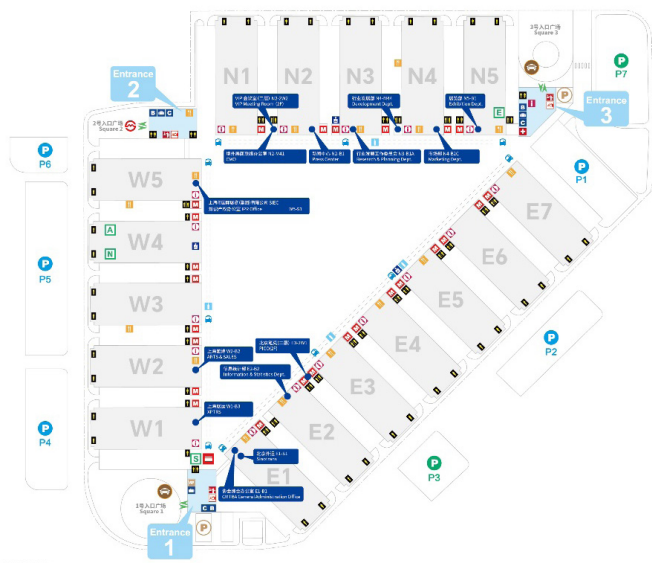


2023年度先进会员（十佳）颁奖仪式 将在CCMT2024现场召开

为进一步推动机床工具行业产业基础高级化、产业链现代化、实现机床工具行业高质量发展，助力我国制造强国建设。按照《机床工具行业先进会员（十佳）评定管理办法》的规定，在行业企业和用户企业的共同支持下，2023年度中国机床工具行业先进会员（十佳）评选完成了全部工作流程。并计划在CCMT2024（第十三届中国数控机床展览会）开幕首日，即4月8日14:00举行先进会员（十佳）颁奖仪式，地点位于上海新国际博览中心 W1馆外侧（东），敬请关注。



斯大精密株式会社在日本菊川和牧之原 建设新工厂，国内产量翻倍

斯大精密株式会社近期宣布，将在菊川市和牧之原市建设新工厂，以满足全球对其机床业务支柱——瑞士式CNC自动车床日益增长的需求。国内产能将实现翻倍。

其中一个新工厂是在菊川市三泽市现有菊川工厂的基础上建造的新大楼（暂定名：菊川南工厂）。另一个将位于牧之原市布引原的安全地点。菊川南工厂将生产高附加值的核心零部件，牧之原工厂将负责组装和最终产品。

建设总预算为150亿日元。菊川南计划于2025年11月开始运营，牧之原计划于2026年7月开始运营。预计两家工厂投入运营，产量将从每月50台增加到100台。

该公司还宣布将在印度设立销售子公司，旨在加强海外市场的销售能力。高级执行官佐藤诚悟对截至2023年12月的财年发表了评论，针对该财年销售额和利润均为下降的情况，他表示：“机床是一个愤世嫉俗的（周期性经济波动）领域，因此我们认为下降是暂时的。”我们希望扩大

在快速增长的印度市场的份额，特别是在零部件相关产品方面。”

2023年意大利机床制造业总体表现良好 2024年将趋于稳定

2023年是意大利机床、机器人和自动化系统制造业的又一个积极的年份，创造了新的生产记录。

根据意大利机床、机器人和自动化系统制造（UCIMU-SISTEMI PER PRODURRE）初步年度统计数据表明：2023年的产量达到75.6亿欧元，比上一年增长3.8%。这一结果得益于出口增长10.3%的良好表现，达到38.25亿欧元。来自意大利国家统计局(ISTAT)数据显示：2023年1月至8月（最新数据），意大利产品提供的主要目的地市场出口数据为：美国(3.56亿欧元，+26.7%)，德国(2.17亿欧元，+8.8%)，中国(1.63亿欧元，+34%)，法国(1.38亿欧元，+32.1%)和波兰(1.28亿欧元，+14.7%)。

UCIMU预测，由于出口的增长，2024年生产将增长到75.95亿欧元(与2023年相比增长0.5%)，出口将达到40.7亿欧元(+6.4%)。同时受国内消费的下降影响，国内市场的交付量不应超过35.25亿欧元(-5.6%)。

CECIMO启动2024年第二届机床创新奖 (MTI) 征集活动

目前，欧洲机床工业合作委员会(CECIMO)正在为2024年第二届机床创新(MTI)奖做着积极准备，这是由CECIMO组织的旗舰活动。2023年成功举办了第一届。该奖项旨在表彰行业内的杰出成就，通过创新促进企业生产力、业务拓展和盈利能力的提升。

MTI奖旨在展示行业最佳实践和技术进步，同时为专业互动和网络提供了绝佳的机会，为未来的合作和行业内的认可打开了大门。今年，该活动得到了知名组织的正式支持，如EIT制造业、欧洲未来研究协会工厂(EFFRA)和欧洲工业圆桌会议(ERT)，以及汉诺威EMO2025，凸显了其在行业的重要性和相关性。

主办方为创新者提供了一个免费的提交作品的平台，并制定了明确的时间表。报名征集截止日期为9月2日，10月7日宣布入围名单，12月2日举行颁奖典礼。参加评奖活动将完全免费。

该活动将在CECIMO布鲁塞尔论坛的盛大仪式上达到高潮。届时三名决赛选手将被邀请向行业专家和领导者展示他们的创新成果，彰显机床行业技术的卓越性和独创性。



聚焦——数字·互联·智造 ——CCMT2024新闻发布会在沪举行

中国机床工具工业协会传媒部

2024年3月12日，第十三届中国数控机床展览会（CCMT2024）新闻发布会在沪举办。来自全国各大电视台、电台、报纸、知名门户网站及新媒体平台、专业杂志等新闻媒体单位的70余名记者参加了发布会。中国机床工具工业协会会长毛予锋，副会长王黎明、郭长城、王旭，以及上海市国际贸易促进委员会副会长顾春霆等主承办方领导出席会议。发布会由王旭主持。

第十三届中国数控机床展览会

（CCMT2024）由中国机床工具工业协会主办，并与上海市国际展览（集团）有限公司共同承办，将于2024年4月8~12日在上海浦东上海新国际博览中心举办。

受疫情影响，2020年、2022年CCMT停办两届，今年再度举办，因此，CCMT2024受到了境内外机床工具界、产业链上下游制造厂商及用户领域的高度关注。伴随机床工具行业发展的脚步，CCMT已成为观察、研究机床工具市场和制造业需求热点的

重要窗口和平台。

CCMT2024展会主题为：聚焦——数字·互联·智造。CCMT2024将展现当今全球机床工具业界最前沿的新产品、新技术、新工艺，以及行业数智融合的最新成果，呈现智能制造发展的现状及未来应用场景。

发布会上，机床协会毛予锋会长、上海贸促会顾春霆副会长分别致辞，协会王黎明副会长作新闻发布。毛予锋在分析宏观经济形势和行业发展态势后表示，在推进现代化产业体



系建设、发展新质生产力、推进新型工业化进程中，中国数控机床展览会（CCMT）过去是，现在是，未来仍将是观察、研究、对接中国机床工具消费市场的最佳窗口和平台。顾春霆表示，上海市国际贸易促进委员会下属上海市国际展览（集团）有限公司将一如既往地积极参与CCMT展会相关工作，竭诚为广大展商和观众服务，致力于将CCMT打造成为产业交流与合作的国际平台。

王黎明介绍说，CCMT2024将使用上海新国际博览中心E1-E7、N1-N5、W1-W5，全部共17个室内展馆，展会总面积20万平方米，成为有史以来国内乃至亚洲举办的规模最大

的机床工具专业展览会，吸引来自28个国家和地区的近2000家机床工具企业同台竞技。

德国、日本、瑞士、美国、西班牙、韩国、意大利、法国、捷克、印度、中国台湾地区和香港地区等12个国家和地区的机床工具行业协会和贸促机构组织展团参展。全球范围内的知名机床工具企业将携其最新技术和产品悉数到场。

本届展会的展品中囊括了金属切削机床；金属成形机床；特种加工机床、激光加工设备、增材制造及专用设备；制造单元/系统、工业机器人及自动化设备；铸造、热处理、注塑、清洗机等周边设备；功

能部件及附件；数控系统、数显装置、机床电器；磨料磨具、超硬材料及制品、涂附磨具；刀具、工夹具及相关产品；检验和测量设备；工业物联网、软件、标准、协议服务；木竹加工机床；信息咨询、工程服务，等等，诸多热点技术将成为关注焦点。

通过梳理展商提供的已有资料，概括出展会六大看点：数字化解决方案日趋成熟、自动化技术应用广泛、高效加工技术绽放精彩、节能环保成为新热点、网络化技术助推制造变革、产品适用性开拓新赛道。

为充分满足不同类型和不同层次参会人员的需求，展会主办方将围绕展会主题，组织丰富多彩的活动，最大限度地提升观众的观展体验。主要包括：2024机床制造业CEO国际论坛、数控机床互联互通协议标准（NC-Link）应用成果展示、重点领域国产数控机床应用座谈会、先进会员（十佳）表彰、春燕奖表彰、数控机床成果展、国际化经营座谈会、“院校之窗”专题展区、机床与液气密行业技术发展对接会以及数十场技术交流讲座。

发布会上，展会主承办方领导就展会筹备情况以及行业发展热点等问题回答了记者提问。□



毛予铮 会长



王黎明 副会长



郭长城 副会长



王旭 副会长



CCMT2024（第十三届中国数控机床展览会）将于2024年4月8~12日在上海浦东 上海新国际博览中心举办。本届展会使用了上海新国际博览中心全部17个展馆，展出面积20万平方米，是迄今为止中国境内最大规模的机床工具专业盛会。来自全球25 个国家和地区的近2000家机床工具企业将在CCMT2024展会上同台竞技，境内外知名企业将闪亮登场，各展风采。

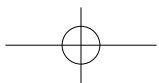
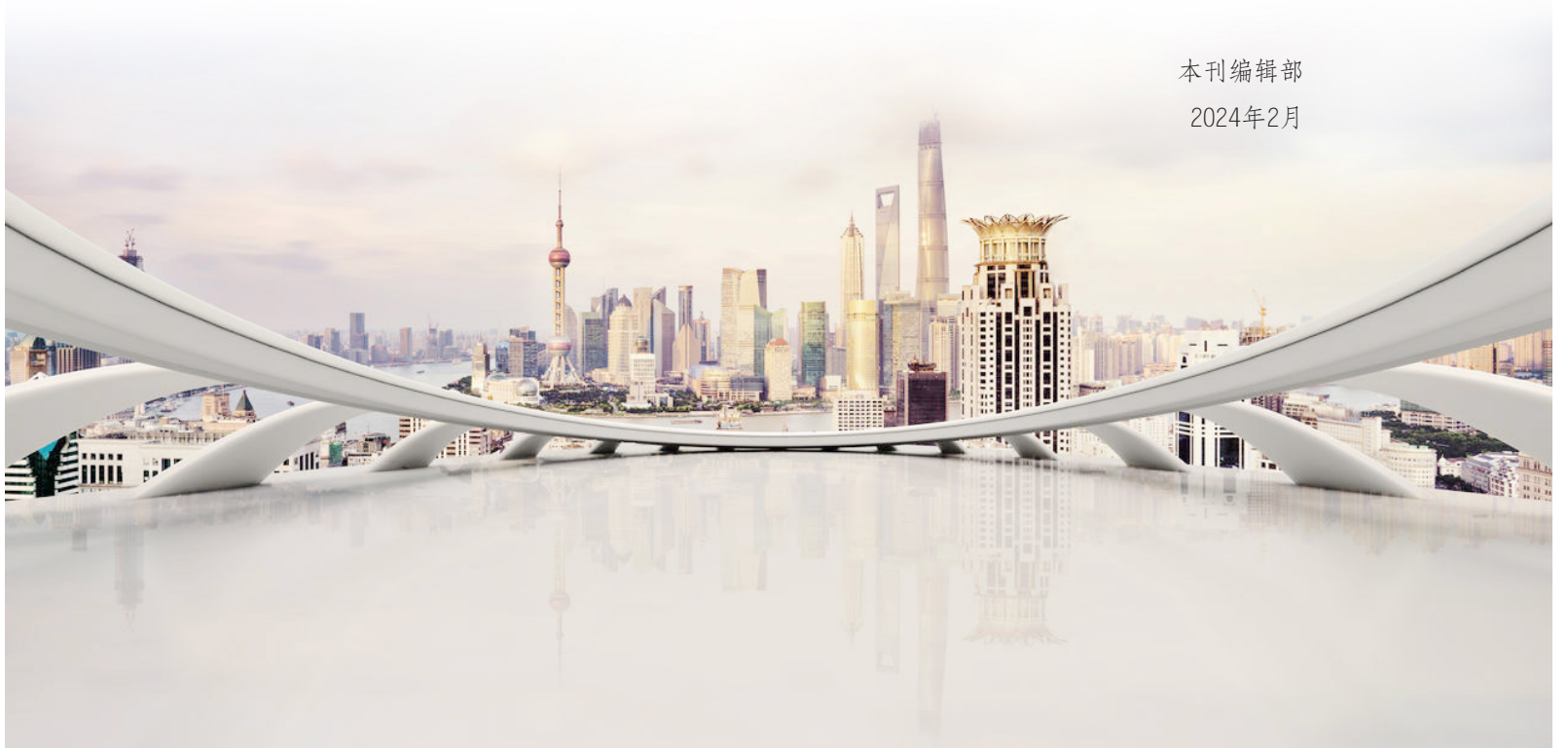
为使广大参观者在展前概要了解展会和展品，主办方中国机床工具工业协会市场部和部分分会根据展商提交的展品资料，整理了部分主机、功能部件和工具类的展品综述。

为使广大读者详细了解本届展会的重点展品的情况，本期在“展会报道”栏目中，围绕展会主题，介绍了制造技术发展趋势暨CCMT2024展会看点；在“展品综述”栏目中，针对车削机床类、复合机床类典型展品的相关技术特点进行了较为详细的介绍，希望对广大读者参观考察CCMT2024有所裨益。

需要说明的是，文章根据展商2024年1月28日前提供展品资料编辑整理，可能与实际展出展品存在一定差异，同时限于篇幅，不能一一尽列，敬请广大读者理解。

本刊编辑部

2024年2月



制造技术发展趋势暨CCMT2024展会看点

中国机床工具工业协会 符祚钢 执笔

第十三届中国数控机床展览会（CCMT2024）将于2024年4月8~12日在上海新国际博览中心举办。

本届展会启用上海新国际博览中心全部17个展馆，展出面积20万平米，创国内机床工具展览会规模之最。来自世界25个国家和地区的近2000家机床工具企业将在CCMT2024展会上同台竞技，其中境内外知名企业不胜枚举，闪亮展会。本届展会规模大，展品技术先进，技术讲座、交流会、论坛等配套活动丰富多样。

展会主题“聚焦——数字·互联·智造”，反映了当今世界制造业变革的方向，贴合机床工具行业技术发展趋势。境内外参展商围绕展会主题组织众多精彩展品，展示机床工具行业在数字化、互联互通、智能制造、高效加工方面所取得的最新成果，为境内外观众带来一场高技术含量的行业盛会。

本文基于展商提供的部分展品，梳理汇总了本届展会六大看点，供广大观众观展参考。

一、数字化解决方案日趋成熟

数字化技术能够显著降低制造成本，提高生产力和安全性，是制造业发展的必然选择。机床工具企业致力于研发数字技术产品，各种数字化解决方案日趋成熟，产品设计、加工工艺与仿真、生产过程、生产管理、车间（工厂）管理数字化解决方案层出不穷，成为近年来发展最快的技术。

1. 数字化设计和数字化工艺与仿真

数字化设计能够在虚拟的环境中实现从产品设计、零件制造、整机装配到试验的全过程数字化建模、仿真，实现数据驱动的产品开发与技术创新，提高设计效率，缩短开发周期，提高产品研制成功率。

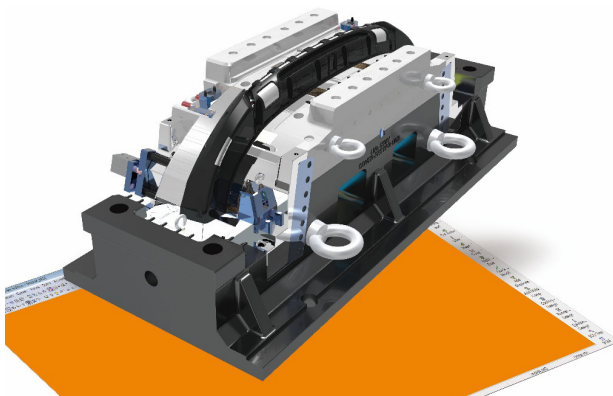
数字化工艺与仿真能够高效地完成从产品设计到生产制造的各项准备工作，自动编写NC程序，并能结合具体加工设备进行仿真，对加工程序进行验证和优化，保障加工工艺的可行性和安全性，提升加工效率，避免发生干涉和撞机等事故。

MasterCAM、Openmind、Cimtron、苏州千机等知名软件企业将展示他们在产品设计、加工工艺与仿真方面的数字化解决方案。

MasterCAM包括设计、实体建模、2D/3D 铣削、车削、车铣复合、线切割、木工、雕刻、多轴加工等多个模块，集二维绘图、三维造型、曲面设计、数控编程、刀具路径模拟等多种功能于一身，具有强劲的曲面粗加工以及灵活的曲面精加工能力，400多种后置处理文件以匹配各种类型的数控系统。CCMT2024期间，MasterCAM将展示他们的最新版本，分享MasterCam2024的新功能。



Cimtron是工模具制造行业应用最广泛的CAD/CAM集成式专业工模具解决方案之一，用于型腔模具设计与制造、冲压模具设计与制造、电极设计与制造、数控编程等模块，涵盖了工模具制造的全过程——从报价计划到模具设计、工程变更，以及数控编程。为型腔模具、冲压模具、电极设计等提供丰富的数字化解决方案。



Openmind的Hypermill是一款CAD/CAM集成化软件，提供从2.5轴到5轴的系列模块，具有自动干涉检查、独立五轴联动、动态变化刀轴等功能，编程功能简单易用，能够轻松地完成五轴加工的编程，可靠而高效地制造要求严苛的零件，并使所有曲面都具有完美的质量。Hypermill还针对多叶片几何构型的转子和定子产品加工提供特殊的策略。

苏州千机智能技术的千机CAM，包括涡轮类零件数控编程、通用数控编程、特征编程、特征测量与评价、几何自适应加工、叶片补偿加工、PCD刀具激光加工等多个专业CAM工具，为制造行业提供2~5轴加工零件的精密、高效、低成本数控加工工艺解决方案。

2. 数字化生产过程

数字化生产过程，能够实时监控生产设备的运行状态或生产线的生产情况，实现生产过程的可视化监控和故障报警，加工设备的健康状态以及预防性维护保养，优化生产过程中的问题，提高生产率，降低成本，提高产品质量和稳定性，提高生产安全性。

数字化生产过程也是机床企业研究较为集中的领域。机床企业可以利用设备生产商的优势，将生产过程数字化的功能模块集成在设备中，为用户提供相应的数字化解决方案。

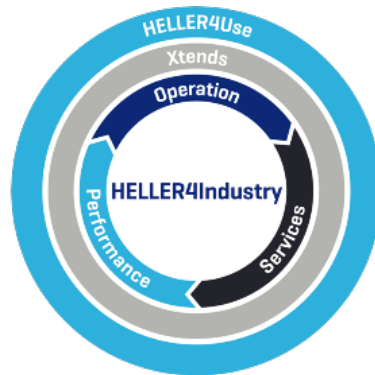
格劳博机床（中国）有限公司的GROB-NET4Industry数字化制造解决方案，是GROB公司数十年的机床制造经验与IT技术高度融合的产物，其模块化应用程序能够将企业各要素进行优化整合，提供从生产规划、

复杂编程、复杂工件加工工艺仿真、设备监控与分析、加工过程可视化到维修保养的全方位数字化解决方案。

EMAG的EDNA数字化系统，包括EDNA Edge Cloud、EDNA Visualize、EDNA Health Check、EDNA IoT Ready等4个模块，实现机床状态监控和预测性维护保养，生产流程的可视化，以及机床数据的收集、处理和分析，帮助客户快速实现数字化生产。



Heller公司的Heller4Industry由Heller4Operation、Heller4Services、Heller4Performance三个模块构成。其中Heller4Operation为用户操作界面，采用触摸屏操作，实现快捷、稳定而简便的操作。Heller4Services汇总了Heller的数字化服务，通过可视化显示机床状态的特定信息，如运动轴、主轴或其他组件的状态显示来确定磨损状态，引入预防计划外停机的措施，减少机床故障时间。Heller4Performance工艺流程和性能优化分析，将实时数据同步传输至互联网并通过外部云平台进行评估和展示。



Hermle公司的数字化解决方案由Digital Production、Digital Operation及Digital Service模块组成，为客户提供智能订单管理及透明生产流程、智能机床调节、无纸化制造、完善技术周期和远程或预防性维护数字化服务。如订单智能管理（HACS）能够预先计算运行时间及刀具使用，直观分配数控程序；中央监控工具（HIMS）可监视机床实时状态，机床历史状态评估；刀具管理（HOTS、HTMC）可获取刀具库中的刀具几何尺寸，优化刀具占用情况。



Vollmer的数字化解方案V@dison, 包含了V@screen、V@check、V@boost、V@guide四个模块, 分别用于展现机床设备的参数和状态; 分析和优化加工工艺; 提升机床加工特定工件的性能; 获取优化的加工工艺, 提供预防性维护建议, 预防故障发生。



友机技术的UJ-PMS智能加工过程监控系统, 通过智慧感知、特征提取与数据分析, 对每把刀具的加工功率曲线进行学习、生成边界, 加以实时监控, 在发生加工异常(如断刀、崩刃、过度磨损等常见刀具故障, 工件刀具缺失、空加工、重复加工、装夹错误等常见加工问题)时, 系统立即通过提醒、报警和停机等方式自动干预加工过程, 从而防止刀具损坏、批量废品、返工及机床损坏等。

苏州益耕科技有限公司的ELM设备全生命周期管理系统, 能够实现企业生产设备全寿命周期系统化管理, 包括基础数据、设备点检、设备维修、知识库、设备看板、报表分析等功能, 实现了设备台账信息化、维护保养流程化、故障提报自动化、维修方案最优化、运行状况可视化、生产报表无纸化。其自主研发的MDC生产数据采集系统集成了标准的OPC UA Server服务、MQTT Client, 支持对外的接口开放, 与第三方云平台的系统对接, 可适配15种、75个型号的主流数控系统。采集数据包括运行数据、工艺数据、健康数据、生产数据、基础数据、刀具数据、程序数据等。

深圳吉兰丁智能科技有限公司的数据应用解决方案, 实时采集制造过程中机床设备、刀具、加工件品质等核心关键数据, 并基于数据进行建模形成相应的控制软件, 实时反馈调整, 对加工参数进行优化, 从而提升加工效率和加工质量, 降低生产成本。

西门子公司的Xcelerator是一个开放式数字化业务平台, 全面集成了西门子的工业软件、服务和应用开发平台, 能够帮助工业、建筑、电网、交通运输等领域的不同规模企业轻松、快捷、可扩展地实现数字化转型。西门子的Xcelerator布置在云端, 既是一个开放的数字化业务平台, 也是数字化服务。

Xcelerator机床制造业产品、服务、解决方案, 能够提供机床设计数字化、加工工艺数字化、生产过程数字化服务, 从而帮助客户大幅缩短新产品研发设计、调试时间; 提升加工效率、质量和精度, 降低加工成本和风险; 优化生产流程、降本增效、实现绿色低碳可持续性发展。



3. 数字化生产管理

数字化生产管理通过管理系统实现生产计划管理、生产排程管理、生产执行管理、设备管理、供应链管理和数据分析报告, 帮助企业实现生产过程自动化、可视化和可控化, 掌握生产进度, 提高生产效率, 降低生产成本。

武汉益模科技股份有限公司的益模模具智能制造系统能够实现模具制造从接订单到交货的全流程数字化管理, 实现模具设计、加工编程、供应链、加工自动化、AGV小车、物联网(IoT)、仓库管理系统(WMS)等深度融合, 信息互联互通, 实现模具智能制造。特别适合模具单件、小批量、多品种等制造型企业。



4. 数字化车间（工厂）

数字化车间（工厂）是在数字化设计、数字化工艺、数字化生产、数字化管理的基础上，在生产管理过程中对信息系统实现数据集成、分析，在产品制造过程实现可视化管理，使信息能够贯穿于设计、制造、质量、物流等环节，实现产品的全生命周期管理，缩短产品研发周期，降低运营成本，提高产品质量，提高生产效率，适应快速响应市场定制化凸显的需求，提升企业竞争力。

数字化车间（工厂）是数字化技术的主要目标，也是实现智能化制造的基础。

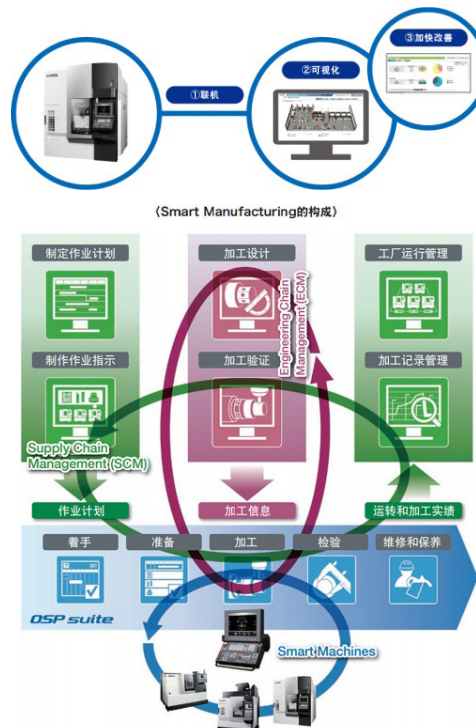
交大智邦通过数字化微缩工厂来展示其在研发、制造、供应链、销售以及售后运维等全业务链的数字化运营模式。这个微缩工厂与实际工厂采用了统一的数据源驱动，具有模块化、可编程、可重构的特点，融合了产品工艺一体化研发设计、智能分拣、复杂部件加工、AGV智能调度、脉动式生产线、数字孪生、智能生产管控、故障运维等先进制造技术。

沈阳中科数控技术的数字化车间管控平台，主要包括异构多源设备互联互通平台、数字孪生虚拟可视化管控平台、大数据平台、能耗监控平台、智能视频监控平台，能够实现车间多种异构多源设备的联网与实时数据采集监控，构建数字孪生模型，实现车间及设备的使用效率与故障、任务、工时、能耗、人员等OEE数据的统计与分析，以数据可视方式，使设备的实时信息与生产对象、排产计划和生产任务形成关联，达到管理直观；操作方面，提升车间生产管控与制造效率，实现以数据驱动生产的智能制造新模式。



Okuma的数字化工厂（OKUMA Smart Factory）由Smart Manufacturing（智能化制造）和Smart Machines（智能化机床）构成，通过Connect Plan连接。Smart Manufacturing负责制定作业计划、编写加工程序、管理工厂运行。按照确定时间生产所需产品的机制，最大限度地发挥工厂的制造能力，实现多品种、短交货期、灵活应对

市场变化、高效率的生产。Smart Manufacturing通过供应链管理（SCM）向制造链下发作业计划，可视化监控管理工厂运行以及加工设备状态；通过工程链管理（ECM）向制造链下发加工信息。



MAZAK的SPS（Smooth Process Support）智能化工厂管理系统将信息技术用于产品设计、制造以及管理等全生命周期中，使得工艺、程序、计划等生产准备提前展开。作业人员只需要读懂信息，配合机床即可完成任务，达到提高制造效率和质量，降低制造成本，实现快速响应市场的目的。



SPS智能化工厂管理系统包含Smooth CAM RS（编程管理）、Smooth Scheduler（日程管理）、Smooth Tool

Management（刀具管理）、Smooth Monitor（监控管理）、Smooth PMC（FMS管理软件）等模块组成。其中，Smooth CAM RS可以将客户的3D-CAD图纸转化为生产所需的加工程序，提高编程效率和编程准确性，同时还可以对加工程序进行分析和优化，以助于加工问题的早期解决。Smooth Scheduler可以提取Smooth编程软件中程序的加工工时，然后根据每台设备的产能及订单紧急程度进行自动排产，计算准确的订单完成时间，将准确的生产计划、加工程序及工艺、作业指示等信息下发给机床，作业人员只需按照机床提供的信息即可轻松完成生产工作。Smooth Tool Management用来检查每台设备的刀库状态，提前配置生产所用的刀具，并对刀具寿命进行监控。Smooth Monitor对机床的运转信息、开动状态、维护情况，进行实时管理和数据采集分析；无论管理者身在何处，都可以通过软件查看机床信息，掌握生产计划的真实执行情况，从而发现生产过程中存在的问题，有针对性的进行解决。这样，就可以充分激发设备潜能，提高生产效率。

二、自动化技术应用广泛

自动化旨在显著提高生产设备的可用性和灵活性，提高生产效率，并弥补熟练工人的短缺。智能制造需要高度自动化的技术与装备做支撑。棒料上料机、桁架机械手、柔性机器人、机器人单元、托盘库，以及机床内置上下料机构等自动化解决方案各具特色，适用不同的应用场景，实现单机自动化、柔性制造，组建自动生产线等。

EMAG的倒立车的单机自动化程度高，这次展会展出的VT200双刀架轴类立式车床，集成了带工件架的链式输送带，通过集成在两个刀塔上的机械手从工件传输带上抓取毛坯件，并垂直送入车床中，完成加工后，通过另一个刀架上的机械手将工件取出，实现单机自动化上下料。



桁架自动上下料机械手结构简单，刚性好，承载能力大；运动自由度少，易于控制，编程简单；占地空间小，性价比高。

料聊城鑫泰机床展出的自动化一体机，江苏特贝尔的高速外圆磨床TS151A-Rh，集成了桁架机械手实现自动上下料，适用于批量化加工。



机器人自动化上下料装置通用性好，通过更换手抓能够适应不同类型的工件，机械手运动轨迹可示教编程改变，柔性好，适合各种机床的自动上下料，适应性好。

南通麦斯铁的自动折弯机器人工作站MB11032R90，将折弯机和机器人两种设备合二为一，实现了拆垛、上料、折弯跟随、码垛等自动折弯功能。通过TCP/IP的方式互联互通，麦斯铁机器人可以控制折弯机，使自动折弯的操作更加简便和自如。



GROB将首次在国内展出他们的紧凑型机器人单元GRC-R12，配合五轴联动加工中心G150。机器人单元GRC-R12设计紧凑，易于运输和快速调试，能够根据需要，在机器人单元中布置夹具库、工件库。机器人自动更换夹具或工件。可参数化的工件几何形状确保了较短的上料调试时间。抽屉式工件库可以实现更长时间的无人化生产，并为工件或夹具的自动换装提供紧凑的解决方案。

宁波伟立的3S-W柔性智能工作站，配置有多层的单机立体货架，可动态储存物料箱、托盘、虎钳、工作台、抓手等，通过高智能柔性制造软件，将智能排产、仓储管理及自动化控制为一体，具备动态规划及柔性配置能力，为长时间无人值守加工提供支持。



HAAS将演示多种自动化解决方案，有单机托盘库Pallet Pool、机器人单元以及自动上料机。

立式加工中心VF-2SSYT配合3+1多托盘自动化解决方案，适用于大批量生产运行或高混合率/小批量加工。托盘尺寸914mm×457mm，可根据优先级和排序要求单独安排，首先加工高优先级工件或较常用工件。加工完成的托盘自动返回到存放位置，或者依次排列到受保护的操作人员工位，以便立即接受卸载和重新装载，从而实现“熄灯”生产。



HAAS的机器人单元为一台即插即用的机器人，可通过机床的控制系统进行编程和控制，有7kg、25kg、50kg三种规格。在展会上将展出7kg的机器人单元，配合立式加工中心VF-2SS-V以及数控车床ST-10Y进行演示。

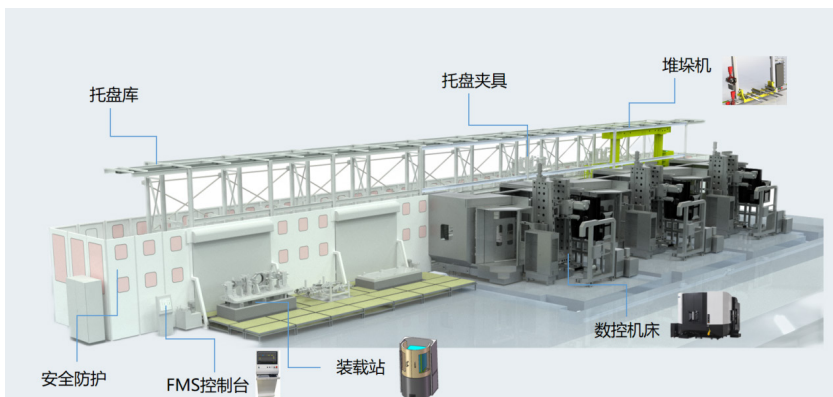
自动上料机（APL）搭配ST-20Y车削中心，演示实现自动化生产并提高生产力最简单和经济的解决方案。自动上料机可装夹不超过147mm×127mm×4.5kg的工件。

托盘库自动上下料装置易于扩展，可连接多台加工设备，灵活应对不同制造方式和产量需求，实现加工设备24h连续加工；柔性强，通过动态的生产排程，在不增加额外成本的前提下，插入紧急生产任务。托盘库

与单台机床设备连接可构建柔性制造单元，与多台机床设备连接，构建成柔性自动生产线。

通用技术的柔性制造单元DFU284+MDH50，由卧式加工中心MDH50搭配10工位托盘库、托盘交换装置、装卸料工作站以及单元控制系统组成。适合多品种、小批量工件的加工。

力鼎智能SRM-FMS柔性制造单元，主要由堆垛机、托盘库、装载站、机床、柔性控制系统等组成，通过动态的生产排程、柔性灵活的工艺配置，使固定的机床设备变柔性变灵活，能够加工不同品种的工件、适配多种多样的生产场景。柔性制造单元控制系统YDCMES-FMS具有柔性配置、动态控制、生产监控、三维仿真、异常处理等功能，实现黑灯工厂生产。



MAZAK的Pallettech模块化托盘柔性线，托盘数量可根据需要进行增减，可灵活应对不同制造方式和产量的需求。本次与HCN-5000L搭配展出的PHS500Q+12P，有12个托盘库。托盘柔性线包含整线独立工作所必须的硬件和软件，工件装夹方便快捷。通过FMS控制中心与工厂网络连接，可实现24h连续加工，并且可以在不增加额外成本的前提下，打断既定生成任务安排，插入紧急任务。

工业机器人具有可重复编程、拟人化、通用性强的特点，近年来快速发展，应用领域不断扩大。协作机器人就是机器人与人可以在生产线上协同作战，充分发挥机器人的效率及人类的智慧，具有生产效率高、安全性高、编程简单、操作简便、应用灵活等优点，消除了人机协作的障碍，让机器人彻底摆脱护栏或围栏的束缚。因此，协作机器人成为了自动化解决方案的一个新的方向。

里工高寻复合机器人融合AGV小车和协作机器人特点，能够轻松完成物体搬运、抓取、装配、设备操控等任务，可广泛应用于柔性智能制造、实验检测、巡检、物料分拣等多种应用场景。

广州数控的GSK RH系列高性能中空机器人，搭配其GSK MDC-500P全数字高端焊机，融合先进的焊接工艺技术和机器人控制技术，有效解决1.0mm以下的薄板和超薄板MIG/MAG焊接工艺存在热输入量大、变形严重、焊接飞溅等焊接问题。可适用碳钢、不锈钢、NiCrMo、铜合金等材料电弧增材应用。

库卡工业机器人系列品种齐全，能够针对不同的应用场景提供合适的工业机器人以及自动化解决方案。其KR QUANTEC nano机器人结构紧凑而轻巧，干扰轮廓非常小，因此不需要重量平衡，可在在狭窄的空间内实现更大的性能和几近完美的可接近性，有效负载120~180kg，特别适合用于点焊并能以更低的投

资成本带来更好的工艺结果；KR AGILUS使用内置的拖链系统和KUKA的控制技术，可以在狭小空间内实现较高的精度。具有Safe-Robot 功能，适用于净室、有爆炸危险的区域应用场合，有效载荷6~11kg；KR FORTEC-2 ultra重载机器人专为快速精确处理重型和大型工件而设计开发的，有效载荷480~800kg，可以在紧凑的空间内保持优异性能；KR CYBERTECH 系列下的高性能多功能机器人结构紧凑，干扰轮廓小，速度快，专门用于搬运：搬运大型工件、加工、装配、码垛和保护气体焊接。有效载荷8~22kg。



三、高效加工技术绽放精彩

提高加工效率是制造业的关注重点，也是机床行业孜孜不倦的追求，从而催生了各种高效加工技术和装备。展会中汇聚的各种类型的复合加工机床、多主轴多工位加工机床、组合机床等高效加工设备，为用户带来更多选择。

1. 复合加工

复合加工机床以其优异的跨工艺能力和完整加工性能，成为高精度、高效加工的主要技术解决方案之一。

大连科德的KTX1250TC卧式五轴铣车复合加工机床，具有五轴车削和铣削功能，一次装夹可以完成车、铣、镗、钻等加工，双工件主轴可以实现工件的6面完整加工。特别适合长轴类零件以及多型面特征的零件的中小批量加工，具有节省工艺装备，缩短生产准备周期，提高工作效率，降低生产成本等优点。

浙江日发的HMC1300T-5X铣车复合加工机床，具有很高的静态、动态以及热态刚性和精度，一次装夹可完成车、铣、镗、钻、攻丝等加工，主要用于高温合金、钛合金、铝合金、镁合金、不锈钢等难加工材料的加工。

INDEX的铣车复合加工机床INDEX G220，采用了高刚性阻尼的人造大理石整体床身，对置正副主轴、两个下

刀架以及铣削主轴组合，16个运动轴，以及多达169个刀位的刀库，能够为复杂工件的完整加工提供最大的柔性。三把刀具可以在无碰撞风险的同时进行切削加工，提高机床的加工效率。适用于复杂和多品种的小型及中型工件的高效加工。

奥地利魏因加特纳的mpmc系列车铣复合加工中心集成了旋风铣工艺，通过自动头库快速切换车铣工艺和旋风铣工艺，实现各种工件的高效加工，在工作区的顶部实现机械手快速直接换刀，减少了换刀时间；带缓存区的两侧自动刀库和自动头库，可按用户需求配置，机型更紧凑、更高效。

迪恩机床铣车复合加工机床SMX 2100ST，结合左右主轴以及B轴铣削主轴和12工位高刚性伺服下刀架，可实现一次装卡完成复杂零件的6面完整加工，保证复杂零件的加工精度，提高加工效率。

MAZAK的铣车复合加工机床INTEGREX i-250HS AG，体现了MAZAK“DONE IN ONE”的理念，对置正副主轴以及带B轴铣削主轴，能够实现工件的6面完整加工，另外还融合了齿轮加工功能以及测量功能，可实现滚齿、铣齿以及车齿加工。

武汉重型机床的XKC5640×2龙门移动双刀架铣车复合加工机床，一次装夹，可完成车、铣、镗、磨等工序，加工内外圆柱、内外圆锥、平面、沟槽、锥面、圆弧面、螺纹以及各种旋转曲面体。还可融合工件测量功能，实现工件在线测量。

Vollmer的工具磨床VHybrid 260，复合了磨削加工和电火花放电加工，可对硬质合金以及PCD刀具磨削加工或电火花放电加工。机床有两根主轴，下部主轴即可用于磨削，也可用于电火花放电加工，而上部主轴只预留作磨削。在对PCD（聚晶金刚石）刀具进行电火花放电加工时，可达到Ra0.05 μm的表面质量。

2. 多主轴机床

多主轴机床将工序加以集成，利用多主轴多工位的优势，对同一工件的正面、背面或相同零件同时进行加工，因而机床的功能和加工效率得到大幅提高，是当前快速发展的一种高效加工技术。

多主轴机床有多种结构和类型。如双主轴加工中心，可以同时两个工件进行加工，生产效率提升近2倍，同时减少占地面积，降低投资成本。这类机床有东风设备的双主轴立式加工中心DDL500，上海拓璞的双主轴立式五轴联动加工中心，北京博鲁斯潘的双主轴立式加工中心VMC700dsp、双主轴可交换工作台五轴联动五面体高速精密加工中心HMC60L-5i，深圳华亚的双主轴钻攻

中心YHCS 4050A和双主轴卧式加工中心YHVS 700, 奥地利Fill工的双主轴卧式加工中心Syncromill D 2000X、Syncromill C, GROB双主轴加工中心G320, LiCON的双主轴卧式加工中心LiFLEX II。

多主轴数控车床通过工序集成, 利用多主轴多刀架的优势, 通过副主轴的对接工件功能(对置双主轴), 或者翻转机械手的功能(平行双主轴), 实现加工工件的翻转, 两个主轴同时加工工件的正背面不同部位, 提高机床加工效率, 同时实现工件的完整加工。这类机床有陕西诺贝特的双主轴双刀架车削中心TX80-MH, 浙江立冈的双主轴对接车削中心QT55LMSY, 广东圣特斯的双主轴对接车削中心CTX52-S, MAZAK的双主轴双刀塔车削中心DT200 L, 浙江品上的双主轴数控车床TS-32A, 村田机械的平行双主轴数控车床MW200C、MW120HC, 浙江合信的双主轴双刀塔数控机床DTR200 II Y、双主轴对接数控机床TS-30, 云南CY的双主轴车削中心CY-STC65mY/1050, 广州台茂的CNC-580TTS双主轴双刀塔车削中心, 宝鸡西力的XKC-T7SY双主轴双刀塔数控车床, 上海竞格的ET-205SY双主轴车削中心, INDEX的车削中心INDEX C200。

德国Schutte的单轴自动车床EC2-65, 一个主轴, 最多可配置4个三轴刀塔单元; 一个背主轴, 最多可配置2个三轴刀塔单元, 这些刀塔单元适用于任何类型的固定式刀具或动力刀具。在加工时, 最多可以有6把刀具同时进行加工, 其中4把用于主轴, 2把用于背主轴, 从而极大地缩短加工时间, 提高加工效率。

中驱双头车利用中置主轴驱动零件旋转, 两端同时进行车削加工, 主要用于两端同轴度要求较高的短轴类或管类工件的高精度和高效加工, 如汽车传动轴、电驱汽车电机轴、深水泵轴等。这类针对短轴类零件的高效加工机床有安徽力成的DNL083双头数控车床, 山东友泰的中间驱动双头车床。

3. 单机组合机床

多主轴多工位复合加工机床将车削、铣削、钻孔、制齿、拉削、修整、滚光、珩磨、磨削等加工技术集成在一台设备中, 以实现大批量复杂工件的六面完整加工, 并可具备装夹补偿、U轴横向加工和进程内测量等特殊工艺。这样通过多个工位与多种刀具模块相结合, 配置自动化上下料机构, 实现复杂精密工件的高效率、大批量加工, 生产节拍可以缩短到数秒。这样的高效加工设备浙江双正的SZ10B-12H3-17W悬浮式多工位多轴多方向组合加工机床, 朗快智能的TG10多主轴多工位水车式车铣复合加工中心, 无锡翰坤也有类似的多工位组合机床。

4. 多主轴多功能自动车床

多主轴多功能自动车床, 将多根主轴布置在一个桶状鼓体内, 每完成一个工位的加工, 桶状鼓体转动一个角度, 进入下一个工位, 每一个工位配备若干个横刀架和纵刀架, 实现多工位, 多刀具同时加工, 极大地提高了加工效率。多主轴多功能自动车床, 还可以同时加工两个工件, 进一步缩短单件加工时间, 提高效率。

INDEX公司的MS22-8多轴多功能自动车床, 8根主轴环形布置, 可以配置2根副主轴以及16个刀架, 完成工件的完整加工。8根主轴可以同步驱动, 刀架可以自由配置为十字X、Y、Z滑台或者镗孔Z向换台, 从而实现高效加工, 将多主轴机床在高效完整加工的优势展现的淋漓尽致。广泛应用于各行业精密零件的大批量生产。

Tornos的MultiSwiss 8×26多轴自动车床, 8根主轴(工位)圆周布置, 每根主轴可实现独立转速和分度以及C轴定位, 每个工位最多可以容纳4把刀具。背主轴安装在两个移动轴上, 可以使用4把刀具完全独立工作, 其中2把为动力刀具。它融合了多轴车床和单轴车床的优势, 配备Tornos TBDECO 或TISIS ISO编程软件, 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。

5. 多刀架机床

单主轴多刀架数控车床是一种新型的高效加工设备, 通过多个刀架同时对工件进行加工, 缩短工件加工时间, 提高加工效率。如EMAG工的VT200立式轴类车床, 四轴配置, 行程短, 主轴功率高, 其最引人关注的是“双刀塔同时加工”的加工工艺, 两个分别拥有11个刀位的刀塔即可配备车刀, 也可配备动力刀具, 对加工对象同时进行加工, 大幅缩短加工时间, 同时确保机床的柔性。

6. 高速高效加工机床

高速加工机床能够显著提高切削速度和进给速度, 大大缩短切削时间, 提高工件表面质量和加工精度。高效加工机床通过优化切削参数, 提高单位时间的材料切除量, 减少加工时间。高速加工机床和高效加工机床都能够显著提高生产效率, 降低零件的制造成本, 是当前企业重点发展的高效加工技术之一。

大族激光的超高速磁悬浮激光切割机G4020HF 50, 三轴采用直线电机驱动, 可实现最大定位速度300m/min, 最大加速度5g, 搭载30kW光纤激光器, 自主研发的数控系统, 插补周期小于0.25ms, 具有完整的万瓦级切割专家工艺数据库, 拥有零秒穿孔、厚板稳定切割、低气压切割、洁净切割等多种独特工艺技术, 给设备带来更快的

切削效率。

邦德激光的P系列激光切割机，采用Bodor高转速总线电机，最大加速度可达4.0g，运行最大联动速度可达200m/min，加工效率提升30%。

纽威数控的高速卧式加工中心HE65EF，三轴快移速度60m/min，具有在一次装夹中完成箱体五面孔系和平面加工的良好性能，大幅度缩短制造时间，提高加工效率和精度。

苏州电加工的数控高速电火花小孔加工机，主要用于不锈钢、高温合金、合金结构钢、钛合金、硬质合金及淬火钢等材料的小孔高效加工，加工孔径 $\phi 0.3 \sim \phi 3\text{mm}$ ，加工速度最高可到60m/min。

北京北一机床的双驱式数控高速CBN磨床B2-GPD20，能够实现一次装夹，完成全部轴颈磨削，适用于轴类两端需要高精度磨削的零件加工，CBN砂轮最高速度120m/s，显著提高了加工效率和加工精度。

阿帕斯的超高速全直驱摇篮五轴加工中心U600，五轴全直驱结构，所有进给轴均可获得极高的动态刚性，实现超高速精密切削。

上海拓璞的高速复材五轴加工中心，龙门移动部件采用碳纤维复合材料，X、Y轴采用直线电机驱动，直线轴最大进给速度120m/min，直线轴加速度1.5g，主轴最大转速24000 r/min，可以实现中小型零部件的高效五轴铣削、螺旋铣孔、制孔、镗孔等加工。

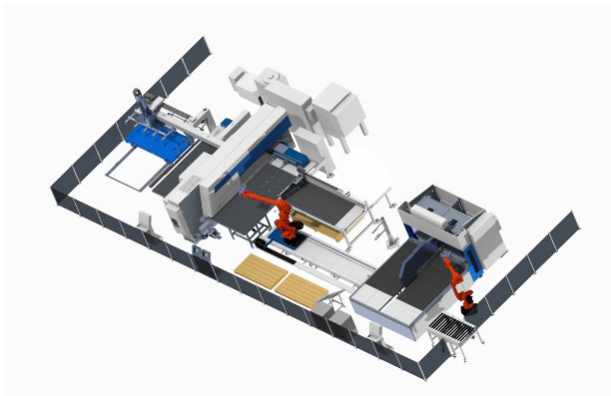
7. 自动生产线

自动生产线是一种按顺序加工工件并生产出产品的一种生产组织形式。采用专业生产、流水线上专用的设备和工艺装备，以及机械化的运输装置，可以提高劳动生产率，缩短生产周期，降低生产成本，是一种常见的高效加工方式。

陀曼桁架式滚倒剃齿轮自动化生产线，由滚倒复合机、数控剃齿机、自动上下料仓、自动甩油机、自动抽检台和桁架机械手组成，能完成所有的齿轮热前制齿加工工序，生产效率高，调试维护简易，适用于汽车变速箱、摩托车等中小模数齿轮的大批量加工。



江苏亚威的数控板料冲割折边自动化生产线由上位机管理运行，实现自动编程规划、自动连线运转，具有自动上料、冲压加工、激光切割加工、攻丝（选配）、成型、机器人分拣下料、收集废料、折边加工、机器人下料堆垛、工序间自动物流周转等功能。6轴机器人下料单元，可实现自动分拣下料、自动周转零件、自动翻面对中、自动给折边机上下料。自动线可接入工厂MES系统。



四、节能环保成为新热点

2021年10月，中国政府发布《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书，阐述了中国应对气候变化的新理念，摒弃损害甚至破坏生态环境的发展模式，顺应当代科技革命和产业变革趋势，抓住绿色转型带来的巨大发展机遇，以创新为驱动，大力推进经济、能源、产业结构转型升级，推动经济社会的高质量可持续发展。作为工业生产的基础性产业，机床工具行业尤其需要为此做出贡献。不仅要努力实现企业自身的低碳转型，还要为工业生产提供低碳排放的绿色机床工具产品。

机床工具绿色技术研究和应用主要体现在：优化设计，减轻机床运动部件重量，降低能源消耗；能量回收，驱动装置配备电能回馈装置以回收制动能；能源管理，待机关闭冷却、液压、照明、显示等耗能设备；提高能源利用效率，采用能效更高的电机；应用数字化技术、自动化技术、复合加工技术、高速加工技术、仿真技术等先进制造技术和管理技术，缩短生产周期，提高生产效率，减少能源消耗；伺服技术取代液压系统，降低能耗和液压油使用量；应用微量润滑以及干切削技术，无污泥过滤水箱，提高废液处理效果，减少排污。

1. 减少排放

廊坊市泽田依诺的Friendly废液处理装置采用减压蒸馏处理工艺，蒸发温度可控制在30℃左右，负压跳动幅度可以控制在0.1kPa。根据不同的废液种类，最高可减少95%

以上的废液量。

汇专科技的超声绿色高效机床，配置了汇专自主研发的智能化超声加工系统，可选配内冷超临界二氧化碳或微量润滑冷却系统，实现清洁切削。其超临界低温二氧化碳冷却系统，采用低温二氧化碳作为冷却介质，最低温度可达-78℃，解决了难加工材料的加工能力，加工效率提升50%~100%，减少了污染。其微量润滑内冷系统，配置多个特殊雾化装置及加气调节阀，并通过电磁阀进行组合控制，实现5种流量调节方式，通过联机控制，实现气雾输出半自动调节并产生不同剂量油雾，满足各个刀具和切削工序的不同需求。

西技联贸易公司的LUBRIX MQL微量润滑系统，集成了气溶胶生成过程的监控及调整，保障气溶胶生成过程一致性和可靠性。

2.降低能耗

三河同飞的MCW1变频水冷机，采用低GWP冷媒R513A，比传统环保冷媒温室效应降低60%以上；应用专利技术的热气旁通/变频协同制冷系统，有效解决了低温低负载控制精度，变频控制水温控制精度高达±0.1K以上，低能耗，比标准产品整机能耗降低30%以上。

珠海高达的碳纤维传动轴、联轴器，采用碳纤维增强聚合物复合材料，具有轻质、高强、耐高温、抗腐蚀的特点，传动效率高，传统扭矩能力强，噪声低。

海德汉的LCx16光栅编码器，优化了光学扫描系统，即使在有液体污染和冷凝的情况下也能实现清晰的传感，提高了光栅尺的抗污特性，简化了密封空气的需求，显著降低用户使用成本。

德冠精密的双速主轴齿轮箱，螺旋齿轮结构紧凑，比直齿齿轮箱具有更高的传动效率，更低的噪音，更低的电机转速输入就可满足加工需求，减少能源消耗。

德国林康机床的卧式加工中心LiFLEX II应用创新的滚珠丝杠驱动结构，与直线电机驱动相比，能够节省40%的能耗，产能只减少3%，应用微量润滑技术，相比传统的冷却液润滑单元，省却了高能耗的冷却液高压泵，降低了能耗，减少了污染。

3.干切技术

秦川机床的YK3115干切滚齿机，重庆机床的数控滚齿铣床复合机床YH3120-CD，南京二机的数控干切滚齿机、插齿机，应用干切削技术，可消除切削液污染，绿色环保。

4.绿色机床

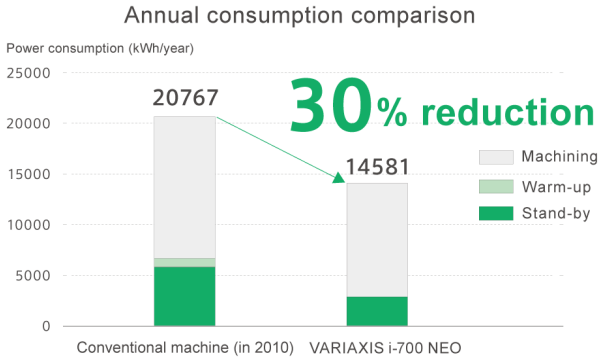
综合应用各项绿色技术，减轻机床运动部件的重量，降低机床使用过程中的能源消耗，减少废弃物排放，最大

限度地降低机床使用过程中对环境的负担，这种机床可以称之为绿色机床。

日本OKUMA的ECO suite plus是基于其“Thermo-Friendly Concept”和“ECO suite”而实现机床高精度稳定性与节能（减少二氧化碳排放量）兼备的概念，能够兼顾“尺寸精度稳定性”与“能耗量削减”，能够分析CO₂的排放量以改进循环，能够在无人工干涉的条件下自主判断怠速停止，能够以较低的能耗实现加工并保持高加工精度和稳定性。OKUMA将配置了ECO suite plus功能机床定义为“绿色智能机床（Green-Smart Machine）”。

OKUMA的卧式数控车床LB3000EX III、立式加工中心MB-46VII、五轴立式加工中心MU-500VIII都是OKUMA绿色智能机床的代表。可通过减少暖机运行时间，准备时间怠速停止等措施来减少机床的能耗，减少机床使用期间CO₂的排放量。

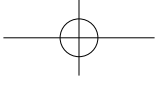
日本MAZAK公司的新推出的NEO系列绿色环保机床，保持了原有机型的高生产效率和高精度加工性能，显著降低了机床功耗，以减少CO₂的排放。其VARIAXIS i-700 NEO立式五轴加工中心，通过一次装夹，实现完整加工，减少装夹辅助时间，利用高速加工、复合加工等先进加工技术，大幅减少加工时间。搭载其最新的Mazatrol Smooth AI控制系统，采用LED机内照明，能够智能地熄灭机内照明和CNC背光；人体传感器在检测到操作人员接近后，机内照明自动点亮；加工结束一定时间后，排屑器自动停止运行减少功耗；使用润滑脂对主轴、滚柱导轨、滚珠丝杠进行润滑，大幅减少润滑油的消耗。采用蓄能器的液压单元、变频式冷水机组、去油泥节能冷却系统，降低能耗，减少环境污染。



5.先进制造技术

增材制造能够减少机加工，提高材料利用率，显著减少产品的重量以及所需材料，降低CO₂的排放，是绿色制造的重要组成部分。

海天的金属3D打印机C400M，采用选取激光熔融工



艺，最大成型空间尺寸为400mm×400mm×430mm，配置有四台500W或1000W光纤激光器，具备多种激光技术方案、闭环恒风速、参数自检测等功能特点，可选配双向铺粉和“永久”型循环过滤系统。配备自主研发的HTPrinter、HTCamera等设备运行及打印质量监测软件，可实现24h无人化值守的高效生产。

中科煜宸送粉式金属3D打印机LDM8060，采用LDM工艺，大功率激光器，成型效率高，粉末利用率高，可适用于不锈钢、钛、镍钴铬合金等材料的3D打印。

五、网络化技术助推制造变革

智能机床、数字化、自动化技术对于智能制造的发展起着至关重要的支撑作用。在数字化的推动下，未来工厂的生产计划、生产组织、制造过程以及产品销售和售后服务等阶段都需要提供必要的数据来支撑，这些数据之间的互联互通是智能制造的基础。

很多企业都推出了他们的数字化解决方案，这些解决方案大多数是基于企业自身的产品，因此这些设备网络化实现比较方便。但是机床用户面临的现实是，来自不同企业的制造设备，采用不同的数控系统，数据格式各不相同，要实现互联互通非常繁杂，成本高昂。一个安全的、开放的、标准化通讯协议，保障各种数据在不同终端之间能够顺畅地互联互通，提高设备使用效率和制造系统水平，简化制造设备与用户IT基础设施的连接，提高数字化建设效率，降低成本，对于实现智能制造至关重要。

当前国际主流的开放式数控设备数据通讯协议有美国主导的MTConnect、中国主导的NCLink、德国主导的umati。

NC-Link是由中国机床工具工业协会牵头，联合部分高校、科研院所、企业研制的“数控设备互联互通协议标准（NC-Link）”，采用先进的通讯技术，确保来自不同控制系统的机床数据，通过开放的、标准化的连接进行快捷网络传输。如华中数控、i5、广州数控、科德数控、西门子数控、发那科数控和倍福数控系统。该标准已经批准为国家标准GB/T 41970-2022，并于2022年10月12日由国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会正式发布。

携汇智联致力于NC-Link标准的推广以及应用。目前已有10000多台各类数控设备基于NC-Link协议实现了互联互通，其商业价值得到了初步验证。不仅构建了完整的技术架构，还具备了从安全采集到数据应用完整的产品化体系。设立了行业NC-Link公共实验室。广州数控正在开发基于NC-Link标准的数控系统。

MTConnect是由美国制造技术协会（AMT）牵头研制的数控设备数据交换标准协议，用于数控机床、PLC、工业机器人、测量设备在内的数控设备之间的数据交换。该协议已经正式批准为美国国家标准（ANSI/MTC 1.4），并已经推出了MTConnect 2.0版。

德国umati数控设备互联标准，由德国机床制造商协会（VDW）和德国机械与设备工程协会（VDMA）联合DMG Mori、EMAG、巨浪、恒轮、GROB、利勃海尔、通快、+GF+、联合磨削等德国、瑞士的主要机床工具制造商，并邀请了西门子、海德汉、FANUC、博世力士乐、倍福、Fagor、三菱电机等全球主要数控系统制造商共同研发。

数字化转型是全球制造业无法回避的必然选择。但是作为用户在这个数字化转型过程中，需要考虑所用通讯协议标准的技术先进性、可靠性和安全性，决定采用什么样的通讯协议标准。作为世界各国战略布局的要点，工业通讯协议标准也是大国利益诉求和博弈的焦点。

六、产品适用性开拓新赛道

自动化、数字化、智能化无疑是整个机床行业的未来主题，但机床工具是个性化特征非常显著的产品，来自用户的意愿也是行业发展的另一个主题。根据用户行业的变化，提高产品适用性，满足当前的市场需求，成为驱动行业发展的重要力量。

汽车向电驱动方向发展的趋势已经形成。动力以及车身结构的变化，越来越多的复杂和轻量化零件需要加工，对制造技术提出了新的要求。满足电驱动汽车零件高效加工需求，是机床行业努力开拓的一个新赛道。

济南二机床的双五轴高速龙门加工中心XHBSV2516×27i，专为电驱动汽车压铸车身零件加工设计，配置偏置式双摆角万能铣头、自动翻转液压夹具、鼓式直排刀库，一次装夹，可实现压铸车身结构件正反五面所有加工特征的高速、高精、高效自动加工；4台机床组线，与后续安装拉铆、压铆螺母、钢丝螺套工位以及检测工位等组成一体化车身铝压铸零件加工机装配生产线，满足汽车主机厂产能和节拍需求。

GROB以传统汽车动力系统制造设备供应商闻名，逐步转型为电驱动汽车生产设备供应商，掌握了电力驱动产品的几乎所有绕组和装备技术。其发卡式电机定子绕组技术已经成为国际标准。GROB还开发出一套模块化、可拓展的，从单个电芯到复杂电池包的柔性生产装配系统，可以为整个电池生产流程提供全包服务。其GF系列框架式五轴

卧式加工中心，专为加工轻量化的框架结构件、大尺寸底盘工件而设计，宽敞的工作区域，高扭矩、高转速的情况下还具备极高的动态性和良好的排屑效果，用于电驱动汽车副车架、动力电池外壳、电池底座、纵梁和减振支架等零部件的加工。

奥地利Fill公司，新研发了多款适用于电驱动汽车零部件的加工设备。其SYNCROMILL C系列双主轴卧式加工中心，主要用于加工电驱动汽车减震塔、油底壳、电池包、副车架等结构件。SYNCROMILL D22-63/X2000双主轴卧式加工中心，工件转台回转直径2000mm，适用于大型一体化压铸车身铸件或电池托盘大批量加工。SYNCROMILL Q系列多主轴卧式型材加工中心，4~6个主轴，可以同时加工4~6个型材，适用于电池包、防撞梁等型材的高效加工。

成都煜鼎的PHU1510卧式加工中心，工件最大直径可达1500mm，是针对电驱动汽车大型框架类结构件的高效精密加工而开发，如整体副车架、电池外壳等。

江苏恒力组合机床双五轴高速加工中心HMD2516，针对电驱动汽车底板零件专门设计，采用双主轴形式。主体为卧式左右对称结构，在工作台两边各布置一个卧式三坐标加工单元，机床主要由床身、卧式三坐标加工单元、五轴摆头、A轴摇篮等主要部件组成。机床运动部件采用了轻量化设计，并加强了机床结构的刚性和耐冲击性，以实现高速高动态性能加工。

MAZAK的FSW-46V复合加工机床，将搅拌摩擦焊与金属切削工艺复合到一台机床上。这为电驱动汽车有冷却通道的电机外壳提供一站式解决方案，既可对电机外壳进行切削加工，又可通过搅拌摩擦焊将内外两个

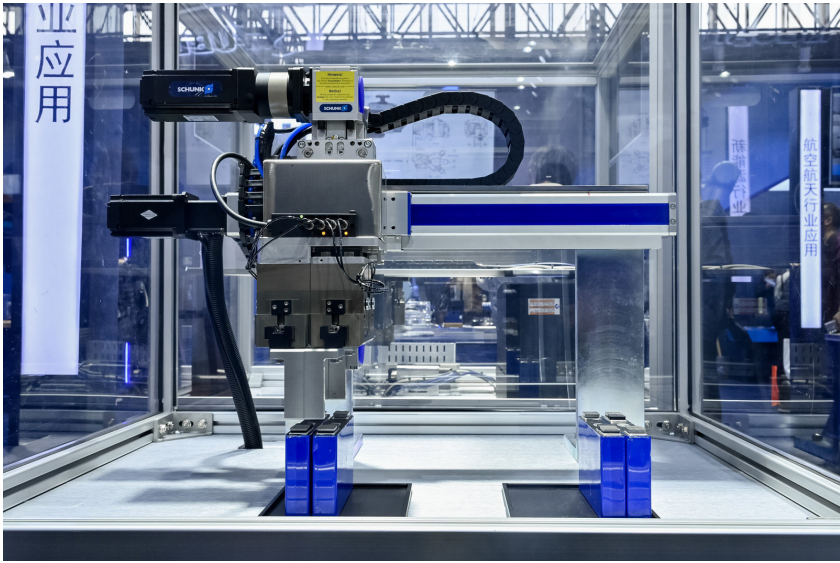
壳体焊接为一体。



四方达的导条式PCD4刃镗刀，针对电驱动汽车电机壳体设计，具有高刚性、轻量化的特点，多刃组合式导条支撑结构，刃口处的特殊断屑槽型设计，实现镗孔及清根一体成型。加工效率比传统单刃镗刀提升3倍，镗孔圆度0.015mm、圆柱度0.025mm。

恒锋工具的花键精密修行用高速硬拉刀具，可用于电驱动汽车高精度齿轮的热后花键精密修形。

雄克根据客户个性化需求，开发了方形、圆柱形以及软包电芯从单个电池的高速装配到大尺寸电池模组和电池包的高效自动化搬运解决方案。如为抓取大圆柱电池开发的永磁体机械手RCG，通过压缩空气驱动，用于搬运直径为46 mm的圆柱电芯。圆柱电芯永磁体抓取单元，通过压缩空气驱动活塞，可根据需求单独激活，用于释放问题电池。圆柱电芯变距抓取单元，永磁体抓取装置，通过压缩空气驱动，调整电池间距：25 ~ 38 mm。



七、结语

本届展会上展示的各种先进制造技术，以及众多高端加工设备，将带你进入奇妙的金属加工世界。更多的精彩，等待您到CCMT2024展会现场来探索。欢迎莅临CCMT2024! □



CCMT2024展品综述

——车削类机床

中国机床工具工业协会市场部 沈华红 执笔

一、概况

据已有资料，本届展会车削类机床参展商110多家，参展的车床产品超过220台。展商数和展品数与CIMT2023相比，均增长80%以上，主要包括：卧式车床88台、车削中心46台、立式车床39台、多主轴车床14台、纵切车床13台，以及多刀架车床、中间驱动车床、排刀车床和螺纹车床等。值得关注的是，本届展览境内车床展品的品种、数量和展品的技术水平总体上都有令人耳目一新之感。

二、车床类展品主要特点

1.高精度、高刚性

高精度和高刚性是本届数控车床展品基本的技术特点。高性能的电主轴、直线电机、力矩电机，及高精密的导轨丝杠、主轴轴承的使用越来越普遍，全闭环控制系统和成熟的热控制系统运用愈加广泛，静压轴承等技术也在不少数控车床上运用，为机床提供了良好的综合精度和精度保持性。还有不少车床能以车代磨，实现球面等曲面的镜面加工，提供超精密的表面质量。高刚性的床身材料、整体结构设计充分利用有限元分析技术等塑造了高刚性的床身结构，并使快速高效的切削成为可能。

2.产品模块化，多样化。

车床展品整体上分为立式和卧式两大类，但无论是立式车床还是卧式车床，都体现了不同凡响的模块化的设计和制造水平。单主轴、双主轴、多轴、单转塔刀塔、双转塔刀塔（个别配置3个转塔刀塔）、排刀架式刀塔等各种布局精彩

纷呈，灵活柔性的模块化结构不但使机床具备良好的功能拓展性，也可以使用户的选择随心所欲。诸多纵切车削中心通过各种各样的模块化刀具系统布局，能实现车、铣、钻、攻、镗孔、车端面、车螺纹、割槽、切断、攻丝、斜孔、曲面等综合加工功能。另外，按车削的功能分类，有通用型数控车、车削中心、纵切车床以及各种专用型数控车床（管螺纹车、轮毂车、多轴多工位专用车等）。

3.自动化

自动化水平的大幅提高是本届车床展品的另一个显著特点。利用卧车的主轴对接、立车的正倒立布置、刀塔及各种机械臂自动上下料等，可以轻松完成工件的正反面、左右端及工件其他部位的一次性自动化加工，多轴自动车、纵切车削中心的棒料自动化加工能力则是愈加成熟。各种工件加持器、棒料机、集成机器人、机械臂、在线测量技术等的应用，使生产的自动化、无人化变得越来越容易实现。自动化水平提高的同时也极大地提高了加工效率。

三、车床典型展品

（1）大昌洋行（上海）有限公司 Benzinger Go Future车削中心。选配16位或48位刀塔，动力刀具最高转速6000r/min，正主轴/副主轴最高15000r/min。配置丰富的机型，从B1到B6有5种不同的配置，各种车削主轴，主轴直径为 $\phi 26 \sim \phi 42\text{mm}$ ，径向和轴向跳动 $<0.0007\text{mm}$ ，棒料直径 $\phi 16 \sim \phi 42\text{mm}$ 。多种多样的夹紧系统：气动夹紧，液压夹紧，根据零件及客户要求定制的夹紧装置，以及敏感夹持。所有机型均选配Y轴，其中B6机型可以选配

双Y轴。刀塔可以选配VDI25/12/12 driven、VDI25/16/16 driven或VDI25 48/12 driven刀塔，B4机型的尾座既可以选择气动尾座也可以选择NC尾座。



(2) 浙江博谷精密机械科技有限公司Microtech 100SP超精密硬车削。机床最大回转直径 $\phi 380\text{mm}$ ，最大车削长度350mm，最大车削直径 $\phi 360\text{mm}$ ，最大通过棒料直径 $\phi 40\text{mm}$ ，主轴径跳/轴跳 $\leq 0.0001\text{mm}$ ，X/Z轴直线度 $\leq 0.0005\text{mm}$ ，车削工件圆度 $\leq 0.0002\text{mm}$ 。采用天然花岗岩床身和主轴座、超精密液体静压导轨、超精密液体静压主轴、床身及供油系统恒温冷却、C0级滚珠丝杠驱动，并结合光栅尺精密反馈，可以满足硬车削的精密超精密加工任务，实现以车代替精磨加工，用于高精度、高硬度零件（最大加工硬度 $\geq 55\text{HRC}$ ）内腔及外形的精车加工，可进行内外圆、台阶、端面、锥面、球面、攻丝、开槽、螺纹切削等加工。

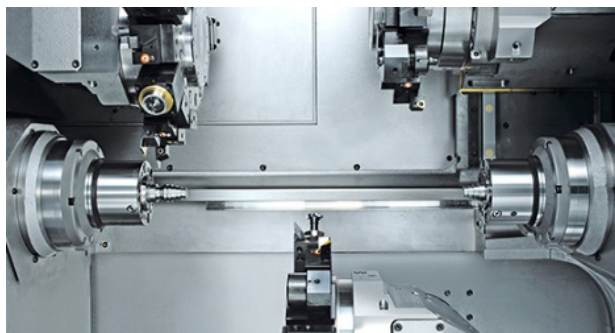
(3) 山崎马扎克（中国）有限公司DT200 L双主轴双刀塔车削中心。最大回转直径 $\phi 320\text{mm}$ ，最大加工直径 $\phi 320\text{mm}$ ，最大加工长度150mm，主轴通孔直径 $\phi 76\text{mm}$ 。左右对称结构，拥有同样加工能力的双主轴/双刀塔，无齿轮、变速器等热源和振动源。非升降式12角旋转刀塔，能够实现1.4s切屑对切屑换刀。提供最新桁架装载系统以及用于提高生产效率的各种自动化选项。左右配置独立主轴和刀塔，拥有两个加工区域，可通过工件自动传递功能连接，使得一台机床能够完成两道加工工序。



(4) 大隈机械（上海）有限公司LB3000EX III卧式车

床。中心距520mm，X/Z轴行程为260/565mm，C轴行程360°。主轴最高转速为5000r/min。V12复合刀塔，动力刀具最高转速为6000r/min。拥有使机床能够自主保持高精度和稳定性的智能化技术Thermo-Friendly Concep，在“LB-EX”系列的“良好切割、精确切割和使用安全”基础上进行了改进，通过强化先进的脱碳解决方案，省力化和自动化对应的灵活性不断进化，实现脱碳和高精度、高生产率。具有与众不同的倾斜箱式床身结构，主轴台和刀塔的主要单元在箱型床身上进行了优化布置，在重切时也能发挥稳定的加工精度。配置新一代CNC系统OSP-P500及“数字孪生”，能忠实再现设备控制和加工操作。

(5) 因代克斯贸易（上海）有限公司INDEX C200车削中心。棒料直径 $\phi 65\text{mm}$ ，装配有两个高功率电主轴、3个刀塔和42把刀具、专利设计的W型刀具定位槽，刀具定位准确快速，可以实现2个或3个刀塔同时加工，并可进行高质量的背部加工，加速度1g，快速移动50m/min。INDEX移动导轨有良好的吸震性，垂直床身保证了排屑流畅，可配龙门式工件自动卸料系统。



(6) 哈斯自动数控机械（上海）有限公司ST-10Y+RobotST-10Y加工单元。ST-10Y车削中心 经过重新设计升级迭代，加装Y轴和动力刀具后，能够进行铣削、钻削和攻丝作业，动力刀具最高转速6000r/min，X/Y/Z轴行程200/ ± 51 /406mm。Haas机器人套装置一台即插即用的7kg机器人系统，该系统由Haas控制器全面控制，机器人调试通过Haas系统直接完成。

(7) 力劲精密机械（昆山）有限公司LG500卧式轮毂数控车床。最大切削直径 $\phi 500\text{mm}$ ，最大棒料直径 $\phi 90\text{mm}$ ，主轴最高转速4000r/min，标配下刀塔12工位动力刀塔，上刀塔8工位伺服刀塔，动力刀具最高转速4000r/min。采用45°斜床身结构，搭载双通道数控系统，具有主轴C轴和副主轴C'轴，上刀塔为高刚性伺服刀塔，下刀塔为高刚性动力刀塔，具备上下同时车削，一次装夹完成车、镗、钻、攻丝等功能。可以加工各种形状复

杂的轴、套、盘类零件。适用于新能源汽车轮毂、商用车轮毂、汽车零部件、航空航天、工程机械、国防等领域的机械加工。

(8) 村田机械(上海)有限公司MW200C平行双主轴数控车床。卡盘尺寸为10", 2个主轴平行布置, 主轴的最高为2400r/min和3500r/min, 两个刀塔, 每个刀塔有10个工位, 主轴正面向作业者。另外搭载村田自主研发的机械臂, 可搬最大工件尺寸 $\phi 250\text{mm} \times 150\text{mm}$, 最大重量6kg, 实现自动化生产。本机种可以实现更大、更重工件的搬运加工。此外, 可以实现需要搭载特殊卡盘的异形工件的加工。



(9) 程泰机械(吴江)有限公司GTZ-1500Y多刀塔型车铣复合机。最大回转直径 $\phi 270\text{mm}$, 最大车削直径 $\phi 250\text{mm}$, 最大车削长度590/600mm, 刀塔容量12T/16T。创新的双主轴双刀塔机型, 上、下刀塔可依加工工序弹性调配, 生产量较一般机型大幅提高。上、下刀塔皆可支持第一或第二主轴, 工序安排更有弹性。使用滚柱导轨, 低重心45°斜床结构, 提供机头、刀塔稳固的基座。



(10) 浙江博谷精密机械科技有限公司Mixtech T42 MT超精密车削中心。最大回转直径 $\phi 685\text{mm}$, 最大车削长度280mm, 最大车削直径 $\phi 240\text{mm}$, 最大棒料直径 $\phi 42\text{mm}$, X、Z轴定位/重复定位精度0.002/0.001mm, 车削工件圆度 $\leq 0.001\text{mm}$, 主轴径跳/轴跳 $\leq 0.0005\text{mm}$ 。该机X、Z两轴为互相垂直布局, 具有足够的静态刚度、动态刚度、热稳定性与精度, 系统具有良好的动态品质。选

配轴向/径向跳动 $\leq 0.0005\text{mm}$ 的超精密电主轴, 超强刚性的一体式矿物质床身, 全闭环光栅尺反馈, 高刚性滚柱导轨, X、Z、C三轴可以联动加工。一次装夹, 完成复杂零件全部工序的加工, 使“软车”和“硬车”集成于一台机床。机床适用于加工各种形状中心筒及中心杆, 以及盘类零件、环状零件、轴类小零件、精密复杂形状零件等多品种小批量生产。

(11) 北京北一机床有限责任公司LBR-370M-e复合车削中心。最大加工直径 $\phi 340$, 主轴转速4500r/min, 最大加工长度为500mm(可选择1000mm机型)。该机床采用床身、底座分离结构, 将床身受底座热变形、振动的影响降到最小。床身采用30°倾斜面结构, 应用有限元分析法设计高刚性的对称矩形箱形构造, 使用淬硬磨削滑动导轨结构, 具有高刚性、高寿命、高稳定性及吸震性好等特点。采用自动两档切换绕组内装式宽域交流伺服电机主轴, 保证了主轴旋转精度的稳定性。机床采用紧凑型高刚性复合V12NC刀架, 采用NC交流伺服分度结构, 刀架无须抬起动作, 所有12个刀位均可根据加工需要, 安装L(车削)或M(铣削)用刀具。适用于各类轴、套、盘类零件的直线、曲线、斜线、弧线圆周、台阶加工, 能满足各类高温合金、钛合金、耐热合金、不锈钢、铸铁以及复合材料的铸锻件毛坯的粗精重切削、高速、高精度加工。

(12) 秦川机床工具集团股份有限公司CK7530-HY车铣中心(宝鸡机床集团有限公司)。床身上最大回转直径 $\phi 660\text{mm}$, 最大车削直径 $\phi 500\text{mm}$, 主轴最高转速2500r/min, X/Y/Z行程290/ ± 50 /1430mm。具有宽矩形淬硬导轨的车铣中心, 机床具有C轴、Y轴和铣削功能, 可在一次安装下完成复杂零件的大部分或全部加工, 除车削各种内外圆柱面、圆锥面、圆弧曲面、公英制螺纹等外, 还可进行轴向、径向的钻、铰、镗孔、平面和曲面铣削等加工。床身、床鞍、滑板等主要零件采用高强度铸铁铸造, X/Y/Z轴采用宽矩形淬硬导轨, 主轴箱采用大直径精密角接触推力球轴承与双列圆柱滚子轴承组合排列, 主轴回转精度稳定可靠, 配置12工位带Y轴动力刀架; C轴配以0.001°高分辨率的编码器, 并与机床主轴同轴装配, 确保C轴定位精度和高可靠性, 并可连续分度。

(13) 安徽卓朴智能装备股份有限公司SHL60W双C轴Y轴动力刀塔车削中心。最大回转直径 $\phi 610\text{mm}$, 最大切削长度550mm, X/Z/Y/W行程240/610/ ± 50 /490mm, 主轴转速4500r/min。45°斜床身结构, 双动力主轴结构, 副主轴是电主轴。双主轴均为高精度C轴, 定位精度达40", 重复定位精度达28"。采用带Y轴动力刀塔, 大扭矩动力输出, 满足大多数铣削、



钻削要求。

(14) 浙江金火科技实业有限公司T8DTC双主轴双刀塔车削中心。最大车削直径盘类 $\phi 270\text{mm}$, 最大车削长度 550mm , 正、副主轴最高转速 4500r/min , 最大通过棒料直径 $\phi 60\text{mm}$, 动力刀具最高转速 5000r/min , X/Y/Z轴单向重复定位精度 $0.002/0.002/0.003\text{mm}$ 。床身采用双面整体 45° 结构, 主、副主轴均采用同等规格的内置式大扭矩同步主轴电机, 正、副主轴具备相同的加工能力, 两个刀塔采用交叉布局形式, 上刀塔的中拖板采用箱式结构, 上刀塔的拖板结构与底座 45° 配合, 形成低重心的直Y结构。

(15) 云南CY集团有限公司CY-STC40m/550m车削中心。滑板上最大回转直径 $\phi 420\text{mm}$, 最大切削直径 $\phi 400\text{mm}$, 最大切削长度 500mm , 最大通过棒料直径 $\phi 68\text{mm}$, 刀架形式12工位BMT55动力刀架, 动力刀具最高转速 6000r/min 。机床采用 45° 整体铸造斜床身, Z轴导轨采用液体静压导轨组合结构, X轴导轨采用滚柱导轨。主轴箱体、尾座体均采用包砂设计, 主轴配置P4S级高精度轴承, 尾座采用整体液压驱动, 闭环控制, 实现自动编程控制, 配置高精度C轴+动力刀塔, 一次装夹可完成车、铣、钻等复杂加工, 实现硬车加工, 表面粗糙度 $Ra0.4\sim 0.8\mu\text{m}$, 加工工件的尺寸精度达IT5-IT6级, 实现部分零件的以车代磨, 提高了生产效率。具有可拓展性, 不同配置满足用户不同需求, 也可实现自动化组线加工。

(16) 宝鸡西力精密机械有限公司XKC-T7SY双主轴双刀塔数控车床。主、副轴贯通直径 $\phi 51\text{mm}$, 主、副轴最高转速 4500r/min , 主副轴跳动 $<0.003\text{mm}$ 。机床采用对列双主轴、对列双刀塔, 导轨大跨距, 床鞍和滑板与丝杆螺母座一体化设计。X、Z轴导轨采用滚柱导轨, Y轴采用正交硬轨, 配置12工位动力刀塔, 一次送料可以完成零件外径及两面的车削、铣削、钻削、攻螺纹加工。

(17) 安阳鑫盛机床股份有限公司ADPT 200M数控油管车削中心。床身最大回转直径 $\phi 720$, 最大切削直径 $\phi 540$, 最大切削长度 2000mm , 主轴双卡盘通管内径 $\phi 205\text{mm}$, 主要为油田油岩管的加工而开发, 适用于管类零件螺纹和径向孔、槽加工; 机床配有挡料、带卡盘大通径移动尾座, 可方便组成管类零件加工自动线。能够实现X、Z、C三轴联动, 适宜加工各种形状复杂的轴、套、盘类零件, 具有车、铣、钻、攻等功能, 也可作为通用卧式车削加工中心使用。在机床设计中, 对主轴、床身、床鞍的刚度进行合理分配, 提高了整机的刚性, 确保了重切时的稳定性。

(18) 浙江旺邦精密机床有限公司轮毂加工两机组

合自动线。本自动线由一台LV24WA双刀塔立车、一台LA24WA立式车钻复合机床和物流系统组成, 无需单独增加机器人, 将上下料集成于机床本体, 清洁、翻转、检测工位也集成于物流路径。最大回转直径 $\phi 850\text{mm}$, 最大切削直径 $\phi 660\text{mm}$, 最大外圆切削长度 430mm (至卡爪上沿), 最大内孔切削深度 345mm 。机床采用大扭矩电主轴设计, 1400r/min 的拐点转速远高于传统机械主轴的 750r/min 。轮毂粗、精车加工几乎均位于主轴恒扭矩区域, 配合增强设计的刀塔与车铣主轴, 使其加工效率与质量明显提高。较目前主流的三机联线方案, 占地面积大大缩小。

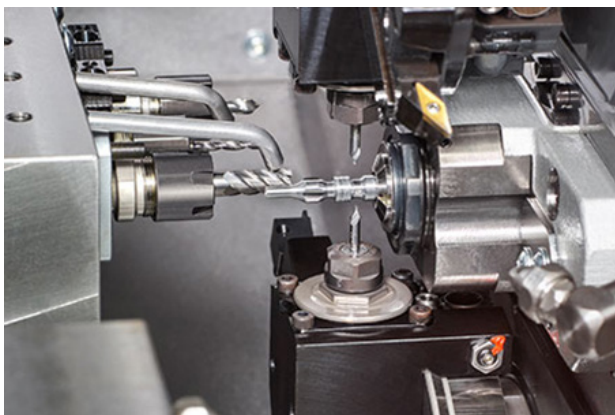
(19) 广东圣特斯数控设备有限公司CTXY52-S双主轴对接动力刀塔车铣复合机。机床采用主轴对接, 能实现X/Z/Y/C/A/B轴联动加工, 支持铣扁位/钻孔/攻牙/雕刻/车削等, 可一次完成复杂零件加工。底座床身整体成型, 刚性强。两轴独立加工, 可根据加工工件选用动力刀塔, 灵活性好。可配自动送料机架和自动接料机, 能实现单机自动化生产, 满足客户从毛坯到成品在一台设备上完成的需求。

(20) 济南第一机床有限公司CK6180ix1000重型数控车床。床身上最大工件回转直径 $\phi 800\text{mm}$, 滑板上最大工件回转直径 $\phi 520\text{mm}$, 最大轴类/盘类工件车削直径 $\phi 520/\phi 710\text{mm}$ 。主轴通孔直径 $\phi 105\text{mm}$, 加工工件圆度 0.005mm 。床身、床座采用整体铸件结构, 床身导轨跨距大, 高达 610mm 。横滑板导轨跨距增宽至 330mm , 适于重切削环境下工作。主轴箱采用可编程液压三档齿轮换挡无级调速结构, 既可用于工件的高速精密切削, 又可用于工件的低速强力车削。

(21) 德州众拓机床制造有限公司CH61160H数控卧式车床。最大工件回转直径 $\phi 1600\text{mm}$, 过刀架最大工件直径 $\phi 1250\text{mm}$, 最大工件重量 15t , 最大工件长度 6000mm , 最大加工内孔深度 2500mm , 主轴通孔直径 $\phi 350\text{mm}$ 。重型卧式大孔径车床, 采用高精度C轴箱分度、Y轴车铣刀架、异形内孔加工组件, 可对重型轴类零件、细长轴的外圆、端面进行车削、铣削加工; 对台阶孔、椭圆形孔等异型孔进行加工。

(22) 因代克斯贸易(上海)有限公司TRAUB TNL12走心/走刀式自动车床。具有两个相同的主轴(主轴和副主轴)和两个刀架, 两者都有一个插补Y轴; $\phi 13\text{mm}$ 的主轴通孔可以配备一个前端加工模块以及一个复杂的后端加工模块; 提供了多达38个可用的刀位; TRAUB TNL12可以在走心和走刀之间来回快速切换。刀架、前后加工模块都是由CNC分度, 两个刀架和前后加工附件, 可实现同时高效加工。超大尺寸和符合人体工

程学的工作区域，刚性、稳定的铸铁床身和热对称设计保证高精度和稳定性。无液压系统，不受液压的热量影响。TRAUB TX8i-s V8控制器确保了操作的简单性，可以直接将TNL12集成到数字化系统iXworld中。

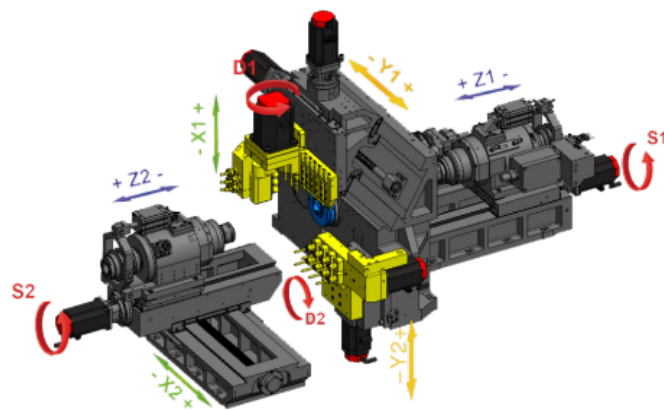


(23) 托纳斯贸易(上海)有限公司EvoDECO 16瑞士型纵切车床。最大加工直径 $\phi 16\text{mm}$ 。多达27把刀具，包括15个动力刀位；4个独立的刀具系统，正面加工3个，背面加工1个。10个直线轴+2个C轴，同一主轴和副主轴，配备同步电机。用于主轴加工和副主轴加工的角度铣削，副主轴加工可选配加装B轴。可以实现滚削、多边形铣削/旋风铣削、内外旋风铣削、梅花型铣削、钻深孔。适用于汽车、医疗和牙科、电子、制表、微机械、航空零件的加工。同系列有4种直径 $\phi 10/\phi 16/\phi 20/\phi 32\text{mm}$ 可选。

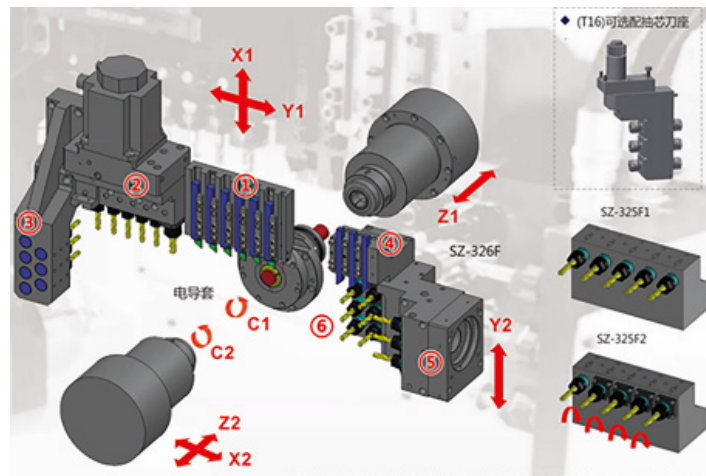
(24) 四川普什宁江机床有限公司CK1101 II 数控纵切车床。最大加工棒料直径 $\phi 1\text{mm}$ ，最大加工零件长度30mm，直线轴重复定位精度0.002mm。机床采用排刀式刀架，主轴箱移动，主轴为电主轴，轴承采用高精度向心推力角接触球轴承，具有高刚性、高稳定性等特点，具有Cs轴控制和分度功能，主轴最高转速16000 r/min。专业用于小零件的高精密加工，可对冷拉棒料或磨光棒料进行连续上、下料的自动循环加工。可进行无中心架(无导套)切削；当配置全程回转中心架时，可对细长轴类零件进行高精度加工。

(25) 陕西诺贝特自动化科技股份有限公司RTS32纵切机床。最大加工直径 $\phi 32\text{mm}$ ，最大加工长度320mm(回转导套)/70mm(无导套)，副主轴行程315mm。采用高刚性低重心的铸造箱式床身，底座中筋结构设计，各轴均采用燕尾式刮研导轨，导轨间隙采用楔形镶条补偿调整。主副轴为电主轴，可配置全程同步旋转导套。采用双通道两个独立刀具系统，实现主副

轴同步独立加工，生产更加高效。直线式排刀结构，能够良好解决加工中的排屑问题。各刀具系统刀具采用模块化设计，降低使用和维修成本。配置FANUC Oi TF Plus系统，具有高精/高效的智能控制功能群，先进的精细表面处理技术，高速便利的存储卡方案，新增操作层级显示，提高可视性和操作性，提升软件操作实用性。可以选择5轴机或配备Y2轴变为6轴机，具有旋风铣、副主轴直角刀座、多边形单元、一拖三刀座等多种选配功能部件，满足不同客户的需求。



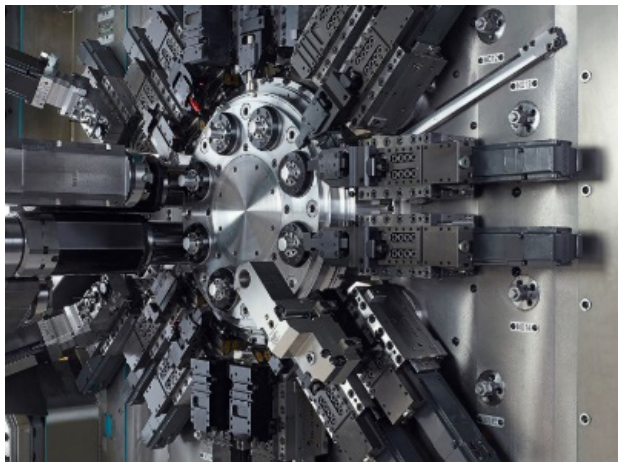
(26) 深圳市硕方精密机械有限公司SZ-386F数控走心机。最大加工直径 $\phi 38\text{mm}$ ，最大加工长度320mm，系统控制轴数10轴，联动轴数4轴。整机结构采用模块化的设计，功能扩展灵活，可选配动力旋转偏心刀座、旋风铣、深孔钻、滚齿刀座、锯片刀座等多种加工能力。定位精度 $\leq 0.018\text{mm}$ ，重复定位精度 $\leq 0.010\text{mm}$ ，内藏式电主轴的结构设计，在机床无导套模式下加工时，主轴前端与机床立板设计有支撑结构。双主轴同步加工，刀具达到了42把，模块化刀具布局，实现了车、铣、钻、攻、镗孔、车端面、车螺纹、割槽、切断、攻螺纹，斜孔、曲面等复合加工功能。



(27) 德国舒特 (Alfred H. Schütte GmbH & Co.KG) EC2-65单主轴自动车床。主轴最大通径 $\phi 65\text{mm}$, 副主轴最大夹紧直径 $\phi 65\text{mm}$ 。机床具有一个主轴和一个副主轴, 六个刀塔围绕主轴环形布置, 多达六把刀具进行平行加工 (四把用于主轴, 两把用于副主轴), 主轴具有多达四个3轴刀具/刀塔单元, 副主轴最多两个3轴刀具/刀塔单元, 适用于多种类型或组合的固定式或动力式刀具。刀塔轴和主轴的运动轴插补, 可以使用成熟的Y轴功能。副主轴配置快速自动卸载加工完的零件, 并将成品零件转移到外部处理系统 (例如具有检测和分拣功能的机器人单元)。零件生产时间短, 产量比带三个转塔的传统有副主轴车床高2~3倍。配置SICS软件, 支持用户进行机床配置、编程和生产。



(28) 因代克斯贸易 (上海) 有限公司INDEX MS22-8多轴数控多功能机床。主轴通孔直径 $\phi 22/\phi 24\text{mm}$, 最大转速 10000r/min , 最大功率 15kW , 最多16个滑台。带有滑动导轨的高动态径向滑块 (X轴), 带有静压轴承支撑, Z轴不易磨损。具有C轴的同步副主轴, 旋转臂通过三段式端面齿配合锁定在其工作位置, 从而提供最大的刚性, 每个同步副主轴多达6个用于背面加工的刀具。配置8根切削主轴, 最多两个同步副主轴, 以及多达16个刀架, 它们可以自由配置为十字X/Y/Z滑台或镗孔Z向滑台, 从而实现高生产率。INDEX快速装夹系统, 获得专利的W齿和符合人体工程学的开放式工作区可最大程度地缩短调试时间。结合CNC柔性技术和INDEX高效多轴技术, 可以广泛用于各行业的精密零部件大批量生产。紧凑的主轴轮毂通过使用端面齿匹配确保每个位置的最大精度。核心部件由集成在主轴轮毂中的八个液冷电主轴组成。无级变速范围、高功率、紧凑型设计、低维护成本以及最新的同步驱动技术。



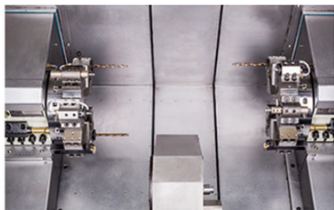
(29) 托纳斯贸易 (上海) 有限公司MultiSwiss 6×16 多轴自动车床。该机床融合了多轴车床和单轴车床的优势, 配有6个工位 (6个主轴), 针对各个工位实现独立转速和分度和C轴定位, 每个工位最多可容纳4把刀具, 总刀具容量最多可容纳18把; 副主轴安装在两个移动轴线上, 可以使用至少2把刀具完全独立工作, 配备液态静压轴承。送料机长度由 1.5m 拓展到 3m , 主轴最高转速 6000r/min 。一体式机床布局设计理念, 包括棒料送料机、油箱、高压泵、排屑器、集油盘和过滤装置。配备Tornos TB DECO 或TISIS ISO编程软件, 实现辅助工件编程, 优化加工节拍, 实现工业互联。

(30) 朗快智能科技 (杭州) 有限公司TG10水车式车铣复合加工中心。是一台用于加工气动控制元件, 多主轴、多工位、水车式车铣复合加工中心, 从一工位上下料, 工件按等角度进行分度动作, 每到一个工位, 该工位的动力头进给加工, 直到起始位置, 加工完成下料。设备主轴、床身、转盘、夹具、工艺软件等部件均为自主研发, 工位12个, 转台分度精度 $\leq 3''$, 转台转位时间 1.5s , 主轴数量23个, 主轴转速达 8000r/min , 加工节拍可达 10.9s/件 , 自动完成上料、切削加工、换位夹持和下料等操作, 实现从毛坯料到产品的自动化加工。

(31) 浙江双正科技股份有限公司SZ10B-12H3-17W悬浮式多工位多轴多方向组合加工机床。水车式多工位多轴组合加工机床, 机床内部具有立式圆盘多工位工作台, 具有多个可夹持产品加工工位, 围绕机床水平主轴进行水车式 360° 立式定位旋转, 并与床身上对应多工位的各功能动力头与刀具相配合, 在每个加工工位都对着一个被加工零件, 产品毛坯在一个工位循环上下料, 产品一次定位夹紧, 多工位多轴联动, 多个方向对产品同时进行钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、铣削平面和外形、车削内外螺纹以及加工外圆和端面等加工, 直至成品, 实现产品多工序

同时加工。转台转位时间0.9~1.5s,多主轴6~26只,主轴最高转速24000r/min,毛坯4~10s可完成成品加工,可配套机器人进行智能上下料操作。

(32) 安徽力成智能装备股份有限公司DNL083双头数控车床。床身最大旋直径 $\phi 300\text{mm}$,车削长度范围500~750mm,主轴最大夹持直径 $\phi 70\text{mm}$ 。采用中置驱动主轴、内泄式高压正反手伺服刀塔、工件夹持检测等自主专利技术,具有左右同步作业、左右独立操作、快换筒夹等功能,内置或外置桁架式机器人可选。适合单机自动化,或者与数控车床联机组成车削自动线,全自动完成新能源汽车电机轴、汽车传动轴等精密轴类零件的两端车削、钻孔、攻牙、镗孔等全序加工。



一次装夹两端同时加工



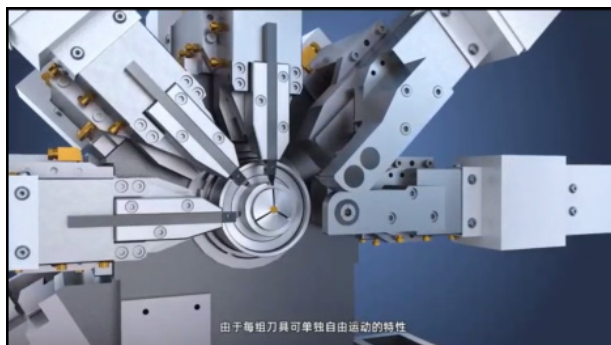
特别结构的中置主轴

(33) 山东友泰机床制造有限公司XSC1000中驱动双头车床。刀架上回转直径 $\phi 200\text{mm}$,刀架工位8/排刀,最大工件长度1000mm,加工直径 $\phi 160$,主轴最高转速1500r/min,本产品可以实现一次装夹,两端同时车削端面,外圆,内孔,内外倒角,槽口,曲面,车螺纹,钻孔,攻丝,选配动力刀具可以完成更多特征加工。

(34) 南京肯迈得机床制造有限公司QT8150球面数控车床。采用法线切削方式,在单转盘工作台上实现多刀位(可装4~8把刀)球面加工,可实现粗加工到精加工超精加工一次成型,达到镜面效果,具有球心圆度补偿功能,刀具始终对着刀尖,没有左右刀具叠加误差,加工后圆度 $<0.005\text{mm}$,粗糙度 $Ra < 0.2\mu\text{m}$,达到镜面效果。同时,还可以加工非球面、曲面等。适用于球体类高精度加工,如:光学镜模具加工,汽车球头杆加工,球阀加工等。

(35) 广东中聪智能装备有限公司HS-W20多刀数控车床。伺服轴数标配11轴,刀具5组,最大加工直径 $\phi 20\text{mm}$,最大加工长度50mm,轴向最大钻孔直径 $\phi 6\text{mm}$ (配副主轴为 $\phi 12\text{mm}$,刀柄为 $\phi 10\text{mm}$),轴向最大攻丝大小M6,主轴最高转速(仅供短时使用)6000r/min,径向最大钻孔直径 $\phi 7\text{mm}$,径向最大攻丝大小M5,排刀3($8 \times 120 \times 3$),标配最大刀具安装数量10(车刀5把+钻/镗5把),主轴中心高度1010mm。5刀

同时加工,让一台机床具有多功能性,可一次装夹完成多任务,提高加工效率和加工精度。



(36) 埃马克两合责任有限公司VT 200+MRC立式轴类车床+自动化单元。卡盘直径 $\phi 250\text{mm}$,回转直径 $\phi 270\text{mm}$,最大工件直径 $\phi 200\text{mm}$,工件夹持器最大直径 $\phi 90\text{mm}$,工件最大长度630mm,X/Y/Z轴行程 $395/\pm 25/810\text{mm}$,最高转速4500r/min。刀塔刀位:2×11(2×1夹持器),动力刀的最高转速6000r/min。四轴配置、短行程及高功率主轴,可确保高产量。双刀塔同时加工使加工时间得以大幅缩短。两个分别拥有11个刀位的刀塔既可配备车刀,也可配备动力刀具。可配置自动化单元,实现自动化流程。



(37) 南通国盛智能科技集团股份有限公司GTL1800立式车床。最大旋径 $\phi 1600\text{mm}$,最大切削直径 $\phi 1600\text{mm}$,最大切削高度1400mm。铸铁一体成形箱型结构,加大的长、宽比例截面系数增大,内壁米字型肋板强化刚性,整体进行有限元分析。使用专属为立车设计的圆柱交叉滚子轴承,具有耐重切削、高负载、高精度和长寿命特点。底座与立柱结合面、主滑台、滑座、各轴承座皆以手工刮研,以达到最好组装精度、结构刚性及平衡负载。盘型刀库设计(12工位),快速任意双方向就近换刀。适用于大、重、薄等异型零件加工。

(38) 山东蒂德精密机床有限公司VTC1600数控立式车床。最大回转直径 $\phi 2000\text{mm}$ ，最大切削直径 $\phi 1800\text{mm}$ ，最大切削高度 1600mm ，主轴最大转速 200r/min 。采用对称式龙门框架式设计，双边立柱均通过有限元分析进行强化，保证机床整体切削刚性与性能。切削刀具中心到立柱导轨距离与立柱安装前后长度为1:1.5，减少车削力矩，增加机床稳定性。滑座采用对称型设计，防止热变形发生，Z轴轨面并经过高精密刮研处理，保证Z轴高精密运行。横梁可上下升降，保证在最合适的位置，提供最大的切削刚性。转台使用大跨距高精密交叉滚子轴承，使得转台进行稳定运转的同时又承载各方向载荷，保证重切加工。

(39) 纽威数控装备(苏州)股份有限公司VNL160T立式车削中心。最大回转直径 $\phi 1800\text{mm}$ ，最大车削直径(轴类/盘类) $\phi 1600\text{mm}$ ，最大工件高度 1200mm ，主轴转速范围 $1\sim 65\text{r/min}$ 和 $66\sim 260\text{r/min}$ ，动力刀具最高转速 $1\sim 600\text{r/min}$ 和 $600\sim 2400\text{r/min}$ 。三轴联动、半闭环控制，带C轴分度功能并配备了动力主轴。经模块化设计，可以按市场需求进行产品系列化和客户定制化制造，适用于加工回转类零件，内外圆柱面、圆锥面、阶梯面、球面及其它各种回转曲面、内外沟槽，各种公、英制内外螺纹等。

(40) 重庆机床(集团)有限责任公司VHL4035正倒立式数控车床。最大工件直径 $\phi 420\text{mm}$ ，最大工件长度 450mm ，最大工件回转直径 $\phi 600\text{mm}$ ，立式/倒立式主轴最高转速 2500r/min 。机床采用立式主轴和倒立式主轴垂向对置、双径向进给水平移动、双轴向进给垂向移动、伺服双面加工W轴的复合式布局。两个工件主轴均采用高精度滚动轴承支承，满足高速切削需要。机床可选配单机自动化和多种连线接口，满足用户自动化、柔性化生产需求。适合汽车、新能源车制动盘大批量、高精度复合加工。

(41) 山东鲁南精工机械有限公司HVIT550正倒立式数控车床。工件最大回转直径 $\phi 620\text{mm}$ ，最大车削直径 $\phi 450\text{mm}$ 。最大车削高度 550mm 。机床配置正主轴和倒立式四主轴，整体结构为倒立式数控车床，有四个直线运动轴，一个C轴，一个主轴及两个刀塔(可为动力刀塔)，安装动力刀塔后可实现车铣复合加工功能。主轴安装在机床上部的中心，刀塔对称分布其两侧。在主轴的下方装有尾座，机床两侧分别设置两套多工位料仓，物料的取放分别由刀塔上的机械手完成。两刀塔可同时加工零件。适合盘轴类零件的车、铣、钻、铰、攻螺纹等高精、高效复合加工。

(42) 南阳煜众精密机械有限公司LC-600GV数控

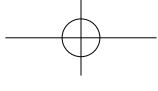
立车。是自主研发，具备五轴功能的立式车削中心，最大回转直径 $\phi 820\text{mm}$ ，最大切削直径 $\phi 750\text{mm}$ ，主轴转速 $10\sim 1500\text{r/min}$ ，X轴行程 $-30+365/380\text{mm}$ ，Z轴行程 700mm ，X/Z重复定位精度 0.004mm ，定位精度 0.008mm 。独立于刀塔之外的动力装置，不占用当前刀位，避免刀具干涉影响装刀数量。具备单独的移动轴(Y轴)控制。多种夹具选择，最多可实现6路高压油及两路气(在主轴高速旋转状态下)通到夹具，用于工件夹紧及气密检测。主轴在CS模式进行分度提升至 0.001° 。通过M代码实现车削模式与铣削模式的切换。

(43) 睿安睦数控机床制造(山东)有限公司VTL1200C数控单柱立式车床。最大回转/车削直径 $\phi 1600\text{mm}$ ，最大加工高度 1200mm ，工作台直径 $\phi 1400\text{mm}$ 。采用铸铁及箱型结构设计，立柱与工作台底座连接采用坐落式结构。在横梁上设置单个垂直刀架，由交流伺服电机驱动。横梁在立柱导轨上移动，立柱上端装有横梁升降机构，由交流电机带动丝杠升降横梁。主传动全部采用齿轮传动。工作台整个部件为热对称结构。工作台台径向采用高精度双列短圆柱滚子轴承定心，轴向采用大型高精度推力球轴承作为滚动导轨，并在轴向加推力球轴承预载。横梁由刀架水平进给传动机构、横梁夹紧机构及液压装置等组成。横梁水平导轨采用上导轨的下导轨面及下导轨的上导轨面导向，滚珠丝杠在导向导轨中间，彻底解决驱动扭转力矩问题。

(44) 大连意美机械有限公司CXK200双柱立式铣车复合加工中心。最大旋转直径 $\phi 2400\text{mm}$ ，最大工件加工直径 $\phi 2000\text{mm}$ ，最大工件加工高度 2000mm ，滑枕垂直行程 1000mm 。最大工件承载质量 12t 。工作台主驱动采用 45kW 双速主电机。铣主轴电机 17kW ，铣轴最大扭矩 $512\text{N}\cdot\text{m}$ ，C轴定位精度 $6''$ 。有一个具有车和铣功能的立刀架，机床共7个数控轴，实现3轴联动，铣主轴有定向准停功能，可刚性攻丝。可以完成内外圆柱面、内外圆锥面、端面，各种曲面、切槽和切断、螺纹等工序加工，选配角铣头附件可加工工件侧面、钻斜孔等。



(下转第56页)



CCMT2024展品综述

——复合类机床

中国机床工具工业协会市场部 沈华红 执笔

一、概况

复合类机床指具有两种或两种以上不同类型的独立主轴，工件在一次装夹中能完成多种加工工艺和多道加工工序的数控机床。据已有资料（截止2024年1月20日展商提交的资料），复合类机床展商30多家，展品50多台，展品数和CMT2023相比增长近2倍，包括车铣/铣车复合加工中心、车铣磨复合加工中心、磨削复合激光加工中心、车铣复合齿轮加工中心等。

二、主要技术特色

复合类机床一直是历届机床展靓丽的存在，如果用“接天莲叶”来形容展会各色丰富的加工中心、车削中心、磨削中心等展品，那么复合类机床就可以称得上是“映日荷花”，它们共同展现出“接天莲叶无穷碧，映日荷花别样红”的景致，而复合类加工中心机床的独特性值得大家驻足流连。

1. 突出的工艺和工序复合能力

复合类机床普遍具备强大的工艺和工序复合能力，相较于普通加工中心和车削中心的一专多能，复合类加工中心机床则具备双专多能或多专多能。复杂独特的机床结构、严苛的刚性要求及丰富的刀具配置，使工件一次装夹就可完成车削、铣削、镗孔、钻孔、铰孔、攻丝、磨削、制齿加工、电加工等工序的加工。

2. 高精、高效

复合机床集成多种加工工艺于一体，减少了工件装夹

次数，避免了由于多次装夹和定位基准转化而导致的误差积累，工件的各加工部位的相对位置精度能得到更好的保证，提高了加工精度。同时，通过提高工序集中度，减少多工序加工中零件的上下料时间、在不同机床间进行工序转换输送和等待时间，提高了效率。

3. 结构模块化

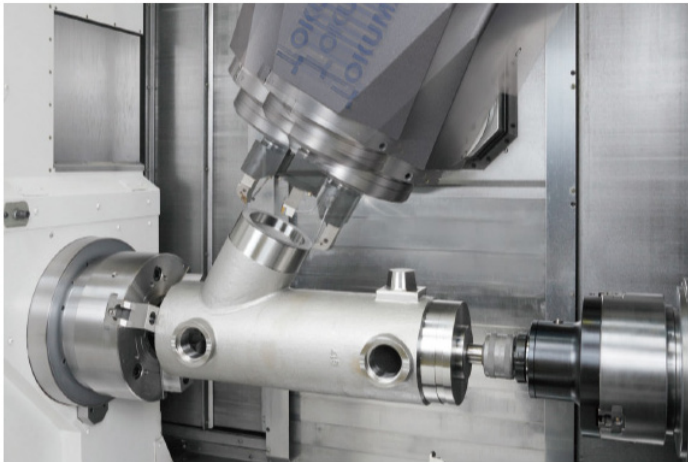
多数复合类机床兼具五轴加工中心和车削中心的模块化设计特点，提供了诸如铣削主轴、第一主轴、第二主轴、下刀塔、刀库、尾座、自动上下料、数控系统等多种可选配置，既赋予了机床丰富的综合加工潜力，给客户带来了灵活的可选择性。

三、典型展品

（1）山崎马扎克（中国）有限公司 INTEGREX i-250H S AG 混合式铣车复合加工中心：车削主、副主轴端面最大距离为1500mm，第一/二主轴（车铣）最大转速4000r/min，功率分别为30/26kW，铣削主轴最大转速12000 r/min，功率24kW，配置HSK63A主轴38把刀库，第一/二主轴分别选配了8寸中空卡盘。选配了雷尼绍RMP60测量系统，X/Y/Z轴选配光栅尺进一步保证了稳定的高精度加工；配备V轴控制功能，可实现全能自由车削。机床可搭配GL系统或定制自动化，实现无人运转。搭载了马扎克Smooth AI系统，也是“DONE IN ONE”理念的最佳体现。它将齿轮加工功能和测量功能融合在车铣复合加工机上，可以实现3种齿轮加工方式，如：刮齿加工、滚齿加工、铣齿加工。配置新型平行式

下刀塔，可在下刀塔上配置中心架，两个车削主轴卡盘卡爪可配置自动更换装置，可配工件卸料器、工件搬运装置，可配备长钻刀具的第二刀具库，并可进行该刀具自动更换。

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

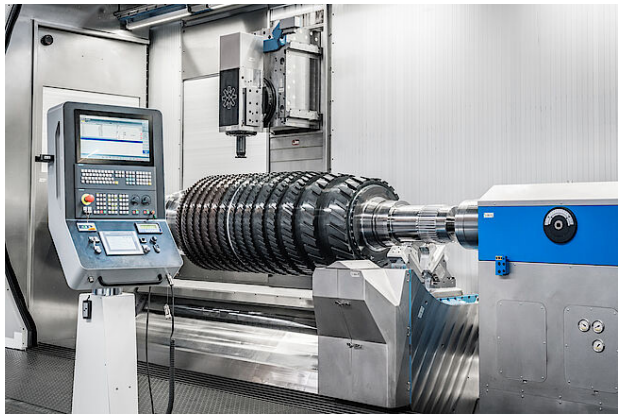


(3) 因代克斯贸易(上海)有限公司 INDEX G220 铣车复合中心：主轴和副主轴的通孔直径为 $\phi 76\text{mm}$ ，最高转速为 6000 r/min 。卡盘最大直径 $\phi 230\text{mm}$ ，12个动力刀位，每个都为VDI 30接口并带W齿，具有五轴联动功能。具有高刚性阻尼的人造大理石整体床身，并在X轴和Z轴上具有大尺寸直线导轨。三个滑台以及多达169个刀位的刀库能够在复杂工件的完整加工中提供最大柔性，总计16个运动轴确保了工件加工的多种可能性。具有宽敞的加工区域，加工长度可达 900mm ，三把刀具可以同时加工。光滑的垂直床身确保了最佳的排屑流畅性。排屑器可以根据客户要求安装于机床左侧或右侧。

www.cmtba.org.cn



(4) 奥地利魏因加特纳机械制造有限公司 mpmc 700~1200系列万能铣车复合加工中心：最大车削和铣削直径可达 $\phi 2800\text{mm}$ ，最长加工长度可达 20m 。能够加工达 80t 的超大工件。床身从 60° 调整为 45° ，保证流畅排屑的同时，底盘更低，刚性更强，集成旋风铣工艺，通过自动头库快速切换车铣工艺和旋风铣工艺；工作区顶部实现机械手飞速换刀，并可以随动送刀、立换立切；带缓存区的两侧自动刀库，及自动头库，按需配置。每台mpmc机床均配备有pick up系统，并提供一系列存放方式。可生产发电机轴、注塑机筒、塑机螺杆、挤出机螺杆、曲轴、起落架、燃气和蒸汽涡轮轴、大型压缩机轴、印刷胶辊、轧钢辊和其他车削和铣削部件。



(5) 富信国际贸易有限公司 HYPERTURN 65 PM 带桁架EMCO铣车复合加工中心：双主轴、双刀塔配Y轴，上方刀塔演化成加工中心的铣削头，铣削头高功率、高转速、带B轴、带刀库，构成了一台9轴5联动的铣车复合加工中心。床身最大回转直径 $\phi 500\text{mm}$ ，最大棒料直径 $\phi 65\text{mm}$ （可选 $\phi 76/\phi 95\text{mm}$ ）。依据VDI/DGQ3441标准，直线轴定位/重复定位精度 $0.005/0.003\text{mm}$ ，旋转轴定

位/重复定位精度为 $9''/5''$ 。主、副主轴可实现工件自动对接；铣削主轴转速为12000转的高功率电主轴，配合HSK T63刀柄；B轴为力矩电机驱动，摆角范围为 $\pm 110^\circ$ ；下刀塔是12刀位标准的VDI30车削中心刀塔，可12刀位全部配动力刀座，下刀塔有利于内孔的加工特别是精车精镗，及高要求的外圆车削，可以安装防震镗杆，可以当尾座，可以安装中心架；配置20个托盘库的桁架机械手。可进行高速铣削、钻削也可进行车削，在一台机床上可自动完成一个零件的六面所有铣削和车削的车铣中心（包括空间曲面和斜孔）加工零件的圆度可达到0.0005mm。



(6) 迪恩机床(中国)有限公司 SMX 2100ST 铣车复合加工中心：最大车削直径 $\phi 600\text{mm}$ ，最大车削长度1040mm，标配卡盘尺寸8"。机床共有9个轴，采用正交Y轴结构，可将加工空间最大化，通过优化的冷却解决方案和智能热补偿将主轴和进给轴的热位移最小化，配置12位高刚性伺服刀塔，前置式刀库和方便的ATC操作面板，便于维护和维修刀具。结合左右主轴、B轴铣削功能和下刀塔，具有更高的多任务处理能力，适用于更复杂零部件加工。

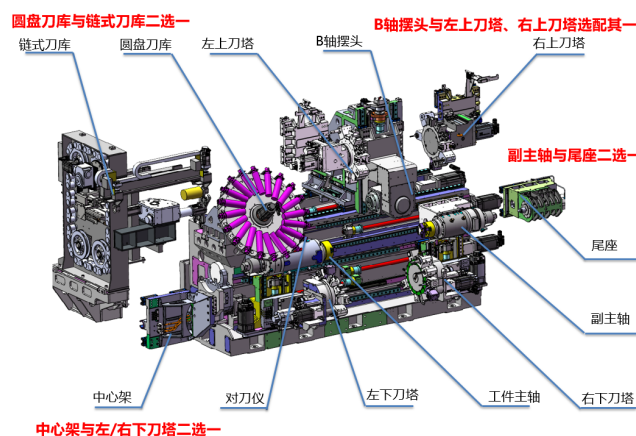


(7) 秦川机床工具集团股份有限公司 BHR700V卧式铣车复合加工中心（宝鸡机床）：床身上的回转直径

$\phi 700\text{ mm}$ ，最大加工直径 $\phi 700\text{ mm}$ ，最大加工长度2594mm。采用卧式对列双主轴布局，上刀塔为回转B轴，下刀塔为卧式动力刀塔型结构，机床具有5轴联动功能（X、Y、Z、B、C），车铣复合加工。主副主轴与上下刀架结构，采用平床身和立柱正交的主机结构，Y轴加工范围大；滚子凸轮+伺服电机驱动B轴单元；车铣共用链式刀库；铣主轴、车主轴内置电机、滚珠丝杠采用强制冷却系统。特别适合复杂轴类零件等精密车、铣复合加工。

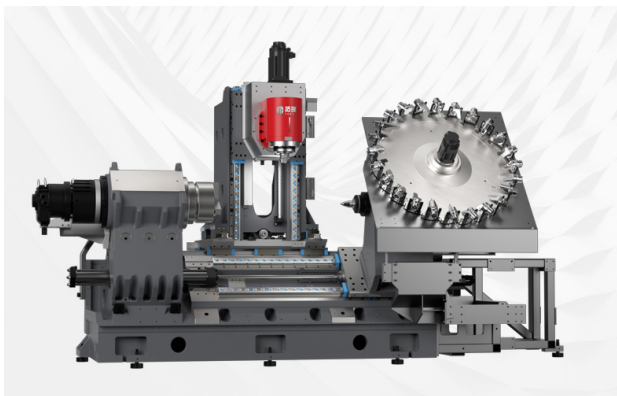


(8) 科德数控股份有限公司 KCX 1200 TM 五轴卧式铣车复合加工中心 最大加工直径 $\phi 400\text{ mm}$ ，最大加工长度（两卡盘支撑时）1200mm。配置对置的双车削主轴、双下刀塔以及铣削主轴。整体顶置式正交结构设计，导轨采用直线滚柱导轨，增加了机床结构刚性；运动部件远离切削区，降低了切屑、切削液对导轨和丝杠的污染。车削主/副主轴箱均采用内冷却力矩电机，同时配备高精度电磁角度编码器+液压夹紧，实现C轴高精度任意角度定位，提高铣削精度。控制系统采用科德GNC62系统，实现高速的CNC功能，可同时控制十六轴，五轴联动。可选配BMT65动力刀塔、编程尾座顶尖，尾座的顶紧力能够跟零件直径尺寸大小进行编程控制。

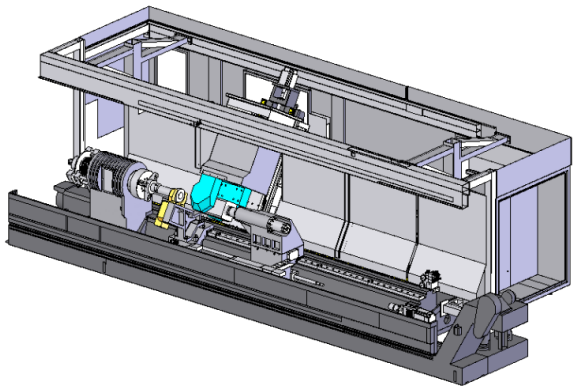


(9) 上海拓璞数控科技股份有限公司 i500 五轴铣车复合加工中心：最大车削直径 $\phi 500\text{mm}$ ，车削电主轴最

大扭矩420N·m，最大棒料直径 $\phi 74\text{mm}$ ，铣削主轴最高转速12000 r/min，摆动轴转动范围 $\pm 120^\circ$ 。机床为卧式复合机床结构，配备全闭环反馈系统，可实现铣削加工、定轴斜面加工及5轴联动加工，通过主、副主轴交换实现6面体工件加工。结构分析设计以及整体铸造确保高刚性和高精度，五轴联动加工的车铣复合主轴可应对多样化零部件的高效加工，伺服刀库可实现快速可靠换刀，五轴联动加工实现更广的应用范围，可满足航空航天、机床工具、新能源汽车、光伏光热等行业复杂特征零件的高效批量生产和精加工。

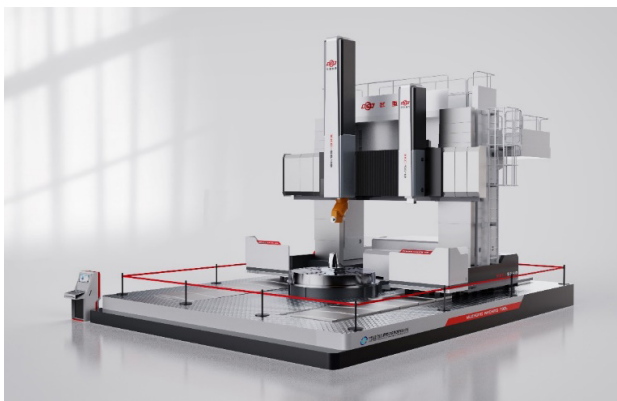


(10) 山东普利森集团有限公司 CH6163-5/ST 铣车复合加工中心：是集车削、铣削、钻削、镗削、攻、铰、扩等功能于一体复合机床。总体采用传统卧式车床布局形式，机床床身采用高刚性的前倾 30° 后倾 15° 斜床身结构，导轨为特殊设计的大尺寸重载荷滚柱直线导轨，床身左端为主轴箱，主轴具备C轴功能，主轴传动系统为交流主电机通过同步带带动主轴，右端为尾座。B轴刀架，可沿纵向（Z轴）、横向（X轴）、径向（Y轴）进行直线运动和B轴的摆动回转运动，B轴还可以 5° 或任意角度为单位分度。Y轴为X和U轴插补虚拟轴。尾座进给为伺服电机+丝杠驱动。在斜滑板后面配备一个40把刀位的盘式刀库。



(11) 天水星火机床有限责任公司 FTM 1250X6000mm 大型五轴铣车复合加工中心：过刀架最大加工直径 $\phi 1250\text{mm}$ ，加工工件最大长度6000 mm，加工工件最大重量15t，主轴前轴承直径 $\phi 280\text{ mm}$ ，主轴通孔直径 $\phi 100\text{ mm}$ ，主轴最高转速1000 r/min，主轴最大输出扭矩12kN·m，主轴伺服电机功率55kW，动力头刀柄接口CAPTO C8，刀库刀位数40把，液压中心架范围（夹持最大直径） $\phi 510\text{mm}$ 。该机床能够实现X、Y、Z、B、C五轴联动，车削主轴配备C轴分度功能，铣削主轴配置B轴摆动功能，X、Y、Z、B、C轴全闭环控制。配有自定心液压卡盘、自定心液压中心架、程控液压尾座、B轴、动力刀塔和刀库。用于高强度钢制零件的车削、钻孔、铣削、螺纹、攻丝及磨削等加工。

(12) 武汉重型机床集团有限公司 XKC5640x2 龙门移动双刀架铣车复合加工机床：最大车削工件直径 $\phi 3000\text{mm}$ ，最大车削工件高度2750mm，最大车削工件重量40t，主轴最大铣削转速4000 r/min，五轴联动，铣车复合加工中心；直线轴定位/重复定位精度0.012/0.010mm，旋转轴定位/重复定位精度 $8''/5''$ 。九轴五联动铣车复合加工中心，可以选配铣刀库、车刀库、工件测量等功能。双刀架，铣刀架和车刀各有一个独立溜板，可分别参加进给运动，采用静压导轨，承载能力大，运行平稳。一次装夹，可进行车、铣、镗、磨等工序，通过五轴联动的方式，可完成内外圆柱、内外圆锥、平面、沟槽、锥面、圆弧面、螺纹以及各种旋转曲面体等车铣复合加工能力，适用于铸铁、钢及合金钢、不锈钢和钛合金各种黑色金属、有色金属、非金属材料等加工。



(13) 辽宁西格马数控机床有限公司 VT50M立式铣车复合机床：最大回转直径 $\phi 800\text{mm}$ ，最大车削直径 $\phi 680\text{mm}$ ，最大车削高度600mm，车削主轴最高转数1500r/min，铣削主轴最高转数8000r/min，卧式液压+伺服12工位刀塔，BT40/16位刀库。采用整体床身、动立柱

型结构设计，卧式12工位液压伺服刀塔，BT40型16位刀库，具有车削主轴和铣削主轴双主轴，除满足正常的车削功能外，还可以对工件的轴向进行大扭矩的铣削、钻孔、攻牙等工序进行重切削加工。

(14) 安徽力成智能装备股份有限公司 VQX125 球笼硬车硬铣复合机床：最大夹持直径 $\phi 110\text{mm}$ ，夹持工件长度 $60\sim 180\text{mm}$ ，球道内径(PCD) $\phi 47\sim \phi 95\text{mm}$ ，工件内球径 $\phi 45\sim \phi 90\text{mm}$ 。采用高精度分度旋转复合工件主轴、重型带光栅反馈的摆动工作台、高刚性切削电主轴、内置式全套工件自动上下料及检测装置、对话式操作界面。主要应用于汽车等速万向节钟形壳或星形套的一次装夹球道硬铣和球面车削的倒立式复合加工。

(15) 瑞士斯达拉格公司Bumotec 191neo 五轴联动车铣复合加工中心：是一款经典高精度高效的复合加工中心，在机床内部实现复杂零件的全部加工，具有极为通用的模块化结构，针对各种加工任务打造多种类型的机床。主轴通孔直径有 $\phi 42\text{mm}$ 、 $\phi 50\text{mm}$ 和 $\phi 65\text{mm}$ 三种规格，背面加工单元有四种不同的类型：“P”型-单虎钳机构、“PRM”型-多副虎钳和夹具组合、“R”型-立卧转换副主轴结构、“RP”型-副主轴+虎钳或顶针结构。Bumotec 191neo向市场提供的不是一种单一的生产方式，而是基于一个平台的12种配置。比如Bumotec s191包括配7个数控轴和3个主轴，能够实现7轴任意5轴联动加工。副主轴可沿 45° 斜面进行立卧转换，主轴采用动静压轴承（陶瓷球），主轴的润滑和密封有独特的方案。主轴转速从0到 30000r/min 只需1.5s，B轴从 0° 摆动到 90° 只需0.35s，加速度1.2g，快速进给 50m/min ，换刀1.8s。机床上能配置最多90刀位的刀库，内置了一个刀具断裂检测装置，检测和加工能同步进行。再加上工件托盘库或者模块化或定制的机床人自动化单元，可以实现24小时/7天的生产。



(16) 瑞士威力铭-马科黛尔公司 408MT铣车复合加工中心：是一款高度融合车削和铣削性能的七轴五联动复合加工中心，尤其适用于加工具有复杂几何形状棒料或零件，工件一次装夹能完成多个面加工，再通过全自动背面加工，完成工件六个面加工。最大棒料直径为 $\phi 36\text{mm}$ ，全自动背面加工单元安装在U轴上，有 0° 和 90° 两个工位，配置自动定心虎钳或夹持器，应用内部或外部夹紧方式，压力可编程控制；高精度卧式轴分度头具有双重功能，低速运转时是个转台，高速运转时是一个车削主轴，车削主轴最高转速为 6000r/min ；铣削主轴为高精度的电主轴，主轴最高转速为 30000r/min （可选配 42000r/min ），主轴接口为HSK-E40、HSK-A40或Capto C4，电主轴安装在摆动B轴上，B轴旋转范围为 $-15^\circ\sim 100^\circ$ 。刀库容量为48把（可选配72把），刀对刀的交换时间为0.8s。能配置个性化的自动化系统或机器人，达到大批量加工效果。机床结构紧凑，占地面积为 2.8m^2 ，是制表、珠宝、医疗和精密模具等领域精密零件加工的选择。

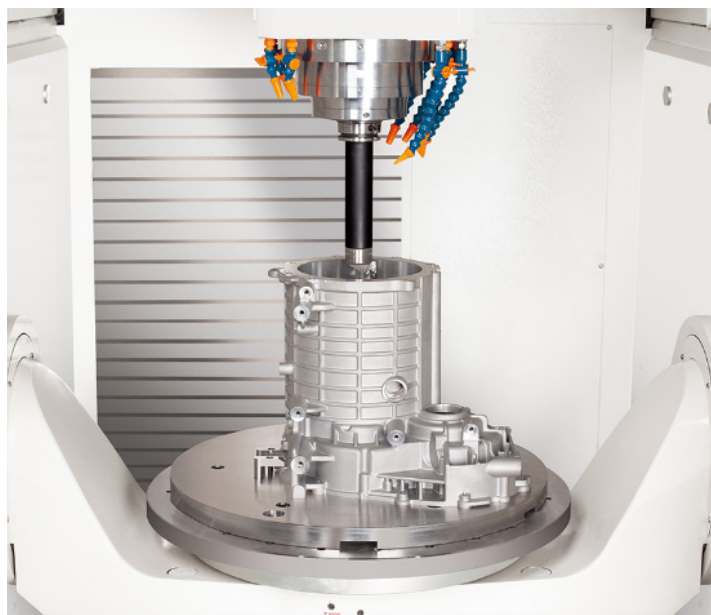


(17) 格劳博机床（中国）有限公司 G550T 五轴联动车铣复合加工中心：首次在中国展会上展出。托盘尺寸 $630\text{mm}\times 630\text{mm}$ ，最大旋转直径 $\phi 900\text{mm}$ ，电主轴最高转速 10000r/min / HSK-T100/340N·m/66 kW (40% ED)。卧式主轴可达到同类机床中最长Z轴行程，机床床身采用焊接设计，三个直线轴的独特布局将导轨与工作点之间的距离降至最小，使机床具有最佳稳定性，“隧道”设计可使电主轴和刀具完全缩入机床尾部，在轴任何位置利用最大长度刀具加工大尺寸工件；A'轴旋转可达 230° 的车铣工作台。机床驱动设计基于Y轴两个对称分布的滚珠丝杠与配重补偿来实现，A' / B'轴上的扭矩电机可进行动

态无损的车铣复合加工。选装冷却设计确保了工件、刀具和机床准确的温控。适用于航空航天，机械制造，工具模具，汽车工业，能源技术等行业。



(18) 北京精雕科技集团有限公司 JDMRMT600 精雕五轴车铣复合加工中心：工作台直径 $\phi 630\text{mm}$ ，X/Y/Z 轴工作行程 670/840/500mm，A/C 轴回转角度 $-120^\circ \sim 90^\circ / 360^\circ$ ，主轴最高转速 15000r/min，X/Y/Z 轴快速移动速度 48m/min，A/C 轴快速旋转速度：60/900 r/min，X/Y/Z 轴最高切削进给速度 32m/min，A/C 轴最高切削进给速度 60/900 r/min，X/Y/Z 轴定位精度：0.003mm，A/C 轴定位精度 8"。配置 $\phi 180$ 铣车复合高速精密同步电主轴，可装夹车刀、铣刀，并具有中心出水功能。配置北京精雕在机测量系统，对工件、刀具、机床状态进行在机检测与修正。适用于壳体类、轮盘类、套类等含有回转体特征零件的五轴高效铣车复合加工。机床采用了工序集约的设计理念，具有铣、车、镗、钻、铰、攻等复合加工能力。



www.cmtba.org.cn

(19) 孚尔默（太仓）机械有限公司 VHybrid 260 数控机床：最大刀具直径 $\phi 150\text{ mm}$ ，最大 3 刀具长度 60 mm，最大砂轮和电极直径 $\phi 150\text{ mm}$ ，磨削主轴转速 8500 r/min。通过一次装夹，即可完成对硬质合金以及 PCD 刀具的磨削或电火花放电加工。通过两根水平主轴垂直布置的方式实现多重加工。在 VHybrid 260 上，下部主轴既可用于磨削，也可用于电火花放电加工，而上部主轴只预留用作磨削。在对 PCD（聚晶金刚石）刀具进行电火花放电加工时现在可达到 $0.05\text{ }\mu\text{m}/\text{Ra}$ （微米/中心粗糙度值）的表面质量。可选的 V@ boost 解决方案专为直径 1.0mm 以上的钻头和铣刀设计。



(20) 埃马克两合责任有限公司 VL 200 GT 立式车磨复合加工中心：卡盘直径 $\phi 210\text{ mm}$ ，回转直径 $\phi 270\text{ mm}$ ，工件最大直径 $\phi 160\text{ mm}$ ，工件最大长度 100 mm，X/Z 轴行程为 1700/250 mm。通过硬车和磨削的组合加工，缩短了加工时间，工件表面不会有车削纹路。在进行磨削时，材料磨除量非常微少，砂轮磨损更加缓慢并且无需经常修整，由此大大提高了生产效率。一次装夹，完成全部加工，硬车工艺能容易解决工件背面因难于触及而很难磨削的问题。□





不断进化的智能工厂

——从大隈梦幻工厂的案例中学到什么？

庆应义塾大学管理工学系 松川弘明 教授

智能工厂很难定义。至少笔者无法定义。因为智能工厂是一个相对概念。甚至连智能(smart)这个关键词的正确定义都没有。

查了一下才知道，智能(smart)这个词是从第一次世界大战结束时开始被用于产品和设备的。有人致力于开发能根据军舰的移动改变鱼雷方向的技术。发射缠绕着长线圈的鱼雷，鱼雷解开线圈向目标前进。军舰一旦改变方向，就通过线圈向鱼雷发送电信号，改变鱼雷的方向。虽然不是什么革新性的技术，但由于命中率有了飞跃性的提高，所以用“智能(smart)”这个词来和普通的鱼雷区分。从ENIAC最初用于计算炮弹的弹道来看，其目的无疑是为了提高炮弹的命中率、节约炮弹，或者提高攻击的操作效率。也就是说，智能的意思是与传统方法相比效率显著提高，而现在智能的本质还是效率吗？

那么，回到智能工厂的话题，工厂之所以智能，其必要条件是与过去的自己相比，效率显著提高。另外，与竞争对手相比，也要求生产效率显著提高。再者，正如科学技术的发展是无限的一样，生产系统的发展也是无限的，由此不难想象，智能工厂的发展也是无限的。也就是说，如果智能(smart)工厂不是潮流术语，那么至少它必须是与时俱进的工厂。如果不满足进化的条件，智能工厂就会变为和有保质期的食品一样。

大隈公司构建了名为Dream sight (DS)的智能工厂，关键的一点还在于使其不断进化。在构建DS1、DS2、DS3三个阶段智能工厂概念的背后，我认为大隈公司的决策者们意识到了进化这一新的竞争战略。

一、前言

到2023年为止，大隈公司是拥有125年历史的老字号企

业。1898年当时的公司名是“大隈面机商会”，以制造、销售制面机起家(见图1)。此后，1904年开始制造机床，1918年设立股份公司大隈铁工厂，开始制造销售OS型普通车床(见图2)，1937年成为日本国内生产额第一的机床厂。1963年开发了数控机床，1968年开始生产MCD龙门加工中心。之后开始了包括北美在内的全球业务，一边开发各种新产品，一边进行组织变革。2013年，复合加工机和数控车床一条龙生产工厂DS1(梦幻工厂1，见图3)已经竣工。此后，2017年DS2、2019年DS3竣工至今。



图1 制面机



图2 OS型普通车床



图3 梦幻工厂1 (DS1)

大隈的商品大致分为9个种类。包括超复合加工机、车床、磨床、五轴加工中心、复合加工机、加工中心、龙门加工中心、IT/CNC及自动化设备。从产品种类的名称可以看出，大隈的产品与其说是机床，不如说是加工中心，全自动地完成从原材料到零件的加工过程的超复合加工机，在加工精度、效率、环保等各方面都实现了高性能，是世界一流的产品。先进的MU-500VⅢ五轴立式加工中心如图4所示。



图4 5轴立式加工中心

那么，大隈是怎样制造如此高性能的加工中心的呢?在产品制造方面是否也做到了高精度、高生产率以及环保?

二、大隈的智能工厂

大隈的智能工厂有很多特点。其中之一就是由三个层次构成。3层次是由物理上不同的工厂DS1，DS2，及DS3构成，所以也可以说是不同的智能工厂，但是概念是相同的，构筑和运营也是体系化的，可以说是一个智能工厂系统。而且，客观地看，这种由物理上不同的工厂构成，在技术和管理两方面都被分层的工厂，可以说具有进化的结构。也就是说，现在的新技术会被将来的新技术所取代，所以用建设新工厂来代替构建智能工厂是错误的(并不是否

定建设新工厂)。我们在讨论智能工厂时，就要考虑如何将新技术融入到现在的系统中。从这个意义上讲，分层的智能工厂增加了采用新技术的选项，提供了缩短时间的条件，在进化的竞争中具有优势。

1.DS1

Dream site one (DS1)是2013年建造的智能工厂。从2013年公布德国Industry4.0战略来考虑，可以说大隈对世界的技术进步非常敏感，一直处于领先地位。厂房长350米，用于机床制造，包括从零件加工到产品组装的全过程，其中以制造中型金属加工设备为主。工厂屋顶安装太阳能发电板发电，现在销售给中部电力公司(1兆瓦)。大隈智能工厂的构建过程如图5所示。



图5 大隈智能工厂的构建过程

DS1的目的主要是提高设备的开工率：(1)利用数字数据开发新产品(前置加载);(2)搭载智能化技术的智能机床的开发;(3) 活用物联网俯瞰全局的整体优化的3个措施。

前置加载的主要目的是减少新产品开发中的返工作业，降低新产品开发成本，缩短开发周期。概念上是为了让产品开发的后工序，例如采购、加工、装配以及销售部门的相关人员从开发初期就参与进来，这有一个好处就是能从多种角度发现问题点，通过建设性的讨论交流，可以刺激创造性思维的诞生。特别是在生产阶段发现无法制造、无法装配、发生故障、成本增加等问题，并在设计阶段予以解决，不仅提高了产品的性能和品质，还有助于降低成本。实际上，产品制造成本的70%以上是在产品的设计阶段决定的，即使将资源投入到制造阶段的改善工作中，对成本的削减也是有限度的。

日本代表性研究者野中郁次郎先生提出的“BA”理论，本质上也是支持前置加载的。按照一定的标准来选择“BA”的人，同样的将他们的活动组织起来，一样可以对产生创造性思维的“知识”的形成做出贡献。

在灵活运用数字数据这一点上，大隈的前置加载这一先进举措，类似于PLM中的制造模拟。在计算机中即使不进行制造模拟，也可以利用数码技术将新产品的原型展示在显示器上，根据各部门的意见对原型进行修正等，在设计阶段发现问题并提出解决问题的方法，本质上也可以说是模拟制造。

在提高开工率的过程中，最重要的是缩短加工不同零件的准备时间。即使使用全自动设备，如果加工对象发生变化，加工程序的生成和切换、调整等也需要时间。这里会产生浪费。浪费有很多种类，等待和调整就是典型的浪费。为了避免这种浪费，我们可以使用ECRS的原理原则。也就是说，首先考虑的是消除（Eliminate），然后是组合（Combine），然后是顺序交换（Rearrange），最后考虑简化（Simplify）。ECRS虽然不是源自数学模型，但它是对前人多年经验的归纳总结，是一种在实际工作中非常有用的管理原理原则。通过智能机器和智能制造流程实现智能工厂的概念中，运用了上述管理的原理原则和公司内部积累的知识和智慧，在消除浪费上下功夫。该技术适用于加工设备、机器人、物流、进度管理等生产过程中的所有要素，其特征是对技术和管理的双重改善（见图6）。

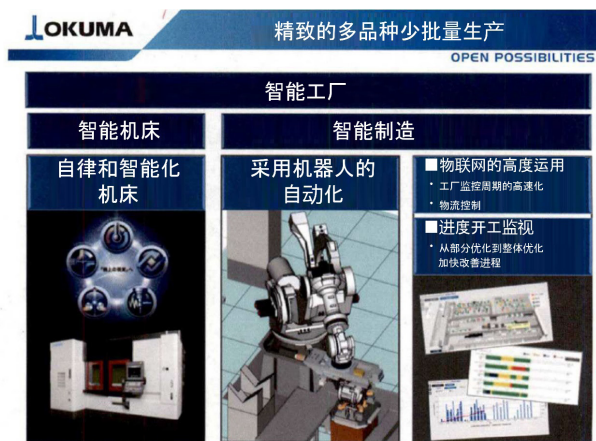


图6 为了消除浪费，需要改善技术和管理两方面

实现全优是DS1的第三个措施。全优是相对于部分最优的相对概念，不存在绝对的全优。原本在讨论最优化时，需要定义目的函数，并使用约束函数来决定保证最优化的边界。当然也可以不使用函数，但是需要确定目的，进行条件设定。在这个意义上，讨论全优时不能否定部分最优。虽然否定全优的人很少，但也有不少人在不知道全

优到底到什么程度的情况下追求全优。

重要的是，在工作任务来临时，不要把它分解后全部丢给各部门。为了以高质量、低成本、短交货期制造订单，必须将整个工厂作为一个系统，以自主分散的部分优化为模块，同时对整体进行监控和控制，使其达到最佳状态。在管理工程这一学科中有系统工程这一领域(例如庆应大学管理工程系的SHE (System and Human Engineering) 领域)，和固有技术中的控制工程学一样，要重视反馈。在生产管理中也有被称为进度管理的情况，但无论如何都必须从各工序等构成系统的各部分收集实绩数据(反馈)，为了达成当初的目标而发出控制指令。当加工对象多的情况出现时，要使控制指令最优化就变得难上加难，目前还没有好的工具。但是，在大多数情况下，如果反馈是正确的、及时的，那么经验丰富的管理者往往能够在有限的时间内将多种工具组合在一起，迅速得出最佳方案(虽然不是最优方案)。大隈的“基于物联网支持PDCA循环的可视化系统”就是为了支持整体最优化而制作的工厂管理工具。

支持PDCA循环的可视化系统是为了收集所有工序的数据而设计的，它承担着工厂整体系统的反馈功能。当构建智能工厂成为公司经营的议题时，大部分企业都会最先讨论“可视化”。虽然也有收集工厂设备开工率的数据，让主管的公司领导看到生产情况的事例，但如果这只是为了给领导看的可视化，那就大错特错了。因为“可视化”的本质是反馈和控制。根据反馈的数据，要决定由谁下达什么样的指示，从这个意义上来说，“支持PDCA循环的可视化系统”可以说是进一步的可视化举措。特别是在可视化过程中，重要的是可以让大家看到什么，不仅要看到开工率，还要将无法产生附加价值的开工运转也“可视化”，在这一点上，大隈的“可视化系统”值得高度评价。如果能准确地获得产生附加价值的时间数据，就可以对数据进行分析，改变设备的控制方式，改变工厂整体的运营机制，实现设备应用的最优化和工厂整体运营的最优化。笔者强烈地感受到通过运用先进技术实现管理的作用。

2.DS2

DS2是在2017建造的智能工厂。最初的目的是以工厂整体的最优化为中心的自动化和物流改革。具体措施是，高度利用与工厂控制器相结合的物联网，并且利用机器人在3天(周五至周日)内进行无人作业。

DS2的厂房长125米，进深88米。制造的产品是二轴车床的组成部件，分为大中小三种，大型部件的重量超过1t。图7展示了大隈DS2的加工对象部件示例。

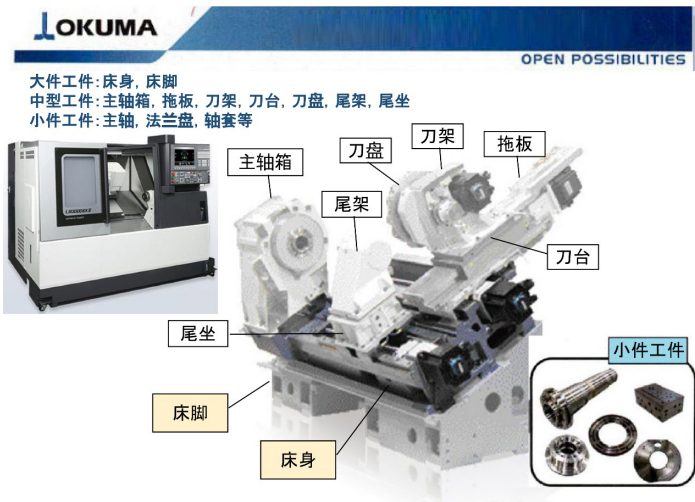


图7 大隈DS2的加工对象部件示例

工厂内的温度是自动调节的，夏季26℃，冬季18℃，误差是±2℃。因为冷空气在下面堆积，所以从上往下喷射冷风，维持工作空间的温度。在工厂的设计上，以无异味、干净整洁、井井有条为理念，重视工人的健康和舒适。为此，在所有加工设备的切削空间上都增加防护罩，为工人投入了成本，这一点给我留下了深刻的印象。这与笔者担任主审的“新一代智能工厂研究会”的主张一致，再次确认了对工人不友善的工厂不应该被称为智能工厂。

虽然设置了可视化显示器，但这是工厂控制系统的功能之一。将反馈数据进行分类、加工后显示在显示器上。显示器上显示着工厂的布局，上面是设备的图标，运行时是绿色，停止时是黄色，虽然运行，但表示需要更换刀具或发生故障时是橙色，报警停止时是红色。如果想确认设备的详细情况，点击图标即可。例如，设备在运行，即使是绿色的情况下，点击图标查看详情，就会显示切削时间和空闲时间，可以统计分析附加价值时间。即使设备在运行，如果不能产生附加价值的空闲时间长的话，就意味着设备的使用方法有问题。解决这个问题的方法之一是管理技术。虽然可视化系统作为连接器与设备一起销售，但如果在数据接口上下功夫，也可以作为通用系统销售。

生产系统中使用的设备大部分是MC(加工中心: Machining Center)，机器人从刀库中选择刀具并将其配置在MC加工设备上。刀具的磨损是通过加工数量、难易度、时间等参数计算出来的，剩余寿命也是利用这些数据通过设备管理模型科学计算出来的。剩余寿命在刀具寿命管理系统上用颜色表示。例如剩余寿命31%以上用绿色表

示，30%用黄色表示，20%用橙色表示，0%以下用红色表示(数据是线性变换后的结果)。像这样按照颜色进行辨别，可以从容地对刀具进行维护，不仅保证了加工质量，还确保了设备的工作时间。图8展示了刀具寿命管理系统画面的示例。



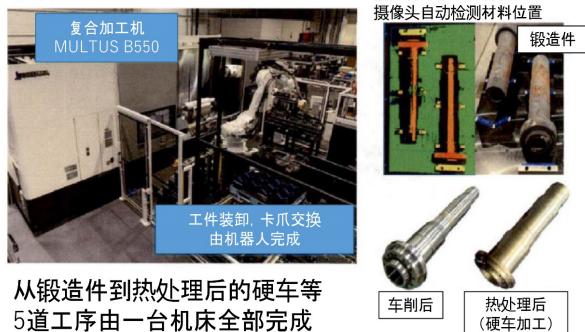
图8 刀具寿命管理系统画面的示例

因为刀具与刀套有关，所以要事先确立关系。如果计算机能够区分哪个刀套可以使用哪个刀具，那么机器人就可以选择最合适的刀具，这可以说是智能的。

大隈的加工设备大多是自制的，这也是一大特点。这也许是采取先进措施的日本制造商所能看到的特征。大隈公司80%的设备都是在公司自制的。也许有人会说因为是机床制造商所以应该理所当然，但是在制造机床的设备中需要大型设备等，和一般零件加工用的机床不同。实际上，35年前的德国制造的大型设备至今仍在使用着，当然协议和指令都不一样。因为发生故障时必须自制零件，所以需要付出很大的努力。电气系统也很复杂，由“老手”负责技能传承，在有效维护的同时制造大型零件。

机床的床身和主轴都很重。这些大零件的加工需要大的夹具，准备工作很花时间。如果使用手动夹具的话需要20分钟以上，但如果换成液压夹具的话，5分钟就能完成步骤，进行业务改善，周五上午完成3天的准备工作，周六周日进行无人加工。当然，因为建立了发生故障时可以联系相关人员的管理体制，所以并不是因为是无人加工就把所有的事情都交给机器。夜间无人加工的原理也是一样。图9展示了实现夜间和假日无人运行的范例。加工对象零件的装卸和卡爪交换等前后零件加工之间的准备工作都是由机器人自动完成的。

车床主轴加工的换装夹和搬运的自动化, 实现无人运行



从锻件到热处理后的硬车等5道工序由一台机床全部完成

图9 实现夜间和假日无人运行的机制示例

自动准备工作不仅适用于大型零件加工, 也适用于其他加工工序, 整个工厂都可以无人操作。图10展示了自动加工准备的范例。

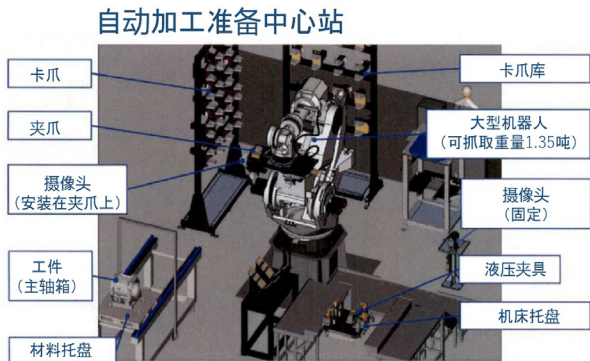


图10 自动加工准备的结构

在切削加工中, 速度和刀具的进给是重要的参数, 这种进给力在粗加工和精加工中是不同的。粗加工和精加工需要改变刀具, 加工时传递给刀具的力、零件的转速和扭矩等也需要改变。这个部分的自动化对加工效率和开工率有很大影响。笔者曾在某工厂工作过, 为了设定注塑机的参数, 准备时间有时需要几天。即使是有经验的老手, 当零件发生变化时, 最优条件也会发生变化, 因此无法一次性选择参数最优组合。由于参数设定的组合决定了产品的质量, 光是消除缺损、毛刺、烧损等典型的不良现象就要花上一整天的时间。金属加工也一样, 零件的质量取决于加工程序中的参数, 因此选择最佳参数组合并不简单。

在切削加工方面还有一个很大的问题。也就是切削会产生很多的切屑。加工时在切削面上使用冷却用油, 这种油也有冲洗切屑的作用。切屑与油一起流入切屑箱, 油被回收, 经过过滤等处理后再次作为切削用油被利用。另一方面, 切屑作为资源也想再利用, 不过, 粗加工和精加工出来的切屑的大小不同。这种大小不一的回收再利用会影

响逆向物流的效率, 所以大隈将大的切屑碾碎成小的, 和小的切屑一起用风力吸走后运到外部。

机床零件制造中需要使用很多刀具。例如, 在加工某个零件时, 有7道工序, 使用70种刀具(刀具等)进行加工, 但每次更换刀具时, 机器就必须停止。停止机器也就意味着开工率下降。因此, 大隈从力学角度分析并改良了刀头形状, 将7道工序减少为4道工序的同时, 在MC中加入5轴机, 提高了MC的开工率。虽然5轴机和多品种对应头不容易组合, 但是通过不断的改良, 减少了刀具的更换次数, 提高了加工效率。值得一提的是, 加工精度也提高到了百分之一毫米, 质量得到了提高。

在复合车床上, 为了装夹圆形材料使用液压卡盘, 但是需要根据材料直径更换卡盘的卡爪, 这个卡爪的更换是由配备力觉传感器的机器人自动化执行。大机器人和小机器人协同进行工作, 可以实现加工多品种的零件。

在用螺栓将工件固定在MC用夹具上时, 螺栓的拧紧和松开工作也由机器人自动化完成。

在加工车床主轴的复合加工机器人单元中, 也使用机器人进行卡爪的交换, 实现了对多种主轴的连续加工。也就是说, 大零件和小零件都可以加工, 按照加工工序顺序排列主轴, 运到加工设备旁边。主轴的搬运使用了无人叉车。在使用复合加工机·MC的4个加工单元中, 无人叉车活跃着, 包含从选择应该搬运的零件, 到重新安排的顺序、工件的投入顺序以及无人搬运等, 全部都由“工厂控制器”进行管理。

大隈的智能工厂绝不是为了自动化而自动化。特别是精密加工, 要求1微米的精度, 这需要有10年以上经验的老手发挥力量。虽然在研究层面上已经开发出了可以举起薯片的机械臂(例如庆应义塾大学理工学部SD工学系), 但在实际工作中还无法以微米单位的精度安装刀具。零件的更换也是一样。现在有几十人(为了保密, 不公布人数)在精密加工的部分工作, 其中约半数是老手, 全部拥有国家鉴定资格。

生产周期为2~3个月, 为了缩短这个周期, 无论如何都必须对零件进行预估生产。在管理工程中, 将零件的预估生产和产品的订单生产称为延期制造(Production Postponement)。也就是说, 虽然最终产品的规格不同, 但在产品中使用的零件相同的情况下, 要预测几种产品的销售情况, 预先制造共同的零件。为缩短生产周期做出巨大贡献的原理原则。如果能够积累制造周期等生产流程中必要的数

据, 就能够使用最优化模型最佳地决定预估生产和订单生产的分界线(出装点)以及预估生产量。

机床的床身等大型零件加工需要大型夹具。在大隈,

使用了小车型自动设备来更换夹具，但考虑到故障和维护，设置了2台设备。如果只考虑成本，一台就足够了，但在风险管理中，建议保持系统的冗余性。这是在风险发生概率低但其冲击力大的情况下采用的方法，对此也可以选择怎样的冗余性，以设备的数量为对象，可以计算最合适的数量。

在加工时的刀具和夹具的安装方面，视觉摄像机大显身手。例如，在加工铸件时，利用视觉摄像机进行三维定位，并据此安装铸件。由于更换刀具和夹具时，需要知道加工对象零件、刀具和夹具等的重量，因此负载传感器也被灵活运用。图11展示了利用视觉摄像机的位置检测、卡爪交换和工件安装的示例。

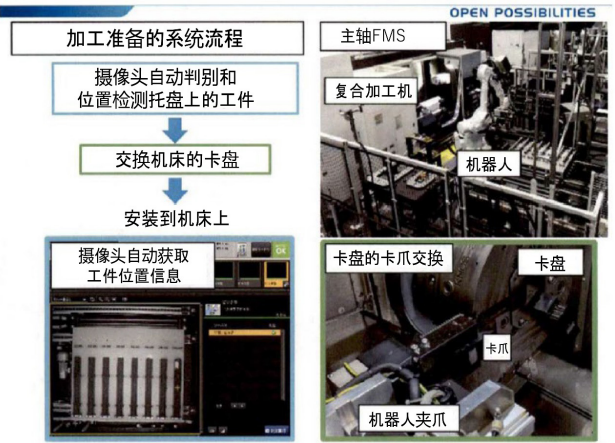


图11 利用视觉摄像机的位置检测、卡爪交换和工件安装的示例

另外，根据生产计划需要将零件投入到各个系统或MC中，如果经常在加工设备旁边放置WIP(work in process)零件的话，会影响生产线的物流效率和库存管理的精度。为了解决这个问题，如何进行库存管理，如何设计生产线的物流变得非常重要。大隈在生产线旁边设置了长的立体自动仓库，加工完的WIP先入库管理。图12展示了立体自动仓库和内部物流的示例。

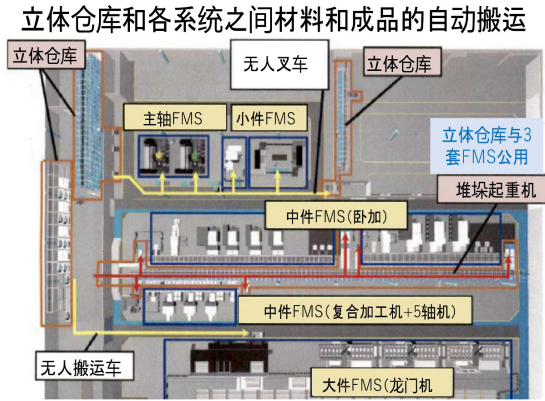


图12 立体自动仓库和内部物流的例子

物流包括包装、装卸、保管、运输、配送5个基本功能，这不仅限于采购领域的内部物流和产品销售领域的外部物流。在智能工厂中，重要的是包括公司内部物流在内的工厂设计和运营。笔者曾在经济产业省的调查工作中，参观了德国慕尼黑工业大学的物流工学研究室，并与主任交换了意见，那个研究室专门研究内部物流效率。当时的主要任务是研发嵌入IT技术的新型物流设备，但大家都认为也应该研究运营优化方面的问题，因此一拍即合。大隈的DS2就是内部物流，就是包括生产线的库存管理和物料处理在内，以智能化为目标，重新认识了内部物流的重要性，让企业受益匪浅。当然，并不是只有自动仓库才是大隈的内部物流。大隈的内部物流包含AGF和AGV，控制与生产工序同步，以提高工厂整体的生产效率为目标来设计、运营、改善工厂，这一点很有趣。

DS2的运营有很多先进的措施，刀具预置器、刀具的一元化管理就是其中之一。因为白天工作人员会查看设备，所以必要的准备等工作都由工作人员进行。工作人员在上班时间内，也会安排晚上的工作量，所以晚上加工设备和机器人会根据白天准备好的刀具和加工计划进行加工。在这样的机制下，DS2成为了24小时作业的工厂。当然，车间管理者决定是否需要24小时作业。

关于在哪个加工中使用哪个刀具有各种各样的选择，如果选择错误就会发生刀具的损坏和产品的不合格。在多个工序中需要选择多个刀具的情况下，通过正确选择组合、做好刀具的维护等措施，大隈成功地延长了刀具的寿命。

3. DS3

DS3是位于离总公司工厂20公里处(岐阜县)的最新工厂。在这里，通过智能机器进行高精度的零件生产，不仅是刀具的更换，工件装卸也由机器人自动完成。可视化不仅是加工设备，搬运设备和自动仓库的状态也被可视化。图13展示了显示工厂所有设备状态的示例。

除了显示机床状态，还能显示机器人和搬运设备的状态



图13 展示工厂所有设备状态的例子

对于刀具也建立了数据库,以一个单位来管理刀具的寿命。刀具寿命与使用时间,特别是切削时间(产生附加价值的时间)有关,因此可视化所需的数据需求是一致的。用这个数据也可以预测刀具的寿命。在管理工程学中进行设备管理的研究,已知的方法是通过采集平均故障间隔等数据来计算设备和刀具的最佳维护时期。在大隈,基于这种科学的管理方法,构建刀具管理系统,和设备一样对刀具进行PM(预防保全)管理。图14展示了刀具管理系统。

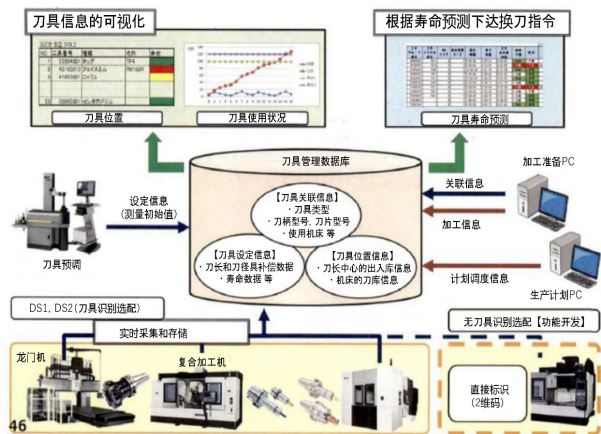


图14 刀具管理系统

对刀具的维护和废弃时间也进行了进一步的研究,由于磨损的程度不仅受切削时间的影响,还受工件材料的硬度和使用环境(温度等)的影响,因此要对每个刀具进行寿命管理。也就是说,即使是同时开始使用的刀具,根据切削时间和工件的硬度等不同,其寿命也不同。判断寿命什么时候结束是很重要的。

另外,由于刀具有时会突然发生故障,所以捕捉故障的预兆很重要。大隈通过AI模型学习工件的质量数据,找出故障前兆的模式,一旦出现这种模式,就停止设备更换刀具。图15展示了基于AI的钻头故障预兆发现的图像。

监视钻孔加工状态,发生异常时机床即使退避

【目的】

保护工件和机床,节省刀具使用不当的刀具费

【功能简介】

- 加工异常数据的人工智能数值化,越限自动退避
- 刀具磨损进度的图表可视化,协助设定寿命的优化

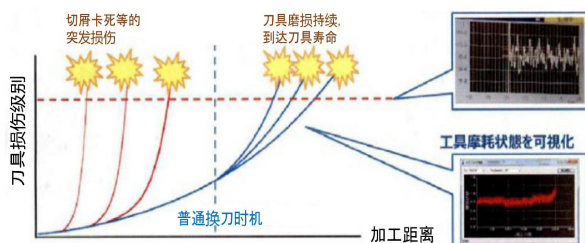


图15 基于AI的钻头故障预兆发现的图像

DS3制造世界最先进的MC。在生产过程中,高性能数控车床加工区域内配置的多关节机器人系统ARMROID是世界最先进的技术之一(见图16),卧加用托盘锥的ARMROID为可连续工作而设计,为多品种小批量生产做出了巨大贡献(见图17)。

下一代机器人系统 ARMROID 高性能数控机床加工区域内配置多关节机器人

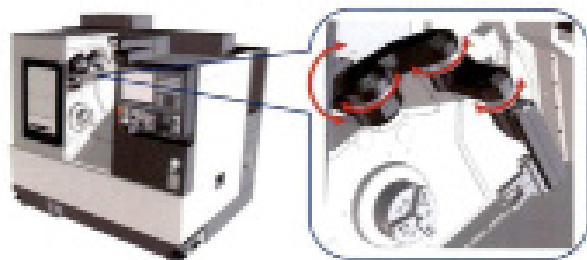


图16 ARMROID的图像

卧加用托盘锥的ARMROID的连续运行 操作员白天也可以进行多品种少批量生产



图17 卧加用托盘锥的ARMROID

DS3在加工中心万能头的生产中,开发了B轴鼠牙盘、C轴鼠牙盘等的生产技术,进行了包括激光淬火在内的工序集成。图18展示了基于鼠牙盘技术的工序集成的示例。

采用超复合加工机 内含机构淬火,鼠牙盘加工工序的集约 工序集约效果

缩短零件加工周期
实现单品生产流程
实现热处理工序的节能

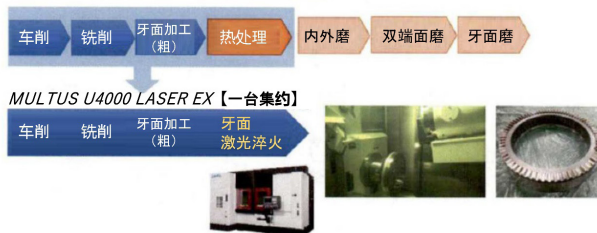


图18 鼠牙盘技术的工序集成示例

另外，热处理以前使用的是渗碳淬火方式，每个零件消耗72kW的电力。但是，由于引进了新的激光淬火技术，电力消耗可以节约到1.1kW，对节约能源做出了很大的贡献。另外，辅助机械的电力消耗从17.3kW/h减少到10.2kW/h，整体电力消耗比例从81.2%减少到78.1%，仅辅助机械的电力消耗就减少了41%以上。图19展示了环保生产技术的开发示例。

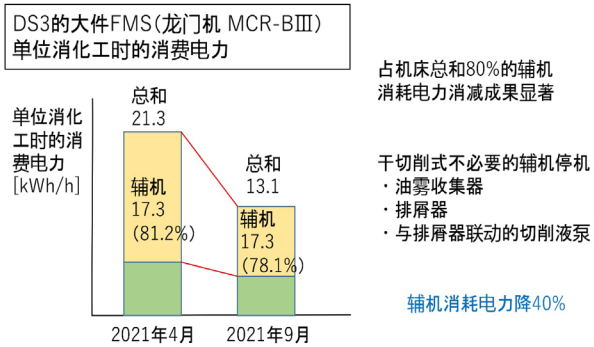


图19 环保生产技术的开发示例

铸件加工中切削液泵的故障很多。虽然原因有很多，但为了解决问题，他们决定在水箱上下功夫，开发了清除切削泥水箱。通过清除切削液水箱内堆积的切削泥，切削液泵几乎不会发生故障，并且可以防止因切削泥堆积而引起的切削液腐败，将以往需要半年更换一次的切削液寿命延长至3年。图20展示了清除切削泥水箱的效果。

采用除切屑泥水箱，延长切削液换水周期 (0.5年→1.5-2年) 不但减轻环境负担，并且降低水泵故障率

■除切屑泥水箱

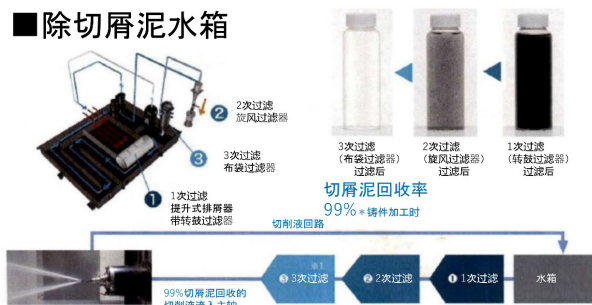


图20 清除切削泥水箱的效果

三、从智能工厂到制造DX

开头我说很难定义智能工厂，主要是因为智能这个词是一个相对概念。智能(smart)这个词原本是用来形容人类的智慧的，在第一次世界大战结束后才开始用于产品和设备。这种对海上目标几乎百发百中毫无浪费的鱼雷被称为智能鱼

雷。后来还开发了提高轰炸机投弹命中率的智能炸弹。

近年来，很多带有智能功能的大众产品和设备被开发出来，其共同的关键词是效率。因此，智能工厂的本质之一无疑是“效率”。但是，效率随着技术的发展而不断提高，即使现在被认为效率高，到明年也有可能得不到认可。在这个意义上，讨论智能工厂的另一个关键词出现了“进化”。也就是说，将新技术及时导入生产系统是智能工厂的必要条件。

有趣的是，大隈的梦幻工厂从DS1到DS3共有3个层级。目前DS3的生产效率无疑是最高的，但在进行下一步投资时，必须考虑新技术与工厂的匹配度，也必须考虑设备更新。在大隈的智能工厂构建过程中，经营者是否有意将其分为三个阶段暂且不谈，从客观角度来看，大隈的智能工厂具有进化的功能。考虑到设备的寿命，即使在设备投资的决策中使用经济性工程学的理论，3阶段工厂的决策选项也会增加，这是毫无疑问的。

1.大隈智能工厂的愿景

大隈将智能工厂的构建和运营定位为手段，而不是目的。目的是通过经营改革提高盈利能力。从学术上讲，这有助于提高全球竞争力。在长期愿景的构成中，把经营改革放在最上层，作为实现这一目标的方法，设置了“全球实时管理会计”。此外，作为具体的措施，还采用了坚守现有日常工作的“坚守DX”，以及通过创造性思维创造新的产品技术和制造技术的“进攻DX”。

盈利能力不仅限于国内市场，还包括全球市场，这一点非常重要。以支持智能机器制造到智能工厂构建的解决方案为基础，将目标锁定在成长产业和优势产业，提高在全球市场的盈利能力是中长期愿景。也就是说，不仅要提高本公司生产过程的效率，还要制造和销售能够提高客户工厂生产过程效率的产品，在为社会做出贡献的同时增强本公司的盈利能力，在全球市场成长。图21展示了大隈长期愿景的一部分。

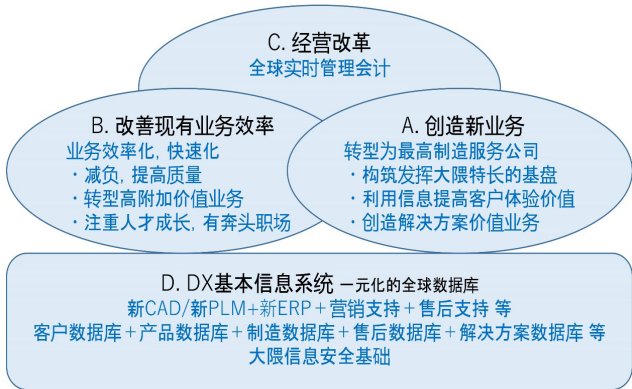


图21 大隈长期愿景的一部分

2. 综合制造服务

大隈今后的目标是提供综合制造服务，包括生产计划、工程技术、生产启动和生产优化4个方面，共同构成综合制造服务，为客户创造价值做出贡献。重要的是，包括采购、制造和销售的供应链物流(物料流)优化和工程链控制的优化，包括从产品设计到加工程序的生成和设备的操作命令，特别是意识到供应链和工程技术链不是独立的东西。让做产品设计的工程师按照自己的设计生产产品，这种做法是失败的代名词。没有供应链(接货、内制、发货的物料流)优化的制造DX是不成立的。从这个意义上讲，大隈的综合制造服务的4个构成要素顺应了时代潮流，与笔者致力于“新一代智能工厂”的概念相匹配。

图22展示了综合制造服务的概念图。



图22 综合制造服务的概念图

3. 智能工厂的水平和大隈的产品

将智能工厂分为6个等级也很有趣。笔者认为，将物联网、自动化、管理这三个要素用具体的技术分成几个层次。将各要素设定为3个阶段时，就有27种组合，所以可以考虑打分后归纳为一维的方法。

大隈站在实际业务的立场上，以技术为关键词，将从各工序的智能机器到工厂整体的盈利能力分为6个层级，让现场更容易接受。因为考虑到本公司对各层级的贡献而映射了本公司商品，所以想买MC机的用户容易理解。用户为构建智能工厂制定了路线图，那么根据自己的现状购买什么样的设备就一目了然了。图23展示了智能化水平与大隈产品映射。

大隈公司思考的制造业智能化和数字化转型成熟度模型

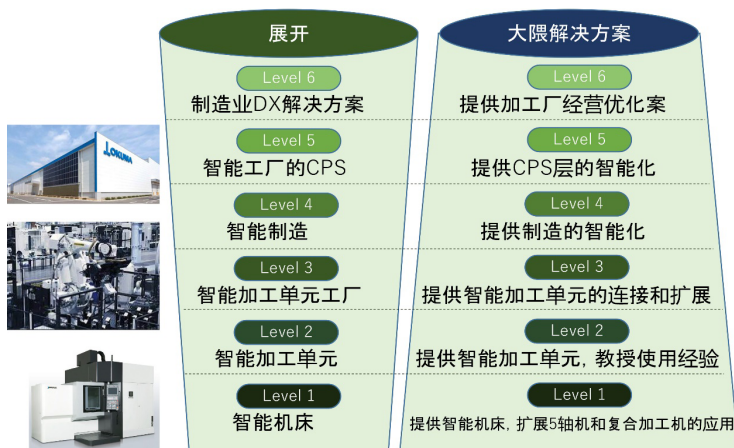


图23 智能化水平与大隈产品映射

4. 环保产品

考虑环境的产品制造也很有趣。这是非常先进的举措。例如，金属具有热胀冷缩的性质。根据金属的种类不同，温度变化1℃会产生10 μm的误差。解决这个问题可以考虑两种对策：一种是使用空调使加工室内温度恒温；另一种是为了适应热胀冷缩而改变加工程序的参数。前者只要开空调就能轻松解决问题，但会排放温室气体。后者需要改变加工程序结构等，技术上比较困难，但不会排放温室气体。大隈选择了技术难度较大的后者。他们选择了开发能够应对炎热夏季和加工过程中温度上升的高级加工工艺，减少温室气体排放。该产品已经出货5万台，与传统的恒温设备相比，每年减少温室气体排放28万吨。根据设备的使用环境，操作人员必须努力维持精度，但新设备即使加工室内的温度发生变化，也能维持加工精度，减少操作人员的负担，是一

种用户友好产品。

5. 制造DX

智能工厂的建设和运营是手段，不是目的，那么，智能工厂的目的究竟是什么呢?也许每个人的解释都不一样，但至少从企业经营的最终目的是生存这一点来看，在残酷的竞争中胜出或许才是智能工厂的目的。为此，不能抛开传统的评价标准，即被称为铁三角的QCD来讨论智能工厂的目的。图24展示了智能工厂与制造DX。

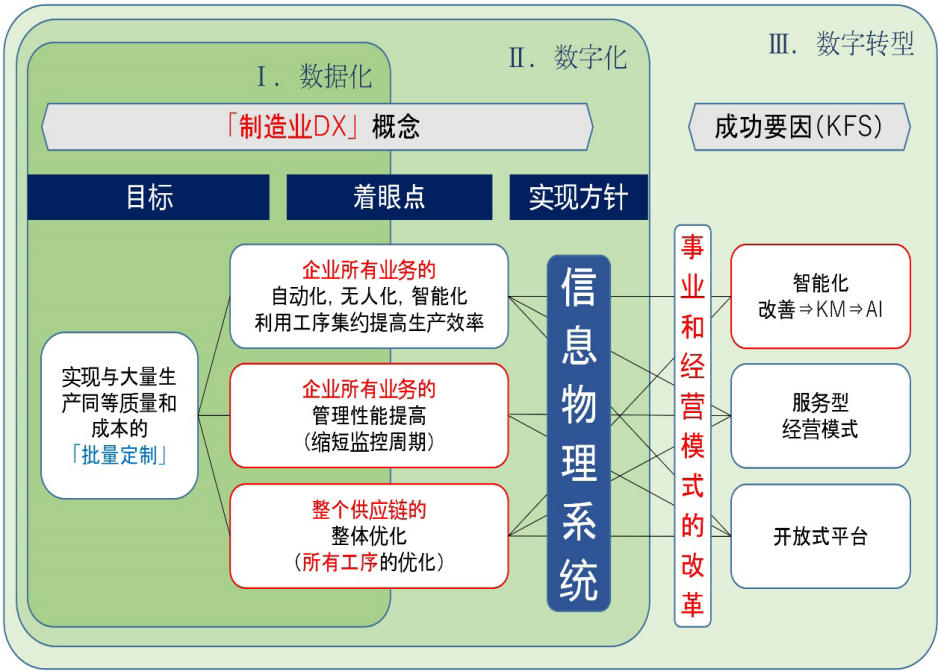


图24 智能工厂与制造DX

那么，提高QCD的竞争力需要什么?为什么自动化和信息化能够对QCD做出贡献?为什么我们要花钱做可视化?很多人知道事情很重要，但不知道事情的本质，也不知道彼此之间的关系，这不就是现状吗?

例如，在制造中存在随机误差和系统误差，手工作业中随机误差是个大问题。减少这种随机误差的方法之一是自动化。也就是说，如果可以对机床操作进行编程，那么机器就可以高精度地重复操作，从而使随机误差导致的不良品接近于零。另一方面，机器有发生系统误差的问题。例如，由于刀具的磨损，加工对象零件的质量(例如长度)逐渐下降，最后超过了允许极限。为了防止这样的系统误差，必须时常检查质量，判断是否发生了系统误差，并采取相应的对策。如何设定判断基准，经过多年研究，总结出的原理原则是工序管理图。

用传感器采集零件的质量数据，将数据输入到管理图的分析模型中，就会告诉我们如何控制机器。这样的原理原则在刀具磨损和温度变化的情况下都适用。因为虽然原因不同，但结果是相同的。

信息化投资存在看不见效果的问题。为了能看到效果需要下各种各样的功夫。至少以信息化为目的的信息化是看不到效果的。因为没有事先考虑看得见的

效果。其中一个例子就是将新的信息技术应用于旧的业务流程。虽然也与业务内容有关，但很多情况下很难用肉眼看到投资回报率。

大隈将智能工厂的构建和运营视为一种工具，通过“事业和商业模式变革”，以改善QCD的“知识的创造和活用”为目标。这就是智能工厂和制造业DX的关系，是支撑进化的智能工厂的思想。特别是，为使用设备的人制造产品，为使用设备的人制造系统，这是制造DX的本质，不是单纯的客户至上主义，而是用大隈的产品使用户企业的QCD不断提高，共同进化的良性循环结构，可以说是一种社会生态系统。

DX以创造和活用知识为目标，使用了笔者的专业管理工学理论。管理技术和物理学一样，是由许多研究者和实务家归纳经验和实验结果的技术，以及根据既有的原理原则建立新的假设，由通过进一步的实验进行演绎法总结的技术构成。这是他们经过一个世纪的研究和实践积累起来的智慧。如果无视这一点，只强调自己的经验，只能说效率将很低。笔者虽然在纸面上学过野中郁次郎先生的“BA”理论和SECI(Socialization Externalization Combination Internalization)模型等，但在现场还是第一次看到。详细的说明在此省略，不过，我确信大隈的制造系统中到处都应用了管理技术，将其体系化后会取得更大的进步，这也许是我此次访问的最大成果。□

备注：这篇报道是松川弘明和(一财)工程技术协会事务局员(川村武也)在2023年7月参观大隈公司总部工厂的基础上，得到该公司的大力支持，于2023年11月整理而成的。借此机会向允许我们去参观学习该公司深表谢意。



机械系统可靠性理论与工程实践中若干关键问题的思考（下）

重庆大学 张根宝

【摘要】针对目前机械系统可靠性理论和实践中存在的主要问题，从全新的视角出发对机电产品中机械系统的可靠性理论和方法进行了系统的思考并给出一些新的概念，目的是促进我国机电产品中机械系统可靠性的研究和应用，主要内容如下：首先讨论了关于机械系统可靠性的几个相关概念，包括：站在用户的角度对机械系统的可靠性进行了重新定义；提出“当量故障次数”的概念，在此基础上给出考虑了故障严酷度的平均故障间隔时间（MTBFS）的可靠度计算新方法；讨论了有助于消解“乘积负效应”的可靠性分配和预计方法；接着讨论了关于机械系统故障的几个相关概念，包括：提出一种适合机械系统可靠性分析的故障新定义，提出性能故障是机械产品系统重要故障模式的新观点，从机械系统运动的角度出发从理论上系统分析了机械系统所有可能的故障模式（全故障模式），从元动作的运动故障模式出发系统的讨论了组成元动作单元的结构方面的故障原因；最后，讨论了关于多学科综合复杂机电产品可靠性的系统工程方法论，包括：从机械传动系统/机械结构系统/流体驱动系统三个分系统的角度讨论了多学科综合复杂机电产品可靠性工程的系统性分析方法，介绍了一种基于元动作的机械系统可靠性新理论。为了促进学术研究和交流，在每个新概念后都附有笔者认为有进一步研究价值的研究课题，供读者参考。

四、对多学科复杂机电产品可靠性工程方法论的思考

1. 多学科复杂机电产品可靠性工程的系统方法

现代机电产品是个复杂的大系统，按其功能原理和结构一般可以粗略划分为三大类组成成分系统：

1) 机械传动分系统：其功能一般是实现产品的机械动态运动，如各类机械产品的传动链，包括齿轮、蜗轮蜗杆、轴承、传动轴、轴套、键等零件，实现从动力源到运动部件之间的运动和动力传递。

2) 机械结构分系统：其功能一般是实现传动件的相对位置定位和各类载荷的动静态支撑功能，如机床的底座、床身和立柱等大件是为了支撑其它运动部件的重量和运动载荷，压力容器是为了约束其内部的高压气体或液体等。

3) 流体驱控分系统：其作用是实现运动部件的驱动和控制功能，一般机电产品都包括以下流体驱控分系统：电气子系统、液压子系统、气动子系统、测量子系统、冷却子系统、冷却子系统、排屑子系统和控制子系统等。在现代机电产品中，流体驱控分系统所占的比例会越来越大。

针对上述机电产品的三类组成成分系统，在可靠性工程实践中可以分别应用以下不同的可靠性理论和方法。

（1）可靠性基本理论

广义“应力-强度”干涉理论、故障率浴盆曲线建模、可靠度分布函数等，上述三类分系统的可靠性设计与分析方法都需要基于可靠性基本理论来发展。

（2）可靠性通用方法

可靠性设计准则、故障手册、FTA、FMECA、早期故障消除、可靠性建模、可靠性分配、可靠性预计、可靠性

试验、FRACAS系统等。这些方法在各类分系统的可靠性分析和设计中都是必要的，只是针对不同类型的分系统具体的应用方法细节有所差异。

(3) 分系统专用方法

对于三类不同类型的分系统，由于其功能原理、结构和性能要求都不同，应该具有它们独有的可靠性设计分析方法。

1) 对于机械传动分系统而言，其主要功能是解决产品运动特性方面的问题，如运动精度、运动可靠性、运动的稳定性、力的传递、零件寿命等，实践中可以采用机械元动作可靠性理论和系列方法，出发点是“运动形式决定产品功能和运动特性决定产品性能”的基本原理。

2) 对于机械结构分系统而言，其主要功能是准确保持运动部件之间的位置关系，解决结构的刚度和强度问题，包括结构承受的热应力静态刚度和动态特性，实践中主要采用有限元类的分析方法。

3) 对于流体驱控分系统而言，其主要功能是解决各类流体系统（电子流、气体流、液体流等）的控制和驱动可靠性问题，主要采用传统电子系统的可靠性设计和分析方法，如器件选择、降额设计、热设计、电路容差分析、潜在电路分析等。一般情况下，流体驱控分系统没有承受机械载荷和机械运动的现象。

按照组成分系统的结构和功能有针对性的应用不同的可靠性理论和方法，对保障机电产品的可靠性具有非常重要的意义。

需要进一步研究的问题是：针对不同类型的系统，在定义上如何统一化可靠性的基本理论？在通用方法中如何体现不同系统的特点？在专用方法中的流体驱控分系统中，如何针对机电液控建立一个类似元动作的一体化理论和方法体系？

2.机械元动作可靠性理论和方法^[8]

(1) 机械产品可靠性建模的最佳粒度选择

要进行可靠性设计和分析，就必须对产品进行建模。传统的建模方法一般是按照“整机—部件—零件”的结构进行的，存在的主要问题是：按照部件进行建模的粒度太粗，因为一个机械部件可能包含几百个零件，所建立的模型非常复杂、庞大，在建模时很难把这么多零件全部包含进来；如果按照零件进行建模，一方面由于零件的数量太多，建模粒度太细，需要建立的模型的数量也太多，工作量极其庞大。另一方面，对单个孤立的零件进行建模，无法反映出零件之间的相互作用关系（力和运动的传递），而零件之间相互作用才是机械产品发生故障的关键。为此，课题组提出机械元动作的概念，作为部件和零件之间的一种中间结构，很好的避免了“基于部件的建模粒度太粗、基于零件的建模粒度过细”的弊端。

(2) 机械传动链

机电产品中机械系统的主要功能是实现零部件的运动，主要实现方式是采用从动力源到运动部件之间的机械传动链，如图1所示。可以将传动链中动力源和运动部件之间的传动部分分解为多个最基本的运动，称为元动作，元动作将动力源的驱动运动一级一级的传递给末端的运动部件。

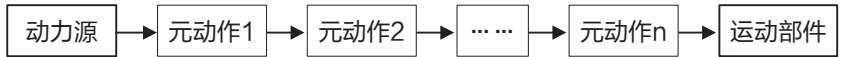


图1 机械传动链

根据机械系统“运动形式决定产品功能”和“运动特性决定产品性能”的特点可以看出，产品的可靠性取决于传动链的可靠性，传动链的可靠性又取决于元动作的可靠性，只要元动作的可靠性足够高，就可以充分保证机械系统的可靠性。因此，机械系统的可靠性工作重点应该放在元动作上。

(3) 元动作的概念和定义

机械系统的运动系统看上去很复杂，包括多条传动链共同实现产品的功能。但如果进行合理的分解就可以发现，这些复杂的运动实质上都是由一些最基本或最小的动作组成的，如运动件的移动或转动，我们称这些最基本的运动为元动作。

定义八、元动作：机械传动链中，将上游单元的运动进行变换并传递给下游单元的运动环节。

元动作一般有两类：沿预定轨迹的移动元动作和定轴运动的转动元动作。

(4) 元动作的基本类型

对于一个机械产品而言，最基本的元动作只有两类：移动类元动作和转动类元动作。移动类元动作实现运动件预定的直线或曲线轨迹的运动，如机床溜板沿导轨的直线运动，油缸活塞沿缸体的直线移动，齿条沿导轨的直线移动等；转动类元动作实现运动件的定轴转动，如齿轮、蜗轮或蜗杆绕轴线的旋转运动。转动类元动作和移动类元动作的运动学概念模型如图2所示。

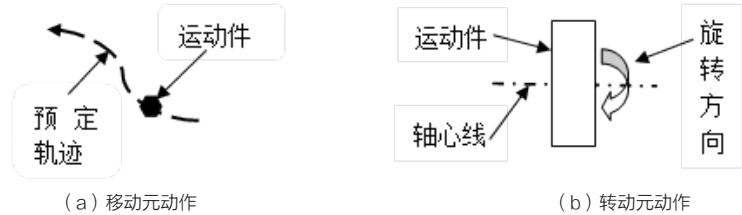


图2 元动作的运动学概念模型

(5) 元动作单元

机械元动作是靠一组机械零件组装在一起完成规定功能的，实现一个元动作的所有零件的装配整体被称为元动作单元、元动作装配单元或元动作结构单元。元动作单元的主要特点是：结构独立，可以单独设计、分析、装配和实验。根据元动作的类型，可以分为转动元动作单元和移动元动作单元两大类，如图3所示。

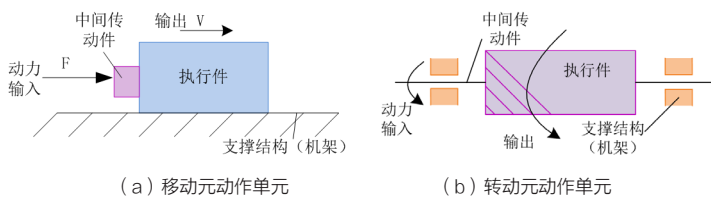


图3 元动作单元的结构模型

元动作结构单元中一般包括5类零件：运动输入件、运动输出件、中间传动件、密封紧固件、定位承力件等，如表6所示。

表6 元动作单元中的零件类型

要素件	功能	举例
运动输入件	为元动作单元提供动力或运动输入的要件	驱动齿轮转动的电机；齿轮传动中的从动齿轮
运动输出件	通常为下游元动作单元提供运动和动力输出的零件	蜗杆转动元动作单元中的蜗杆；刀架进给单元中的刀架
中间传动件	在元动作单元输入件和输出件之间传递运动和动力	元动作单元中的轴承、联轴器、轴套、键、联轴节
密封紧固件	在元动作单元中起密封、防松、连接、紧固的作用	螺栓、螺钉、销、端盖、弹簧垫片、密封圈、密封套、密封垫片、O型圈
定位承力件	为元动作单元中其它零件提供位置定位和承受工作载荷	箱体、立柱、床身

(6) 元动作的分解方法

为了得到一个产品的所有元动作，可以采用“功能-运动-动作”的结构化分解方法（Function-Movement-Action: FMA）。既首先分析产品的主功能（如加工中心的主功能是切削复杂的金属零件）；接着分析为完成产品主功能所必需的所有分功能（如加工中心的分功能包括铣削功能、镗削功能、钻削功能、倒角功能、攻丝功能、曲面加工功能等）；然后分析实现各分功能所必需的所有部件运动（如主轴的转动、主轴头的摆动、工作台的转动和移动等）；然后分析完成各个部件运动所需的传动链（或称元动作链）；最后再对传动链从运动的角度进行分解，就可以得到所有的元动作，所有分解过程就构成一个FMA分解树。整个分解过程如图4所示。

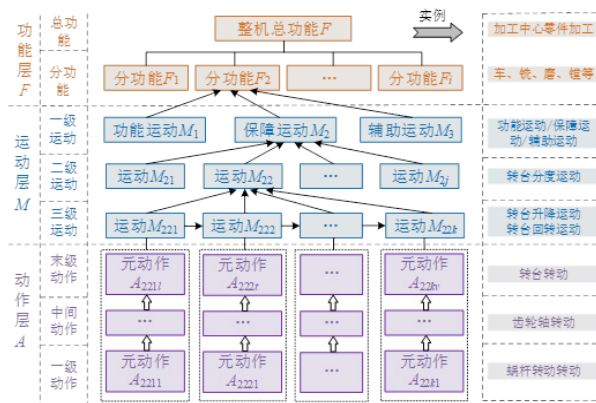


图4 机械产品的FMA分解模型

(7) 元动作可靠性工程的技术路线

为了借助元动作理论进行可靠性设计和分析，可以采用图5所示的技术路线。



图5 基于元动作的可靠性分析理论体系

从图5可以看出，该技术路线共分为5个阶段：

阶段一：产品FMA分解

通过功能分析、运动分析、元动作链分析和结构分析，得到产品的所有元动作和元动作单元，以FMA分解树的形式体现。

阶段二：可靠性指标映射

按照FMA分解树，将整机的设计可靠度指标分层逐级映射到部件、元动作链和元动作，将元动作的可靠性分配值作为元动作单元的可靠性设计分析输入。

阶段三：元动作可靠性分析

针对每一个元动作或元动作单元，建立分析模型，进行多种特性的可靠性分析和实验，如元动作的故障形成机理分析、元动作的全故障模式分析、基于元动作的FTA分析、基于元动作的FMEA分析、元动作单元的热特性分析、元动作的刚度和强度分析、元动作的动态特性分析等，通过这些分析可以得到各个元动作的所有可靠性特性。

阶段四：元动作可靠性一体化优化

可靠性只是机械系统元动作的一个质量特性，还有像精度、精度保持性、性能稳定性、产品寿命等很多其它质量特性，一个产品必须在各个质量特性方面都不存在“薄弱环节”，实现整体均衡，才能得到用户的认可。为此，课题组提出“基于元动作，以可靠性为中心的产品多质量特性一体化优化”的思路，在确保各个质量特性都得到满足的前提下，对可靠性进行成本优化，得到成本最低下最大的可靠度。

阶段五：整机可靠性预计

得到各个元动作的可靠度后，需要根据元动作的可靠度去预计各条元动作链的可靠度和整机的可靠度是否得到满足。在进行可靠性预计时，不仅需要考虑同层元动作（又可称为元动作链的相邻元动作）之间的相互作用，还要考虑沿传动链的异层（上下游）元动作之间的相互作用，最终目的是得到同层和异层相互作用的影响下整机的可靠度是否能够得到满足。

自2010年重庆大学可靠性课题组提出元动作理论以来，经过十余年的研究，课题组围绕机械元动作理论已经获得1个国家自然科学基金青年基金项目、3个基金面上项目、1个基金重点项目的支持，围绕元动作理论已经发表200余篇高水平论文，毕业博士研究生10余名，硕士研究生50余名，成果已经在10家以上企业得到应用，涉及到核电换料机设备、核电控制棒驱动机构设备、数控车床、立式加工中心、卧式加工中心、齿轮加工机床、镗铣床、核电齿轮箱、掘进机驱动装置等机械产品或系统。此外，还吸引了10余家国内外学术研究机构开始跟踪研究元动作理论。

需要进一步研究的问题是：元动作方法的应用软件开发；进一步推广元动作理论，形成基于元动作理论的机电产品设计和制造新体系。

五、结束语

在多年从事机电产品可靠性理论研究和工程实践中，笔者发现还有很多基本概念需要澄清，相关理论和方法需要进一步完善。为此，笔者按照可靠性基本概念和定义、机械系统故障的相关概念和定义，以及多学科复杂机电产品可靠性的系统工程方法论三条主线展开讨论。在可靠性基本概念和定义方面，主要讨论了3个问题：基于用户视角的机械系统可靠性定义、提出“当量故障次数”的概念和考虑故障严酷度的平均故障间隔时间（MTBFS）的计算新方法、讨论了可消解“乘积负效应”的可靠性分配和预计方法；在机械系统故障的相关概念和定义方面，主要讨论了4个问题：提出一种适合机械系统可靠性分析的故障

新定义、提出性能故障是机械系统可靠性的重要故障模式的新观点、从机械系统运动的角度出发从理论上系统分析了机械系统所有可能的故障模式、从元动作的运动故障模式出发系统的讨论了组成元动作单元的结构方面的对应故障原因等；在复杂机电产品可靠性系统工程方法论方面，主要讨论了2个问题：从机械传动分系统/机械结构分系统/流体驱控分系统三个分系统的角度分别讨论了机电产品可靠性工程的系统性分析方法；介绍了一种基于元动作的机械系统可靠性新理论。为了促进学术研究和交流，在每个新概念后都附有笔者认为需要进一步研究的课题，供读者们参考。机械系统的可靠性低于国外高端产品是不争的事实，笔者认为主要原因是缺乏适用于机械系统的可靠性理论和方法，本文从非传统的视角提出机械系统可靠性的9个问题，可以供从事机电产品可靠性的研究工作者参考，目的是共同推动国产机电产品可靠性理论和方法的交流和进步，希望本文的发表能够起到这个作用。□

参考文献

- [1] History of reliability and related definitions and concepts [N]. WWW.kekaoxing.com, 2019-01-15 (in Chinese) .[可靠性的历史及相关定义和概念[N], 中国可靠性网. 2019-01-15]
- [2] The Standardization Administration of China. GB/T3187-1982; Reliability, maintainability terminology[S] (in Chinese) .[中国国家标准化管理委员会发布, GB/T3187-1982; 可靠性、维修性术语] [S]
- [3] The Standardization Administration of China. GB/T6583-1994 (idtISO8402: 1994) . Quality Management and quality assurance terminology[S] (in Chinese) .[中国国家标准化管理委员会发布, GB/T6583-1994 (idtISO8402: 1994); 质量管理和质量保证术语] [S]
- [4] ZHANG Genbao et al. Advanced quality engineering[A], China Machine Press.2019 (in Chinese) .[张根保主编, 现代质量工程[A], 机械工业出版社, 2019]
- [5] PENG Liying, XIONG Jushui, Demonstration of Mean Time between Critical Failures[J], ELECTRONIC PRODUCT RELIABILITY AND ENVIRONMENTAL TESTING, VOL.29 No.3 Jun.2011,34-36 (in Chinese) [彭立影、熊菊水, 平均严重故障间隔时间验证方法研究[J], 电子产品可靠性与环境实验, VOL.29 No.3 191-197 Jun.2011]
- [6] LI Liangqiao. Handbook of certified reliability engineer[A], China Renmin University Press. 2012 (in Chinese) .[李灵巧, 可靠性工程师手册[A], 中国人民大学出版社, 2012]
- [7] CHEN Chuanhai. Research on the method of establishing the load spectrum of NC machine tool for reliability probability design[D], Jilin University. 2013 (in Chinese) .[陈传海, 面向可靠性概率设计的数控机床载荷谱建立方法研究[D], 吉林大学, 2013]
- [8] ZHANG Genbao et al. The new development of mechanical product reliability research-meta-action reliability theory[J], Manufacturing Technology and machine tools, 2022 No1: 53-59 (in Chinese) .[张根保等, 机械产品可靠性研究的新进展-元动作可靠性理论[J], 制造技术与机床, 2022 No1: 53-59]
- [9] DU Dangdang, JIA Xiaoliang, WANG Zhuo, Fault model identification on method for aeroengines based on fault color picture[J], Computer integrated manufacturing systems, 2018 Vol 24 No9: 2297-2307 (in Chinese) .[杜党党, 贾晓亮, 王卓, 基于故障彩色图谱的航空发动机故障模式识别, 计算机集成制造系统, 2018 Vol 24 No9: 2297-2307]
- [10] FU Yu, YIN Yibing, MAO Huijie, ZUO Hongfu, FENG Zhengxing, Fault diagnosis of aero-engine gas path based on electrostatic monitoring and neural network[J] Computer integrated manufacturing systems, 2019 Vol 25 No11: 2852-2862 (in Chinese) . [付宇, 殷逸冰, 冒慧杰, 左洪福, 冯正兴, 基于静电监测和神经网络的航发典型故障诊断, 计算机集成制造系统, 2019 Vol 25 No11: 2852-2862]
- [11] Sriresh G. Arunajadai, Scott J. Uder, Robert B. Stone and Irem Y. Turner, Failure Mode Identification through Clustering Analysis[J], QUALITY AND RELIABILITY ENGINEERING INTERNATIONAL, 2004, 20:511 - 526
- [12] Zhaoguang Xu, Yanzhong Dang, Peter Munro, Yuhang Wang, A data driven approach for constructing the component failure mode matrix for FMEA[J], Journal of Intelligent Manufacturing, 2019, 02: 1-19
- [13] YANG Weimin, SHENG Yixing, Digital simulation of system reliability[A], BEIHANG UNIVERSITY PRESS, 1990 (in Chinese) .[杨为民, 盛一兴, 系统可靠性数字仿真[A], 北京航空航天大学出版社, 1990]



堆积磨料陶瓷砂轮磨削性能试验研究

河南建筑材料研究设计院有限责任公司
白鸽磨料磨具有限公司
郑州市双利磨料磨具有限公司

边华英 尹蕊 郭蕊
王学涛 杨崇
余玉川

相对比于传统电熔刚玉磨料、碳化硅磨料和超硬磨料的磨粒,堆积磨料的磨粒是一种采用前述传统磨料的微粉级磨粒以结合剂粘结经造粒和一定温度下烧结、固化处理得到的聚合磨粒团,又被称为固结磨料、团聚磨料或聚合磨料,具有微型磨具的特征,拥有磨料、结合剂和气孔三要素,具有类似于微晶陶瓷刚玉磨料性能的结构均匀性、微刃切削性能、微晶粒沿晶界脱落的微破碎性和自锐性。最初堆积磨料的发明是为了解决涂附磨具采用传统磨料单层植砂时,磨削过程中易于发生的磨屑粘附堵塞气孔、磨粒脱落后磨削力下降、磨削热积聚烧伤工件问题。采用新型堆积磨料制备的磨具具有持久锋利性、工作耐用性和低耗能特征。堆积磨料常用于制备涂附磨具^[1,2],本文以项目组研制的堆积磨料和市售白刚玉磨料、陶瓷刚玉磨料、市售堆积磨料为功能磨料,采用相同的配比、成型、烧成等工艺条件制备了四组低温陶瓷结合剂固结磨具以相同的磨削操作技术参数进行磨削性能试验和对比分析。

一、实验

1. 砂轮信息

以低温陶瓷结合剂80#粒度CA磨具配方为基础配方,采用单因素变化法改变功能磨料类别制作K级硬度P-250×75×25mm陶瓷砂轮,分别制作普通电熔刚玉磨具、陶瓷刚玉磨具、比对堆积磨料磨具和项目组研发堆积磨料的磨具,编号为1#(WA)、2#(CA/WA)、3#(DA1/WA)、4#(研发堆积磨料DA2/WA)(见表1)。四组砂轮统一采用低温陶瓷结合剂配方,结合剂掺加量11.5%,以水玻璃为湿润剂,成型压力为B压力,压制成型后坯体经脱模、干燥,然后在1050℃低温烧成。烧成后的砂轮试件经磨削定径、定厚、测试硬度和回转速度后送郑州磨料磨具磨削研究所进行磨削轴承钢试件性能测试。

上接第35页

(45) 齐重数控装备股份有限公司HT I G140×60/14P-NC 高精数控卧式车镗磨床。刀架上最大加工直径 $\phi 1250\text{mm}$,两顶尖间最大工件长度6000mm,最大工件重量14t,主轴通孔直径 $\phi 130\text{mm}$,尾座套筒行程300mm,磨削速度30~35m/s,镗杆直径 $\phi 150\text{mm}$,最大镗削深度1500mm。机床进给导轨X、Z轴均采用双山导向导轨结构,X轴进给采用伺服电机—精密减速器—滚珠丝杠结构,Z轴进给采用伺服电机—精密减速器—齿轮齿条结构,主轴箱采用抗振式箱体。空心主轴采用高精度滚动轴承支承,尾座移动为山形和平导轨组合形式,采用上下分体箱形结构,模块化组合,通用性强。机床配有镗削装置,安装在上刀架前端,可满足减振镗杆10倍径高精度切

削。机床配有磨削单元,可与车削单元上体互换,实现工件磨削需求。机床广泛应用于轴类、圆筒类等回转类零件圆柱面、圆锥面、平面、切槽、切断、螺纹及回转曲面等工序的高精度车削、镗削、磨削加工。□

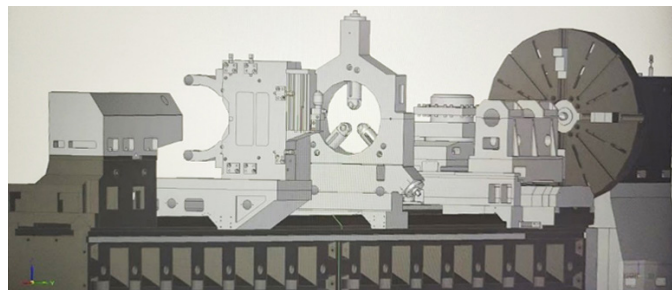


表1 砂轮制作技术信息

四组砂轮功能磨料信息	编号	硬度值	硬度等级
WA80#100%	1#	2.1;2.3	K
WA80#:市售CA80#=1:1	2#	2.2;2.4	K
(WA80#:市售DA80#=1:1)	3#	2.3;2.3	K
(WA80#:研发DA80#=1:1)	4#	2.4;2.5	K

注：80K硬度值范围2.65-2.16。

2. 被磨削工件材质

采用GCr15轴承钢，热处理硬度55~60HRC，尺寸207*103*37。

3. 受试砂轮样品修整设计

- (1) 修台阶：修整砂轮台阶，砂轮剩余有效宽度15mm。
- (2) 修砂轮外圆：采用表2所示相同的修整参数对4组砂轮进行修整，无光修。

表2 修整参数

项目	参数	备注
砂轮转速	3000rpm	单点金刚笔 双边进刀 修圆为止
横向移动速度	600mm/min	
单次进刀深度	0.03mm	
累计修整总量	0.03mm*20=0.6mm	

4. 磨削参数设计

本试验磨削参数根据单因素变化其他参数不变原则进行设计，先采用表2修整参数修整砂轮；再采用表3中的参数进行工件磨削，采集相应磨削信息。磨削过程中不修整，无光磨，4组砂轮采用相同的磨削工艺技术参数进行试验。

表3 磨削参数

砂轮转速	工作台移动速度	单次进刀深度	横向进给宽度/行程	累计进给	备注
3000r/min	10m/min	0.01mm	5mm	50*0.01=0.5mm	往复之字形磨削，双边进刀

检测并记录磨削工件前后砂轮消耗、工件厚度变化以及磨后工件表面粗糙度、砂轮表面形貌，并在磨削过程中跟踪磨削功率。

二、结果与讨论

1.磨削比

表4所列是四组砂轮磨削工件后的磨削比检测数据。可以发现，4#砂轮的磨削比最高，结果为89.2，分别是1#、2#、3#砂轮的2.3、2.8、2.8倍。这说明四组砂轮由于采用的磨料有差别其磨削比有所差别，并且采用项目组研发的堆积磨料制得的低温陶瓷结合剂砂轮具有超越对比磨料砂轮磨削比将近两倍的特征。

表4 磨削比检测相关数据

砂轮编号	砂轮半径差/mm	砂轮损耗量/mm ³	工件厚度差/mm	工件磨削量/mm ³	磨削比/体积
1#	0.0241	283.8	0.5145	10969.7	38.7
2#	0.0270	317.9	0.47325	10090.2	31.7
3#	0.0280	329.7	0.49175	10484.6	31.8
4#	0.0102	120.1	0.5025	10713.8	89.2

2.磨削功率

图1是记录下的平面往复磨削轴承钢时四组砂轮的原始功率，表5是对四组砂轮原始功率进行数值化处理得到的结果。通过数值化编程计算每次进刀时的有效功率，再对其进行均值计算。

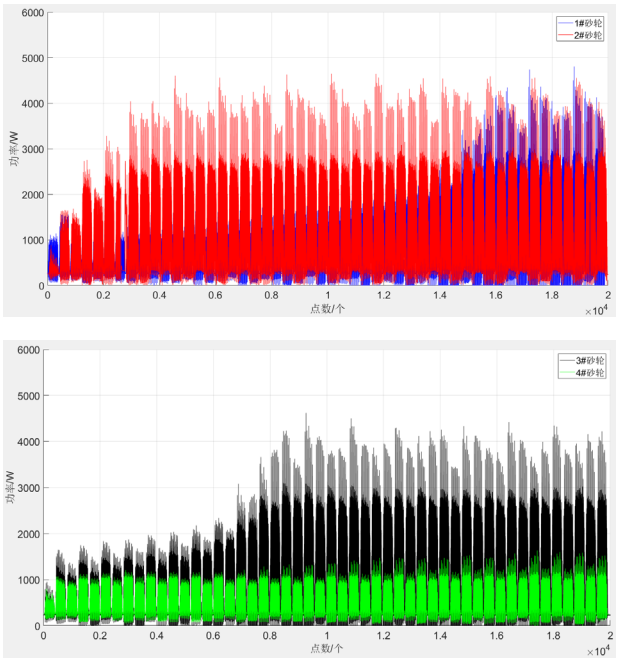


图1 砂轮磨削过程中消耗的原始功率

表5 磨削过程中砂轮消耗的有效功率和最大功率

砂轮编号	有效功率/W	最大功率/W	功率急剧上升临界点/刀
1#	2172.3	4803	37
2#	3756.7	4650	3
3#	3073.8	4618	17
4#	1213.8	1633	磨完未急剧上升

从图1和表5可以发现，①根据磨削过程中砂轮消耗的原始功率，1#、2#、3#砂轮磨削功率呈现先缓慢上升，然后急剧上升，最后平稳趋势；4#砂轮磨削功率一直处于低位，且基本无上升现象。这种现象说明4#砂轮在磨削过程中一直比较锋利，并且持续锋利性远好于其余三组砂轮。②从功率急剧上升临界点看，2#砂轮当磨削至第3刀时功率就急剧上升，观察发现此时工件已发生烧伤现象。同理，3#砂轮磨削至第17刀时功率开始急剧上升，1#砂轮

磨削至第37刀时功率开始急剧上升，而4#砂轮在整个磨削过程中功率无急剧上升现象，这说明4#砂轮持续锋利性最好，其次是1#砂轮和3#砂轮，2#砂轮表现较差。③从消耗的有效功率看，4#砂轮磨削消耗的有效功率分别比1#、2#和3#砂轮低44%、68%、61%。从最大功率看，4#砂轮磨削最大功率是其余3组砂轮的34%~35%，仅为其1/3左右，说明4#砂轮锋利性明显好于其余3组砂轮。

即从总体来看，4#砂轮磨削锋利性和持续锋利性最好，其次是1#砂轮和3#砂轮，2#砂轮表现最差。

3. 工件表面粗糙度

四组砂轮磨削后工件表面粗糙度情况如表6和图2所示。对图表加以分析可知，3#和4#砂轮磨削后工件表面粗糙度值较为接近，1#和2#粗糙度值较为接近，3#和4#砂轮磨削后工件表面粗糙度值约比1#和2#降低19%~32%。进一步对比可见，4#砂轮磨削后工件表面粗糙度稍低于3#砂轮，1#砂轮稍低于2#砂轮。

并且从外观颜色观察和分析发现1#、2#、3#砂轮磨削后工件表面发生严重烧伤，而4#砂轮磨削后工件表面无烧伤现象。

综上所述，4#砂轮磨削后工件表面质量最好，粗糙度值最低并且无烧伤情况，其余三组砂轮磨削后工件表面较为粗糙并且发生严重烧伤现象。

表6 磨削后工件表面粗糙度/ μm

砂轮编号	Ra/ μm	Rz/ μm
1#	0.541	3.336
2#	0.598	3.776
3#	0.437	2.594
4#	0.405	2.878

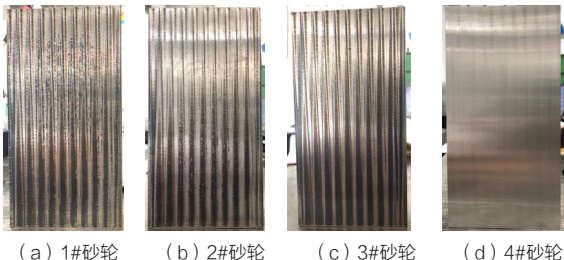


图2 磨削后工件表面形貌

4. 磨削工件前后砂轮形貌

图3为磨削工件前后砂轮表面形貌，通过观察发现，四组砂轮修整后（磨前）表面磨粒刃角比较明显，并存在少量白点。从磨削工件后砂轮表面粘附磨屑情况看，1#、2#和3#砂轮表面存在明显的黏屑现象，且磨屑呈“短而宽”状，而4#砂轮表面黏屑较少，说明4#砂轮自锐性和锋利性较好。从气孔堵塞上看，4#砂轮磨削工件后表面气孔基本无堵塞现象，气孔仍然较多并且孔径较大。

总体上从四种磨料砂轮磨削工件前后表面形貌来看，

4#砂轮表面气孔较多，并且孔径较大，表面存在较少的黏屑现象，砂轮锋利性和自锐性良好。

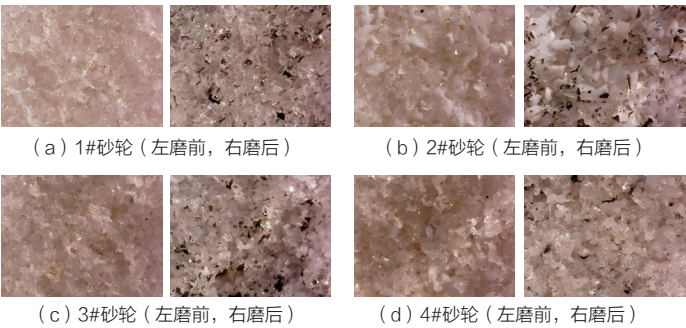


图3 砂轮表面形貌

三、结论与展望

以80#粒度K级硬度陶瓷刚玉砂轮生产工艺技术参数为基础，通过改变功能磨料设计制作四组同硬度级别不同磨料的低温陶瓷结合剂砂轮，编为1#~4#对轴承钢试件进行磨削试验，考察其磨削比、磨削功率的变化以及工件表面粗糙度、砂轮表面形貌的变化情况，对砂轮修整后磨削轴承钢前后进行观测，结合相应图表分析得出以下研究结论：

（1）由项目组研发的堆积磨料制成的低温陶瓷结合剂固结磨具4#砂轮的磨削比大，分别是1#、2#、3#砂轮的2.3、2.8、2.8倍。

（2）由项目组研发的堆积磨料制成的4#砂轮磨削消耗的有效功率最小，分别比由普通电熔刚玉和陶瓷刚玉、市售堆积磨料制成的1#、2#、3#砂轮低44%、68%、61%，说明4#砂轮磨削锋利性和持续锋利性最好，明显优于对比砂轮。

（3）由项目组研发的堆积磨料制成的4#砂轮磨削得到的工件表面粗糙度值最低，表面质量最好，无烧伤现象，其余3组砂轮磨削后工件表面发生严重烧伤情况。

（4）从修整后磨削工件前后砂轮表面形貌可见，相对比其他3组对照砂轮，由项目组研发的堆积磨料制成的4#砂轮表面气孔较多，且孔径较大，磨削后砂轮表面黏屑最少。

总之，由项目组研发的堆积磨料制作的4#低温陶瓷结合剂砂轮综合磨削性能最好；不仅相对比1#普通电熔刚玉磨料砂轮具有明显优势，而且对比相同技术条件下制备的2#陶瓷刚玉砂轮、3#市售堆积磨料砂轮也具有相应优势，说明由项目组研发的堆积磨料在陶瓷结合剂固结砂轮领域具有良好的应用前景，具备推广价值。□

参考文献：

[1] 栗正新,王兆武.堆积磨料的研究开发与应用[J]中原工学院学报2016,27(3):50-53
[2]Ioan D. Marinescu, Mike Hitchiner, Eckart Uhlmann, et al. Handbook of Machining With Grinding Wheel[M]. CRC Press,2007.

关于伺服尾座在数控机床上的实际应用

通用技术集团机床工程研究院有限公司大连分公司 杨 硕

【摘要】 在加工细长轴时配置伺服尾座，利用伺服电机的扭矩保持功能顶紧工件。伺服电机输出的扭矩反映到尾座顶尖上的顶紧力会由于尾座及防护拉罩的摩擦阻力而减小，通过多次试验找到实际顶紧力与电机输出扭矩的关系，最终帮助用户可以根据实际加工需求选择合适的顶紧力。

在21世纪开始之后，随着工业产品的不断升级进步，航空、汽车、轮船、军工、核电等行业对各自产品的要求不断升级精细，进而对机床加工产品零件要求不断提高。在加工细长轴的时候，需要用到尾座顶紧工件以保证在切削过程中不会振刀，并且能够保证加工零件的精度、表面光洁度等。

市场目前在全机能数控车床上配置的尾座多为液压套筒尾座和伺服驱动尾座，液压套筒尾座利用液压油的压力保持不断的将顶尖顶向工件，这种尾座多为手动插销床鞍拖动，移动到合适的位置后由液压锁紧机构锁紧到当前位置。液压尾座配置操作繁琐，在使用时存在液压管路漏油的隐患，并且尾座结构复杂，套筒、尾座体等零件加工精度不易保证，但是制作成本相对较低。伺服尾座配置则为伺服电机通过联轴器、丝杠驱动尾座整体移动，到达指定位置后利用伺服电机的扭矩保持功能通过顶尖顶紧工件。这种配置结构简单、零件数量少、不存在漏油的隐患、方便操作，可通过编辑宏程序即可使用尾座，但是由于多了一套传动系统，所以成本相对较高。

两种尾座各有优缺点，本文主要讨论伺服尾座的伺服电机输出扭矩与尾座实际顶紧力的关系，不涉及丝杠、轴承、伺服电机的选型以及电机调试环节等内容。

一、伺服尾座理论顶紧力的计算

1.伺服尾座应用的电机特性

伺服尾座是由伺服电机驱动的，而伺服电机有两个特性，一个是在一定范围内可以输出恒定不变的扭矩即扭矩保持功能，另一个是可以保持转子转到特点的角度停下来并且保持在当前位置即位置保持功能。伺服尾座需要电机提供扭矩保持功能，假设电机输出设定为位置保持功能，当切削细长轴时，主切削力在轴向的分力会使工件发生轴向的弹性变形，工件会向主轴方向发生弹性位移，这个时候由于伺服电机控制尾座保持位置不变，则顶尖会暂时脱离工件而造成工件的尾端没有约束发生震颤，对加工不利。而如果电机输出设定为扭矩保持功能，则工件即使在切削过程中发生轴向位移，伺服电机推动尾座及时跟进继续顶紧工件，保证整个加工过程的稳定。为验证伺服电机的扭矩保持特性，按图1所示做如下试验：

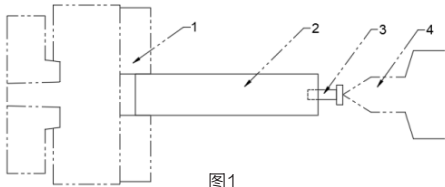
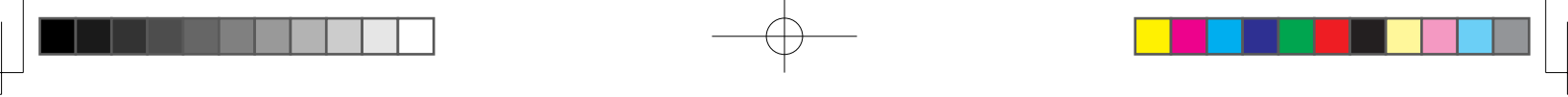


图1
1.卡盘 2.工件 3.螺栓 4.顶尖



如上图所示,将工件一端夹紧在卡盘上,另一端安装一个M12的螺栓,用伺服尾座的位置保持功能顶紧工件,然后用扳手缓慢地拧入螺钉,这时螺钉会向卡盘一侧发生轴向位移,此时观察操作面板上W轴(尾座伺服轴)的位移没有发生变化,顶尖与工件脱离,如果是正常的切削过程中出现这种现象,一定会造成工件的加工精度不对,以及发生振刀现象,甚至可能将刀具损坏。同样的试验条件,将伺服电机设置为扭矩保持功能,仍然用扳手拧入螺钉,这时尾座向卡盘侧移动并且始终顶紧工件,而W轴伺服电机的负载率并未发生变化。由此可见,在伺服尾座的使用时,应该将伺服电机设置为扭矩输出保持功能来顶紧工件,即使工件由于切屑力发生轴向的位移,尾座仍然能够顶紧工件保证其加工精度。

2. 理论顶紧力的计算

理论顶紧力的基础计算公式为下式:

$$2\pi T = F * L$$

式中: T 为电机输出的扭矩; F 为把负载沿直线方向移动的推力; L 为电机转动一圈将负载移动的直线距离。此公式套用到伺服尾座上为伺服电机转子输出扭矩 T 转动一周所做的功应等于丝杠推力 F 推动尾座移动丝杠螺距所做的功。但是由于整个传动环节中存在传动效率及摩擦损耗,所以,丝杠对尾座产生的推力应按照下列公式计算:

$$T_1 = (K \frac{F_{a0} L_0}{2\pi} + \frac{PL_0}{2\pi\eta} + T_B) \frac{Z_1}{Z_2}$$

式中: 为匀速时电机输出的扭矩; $K \frac{F_{a0} L_0}{2\pi}$ 为丝杠的预紧力矩; F_{a0} 为预紧力,可按照经验公式 $F_{a0} = (0.1-0.12) C_0$ 计算, C_0 为丝杠额定动载荷,根据丝杠的具体型号可在丝杠样本中查到; P 为丝杠的轴向推力,在不考虑切削力时 $P = \mu W$; W 为尾座部件的重量; μ 为动摩擦系数,这里考虑到尾座在顶紧时是静止的状态,但是由于伺服电机的扭矩保持功能使尾座始终有丝杠推力方向运动的趋势,所以此时的 μ 应近似等于静摩擦系数取 $\mu = 0.15$; L_0 为丝杠的导程; T_B 为丝杠轴承的摩擦力矩,可在轴承样本中查到; η 为丝杠的正效率约为0.9~0.95; Z_1 为齿轮1的齿数; Z_2 为齿轮2的齿数。

按照上述公式,已知尾座顶紧力的前提下,计算伺服电机理论输出的扭矩值,并实际测量当前扭矩值反应到尾座顶尖的实际顶紧力是多少。参照大连机床生产的DT-40/600规格配置FANUC数控系统的机床的伺服尾座结构,其伺服电机型号:丝杠型号:螺距为8,伺服电机额定扭矩11N·m尾座的理论顶紧力参照液压尾座配置时顶紧力

为1700~2700N,各顶紧力计算出的伺服电机输出的扭矩值如表1所示。

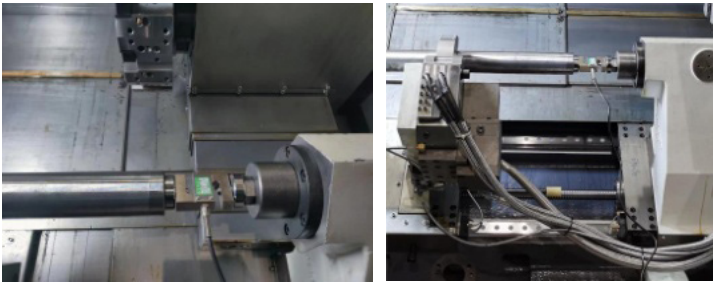
表1 理论顶紧力对应的扭矩值

理论顶紧力 P/N	丝杠螺距 L_0/mm	丝杠预紧力 矩/ $N \cdot m$	轴承摩擦力 矩 T_B / $N \cdot m$	电机输出扭 矩 T_1 / $N \cdot m$
1700	8	0.34	0.2	2.95
1800	8	0.34	0.2	3.09
1900	8	0.34	0.2	3.23
2000	8	0.34	0.2	3.37
2100	8	0.34	0.2	3.51
2200	8	0.34	0.2	3.65
2300	8	0.34	0.2	3.8
2400	8	0.34	0.2	3.93
2500	8	0.34	0.2	4.08
2600	8	0.34	0.2	4.22
2700	8	0.34	0.2	4.36

二、伺服尾座实测顶紧力

1. 带防护拉罩的实测顶紧力

根据表1中理论顶紧力计算出的伺服电机对应的扭矩值,将其转换为伺服电机的负载百分比(方便在系统面板中显示),并使用测量仪器分别测力不同扭矩输出下对应的实际顶紧力。由于机床的结构限制,尾座体安装有防护,为考虑到防护对顶紧力的影响,试验时分别在尾座体安装防护及尾座体未安装防护两种情况下分别测量顶紧力(如图2所示)。



(1) 带防护的尾座 (2) 不带防护的尾座

图2

尾座的防护罩多为多层拉罩以满足尾座行程的使用要求,由于拉罩层数多,受制造误差的影响,克服尾座防护拉罩伸缩时的摩擦所需要的力不可忽略。其试验条件如下:顶紧工件材质为45钢;棒料直径62mm;棒料长度500mm;主轴侧卡盘夹紧棒料压力3MPa;使伺服电机分别输出表1中理论顶紧力,对应的电机扭矩值测量带尾座防护拉罩时尾座的实际顶紧力如表2所示。

表2 带尾座防护拉罩时测量的实际顶紧力

理论顶紧力 /N	电机扭矩 /N·m	实测值 /N	实测值 /N	实测值 /N	平均值 /N	误差值 /N
1700	2.95	1130	1097	1084	1104	596
1800	3.09	1197	1210	1214	1207	593
1900	3.23	1313	1296	1304	1304	596
2000	3.37	1406	1390	1399	1398	602
2100	3.51	1541	1536	1532	1536	564
2200	3.65	1643	1646	1631	1640	560
2300	3.8	1751	1722	1729	1734	566
2400	3.93	1815	1850	1832	1832	568
2500	4.08	1941	1939	1931	1937	563
2600	4.22	2044	2040	2033	2039	561
2700	4.36	2142	2140	2135	2139	561

从表2可以看出，理论顶紧力选取连续的10个值，每个值实测三次取平均值，从表中的数据来看，理论力计算出的扭矩值在电机输出之后，最终转化到顶尖的实际顶紧力与理论计算值的差值近乎为一个定值。从图3中能更直观地看清两者之间的关系。

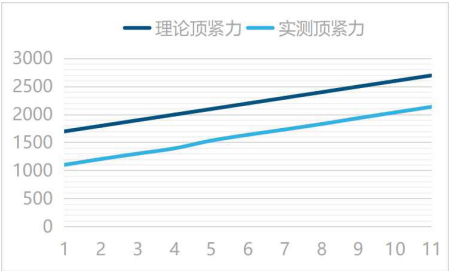


图3 理论力与实测力折线图

可以看到，随着伺服扭矩的增大，尾座的顶紧力也相应增大，并且两者之间近乎线性的关系，其损耗的摩擦力几乎为一个定值，不会随着顶紧力的变化而变化。

2.去掉防护拉罩的实测顶紧力

将尾座防护拉罩拆卸掉，仅用伺服电机通过丝杠带动尾座顶紧工件，其余试验条件不变，测量此种工况下尾座顶尖的实际顶紧力。测量值如表3所示。

表3 尾座未安装防护拉罩时测量的实际顶紧力

理论顶紧力 /N	电机扭矩 /N·m	实测值 /N	实测值 /N	实测值 /N	平均值 /N	误差值 /N
1700	2.95	1380	1400	1378	1386	314
1800	3.09	1498	1498	1506	1501	299
1900	3.23	1618	1549	1468	1545	355
2000	3.37	1522	1727	1721	1657	343
2100	3.51	1840	1817	1822	1826	274
2200	3.65	1892	1908	1908	1903	297
2300	3.8	1992	2002	2018	2004	296
2400	3.93	2113	2138	2090	2114	286
2500	4.08	2113	2217	2200	2177	323
2600	4.22	2322	2304	2320	2315	285
2700	4.36	2404	2404	2390	2399	301

从表3中可以看出，在理论顶紧力相同的情况下，尾座实测顶紧力较带防护拉罩的情况明显增大很多，这意味着防护拉罩产生的阻力不可忽略，而且会消耗掉伺服电机相当一部分伺服电机输出的推力，当然尾座防护拉罩所产生的阻力在不同的机床结构上也会不同，并且随着结构设计的优化，制造误差的降低，尾座防护拉罩的阻力是可以被降低优化的。通过图4可以更直观地反应理论顶紧力与实测顶紧力在没有防护拉罩阻力的情况下两者之间的关系。

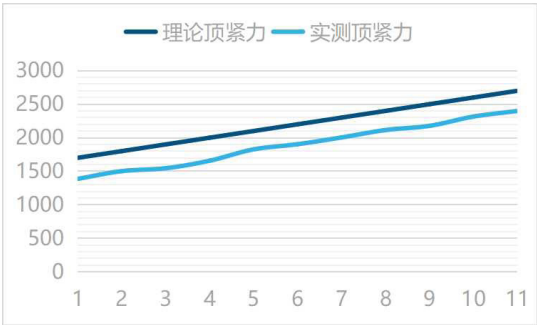


图4 理论力与实测力折线图

去掉防护拉罩后尾座的实测顶紧力之所以仍然小于理论顶紧力，是因为前文提到的尾座顶紧的状态是一种静态却有着运动趋势，这意味着伺服电机在输出扭矩时，需要时刻消耗掉一部分扭矩来克服尾座由于自重而产生的最大静摩擦力（即摩擦扭矩）。

3.切削力对顶紧力的影响

为验证加工时刀具切削工件所产生的切削力是否会影响尾座顶紧力的改变，利用走刀程序对工件分别进行粗加工和精加工并观察操作面板上伺服尾座电机的负载率变化情况。通过实测发现，在粗加工和精加工过程中，尾座电机的负载不停地产生剧烈波动，切削时的轴向分力由于其方向与尾座顶紧力方向一致，会使尾座的顶紧力变小，而伺服电机具有输出扭矩保持的特性，在检测到顶紧力变小时，会将电机的扭矩“复原”保持原有扭矩的输出，只要切削的轴向分力存在，电机输出的扭矩就会不断的减小再“复原”，这就造成了上述电机负载率剧烈波动的现象。一旦切削力消失，伺服电机的扭矩值马上恢复平稳。

（下转第65页）



关于一种高压断屑加工方式的使用

通用技术集团大连机床有限责任公司 邵志骋

【摘要】 机床在切削加工塑性、韧性较好的钢材时会产生大量的冗长铁屑，这样的铁屑不易折断会缠绕在刀尖上加快刀具的磨损，并会划伤已加工表面，甚至在清理铁屑时会划伤操作人员，威胁到操作人员的安全，所以断屑已成为切削加工过程中重要的一环。高压断屑加工是一种从刀具内部喷射出高压冷却水来冲断铁屑的加工技术，通过研究高压冷却的断屑试验来验证不同材质在不同切削参数及不同高压下的断屑效果。试验结果表明，在高压断屑加工过程中切深及进给都会影响断屑效果，冷却水的压力越大断屑效果则越好。

自21世纪初，随着工业产品的不断升级进步，重点行业对各自产品的要求不断提高，进而对机床加工产品零件的精度、粗糙度等的要求不断提高。在竞争越来越激烈的现代制造业中，企业都想提高竞争力和生产效率。为满足生产效率需求，提高切削参数就是其中的典型办法，而提高切削参数的关键点就是控热。切削热影响着切屑的形成和排放，如果仍按传统方式对温度高达上千摄氏度的切削区浇注切削液，切削液就会立即蒸发，从而形成一个高压蒸汽区，它会有效阻止低压冷却液的流动，使其无法到达切削刃。去除材料冷加工使用大流量水泵带走热量的办法已经过时，为了解决这一问题，人们为现代机床开发了高压冷却液系统，可更好地控热，改善切削工艺流程和提高加工企业竞争力。高压断屑的广泛应用代表着其正在被市场所接受并大受欢迎。

一、 高压断屑的定义及冷却效果

1. 高压断屑的定义

有些材料的硬度脆性不高但是塑性却很好，例如：Q235钢、304不锈钢、铝合金等，它们在车削过程中经常出现铁屑折断难导致铁屑缠刀，加工表面划伤排屑困难影响

自动化生产线的稳定运行等问题，尤其是加工薄壁类零件镗深孔时堆积在深孔内的铁屑不能及时排出而对已加工表面造成划伤的现象尤为严重。为解决这些问题，我们使用高压断屑的配置，高压系统的组成部分如图1所示。

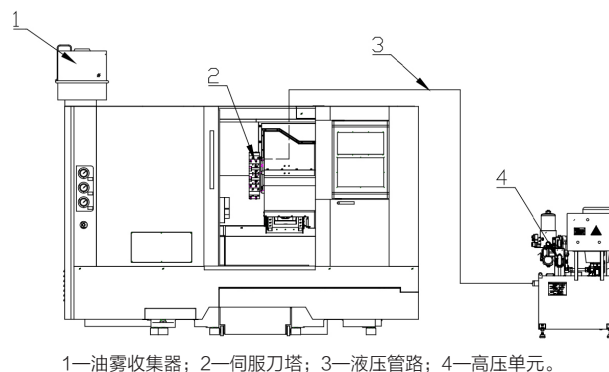


图1. 高压系统的组成部分

所谓高压断屑加工方式是指利用高压单元4产生的高压冷却水通过液压管路3到达具备高压出水能力的伺服刀塔2中，并通过高通过中心出水刀具上的直径2 mm左右的冷却水管高速喷射到切削区域，铁屑卷曲形成C型并形成“液压楔”，对高温的铁屑进行快速冷却淬火，然后压力冲断铁屑，将铁屑完全推离已加工完毕的表面区域，并对已加工表面进行良好的保护，进而实现连续的高效断屑加工。

过程中产生的水蒸气由油雾收集器1负载收集并排出到机床外。高压断屑配置可无缝对接斜床身排刀式、动力刀塔式数控车床、车铣复合机床及加工中心的使用。

2. 高压断屑的试验条件

为保证高压水能充分冲断铁屑，我们选用几种不同性能的材料使用不同压力的冷却水，试验在多大的压力下可以冲断铁屑。试验材料选择使用广泛的材质45钢及40Cr、延展性较好切削时易缠绕铁屑的材质304、20Cr以及铝合金AL6061。试验设备为大连机床生产的DT-40/600数控车床配沈阳机床伺服刀塔，使用市面上较常见及客户推荐的山特维克内出水车刀，配备独立的高压单元。试验条件为：

山高：PDJNR2525K15JETLB高压内冷刀具，刀片角度55°；

山特维克可乐满：QS-SDJCL 2525 11C高压内冷刀具，刀片角度55°；

山特维克可乐满：A25T-SDUCL 11HP高压内冷刀具，刀片角度55°。

系统出水压力与各刀具出水口压力情况见表1。

表1 冷却水压力 (MPa)

序号	系统压力	山高外圆刀	山特维克可乐满外圆刀	山特维克可乐满内孔刀
1	8	6.6	7	7
2	7	5.8	6	6
3	6	4.8	5.2	5.2
4	5	4	4.5	4.4
5	3	2.4	2.8	2.8
6	2	1.6	1.8	1.8

由于出水口形式及出口大小的不同，水压的损失程度略有不同，总体对测试结果影响不大。经试验，在控制主运动 $V_c=1000\text{ r/min}$ 、进给速度 $f=0.01\text{ mm/r}$ 和冷却水压力为7MPa时，研究不同背吃刀量下的断屑情况。具体试验条件见表2（断屑效果：○断屑困难 △可以断屑 □断屑较好）。

表2 切削深度（ a_p ）变化对高压断屑的影响

参数	材质	45钢	304	40Cr	20Cr	AL6061
系统压力：7 MPa 切削参数： $\dot{V}_c=1\,000\text{ r/min}$ $a_p=0.15\text{ mm}$ $f=0.01\text{ mm/r}$		□	□	□	□	□
系统压力：7 MPa 切削参数： $\dot{V}_c=1\,000\text{ r/min}$ $a_p=0.2\text{ mm}$ $f=0.01\text{ mm/r}$		△	△	△	△	□
系统压力：7 MPa 切削参数： $\dot{V}_c=1\,000\text{ r/min}$ $a_p=0.25\text{ mm}$ $f=0.01\text{ mm/r}$		○	○	○	○	△
系统压力：7 MPa 切削参数： $\dot{V}_c=1\,000\text{ r/min}$ $a_p=0.3\text{ mm}$ $f=0.01\text{ mm/r}$		○	○	○	○	△

结论：在能够达到断屑的情况下，相同压力下精加工不同材料，随着切削深度增加切屑越来越长，高压断屑效果变差。

下面研究进给速度变化对高压断屑的影响，切削条件：系统压力：7 MPa、 $\dot{V}_c=1\,000\text{ r/min}$ 、 $a_p=0.2\text{ mm}$ ；进给速度分别为 $f=0.05\text{ mm/r}$ 、 $f=0.1\text{ mm/r}$ 、 $f=0.15\text{ mm/r}$ 。选择45钢、40Cr、304、20Cr、AL6061作为切削对象，其试验结果如图2所示。

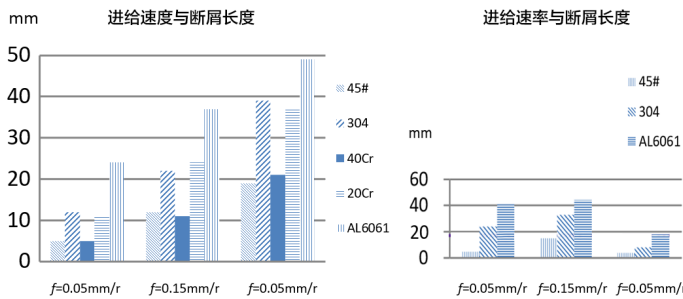


图2 进给速度变化对高压断屑的影响

结论：在能够达到断屑的情况下，相同压力下精加工不同材料，随着进给速度的增加切屑越来越长，高压断屑效果变差。

下面是压力变化对断屑效果的影响，切削条件： $\dot{V}_c=1000\text{ r/min}$ ； $a_p=0.15\text{ mm}$ ； $f=0.01\text{ mm/r}$ ，切削效果如图3所示。

材质	45钢	304	40Cr	20Cr	AL6061
压力					
干切 无法断屑					
4 MPa 无法断屑					
5 MPa 断屑长度 5 cm					
6 MPa 断屑长度 2 ~ 3 cm					
7 MPa 断屑长度 2 cm以下					

图3 冷却水压力对断屑的影响

结论：水压越高断屑效果越好，钢材质材料要达到断屑效果水压需要达到约5 MPa左右。

内孔车削也是高压断屑技术能够发挥重要作用的一个领域，它有助于确保良好的切屑形成，不至于在孔内切屑堆积、打卷、难以排出，尤其是加工困难的材料例如钛合金时还能改善材料的剪切性能。为此，在进行镗削、车内孔工序时可获得更高的加工安全性以及更长的刀具寿命。选用材料45钢薄壁件，壁厚5mm的零件，用不同压力相同切削参数的工况来进行试验，通过实际切削实验来看，内孔断屑情况略差于外圆，但也能达到断屑的效果，内孔加工主要问题是，当孔径较小时排屑不畅，切屑被刀具挡住不能及时排出，很容易造成切屑缠绕成球，影响加工。采用高压断屑的方式，一方面可以使切屑断屑，另一方面高压水能够及时将切屑排出，对加工有利。

3. 试验结论

众所周知，切削三要素中，与进给速度及切深相比切削速度对切削温度和刀具磨损的影响更大。加快切削速度会导致刀具寿命急剧缩短，但是以类似的方式增加进给速度，刀具寿命的缩短就没有那么明显。因此，通过改变进给速度以改善金属去除率成为更具吸引力的方案。但是，使用高进给速度并非总是一种万全之策，进给速度的增加肯定会产生更大的切削力，也会影响切屑控制。所以切削深度越小断屑效果越好，进给速度越慢断屑效果越好，在冷却水压力低于5MPa时，切削不同工件的断屑效果都不好，会出现铁屑打卷缠绕刀具、成团掉落、堆积在排屑机入口的情况，非常不利于自动线的高效运行，需要每隔一段时间停止工作，由人工清理排屑机入口的铁屑。而在7 MPa左右的时候钢材的断屑效果较好，可以被打断成C型块，随高压冷却水一同落入排屑机中，在连续运行8 h左右的时间里，排屑器都可顺利将铁屑排出，不会出现堵塞情况。虽然有些材料质地较软在低于7MPa的压力下也可将废屑打碎，但是为了方便操作者使用高压断屑配置，避免因更换不同材质的加工零件而频繁调整压力，可将高压统一设置为7MPa。

通过试验结果可以看出，高压断屑对车削精加工断屑的效果非常显著，工况稳定、可控，对工件表面质量、刀具寿命、加工效率等方面也有很大的帮助。

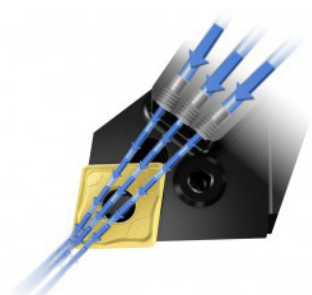
二、高压断屑的优缺点

1. 高压断屑与传统冷却的比较

传统的冷却形式的冷却液流量大压力小且充斥切削区，是通过大流量水冲刷到刀具上带走大量的热，从而达到冷却刀具的目的^[9]。冷却液不能喷入断屑与刀片之间，并有效地冷却刀片的最热区（如图4所示）。



传统外出水铝管喷嘴



高压高速冷却液射流精确度



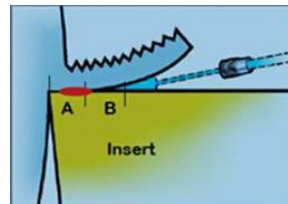
实拍的内孔镗刀杆
(上方两个喷嘴 $\phi 1\text{mm}$)



实拍的外圆车刀
(上下各一个喷嘴均为 $\phi 1\text{mm}$)



传统外冷方式



高压内冷方式

图4 高压冷却和传统冷却的比较

高压断屑冷却液的高速射流形成液压楔，提供刀片更为有效的冷却且靠近热接触区（A）。迫使切屑迅速离开刀面，从而减少在刀片磨损（B），有助于将切屑分裂成小块并从切削区域排出^[9]。

2. 高压断屑的优点

（1）冷却效果好，可以增加刀片的使用寿命降低加工成本。

（2）与常规冷却相比可提高切削速度和进给速度，提高加工效率、缩短生产周期。

（3）降低切削区的切削热，使切屑脆性增加，易于折断，可获得短小切屑，因此可改善排屑性能，使排屑容易。同时避免因切屑卡住排屑器造成的停机现象。

（4）与其他断屑功能相比，高压冷却加工对加工过程无干扰，可以获得连续的、理想的表面质量和尺寸精度。

（5）最适用于全自动精加工。粗加工及半精加工，仍有较大留量，可调整空间较大，而且不必保证表面质量和尺寸精度，可以通过调整切削参数断屑。精加工是最后一道工序，留量只够加工一次，背吃刀量一般为0.05 mm、0.1 mm、0.2 mm、0.25 mm，而且同时需要保证表面质量和尺寸精度，调整范围太小，普通方式一般很难断屑。

高压冷却液稳定可靠地将精加工过程中产生的切屑打断，保证在全自动加工状态下，不缠刀，不划伤工件，不缠工件，不会对自动测量、自动对刀和自动上下料、自动清理、自动打包、自动运输环节等造成干扰，因此对工件的全自动加工整个过程都非常有意义，为加工车间采用无人值守或少人值守的自动化加工方式奠定坚实基础。

(6) 固定的喷嘴位置，无需操作者停机设置喷射位置，或零件更换后重新设置，宜人性好，减少调整时间，提高机床的利用率。

3. 高压断屑的缺点

高压断屑的缺点：

- (1) 对刀塔承压能力要求高。
- (2) 对冷却系统的过滤装置要求较高，避免细小切屑堵塞刀具出水口。
- (3) 高压断屑的使用对机床防护的密封性提出了更高

的要求。基本上都要配置油雾收集器系统。

(4) 高压断屑技术需要配置高压冷却单元，对用户而言购买机床的成本相应会提高，而且后期除需要定期维护保养机床，同时也需要维护高压单元装置，所以后期的维护费用也会相应地增加。

三、 结语

通过高压断屑技术为车削及铣削加工带来非常大的益处。高压准确定位，使冷却液在刀刃和切屑之间构成隔断，及时带走热量及断屑，既可以减少刀具磨损又能提高切削效率，改善切屑形状便于排屑和满足工件质量要求。高压断屑非常适用于对表面粗糙度及加工精度有着严格要求的精加工工序。此项技术在车削和铣削中为实现更短的加工时间、改善零件质量一致性以及更高的加工安全性提供了解决方法。□

【参考文献】

[1] 许世超,刘润爱,郭文亮.高压内冷却车刀的断屑机理研究[J].工具技术,2019
[2] 彭锐涛,降皓鉴,唐新姿,等.定向内冷车刀及其切削性能[J].中国机械工程,2019.
[3] 顾大齐. 一种用于低温冷风切削的专用车刀:中国,一种用于低温冷风切削的专用车刀[P].2020-06-02.
[4] 张十连. 一种新型内冷高压水外圆车刀:中国,CN212398161U[P].2020-09-05.
[5] 吴明阳,刘可可,程耀楠,等. 一种高压冷却下双面断屑弧形刃减磨车刀片:中国,CN109834303A[P].2019-06-04.
[6] 赵旭. 高压冷却下 PCBN 刀具切削镍基高温合金切屑形成与折断机理 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2017.
[7] 郑永纯. 难加工材料高压冷却切削性能及试验研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2015.
[8] 洗健. 高压冷却技术在现代加工领域的优势[J]. 黑龙江科技信息,2013.
[9] 戚远大,周永胜,崔成林. 304不锈钢车削的高压断屑技术[J]. 研究组合机床与自动化加工技术,2022.
[10] 刘星. 高压冷却对车加工切屑的形状影响探究[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版),2021.

上接第61页

三、 结语

测量顶尖的实际顶紧力的大小与电机扭矩产生的理论顶紧力的误差是很有意义的，这可以让机床设计人员清楚的认识在操作面板上伺服尾座电机显示的负载率并非完全将推力提供给了顶尖，而是有相当一部分被尾座及防护拉罩产生的摩擦阻力消耗掉了。为了方便用户更好地使用

伺服尾座，设计人员可将伺服电机输出的负载率与实际产生的顶紧力相关数据分档整理成宏程序嵌入到PMC程序中，并将两者对应关系做出数据表放入机床使用手册中。用户只需要根据实际加工的工件选择相应档位的电机负载率，伺服电机即可输出相适应的顶紧力，这样即可方便用户正确地使用伺服尾座。□

【参考文献】

[1] 北京第一通用机械厂. 机械工人切削手册 [M]. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 1999.
[2] 高兰兰,赖玉活,罗晓龙. 实现数控车床的尾座自动化控制设计 [J]. 液压与气动, 2012(7) : 42 - 44.
[3] 艾绍阳,刘杰. 一种数控车床尾座结构的改进设计 [J]. 机械工程师, 2013(6) :181 - 182.
[4] 《机床设计手册》编写组. 机床设计手册第二册(上) [M]. 5 版. 北京: 机械工业出版社, 1979.
[5] 杨小娟,曹爱. 数控机床滚珠丝杠副设计计算分析 [J]. 机械研究与应用, 2020, 33(6) : 202 - 205.
[6] 马树德,段广游,高超. 床鞍拖动式可编程尾座 [J]. 装备维修技术, 2020(1) :77 - 78.
[7] 卢彦林,苏锦智. 数控铣床进给驱动电动机的选择方法 [J]. 湖南农机, 2011, 38(11) : 138 - 139.
[8] 崔德永;王鸿娟. 新型随动尾座设计应用[J].新技术新工艺,2022
[9] 余小强;杨涛. PMC轴控制功能在车床伺服尾座控制上的应用[J].制造技术与机床,2020
[10] 王建红.可编程尾座装置在数控车床上的应用[J]. 制造技术与机床,2021



基于FANUC 0i-F PLUS系统PMC 实现加工中刀具更换提醒

秦川集团（西安）技术研究院有限公司 何红欣

【摘要】 一个零件的精度在很大程度上受刀具刀刃磨损量的影响，由于刀具切削刃磨损，往往使零件的外型尺寸偏大，为了保证零件的加工精度，需要及时提醒操作者更换新的刀具。通过对最终用户的要求进行分析后，依靠FANUC 0i-F PLUS系统结合PMC功能对主轴的切削负载进行监控、计算、设定负载进行对比，实现了对机床操作者更换刀具提醒。

某公司东芝数控镗机床由于系统在执行DNC加工时会不定期的丢失程序段，造成零件加工频繁报废，根据公司决策需要对该机床的电气部分进行改造。

图1为机床的具体结构，配置四个直线轴和一个旋转轴，直线轴分别为X轴、Y轴、Z轴、W轴，旋转轴为B轴（分度间隔为1°），主轴采用的是伺服控制，有高、中、低三个档位。X轴拖动B轴左、右移动，主轴箱Y轴上下移动，Z轴拖动B轴前后移动，W轴平行于Z轴控制镗杆前后伸缩。用户提出了改造后的机床具有可设定刀具更换提醒功能，通过对刀具的及时更换，最大程度保证零件表面的光洁度一致性。



图 1

一、解决方案

1. 问题分析

经过和用户进一步沟通了解到，用户加工的零件比较大，一件工件需要一把刀具加工3天左右，由于零件精度和表面光洁度一致性要求很高，所以需要在加工过程中及时更换刀具。

针对这个要求最初提出使用刀具寿命来解决这个问题的方案，可是同用户交流后，这个方案达不到用户的要求。因为用户经过长期的使用经验，得出了零件表面加工中主轴的负载在45%~56%之间时，零件的精度和表面质量能达到要求，超过56%时虽然零件的外形尺寸合适，但是表面光洁度不合格。

2. 方案确定

对于这种依据负载范围进行更换刀具的方式，首先应该时时知道目前的负载值和设定的负载值。通过对数控系统的研究，选用FANUC 0i-F PLUS系统来完成，因为该系统的PMC

有窗口读、写指令，通过在切削中读取主轴的负载，然后和设定的负载进行对比。设定负载通过宏变量读取到系统数据中，当读取的负载大于设定的负载值时，系统发出更换刀具的提示信息。FANUC 0i-F PLUS系统除了丰富的PMC指令外还具有以下优点：

- （1）系统功能以打包形式销售，一般的功能全部集成，不需要增加额外费用，系统性价比高；
- （2）双槽版系统可配置工业通讯总线；
- （3）零件存储容量2M；
- （4）FANUC PICTURE作为标准功能；
- （5）高加工性能AICC I、AICC II。

二、功能的实现

从上面的分析可知，要想通过时时监控主轴负载达到提醒操作者及时更换刀具的提示要求，必须经过主轴负载的时时读取转换计算、比较负载值的设定、比较负载值和实

际主轴负载值比较处理三个部分。

1. 主轴负载的时时读取和转换计算

主轴负载的计算公式为：
$$l = L * \frac{\lambda}{32767}$$

式中:l为主轴负载，%；L为通过PMC窗口读取的数据值（二进制数据）；λ为系统参数（NO.4127中）的值，这个值为电机初始化后自动生成的值，不许更改。

(1) 主轴负载读取的PMC

读取主轴负载的采用窗口读指令，具体PMC见图2。

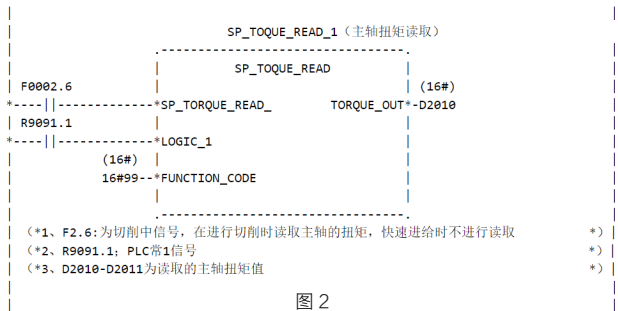


图 2

使用F2.6（切削中信号）作为读取主轴负载的条件的原因是只读取在切削进行中的主轴负载值。

(2) 主轴负载计算的PMC

根据式（1）计算主轴在切削时的负载值的PMC如图3所示。

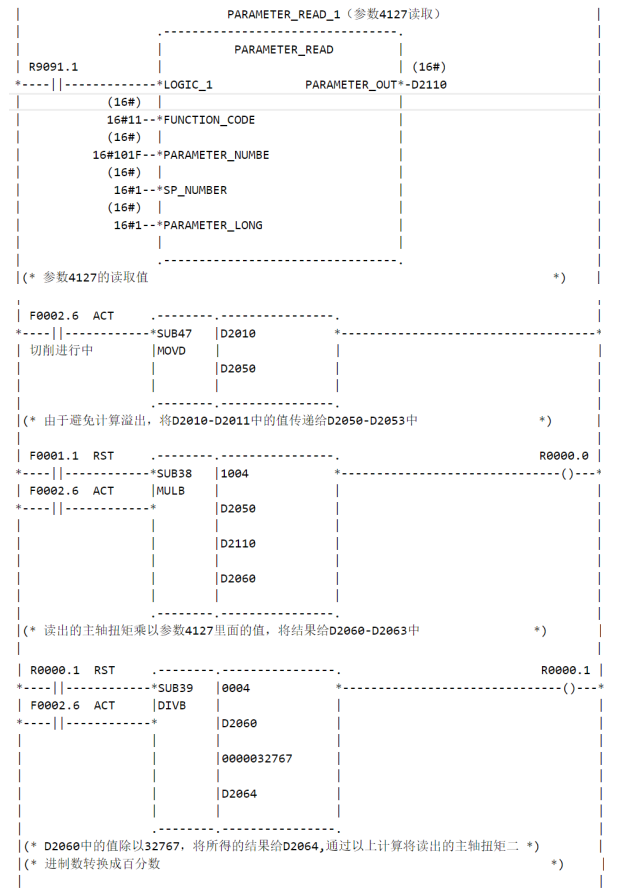


图 3

2.比较负载值的设定和读取

通过对系统功能的研究，比较负载值的设定方法可以通过二次开发的界面输入设定和在加工程序中设定两种可行的途径。

二次开发的界面里设定时，将设定的数值传递给宏变量、D数据等。PMC读取这些数据后和主轴的实际负载进行比较判断。采用加工程序设定时，需要提前在程序的合适位置增加程序段，该程序段调用一个宏程序（子程序），宏程序（子程序）将所设定的比较值传给宏变量，PMC读取宏变量的值后和主轴的实际负载进行比较判断。

分析可知，通过二次开发的界面输入设定的方法需要提前对刀具的负载进行设定，对于这个工件来讲，通过二次开发的界面可以实现将比较负载输入的目的。但是如果一个加工程序中有两把以上的刀具时，就要求操作者一直站在机床旁边，等到新刀具号更换后重新修改负载比较值，这种方法操作麻烦、通用性差，而且容易发生遗忘或修改错误。还有一个问题就是在程序执行过程中修改比较负载设定值时，需要按特定键进入二次开发的界面，当所设定的地址正在参与计算时，此时设定新的值会产生二次开发的界面死机，产生错误报警。

通过加工程序设定刀具负载值比较灵活，可以根据需要在刀具切削前的任意位置增加程序段，一旦编好程序，只需要机床按照程序执行即可，从某种程度上将降低了操作者的工作强度，并且针对不同的刀具可以进行不同的负载设定，这种方法的通用性、可靠性强。

鉴于以上的对比，本文就以程序设定法进行阐述，在实际中采用B代码调用O9004子程序，B后面的值用来输入比较负载设定值，存储在宏变量#146中。

例如：执行B85程序段（见图4），系统调用O9004程序，同时#146=85.0000（见图5），O9004程序执行完成后，将设定的比较负载值传递给宏变量#150中如图6所示。



图 4

O9004
%
#150=#146;
M99;
%

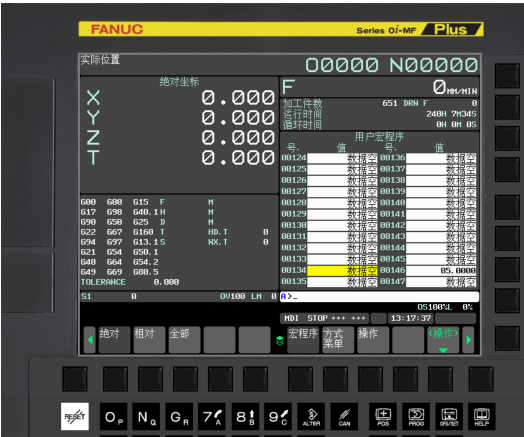


图 5

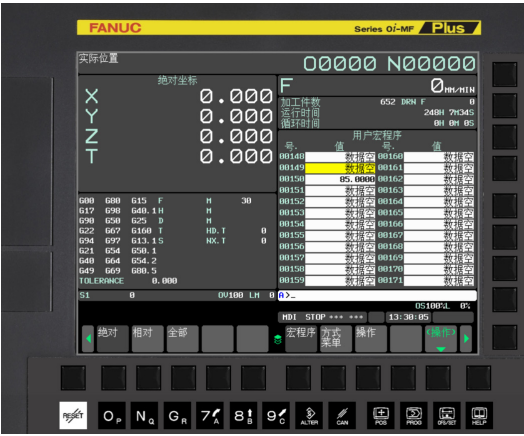


图 6

PMC读取设定的比较负载值后进行相应的计算就可以与实际的负载进行比较。具体的PMC程序见图7。



图 7

在进行上面的计算中，由于系统设定单位为ISA，上面计算中D2210除以1000，如果设定单位为ISC，上面计算中D2210除以10000，这一点要引起注意，否则会产生错误。

3. 设定负载和实际主轴负载值比较

在进行工件切削过程中，用计算出来的设定负载值和计算出来的实际主轴负载值进行比较，当实际负载大于设定的负载时，延时2s进行信息提示（延时2s是为了得到比较稳定的负载比较信号），提醒操作工进行刀具或刀刃更换，同时停止机床加工。具体的PMC见图8。



图 8

4. 相关参数的设置和样例程序的编写

(1) 相关参数设置（见附表）。

参数号	设定值
6090	66（B代码调用O9004子程序）
1013#0	0（ISA设定）
1013#1	0（ISA设定）

(2) 样例程序

O001(举例程序)

%
.....;
B85;
T1;
.....;
M30;
%

程序说明：B85中，B代码调用O9004子程序，B85中的85是要进行比较的负载值，系统在执行B85这段程序时，通过B代码调用O9004子程序，O9004执行完后，将85由宏变量#146传递给宏变量#150（见图5、图6）。

（下转第71页）

浅析发动机曲轴滚压工艺

上汽通用五菱汽车股份有限公司青岛分公司 张文龙 安源 张洪宝 杨贵博

【摘要】 曲轴滚压校直工艺是曲轴线的核心工艺之一，通过滚压校直，改善滚压后的曲轴跳动特性，与其他工艺相比最大程度提高了抗疲劳强度。此种工艺只要求对工件进行车削预处理，而不必进行费时费力的磨削。省时的深滚压工艺加上铸件材料，即能得到一种成本低廉的组合，而整个滚压工艺的关键需要选用合适的滚压力、滚压时间、滚压圈数等参数。

曲轴是发动机最重要组成部件之一，它与连杆配合将作用在活塞上的气体压力变为旋转的动力，传给底盘的传动机构；工作时，曲轴处于一种高速旋转的状态，承受连杆传来的力并受到旋转质量的离心力，使其产生一定的弯曲并降低了曲轴的抗疲劳强度，而曲轴的抗疲劳强度破坏主要发生在曲柄与主轴颈、连杆颈的过渡圆角处，因此，曲轴线的圆角滚压工艺是整条曲轴线的关键工艺。

国内某著名发动机工厂曲轴线滚压工位采用的是德国 Hegenscheidt 的滚压校直机，通过在曲轴旋转过程中对各个沟槽施加以一定角度和数值的力对各个轴颈进行滚压校直，达到增加主轴颈和连杆颈圆角半径处的残余压应力和圆弧表面光洁度的作用，进而实现提高曲轴在交变应力下的强度。

一、滚压校直工艺

发动机曲轴线主要生产四缸直排系列的曲轴，曲轴的上下料通过机械手进行抓取，在机械手将前工位曲轴抓入机床滚压前，先通过激光传感器感应工件的类型，便于机床调整相应的程序进行加工。滚压时滚压刀具与竖直方向的夹角为 $(55.25 \pm 0.25)^\circ$ ，单片刀具设置的力为 6000N (力的分配见图1)，滚压12圈，采用3-6-3的滚压方式，即升压和降压采用3圈滚压，恒力滚压6圈。滚压完成后，利用MARPOSS测头对五个主轴颈进行跳动检测，主轴颈跳动值小于 $200\mu\text{m}$ 的放行，大于 $200\mu\text{m}$ 的个别轴颈

需要进行校直，然后再检测，直至校直到小于 $200\mu\text{m}$ 放行（如果超出预先设置的校直次数，曲轴即被报废），最后会对滚压合格的工件进行打标。

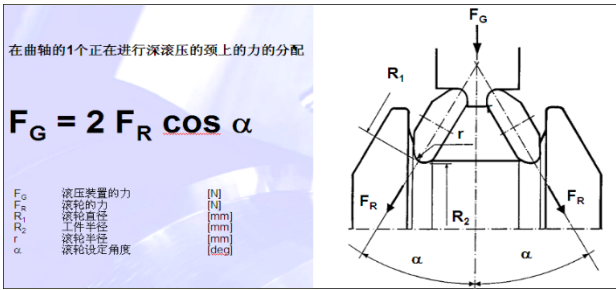


图1 深滚压力的分配

二、曲轴的深滚压原理

1. 曲轴的深滚压

在深滚压过程中，滚压轮以压紧力在沟槽(曲轴的主轴颈和连杆颈过渡圆角处)中沿圆周方向绕行，使沟槽产生塑性变形(见图2)。这条塑性变形带具有以下特点：

- (1) 产生残余压应力，可延缓裂纹的扩展并阻止断裂的产生，从而提高抗疲劳强度。
- (2) 提高表面硬度，滚压使圆角处形成高硬度的致密层，使曲轴的机械强度得到提高。
- (3) 提高表面质量，圆角滚压后表面粗糙度达到尺

1.6 μm 。从而大大减小了圆角处的应力集中。

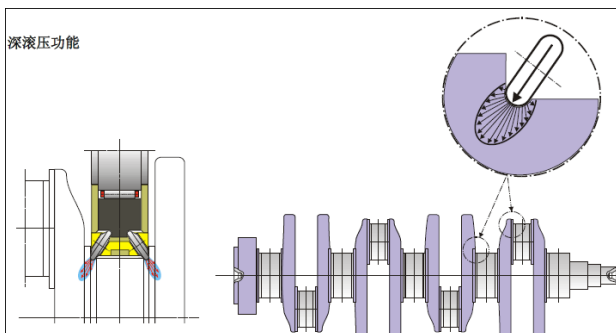


图2 曲轴深滚压

2. 曲轴的校直

校直就是曲轴在一次深滚压完成后，个别轴颈径向跳动不合格，然后对其再进行一次深滚压的过程。如果轴颈的跳动超过机床的设定值，则会通过RTC(实时计算机)计算出当前最佳的校直方法，用适当的力对其中某一轴颈进行校直，以消除工件的径向跳动。滚压及校直的关系如图3所示。

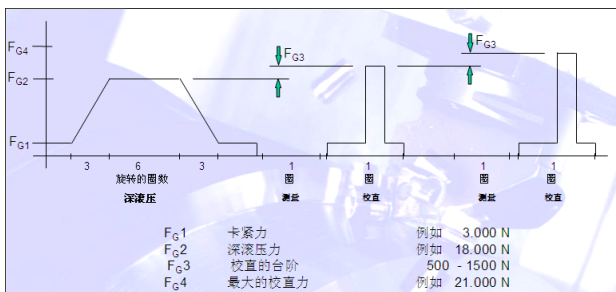


图3 深滚压和滚压校直

3. 常力滚压与非常力滚压

对曲轴的沟槽进行滚压时，滚压轮的压紧力作用于待加工沟槽的圆周上，并且根据实际的角度，在最大和最小压力之间变化。在滚压过程中，依照曲轴类型和轴颈种类的不同，对其在特定时间内（工件的旋转圈数）施以滚压力。

(1) 常力滚压

此种滚压用于主轴颈，图4显示了旋转角度变化时曲轴轴颈滚压力的变化曲线从一个任意角度，滚压开始，滚压力将通过一定的旋转圈数（ n_1 ），从接触力（ F_A ）线性上升到滚压力（ $F_{1,2}$ ），在一定的旋转圈数 n 内保持常数，并且通过一定的旋转圈数 n ，线性下降到接触力 F_A 。

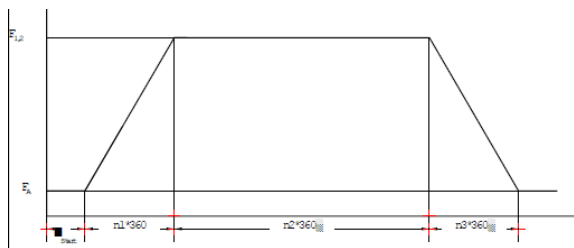


图4 常力滚压曲线图

(2) 非常力的滚压

与角度有关的滚压力控制，此种模式主要用于滚压连杆颈。由于连杆颈上材料分配的不同，轴肩处通常比较脆弱，故在该区域的滚压力设置通常会减小一些。例如，在C14产品图中定义在连杆颈轴肩的120° 角度范围内滚压力降为正常滚压力的一半（见图5）。为实现工艺上的统一，B12的滚压力设置与C14相同。

这种称为角度参照滚压的原理为，在待滚压轴颈的一定区域内起作用。滚压力起作用的区域将以角度给出，标为 β_1 和 β_2 ，滚压力通常定义为 F_1 和 F_2 。 F_1 和 F_2 的值由相应的 β_1 和 β_2 给出。

压力分配：从 β_2 到 β_1 （从旋转方向看），使用滚压力（ F_1 ）滚压；从 β_2 到 β_1 （从旋转方向看），使用滚压力（ F_2 ）滚压。

角度 $\beta_1 < \beta_2$ 的示例（见图6）：从 β_1 到 β_2 输出滚压力 F_1 ；从 β_2 到 β_1 输出滚压力 F_2 。

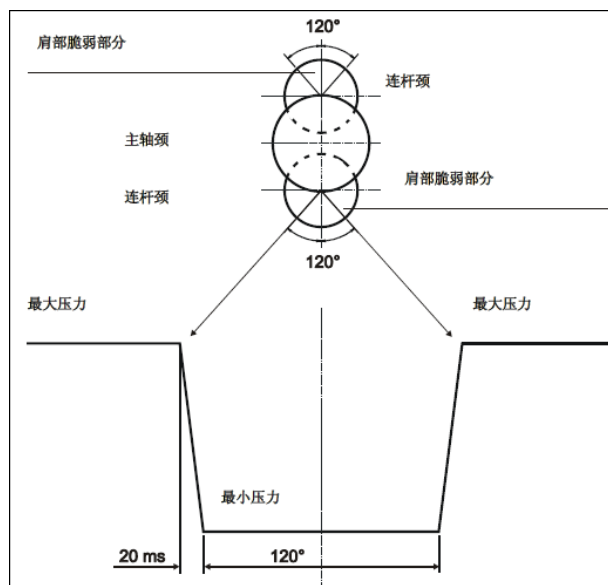


图5 与角度有关的滚压力控制

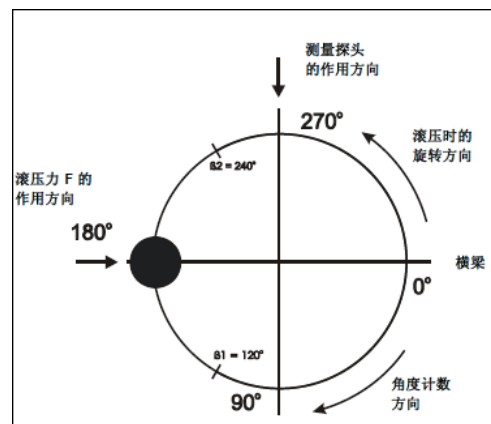


图6 角度 $\beta_1 < \beta_2$ 的示例

三、影响滚压不合格的因素

发动机曲轴线滚压校直工位频繁出现滚压校直不合格问题，导致节拍超差，部分工件无法校直而报废。通过跟踪验证发现，主要原因在于前工位加工主轴颈时其径向跳动超差。工艺要求主轴颈相对于两端中心孔跳动在0.15mm以内（见图7），而滚压校直不合格件其跳动都超过20μm，因此通过调整OP20（加工主轴颈）机床顶尖跳动，由原来的50μm调到20μm以内，滚压校直不合格现象大有改善。

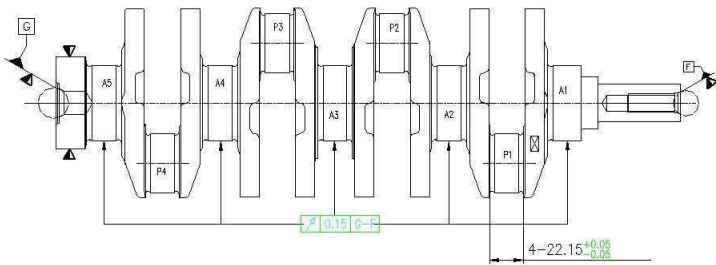


图7 曲轴跳动要求

为了验证前工位来料跳动的影响进行了以下验证：

取样OP30（半精加工连杆轴颈，铣8#平衡块顶面）加工的在制品60件100%测量跳动，测量结果得出：跳动大于0.15mm的有18件（其中有2件跳动大于0.2μm），小于0.15mm的有42件。将跳动小于0.15mm的42件集中过OP40，一次滚压合格的有40件，校直1次后合格的有2件；

将18件跳动大于0.15mm的18件集中过OP40，一次滚压合格的有10件，校直1次后合格的有7件，校直2次后合格的有1件。分别调整OP20-1/-2 顶尖跳动（由50μm调整到20μm），主轴颈跳动有明显下降（见图8）。

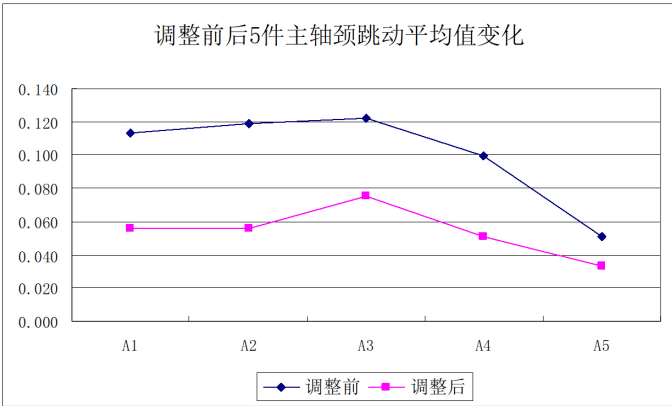


图8 调整顶尖前后跳动值

四、结语

曲轴滚压工艺是曲轴线核心工艺之一，通过在曲轴旋转过程中对各个沟槽施加以一定角度和数值的力对各个轴颈进行滚压较直，达到增加主轴颈和连杆颈圆角半径处的残余压应力和圆弧表面光洁度的作用，进而实现提高曲轴在交变应力下的强度。□

上接第68页

5. 功能拓展

该功能虽然解决的是刀具更换提醒的问题，但是实质是进行实际负载和设定负载的比较。因此，可以拓展为刀具受损保护功能，此时的Bxx为设定的刀具切削最大承受极限值。如果一个零件程序中有多把刀具，那么可以在每把刀具前面设定不同的Bxx,可以实现对不同刀具的受损保护。本文中只在进行切削时进行设定负载和实际负载的比较，实际中也可以通过M代码更灵活的打开和关闭设定负载和实际负载的比较，通用性更强。

三、结语

通过以上PMC指令的运算和比较，完全解决了用户提出根据主轴切削负载完成刀具更换提醒的问题，经过近半年的运行，零件加工的报废率由原来的4%降低为2%，效果

显著，用户非常满意。

总之，FANUC强大的系统配合丰富的PMC功能指令，使机床如虎添翼，不但解决了用户提出的问题，提高了零件加工合格率。同时也启发了我们在遇到问题时，应该多思考，不能轻易放弃，从系统和PMC功能两方面结合起来的解决方案。□

【参考文献】

- [1] 《FANUC Series Oi-MODEL D FANUC Series Oi Mate-MODEL D PMC编程说明书》B-64393CM/01；
- [2] 《FANUC Series Oi-MODEL F Plus 参数说明书》B-64700CM/01；
- [3] 《FANUC Series Oi-MODEL F Plus 车床系统/加工中心系统通用操作说明书》B-64694CM/01
- [4] 《FANUC Series Oi-MODEL F Plus 连接说明书（功能篇）》B-64693CM/01



某型机车车轴圆周表面滚压加工工艺开发

中车资阳机车有限公司机车事业部 杨 洋 徐岸利 湛轲喆 丑洋洋

【摘要】 该型机车是我公司为国外特别设计并执行ГОСТ标准的新型内燃机车，其车轴与国内常见内燃机车车轴滚压技术要求不同。要求同时满足滚压硬化表面硬度的增加量不小于20%和有较高硬度的金属层深度不小于 $0.02d$ 。对此，本文针对该车轴进行工艺分析及开发，基于公司内现有设备及工具、工装，通过工艺试验的验证，使得产品最终满足图纸要求。

某型机车是我公司为国外特别设计并执行ГОСТ标准的新型内燃机车，其车轴与国内常见内燃机车车轴滚压技术要求不同；该车型车轴要求从车轴齿端 $\phi 160$ 到非齿端 $\phi 160$ 表面全部进行滚压强化，滚压硬化表面硬度的增加量应不小于20%，有较高硬度的金属层深度应不小于 $0.02d$ （其中 d 为轴硬化截面的直径）；而常见车型车轴的滚压仅针对车轴圆弧、抱轴颈，同时满足滚压后表面硬度不低于210HBW即可。

一、原理分析

滚压加工是一种无切屑加工，通过一定形式的滚压工具向工件表面施加一定压力，在常温下利用金属的塑性变形，使工件表面的微观不平度辗平从而达到改变表层结构、机械特性、形状和尺寸的目的，可同时达到光整加工及强化两种目的，如图1、图2所示。

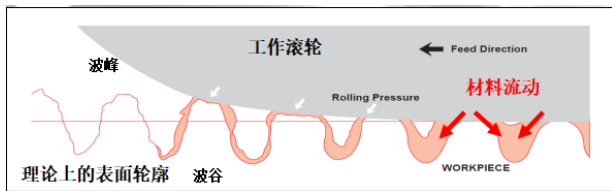


图1 滚压示意图

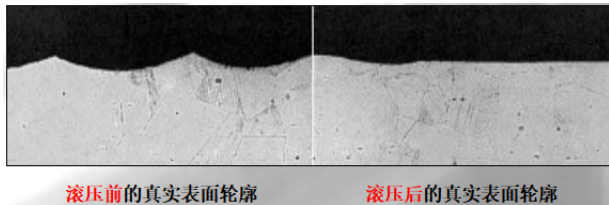


图2 滚压前后表面轮廓对比图

对于车轴来说，滚压后可以达到提高表面粗糙度、表面硬度及减少应力集中等目的。如图3所示，车轴滚压前后表面粗糙度明显提高。

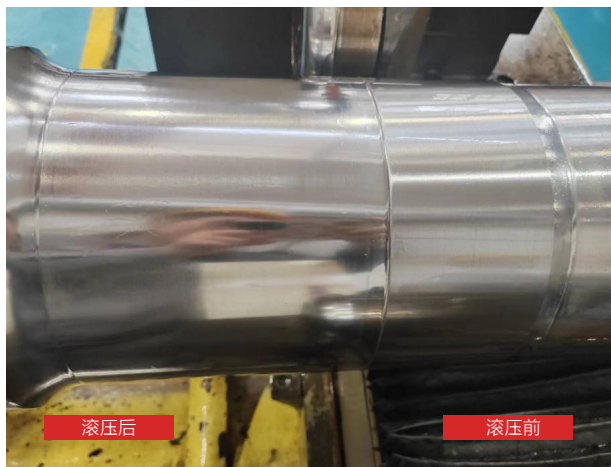


图3 车轴滚压前后对比图

二、工艺开发

1. 产品结构

该型车轴结构示意图如图4所示。车轴材质为JZ1，其外形尺寸、结构与内燃机车滑抱结构的的车轴一致。不同点是要求对车轴圆周表面进行全部滚压，同时满足滚压硬化表面硬度的增加量应不小于20%，以及有较高硬度的金属层深度应不小于 $0.02d$ 这两项要求。

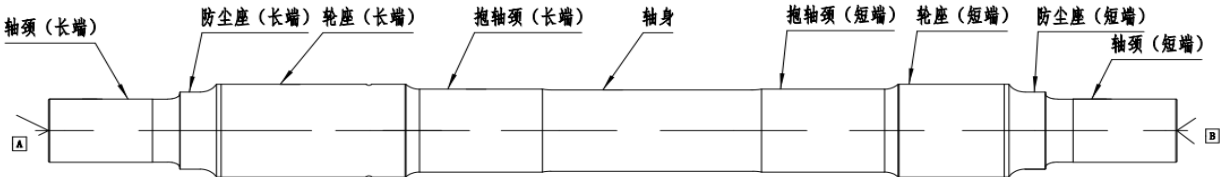


图4 车轴结构示意图

2. 产品传统工艺流程

在对产品进行初步分析后，因结构一致，该型车轴参照成熟产品工艺流程执行，主要流程为：来料检查→绞孔、定总长→车轴半精车→钻孔、攻丝→滚压圆根→精磨外圆→滚压车轴圆周表面。其特点为成熟度高，可执行性强。

3. 工艺试验

(1) 现有工艺参数进行工艺试验

结合产品工艺流程，以现有工艺参数对车轴进行全滚压工艺试验，检测车轴表面硬度值增量是否能达到20%，硬度层深度不小于0.02d，车轴滚压检测结果如表1所示。

表1 车轴试样滚压检测结果

试样名称	试样编号	检测项目及检测结果		
		表面硬度 HV10	金属硬度原始值 (20mm处) HV10	滚压金属层 深度/mm
轴颈试样	1#	215	187	4
轮座试样	2#	213	184	5
轴身试样	3#	/	180	/

注意：

①由滚压硬化造成的轴表面硬度的增加值（%）按下列公式确定：

$$\Delta=(H_b-H_c)100/H_c$$

式中：

H_b ——在轴表层上测定的金属硬度最大值；

H_c ——未经滚压硬化处理的金属硬度原始值，该数值是在距表面15~20毫米的深处且垂直于表面的一侧测定。

②试验车轴未经滚压硬化处理的金属硬度原始值检测数据为180HV（对应为460HL），现场硬度检测仪为里氏硬度计，经数据统计分析后，车轴滚压后硬度值增量达到20%时检测车轴表面硬度应不小于525HL。

根据公式计算，车轴表面硬度值增量在15%~18%，不满足20%硬度值增量的技术要求，即硬度层深度4~5mm，满足不小于0.02d的技术要求。

(2) 如何提高车轴滚压后的表面硬度

根据公式可以明确的是，未经滚压硬化处理的金属硬

度原始值主要与车轴材质相关，其数据变动范围小；对于同一批炉号、同一种材质的车轴，影响车轴表面硬度值增量的因素是车轴滚压后的表面硬度值大小。即如何提高车轴滚压后的表面硬度才是保证车轴表面硬度值增量不低于20%的必要条件。对此，结合实际经验及相关标准，拟通过改变压强、二次滚压、降低滚压速度、单滚轮滚压四种方式来验证。相关试验依据见表2。

表2 车轴滚压试验方式依据表

序号	方式类别	依据分析
1	改变压强	现有两种车型车轴采用的滚压压强不一致，检测其表面硬度有明显变化。
2	二次滚压	根据《ГОСТ 33200-2014》第7.2.2条，提及二次滚压。
3	降低滚压速度	降低滚压速度理论上可以增加滚轮作用面与车轴表面的接触作业时间。
4	单滚轮滚压	对于滑抱结构形式的车轴，圆弧滚压采用单滚轮，抱轴颈采用双滚轮；在轴颈与防尘座相连圆弧处检测表面硬度值较抱轴颈处更大。

根据以上试验方式，选用同材质的车轴进行了相关工艺试验，试验数据见表3。

表3 车轴滚压方式对比数据分析表

方式类别	数据统计(硬度单位：HL)	试验结果	
改变压强	4MPa	521/516/523	随着压强增加，硬度值增加
	5.5MPa	526/528/525	
	6MPa	540/539/539	
二次滚压	一次滚压	521/516/523	硬度值增量无明显变化
	二次滚压	518/516/520	
降低滚压速度	降速第一次	514/516/518	硬度值增量无明显变化
	降速第二次	515/514/523	
	降速第三次	515/519/525	
单滚轮滚压	在采取6MPa压强的前提下，单侧作用时收刀目视可见车轴弹回。		不采取该方式

由表3可见，提高滚压压强可以明显提高车轴表面硬度。对此，进行工艺试验验证合适的滚压压强。

(3) 验证合适的滚压压强

为了验证得出合适的滚压压强达到满足图纸要求，展开以下工艺试验：

1) 试验一：



试验内容：选用同材质的车轴，选择3处车轴部位进行滚压，其中1处滚压压强为5.5MPa，2处滚压压强为6MPa。

试验结果：发现其中1处6MPa压强滚压车轴的部位出现翻边，如图5所示。

试验分析：该试验开展时间在冬季上午：车轴滚压时，滚压介质的粘度会受到外界温度的影响，使滚轮无法顺畅移动，导致车轴长时间在同一部位附近受到滚压，致使车轴表面“积肉”过多，出现“翻边”。同时设备状态不稳定，在试验开展过程中发现滚轮“点动”，滚轮也是无法顺畅移动。

2) 试验二：

针对试验一出现的设备状态不稳定，联系维修人员修理设备，证实属于油缸中有空气，对其处理后滚轮行进顺畅；对于外界温度影响滚压介质的粘度，也是本次试验的验证项点。

试验内容：在温度较高的下午以5.5MPa的滚压压强对车轴轴身进行滚压。

试验结果：车轴未出现翻边，外观良好，车轴滚压后硬度值增量无法全部达到20%的要求。

试验分析：滚压压强5.5MPa不合适。

3) 试验三：

试验内容：将滚压压强调整至6MPa，选择车轴轴颈、轮座、防尘座进行滚压，在温度较低的上午开展试验。

试验结果：车轴未出现“翻边”，外观良好，磁粉探伤检查合格，但车轴两端轴颈滚压后硬度值不满足要求。

试验分析：车轴轴颈为车轴上尺寸最小的部位，轴颈与滚轮之间的过盈量较小。

4) 试验四：

试验内容：以防尘座为基准尺寸对滚轮每侧各增加15mm垫块，后续试验验证硬度值是否满足预期要求。同时关注车轴滚压前后尺寸的变化，特别关注轴颈处的尺寸变化。

试验结果：对滚轮每侧增加垫块后，试验验证轴颈处硬度值达到预期要求；统计分析尺寸变化发现滚压后较滚压前缩小0.01~0.015mm。发现滚轮起刀、收刀处（前期车轴试验部位主要以轮座和轴身为主，尺寸测量集中在车轴各部位中间）有“塌边”现象，其车轴外圆尺寸变化单边最大达到0.15mm，如图6；检测发现车轴长度尺寸较滚压前单边增加约0.3mm，轴端螺纹孔检测不合格（车轴总长在车轴半精车工序确定，轴端螺纹孔加工在钻孔工序完成，两道工序均在滚压圆周表面工序之前）。

试验分析：

①滚轮起刀、收刀处塌边，分析是滚压压强本身偏

大，滚轮起刀处受到外界作用力的影响较大；而滚轮收刀处主要是端部或其他过渡部分，尺寸本身偏小或支撑处尺寸在减小，如轴颈、轮座端部；最终引起“塌边”。对此，考虑在各端部位置加宽引锥宽度，滚压时终止位置提前10mm收刀，减少车轴滚压带来的“塌边”影响。

②车轴长度尺寸增加是因为车轴滚压后“挤肉”引起的变化，通过检测车轴端面跳动数据（ $\leq 0.02\text{mm}$ ）后发现满足图纸要求（ $\leq 0.05\text{mm}$ ），表明车轴滚压后对端面的影响均匀可控。通过数据对比分析后得出在滚压压强为6MPa时滚压车轴带来的长度尺寸变化规律。对此，在控制车轴总长的“铰孔、定总长”工序中将车轴总长对应加工缩短0.6mm；在控制防尘座间距的“车轴半精车”工序中考虑尺寸变化按其下差加工，对应修改车轴半精车数控程序。最后调整工艺流程，由先磨削后滚压改为先滚压后磨削，可以避免滚压带来的尺寸变化，同时希望通过磨削加工消除滚压带来的“塌边”影响，则需要试验验证分析半精车工序给精磨工序的加工余量。

③车轴轴端螺纹孔检测不合格是因为滚压压强增大，其螺纹孔所在区域位于具有较高硬度的硬度层内，在车轴轴颈滚压后，导致螺纹孔出现变形。拟通过调整工艺流程来避免滚压带来的影响，对应将钻孔、攻丝工序调整至滚压轴颈后。

5) 试验五：

试验内容：根据试验四中所调整的新工艺流程，验证半精车工序的尺寸余量，从而解决车轴相关部位滚压后精磨表面硬度值达到预期要求，同时消除滚压带来的“塌边”。

试验结果：通过试验验证半精车工序留量 $0.2 \pm 0.02\text{mm}$ 时可基本满足要求，此时滚压工序带来的“塌边”影响在精磨工序消除，同时检测车轴表面硬度值满足预期要求。



图5 车轴翻边图

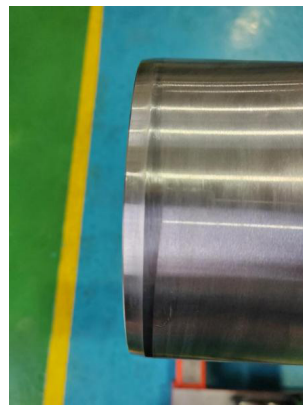


图6 车轴端部塌边图（光亮痕迹）

4. 产品新工艺流程

调整后的工艺流程为：来料检查→铰孔、定总长→车

轴半精车→滚压圆弧→滚压圆周表面（除抱轴颈、轴身）
→钻孔、攻丝→精磨外圆→滚压抱轴颈、轴身。

5. 滚压工序工艺参数

根据各工艺试验，将该型机车车轴滚压加工的工艺参数固化如表4所示：

表4 车轴滚压新工艺参数

滚压部位	滚压压强	滚轮选择	备注
圆弧滚压	4MPa	单滚轮	现有工艺参数执行。
滚压圆周表面 (除抱轴颈、轴身)	6MPa	双滚轮	车轴半精车控制尺寸余量0.2±0.02；在终止位置前5mm处提前收刀。
滚压抱轴颈、轴身	6MPa	双滚轮	在终止位置前10mm处提前收刀。



图 7 调整工艺流程后的车轴实物图

三、实际验证

通过后续在该型机车车轴批量验证中，发现车轴“塌边”痕迹有明显改善（见图7）；同时工艺流程的合理调整，使得车轴螺纹孔满足检测标准、车轴滚压圆周表面后表面硬度值增量满足不小于20%的要求以及车轴长度尺寸检测符合设计图纸的要求。

四、结语

在基于公司现有设备和工装、工具的前提下，通过对该型机车车轴表面全部滚压强化工艺试验的研究，证明我公司具有满足ΓOCT标准车轴加工的能力；同时为我公司对于车轴滚压工艺提升带来了深入探索，填补了车轴圆周表面全滚压工艺的空白；后续可推广至其他执行同一标准车轴的加工应用中。□

资讯

国际机器人联合会发布最新机器人密度，韩国、新加坡和德国领先

据国际机器人联合会（IFR）2024年1月在法兰克福报道，2022年工业机器人装机量快速增长，全球在役机器人保有量创下390万台的新纪录。按机器人密度衡量，自动化程度最高的国家依次是：韩国（1012 台/万名员工）、新加坡（730台/万名员工）和德国（415台/万名员工）。数据来自于 IFR 发布的《2023 年全球机器人报告》。

国际机器人联合会主席Marina Bill表示：“机器人密度反映了全球自动化状况，使我们能够对各地区和国家进行比较。全球应用工业机器人的速度令人印象深刻：最新全球平均机器人密度创历史新高，达到每万名员工151台机器人，是六年前的两倍多。”

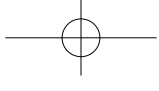
各地区机器人密度

亚洲制造业机器人密度为每万名员工168台。韩国、新加坡、日本、中国大陆、中国香港和中国台北都跻身全球范围内自动化程度最高的前十位之列。欧盟机器人密度为每万名员工208台，德国、瑞典和瑞士位列全球前十。北美的机器人密度为每万名员工188台。美国是制造业自动化程

度最高的十个国家之一。

全球领先国家

- 韩国是全球第一大工业机器人应用国。自2017年以来，机器人密度平均每年增长6%。韩国经济受益于两大用户行业—强大的电子行业和独特的汽车产业。
- 新加坡紧随其后，每万名员工730台机器人。新加坡是一个小国，制造业从业人员很少。
- 德国排名第三。作为欧洲最大的经济体，自2017年以来，机器人密度年均复合增长率为5%。
- 日本排在第四位（每万名员工397台机器人）。日本是全球机器人主要制造国，2017-2022年，机器人密度年均增长7%。
- 中国和2021年的排名相同，保持第五位。尽管制造业拥有约3800万的庞大劳动力，但中国对自动化技术的大规模投资使机器人密度达到每万名员工392台。
- 美国的机器人密度从2021年的274台上升到2022年的285台，全球排名第十。



三菱 PLC 电池电压低报警改进

湖南天雁机械股份有限公司 周小伟 周雅智

【摘要】 现在大量的设备使用PLC控制。PLC大多使用电池作为程序、参数和中间运算结果等的存储支持。当电池电压不足时会造成程序、参数和中间运算结果等的损坏和丢失，影响设备正常运行。PLC本身带有电池电压低报警功能，在硬件上有显示，但观察不便，常常因为未能及时观察到而未能及时更换电池，从而影响设备正常运行。把PLC的电池电压状态引入用户程序，从而在设备的操作显示界面上能观察到电池状态并控制设备的运行，就能及时更换电池，减少以致消除电池电压低对设备运行的影响，就显得非常重要。本文是一个把使用三菱PLC的设备的PLC电池电压低报警引入PLC用户程序，从而把PLC电池电压状态在设备操作显示界面显示出来并控制设备运行的例子。

1. 引言

现代设备大量使用PLC控制器，这大大简化了设备控制线路并减少了设备故障率，提高了设备工作可靠性，但也带来一些比较特殊的问题。妥善解决这些问题可使设备使用得更好。

（1）三个相关故障案例

第一个为一台无心磨床出现砂轮进给量太大以致撞坏砂轮的故障。经查，此磨床砂轮进给控制为三菱FX2NPLC通过FX2N-20GN位控模块控制MR-J3-350A三菱伺服驱动器，驱动器驱动三菱伺服电机闭环控制，整个进给控制为反馈为电机转角的半闭环控制。故障后经查，位控已电池电压低报警。更换电池后故障并未消除。进一步检查位控里的和位置控制相关的存储器存储内容已混乱。重新输入位控用户程序并不能使存储器清零。编了一个临时位控用户程序使位置控制相关的存储器存储内容清零重新对刀才解决了撞砂轮问题。

第二个与前一个有点相似，为一台停用时间约半年的无心磨床出现PLC停止运行故障。经查，此磨床PLC为三菱Q01CPU。故障后经查发现，CPU故障灯闪烁，位控各指示灯闪烁。诊断显示参数异常，读不出用户程序。更换

电池并重新输入用户程序和参数等后故障消除。

第三个故障为摩擦焊不能工作故障。经查，故障发生时FX2N-60MRPLC已出现电池电压低报警，进一步检查用户程序已不全。重新输入新的用户程序后工作正常。

（2）故障异同点

这三个故障不同之处在于一是表现形式有所不同，有的设备不能工作，有的设备工作异常；二是故障点有所不同，一是位控模块，一是PLC的CPU。其共同之处在于PLC均为三菱品牌，其具体原因都是电池电压降低，都在相应的器件（CPU和位控模块）上有报警提示，但仅在CPU和位控上显示而未在设备操作、显示界面上提示，也未在电池电压才降低时就使设备停止运行。

2. 故障后果和预防分析

这种PLC的CPU和位控模块电池电压降低以后未能及时发现造成的直接后果就是参数、数据和用户程序等丢失或混乱。数据混乱而用户程序还在运行常常会导致像第一个案例一样的设备运行混乱以致损坏设备的后果。而用户程序和参数丢失虽然一般停止了设备的运行而不会造成直接物质损失，但恢复用户程序和参数常常并不是一个轻松的事情，费时费力。那么能不能预防这

种事情呢？

回答是肯定的。一是经常查看PLC上的电池和故障指示灯，一旦发现电池电压不足，尽快（一般一周以内）更换电池就不会影响设备的正常工作。但是由于设备安装（比如我们的设备安装太过拥挤，设备控制柜难以打开）和人手不足等原因，常常未能及时发现电池电压不足。那么，有没有更好的及时发现电池电压不足的办法呢？回答也是肯定的。

3. 解决办法

办法是利用三菱PLC的CPU和位控自带的特殊继电器中的电池电压低锁存继电器，结合设备运行用户程序和设备操作、显示界面，使得一旦出现低电压就使得设备不能正常开动，并在HMI 或指示灯上显示出来即可。如图1所示为PLC用户程序中增添的取出位控电池电压状态的程序片段。



图1 取出位控电池电压低锁存状态程序

FX系列PLC的FX2N-20GN位控模块电池电压低锁存继电器为M9143（电池电压低时为1，电压正常为0），对应的BFM编号为28（M9143至M9128），图1把位控的M9143的值赋予CPU的M615。图2为PLC用户程序中增添的把 CPU和位控电池电压低报警综合(M8006为FX系列CPU电池电压低锁存继电器)起来的程序片段，在未暂停电池报警（M621和X040均为0）时，CPU或位控电池电压低将使M620为1。

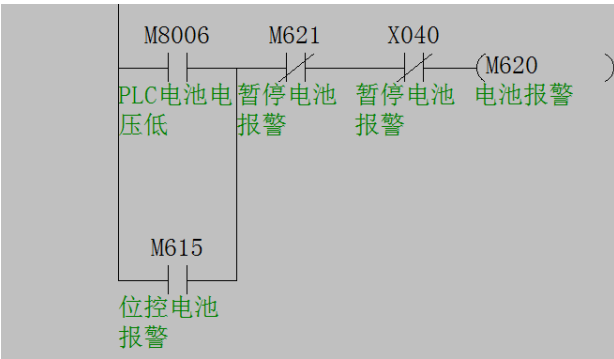


图2 CPU和位控电池低报警综合

M620的状态反映到HMI上或控制某个指示灯亮灭即可在设备操作显示界面上反映出电池电压状态，相应的具体

用户程序略。由于电池可能不能立即更换而设备要继续运行，可在HMI（比如用M621）或设备操作面板上(比如用X40)取消报警。图3为PLC用户程序中增添的当PLC电池电压低时设备停止运行的程序片段。

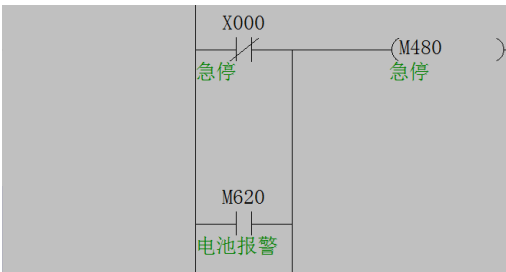


图3 电池电压低报警停机用户程序片段

对于电池电压低引起的数据混乱问题，可以在用户程序里加入受控于HMI或设备操作开关的清零用户程序加以解决，具体用户程序略。以上为使用FX系列PLC用户程序实例。如使用Q系列PLC，注意其CPU电池电压低锁存继电器为SM51。采取上述措施后，只要电池电压低设备就会停止运行并报警，操作人员自然会通知维修人员处理。只要及时换电池就不会影响设备运行。

4. 结语

笔者见过大量设备使用的PLC或相关模块带有助于支持用户程序、参数或中间变量存储的电池，PLC的CPU模块或相关模块带有电池低电压报警，一般开始报警后还可正常使用一周到一个月。PLC的这一报警信号不但可以在PLC的CPU模块或相关模块上显示，还可以引入用户程序后进一步引出。但是，笔者还没有见过有设备把这个报警信号引出来到设备操作或显示界面上，或者把这个报警信号用于控制设备的运行。这样，由于种种原因常会使相关人员略过这一报警，造成丢失用户程序、参数和中间变量而造成设备不能运行或运行异常的不良后果。因此，像前述例子一样把这一报警引入到PLC用户程序并反映到设备操作显示界面且用于控制设备运行是非常必要的，也是可能的，其它型号的PLC可参照本文处理。□

参考文献

[1] 三菱电机. FX2N系列微型可编程控制器使用手册[M].三菱电机, 1999.11
[2] 三菱电机. FX2N—10GM和FX2N—20GM硬件/编程手册[M].三菱电机, 2000.2
[3] 三菱电机. QCPU编程手册（公共指令篇）[M].三菱电机, 2008



小型机械设备电气集成控制的应用

滕州市三合机械股份有限公司 王丹 王鹏 黄耀辉 彭娜 张威

随着现代经济的迅速发展,传统的小型机械设备电气控制采用控制柜方式,利用断路器、交流接触器、热过载继电器、中间继电器、交流变压器、电气开关、指示灯等控制器件来设计;主要实现对设备电机起停控制、电机正反转切换控制等操作;断路器主要是在异常情况下保护输入电源,交流接触器控制三相电源通断启停电机和正反转切换电机控制,热过载继电器保护电机过载或过流,中间继电器,交流变压器,电气开关,指示灯等辅助对交流接触器和电机的控制。

其缺陷为:采用控制柜的设计占用体积大,电路接线复杂,误接的可能性较大,强弱电交叉走线,抗干扰能力低,生产效率低下,结点多导致故障率高,增加了调试和测试的时间和难度;交流接触器和电气开关都是机械式闭合和断开,容易产生噪声和电火花,热过载继电器存在重复性能差、大电流过载或短路故障后不能再次使用、调整误差大、易受环境温度的影响误动等。

为了解决传统配电柜纯在的问题,根据需求设计一种电气集成控制器,该种集成控制器要解决的技术问题是提供一种结构简单、噪声小、体积小、反应快、保护到位,抗干扰能力强,接线简单,故障率低,安装方便,节省成本,通用性强,可靠性高,操作安全系数高的集成控制器。

1. 方案

本集成控制器采用的技术方案是:采用集成电路板加塑胶外壳的组合的方式,把交流接触器改为固态继电器。断路器改为嵌入式保险丝,热过载继电器改为电流互感器,具有短路、缺相、过载保护功能。交流变压器改为开

关电源模块,电气开关和指示灯改为由MCU加低压电子元器件组成的控制电路然后一同集成到电路板上,模块化设计,再把电路板安装在塑胶外壳内部,操作界面至于塑胶外壳表面,由电路板上的触点按键和指示灯来操作使用。

该种控制器主要包括AC380V~DC24V电源模块电路,使用安全电压,中间继电器通断电路,固态继电器触发电路,电流检测电路,急停电路,启动停止指示灯显示和MCU控制电路以及电源输入,电机输出等电路。

其功能特点:

- (1) 高度集中化,模块化设计,可靠性高。
- (2) 电机缺相、短路、过载保护功能。
- (3) 短路保护相应速度快。
- (4) 控制信号高低电平通用。
- (5) 电机控制多样化选择。
- (6) 模块可更换性强,维修简单快速。

2. 结构特点

EMC抗干扰电路接三相输入端,通过压敏电阻消除尖峰电压,减少对内部电压源的干扰;通过Y电容和X 电容对系统脉冲干扰进行滤波;固态继电器和电源模块内部自带EMC抗干扰电路。

(1) 电源模块电路:如图1所示,额定输入电压AC380V,输入电压范围AC85~500V;输出电压DC24V。DC24V给固态继电器、中间继电器、外围开关使用,另DC24V通过XL1509-3.3V电源降压芯片转换成DC3.3V给MCU、按键、指示灯等使用。电源输入现线R、S、T线路中接入嵌入式可更换保险丝,起到短路、过载保护功能。

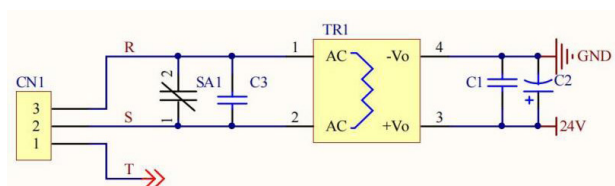


图1 开关电源模块电路

(2) 中间继电器通断电路：如图2所示，当MOTOR按键按下MCU的FS引脚产生高电平信号，通过二极管D3使NPN三极管Q2导通，将中间继电器14脚接低电平，中间继电器吸合，信号输出；当MOTOR按键再次按下MCU的FS引脚恢复低电平信号，通过二极管D3使NPN三极管Q2截止，中间继电器14脚恢复断开状态，中间继电器断开，信号断开。

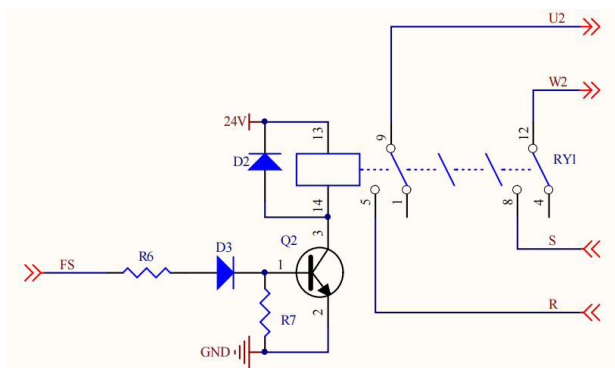


图2 中间继电器电路（驱动冷却电机）

(3) 固态继电器触发电路：该固态继电器触发电路主要实现对三相异步电动机的控制，如主电机。如图3所示，当RUN按键按下MCU的RS引脚产生高电平信号，通过二极管D1使NPN三极管Q1导通，触发固态继电器接通，主电机运行；当STOP按键按下MCU的RS引脚恢复低电平信号，通过二极管D1使NPN三极管Q1截止，固态继电器恢复断开状态，主电机停止。

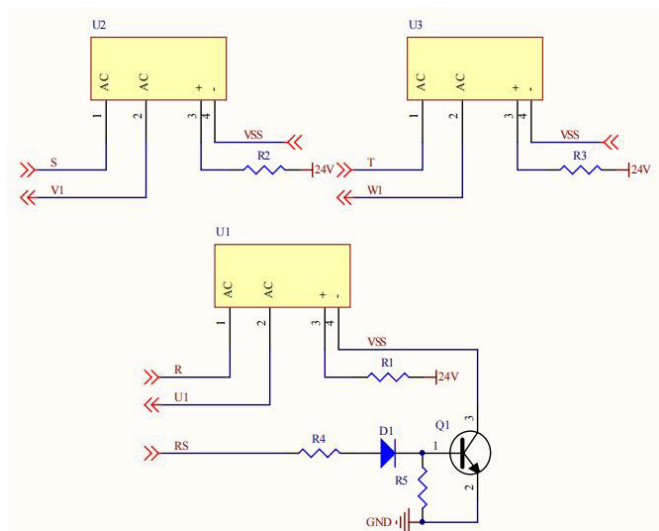


图3 固态继电器触发电路（驱动机器负载）

(4) 电流检测电路：如图4所示，电源输入线R、S、T穿过电流互感器将感应电流信号输入到相关处理电路中，通过整形滤波后转换成电压信号，通过MCU的ADC采样来计算当前电流值，并与MCU内部设定值进行比较来判断是否过流，若持续10s处于过流状态，即为过流，10s后将停机达到保护电机过流的效果。同时通过整形滤波后转换成电压信号，通过MCU的ADC采样来计算当前电流值，来判断其线路是否通过电流，如电源输入线R、S、T某一线路无电流通过或电流值很小，若持续10s处于此状态，即为欠压或缺相，10s后将停机达到保护电机的效果（机器停机，指示灯快速闪烁，警告其处于保护状态）。

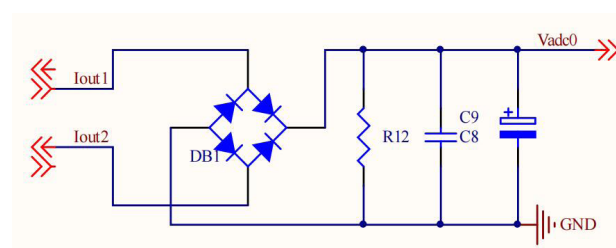


图4 电流检测电路

(5) 保护电路：如图5所示，当面板急停按键按下时JT信号变成低电平，JJTT信号也随之变成低电平，输入到MCU的IO口产生急停信号(停机，指示灯慢速闪烁)；当面板急停按键恢复时JT信号变成高电平，JJTT信号也随之变成高电平，输入到MCU的IO口恢复正常工作状态。急停电路可以串接机器外部各保护开关，起到外部保护功能，比如机器开门断电保护功能、机器断开防护保护功能、机器部位张紧断开保护功能、机器安全防护保护功能等。

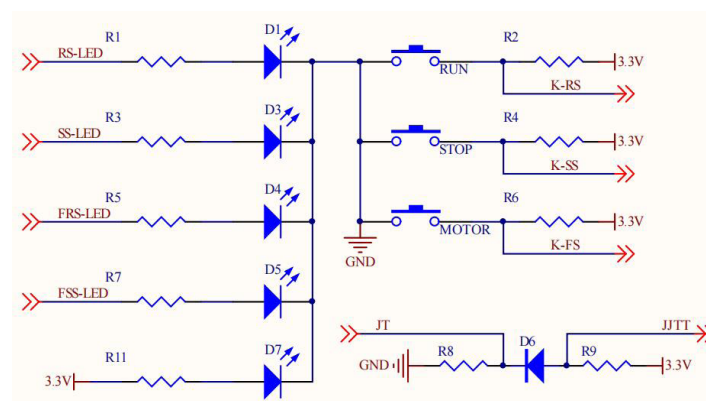


图5 保护电路，按键指示灯电路

(6) MCU控制电路：控制机器的各主要负载，如主电机及冷却电机；如图6所示，当RUN按键按下主电机运行，指示灯D1亮，指示灯D3灭；当STOP按键按下主电机



停止,指示灯D3亮,指示灯D1灭;当MOTOR按键按下冷却电机运行,指示灯D4亮,指示灯D5灭;当MOTOR按键再次按下冷却电机运行,指示灯D5亮,指示灯D4灭;当面板急停按键按下时,指示灯D3和D5慢速闪烁;当产生过流信号、欠压信号、缺相信号时,指示灯D3和D5快速闪烁。

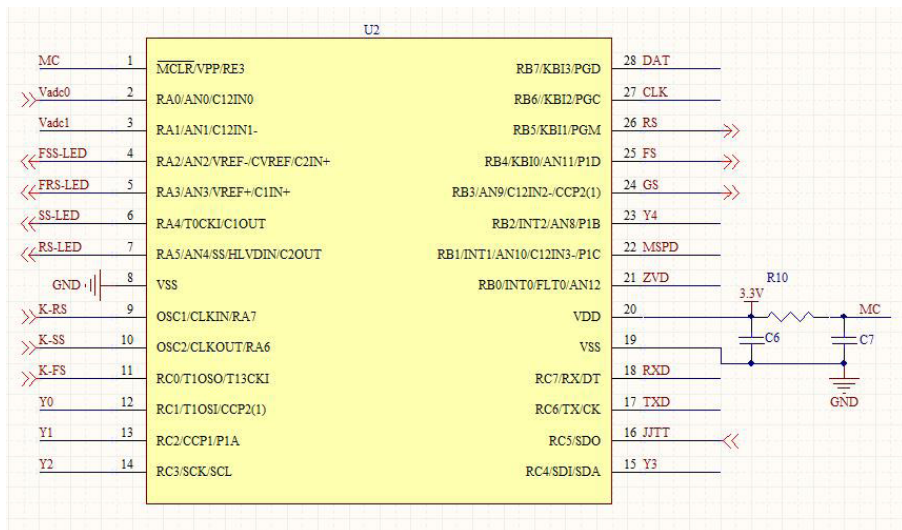


图6 MCU控制电路

3.应用示例

以小型立式钻床的应用为例。传统小型立式钻床通过使用断路器、变压器、交流接触器、热继电器、按钮开关、中间继电器、转换开关等电气元件的连接,实现钻床的启动、停止、正反转控制,根据电器件的占用空间大小设计一个较大的电器箱及操作面板来实现电器件的安装,其电器箱与操作面板的还需要连接电线,实现小型立式钻床操作控制,接线繁琐复杂,生产效率低、容易出现接线错误而出现故障等,而使用集成控制器只需要通过连接电源线、主电机线、冷却泵线、外部保护线即可实现对钻床的控制。

由于集成控制器使用电子元件及MCU芯片把操作面板及内部强弱电线路的控制集成为7个模块线路板:①电源模块。②继电器模块(可根据设备功能情况选择使用继电器模块上的继电器数量)。③固态继电器模块(可根据三相异步电动机的数量选择固态继电器模块)。④保护电路模块。⑤电流检测模块。⑥MCU控制模块。⑦按键集成操作面板模块。

然后把各模块组装在一起,由于各模块较小可以安装到钻床内部或使用一个小的电器盒安装到钻床上,通过排线与集成操作面板连接,实现对钻床的控制。控制如下:

(1) 输入380VAC电源电压,通过电源模块把电源电压380VAC变为安全的控制电压24VDC,24VDC为继电器模块、固态继电器模块、保护电路模块使用,另DC24V通过电源降压芯片转换成DC3.3V给MCU、按键、指示灯等使用(运用了电源模块)。

(2) 按下操作面板模块上的RUN按键,按键上方对应的指示灯亮,此时钻床可以使用,按下L按键,按键上方对应的指示灯亮,主电机正转运行,主轴正转,按下R按键,按键上方对应的指示灯亮,L按键上方对应的指示灯灭,主电机正转停止后,反转运行,主轴反转,按下STOP按键,RUN按键上方对应的指

示灯灭,钻床停止运行(运用了按键集成操作面板模块、继电器模块、固态继电器模块、MCU控制模块)。

(3) 按下急停按钮或打开主轴防护(保护电路模块可以增加其他防护开关),钻床在任何情况下都不能工作,只有把急停按钮或主轴防护复位,钻床才能工作(运用了保护电路模块)。

(4) 当钻床在钻孔时,电机过载运行,MCU的ADC采样来计算当前电流值,与MCU中设定值比较,来判定是否过流,若持续10s处于过流状态,即为过流,10s后将停机达到保护电机过流的效果。ALM指示灯快速闪烁,警告其处于保护状态(运用了电流检测模块、MCU控制模块)。

4.市场前景

该控制器的实施方案结构简单、是一款噪声小、体积小、反应快、保护到位,抗干扰能力强,接线简单,故障率低,安装方便,节省成本,通用性强,可靠性高,操作安全系数高的集成控制器,在出现异常大电流情况下能够快速响应过流信号,及时封锁电机驱动信号,能起到更好的保护作用,有效地消除了目前小型机械设备当中控制柜的设计占用体积大,电路接线复杂,误接的可能性较大,强弱电交叉走线,抗干扰能力低,生产效率低下,结点多导致故障率高等问题。

本控制器主要客户对象为小型机械设备供应商,产品适销对路,市场广阔,具有较好的社会效益。在研发过程中贯彻了技术进步的方针,积极采用具有国内外先进水平的制造工艺和装备,以保证产品的高质量和低成本。本控制器居国内同行业先进水平,能够拓展相关延伸供应链,带动相关产业的进一步发展。□