

DOI: 10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20200503

人工智能在钢铁工业智能制造中的应用

王 龙^{1,2,3}, 冀秀梅^{1,2,3}, 刘 玠^{1,2,3}

(1. 省部共建高品质特殊钢冶金与制备国家重点实验室, 上海 200444;

2. 上海市钢铁冶金新技术开发应用重点实验室, 上海 200444; 3. 上海大学材料科学与工程学院, 上海 200444)

摘 要: 钢铁工业是国民经济的基础工业,是决定国家发展水平的最基本要素之一。中国已经成为世界第一钢铁制造大国,但在整体创新能力、素质和产品竞争力方面存在“大而不强”的问题。加快钢铁工业的转型升级,向钢铁强国转变,已成为新时期中国经济社会发展的重大战略任务。智能制造将先进的制造技术与新一代信息技术深度融合,贯穿于制造过程的各个环节,是中国钢铁工业创新发展的一个新机遇。钢铁工业未来重点发展方向将是基于新一代人工智能技术的智能制造。深入分析了智能制造的特征以及人工智能技术在智能制造中的应用及其发展的趋势,对如何在智能制造中推动人工智能相关技术创新应用给出建议,提出了国内钢铁企业在利用人工智能发展智能制造的路径规划,为钢铁行业智能制造在中国的发展提供借鉴。

关键词: 人工智能; 智能制造; 制造业; 钢铁工业; 创新

文献标志码: A **文章编号:** 0449-749X(2021)04-0001-08

Application of artificial intelligence in intelligent manufacturing in steel industry

WANG Long^{1,2,3}, JI Xiu-mei^{1,2,3}, LIU Jie^{1,2,3}

(1. State Key Laboratory of Advanced Special Steel, Shanghai 200444, China; 2. Shanghai Key

Laboratory of Advanced Ferrometallurgy, Shanghai 200444, China; 3. School of Materials

Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: Steel industry is the basic industrial sector of the national economy, which is one of the fundamental elements to measure a country's level of development. China has become the world's largest steel manufacturing country, but its overall innovation capability and product competitiveness are large but not strong. It has become a major strategic task for China's economic and social development in the new period to accelerate the transformation and upgrading of steel manufacturing industry to a powerful steel manufacturing country. Intelligent manufacturing is the deep integration of next generation information and communication technology and advanced manufacturing technology, and it runs through all stages of the manufacturing process. Intelligent manufacturing based on the new generation of artificial intelligence technology is the key development direction of the future high-end equipment manufacturing industry, which is also a new opportunity for the innovation and development of China's steel industry. The characteristics of intelligent manufacturing and the application and development trend of artificial intelligence technology in intelligent manufacturing are deeply analyzed, so as to provide the development suggestions on how to promote the application of artificial intelligence in intelligent manufacturing, and plan the path for domestic enterprises to develop intelligent manufacturing by using artificial intelligence, which provides reference for the development of intelligent manufacturing in China.

Key words: artificial intelligence; intelligent manufacturing; manufacturing industry; steel industry; innovation

1 智能制造的发展

制造业是一个国家经济社会发展的基础,代表国家的经济与技术发展水平。中国已经成为世界第一制造大国,但是整体创新能力、素质和产品竞争力

与世界主要发达经济体的工业制造水平仍然存在差距,“大而不强”的问题仍然突出。需要依靠创新驱动来实现转型升级,通过技术创新、管理创新、产业创新,在产业链上不断由中低端迈向中高端^[1]。当前,通过工业大数据、人工智能为代表的新一代信息

基金项目: 中国工程院咨询研究资助项目(2018-XY-44); 上海市科学技术委员会课题资助项目(19DZ2270200)

作者简介: 王 龙(1977—),男,硕士,高级工程师; E-mail: longwang@shu.edu.cn; 收稿日期: 2020-09-29

技术,实现制造过程的智能化,推进智能制造,助推中国传统制造业的转型升级,从而实现从制造大国向制造强国的转变,已成为新时期中国经济和社会发展的项重大战略任务。

智能制造是将物联网、大数据、云计算、移动互联网等新一代信息技术与先进制造技术深度融合,面向产品全生命周期,贯穿于设计、生产、管理、服务等制造过程的各个环节,具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等智能化功能的新型生产模式。

从国际发展趋势来看,智能制造集成了制造技术、信息技术,是高端装备制造业的未来发展方向。当前世界各主要国家的政府均高度重视智能制造的研发和应用,美国、日本、欧洲在智能制造方面已有一系列的研究成果。近年来,中国制造业生产过程自动化程度不断提高,但面对市场不断变化的需求,仍存在综合信息处理难、制造环境柔性差、协同生产困难等问题。亟待通过应用人工智能等新型技术,对制造过程进行全系统分析、判断、推理、构思和优化决策,逐步实现制造过程的智能化。

从企业需求角度来看,市场预测、生产决策、产品设计、原料处理、制造加工、生产管理、原材料储运、产品销售、成本研究与发展等环节彼此影响,构成产品生产的全生命周期,其自动化程度取决于上述各环节的智能集成和优化水平。当前,国内许多制造企业还缺乏这种“智能集成”的制造技术。

智能制造的整体框架如图 1 所示。智能制造贯

穿制造系统生产与管理的各个环节中,以计算机为工具,基于制造企业的实时和历史数据库,通过大数据分析等人工智能技术,对制造过程全生命周期(设计、制造、管理、服务等)进行建模与优化,从而实现企业整体制造过程的智能化,提高生产和物流效率、降低生产成本、提高产品质量和市场竞争能力。

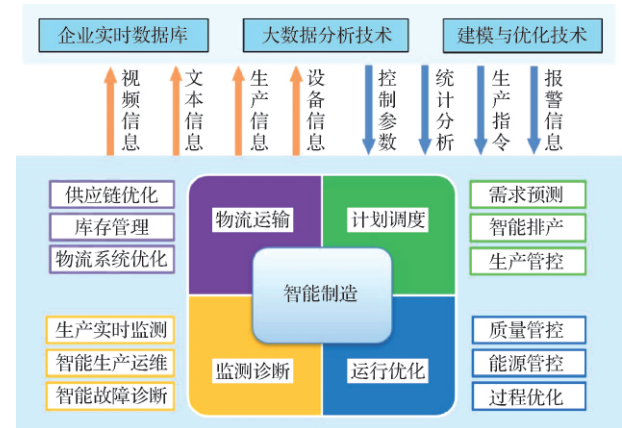


图 1 智能制造的主要框架

Fig. 1 Framework of intelligent manufacturing

从工程的观点来看,智能制造是通过先进信息技术将产品制造的全生命周期有机集成,具有深度信息感知、智慧优化决策和精准协调控制的能力。

智能制造的特征在于生产过程数据的状态感知、实时分析、自主优化决策、人机交互、动态精准执行等几个方面,如图 2 所示。

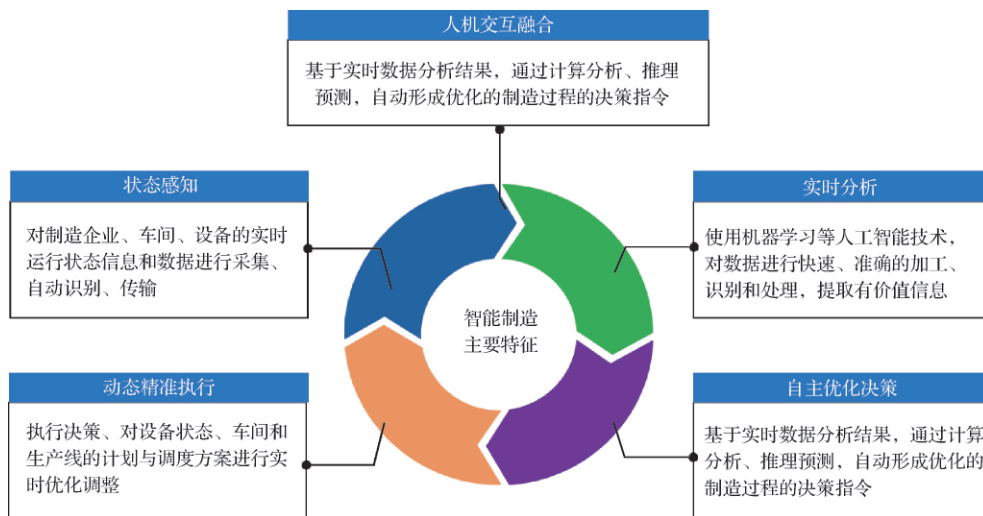


图 2 智能制造的主要特征

Fig. 2 Principal character of intelligent manufacturing

各个国家针对自身经济技术结构及战略导向不同,其选择的智能制造路线也不尽相同,如图 3 所

示。但在重视基础科技研究、软硬件结合、人工智能技术深入应用等方面具有共识,这也是中国发展智

能制造需要重视并且借鉴的内容。

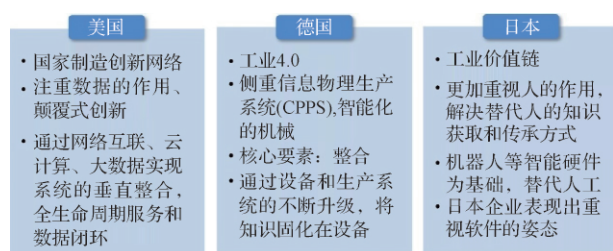


图 3 国外智能制造的发展与应用

Fig. 3 Foreign development and application of intelligent manufacturing

近 10 年来,中国信息技术产业取得了长足发展,形成了以国家级信息产业基地、国家新一代信息技术产业园为主体的区域产业集群。特别是长江三角洲、珠江三角洲、环渤海和中西部(成都、西安和重庆、武汉、长沙)⁴ 大区域,劳动力、销售收入、工业增加值和利润占全行业比例均已超过 80%,如图 4 所示。

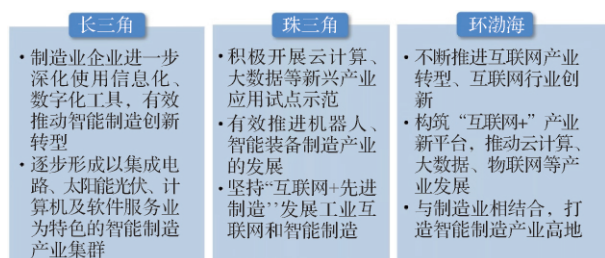


图 4 国内智能制造的发展与应用

Fig. 4 Domestic development and application of intelligent manufacturing

2019 年,随着《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018—2020 年)》、《扩大和升级信息消费三年行动计划(2018—2020 年)》、《工业互联网 APP 培育工程实施方案(2018—2020 年)》等一系列国家政策的贯彻落实与深入推进,大数据、云计算等所代表的新一代信息技术向智能制造的各个领域加速渗透,平台化、服务化、融合化趋势明显。

国家工业和信息化部组织智能制造试点示范专项行动,一批示范项目进行先行先试。抢抓新一轮科技革命和产业变革机遇,利用新一代信息技术发展持续提升制造业技术创新能力,大力培育和发展新的产业集群,激发增强企业发展活力,实现智能制造的快速发展。通过对项目的总结与梳理,智能制造可以归纳 8 种典型模板,如图 5 所示^[2]。

智能制造的典型模板互相融合,综合作用,在不同行业或生产流程的各个环节中得到应用。例如:在汽车、机械、装备制造等领域初步形成了“产品全生命周期的数字化”,建设了相应的管理系统。“柔性制造”通过优化技术开发先进排程系统,探索构建多品种工件协同加工的生产模式,以及车间物流的自动化系统,实现了过程系统、制造执行系统和企业资源计划系统的协同和优化。“互联工厂”针对制造业中的“信息孤岛”问题,基于物联网技术和大数据等信息技术,打通了不同部门和工序的数字壁垒,实现了不同工序和部门之间的信息共享。“全生产过程能源优化管理”在以石化、有色、钢铁等为代表的流程工业中,通过大数据和优化技术,基于生产过程的能源数据采集和分析,实现了生产过程的高效能源利用^[3]。

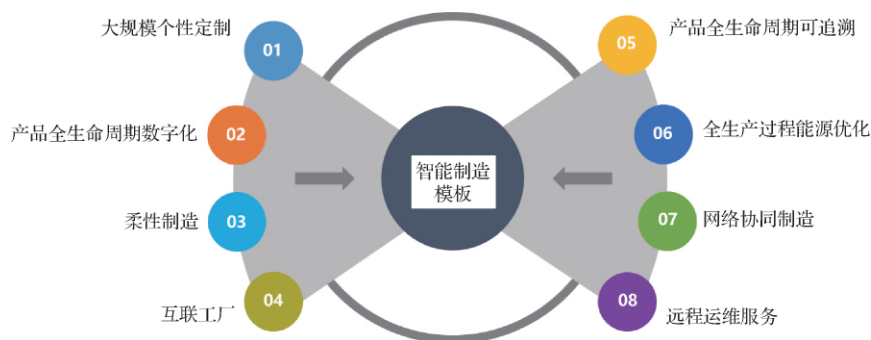


图 5 智能制造的主要模板

Fig. 5 Main template of intelligent manufacturing

2 人工智能的发展

人工智能诞生于 20 世纪 50 年代,经过 60 多年

的发展,综合了多学科并产生了许多分支。其发展曾经历二次高潮和低谷,从 2010 年开始迎来第三次发展浪潮。人工智能技术让计算机从大量经验数据

中获取知识,从而认识复杂环境下客观世界物体之间的联系和相互影响,挖掘出这些联系和影响的本质特征。作为一门新的技术科学,对人工智能的定义一直存在不同的观点。例如:2011 年诺贝尔奖获得者汤姆·萨金特认为人工智能的本质就是用统计学分析自然界数字的方法。《人工智能——一种现代方法》^[4]中将人工智能定义分为 4 类:(1)能够像人一样思考的系统;(2)像人一样行动的系统;(3)理性思考的系统;(4)能够理性地行动的系统。《人工智能标准化白皮书》则将人工智能定义为“利用数字

计算机或数字计算机控制的机器模拟、延伸和扩展人的智能,感知环境、获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法、技术及应用系统”。

人工智能的发展经过了早期的热情高涨、现实的困难导致的寒冬和深度学习掀起的爆发阶段^[5-6]。深度学习在图像处理、语音识别和自然语言处理等方面取得了突飞猛进的发展,前所未有的人工智能商业化和全球化席卷而来。大体来说,人工智能理论研究可分为以下几个阶段,如图 6 所示。

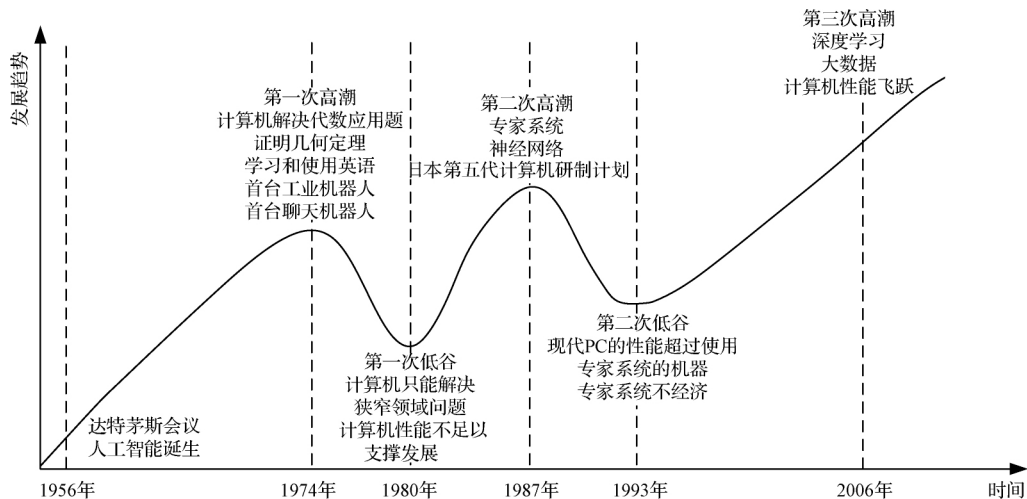


图 6 人工智能理论发展史

Fig. 6 History of artificial intelligence theory

人工智能理论包括专家系统、搜索技术、分布式人工智能、机器学习、模糊逻辑等^[7-8]。机器学习是人工智能的核心,深度学习是目前最热的机器学习方法,如图 7 所示。

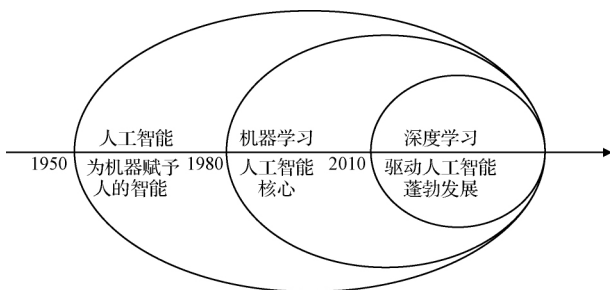


图 7 人工智能、机器学习与深度学习关系

Fig. 7 Relationship between artificial intelligence, machine learning and deep learning

3 人工智能与智能制造深度融合

中国的制造企业当前都在寻求利用人工智能技

术来实现企业向智能制造的转型升级。随着工业数据分析、机器视觉、自然语言理解等人工智能技术的不断应用,制造企业在产品设计、制造、管理、服务等各阶段的集成能力不断增强,生产设备的智能化水平不断增强。

人工智能技术对于制造业升级和智能制造的推进方面具有重要作用。首先,借助人工智能技术,可以更准确地理解客户需求信息,使得产品研发的针对性更强,从而大大缩短新产品的研发周期;其次,人工智能技术应用于制造企业的生产过程中,将能够极大满足个性化定制、网络化协同制造、数字化车间(智能工厂)的建设要求,实现制造企业生产自动化、组织智能化以及质量、效率、成本、安全、环保协调与优化;再次,基于人工智能技术支撑的智能物流,将能够有效减少制造企业生产过程中的库存,提高物流配送的效率和降低成本,提升制造企业的竞争力;最后,通过人工智能技术,制造企业将对产品的全生命周期进行管理和优化,通过远程运维

提升客户满意度,提升产品服务的质量。

工业数据库、物联网和人工智能作为创新技术,能够广泛应用于制造企业的设计、生产、管理、服务等各个环节,对于中国制造企业的智能升级和产业布局优化等具有不可替代的重要作用^[9]。实现大数据分析、业务流程的智能集成与优化改造,都离不开人工智能的技术支撑。因此,人工智能在制造业中的成功应用,对于中国制造业实现自动化、智能化,能够提供关键技术保障。研究人工智能技术在智能制造各环节中的应用及其发展趋势,对于中国如何更加有效地发展人工智能技术并将其引入到制造业转型升级过程中,加快实现中国制造企业的智能制造升级,具有非常重要的指导意义。

由于人工智能能够使制造系统具有自学习能力,因而具有更好的环境自适应能力,已经广泛应用到不同领域的制造企业中。以人工智能为基础的智能制造技术在生产计划、调度、数据解析等方面起到了支撑作用。利用大数据技术对多传感器的多源异构数据进行融合与处理;利用数据挖掘和机器学习技术挖掘和获取生产过程的工艺知识;利用深度学习技术对生产过程中的视频和图像进行处理和挖掘;利用自然语言处理等技术对制造过程的知识进行获取、组织、检索,实现工程应用。这些技术有效释放人、机、料的潜力。

应用人工智能技术推动制造业发展已成为全球共识与趋势。中国政府大力推动人工智能与制造业的融合发展,积极推动人工智能技术为制造业发展注入新动力。在《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》、《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》、《智能制造发展规划(2016—2020)》、《增强制造业核心竞争力三年行动计划》等多个政策文件中均强调推动人工智能等技术在工业制造领域的应用与融合。与此同时,将制造业作为人工智能落地的重点行业,在《互联网+人工智能三年行动实施方案》、《新一代人工智能发展规划》、《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划》等10余个文件中均提出将制造业作为开展人工智能应用试点示范的重要领域之一。

智能制造中的人工智能技术是帮助制造企业实现设计、生产、管理、服务等产品全生命周期智能化的一系列数据处理、机器学习、建模与优化理论、方法与技术的集合^[10]。通过人工智能技术从大量制造过程数据中获取知识,认识复杂的制造环境,挖掘相关的知识,改造制造过程,提高制造业的生产和管

理水平。利用人工智能技术实现制造过程的智能化是通过控制技术实现自动化生产的进化。追求实现机器的柔性配置和生产,实现人机协同。人工智能与智能制造在技术支撑层、基础应用层和方案集成层3个层次上深度融合。

(1)技术支撑层主要由软件和关键硬件两部分构成。软件部分主要由数据处理和分析算法、数据和优化决策模型构成,针对采集的工业过程的多源异构数据,进行数据的清洗、对齐、集成等操作,形成统一的数据平台;关键硬件主要包括用于采集生产过程数据的各类传感器,以及用于模型训练的具有高性能并行计算能力的各种人工智能芯片。

(2)基础应用层主要由深度学习等机器学习与人工智能算法模型构成,基于技术支撑层处理后的结构化数据和非结构化数据,分别通过传统机器学习以及计算机视觉、语音识别、语义识别方法,对数据进行训练、知识提取并获得相应的质量预报、生产过程监测与诊断、设备健康状态监测与诊断、能源监测等数据分析模型,从而提升生产过程中机器设备的自主学习能力。

(3)方案集成层针对不同行业以及不同应用场景的需求构建个性化的人工智能产品与解决方案,包括智能车间、智能工厂、智慧物流、智能安防等。

以人工智能作为驱动力的智能制造体现在5个方面^[11]:产品智能化、装备智能化、生产方式智能化、管理智能化、服务智能化。人工智能可以助力智能制造系统实现制造过程数据的实时感知、制造过程决策优化、制造过程动态执行、制造过程可视化、制造系统自学习与维护、制造系统自组织超柔性、制造系统人机一体化。两者可以在不同的层次上展示自己的能力,相互促进,相辅相成。

智能制造中的人工智能,从结构上可分为3个层次:数据支撑层、平台算力层、算法应用层,如图8所示。

人工智能技术是新一代智能制造系统的核心,新一代智能制造系统的本质特征是其信息系统增加了认知和学习的功能,不仅具有感知、计算分析与控制能力,还具有学习提升、产生知识的能力^[12]。

4 基于人工智能的钢铁工业智能制造创新型应用

人工智能技术能够提高制造业设计水平,进而促进实现新型生产方式,随着数字化、网络化、智能化水平的不断提高,推进工业知识产生与利用的效

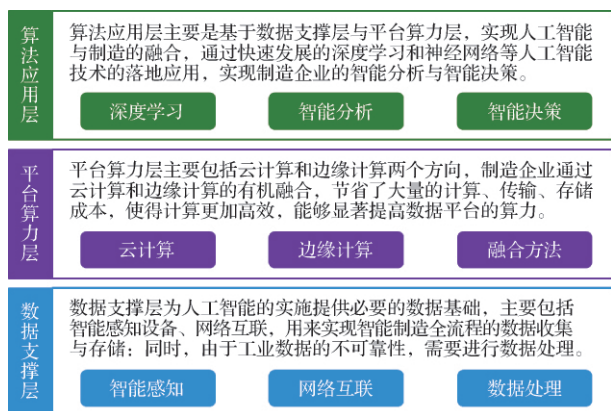


图 8 智能制造中人工智能的结构

Fig. 8 Structure of artificial intelligence in intelligent manufacturing

率,推动制造业发展跨入全新阶段,成为经济发展的新引擎。

钢铁工业具有连续生产、资产价值高、工艺过程复杂等特点,对安全环保具有较高的要求,信息化数字化基础较好,数据采集能力非常强,系统性强、可靠性协同性要求高等特点。钢铁工业的发展水平是衡量国力的标准之一。提高钢铁工业的全产业链活动智能化水平对增强国力、推动经济发展有直接的战略意义^[13-14]。中国已经是名副其实的世界钢铁生产大国,但是距离真正意义上的世界钢铁强国还有差距,主要体现在:自主创新能力不强,重大原创性技术的开发较少;一些高精尖钢铁产品还依赖进口,如高端轴承钢、气门弹簧钢、晶体切割丝钢等;在绿色生产、环保水平方面还有巨大差距;特别在自动化、信息化方面主要技术依靠进口。

充分利用新一代人工智能 2.0 的技术和方法可以有效提升钢铁工业制造过程中原创性技术的创新能力、新材料高效研发能力、产品质量稳定生产能力、柔性的生产组织能力、能源效率成本综合控制能力、提高环保水平实现绿色生产,同时满足其他智能制造产业不断提出的新材料需求,提高流程制造产业的核心竞争力。

人工智能在钢铁行业的应用包括:以数字孪生为核心的数据+模型驱动的生产控制一体化和管理优化;以数据可视化为核心的设备健康、环保的问题;基于数据的全供应链优化,更好地实现产销对接。人工智能技术与行业技术的深层次结合能够促使传统行业发生变革,最终使各生产工序实现无人操作,各工序形成协同生产,根本原因是人工智能技

术在最近几年获得的战略性突破。在钢铁行业智能制造的发展中,人工智能技术拥有很好的前景^[15-16]。

(1)智能产品研发。运用工业大数据,进行产品理论预测建模,基于虚拟仿真技术,搭建虚拟仿真平台,开展新产品设计,产品模拟制造和产品仿真验证^[17]。

(2)智能质量管控。基于标准与规范对过程质量进行监控、监测、判定、预警,及时识别和发现生产过程中的质量问题,分析原因并进行处理;运用工业大数据,进行产品质量回归分析建模,优化产品工艺,稳定和提升产品质量,形成持续改进的闭环质量控制体系。钢铁生产全过程关键质量数据的稳定连续采集;全流程的产品质量跟踪及控制;智能图像识别技术的钢坯和钢材表面质量识别;全自动化检验及智能分析;突破单个工艺段的钢铁产品性能预报和基于大数据的钢板组织性能预报。

(3)智能生产协同。通过环境感知、人员行为识别、人员定位跟踪,实现对危险区域和人员危险行为的管控;采用机器人在恶劣环境和高危环境作业;利用在线检测、智能诊断、智能图像识别等技术,实现设备预知维修和全生命周期管理;构建各种预案和专家知识库,指导实施规范的应急管理;利用移动应用技术,协同计划、任务、资源和设备支撑条件,提高生产组织效率;产品成品精准预报和计算;综合考虑质量、成本、交货期限、设备健康、产能、物流运输等生产计划排程约束条件,完成智能优化排产。

(4)智能能源及环境管控。通过实时能源消耗数据,进行能源消耗和对环境影响的监控、分析、控制;基于数据做能源管理,能源平衡,能源优化,提高能源效益和效率,节能降耗、降低生产成本和环境成本。

(5)智能物流仓储。利用移动通讯技术和移动应用技术,实现仓储物资移动调度、智能调度;利用物联网感知技术,实现仓储物资定置定位,加速物资周转;通过可视化运输,实现物流运输过程实时监控,提升客户服务满意度。

(6)智能营销服务。依托电子商务平台,集成销售、生产、物流、研发等关键环节信息,为客户提供快捷、及时和个性化服务,提升客户满意度、忠诚度、实现客户价值持续贡献;通过数据挖掘、分析,充分发挥数据价值,为企业提供市场发展趋势预测、产品价格走势分析、客户需求预测等增值服务,实现营销服务数字化、智能化。

(7)智能决策支持。实现多源数据的汇聚融合,

运用准确的、全局的数据相关性分析,运用大数据计算技术,分析内在规律,高效驾驭海量数据,提升决策技术含量和知识含量,持续监测经营分析、绩效考核、对标分析、风险管理、成本分析等业务。

5 人工智能在钢铁工业智能制造领域应用

智能制造是1个大系统,主要由智能产品、智能生产及智能服务3大功能系统以及智能制造云和工业物联网两大支撑系统集成而成^[18]。产品和制造装备是智能制造的主体,智能生产是新一代智能制造系统的主线,以智能服务为核心的产业模式和业态变革是新一代智能制造系统的主题。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,成为了新一轮工业革命的核心驱动力。当前,中国和发达国家掌握新一轮工业革命的核心技术的机会是均等的,这为中国发挥后发优势,实现跨越发展提供了可能^[19]。

机器学习算法是智能制造的关键驱动力。机器学习是提高信息到知识提炼和知识归纳能力的方法,研究的核心内容是如何让计算机模拟甚至实现人类的学习行为,使计算机具备获取新的知识或技能的能力,或是使计算机能够对已有的知识进行重新组织,持续改善及优化。通过建设具备机器学习功能的单个系统,可以将机器学习应用到智能制造系统,也可以通过建立企业级的机器学习平台,为企业中的其他系统提供机器学习的能力和服务。

工业大数据应用技术助推智能制造落地,“数字+制造”的模式已经成为制造业的未来,工业大数据的收集、分析与应用则是实现制造业创新发展的基础。随着技术的不断成熟,大数据已经被应用于产品化生产、设备自动化管理等多个环节。目前,国家大力推进智能制造,工业大数据所具备的潜在价值值得深入挖掘。

工业互联网是数据实现其价值的重要工具,是机器、数据和人的融合,价值是连接、赋能、跨界,本质是连接。通过数据流动和分析,形成智能化变革,形成新的模式和新的业态。工业生产中,各种机器、设备和设施通过传感器、嵌入式控制器和应用系统与网络连接,构建形成基于“云-管-端”的新型复杂体系架构。随着生产的推进,数据在体系架构内源源不断地产生和流动,通过采集、传输和分析处理,实现向信息资产的转换和商业化应用^[20]。

工业云平台为智能制造提供算力支撑,具有高

效、稳定、安全等优势,有效帮助制造业提升产品附加值、提高生产效率、创新商业模式,加快推动了产业转型升级。制造业智能化发展进程中,云计算通过提供强大的数据处理、传输和存储能力,助力制造业企业收集和处理海量数据。

智能感知技术是发展智能制造的基础。传感器是一种能够对当前状态进行识别的元器件,当特定的状态发生变化时,传感器能够立即察觉出来,并且能够向其他的元器件发出相应的信号,用来告知状态的变化。在数据的应用过程中,首先要解决的就是获得准确可靠的数据,而传感器则是获取数据最直接的途径与手段。制造业的未来在于数据,数据来源于传感器。未来智能感知技术的发展趋势包括以下几个方面:(1)向高精度发展;(2)向高可靠性、宽温度范围发展;(3)向微型化发展;(4)向低功耗及无源化发展;(5)向智能化数字化发展;(6)向网络化发展。

6 展望

随着政府在智能制造领域不断出台新的促进和支持政策,结合新一代人工智能技术的快速发展,钢铁工业可以集成钢铁生产技术、信息技术和人工智能技术,开发从炼铁、炼钢、连铸、轧钢到成品的全流程智能冶金生产线的成套技术。重点构建智能高炉、智能转炉、智能铸机、智能轧机的模式识别、数学模型和控制系统。可以按以下阶段重点突破,逐步实施:

第一阶段,建设一个云计算中心整合全部钢铁工厂信息化应用系统、一个数据中心集中生产过程全生命周期数据;工厂内部搭建一个基于物联网为基础的综合网络系统、工厂外部搭建一个整合用户需求 and 原料供应的产业互联网。

第二阶段,建设一个以订单为核心的虚拟生产仿真平台、以产品为核心的制造研发虚拟仿真平台、一个以产品订单为龙头的集成信息流、物流、资金流、知识流、服务流的生产综合指挥平台^[21]。

第三阶段,逐步完成智能产品研发、智能质量管控、智能生产协同、智能能源及环境管控、智能物流仓储、智能营销服务、智能决策支持^[22]。

第四阶段,实现钢铁企业通过生产仿真平台完成虚拟生产、通过制造研发平台指导钢铁制造和产品研发、通过生产综合指挥平台实现全流程智能制造目标。

最终建设无人或不以人为主要依靠的智能钢铁

工厂,信息化与自动化深度融合的智能型钢铁企业,使钢铁工业企业质量成本最优、资金高效利用、物流高效协同、研发高效顺行、能耗低、环境安全友好,极大满足用户个性化需求。

参考文献:

- [1] 李新创. 新时代钢铁工业高质量发展之路[J]. 钢铁, 2019, 54(1): 1. (LI Xin-chuang. Road map to high-quality development of iron and steel industry in new age[J]. Iron and Steel, 2019, 54(1): 1.)
- [2] 机电商报. 细数八大智能制造新模式[EB/OL]. (2018-04-18) http://www.meb.com.cn/news/2018_04/18/6320.shtml. (Machinery and Electronics Business. Eight new models of intelligent manufacturing[EB/OL]. (2018-04-18) http://www.meb.com.cn/news/2018_04/18/6320.shtml.)
- [3] 邓万里. 智能制造视野下钢铁企业能源管控系统展望[J]. 钢铁, 2020, 55(11): 1. (DENG Wan-li. Prospect of energy management and control system in iron and steel industry under intelligent manufacturing[J]. Iron and Steel, 2020, 55(11): 1.)
- [4] Stuart J Russell, Peter Norvig. 人工智能: 一种现代的方法[M]. 3 版. 北京: 清华大学出版社, 2013. (Stuart J Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach[M]. 3rd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.)
- [5] Stephen L, Danny K. 人工智能[M]. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2018. (Stephen L, Danny K. Artificial Intelligence[M]. 2nd ed. Beijing: Posts and Telecom Press, 2018.)
- [6] 尼克. 人工智能简史[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017. (NI Ke. A Brief History of Artificial Intelligence[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2017.)
- [7] Stephen M. 机器学习: 算法视角[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2019. (Stephen M. Machine Learning: An Algorithmic Perspective[M]. 2nd ed. Beijing: China Machine Press, 2019.)
- [8] 李开复. AI 未来[M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2018. (LI Kai-fu. AI Superpowers[M]. Hangzhou: Zhejiang People's Publishing House, 2018.)
- [9] 王春梅, 周东东, 徐科, 等. 综述钢铁行业智能制造的相关技术[J]. 中国冶金, 2018, 28(7): 1. (WANG Chun-mei, ZHOU Dong-dong, XU Ke, et al. Review of intelligent manufacturing technology in steel industry[J]. China Metallurgy, 2018, 28(7): 1.)
- [10] 王万良, 张兆娟, 高楠, 等. 基于人工智能技术的大数据分析方法研究进展[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(3): 529. (WANG Wan-liang, ZHANG Zhao-juan, GAO Nan, et al. Progress of big data analytics methods based on artificial intelligence technology[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(3): 529.)
- [11] 周济, 周艳红, 王柏村, 等. 面向新一代智能制造的人-信息-物
- 理系统(HCPS)[J]. Engineering, 2019, 5(4): 71. (ZHOU Ji, ZHOU Yan-hong, WANG Bai-cun, et al. Human-Cyber-Physical Systems(HCPSs) in the context of new-generation intelligent manufacturing[J]. Engineering, 2019, 5(4): 71.)
- [12] 李瑞琪, 韦莎, 程雨航, 等. 人工智能技术在智能制造中的典型应用场景与标准体系研究[J]. 中国工程科学, 2018(4): 112. (LI Rui-qi, WEI Sha, CHENG Yu-hang, et al. Research on typical application scenarios and standards system of artificial intelligence in intelligent manufacturing[J]. Strategic Study of CAE, 2018(4): 112.)
- [13] 姚林, 王军生. 钢铁流程工业智能制造的目标与实现[J]. 中国冶金, 2020, 30(7): 1. (YAO Lin, WANG Jun-sheng. Goal and realization of smart manufacturing in steel industry[J]. China Metallurgy, 2020, 30(7): 1.)
- [14] 刘文仲. 中国钢铁工业智能制造现状及思考[J]. 中国冶金, 2020, 30(6): 1. (LIU Wen-zhong. Current situation and thinking of intelligent manufacturing in China's iron and steel industry[J]. China Metallurgy, 2020, 30(6): 1.)
- [15] 李杰. 从大数据到智能制造[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2016. (LI Jie. From Big Data to Intelligent Manufacturing[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2016.)
- [16] 刘玠. 人工智能推动冶金工业变革[J]. 钢铁, 2020, 55(6): 1. (LIU Jie. Artificial intelligence drives changes in metallurgical industry[J]. Iron and Steel, 2020, 55(6): 1.)
- [17] 颜建新, 张福明. 钢铁制造流程智能制造与智能设计[J]. 中国冶金, 2019, 29(2): 1. (XIE Jian-xin, ZHANG Fu-ming. Intelligent manufacturing and intelligent design of iron and steel manufacturing process[J]. China Metallurgy, 2019, 29(2): 1.)
- [18] 周济. 走向新一代智能制造[J]. 中国科技产业, 2018(6): 20. (ZHOU Ji. Move towards a new generation of intelligent manufacturing[J]. Science and Technology Industry of China, 2018(6): 20.)
- [19] 周济. 引领新一轮工业革命[N]. 中国信息化周报, 2018-10-15(007). (ZHOU Ji. Leading a new round of industrial revolution[N]. China Information Weekly, 2018-10-15(007).)
- [20] 高婴劼. 工业互联网促进制造业价值链持续提升[N]. 中国证券报, 2015-08-17(A13). (GAO Ying-mai. Industrial internet promotes continuous improvement of manufacturing value chain[N]. China Securities Journal, 2015-08-17(A13).)
- [21] 王晓连, 迟京东. 智能制造促进钢铁工业转型升级[J]. 冶金自动化, 2018, 42(3): 1. (WANG Xiao-lian, CHI Jing-dong. Intelligent manufacturing promotes the transformation and upgrading of the iron and steel industry[J]. Metallurgical Industry Automation, 2018, 42(3): 1.)
- [22] 李新创. 智能制造助力钢铁工业转型升级[J]. 中国冶金, 2017, 27(2): 1. (LI Xin-chuang. Transformation and upgrading of steel industry supported by development of intelligent manufacturing[J]. China Metallurgy, 2017, 27(2): 1.)