

人工智能在机械设计制造及其自动化中的应用

亓宏伟, 赵志睿

(山东天丰新能源科技有限公司, 山东 临沂 276000)

摘要 自进入工业 4.0 时代以来, 以人工智能为代表的新技术革命正以前所未有的深度和广度渗透到传统机械设备领域当中。本文主要围绕人工智能、机械设计制造和技术自动化三个方面进行详细讨论。首先从人工智能加持下的机械设备新特质出发, 再介绍采用人工智能技术提高相关行业发展水平和技术研发能力的作用, 最后着重介绍了人工智能技术应用于机械产品的智能化设计、智能化制造工艺和智能化控制系统三个方面的实践应用。实验证明, 人工智能不仅能大幅提高生产效率、提升产品质量, 而且对促进机械加工制造业向智能化、弹性化、绿色化方向发展有着举足轻重的作用。

关键词 人工智能; 机械设计制造; 自动化; 智能制造; 优化算法

中图分类号: TH164; TP18

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.010

0 引言

机械设计制造及其自动化专业人员长久以来一直在研究机械产品的结构设计、加工工艺以及自动控制等问题, 而随着不断增长的客户需求以及多样化、个性化的小规模生产方式的出现, 以往依靠经验和精确模型的传统手段变得越来越不适用, 很难进行最优选择, 并且无法应对变化。但是, 近年来人工智能领域(机器学习、深度学习等), 包括专家系统以及进化算法等方面的突破, 给整个机械制造行业带来了全新的解决方案, 通过对人的意识、判断和决策过程的学习, 人工智能能够对传统上难以解决的复杂非线性问题进行求解, 实现整个机械产品从设计到生产的全生命周期智能化。

1 人工智能赋能下机械设计制造及其自动化的新特点

1.1 设计过程的智能化与生成化

传统机械设计主要依赖设计者的经验总结和手工推算, 过程十分复杂, 而且容易陷入局部最优, 而当加入人工智能之后, 整个设计流程就变得非常智能了。通过使用生成型算法的设计平台, 可以针对给定的限制因素(负载、材料、空间尺寸等)自动绘制出上万种满足力学性能要求的不同形式的结构方案, 也就是所谓的“生成型设计”。它不仅解放了设计人员繁重的绘图任务, 还突破了人类的思维方式, 在此过程中产生了大量的仿生结构, 如拓扑优化等, 使得产品的设计更加轻便、高效。

1.2 制造过程的自主感知与决策

在生产中, 人工智能使机器拥有了“眼睛”“大脑”, 利用大量的传感器以及机器视觉系统实时监测着生产中的加工状况、工具损耗程度以及周围环境的温湿度等^[1]。借助深度神经网络模型, 可以自行辨别此时的生产条件是否正常, 并且可以根据采集到的数据自行调节加工参数, 如主轴转速、进给速率等, 以得到最佳的加工条件, 从而实现了由被动式“机械化操作”到主动式“智能应对”的飞跃。

1.3 系统运行的协同化与自优化

智能制造控制系统大多由多个复杂的子系统构成, 如物流系统、加工系统、装配系统等。人工智能的应用使得所有的子系统不再是单独存在的, 而是以工业互联的形式相互连接, 在彼此间开展数据交换与合作, 采用多智能体系统协调控制策略, 每个制造单元可以相互交流信息, 共同作出决定, 灵活调整生产安排; 并且通过不断采集数据来进行反复学习训练, 使该系统具有自主改进能力, 可随时间推移进行自我升级, 提高工作效率。

2 人工智能在机械设计制造及其自动化中应用的重要意义

2.1 显著提升产品研发效率与创新质量

传统的机械设计过程是一个漫长的设计、仿真、试制、修改循环, 研发费用巨大。而人工智能可以通过对海量数据的理解和方案的推理, 在很短的时间内

作者简介: 亓宏伟(1991-), 男, 专科, 研究方向: 机械设计。

就能进行大量的设计方案比较与验证,很大程度上解放了设计人员的脑力劳动,使他们能将更多的精力投入到创造性思考中,而不是陷入复杂的设计计算过程。这样就大大加快了一个产品从设想变为市场销售的速度,而且人工智能方案大多是采用全面优化的方法,在一定程度上可以使产品的材料消耗量、物理特性以及耗能等方面都远远优于传统的设计方案,从根本上提升了产品的创新水平。

研发速度提高不仅在于重复利用已有知识,还包括跨领域的合作。人工智能可学习企业的过往设计文件,建立知识网络,在新产品的研发中自动推送相似的例子和改进方案,以避免犯同样的错误,生成设计软件可根据给定的限制条件生成成百上千个可能的解决方案,丰富工程师们的创意思路^[2]。模拟过程与设计过程有机结合,做到边设计边测试,降低实物原型制作的频率。多目标优化算法在追求强度的同时,也考虑到了热量、振动等多个方面的问题,尽可能让产品做到最轻,在不影响基本功能的情况下实现极致的轻便化,产品创新水平达到一个新的高度。

2.2 实现生产全流程的精细化管理与降本增效

机械工业领域的竞争重点是成本问题和效率问题。在这方面人工智能可以从大量数据中准确找到影响生产的“卡脖子”环节、质量问题原因以及能耗浪费原因等。基于智能调度系统,实时调整生产任务分配,尽可能实现机器的最大化使用,这体现在生产中的成本节约和效益提高上,是企业在激烈的市场环境中立于不败之地的基础。

精确定位和推进精细化管理体现在全过程的质量追踪及流程优化上。人工智能视觉检测系统可以随时抓取到产品的表面瑕疵,准确程度远远超过人工目测,并且自动将所有数据存档整理,形成产品质量的历史纪录库。在产品质量出现问题时,可以迅速找到具体的环节以及相应的设备数值,从而找出问题出现的原因。生产工艺参数自动调优算法根据当前监测的数据,调整机器的工作参数,使整条生产线保持在最佳水平运行。能源管理系统通过对生产设备开机时间及负荷特征的分析,自动排布大型耗电设备的使用时间段,避免高峰期用电。这些精细化操作相互作用,使生产成本不断降低,原材料消耗大幅减少。

2.3 推动行业向柔性化与绿色化方向转型升级

在需求越来越呈现定制化趋势的情况下,机床生产企业要有迅速转产的能力,即柔性生产能力。基于人工智能的自动控制系统可以对不同的工件进行快速区分,并自动加载合适的加工程序、夹具方案等,从

而实现在同一生产线上流水线式地混合装配不同型号的产品。同时,在实现“双碳”的大环境下,人工智能通过对能源调配及过程的调节,使企业单位产值的能耗和材料损失大大减少,推动了机械制造业由资源依赖式的粗放型生产模式迈向绿色环保生产模式。

柔性化提升也体现在对供应链协作以及反应能力的提高。人工智能需求预测系统监控市场需求情况以及客户的订单,预先提示生产流程安排,降低了存货积压风险,若突然出现订单变更,在几分钟之内就可完成整个工厂的工作任务重排,尽量减少转换带来的损耗^[3]。在绿色化方面,人工智能工艺改进让切削液、润滑油这类辅助材料的使用量减少,废弃品的产生量也随之下降。

3 人工智能在机械设计制造及其自动化中的具体应用

3.1 基于专家系统与深度学习的智能辅助设计

在机械设备的设计过程中,人工智能的应用最为显著的就是对以往知识财富的发掘与再利用,如企业几十年积累的经典样图、完备的行业标准文件以及无数次失败总结出的失效总结报告^[4]。搭建起一个结构化的知识网络与专家库,将原来深藏在硬盘或纸上的隐性经验转化为机器可解读且能进行逻辑推演的明确条文。工程师接手新设计项目时,可通过所需的功能指标和约束范围,自动查询到合适的类似实例、可重复使用的标准化组件,甚至之前设计中规避陷阱的经验教训等,使新设计基于以往成功经验,从而避免重蹈覆辙。

在产品的性能预测方面,人工智能正在颠覆传统意义上的仿真实验过程。通过深度学习的代理模型,利用大量有限元仿真数据或真实物理实验数据进行学习,可得到三维几何模型与物理场响应之间的复杂相互作用关系。在产品开发阶段,工程师只需上传三维模型或变更后的参数,模型就能在几秒内对其振动模式、散热效果和使用寿命做出准确预测,并以热力图或响应曲线形式呈现。这种秒级响应替代了传统需数小时甚至数天的物理仿真实验步骤,实现了方案间的比较与优化设计。

人工智能带来的设计效能飞跃,保障了产品质量。由于性能预测难度大大降低,设计师们可在产品成型前,针对不同材料搭配、结构配置和尺寸指标展开全面研究与论证,确定最符合功能需求、具有最佳动力学效果且能长期服役的设计方案。这样提前把控设计质量,可将潜在问题消除在图纸阶段,避免后续物理样件反复制作、调试带来的巨大消耗,从而以更少的研发成本、更快的速度开发出更高品质的产品。

3.2 基于机器视觉与数据挖掘的智能制造工艺

在机械加工的智能化加工工艺中,人工智能赋予制造单元感应、判断的能力。在智能装备中布置高清晰度工业相机和3D激光测距仪等视觉传感器,可在毛坯件上料时就对其进行三维点阵测量,准确找到铸件或锻造件的偏移量和加工余量。在此基础上,利用感应信息进行数控刀具的零位调整,根据去除工件材料均匀原则,自动规划最佳加工路线和进给速度。这样一来,智能化的加工方式很好地消除了因毛坯差异大而产生的无用雕刻或过度切割现象,提高了毛坯合格率和整个加工过程的可控性。

在质检阶段,在目标检测方面,卷积神经网络算法正在掀起一场质检生产线上的技术革新。在大量缺陷图片及正常产品图片的学习训练下,检测模型可以在生产线上以毫秒级别的速度对每个零件进行全面扫描,及时发现微米级大小的产品表面刮痕、内部裂缝和尺寸偏差等问题。它比人眼目视检验更准确、更具抗干扰性,也不会受到眼睛疲劳的影响,从而保证了100%的全检率;一旦发现问题就可以联动分流装置,把次品自动分离出来并归类整理缺陷种类,为之前的工序提供精确的质量信息。

在工艺参数优化方面,人工智能算法致力于在相互冲突的目标之间寻找最有利的均衡点。在切削加工中,切削速度、进给量及切削深度三者影响着加工所需的时间长短、表层的平整度以及消耗能量的多少。通过使用 Genetic Algorithm (GA)、Particle Swarm Optimization (PSO) 等智能算法,在加工之前就可以根据不同的材料以及相应的刀片进行多次迭代求优。算法会在满足一定的粗糙度标准且刀刃磨损程度较低的情况下,确定能够实现最大材料去除量、最小单位能耗的最佳切削参数组合。这种参数自动寻优的能力使得制造环节不需要再依靠人工的经验来控制加工的质量问题,从而提高了加工的速度并且达成了减碳的目标。

3.3 基于智能控制与物联网的自动化系统集成

在向无人化智能工厂发展的过程中,智能物流系统充当着物料流动的神经系统,传统的依靠磁条或者二维码的AGV升级为拥有自主认知能力的智能移动机器人,它安装了激光雷达和深度摄像头,使用SLAM技术进行实时定位及地图测绘。在行走的过程中可以实时识别周围的环境并实时更新生产现场的地图,并通过避障技术自动绕过生产现场中出现的各种障碍物、来来往往的人群或者突发性堆放的工件,准确地把毛坯送到机器设备上、把产品送入立体仓库,完成了整个厂区内部物流系统的柔性化、无人化。

而在精密装配这个关键步骤,AI让机器获得了触觉以及思维的能力。传统的工业机器人在执行轴孔装配或者齿轮啮合的时候,由于缺少了力矩信息反馈,所以很容易出现磕碰甚至撞坏工件的情况,配备六维力/力矩传感器的装配机器人可以实时感知到接触到工件的力度和角度大小,并基于此运用强化学习的方法,通过不断地尝试以及优化来学会模仿人的细微动作,实现了对于精密件的无损高精度装入。

智能化程度最高的是基于工业互联网下的全方位的综合调度,所有的智能装备、生产线以及物流体系都通过5G或者工业以太网全连接起来,在线采集的状态信息以及生产进度信息实时汇聚到MES中去,借助大数据平台,能对大量生产的原始数据进行在线分析处理及多角度解析,从而提前准确预知可能出现的问题以及隐患^[5]。依靠实时采集到的数据信息,由中心调度控制系统以最优化为原则,实时安排好每台数控机床的加工任务分配、调度好AGV的配送顺序,指挥好机器人装配的速度等等,形成一个全方位感知、互联、自学习式的智能化工厂自动化生产闭环系统,从而达到整个生产流程的最大化自我控制和无人参与。

4 结束语

人工智能的应用正在颠覆传统机械设计制造及机械化的技术内核及产业结构,它带来的是设计理念的解放、生产加工方式的变化甚至是整个系统的自适应提升。在机械设计制造及其自动化过程中,从智能辅助设计压缩研发时间到机器视觉提高生产精度,再到物联网控制设备自主协作,人工智能将成为机械制造业高质量发展的新动能。随着算法计算能力的不断提升和新材料、新技术融合程度加深,未来的机械制造业中人工智能的应用会越来越广泛,对制造业的智能化改造升级起到极大的推动作用。

参考文献:

- [1] 任莹莹,丁淑敏.简述人工智能在机械设计制造及其自动化中的应用[J].上海轻工业,2025(06):103-105.
- [2] 司加振.人工智能在机械设计制造及其自动化中的应用[J].中国设备工程,2025(11):59-61.
- [3] 张菁慧.人工智能在机械设计制造及其自动化中的应用研究[J].造纸装备及材料,2024,53(09):46-48.
- [4] 魏培莉,刘万晓,任婷,等.机械设计制造及其自动化中人工智能技术的应用[J].中国科技信息,2024(14):84-86.
- [5] 淡书桥.机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用[J].产业创新研究,2024(12):78-80.