

机械加工制造中自动化技术的运用探究

冯凯¹ 陈哲瀚² 陶冯炜³ 卞俊杰⁴ 沈芯卉⁵

1.南京林业大学, 江苏 南京 213164

2.南通大学, 江苏 南通 226019

3.南京工业大学, 江苏 南京 211816

4.常州工程职业技术学院, 江苏 常州 213164

5.江苏省横林高级中学, 江苏 常州 213101

[摘要]机械加工制造领域的自动化技术应用正重塑着产业生态,其战略价值已从效率提升工具跃升为驱动制造业高质量发展的核心引擎。随着我国数控化率在2024年达到65.2%和工业机器人密度攀升至每万人392台,自动化技术通过CAD/CAM集成、精密数控加工、工业机器人应用等优化了生产效能与产品质量。当前制造业面临高质量、柔性化、绿色化转型等的需求,亟待深化自动化与人工智能、工业互联网等技术的融合与创新。文中系统探究自动化技术在机械加工制造中的发展脉络、应用实践与效能机制,分析其是如何通过智能化的升级应对复杂的市场挑战,并展望未来人机协同、数字孪生等的前沿方向,为构建更具韧性的制造体系提供理论参照。

[关键词]机械加工制造; 自动化技术; 智能制造

DOI: 10.33142/ect.v3i7.17177

中图分类号: TH164

文献标识码: A

Exploration on the Application of Automation Technology in Mechanical Processing and Manufacturing

FENG Kai¹, CHEN Zhehan², TAO Fengwei³, BIAN Junjie⁴, SHEN Xinhui⁵

1. Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu, 213164, China

2. Nantong University, Nantong, Jiangsu, 226019, China

3. Nanjing Tech University, Nanjing, Jiangsu, 211816, China

4. Changzhou Vocational Institute of Engineering, Changzhou, Jiangsu, 213164, China

5. Jiangsu Henglin Senior High School, Changzhou, Jiangsu, 213101, China

Abstract: The application of automation technology in the field of mechanical processing and manufacturing is reshaping the industrial ecology, and its strategic value has risen from an efficiency improvement tool to a core engine driving the high-quality development of the manufacturing industry. With Chinese CNC rate reaching 65.2% by 2024 and industrial robot density climbing to 392 units per 10000 people, automation technology has optimized production efficiency and product quality through CAD/CAM integration, precision CNC machining, and industrial robot applications. At present, the manufacturing industry is facing the needs of high-quality, flexible and green transformation, and it is urgent to deepen the integration and innovation of automation, artificial intelligence, industrial Internet and other technologies. The article systematically explores the development trajectory, application practices, and efficiency mechanisms of automation technology in mechanical processing and manufacturing, analyzes how it upgrades through intelligence to address complex market challenges, and looks forward to the cutting-edge directions of human-machine collaboration, digital twins, etc. in the future, providing theoretical references for building a more resilient manufacturing system.

Keywords: mechanical processing and manufacturing; automation technology; intelligent manufacturing

近些年来我国科技发展非常迅速,机械加工制造过程中对于自动化技术的应用也越来越广泛,自动化技术不仅提高了机械加工制造的生产效率,也为人们的生活带来了便利,但是现在对于产品质量和产品生产效率的要求都更高,而自动化技术作为机械加工制造过程中最重要的工艺之一,它的应用价值和效果也更加重要。机械加工制造业通过自动化技术的有效运用,达到了自动化控制整个机械加工流程的目的,使整个生产效率显著提升,将更高的经济效益带给了企业发展。全球经济持续推进,国际化发展也成为机械加工

制造业的重要方向,而自动化技术作为一种高新的手段与工艺,能够有效地促进机械加工制造行业稳步向前。

1 自动化技术在机械加工制造中的发展历程与现状概述

机械加工制造领域自动化技术的开端能一直追溯到20世纪中,彼时数控NC机床刚刚问世。它借助穿孔带指令,初步达成了对加工动作进行程序化控制的目的,这无疑是对传统人工操作依赖所出现的第一次极为重要。当前,在我国规模以上机械制造企业当中,数控化率已然攀升到了颇为可

观的程度。依据中国机械工程学会 2024 年《中国机械工业发展蓝皮书》所公布的数据来看,关键工序的数控化率在 2024 年达到了 65.2%,相较于 2020 年而言,其提升幅度超过了 15%,这无疑充分彰显出了自动化设备在我国车间层面所具有的渗透广度。就应用深度来讲,在汽车以及电子等高端制造领域,工业机器人的部署密度已经逼近国际先进水平。2023 年工信部所进行的统计数据显示,我国制造业的机器人密度达到了每万名工人 392 台^[1]。并且更为关键的是,超越了单点自动化的范畴,柔性制造单元 FMC、柔性制造系统 FMS 以及计算机集成制造系统 CIMS 的相关理念与实践正一天比一天更加成熟,进而构建起了能够实现响应迅速且资源得以优化配置的智能化生产的坚实基础。

2 自动化技术在机械加工制造中的核心应用领域

2.1 计算机辅助设计与制造 CAD/CAM 的集成应用

在产品研发阶段,CAD/CAM 集成系统充当着设计编程自动化方面极为重要的角色,就好比是中枢神经一般。工程师会借助三维 CAD 软件来开展工作,通过它能够完成产品结构以及零部件的数字化建模操作。这样的方式使得模型既直观又容易查看,并且要是需要修改的话也相对便捷,其设计效率和传统的图板相比,有着十分明显的提升幅度。更为重要的是,与之无缝集成在一起的 CAM 模块,能够依照三维模型自动地生成极为精确的数控加工刀具路径 G 代码。如此一来,便可以高效地把设计意图转化成机器能够识别的加工指令,彻底地搭建起从设计图纸到实物部件之间的数字化桥梁,产品开发周期得以大幅度缩短,人为编程出现差错的情况也减少了。

2.2 数控 NC/CNC 技术在精密加工中的应用

现代 CNC 机床乃是加工设备达成核心自动化的重要根基,它借助预装加工程序,可对主轴转速、进给速度、刀具轨迹以及切削深度予以全自动且精细的把控。在航空航天、精密模具、医疗器械这类高精尖的领域当中,五轴联动 CNC 加工中心能够完成极为复杂的空间曲面的高精度铣削工作,其定位精度通常可以达到微米级 μm ,甚至还能达到亚微米级^[2]。恰是这样精准、可靠并且可重复性极高的自动化加工能力,让复杂关键零部件实现批量化以及一致性生产变成了现实情况。

2.3 工业机器人在物料搬运、上下料与装配中的应用

工业机器人因其出色的重复定位精度、强大的负载能力以及能够持续作业且不知疲倦的特点,在物料搬运、机床上下料以及部件装配等诸多环节都表现得十分出色。在现代化的生产线上,关节臂机器人可以高效地从物料区域抓取毛坯,然后精准地将其放置到加工中心的工作台上,在加工完成之后还能迅速把成品取下并送入下一个工序或者检测单元。在装配线上,协作机器人 Cobot 甚至能够和工人一起安全地开展作业,完成像拧紧螺丝、精密压装、涂胶这类具有重复性的劳动,这使得装配效率以及一致性都得到了较为明显提升。

2.4 机器视觉在在线检测与过程监控中的应用

自动化质量保障离不开机器视觉系统的精准检测能

力,高分辨率工业相机配合先进图像处理算法,可针对高速运动工件开展尺寸测量以及表面缺陷检测等工作,像划痕、裂纹、污渍等都能检测到,还能检查装配完整性,比如是否存在漏装、错装等情况,和传统人工抽检相比,机器视觉可实现 100%在线全检,检测速度更快,客观性更强,数据也易于追溯,而且视觉系统还可用于引导机器人精确定位,如视觉引导抓取 VGR,或者实时监控加工状态,像刀具磨损监测,以此来确保过程稳定。

2.5 柔性制造系统 FMS 与计算机集成制造系统 CIMS 的应用

自动化技术所追求的终极价值在于能够实现系统级别的集成以及让生产管理变得更为智能化。柔性制造系统 FMS 把数控机床、机器人、自动导引车 AGV 或者 RGV 还有自动化立体仓库都整合到一起,并且依靠中央计算机来统一进行调度控制,如此一来便达成了对于多品种以及中小批量工件开展高效混合流水线生产的成效,而且还能够快速地对订单方面的变化做出响应。处于更高层级的计算机集成制造系统 CIMS 更是进一步把企业当中的工程设计 CAD/CAM/CAE、生产制造 FMS、经营管理 ERP/MES 乃至市场营销等诸多子系统都集成于同一个统一的数据平台之上,进而实现了信息流、物流以及资金流之间极为紧密地融合并且完成了全局层面的优化,这无疑代表着制造领域在自动化、信息化以及智能化方面所呈现出的较为高级的一种形态。

3 自动化技术应用的价值与效果分析

3.1 生产效率的显著提升

自动化技术所带来的效益当中,生产效率的大幅提升无疑是最为直观的一项。借助于减少工序之间相互等待的时间、缩短装夹所耗费的时间以及让设备能够实现二十四小时不间断地运行,就像黑灯工厂模式那样,生产周期便得以大幅度地压缩。依据赛迪顾问在 2025 中国智能制造发展白皮书中所给出的预测数据来看,那些广泛采用自动化技术的产线,其设备综合效率 OEE 通常都能够提升百分之二十到三十五这样的幅度^[3]。有一家处于行业领先地位的工程机械企业在引入了自动化焊接与装配线之后,单台设备的生产节拍竟然缩短了高达百分之四十的程度,产能的扩张效果可以说是立竿见影的。

3.2 产品质量的一致性与可靠性增强

高度依靠精密传感器、闭环控制系统以及程序化执行的自动化生产方式,很好地消除了人工操作中不可避免会存在的波动性以及主观性因素。在数控加工环节,每一款产品都能够依照相同的程序路径与参数来进行加工制作;而在自动化装配环节,机器人每次拧紧螺丝时所施加的扭矩均是精确且能够被控制的。如此这般极高的一致性与可靠性,直接促使产品不良率出现了大幅度地下降情况,同时也使得客户满意度得以稳固地提升起来。传统的人工操作,存在疲劳、情绪波动等因素,往往难以长时间保持高精度、高质量的生产状态,而自动化技术则是通过精密的传感器和闭环控制系统,确保了每一个生产环节都能够严格按照预设的参数

和程序稳定进行,从而大大提高了产品的质量和品质。

3.3 生产成本的综合控制

尽管自动化系统在初期投入的资金并不少,然而它在长期的运营过程里所呈现出的颇为强大的成本控制方面的实力是绝对不可以被忽视掉的。从一个方面来讲,自动化在很大程度上大幅度地削减了对于直接操作工人数量的需求,特别是在那些环境状况极为恶劣的岗位上,像是存在高温情况的、充斥着粉尘的、满是噪音的岗位,还有那些劳动强度特别大或者工作内容十分单调乏味的岗位,其人工成本是能够得到很好的优化效果的。再从另一个方面来看,借助于提高产品的良品率、降低废品所带来的损失、对能源使用加以优化,比如具备智能启停这样的功能以及减弱对那些拥有高技能的操作工人的持续性的依赖等这些举措,综合制造成本是能够实现有效且合理的管控的。

3.4 制造柔性 with 快速响应能力的提升

客户需求日益个性化且多变,这使得制造系统的柔性面临了前所未有的挑战。自动化技术,尤其是柔性制造系统 FMS 以及能够快速重编程的机器人,让生产线具备了迅速切换产品类型以及适应变批量生产的能力。生产线能够在极短的时间内完成不同产品加工程序以及工装夹具的切换,这极大提升了企业应对市场波动的能力,也更好地满足了小批量定制化订单的需求,增强了企业的敏捷性。自动化技术还提高了生产数据的实时采集与分析的能力,使得管理层能够基于精准的市场数据洞察市场动态,及时做出决策调整,进一步缩短了从市场需求到产品交付的响应时间,这不仅增强了企业的市场竞争力,也为消费者提供了更加多样化、个性化的产品选择。

3.5 安全生产与绿色制造的促进

自动化技术把工人从那些危险、繁重且单调的岗位给解放了出来,像冲压、喷涂以及焊接这些工序,其工作环境得到了相当大的改善,工伤事故的发生率也降低了。在绿色制造这块,自动化系统能够更为精准地把控物料的使用,比如可减少切削液的飞溅情况,还能优化能源的消耗,例如依据负载来动态地调节电机的功率,并且它还能够推动废料的分类回收工作,促使制造业朝着更加安全、更环保以及更具可持续性发展的方向去努力。自动化技术推动智能化监控与预警系统的应用,也促使企业开始更加注重生产过程中的节能减排与资源循环利用,推动了绿色制造理念的深入实践。

4 未来发展趋势展望

未来,自动化技术会朝着智能化、集成化、虚拟化、绿色化还有人本化这些方面快速向前发展。其中,智能化和人工智能 AI 相互融合的程度会越来越深,这股力量会成为推动自动化技术发展的核心动力。机器学习以及深度学习这两种技术会在自动化系统里发挥出巨大的作用,让系统能够做到更智能的预测性维护,也就是能提前知道设备哪里可能出现故障;还能实现自适应加工,随时对切削参数做出优化调整^[4];智能排产调度也能让生产计划动态

地得到优化,并且依靠视觉方面的技术来判定产品质量,如此一来,系统的自主决策能力就会有明显提高。在集成化以及网络化这方面,工业互联网平台会被广泛运用起来,这样就能促使设备、系统、企业乃至整个供应链的上下游之间达成更为广泛的互联互通以及数据共享,进而构建起一个透明、协同、优化的制造生态系统,使得跨层级的生产协同以及资源调配都能够顺利实现。数字孪生 Digital Twin 这项技术要是普及开来,就能给像设备、产线、工厂这样的物理实体打造出高保真的虚拟模型,凭借虚实之间的互动交流、仿真的预测以及闭环优化等一系列操作,为设计验证、生产监控、效能优化以及远程运维等环节给予强有力的核心支撑,大幅提高制造系统的可预测性以及可控性。绿色可持续自动化是实现“双碳”目标的一条关键路径,在这方面,会把提升能源效率当作重点,比如去应用能源管理系统 EMS,还要想办法让资源消耗降到最低,像是采用精准送料技术,同时还要注意废弃物的减排以及循环利用,以此推动制造业朝着低碳化的方向去转变。人机协作 HRC 模式也会进一步发展下去,协作机器人 Cobot 会不断强化自身的安全防护机制以及智能交互能力,从而能够更高效地和人类工作者一起并肩作战,把人类所具备的灵活性、判断力和机器人拥有的力量、精度以及耐力结合起来,共同营造出一个高效且充满人性关怀的工作环境,重新塑造未来工厂里面的人机关系模式。

5 结束语

机械加工制造领域中自动化技术之广泛应用与持续深化,已然并将继续深刻重塑产业格局、赋能企业核心竞争力提升。其带来的生产效率跃升、品质飞跃、成本优化与柔性增强等核心价值,是制造业迈向高质量发展的关键支撑。然而,高投入门槛、集成复杂性、人才瓶颈等挑战依然横亘在前,需要产业界、学术界与政府协同发力,共同破解。展望未来,拥抱智能化浪潮、深化系统集成、融合数字孪生技术、践行绿色理念、优化人机协作模式,必将是自动化技术发展的主航道。唯有持续推动自动化技术向更高阶的智能化、网络化、绿色化方向发展,我国机械加工制造业才能在全球竞争格局中站稳优势地位,赢得未来发展的主动权。自动化技术不仅是提升制造能力的工具,更是驱动产业转型升级、实现制造强国战略目标不可或缺的核心引擎。

【参考文献】

- [1]冯锋.自动化技术融入机械加工制造的路径探析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(12):80-82.
- [2]徐永,李刚.机械加工制造中自动化技术的应用价值[J].内燃机与配件,2022(12):100-102.
- [3]王维.机械加工制造中自动化技术的应用分析[J].中国设备工程,2025(8):228-230.
- [4]陈晓林.自动化技术融入机械加工制造的路径研究[J].造纸装备及材料,2023,52(3):59-61.

作者简介:冯凯(2004.12—),在读院校:南京林业大学,所学专业:自动化,当前就职单位:南京林业大学,职务:学生,职称级别:学生。