

引文格式: 王眇, 张振明, 李龙, 等. 数控技术发展状况及在智能制造中的作用[J]. 航空制造技术, 2021, 64(10): 20-26.

WANG Miao, ZHANG Zhenming, LI Long, et al. Development of CNC technology and its role in intelligent manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2021, 64(10): 20-26.

数控技术发展状况及在智能制造中的作用*

王 眇¹, 张振明¹, 李 龙¹, 谢 云²

(1. 西北工业大学机电学院, 西安 710072;

2. 兰州兰石集团有限公司信息化和智能制造部, 兰州 730050)

[摘要] 当前智能制造的快速发展,使得数控技术的开放性与智能化的特点更为明显,我国对于数控技术也愈发重视,这将有效推进国内工业制造的自动化与智能化。阐述了我国数控技术发展现状与趋势,分析了国内数控技术发展水平与智能制造技术相较国际先进技术的现有差距。数控技术的发展是一个国家制造能力与水平的体现,结合大数据和人工智能,数控技术成为智能制造的重要基石,数控技术的创新与突破是实施智能制造工程的重要保障。

关键词: 数控技术; 高端数控装备; 大数据; 人工智能; 智能制造

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2021.10.020



王 眇

博士研究生,主要研究方向为制造信息化、故障诊断、智能制造。

由于数控技术的特殊地位,从发展之初,国家就对其十分重视和支持。我国数控技术的发展过程可分为两个阶段^[1],第1阶段数控技术经历了从无到有的过程,第2阶段数控技术进入稳定发展阶段并取得丰硕成果。1958~1965年,我国开始研制数控铣床,处于试制和试用阶段。1965~1972年为研制晶体管数控系统阶段,在这一阶段,虽然数控机床的数量和品种不多,但是在少数复杂零件的加工中,已开始从试验阶段进入生产实用阶段。1972~1979年,研制成功了集成电路数控系统,数控技术在铣、钻、镗、磨、插齿加工、电加工等领域开始研究和应用。数控加工

中心研制成功,尤其是数控线切割机床,由于其结构简单、使用方便、价格低廉以及模具加工的迫切需要而取得了较大的发展。1980年以后,数控技术进入第2阶段稳步发展时期^[2]。从“六五”到“十三五”的30多年里,如图1所示,国家将数控机床列为国家科技重大专项,重点攻克高档数控系统、功能部件等关键共性技术和高档数控机床的可靠性、精度保持性等关键技术,满足航空航天、汽车领域对高精度、高速度、高可靠性高档数控机床的急需,提高高档数控机床自主开发能力,总体技术水平进入国际先进行列,部分产品达到国际领先^[3]。

* 基金项目: 陕西省重点研发计划(2019ZDLGY01-01-01)。

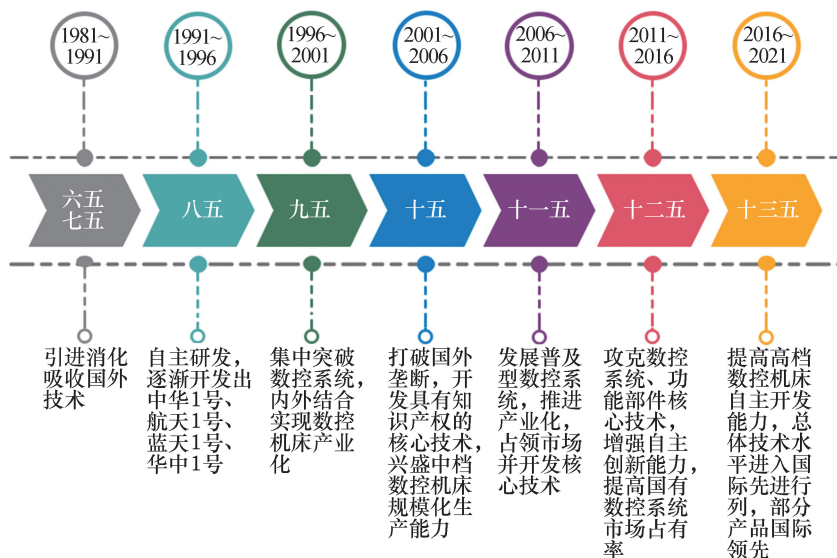


图1 8个五年计划中数控技术的发展

Fig.1 Development of numerical control technology during eight Five-Year Plan period

机械制造业是我国现代社会发展进程中非常重要的一部分,机械制造业的发展与数控系统之间有着直接的关联,数控系统的发展水平与产品的质量紧密相连。数控技术作为集信息处理、自动控制、微电子、自动检测、计算机等于一体的高新技术,具备高效率、高精度、柔性自动化等优势。数控技术为数字制造技术提供场景和技术支持,而数字制造技术是智能制造的基础技术^[3]。数控技术的应用主要体现在数控机床上,高质量的机械零部件依赖于高精度、高自动化水平的数控机床,要提高机械制造能力与水平就必须加大数控系统的研究。现代数控系统囊括了先进的数控技术,将其应用于机械制造行业中,可以提高机械制造生产效率,确保产品的质量。随着技术水平的提高,发展现代数控系统已成为机械制造行业发展的必然。工业互联网背景下,信息化和网络化是数控技术的必然趋势,是实现数控机床智能化的基础,在智能制造影响下,数控技术必然朝着信息化、智能化的方向发展,朝着现代智能化高端装备发展。当前,德国“工业4.0”、美国“先

进制造业国家战略计划”、“中国制造2025”、欧盟“IMS2020计划”以及日本“智能制造系统国际合作”等都昭示着“第四次工业革命”的到来,而智能制造必然是工业变革进程中的核心领域^[4]。一个国家的智能制造水平决定了其机械制造水平,也决定了其在第四次工业革命中扮演的角色。而数控机床与数控系统是实现智能化制造的核心部件,因此在新的时代条件下,研究数控技术发展中遇到的瓶颈、探寻行而有效的发展路线,并研究其在智能制造发展中的作用刻不容缓。

数控技术与智能制造发展现状

1 数控技术发展现状

随着我国技术创新的不断推进,我国对于数控系统、数控主机、伺服驱动、专机及其配套件等基础技术已经基本掌握,并且已经创立了一批从事数控开发和生产制造的企业,建立了许多从事数控技术研究的机构,而且在许多大中专院校开办了数控专业。在数控领域我国部分企业已经初具规模,如航天数控、沈阳数控、广州数控、华中数控等,上述企业所生

产的数控系统具备普及型、经济型、实效性等特点。虽然数控技术在近些年的发展已有了很大进步,但是与国外发达国家相比还是存在着较大的差距,尤其是在高精尖数控技术方面差距更加明显。我国的数控技术发展存在的主要问题有技术创新力度不够,技术消化吸收不良,自动化水平不高,无法实现自动化生产全行业覆盖,开放性数控系统发展不足,国内外数控系统厂家对于数控系统的“包裹”使得数控系统二次开发与扩展难度高,限制了数控技术的应用^[5]。

2 国内数控技术发展过程中遇到的问题

2.1 创新不足

目前国内大多机床厂家只能生产中低端数控设备,高端数控技术仍掌握在国外数控龙头企业手中。我国高端数控设备国产化覆盖率仅有6%,且核心部件受制于国外技术,引进国外数控系统技术时,由于系统“包裹”太紧,不能实现国外系统本地化,技术发展也只是一味地模仿国外,这在很大程度上制约了我国数控技术的发展。将引进国外先进数控技术作为发展数控技术的捷径不能从根本上提高我国数控技术的水平,只有在此基础上消化吸收技术,才能促进自身的成长^[6]。造成这种局面的原因在于我国数控技术的发展缺少自我创新,大部分企业将引进国外先进技术作为一条捷径,而不愿意花费成本建立自身数控技术研发体系,无法从根本上提升数控技术,技术发展上始终受制于人。

2.2 自动化程度不高

虽然数控技术自动化近几年得到快速发展,应用范围也在不断地扩大,被众多制造企业看好,但我国数控技术发展与国外相比,自动化应用与自动化设备仍相对落后^[7]。数控自动化生产具有高效率、高时效的优势,自动化操作可以实现高难度、重

复性、强度大及环境恶劣的加工任务。但我国数控技术自动化应用仍面临许多问题,主要有加工工艺不够精细,没有规范化加工文件,无法将工艺分解并转化为数控程序,空有数控设备而无法实现自动化加工。机械使用寿命短,故障率高,自动化生产要求设备稳定性高,否则易导致生产事故,然而国内大部分设备由于使用环境、工作强度等各种因素使用过程中机器故障率高且使用寿命短。自动化生产需要将生产技术与数控自动化结合,实现传统工艺设备自动化,不同行业和企业都有各自独特的加工工艺,对于大部分企业,缺乏专业数控人才,无法将自身产品工艺转化为数控加工程序,阻碍了生产自动化发展^[8]。

2.3 开放性数控系统发展不足

数控技术发展了几十年,但是目前绝大部分的数控技术仍被封闭在系统框架中^[9],各模块功能固定,不同厂家软硬件不兼容。用户无法进行系统扩展和开发,且维护成本高,增加了投资风险和成本。专用数控系统已不能满足制造业日益激烈的市场竞争和变化,也不能满足制造业向信息化、网络化、智能化方向发展的趋势。因此需要打破以往被封闭的数控系统,开发出开放性强、易于扩展、功能灵活的开放式数控系统^[10](Open numerical control system, ONC),使用户可以对系统进行复位、修改、扩展和集成模块化传感器,甚至可以对过程进行监控和远程诊断。根据 IEEE(美国电气与电子工程师协会)的定义,开放式数控系统允许各种应用系统在不同制造商提供的平台上运行,并能与其他系统和用户进行交互操作。

开放式数控的概念最早出现是在美国的 NGC(Next generation controller)计划。随后世界各国相继开展了相关研究。如美国的 OMAC 计划,主张构造较完整的体

系结构,通过定义各种 API 接口模块构建不同类型的控制器,各模块之间的接口采用微软 IDL 接口定义语言规定^[11];欧洲的 OSACA 计划提出系统平台软件部分由操作系统、通信系统和配置系统组成,开放式数控系统由一系列逻辑上互相独立的控制模块构成,各模块之间、系统平台之间具有友好的接口协议,如图 2 所示^[12]。日本的 OSEC 计划按照数控系统中各模块控制目标、处理内容和实时性等要求将控制系统划分为不同的机能块,处于同一水平的机能块组成一个机能群。欧共体提出的 STEP-NC 充分利用信息技术,实现 CAD、CAM、CNC 之间的无缝连接,为 CNC 系统提供完整的产品数据^[13-14]。

目前国内开放式系统主要包括两种形式,一种是以软件芯片为基础的开放式数控系统,将数控系统的主要功能加以抽象并进行封装,其局限在性能受芯片所决定,仅为简单程序源的重复性应用,适用范围很窄。另一种是以现场总线技术作为技术基础的开放式数控系统,该系统将大量的并行信号转化为串行信号,可以使用双绞线或光缆在上百台设备之间进行信息传递与发送,但总线技术成本高,使得这种技术难以普及。此外,国内对于 STEP-NC 技术也有一定研究,清华大学的叶佩青团队长期研究开放式数控系统机 STEP-NC 的应用^[15]。总体来看,国内开放式数控技术发展不足,现有开放式数控技术还不能广泛应用。

3 智能制造发展现状

随着竞争日益激烈以及市场的动态需求和先进技术的迅猛发展,制造企业不仅需具备快速整合资源的能力来应对市场,还需有能力提升资源利用效率。智能制造及“工业 4.0”是基于互联网的制造模式面向产品全生命周期实现互通互联,利用下一代信息、人工智能、制造和管理技术

实现产品的智能化设计、制造、管理和服务。

智能制造的研究对象是知识而不是数据智能制造过程,因此,智能制造不仅仅是大量生产过程信息的集合,同时也对数据进行分析和处理,指导生产决策和应用,通过不断学习,智能制造系统的知识不断更新,利用现有知识创造新知识。

智能制造包括 3 种模式:数字化制造、网络化制造和新一代智能制造^[16-19]。智能制造包括智能产品、智能生产和智能系统服务。如图 3 所示^[20],该图基本阐明了智能制造的框架及其构成要素之间的相互关系。通过内部业务的纵横向整合,形成了一个复杂制造网络,实现实时管理和产品生命周期优化,智能系统服务对智能设备、智能生产(数控等)的数据进行采集、分析、挖掘并支持智能决策^[21]。

在科技飞速发展的今天,世界上很多国家对智能制造与数控技术的应用都十分重视。在一些数控技术与智能制造技术发达的国家,已形成了智能制造数控技术的完整体系,而在国内,智能制造和数控机床的发展水平明显不足,尚未形成完整体系。首先,要对智能制造数控技术的机器设施进行改进和调整,精密高端设备可提高智能制造发展水平及效率,使数控技术更加精确。当下很多国家都对数控系统进行了开放性的研究和设计。在以后的数控技术发展中,

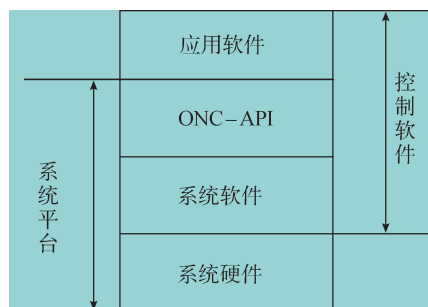


图2 ONC系统架构

Fig.2 ONC system architecture

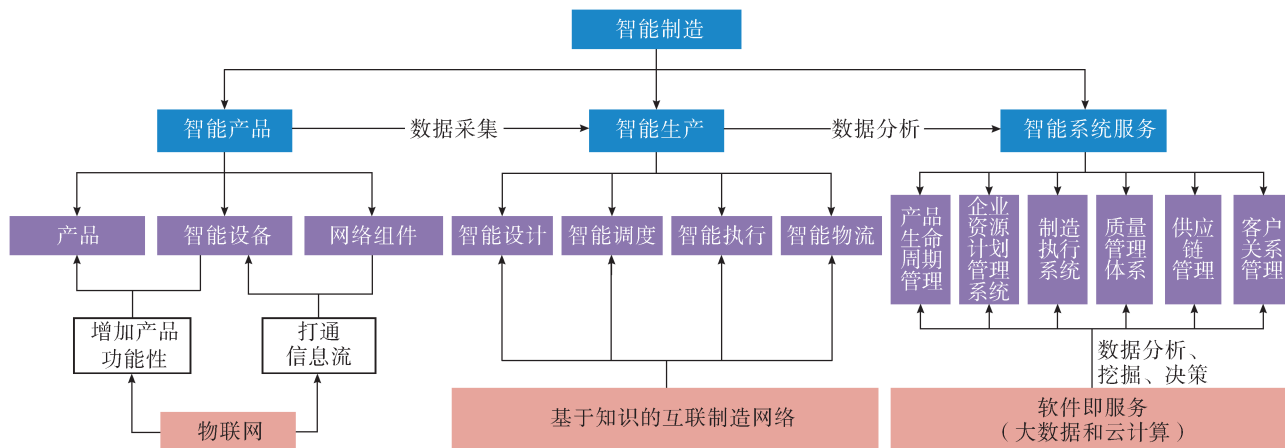


图3 智能制造基本架构

Fig.3 Basic architecture of intelligent manufacturing

有必要建立一个数控技术与智能制造相结合的模型,模拟智能数控的工作程序,让人们可对其有更加直观清晰的认知。

数控技术发展趋势与智能制造发展挑战

1 数控技术发展趋势

1.1 自动化程度更高

现代数控系统是机械制造服务的,但目前数控系统仍然需要人为操作,这就需要一批熟悉数控技术使用的操作人员,因此,数控技术自动化水平的提高是市场的期望。基于自动化技术可使企业降低人力成本、提高生产效率以及实现安全生产,自动化技术广泛应用于制造业已经成为大趋势。自动化制造是实现“中国制造2025”目标的重要环节,在生产工艺精细化与完善的背景下,我国的制造业必然朝着精细化、批量化以及专业化发展。在数控技术的支持下,机械制造朝着自动化发展^[21],不断增长的市场需求得到有效满足,市场将朝着多样化发展,产品系列越来越多,设计与生产也将朝着多元化方向发展。随着数控设备制造能力以及安全稳定性的提升、企业生产工艺精细化、企业数控专业人才的引入,我国数控自动化水平将会快速提升。

1.2 开放化、网络化、智能化

目前,“柔性”制造技术与数控技术使得制造能力有了很大提升。然而“柔性”制造与数控系统的灵活性仍然有限。为了应对日益频繁和不可预测的市场变化,制造企业需要具有开放性的制造系统,同时,开放性系统也是实现智能制造的重要基础。开放式数控系统提供二次开发平台,可供用户进行拓展与二次开发,方便用户将自身特殊应用与加工技巧集成到控制系统中。

数控系统网络化是数控技术发展的新趋势,数控设备网络化将极大促进生产过程、制造执行系统以及数据分析系统对于信息集成的需求,也是实现如敏捷制造、虚拟制造、全球制造等新型制造模式的基础单元。为了实现制造信息化,企业需要进行系统集成,将数控系统与CAD、CAM、CAPP等计算机辅助系统连接起来,通过集成接口将图纸、加工工序等传输到数控系统中^[22]。

智能制造的特点是制造数字化、制造信息化、制造智能化,要实现制造信息化需要不同制造系统之间数据的互联互通。制造智能化是在信息化的基础上,利用制造过程数据与智能学习算法赋予机器“智慧”,在自动化制造的基础上更进一步,实现制造过程

自适应控制、智能故障诊断^[7,23]与智能生产控制等目标。现代数控系统必将朝着智能化方向发展。数控系统智能化的内容体现在以下方面:收集生产过程中产生的制造数据,通过大数据分析 with 智能学习算法实现制造过程质量管理;通过提高设备自动化程度、传感器性能以及应用智能算法实现数控机床加工自适应控制;实现电机参数自适应运算、自动识别负载、自动选定模型等;通过设备运行数据监控,运用图像识别、智能学习模型等先进技术实现智能监控及智能装备故障诊断^[24]。

2 智能制造发展挑战

分布式自主制造系统以多Agent制造系统为代表,是CPS(Cyber-physical systems)的主要组成部分,整合了物联网、大数据、人工智能、网络技术和虚拟制造技术。物联网使实体在CPS中有感知、采集和传输数据的能力,是智能制造在数控技术的具体落脚点。智能制造、CPS和物联网(Internet of things, IoT)之间的关系如图4所示^[14,25-26]。

智能制造、CPS和基于物联网的制造之间的关系是交织在一起的。智能制造的关键是实现互联网、网络技术、传感技术、信息通信技术、制造技术和管理技术的集成。这样,制造

业就能准确捕捉到多样化的市场需求,快速响应环境变化,实现产品智能化设计、制造、管理与服务、生产决策与应用。嵌入物联网、大数据、平台系统技术、虚拟信息技术和传感技术是CPS实现的关键^[27],CPS促进了虚拟网络和物理世界的集成,使制造业不仅能够提供有形产品,同时也提供与产品相关的服务。物联网技术包括传感技术、网络技术、数据处理技术、通信技术、人工智能、大数据分析、增强现实和虚拟现实。

数控技术在智能制造中的应用

智能制造的核心是贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动各个环节,具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式,是“互联网+制造”的制高点^[28],其理念是先进制造技术、新一代信息技术以及人工智能技术在制造装备上的集成和深度融合,主要包括高端数控机床、工业机器人、智能测控装置、3D打印设备、柔性化自动生产线等。智能制造实现的特征是智能工厂的建立,智能工厂依赖于生产计划层的智能计划排产、生产过程中的智能生产协同、车间设备的智能互联互通、企业资源管理的智能管控、制造过程智能质量管理以及智能大数据分析与管理决策把持等环节。车间制造与管理智能化需要以信息化为基础,制造数据信息化和管理方式信息化依赖于数字化技术和网络通信技术、工业信息化系统、现代化数据采集、云计算与大数据挖掘等新兴信息技术的集成,建立企业制造与管理信息一体化^[29]。高档数控机床具有工具管理、远程监控诊断、智能测量、实施补偿与加工优化等特征,高档数控机床通过接口和网络可为企业信息化系统与数据分析提供生产过程实时数据,这就需要先进数控技术作为支撑,数控技术自动化程度的提高可实现数控机床自动换刀、自动装

夹、自动加工与加工优化等功能;数控技术的开放化与网络化使得制造过程中生产数据可通过机床接口与网络传输集成到数据管理平台中,以进行数据分析;数控技术的智能化赋予数控机床智能测量、实时补偿与设备智能故障诊断等功能。先进数控技术与智能制造间的逻辑关系如图5所示^[30]。

结论

本文对我国数控技术的发展历程与“中国制造2025”背景下我国智能制造发展现状进行阐述,分析了在第四次工业革命来临之际,我国数控技术发展面临的创新性不足、自动化程度不高以及数控技术开放性不足等问题。在“中国制造2025”以

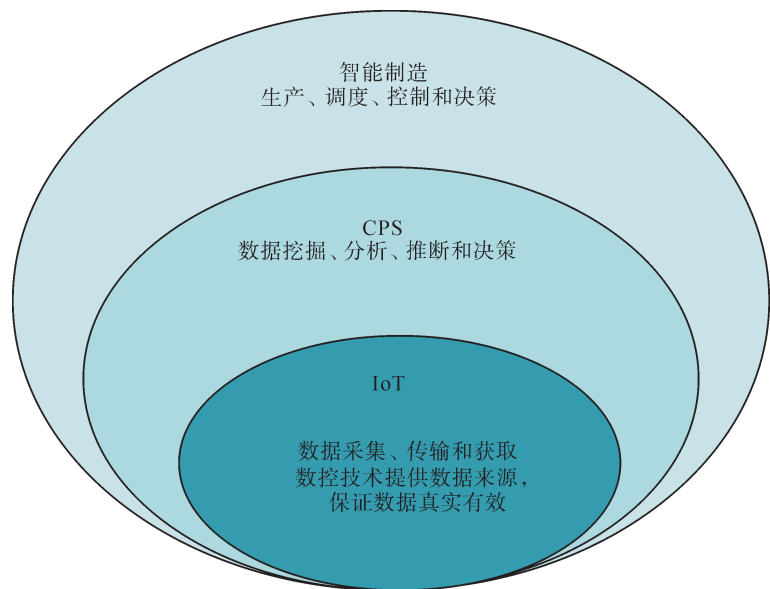


图4 智能制造、CPS和物联网之间的关系
Fig.4 Relationships of IM, CPS and IoT

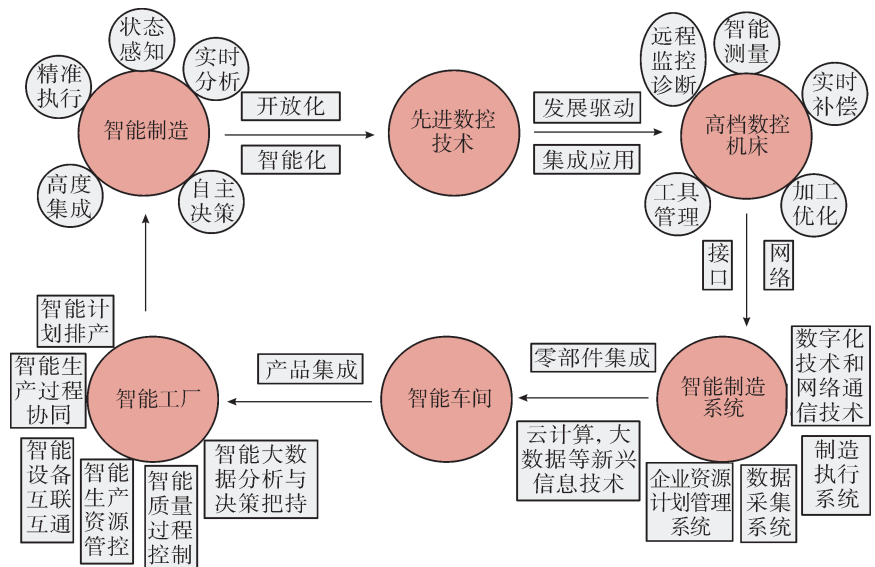


图5 先进数控技术与智能制造间的逻辑关系
Fig.5 Logic relationship between advanced numerical control technology and intelligent manufacturing

及实现智能制造的目标驱动下,我国数控技术必然朝着自动化程度更高、更开放化、网络化、智能化方向发展。数控技术逐渐从专用封闭式开环控制模式向通用开放式全闭环控制模式发展,硬软件系统及控制方式也日趋智能化。在此趋势下,智能工具管理、远程监控与智能设备故障诊断、智能测量、自适应加工以及智能质量控制等数控技术的快速发展成为实现智能制造的基石。我国数控技术发展与西方发达国家相比有很大差距,需要清楚地认清发展现状,明确未来我国制造业的发展趋势,在我国大力发展制造业水平的政策驱动下实现关键数控技术的重点突破,切实提高我国智能制造技术水平,加快我国制造业智能化转变进程,加快我国从制造大国向制造强国转变。

参考文献

- [1] 王丽, 龚君. 浅析智能制造与先进数控技术[J]. 科技经济导刊, 2020, 28(31): 40, 39.
- WANG Li, GONG Jun. Analysis of intelligent manufacturing and advanced numerical control technology[J]. Technology and Economic Guide, 2020, 28(31): 40, 39.
- [2] 张武. 数控技术在机械制造中的应用现状和发展趋势研究[J]. 装备制造技术, 2017(2): 260-261.
- ZHANG Wu. Application and development trend of numerical control technology in mechanical manufacturing[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2017(2): 260-261.
- [3] 朱剑英. 智能制造的意义、技术与实现[J]. 航空制造技术, 2013, 56(S2): 30-35.
- ZHU Jianying. Significance, technology and implementation of intelligent manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(S2): 30-35.
- [4] 邹方. 智能制造中关键技术与实现[J]. 航空制造技术, 2014, 57(14): 32-37.
- ZOU Fang. Key technology and its realization in intelligent manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014, 57(14): 32-37.
- [5] 余运昌, 杨词慧. 面向智能制造的数控机床联网技术研究[J]. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2018, 32(3): 106-110.
- YU Yunchang, YANG Cihui. Research on the technology of CNC networking based on intelligent manufacturing[J]. Journal of Nanchang Hangkong University (Natural Sciences), 2018, 32(3): 106-110.
- [6] LI K, ZHOU T, LIU B H. Internet-based intelligent and sustainable manufacturing: Developments and challenges[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 108(5-6): 1767-1791.
- [7] WANG M, ZHANG Z M, LI K, et al. Research on key technologies of fault diagnosis and early warning for high-end equipment based on intelligent manufacturing and Internet of Things[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 107(3): 1039-1048.
- [8] 孙志杰, 杜云峰, 朱晓刚. 数控技术的发展历程和方向[J]. 投资与合作, 2012(10): 215.
- SUN Zhijie, DU Yunfeng, ZHU Xiaogang. The development process and direction of CNC technology[J]. Investment & Cooperation, 2012(10): 215.
- [9] 叶佩青, 张勇, 张辉. 数控技术发展状况及策略综述[J]. 机械工程学报, 2015, 51(21): 113-120.
- YE Peiqing, ZHANG Yong, ZHANG Hui. Review on the development and strategies of CNC technology[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(21): 113-120.
- [10] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2016(24): 6-53.
- The State Council of the PRC. Notice of the State Council on printing and distributing the “Thirteenth Five-Year” national science and technology innovation plan[J]. Gazette of the State Council of the People’s Republic of China, 2016(24): 6-53.
- [11] 白跃辉. 机械数控技术的应用现状和发展趋势研究[J]. 河南科技, 2020(5): 52-54.
- BAI Yuehui. Study on application status and development trend of mechanical numerical control technology[J]. Henan Science and Technology, 2020(5): 52-54.
- [12] 刘源. 开放式数控系统的构建及其关键技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- LIU Yuan. Construction of an open architecture CNC system and a series of study of its key technologies[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010.
- [13] JAUHARI R, JATI A N, AZMI F. Mechanical design of CNC for general farming automation[C]//Proceedings of 2017 5th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA). Piscataway: IEEE, 2017.
- [14] RAUCH M, HASCOËT J Y, SIMOES V, et al. Advanced programming of machine tools: Interests of an open CNC controller within a STEP-NC environment[J]. International Journal of Machining and Machinability of Materials, 2014, 15(1/2): 2-17.
- [15] 李佳伟, 刘浩. 浅谈数控技术在自动化机械制造中的运用[J]. 中国高新技术企业, 2016(14): 49-50.
- LI Jiawei, LIU Hao. Application of numerical control technology in automated machinery manufacturing[J]. China High-Tech Enterprises, 2016(14): 49-50.
- [16] 周凯. PC数控原理、系统及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- ZHOU Kai. PC numerical control principle, system and application[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [17] PENG Y H, BAI H Q, HE N. Research and development of open numerical control system[J]. Applied Mechanics and Materials, 2010, 20-23: 254-258.
- [18] XU X W, NEWMAN S T. Making CNC machine tools more open, interoperable and intelligent: A review of the technologies[J]. Computers in Industry, 2006, 57(2): 141-152.
- [19] MINHAT M, VYATKIN V, XU X, et al. A novel open CNC architecture based on STEP-NC data model and IEC 61499 function blocks[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2009, 25(3): 560-569.
- [20] ZHOU J, LI P G, ZHOU Y H, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing[J]. Engineering, 2018, 4(1): 11-20.

- [21] TAO F, QI Q L, LIU A, et al. Data-driven smart manufacturing[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2018, 48: 157-169.
- [22] WANG M, ZHANG Z M, LI K, et al. Survey on advanced equipment fault diagnosis and warning based on big data technique[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1549: 042134.
- [23] SPROCK T, MCGINNIS L F. A conceptual model for operational control in smart manufacturing systems[J]. IFAC-PapersOnLine, 2015, 48(3): 1865-1869.
- [24] YUSOF Y, LATIF K. A new ISO 14649 translation module for open architecture CNC systems[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 660: 878-882.
- [25] 李炳燃, 张辉, 叶佩青. 智能制造环境下的数控系统发展需求[J]. 航空制造技术, 2017, 60(6): 24-30.
- LI Bingran, ZHANG Hui, YE Peiqing. Function requirements of CNC system for intelligent manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017, 60(6): 24-30.
- [26] POBOZNIAK J. Automation of CNC machine tool programming using STEP-NC (ISO 14649)[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 656: 206-214.
- [27] LU Z L, HU S G, WANG T Y, et al. Remote monitoring and intelligent fault diagnosis technology research based on open CNC system[J]. Advanced Materials Research, 2013, 819: 234-237.
- [28] YE Y X, HU T L, ZHANG C R, et al. Design and development of a CNC machining process knowledge base using cloud technology[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 94(9-12): 3413-3425.
- [29] 中华人民共和国工业和信息化部, 中华人民共和国财政部. 智能制造发展规划(2016-2020)年[EB/OL]. (2016-12-09) [2020-05-17]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-12/09/content_5145438.htm.
- Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China, Ministry of Finance of the People's Republic of China. Intelligent manufacturing development plan (2016-2020)[EB/OL]. (2016-12-09) [2020-05-17]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-12/09/content_5145438.htm.
- [30] 黄筱调, 夏长久, 孙守利. 智能制造与先进数控技术[J]. 机械制造与自动化, 2018, 47(1): 1-6, 29.
- HUANG Xiaodiao, XIA Changjiu, SUN Shouli. Intelligent manufacturing and advanced numerical control technology[J]. Machine Building & Automation, 2018, 47(1): 1-6, 29.
- 通讯作者: 张振明, 教授、博士生导师, 研究方向为生产管理、智能制造、工业互联网等, E-mail: zhangzm@nwpu.edu.cn。

Development of CNC Technology and Its Role in Intelligent Manufacturing

WANG Miao¹, ZHANG Zhenming¹, LI Long¹, XIE Yun²

(1. School of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Information and Intelligent Manufacturing Department, Lanzhou Lanshi Group Co., Ltd., Lanzhou 730050, China)

[ABSTRACT] At present, the rapid development of intelligent manufacturing industry makes the openness and intellectualization of numerical control technology more obvious, and our country pays more attention to numerical control technology, which will effectively promote the automation and intellectualization of industrial manufacturing in our country. The paper summarized the development status and development trend of CNC technology in China, analyzed the existing gap between the domestic CNC technology and intelligent manufacturing development level and the international advanced technology. The development of CNC technology is the embodiment of a country's manufacturing capability and level, combining big data and artificial intelligence, CNC technology has become an important cornerstone of intelligent manufacturing. The innovation and breakthrough of numerical control technology has become an important guarantee for the completion of intelligent manufacturing engineering.

Keywords: CNC technology; High-end CNC equipment; Big data; Artificial intelligence; Intelligent manufacturing

(责编 逸飞)