

# 数控机床工业设计创新探究

孙长利

(沈阳机床成套设备有限责任公司 辽宁 沈阳 110142)

**摘要:** 数控机床是现代制造业中最关键的生产设备之一,也是我国制造业与工业发展的关键点。当前数控机床正处于智能化革命的浪潮之中,其工业设计也应随着功能与需求的扩展进一步丰富。本文从数控机床的外观、软件系统与硬件系统三方面出发,对设计现状与所在问题进行分析,提出了数控机床工业设计的绿色化与智能化创新方向,并对我国数控机床行业的发展提出了参考性建议。

**关键词:** 数控机床; 工业设计创新; 绿色化; 智能化

## 1 数控机床工业设计分析

### 1.1 数控机床的结构设计分析

现代数控机床根据运动方式的不同可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床,其主体结构与数控系统的关键技术存在很大的共通性。如图1所示,数控机床的结构分为固定结构与运动结构,固定结构由底座、床身、立柱、刀架与固定架组成,而运动结构则由传送带、联动轴与运动刀具构成,每一个主轴负责一种操作工艺。

### 1.2 数控机床的数控系统设计分析

随着数控机床功能需求的不断扩展,其数控系统

设计由传统的单一嵌入式通用处理器逐步转变为多芯片并联作用。适合于数控机床的操作系统逐步丰富,依托于该平台的软件与硬件外设扩展也越来越丰富,数控机床的数控系统已经逐步实现PC功能。因此,现代数控机床能够更轻易地适配互联网与局域网通信。此外,特型芯片的运用为高性能的人工智能运算提供了硬件基础。

### 1.3 数控机床的外观设计分析

数控机床外观造型设计在审美与实用的双重要求下不断发展。如图2所示,机床外罩采用了大量圆润流畅、大范围平整切面的设计风格,机床门与机床外罩正立面的轮廓线相匹配,大型机床门采用双开门电控开关门式,以便于技术人员的进出与进料;机床的主观察窗以大面积的矩形窗为主,边角处采用小圆角修饰,侧观察窗根据观察角度的不同采用圆形或不规则形状,观察窗按照人体视高的60%设计,这种设计的优点在于便于技术人员长时间的观察。此外,编程操作台也将根据大部分工程人员的身材尺寸进行高度确定。

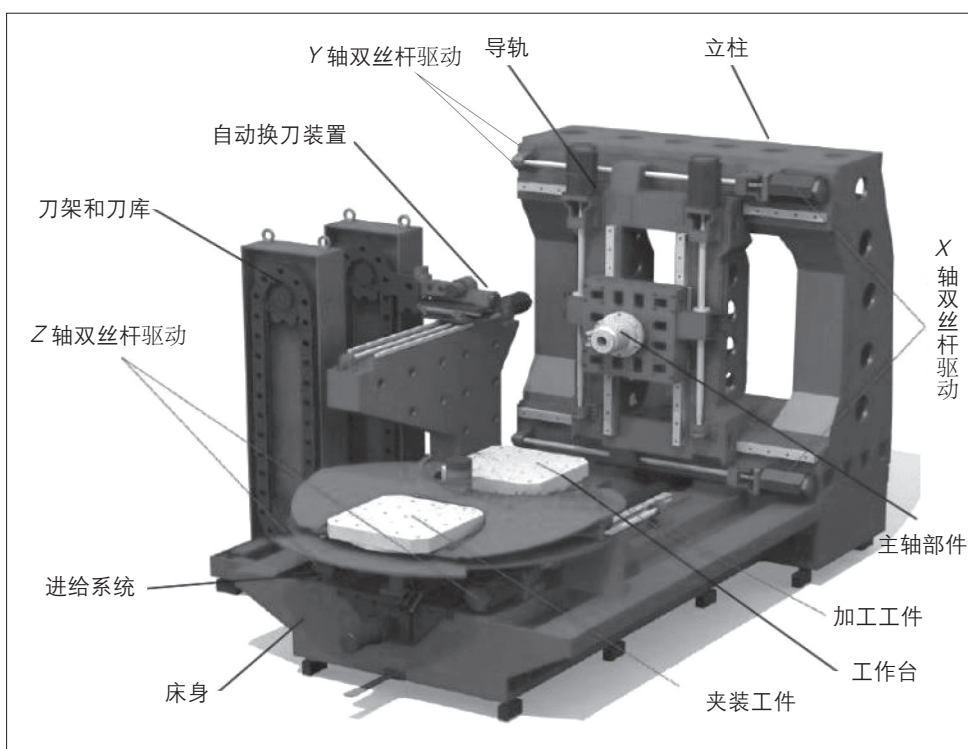


图1 数控机床机械结构

## 2 数控机床工业设计面临的瓶颈

工业机床从第一次工业革命被发明以来经历了四次迭代,依次是蒸汽化、电气化、数字化与智能化。目前我国数控机床的整体研发与制造能力



图2 竖置与横置现代数控机床

普遍停留于第三代。现行的数控机床作为现代制造业的核心生产设备，对于现代工业的生产质量与生产效率有着至关重要的影响。目前，我国数控机床的国际知名度与市场占有率仍与世界一线产品存在较大差距，我国数控机床的工业设计整体面临着三大瓶颈。

### 2.1 创新能力与创新意识不足

由于我国是后发的工业化国家，同时市场化的建设和完善程度与发达国家相比也有一定的差距，因此我国在过去的很长一段时间从事着低端制造业，相关的核心技术与人才储备极低，自主研发的数控机床在性能、技术、价格与稳定性上不具备比较优势，大部分数控机床企业从事一般的代加工与后期组装。长期处于产业链下游又进一步限制了我国数控机床企业的自主创新能力与意识。创新能力缺乏的惯性又辐射到相关人才的选拔与培养，使得这一问题仍然延续至今。

### 2.2 工业设计创新的有效性创造性不足

数控机床工业创新的目的在于提高产品性能、降低能耗并提高设备的可靠性，综合提高数控机床在工业生产中的效率，然而目前针对数控机床工业设计创新的研究缺乏实际落地的可行性。智能化作为目前工业界最热门的发展方向，科技研究、技术创新都不断将注意力投向这一领域，但这一领域的产出仍然十分有限，理论与实践的断层是目前数控机床工业设计所面临的问题之一。

### 2.3 数控机床的国产品牌高端市场占有率较低

我国数控机床行业呈现跨国公司、外资企业、国有企业和民营企业相互竞争的格局，其中高端国产数控机床的市场占比仍然较小(图3)。国产化数控机床的机械结构与国际顶尖水平差距不大，真正有所差距的部分在于数控系统，即数控机床的软件部分。由于进口数控机床厂商严格执行软硬件的捆绑销

售，因此我国数控机床的市场占有率与核心技术的转化率仍有着较大的扩展空间。

影响高端国产数控机床市场占有率的另一个重要因素为品牌化程度不高。品牌化不足最直接的问题在于缺乏市场竞争力与知名度的扩展，同时也打压着中小型数控机床企业生产整机的积极性。虽然我国国产数控机床在中低端的市场表现良好，但只进行零部件的加

工又不利于国产数控机床行业整体的工业设计水平提升。

## 3 数控机床工业设计的创新方向

### 3.1 绿色化

绿色化是指数控机床在生产过程中采用更加环保的材料与工艺，降低数控机床的能耗并减少数控机床运行时的废物排放。在数控机床的工业设计与制造环节，主要能够从新型材料与新型结构两个方面对数控机床进行绿色优化。

对于材料而言，传统数控机床通常采用合金材质，机身质量大且容易受到锈蚀。新型材料如树脂、大理石、碳纤维、泡沫金属的一种或几种在数控机床的制造中会有效解决上述问题。此外，新型材料的生产较传统金属材料而言能耗更低且污染物排放更少，能够实现上游产业的绿色化转型与发展。

对于结构而言，新型材料更高的刚性与更轻量化的表现给新型复合嵌套结构的实现奠定了基础。主要的新

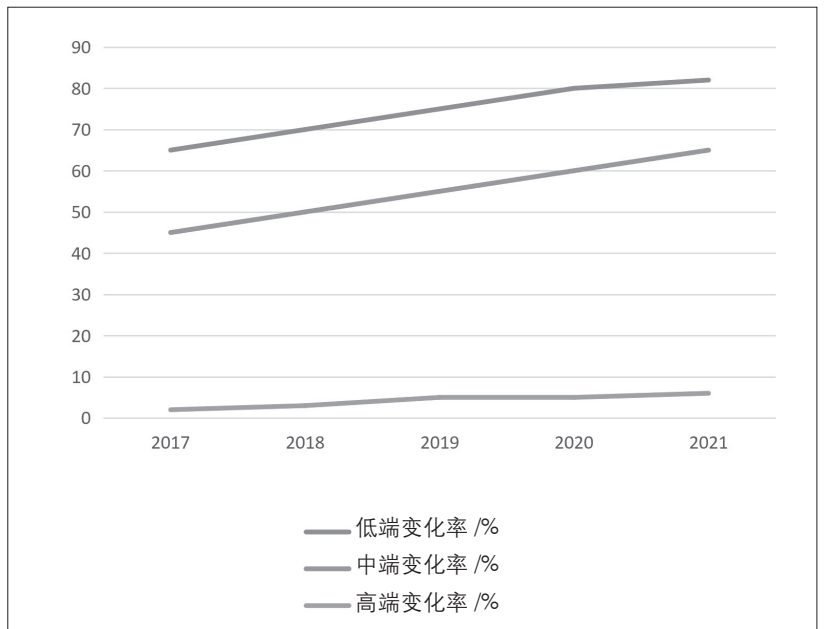


图3 2017 ~ 2021 年中国不同档次数控机床国产化率变化情况

型结构有箱组嵌套结构、焊接结构、双桁架结构等，不同结构通过各种方式实现了数控机床速度、精度与稳定性的全面提升。

### 3.2 集成化

集成化是指以整合多功能于一体的全新数控机床设计理念。纵观数控机床的发展史与市场中的经典成功案例可以发现，集成化是推动数控机床进步的重要增长动力，例如整合切削、钻孔于一体的日本 Marzak 品牌的 INTEGREX200-Ⅲ。集成化的设计与模块化的结构存在极高的契合度，不仅能够实现功能的扩充，同时还极大简化了制造流程，小型化设备的操作工序更加符合人体工程学，这使得数控机床的适用范围进一步扩展。

### 3.3 智能化

智能化是数控机床领域的一场全新的根本性的改革，是数控机床成为更加通用解决方案的关键，以智能化作为宣传点的产品也在国际各大展会上迎来更多关注。智能化的核心在于利用互联网技术、通信技术、人工智能技术对数控机床的功能实现进行改革，以实现用户对数控机床高速、高精、复合、智能、环保的要求。

## 4 数控机床工业设计的创新实现

### 4.1 绿色化创新

绿色化创新的实现应从结构创新与能耗优化两方面入手。

(1) 新结构的应用能够更充分地发挥新材料的优秀物理特性。新型结构总体呈现多主轴化、并联化与模块化。多主轴保证了部件的加工过程运动轨迹能够更加稳定与平滑，产出效率也更高，同时多主轴意味着重型的单一主轴被取消，设备的耐久性将显著提高；并联化使得数控机床的动静平台连接更为顺畅，有效地简化了机床的结构复杂度，同时能够实现统一控制，与串联化结构相比，并联结构获得了更低的空间复杂度，从而获得了更高的动能传动效率，而更好的能量转化率又降低了多余的热量浪费，克服了小空间的散热问题；模块化结构使得数控机床的组装、部署、维护与检修都变得更为规范，同时模块化有助于推动不同数控机床之间的匹配性，间接提高了设备的使用年限，降低了使用与维护成本。

(2) 数控机床的可优化能耗主要分为待机能耗、空载能耗与加工能耗。待机主要是指数控机床核心的动力模块处于休眠状态，而数控单元与照明单元仍然处于运行状态的工作状态。为避免数控机床重复的冷启动对机床的磨损，在非运行状态下机床通常处于待机状态，对待机消耗的优化方式主要为自适应的感光系统与照明系统，其工作原理为感知环境光的强弱调整自身的照明情况。空载是数控机床加工间歇所处的情况。这一部分的

主要能源消耗在于机床抖动所产生的噪声与热量消耗，以及电机系统非满载运行所产生的电量抑制消耗。使用主轴变频与电能反馈技术，将机床空载时所产生的巨大动能转化为电能。加工过程的能耗主要是传动系统的能耗与刀具系统的能耗。新型材料的轻量化优势直接能有效降低 10% ~ 15% 的数控机床能耗，驱动部分的效率更高。此外，还有高效永磁电机、滚珠滑动组件、变频技术以及自适应液压泵等新技术，以能耗的动态调节与提高生产效率的方式降低单位时间的机床能耗。

### 4.2 集成化创新

集成化创新应当从技术创新、概念创新与形态创新三方面入手。

(1) 技术创新是整个集成化功能实现的核心与关键，与一般的理论创新不同，工程化的问题有着更多的细节问题，因此将不同的传统理论或传统技术进行有效整合也可以被称之为技术创新，例如传动效率的增强、换刀效率的加快与补给的进一步流畅等。发达国家的技术优势源于其在航空航天、军工、船舶、交通等前端领域拥有更多的工程实践与国家对于专利技术、品牌化的保护。因此我国也要借鉴这一模式，将尖端技术逐步与商业化、民用化行业整合，并通过对市场的规范与监管激发企业研发主体的技术研发积极性。

(2) 概念创新是推动数控机床行业发展、吸纳更多资金与人才涌入的重要方式，也是实现品牌化与比较优势的重要方式。概念创新既包含了对数控机床技术与产品的创新，又包含了对市场认知以及细分领域需求识别的创新。

(3) 形态创新主要是指对数控机床的外在形态进行创新。外在形态对于机床价值的影响不仅源于人类的审美追求，同时也源于优异的外型设计能够有助于相关人员对产品的理解，从上手度与设计的便捷度上提高技术人员的工作效率与工作积极性。形态创新也有助于品牌化所必须的辨识度的形成，优异的内在技术与参数配置也需要相符的外在结构所承载，从而获得更高的商业价值与工业价值。

### 4.3 智能化创新

智能化极大地丰富了数控机床及其处理任务的范围，对于数控机床智能化的研发也不断呈现多元化。如图 4 所示，就目前已经成熟的产品而言，主要技术包括以计算机视觉为核心的加工条件搜索、对伺服控制的功能优化、对环境误差与测量误差的自动补偿、移动终端控制与以多模态任务为核心的交互式编程。

(1) 加工条件搜索是通过计算机视觉、高精度传感器与人工智能技术的结合实现对目标产品的最优加工路径探索。传统的产品加工工艺选择需要依靠专业人员丰富的工程能力与行业经验的长久积累，但剧烈的行业变

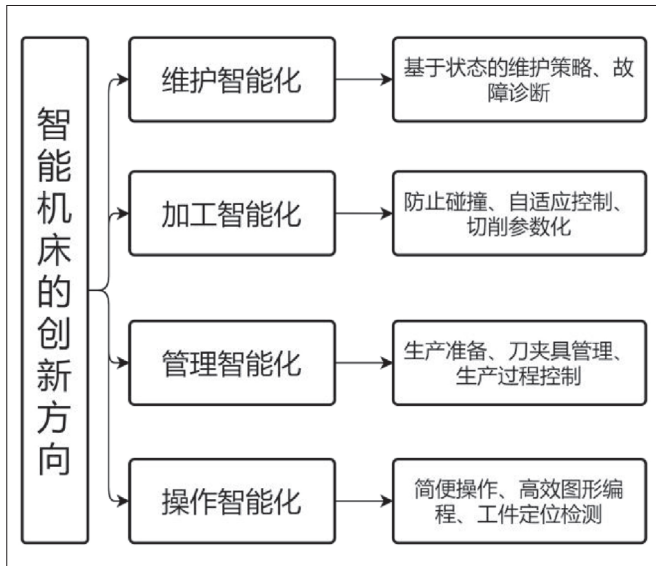


图4 数控机床的智能化创新方向

革与更为集成化的要求使得人工技术选择的优势大幅下降，而智能化数控机床的加工条件搜索能够生成一个理论上最优的完整解决方案，极大地缩短了技术路线决策周期，并有助于加工质量的提升。

(2) 伺服控制功能优化是通过人工智能技术的动态监测效果实时调整伺服电机的运行效率，解决长期使用机床产生的反转突起或异响、振动、折痕、鳞状痕等问题，还能够实现长时间的高精度、稳定运行。

(3) 环境误差与测量误差的自补偿技术是通过高精度传感器对环境信息与机床的自身位置进行精准测量。测量精度的提高与人工智能对时序信息的高效处理是最关键的两个技术核心，目前行业顶尖的系统仅需10min即可实现高达11种几何误差测量及自动补偿。此外，高精度传感器对环境温度的实施测量能够实现对热位移的控制。

(4) 数控机床进行移动终端控制是通过移动设备如手机、平板电脑等对数控机床的运行情况进行检测与控制的控制方式。随着工业互联网的逐步成熟，全新的网络协议将支持多种设备之间的互联。交互式编程是技术人员通过语音、文字以及图像等不同的形式对数控机床进行编程的编程方式，这种编程方式极大地简化了编程逻辑，并能够实现对于CAD/CAM的兼容性，在控制器上以图形校验程序很容易看到哪些代码正在被执行。

## 5 智能机床工业设计的未来发展

数控机床智能化创新的发展将向维护智能化、加工智能化、管理智能化与操作智能化四个方面进行（图4）。

在维护智能化方向中，数控系统应当开发基于状态的维护策略以改变传统的定期维护与事后故障处理；在加工智能化方向中，数控系统应进一步提高其防碰撞、自适应控制等方面的能力；在管理智能化方向中，数控系统应进一步提高其生产准备与生产过程的管理；在操作智能化方向中，应利用计算机技术与信息技术强化数控机床的可视化与图形化仿真，更大程度地激发技术人员的生产力。

国产数控机床工业设计的智能化创新应当将视野放宽放远，或将目光瞄准细分领域的行业难题，以明确自身产品定位是普适性还是高端功能性。传统的机械机床企业应当与专业的数控系统软件企业进行更为紧密的合作，数控系统应该进一步增强其扩展性以顺应快速迭代的市场需求，集合机床企业与数控系统企业的资源进行研发，实现产品与功能的快速上市，进而实现我国实现数控机床工业设计创新与“弯道超车”。

## 6 结语

工业设计是指以工学、美学、经济学为基础对工业产品进行设计，工业化的生产方式在促进人类社会进步的同时也催生了相应的工业文化，而这种工业文化又推动着工业产品的设计创新。

数控机床工业设计的创新中，从研发人员到一线的操作工人也应该从思维模式上进行转变，快速接收并适应新技术、新思维、新人员、新设备对于行业的改变。此外，企业也要对员工的技术发展提供进阶的渠道，积极组织集体学习、绩效考核、外出考察与技术交流等，使得数控机床的创新能够具有充足的动力。

数控机床的创新应该寻找一条适合于本国市场与本国需求的中国式智能工业道路，企业应积极发挥我国全产业链以及人工智能、机械自动化、电子信息相关背景高学历人才逐年攀升的优势，使得新一代人工智能技术与先进制造技术深度融合所形成的新一代智能制造技术，在可以预见的未来工业革命中拔得先机。

## 参考文献：

- [1] 阳巧. 数控机床工业设计创新探究[J]. 中国高新技术, 2021(17):69-70+82.
- [2] 潘利达. 数控机床数字孪生系统的设计与实现[D]. 沈阳: 中国科学院大学(中国科学院沈阳计算技术研究所), 2021.
- [3] 刘强. 数控机床发展历程及未来趋势[J]. 中国机械工程, 2021, 32(07):757-770.