得战略性成果，企业生产经营陆续恢复的背景下，3月后主要经济指标逐月转好，5、6月回稳向好的趋势趋于明朗。

截至2020年6月，我国机床工具行业年营业收入2000万元以上的“规模以上企业”（下称“规上企业”）共5613家，比2019年12月减少97家。这5613家企业在八个分行业的分布是：金属切削机床813家（占14.5%），比2019年12月减少3家；金属成形机床532家（占9.5%），比2019年12月减少18家；工量具及量仪731家（占13.0%），比2019年12月增加16家；磨料磨具1948家（占34.7%），比2019年12月增加1家；机床功能部件及附件357家（占6.3%），比2019年12月减少25家；铸造机械470家（占8.4%），比2019年12月减少51家；木竹材加工机械127家（占2.3%），比2019年12月减少21家；其它金属加工机械635家（占11.3%），比2019年12月增加4家。

## 一、主要经济指标完成情况

### 1. 营业收入

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业2020年1~6月累计完成营业收入2946.6亿元，同比降低7.6%，比全国规模以上工业企业完成营业收入同比降幅（5.2%）大2.4个百分点。今年1~2月、1~3月、1~4月和1~5月累计完成营业收入同比分别为-25.4%、-20.8%、-12.9%和-9.4%，降幅逐月明显收窄；从各月当月完成营业收入情况看，3月、4月、5月、6月完成营业收入同比分别为-19.0%、-5.6%、2.5%、-1.1%，月度同比的向好变化更加明显。

分行业看，金属切削机床行业1~6月累计完成营业收入

442.5亿元，同比降低9.3%，降幅较今年1~3月同比降幅（-33.3%）收窄24个百分点；金属成形机床行业1~6月累计完成营业收入275.8亿元，同比降低11.7%，降幅较今年1~3月同比降幅（-30.2%）收窄18.5个百分点；工量具及量仪行业1~6月累计完成营业收入375.3亿元，同比降低12.6%，降幅较今年1~3月同比降幅（-21.4%）收窄8.8个百分点；磨料磨具行业1~6月累计完成营业收入1067.8亿元，同比降低4.2%，降幅较今年1~3月同比降幅（-9.4%）收窄5.2个百分点。数据显示，虽然以上各分行业今年1~6月累计完成营业收入仍同比降低，但同比降幅比今年1~3月均有大幅收窄，生产经营稳步恢复。

2020年1~6月机床工具行业营业收入完成及同比变动情况详见图1。

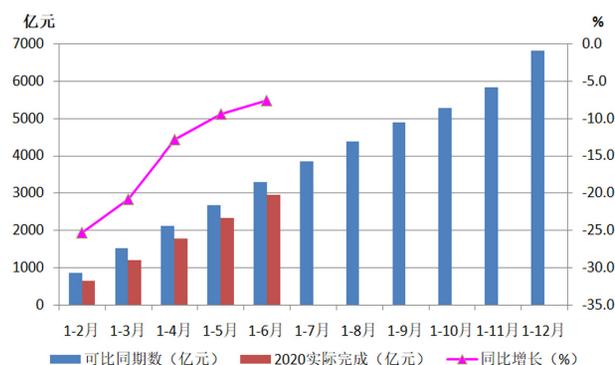


图1 机床工具行业营业收入完成及同比变动情况（国统局）

图2为2020年1~6月份营业收入同比变化与2019年及2018年主营业务收入同比变化的对比。由图可见，2018年全年保持了同比增长，2019年除1~3月、1~4月为同比增长之外，其余各月均为累计同比降低。2020年1~6月营业收入同比变化曲线虽仍处于下行区间，但降幅逐月明显收窄。

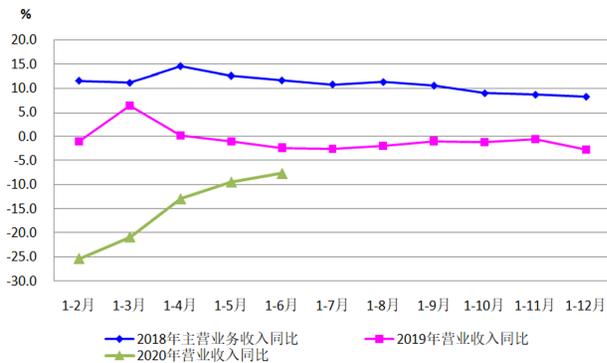


图2 机床工具行业营业收入增速同比变化 (国统局)

注：2018年前国统局采用“主营业务收入”指标，2019年后变更为“营业收入”。

中国机床工具工业协会重点联系企业2020年1~6月累计完成营业收入同比降低11.5%，降幅较今年1~3月(-29.9%)收窄18.4个百分点。

今年1~2月、1~3月、1~4月和1~5月累计完成营业收入同比分别为-29.5%、-29.9%、-21.1%和-16.1%，降幅逐月明显收窄；从各月当月完成营业收入情况看，3月、4月、5月、6月完成营业收入同比分别为-30.3%、4.1%、2.9%、9.8%，月度同比的向好变化更加明显。其中，4月后连续三个月当月完成营业收入同比已经明显增长。

分行业看，金属切削机床行业1~6月累计完成营业收入同比降低6.2%，降幅较今年1~3月(-32.4%)收窄26.2个百分点；金属成形机床行业累计完成营业收入同比降低21.6%，降幅较今年1~3月(-36.9%)收窄15.3个百分点；工量具行业累计完成营业收入同比降低12.8%，降幅较今年1~3月(-29.8%)收窄17个百分点；磨料磨具行业累计完成营业收入同比降低16.4%，降幅较今年1~3月(-23.5%)收窄7.1个百分点。

数据显示，协会重点联系企业与国统局数据展现出的营业收入同比降幅逐月收窄趋势完全一致。

## 2. 利润总额

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业2020年1~6月累计实现利润总额158.3亿元，同比降低2.5%，比全国规模以上工业企业实现利润总额同比降幅(12.8%)小10.3个百分点。今年1~2月、1~3月、1~4月和1~5月实现利润总额同比分别为-42.7%、-31.3%、-12.4%、-6.3%。由此可见，今年以来累计实现利润总额的同比降幅在逐月明显收窄。

分行业看，金属切削机床行业1~6月累计实现利润总额14.3亿元，同比增长52.4%，今年1~3月为亏损0.7亿元；金属成形机床行业1~6月累计实现利润总额11.7

亿元，同比降低16.7%，降幅较今年1~3月(-71.9%)收窄55.2个百分点；工量具及量仪行业1~6月累计实现利润总额31.5亿元，同比降低3.0%，降幅较今年1~3月(-16.2%)收窄13.2个百分点；磨料磨具行业1~6月累计实现利润总额51.6亿元，同比降低8.1%，今年1~3月为同比增长1.5%。数据显示，金属切削机床、金属成形机床、工量具及量仪行业今年1~6月累计实现利润总额同比情况，均较今年1~3月都有明显改善。

2020年1~6月机床工具行业实现利润总额及同比增长情况详见图3。

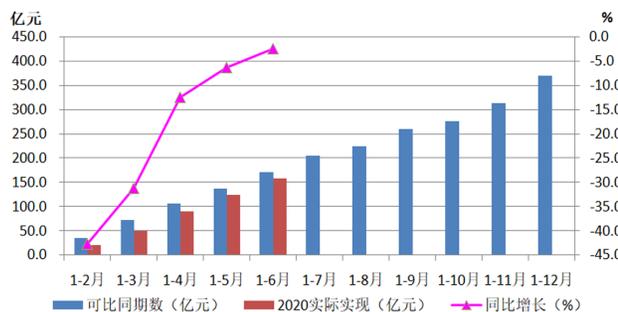


图3 机床工具行业利润总额实现及同比变动情况 (国统局)

图4为2020年1~6月份机床工具行业利润总额同比变化与2019、2018两年利润总额同比变化的对比。由图可见，2018年全年各月利润总额累计同比始终保持增长，2019年各月利润总额累计同比均为降低。2020年以来各月累计实现利润总额仍同比降低，但降幅在逐月明显收窄。

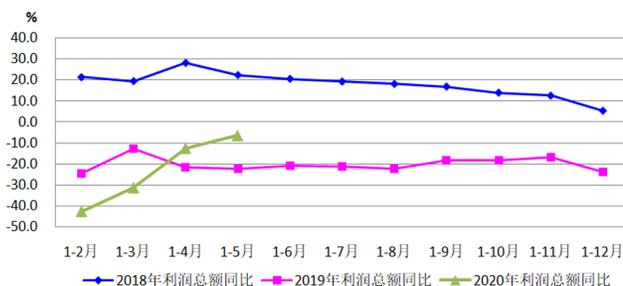


图4 机床工具行业利润总额增速同比变化 (国统局)

协会重点联系企业2020年1~6月累计实现利润总额同比降低31.7%，降幅较今年1~3月(-96.6%)收窄64.9个百分点。其中金属切削机床行业盈利0.1亿元，上年同期为亏损0.3亿元，今年一季度为亏损3.37亿元；金属成形机床行业累计实现利润总额同比降低55.8%，降幅较今年1~3

月(-81.3%)收窄25.5个百分点;工量具行业累计实现利润总额同比增长19.0%,增幅较今年1~3月(0.1%)扩大18.9个百分点;磨料磨具行业累计实现利润总额同比降低45.2%,降幅较今年1~3月(-25.6%)扩大19.6个百分点。

协会重点联系企业和国统局的利润总额同比变动趋势总体上相同,金属切削机床行业今年首次实现盈利。但磨料磨具行业利润总额降幅有所扩大。

### 3. 亏损企业比例

根据国统局规上企业统计数据,2020年1~6月机床工具行业亏损企业1350家,亏损面为24.1%,比今年1~3月(34.8%)收窄10.7个百分点。其中,金属成形机床行业亏损面最大,为32.3%,比今年1~3月(41.8%)收窄9.5个百分点;金属切削机床行业亏损面为31.0%,比今年1~3月(49.9%)收窄18.9个百分点;工量具及量仪行业亏损面为18.3%,比今年1~3月(30.9%)收窄12.6个百分点;磨料磨具行业亏损面为22.4%,比今年1~3月(28.0%)收窄5.6个百分点。以上各分行业亏损面均比今年1~3月明显收窄,但值得注意的是,金属成形机床亏损面居第一位,是近年来未出现过的现象。

2020年1~6月,协会重点联系企业中亏损企业占比为34.4%,较今年1~3月亏损面(41.4%)收窄7个百分点。其中,金属切削机床行业亏损面为39.8%,较今年1~3月亏损面(50.0%)收窄10.2个百分点;金属成形机床行业亏损面为37.0%,较今年1~3月亏损面(30.8%)扩大6.2个百分点;工量具行业亏损面为25.0%,较今年1~3月亏损面(38.2%)收窄13.2个百分点;磨料磨具行业亏损面为21.7%,较今年1~3月亏损面(22.7%)收窄1个百分点。

国统局数据和协会重点联系企业数据表明,机床工具行业及其多数分行业今年上半年比一季度亏损面明显收窄,行业企业经营状况有所改善。

### 4. 金属切削机床和金属成形机床产量

根据国统局规上企业统计数据,1~6月累计,金属切削机床产量20.5万台,同比降低7.9%,比今年1~3月同比降幅(-29.6%)收窄21.7个百分点,其中数控金属切削机床产量7.8万台,同比降低10.7%,比今年1~3月同比降幅(-36.0%)收窄25.3个百分点。金属成形机床产量9.1万台,同比降低27.1%,比今年1~3月同比降幅(-25.8%)扩大1.3个百分点,其中数控金属成形机床产量0.7万台,同比降低23.2%,比今年1~3月同比降幅(-32.3%)收窄9.1个百分点。由上可见,除金属成形机床产量同比降幅比

今年1~3月略有扩大外,金属切削机床、数控金属切削机床和数控金属成形机床产量同比降幅均比今年1~3月时有明显收窄。

图5为国统局机床工具行业金属加工机床产量变动情况。

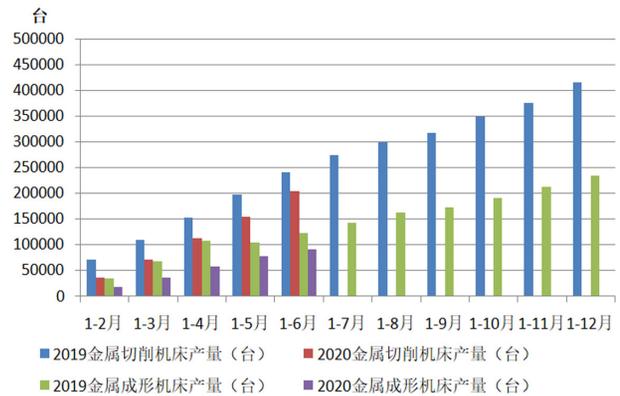


图5 金属加工机床产量变动情况 (国统局)

图6为2020年1~6月金属切削机床累计产量同比变化与2019、2018两年累计产量同比变化的对比。由图可见,2018年金属切削机床产量累计同比全年始终为同比增长。2019年除1~3月累计同比增长外,其他各月累计同比均为降低,且降低幅度呈逐月加大趋势。2020年1~6月金属切削机床产量虽仍同比降低,但降幅逐月收窄。

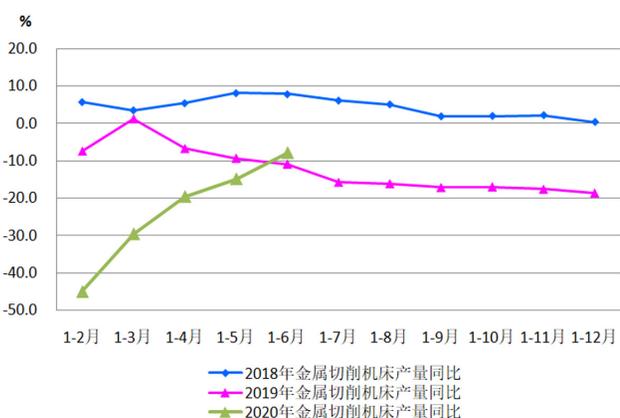


图6 金属切削机床产量增速同比变化 (国统局)

图7为2020年1~6月金属成形机床累计产量同比变化与2019、2018两年累计产量同比变化的对比。2018年金属成形机床产量累计同比自1~3月后就进入下行区间,2019年延续了上年下行趋势。2020年1~6月累计产量仍同比下降,5月前降幅逐月收窄,但1~6月出现了降幅扩大。

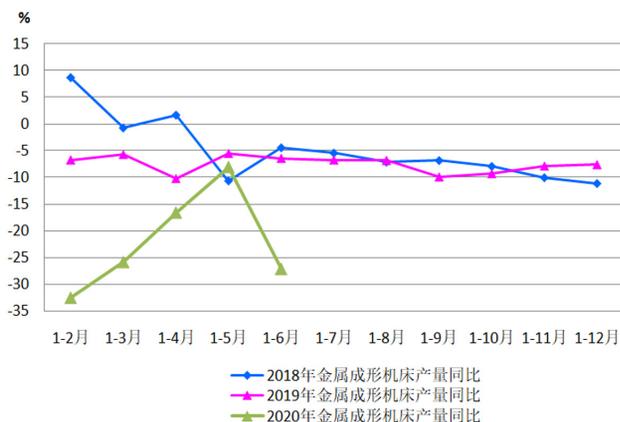


图7 金属成形机床产量增速同比变化 (国统局)

协会重点联系企业2020年1~6月累计，金属切削机床产量同比下降2.5%，较今年1~3月同比降幅（-29.8%）收窄27.3个百分点；金属成形机床产量同比下降13.8%，较今年1~3月同比降幅（-37.4%）收窄23.6个百分点。大体上与国统局数据变化趋势一致。

## 5. 金属加工机床订单情况

根据协会对重点联系企业金属加工机床订单情况的统计，2020年1~6月金属加工机床新增订单同比增长8.0%，1~3月为同比下降4.0%；在手订单同比下降1.5%，降幅比1~3月（-8.5%）收窄7个百分点。金属加工机床新增订单已连续两月呈同比增长，在手订单降幅自年初以来逐月收窄。其中，金属切削机床新增订单同比增长11.9%，在手订单同比增长11.7%；金属成形机床新增订单同比下降0.2%，在手订单同比下降25.9%。金属切削机床需求出现恢复性增长，但金属成形机床市场需求仍偏弱。

## 6. 产成品存货

根据国统局规上企业统计数据，机床工具行业2020年6月末产成品存货同比增长3.8%，比今年1~3月（6.2%）降低2.4个百分点。其中，金属切削机床行业产成品存货同比降低2.8%，金属成形机床行业产成品存货同比增长12.1%，工量具及量仪行业产成品存货同比降低1.1%，磨料磨具行业产成品存货同比增长19.7%。

协会重点联系企业2020年6月末产成品同比增长8.0%，比今年3月末降低1.5个百分点。其中，金属切削机床同比降低6.7%，金属成形机床同比降低0.7%，工量具产成品存货同比增加3.0%，磨料磨具行业产成品存货同比增长3.5%。

国统局和协会重点联系企业产成品存货同比变化趋势不尽相同，但相对今年1~3月库存都有所下调。

## 二、进出口情况

### 1. 总体情况

随着国内疫情形势向好及一系列稳外贸政策措施效应的持续释放，今年3月以来进出口逐步回稳。根据中国海关提供的数据，2020年上半年机床工具进出口总额122.7亿美元，同比下降12.3%，降幅较一季度收窄3.8个百分点。其中，进口58.6亿美元，同比下降15.7%，降幅较一季度收窄5.6个百分点；出口64.0亿美元，同比下降8.9%，降幅较一季度收窄1.7个百分点。

2020年1~6月份机床工具产品进口和出口情况分别见图8、图9。



图8 机床工具产品进口额 (累计值)

在进口结构方面，金属成形机床下降幅度最大，同比下降达38.4%。金属切削机床、数控装置、量具量仪同比下降在20%以上，下降趋势也较显著。进口企业中，外资企业（含港澳台）占比最高（54.0%），同比下降速度（-22.7%）也最快；私人企业占比29.3%，同比下降4.5%；国有企业占比16.5%，同比下降5.7%。



图9 机床工具产品出口额 (累计值)

在出口结构方面，金属成形机床下降幅度最大，同比下降28.8%。金属切削机床、量具量仪同比下降在20%

以上。出口企业中，私人企业占比最高（67.4%），同比略有下降（2.1%）；外资企业占比24.8%，同比下降20.0%；国有企业占比7.7%，同比下降22.1%。

2020年上半年机床工具进出口保持了自2019年6月以来的顺差态势，贸易顺差为5.4亿美元。呈现贸易顺差的有金属成形机床（0.4亿）、木工机床（6.1亿美元）、切削刀具（5.5亿美元）、量具量仪（0.04亿美元）、磨具磨料（8.2亿美元）、铸造机（0.1亿美元）六个商品领域（见表1）。

**表1 2020年上半年主要产品类别进出口情况**

序号	项目	进口金额 (亿美元)	同比 (%)	出口金额 (亿美元)	同比 (%)
1	金属切削机床	24.1	-20.4	17.2	-20.3
2	金属成形机床	4.9	-38.4	5.3	-28.8
3	数控装置	5.7	-23.4	9.3	58.0
4	切削刀具	6.9	-18.6	12.4	-14.8
5	量具量仪	0.7	-28.7	0.7	-21.2
6	磨料磨具	2.9	-1.1	11.1	-9.1

由于当前疫情在全球蔓延，世界经济严重衰退，国际贸易和投资萎缩，国际政治环境错综复杂，外贸面临的不确定因素增多，下半年机床工具行业的进出口形势依然严峻。

## 2. 金属加工机床进出口情况

2020年上半年金属加工机床进出口呈较大幅度下降趋势，但降幅比一季度有所收窄。

金属加工机床进口额29.0亿美元，同比下降24.1%，降幅较一季度（-32.3%）收窄7.1个百分点。其中，金属切削机床进口额24.1亿美元，同比下降20.4%，降幅较一季度（-27.4%）收窄7个百分点；金属成形机床进口额4.9亿美元，同比下降38.4%，降幅较一季度（-48.5%）收窄10.1个百分点。

金属加工机床出口额17.2亿美元，同比下降20.3%，降幅较一季度（-23.5%）收窄3.2个百分点。其中，金属切削机床出口额11.9亿美元，同比下降15.8%，降幅较一季度（-20.5%）收窄4.7个百分点；金属成形机床出口额5.3亿美元，同比下降28.8%，降幅较一季度（-29.0%）收窄0.2个百分点。

### （1）金属加工机床进口来源前三位的国家和地区

2020年上半年金属加工机床进口来源国家和地区中，与今年一季度相同，日本、德国和中国台湾依次占居前三位，三者金额合计占比高达70%以上。从这三个国家和地区进口的金额同比都明显降低，其中德国降低幅度最大，达35.6%（详见表2）。

**表2 2020年上半年金属加工机床进口来源前三位的国家和地区**

排序	国别（地区）	进口金额（亿美元）	同比(%)	占比(%)
1	日本	9.8	-13.4	33.8
2	德国	7.3	-35.6	25.0
3	中国台湾	3.4	-16.9	11.7

### （2）金属加工机床出口去向前三位的国家和地区

2020年上半年金属加工机床出口去向国中，越南、美国 and 印度依次占居前三位。因对印度出口同比下降幅度较大（-47.1%），从一季度的第二位退居第三位，美国从第三位升至第二位。这三个国家的金额及占比差距不大，三者占比合计为25.2%（详见表3）。

**表3 2020年上半年金属加工机床出口去向前三位的国家和地区**

排序	国别（地区）	出口金额（亿美元）	同比(%)	占比(%)
1	越南	1.9	-12.4	11.3
2	美国	1.3	-10.3	7.4
3	印度	1.1	-47.1	6.5

### （3）进口金额排前五位的金属加工机床品种

2020年上半年进口前五位品种与今年一季度相同，在顺序上磨床和特种加工机床互换了位置，这五个品种合计进口金额占比将近75%，其中加工中心占比最大（29.3%）。各品种均同比下降，其中加工中心和车床下降超过20%，特种加工机床同比降幅由一季度的11.3%收窄到2.9%，特种加工机床的进、出口均与去年同期接近持平（详见表4）。

**表4 2020年上半年进口金额排前五位的金属加工机床品种**

排名	金属加工机床品种	进口金额 (亿美元)	同比 (%)	占比 (%)
1	加工中心	8.5	-24.2	29.3
2	特种加工机床	4.8	-2.9	16.4
3	磨床	4.4	-17.8	15.2
4	车床	2.4	-26.5	8.4
5	齿轮加工机床	1.4	-9.8	5.0

### （4）出口金额排前五位的金属加工机床品种

2020年上半年出口前五位的品种及其顺序与今年一季度相同，这五个品种合计出口金额占比达60%以上，其中特种加工机床占比最大（31.4%）。除特种加工机床为略增以外，其他品种均有较大幅度的同比下降（详见表5）。

表5 2020年上半年出口金额排前五位的金属加工机床品种

排名	金属加工机床品种	出口金额 (亿美元)	同比 (%)	占比 (%)
1	特种加工机床	5.4	0.4	31.4
2	车床	1.8	-29.4	10.6
3	成形折弯机	1.3	-17.6	7.8
4	其他成形机床	1.0	-40.0	5.6
5	加工中心	0.9	-22.1	5.2

### 三、2020年上半年行业运行特点

#### 1. 主要经济指标回稳向好，但总体仍处于低位

随着统筹防疫和发展政策显效发力，3月以后机床工具行业运行逐步回稳向好。机床工具行业营业收入累计值同比降幅逐月收窄，5月的月度值同比由负转正，6月的月度值同比略降；利润总额累计值同比降幅也逐月收窄，4、5、6月份的月度值已由负转正。但主要经济指标累计值仍同比降低，总体仍处于低位运行状态。

#### 2. 金属切削机床行业出现向好变化

受到在新冠疫情后国家强力的投资政策拉动，金属切削机床自2018年5月以来持续明显下行之后，今年3月份以来运行情况明显好转。主要体现在：该行业今年上半年实现利润总额同比增长52.4%，协会重点联系企业中金属切削机床行业今年上半年实现自2018年下半年以来的首次盈利；金属切削机床新增订单和在手订单双双同比增长；在全行业亏损面收窄10.7个百分点背景下，该行业亏损面比一季度收窄18.9个百分点。

需要说明的是，金属切削机床行业今年上半年实现利润总额的同比增幅较高，主要原因一是去年基数低，二是政策性因素影响，并且今年1~6月该行业利润率仅为3.2%，仍处于很低水平。

#### 3. 金属成形机床行业走势偏弱

2018年下半年机床工具行业总体下行后，金属成形机床行业运行一直比较平稳，但今年以来该行业明显偏弱。主要表现在：在全行业1~6月实现利润总额同比降幅为2.5%的背景下，该行业同比降幅为16.7%；该行业亏损面32.3%，近年来首次列各分行业之首；新增订单和在手订单同比双双降低，尤其是在手订单下降达25.9%；在金属切削机床产量降幅比一季度收窄21.7个百分点情况下，金属成形机床产量降幅比一季度末扩大1.3个百分点；金属成形机床进口降幅近40%，为金属切削机床降幅的2倍；出口降幅近30%，为金属切削机床降幅的近1.5倍；产成品存

货同比增幅较大（12.1%）。

除投资和出口同比下降的影响之外，今年上半年受新冠疫情严重影响，生活消费领域的需求受到抑制，也是金属成形机床行业运行偏弱的原因之一。

## 四、近期行业形势研判

### 1. 有利因素

(1) 我国新冠疫情防控取得战略性成果，宏观经济迅速得到恢复

上半年我国国内生产总值（GDP）同比下降1.6%。其中一季度同比下降6.8%，二季度同比增长3.2%，实现V型反弹。当前在疫情冲击下，世界经济出现深度衰退，国际货币基金组织预测今年世界经济将下降4.9%，世界银行预测全球经济将下降5.2%，在世界主要经济体中只有中国能够实现正增长。

(2) 以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局有利于激发国内市场需求

7月30日中央政治局会议提出，加快形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。在这一新发展格局下，国家将加大投资和需求拉动的力度，我国超大规模市场的优势将进一步展现。与此同时，国内机床工具市场需求有望获得增长。二季度以来工程机械、农机、内燃机、清洁能源、商用车等领域市场需求的增长就是有力的证明。

(3) 各级政府密集出台和落实系列经济振兴政策

在政策层面，从中央到地方各级政府在加大“六稳”工作力度基础上，大力推进“六保”各项任务的落实，全方位密集出台了多项拉动市场需求、减轻企业负担等促进经济社会发展的政策措施，力度之大前所未有的，企业经营环境不断优化，企业家对发展前景信心增强。

(4) 制造业采购经理指数连续5个月保持在荣枯线以上

自3月以来，制造业采购经理指数 PMI 一直在荣枯线以上，7月份为 51.1%。3月以来从我国宏观经济到机床工具行业的强劲恢复，都验证了PMI指数的先行导向作用。

### 2. 不利因素

(1) 宏观经济环境改善，但行业运行压力仍较大

首先是新冠疫情对市场和生产经营的影响还远未结束，并且会对行业发展格局产生深刻影响。截至6月中旬，规模以上工业企业基本全面开工，68.4%的企业达到正常生产水平的八成以上，离完全恢复正常生产经营还有相当差距。其次从投资、消费、外贸三大需求拉动因素

看, 1~6月全国固定资产投资同比下降3.1%, 其中工业投资同比下降7.4%, 设备工器具投资同比下降13.9%; 1~6月社会消费品零售总额同比下降11.4%; 1~6月全国外贸进出口同比下降3.2%, 机床工具行业进出口总额同比下降12.3%。由此可见, 机床工具行业下半年发展环境仍比较严峻。

#### (2) 贸易保护主义及逆全球化思潮抬头

国际上贸易保护主义盛行, 叠加新冠疫情在全球恶性蔓延, 使全球经济复苏受阻, 对我国经济发展带来重大影响。机床工具行业的贸易、生产物流、商务活动也受到很大限制。机床工具的供应链受到很大影响, 特别是对高端关键配套件依赖进口的企业形成较大冲击。同时, 这也倒逼企业加快国内配套能力的提升。

#### (3) 主要市场需求仍未走出低谷

汽车制造业是机床工具行业最大市场, 该行业今年4月以来有所回升, 但1~6月汽车产销同比仍分别下降16.8%和16.9%, 且作为比较基准的上年同期已经处于同比大幅度下降区间。此外, 蓬勃发展的新能源汽车对机床的需求量比燃油汽车小得多。但商用车今年1~6月累计产销同比分别增长9.5%和8.6%, 应引起关注。

#### (4) 企业资金压力加大, 流动性不足

由于疫情影响, 企业的市场活动和生产经营长时间停滞, 但固定支出仍持续发生, 另一方面疫情之下销售回款

更为困难, 今年1~6月机床工具行业应收账款同比增长12.6%, 比上年12月扩大6.4个百分点, 进一步加大了企业的资金压力。

#### (5) 全球机床产业处于下行通道

据美国加德纳公司发布的《2019年全球机床调查》, 全球机床消费总额是821亿美元, 比2018年降低13.8%。在15个主要机床生产国或地区中有12个同比下降。该报告预计, 2020年全球机床市场消费额可能比2019年再下降15%左右。

据报道, 美国截至2020年5月的机床订单为13亿美元, 同比下降45%。德国机床行业2020年第一季度订单比去年同期下降了25%。来自德国国内的订单减少了22%。来自国外的订单减少了27%。日本2020年6月机床订单额为672.34亿日元, 同比减少32%。其中, 国外订单占订单总额60%, 同比减少28.4%。

从上述全球和主要机床生产国情况看, 今年上半年普遍延续了上年下行趋势, 并受新冠疫情影响, 下行程度有所加剧。

### 3. 对下半年行业形势的预测

综上所述, 我国疫情防控形势持续向好, 各项政策措施逐步显效, 各种积极因素不断积累, 但下半年行业运行持续向好的基础受不确定因素的影响仍较大, 我们预计机床工具行业全年主要经济指标有望与上年持平。□

## 资讯

### 济二张志刚董事长荣获“影响济南”经济人物功勋大奖

7月26日上午, 以“攻坚决胜 扬起龙头”为主题的第十二届“影响济南”经济人物评选颁奖活动在济南龙奥大厦举行, 济南二机床集团有限公司董事长张志刚荣获功勋大奖。山东省常委、济南市委书记孙立成为张志刚颁奖。

“影响济南”经济人物评选活动始于2008年, 已成功举办十二届。本届活动共评选出“影响济南”功勋大奖4名、经济人物24名、特别贡献奖10名、创新人物20名、创业人物20名。

张志刚在发言中讲到, 济南二机床作为一家市属国企, 肩上担负着重任, 将认真贯彻习近平总书记在企业家座谈会上的重要讲话精神以及济南市委十一届十一次全会精神, 继续瞄准“打造国际一流机床制造企业、塑造世界知名品牌”的战略目标奋进。





## 金属3D打印技术与应用

策划人：梅峰

3D打印是一种以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。3D打印通常是采用数字技术材料打印机来实现的。常在模具制造、工业设计等领域被用于制造模型，后逐渐用于一些产品的直接制造，已经有使用这种技术打印而成的零部件。

本期策划重点介绍了金属3D打印技术的发展及应用案例，推动铸造行业变革，以及3D打印与机床行业的融合发展，增减材混合五轴装备情况及应用技术。



# 金属3D打印技术的发展与应用探讨

中国船舶重工集团公司第七二五研究所、河南省船舶及海工装备结构材料技术与应用重点实验室  
李雪峰 潘恒沛 张先锋 王世宁

在智能制造发展的如火如荼的21世纪，增材制造（或3D打印）被赋予了新的内涵，增加了计算机辅助控制，在成形方式、成形精度、表面粗糙度、力学性能等方面得到大幅提升，从而使增材制造技术受到了广泛关注。在这一进程中3D打印或许更形象地描述了零件的成形过程，实际应用当中更加耳熟能详，便将3D打印概念代替了增材制造。

3D打印技术种类繁多并且不断推陈出新，针对不同材质、不同形状的原材料开发出了不同的3D打印工艺，本文重点探讨金属3D打印技术的发展和运用。

## 1. 金属3D打印技术的发展历程

金属3D打印材料的加热方式应用较多的有激光、电子束、等离子束、电弧等，打印材料的形状有粉状、丝状、箔状等。下面主要从金属材料物理冶金学和零件的力学性能角度分析金属3D打印技术的发展历程。

### （1）快速原型阶段

快速原型阶段是3D打印技术的初始研发阶段，通过某种打印技术完成零件的制作，零件的成形精度、基体的致密度较差，通常情况下还无法达到使用性能要求，但就成形方式来说已经具有划时代意义了，例如SLS（选区激光烧结成形技术）。

### （2）致密化阶段

除特殊要求外，绝大多数金属零件都需要满足一定的力学性能才能使用，降低孔隙率、增加致密度是3D打印致密化阶段的首要任务。

实现零件的致密化有两种途径，第一种途径是将原有孔隙率较高的3D打印零件致密化处理，例如华中科技大学科研团队开发的SLS/RP技术，在SLS成形之后增加等静压工艺可将零件的孔隙率降低到百分之几以下；第二种途径是开发新工艺，例如SLM（选区激光熔化成形技术），可以直接获得致密度99%以上的金属零件，很好地提高了零

件的力学性能。

### （3）工艺性能提升阶段

21世纪初，各研究团队为了打印出形状复杂、大型、精密的零件，和继续提升零件的力学性能以达到3D打印零件的实际工程应用付出了诸多努力，也收到了丰硕的成果。

华中科技大学的智能微铸锻铣成形技术、西安铂力特激光立体成形技术，不但在成形技术上有重大突破，而且在零件的力学性能上获得了大幅提升，甚至可以与相同材质的锻件相媲美，开辟了金属3D打印从实验室走向实际工程应用的新时代。

### （4）技术成熟阶段

3D打印技术以其柔性、节能环保、适应性强的优势受到各国政府的青睐，近30年来3D打印技术的发展速度令人瞠目结舌，到目前为止已有大量3D打印零件商用化的案例。空客计划2050年全部采用3D打印技术完成零部件的生产，4D打印技术的开发等都为3D打印技术描绘了美好的未来，随着众多科研人员的不断努力，3D打印必将走向成熟，成为机械制造行业的主要成形技术之一。

## 2. 金属3D打印技术的应用

金属3D打印技术已在航空航天、汽车工业、核电、医疗器械等行业得到了广泛应用。

### （1）金属3D打印在航空航天领域的应用

3D打印技术进入航空航天领域是在20世纪80年代，到21世纪初期已有很多成功的应用案例。

2003年波音为F-15战斗机提供3D打印备品备件，并开始商业化开发，目前波音已拥有数万个各种类型的3D打印飞机零件。2010年空客选用了GE生产的安装有3D打印燃油喷嘴的发动机（见图1），2015年成功试飞，并且在同一年获得欧洲航空安全局和美国联邦航空管理局的认证。2017年9月，空客宣布3D打印钛合金零件可以批量化

生产，开启了商用阶段的大门。2018年1月，Sintavia LLC 宣布霍尼韦尔航空航天公司批准生产金属3D打印零件。2018年11月，GE研发的3D打印飞机发动机支架获得美国联邦航空管理局批准应用于飞机制造中。



图1 3D打印立体燃油加热器

2007年北京航空航天大学研制出世界最大的3D打印钛合金主承力构件，并通过不断研究，开发出超高强度飞机起落架等关键构件，成功应用于C919大型客机上。2012年，西北工业大学采用3D打印技术成功打印出C919中央翼缘条，并顺利通过性能测试。

航空航天领域聚集了众多新工艺新材料，3D打印技术在航空航天领域的应用在某种程度代表着3D打印技术的发展水平，因此也是众多学者重点关注的对象。

#### (2) 金属3D打印在医疗领域的应用

金属3D打印技术在医疗行业的应用已趋于成熟，人体植入物是3D打印技术的重点应用领域。

据报道，2014年西京医院完成一例患者3D打印金属锁骨和肩胛骨的植入手术，这是世界第一例相关患者3D打印植入手术。2015年国内外均有报道3D打印金属假体人体植入案例，并且取得了良好的治疗效果。2015年7月22日，我国国家食品药品监督管理总局注册批准3D打印钛合金髌关节的生产，标志着我国3D打印人体植入物进入产品化阶段。

此外，金属3D打印技术在解剖学模型、矫形器械、支架、药品研发、手术模板等方面也有较多的应用。

#### (3) 金属3D打印在汽车领域的应用

3D打印技术在汽车行业发展迅速，2010年以来，从3D打印汽车Urbee开始，到世界上首款3D打印超级跑车刀锋，再到XEV公司设计的第一款量产3D打印电动汽车，世

界各大公司纷纷推出自己的3D打印汽车概念。

2015年，宝马完成500件铝合金3D打印水泵轮的装配（见图2）。2017年大众钛合金3D打印制动钳通过测试，该制动钳可承受125kg/mm的压力，实现了最小重量和最大强度的目标。这种小批量生产和承力构件的制造，是具有里程碑意义的金属3D打印技术在汽车行业的应用案例。



图2 3D打印铝合金水泵轮

3D打印技术在汽车设计阶段缩短研发周期，降低设计成本；生产阶段，制造汽车内饰、外饰、底盘，车身；消费阶段，在汽车修复、零部件供应等方面，都有成功应用的案例。3D打印技术在汽车的新能源、轻量化、个性化、智能化方面的技术优势是得到公认的。

#### (4) 金属3D打印在核电领域的应用

核电领域有关3D打印技术的应用报道较少，令人欣喜的是，2016年中广核就已经在金属3D打印技术上取得突破性进展，成功制造出316L奥氏体不锈钢复杂流道仪表阀阀体。2017年2月3D打印金属制冷机端盖在大亚湾核电站顺利安装并安全运行（见图3），标志着金属3D打印技术在核电领域工程化应用的开始。



图3 3D打印金属制冷机端盖

### 3. 金属3D打印技术的前景展望

20年前，国内各个领域对3D打印技术还知之甚少，10年前人们还在讨论发展3D打印技术的可行性，5年前传统铸锻行业就感到了3D打印高速发展带来的生存危机，由此可见3D打印技术的先进性和发展速度。在人工智能、智能制造火遍全球的时代，3D打印技术必将有广阔的发展空间。

目前，3D打印技术在各行各业都有较多的研究和实际应用，未来的发展进程中做好发展规划将是引领未来制造业的重要举措。

#### (1) 突出优势

3D打印在结构复杂、小批量、个性化产品的生产，零部件修复，备品、备件供应等方面具有得天独厚的技术优势，短期甚至相当长的一段时间内，3D打印与传统铸锻行业还是优势互补态势，而不是取而代之。因此，目前3D打印技术的发展目标应是突出优势，助力高科技产业的发展，既要加大投入，又要循序渐进，保证3D打印的良性和可持续发展。

#### (2) 战略布局

未来3D打印产业化之后，将是一个涉及打印材料、打印设备、成形工艺研发、数据存储、信息传递、产品在线检测、测试表征、安全评价、失效机理研究等众多领域的

完整产业链，在整个链条当中任何一环出现短板，都有可能未来竞争中受制于人。

未来产业格局中3D打印技术或将占有重要地位，哪怕是占有较大的份额，那么当前，部分科研机构和企业都将面临思维模式的转变和生产模式的转型，企业做好战略布局将是在未来经济社会立于不败之地的关键。

#### (3) 标准化

随着3D打印技术的发展与产业化应用，工艺和产品的标准化、相关认证工作、测试表征、安全评价技术等问题将会凸显出来。

在国外，标准化工作开展的较早，2009年以来，美国材料试验协会（ASTM）和国际标准化组织（ISO）都成立了专门的3D打印技术委员会，两个标准化组织强强联手共同开展3D打印的标准制定工作，并在随后的几年里陆续颁布多项关于3D打印技术的标准。标准化工作的及时跟进将有助于3D打印技术的产业化进程，也是3D打印产品占据高端市场的必经之路。

### 4. 结束语

金属3D打印以其独特的成形方式成为最具潜力和发展前景的机械制造技术，在当前是传统制造业的有力补充，在将来可能是制造业的主要成形技术之一，充分发挥好3D打印的技术优势，将是企业提高综合竞争力的有力武器。□

## 资讯

### 以品质赢得用户 烟台环球获千万元订单

6月16日，烟台环球机床装备股份有限公司与某企业签订22台双蜗轮数控转台生产合同，价值2000多万元。



烟台环球研发生产数控转台已有40年的历史，随着客户需求的不断变化进行产品的升级换代，目前有20

多个系列150多个规格品种，最大直径为5m，是航天和军工领域优选品牌。合同的签订得益于烟台环球“超越用户期望，成就员工发展”核心价值观的正确引领。

世界上没有完美无暇的产品，只有不断改进、与时俱进，才能做出让用户满意的好产品。烟台环球时刻把质量放在首位，把用户的需求当作为之奋斗的目标，品质至上，持续改进，通过ISO9001质量体系的认证，不断从源头上对品质控制的每一个环节加强督查，力求为用户创造价值，与用户共同成长。

与该企业合作以来，双方自始至

终在互帮、互学、互谅、互让的基础上坦诚相待，既是合作者，又是相互的用户。在重大技术问题的确定上，该大学多次亲临现场进行指导，烟台环球视其为亲密的战略合作伙伴，建立在双方相互信任基础上的合作才更长久。



# 3D打印快速制造技术推动铸造行业革命性发展

湖北江山重工有限责任公司 陈 垦 郝俊伟  
中国兵器工业增材制造技术创新中心 宋 彬 郭秀军 及晓阳

3D打印技术作为一种增材制造技术，逐渐被大家认知并广泛应用。3D打印突破了先模具再生产的制造模式，直接生产熔模精密铸造蜡模，普通砂铸用砂型、砂芯和金属型等工艺用复杂砂芯，同时也可以直接打印成金属件。众多3D打印直接或间接成型金属零件方法中，3D打印技术与传统铸造业相融合，快速制造低成本铸件，倍受制造业关注。本文介绍几种工业级3D打印和快速制造金属的方法，解决单件样机、中小批量、低成本、短周期铸造件供给问题。3D打印、融合配套技术用于企业的科研和生产具有十分明显的价值，进一步探索和推广应用具有十分重大的意义。

3D打印技术发展至今，已经历半个多世纪，从“快速成型”到“3D打印”再到“增材制造”，从默默无闻到家喻户晓。近十年得到了大家高度重视和飞速发展，3D打印企业、新型打印技术和工艺如春笋般长遍中国大地。

3D打印技术已在工业造型、机械制造、军事、航空航天、建筑、影视、家电、轻工、医学、考古、文化艺术、雕刻、珠宝等领域都得到了广泛应用。高强度塑料、直接成型金属、打印砂、石蜡、陶瓷、ABS、PP、PC、尼龙玻纤、橡胶、铝基合金、铁基合金、镍基、钛合金等都不新鲜了，打印巧克力、药片、眼镜、鞋子等都出现在大家生活中。3D打印技术被誉为推动“工业4.0”和“工业智造2025”关键性技术，推动制造行业发展革命性技术，它将同机器人技术、互联网技术共同改变人类生产生活方式。

3D打印技术已经开始和多种行业进行融合，改变了传统生产工艺流程和方式，改变了大家的对3D打印“科研试制”“小批量”“贵”的负面印象，正积极的研究和广泛应用，本文重点介绍3D打印在铸造业中的融合应用情况。

下面介绍工业级3D打印、铸造融合配套技术和融合应用情况。

## 1. 工业级3D打印、铸造融合配套技术

本文重点介绍SLS、SLA、3DP三种打印技术和铸造融合配套技术。

SLS打印材料是粉末。激光的能量让粉末产生高温和相邻的粉末发生烧结反应连接在一起，通过层叠和选区烧结的过程实现复杂产品的成型。SLS可以说是一种万能技术，只要能制成粉末的材料都能应用。目前用于铸造主要材料有尼龙、PS、EPS、石蜡、覆模砂芯。

SLA是用激光选择性地让需要成型的液态光敏树脂发生聚合反应变硬，通过层叠和选区烧结的过程实现复杂产品的成型。目前主要材料为液态光敏树脂。

3DP采用粉末材料成形，通过喷头用粘接剂(如树脂、硅胶)将零件的截面“印刷”在材料粉末上面，主要材料是树脂砂、石膏、热塑性塑料、陶瓷、金属。

铸造方面主要用法有：

(1) 快速模具生产

尼龙粉成型尼龙件，PS件浸树脂、光敏树脂作为砂铸模具代替木模制作砂型或砂芯，如图1、图2所示。模具特点：表面光滑、尺寸精密好，不易开裂，模具修改方便，模具可实现中等复杂铸型和型芯的铸造，可实现50~100件批次的应用。打印的尼龙件和PS件通过真空铸型机翻制硅胶模具，广泛应用到各种复杂蜡模的生产。

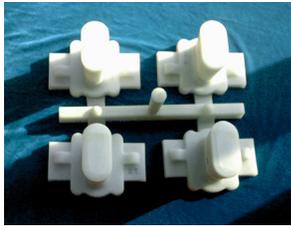


图1 尼龙模具



图2 PS树脂模具

(2) 熔模铸造用蜡模

直接打印蜡件、PS浸蜡制作蜡件、光敏树脂蜡件代替金属模具或硅胶模压制蜡件。打印蜡件特点是无需模具可生成蜡件，蜡件可以是无限制复杂，蜡件的个性化十分强，只与三维数据有关，用于中小批量无模快速铸造和复杂零部件生产中，各种蜡件如图3~图6所示。



图3 复杂叶轮PS蜡件



图4 光敏树脂蜡件



图5 复杂缸盖蜡件



图6 复杂缸体蜡件

(3) 消失模铸造模型

打印EPS制作消失模泡沫，用于消失模铸造工艺，模型与蜡模类似，不同在于，可以在浇注前通过燃烧法去除部分或全部模型，也可以在浇注过程中自身气化去除。EPS泡沫如图7、图8所示。



图7 传动箱EPS泡沫



图8 排气管EPS泡沫

(4) 砂型打印

打印铸造用砂型和砂芯，通过激光烧结或粘结的方法，将硅砂、锆砂、宝珠砂、铬矿砂等制造成砂型和砂芯，通过3D打印可实现任意复杂砂型和砂芯的一体化制造（见图9），同时可根据铸件特点，打印不同换热系数的砂型，实现顺序凝固，大大提高了铸件的尺寸精密和内部质量，如图10所示。



图9 发动机零件砂型和砂芯一体化制造



图10 排气管打印砂型、砂型组装和浇注后零件

2.工业级3D打印、铸造融合配套技术应用

目前，3D打印技术已成功与砂型重力铸造、砂型低压铸造、金属型型芯、熔模精密铸造、消失模铸造等多种铸造方法相融合，正在探索与真空增压铸造、差压铸造、石膏型铸造及砂型与石膏型复合等多种铸造方法进行融合、深度融合。技术可用于生产铝合金、铸钢、铸铁、铸钛及镍基合金等铸件的快速生产，生产速度很快。

3D打印制造与零件复杂程度无关，以中等复杂铸件为例，3D打印与砂型铸造融合，最快1~3个工作日完成铸件毛坯生产，3D打印与硅溶胶熔模精密铸造铸件最快2~5个

工作日；复杂三缸机体和缸盖铸件生产10套也只需要10个工作日。三缸机体和缸盖为3D打印与石膏型真空增压铸造技术融合生产的结果，如图11、图12所示。

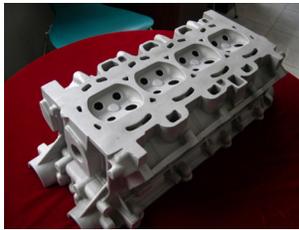


图11 缸盖铸件



图12 缸体铸件

目前，大量叶轮、蜗轮、泵体等为代表的典型不规则曲面铸件的设计和生产企业，不再仅采用模具进行铸件生产，而是通过3D打印和铸造融合的方法生产，铸件设计更加考虑符合流体力学、空气动力学等，打破了以制造为先的设计理念，大大提高了铸件使用寿命和使用效果。叶轮如图13、图14所示。

大量的军工企业，已经不再通过模具法获得铸件毛坯，纷纷选用成熟的3D打印加铸造的方法完成铸件毛坯生产，速度快、低成本、质量优势明显，使得企业产生了强烈的依赖感。很多企业通过学习3D打印技术，利用3D打印制造与零件复杂程度无关的特点，转变了原有以制造为先的设计理念，有效的提高了零件的功能，零件的结构更加精致合理。



图13 铝合金叶轮铸件



图14 合金钢叶轮铸件

### 3.工业级3D打印、铸造融合配套技术的意义

综上所述,3D打印与铸造融合,使复杂铸件快速铸造成为可能,使繁杂的工序变得更加简单,使复杂铸件制造成本更低、周期更短。这项技术已大量应用于汽车、航空航天、兵器等开发密集型行业,并不断延伸到各行各业,对社会生产力提高具有跨时代意义。

3D打印与铸造融合技术将会成为推动“工业4.0”和“工业智造2025”关键性技术,推动制造行业发展革命性技术,它将同其他先进技术共同改变人类生产生活方式。□

#### 参考文献:

- [1] 吴凯,莫志豪,李雪峰,梁建文.基于Geomagic逆向建模的3D打印技术研究[J].模具制造,2018,18(05):73-76.
- [2] 何志明.3D打印技术对产品的影响[J].包装工程,2018,39(10):188-193.
- [3] 尹光辉,陈杭,游俊,夏娟.3D打印技术在工业设计上的研究[J].科教导刊(中旬刊),2018(04):52-54+57.
- [4] 张雨明,吴锐.我国3D打印技术研究及产业化发展现状[J].中国材料进展,2018,37(03):237-240.
- [5] 文小燕.机械制造及自动化中的3D打印技术[J].自动化与仪器仪表,2018(08):174-176.

## 资讯

### 重庆机床高精度数控蜗轮加工机床课题顺利通过验收

2020年6月5日,由重庆机床(集团)有限责任公司牵头承担的国家科技重大专项“WG37125CNC高精度数控蜗轮加工机床”课题在重庆机床集团通过了专家验收。工信部产业发展促进中心石平、重庆市经信委装备处王鹏参加会议,课题验收专家组组长由总体组专家杨京彦研究员担任,重庆机床刘德永董事长、衡德超总经理,重庆大学王时龙副校长及课题组骨干成员参加会议。

会上,刘德永董事长介绍了企业及技术创新情况,曾令万总工程师汇报了课题申报、实施等总体情况。专

家组听取了课题任务及子任务完成情况汇报,对相关资料进行了审查,并对项目成果应用示范现场进行了查验。经质询和讨论,项目综合绩效评价专家组认为该项目完成了研究内容,达到了考核指标要求。



现该WG37125CNC高精度数控蜗轮加工机床作为工作母机在生产现场开展示范应用,可形成高精度蜗轮加工年产能约1000件,加工出的蜗轮精度比重庆机床原有的涡轮加工设备高2级,将生产的高端装备精度提升1-2级。随着精密机床、高精度分度转台、精密减速器等领域的转型升级及快速发展,对高精度蜗轮的数量需求会越来越多,课题研制的高精度数控蜗轮加工机床将在这些领域得到部署和应用推广,为国家重大装备开发、高端装备持续发展奠定坚实基础。

# 增减材混合五轴装备及应用技术

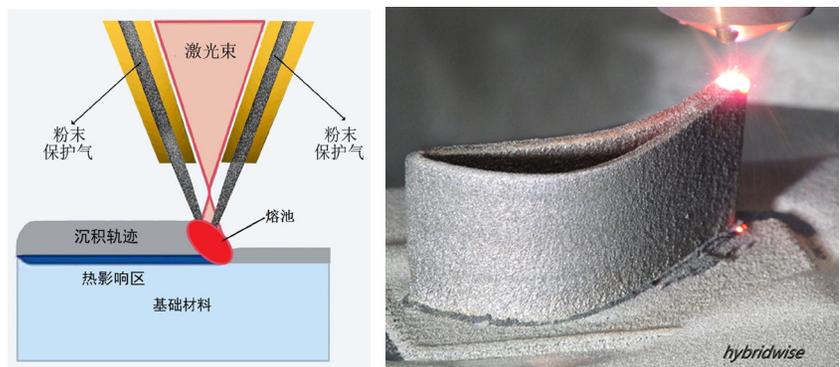
大连三垒科技有限公司 吕建忠

在金属领域由物理方式实现各种形状的制造方法，归纳起来包括等材、减材和增材制造技术。等材制造就是有两千年历史的铸锻造技术，技术特征为材料的受热变形获得接近最终形状的零件。减材制造是有两百年历史的机械加工技术，特征是去除材料，可获得精密形状的零件。增材制造技术融合了信息技术、数字制造技术和材料科学等学科，通过增加材料的方式获得零件。

增材制造技术从20世纪九十年代发明至今，总计不到30年的历史。广义上的金属增材制造技术包括直接能量沉积（DED, Direct Energy Deposition）和粉末床熔融（PBF, Powder Bed Fusion）两种直接成型技术，其中的直接能量沉积技术沉积效率高，装备成本低，适合大型复杂零件的接近最终形状的直接制造，可以得到冶金结合的致密金属实体，适合中大尺寸零件的直接制备、修复和功能梯度材料的开发等用途。

## 1.原理

直接能量沉积技术中的能量来源多种多样，包括激光束、等离子束、电子束、电弧乃至超声波等，其中激光束由于具备能量密度高，功率、波长和光束直径可选择范围广，易于与自动化装备集成等优势，广泛用于增材制造领域（见图1）。



(a) 激光送粉的直接能量沉积原理图 (b) 激光送粉沉积空心叶片

图1

激光作为热源，将粉末或者丝材熔融，在系统运动机构驱动下形成一个平面结构，然后层层堆积，逐步形成三维的几何形状。

## 2.装备

将直接能量沉积技术和传统五轴加工技术融合于一体的混合五轴增材制造技术，不仅很好地发扬各自的优点，还形成了增减混合，边增边减的独特工艺。

精密的五轴联动加工中心是整机性能的保障。三垒科技立式五轴联动加工中心，床身、立柱和滑枕等主要部件均采用高强度铸铁，具有可靠的刚性和吸震性。主要部件结构均经过有限元分析优化，最大限度的保证结构的合理（见图2）。

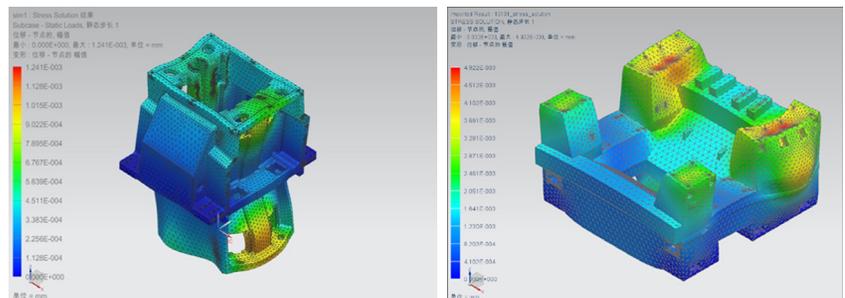


图2

滑枕为四方向导轨，横梁部分为“箱中箱”结构，直线轴双丝杠驱动结构，保证机床长期运转的高精度、高刚性、高稳定性（见图3）。

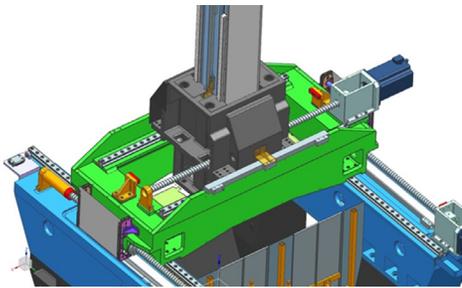


图3

高动态响应性的A、C轴摇篮式转台，形成了高精度五轴联动立式结构。所有的伺服轴均配有德国海德汉光栅尺，保证线性轴定位精度在 $8\mu\text{m}$ ，旋转轴的定位精度在 $5''$ 以内。

SVW80C-3D具有较大的行程（见图4），可打印工件尺寸可达 $800\text{mm} \times 440\text{mm}$ ；配置光纤激光器功率 $2\text{kW}$ ，沉积效率达到 $300\text{cm}^3/\text{h}$ 以上。



图4 CCMT2016展会亮相的增减材五轴加工中心

### 3.应用

增减混合五轴加工中心与传统的三轴相比，表现出自己独特的优势。

在减材方面，五轴联动与三轴系统相比增加了A、C轴的摇篮式回转工作台，对工件一次装夹，实现了全方位、各角度的切削加工，有效改善工件的表面质量，提高工作效率。

在增材方面：五轴联动实现了增材制造从平面切片向空间曲面切片，

从三轴向五轴增材制造的飞跃。五轴“打印”不仅可以任意角度倾斜，最大限度减少辅助支撑，节省大量时间和材料；而且能实现曲面定向和变姿态摆动沉积，针对复杂、精密零件如内流道结构的制造提供了可能。增减材混合直接制造叶轮零件如图5所示。

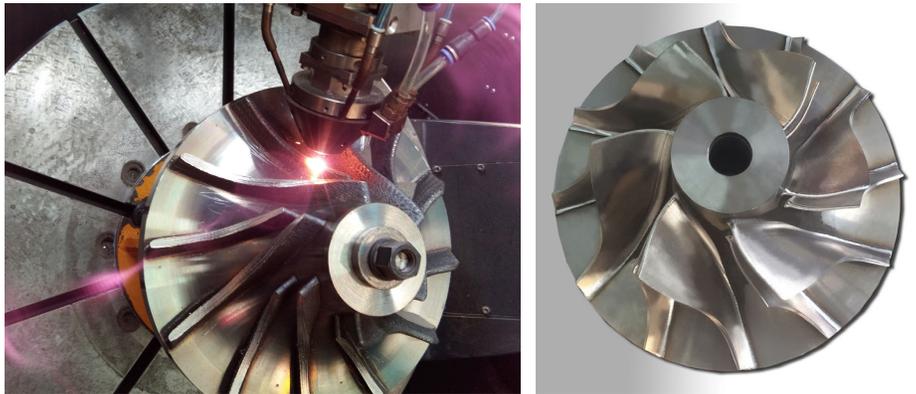


图5 增减材混合直接制造叶轮

增减混合五轴加工中心用途非常广泛，除了上述混合增材制造以外，还可用于零件表面涂层改性、修复再制造、材料梯度功能结构制造等多个方面。

3D打印使用的金属粉末一般要求纯净度高、球形度好、粒径分布窄、氧含量低。目前，适用于增减混合增材制造金属粉末材料主要有：工具钢、不锈钢、钴铬合金、铝合金、镍基合金、铜基合金等。其中，不锈钢作为金属3D打印经常使用的一类性价比较高的金属粉末材料，由于具有耐空气、蒸汽、水等弱腐蚀介质腐蚀的特性，可以在空气中直接“打印”。而对于较活泼的金属则在惰性气氛保护下进行“打印”。

在2016年的一项合作研究结果显示，使用增减混合五轴联动加工中心沉积316L不锈钢样件的抗拉强度、屈服强度、塑性均高于锻造水平。就当时的试验数据来看，沉积长度方向与高度方向的力学性能基本接近，各项异性不明显（见图6）。同时，沉积后的材料成分完全符合316L成分标准。

### 长矮件T2拉伸实验结果



拉伸前样件

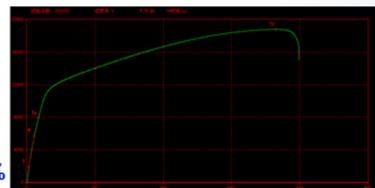
拉伸后样件

拉伸性能数据：

抗拉强度  $R_m$ : 540 MPa

规定塑性延伸强度  $R_{p0.2}$ : 225 MPa

断后伸长率:  $A = (46.5 - 33) / 33 = 40.9\%$



时间-力曲线



大连理工大学 DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

图6

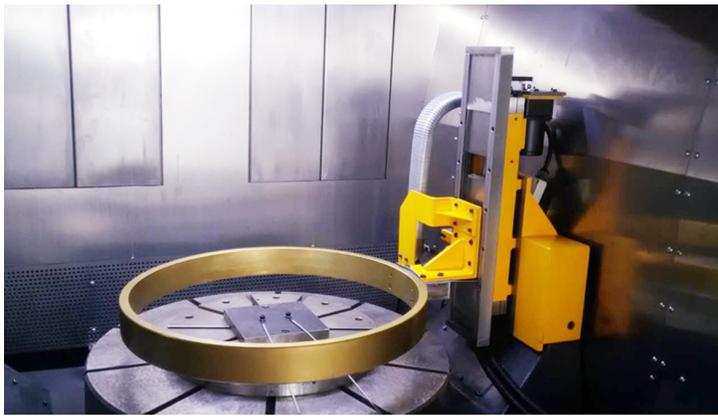
#### 4. 发展

增减混合装备技术，并非简单的两种工艺叠加，同时要解决异种工艺的协调控制和直接能量沉积技术的固有装备技术问题。三垒科技在成功研发增减材装备的基础上，进行了多方面的技术探索，立体温度调控技术就是其中之一。所谓立体温度调控，就是熔池、基础和两者之间已成型覆材

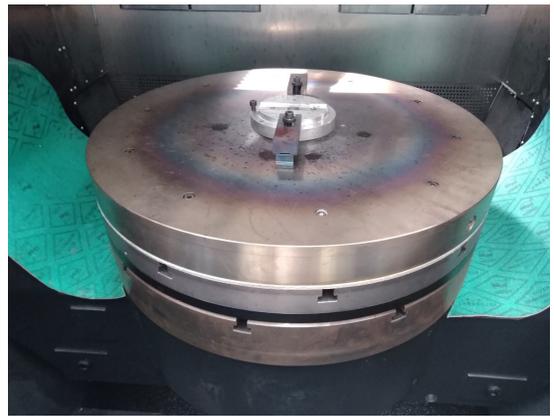
的温度监视与控制。

基础温度调控可以降低裂纹敏感性。试验表明，对零件或者基板在熔覆前进行预热和熔覆后的缓冷在线处理均会显著降低裂纹敏感性。立体的温度调控可以控制凝固组织形貌。基板预热温度越低，激光沉积成形过程中基板与覆材的温差越大，使得该方向

的温度梯度越高，则易于形成细长密集的近似并行生长的枝晶。基板预热温度越高，激光沉积成形过程中基板与覆材的温差越小，使得该方向的温度梯度越低；而较慢的散热过程使得凝固过程相对放缓，枝晶有更多的时间生长，凝固组织容易形成等轴晶。带有温度调控的直接能量沉积技术，在原理上更容易实现单晶合金的增材制备（见图7）。



(b) 外轮廓温度调节装置



(a) 基础温度控制系统

图 7

#### 5. 结语

增减材制造是新兴的技术，近些年伴随着增材制造的热潮而逐渐兴起，

但直接能量沉积技术本身的技术成熟度不高，尚有大量的基础科技问题需要攻克。将直接能量沉积的增材与传统加工

中心结合的增减材混合技术，尚处于两种工艺结合的初始阶段，有修远的道路等待科研人员上下求索。□

## 广告索引 Advertisers Index

开天传动技术（上海）有限公司 .....	封二
马波斯（上海）商贸有限公司 .....	封三
第十七届中国国际机床展览会（CIMT2021） .....	封底
斗山机床（烟台）有限公司 .....	1
约翰内斯·海德汉博士（中国）有限公司 .....	2
卡尔蔡司（上海）管理有限公司 .....	3
北京北一机床股份有限公司 .....	5
上银科技（中国）有限公司 .....	6
世界制造技术与装备市场杂志 .....	7
机械传媒公益广告 .....	9

# 航空航天系列化刀具的开发与应用

上海工具厂有限公司 祝新发

## 一、概述

随着国民经济的发展和产业升级，航空航天产业发展迅速。特别随着大飞机产业国家战略地位的确定并积极推进实施，航空航天产业发展更为迅猛。据中国商飞发布的《全球民用飞机市场预测报告》，未来20年，全球、中国客机市场规模将分别达到6.6和1.4万亿美元（如图1）。目前，国产大飞机产业正待起航：国产C919（如图2）已获得1015架订单，市场规模高达近7000亿元；CRJ929远程宽体客机正在与俄罗斯进行联合研制，中国航空航天产业前景一片光明。

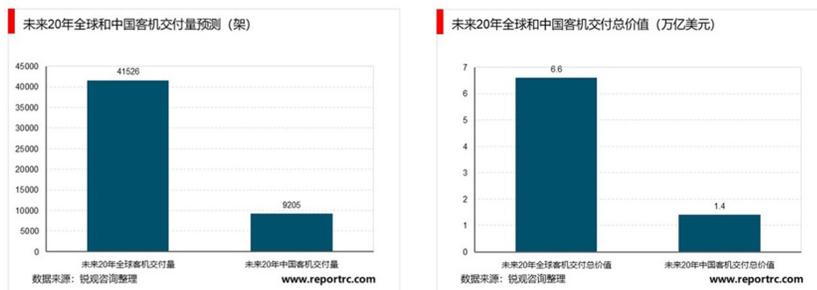


图1 未来20年中国和全球客机交付量和总价值



图2 国产大飞机C919

航空航天产业的发展，对刀具的发展提出了新的更高要求。由于航空航天

飞行器涉及大量的复合材料、复合叠层材料、钛合金、高温合金、铝合金等难加工材料的应用，这些材料在加工过程中性能各异，例如复材加工过程中刀具易磨损，且复材易出现加工毛刺、分层、撕裂等缺陷；复材叠层要求同一把刀具必须适应至少两种性质完全不同材料的同时加工，且不能出现任何加工缺陷；而钛合金加工过程中热量极高，且不易排屑等。航空航天对加工质量要求极高，容不得一丝差错，因而对刀具的选材、设计、制作、涂层、寿命和稳定性提出了个性化的解决方案的要求，不可用通用性的加工方案予以解决。同时，大量航空新材料的应用也对国产刀具提出了新的更高挑战。

目前，航空航天难加工领域刀具主要为进口刀具。据山特维克统计，2018年航空航天刀具占其刀具业务板块销售额的14%左右。而国产刀具在此领域起步较晚，正在加大力度进行技术创新，提高国产化比例。

上海工具厂有限公司通过承担国家科技重大专项：航空航天用系列化刀具开发课题，在加强与航空航天企业深入合作的基础上，结合应用现场试验和联合技术开发对接，研制了一

系列针对航空航天领域加工的刀具，涉及航空航天用复合材料加工刀具，飞机总装刀具以及飞机制造刀具等，这些刀具已在航空航天企业批量应用。相关产品总图见图3。



图3 航空航天用系列刀具开发图片

## 二、产品性能介绍

### 1. 结构特点及相关技术亮点

项目开发的三大类19种刀具的结构特点及相关技术亮点如表1所示。

表1 开发刀具一览表

编号	刀具名称	结构特点及相关技术亮点
1	双顶角麻花钻	材质硬质合金，金刚石涂层；特殊槽型结构，有利于复合材料粉末排出；特殊钻尖设计，切削刃更锋利，减少孔的出口毛刺，提高孔的表面粗糙度和精度。
2	匕首钻	材质硬质合金，金刚石涂层；锋利的切削刃，独特的槽型设计，加工石墨、玻璃纤维以及CFRP复合材料，小孔表现出色，能抑制分层及孔口毛刺，可获得精准的内孔尺寸。
3	交叉刃铣刀	材质硬质合金，金刚石涂层；特殊的双螺旋刃设计，可同时减少上下表面毛刺，提高加工面的表面粗糙度；特殊的槽型及刃带结构，提高排屑性能和切削刃的寿命。
4	鱼鳞铣刀	材质硬质合金，金刚石涂层；多齿设计，采用正前角设计，减少切削力及摩擦力，避免剪切时分层；特殊切削刃分布，加工表面质量好，螺旋结构分布合理，刃口耐磨性好，切削力小，加工更加稳定。
5	螺纹柄钻头	材质硬质合金或高速钢；柄部螺纹符合航空航天标准；特殊的钻尖及刃带设计，适用于加工多种材料；加工精度高，成本低，适用于手工钻孔。
6	螺纹柄铰刀	材质硬质合金或含钴高速钢；柄部螺纹符合航空航空标准；被加工孔的精度等级达到H8，成本低，适用于手工钻孔。
7	铰窝钻	材质硬质合金、含钴高速钢或PCD；柄部螺纹符合航空航天标准；适用于加工各种材料，100° 铆钉表面粗糙度高。
8	钻铰一体刀	材质硬质合金或含钴高速钢；特殊的钻铰一体设计，加工效率高，使用成本低。
9	三尖钻	材质硬质合金或高速钢；特殊设计的钻尖可用于各种厚度的KEVLAR压层材料，避免材料内部劈裂、断层。
10	反拉铰钻	材质硬质合金或含钴高速钢；适用于一般平底钻孔加工中不能使用的不开孔工位，其工况条件非常恶劣：夹紧力小，悬垂伸长，切削扭矩不稳定。（单刃切削）
11	高性能高速钢钻头	材质含钴高速钢；特殊的槽型设计，保证刀具刚性，有利于排屑。钻尖锋利，有效抑制孔口毛刺的产生，提高孔口质量。后角优化，减少摩擦力，提高切削刃耐磨性。适用于各类CFRP+Al、CFRP+Ti金属叠层的加工，效率高，内孔精度高，能有效减少加工时产生的毛刺。
12	扩孔钻	材质硬质合金或含钴高速钢；导向定位，适用于各种材料的扩孔，加工精度高，表面质量好。
13	带导向铰刀	材质硬质合金或含钴高速钢；导向定位，提高孔的位置度；铰孔精度可达到H7。
14	双边台阶钻	材质硬质合金或含钴高速钢，钻孔精度高，并能提高孔的表面粗糙度。
15	锥度球头铣刀	材质硬质合金，涂层刀具；柄部精度h6，适用各种刀柄装夹；锥度角度4° 和8°，适用于各种航空发动机叶片叶面粗精加工。
16	圆弧倒角铣刀	材质硬质合金，涂层刀具；高效型腔加工，大前角，大容屑槽设计，排屑阻力小。刃口锋利切削顺畅，提高效率和工件表面质量。
17	碳纤维复合材料（CFRP）/钛合金叠层结构刀具	材质硬质合金；刀具具有稳定的切削刃，以便能够进行高强度钛的高效加工；刃口足够锋利，以便能够减少碳纤维增强复合材料分层、撕裂，毛刺的现象。
18	碳纤维复合材料（CFRP）/铝合金叠层结构刀具	材质硬质合金；加工铝合金层的刀具的切削刃必须锋利；同时为了切削碳纤维增强复合材料，刀具的切削刃还必须耐磨；选用合适的涂层材料；有效提高刀具的使用寿命。
19	铝合金/铝合金叠层结构刀具	材质硬质合金；在加工飞机生产中使用的铝合金时，切削刃必须锋利。为了最大限度地减少毛刺的形成，严格控制加工中产生的切削热量。刀具特殊的几何结构提高了定心能力。同时选用合适的涂层有助于防止切屑堆积在刀刃上。

### 2. 主要产品性能

本次开发刀具，涉及复材及复材叠层加工，飞机总装及相关飞机制造刀具，总结下来，相关产品性能主要包括以下部分：

（1）精度高。本次刀具开发过

程中，在优化设计的基础上，全部采用进口五轴数控磨床进行制作；并且在制作之前，运用三维模拟软件充分进行仿真模拟，保证实际制作的刀具达到设计要求的精度值。例如，本次制作的刀具，如带导向角度铰刀铰孔

精度可达到H7；金刚石涂层硬质合金铰刀径向圆跳动 $\leq 0.003\text{mm}$ 。

（2）加工效率高。结合工件加工要求，进行一体化刀具设计加工，将多个加工工序在一把复合刀具上完成，提高加工效率。例如复合材料的

加工工序一般分为钻孔→扩孔→铰孔→镗窝四个过程，以前加工最少要使用4把不同形式的刀具，而使用钻铤一体刀后，直接把四道工序缩短为一道工序，不仅提高了加工效率，节约了生产成本，同时还提高了被加工件的尺寸精度和位置精度。

(3) 刀具开发针对性强。刀具开发过程中，针对被加工对象，结合材料加工机理，有针对性地进行同一种刀具不同几何截形和刀具基体材料的选择开发。例如针对复材的钻头铣刀开发，针对蒙皮的钻头铣刀开发，针对钛合金的钻头、铣刀的设计开发等。同时根据现场加工环境、加工工况以及加工设备的不同，及时调整刀具参数，确保刀具在实际的情况下发挥出最高的加工效率和刀具寿命，从而有效保障飞机生产制造的顺利进行。

(4) 刀具使用过程中寿命稳定、可靠，性能重现性高。在刀具制作过程中，对刀具用原材料、热处理、机加工、几何截形精度、涂层等进行全过程的质量检测和监控，对每一步骤制定具体科学性能指标，按性能指标百分之百进行检验，不符合指标要求的不允许流转到下一环节，这样，有效保障了刀具制作的一致性，从而使刀具的使用寿命和性能稳定性得以保障。

(5) 符合相关行业标准，通用性强。本项目开发的相关航空航天刀具综合参考的三个主要标准：航空航天标准（HB）、国家标准（GB）和美国航空标准（NAS）。其中航空航天标准中关于刀具的标准有将近500多项，但主要都是针对高速钢刀具系列的标准，现在采用该标准较少，但一些刀具结构参数现在很多厂家还在使用。国家标准的刀具通用性很强，但对航空航天刀具的针对性比较弱。美国航空

标准先进性和针对性值得借鉴，但也有其局限性。本项目开发的航空航天刀具是集三者所长，既针对航空航天领域特点，又符合国内现有加工设备及加工环境。尤其是项目开发的航空航天高速钢刀具：柄部形式符合航空航天标准（HB）及国家标准（GB），可以在通用工况下使用；刃部形式符合美国航空标准（NAS），具有切削性能优良，使用寿命长等优点。还有部分刀具参照航空航天标准（HB）进行了结构的修改，使其能够符合现代航空航天的使用情况。

### 三、新技术应用情况

针对航空航天加工特性，本项目在新技术应用方面主要做了以下工作：

#### 1. 超细晶粒硬质合金材料制备及梯度硬质合金材料制备技术，为刀具和金刚石涂层提供良好基体材料

采用喷雾制粒，低压烧结工艺，配以冷等静压，开发了两种超细晶粒硬质合金材料：SG10F和SG12F，材料晶粒度大小均一，分布均匀，平均抗弯强度高。并在此基础上，采用气氛烧结法，开发出适合金刚石涂层的表面贫钴硬质合金材料，该材料具有适合的钴层梯度分布，无需采用表面脱钴的方式进行金刚石涂层，适合金刚石涂层对硬质合金基体材料成分及结构的要求，如表2所示。

表2 硬质合金性能一览表

主要性能指标		SG10F	SG12F
Com(%)		7.3~9.0	7.3~9.2
Hc(KA/m)		19~25	16~22
密度(g/cm <sup>3</sup> )		14.45±0.1	14.45±0.1
HV30		1490~1630	1450~1580
抗弯强度平均值(MPa)		≥3800	≥3800
金相组织	孔隙	A02B00	A02B00
	渗/脱碳	C00E00	C00E00
	孔洞、污垢	无	无
	平均晶粒度(μm)	0.6~0.8	0.8~1.0

#### 2. 金刚石涂层刀具制备装备研制及批量生产工艺开发

开发制备的金刚石涂层装备腔室大。该装备具有大容积，自动化程度高，能满足工业化生产需求的特点。它的有效尺寸达到500mm×550mm。可在系列化复材加工刀具表面沉积厚度20~30μm的高质量金刚石涂层。金刚石涂层的金刚石成分含量高于90%，金刚石涂层的薄膜附着力大于100kgf。在金刚石涂层工艺制备过程中，重点考虑了大腔室中温度场和流量场在刀具批量涂层状况下的分布问题，对此进行了数学建模，并且进行了生产验证，研究刀具前处理工艺，开发出热丝与刀具相对高度、热丝间距、沉积温度、气压及碳源浓度等最佳工艺参数。开发的金刚石涂层性能如表3所示。

表3 金刚石涂层参数

主要性能指标	数值
涂层金刚石含量	> 90%
涂层硬度	> 7000HV
涂层厚度	> 10~15 $\mu\text{m}$
涂层结合力	> 100kgf

### 3. 复材加工刀具

针对复材加工特点，展开切削机理研究，开发了多种类型的复材加工刀具，实现新型复材加工“（钻）-扩-磨（铤窝）”一体化的加工方式，并建立了相关切削数据库，使复材刀具加工更有针对性。相关金刚石涂层刀具产品在成飞、上飞以及703所加工现场获得成功应用。加工质量以出口毛刺和孔壁表面质量为评价指标，在刀具有效使用寿命内，出口毛刺率不大于3%，出口毛刺高度小于0.36mm，孔壁表面粗糙度至少达到Ra3.2  $\mu\text{m}$ ，刀具耐用度达到国际同类产品水平。本项目开发的刀具保障了C919大型客机水平尾翼按时装配，确保了C919大型客机在中国商飞总装制造中心成功下线。并根据此创新点申报专利包括：用于CFRP加工的钻头及其结构参数的实验确定方法。

### 4. 高性能高速钢的靶向绿色热处理技术和回火性能饱和磁化法技术的应用

在刀具制作过程中，利用我们积累的不同种类高速钢类型、成分、热处理工艺和性能对应的数据库，采用合适的热处理工艺，运用国际先进的高压气淬真空炉进行高速钢材料热处理，并直接命中靶向硬度，整个过程绿色、环保，且热处理性能高度重现，一致性好，对保证高速钢刀具的使用寿命和使用效果起到非常重要的作用。在高速钢材料分析过程中，我们创新性地运用饱和磁化法对高速钢材料回火性能进行定量分析。运用饱和磁化法对材料进行回火程度分析，和浸入法比较，可以避免环境温度、湿度、试样表面状况、溶液浓度、浸入腐蚀时间等因素对判定结果的影响，结果具有高度重现性，实现定量分析。并在此基础上，建立不同材料的回火性能与磁饱和强度的对照关系，对控制高速钢材料热处理后的使用性能，起到非常重要的作用。

### 5. 反拉铤钻的设计及应用

反拉铤钻又称“反向平底铤钻”（见图4），应用于加工一般平底铤钻不能使用的半封闭工位，且工况条件一般都很恶劣：反拉铤钻夹持力小、悬伸长、切削扭矩不稳定（单边切削）。上工不断优化拉杆结构设计，并且在现场反复试验，目前该类刀具已明显优于同行业其他品牌。



图4 反拉铤钻示意图

## 四、产品应用及推广情况

本课题开发的刀具，主要应用于航空航天制造领域。目前已成功地应用于中国商飞、成飞、航空800所、昌飞、西飞等主要公司。

在中国商飞公司，成功保障了C919大型客机水平尾翼按时装配，确保了C919大型客机在中国商飞总装制造中心成功下线。本项目开发的金刚石涂层刀具是C919大型客机水平尾翼制造中唯一的国产化刀具。到如今C919大型客机加工制造所用刀具中，上工可以提供其中的80%刀具。上工是中国商飞江西洪都商用飞机股份有限公司和上海飞机制造有限公司刀具国产化制造的主要单位之一；并且上工还和上海飞机制造有限公司加强项目合作，共同进行大飞机所需刀具的开发研制。

在成飞公司某型号主力战机复合材料蒙皮与机翼翼盒的加工实现替代进口国外品牌刀具，解决了垂尾部件、鸭翼部件、鸭翼盒式梁、前缘蒙皮、承力蒙皮等部件装配中加工精度和质量问题，不仅降低了生产成本，而且还保障了军工产品技术安全，经济效益和社会效益显著。在上海800所和航天材料及工艺研究所，本项目开发的刀具在航天飞行器大型舱段复材薄壁构件制孔、开异形窗口和切边加工生产线上获得成功应用，产生了显著的经济和社会效益。

随着国家对国防及航天航空事业的重视，尤其是大飞机项目的开启以及宽体客机的立项及实施，航天航空领域将会成为继汽车领域后，又一个大力发展的领域。为此，对刀具的需求将呈大幅度增长趋势。

为此，公司一方面要持续加大产品的市场推广和销售力度，以更新更优的产品满足用户需求，更大程度替代实现国产化，促进产业健康发展。另一方面，持续进行技术跟踪，加大新型刀具的开发力度，使我国的航空航天加工水平紧跟国际水准，推动我国航空航天事业的持续发展。□

# YKA2260全数控螺旋锥齿轮铣齿机的研发与应用

湖南中大创远数控装备有限公司

## 一、概述

驱动桥是轻型车、微型车、重型卡车、大型客车及工程机械的关键部件，直接为车辆提供驱动力。螺旋锥齿轮是驱动桥的核心零件，影响驱动桥的工作性能，进而影响整车动力性能。随着汽车产业的大力发展，对高效、高精度螺旋锥齿轮的加工生产装备及成套技术的需求越来越大，对低成本、无污染等加工要求也越来越高。能否高效率、高精度的加工螺旋锥齿轮，决定了汽车产业的经济效益与市场地位，甚至对我国的综合国力有着重要的影响。

目前，国际汽车驱动桥螺旋锥齿轮制造行业普遍采用高档数控机床干切加工，具有高效率、高精度、低成本、绿色环保等优点。而国内绝大部分的螺旋锥齿轮加工依然是用机械式机床湿切加工，具有成本高、污染高、精度低等缺点。

我国亟需的车用螺旋锥齿轮干切生产线大多从Klingelberg或Gleason引进，耗费巨额外汇，而且造成我国汽车工业的发展受制于发达国家的技术垄断。但2012年国内首台全数控螺旋锥齿轮铣齿机—YKA2260，在湖南中大创远成功下线，标志着锥齿轮干切设备实现了国产化，彻底打破了国际技术的封锁和垄断。

到目前为止，YKA2260机型已经发展到第三代产品，客户遍布大江南北，湖南中大创远数控装备有限公司也成为了国内螺旋锥齿轮设备制造的佼佼者，是成套干切设备的唯一生产企业。2019年，中大创远的干切设备占据了80%以上的国内市场，完全取代了进口设备在国内的地位。国内进口产品有美国(Gleason)、德国(Klingelberg)，其主要加工范围如表1所示。

表1 国内外干切设备总汇总表

厂家名称	设备名称	加工最大直径
德国Klingelberg	C27	φ 270mm
德国Klingelberg	C30	φ 300mm
德国Klingelberg	C50	φ 500mm
美国Gleason	280HC	φ 280mm
美国Gleason	600HC	φ 600mm
中大创远	CY15C	φ 150mm
中大创远	YKA2235	φ 350mm
中大创远	YKA2260	φ 600mm

中大创远从成立之初就特别注重技术的研发，我司自主研发的螺旋锥齿轮铣齿机、磨齿机、磨刀机、装刀机、研齿机、检查机、齿轮检测中心等已在国内大多数汽车领域企业应用。YKA2260全数控螺旋锥齿轮铣齿机拥有多项技术创新是我司自主研发制造的成果（见图1）。该成果应用了多项发明专利和软件著作权。其主要技术指标保持国内领先、国际先进水平，该机床的研制成功，不仅提升了我国此类数控高端装备的水平，也打破了国外对该机床的垄断和封锁，为企业开拓了新的产品市场，同时取得了良好的经济和社会效益。



图1 YKA2260全数控螺旋锥齿轮铣齿机外观图

## 二、产品性能介绍

YKA2260是六轴六联动干、湿切两用全功能型机床，可高刚度、高精度、高效率加工延伸外摆线等高齿和圆弧收缩齿的各种螺旋锥齿轮和准双曲面齿轮。其轴系布局图如图2所示。

在机床正常加工条件下，铣齿精度达到GB11365-89锥齿轮和准双曲面齿轮精度标准规定的5级精度，齿面粗糙度达到Ra1.6  $\mu\text{m}$ 。

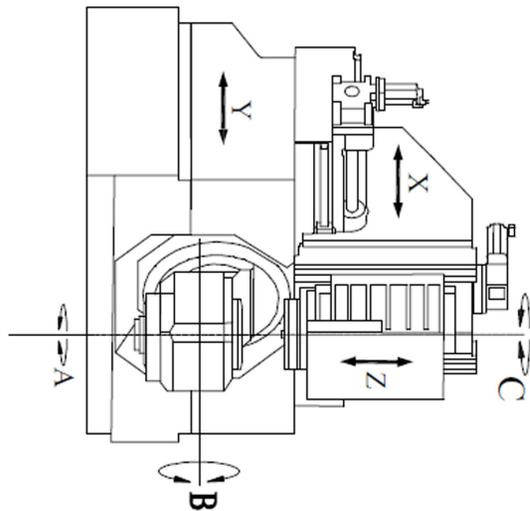


图2 YKA2260轴系布局图

X:水平左右直线轴 Y:水平前后直线轴 Z:垂直上下直线轴  
A:工件主轴 B:回转台主轴 C:刀具主轴

技术特点:

- (1) 立式结构。
- (2) 刀具主轴、工件主轴采用大扭矩电机直接驱动。
- (3) 采用自主设计开发的干切刀盘。
- (4) 机床具备铣削延伸外摆线等高齿和圆弧收缩齿齿制的螺旋锥齿轮加工功能。
- (5) 高速干切功能。
- (6) 6轴联动数控机床，采用西门子840D SL数控系统。
- (7) 配备集成在840D SL数控系统中的螺旋锥齿轮HCS加工控制软件。
- (8) 机床采用全闭环控制模式，所有直线轴配备高精度直线光栅、所有旋转轴配备高精密度角度编码器。
- (9) 机床配备自动开关门功能。
- (10) 占地面积小。
- (11) 尤其适用于乘用车和商用车螺旋锥齿轮的量产加工。
- (12) 刀盘装卸便捷。
- (13) 铣削速度可无极调整。

(14) 机床采用碟簧夹紧液压放松的夹具系统，并配备有夹紧检测功能。

(15) 机床具备自动对刀及铣削余量分配功能。

(16) 带帮助系统的故障提示。

(17) 机床配备全面安全保护(含紧急回退、断电回退、功率保护、温度保护等)。

(18) 配备自动上下料系统，可在无人值守下实现全自动加工。

主要技术参数见表2。

表2

序号	规格名称	单位	数值	
			Face Milling	Face Hobbing
1	铣刀盘规格		$\Phi(7.5 \sim 18)$ "	R(88 ~ 200)mm
2	被加工零件	最大传动比	10:1	
		最大端面模数	mm	
		齿数	5 ~ 200	
		最大节圆直径	mm	
3	行程	X轴行程	mm	
		Y轴行程	mm	
		Z轴行程	mm	
		B轴行程	°	
4	机床总功率	kW	120	
5	净重	kg	35000	
6	整机占地面积(含料仓)	mm <sup>2</sup>	7700 × 5930	

## 三、新技术应用情况

### 1. 结构设计

由于高速干切削切削量大、刀具线速度快，且不再使用切削液冷却，故要求机床具有高的静刚度、动刚度和热刚度。机床不积铁屑，且排屑速度快，能迅速的将铁屑上的高温排出机床。YKA2260加工精度高，齿面质量好，是因为其具有高的动态精度、主轴配备有热补偿功能。此外机床还具有以下优点：

(1) 小龙门结构，具有高刚度、结构简单、机床总精度不易受干扰等优点。

(2) 两个主轴悬空，在加工空间下方没有任何元件，切下来的铁屑直接掉入排屑器快速排出机床，减少机床立柱的热变形。

(3) 为了控制齿面误差，机床必须具有高动态性能，YKA2260工件主轴与刀具主轴都采用大扭矩电机直驱结构，且每根轴都配有海德汉高精度光栅反馈实时位置，西门子840DSL数控系统闭环控制。

(4) 零距离上下料，更换刀具方便。

(5) 加工点易观察。

### 2. 机床热平衡设计技术的研究与应用

在机床设计阶段，减少热源的发热，加强系统的散热

设计, 基于机床热特性优化设计理论, 对设计方案进行理论评价, 达到减小机床热误差的设计目标; 在机床制造与使用阶段, 对系统的热误差进行补偿。

机床热平衡设计技术路线的可行性与具体实施方案:

#### (1) 减少主轴系统发热技术研究

主要措施有尽量减少中间的传动环节, 把传动链的长度尽量缩短, 直接采用内置电机的电主轴, 把传动链的长度缩短到零, 为了降低电机的发热量, 采用永磁式主轴电机, 与感应式电机比较, 永磁式电机的转子不发热, 从而使主轴的温升大大降低, 同时, 对永磁电机采用恒温水冷方式, 以保电机的温度不会因为负载的变化而变化。

#### (2) 合理的润滑方式研究

虽然实验表明, 使用油汽润滑的轴承温升可比使用脂润滑时降低5~8℃, 比油雾润滑降低9~16℃, 随着值的增大, 降温的效果将更为明显。同时保证电机冷却水流量, 保持电机温度恒定, 适当加大主轴轴部气密封压缩空气流量, 实现了主轴持温度稳定。

#### (3) 系统的热误差补偿技术研究

通过温度和位移传感器对机床两主轴进行实时采集温度和热位移相关数据, 建立机床的热误差模型。按热误差模型对误差进行预测, 然后将预测的补偿值通过机床数控系统的输入接口输入数控系统, 数控系统根据输入的补偿值执行相应的补偿。主轴端的温度传感器全时检测主轴轴端的温度变化, 通过机床的CNC系统给工件或刀具一个相应方向的补偿运动, 以抵消主轴热位移所造成的加工误差。热误差补偿图如图3所示。

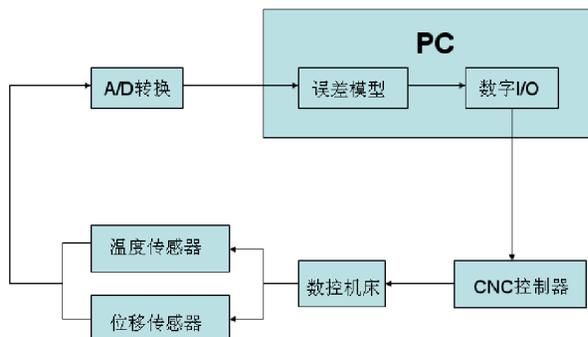


图3 热误差补偿图

#### (4) 切削热隔离

高速干式切削加工会在加工瞬间产生大量热量, 这些热量主要集中在切屑中, 过热的高温铁屑的聚集会破坏机床的热稳定性, 如不及时将带有热量的铁屑从机床的主体结构中排出, 会使机床产生热变形, 影响加工精度和降低工件表面质量。在设计中, 采用单独的排屑系统, 与机床主体部件完全隔离, 阻止的切削热的传导, 并保证切削在

飞溅的过程中, 自由落入排屑机中, 迅速排出。

### 3. 力矩电机驱动主轴的高刚性及抗干扰研究

该机床刀具主轴、工件主轴均采用大扭矩力矩电机直驱结构, 从结构设计上避免了因传动链带来的运动误差及精度损失; 基于该直驱结构的控制需求, 对力矩电机输出的速度平稳性、定位精度、抗干扰能力、热负载特性等指标进行精准苛刻的约束。

#### (1) 力矩电机调速与定位精度研究

采用高精度测量反馈系统与主轴直连, 从而把测量反馈系统, 伺服控制系统, 力矩电机, 机床主轴, 整个主轴系统构成一个全闭环伺服控制系统, 这样做的主要目的是: 实现速度闭环控制的稳定输出; 实现位置闭环控制的精准输出。

#### (2) 力矩电机应用过程中的热保护技术。

力矩电机主轴在运转时, 由于切削负载的影响, 电机绕组会产生大量的热量; 为保证电机的热负载特性输出, 在电机定子外圈设计水冷回路, 保证了电机绕组在稳定的温度下工作。同时, 力矩电机定子绕组中嵌入有多种温度传感器, PTC传感器主要用来保护电机瞬间升温, 而KTY传感器用于实时监控电机当前温度。

#### (3) 力矩电机驱动机床主轴的应用方案研究与实验验证

在整机伺服闭环控制系统中, 每一个环节的性能都决定着整个系统的精度; 针对干切削运动合成的复杂性, 运动的高精度与响应的高速性需求, 选用高性能, 开放性友好的西门子840Dsl数控系统。反馈回路采用高精度光栅与主轴直连, 有效减少反馈回路误差。机床实际加工能力证明这套力矩电机闭环控制系统具有极高的运动平稳性、定位精度。

#### (4) 力矩电机驱动主轴的高刚性及抗干扰能力研究

干切机床在切削过程中, 主轴受切削冲击最大; 保证两个主轴的稳定运转是核心, 一方面, 力矩电机的扭距足够克服切削力干扰; 另一方面, 伺服控制系统需要有极高的控制刚性、极快的响应时间。该机型伺服控制系统, 从电流控制环、速度控制环、位置控制环分别约束力矩电机主轴的特性; 使整机闭环控制系统具备极高的伺服增益系数, 极低的系统调节时间。这样在切削过程中产生的力矩干扰能被系统很快抑制, 保证在切削过程的稳定, 确保加工产品的表面质量。

### 4. 干切计算软件及其应用

通过摆线等高齿切齿计算原理的深入研究, 完成了等高齿计算设计分析软件。该软件主要涵盖了以下几个主

要模块：齿坯计算及强度分析、调整卡计算、刀具设计与分析、基于Ease-Off的接触区调整、轮齿数据计算和分析、齿面误差反调、以及含输入输出接口的专家系统及数据库系统。具体包含不同标准的齿坯设计、基于多档位的强度谱计算分析、适用于不同机床的多种类型的加工参数转换、刀具形状及副刃和凸台干涉分析、共刀设计及分析、给定齿面点与给定安装误差的TCA分析、含齿深和齿厚补偿功能的基于Ease-Off或目标Ease-Off的不同安装误差下的大轮或小轮参数的接触区调整、齿顶厚度、齿廓形状、运动侧隙和顶隙分布、根切分析以及基于理论或标准齿面的齿面误差反调等。

通过在公司齿轮实验室以及客户地的各种类型的开发加工应用表明计算软件已经完全可以满足螺旋锥齿轮摆线齿的设计计算和加工应用，是一款成熟实用的针对螺旋锥齿轮加工的含设计、计算和分析等

功能的专用软件。

下面以457-1037中桥产品为例，计算软件进行齿轮设计，设计出

需要的接触区形状和位置，图4和图5为理论的接触区和EaseOff，表3为齿轮基本参数。

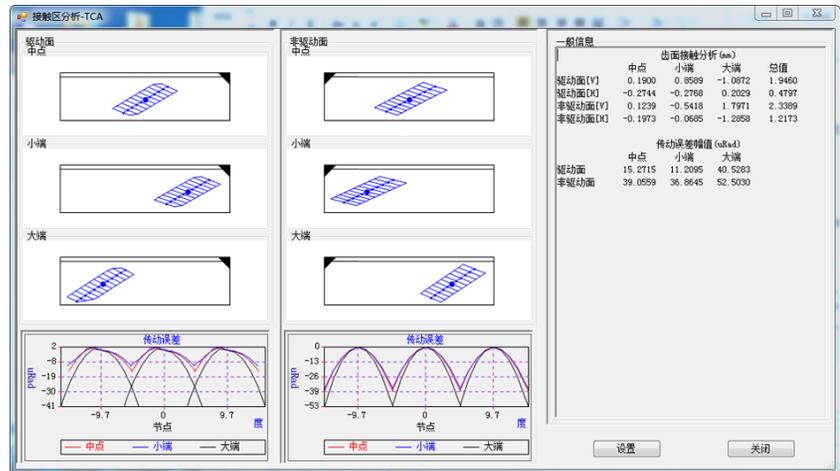


图4 设计接触区

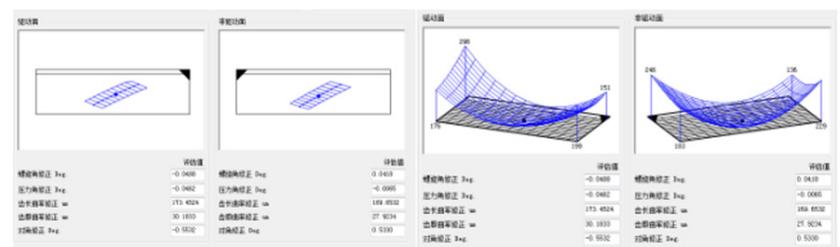


图5 设计EaseOff

表3 齿轮基本参数

齿坯参数	小轮	大轮	机床参数	小轮	大轮
齿数	10	37	刀倾角	24.8294	
大端模数		12.4053	刀转角	-31.0960	
偏置距	44.45		水平轮位	-1.5044	13.8064
齿面宽	78	70	滚动中心	-56.4616	42.2974
外径	182.2437	461.2842	滚比	3.550815	
中点锥距	177.6474	211.4179	床位	50.1870	-5.8328
中点螺旋角	44.9285	32.5300	螺旋一阶	3.431972	
面锥角	20.9010	68.6444	机床安装角	-2.3480	68.6444
节锥角	20.9010	68.6444	径向刀位	244.7570	258.2669
根锥角	20.9010	68.6444	垂直轮位	-39.3682	
外端全齿深	20.1904	20.1904	水平距离	-1.0484	
外端齿顶高	14.8063	3.1407	滚比二阶	-0.006292	
冠顶距	224.0515	73.0028	滚比三阶	0.040863	
刀盘半径		175	螺旋二阶	0.865581	
刀组数		17	螺旋三阶	-1.341907	

齿轮设计完成后，将数据上传到服务器，铣齿机YKA2260读取数据进行铣齿加工，并在测量中心Z5上检测反调，并将反调参数传输到铣齿机上再次铣齿，直到齿面误差达到要求。产品切齿合格后的齿面实际接触区如图6所示。（下转第45页）



图6 切齿接触区

# 国产数控机床和数控系统在航空制造领域应用示范

武汉华中数控股份有限公司  
北京工研精机股份有限公司  
济南二机床集团有限公司  
四川普什宁江机床有限公司

## 一、项目背景

航空工业是机床行业的高端用户，对数控机床的需求特点是大型、复合、精密及多轴联动等，并且要求数控机床具有高刚性、高精度、高效率。

航空制造设备领域随着飞机需求量的剧增以及新型飞机的跨代发展而不断发展。新一代飞机朝着轻质化、高可靠性、长寿命、高隐身性、多构型、快速响应及低成本制造等方向发展，大量新材料、新结构、新技术不断出现。新一代飞机的制造，对数控机床和数控系统的要求越来越高。



新型飞机、大型运输机

目前，国内航空制造企业所使用的中高端数控机床仍以进口为主，国产数控机床因技术成熟度、可靠性、自动化水平等原因，尚不能完全满足航空领域的制造需求。近年来，国家采取有力措施，鼓励国产数控机床和国产数控系统在航空制造领域的应用示范，使国产数控机床和国产数控系统批量使用成为发展趋势。武汉华中数控股份有限公司、北京工研精机股份有限公司、济南二机床集团有限公司、四川普什宁江机床有限公司与航空制造企业紧密合作，已经取得了很好成绩。

## 二、示范应用

### 案例1：华中数控与北京工研精机股份有限公司合作生产的五轴加工

### 中心应用于航空制造领域

武汉华中数控股份有限公司（以下简称华中数控）与北京工研精机股份有限公司紧密合作，针对航空装备关键零件的数控加工需求，批量生产多种型号的五轴加工中心，全部配置华中数控HNC-848D高性能数控系统。目前，双方合作生产的五轴加工中心已经形成批量销售，全部用于航空装备制造领域重点企业的数控加工。

#### 1. $\mu$ 1000/5ST-400V立式五轴加工中心

##### (1) 机床主要特点

$\mu$  1000/5ST-400V立式五轴加工中心具有一次装夹完成铣、钻、镗、铰、攻丝多工艺复杂曲面零件加工能力，特别适合于航空装备制造等行业加工需求。

机床主要特点：主轴单元采用电主轴技术，A/C摆动轴力矩电机驱动，基础件采用高强度铸铁并配置合理的加强筋结构，刚性和精度保持性好，适用于复杂零件五轴五面加工。五轴RTCP功能，主轴最高转速20000r/min，工作台 $\phi$ 400mm，X/Y/Z轴行

程1000/560/510mm，C轴任意360°，A轴摆动-30°~+110°，X/Y/Z快移速度36/36/36m/min，定位精度0.006mm，重复定位精度0.004mm。



μ1000/5ST-400V五轴立式加工中心

(2) 数控系统解决方案

数控系统主要功能：  
μ1000/5ST-400V五轴立式加工中心主要应用华中HNC-848D数控系统的五轴联动功能、五轴RTCP功能、五轴RTCP速度校验功能、五轴标定功能、五轴定向加工功能、五轴定向刀具半径补偿功能、旋转轴结构误差补偿功能、刀具矢量编程功能、法向进退刀功能、在线刀具测量和工件测量、空间误差补偿、热误差补偿和全闭环控制功能、智能产线的全开放式网络接口功能、加工大数据采集和监控功能等高档控制功能。



HNC-848D数控系统

数控系统装置、伺服驱动和电机

配置清单（见表1）：

表 1

序号	名称	规格型号信息	数量
1	HNC-848D数控装置	15寸彩色液晶屏，5轴联动，高速高精，网络功能。	1
2	X轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	X轴伺服电机	GK6105-8AF61-JE	1
3	Y轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	Y轴伺服电机	GK6105-8AF61-JE	1
4	Z轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	Z轴伺服电机	GK6105-8AF61-JB	1
5	A轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	A轴伺服电机	1FW6160-0QB15-1JC2	2
6	C轴驱动装置	HSV-180UD-075A	1
	C轴伺服电机	1FW6130-0QB10-1JC2	1
7	S轴驱动装置	HSV-180US-450A	1
	S轴伺服电机	SMS 060.26.6.FOS	1

(3) 应用效果

配套华中数控HNC-848D高性能数控系统的μ1000/5ST-400V五轴立式加工中心，已经在某重点航空装备制造企业批量应用，主要用于精密结构件的高效、高精加工，满足用户加工需求。

2. μ2000/5SS-800H卧式五轴加工中心-高速型

(1) 机床特点

μ2000/5SS-800H加工中心-高速型配置华中HNC-848C型高性能数控系统。具有一次装夹完成铣、钻、镗、铰、攻丝多工艺复杂曲面零件加工能力，适合于航空航天复杂结构件的高效加工。

机床主要特点：主轴单元采用电主轴技术，摆动A轴双力矩电机驱动，高强度基础件，前后床身整体铸造，回转工作台采用高精度的蜗轮蜗杆结构，适用于复杂零件五轴五面加工。五轴RTCP功能，主轴最高转速8000r/min，主轴最大输出扭矩260N·m，工作台800x800mm，X/Y/Z轴行程1400/1000/1400mm，B轴任意360°，A轴摆动-30°~+90°，X/Y/Z快移速度32/24/24m/min，定位精度0.008mm，重复定位精度0.004mm。



μ2000/5SS-800五轴卧式加工中心

(2) 数控系统解决方案



HNC-848C数控系统

数控系统主要功能：北京工研精机股份有限公司  $\mu$  2000/5SS-800H 五轴卧式加工中心主要应用华中 HNC-848C 数控系统的五轴联动功能、五轴 RTCP 功能、五轴 RTCP 速度校验功能、五轴标定功能、五轴定向加工功能、五轴定向刀具半径补偿功能、旋转轴结构误差补偿功能、刀具矢量编程功能、法向进退刀功能、双力矩电机同步、在线刀具测量和工件测量、空间误差补偿、热误差补偿和全闭环控制功能、智能产线的全开放式网络接口功能、加工大数据采集和监控功能等高档控制功能。

数控系统装置、伺服驱动和电机配置清单（见表2）：

表 2

序号	名称	规格型号信息	数量
1	HNC-848C 数控装置	15寸彩色液晶屏，5轴联动，高速高精，网络功能。	1
2	X轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	X轴伺服电机	GK6107-8AF61-JE	1
3	Y轴驱动装置	HSV-180UD-200A	1
	Y轴伺服电机	GK6109-8AF61-JB	1
4	Z轴驱动装置	HSV-180UD-200A	1
	Z轴伺服电机	GK6109-8AF61-JE	1
5	A轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	A轴伺服电机	1FW6130-0QB15-1JC2	2
6	B轴驱动装置	HSV-180UD-075A	1
	B轴伺服电机	GK6101-8AF61-JE	1
7	S轴驱动装置	HSV-180US-300A	1
	S轴伺服电机	SMS 060.26.6.FOS	1

(3) 应用效果

配套华中数控 HNC-848C 数控系统的  $\mu$  2000/5SS-800H 五轴卧式加工中心-高速型已经在某重点航空航天制造企业批量使用，主要应用于复杂结构件高效、高精加工。

3.  $\mu$  2000/5SS-800HF 五轴卧式加工中心

(1) 机床特点

北京工研精机股份有限公司  $\mu$  2000/5SS-800HF 五轴卧式加工中心配置华中 HNC-848D 型高性能数控系统。具有一次装夹完成铣、钻、镗、铰、攻丝多工艺复杂曲面零件加工能力，适合于飞机接头类钛合金难加工材料典型零件的加工。

机床主要特点：主轴单元采用电主轴技术，摆动 A 轴双力矩电机驱动，高强度基础件，前后床身整体铸造，回转工作台采用高精度的蜗轮蜗杆结构，适用于复杂零件五轴五面加工。具备五轴 RTCP 功能，主轴最高转速 6000r/min，主轴最大输出扭矩 420N·m，工作台 800x800mm，X/Y/Z 轴行程 1400/1000/1400mm，B 轴任意 360°，A 轴摆动 -30° ~ +90°，X/Y/Z 快移速度 32/24/24m/min，定位精度 0.008mm，重复定位精度 0.004mm。



$\mu$  2000/5SS-800HF 五轴卧式加工中心

(2) 数控系统解决方案

数控系统主要功能：北京工研精机股份有限公司  $\mu$  2000/5SS-800HF 五轴卧式加工中心主要应用华中 HNC-848D 数控系统的五轴联动功能、五轴 RTCP 功能、五轴 RTCP 速度校验功能、五轴标定功能、五轴定向加工功能、五轴定向刀具半径补偿功能、旋转轴结构误差补偿功能、刀具矢量编程功能、法向进退刀功能、双力矩电机同步、在线刀具测量和工件测量、空间误差补偿、热误差补偿和全闭环控制功能、智能产线的全开放式网络接口功能、加工大数据采集和监控功能等高档控制功能。



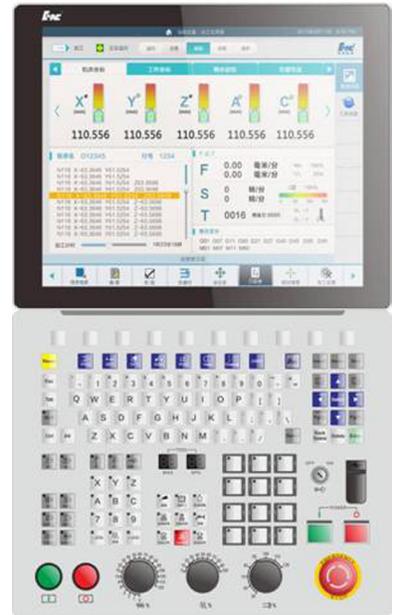
HNC-848D 数控系统

数控系统装置、伺服驱动和电机配置清单（见表3）：

表 3

序号	名称	规格型号信息	数量
1	HNC-848D数控装置	15寸彩色液晶屏, 5轴联动, 高速高精, 网络功能。	1
2	X轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	X轴伺服电机	GK6107-8AF61-JE	1
3	Y轴驱动装置	HSV-180UD-200A	1
	Y轴伺服电机	GK6109-8AF61-JB	1
4	Z轴驱动装置	HSV-180UD-200A	1
	Z轴伺服电机	GK6109-8AF61-JE	1
5	A轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	A轴伺服电机	1FW6130-0QB15-1JC2	2
6	B轴驱动装置	HSV-180UD-075A	1
	B轴伺服电机	GK6101-8AF61-JE	1
7	S轴驱动装置	HSV-180US-300A	1
	S轴伺服电机	SMS 060.26.6.FOS	1

(2) 数控系统解决方案



HNC-848D数控系统

(3) 应用效果

配套华中数控HNC-848D数控系统的μ2000/5SS-800HF五轴卧式加工中心已经在某航空制造企业批量使用, 主要应用于航空器多品种小批量结构件高效、高精加工, 满足用户加工需求。



μ2000/5SS-800H五轴卧式加工中心

4. μ2000/5SS-800H五轴卧式加工中心

(1) 机床特点

北京工研精机股份有限公司μ2000/5SS-800H五轴卧式加工中心, 配置华中HNC-848D型高档数控系统。具有一次装夹完成铣、钻、镗、铰、攻丝多工艺复杂曲面零件加工能力。

机床主要特点: 主轴单元采用电主轴技术, 摆动A轴双力矩电机驱动, 高强度基础件, 前后床身整体铸造, 回转工作台采用高精度的蜗轮蜗杆结构, 适用于复杂零件五轴五面加工。五轴RTCP功能, 主轴最高转速6000r/min, 主轴最大输出扭矩430N·m, 工作台800x800mm, X/Y/Z轴行程1400/1000/1400mm, C轴任意360°, B轴摆动-30°~+90°, X/Y/Z快移速度32/24/24m/min, 定位精度0.008mm, 重复定位精度0.004mm。

数控系统主要功能: 北京工研精机股份有限公司μ2000/5SS-800H五轴卧式加工中心主要应用华中HNC-848D数控系统的五轴联动功能、五轴RTCP功能、五轴RTCP速度校验功能、五轴标定功能、五轴定向加工功能、五轴定向刀具半径补偿功能、旋转轴结构误差补偿功能、刀具矢量编程功能、法向进退刀功能、双力矩电机同步、在线刀具测量和工件测量、空间误差补偿、热误差补偿和全闭环控制功能、智能产线的全开放式网络接口功能、加工大数据采集和监控功能等高档控制功能。

数控系统装置、伺服驱动和电机配置清单(见表4):

表 4

序号	名称	规格型号信息	数量
1	HNC-848D数控装置	15寸彩色液晶屏, 5轴联动, 高速高精, 网络功能。	1
2	X轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	X轴伺服电机	GK6107-8AF61-JE	1
3	Y轴驱动装置	HSV-180UD-200A	1
	Y轴伺服电机	GK6109-8AF61-JB	1
4	Z轴驱动装置	HSV-180UD-200A	1
	Z轴伺服电机	GK6109-8AF61-JE	1
5	A轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	A轴伺服电机	1FW6130-0QB15-1JC2	2
6	B轴驱动装置	HSV-180UD-075A	1
	B轴伺服电机	GK6101-8AF61-JE	1
7	S轴驱动装置	HSV-180US-300A	1
	S轴伺服电机	SMS 060.26.6.FOS	1

(3) 应用效果

配套华中数控HNC-848D数控系统的μ2000/5SS-800H五轴卧式加工中心已经在某重点航空制造企业批量使用, 主要应用于飞机钛合金结构件高效、高精加工, 满足用户加工需求。

5. μ2000/5SS-800H五轴卧式加工中心-高速型

(1) 机床特点

北京工研精机股份有限公司  $\mu$  2000/5SS-800H五轴卧式加工中心-高速型,配置华中HNC-848D型高档数控系统。具有一次装夹完成铣、钻、镗、铰、攻丝多工艺复杂曲面零件加工能力。

机床主要特点:主轴单元采用电主轴技术,摆动A轴双力矩电机驱动,高强度基础件,前后床身整体铸造,回转工作台采用高精度的蜗轮蜗杆结构,适用于复杂零件五轴五面加工。具备五轴RTCP功能,主轴最高转18000r/min,主轴最大输出扭矩60N·m,工作台800x800mm,X/Y/Z轴行程1400/1000/1400mm,B轴任意360°,A轴摆动-30°~+90°,X/Y/Z快移速度32/24/24m/min,定位精度0.008mm,重复定位精度0.004mm。

### (2) 数控系统解决方案

数控系统主要功能:北京工研精机股份有限公司  $\mu$  2000/5SS-800H五轴卧式加工中心主要应用华中HNC-848D数控系统的五轴联动功能、五轴RTCP功能、五轴RTCP速度校验功能、五轴标定功能、五轴定



HNC-848D数控系统

向加工功能、五轴定向刀具半径补偿功能、旋转轴结构误差补偿功能、刀具矢量编程功能、法向进退刀功能、双力矩电机同步、在线刀具测量和工件测量、空间误差补偿、热误差补偿和全闭环控制功能、智能产线的全开放式网络接口功能、加工大数据采集和监控功能等高档控制功能。

数控系统装置、伺服驱动和电机配置清单(见表5):

表5

序号	名称	规格型号信息	数量
1	HNC-848D数控装置	15寸彩色液晶屏,5轴联动,高速高精,网络功能。	1
2	X轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	X轴伺服电机	GK6107-8AF61-JE	1
3	Y轴驱动装置	HSV-180UD-200A	1
	Y轴伺服电机	GK6109-8AF61-JB	1
4	Z轴驱动装置	HSV-180UD-200A	1
	Z轴伺服电机	GK6109-8AF61-JE	1
5	A轴驱动装置	HSV-180UD-100A	1
	A轴伺服电机	1FW6130-0QB15-1JC2	2
6	B轴驱动装置	HSV-180UD-075A	1
	B轴伺服电机	GK6101-8AF61-JE	1
7	S轴驱动装置	HSV-180US-300A	1
	S轴伺服电机	SMS 060.26.6.FOS	1

### (3) 应用效果

配套华中数控HNC-848D数控系统的  $\mu$  2000/5SS-800H五轴卧式加工中心-高速型已经在某重点航空制造企业批量使用,主要应用于飞机铝合金结构件的高效、高精加工,满足用户加工需求。

### 案例2: 华中数控与济南二机床集团有限公司合作生产的高架式龙门五轴加工中心应用于航空制造领域

武汉华中数控股份有限公司与济南二机床集团有限公司紧密合作,针对航空航天装备关键零件的数控加工需求,批量生产配置华中数控HNC-848D型高档数控系统的高架式龙门五轴加工中心XHSV2545\*50。目前,双方合作生产的五轴加工中心已经形成批量销售近十台,全部用于重点航空航天装备制造企业的零件的数控加工。

#### 1. 机床主要特点

济南二机床高架式龙门五轴加工中心机床XHSV2545\*50龙门跨度大,适合在航空、航天薄壁曲面零件、板筋、肋梁类零件、复杂型面的精加工、半精加工。

机床结构采用树脂砂铸铁和焊接结构件的最优组合,考虑静、动态载荷并由计算机进行设计,先进的热处理时效工艺,最大限度地消除了焊接和铸造内应力,以提高机床的精度和刚性。

机床X轴使用龙门位置同步功能,采用滚珠丝杠、齿轮齿条驱动,装有制动单元和安全缓冲装置;Y、Z轴采用大导程的预载螺母滚珠丝杠传动。运用现代设计方法,通过建立振动阻尼、动态加速度模型,在确保机床整机刚性的前提下,尽量减轻了移动件的重量,使机床具有良好的快速响应特性;具有高转速、高速度、高加速度的特点。A、C轴传动采用力矩电机直接驱动,并分别设有液压夹紧机构。X、Y、Z轴均采用光栅尺实现全闭环控制;A、C轴采用高精度角度编码器实现全闭环位置反馈。电主轴采用大接触角高速陶瓷球轴承,并配置了主轴的冷却系统。



机床整体结构图



机床电气柜安装图

## 2. 数控系统解决方案

(1) 数控系统、伺服驱动、伺服电机配置 (见表6)

表 6

序号	规格名称	产品型号		数量	备注
1	数控系统	HNC-848DM		1	
2	X轴伺服驱动、电机	HSV-180UD-100C	GK8109-8AC81-JB3	1	力矩消除
3	X1轴伺服驱动、电机	HSV-180UD-100C	GK8109-8AC81-JB3	1	
4	X2轴伺服驱动、电机	HSV-180UD-100C	GK8109-8AC81-JB3	1	力矩消除
5	X3轴伺服驱动、电机	HSV-180UD-100C	GK8109-8AC81-JB3	1	
6	Y轴伺服驱动、电机	HSV-180UD-100C	GK8109-8AC81-JB3	1	
7	Z轴伺服驱动、电机	HSV-180UD-100C	GK6017-8AB61-JB3	1	
8	C轴伺服驱动、电机	HSV-180UD-150C	RE13-3P-300x175-WM-0-0-M	1	力矩电机
9	A轴伺服驱动、电机	HSV-180UD-100C	RE11-3P-410x75-WM-0-0-M	1	力矩电机
10	S轴伺服驱动、电机	HSV-180US-450	SMS 080.30.680.395	1	同步电主轴



应用数控系统型号

功能、五轴标定功能、五轴定向加工功能、五轴定向刀具半径补偿功能、旋转轴结构误差补偿功能、刀具矢量编程功能、法向进退刀功能、五轴大圆插补功能、空间误差补偿（垂直度、直线度、扰度补偿功能）和全闭环控制、三维仿真功能、网络功能、加工大数据采集和监控功能、基于加工大数据的工艺参数优化、健康保障、断刀检测等智能化功能。

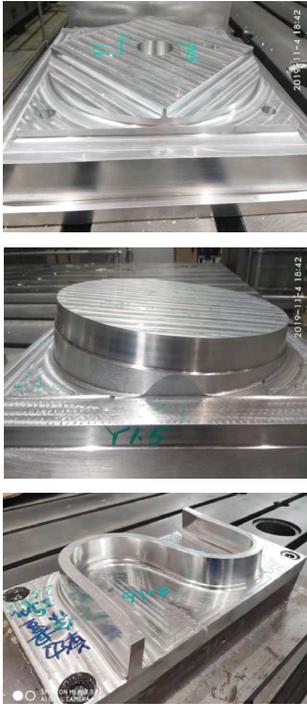
### 3.应用效果

济南二机床集团与华中数控合作生产的XHSV系列五轴联动加工中心已经在我国重点航空、航天、汽车等重点领域装备制造企业成功应用，主要用于航空航天等行业大型铝合金、复合材料结构件的高速、高效加工和大型汽车模具的半精加、精加工。

(2) 数控机床应用数控系统功能  
该型号机床应用华中HNC-848D数控系统的关键技术：高速高精控制算法、龙门位置同步功能、伺服力矩消除功能、五轴联动功能、五轴RTCP功能、五轴RTCP速度校验



机床应用现场图片



试件加工图片

### 案例3：华中数控与四川宁江机床合作生产四轴卧式加工中心应用于航空制造领域

武汉华中数控股份有限公司与四川普什宁江机床有限公司（以下简称宁江机床）紧密合作，针对航空航天装备关键零件的数控加工需求，批量生产THD63125四轴卧式加工中心，全部配置华中数控HNC-848D高性能数控系统。目前，双方合作生产的四轴卧式加工中心已经形成批量销售，全部用于航空航天装备制造领域重点企业的数控加工。

#### 1. 机床特点

宁江机床THD63125四轴卧式加工中心广泛适用于航空工业、汽车零部件、工程机械、模具、泵体阀门、轻纺机械、工业缝纫机、五金工具、船舶等行业中、小型箱体类零件和空间曲面多品种的批量加工。

主要特点：

(1) 高动态性能：直线轴最大加速度1.3g，进给速度20 m/min，快移40m/min。

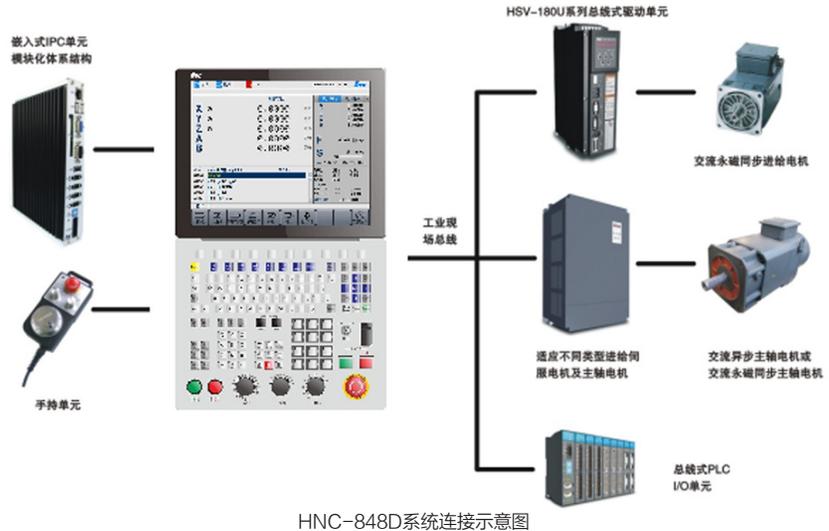
(2) 高加工精度：定位精度

4 μm，重复定位精度2 μm，反向间隙2 μm。

(3) 双工位工作台：一个工作工位，一个待机工位，能够有效减少装夹辅助时间。

(4) 伺服驱动刀库：具有更好的分度精度，有效提高高速换刀稳定性。

#### 2. 数控系统解决方案



HNC-848D系统连接示意图

(1) 数控系统主要功能：THD63125四轴卧式加工中心主要应用华中HNC-848D数控系统的多轴控制技术、圆柱插补、旋转轴结构误差补偿功能、刀具矢量编程功能、在线刀具测量和工件测量、空间误差补偿和全闭环控制功能、智能产线的全开放式网络接口功能、加工大数据采集和监控功能等高档控制功能。

(2) 数控系统装置、伺服驱动和电机配置清单（见表7）：

表 7

轴号	配置	功能需求
X轴	驱动：HSV-120UD 电机：GK6109-8AC61-J4E Z81 光栅：LB382C 1Vpp	行程：1600mm 定位精度0.003mm； 重复定位精度0.0015mm
Y轴	驱动：HSV-120UD 电机：GK6109-8AC61-J4B3Z81 光栅：LB382C 1Vpp	行程：1200mm 定位精度0.003mm； 重复定位精度0.0015mm。
Z轴	驱动：HSV-120UD 电机：GK6109-8AC61-J4E Z71 光栅：LB382C 1Vpp	行程：1300mm 定位精度0.002mm； 重复定位精度0.001mm。
B轴	驱动：HSV-120UD 电机：GK6089-6AC61-J4EZ81 光栅：LB382C 1Vpp	行程：360°，最高5转 定位精度10"；重复定位精度5"
主轴	驱动：HSV-180US-200 电机：GM7169-4SA61-H-B 编码器：增量式256线1VPP	最高6000 r/min 一档1250r/min，二档5000r/min

### 3.应用效果

THD63125 四轴卧式加工中心已经在航空工业、汽车、工程机械、模具、泵体阀门、轻纺机械、工业缝纫机、五金工具、和船舶等行业中、小型箱体类零件和空间曲面多品种的批量加工等领域中实现批量应用。其产线功能、大数据采集功能和监控功能满足了无人化工厂领域的生产需求。



航空航天企业应用现场

## 三、项目经验：

### (1) 关键设备，自主可控

华中数控与北京工研精机、济南二机床、宁江机床、航空制造企业紧密合作，结合飞机典型结构件数控加工工艺，以飞机结构件中梁、框、肋、壁板、接头等为主要加工对象，选用全国产数控机床建立结构件切削加工单元（钛合金、铝合金大、小型结构件加工单元等），努力实现航空制造领域关键数控装

备的自主可控。

### (2) 综合使用，提高效率

华中数控与北京工研精机、济南二机床、宁江机床、航空制造企业紧密合作，联合进行国产数控机床（配套国产数控系统、国产功能部件）及其技术的高效、稳定性研制。对应用验证后的数控机床、数控系统、功能部件等进行集中示范应用，结合飞机典型结构件高效数控加工技术，对国产数控机床、国产数控系统、功能部件及其技术进行改进，优化其应用性能，提高了零件加工效率。

### (3) 联合攻关，协同创新

华中数控与北京工研精机、济南二机床、宁江机床、航空制造企业紧密合作，通过在航空制造领域实施应用示范工程，实现了合作模式创新，形成了稳定的、可持续、开放式的产学研用战略联盟。并且形成了系列标准和规范整体解决方案，为下一步推广应用提供了支撑。□

（上接第37页）

## 四、成果应用及推广情况

YKA226全数控螺旋锥齿轮铣齿机在汉德（株洲）齿轮有限公司、桂林福达齿轮有限公司、青州市建富齿轮有限公司等企事业单位得到广泛应用，加工产品精度、加工效率均赶超德国等同类进口机床，已完全替代进口。

YKA2260全数控螺旋锥齿轮铣齿机的研制成功，摆脱了传统“黑、湿、油”的加工环境，提升了我国高端数控机床的加工水平，打破了国外对该项目的垄断和封锁。对于提高锥齿轮相关行业的关键零部件的国产化、提高国内自主配套能力等方面均有显著的经济和社会效益，对加强我国高精密等技术产品有十分重要的战略意义。□



图7

# 我国现行机床产业政策梳理及实施效果

机械工业信息研究院 杜慧婵

我国机床产业实现长足发展，在扩大产品种类、提升行业技术水平、实现产业转型升级、满足用户需求等方面取得可喜成绩，其得益于国家在推进机床产业发展所出台的一系列相关政策措施。一方面，为全面推进我国机床产业的快速发展，国务院及各政府部门在科技创新、财税金融、保险机制等方面相继出台了一系列相关政策措施，共同为机床产业的进一步发展营造了良好的政策环境。另一方面，出台的与机床相关的政策措施，有针对性的侧重于发展具有国防安全、产业安全的机床产品。

## 一、我国现行机床产业相关政策措施的总体情况

### 1. 政府各部门齐力创造良好政策环境

21世纪以来，在我国经济社会发展进入重要战略机遇期之际，国务院出台《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（国发〔2005〕44号），从国家战略发展角度提出了未来15年我国应掌握一批事关国家竞争力的装备制造业。之后国家又相继出台了《实施〈国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）〉的若干配套政策》（国发〔2006〕6号）和《国务院关于加快振兴装备制造业的若干

意见》（国发〔2006〕8号），明确提出了对国家经济安全和国防建设有重要影响、对促进国民经济可持续发展有显著效果、对结构调整和产业升级有积极带动作用、能够尽快扩大自主装备市场占有率的16个领域的重大技术装备和产品作为发展重点。其中，机床产业是国家重点发展的领域之一，明确提出要发展大型、精密、高速数控装备和数控系统及功能部件，改变大型、高精度数控机床大部分依赖进口的局面，满足机械、航空航天等工业发展的需要。

随之，国家发展改革委、工信部、财政部、商务部、税务总局等政府部门为支持以机床为代表的装备制造业，分别从科技创新、财税金融、保险机制等多个方面出台了一系列配套政策，共同为包括机床产业在内的装备制造业发展营造了良好的政策环境。

国家层面现行机床产业相关政策措施表

序号	发文单位	文件名称	科技创新	财税金融	保险机制
一、产业政策					
1	国务院	《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（国发〔2005〕44号）	√		
2	国务院	国务院印发《关于加快振兴装备制造业的若干意见》（国发〔2006〕8号）	√		
3	国家发改委	《外商投资产业指导目录（2017年修订）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会、中华人民共和国商务部令第四号）	√		
4	国家发改委	国家发展改革委财政部商务部关于印发鼓励进口技术和产品目录（2016年版）的通知（发改产业〔2016〕1982号）	√		
5	工信部	工业和信息化部关于印发《首台（套）重大技术装备推广应用指导目录（2017年版）》的通告（工信部装函〔2018〕47号）			√
6	工信部	关于印发《“数控一代”装备创新工程行动计划》的通知（工信部联装〔2012〕251号）	√	√	√
7	商务部	商务部发展改革委财政部人民银行海关总署税务总局质检总局外汇局《关于“十二五”期间实施积极的机电产品进口促进战略的若干意见》（商产发〔2011〕48号）	√		
8	国防科工局	《军工建设项目鼓励采购国产设备的若干意见》	√		

## 二、我国现行机床产业政策措施的实施效果

### 1. 保障国防安全和产业安全

在制约我国国防安全和产业安全的领域，突破了一批对国防安全具有潜在威胁、产业安全保障急需的机床产品。如在国防安全领域，龙门及卧式五轴加工中心、车铣复合加工中心的成功研制保障了我国航空领域对机床产品的需求，五轴立式铣车复合加工中心、大型数控强力旋压机在我国航天领域的应用满足了火箭、载人航天对制造装备的需求。军工企业与机床产业紧密联合，一方面，通过军工需求带动国产高档数控机床主机、数控系统及功能部件的自主化发展；另一方面，更为重要的是机床产业保障了我国国防安全。

### 2. 促进机床产业供给侧结构性改革

机床是制造业母机，机床产业在推动制造强国建设、推进供给侧结构改革方面意义重大。我国机床产业在近十多年的发展中取得了非常喜人的成绩。在汽车制造领域，我国生产的大型覆盖件冲压设备已达到国际先进水平，具备国际竞争力。在发电设备领域，大型数控龙门铣车复合加工中心的成功研制有效支撑了我国三代核电的自主化发展。高端、急需产品的相继成功开发实现了我国机床产业以及制造领域的供给侧结构性改革。

同时，产品的成功应用又促进机床产业供给侧结构的进一步深化改革。如我国首台（套）重大技术装备相关政策，正是在供给端为我国首台（套）产品提供政策支持，在一定程度上解决了我国机床产品“做得出、不愿用”的产业发展难题，促进自主创新产品的示范应用，使原来用户不敢用的问题得到了解决，对深化机床产业供给侧改革方面起到了极大的促进作用。

（下转第78页）

二、税收政策				
(一) 税收抵扣与抵免				
9	财政部	《关于全国实施增值税转型改革若干问题的通知》（财税〔2008〕170号）	✓	
(二) 出口退税				
10	财政部	《财政部国家税务总局关于提高机电成品油等产品出口退税率的通知》（财税〔2016〕113号）	✓	
11	财政部	《财政部国家税务总局关于提高部分机电产品出口退税率的通知》（财税〔2008〕177号）	✓	
(三) 进口免征关税和增值税				
12	财政部	《财政部发展改革委工业和信息化部海关总署税务总局能源局关于调整重大技术装备进口税收政策有关目录的通知》（财关税〔2017〕39号）	✓	
13	财政部	《财政部科技部国家发展改革委海关总署国家税务总局关于科技重大专项进口税收政策的通知》（财关税〔2010〕28号）		
(四) 进口不予免税				
14	财政部	财政部国家发展改革委海关总署国家税务总局关于调整《国内投资项目不予免税的进口商品目录》的公告（财政部国家发展改革委海关总署国家税务总局公告2012年第83号）	✓	
三、其他相关政策措施				
15	工信部	工业和信息化部办公厅关于印发《工业和信息化部贯彻落实<深入实施国家知识产权战略行动计划（2014-2020年）>实施方案》的通知（2015年）	✓	
16	工信部	工业和信息化部关于印发贯彻落实《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》行动计划（2015-2018年）的通知（工信部信软〔2015〕440号）	✓	
17	工信部	《工业和信息化部关于印发信息化和工业化融合发展规划（2016-2020年）的通知》（工信部规〔2016〕333号）	✓	
18	工信部	工业和信息化部质检总局国防科工局关于印发《促进装备制造业质量品牌提升专项行动指南》的通知（工信部联科〔2016〕268号）	✓	
19	工信部	工业和信息化部关于印发《工业绿色发展规划（2016-2020年）》的通知（工信部规〔2016〕225号）	✓	
20	质检总局	质检总局国家标准委工业和信息化部关于印发《装备制造业标准化和质量提升规划》的通知（国质检标联〔2016〕396号）	✓	

## 2. 围绕国家战略部署出台相关政策

为保障我国国防建设与军工需求、经济建设与产业发展的战略部署，国家有关部门相继出台的机床产业相关政策，是从国防安全型、产业安全型的战略角度所提出的。

国防安全型政策主要有《军工建设项目鼓励采购国产设备的若干意见》，产业安全政策主要有《国务院关于加强振兴装备制造业的若干意见》（国发〔2006〕8号）、《“数控一代”装备创新工程行动计划》（工信部联装〔2012〕251号）。

# 发动机工厂刀具管理的探讨

上汽通用五菱汽车股份有限公司青岛分公司 黄永辉 张文龙 王刚 王禹亭 和西录

本文介绍了当前汽车领域发动机工厂刀具管理的内容与运作模式，并详细阐述了刀具管理的具体内容。结合通用汽车某发动机工厂的刀具外包管理实际情况加以分析，从理论和实际上对刀具管理进行进一步的探讨。

刀具管理是制造企业在机械制造过程中涉及刀具运用技术及其他相关的管理活动的总称，它主要包括刀具调整、刀具修磨、刀具库存管理、刀具采购、新刀规划及刀具优化等。

在机械加工中，刀具费用只占制造成本的3%~5%，但它对总制造成本的影响却要大的多。加工效率提高20%，加工成本可降低15%；刀具价格下降20%，加工成本只能降低0.6%；刀具寿命延长一倍，加工成本也只降低1.5%。有的加工企业制定刀具消耗定额进行成本控制，有的企业在高效率的进口设备上使用低性能的焊接刀具，难以发挥设备性能，反而造成更大浪费。随着制造业的发展，刀具管理整正在或将要发挥更加重要的作用。

## 1. 刀具管理的内容与运作模式

### (1) 刀具管理的流程

刀具管理的含义是围绕产品的技术、质量和成本，在生产过程中优化刀具供应，进行企业内部和外部刀具信息的沟通交流以及刀具物流管理。刀具管理系统主要包括应用和项目两大模块。应用模块的主要功能为刀具使用技术咨询和生产加工工序优化，其工作范围涉及刀具选择、工艺改进（如切削参数优化）等。项目模块的主要功能为按照产品图纸提供整个零件的加工方案，并合理配置相应刀具。刀具管理的工作流程如图1所示。

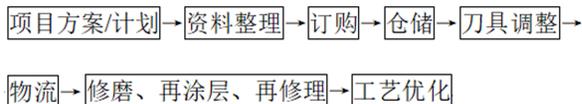


图1 刀具管理工作流程

### (2) 刀具管理的五个分级

根据刀具管理内容的差别，刀具管理可划分为不同的等级。有的仅涉及刀具的仓储管理；有的则包括刀具的修磨、调整和现场刀具供货；有的要求至少一位技术工程师常驻现场，直接为用户服务。目前，国外一般将现有刀具管理服务划分为图2所示的五个等级。

				每件付款
				现场修磨和调刀
				生产和过程优化
				项目研究和开发
			每件付款	每件付款
			解决问题	解决问题
		持续改进	持续改进	持续改进
		仓库管理	仓库管理	仓库管理
		技术鉴定	技术鉴定	技术鉴定
		供货到现场	供货到现场	供货到现场
	刀具咨询	刀具咨询	刀具咨询	刀具咨询
刀具采购	刀具采购	刀具采购	刀具采购	刀具采购
刀具修磨和准备	刀具修磨和准备	刀具修磨和准备	刀具修磨和准备	刀具修磨和准备

图2 刀具管理的五个分级

在第一、第二阶段，刀具管理的主要内容是刀具修磨和刀具准备，这种服务可满足用户的基本需求。

在第三、第四阶段，刀具管理的主要任务是过程优化、改善和库存管理。从第三阶段开始，刀具管理经理的个人素质将影响为客户服务的质量。第三、第四阶段与第五阶段的区别在于客户必须更多地依赖于自己的刀具知识，刀具管理经理只是一位具备相应资格的咨询者。目前应用的大部分刀具管理只能达到第三、第四阶段的水平。

第五阶段（最高层次）除包括第一到第四阶段的工作内容外，还包括以下内容：刀具管理经理长驻生产现场；制造现场设置专门的刃磨机床用于修磨刀具；设有自己的

刀具库，可直接在生产现场进行刀具测量和预调，提供刀具修理、修磨和涂层服务，并及时向生产线提供刀具，保证生产正常运转。在此阶段，刀具管理经理完全参与到项目之中，对刀具的配置和应用进行优化。刀具管理经理需要掌握整个项目的刀具技术，其工作质量直接影响工艺优化效果。第五阶段的刀具管理费用不是按所消耗的刀具数量来收取，而是按生产的工件数量计算，同时对每年刀具费用的降低比例提出了明确要求。

### (3) 刀具管理的具体内容

根据图2所示刀具管理的工作流程，刀具管理包括以下具体工作内容。

**项目计划：**对整个项目的刀具管理提出方案设想，参与项目开始的OEM及刀具配置，按照产品图纸设计加工刀具和加工方案。

**刀具订购：**根据原始的配刀方案和优化后的刀具清单订购刀具，订购数量由刀具库存量和持加工产品产量决定。

**库存管理：**将所有刀具存储在中央仓库中，用专用计算机管理软件进行仓储管理，可自动统计库存刀具的品种、规格、数量并提供每天的刀具订购量。

**刀具调整：**由刀具管理者按照刀具调整图在调刀室进行刀具调整。

**物流管理：**①将新刀具运至中央仓库；②将调整好的刀具提供给所有机应（一般在机床前有一个刀具车或刀具箱）；③将使用过的刀具回收到修磨场地并进行清洗。

**刀具修磨、再涂层、修理：**①清理检查使用过的刀、辅具；②对使用过的钻头、丝锥、刀片等进行修磨或再涂层；③对可再次使用的辅具进行修理。

**工艺优化：**①与用户一起进行加工工艺技术分析；②提出工艺改进和刀具优化方案；③进行工艺对比试验，确定工艺优化方案。

刀具管理循环如图3所示。

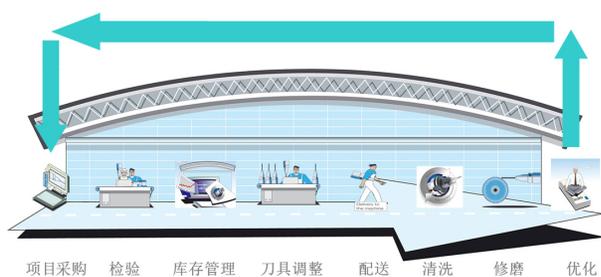


图3 刀具管理循环

## 2. 刀具管理的模式

目前，国内外的汽车制造业企业对刀具的管理存在着不同的管理模式和管理方法，做法各不相同。当前汽车制

造业中，欧美企业更倾向于施行刀具外包管理式，多数日本背景的企业主张采用刀具自主管理模式，具体采用刀具管理的哪一种方式与企业自身的状况有关。

### (1) 自主管理式

自主管理即汽车制造企业自己对刀具的各方面进行管理，包括刀具的采购、仓储、检测等方面。如果企业本身就有修磨、调整、仓储功能和相应的管理技术人员，一般会采取自行管理的模式（如上海通用烟台发动机工厂）。

日本的丰田汽车公司是刀具自主管理的倡导者，其在刀具管理方面也有一套自己的独特做法。丰田公司对刀具实行集中式的统一管理，在其管理部门内设有专门的刀具管理机构，并设有中央刀具库。对于一些工厂共用的刀具和使用量大面广的标准刀具和刀辅具，实行统一采购和订单拉动式刀具供货，其中一个重要特点是很多刀具的备库工作由供应商进行，刀具供应商根据接到的刀具订单做出即时反应，并对刀具使用进行现场技术支持和现场服务。

丰田公司的中央刀具管理机构同时对各子公司的刀具采购进行协调和指导，各子公司与刀具供应商进行的刀具价格谈判情况，及其所获得的刀具价格信息，能为中央刀具管理机构所获得并得到有益指导，所获得的优惠能为其他子公司所共享。同时，由于将很多刀具备库工作交给供应商来做，降低了对刀具库存和流动资金的占用，整个刀具成本大大下降。

### (2) 外包管理模式

外包管理即将刀具的各方面工作外包给专门的刀具管理公司，由其承担起与刀具管理有关的责任和义务，公司按照合同规定的方法支付刀具管理费用（一般是采用单件成本的CPU支付方法）。有美国背景的企业比较倾向于完全采用外包刀具管理模式，如GM；部分欧洲背景的企业比较谨慎地采用刀具外包管理模式，实行主体自主管理，部分刀具管理业务进行外包，如大众。

刀具管理涉及刀具的选用、试验、采购、调整、刃磨、修理、库存设置及控制，刀具的使用寿命控制，生产中加工问题的跟踪分析和解决，以及刀具的优化等。随着现代化大规模生产方式的发展，企业对市场竞争快速反应及降低制造成本的需求，要求能对刀具涉及的方方面面进行一体化的管理，由一个统一的部门进而能够利用社会资源进行管理。从而使企业能够更专注于其核心业务，专注于其产品的开发、生产及技术的发展和质量的控制。

将刀具管理这一需要专门技术和多种资源支持的工作作为一种支持性的工作外包出去，实现资源的优化配置，保持竞争优势，有效实现成本控制，以求获得更高的效率、更好的质量、更低的成本，于是出现了刀具外包管理

这种管理模式。

刀具外包管理最初出现于北美的汽车制造企业，随着中国改革开放的深入和众多合资企业在中国的建立，刀具管理的概念及其外包管理模式也出现在中国。现在，国内已有相当一部分工厂已经采用或正开始着手采用这种新的刀具管理模式。

### 3. 刀具管理的应用举例

通用汽车某发动机工厂的刀具管理由专业的刀具公司做外包管理，负责刀具的试验、采购、调整、刃磨、修理、库存管理、寿命控制，生产中加工问题的跟踪分析和解决，以及刀具的优化等工作。甲方的刀具工程师整体负责监管刀具外包公司的S/P/Q/R/C/E等各项指标，同时主导各个区域进行刀具优化及现场刀具问题分析解决。目前处于第四阶段与第五阶段的过渡阶段。

目前该刀具外包管理已超10年，目前各项指标运行稳定，现场经验也较丰富，刀具优化也在持续进行。但随着机床老化现场问题会逐渐增多，现场问题解决已成为比重

较大的工作。整体来看，刀具外包有利于降低刀具成本、优化库存、充分利用二级刀具供应商的资源进行问题解决，但同时也存在一定的管理弊端。公司与其刀具外包商的关系逐步发展成为互为依存、互相合作的关系。

对于应用刀具及其服务特别是外包管理的企业来说，既需要对供应商始终保持合适的竞争压力，不允许垄断情况出现，同时又要设法建立稳定的合作伙伴关系，使其能在完成S/P/Q/R/C/E的各个指标的同时又能合理的处理现场问题，达到真正共赢的目的。随着刀具外包时限的推移以及现场设备老化，刀具外包管理会是一项艰巨的任务。

### 4. 结束语

一个汽车发动机工厂的建立是一个复杂的工程，刀具系统是这个系统工程中的一部分，刀具系统将直接影响到被加工产品的产品质量，加工效率及加工成本。其中，刀具管理作为刀具系统的核心，其管理的方式、管理的优劣将决定该企业的走向。□

## 资讯

# 埃斯顿拟增募资，引入国家制造业转型升级基金

7月24日，埃斯顿发布了定增预案，公司拟以11.62元/股的价格向中国通用技术（集团）控股有限责任公司、国家制造业转型升级基金股份有限公司和湖北小米长江产业基金合伙企业（有限合伙）3名特定对象发行股份，募资近10亿元。发行之后，预计3名特定对象将分别持有公司3.72%、3.72%和1.86%的股份。

据了解，募集资金将用于标准化焊接机器人工作站研发及产业化项目，机器人激光焊接和激光3D打印研制项目，工业、服务智能协作机器人及核心部件研制项目，新一代智能化控制平台和应用软件研制项目，应用于医疗和手术的专用协作机器人研制项目和补充流动资金。

这3名定增对象中，通用技术集团是在中国技术进出口总公司、中国机械进出口（集团）有限公司、中国

仪器进出口集团公司、中国海外经济合作总公司4家原外经贸部直属企业基础上组建的国有独资公司，目前主要发展先进制造与技术服务、医药医疗健康、贸易与工程承包三个核心主业。小米长江产业基金是由小米集团为实现从打造“新国货”到推动“新制造”战略目标，助力中国先进制造业而成立的产业投资平台。小米长江产业基金投资范围主要包括智能制造、工业机器人、先进装备和半导体等领域。

值得特别关注的是，国家制造业转型升级基金也参与了此次定增。该基金是由财政部、国开金融有限责任公司、中国烟草总公司等多家股东发起设立，注册资本1472亿元，系集成电路基金后的又一只国家队大基金。该基金主要围绕制造业战略性、基础性、先导性领域，

主要投向基础制造和新型制造、新材料、新一代信息技术、电力装备等领域，促进关键技术产业化、工程化和推广应用，推动国家制造业高质量发展。今年3月，国家制造业转型升级基金首笔投资华中数控，受到社会广泛关注。

国家制造业转型升级基金再落一子，着手布局工业机器人领域。我们国家是制造业大国，工业机器人销量连续多年全球第一，占全球销量近40%，但应用密度远低于主要发达国家，且七成以上市场份额被国外品牌占据，核心关键零部件长期受制于国外部分企业。

埃斯顿方面表示，国家制造业转型升级基金股东包括中国一汽、上海电气、中国中车、郑州宇通等产业类股东，将为埃斯顿未来市场开拓提供强有力的支持。

# 复合加工在汽车零部件制造中的实践

上海华普发动机有限公司 金延安

复合加工是工件在一次定位装夹中，将多个单一工序进行有效的组合，采用多种刀具完成工件多道工序的加工方法。达到减少设备，免去工序间工件搬运的辅助时间，节约作业面积，保证工件各相关要素的位置度要求，提高加工效率的目的。

缸体是发动机各零件部件的安装定位件，也是发动机的基础件。缸体的曲轴孔是缸体的中心。缸体曲轴后油封座安装定位孔 $2-\phi 6H7$ 和变速箱安装定位孔 $2-\phi 10H7$ 都对曲轴孔中心有位置度 $0.06\text{mm}$ 的要求，曲轴止推面对曲轴孔中心有垂直度 $0.050\text{mm}$ 的要求。

## 1. 卧式加工中心加工曲轴孔

缸体定位通常是通过其底面和两个定位销孔实现，夹具无刀具导向，刀具和主轴刚性连接，为使缸体适应加工中心，对刀具最大直径、重量、长度、刀具的切削负荷，以及刀具在链式刀库中的排列、间距和无邻接刀具都有相应规定。要根据缸体曲轴孔的实际情况，合理选择加工中心。

缸体曲轴孔在加工中心上采用镶齿球形铣刀加工半圆孔后，合盖，进入缸体曲轴孔的加工。一般有三种加工方法：

(1) 半精镗、曲轴孔组合镗刀精镗，镗刀呈阶梯式结构。工序：半精镗→精镗→与精镗孔配合的导向条。

在半精镗、精镗曲轴孔之前，用单一镗刀完成第一挡曲轴孔的半精镗尺寸（ $\phi 51.7\text{mm}$ ，公差 $-0.02\sim -0.04\text{mm}$ ，作为半精镗刀的导向孔），单一镗刀返回刀具库。

用曲轴孔组合镗刀加工时，第一挡曲轴孔是半精镗刀进入曲轴孔的导向，但不切削。当曲轴孔组合镗刀继续工进时，半精镗刀加工第二挡曲轴孔，精镗刀才开始加工第一挡曲轴孔，依次完成曲轴孔的最终精加工。

导向条与曲轴孔之间并不实际接触，由切削液形成的油膜隔开，油膜的刚度如何、是否油膜形成，是加工成功

的关键。

(2) 半精铰、曲轴孔组合铰刀精铰，刀具也是采用阶梯式结构。工序：半精铰→精铰→与精铰孔配合的导向条。加工过程与镗孔相同，不在累述。

(3) 采用带可调切削单元，刚性、无振动镗刀。加工时无需导向孔导向，可直接分半精镗工进，从第一挡曲轴孔到最后一挡曲轴孔完成，下一工序精镗从第一挡曲轴孔到最后一挡曲轴孔，完成曲轴孔的精加工。

不难看出，以上三种加工方法都存在：刀具工进行程过长（ $410\text{mm}$ ），耗时长，影响缸体生产线的节拍平衡；刀具结构复杂，价格贵，供应周期长，生产成本低。

## 2. 卧式加工中心加工曲轴止推面

曲轴止推面合格与否是发动机性能好坏的关键。如图1所示，在加工中心上采用止推面专用铣刀，从缸体曲轴孔中心进入到第三挡曲轴孔前端面，沿曲轴孔中心进行圆弧插补，完成止推面前端面加工；专用铣刀退回，缸体回转 $180^\circ$ ，加工第三挡曲轴孔后端面，保证止推面宽度尺寸 $21\pm 0.05\text{mm}$ 的要求。

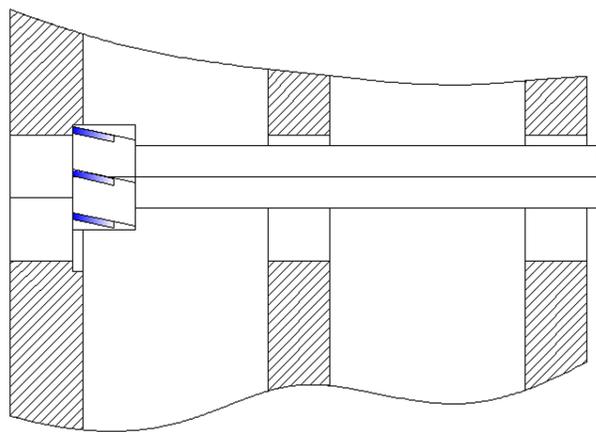


图1 加工中心上用差补法铣削曲轴止推面

存在的问题：专用铣刀悬臂长，刚性差，加工质量难保证。圆弧插补加工效率低。止推面两侧分开加工，存在基准定位不重合误差，止推面宽度尺寸 $21 \pm 0.05\text{mm}$ 和止推面对曲轴孔中心垂直度 $0.050\text{mm}$ 的要求，两个关键特性保证难度大。

以上曲轴孔、止推面用加工中心加工存在许多不确定因素，保证止推面宽度尺寸和止推面对曲轴孔中心的垂直度，质量和效率都没有十分把握。同时，分开加工安装曲轴后油封座定位孔和安装变速箱定位孔，对缸体曲轴孔中心都有位置度要求。因为没有和曲轴孔同时定位加工，位置度也很难保证。

我们采用双工位粗、精镗曲轴孔组合机床复合加工，来完成以上加工内容。

#### (1) 第一工位

如图2所示，加工内容：粗镗曲轴孔 $\phi 51.7\text{mm}$ （公差 $-0.02 \sim -0.04\text{mm}$ ），双面精车曲轴止推面至宽度尺寸 $21 \pm 0.05\text{mm}$ 。

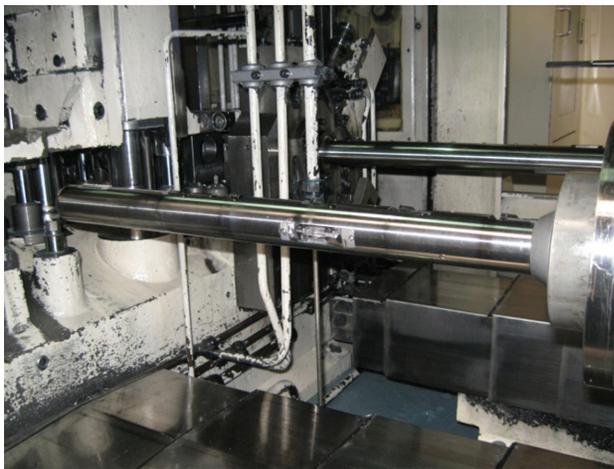


图2

缸体经滚道人工推入夹具定位夹紧，缸体抬起粗镗曲轴孔镗杆快进，镗刀至轴承挡前 $5\text{mm}$ 停止快进，缸体落下。粗镗曲轴孔开始工进，到镗刀走出轴承挡后 $5\text{mm}$ 终点时，也是双面精车曲轴止推面开始节点，镗杆在进给油缸作用下，进给斜楔推动双面车刀实现工进横车，完成粗车止推面两面。此时，后镗杆向后拉实现精车前止推面。完成后，镗杆向前推实现精车后止推面，完成了止推面宽度尺寸 $21 \pm 0.05\text{mm}$ 的加工。双面车刀退入镗杆，缸体抬起，镗杆快速退出缸体，缸体转入第二工位。

#### (2) 第二工位

如图3所示，加工内容：精镗曲轴孔 $\phi 52\text{mm}$ （公差 $+0.012 \sim +0.042\text{mm}$ ），精铰曲轴后油封座 $2-\phi 6\text{H}7$ ，变速箱安装定位孔 $2-\phi 10\text{H}7$ 至图样尺寸。

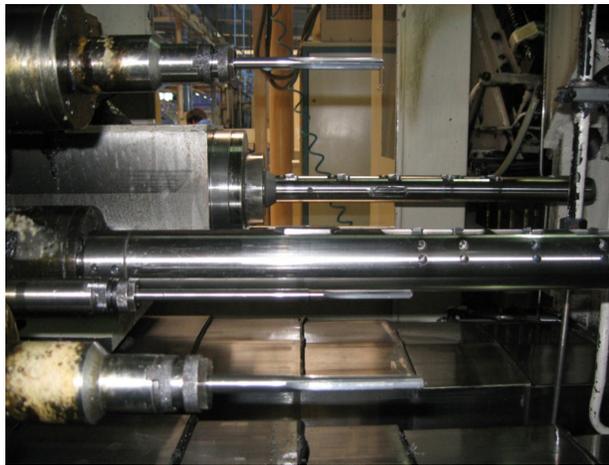


图3

缸体自动进入第二工位夹具内定位夹紧，缸体抬起精镗曲轴孔镗杆快进镗刀至轴承挡前 $5\text{mm}$ 停止快进，缸体落下，镗杆转工进，精镗曲轴孔镗杆向前快进转工进完成半精镗（推镗），同时也完成精铰安装曲轴后油封座 $2-\phi 6\text{H}7$ 定位孔和安装变速箱 $2-\phi 10\text{H}7$ 定位孔的加工。精镗曲轴孔时镗杆后退，实现精镗曲轴孔尺寸（拉镗）结束。缸体抬起，镗杆快速退出缸体，缸体转入下一工序。

粗镗曲轴孔和双面精车曲轴止推面在一次定位夹紧中完成是理想的工艺方案，经过数年生产证明，止推面宽度尺寸 $21 \pm 0.05\text{mm}$ ，止推面对曲轴孔的中心线垂直度 $0.050\text{mm}$ ，虽然是发动机的关键，但加工质量一直稳定。

### 3. 结束语

复合加工是组合机床的特长之一，采用多刀、多轴主轴箱、液压滑台一次进给，完成主轴箱从快进到工进再到快退至原位，快速完成一个工作循环。克服了加工中心单一刀具多次换刀，多次快进，工进工序节拍长的弱点。而且在工件一次定位夹紧中，完成多项要素的加工，满足相互间的位置度要求。

复合加工在加工中心上广泛应用，如在缸盖生产线精镗气门座圈安装孔和气门导管孔，采用复合刀具（见图4）减少一次换刀，保证它们间的同轴度要求。

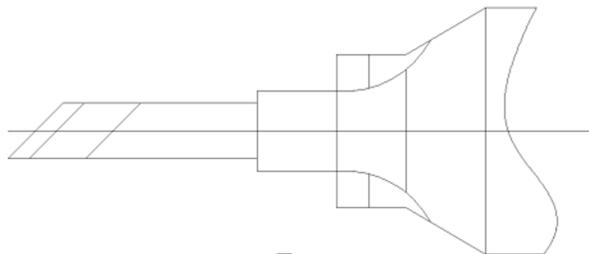


图4

实践证明，在建设新的生产线时，在平衡整个生产线节拍时，选择复合加工是解决问题的上策。□

# 汽车发动机缸盖机加工去毛刺方案

上汽通用五菱汽车股份有限公司青岛分公司 和西录 王禹亭 孟宪彬

根据我公司铝合金材质缸盖机加工现状，针对加工过程中毛刺产生的位置及机理，从缸盖清洁度、加工成本角度选用最适合我工厂现状的方案，并实施跟踪。

进入21世纪，随着汽车市场需求量的增加，我国汽车工业迅猛发展，传统汽车发动机考虑重量、油耗等因素，缸盖多为铝合金材质。铝合金材质硬度较低，塑性较好，材质偏软。机械加工过程中必定会产生一定的毛刺，近年来随着对3C件加工清洁度要求的日益提高，去毛刺逐渐引起人们的重视。

在日常加工中，随着加工刀具的磨损及其他方面的因素，铝制缸盖加工面边缘产生毛刺是在所难免的，这些毛刺会在发动机后续的装配过程中掉落。若掉落至缸盖与其他发动机部件的结合面上，会导致发动机密封性降低，进而导致泄漏、油水贯通等；更有甚者掉落至凸轮轴孔中，会直接导致凸轮轴抱死，发动机气门失效。

本文通过例举我公司铝合金缸盖日常加工过程中的毛刺问题，从这些特例中分析毛刺产生的位置、机理，提出一些解决措施，并跟踪实施效果，也可为同行业类似问题提供借鉴措施。

## 1. 铝合金缸盖易产生毛刺的部位

目前大部分汽车厂商发动机的缸盖生产线主要由数十台CNC加工中心组成，每个成品缸盖都是通过加工中心的上百把各种类型刀具（钻头、铰刀、镗刀、丝锥、面铣刀、镗刀）加工完成。经行业内日常加工过程的经验及统计得出，铝合金缸盖加工易产生毛刺的位置主要有：

(1) 钻、铰、镗孔时，孔加工的出口处，会产生大小不等的毛刺、翻边；铝屑长度（或宽度）基本等于孔的半径，此种铝屑一般较大厚，与缸盖粘连较多，不容易去除。

(2) 铣各加工面时，在工件加工面的边、角、棱外缘

会产生较多的毛刺、翻边，甚至在刀具加工参数设置不合理或者刀具存在磨损时会产生非常坚硬的推边，是无法人工手动去除的。

## 2. 钻通孔时产生翻边去除

### (1) 毛刺现状

机加工行业目前使用最多的钻头为锋角 $120^\circ$ 标准钻头， $120^\circ$ 的锋角虽然增加了定心的作用，但在加工到通孔出口时，由于径向力的原因，会将出口处的铝屑横向推出，形成铝屑翻边。

例如，加工缸盖顶面罩盖的螺栓孔（通孔）钻头，钻头具体结构是锋角 $120^\circ$ 的形式（见图1）。刀具材质和寿命分别设定为PCD焊片和20000件，根据加工现场统计，在加工到2000件左右时，由于刀具刃肩锋利度的下降，通孔出口边缘无法完全切断，径向力的作用会将铝屑推向四周，如图2所示。



图1 原用钻头



图2 通孔铝屑翻边

### (2) 解决措施

根据通孔出口处的铝屑形成的原理，如果降低刀具寿

命，成本会翻倍增加，只能降低钻头加工时的径向力，所以加大钻头的锋角对去毛刺是一个有效的措施。将钻头改为E型钻尖，此类型钻头除钻尖极小部分为 $120^\circ$  锋角外，其他部分相当于锋角 $180^\circ$ （见图3），刃肩加工到通孔出口处时不存在径向力，对铝屑能够形成完全切除。经过刀具改制试验，新型的E型钻尖刀具能够加工到刀具设定寿命（20000件）而不产生毛刺翻边（见图4），验证效果良好，验证成功。



图3 新型钻头图



图4 更改后通孔加工效果

### 3. 铰、镗孔时产生的毛刺、翻边去除

#### (1) 毛刺现状

同钻头一样，铰刀的刃形使用不合理，也会在加工的出口处存在毛刺翻边。而且铰刀设定的加工余量较小，所以产生的毛刺翻边极小，通常在 $0.5\text{mm}$ 级以下，很难被发现，造成质量问题的风险较高。

例如缸盖机械挺柱孔的加工，常用的刀具为导条单刃铰刀，并且为保证加工表面的质量，刀片刀尖角通常较大，刀具材质和寿命分别设定为PCD和10000件。根据日常跟踪加工的经验，刀具加工至二三千件，挺柱孔出口处就会出现极小毛刺（见图5）。这种小毛刺一旦掉落，会影响发动机气门的测量及挺柱孔的匹配，进而影响发动机油耗。



图5 挺柱孔毛刺

#### (2) 解决措施：增加去毛刺专用刀具

最简单的就是通过物理加工的方法，根据孔加工的直

径，设计去毛刺专用刀具（见图6）。刀具从工件挺柱孔顶端入刀，刀具中心与挺柱孔中心偏置，进入孔底。然后刀具中心与挺柱孔中心重合，反刮挺柱孔底部，加工出倒角，经验证挺柱孔出口100%无毛刺（如图7）。



图6 去毛刺刀具

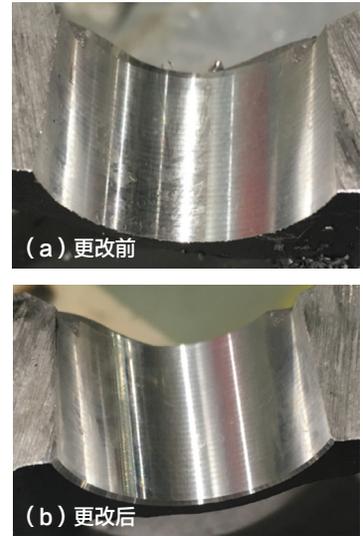


图7 有无去毛刺刀具效果图对比

但是，采用此措施会使机床增加一把新刀具，加工时间延长，机床工艺的节拍无法满足，考虑到工艺优化及成本，此措施虽然去毛刺效果很好，但加工节拍增加较多，因此此措施对于产能要求较高的工厂无法适用，可作为借鉴研究，要想解决此问题只能另辟蹊径从挺柱孔加工刀具上想办法。

#### (3) 解决措施：优化铰刀

对于单刃铰刀来说，随着刀片刃口的磨损，对铝屑切断能力越来越差，挺柱孔出口处出现毛刺在所难免。所以我们从刀具加工形式及刀片形状入手，一方面将单刀片刀具改制为导条双刀片刀具，通过双刀片的形式分割加工余量（见图8），经试验验证微量切削对去毛刺是有很明显的效果；另一方面增加刀片刀尖角的锋利度，将刀尖角由原来的大圆角更改为类似 $0.3\text{mm} \times 75^\circ$  的倒角，在增加刀尖锋利度外，也减小刀具切削时铝屑所受的径向力，削弱挺柱孔出口边缘铝屑外推翻边。

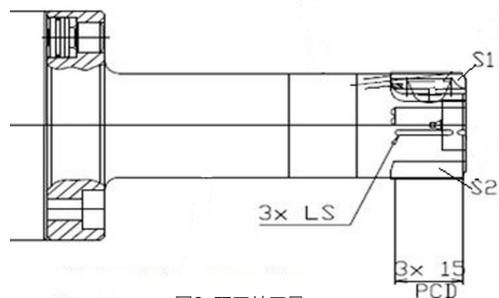


图8 双刀片刀具

经过刀具改制上线试验，双刀片导条铰刀能够加工到刀具设定寿命（10000件），无明显毛刺产生，效果对比如图9，刀具改制措施验证成功。

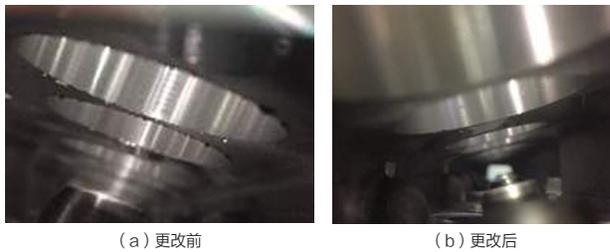


图9 单、双刀具加工对比

#### 4.面铣加工时产生的毛刺去除

发动机的缸盖与其他部件结合面较多，需加工面多，涉及的面密封问题也多，所以对缸盖的清洁度要求较高。面铣加工的毛刺以及面加工的质量一直是影响缸盖清洁度的一大重要因素。

##### (1) 面铣刀具

铝合金面加工在高转速的刀具下才能呈现高的表面质量，但是高转速对面铣刀具本身的机械性能和机床主轴的刚性都有比较高的要求。

例如，缸盖燃烧室面加工用的面铣刀通常为大直径的工具钢面铣刀（见图10），刀自身重量都要超过10kg，刀具为PCD刀片，通常加工到2000件左右，加工面边缘就开始出现毛刺翻边，并且刀体过重，主轴负担过高，加工容易出现振纹，表面粗糙度差等问题。



图10 工具钢面铣刀

铝合金加工的切削力相对较小，对加工刀具刀体自身的刚性要求相对于铸铁的要低，所以考虑铸铁刀盘优化为铝合金刀盘（见图11），整刀重量减至5kg以下，减轻机床主轴负担。并且增加两个修光刃（8+2形式），提高工表面粗糙度；自身重量减轻，更适合高转速加工，适当提高加工参数（S3380，F2540）；刀具使用专用的刀夹。

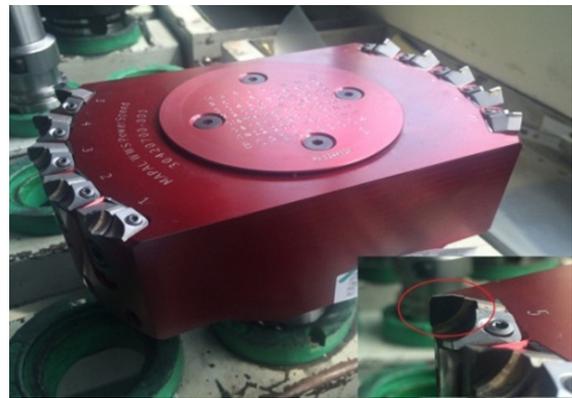


图11 铝合金红色面铣刀

经试验验证，铝合金刀盘的寿命是工具钢寿命的3~4倍，试验全程无毛刺翻边，无刀痕、振纹，毛刺得到有效抑制，且加工面质量得到提高，详细对比见下表。

刀具更改前后加工信息对比表

刀具	表面粗糙度 Ra/ $\mu\text{m}$	月停机时间 /min	工位节拍 /s	毛刺问题
工具钢 刀具	0.73	297	179.6	2000件左右开始出现毛刺，越来越严重
铝合金 刀具	0.53	0	167.5	全程无毛刺出现

##### (2) 毛刷

目前行业中，为解决铝合金面加工的质量及边缘毛刺问题，在面铣刀加工完成后多使用毛刷，毛刷多为大直径盘刷，要达到无毛刺效果，需从毛刷的走刀路径及毛刷材质入手。

缸盖加工行业中用的毛刷刷丝材料目前通常为尼龙基体磨料涂层结构，此种毛刷磨损快、寿命短，而且尼龙基体弯曲后恢复较慢，边缘毛刺产生的位置又较加工面低，因此去毛刺效果较差。为提高毛刷去毛刺的效果就必须更换一种刷丝材质，钢丝具有一定的刚性，弹性恢复也快，并且钢丝材质耐磨，很适合去毛刺毛刷。

通过试验验证，在钢丝毛刷加工下，毛刺得到控制由于铝屑问题拆解的发动机数量会明显减少，由于泄漏问题的月平均拆解率由0.592%降到当前的0.456%，问题得到有效抑制，钢丝毛刷在去毛刺效果上的优点。

考虑到节拍及加工效果等两方面因素，毛刷的走刀路径一般以能够覆盖加工面的最短的路径为优，但是这种路径设置有一个缺点，就是一旦加工面较为复杂，或者毛刷一旦转向与毛刺朝向相同，去毛刺效果就会变差。

例如缸盖的顶面存在凸轮轴孔、火花塞孔、挺柱孔等，加工面较为复杂，按如图12所示更改之前的路径加工后，火花塞孔左下方四分之一部位因位于毛刷出刀侧易残留毛刺（见图13）。

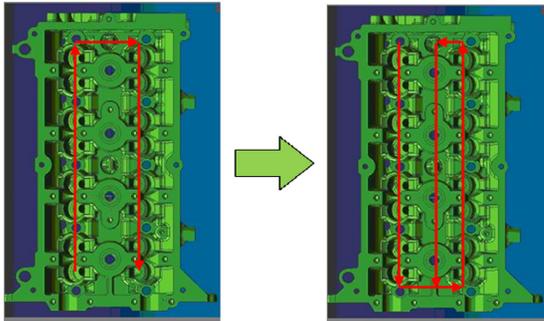


图12 毛刷路径更改

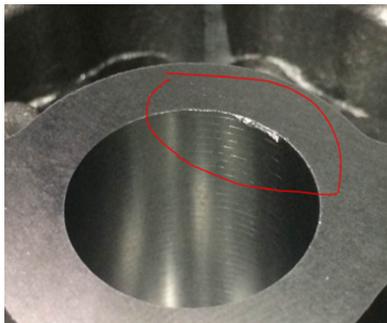


图13 火花塞孔残留毛刺

由此，在现有毛刷路径的基础上增加刷中间火花塞孔“1”字形形成路径（见图12），并且将毛刷转向改为与铣刀转向相反，保证与加工面边缘毛刺朝向相反的毛刷经过。验证结果有效，且经验证钢丝毛刷刀具寿命可提高至25000件，彻底去除了加工面边缘的毛刺翻边。

### 5.结束语

铝合金机加工毛刺控制一直是行业内的普遍问题，目前我公司缸盖生产线团队针对现场收集的毛刺相关的数据，分析、制定一系列相关措施，从效果、成本方面甄选最简单有效的措施，使毛刺翻边问题得以有效控制，缸盖生产线的清洁度得以提升。文中提到的解决毛刺的个例，可为铝合金机加工的同行业提供相关经验。在实际生产中，还可以有很多不同的解决办法，需要我们去不断地去探索与研究，选择适合现场工况的有效措施。□

#### 参考文献：

- [1] 刘福东.发动机缸盖用铸造铝硅合金力学性能研究 [J].特种铸造及有色合金, 2011 (31-1): 83-88.
- [2] 罗蒙.金属切削过程中毛刺形成机理及控制方法的研究[D].上海: 上海交通大学, 2007:18-23.
- [3] 赵炳桢.现代刀具设计与应用[M].北京: 国防工业出版社, 2014: 433-442.

## 资讯

### 浙江丽水成立滚动功能部件产业创新服务综合体

2020年7月21日，在浙江丽水举行了滚动功能部件创新服务综合体成立及签约仪式，中国机床工具工业协会滚动功能部件分会秘书长叶永生作为嘉宾致辞。



根据初步规划，浙江省丽水滚动功能部件产业创新服

务综合体（一期）选址开发区七百秧森林东侧，占地面积1.2万平方米，分为合作交易区、技术研发区、公共服务区、产业孵化区、金融服务区和配套服务区。

据了解，开发区滚动功能部件产业目前发展态势良好，有300多家相关企业，已形成以直线导轨副、滚珠丝杠副为主导的产业集聚。南京理工大学与开发区开展产业创新服务合作的代表冯虎田教授认为，开发区滚动功能部件产业发展的主要问题在于研发力量比较薄弱，产品档次偏低，并建议走中高端的产品研发路线。

集聚区（开发区）相关负责人表示，通过产业创新服务综合体的建设，可以更好地助力打造中国滚动功能部件生产基地，建成产品附加值高、产业创新力强、市场占有率高、在业界具有更强影响力的中国滚动功能部件丽水产业集群。

# 关键机械功能部件故障诊断及状态评价

昌河飞机工业（集团）有限责任公司 胡 辉

本文重点介绍借助传感器技术以及信号分析技术，对机械部件的运行状态进行数据化评估，替代经验判断，对故障进行精准诊断及预防性维护，建立现代故障诊断技术。

随着数控设备使用年限的增加，机械部件的磨损日益严重，机械故障日益增多，尤其以一些关键功能部件，如主轴、导轨、轴承、丝杠、减速器、齿轮齿条、主轴齿轮箱等，一旦损坏，由于备件采购周期长，将造成设备长时间停机，给公司科研生产造成极大的损失。

机械部件故障诊断及状态判断，依赖个人经验，对维护人员机械技术水平和经验要求极高，培养一名高水平机械维护人员，需要耗费长达十几甚至二十几年的时间，如果照以往方式培养，已无法满足公司设备保障要求。如何借助传感器技术辅助机械故障诊断和状态判断，利用先进的分析软件，数据化评估，替代经验判断，建立现代故障诊断技术，缩短专业人员培养时间，是值得我们设备保障人员探索的一个方向。以下通过一个例子来简单介绍和说明。

## 1.故障现象

一台美国辛辛那提V5-5000五轴龙门加工中心，Y轴移动的时候，出现抖动现象，导致工件加工表面质量以及精度超差，如图1所示。



图1 工件表面波纹

## 2.故障分析及解决办法

Y轴是由伺服电机通过同步齿形带驱动丝杠的传动方式，海德汉光栅尺作为位置反馈的全闭环控制。由于之前出现过Y轴光栅尺信号报警，更换过光栅尺读数头，因此首先怀疑光栅尺反馈信号问题，使用海德汉PWM20光栅尺检测工具，对读数头端和驱动模块端的反馈信号进行监测，同时与X轴光栅尺反馈信号进行比对，判断Y轴光栅尺反馈信号属于正常范围内。因此排除了光栅尺反馈信号问题。

首先尝试使用西门子数控系统伺服优化功能，调整和匹配当前Y轴机械状态，通过调整和优化Y轴的控制参数，包括位置环、速度环、电流环控制参数，以及加速度、摩擦力补偿参数、滤波器功能等，均无明显改善。因此怀疑Y轴机械传动环节存在问题，导致Y轴位置闭环控制振荡，最后造成Y轴移动时抖动问题。

对Y轴的机械传动环节进行排查，首先检查丝杠、导轨的润滑情况，伺服电机是否安装紧固、同步齿形带是否松动磨损，均没有发现明显问题，最后问题焦点集中在丝杠、导轨以及丝杠两端的支撑轴承上。但是如何准确确定故障点，诊断这三个关键机械功能部件状态，依据设备维护人员个人经验非常困难，按照以往处理方式，采购这三套机械功能部件备件，逐一更换，确定和解决故障。这种方式不单备件采购费用极高，而且周期极长（尤其进口品牌丝杠，备件周期近一年）。

借助三轴加速度振动传感器，对导轨滑块、丝杠螺母

以及丝杠支撑轴承处进行振动状态测量，执行Y轴往复运动程序，通过分析软件进行记录和分析。

循环执行程序如下：

LOOP；循环指令

G01 G54 F8000；以F=8000mm/min进给速度运行

Y0；移动到Y=0坐标

Y-800.；移动到Y=-800坐标

ENDLOOP；与LOOP配套使用

导轨滑块测试结果如图2所示。

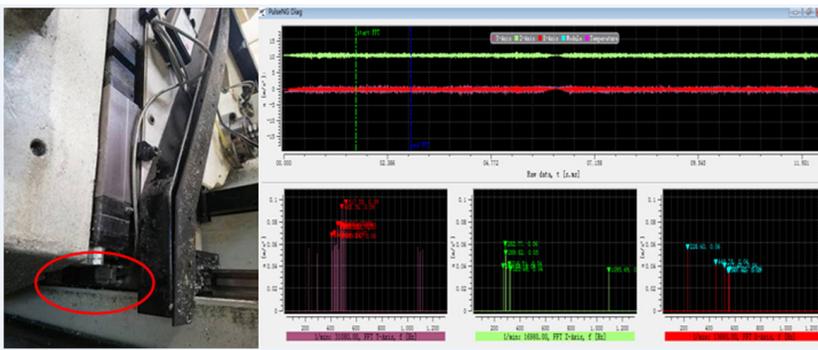


图2 导轨滑块振动频谱

丝杠螺母测试结果如图3所示。

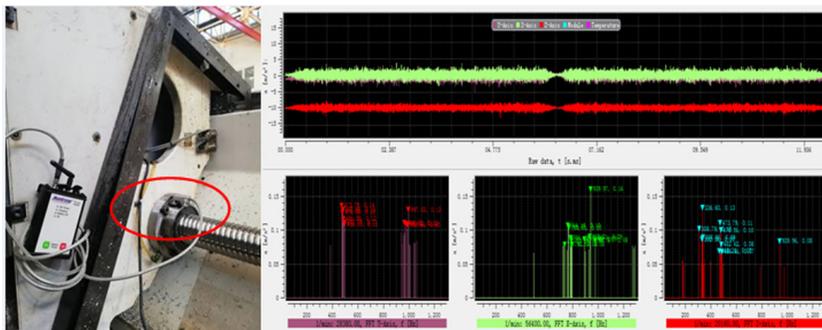


图3 丝杠螺母振动频谱

丝杠支撑轴承测试结果如图4所示。

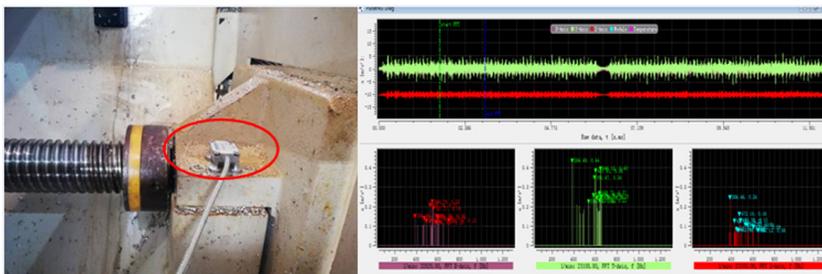


图4 丝杠支撑轴承振动频谱

比较图2、图3、图4频谱，其中导轨滑块处的三向振动加速度均在 $0.13\text{m/s}^2$ 以下，丝杠螺母处的三向振动加速度在 $0.2\text{m/s}^2$ 以下，丝杠支撑轴承的三向振动

加速度最大达到了 $0.4\text{m/s}^2$ ，且Y向的最大。因此，怀疑丝杠支撑轴承存在问题，且在Y向存在窜动。分解丝杠支撑轴承，共有四个角接触球轴承，其中轴承外圈沟道有明显疲劳剥落和磨损，如图5所示，且其中一个轴承保持架破碎。



图5 轴承外圈沟道

### 3.结束语

机械振动分析和测量是一门专业学科，是建立在信息检测、信号处理、计算机应用、模式识别和机械工程等学科基础上，在机械故障诊断中有着重要的地位。以上两个例子，仅仅只是对于振动频谱做简单的检测和分析，对于深层次的应用，比如通过振动频谱分析，就能对机械传动链中的功能部件进行精准故障诊断，对运行状态进行数据量化评价，进而对使用寿命进行准确预测，则需要更专业的机械振动理论知识，同时具备丰富的现场经验。□

# 屏蔽与接地对机床运行稳定性的影响

昌河飞机工业(集团)有限责任公司 林超青

正确良好的屏蔽与接地对于保证机床及控制系统稳定运行有重要的意义和影响。然而在实际工作中,屏蔽与接地的重要性又常常被忽视,由此引发的故障常常难以确定故障部位,故障排除难度较高。本文以公司GTF2212高速加工中心及一条标准件生产线出现的屏蔽与接地故障,对设备屏蔽与接地问题的重要性及抗干扰措施进行探讨。

## 1. 屏蔽与接地对设备运行稳定性的影响

屏蔽与接地是保证电子设备电磁兼容性(EMC)的有效手段之一。正确接地及相应的屏蔽措施,既能抑制外部电磁信号干扰,又能抑制设备向外发出干扰信号;如果接地不当或屏蔽层接触不良,反而会引入严重的干扰信号,使电子设备无法正常工作,甚至损坏电子元器件。

设备的地线包括信号地、机壳地、系统地等,接地不当或屏蔽层接触不良对控制系统的干扰主要是各个接地点电位分布不均,不同接地点间存在地电位差,引起地环路电流,影响系统正常工作。

此外,屏蔽层、接地线和大地有可能构成闭合环路,在变化磁场的作用下,屏蔽层内会出现感应电流,通过屏蔽层与芯线之间的耦合,干扰信号回路,甚至烧坏电子元器件。工厂设备的控制系统运行电磁环境都比较恶劣,极易受到各种电磁干扰,因此良好的接地系统及屏蔽措施对设备

运行的稳定性尤为重要。

## 2. GTF2212高速加工中心系统控制板频繁损坏故障的分析与处理

GTF2212高速加工中心采用的是FIDIA C20数控系统,操作站上的控制面板等部件通过控制板PCX2与控制系统进行串行通讯。该机床使用过程中在不到一年的时间内烧坏3块PCX2板,每次更换PCX2板机床就能正常运行,但是运行一段时间后又出现烧坏PCX2板现象,同时该操作面板还经常发生静电触电情况。

GTF2212高速加工中心由于技改原因搬迁到另外一个厂房,该设备在搬迁前已经正常运行4年多时间,期间没有发生过PCX2板损坏的现象。但是搬迁安装投入使用后一年内连续烧坏3块PCX2板,同时该机床的操作面板经常出现静电触电的现象,因此该故障发生的原因与设备安装质量相关的可能性比较大。

该设备用于复合材料加工,复合材料加工时设备容易产生静电,如果

设备的安装质量不良,接零接地混乱,零线地线及屏蔽线接触不良等就会导致各个接地点电位分布不均,积累的静电电荷无法通过接地系统消除。不同接地点间存在地电位差,引起地环路电流,影响系统正常工作,干扰信号回路,积累的静电电荷达到一定程度,静电放电甚至会烧坏电子元器件。

(1) 检查设备的电源零线与地线接线情况

该设备电源采用三相五线制,零地分开。在检查机床的配电柜时,发现零线与地线安装正确(见图1),零线与电线分开接线,但是在机床进线开关处发现,零线与地线没有按要求分开接线,而是两者并接在一起(见图2)。如果电源三相电源不平衡,那么中性线(零线)就有可能带电,零线与地线并接在一起,此时如果地线接线不良,就会导致不同接地点间存在电位差,引起地环路电流,影响系统正常工作,因此要零线与电线分开接线。



图1 配电柜零线与地线接线



图2 机床开关处零线与地线接线

(2) 检查机床内部地线接线情况

把机床进线的零线与地线分开后，操作面板偶尔带电的情况没有消除。操作面正常情况下是接地的，不应该带电；只有接地不良，各地线之间有电阻才会产生电位差，使面板带电。检查机床的控制柜地线与配电柜地线的电阻，结果发现控制柜地线与配电柜地线间电阻为零。

检查操作面板与配电柜地线之间的电阻，发现操作面板与配电柜地线的电阻有 $3\Omega$ ，但是控制柜地线与配电柜地线间电阻为零，因此可以认为操作面的接地与控制柜接地中间有接触不良的地方。打开操作站后背板，对操作站的接线情况进行仔细检查，结果发现设备操作站与机床控制柜之间连接地线悬空（见图3），而操作站是安装在机床移动门上，导致操作站地与机床控制柜地连接不良，产

生电阻和电位差。重新把连接地线接上后，测量操作站与配电柜地线的电阻，两者电阻为零。

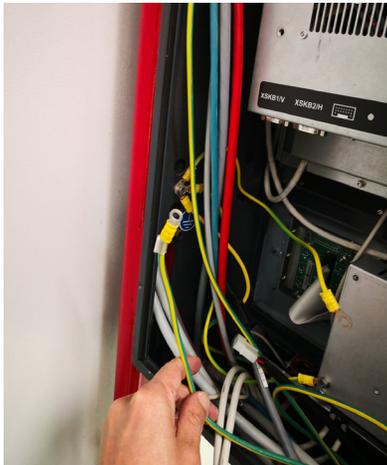


图3 操作站的接地与控制柜接地

操作站地与机床控制柜地连接好后机床进行通电试运行，试运行期间发现面板带电的现象还是偶尔会发生。测量面板与配电柜地线的电阻，结果发现面板与配电柜地线的电阻有 $1\Omega$ ，但操作站地与配电柜地之间的电阻为零，因此可以判断该电阻的产生是操作面板与操作站之间接触不良导致的（见图4），地线接线不良，导致不同接地点间存在电位差，进而损坏PCX2。



图4 操作面板接地与操作站接地

通过观察发现，操作面板与操作站本体之间是通过螺栓固定的（见图5），同时为了操作站的密封，面板与操作站本体间有一层塑料密封胶条，而且面板是喷漆的，因此接触不

良的原因是面板与操作站本体之间的接地是通过螺栓连接，由于喷漆及胶条存在导致接触不良，在操作面板与操作站本体用接地线连接后（见图6），操作面板与操作站本体地、配电柜地电阻为零。



图5 操作面板与操作站

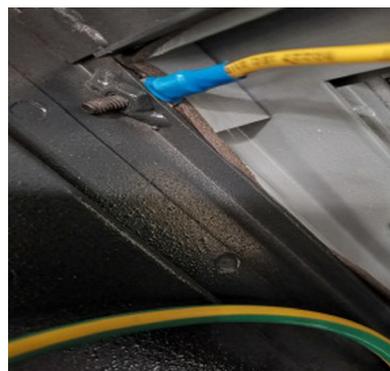


图6 操作面板与操作站本体用接地线连接

机床整改完成运行一年多没有再发生PCX2烧坏及面板带电的现象。因此该故障可以认为是由于机床电源进线接线、控制柜地与操作站地接线以及操作面板与操作站本体地接触不良、安装质量等几方面导致，而该机床本身的加工性质容易产生静电，接地系统不完好就会使静电电荷无法消除，累积到一定程度就会烧坏电子元器件，造成设备故障。

### 3. 标准件生产线PLC故障频发问题分析与处理

(1) 标准件生产线PLC的故障现象

标准件生产线根据工艺要求由五台设备并非组成，工序间零件的运送由搬运小车执行，搬运小车在地面布置的铁轨上运动，搬运小车与群控间

通过西门子S7-300 PLC进行通讯及控制。

该生产线在运行过程中经常发生群控间PLC CPU、PROFIBUS总线接头，以及搬运小车PLC CPU、PROFIBUS总线接头烧现象，更换损坏部件后生产线能组成运行，但随后生产过程中又会发生CPU或PROFIBUS接头损坏的故障。

## (2) 标准件生产线PLC故障分析与处理

对损坏的CPU或PROFIBUS接头进行分解，发现PROFIBUS总线接头的屏蔽层压接金属片及接线PCB板有严重的烧蚀现象，PROFIBUS总线屏蔽层制作不合理，塑料没有剥除，金属片压在塑料层上，只有很少的一点屏蔽网金属线与压接金属片靠上；损坏的接头中有几个接头甚至锁紧螺栓都发生烧蚀情况；有的CPU PROFIBUS总线连接处也出现大面积烧伤（见图7）。



图7 严重烧蚀的PROFIBUS总线接头

正常情况下接头屏蔽层压接金属片压紧总线屏蔽层，屏蔽层与机床接地（外壳）相连，不会带电，只有屏蔽层带电，产生较大电流才会导致屏蔽层压接金属片严重烧伤及损坏电子元器件。屏蔽线带电荷的原因很多，比如设备接地设施做的不好，接地电阻过大，设备接地电阻一般要 $\leq 4\Omega$ ；地线接触不良，不同接地点有电位差；工作接地没有与大地相连，工作接地主要是提供基准电压，这个基准电压一般为零。如果基准电压与大地不相连，则相对的零电位会

不稳定，会随着外部磁场等外部条件的变化而变化，使系统工作不稳定，甚至损坏电子部件等。

检查设备接地电阻，测量结果得到接地电阻为 $2.8\Omega$ ，满足接地要求。

检查群控间控制柜接地柱与外壳、接地线的连接，接地柱与外壳、接地线为零，满足要求，接触良好。

检查群控间控制柜CPU、PROFIBUS总线接头与接地柱联接，接地电阻为零，可以认为接触良好。检查搬运小车的CPU、PROFIBUS总线接头与接地柱、小车控制壳外壳的电阻，发现CPU、搬运小车的接地柱与外壳不通，而且把PROFIBUS总线接头从搬运小车的CPU拆下后，接头的屏蔽层压接金属片与搬运小车外壳、接地柱不通，总线接头安装到CPU上那屏蔽层压接金属片与则搬运小车的接地柱相通，搬运小车与设备的外壳电阻为零。

以上检查结果表明搬运小车的接地柱是悬空的，与外壳没有连接，搬运小车与群控间控制柜的地是通过PROFIBUS总线联通的。

检查搬运小车的接地情况，发现搬运小车在设备设计制造时就有缺陷，接地柱没有与外壳连接，导致接地柱悬空。进一步检查发现群控间控制柜与搬运小车控制柜之间没有地线相联，之间只是通过PROFIBUS总线的屏蔽层联通，也就是说，PROFIBUS总线的屏蔽层充当了地线。因此故障原因就是该设备的先天设计缺陷造成，搬运小车与群控间控制柜没有设计安装连接地线，搬运小车的接地柱没有接外壳，也就是工作接地没有与大地相连，一旦出现雷雨等情况时，零电位发生变化，使系统工作不稳定，甚至损坏电子部件等。

根据检查的结果，对设备进行整改，搬运小车与群控间控制柜安装连接地线（见图8、图9），搬运小车的

接地柱与外壳相联接，同时对总线屏蔽层进行处理，使压接金属片压紧屏蔽层金属网。

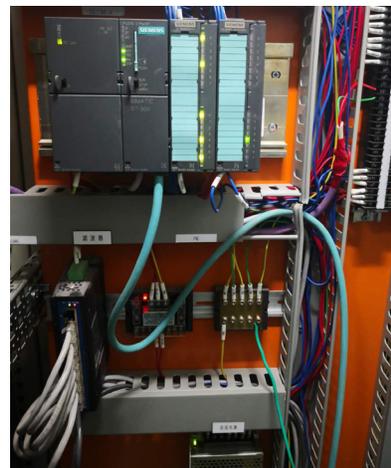


图8 群控间控制柜增加连接地线（绿色线）



图9 搬运小车控制柜增加连接地线（绿色线）

设备改造完成后，该生产线在随后近一年的运行中再也没有发生CPU、PROFIBUS总线接头损坏的情况。

## 4. 结束语

正确良好的屏蔽与接地对于保证机床及控制系统运行的稳定性有着重要的影响，在实际工作中，对屏蔽与接地的重要性要高度重视，因屏蔽与接地问题带来的机床偶发故障或干扰很难快速定位故障点，给机床使用和维护带来极大的困扰。因此在机床的设计、安装与维护保养过程中，要重视屏蔽与接地系统，确保设计完善、安装可靠、维护良好。□

# 全地面起重机固定支腿结构工艺筋板拓补优化

太原理工大学 任洁

针对刚性较差的结构件在加工装卡过程中容易变形的问题，以全地面起重机固定支腿结构为例，采用焊接工艺筋板的方法来提高结构刚性，在给定的加工装卡约束下，通过拓扑优化有针对性地对工艺筋板进行设计，得到最佳材料分布，不仅解决了凭经验设计的盲目性，还实现了工艺筋板材料的节约。

一些刚性较差的结构件，如薄壁件、空腔箱形结构件、U形悬臂结构件等，在加工装卡过程中容易变形，引起加工超差，导致废品率提高。通常采用焊接工艺筋板的方法来提高结构刚性，控制加工装卡变形，保证产品质量，但工艺筋板的形状及尺寸一般是根据经验设计，所以对工艺筋板进行理论分析优化，有着十分重要的作用。本文运用HyperWorks软件对全地面起重机固定支腿结构工艺筋板进行有限元分析和拓扑优化设计。

## 1. 拓扑优化理论

拓扑优化是一种数学方法，能在给定的空间结构中生成优化的形状及材料分布。结构拓扑优化的基本思想是将寻求结构的最优拓扑问题转化为在给定的设计区域内寻求最优材料分布的问题。给出何处可以去掉材料以减轻重量的建议，满足规定的减少材料量的同时最大化结构刚度，即确定导致结构最大刚度的材料分布，实现最佳利用材料。

通过拓扑优化分析，设计人员可以全面了解产品的结构和功能特征，可以有针对性地对总体结构和具体结

构进行设计。特别在产品初期，仅凭经验和想象进行零部件的设计是不够的，只有在适当的约束条件下，充分利用拓扑优化技术进行分析，并结合丰富的设计经验，才能设计出满足最佳技术条件和工艺条件的产品。

拓扑优化的研究领域主要分为连续体拓扑优化和离散结构拓扑优化。连续体拓扑优化的最大优点是能在不知道结构拓扑形状的前提下，根据已知边界条件和载荷条件确定较合理的结构形式，它不涉及具体结构尺寸设计，但可以为设计人员提供全新的设计和最优的材料分布方案。目前最常用的连续体拓扑优化方法有均匀化方法、变厚度法、变密度法等。本文采用的是变密度法，其基本思想认为所设计结构是一种密度可变的材料，材料的物理参数与密度之间的关系也是认为假定的，优化时每个单元的材料密度直接被作为设计变量，在0-1之间连续变化，优化后可以得到结构的最佳方案。

## 2. 固定支腿结构特点及加工分析

全地面起重机固定支腿结构为半

封闭式箱型结构（见图1），内部有挤压块，分布在支腿结构前中后三处位置，挤压块共6块，分为上下挤压块，两侧腹板上各焊有3块挤压块，前端及中部为4块下挤压块，后端为2块上挤压块，上挤压块下部挤压面与下挤压块上部挤压面间距有尺寸公差要求。

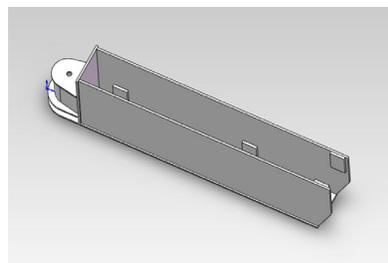


图1 固定支腿结构几何模型

固定支腿结构加工设备为主轴直径为160mm的镗铣床，刀盘采用直径为315mm的三面刃铣刀盘。因设备的局限，焊成封闭结构后将无法加工挤压块，故在焊接固定支腿结构时，不焊接上盖板，先加工挤压块，再焊接上盖板，固定支腿结构内部为空腔，在首次加工挤压块过程中固定支腿结构为π形梁。

加工过程中支腿平放，开口侧对

床头，下部用方箱支撑，上部用压板向下将固定支腿结构压紧，压紧力作用在靠近挤压块200mm处，压紧力按《机械加工工艺师手册》典型夹紧形式实际所需夹紧力计算公式计算：

$$F_k = \frac{K(\sqrt{F_1^2 + F_3^2} + F_2\mu_2)}{\mu_1 + \mu_2} = \frac{2.9 * (\sqrt{1793^2 + 1076^2} + 0.2 * 3227)}{0.2 + 0.2} = 19839$$

式中， $F_k$ 为夹紧力（N）， $\mu_1$ 为夹紧元件与工件间的摩擦因数， $\mu_2$ 为工件与夹具支承面间的摩擦因数，K为安全系数：

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 = 1.2 * 1.2 * 1.3 * 1.2 * 1.3 * 1.0 * 1.0 = 2.9$$

$F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 为铣削力F在三个方向上的分力（N）。

$$F = 2335 a_p^{0.90} f^{0.80} d^{-1.1} b_D^{1.1} n^{-0.1} z = 2335 * 5^{0.90} * 0.2^{0.80} * 315^{-1.1} * 50^{1.1} * 400^{-0.1} * 18 = 3586$$

式中，F为铣削力（N）， $a_p$ 为铣削深度（mm），f为每齿进给量（mm/z），d为铣刀直径（mm），n为铣刀转速（r/min），z为铣刀的齿数， $b_D$ 为铣削宽度（mm）。

将固定支腿结构几何模型导入HyperWorks软件专门的前、后处理器Hypermesh模块中，对其进行六面体网格划分后，得到有限元模型，节点数为19078个，单元数为9538个。设置材料的密度为 $7.9 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，泊松比为0.3，杨氏弹性模量为 $2.1 \times 10^5 \text{MPa}$ 。对固定支腿结构下腹板及下盖板侧棱挤压块的位置作全约束处理，在固定支腿结构上腹板距挤压块200mm处施加载荷为压紧力19839N。将有限元模型提交到OptiStruct求解器中进行求解，得到固定支腿结构加工装卡时的位移分布图（见图2）。

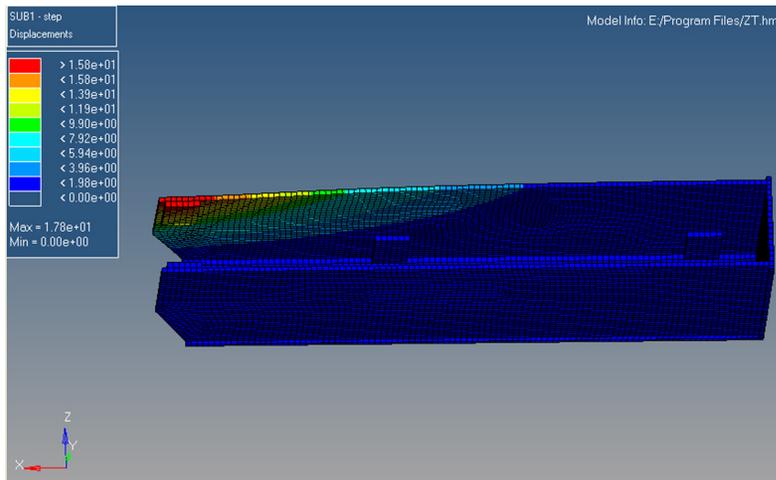


图2

从位移分布图中可以看出，此时固定支腿结构刚性很差，挤压块处位移最大达到17.8mm，远超出允许变形量，需要在固定支腿结构内部加焊支撑工艺筋板，以提高固定支腿结构的刚性。

### 3. 固定支腿结构工艺筋板有限元分析

根据经验及考虑加工时刀具进出的方向上不能有材料阻挡，工艺筋板设置在距离挤压块200mm的位置。采用与支腿结构材料相同的尺寸为10mm × 710mm × 1630mm的板材。

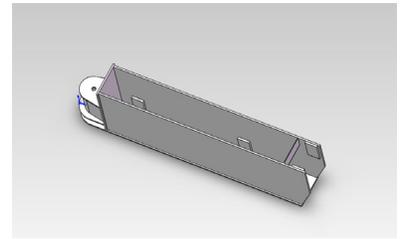


图3 加焊工艺筋板的固定支腿结构几何模型

将加焊工艺筋板的固定支腿结构几何模型导入HyperWorks软件专门的前、后处理器Hypermesh模块中，对其进行六面体网格划分后，得到有限元模型，节点数为20014个，单元数为10038个。按上述定义材料属性及施加约束边界条件，并在固定支腿结构上腹板工艺筋板处施加载荷为压紧力19839N。提交到OptiStruct求解器中进行求解，得到加焊工艺筋板的固定支腿结构加工装卡时的位移分布图（见图4）。

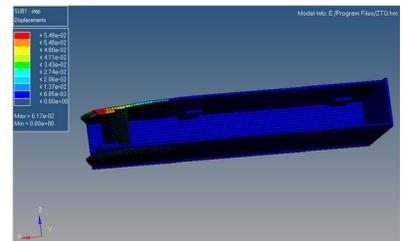


图4

从位移分布图中可以看出，焊接工艺筋板后固定支腿结构刚性较好，挤压块处位移最大达到0.0617mm，在允许变形范围内。但工艺筋板及固定支腿结构下部位移较小，说明材料存在浪费，有必要进行拓扑优化，改善其拓扑结构，节约工艺筋板的材料。

### 4. 固定支腿结构工艺筋板拓扑优化

建立拓扑模型，固定支腿结构设置为非优化区域，工艺筋板设置为优化区域。以工艺筋板的单元密度为设计变量，体积最小为目标函数，以挤压块位移不大于0.1mm为约束条件，

对其进行拓扑优化设计。单元密度设为0.3，得到优化后模型（见图5）。

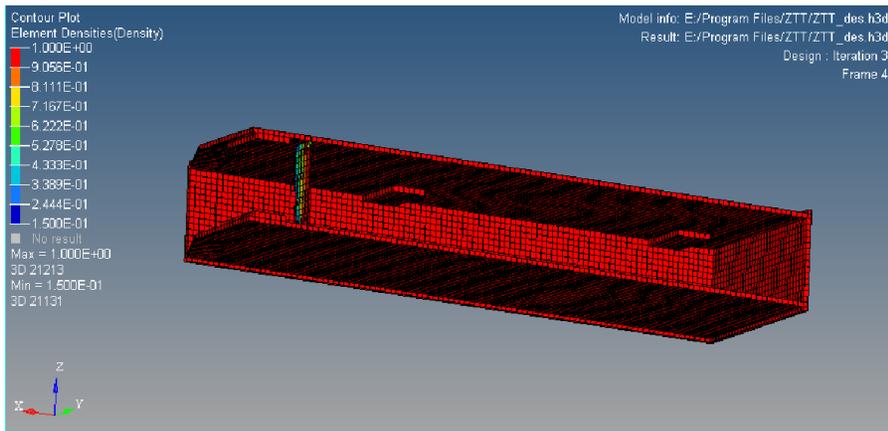


图5

查看优化结果可以看出密度不小于0.3的结构集中在上部300mm以内。考虑工艺筋板的制造方便性，工艺筋板采用与支腿结构材料相同的尺寸为10mm×300mm×710mm的板材，建立优化结构模型（见图6）。

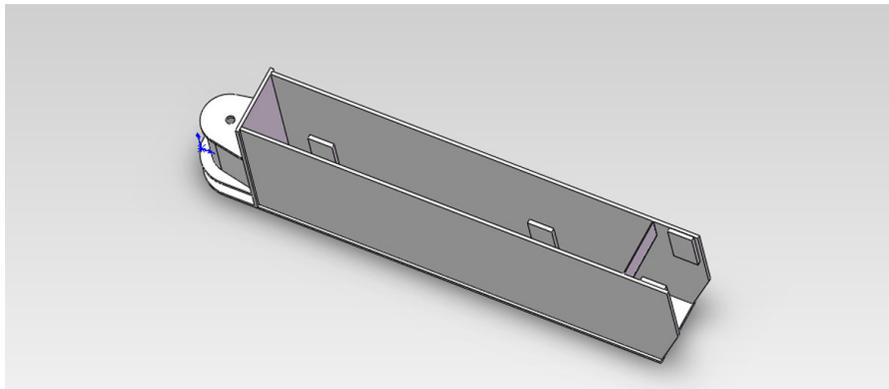


图6

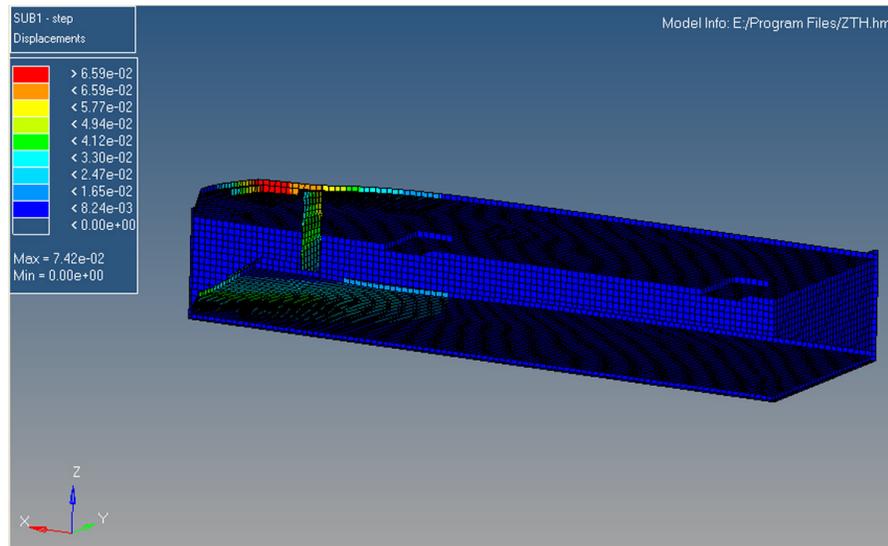


图7

将优化工艺筋板后的固定支腿结构几何模型导入HyperWorks软件专门的前、后处理器HyperMesh模块中，对其进行六面体网格划分后，得到有限元模型，节点数为19822个，单元数为9901个。按上述定义材料属性及施加约束边界条件和施加力边界条件。提交到OptiStruct求解器中进行求解，得到优化工艺筋板后的固定支腿结构加工装卡时的位移分布图（见图7）。

从位移分布图中可以看出，优化工艺筋板后的固定支腿结构刚性较好，挤压块处位移最大达到0.0742mm，在允许变形范围内，大大节约了工艺筋板的材料。

## 5. 结论

对固定支腿结构工艺筋板进行拓扑优化后，结构刚性能够满足加工装卡要求，且工艺筋板高度从原来的1630mm降低到300mm，实现了工艺筋板材料的节约。

在原来的生产加工过程中对工艺筋板的设计比较盲目，完全凭借经验，没有明确的参考性，为了可以满足要求，一般都比较浪费材料，且形状位置也不是很准确。在给定加工装卡约束下，通过拓扑优化可以有针对性地对工艺筋板进行设计，给设计人员有效的指导。

拓扑优化现阶段主要应用于产品设计，用于加工等制造过程中工艺筋板的设计很少，通过这次设计研究的顺利实施，为此类型结构件工艺筋板理论分析设计提供了成功的经验。□

# 数控机床硬限位报警电气设计改进

首都航天机械有限公司 关进良 范文 耿中华 林东 李岩

本文分析了硬限位对于数控机床的作用，以及和软限位之间的关系，给出了常见硬限位报警程序设计的优缺点，对常见硬限位电路及报警程序进行了设计改进。

数控机床的限位一般分为两种：硬限位和软限位。硬限位是由行程开关（也称限位开关）来控制机床各轴行程的，它是机床上实际存在的一个开关，当机床某个轴超程（即压下行程开关）后，即可引起机床正/负向超程报警（如FANUC数控系统OT0506或者OT0507报警）。软限位是由机床参数来设定的，一般设定在硬限位的内侧，当机床移动到参数设定位置时也可引起报警。硬限位和软限位均是保护机床过行程的一种方式，尤其是硬限位，如果失灵或者设计不合理，当机床超过硬限位时很有可能造成设备损坏甚至影响产品和人身安全。

本文以FANUC数控系统机床为例对硬限位报警进行设计改进，从而提高设备安全性能同时便于技术人员进行硬限位有关的故障诊断。

## 1. 常见硬限位电路及其PMC报警程序设计

### (1) 相关地址信号及机床参数

和硬限位有关的地址信号主要是各轴正向超程信号G114和负向超程信号G116，具体对应关系如图1所示。需要注意的是，机床参数3004#5（OTH）控制是否进行超程信号的检测，正常情况下应使3004#5→0（0代表进行超程信号的检测，1代表不进行超程信号的检测）。

	#7	#6	#5	#4	#3	#2	#1	#0
G114				*+L5	*+L4	*+L3	*+L2	*+L1
G116				*-L5	*-L4	*-L3	*-L2	*-L1

地 址 符 号	含 义
G 1 1 4 . 0 *	+ L 1 X 轴 正 向 超 程
G 1 1 4 . 1 *	+ L 2 Y 轴 正 向 超 程
G 1 1 4 . 2 *	+ L 3 Z 轴 正 向 超 程
G 1 1 6 . 0 *	- L 1 X 轴 负 向 超 程
G116.1	*-L2 Y 轴负向超程
G116.2	*-L3 Z 轴负向超程

图1 硬限位超程信号

### (2) 相关电路及其PMC报警程序设计

机床上常见的硬限位电路一般有两种。

第一种如图2所示，把限位开关（SQ1、SQ2、SQ3）串联在急停电路中，当任何一个轴过行程时，均可引起机床急停。对应的PMC报警设计程序如图3所示，这种设计方法不论是过行程故障还是一般的急停故障，都是造成急停报警（信号G8.4不通），超程信号G114和G116始终为1，从报警信息中不能识别具体哪类故障，也不能准确提示出具体哪个轴超程，报警信息不明确，给判断故障造成了困难。

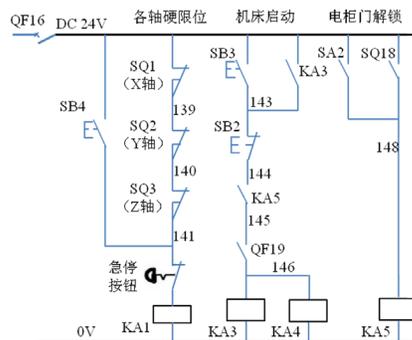


图2 硬限位电路

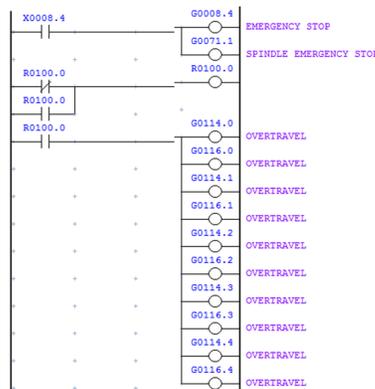


图3 PMC报警设计程序

第二种如图4所示，每个轴的限位使用两个行程开关（正向和负向各1个，三个轴共用6个行程开关），分别从每个轴的开关处引出一根电缆接到I/O板上。PMC报警程序如图5所示，这种设计方法将一般急停故障和硬限位超程故障分开处理，当某个轴压下行程开关后，能准确显示超程报警信息，但也存在一定的不足之处。主要有以下两点：①限位开关使用过多，一般一个轴应使用一个开关即可，并且通常情况下，电气元件使用越多故障率也随之越高；②占用I/O点数较多，PMC程序较为繁琐。

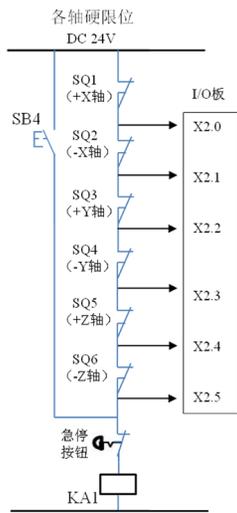


图4 硬限位电路

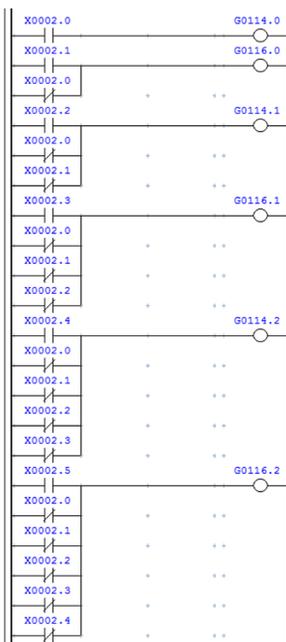


图5 PMC报警设计程序

## 2. 硬限位电路及其PMC报警程序设计改进方案

### (1) 电气图设计改进

改进后的电气原理图如图6所示，只使用3个行程开关，且仅占用3个I/O点（X1.4、X1.5和X1.6），较大程度上简化了电路。

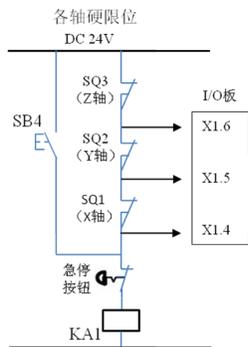


图6 改进后的电气原理

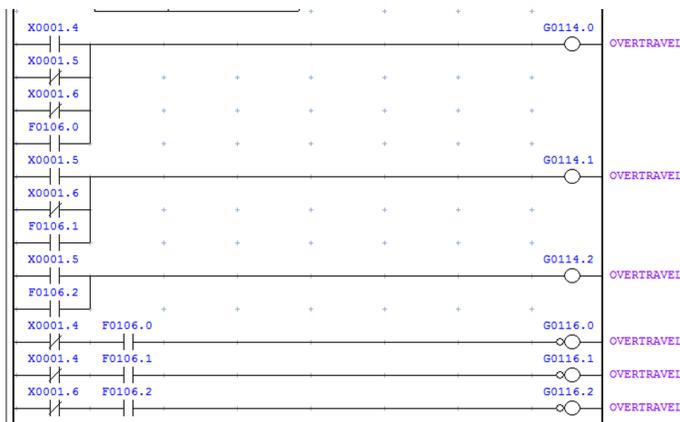


图7 改进后的PMC报警设计程序

Fn106	地址	信号	信号	值	含义
F 1 0 6 . 0				0	X 轴 移动 方向 为 正
				1	X 轴 移动 方向 为 负
F 1 0 6 . 1				0	Y 轴 移动 方向 为 正
				1	Y 轴 移动 方向 为 负
F 1 0 6 . 2				0	Z 轴 移动 方向 为 正
				1	Z 轴 移动 方向 为 负

图8 轴移动方向信号及其含义

## 3. 结束语

通过分析常见硬限位电气原理图和PMC报警程序，并在此基础上进行了设计改进，改进后的硬件电路中使用3个行程开关，软件PMC程序实现了每个轴正向或负向超程时，机床均能准确报警且报警信息中包含具体超程的方向，该设计方案不仅保护了机床各轴的行程，提高了机床的安全系数，同时简化了PMC程序，便于进行故障诊断。□

### (2) PMC报警程序设计改进

改进后的PMC报警设计程序见图7，这里需要使用到轴移动方向信号F106（MVDn），信号状态及其含义见图8。从图7可以看出（以X轴为例进行说明），当X轴正向移动超程时，信号X1.4为0，G114.0也由1→0，其它超程信号均为1，机床出现X轴正向超程（硬限位）报警（报警号OT0506）。当X轴负向移动超程时，X1.4的常闭触点为1，轴移动方向信号F106.0为1，G116.0的反线圈信号为0，引起X轴负向超程（硬限位）报警（报警号OT0507）。其它轴设计思路和X轴类似，不再赘述。

# 一次装夹带倾斜角度支管壳体主、侧法兰的高效加工

贵州誉创机械有限公司 赵忠刚  
泰安鑫杰机械有限公司 张继杰

本文重点介绍利用镗床一次装夹校正全部加工，完成带倾斜角度支管的壳体的主法兰和侧法兰的装夹、定位和校正技巧，详细叙述了该壳体的新式镗削过程。该方法不但保证了壳体的镗削质量，杜绝了主法兰面由装夹引起的划伤，还节约了转递时间和检验次数，大大缩短了加工周期。

在加工带支管的壳体过程中，有时会遇到加工图1所示的带有倾斜角度支管的壳体法兰的情况，业内通常是在车床上车削完成其主法兰后，再由钻床钻削其主法兰上的螺栓孔，然后通过其主法兰上的螺栓孔，将其装夹在镗床工作台上的弯板上，对其侧法兰各部进行镗削。存在问题是工艺有些繁琐，转递和检验次数较多，加工工期较长。同时，利用弯板和壳体车削后的主法兰端面装夹壳体，还容易导致壳体主法兰端面的划伤。

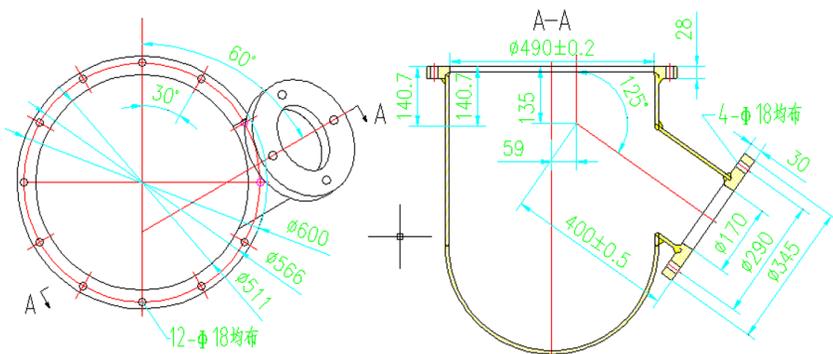


图1

为此，笔者经过反复研究，对其工艺进行了改进，直接在镗床上一次装夹将该壳体的主法兰和侧法兰各部加工完成，大大缩短了加工周期。

(1) 移动镗床工作台，使其回转中心线与镗轴中心线相交，并记下此时工作台的横向行程数值X。再将工作台逆时针旋转125°，伸出镗床主轴，使其端面至工作台中心距离N为400mm，在工作台上紧固一个套式定位块（作为镗削

侧法兰端面时的测量基准），使其靠在镗轴端面的中心部位。

将镗轴退回，并使工作台再顺时针旋转125°，将一块V铁紧固在镗床工作台上，如图2所示，使其V面中心线与镗轴中心线平行且距离为59mm，再将两块可调垫铁布置在工作台上图2所示的位置。

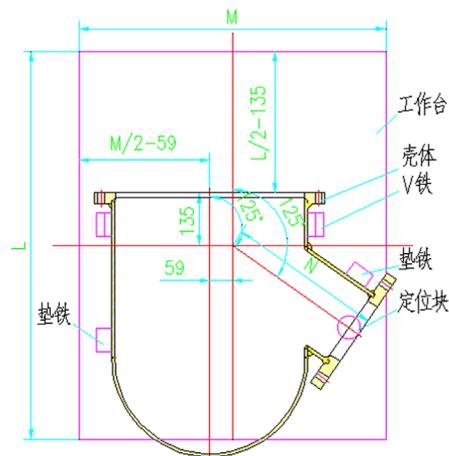


图2 壳体支管回转中心与工作台回转中心重合装夹

(下转第69页)

# 循环水泵机械密封轴的车削加工

四川省攀枝花市鞍钢集团攀钢工程技术有限公司 周德华

我公司循环水泵机械密封轴以前都是外购，因受到新冠疫情的影响外购备件迟迟不能到货，高成本备件以往都是采用零库存模式。现急需循环水泵机械密封轴更换，整个检修、定修、更换额定时间为16小时。

一旦不能在额定时间内完成，就会造成整个系统瘫痪的连锁反应，造成不可弥补的损失。为保生产的顺利进行，我们开始紧急加工循环水泵机械密封轴，额定加工时间为10小时。需加工的循环水泵机械密封轴简图如图1所示。



图1

循环水泵机械密封轴总长度为1715mm，最大直径尺寸为90mm，最小直径尺寸为 $65 \pm 0.01\text{mm}$ 。该循环水泵机械密封轴总共有15个台阶，直径尺寸公差多数为 $\pm 0.01\text{mm}$ 。

密封轴长径比为26，根据车工工艺的规定轴的长度 $L$ 与直径 $d$ 之比大于或等于25 ( $L/d \geq 25$ ) 时称为细长轴。细长轴是车削中比较难加工的工件，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。

因为是在普通车床上进行切削加工，就要充分考虑普通车床是否能达到加工精度，加工好的循环水泵机械密封细长轴的同轴度、圆跳动能否达到要求，在泵体内运转时间能否达到

生产检修周期。相对于车床的精度，操作者的技术要求就较高。

## 1. 制定合理加工工艺

仔细研究图纸、讨论加工方式、结合现有设备制定合理加工工艺。

(1) 采用一夹一顶结合中心架来车削加工循环水泵机械密封细长轴。在车削加工细长轴时，细长轴本身刚性较差，车削时如果装夹不当，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，表面粗糙度变差。所以需对车床尾部顶针进行必要的改进。

(2) 车床尾部顶针的改进。顶针是车削轴类工件，特别是车细长轴时不可缺少的部件，安装在车床尾架上。顶针的作用是在夹紧工件时，从车床尾部将工件顶住一端，以便实现细长工件的车削加工和安全保障。

普通顶针在轴线方面从车床尾部将工件顶住固定后，没有伸缩调整的余地，在车削过程中由于工件受热产生热变形伸长，根据热变形伸长公式：

$$L = \alpha l T$$

式中， $L$ 为工件热变形伸长量（mm）； $\alpha$ 为材料热膨胀系数，钢 $\alpha = 11.50 \times 10^{-6}$ ； $l$ 为工件的总长度（mm）； $T$ 为工件升高的温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

从上述公式中可以看出，伸长量与工件的长度、工件热膨胀系数和工件的温升有关。车削加工短轴类零件由于热变形伸长量小，工件刚度不易

变形弯曲，可以不必考虑。但是车削加工细长类零件时，热变形伸长量大，刚度低，如果顶针固定后没有伸缩调整的余地，工件就会因热变形伸长而被顶弯，车削加工就很难进行，也容易出废品。为此，我们将普通顶针改进为弹簧顶针（见图2）。

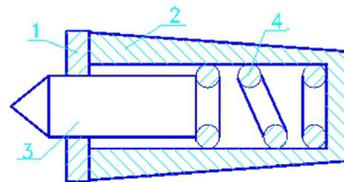


图2

1.顶针体 2.莫氏圆锥体 3.顶针 4.弹簧

顶针在车削过程中，在工件受热变形时，工件推动顶针，弹簧被压缩，补偿了工件的伸长量，这样就不会顶弯，从而保证了车削加工的顺利进行。

## 2. 加工实例

采用一夹一顶结合中心架来车削加工循环水泵机械密封细长轴的工艺安排，设备采用CY6140B车床（云南机床厂2007年出厂）。下料 $\phi 95\text{mm} \times 1800\text{mm}$ ，采用卧式铣床打中心孔。

车床卡盘装夹长度为15mm，为防止加工过程中产生轴向窜动造成安全事故，加工一外圆小于 $\phi 95\text{mm}$ 的安全工艺夹头如图3所示。

将坯料较直（车床将外圆粗加工至 $\phi 91\text{mm}$ ）。粗车循环水泵机械密封轴各部台阶，将 $M80 \times 2$ 左、



图3 增加工艺夹头防止窜动

M68×2左一端置于车床尾架能有效防止振动和跳动。半精车以及精车时，为保证定位基准统一，中心架的位置始终不变（见图4）。

在半精车以及精车循环水泵机械密封轴的右端（M68×2）时，由于车床小刀架与中心架会发生相撞，将车床小刀架逆时针转动45°，将90°外圆左车刀安装在车床刀架的右侧。

在离中心架更近时，车床小刀架逆时针转动180°，同时90°外圆左（反）车刀无法加工到轴肩根部，采



图4 中心架定位

用90°内孔车刀加工，如图5所示。

加工完成后，切断时留10~15mm余量，使用钢锯锯断，因为直接切断不利于安全。

### 3.结束语

经过实践证明，在没有数控机床，没有磨床的情况下，通过长时间的探索，经验的积累，对一些难点的分析，制定出了针对性的方案。通过对顶针的改进，有效地解决了切削时的振动现象，补偿了热变形伸长量，



图5

控制了弯曲度并保证车削加工的顺利进行。

通过对车床刀架角度的调整与刀具的正确选用，以及切削速度与冷却润滑液的合理选择，使得车削流畅轻快。采用正确的加工方法和工艺就能提高功效50%左右，提高加工质量与效率。经检验工件尺寸精度与表面光洁度均达到了技术要求。通过充分的研究，科学制定加工工艺，精心沉稳的操作加上丰富的经验，在普通车床上也能达到数控机床的效果。□

（上接第67页）

（2）把壳体如图2方式吊装在V铁和垫铁上，调整两块垫铁的高度使其主法兰和侧法兰端面加工线与镗床工作台台面垂直；同时，还要使其主法兰端面加工线距离工作台端面（ $L/2 - 135$ ）mm。

安装一般装夹方法将V形压板及螺栓、螺母布置在筒体上，并在其主筒体内孔中靠近主法兰部位安置螺旋撑，以控制筒体在压紧过程中的变形量。此时，一定要测量一下主法兰内孔的上下方向尺寸，将工件校正后适当旋拧一下螺旋撑，并紧固压板的压紧螺母，边测量主法兰内孔边紧固螺母，尽量使工件在紧固后，其主法兰内孔上下方向的尺寸变化量不大于0.1mm；在支管上用链条和工作台T型槽中专用螺旋拉紧装置将其锁紧。

此时，也可测量工作台侧面至主法兰中心的距离（ $M/2 - 59$ ）mm，来校验一下壳体的安装位置是否正确。

（3）采用常规方式先镗削其主法兰内孔、端面、外圆和12-φ18mm的螺栓孔，镗削其端面时，测量工作台端面至主法兰端面的距离为（ $L/2 - 135$ ）mm即可。

（4）镗削侧法兰内孔、端面、外圆和4-φ18mm的螺栓孔时，逆时针旋转工作台125°，且主轴箱需要下降一定距离才可与支管及侧法兰轴线重合。通过在CAD制图软件中按照图样比例绘制该壳体后，从主法兰中心点向支管轴线作一垂线OE（见图3），通过标注OE知其长度为102.2mm，该值便是主轴箱需要下降的距离。

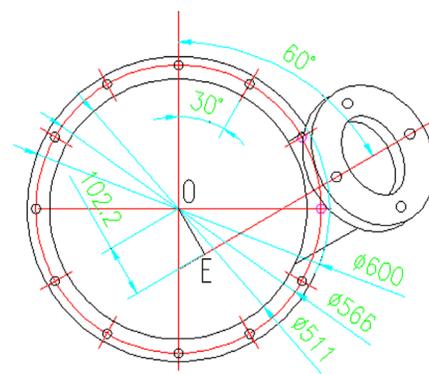


图3 主法兰中心至支管轴线距离

该文从如何利用镗床一次装夹校正全部加工完成带倾斜角度支管的壳体的主法兰和侧法兰入手，详细叙述了该壳体的新式镗削方法。缩短了该类壳体的加工周期，提高了加工效率，更好地保证了该类壳体的加工质量。□

# 矿机用轴承前端盖工艺分析及夹具设计

沈阳工学院 朱晓慧 任延举 魏晨虎

对矿机用轴承前端盖进行工艺分析,依据其结构特点,设计出零件的工艺流程,并根据回转孔加工特点,设计带有分度装置的专用钻孔夹具,主要包括定位装置、导向装置、夹紧元件、分度结构等结构的设计。

## 1. 零件的工艺分析

### (1) 零件的作用及结构特点

矿机轴承端盖是在矿机使用中,用来对轴承进行轴向固定,同时对轴承座进行密封的零件。本零件的材料是HT200,由零件的结构特点分析可知,零件的毛坯可选为铸造成型。HT200的硬度为148~236HBS,而且耐磨性、强度、耐热、减振性能较好,但需要人工时效,适用于承受较大的应力和耐磨,有一定的气密性的零件。图1为矿机用轴承端盖零件,其最大外圆为 $\phi 219\text{mm}$ ,最小内孔为 $\phi 94\text{mm}$ ,厚度为28mm。

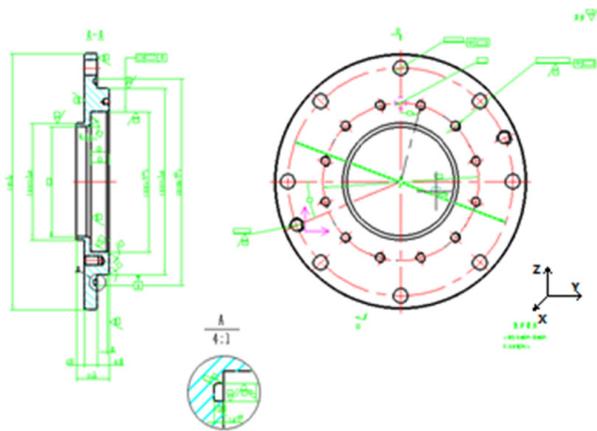


图1 矿机用轴承端盖

### (2) 零件的工艺性特点

该零件是端盖,对于各个表面的粗糙度都有要求,其中主要的加工面是端面、内孔、外圆等。由于孔加工是在零件的内部进行,切削情况不易直接用眼睛来观察;由于

壁厚比较薄,钻孔加工时容易产生变形;内孔的深度测量要比外圆难,尤其是小孔。

## 2. 拟定机械加工工艺路线

### (1) 确定毛坯的类型及制造方法

选择轴承端盖毛坯的时好坏,会直接影响到零件的加工质量、生产效率和经济性。一般毛坯的选择主要依据有零件的结构和尺寸、零件的材料、生产类型和现有的条件。根据零件图的要求选择毛坯的材料为HT200,由于零件结构特点所以采用铸造件毛坯,又因为零件在企业的生产类型是大批生产,所以采用砂型铸件,效率高同时保证了毛坯的尺寸,便于加工。根据GB-T 6414-1999铸件尺寸公差与机械加工余量表可查的毛坯余量,确定毛坯重约为4.4kg。

### (2) 拟定加工工艺路线

轴承端盖的加工方法有很多种,但是加工一般都采用工序集里的加工工艺路线,这样做不仅可以缩短工艺路线、减少辅助时间,而且还不占用过多的工人和生产面积,简化生产的管理。还能够提高各个表面之间的位置精度,以及选择加工方法时还应该去考虑到工件材料的性质,工件的结构和尺寸,生产类型,具体生产条件以及其它特殊要求。

因工艺流程是直接用于指导生产和加工操作的重要文件,在编制时还需要做到正确、完整、统一、清晰,所引用的各种术语、符号、计量单位和编号都必须符合相应的标准。依据上述分析,根据各个表面的加工要求和使用的各种加工方法能够达到的经济精度,确定各表面的加工方法如下表所示。

轴承端盖加工工序表

工序	工序名称	工序内容	工艺装备
10	铸造	铸造毛坯	砂型铸造
20	时效	时效处理	
30	车削	粗车外圆、左端面左凸台	CA6140卧式车床
40	车削	粗车右端面、右凸台端面和外圆	CA6140卧式车床
50	车削	半精车右端面右凸台、精车右凸台外圆	CA6140卧式车床
60	车削	半精车左端面、左凸台外圆	CA6140卧式车床
70	镗削	粗镗内孔	CA6140卧式车床
80	镗削	半精镗内孔	T618卧式镗床
90	车削	粗、半精车凹槽	T618卧式镗床
100	钻削	钻、铰定位孔	Z5150立式钻床
110	钻削	钻、铰 $8 \times \phi 13.5$ , $2 \times \phi 11$ , $12 \times \phi 7$	Z5150立式钻床
120	攻丝	攻丝 $2 \times M12, 12 \times M8$	Z5150立式钻床
130	终检	终检	
140	入库	入库	

### 3. 钻孔夹具设计

夹具是零件加工的过程中，为了保证零件的加工精度要求而去采用的确保工件相对机床和刀具处于正确的相对位置，并且能够保证在加工过程中不在受到外力的作用反而改变已有正确位置工艺装备的总称。

#### (1) 定位方案及定位元件的选择

夹具设计由轴承端盖的零件图可知，在钻孔之前，零件的两侧端面、中心孔都已加工完成。而钻 $\phi 13.5\text{mm}$ 通孔则需要限制X轴移动、Y轴移动、Z轴移动、X轴旋转和Y轴旋转、Z轴旋转，共有6个自由度，工件属于完全定位。选用工件的 $\phi 160\text{mm}$ 凸台端面和中心孔为主要定位基面，外加一个定位菱形销限制Z轴旋转。

在夹具体上，工件中的大平面定位在夹具的定位板上，限制3个自由度，分别为Z轴移动、X轴旋转、Y轴旋转；短芯轴限制了2个自由度分别为X轴移动Y轴移动，一个定位销限制了一个自由度为Z轴旋转，从而实现定位。由于钻床钻孔时产生的轴向力会导致工件发生倾斜，所以在定位板上加装了4个可调的辅助支撑，以保证加工精度。

#### (2) 夹紧方案及夹紧元件的选择

夹紧形式设计：零件为圆盘类工件，零件只需保证Z轴有夹紧力，所以零件的夹紧采用了一个U槽圆形压板手动夹紧机构，夹紧装置应该拥有足够的夹紧力，并且在装卸工件时方便、迅速。而且手动夹紧的夹紧机构还应该有良好的自锁性，从而能够在保证人力的作用停止之后，还能够稳定的夹紧工件。

夹紧力的计算：根据《简明机床夹具设计手册》，计算钻孔的轴向力为 $F=4878\text{N}$ （计算过程略）；使用扳手的六角螺母的夹紧力：螺纹直径 $D=22\text{mm}$ 、 $P=2.5\text{mm}$ 、 $L=200\text{mm}$ ，其中作用力： $F_{\text{施力}}=100\text{N}$ ，则计算可得夹紧力： $W=7950\text{N}$ 。

由于夹紧力大于切削力，即本夹具可安全使用。

#### (3) 钻模板的设计

钻模支架用于安装钻套，会承受切削力。因此，支架和底座的刚性要好，变形小。钻模支架上不能安装夹紧机构，以免夹紧反力使支架变形而影响钻孔精度。

为了便于工件的安装与拿取，故采用铰链式钻模板，铰链式钻模板依靠螺栓螺母与夹具体连接，装配后钻头先通过钻套再钻削工件，保证待加工孔的位置精度要求，加工时要求钻模板的铰链孔要求与夹具体配套。

#### (4) 分度盘的设计

分度盘选用的是端齿盘作为分度装置，采用梯形螺纹螺母作为抬起机构。端齿盘分度装置是利用齿数很多的端面齿盘相互啮合实现分度的装置，也可称为牙盘分度装置。端齿盘根据齿形不同可以分为直线端齿盘以及曲线端齿盘。

现在直线齿盘的制造很方便，应用很多。所以我们选择直线端齿盘。根据设计要求，外径选择标准 $D=200\text{mm}$ ，齿数 $z=120$ ，齿长 $F=10\text{mm}$ ，齿形角 $\alpha_a=60^\circ$ ，齿距 $t=5.24$ ，齿厚 $S=2.62\text{mm}$ ，齿顶高 $m=0.97\text{mm}$ ，齿全高 $h=3.5\text{mm}$ ，空刀槽宽 $P=1.5\text{mm}$ ，以下是查JB/T 4316.1-2011，根据计算的参数对比标准的直齿端齿盘的系列的参数和尺寸见图2。

单位：毫米

序号	外径 $D$	内径 $d$	齿数 $Z$	齿长 $F$	齿盘副厚度 $H$	体厚 $H_1$	齿盘厚度 $HF/2+m$	齿距 $t$	齿厚 $S$	齿内径 $d_0$	全齿高 $h$	齿顶高 $m$	空刀槽宽 $P$	槽底倾角 $\alpha$	螺栓孔				锥销孔 $d_3$	拆卸螺孔 $d_4$	倒角宽度 $C$	最小抬起量		
															分布圆直径 $D_1$	数量 $n$	直径 $d_1$	沉孔直径 $d_2$					沉孔深度 $b$	
1	100	55	60	6	30	12	15.97	5.24	2.62	88	3.5	0.97	1.5	2° 35' 58"	72	6	6.6	11	6.8	8	M8	1	2.5	
2			72				15.59	4.36	2.18		2.8	0.59	1.5	2° 9' 57"									1.7	
3	110	65	60				15.77	5.76	2.88	98	3.5	0.77	2.0	2° 35' 58"									82	2.0
4			72				15.78	4.80	2.40		3.2	0.78	1.5	2° 9' 57"										
5	125	70	60				16.11	6.54	3.27	109	4.0	1.11	2.0	2° 35' 58"									90	2.7
6			72				16.06	5.45	2.73		3.8	1.06	1.5	2° 9' 57"										
7	140	80	60	8	40	14	21.45	7.33	3.66	124	5.0	1.45	2.0	2° 35' 58"	102	6	9	15	9	8	M8	1	3.4	
8			72				20.92	6.11	3.05		3.8	0.92	2.0	2° 9' 57"									2.3	
9	160	100	60				21.47	8.38	4.19	144	5.4	1.47	2.5	2° 35' 58"									122	3.4
10			72				21.29	6.98	3.49		4.6	1.29	2.0	2° 9' 57"										
11	180	120	60				21.49	9.42	4.71	160	5.8	1.49	3.0	2° 35' 58"									140	3.5
12			72				21.24	7.85	3.93		5.0	1.24	2.5	2° 9' 57"										
13	200	140	72	21.62	8.73	4.36	180	5.6	1.62	2.5	2° 9' 57"	160	3.7											
14			120	20.97	5.24	2.62		3.5	0.97	1.5	1° 17' 57"			2.4										
15	220	150	72	26.56	9.60	4.80	200	6.0	1.56	3.0	2° 9' 57"	175	3.6											
16			120	25.76	5.76	2.88		3.5	0.76	2.0	1° 17' 57"			2.0										
17	250	180	72	27.13	10.91	5.45	226	7.1	2.13	3.0	2° 9' 57"	202	4.8											
18			120	26.10	6.54	3.27		4.2	1.10	2.0	1° 17' 57"			2.7										

图2 直线端齿盘系列参数

轴承采用推力球轴承，推力球轴承能够承受较大的轴向力，可承受双向轴向负荷，其中轴圈与轴配合。座圈的安装面呈球面的轴承，具有调心性能，可以减少安装误差的影响。由于推力球轴承不能承受径向负荷，所以极限转速较低。而在夹具中不用承受径向力，转速也极低。其安装也很方便。

抬起机构采用与螺旋千斤顶的原理类似，采用梯形螺纹。根据端齿盘的抬起量，查GB/T 5796.3-2005，选择螺距 $P=10$ ，公称直径 $d=30\text{mm}$ ，内螺纹大径 $D_4=31\text{mm}$ ，外螺纹小径 $d_3=19\text{mm}$ ，内螺纹小径 $D_1=20\text{mm}$ ，内、外螺纹中径 $D_2$ 、 $d_2=25\text{mm}$ ，牙形角 $\beta=30^\circ$ 。

(5) 钻孔专用夹具

由矿机用轴承端盖的零件特点及加工使用要求，在设计了定位装置、夹紧装置、导向装置、夹具体、分度

装置后，其钻 $8 \times \phi 13.5\text{mm}$ 通孔的组合夹具形式如图3所示。

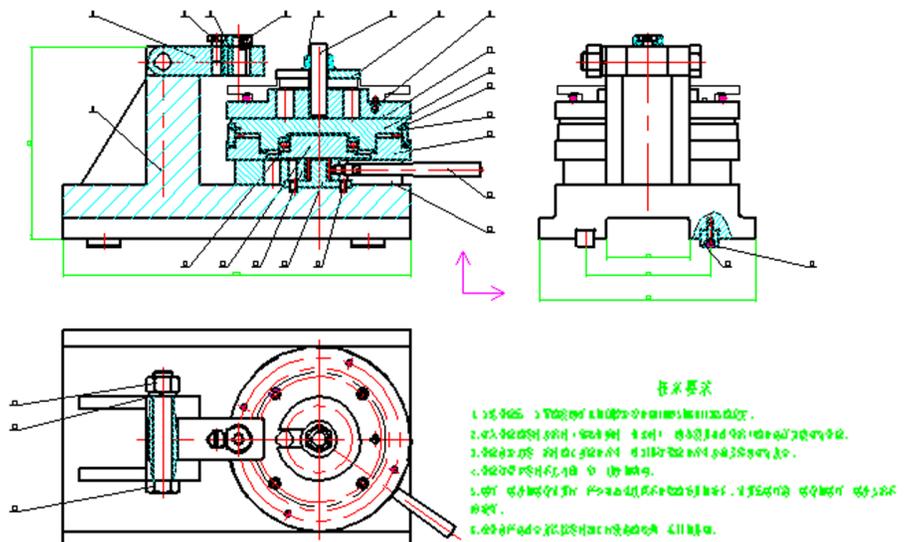


图3 钻床夹具装配图

4. 总结

本次对矿机用轴承前端盖的工艺及夹具设计，通过查阅相关文献及书籍资料，在分析零件掌握工艺和特点的基础上，遵循夹具设计理念，完成了带有分度机构的钻床专用夹具的设计，整个设计的完成，将更有利于企业对该零件的钻孔加工，对提高加工质量及生产效率都极为有利。□

# 面向飞机装配自动制孔系统研究现状分析

成都航空职业技术学院机电工程学院 唐越 郑金辉 张冒

飞机结构件机械连接主要采用机械连接方式，机械连接处质量对整个飞机的使用寿命有重要影响。面向飞机装配的自动制孔系统应用于航空制造工程中的飞机数字化装配中，可以极大提高装配质量和效率。对国外EI公司和宝捷公司，以及国内北航、南航、成飞、沈飞和上海交大等高校和科研院所制造的典型制孔系统的特点进行介绍，对制孔系统关键技术和发展趋势进行简要介绍，为自动制孔系统的研究提供参考。

飞机结构件的连接是飞机装配中重要的一环，目前主要以机械连接为主，最常用的形式为铆钉连接和螺纹连接。飞机上有多达数百万连接处，而75%~80%的机体疲劳破坏发生在机身连接处，可见连接质量对飞机整体质量影响之大。

飞机零部件具有大尺寸、高精度、形状复杂等特点，传统飞机装配中的制孔以手工制孔为主，受到人工作业水平的限制，制孔精度差、效率低，难以满足飞机装配质量和效率要求。以工业机器人技术为基础，加装制孔末端执行器，配合高精度在线检测设备组成的自动制孔系统越来越多地应用到飞机装配中。制孔系统不仅工作空间大，操作灵活，制孔精度高，且大大提高了装配效率，降低了人工操作强度，是今后飞机装配的发展方向之一。

## 1. 面向飞机装配的自动制孔系统研究现状

近年来，航空制造业竞争愈演愈

烈，尤其是在大飞机的制造装配行业中。以波音、空客为代表的航空制造企业越来越多地将自动化和数字化技术应用到了飞机制造和装配中，进一步提高了产品质量，降低了生产成本，缩短了制造装配时间，国外飞机装配已基本实现自动化和数字化。对传统飞机装配生产线进行改造，增强国家制造业核心竞争力，自动制孔系统有较大的研究价值和良好的应用前景。

### (1) 国外研究现状

早在2001年，美国EI公司与空客公司联合设计了一套工业机器人制孔系统ONCE (one-sided end effector)，该系统主要应用于波音公司超级大黄蜂机翼后缘襟翼的钻孔及镗窝工作，如图1所示，该系统可加工直径范围3.73~9.525mm，孔位精度 $\pm 1.5\text{mm}$ ，镗孔深度精度可达0.0635mm，空间绝对定位精度 $\pm 0.508\text{mm}$ ，制孔精度可以达到H8。该系统由KUKA工业机器人搭载多功能末端执行器，可实施制孔、镗窝等，引入视觉检测单元，可以检测孔的实际位置，该系统可以对铝合金、钛合金以及碳纤维复合材料进行制孔。



图1 工业机器人制孔系统ONCE



位于澳大利亚的波音全资子公司Hawker de Havilland开发了机器人自动制孔系统用于波音737副翼的制孔和修剪，如图2所示，可完成壁板钻镗铰一体加

工，定位精度达 $\pm 0.5\text{mm}$ ，末端执行器可自动换刀。副翼上约有需要钻铤的孔750个，该系统完成这些孔的钻铤工作所需时间为5.5小时，该精益的制孔系统开发出的目的是在成本控制的前提下，在已经存在的飞机装配型架的基础上，代替一个使用很久的龙门钻铆系统，最终提高了装配效率。



图2 副翼制孔修剪机器人系统

德国宝捷 (Broetje) 研制了一套自动钻铆系统RACE用于飞机货舱门结构的自动钻铆，能够进行自动制孔、自动送钉、循环铆接和涂密封胶等，通过对工业机器人进行校准和基于网格的定位精度补偿和全局温度补偿，定位精度可达 $\pm 0.3\text{mm}$ 。此外，美国GEMCOR (通用电气机械公司)，意大利BISUACH & CARRU公司、西班牙M. TORRES公司，法国ALEMA公司在自动制孔系统和设备方面都有自己独特的产品。

#### (2) 国内研究现状

2010年沈飞与北京航空航天大学共同研制了一套用于飞机部件自动制孔的系统，末端执行器包含主轴单元、进给单元、压紧单元、传感单元和支撑单元，配有视觉检测模块检测制孔位置和焊缝位置信息，如图3所示，在铝合金板上加工6mm孔时，可将孔径误差控制在0.04mm以内，孔位精度达 $0.3\text{mm}$ ，工作范围 $5000\text{mm} \times 3000\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，制孔效率达到4个/min。

成飞与南京航空航天大学针对飞机机翼部件的制孔需求，合作研制了飞机壁板工业机器人自动钻铆系统，如图4所示，末端执行器具有制孔、涂胶、铆接、位置检测和法向调整等功能单元，采用钻、铤、铰一体刀具，空间定位精度提高到 $0.4\text{mm}$ 以内，制孔的垂直度在 $0.5^\circ$ 以内，孔尺寸精度达到H9，加工效率达到3个/min。



图3 沈飞与北航机器人制孔系统

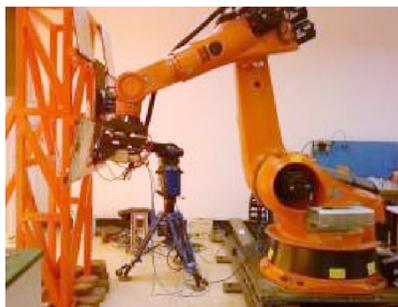


图4 成飞与南航机器人制孔系统

浙江大学开发了工业机器人制孔试验系统，利用激光跟踪仪实现检测闭环控制，实时检测和补偿工业机器人末端位姿，提高了机器人位姿精度，气动压脚安装光栅尺检测工件变形，将变形量补偿到主轴进给中，控制了铤窝深度，最后机器人位置精度和角度精度分别达到 $0.05\text{mm}$ 和 $0.05^\circ$ ，铤窝深度误差控制在

$0.03\text{mm}$ 以内。

上海交通大学和上海拓璞数控科技公司开发了一套双工业机器人协作自动钻铆系统，如图5所示，主机器人末端装有钻铆执行器，辅助机器人末端装有顶铁和激光位移传感器。该系统在主机器人钻铆端可以检测铆钉的插入状态，在辅助机器人顶铁端可以检测铆接前铆钉伸出壁板的长度以及铆接后形成铆钉墩头的高度，实现铆接前铆接状态以及铆接后铆接质量的在线监测，提高了系统的可靠性，使用该系统对试验件钻铆，最后形成的铆钉墩头高度变化范围在 $0.1\text{mm}$ 之内。

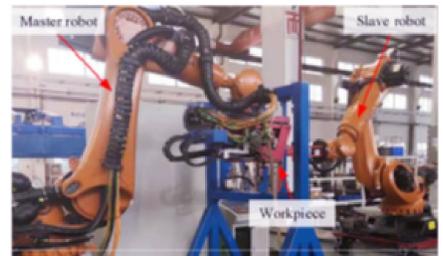


图5 双机器人钻铆协作系统

其他单位，如中航工业北京航空制造研究所、西北工业大学、哈尔滨工业大学等也分别对工业机器人自动制孔系统进行了自主开发和试验。

## 2. 制孔系统关键技术分析

#### (1) 工业机器人绝对定位精度提高技术

工业机器人重复定位精度高而绝对定位精度低，无法满足钻铆系统对于工件定位精度的要求，必须对工业机器人绝对定位误差进行补偿。机器人绝对位姿精度提高可以从以下几方面：基于机器人几何参数建模的离线标定技术、非几何参数精度补偿技术、在线位姿精度实时检测与补偿技术。

离线标定一般有建模、测量、辨识和补偿四个环节。通常使用D-H方

法或者D-H方法发展而来的MD-H方法等，测量可以使用三坐标测量机、激光跟踪仪等测量多个样本点的数据，辨识指通过解方程组得到工业机器人杆件真实几何参数误差值，常用的算法有基于奇异值分解的最小二乘法等，最后将辨识得到的误差补偿到名义参数中去。

非几何参数误差补偿方法主要指空间网格插值补偿方法，如图6所示，将机器人运动空间划分网格，测量所有网格顶点的误差值，按照一定规律通过插值方法补偿网格内点的位置精度，在线位姿精度补偿指的是通过外部测量设备与上位机及工业机器人实时通讯，实时检测和反馈位姿误差，控制机器人末端迭代补偿误差，直至符合精度要求。

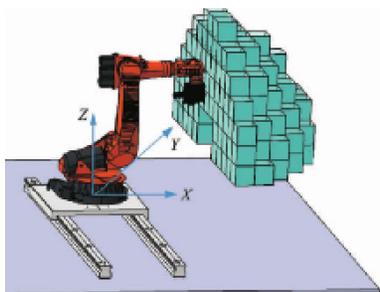


图6 空间网格补偿示意图

## (2) 工件加工基准位置识别和精度补偿

由于工件在制造过程中产生的加工误差和安装在工装上后产生的变形，以及工件在工装上的定位误差，导致实际工件的尺寸形状和位置出现偏差，此时需要标定工件在系统中的位置。

飞机壁板上孔的位置精度要求很高，相互位置间距和与壁板的边缘距离超差会影响整个飞机壁板的受力承载情况，其中有两个重要的参数：孔边距和孔与孔的距离，一般要求孔位置偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，对于基准孔的非接触检测方法，主要应用工业相机或2D激光位移传感器。测量数据与理

论数据对比得到位置偏差组，将偏差数据安装一定规律分配给加工孔组各个孔。

## (3) 工件表面法向测量与姿态调整

制孔后，孔的垂直度是评价孔位质量的重要的指标，当机器人末端工具移动到正确位置后，正确测量制孔点的法线方向，然后以测量后的法线方向作为机器人末端工具轴线调整的目标方向，控制机器人在不改变工具点位置的情况下调整法线法向。工件表面法线测量数据点采集方式分为接触式和非接触式，通常使用激光位移传感器、如图7所示，三维扫描仪和接触位移传感器，曲面拟合方法有三点平面法、叉积法、二次曲面法、三角网格法等。

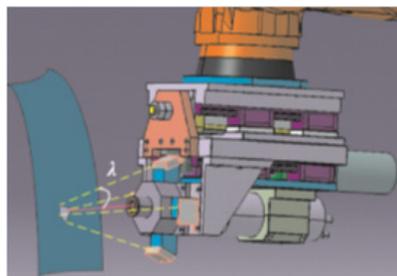


图7 法线测量

选取测量方式时，要考虑传感器精度、传感器位姿标定方法、安装空间、效率等问题，非接触式测量精度和效率往往是反相关的关系，且传感器标定方法复杂，安装空间有限，测量精度总体低于接触式测量方式，但接触式测量方法需要设计对工件自适应的接触机构，机械结构较复杂。

喻龙等人开发了工件表面法向测量系统，由KUKA工业机器人搭载多功能末端执行器。法向测量系统主要由三个接触式位移传感器和柔性压力角组成，执行器驱动柔性压力角压紧工件表面，传感器产生位移，数据拟合后得到工件法线方向。航空工业西飞设计制造了一种接触式测量装置，

该装置使用柔性压力角接触待加工工件表面，压力角自适应工件表面。

## (4) 镗窝深度控制

镗窝深度同样是孔位质量的一个重要指标，他直接关系到铆钉墩头形成高度以及板件受力情况。窝深误差主要是末端与工件表面的定位距离存在误差，主轴进给时控制系统和机械传动系统存在误差，因压紧力不足系统振动引起的误差。

对主轴进给误差进行补偿，使用伺服电机编码器测转角和磁栅尺测位移反馈控制的闭环系统减小误差，使用激光干涉仪测量进给误差并拟合误差补偿函数，将此函数补偿给PLC控制程序。在制孔进行中，主轴力和扭矩不断变化，引起压脚和工件振动，检测压脚实时位移变化量补偿到主轴进给量中，保证镗窝深度。

## (5) 在线检测技术

在线检测主要包含孔径检测、窝深尺寸检测、铆接质量检测等。在钻镗加工完毕后，需要对成孔孔径和窝深进行检测，在铆接完成后，需要对铆钉铆接质量进行检测。孔尺寸检测技术一般分为接触式和非接触式检测，接触式检测使用伺服电机驱动接触式测头深入孔内，在短时间内获得孔径和窝深信息，非接触式检测使用2D激光轮廓仪获取孔进和窝深轮廓并拟合成孔径和窝深信息。

美国EI公司在2013年研制了一套孔径窝深在线接触式检测系统，测头部分集成光学编码器，使用伺服电机驱动，并有径向浮动装置。该装置可以在6s内获取孔径和镗窝深度信息，如图8所示。为了提高镗窝在线检测的准确性和稳定性，可以采用基于视觉的检测技术，视觉检测系统主要包含CCD相机和远心镜头，应用一种基于边界跟踪方法和RANSAC的混合算法得到镗窝轮廓，其后推导计算得到孔的法向偏差角度和镗窝深度。

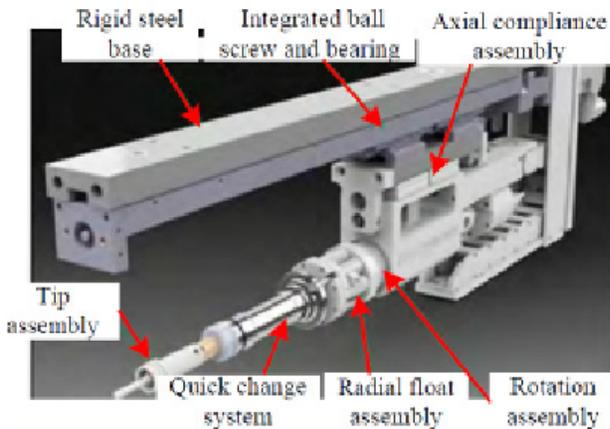


图8 接触式孔质量检测系统

研发人员还开发了一种在线检测干涉铆接质量的方法，实时获取铆接力和铆钉变形数据，通过识别力-变形数据特征点方法获取铆钉墩头高度，通过铆接过程记录的铆接力最大值获取铆钉墩头直径，间接获取了铆钉钉杆未成形部分的体积，最终获取了干涉铆接的等级。

#### (6) 离线编程与工作过程仿真

离线编程技术是实现工业机器人系统、末端执行器系统、在线检测系统、工装系统相互连接和并行的技术，涉及整个制孔过程，直接影响制孔质量和效率。首先从工件数模信息中提取待加工孔位置和法线方向信息，作为离线编程的数据源，然后倒入离线编程软件中进行工业机器人路径规划，形成NC程序。程序可以导入仿真软件中进行运动仿真和干涉检查。

目前提取孔位姿信息以及离线运动仿真依赖已有成熟三维建模或运动仿真软件的二次开发，飞机壁板需要加工的孔位众多，信息提取、数据导入导出工作量大，在离线编程与仿真中合理规划作业顺序，优化路径，提升制孔效率。

#### (7) 末端执行器设计与制造

工业机器人末端制孔执行器是制孔的主要执行部件，包含制孔模块、铆接模块、在线检测模块、辅助模块等。制孔模块又包含主轴单元、压脚单元、进给单元等；铆接模块包含送钉单元、铆接成形单元等；在线检测模块包含基准孔检测单元、法向检测单元、孔质量检测单元、铆接质量检测单元等；辅助模块包含冷却排屑单元等。执行器的各部分结构、重量、动态特性等都与制孔质量密切相关，目前国内的末端执行器功能单一，不够智能化，不具备环境感知能力，今后要向着模块化、集成化发展。

#### (8) 制孔工艺参数优化

飞机壁板材料涉及铝合金、钛合金、复合材料等。铝合金最为常用，因此铝合金相关加工工艺参数积累较多，

但是对于钛合金、复合材料工艺参数积累较少。工艺参数优化方法一般有查表法、计算法、图解法、正交试验法等。查表法是根据精度要求，查询相关切削用量手册。公式法是根据精度要求和切削加工公式，求切削速度、切削用量等。

图解法是绘制切削用量、切削速度和精度等参数相关的曲线，结合功能需求获得工艺参数。正交试验法首先得到各种测量数据、转速、进给量、轴向力、扭矩以及孔质量参数的关系，可以拟合经验公式，可以绘制相关图表，拟合后可以进行工艺参数验证。一般研究切削加工工艺参数时需要单独设计试验装置，被切削工件工装安装力或扭矩传感器，合理设计机械结构使得传感器安装方便，接线方便，测数据可靠。

### 3. 结论

本文对工业机器人自动制孔系统的国内外研究进展和关键技术作了论述，国外面向飞机装配的工业机器人自动制孔技术应用广泛，在很多机型和飞机部件上实现了工业化的应用，自动化和数字化水平高，长期的工程应用对很多关键技术进行了验证，同时积累了丰富的工程应用经验。我国对于工业机器人自动钻铆技术研究起步较晚，研制的系统大多处于试验阶段，系统制孔单元研究较多，铆接单元研究较少，末端执行器集成度和模块化水平低，整体系统运动精度、工作可靠性和稳定性比较低，部分关键技术有待突破，无法广泛应用于飞机装配中。

工业机器人自动制孔技术是实现大飞机高质量高效数字化装配的核心技术，随着大飞机需求量的不断提升，传统作业方式无法满足需求，使制孔及装配系统自动化是必然趋势。我们一方面要引入国外先进制孔技术和设备进行逆向研究，另一方面也要加紧突破制孔系统相关关键技术，努力提升我国制造系统自动化、智能化水平。□

[基金项目：四川省教育厅自然科学重点项目（18ZA0031），名称：面向飞机装配的工业机器人制孔系统设计与开发]

#### 参考文献：

- [1] 袁红璇. 飞机结构件连接孔制造技术[J]. 航空制造技术, 2007(01): 96-99.
- [2] 史晓佳. 工业机器人在线误差测量与实时控制补偿技术研究[D]. 天津大学, 2017.
- [3] De Vlieg R, Sittou K, Feikert E, et al. ONCE (one-sided cell end effector) robotic drilling system[R]. SAE Technical Paper, 2002.
- [4] 邓锋. 采用标准关节机器人系统对飞机货舱门结构的自动钻铆[J]. 航空制造技术, 2010(19): 32-35.
- [5] 张辉. 飞机装配设备及供应商一览[J]. 航空制造技术, 2008(11): 71-73.
- [6] 楼阿莉. 国内外自动钻铆技术的发展现状及应用[J]. 航空制造技术, 2005(6): 50-52.
- [7] 宋尧, 姚振强, 薛雷, 周庆慧, 方伟, 胡永祥. 飞机制孔末端执行器法向检测方法 & 误差分析[J]. 机械设计与研究, 2017, 33(04): 117-122.

# 高速精密加工中心进给系统并联恒温控制装置设计应用

青海高等职业技术学院 刘春梅

本文通过对高速精密加工中心滚珠丝杠副产生热变形误差，而影响机床加工精度和进给系统传动刚度现状技术缺点剖析，从进给系统并联恒温控制装置设计方案、结构设计及应用实践等三方面进行阐述，进给系统并联恒温控制装置保证了高速精密加工中心进给系统的定位精度和稳定性，为高速精密加工中心具有较高定位精度和稳定性提供了技术支撑。

目前高速精密加工中心在国内外具有很大的市场潜力，随着高速切削技术的普及应用，进给系统接触区域（伺服电机、丝母、轴承等）产生大量的热，导致滚珠丝杠副产生热变形误差，影响机床加工精度和进给系统传动刚度降低。

滚珠丝杠进给系统作为目前使用最为广泛的结构形式，其具有同步性能好、传动精度高、效率高（90%以上）、使用寿命长等优点，同时相比较直线电机成本低、结构简单。为了改善滚珠丝杠进给系统的加（减）速度特性，提高滚珠丝杠轴系的系统刚度和丝杠副的轴向刚度，减小启动和停止瞬间弹性变形。解决发热问题的有效办法是将用冷却介质通入发热部位进行强制循环冷却，从而为高速精密加工中心具有较高定位精度和稳定性提供了技术支撑。

## 1. 进给系统并联恒温控制装置设计方案

随着机床进给速度和加速度的不

断提高，对进给系统动态性能的要求也随之升高。在高速加工中，可能激发滚珠丝杠的低频振动。针对现有滚珠丝杠副产生热变形误差而影响机床加工精度和进给系统传动刚度的技术缺点问题，设计了高速精密加工中心进给系统并联恒温控制装置（见图1）。

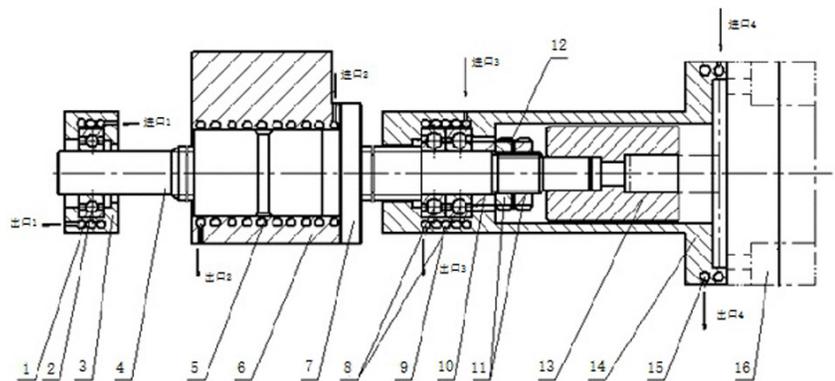


图1 高速加工中心进给系统并联恒温控制装置结构简图

1.螺旋循环冷却槽A 2.轴承 3.轴承座 4.滚珠丝杠副 5.螺旋循环冷却槽B 6.丝母座 7.丝母 8.轴承组B 9.螺旋循环冷却槽C 10.隔套 11.锁紧螺母 12.止推垫 13.联轴器 14.电机座 15.螺旋循环冷却槽D 16.伺服电机

并联式降温控制系统依据进、出口温度传感器综合信息反馈，控制系统指令电机变频调整油泵输出冷却介质流量流速，根据轴承座、丝母座、电机座及电机结合面具体进、出口温度控制需求，调整定量适配器控制冷却介质流量，进一步优化恒温控制措施，实现差异降温、恒温控制目的。

## 2. 进给系统并联恒温控制装置结构设计

### (1) 进给系统并联恒温控制装置结构设计

高速精密加工中心进给系统并联恒温控制装置，由伺服电机、电机座组

件、滚珠丝杠副、丝母座、轴承座组件（见图1）以及其并联式降温系统组成。

轴承座组件由轴承座和轴承A组成，固定于基座之上，轴承座上设置有螺旋循环冷却槽A。电机座组件由电机座、伺服电机、联轴器、止推垫、锁紧螺母、隔套和轴承组B组成，固定于基座之上，电机座上设置有螺旋循环冷却槽C和螺旋循环冷却槽D。丝母座固定于移动部件之上，丝母座上设置有螺旋循环冷却槽B。

降温控制原理：伺服电机通过联轴器带动滚珠丝杠副高速旋转，通过丝母座拖动移动部件运动，进给系统其接触区域（伺服电机、丝母、轴承A和轴承B等）产生了大量的热量，这时轴承座、丝母座、电机座上螺旋冷却槽通过冷却介质进口（进口1、进口2、进口3和进口4）并联方式开始供冷却介质，通过热交换方式将滚珠丝杠副丝母、轴承座轴承外圈、电机座轴承组外圈及电机座端面（伺服电机处）的热量随冷却介质带走，冷却介质温度随之升高，冷却介质通过出口（出口1、出口2、出口3和出口4）、制冷设备降温后，冷却介质回到冷却箱，循环使用。

### （2）并联式降温控制系统设计

并联式降温控制原理（以高速精密加工中心某轴进给系统为例）：对高速精密加工中心某轴进给系统（滚珠丝杠副）轴承座、丝母座、电机座及电机结合面控制点分别进行冷却介质进出口端的温度检测，按照三个温差信号中最大温差的一个选择温度控制信号，控制系统按温差大小给出变频调速指令，变频器变频调速驱动定量冷却泵，冷却泵向轴承座、丝母座、电机座及电机结合面螺旋冷却槽供给冷却介质，从冷却介质直通式温度传感器进口（进口1、进口2、进口3和进口4）并联方式开始供冷却介质，通过热交换方式将轴承座、丝母座、电机座及电机结合面的热量随回冷却介质带走，冷却介质从直通式温度传感器的出口流出，冷却介质流出口温度升高，回冷却介质通过散

热器、冷凝器及制冷机降温后回到冷却介质水箱，循环使用。控制原理图如图2所示。

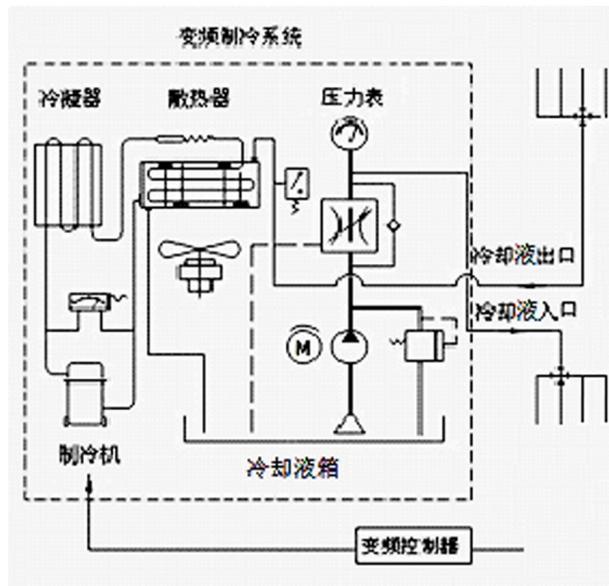


图2 并联式降温控制系统原理图

## 3.应用实践

进给系统并联恒温控制装置在某型号高速精密加工中心上应用实践，在切削试验过程中，对标准试块的加工精度按照JB/T 8771.7—1998《加工中心 检验条件第7部分：精加工试件精度检验》，进行加工和用三坐标检验，试件加工精度较以前有明显提高。

## 4.结束语

针对现有滚珠丝杠副产生热变形误差而影响机床加工精度和进给系统传动刚度的技术缺点问题，设计了高速精密加工中心进给系统并联恒温控制装置，保证了高速精密加工中心进给系统的定位精度和稳定性，为高速精密加工中心具有较高定位精度和稳定性提供了技术支撑。□

（上接第47页）

## 3.推动自主创新和产业升级

通过一系列相关政策措施的实施，国内机床制造企业取得了长足发展与进步，若干高端机床技术水平实现突破，涌现出一批具有自主知识产权、实现进口替代的机床产品，推动了自主创新，加快了产业升级进程。

机床产业相关政策的实施在很大程度上激发了制造企业和用户部门

的积极性，鼓励双方共同进行技术创新和产品开发，实现双赢。一方面通过政策激励的方式降低了企业的制造与财务成本，激发了企业开展创新活动的积极性，引导企业继续将资源要素向研发领域集中，进一步加大新产品开发力度，为产业培育了新的增长点。另一方面，用户部门的需求有力带动了机床产品的自主创新，促进机

床产业的转型升级。如国防军工用户领域的高端需求迫使机床制造企业不断提升自主创新能力，相继开发出具有自主知识产权、能够满足国防军工所需的机床产品；同时，在满足国防军工需求的同时，机床行业实现了由原先只能提供单一设备，向目前能够提供成套技术解决方案的转变，有力推动了机床产业的转型升级。□

# 消除曲轴轴颈表面麻点

中车资阳机车有限公司 朱万奇 丑洋洋 陈代亮 朱波

曲轴在抛光、检查等工序反映轴颈表面有麻点，为了消除该缺陷，有时一支曲轴要重复在抛光机床上返抛五六次才能基本满足要求，极大浪费人力物力，增加了制造成本；严重影响交货周期。为了改变现状，提升曲轴表面质量，必须从根本上减少直到消除轴颈表面麻点。

## 1. 现状调查

随着公司产品进入欧洲船舶市场，欧洲验收标准十分严苛。目前我公司生产的船用曲轴表面有麻点，用户投诉多。如图1所示，用手触摸麻点表面有毛刺，麻点排列有规则、密集，起始位置麻点由深（0.015mm）到浅，麻点位置均在测量点附近。



图1 测量后轴颈存在麻点

## 2. 原因分析

根据二十多年的磨削加工经验和以上轴颈表面麻点的现状分析：麻点上有毛刺说明麻点是在抛光后产生的，而不是在抛光前；麻点均发生在测量点位置附近，说明该麻点与测量有关系，可排除其它因素；麻点的排列很规则，其坑点的形状为长条形，而不是圆形；察看外径千分尺如图2所示，千分尺测量头棱角似刀口且硬度很高，测量过程中碰伤轴颈表面。



图2 改进前外径千分尺

综上所述得出结论：该麻点不是在磨削过程中产生的，而是在抛光后测量时或检测时外径千分尺与轴颈表面发生轻微碰撞所造成的。

由图3鱼刺图反映外径千分尺为麻点形成的主要因素，只有改变现有的外径千分尺测量头的结构才能从根本上消除测量麻点。

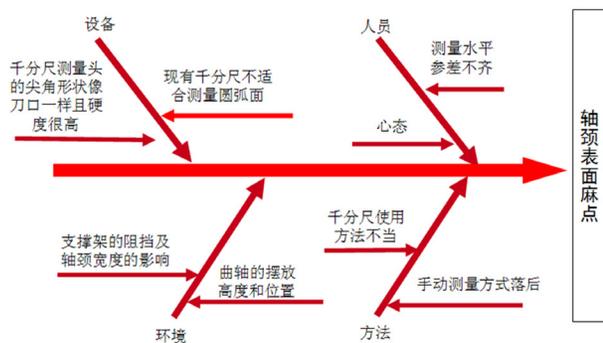


图3 鱼刺图

## 3. 制定对策及实施

为了从根本上消除该缺陷，只能从源头入手，改变千分尺测量头的尖角形状。把千分尺测量头尖角倒0.5~1mm圆角，如图4所示。

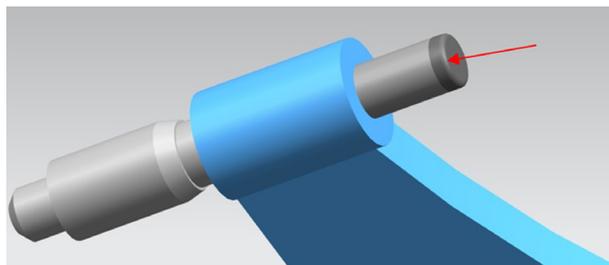


图4 改进后外径千分尺

为了消除操作工在使用千分尺时，千分尺使用方法不当，造成测量后曲轴表面产生麻点或划伤，对操作工进行测量培训和素质教育培训，提高操作工的工作责任心和使用外径千分尺的技能。

根据曲轴测量产生麻点的原因分析、要因确认、制定对策，针对制定的对策进行实施，改进千分尺测量头，具体实施步骤见下表。

具体实施步骤表

对策实施步骤	
1	与中心计量室相关专家联系改变千分尺测量头方案是否可行
2	试对3把外径千分尺测量头倒圆角
3	与中计室联系计量这3把千分尺
4	测量，对比效果
5	检查所有千分尺的倒角处理
6	对检查人员进行测量培训
7	完成精磨工序所有千分尺的倒角处理
8	对磨工人员进行测量培训
9	完成抛光工序所有千分尺的倒角处理
10	对抛光人员进行测量培训
11	根据各操作中的意见反馈进一步完善千分尺的倒角处理
12	全方位查看效果

#### 4. 效果检验

经过对外径千分尺测量头倒圆角进行改进，对操作工测量技能提升培训后，曲轴加工测量中，轴颈表面未产生麻点，提高了曲轴加工的表面质量，提高了生产效率，千分尺改进前后测量轴颈后对比见图5。

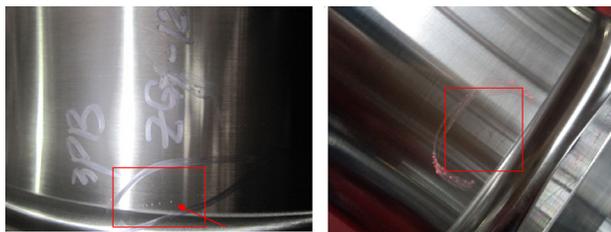


图5 千分尺改进前后测量轴颈对比图

通过半年的试验，已基本消除了测量麻点，个别测量点附近还有都很轻微，抛光砂带轻轻一抛就消除，达到了非常好的效果。

#### 5. 结束语

看似简单的技术改进，却能产生良好的经济效益，单是每年减少的测量缺陷返抛光所消耗的砂带费用就约有5万元。同时，曲轴表面质量得到了提高，也使曲轴成品质量大幅度提升，得到了用户的认可，订单大幅度增加。□

### 资讯

## 涂附磨具分会召开制造装备智能化研讨会

2020年7月13日，中国机床工具工业协会涂附磨具分会在郑州召开制造装备智能化研讨会，旨在积极参与政府倡导的新基建信息化智能化建设，调动多方社会资源服务行业，探讨全面推进和提升涂附磨具制造装备智能化水平的途径和方向。河南工业大学、郑州三磨所等分会单位相关负责人和分会部分专家委员参加研讨会。

研讨会由分会专家委员会主任委员、原河南工业大学材料与工程学院院长邹文俊主持。研讨会主要内容包含四个方面：一是探讨涂附磨具制造企业智能化发展方向；二是研讨视觉检测技术在涂附磨具制造过程中的应用；三是展示涂附磨具制造纵切包装智能化设备设计方案；四是研讨纵切包装智能化设备设计方案，并提出改



进意见和建议。

分会副理事长、机械工业第六设计研究院副院长赵新力做《关于砂布制造企业智能化发展方向》的报告；郑州研涂智能科技有限公司总经理郭广欣做《涂附磨具制造纵切包装智能化设备设计方案》的报告；霍克视觉科技（中国）有限公司王棋棋做《机

器视觉技术在砂布行业中的应用》的报告。

最后，邹文俊在总结中表示，行业智能化数字化的关键是磨削自动化、智能化，行业企业要到大客户中去，充分开展上下游合作以开发高效智能化产品，比如机器人磨削等，这是企业未来发展的方向。

# 半圆键加工及提高键槽铣刀修磨次数的解决方案

上汽通用五菱汽车股份有限公司青岛分公司 黄永辉 王禹亭 张文龙

铣削是一种通过刀具作旋转运动，工件相对刀具作进给运动，对金属进行分级切除的加工方法。在某些情况下，工件保持固定而旋转的刀具做横向直线进给。铣削刀具具有两条或更多能连续切除一定量材料的切削刃，能够将材料切到一定的深度。键槽铣削是铣刀上圆周和两侧共三面都有刀刃，加工的键槽是圆底的，键是半圆形的，称为半圆键，铣这种键槽的铣刀叫做半圆键铣刀。

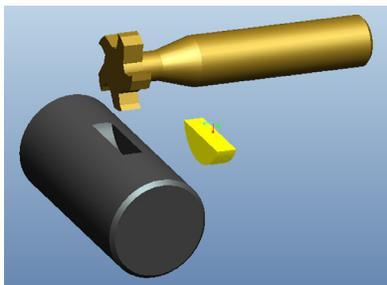


图1 半圆键槽加工示意图

## 1. 加工工艺背景及存在问题

在发动机的曲轴芯轴端半圆键加工过程中，三面刃键槽铣刀做滚铣运动，随着切削的进行，刀具刃口逐渐磨损，加工振纹、槽底烧伤等问题随之发生。因该刀具为一次性成形铣刀，刀具磨损后直径减小，直接报废，无法修磨重复使用，增加了刀具使用成本。

例如，青岛发动机工厂曲轴线OP100工位半圆键使

用键槽铣刀T23023加工，工艺要求键槽宽度 $4.99 \pm 0.02\text{mm}$ ，键槽半径 $R9.575 \pm 0.075\text{mm}$ ，轮廓度 $< 0.3\text{mm}$ 。采用整体硬质合金八刃铣刀，加工参数S1200/F220，设定刀具寿命1200件。加工过程中，存在加工键槽宽度超上差，加工槽底振纹，加工键槽底部烧伤，轮廓度超差等问题，导致刀具达不到使用寿命而下刀，造成加工浪费及刀具成本提高，不能满足当前生产需求。

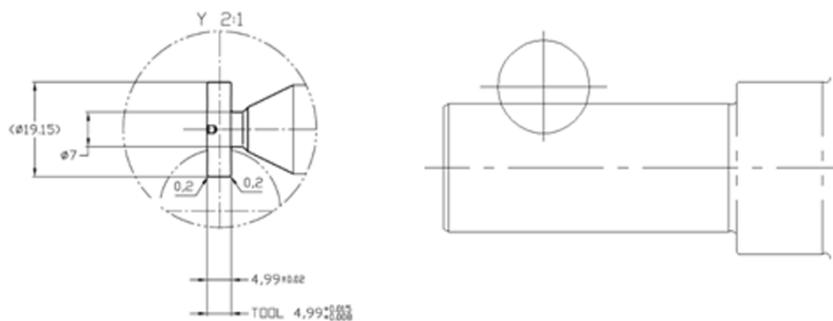


图2 半圆键槽加工工艺

## 2. 键槽铣刀加工问题解决方案

针对以上问题，从降低刀具切削刃受力及散热等角度分析，重新设计键槽铣刀，具体方案如下。

### (1) 齿数优化

针对加工槽底部烧伤问题，减少键槽铣刀齿数，由八刃铣刀优化为五刃铣刀，可以增大容屑槽的排屑空间，加快刀尖散热。同时切削刃齿数的减少会降低切削力，减少因刃部磨损变钝后产生让刀导致的键槽宽度超差现象。

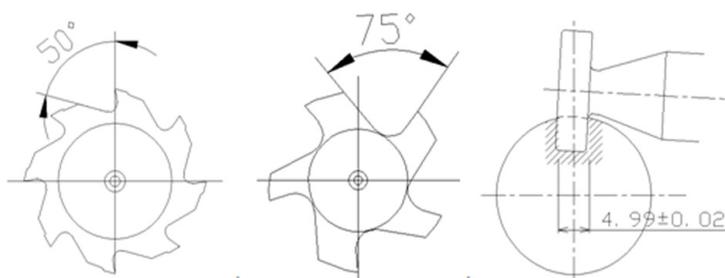


图3 齿数对比及让刀示意图

### (2) 主偏角优化

针对加工槽底有振纹的问题，将切削刃设计为不等分错刃斜齿； $5^\circ$  不等分，避免加工时共振导致加工轮廓度超差；主偏角 $6^\circ$ ，这样可以有效避免全部齿长同时和工作件接触，降低切削阻力，减小刀具加工时振动导致的槽底振纹现象。

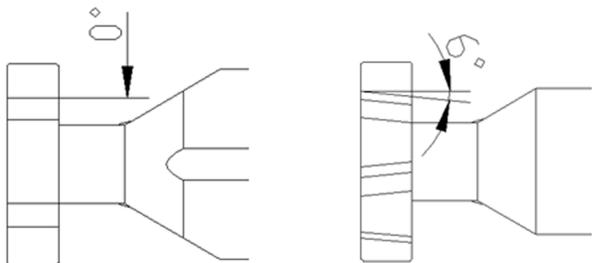


图4 错刃斜齿设计对比图

### 3. 提高键槽铣刀修磨次数解决方案

因键槽铣刀为一次性成形铣刀，理想状态下刀具直径等于键槽半径。刀具使用磨损后直径会减小，传统的后刀面修磨工艺会导致铣刀直径再次减小，无法修磨重复使用，增加了刀具使用成本。

从刀具切削刃修磨工艺的角度分析，重新设计键槽铣刀切削刃，后刀面增加一条很窄的刃带，使刀具有效直径

保持在同一圆柱面上。刀具使用磨损后，利用前刀面修磨的工艺形式，可以解决成形键槽铣刀无法多次修磨重复利用的问题，提高了刀具棒料重复利用率。

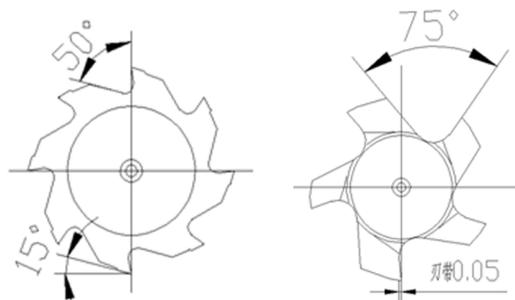


图5 刃带结构设计对比图

### 4. 结束语

针对键槽铣削刀具，如果在加工过程中遇到加工振纹、槽底烧伤等问题，可以尝试按照本文的改进方案优化键槽铣刀，提升刀具加工寿命，降低刀具使用成本。

随着Co、W、Ti等刀具金属材料的日趋匮乏，刀具重复修磨利用成为了机械制造行业的重要课题。在刀具使用过程中，刀具的修磨不要仅局限于刀具图纸的几何参数，还要根据刀具加工位置的形状、生产工艺等方面，确定最优的刀具结构及修磨工艺，保证刀具修磨质量及刀具重复修磨利用率实现最大化，降低刀具成本。□

## 资讯

### 德国机床行业面临巨大压力

2020年第一季度，德国机床行业接到的订单比2019年同期下降了25%。来自德国国内的订单减少了22%，来自德国以外的订单减少了27%。

德国机床制造商协会（VDW）执行董事Wilfried Schafer博士对此评论认为：“由于各种具有挑战性的因素的影响，去年全球机床需求急剧下降，但今年年初下降幅度更大。”他同时指出，目前的报告中还只能看到部分新冠疫情的影响，要再过几个月，疫情的全面影响才会显现。

在应用面很广的金属切削机床领域，其订单降幅是金属成形机床行业

的两倍多，相比之下，金属成形机床的订单则更多的来自于一些项目。目前德国国内的机床消费市场给人们带来了一线希望。今年3月，德国国内机床订单意外上涨4%，这主要源于压力加工行业的相关项目工程。

第一季度德国机床订单增长的唯一地区是美洲，尤其是墨西哥，这主要归功于汽车业务。在排名前15的机床消费市场中，来自6个国家的订单有所上升，分别是美国、墨西哥、俄罗斯、日本、加拿大和荷兰。Schafer谈到：“俄罗斯曾经是德国机床工业的第三大市场。然而，经济制裁导致相关业务急剧下滑。现在看

到俄罗斯在当前危机中复苏，还是相当令人欣慰的。”

第一季度德国机床销售收入也下降了18%。“这与我们今年2月发布的2020年预测完全一致，”Schafer继续说道。“然而，已经很明显的是，订单数字并没有完全反映下降的程度，最终降幅将会更加严重。”在今年1~4月间，德国机床行业的产能利用率也大幅下降了18个百分点，只有64%。我们目前预计，情况将在今年下半年有所改善，但前提是要进一步缩减封锁措施，恢复正常生产。他总结道：“这将决定机床行业在今年年底的走向。”

# 设备与零件系统对断丝锥问题的影响 及各类攻丝刀柄的应用

江铃车桥厂 华斌

本文针对设备和零件系统对断丝锥问题的影响以及各类攻丝刀柄的应用分析，包括设备方面的原因和夹具、工件系统的位移和变形造成断丝锥的问题，以及由此产生的刀柄类型的选择，概括几种典型的刀柄，以及几种比较有特色的刀柄系统。

刚性攻丝刀柄是刀柄和丝锥连接在一起，没有任何的松动、浮动，根据丝锥的标称螺距，每旋转一周（ $360^\circ$ ）时Z轴移动一个螺距的加工方式。刀具是用带方榫的ER夹套装夹在刀柄上，当使用ER20以下规格时，推荐使用外六角的内六角锁紧螺母，锁紧力更好，但切忌用蛮力锁紧，编程代码M29。理论上攻螺纹时，当主轴转一转，Z轴的进给总量应该等于丝锥的螺距，即：

$$P = F/S$$

式中， $P$ 为丝锥的螺距（mm）； $F$ 为Z轴的送给量（mm/min）； $S$ 为主轴转速（r/min）。

## 1. 刚性刀柄安装丝锥加工螺纹的设备需求

加工中心在加工螺纹孔的时候牵涉到主轴和Z轴之间的匹配问题，Z轴移动精度是重要因素，而主轴的转动是决定均匀转动的一周 $360^\circ$ 的要素，二轴之间的匹配好坏决定了最终螺纹孔的加工精度。

一般的攻螺纹功能，主轴转速和Z轴进给是独立控制的，因此实际的

同步精度还是会有差异，在加工到孔的底部时主轴转速和Z轴移动速度的匹配降低并停止，然后反转，而且相应速度增加。由于各自独立执行加、减速，因此上面的条件更可能不满足。如果控制主轴的旋转和Z轴的进给总是同步，那么攻丝的精度就可以得到保证，这种方法称为“刚性攻丝”。

当每转进给与理论值发生偏差，就是同步精度误差，误差越大，产生的轴向分力就越大，对产品精度而言，可能会造成中径值的偏差；这对刚性攻丝的丝锥而言，几乎就是折断丝锥的前奏。

## 2. 设备同步功能的意义与检测调整频次

在CNC设备上用丝锥进行刚性模式加工螺纹，设备转速和轴向进给必须计算制定好，并且要求设备性能是同步的。理论上是可行的，但实际上的控制系统的误差是引起故障的重要原因。包括：①设备系统的因素：设定的设备速度，轴向精度（垂直度、旋转轴、C轴），设备的机械系统条

件状况；②螺纹刀具的因素：刀具相关的螺距公差，螺纹刀具加工深度的变化，也会加剧该误差带来的轴向力变化。

在加工中心上攻丝时，要求丝锥的进给和旋转必须同步，以防止拉或挤压而断丝锥。刚性攻丝功能是通过串行主轴功能实现的，所以该功能调试前，必须能够实现主轴的正常运行（如主轴的正转、停止和反转）。主轴的正、反转控制和刚性攻丝控制都是通过伺服系统控制而实现，在调试该功能前，必须仔细检查所设计的梯形图是否正确。主轴的运行从速度系统变成位置系统运行，必须要伺服电机驱动主轴的移动，要求在主轴上面增加位置传感器，对主轴传动机构的间隙和惯量都会有严格的要求。由于各个厂家机床的结构不同，调试刚性攻丝的相关参数也不尽相同，这一点，在调试时都要特别注意。

即使经过专业人员的精心调试，随着设备的使用磨损和系统一样会产生误差，为消除同步误差，每半年进行调整一次实现稳定加工，了解设备

同步误差变化,根据变化周期规律制定设备维护计划,从而消除丝锥断裂问题的基础变化点。

如果机床不具备准确同步的条件,只能选择微量浮动攻丝或柔性攻丝,在刀柄中增加弹性浮动装置,若主轴移动中与螺距产生不同步,弹性装置的伸缩量会补偿丝锥的进给量和“转速×螺距”的差值。很多工厂在设备系统和工件系统稳定的时候使用柔性攻丝,实际上在加工条件好的情况下,使用浮动刀柄攻丝并不能改善加工,还会造成效率的降低。

### 3.同步刀柄的使用条件与效果

同步攻丝意为同步的螺纹加工技术,前面已经叙述了,实际上设备进给还是会有微小差异的。为了能更好的与之同步(消除误差),可使用微量浮动技术的同步攻丝刀柄,因为这种刀柄只有轴向微量的 $\pm 0.2\text{mm}$ 到 $\pm 2\text{mm}$ 的弹性移动范围(各品牌之间该数据不同),在现在的CNC设备上大量使用的格局下,多数设备都会拥有相对较好的工作精度,但设备夹具系统毕竟会有微小的变形,造成刚性刀柄不能很好的适合工况,这是就要用微量浮动刀柄。此类刀柄的轴向阻尼一般是用有一定韧性的橡胶圈阻尼结构,或是用弹簧阻尼结构,该类型刀柄还在同步功能的设备上使用,且加工程序与刚性攻丝一样。而有的品牌将同步刀柄又称为刚性攻丝刀柄,但这仅仅是命名方式,不影响对刀柄结构与性能的分析。

有一些同步刀柄在安装时必须使用两个扳手,一个卡住微量浮动部分的铣扁部位,一个卡住锁紧螺母进行丝锥拆装,否则会损坏刀柄内部的转动结构。

正常情况下,同步刀柄加工螺纹与刚性攻丝相比:①在微量调整的范围时,可以降低机床负载至普通攻丝刀柄的1/10;②保持机床主轴的精度和寿命(特别是大螺距加工设备);③提高螺纹加工的质量。

当系统误差小于刀柄设计移动范围时,加工效果会比较好,可以使用很高的加工参数,加工效率较高。但当系统的轴向和径向误差大于微量浮动的范围时,断丝锥问题依然会存在。

### 4.浮动刀柄的应用范围

浮动刀柄在径向和轴向都有相对较大活动范围,除有各种接口连接外,一般有分为两种结构。

一是轴向浮动刀柄。根据加工范围,轴向浮动范围压缩5~16.5mm,拉伸7~23.5mm,用于消除一些专机的精度误差,径向相对轴向浮动范围小得多,一般足够应对工件偏转和弹性变形等情况,并没有在各厂家的样本上体现该数据。在对一些浮动刀柄的检测中,已经能够产生 $0.1^\circ$

以上的角向浮动,足够适应一般情况的需求。

二是径向浮动刀柄。通常用于多轴机床和自动传输线的刀柄,根据加工直径范围不同,分为径向浮动值 $0.08\sim 1.4\sim 2.5\text{mm}$ 。但这种刀柄没有轴向浮动功能,因为在专机或是摇臂钻等设备上攻螺纹时,设备有浮动装置或是主轴半浮动状态,由丝锥加工产生的牵引力,将主轴或动力头慢慢引导移动,防止拉断或挤断丝锥。而专机类设备最容易出现的问题是丝锥轴线和孔的轴线位置度、角度差异,这时此类刀柄就能发挥最大的效益。但浮动刀柄也不是完全可以替换刚性攻丝刀柄,或是微量浮动刀柄,因为浮动刀柄的浮动是由间隙和弹性结构产生的,高速时会有验证的振动问题,不能使用高的加工参数,效率上会有损失;另外,浮动刀柄的刀柄压缩量具有优势,此时又会反过来制约螺纹加工的精度稳定性,从而对高精度孔深的螺纹要慎重考虑使用。

该类型刀柄适用的条件有:①主轴转动精度良好,但Z轴移动有微小的偏差;②Z轴移动精度良好,但主轴回转精度有微量误差;③主轴回转和Z轴移动同步功能都有微量误差;④主轴回转和Z轴精度都良好,但工件—夹具系统在加工中有微小的变化偏差(包括:工件的旋转和四轴的旋转精度;工件的X、Y轴移动;工件的弹性变形);⑤以上所有问题的综合。

很多工件的弹性变形只有在加工时才能检测到,当加工完成后,单纯用平面测量法并不能检测到,必须在加工后用杠杆表检测底孔内壁的直线度,才能发现“微量”的误差,而这种误差并不是微量浮动刀柄的性能一定能够覆盖到。由此可见,上述第⑤种情况最复杂,也是较为隐蔽的问题根源。可假设一个工况帮助分析,如图1拟设的零件所示,零件的定位是直径 $\phi 50\text{mm}$ ,定位销分度圆是 $\phi 75\text{mm}$ ,定位销直径是 $\phi 13\text{mm}$ ;仅仅是在定位销磨损 $0.06\text{mm}$ 的情况下,在 $100\text{mm}$ 长度上加工两端的螺纹孔,螺纹底孔轴线可能最大会有 $0.05^\circ$ 的误差,折合每个孔会有 $0.026\text{mm}$ 的误差。

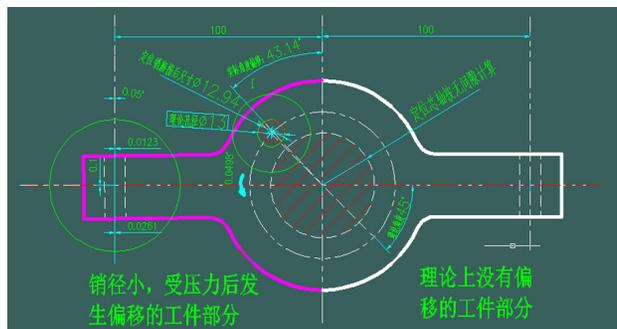


图1

如图2、图3所示，当一面两销装夹时，夹紧力不足或加工时工件弹性变形，在分度圆直径75mm的 $\phi 13\text{mm}$ 定位销小了0.06mm的情况下，平面向下沉位移0.1mm，距离轴心100mm位置的孔的最大偏移角度为 $0.05^\circ$ 。

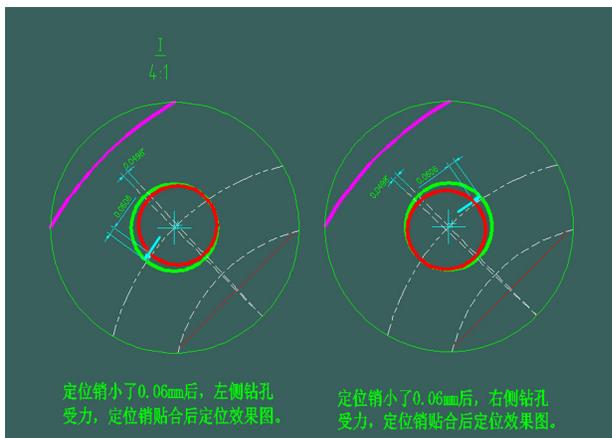


图2

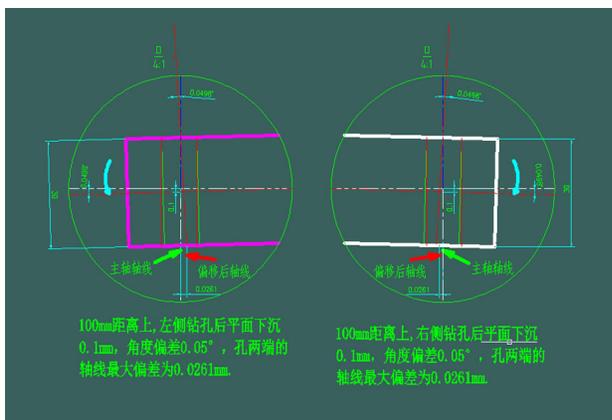


图3

从图示的模拟效果中，可以发现工件（夹具）系统不稳定时，微量刀柄不足以满足消除误差，而失去应有的效果，因此在决定是否投入使用微量浮动刀柄还是要进行检测和验证；或是在设计零件、工装的时候对零件、夹具必须考虑如何保证必要的刚性能力。

用该模型来理解工件系统微量变化对断丝锥的贡献值。根据德国EMUGE公司的研究，在丝锥指定位置和机床主轴实际位置之间超过 $17\mu\text{m}$ ，将会导致一个约为2800N的轴向力；按此分析，在此模型中工件偏转一个角度后，产生 $26\mu\text{m}$ 的误差，M10丝锥将会施加一个大于2800N的轴向力，这时丝锥折断的概率会增加很多；压紧不可靠会加剧这种现象。当然，前面提到设备会有轴向进给误差，加上丝锥加工的阻力，会将工件压向钻孔的状态，也会有将工件拉出的倾向。

当加工一个大的螺纹底孔时，轴向力并不是很小，单

纯进给切削力至少也会有400N，加上同步精度不够造成的2800N以上的轴向力，还是足以克服压紧工件的力量，而造成丝锥折断。对此，可以用一个最简单的方式验证：打表在工件垂直方向，记录表针位置，并轻轻抬起表针，另一人用一磅的小榔头，轻轻敲击工件可能的旋转方向，放下表针，观察表针的相对位置，就是工件可能的移动范围，并计算对孔系的角度偏差，即可对选用刀柄类型做到心中有数。

定位销的磨损正常现象，因此适当改善定位销的磨损更换标准，将可能的工件偏转角度控制好，也能改善断丝锥的现象。为此我们设计了一种无间隙定位销，可将定位销与工件的实际间隙为零间隙，重复定位精度为0.02mm以内。

在查找一个刚性攻丝断丝锥问题原因的案例中，设备系统和零件的刚性问题都排查过，一直都没有找到原因；后来注意到，断丝锥总有一个切削刃的切屑堵塞严重，如图4所示；继续观察发现，孔加工工序前，过中心平面镗刀加工后留有一个凸尖（见图5），后续细长杆刀柄安装（零件干涉无法更改结构）的钻头加工螺纹底孔时将这个凸尖切除了，无法直观检视。而由此凸尖与钻尖先接触，造成钻孔后孔轴线偏移（直线度差），结果是丝锥切削阻力剧增，频繁无规律断丝锥，因为凸尖的形状和高度也是不规则的。改善方式是更换新的能保证中心无凸尖的镗刀，消除了钻孔前的凸尖后，断丝锥现象减少了70%，检测计算后确认工件的偏移量较小，可改进夹紧可靠性及更换微量浮动攻丝刀柄继续改善断丝锥问题。



图4 丝锥在出口处折断、卡死停机



图5 钻孔前的镗平面留有凸尖

## 5. 快换夹套的应用

浮动刀柄不能直接安装丝锥，而是要安装一个夹头。

快换夹头是安装在浮动攻丝刀柄上的一种快速更换丝锥的夹头，与常用的刚性攻丝刀柄和微量浮动刀柄不同，快换夹头与浮动刀柄之间是用圆柱面定位，用两个钢球挂住，利用刀柄内的复位弹簧推动钢球实现。刀柄的扭矩传递给夹头的是两个突起的传动键，而夹头将扭矩传递给丝锥，将丝锥尾端的方榫插入夹头里面的方榫孔，由该结构

传递扭矩。

安装时只要将安装按钮按下，三粒钢球脱离锁紧的斜面，张开一个小距离，将丝锥的方榫放入夹头的方榫孔内后，释放安装按钮即可固定丝锥。有一些快换夹头还备有长度调整，便于机外设置加工长度。

## 6. 定扭矩夹头配合浮动刀柄的应用与注意事项

快换夹头中增加了一个定扭矩的结构，成为定扭矩夹头。

浮动刀柄只提供了一个轴向径向浮动（以及衍生的角向浮动）的功能，当丝锥受到大扭矩力量，还会折断；为改善这个问题，在快换夹头的结构上增加了一套可调扭矩的结构，当超过设定丝锥的切削阻力传递给夹头上时，相关棘齿部件打滑，发出咔嚓声音给操作者报警，提示停止加工。此时，主轴和刀柄正在旋转，而夹头与丝锥连接的部分和丝锥不旋转，主轴的轴向移动用浮动刀柄的浮动量消除（有的刀柄有前端释放功能，当程序设置错误，丝锥没有退出工件时主轴就开始快速退出，夹头和丝锥会与刀柄脱落并留在工件里，丝锥不会折断，工件没有损伤，保护重要零件的安全）。

定扭矩夹头的原理基本相同，结构有很多种，但基本的调整装置都是一样。拆开卡环后，旋转调整环，即可改变设定的扭矩，并用专业的检具检测核对后交付使用。

在安装定扭矩夹头时，不能直接受到轴向压力，否则容易造成内部弹性结构的压缩变形，有时不能回弹而失效。当出现该问题时，有条件的可以拆开复位后加注专用油后组装，使用扭矩检测仪按需求扭矩要求调整好后再交付使用。

定扭矩夹头的结构中有摩擦部件，比一般快速夹头磨损更快，当经常出现打滑报警的状况时，必须寻找问题根源

并加以改善，减少打滑报警次数，此类夹头建议备用一个同类型夹头。

## 7. 其他类型的刀柄

EMUGE公司的刀具监控系统DDU4有无线发射报警检测系统（见图6），可以提供识别功能，包括刀具的磨损、螺纹孔残缺、材料接触、切屑堵塞、刀具脱落、螺纹深度不同、刀具断裂、统计评估。数字信号处理使得扭矩增大和轴向力的测量成为可能，这些测量范围分别再细分为三步，且每一步都可以从面板直接读出。

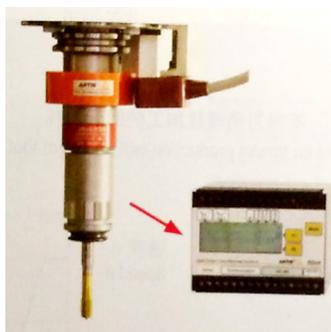


图6

蓝帜精工旗下的BILZ品牌集成无线监控的HFP刀柄（见图7），集合了自定心、轴向浮动，长度调整，径向浮动，冷却供给，最小润滑值，硬启动等功能。考虑到定扭矩刀柄在加工环境噪声较大时，操作者无法及时听到“咔嚓”的报警声，当装在刀柄里面的高频发射器在刀柄的长度补偿上起作用，安全夹紧装置在左转时被压缩，右转时被拉伸，就通过环形天线发出信号，接收器收到信号后报警故障被立即发现，防止螺纹深度不够的零件或是没有加工螺纹的零件传递给下一道工序。



图7

伊斯卡品牌的GTIN ER-ISO（JIS）攻丝夹头（见图8），是用

ER夹套安装于所有标准的ER刀柄上，有径向浮动 $\pm 0.1\text{mm}$ ，可伸出4mm，可压缩0.8mm，可在不改变其他刀柄的基础上，更换一个攻丝夹头，就可以达到浮动刀柄的效果，不足的是不能使用内冷功能，否则内部元器件容易发生故障，且只有ER32的刀柄可以使用，没有更小的，所以干涉直径比较大。

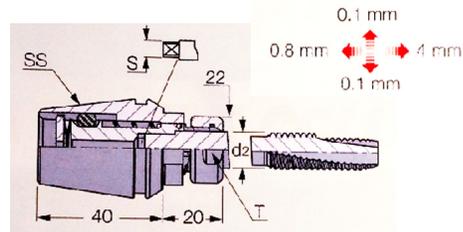


图8

## 8. 结束语

综上所述，刚性攻丝刀具夹持系统通常比同步攻丝刀具夹持系统价格低一些，同步刀柄加工的螺纹精度在高速加工时比浮动攻丝好，螺纹长度的控制也更为精确。浮动刀柄的种类多，可转接扭矩保护夹头，对设备和夹具的要求低，浮动范围也比较大，但一般不能高速加工，在专机和低精度的夹具和设备上应用广泛。对高精度的重要零件，可用无线发射技术报警监控的刀柄系统。

本文结合本刊2019年第4期《断丝锥的原因分析、改善及后处理方式对比》发表的文章撰写，在解决断丝锥问题时，必须综合考量，逐个排查，具体分析，依次改善，根据条件，利用资源。列举的断丝锥问题原因包罗万象，但在现场我们可以做到有迹可循，有理可依，处理方式万变不离其中。

在撰写本文的过程中感触颇多，许多小问题很容易被忽略，但后果都是丝锥的损坏或是工件的报废，加工成本的升高，加工效率的损失。希望通过本文的分析能为大家减少断丝锥提供参考。□

# 基于零件表面刻度线加工工艺的探索研究

中航飞机股份有限公司长沙起落架分公司 张永涛 黄国华 何多政 任建华

供油壳体作为某型号飞机起落架的重要件之一，是连接飞机前起落架供油接头、齿轮壳体的重要件，该零件外圆需加工30条刻度线，用于起落架收放运动过程中的位置检测。在传统的刻度线加工时，一般选择的工艺方法为钳工进行手工刻线，进而满足图纸要求。本文通过对供油壳体零件进行工艺分析，选择一种典型的数控加工工艺方案，使用螺纹铣刀进行数控加工刻度线，进而解决复杂零件表面刻度线难加工的问题。

供油壳体作为某型号飞机起落架的重要件之一，该零件材料为30CrMnSiNi2A，是一种近几年国内广泛使用的低合金超高强度钢，强度高达1580~1760MPa，该材料具有良好的疲劳性能、耐磨性能、较低的裂纹扩展速率和加工工艺性能。

该零件图纸要求外圆 $\phi 267\text{mm}$ ，内孔 $\phi 228^{+0.1}\text{mm}$ ，高度 $78.5^{+0.1}\text{mm}$ ，零件外圆顶部设计有7个耳片，属于典型异形件，如图1所示。

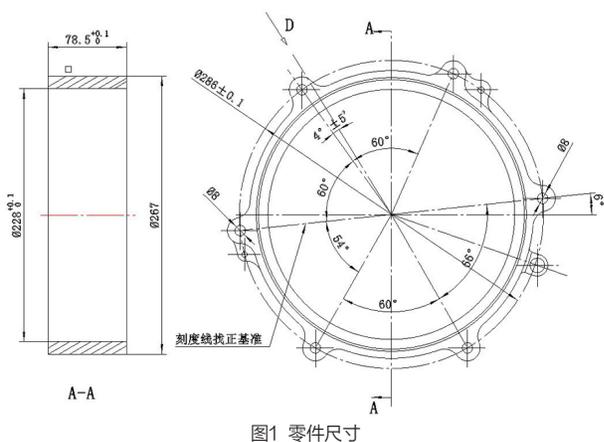


图1 零件尺寸

依据设计要求外圆加工30条刻度线，要求长度 $L=5\sim 10\text{mm}$ ，深度约 $0.3\sim 0.5\text{mm}$ ，刻度线呈凹槽 $60^\circ$ ，角度间隔在 $1.5^\circ\sim 2^\circ$ ，外圆跨度 $70^\circ\sim 70^\circ$ 。该零件定位精度高，尺寸控制严，这就要求在加工过程中务必保证该刻度线的工艺要求，刻度线要求如图2、图3所示。

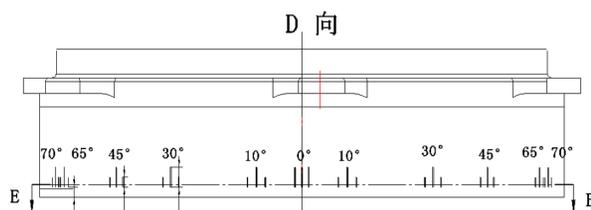


图2 刻度线尺寸

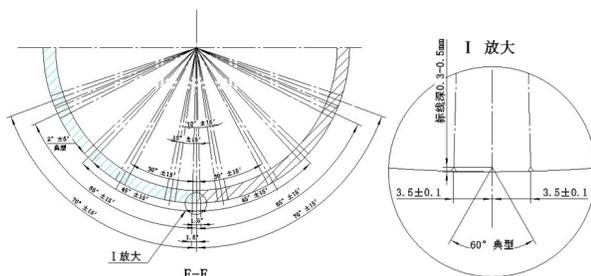


图3 刻度线详细

## 1. 工艺分析

### (1) 工艺过程概述

零件毛坯为模锻件，主要加工工艺采用：车削、数控铣、钳工、磨削等工序；特种工艺采用：去应力回火、磁粉探伤、镀铬、镀镉钛、喷漆、磷化等。其中工艺过程安排如下：

领料→划线（检查毛坯余量、划数控加工线）→钳工（打印编号）→数控铣（去余量、铣基准）→划线（移打编号、划数控加工基准线）→数控铣（加工零件外形）→数控铣（加工内孔 $90^\circ$ 注油孔）→钳工（移打编号）→

钳工（打磨零件表面）→划线（划小孔加工线、刻度线基准）→数控铣（加工外圆刻度线）→……成检→防护入库。

为了使刻度线易于加工，将刻度线的加工安排在热处理前进行。由于该零件外圆尺寸非关键尺寸，故在热处理前，即可将此尺寸加工至成品尺寸，刻度线基于此外圆，可做进一步的加工。

### （2）加工难点分析

在传统的刻度线加工中，主要是由钳工先依据零件尺寸要求，在工作台上进行划线，确认刻度线的位置，随后钳工使用震动蚀刻笔在零件上打印刻度线。此类加工方法所加工的刻度线，深度、长度以及角度误差均较大，但此类方法成本较低，在零件要求不高的情况下较为方便。因而在面对高精度零件的刻度线时，难以满足加工要求。

### （3）加工方案选择

目前，国内数控领域对于刻度线加工领域的实践以及研究较少，通过进一步分析，数控加工系统中起关键作用的三大系统包括：机床、刀具、夹具。一般情况下，在生产车间，机床种类固定不变，刀具种类繁多，目前可以借鉴参考使用的便是数控刻字刀，选取规格最小的刻字刀，尺寸如图2所示，该刻字刀底刃为平底，依靠测刃切削，本文所讨论的零件要求刻度线底部为60°尖角，故此刀具不可取。

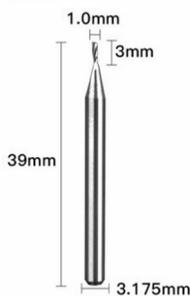


图4 平底刻字刀

选取符合刻度尺寸要求的尖角刻字刀，如图5所示，该刻字刀广泛使用在木制、塑料材料的加工，根据公式：

$$V_c = (\pi dn) / 1000$$

可知尖角线速度几乎趋向于0，这就是数控机床需要较高的转速才能达到加工要求，而我公司目前现有设备转速无法达到6000r/min以上；其次，本文所论述的材料为低合金超高强度钢，更是增加了数控铣削的难度。通过相同材料的试验发现，尖角刻字刀铣削刻度线时，刃口直接崩裂，故此刀具无法满足加工需求。



图5 尖角刻字刀

针对本车间现有设备分析，选择一种刀具必须满足刀具为尖角，角度为60°，线速度能够达到加工要求，针对刀具进行分析，选择单刃60°螺纹进行加工，依据图4所示，具体操作方法为借鉴T型刀的加工方案进行。



图6 螺纹铣刀

选取螺纹铣刀规格为M12G GP1.75 G d9.9 G38H G75L，单齿整体硬质螺纹铣刀，该螺纹铣刀角度为60°，可满足零件加工要求，选择立式加工中心（带A轴）加工零件刻度线。通过同材料试验验证，确认加工出来的刻度线符合工艺要求。

## 2. 螺纹铣刀加工工艺方案

条件：在前工序基础上，保证外圆圆度 $\leq \phi 0.05\text{mm}$ 。

（1）将该零件装加至A轴，找正零件端面跳动量 $\leq 0.03\text{mm}$ ，装夹如图7所示。



图7 零件装夹

（2）如图1所示，在刻度线找正基准处插入2- $\phi 8\text{mm}$ 芯轴，使用找正表计算零件Z向高差，通过转动A轴，确认两侧芯轴高差 $\leq 0.03\text{mm}$ ，此刻将A轴正向轴旋转244°，确定为零件A轴原点。

（3）外圆分中，确定Y、Z向原点，以端面确定X向原点。

（4）运行程序，具体程序如下所示：

```
N0001 G01 G90 G54 A0 F50.
N0002 G0 G90 G54 G17 Z300.
N0003 X-8.5 Y-142.0.
N0004 S2000 M3
N0005 Z100.
N0006 G01 Z0. F50
N0007 Y-138.05
N0008 X-15.5.
N0009 Y-142.0.
N0010 G0 Z300.
N0011 M05.
N0012 M02.
```

（5）加工结果检查，如图8所示，为该零件实际加工结果，经过检验检测，符合图纸要求。



图8 实际加工图示

## 3. 结束语

30CrMnSiNi2A材料属于典型低合金超高强度钢难加工材料，在传统的刻度线加工中，无可借鉴经验。本文通过对零件分析，选择一种单齿螺纹铣刀，仿照盘刀的加工方法，解决了数控刻度线的加工难题。对比加工时间分析，原传统钳工加工，约需8小时左右，采用该加工方案，时间约需1.5小时左右。其次，采用该加工方案，相比较零件的加工精度进一步提高，保证图纸尺寸公差要求。本文的研究方案可为后续刻度线的加工提供一定的理论及实践支撑。□

# 智能科技驱动未来生产

## ——来自EMO2019的报道（中）

中国机床工具工业协会考察团组 穆东辉 姜晓钟 执笔

### 三、主要机床产品参展情况

以下按照机床的主要加工方式或工艺类别，选取EMO2019展会上的部分机床制造商的特色展品分别进行介绍。随着机床产品复合加工技术的普及，很多产品都同时具有车、铣、磨等多种加工方式，甚至很多机床还复合了电加工、激光加工、增材制造（3D打印）等工艺手段，单机产品的加工能力、柔性都得到了空前的提升。由此引起了很多机床产品种类归属的问题。在下文中仅根据主要加工方式或行业习惯进行归类。同时，在本报告第一部分按照企业集团分别介绍了七家著名机床制造商，前面介绍的这些企业的机床产品也会同样适用以下工艺分类。

#### 1.加工中心

加工中心是EMO2019展会上展出最多的机床主机产品之一，几乎加工中心领域所有的知名品牌产品都展示了最新的技术成果或应用案例，包括卧式、立式、高速、重型等各种类型的加工中心产品。

根据加工对象不同，加工中心的规格、形式、配置等方面也会有很大差别，但加工中心集成了目前最高水平的机械、材料、切削工艺、自动控制、传感、通讯等先进技术，是制造业主要的加工手段。前一部分主要机床集团，如德马吉、斯特拉格、马扎克、大隈等展出的大量加工中心产品，在此就不再复述。下面选取其他企业的产品进行介绍。

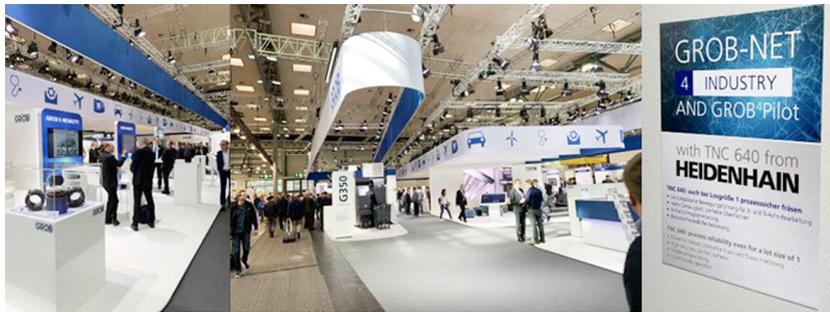
##### （1）格劳博G350a和G550a五轴加工中心

格劳博（GROB）集团是一家在全世界范围内运作的家族企业，总部位于德国明德海姆市，在巴西圣保罗、美国布拉夫顿、中国大连和意大利都灵设有四个海外制造基

地。自1926年成立以来，格劳博的产品不断创新，发展，覆盖了从万能加工中心到高柔性高自动化的加工系统，从机械加工里的装配单元到全自动化的装配流水线等。特别是格劳博的卧式加工中心及自动化生产线在汽车领域的成功应用，使其成为汽车行业及其零部件供应商的可靠合作伙伴，为整个机械制造业生产高质量的创新、高效型机床设备。



在系统和通用机械业务、服务和售后范围内的产品均以客户为导向，这使GROB在市场上（尤其在汽车行业）获得了最高的认同和赞赏。此外，电动机生产设备，电池和燃料电池技术的装配设备也在产品范围内。格劳博还拥有适用于发动机组件的热喷涂技术，也能够为涡轮机壳体、框架结构件和底盘部件等加工提供量身定制的解决方案。与此同时，在工业4.0框架下格劳博已经迈出了重要的一步，推出了GROB-NET4Industry软件，用于全面面向未来的数字化和网络化生产。



格劳博在EMO2019上首次展出全新的access机床系列——2台通用五轴加工中心：G350a和G550a，并现场加工了航空航天领域铝合金框架结构工件。这两台最新研发并面向市场推广的五轴联动通用加工中心是对格劳博独有技术的智能性和经济性的有力体现，旨在为需求愈发严苛的制造业客户提供更智能高效、节约成本应用加工方案。同时，它们在格劳博的质量标准下研发和制造，可以保证机床的可靠性和生产效率。access机床系列的开发旨在智能高效、节约成本，因此成本回收时间极短，投资回报率更高。



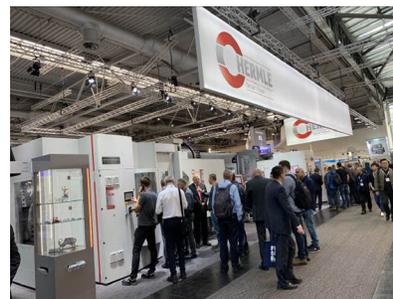
G350a和G550a都以格劳博G系列卧式五轴加工中心的主要结构为基础，兼顾了机床的通用性和经济性，加工对象主要面向汽车、工具、模具、机械制造等领域。产品坚持格劳博独一无二的机床设计理念，采用卧式主轴结构保证了Z轴的最大行程以及最佳的排屑效果；X、Y、Z三个直线轴空间合理安排，保证工作点（TCP）与各导轨的距离最小，增强了工艺系统刚性，使机床具有最佳的稳定性；坚持隧道概念，在使用最长刀具时，机床各旋转轴都不受任何限制，仍然能够实现最大工件的加工；转台的摆动范围大，三个直线性轴和两个旋转轴允许5面加工和5轴联动加工，A轴摆角范围为 $230^{\circ}$ ，B轴可以实现 $360^{\circ}$ 旋转。

总的来看，G350a和G550a仅仅是由于规格不同相关参数略有差异，但与格劳博其他G系列产品相比，还是在进给速度和配置选项上做了一些调整，来满足用户市场的需求。

#### （2）哈默C42U MT五轴车铣复合加工中心

哈默（HERMLE）在EMO2019展会560平方米的展台上，展出了C42U MT五轴车铣复合加工中心、C32U五轴加工中心、配备HS flex自动化系统的C400五轴加工中心、集成了RS05-2紧凑型模块化机器人系统的C250五轴加工中心产品，另外还有两台加工中心在刀具企业展台展出。哈默还展出了数字模块专

题，其中展出了“数字生产”、“数字操作”和“数字服务”三大领域。这三大领域为智能订单管理、透明生产过程、智能机器调校、无纸化生产和精益技术循环奠定了坚实的基础，包含所有通往智能工厂和工业4.0道路的各种模块。哈默拥有可个性化设计的控制系统主屏幕和全新导航器界面，触摸屏更好用、更易于操作。



C42U MT五轴车铣复合加工中心结合了铣削和车削技术，产品应用于刀具、模具、医疗、航空航天、机械制造、发动机和赛车以及配件等领域。

C42U MT三个直线轴X/Y/Z的行程为：800mm/800mm/550mm，X、Z轴的快速移动速度最高达到60m/min；转台采用涡轮蜗杆副传动，加工直径 $\phi 750\text{mm}$ ，C轴最高转速为800r/min，工作台最大负荷：700kg（车削）/1400kg（铣削）；主轴端套筒部结构进行了优化设计，套筒采用锻件最大限度减少外形尺寸，为加工区域提供更充分的防碰撞空间，主轴转速选项包括15000/18000/25000/42000r/min。



机床采用矿物质铸件床身，整体结构紧凑、刚性高；工作台摆动角度大（±130°），动态性能好，适用于复杂曲面加工（含负角度加工）；机床的几何精度及位置精度高的特点适合高精度零件加工；机床性能稳定，精度长期保持性好。因此在复杂曲面加工、负角度加工、高精密度加工和高速加工等方面具有极为明显的优势。在EMO展会上也展示了对外径为φ600mm的航空发动机外壳现场加工的一系列技术应用，包括五轴联动车铣复合加工工艺对各种复杂空间结构加工的优势、夹具、刀具等，在此还使用了摆线车削技术。



C42U MT的抓取式刀库集成在机架底座内，配备刀具更换装置和可转动的操作台，便于刀具的取放和调整。标准机型配备42个刀具库位，通过附加刀库可扩展为462个。最大刀具重量达为8kg，最大刀具长度为300mm。



除了哈默展位上的4台五轴加工中心，其自动化解决方案也是重点展示内容。配备自动化系统的机床占当前哈默交付合同比例30%左右，自动化应用的需求稳步增长，预计未来几年自动化机床交付增长高达50%。

本届展会哈默结合C400和C250两台机床展示HS flex作业系统和RS 05-2模块化紧凑型机器人系统。HS flex系统可以配备多个存储器模块，并进一步扩展升级至多托盘系统；HS flex组合使用Hermle自动化控制系统(HACS)，

更具灵活性且更易于操作。RS 05-2是紧凑型模块化机器人系统，安装面积仅占用2m<sup>2</sup>。用户可全方位选择单个矩阵存储器、看板存储器和抽屉式存储器，甚至托盘存储器。RS 05-2可适用于哈默的五种不同机型，用户分布在医疗和精密工程领域。

### (3) C.B.法拉利A236五轴加工中心

意大利C.B.法拉利机床公司（C.B. Ferrari）创建于1966年，是北京北一机床股份有限公司的全资子公司，是世界著名的五轴叶片机床生产商之一，是世界加工工业市场占有率较高的单主轴五轴叶片加工设备提供商之一，在能源及航空工业叶片制造、精密零部件制造、模具制造等领域处于领先地位。C.B.法拉利公司拥有成熟的销售和服务网络为全球客户提供快速的技术和服务支持。

C.B.法拉利公司展示了全球首发的A236五轴加工中心和数字孪生技术解决方案。



在日益数字化和互联的工业世界中，机床在集成化生产管理中起着基础性的作用。为了应对这种趋势，C.B.法拉利设计了新的具有高精度、高产能的复合加工中心（铣削和车削）——A236五轴加工中心。特点：①该加工中心带有可移动立柱，无论是从进料和出料的角度，还是从它能够与外界交换的信息的角度，都能够适应生产循环的需要。②A236加工中心设计用于加工中小型钢铁、钛合金及超合金等材料的涡轮叶片。A236加工中心还可以用于加工叶轮、整体叶盘、医疗器械零件、钟表制造、凸轮、特殊刀具刀体和任何其他类型的复杂零件。

### (4) 兹默曼FZH400卧式翻板加工中心

德国兹默曼（ZIMMERMANN）公司一直致力于特殊型面的铣削加工。1938年成立以来，公司业务主要涉及不同材料外部轮廓的切削及修正。

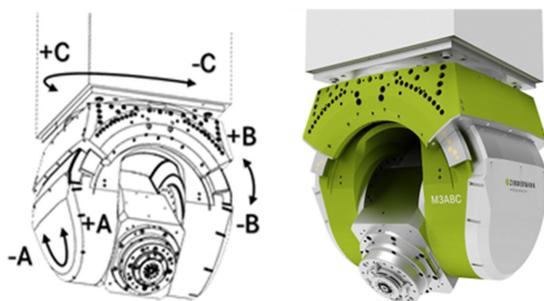


兹默曼在现场采用虚实结合的方式展示了FZH400卧式翻板加工中心，机床的主机部分采用了大屏幕视频的方式展示，翻板式托盘系统实物与视频进行联合展示。FZH400的托盘尺寸为4100mm×1600mm，最长可以达到26100mm，最宽可以达到3100mm；Z轴行程650mm，还可以提供850mm、1000mm行程选项；最快进给速度：X轴最快进给速度60m/min，Y/Z轴40 m/min；加速度6 m/s<sup>2</sup>。主轴头可以配置五轴联动加工主轴头，也可以配置六轴联动加工主轴头。



此机型集兹默曼公司三大专利技术于一身：提取式托盘翻转交换机构、动柱式Z轴进给机构和M3 ABC三摆角主轴头。主要解决航空航天工业中大型零件的高速高效加工，尤其是对于卧式装夹不方便、有大量切屑产生的加工应用场景。该机床的移动式立柱装置的刚性床身与高动态性能的高动态性能铣头的结合，实现铝合金和复合材料的高效铣削加工。

兹默曼的FZH系列机床可以配置M3 ABC三轴铣头，实现六轴联动加工。新型铣头在进行五轴联动、大切削量加工铝合金、复合材料、模型材料以及HSC高速加工钢件、铸铁材料方面显示了传统两轴叉形铣头无可比拟的优势。在加工典型的锥形盒状工件，例如飞机的框架组件时，B轴的引入可大幅减少加工时间。同样地，在加工任何其它外型的工件时，使用M3 ABC铣头进行联动加工都会使生产效率显著提高。



## 2. 车床及车铣复合机床

车削工艺仍然是制造业主要的加工方法，车床与加工中心一样，也是EMO2019展会参展数量最多的产品之一。

高精度数控车床和铣车复合机床是本届展会上车床展品的主要亮点，是多轴复合加工应用的主要应用案例。随着当代数控机床多轴控制、直接驱动、高效加工等技术的快速发展，为了满足航空、航天、船舶、汽车等领域零件结构复杂、高效的要求，车铣复合技术日臻完善，相关技术应用在不同种类、规格的产品中，不断提升机床的工艺能力。除了前述德马吉、哈挺、马扎克、大隈等企业展出的车削中心、铣车复合产品外，还有很多世界知名的车床专业制造商也在这次展会上展出了许多特色产品，有的产品是世界首发，值得关注。

### (1) 托纳斯MultiSwiss 6x32多主轴自动车床

托纳斯集团（Tornos）是瑞士自动车床和多轴铣车复合机床开发、生产和销售的全球领导者之一。该公司的历史可追溯到1880年，集团主要生产数控瑞士式（滑动头架）车削机、多轴机和加工中心，用于需要高精度的复杂零件。托纳斯总部位于瑞士，产品加工小规格、结构复杂、精密零件，主要应用在汽车、医疗和牙科技术、微机械和电子等专用细分市场，为客户提供专业的解决方案。



展会上托纳斯展出了SwissNano 7微型精密瑞士型车床、MultiSwiss 6x32多轴自动铣车机床、SwissDECO 36 TB、SwissDECO 13瑞士型纵切自动车床、Swiss GT 32车削中心等多款精品车削产品及解决方案，也有CU2007五轴立式加工中心产品。其中，SwissNano 7和MultiSwiss 6x32是托纳斯在EMO2019上推出的世界首发产品。

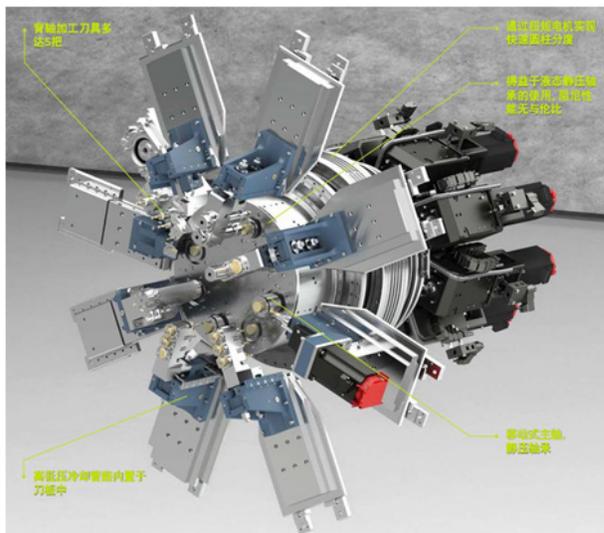
托纳斯的MultiSwiss系列产品是设计上的一次革新，完美融合了多轴车床和单轴车床的优势。MultiSwiss 6x32是MultiSwiss系列中加工直径最大的产品，棒料直径为 $\phi 32\text{mm}$ 。该机床具有6个独立的车削主轴，同时配备了最多9个C轴、17个直线轴（可选配3个Y轴）、27把刀，每个主轴、直线轴均由伺服电机单独控制，可以针对6个主

轴夹持的棒料分别进行车、铣、钻等加工，为复杂工件的高效生产提供了新的方案。编程和操作非常简便，堪比单轴车床，而生产效率却提高了数倍，显著提升了产品质量和产品一致性。



MultiSwiss 6x32的最大加工长度为65 mm，主轴采用静压轴承技术，最大转速为 6000r/min，每个主轴除了具有C轴功能，还具有Z轴移动功能，Z轴行程150mm。静压轴承技术的应用提高了系统的阻尼性能，可以实现更加出色的加工表面质量，同时由于加工过程中振动小，使刀具获得了更长的寿命。6个主轴安装在一个主轴鼓内，主轴鼓由力矩电机直接驱动，实现各个主轴的分度换位，由于没有端面鼠牙盘结构，可实现0.4秒以内的快速换位时间，并具有最低的噪声水平，因此可节省用于锁定及解锁的宝贵时间。

MultiSwiss 6x32采用模块化多刀具理念设计，研发多功能且可以预先调节的快速更换刀架系统，针对6个主轴工位配置直线轴进给刀具滑板，充分利用了机床新颖独创的运动结构。每个工位能够容纳多达四把刀具，实现让人难以置信的灵活性。集成在刀架内的冷却装置，以及便于更换夹具的前端介入设计，大大节省了时间。



即插即用刀架系统让机床人体工学设计更加完美，该机床经过特殊设计，可以配备多种装置，包括多边形刀具、标准钻孔刀具等。动力刀座可直接进行数字控制，调整其在加工过程中的速度。即插即用系统还可包括主轴加工和背面加工中的高频主轴管理。

MultiSwiss 6x32还应用了“多合一”设计理念，所有有效运行所需的外围设备均放置在机床后部的罩壳中，占用空间较小。包括送料机、切屑管理系统和油过滤系统。油雾分离器、排屑器、防火系统和高压冷却泵等选配件也都完美的集成在机床内。

### (2) 因代克斯MS32-6多主轴自动车床

因代克斯 (INDEX) 集团是全球领先的数控车床、自动车床、多轴车床和车削中心制造商，旗下拥有INDEX和TRAUB两个知名品牌，拥有领先的技术研发和服务体系，在全球拥有6个生产工厂、6个国际销售和服务公司以及广泛的零售商网络。

在 EMO2019 上，因代克斯在其1100平方米的展位上展示其高效车削中心的各种组合，并展示其对未来数字化制造的最新研究成果。因代克斯展出了17台Index和Traub品牌的机床，其中包括MS32-6多主轴自动车床和带有双主轴的C200串联生产车削中心的全球首秀，搭载iXcenter集成自动化单元的C100车削中心也推出了新版产品。因代克斯的iXworld 基于云的平台是一个关键重点领域，这个数字平台位于ixworld.com，提供有关Index技术的全面信息以及访问 iX4.0、iXshop 和 iX 服务门户，提供有关该工具如何应用于机床采购、操作、服务和维护等流程的信息。iX4.0 是iXworld 的核心，提供工业 4.0 功能，将 Index 和 Traub 机床集成到数字世界中。

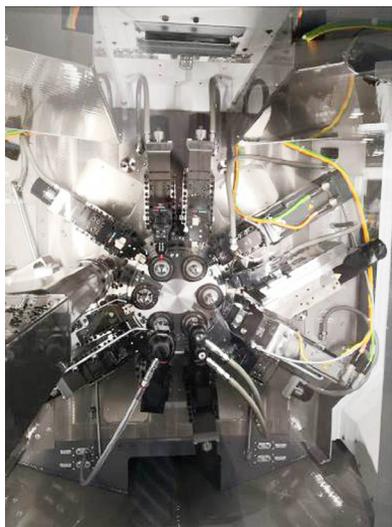


因代克斯展出了MS22-6L、MS32-6、MS40-8三个规格的多主轴自动车床，MS32-6也是因代克斯此系列机床中的中间规格产品，加工棒料最大直径为  $\phi 32\text{mm}$ 。MS32-6配置6个车削主轴，最多两个旋转同步主轴和最

多12个刀架。刀架可自由配置为X轴和Z轴运动的十字导轨滑块，也可以选择配置X轴导轨滑块或Z轴滑块，便于调整更好，可实现高生产率的生产。



6个主轴安装在核心部件主轴鼓内，紧凑的主轴鼓通过一个端面齿盘分度，使得每个位置都具有最高精度。6个主轴采用无级调速、高扭矩、小尺寸、免维护以及最新同步技术，主轴最高转速为8000r/min。在加工期间，每个主轴位置和每把刀片都始终具有最佳转速，转速互不影响，甚至在切削时仍能对其进行编程控制，从而不会带来额外的辅助时间。从而能获得最佳断屑效果、最高表面质量，并缩短单件加工时间、延长刀具使用寿命。还能加工迄今为止几乎完全不适用于多轴机床的高强度材料。



因代克斯采用积木式刀架系统模块设计，最多可配备12个刀架，可选配Y轴。刀架可用于内圆和外圆加工，每根主轴可使用多把刀具，可采用动力刀具进行横向加工，具有C轴功能，可满足多边形车削、滚齿等更多应用需求。因代克斯的快速夹紧系统采用专利技术的W锯齿结构，便于更换、调整刀具，同时采用符合人体工程学的前开门工作区，最大限度的减少工件调整的机床设置时间。机床具有优良的动态响应特性，加上最小的辅助动作流程和停机时间，进一步降低了每个工件的制造成本。

(3) 奥地利WFL M50-G车铣复合加工中心及万能加工解决方案

奥地利WFL车铣技术公司  
(WFL Millturn Technologies



WFL展出3台车铣复合加工中心：配置自动化单元的M30-G MILLTURN/1800mm、演示透平叶片加工的M50-G MILLTURN/3000mm以及配有集成式激光器的M80X MILLTURN/3000mm。同时，WFL还展出了WFL Control系统的监控及记录功能、智能刀具和集成式感应装置。

M50-G车铣复合加工中心具有大功率、高生产效率的特点，通过提高主轴速度和进给轴运动加速度，最大化提升机床性能，满足如涡轮叶片等零件加工的高动态特性要求。

WFL在展会现场也演示了透平叶片的加工过程，通过保证切削力的连续输出和新开发的刀具低耗加工工艺方案，保证了叶片加工的高稳定性，为MILLTURN产品打开了新的应用领域。

GmbH& Co. KG) 成立于1993年，总部位于奥地利林茨市，现有员工400余人，致力于生产多功能车铣复合加工中心的设备制造商。

WFL车铣复合加工中心采用“一次装卡、全部完工”理念和模块化设计思想，将所有加工和测量操作整合到一套MILLTURN加工中心，大大提高了生产效率。独特的MILLTURN机床概念和带齿轮箱的车削-镗削-铣削单元，对精密、要求极高的复杂零件进行加工，保证了完美的切削性能和精度。WFL目前有20多种不同的MILLTURN型号可供选择：车削长度1000~14000mm，车削直径520~2000mm，可以完成对各种工件的加工。



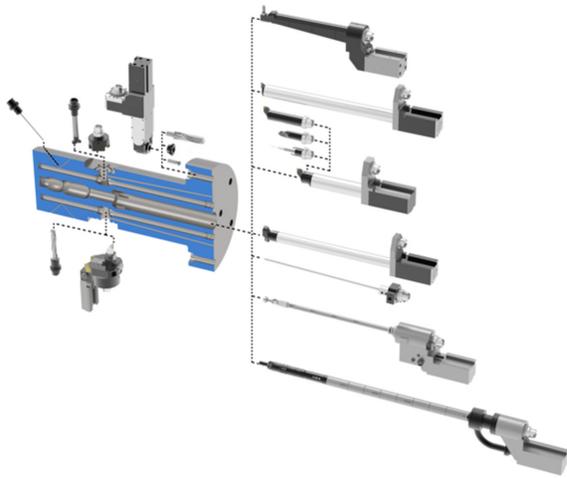
M50-G的另一显著的特色功能是采用超高压冷却泵(UHPC)，冷却压力可控在150~350bar，因而断屑功能得到最优化，减少了加工时间，降低了生产成本。根据WFL提供的数据，在实际应用中成本可减少50%。由于冷却液是通过铣削主轴中心出液冷却，无需额外接口即可实现高达200bar的冷却压力。这一应用不仅可以保证不锈钢材料的加工可靠性和生产效率，而且也适用于加工高合金钢和超合金材料。



M50-G车铣复合加工中心最大加工直径为670mm，最大顶尖中心距为6000mm。车削主轴最大功率40% (100%)可以达到80(60)kW，最大扭矩40% (100%)可以达到3600(2740)Nm，对应的最高转速为2600r/min；铣主轴最大功率40% (100%)为40(35)kW，最大扭矩40% (100%)可以达到480(420) Nm，对应的最高转速为5000r/min；B轴摆角±110°；Y轴行程400mm。

展出的M30-G/1800mm车铣复合加工中心，配置库卡KR Quantec机器人单元，其具有达120kg负载能力以及2896mm的工作半径。机床配备一套针对不同刀具的自动机械手更换系统，即用于盘类零件和轴类零件抓取的两个不同的机械手。其他亮点是机床显示器上的集成单元可视化功能。

WFL车铣技术公司开发了与车铣复合加工中心匹配的特殊刀具技术，用于加工复杂零件。对于难于接近的加工区域经常需要特殊长刀，WFL通过棱形刀座适配器将棱形刀座固定在车镗单元上，并可与HSK或者CAPTO刀具系统相连接。这些复杂特殊刀具部分装配了传感器，可以实现过程优化并有效的保护工件、刀具和机床。



通过集成最新的传感器，详细的刀具信息和加工状态可以被实时的反馈给控制器、平板电脑或者PC机。信号通过蓝牙传递，以便机床可以对预设触发条件做交互式响应。这一过程可以转为文本并完整记录留存。WFL应用该技术的镗杆可以提供使用情况、温度、变形、加工的表面粗糙度以及由于超载而导致加工过程事故风险的信息。当在一台机床上完成全部加工时，可以容易的获得非常高的外圆与内孔同心度、孔的位置度以及表面质量。

### 3.磨床

磨床产品和技术是本届展会的主要展品，特别是欧洲集中了全球大部分领先的磨床制造商，代表了目前磨削技

术的最高水平。由于参展的企业和展品非常多，下面仅选取部分有代表性或有特色的企业或产品进行介绍。

(1) 联合磨削MFP 30磨削中心和HELITRONIC POWER DIAMOND 400刀具磨床

联合磨削集团(UNITED GRINDING)是全球领先的精密磨床供应商。集团旗下拥有八大磨床品牌：STUDER斯图特、SCHAUDT肖特、MIKROSA米克罗莎、MaGERLE美盖勒、BLOHM保宁、JUNG琼格、WALTER瓦尔特、EWAG伊瓦格，掌握了市场中最广泛的应用技术和产品组合，在内外圆磨、平面成型磨和工具磨领域提供创新科技的产品，产品应用磨削、电加工、激光、测量和组合加工技术原理，在国际市场上提供广泛的应用知识、广泛的产品组合和一系列完整的服务。集团在全球拥有约2500名员工和20多个生产、服务、销售地点和代理商。

联合磨削集团在1200平方米的展台上展出15台各种磨床产品、技术应用以及数字化解决方案。此次EMO展出了BLOHM PROFIMAT XT高精度立式磨床、MaGERLE MFP 30磨削中心、WALTER HELITRONIC POWER DIAMOND 400和HELITRONIC POWER 400电解复合磨床等新产品，同时还展出了STUDER S41、S31、S33、favorit外圆复合磨床、EWAG LASER LINE ULTRA超短激光脉冲加工机床等各种精密机床产品及最新的技术应用成果。



#### 1) MFP 30磨削中心

MaGERLE的MFP系列磨削中心是与世界众多知名航空发动机制造商和燃气轮机制造商合作，针对导向器叶片和涡轮叶片复合加工研制开发的高性能系列产品，也成为MaGERLE的标志性产品。

此次展出的MFP 30磨削中心是MFP系列产品向小规格方向的延伸而研制的新产品。该产品可以实现复杂几何

形状工件的磨削，比如飞机发动机导向器叶片、涡轮叶片或围带类零件等。



MFP 30磨削中心采用紧凑型设计理念，结构、功能、专用磨削和自动补偿软件符合用户使用需要。紧凑而又节省空间的设计可优化使用现有生产区域，并实现有效的生产流程。MFP 30根据需要可以实现5轴或6轴加工，通过一次装卡可完成磨削、铣削和钻削等工艺，将高效和柔性加工结合在一体。

机床的工作台面尺寸为500mm×500mm，X轴最高行进速度为50m/min；A轴摆角范围210°，B(C)轴回转范围360°；主轴功率最高为18kW，主轴转速最高为12000r/min；最大砂轮直径为300mm，最大砂轮宽度为60mm。

机床主轴通过HSK-80 B换刀接口，可以安装砂轮、铣刀、钻头、量仪等。高性能主轴允许各种磨削工艺的组合，如用刚玉砂轮的大切深磨削或用CBN砂轮的磨削。即使在低转速区间，也可提供较大的功率和高扭矩。通过高强刀具、夹具，可以实现宽轮廓的加工，并具有高材料去除率。高性能主轴的高转速区为工件在一次装夹下的磨削和铣削工序提供了有利的加工条件。磨削过程可以用乳化液或磨削油完成，冷却液通过双轴

控制喷嘴提供最佳的冷却液供应。对于钻孔和铣削刀具，磨头箱主轴两侧的喷嘴可对钻、铣加工提供冷却液，实现工艺优化。通过集成的砂轮清洁系统，在磨削过程中砂轮保持更清洁和锋利，提高了材料去除率，同时减少了砂轮的消耗，使用寿命长。

## 2) HELITRONIC POWER DIAMOND 400刀具磨床

WALTER从1953年就开始生产工具磨床，HELITRONIC系列刀具磨床和HELICHECK系列全自动数控测量机成为支撑WALTER占领市场的主要产品。

HELITRONIC POWER DIAMOND 400电火花加工机配备砂轮/电极更换装置，可加工材料包括PCD、CBN、HSS、硬质合金、金属陶瓷、陶瓷，对PCD/CBN材料的刀具可以用电火花加工工艺，对高速钢/硬质合金材料的刀具可采用磨削加工工艺。机床采用灰铸铁材料的龙门式结构，机床的加工直径范围3mm~380mm，长度最大达520mm，最大工件重量不超过50kg；三个直线轴X、Y、Z采用滚珠丝杠传动，最大进给速度15m/min；A、C旋转轴采用蜗杆传动或力矩电机直接驱动，直驱主轴配备电极轮或砂轮，最多可配备3个电极轮/砂轮。



HELITRONIC POWER DIAMOND 400机床是将砂轮磨削和电火花加工“二合一”全能装备，具备出色的生产效率。高性能直驱电主轴的主轴端装备了一套水冷系统。

每个电极/砂轮夹持装置可安装多达3个电极轮/砂轮。结合电极轮/砂轮更换装置，可在磨削过程中更换多达8个夹持装置（用于24个电极轮/砂轮）。从而使效率和生产力达到很高水准。结合WALTER的精细脉冲技术，它可在广泛的材料范围内实现优异的表面质量和精度。对于粒度10μm的最常用PCD刀具的电解加工方案，基于一款具有更高高脉冲频率的全新液体冷却发生器，精细脉冲技术在表面质量、刃口质量和过程安全性方面显著改善，特别是对于刀具的后刀面有着接近抛光（研磨）的光泽。



HELITRONIC POWER DIAMOND 400机床配备了多种机器人自动化解决方案，其中“机器人装载机”通过机器人最多可装载7500个工件；“机器人装载机25”装载HSK容器中总重达20kg和直径达315mm的刀具，可在多达7个托盘层上“无序”装载；“Top装载机”这一全新自动化解决方案直接集成在加工区，根据刀具直径，Top装载机可提供最多500个刀位。

EMO2019展会上，除了前述的磨床制造商，还有德国的勇克（JUNKER）、日本的冈本（OKamoto）、意大利AZ grinding

machine等不同规模的企业参展，总体看磨削产品和技术呈现稳步发展的状态。结合此次展会介绍一下近几年磨削领域新出现的Precision Surfacing Solutions公司。

(2) Precision Surfacing Solutions展出Millgrind BL10五轴磨削中心

Precision Surfacing Solutions (以下简称PSS)前身为Lapmaster Wolters Group, 2017年Lapmaster Wolters Group更名为Precision Surfacing Solutions。PSS是以磨削、抛光产品为主的国际机床集团，旗下包括Lapmaster、Peter Wolters、Elb、aba、REFORM、KEHREN、MICRON、Barnes等众多品牌的全球精密加工设备制造厂商，拥有数十年的经验。专业生产及销售高精度的研磨机、抛光机、DSG精磨机、珩磨机、去毛刺机床、成形磨床、立式磨削中心等。并提供对各类材质的零部件表面及轮廓研磨、抛光、精磨、刷式去毛刺、蠕动进给磨削、钻孔珩磨、双盘磨削和磨光等加工解决方案。广泛应用于汽车和柴油机工业、航空工业、液压及密封工业、半导体工业、工程技术陶瓷工业、光学玻璃加工工业、数据存储工业以及所有零部件需要高精度平面研磨和抛光的领域。



PSS在EMO2019展会的展览面积不大，并没有将其8大品牌的产品充分展示，像KEHREN、REFORM这样知名度的德国企业也没有展示实物。

PSS展示的一个主要产品是Elb-schliff的Millgrind BL10新型多功能五轴磨削中心。该机床通过一次装卡即可完成钻孔、铣削、磨削以及可选的激光熔覆等多种加

工工艺。这种工序集中的技术应用不仅可以节省机床采购成本，关键是通过统一基准提升了加工精度，还可以节省重复装卡的时间，一次装卡完成一个零件所有加工工序。Millgrind BL10主要应用在航空航天领域，特别是对于涡轮发动机零件提供完善的加工工艺；除了对转子叶片和涡轮叶片这类异形零件进行的磨削加工之外，还可完成铣削或钻孔工艺。



Millgrind BL10的磨削范围为1000mm×740mm，砂轮最大尺寸为 $\phi 300\text{mm} \times 65\text{mm}$ 。电主轴最高转速为10000r/min，功率50 kW，主轴端采用HSK 80B接口，可完成磨削、铣削和钻孔加工工艺。配置顶置砂轮修整器，可对刚玉类、CBN和金刚石砂轮进行在线自动修整。配置自动换刀系统，借助回转刀架，可以同时更换修整滚轮和砂轮，节省换刀时间。刀库系统可容纳60种刀具，其中包括砂轮、修整滚轮、测量探针、铣刀和钻头等，同时刀库可实现模块化扩展。配置A/C摇篮转台，通过西门子840Dsl系统控制，实现对复杂形状的多轴插补磨削。可选配的高性能熔覆激光单元，可实现打标和增材制造。

除了采用铣、磨传统工艺加工新叶片，还可使用激光熔覆装置进行叶片返工。加工过程可对磨损区域进行测量、熔覆、研磨或铣削。对于高去除率的磨削，砂轮可以通过顶置修整装置进行间歇式或连续式修整，对砂轮微刃修锐，同时进行自动补偿，保证加工精度。

#### 4. 重型机床

由于近年来重型机床产品市场的总体下滑，重型机床企业的订单压力非常大，很多企业经营遇到困难。在本届EMO2019展会上，全球主要的重型机床制造商基本上都进行了展示，部分企业展出了实物展品，也有的企业借助VR等新技术进行了虚拟展示。

(1) 萨亚ARION G车铣复合加工中心

萨亚 (ZAYER) 公司1947年建厂, 主要产品: 龙门镗铣床、桥式龙门加工中心、落地五轴铣镗床、立卧加工中心、镗铣床和加工中心。萨亚公司的企业精神是把创新能力提供给客户, 产品灵活可靠, 加工精度高, 广泛用于航空、铁路、模具等领域。



EMO2019展会上, 萨亚在400多平方米的展位上展出了一台ARION G车铣复合加工中心和KAIROS动柱式加工中心的机床模型。

ARION G车铣复合加工中心也称作多任务加工中心 (MULTITASKING), 将铣削和车削能力一致于同一台机器上。ARION G机床采用桥式结构, 可以配置工作台和旋转工作台, 也可以配置仅带一个旋转工作台的选项。由于机床的总体布局使加工运动更轻松, 立卧转换动力头可以对工件的外径和内径加工, 而无需使用加长的刀具, 带来了更高的刚度和可靠性。



ARION G的工作台的长度和宽度范围都是1250~2000mm, 可配置直径为2000mm的旋转工作台, 采用电机直驱技术, 最大负载为20吨。机床配有一个45°连续旋转头, 最小分度单位0.001°, 电主轴功率为42

kW, 最高转速达到15000r/min, 可以安装铣削和车削工具。机床的定位精度为0.008mm/4000mm, 重复定位精度为0.005mm/4000mm, 检测依据ISO 230-2:2006标准。刀库容量30, 最高可选80选项。

(2) 瓦德里希·科堡金牛座TAURUS 30 Gemini机床

德国瓦德里希·科堡公司 (WALDRICH COBURG) 成立于1919年, 是世界顶尖的重型装备制造企业, 主要生产重型、超重型数控龙门镗铣床、数控立车、导轨磨床等高端机床产品; 产品能在加工性能、加工精度、复杂加工工艺和生产效率等方面满足客户高标准的要求; 客户领域涵盖了船舶、军工、通用机械、矿业、能源、钢铁和交通行业等。2005年, 科堡公司成为北京北一机床股份有限公司的全资子公司。



EMO2019展会上, 瓦德里希·科堡机床制造有限公司借助VR手段推出了最新的金牛座TAURUS 30 Gemini机床, 并展示了科堡公司的交互式生产软件。

Taurus 30 Gemini具有极高的刚性和减震功能, 其静压导轨系统和可交换附件头功能可将重型铣削和精密精加工结合在一起, 且不会影响稳定性、精度、速度和机床使用寿命。Gemini是可以定制以达到广泛应用的桥式龙门机床。

先进的刚性和减震功能, 坚固的一体式机床包围, 内置静压导轨以及静压全包围滑枕, 可独立完成同类中独一无二的重型铣削。



部件的超精密加工、机床一体式包围上的可调导轨、铸铁材质的横梁/滑枕, 结合百年的机床制造经验, 使得机床精度和可用性的寿命得以保证。

交互式生产、维护和机床诊断支持系统, 包括过程辅助、过程观察和状态监测系统, 有助于提供稳定的过程, 避免不必要的停机时间。通过安装在操作面板旁的工业化平板电脑与机床控制系统相连接。□

(未完待续)

“公司以前都是采用二次元的检测手段，但是随着产品升级，客户要求逐渐提高，除了尺寸测量外，当平面度、平行度、垂直度、位置度等一系列要求出现的时候，原有的测量方式早已无法满足客户以及公司对产品品质的检测。”深圳安培龙科技股份有限公司（以下简称深圳安培龙）总经理助理张延洪如是说，“幸亏蔡司SPECTRUM的及时出现，让公司面临的一切检测问题迎刃而解。”

## 是时候采购一台蔡司SPECTRUM了

蔡司公司供稿

华为、美的、海尔、法雷奥、东芝、松下、比亚迪……翻看深圳安培龙的合作客户名单，这些国内外大家耳熟能详的名字跃然纸上，其中不乏诸多世界五百强企业，而这还仅仅是其超过500家服务客户中极少的一部分，由此，深圳安培龙的实力可见一斑。

近几年国内外制造业都在经历新一轮向智能制造转型升级的过程，这其中作为加工制造环节“眼睛”和“手”的感知系统，各种传感器的应用更是日益广泛。深圳安培龙向来以关注技术著称，因为拥有多项核心技术，其为汽车、家电、医疗、物联网、消费类电子、工业控制等多个领域提供的温度、压力、湿度、空气等多维传感器产品颇受客户好评，公司发展更是顺风顺水。

然而随着其传感器产品门类的增多，客户要求也水涨船高，随之而来的产品检测及品质管理为深圳安培龙高质量快速发展出了一道难题。



**品牌是无形的巨人，品质是其有形的保障**

“品牌是无形的巨人，品质是其有形的保障。”谈及

深圳安培龙对于产品质量的看法时，张延洪介绍说，“安培龙自1999年成立以来，一直以产品品质作为公司发展最重要的评价指标，也因为稳定的产品质量而逐步赢得客户及市场的认可。”

但是随着客户行业的发展，尤其是深圳安培龙正式“进入汽车行业领域以来”，客户对于品质的要求更为严格。由于此前深圳安培龙一般采用二次元等检测手段，但是随着安培龙智能传感器零部件精度及质量要求的逐步提高，部分零部件重要尺寸需要采用更高精度的检测仪器来进行检测控制，以此来探测生产过程中产品的质量时，安培龙原有的检测方式显然已经无法满足客户要求。最初深圳安培龙就只能将样件送至第三方进行检测，“送交第三方检测机构正常取回报告得4-5天，就算加急最快也是3天拿回检测报告。”深圳安培龙品质主管李湘良坦言，“抛开送检的价格成本不说，单是时间成本以及漏检风险都是我们所不想看到的。”

再加上安培龙对于供应商来料抽检、品质管控的需求倍增，向来将产品品质放在首位的深圳安培龙决定选择更高精度的检测设备。

是时候选购一台合适的三坐标检测设备了。

### 蔡司测量界的竞标对象

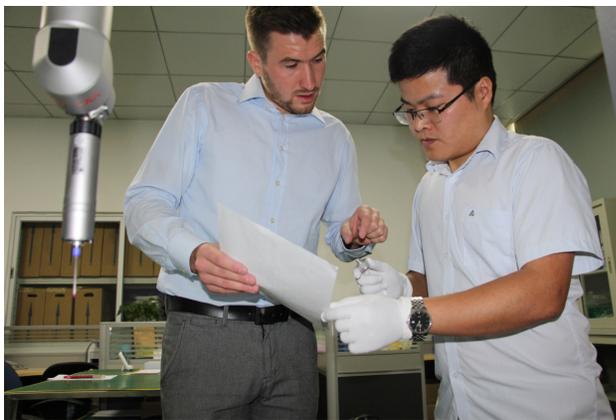
考虑到零件的精度等级，以及对于产品翘曲度、平整度等多个参数的测量需求，深圳安培龙决定采购一台高精度三坐标测量仪。

说起为什么会最终选择蔡司的设备，深圳安培龙的解释颇带喜剧性：“市场上三坐标测量设备供应商也不在少数，但是很有意思的是，他们在介绍自家产品时几乎无一例外的都会拿蔡司的三坐标做比对。”深圳安培龙采购部

主管龙经理不无幽默地说：“这样一来，蔡司三坐标在行业标杆的地位就彰显无疑了。”

当然这个看似玩笑的理由只能说为蔡司加分不少，另一方面，深圳安培龙也坦言自从事制造业以来，就了解到蔡司公司的相关产品及技术，而后在企业发展中也在很多企业以及客户那里接触过蔡司的检测设备，“尤其是在汽车领域，我们的很多用户，几乎都是用的蔡司的三坐标检测设备。所以如果选择蔡司，在后续跟客户产品检测、验收体系的对接也会更为便捷，实现无缝对接。”张延洪说。

碰巧，在一款传感器产品研发前期，深圳安培龙某重要客户图纸要求产品平面度达到 $4\mu\text{m}$ ，而当时安培龙的检测水平无法满足。于是管理人员带着产品及产品图纸找到蔡司授权经销商位于东莞的演示中心，在蔡司的帮助下，产品平面度得以很精确的检测，很顺利地解决了此问题，也因此得到了客户的认可。



“蔡司在业界的口碑、无障碍合作过程、操作的人性化以及检测结果的稳定性，最终导致我们选择了蔡司。”张延洪毫无掩饰对蔡司的称赞，“选择蔡司，就是选择了放心。”

## 情定蔡司SPECTRUM 5/5/6 RDS

接下来的选型同样重要。深圳安培龙的智能传感器精密零部件种类繁多，需要测量的不仅仅包括形位尺寸，同时还有空间尺寸、平面度、平行度、垂直度、位置度等多项测量需求，而且除了安培龙自己生产的产品外，供应商的来料检测也在质检体系之内，所以不仅技术层面包括测量效率、稳定性能等方面对于蔡司的设备都提出了很高的要求。

“传统的测量手段多数都是接触打点式的，通过选取一些假设点，来检测诸如圆弧度、形状等图形，但是这有

很大的弊端。”蔡司全球SPECTRUM产品经理介绍说，“比如说传统测量一个零件的圆形表面，通常会选择至少5~6个点，然后根据参数进行比对，计算误差。但是抛开之前的圆形，其实这5~6个点可以组合成很多非圆形的图案。”

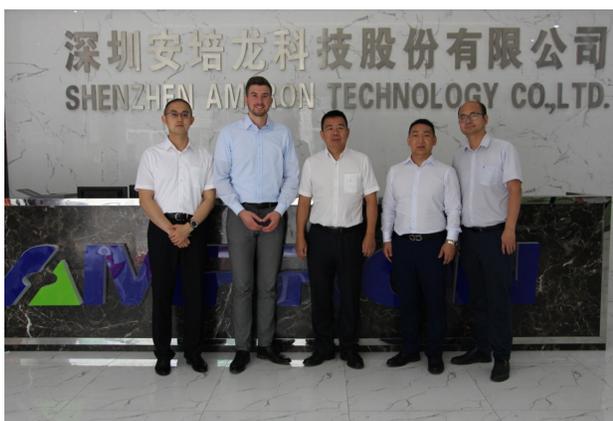
鉴于此，蔡司在2018年11月新推出可以配备旋转扫描探头的SPECTRUM RDS机型，通过对被测零件进行扫描操作，形成众多点云，从而更精准地确定被测零件的形状和位置。于是蔡司将这样一款极具性价比的配备扫描探头的SPECTRUM推荐给深圳安培龙。

考虑到深圳安培龙待检测产品的尺寸范围，最终，其选择了蔡司SPECTRUM 5/5/6 RDS。

“使用蔡司SPECTRUM 5/5/6 RDS后，给我们的检测工作带来了太多的改善。比如说同一零部件只需要一次编程就能对相关尺寸进行多次探测，消除了操作人员带来的测量误差，保证了产品检测结果的同时，检测效率也得到了大幅提高。”蔡司SPECTRUM 5/5/6 RDS的到来在很大程度上减轻了李湘良的负担“待测产品提前进行编程存档，且测量报告直接与产品图关联，能直接看到测量位置的测量数据，快捷、高效。”

## 未来有更多期待

现如今，深圳安培龙交付客户的智能传感器产品，其所有关键尺寸都需要进行实时监控和检测，有了蔡司SPECTRUM 5/5/6 RDS的加入，很好地弥补了安培龙之前在测量上面的不足和缺失，其产品品质也有了大幅提升。



“更欣喜的是因为有据可查，客户对于安培龙的产品也更有信心了。蔡司的设备测量稳定，精度高，业界标杆，而且技术人员服务态度和蔼，操作规范。”张延洪坦言，“对我们来说，这应该只是个开始，随着公司未来业务量的不断扩大，相信还会与蔡司有进一步深入的合作。”□