中图分类号：F407.3;F424.3　　文献标志码：A　　文章编号：2097-017X(2026)05-0001-06
DOI:10.3969/j.issn.2097-017X.2026.05.001

钢铁工业智能化发展思考与展望

干　勇[1]，谢　曼[2]，王　慧[2]

（1. 中国工程院，北京 100088；2. 钢铁研究总院有限公司，北京 100081）

摘要：人工智能技术正在全面重塑钢铁工业。本文采用文献调研、国内外钢铁智能化发展案例对比分析与行业实践归纳相结合的研究方法，梳理全球钢铁工业智能化发展态势，剖析美国、日本、欧洲、韩国、印度等国家钢铁工业智能化建设的技术路径、实施成效。以建设钢铁强国为目标，探讨了中国建立人工智能驱动的钢铁产品按需设计技术体系，发展以机理-数据融合的垂直大模型落地应用为核心的全域自主生产新形态，并提出探索AI赋能、供需全面对接的钢铁平台经济联合体，实现优势产能集约化运营的创新模式。本文研究旨在为钢铁行业智能化转型提供参考。

关键词：AI＋钢铁；按需设计；垂直大模型；平台经济联合体

Reflections and prospects on the intelligent development of the iron and steel industry

GAN Yong[1], XIE Man[2], WANG Hui[2]

(1. *Chinese Academy of Engineering*, *Beijing* 100088, *China*;
2. *Central Iron & Steel Research Institute Co.*, *Ltd.*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: Artificial intelligence technology is comprehensively reshaping the steel industry. This paper adopts a research methodology that combines literature review, comparative analysis of domestic and international cases of steel intelligentization development, and industry practice induction. It reviews the global development trends of steel industry intelligentization and analyzes the technological pathways and implementation outcomes of steel industry intelligentization construction in countries such as the United States, Japan, Europe, South Korea, and India. With the goal of building a strong steel nation, this paper explores the establishment of an AI-driven on-demand design technology system for steel products in China, develops a new paradigm of fully autonomous production centered on the implementation and application of vertical large models integrating mechanism and data, and proposes an innovative model of exploring an AI-empowered steel platform economy consortium with comprehensive supply-demand alignment to achieve intensive operation of advantageous production capacity, aiming to provide a reference for the intelligent transformation of the steel industry.

Keywords: AI＋ steel; on-demand design; domain-specific large model; platform economy consortium

收稿日期：2026-07-25
基金项目：中国工程院咨询研究项目(2025-XZ-26)
作者简介：干　勇(1947—)，男，博士，中国工程院院士，教授级高级工程师。研究方向：冶金新材料及现代钢铁流程技术。

中国是全球钢铁生产大国，钢铁领域较早开展材料基因工程的研究与实践，行业积淀了丰厚的数据资源，数字化发展基础扎实。当前人工智能技术浪潮席卷全球，中国钢铁产业正经历从单点数字化、产线自动化向全域自主智能生产的跨越式变革：人工智能技术已深度融入钢铁材料研发、装备迭代和全流程生产运营环节，通过全链条AI赋能，推动钢铁行业实现提质、降本、增效与创新加速。本文基于国内头部钢铁企业的落地实践，剖析AI驱动钢铁产品按需设计、数实融合全域自主生产、平台经济联合体集约运营的智能化转型思路，提出钢铁行业依托AI赋能实现生产力与生产关系双重跃迁的发展路径，以期为推动钢铁强国建设提供参考。

1 全球钢铁工业智能化发展现状

钢铁工业是典型的流程制造业，具有工艺长流程、多相变耦合、能源密集等特征。长期以来，钢铁行业一直面临产能过剩、成本压力、环保约束等多重挑战。随着物联网、大数据、云计算、人工智能、数字孪生等新一代信息技术的成熟与渗透，钢铁工业迎来了智能化转型的历史性机遇。从全球视角看，主要产钢国家和地区纷纷将钢铁智能制造上升为国家战略或企业核心战略，全球形成了以韩国浦项(POSCO)模式、日本制铁(Nippon Steel)模式、欧洲(以安赛乐米塔尔为代表)模式及中国宝武模式并存的发展格局。

美国依托材料基因组计划(MGI)的顶层布局，结合国家实验室、高校、军工机构与钢铁企业协同推进，重点发展钢铁合金智能化计算设计、自主实验平台、短流程产线智能优化[1]。其中伯克利国家实验室的Materials Project数据库积累了大量铁基合金热力学、晶体相结构的基础数据，面向全球开放铁基材料高通量计算筛选服务，可支撑高强钢、耐蚀钢、装甲钢等新型钢铁材料的成分初筛与相稳定性预判，大幅压缩了新型钢铁材料的研发周期[2]。近年来美国进一步重点布局金属合金自主实验系统(如劳伦斯利弗莫尔国家实验室开发的APEX自主合金实验平台等)，但现有平台大多面向小尺度实验室冶金研究，尚未实现完整钢铁长流程闭环自主实验。在产线端，美国以电炉短流程企业为主要的智能化改造主体。美国纽柯钢铁以NucorOS统一数据平台为底座，采用机理耦合仿真＋机器学习的模式开发汽车高强钢、低碳建筑钢，依托机理-数据双驱动框架打造电弧炉冶金智能体，建成全球首座短流程电弧炉灯塔工厂，以废钢为原料，实现电弧炉配料、供电、造渣全流程的闭环自主控制[3]。

日本钢铁行业的智能化发展并未盲目追求大规模全流程自主工厂建设，而是更侧重于人机协同模式下的局部工序智能化改造，以及工艺隐性经验知识的数字化传承。日本制铁株式会社构建企业统一数据平台，以数字孪生、AI算法、设备物联网为核心技术，打通研发、生产、设备运维、排产调度全链条。在材料研发环节，构建材料仿真、自主实验与中试验证相结合的数字化研发体系，自主开发出ZAM®锌铝镁高耐蚀镀层钢等系列钢种，目前已向汽车、能源、基建等领域的主流企业供应。在生产与运维环节，依托NS-DIG®统一数据底座，推行机理模型与数据修正相结合的技术路线，发展出机理-数据融合、人机协同的智能化体系[4]。在特定工序将资深技工隐性工艺知识转化为数字化专家系统，支撑实现设备预测性维护、生产参数辅助优化、质量缺陷智能识别、生产计划智能生成。

欧洲以“绿色低碳”为锚，安赛乐米塔尔、蒂森克虏伯、SSAB等钢铁企业的智能化建设高度服务于氢冶金发展和碳减排战略。欧洲率先推动以区块链存证技术支撑钢材全生命周期碳足迹追溯，利用智能化手段钢材碳排放核算，以满足欧盟碳边境调节机制(CBAM)的数据披露与核查要求。安赛乐米塔尔开发的“XCarb”低碳钢铁品牌，配套数字化碳管理体系，实现了从铁矿石开采到成品钢材产出全流程碳排放数据透明化[5]。随着短流程电炉炼钢比例的提升，欧洲企业加大智能供电、电极调节及废钢熔化效率优化的研发投入，利用AI模型动态优化电力成本，根据电网电价波动自动调整电炉运行参数，实现炼钢成本最优。在氢冶金方面，瑞典SSAB的HYBRIT项目、德国蒂森克虏伯的氢基直接还原铁(tkH_2Steel)项目，均将智能化控制作为保障项目稳定运行的核心支撑技术。

韩国钢铁智能化技术在研发端和产线端双向发力。浦项综合研究院联合浦项科技大学融合CALPHAD热力学机理模型与AI高通量筛选算法，开发了用于高层建筑的无钼高性能耐火钢。该钢种在不添加昂贵钼合金的前提下，可在600 ℃高温环境下保持较高结构强度；团队同期还开发出超薄高牌号无取向电工钢，为新能源电机铁芯钢材的量产与出口提供了支撑[6]。浦项制铁(POSCO)是“AI高炉”先行者，利用深度学习算法开发了高炉内部温度场、煤气流分布预测模型，实现了对高炉炉内“黑箱”工况的虚拟推演预判，可有效稳定炉况、优化燃料消耗[7]。浦项制铁打造PosFrame工业互联网底座，建

成世界首座经济论坛灯塔工厂，将AI深度嵌入冶炼-轧制-质量-设备-供应链全链条，兼顾新材料高通量研发与人机协同条件下的产线智能运行，同时积极推进机器人、智能巡检等无人/少人生产场景落地[8]。

印度钢铁智能化在快速追赶过程中建立了后发优势。近年新建的大型钢铁项目普遍采用新一代智能化装备和系统，但中小钢厂数字化水平参差不齐。塔塔钢铁成为新兴市场钢铁智能化发展的代表，在全球范围内拥有3座世界经济论坛“灯塔工厂”，分别为荷兰IJmuiden工厂、印度Kalinganagar工厂和Jamshedpur工厂。塔塔钢铁内部生产系统部署数百个AI模型，适配印度铁矿石成分波动较大的现实条件，优先解决成材率、能耗、非计划停机等生产痛点[9]。受成本约束，印度钢铁行业不盲目追求极致高精尖技术，更侧重成熟技术规模化复制，供应链数字化建设成效突出。印度拥有全球领先的IT服务业，为钢铁智能化发展提供了算法、人才和技术支撑。塔塔咨询（TCS）、印孚瑟斯（Infosys）等印度IT巨头与钢铁企业开展深度合作，开发定制化的智能制造解决方案[10]。

中国钢铁工业智能化转型正在向深度发展。在研发端，材料基因工程、大数据、多机理耦合模型等智能化技术已在科研机构和龙头企业的新产品研发中得到广泛使用并取得良好成效。在生产端，中国是全流程一体化与超大规模智能工厂的主要践行者，钢铁产业智能化转型呈现出“顶层设计强、场景落地快、头部企业引领”的特点。中国钢铁工业协会发布数据显示，中国钢铁行业工业关键工序的数控化率达到70%以上；95.1%的钢铁企业将数字化转型战略纳入企业总体发展规划；82.9%的企业建设智能集控中心，63.4%的企业运用三维可视化仿真系统建设数字化工厂[11]。骨干钢铁企业已基本建成产线级基础自动化、过程控制系统、生产执行系统、制造管理系统自上而下纵向集成的四级体系[12]。宝钢股份上海宝山基地、中信泰富特钢兴澄特钢、首钢股份冷轧公司等3家企业已入选世界经济论坛“灯塔工厂”[13]。AI加速赋能钢铁行业，钢铁垂直大模型持续迭代优化，已在多家大型钢铁企业开展示范应用探索，AI应用场景正从单一车间逐步向多基地、全产业链乃至产业集群延伸拓展。

综上可以看出，当前全球钢铁工业智能化正在向“数据驱动决策”的深水区迈进，主要呈现以下发展态势：一是研发范式变革。在材料基因工程基础上，依托AI技术发展出材料智能设计、高通量仿真和自主实验体系，可大幅缩短钢铁产品研发周期，降低研发成本。二是生产全流程再造。智能化不再局限于某个单一工序，而是打通从原料场、烧结、焦化、高炉、转炉到连铸、热轧、冷轧的全流程数据链路，消除工序间的数据孤岛。三是绿色化牵引。智能化已经成为钢铁行业落实“双碳”目标的核心工具，可通过AI算法优化物料配比与生产工艺，有效降低生产碳排放。

“十五五”是中国钢铁工业智能化从“跟跑并跑”向“领跑”迈进的关键时期，中国应牢牢抓住人工智能技术赋能钢铁工业发展的重大历史机遇，依据中国钢铁工业发展特色，逐步推进人工智能技术在钢铁行业研发、生产和组织模式等全链条应用落地，支撑实现钢铁强国战略目标。

2　“十五五”期间中国钢铁工业智能化发展思路探讨

工业和信息化部联合相关部委发布《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》等政策文件，将智能制造作为推动钢铁行业转型升级的主攻方向。围绕中国钢铁工业的智能化发展，当前主要任务是“AI＋钢铁”技术体系的建立与应用落地。从产品-产线-应用全链条，以及生产力与生产关系的维度梳理，该项任务主要分为以下三个层次。

2.1　AI驱动钢铁产品按需设计技术体系

随着高端制造业的快速升级，市场对具备高强、高韧、耐蚀、抗疲劳等性能的定制化钢铁产品的需求持续攀升，传统的试错式研发模式已无法满足下游应用领域的差异化发展和对材料快速设计制造的要求。中国钢铁行业是材料基因工程布局较早、示范应用较为充分的领域，在智能化研发方面具有良好基础。随着大数据和人工智能技术的发展，以物理冶金机理作为底座，叠加机器学习/主动学习、材料大模型算法等，可逐步构建“需求转化-方案生成-机理校核-试验迭代”的新型研发模式。

产品智能化设计。机理模型是金属材料正向研发、按需逆向设计的理论根基。百余年来，金属材料机理模型历经从简单解析公式到多场耦合数值仿真，再到机理与人工智能融合的混合模型三次演进。AI技术通过搭建“成分（Composition）-工艺（Process）-组织（Structure）-性能（Property）”（CPSP）耦合机理，以终端服役性能指标、成本、生产约束为输入，反向推导最优合金配方与产品生产加工工艺；成分调控影响工艺路径，工艺演化决定晶粒、析出相微

观组织，微观组织决定钢材强度、韧性、耐蚀等性能；性能测试数据反向反馈优化成分与工艺，形成闭环迭代。目前，中国多尺度仿真、相场、热力学计算工具正逐步完善，北京科技大学SteelBERT钢铁专用文本编码器、之江实验室特钢大模型等已可支持面向目标性能的逆向成分-工艺推荐；国家新材料大数据中心也积累了海量钢铁材料与产线数据。当前该领域存在的技术瓶颈主要集中在多尺度模拟的精度损耗、极端工况下预测失效、模型跨钢种通用性差等方面；同时主流商用热力学/动力学基础软件仍依赖国外，面向冶金场景的基础机理大模型原始创新能力仍有待加强。未来随着多物理场耦合算法、原子模拟技术、材料人工智能技术持续迭代，机理-数据融合的预测能力将不断提高，支撑钢铁、高温合金、有色金属等高端材料高效低成本创新开发。例如，南京钢铁股份有限公司、上海大学等单位联合攻关，首创我国特殊钢产品导向智能研发平台AI4P（AI for Product），以“物理冶金约束AI数据大模型”的新范式破解特殊钢高维成分-工艺-组织-性能空间的系统寻优难题，将产品开发周期缩短50%以上，为新能源汽车关键特殊钢的快速迭代提供可落地的平台支撑[13]。

自主实验与自主中试。材料智能设计仅能输出理论最优方案，理论结果与工业现实之间仍存在鸿沟。开展自主实验与自主中试，一方面可用于验证材料机理，获取成分-工艺-组织-性能全链条过程数据，修正计算模型与AI设计模型；另一方面可识别从小试到量产的放大效应，摸索真实可行的工业化工艺窗口，解决“小试成功、放大失效”痛点。通过大模型、人工智能、机器人、大数据、优化算法与实验装置的融合，可实现数据自动处理、实验方案自主决策、实验过程闭环迭代、实验结果自主优化。高通量制备平台可实现多组合金配方并行自动化熔炼、轧制与热处理小试样试制，同步采集全时序工艺数据。数字孪生系统搭建虚实同步的试制镜像，提前仿真预判工艺缺陷、完整留存试样全生命周期数据；结合多模态表征检测完成性能分级筛选、缺陷溯源，通过数据回流形成主动学习闭环。在自主实验基础上构建自主中试系统，是依托AI赋能将钢铁新产品从实验室推向规模化产线的“桥梁”，可为后续批量稳定生产提供技术支撑。钢铁工艺流程长带来的迭代效率低、变量耦合度高、归因难、高通量实验难落地、全流程迭代成本高等问题，是钢铁自主实验和自主中试技术发展过程中必须长期面对的工程难题。当前行业已形成多项技术对冲路径：如通过拆分长流程工艺链路，开展烧结、炼钢、热轧、热处理等分段式局部自主实验，规避全流程迭代周期过长的问题；依托数字孪生与冶金机理仿真技术构建虚拟实验平台，通过海量虚拟实验完成工艺方案初筛，有效降低长流程试错成本；同时，微型模拟冶炼、小型轧制等物理模拟平台的应用，也可快速完成工艺方案验证。总体来看，钢铁领域应构建适配长流程特征的“虚拟仿真预迭代＋分段实体验证＋工业线精准校核”的特色发展模式。

中国早在“十三五”期间就布局国家重点研发计划材料基因工程专项，为钢铁材料智能设计技术发展打下良好基础。目前高通量计算、扩散多元节、高通量热处理等技术快速发展，中国钢研、北京科技大学等单位搭建的高通量实验平台，已在钢铁合金小试样自主闭环试制上取得阶段性成效，国内多个科研团队也正在推进该类实验系统的迭代建设。国内头部钢铁企业已逐步形成“实验室高通量计算试制＋产线数据大模型验证优化”的双轨研发路线，在特钢、硅钢、高强汽车钢等重点品种上打通了智能设计-小试验证-产线适配的完整研发流程。

2.2 数实融合、全域自主的钢铁生产新形态

软硬协同、数实融合正在重塑钢铁生产的技术架构和运营模式。钢铁产线已从传统“机械＋电气”的物理系统升级为“物理＋数字”的智能系统，具备了自我感知、自我分析、自我优化、自我执行的能力。这一趋势的深化，将推动钢铁行业从“经验驱动”进一步转向“数据驱动”，从“规模扩张”转向“智能引领”，实现高质量、绿色化、可持续发展。未来，随着6G、量子计算、通用人工智能等技术的突破，软硬协同、数实融合的深度和广度将进一步拓展，智慧钢铁的全新图景正在加速到来。

钢铁生产装备智能化。钢铁生产装备历经数代技术演进，核心解决目标从“规模化生产”逐步升级为“全域自感知、自学习、自优化、跨工序协同”。在检测、运维、局部控制工位，单机装备已植入“AI大脑”，从单纯的执行机器升级为具备初步认知能力的工位级智能体。未来冶金装备的物理形态与工艺逻辑将进一步与数字空间深度绑定，实现从“经验试错”到“虚实互映、预测未来”的跨越。多设备、控制系统和工艺模型围绕生产计划、质量目标、能耗目标和安全约束协同优化，支撑车间级产线智能化运行。

产线垂直大模型落地应用。传统AI多属于浅层单点模型，仅适用于单一工序、单一任务的简单预测与识别，缺乏物理冶金机理约束，无法表征冶炼、

轧制、热处理多工序间的耦合关系。产线垂直大模型以通用大模型为基座，融合冶金机理、行业知识库与工业现场数据，通过预训练、监督微调、知识蒸馏等手段，打通钢铁全流程工序，推动智能化应用从单一感知预测向全域自主决策拓展。当前钢铁行业智能化核心技术应用场景覆盖智能炼铁与炼钢、全流程质量控制、无人化作业与智慧物流、能源管理与碳管控、设备预测性运维等环节。中国拥有全球规模最大的钢铁产业底座，海量冶炼、轧制、热处理工业数据，CPSP 产线垂直大模型落地规模全球领先。宝武“宝联登”、南钢“元冶”、河钢“威赛博”、中国钢研流程感知大模型等项目先后落地实践，标志着钢铁垂直大模型已从技术试点向多基地规模化示范发展。例如，宝武“宝联登”工业互联网平台关键工序AI覆盖率超85%，构建的炼铁高炉大模型是行业首个全自主高炉智能系统，实现AI炉温预测命中率超90%，支撑炉况稳定、燃料比优化，在千万吨级生产基地可实现年降低成本突破亿元[14]。南钢已开发超300套AI模型，向全国22个行业、2000余家企业输出数字化服务[15]。

全域自主生产体系构建。中国钢铁行业正处于从“单点智能应用”向“全局智能协同”演进的关键阶段。未来钢铁工厂将构建“数字孪生全域镜像＋钢铁垂直大模型集群＋分布式工序智能体矩阵＋工业机器人集群”的完整自主生产体系：一是全工序智能体自主决策。覆盖采矿、焦化、烧结、炼铁、炼钢、连铸、轧钢、物流、能碳管控、安全环保等多工序AI智能体协同交互，完成全流程参数优化、产能调度、风险预警、环保管控，逐步降低人工干预强度。二是虚实孪生实时双向自主调控。数字孪生可实时同步实体工况、自主仿真预判生产波动，提前下发优化指令调整实体设备运行状态；实体产线的异常数据也可实时回传数字空间，驱动AI模型持续迭代优化，形成不间断的虚实自主调控闭环。三是具身机器人＋AI视觉替代高危重复性岗位。高温、粉尘、高风险等岗位优先普及及搭载多模态感知的工业机器人自主完成，全厂仅配置少量算法运维、工艺创新人员。

2.3　智能化、集约化运营的钢铁平台经济联合体

国家出台《钢铁行业产能置换实施办法》，推行“减量-重组-结构升级”三位一体政策，引导钢铁产业开展结构调整。人工智能赋能钢铁产业组织结构优化，除企业间股权兼并重组的传统模式之外，建设跨企业协同的钢铁平台经济联合体是一条值得探索的路径。传统兼并重组是以产权股权为纽带、实施内部层级管控。钢铁平台经济联合体是以大数据和人工智能平台为枢纽，打破企业内部资源边界，推动跨企业的技术协同、数字化能力共享和供应链协同与联合创新。目前宝武多基地协同大模型、南钢“元冶”、河钢“威赛博”等已有多基地模型协同实践。通过云-边-端协同，由若干企业联合组建平台经济体联合体，形成大模型中枢统筹＋企业子模型集群的网络大平台系统，开展跨企业间的产能协作、联合研发、联合采购、协同排产、联合销售等，可推动优势产能的集约化运行管理，规避同质化恶性竞争，促进全行业资源要素优化配置，打造钢铁行业发展新生态。

企业共享的智能化研发/生产平台。利用云平台汇聚的全球钢铁材料标准、牌号数据库资源，支撑联合体内企业建立产品标准体系。通过实验数据有效治理，实现数据资源共享，推动优势企业联合研发。通过标准化智能模型的开发和推广，降低企业智能化改造成本。目前国内典型企业已开展了一些有益探索，例如，河钢集团“威赛博2.0”共享大模型已在唐钢、邯钢、石钢三大基地落地，采用“一次训练、多家钢企轻量化部署”模式，向区域中小钢企输出标准化智能模型，大幅降低中小企业智能化改造成本，推动区域钢铁产业整体自主升级。

动态可控的平台产能监测中心。一方面，依托大模型汇聚联合体内所有钢厂的合规产能、在产线、置换指标，形成联合体产能总库，实现可视化产能监控；另一方面，对接下游基建、新能源、装备制造等行业订单及需求数据，开展需求预测、产能分配、差异化排产，支撑联合体成员企业产品结构优化。

立体高效的工业品线上交易中心。交易中心不应只做“撮合”，而应定位为钢铁企业供应链的数字化操作系统。建立产品价格信息动态数据库、用户采购交易动态数据库，提供行情、成本、风险的分析与决策支持。建立交易匹配引擎，配套在线交易系统和财务系统，利用算法智能匹配买卖双方的供需，主动推送商机。整合采购渠道和销售渠道，提供基于互联网平台的采购、库存、销售、资金、运输、售后一体化服务，节约各环节运营成本。提供便捷、低成本的供应链金融解决方案，推动实现商流、物流、信息流、资金流的高效协同。

未来，中国钢铁行业发展的理想模式是打造若干个航母级的龙头企业和若干个跨区域协同的钢铁平台经济联合体，以大数据、工业互联网、人工智能技术为支撑，推动产能的合理利用，提高资源国际话语权，维护市场正常运行秩序；智能化整合钢铁工序

链、供应链、资源链，形成生产柔性协同、供需全面对接、资源高效利用、效益持续改善的产业生态圈，推动钢铁产业价值链向中高端跃迁。

3 展 望

钢铁工业智能化发展是中国从“钢铁大国”迈向“钢铁强国”的核心抓手，中国具备良好的发展基础、市场潜力巨大。“十五五”期间，钢铁行业将依托大数据、AI大模型、自主实验/中试平台等，构建面向定制化需求的智能化研发新范式，破解高端产品研发投入大、试验验证周期长、产业化落地难等痛点，提升关键战略材料自主保障能力和前沿钢铁材料自主创制能力，推动钢铁产品结构优化升级。以产线垂直大模型为核心，将经验驱动的传统冶金生产转型为“数据＋机理”双驱动的精准制造体系，实现钢铁生产人机深度协同，形成多工序联合优化、虚实双向闭环的全域自主生产体系。依托AI赋能的平台经济联合体优化产能与产业链布局，实现优势产能集约化运营、供需全面对接，重塑产业组织模式，提升全链条运行效率。

总体来看，“十五五”期间，人工智能技术在钢铁产品研发、生产和组织模式等全方位实现应用落地的进程将加速推进，AI赋能推动生产力与生产关系实现双重跃迁，支撑钢铁行业向高端化、智能化、绿色化方向发展，成为支撑战略性新兴产业和未来产业发展的高度智能化的产业标杆。

参考文献：

[1] 中国科学院武汉文献情报中心．美发布新版《材料基因组计划战略规划》[J]．先进制造与新材料动态监测快报，2021(23)：1-3.

[2] JAIN A，ONG S P，HAUTIER G，et al. Commentary：the materials project：a materials genome approach to accelerating materials innovation [J]. APL Materials，2013，1：011002.

[3] World Economic Forum. Global lighthouse network 2025：world economic forum recognizes companies transforming manufacturing through innovation [EB/OL]. (2025-01-14) [2026-09-17]. https://www.weforumasia.cn/press/2025/01/global-lighthouse-network-2025-world-economic-forum-recognizes-companies-transforming-manufacturing-through-innovation/?f_link_type=f_linkinlinenote&flow_extra=eyJkb2NfaWQiOiI2NTAxYTQ0MGNlYWUyNWQzLTY2MjA2MTdiYmRjODk5MzUiLCJpbmxpbmVfZGlzcGxheV9wb3NpdGlvbiI6MCwiZG9jX3Bvc2l0aW9uIjowfQ%3D%3D.

[4] JFE GROUP. JFE 2024 DX REPORT：contributing to society with the world's most innovative technology[R/OL]. 2024. https://www.jfe-holdings.co.jp/en/common/pdf/investor/library/dxreport/2024/all_A4.pdf.

[5] ArcelorMittal Europe. XCarb®：Towards net zero steel [EB/OL].[2026-09-18]. https://europe.arcelormittal.com/sustainability/xcarb/xcarb-introduction.

[6] 浦项科大采用AI开发高性能耐火钢[N/OL]. 世界金属导报．(2025-07-15)[2026-09-18]. http://www.worldmetals.com.cn/viscms/xingyeyaowen3686/268349.jhtml.

[7] POSCO GROUP. Meet the ‘AI Blast Furnace’ of Pohang Works[EB/OL]. (2020-01-20)[2026-09-18]. https://newsroom.posco.com/en/meet-the-ai-blast-furnace-of-pohang-works/.

[8] POSCO GROUP. POSCO the lighthouse factory #2：POSCO’s smart factory transforms the industry (The Cases)[EB/OL]. (2019-08-21)[2026-09-18]. https://newsroom.posco.com/en/posco-the-lighthouse-factory-2/.

[9] 世界经济论坛，麦肯锡公司．全球灯塔网络：重构运营模式，促进企业发展[R]. 日内瓦：世界经济论坛，2021[2026-09-18]. https://www3.weforum.org/docs/WEF_GLN_2021_Reimagining_Operations_for_Growth_CN.pdf.

[10] TATA Consultancy Service. Manufacturers across the globe are facing challenges that threaten to bring them to a halt if timely action is not taken[EB/OL]. [2026-09-18]. https://www.tcs.com/cn-zh/what-we-do/services/iot-digital-engineering/solution/smart-digital-manufacturing-future-factory.

[11] 王悦阳．人工智能＋钢铁“炼”出新动能[N/OL]. 经济参考报，(2025-09-01)[2026-08-22]. https://www.jjckb.cn/20250901/101b5ac9012441ddbbc8196cd7fed337/c.html.

[12] 樊三彩．数字化将在钢铁业发挥更大作用[N]. 中国冶金报，2023-05-09(03).

[13] 刘经纬．受到全国政协新闻发布会关注的“灯塔工厂”，中国钢铁有几家?[N]. 中国冶金报，2025-03-07(02).

[14] 龚雯．孙青．宝钢股份发布智慧高炉 破解行业“黑箱”难题[EB/OL]. 新华网．(2026-04-03)[2026-09-11]. https://www.news.cn/20260403/ba2dbd3f3c6a4a8d98edd6473b3efee9/c.html.

[15] 沈汝发．从“炼钢”到“炼数”，南钢探索传统制造“智变”新路径EB/OL]. 新华网．(2026-06-25)[2026-09-11]. https://www.xinhuanet.com/20260625/0bf0e1eca4b34fc0934fa08cbb02681b/c.html.