

1 头条信息**院士说 | 王国栋院士：生成式 AI+ 钢铁，建设中国式现代化的钢铁行业**

在数字化浪潮的席卷下，钢铁行业正站在转型升级的关键节点。生成式人工智能（以下简称 AIGC 或生成式 AI）作为数字时代的前沿技术，为钢铁行业突破传统发展瓶颈、实现高质量发展带来了新的曙光。本文深入剖析了 AIGC 在钢铁行业的应用现状、技术支撑、实际成效以及未来发展规划，全面呈现了这一技术融合为钢铁行业带来的深刻变革。

1 数字时代的技术背景与 AIGC 崛起

1.1 数字时代的技术驱动与数据爆发

世纪之交，工业互联网、云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术快速发展和应用，正式宣告了数字时代的来临。信息技术推动全球数据指数级增长，数据量越来越大、种类越来越多、速度越来越快、价值越来越高。数据成为全球新一轮产业竞争的制高点，改变国际竞争格局的新变量。数据分析成为数字时代人类认知世界的新模式，大数据 / 机器学习成为数据时代解决不确定性问题最强有力的科学方法。

1.2 AIGC 的定义与发展历程

借助大规模数据集学习生成全新原创内容的人工智能技术，被称为生成式人工智能，即 AIGC (Artificial Intelligence Generated Content)。

AIGC 是基于算法、模型、规则生成文本、图片、声音、视频、模型、代码、软件等内容的技术。该机器学习方法从其数据中学习内容或对象，并运用数据生成全新、完全原创的工作。

人工智能技术的发展并非一帆风顺（图 1）。20 世纪 50 年代，阿兰·图灵提出图灵测试，人工智能开始了短暂的第一波发展，但由于未达成预期及技术资金的限制，到 20 世纪 60—70 年代初陷入第一次低谷，再到 20 世纪 80—90 年代随着计算机硬件进步，以神经网络、模糊逻辑、专家系统为代表的人工智能技术进入复苏与第二波发展阶段。但是好景不长，很快就进入了第二次低谷，从此神经元网络勉强支撑，而模糊逻辑和专家系统几乎退出。直到 20 世纪 90 年代，随着大数据广泛应用、机器学习等新兴技术突破、计算能力显著提升这三个条件逐步具备，以大数据 / 机器学习为特征的 AIGC 才稳步发展。

生成式 AI 是基于大数据 / 机器学习的 AI，所以 AIGC 是数字时代的人工智能。在数字时代，讲人工智能，就一定是 AIGC。

2011 年至今，AIGC 迅速迭代，进入蓬勃发展阶段。2022 年底，ChatGPT 登场，能够完成撰写论文、邮件、脚本、文案、代码、翻译等多种任务。文生视频大模型 SORA 又称为“世界模拟器”，能够在文本的指导下生成视频，模拟物理世界的存在方式，生成包含复杂场景和动作的视频。2024 年，英伟达宣布建

设AI工厂(AI数据中心),运行复杂的AI模型或IT系统。近年随着自动驾驶等技术的发展,具身智能的端到端(E2E)技术、多模态技术异军突起。端到端是一种机器学习和深度学习的设计范式,能够将系统的输入使用神经网络直接映射到输出,中间省略了传统方法中的手工特征提取和复杂的中间处理步骤。多模态可以利用不同感知信息(图像、文本、语音等)协同,帮助人工智能更准确地理解外部世界。

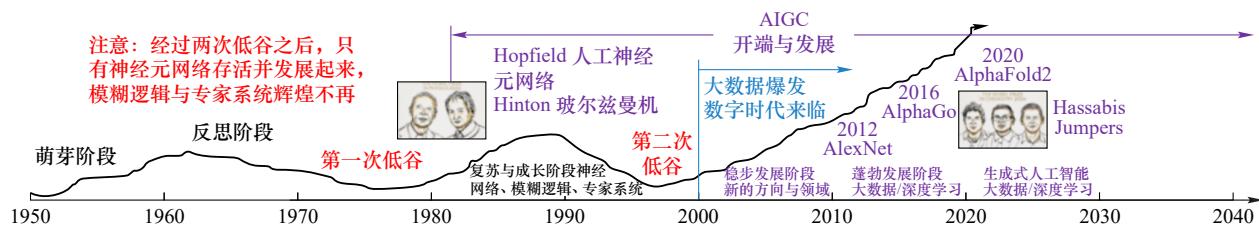


图1 人工智能发展历程

2 AIGC+钢铁的国际动向与我国发展方向

AIGC作为21世纪最前沿的人工智能技术,在应用于自然语言解释大模型方面已经取得举世瞩目的重要成果,但是如何将它与实体经济结合,在工业、农业、医疗、服务等行业应用,推进国民经济各部门快速发展,目前还处于探索阶段。我国作为钢产量占世界钢产量一半以上的钢铁大国,有责任、有必要深度探索AIGC+钢铁,引领钢铁工业快速进入人工智能新时代。

2.1 国际上AI+钢铁的探索

2011年,美国政府公布“材料基因组计划”。该计划旨在指导企业建设材料创新基础设施,加快先进材料的发现和部署,提高材料研发效率并降低成本。它整合政府、企业、高校和科研机构的资源,建立基于大数据/机器学习的企业材料创新基础设施(SEII),通过实验室实验—中试—企业生产线的接续式创新,将材料的开发成本降至原来的一半,新材料的研发效率提高一倍以上。

2016年开始,韩国浦项钢铁公司受AlphaGo启发,利用深度学习分析处理透气性、铁水量等高炉操作五大变量数据,进行高炉运行状态的智能预测与控制,开启了钢铁工业跨入数字时代的新步伐。该项AIGC+钢铁技术能够提前预测可能出现的故障和异常,为操作人员提供预警和调整建议,有效提高了高炉生产效率和稳定性。

日本JFE钢铁公司提出的智能钢厂目标是:建立钢铁主流程数字孪生,实现CPS自学习、自适应、最优自动运行。为此,JFE钢铁公司提出,综合利用物理世界采集的大数据信息,并与专业知识相结合,建立起与实体世界交互映射的虚拟世界,并进一步实现主流程的CPS化和全公司一贯的CPS,实现优化的智能化操作。同时,开发远程的、自动化的钢厂操作和车辆操作。根据JFE钢铁公司的报道,2018/2019财年完成了日本本土8座高炉的数字化转型。随后在2022—2027财年的第7次中期计划中,将CPS系统向炼钢、轧制等领域拓展,但目前尚未见有实施效果的相关报道。

2.2 我国钢铁行业的转型路径

AIGC+钢铁的重要之点,在于坚持科技创新与产业创新深度融合,AIGC的创新必须与产业实体的创新相融合。因此,必须坚持在生产一线,利用实际生产线提供的大数据,通过技术创新实现产业创新,利

用 AIGC 促进产业发生本质性、颠覆性的改变，升级换代，数字化转型，高质量发展。

基于上述基本观点，我国钢铁行业必须以产品生产线为主线，以生产线的大数据为基本资源，围绕安全、质量、效益和低碳发展，主攻全流程边缘“黑箱”，通过 AIGC+ 钢铁，建设全流程一体化的数字孪生平台、信息物理系统和钢铁企业创新基础设施（SEII），形成钢铁行业自学习、自组织、自适应、最优智能控制的机器人钢铁系统 RobotSteel，从而实现数字经济、人工智能与实体经济的深度融合。目前，我国已经率先在一些生产线的各生产单元建立起单元的 CPS 和 SEII，推出生成式 AI+ 单元的样板，推动钢铁行业的各基本单元数字化转型，高质量发展；下一步，将把钢铁行业全流程视为一个整体，实现全流程一体化的 AIGC+ 钢铁、数字换脑、模型换代、登顶 RobotSteel，走中国式现代化的光辉道路。

3 AIGC 在钢铁行业的应用全景

3.1 AIGC 在钢铁行业应用的总体目标：构建 SEII

按照国家发改委的定义，创新基础设施是基于创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，以技术创新为驱动、以信息网络为基础，面向高质量发展，为提高产业核心竞争力而打造的产业升级、融合、创新的基础设施体系。

为了促进我国钢铁行业增强核心竞争力，实现高质量发展，我国钢铁工作者提出了钢铁工业创新基础设施（SEII）的基本结构，如图 2 所示。它包含一网、三大平台和四大功能，为钢铁产业升级、融合、发展提供支撑。其中，5G 工业互联网作为“一网”，为数据的高速传输和实时交互提供了保障，确保生产过程中的数据能够及时准确地传递到各个环节。底层实体设备平台（端）负责采集和传输生产现场的数据，分别输送到边缘（边）或云上（云）。位于边缘的数字孪生核心平台（边）与端部构成信息物理系统，接收端部采集的数据进行大数据 / 机器学习分析，构建数字孪生模型，利用数字孪生模型进行决策，并将决策信息反馈回端部的执行机构，为系统赋能。资源配置与管理云平台（云）接收来自底层端部的信息，利用大数据 / 机器学习实现对生产资源的优化配置和管理。SEII 具有四大功能，即绿色化转型、数字化转型、高质化发展、强链化运行，从多个维度推动钢铁企业的可持续发展。

因此，SEII 必须从系统架构、数据、算法、算力等方面发力，并综合应用端到端具身智能、智能体、多模态等前沿智能技术，建立中国特色的自主软件和控制系统。

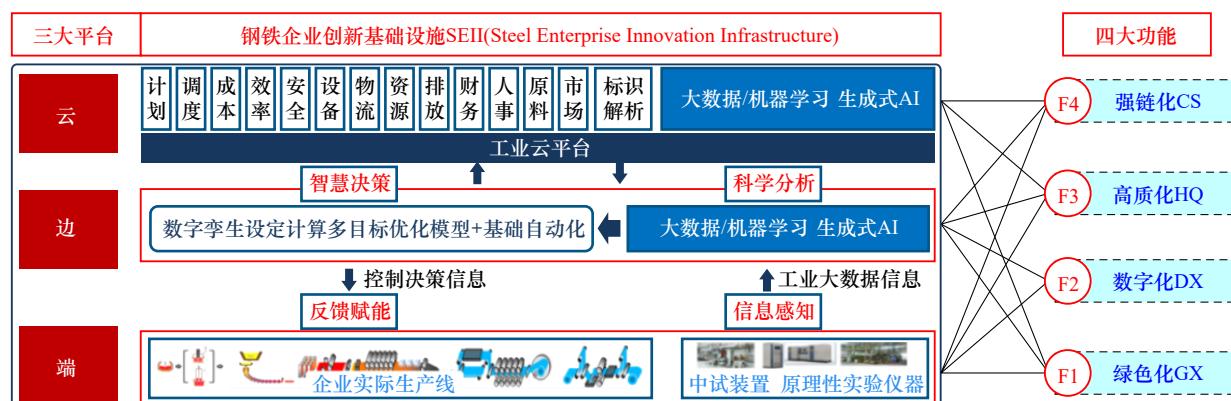


图 2 钢铁企业创新基础设施（SEII）的结构和功能

AIGC 生成的数字孪生平台解决钢铁生产全流程一体化的“黑箱”问题，通过机器学习和深度学习等 IT 技术对材料成分、生产工艺等操作数据的分析与实测结果的分析，实现对钢铁生产过程的精准数字孪生建模和对最终控制结果的高保真预测。

3.2 数据

在数据采集阶段，采用多种先进的传感器和测量设备获取生产线数据，确保数据的准确性、完整性、实时性、保真度。

ETL 数据治理是实现数据抽取（Extract）、转换（Transform）、装载（Load）的过程，是构建大数据平台的重要环节，目的是将钢铁企业中分散、零乱、标准不统一的数据整合到一起，准确无误地加以利用，从而为企业的决策分析提供依据。国外有专业的科技公司，从事各个不同行业的数据治理，例如，IBM、DOT DATA 等。国内高校和企业协同，将专业知识与信息技术融合，已经针对各生产环节的数据特点，开发了钢铁企业数据计算机治理的软件和专业芯片。

3.3 模型

在实际应用中，数据驱动的工控型控制模型系统可以根据生产过程中的实时数据，自动调整生产参数，优化生产过程。AIGC 生成的数据驱动工控型控制模型系统如图 3 所示。系统的右侧部分，基于企业数据池数据，结合统计学、机器学习、数据可视化和领域知识，通过监督式机器学习，构建边缘“黑箱”系统的数字孪生模型。根据即时的操作数据，可以利用这些孪生模型进行优化决策，并反馈指令实现对底层生产线的高保真控制。而图中位于云中的无监督机器学习模型，为生产计划调度、设备运维、能源物流排放管理等提供操作指导，对资源进行配置和管理，准确满足生产过程的需要，支持生产过程顺利优化运行。图中左侧位于云中的语言解释大模型具备自然语言解释功能，可以对企业的创新发展、人力资源管理、上游资源配置管理和下游市场销售进行大数据分析，对企业发展战略、科学管理、未来发展目标提供咨询和建议。

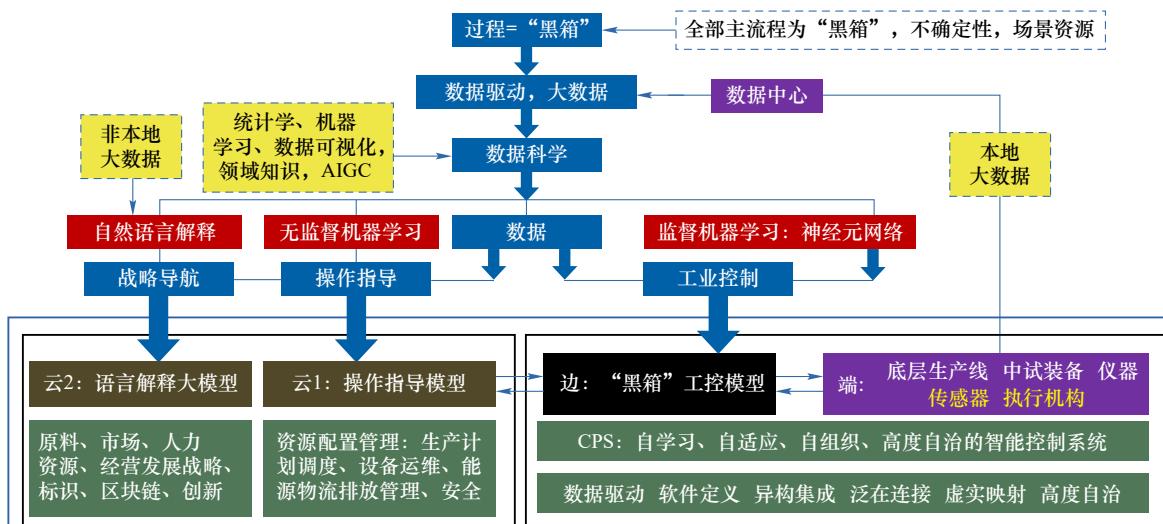


图 3 钢铁行业工控型模型系

3.4 算力

表 1 为 GPT 大模型与钢铁工控型模型的比较。由表 1 可见, 钢铁工控型模型目标是企业的工业实时控制, 与语言解释大模型有不同的要求和侧重点。与 GPT 大模型使用无限范围数据的“大海捞针”法不同, 钢铁企业利用生成式 AI 解决某一企业具体问题的工控型模型, 是使用企业数据池中的个性化数据, 进行“瓮中捉鳖”式的预测和控制, 所以涉及的数据量很小。这种工控型模型可以称为小模型, 甚至超小模型。因此, 钢铁企业的工控型模型对算力需求非常有限。针对钢铁行业的工业控制, 使用本企业数据池中的数据最合适、最恰当、最有效, 传统工业时代硬件系统的算力即可满足要求。但是, 这种工控型系统, 需要极短的时延和极高的保真度, 小模型有利于实现这种控制要求。

应当注意的是, 使用图像、视频等多模态进行材料组织性能协同综合性预测时, 大算力将是必需的。

表 1 GPT 大模型与钢铁工控型模型的比较

模型	场 景	算 法	算力	数 据	精度	时延
GPT 大模型	文本、图像、视频的生成	语言解释深度推理复杂	大算力	无限范围的数据(大海捞针)	相似性	无要求
工控模型	工业实时控制	工业控制简单、快速有效	普通算力	有限范围的数据, 企业数据池中的个性化数据(瓮中捉鳖)	保真度	短时延

3.5 算法

钢铁工业是流程工业。钢铁工业的原料, 即铁矿石和煤炭及其他辅料, 在一系列“黑箱”过程中, 通过冶炼和加工过程对系统赋能, 使其表面和内部均发生极其复杂的物理与化学变化, 最终成为各种各样的钢铁工业产品。

“端到端”(End-to-End, E2E)是一种将 OT 与 IT 结合起来、用 IT 助力 OT 优化的机器学习和深度学习的设计范式。

操作端的数据是人工操作时采用的操作数据, 输出端是系统控制参量值。当操作数据改变时, 输出端的被控参量就会相应地发生变化。对于某一个特定的系统, 操作端输入数据与输出端的输出数据有固定的映射关系。这种映射关系可以利用神经元网络等机器学习方法确定。有了这种映射关系, 就可以预测一组特定输入操作参数对应的输出, 但是并不涉及系统内部各个物理量的相互关系和变化。

端到端学习优势在于, 它用大数据 / 机器学习方法对系统进行整体训练, 将输入的操作量直接映射到输出, 避开对过程内部复杂的物质、能量变化和信息流动的求解, 生成高保真度的输出侧预测结果。通过数据自动学习特征, 避免了手工特征提取带来的局限性, 并减少复杂性, 简化了模型设计。E2E 算法已经成功应用到全部钢铁“黑箱”过程, 表明这种标准化的学习方法是可以信赖的, 特别适于应用到材料研究“黑箱”过程的全局求解。

3.6 系统架构

钢铁工业是典型的流程工业。钢铁工业的原料, 即铁矿石和煤炭及其他辅料, 在一系列内部状态无法

感知的“黑箱”中，控制冶炼和加工过程中极其复杂的物理与化学变化，以获得需要的材料质量和生产效率。

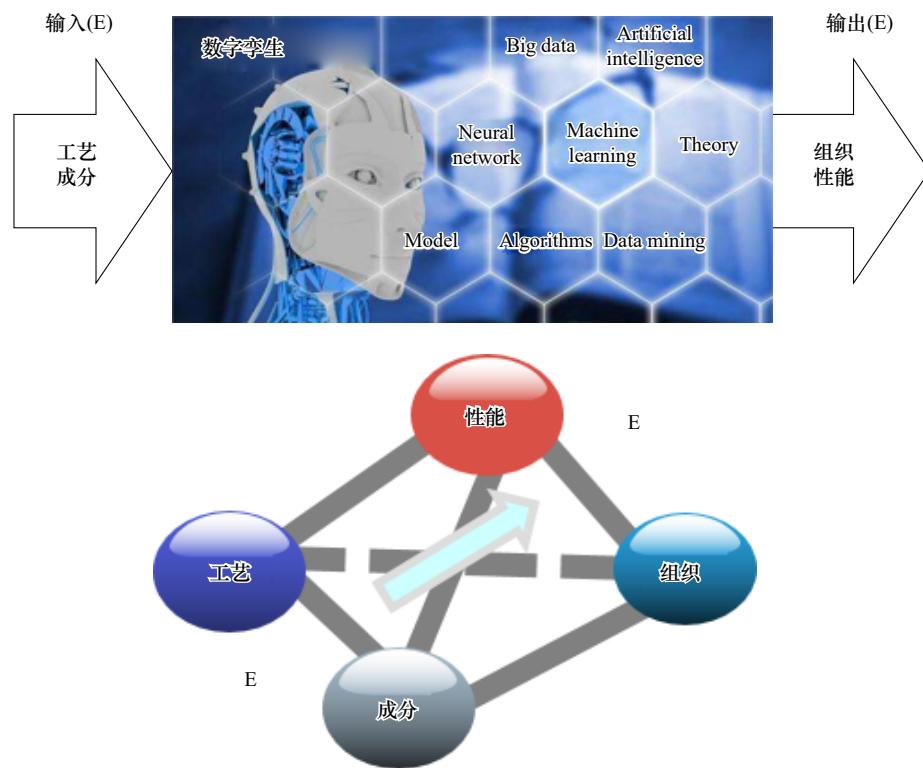


图4 端到端解法示意图

我国已经建立了完整的钢铁工业生产体系，普遍具备了工业时代最先进的装备、硬件配置、企业环境，可以生产各行各业需要的各种钢材品种。但是，引进的工业时代的多层控制系统架构复杂，层层堆积，数据几经变换，管理难度很大。其核心模型，即边缘的设定计算部分，我们称之为钢铁“大脑”，却是理论和经验驱动的。大脑平滑、四肢发达，系统复杂、缺芯少魂。因此，工业时代的钢铁“大脑”必须进行改造。

时至今日，人类社会进入了工业时代，钢铁行业控制系统的架构也必须从工业时代多层架构向数字时代深度扁平化双层架构转变。云边端一体化的深度扁平化架构，继承多层架构的硬件体系，降低了硬件投资。但是通过软件简化了系统结构，提升了实时性和响应性，系统具有更加良好的性能。在这种架构下，感知/执行层与边缘数据/ML层实时交互，实现反馈赋能，构成自学习、自适应、自组织、高度自治的信息物理系统，推动钢铁生产向智能化迈进。这种数据/ML感知/执行双层架构作为数字时代计算机系统架构的重大进展，实现了从理论经验驱动多级控制架构向数据驱动软件定义的边-端双层控制架构的转型，通过5G工业互联网，有效收集和处理数据，优化模型，调试系统，为钢铁生产的智能化控制提供了坚实的技术支撑。

双层IT架构简化系统结构，降低硬件投资；感知/执行层与边缘数据/ML层实时交互，反馈赋能，构成自学习、自适应、自组织、高度自治的世界最高级智能控制系统——信息物理系统CPS。CPS数据驱动，软件通用化，数据个性化。大幅减少软件开发成本，易于系统推广应用。个性化的数据治理采用计算机完

成, 大幅度缩短开发时间, 降低成本。原有硬件留用, 降低转型成本、提高转型效率、快速实现数字化转型, 便于成果推广应用。基于数据驱动的 IT 架构, 可以通过离线开发调试—在线操作指导—在线运行三步, 安全、稳妥地实现数字化转型。

所以, 5G 工业互联网下超级智能的 CPS 过程控制为数字化转型、智能化发展、网络化运行带来重大的新优势。双层架构, 数据驱动, 软件定义, 三步上线, 推动实现高质量、低成本、高效率、零风险的数字化转型。

在热轧环节, 利用端到端的分析方法, 建立热轧过程输入操作变量与输出变量之间的映射关系, 可以建立输入操作变量与钢材微观组织演变的影响规律。通过映射关系的优化, 给出优化的反馈赋能工艺动态控制, 及时调整轧制操作工艺参数, 如温度制度、轧制速度、负荷分配等, 使 Ti 微合金高强钢性能波动降低 50% 以上, 明显提高了产品质量。

3.7 AIGC 的前沿技术

进入新世纪以来, 多模态、具身智能、智能体等企业 AIGC 技术为各行各业的发展提供了大量的应用场景和发展机会。钢铁工业首当其冲, 将这些新型人工智能技术应用于钢铁行业, 解决了一批长期困扰的重大关键问题。

3.7.1 多模态

多模态。利用不同感知信息(图像、文本、语音等)协同, 帮助人工智能更准确地理解外部世界。例如, 针对热轧组织性能尚不能进行实时检测的现实困难, 目前采用多模态技术, 协同应用实测力学性能和组织金相照片两种模态进行材料组织和性能的预测, 可以大幅度提高预测精度。这样的情况下, 外形尺、材料组织性能、表面氧化铁皮演变 3 重模型构成的大系统全局求解才成为可能。

3.7.2 具身智能

具身智能(Embodied Artificial Intelligence, EAI)是一种基于物理实体进行感知和行动的智能系统。它通过智能体与环境的交互来获取信息、理解问题、做出决策并执行行动, 从而展现出智能行为和适应性。传统的人工智能通常依赖于抽象的符号计算, 而具身智能更强调通过物理身体的感知、运动以及与外部环境的交互来实现认知。

中厚板生产中转钢功能需要操作人员频繁手动操作, 难以实现系统的精准协调控制, 成为久治不愈而遗留下来的“牛皮癣”问题。近年, 开发了具身智能克隆算法的自动转钢技术, 通过在转钢设备上安装传感器, 实时采集转钢过程中的数据, 如钢坯位置、转动角度、移动速度等。然后, 利用具身智能克隆算法对这些数据进行分析和学习, 模拟操作人员的转钢动作和决策过程, 实现自动转钢的精准控制。以转钢时间为约束条件, 学习操作人员的转钢经验, 实现了每块钢转钢时间减少 1 秒的优化控制, 有效解决了手动转钢难以实现快速精准协调控制的问题, 提高了生产效率和质量。

除了自动转钢之外, 中厚板生产中, 侧弯控制、翘扣头控制等也在采用具身智能技术, 进行自动化系统的补课。

3.7.3 多智能体

组织性能预测智能体、温度设定智能体、板形控制智能体等多种智能体在钢铁生产过程中发挥着关键

作用。它们通过对生产数据的实时分析处理和协调互动，实现对生产过程的精准控制和优化，提升产品质量和生产效率。例如，组织性能预测智能体可以根据钢材的化学成分、生产工艺等数据，预测产品的组织性能，为后续的工艺调整提供依据；温度设定智能体可以根据生产要求和实时温度数据，自动调整加热和冷却条件，改变温度的设定值，确保钢材在合适的温度制度下进行加工；板形控制智能体可以通过综合考虑轧辊的弹性变形、热变形、磨损的各种轧辊凸度、辊型影响因素，对轧机板形调整机构、负荷分配等进行调整，控制钢材的板形，提高产品的平整度。多智能体技术的应用，为钢材的各种复杂智能化操作的协调、配合提供了强有力的手段。

3.8 工业软件

过去，工业软件是我们的短板，钢铁行业的控制系统软件基本上是引进发达国家的工业时代的产品。由于钢铁行业的 AIGC+ 钢铁主要是对原有系统的改造，所以通信软件、网络管理软件等可以利用原有的系统，但是过程控制部分要进行软件更新。重点的软件包括：

- 数据治理软件，包括数据的 ETL 治理
- 端到端学习软件，包括时间序列分析
- 多目标优化决策软件
- 边缘数据库与云上数据库软件
- 云上资源配置与管理无监督学习软件，针对生产计划编制、设备运维、物流管理、能源优化管理、排放管理等
- PLC 系统软件
- 与数据驱动软件适配的机理模型软件（因果关系）等

软件编程语言可以根据原系统的配置情况适当选用。软件系统的架构可以采用微服务架构或整体式架构。

4 2025—2035 年钢铁行业 AI 发展规划

4.1 发展目标与战略举措

AI+ 钢铁致力于全方位提升钢铁行业的竞争力，目标是提高产品质量、改进工艺技术、形成创新生态。

① 提高产品质量。借助 AI 技术严格把控和优化生产流程中的各项操作参数，减少产品缺陷，提高成材率，同时加速新产品的开发进程，满足市场对高品质钢铁产品的需求。

② 改进工艺技术。通过 AI 优化生产流程，提升生产效率与产量，降低能源消耗和生产成本，并且利用智能监测系统有效防止事故发生。

③ 形成创新生态。注重提高劳动生产率，促进技能传承和人才培养，营造安全的生产环境，提升整体操作水平，同时加快钢铁企业数字人才培训，推动关键标准的研制与推广，构建数字化转型开源生态，深化工业互联网安全管理。

为实现这些目标，需要多管齐下采取战略举措：

① 夯实数字底座是基础。通过组织企业建设钢铁企业新型全流程一体化信息基础设施，扩大工业感知网络覆盖范围，提升工业数据采集的全面性和准确性。聚焦数字化转型、智能化发展以及工控型生成式 AI 模型系统等重点环节，增强源头技术供给，加大对人工智能与工业控制融合技术的研发投入，提高自主创

新能力和技术、产品的竞争力。

② 强化应用牵引是关键。充分利用钢铁行业丰富的数据资源和多样化的应用场景优势，推动智改数转、数字换脑和模型换代。让钢铁行业工控型生成式 AI 模型系统在企业产线落地生根，制定明确的项目目标，大力推进示范线建设，树立行业标杆。建立科学合理的评价标准和考核评价规范，从产品质量提升、生产效率提高、成本降低等多个维度对 AI 应用效果进行评测，推动数字化、智能化技术全方位、深层次赋能钢铁行业新型工业化。

③ 加强技术服务是保障。通过产学研深度融合、联合组队等方式，整合高校、科研机构和企业的优势资源，推动装备、软件、网络等成组连线创新突破，为钢铁企业提供系统解决方案。加强政产学研用协同创新，特别注重企业数字化创新队伍的培育、建立和培训，打造一支既懂钢铁生产又熟悉 AI 技术的复合型人才队伍。积极开展技术交流推广工作，促进钢铁企业之间的经验分享和技术合作，加速 AI 技术在钢铁行业的推广应用。

④ 营造良好生态是支撑。加快钢铁企业数字人才培训，根据不同岗位需求制定针对性的培训课程，提升员工的数字素养和 AI 应用能力。大力研制推广关键标准，涵盖技术标准、数据治理标准、软件编制标准等，为钢铁行业 AI 应用提供规范和指导。建设数字化转型开源生态，鼓励企业和开发者共享技术成果和创新经验，促进技术的快速迭代和应用拓展。深化工业互联网安全管理，加强网络安全技术研发和防护体系建设，保障钢铁企业数据安全和生产运营安全。

4.2 实施规划

4.2.1 2025—2026 年全流程一体化样板线建设阶段

此阶段重点打造 10 条以上铁—钢—铸—轧全流程一体化 AI+ 钢铁样板生产线。在选择建设对象时，充分考虑不同企业的规模、产品类型和技术基础，确保样板线具有广泛的代表性和示范价值。例如，选取大型钢铁联合企业的生产线，展示 AI 技术在大规模、复杂生产流程中的应用效果；选择特色钢铁产品生产企业生产线，突出 AI 技术对特定产品质量提升和工艺优化的作用。

在建设过程中，集中优势资源攻克技术难题，实现 AI 技术与钢铁生产全流程的深度融合。从原料采购的智能决策、高炉炼铁的精准控制、炼钢过程的优化调度，到连铸连轧的质量监控和成品检验的智能化，每个环节都融入 AI 技术，打造高效、智能、绿色的生产模式。同时，制定 AI+ 钢铁的标准体系，包括工序 AI+ 钢铁软件和芯片标准，规范软件和芯片的功能、性能、接口等技术要求，确保其在不同生产线的通用性和兼容性；建立全流程 AI+ 钢铁验收评测指标体系及方法，从生产效率、产品质量、能源消耗、环境影响等多个维度对样板线进行量化评估，为后续推广提供科学依据。

4.2.2 2027—2030 年全流程一体化生产线大面积推广阶段

在样板线成功经验的基础上，计划完成 30 条以上全流程一体化 AI+ 钢铁生产线的建设。在推广过程中，根据不同地区和企业的实际情况，进行个性化的技术适配和优化。对于技术基础较弱的企业，提供全方位的技术支持和培训服务，帮助其快速掌握和应用 AI 技术；对于具有一定数字化基础的企业，引导其在现有基础上进行升级和拓展，实现更高水平的智能化生产。

在局部地区建成区域政府部门的企业创新基础设施管理系统，对企业创新基础设施进行统一管理和监

督, 整合区域内的技术、人才、数据等资源, 实现资源共享和协同创新。通过该系统, 政府部门可以实时掌握企业AI+钢铁项目的进展情况, 及时发现问题并提供政策支持和指导, 推动AI+钢铁技术在更大范围内的应用和普及。

4.2.3 2031—2035年全流程一体化生产线全行业推广阶段

全面完成钢铁行业的AI+钢铁转型, 在重要产钢地区建成区域政府部门管理企业AI+钢铁和创新基础设施管理系统, 形成国家钢铁企业创新基础设施系统。通过该系统, 实现对全国钢铁企业的智能化生产进行宏观管理和调控, 优化产业布局, 提高资源配置效率。

钢铁行业基本完成AI+钢铁转型, 实现高质量发展。在产品质量方面, 达到国际先进水平, 满足高端制造业对钢铁材料的严格要求; 在工艺技术方面, 实现生产流程的智能化、绿色化和高效化, 大幅降低能源消耗和环境污染; 在创新能力方面, 形成完善的创新生态体系, 使企业具备强大的自主创新能力, 市场竞争力。同时, 建成钢铁行业管理控制优化模型系统, 通过政产学研用深度融合, 加速AI+钢铁赋能, 推动钢铁行业在新型工业化道路上持续前行。

4.3 标准制定

① 标准制定的关键内容。2025—2026年是标准制定的关键时期, 明确钢铁工业AI+钢铁的发展目标至关重要。除了持续关注关键工序数控化率、生产设备数字化率、3D岗位机器换人率等传统设备和装备水平指标外, 更加注重“黑箱”系统解决方案应用普及率的考核, 特别是CPS系统的应用率。CPS系统作为实现钢铁生产智能化的核心技术, 其应用率的高低直接反映了企业智能化转型的程度。

② 加强AI+钢铁在生产过程中对产品质量、生产效率、生产成本、环境效应等方面贡献率的考核。制定量化的考核指标。例如, 规定AI技术应用后产品质量缺陷率降低的具体比例、生产效率提高的幅度、生产成本降低的额度以及污染物排放减少的数量等, 充分发挥AI技术促进实体经济高质量发展的作用。

③ 制定钢铁行业各工艺环节和全流程AI+钢铁的技术标准。以标准规范AI技术在原料处理、炼铁、炼钢、轧钢等各个工艺环节的应用要求和技术参数。制定数据治理标准, 确保钢铁企业数据的准确性、完整性、一致性和安全性, 为AI模型训练提供高质量的数据支持。制定软件编制标准, 统一钢铁行业AI相关软件的开发规范和接口标准, 提高软件的通用性和可扩展性, 指导企业的AI+钢铁转型工作有序开展和普及。

4.4 验收评测指标和方法

① 建立验收评测指标体系及方法。建立全面、科学的验收评测体系是确保AI+钢铁项目质量的重要手段, 该体系包括全线指标和生产单元指标。

② 全线指标。全线指标涵盖多个方面, 主流程信息物理系统化率反映了钢铁生产全流程中信息物理系统的覆盖程度和融合深度。系统的数据驱动率体现了AI模型对生产决策的支持程度, 数据驱动率越高, 说明生产过程越依赖数据和AI技术进行优化。数据治理计算机化率衡量了数据治理过程中计算机自动化处理的程度, 反映了数据治理的效率和质量。机器学习模型标准化率确保不同生产线使用的机器学习模型具有统一的标准和规范, 便于模型的评估、比较和优化。信息采集实时化率保证生产过程中的数据能够及时、准确地采集, 为实时控制和决策提供依据。资源配置与管理的数据驱动率反映了企业在资源配置和管理方面对数据的利用程度, 通过数据分析实现资源的优化配置, 提高生产效率和经济效益。此外, 还包括

全流程最终产品质量指标、全流程生产效率、全流程生产成本、全流程能耗、全流程排放等综合性指标，从多个维度全面评估 AI+ 钢铁项目对钢铁生产全流程的影响。

③ 生产单元指标。生产单元指标则聚焦于各个生产单元的具体表现。例如，单元生产质量提高比例，即通过与国内外先进指标进行对比，直观反映 AI 技术在提升产品质量方面的效果。单元生产效率提高比例体现了 AI 技术对生产速度和产能的提升作用。单元生产成本降低比例展示了 AI 技术在节约成本方面的贡献。单元能耗降低比例和单元排放降低比例反映了 AI 技术在节能减排、实现绿色生产方面的成效。同时，关注生产稳定性提高的比例，衡量 AI 技术对生产过程稳定性的增强效果，减少生产波动和故障，提高生产的可靠性。

④ 生产现场指标。在生产现场指标方面，重点评估提高劳动生产率情况。通过自动化和智能化设备的应用，减少人工干预，提高生产效率。技能传承和人才培养情况反映了 AI+ 钢铁项目对企业人才队伍建设的影响，促进知识和技能的传承，培养适应智能化生产的新型人才。安全水平的提升体现了 AI 技术在安全监测、预警和风险控制方面的作用，保障生产过程的安全。操作水平提高情况展示了 AI 技术对操作人员工作效率和操作准确性的提升，使操作人员能够更好地应对复杂的生产环境和任务。

通过对这些指标的全面评估，推动 AI+ 活动对钢铁行业的驱动力，以利于集中力量攻克生成式 AI+ 钢铁的难关，特别是主流程边缘系列“黑箱”问题，实现数字换脑、模型换代，确保 AI+ 钢铁项目取得实际成效，推动钢铁行业高质量发展。

4.5 行业示范样板线建设规划

钢铁行业样板线规划

2025—2026 年，针对板材、带材、型材、管材等不同产品类型，精心规划了多条全流程一体化 AI+ 钢铁转型样板线。

这些样板线将在利用 AIGC 加强技术应用、生产管理、质量控制等方面发挥示范引领作用，为 AIGC 赋能钢铁行业等原材料行业提供实践经验和参考范例。

5 结语

在数字时代的浪潮中，生成式 AI 的蓬勃发展为钢铁行业带来了前所未有的机遇与挑战。钢铁行业拥有丰富的数据资源和全流程一体化的“黑箱”应用场景，这是其实现转型升级的重要基础。通过将实体经济与数字经济、数字技术深度融合，大力建设钢铁企业创新基础设施，积极推进人工智能与工业控制的协同发展，充分发挥数字孪生模型、多模态、具身智能、E2E 等新兴 AIGC 技术的强大效能，钢铁行业有望实现高质量、低成本、高效率、零风险的数字化转型。

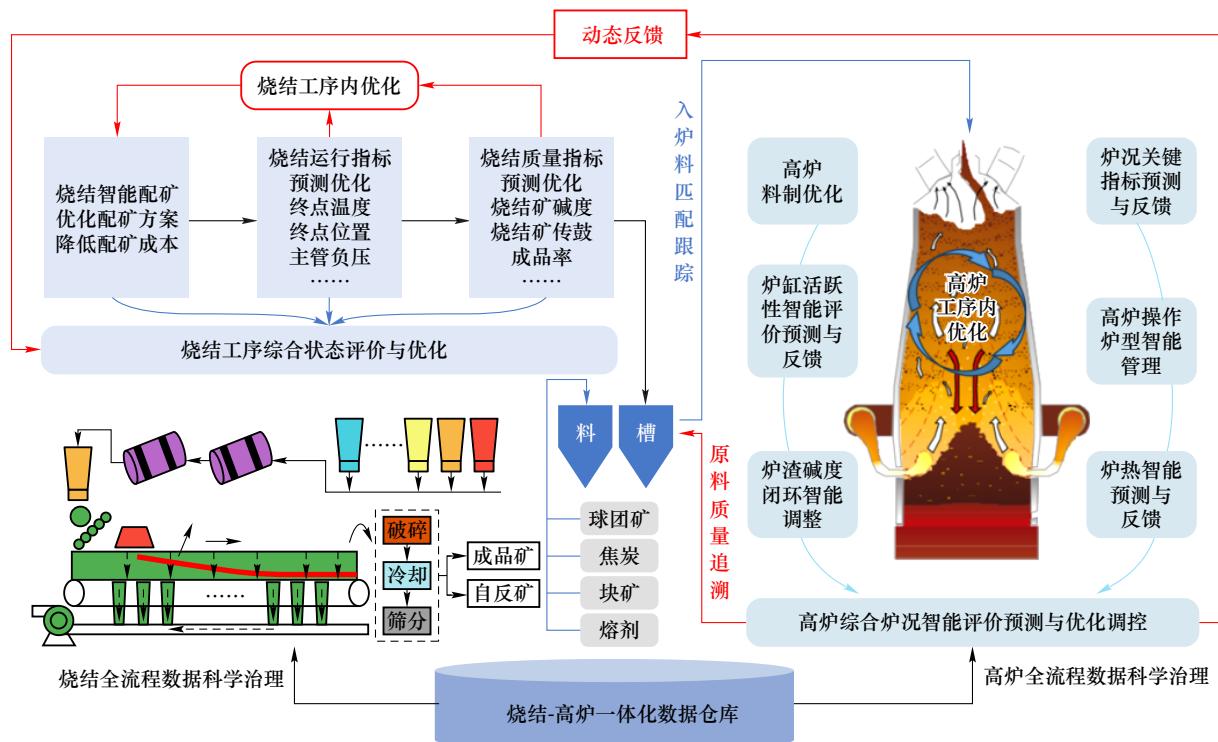
2025—2035 年，通过分阶段实施、标准制定、验收评测和样板线示范等一系列有力举措，钢铁行业将逐步构建起全流程、一体化的数字化体系。这不仅有助于打造新质生产力，推动钢铁行业实现绿色化、高质化、强链化发展，还将使其在新型工业化道路上稳步迈进，为我国经济社会的可持续发展提供坚实的产业支撑。在未来的发展进程中，钢铁行业需持续关注技术创新，加强人才培养，不断优化产业生态，以应对不断变化的市场环境和技术挑战，在数字化转型、智能化发展的道路上不断探索前行，实现钢铁产业的全面振兴与升级，建成领先世界的中国式现代化钢铁工业集群。

重磅! 世界钢铁工业十大技术要闻, 东大2项入选!

日前, 由《世界金属导报》组织评选的世界钢铁工业十大技术要闻揭晓, 东北大学2项关键技术成功入选, 成为推动钢铁行业转型升级的关键力量。有哪些研究成果? 一起来看!

4070 m³ 智慧高炉引领低碳智能化炼铁新模式

在低碳智能化炼铁领域, 东北大学与梅山钢铁紧密合作, 取得了令人瞩目的成果。自2023年9月双方签署产学研合作协议并揭牌“低碳数字化钢铁协同创新中心”后, 东北大学钢铁共性技术协同创新中心充分发挥专业优势, 2023年11月至2024年6月, 在梅钢领导的大力支持下, 双方组成产学研高度紧密协作的创新团队, 运用“通用模型+个性数据”的创新理念, 成功研发出智慧高炉系统, 并顺利应用于梅钢4070 m³高炉。

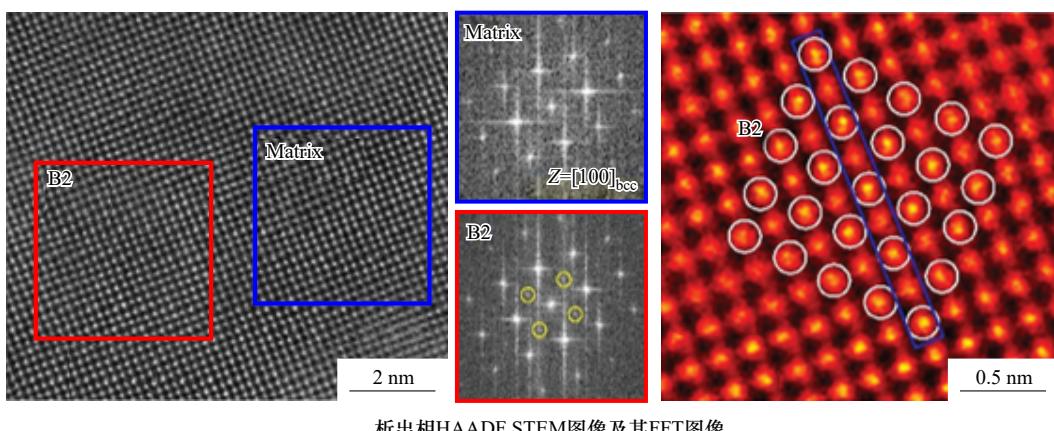


这一系统在精准数据的有力支撑下, 构建了涵盖“原燃料—操作—状态—渣铁”全链条的数据治理方案以及智能诊断高炉智慧模型。通过该模型, 高炉炉况参数发展趋势能够提前1~3 h被精准预测, 为及时调整生产策略提供了关键依据; 面对原燃料质量变化, 配料方案可提前6 h进行优化调整, 有效保障了生产的稳定性。同时, 多维度提取炉况信息实现了科学的综合炉况智能评估与实时诊断, 为高炉稳定顺行筑牢了坚实保障。此项目不仅显著提升了梅钢高炉操作的稳定性, 还助力实现了碳排放降低5%、吨铁降本30元的重要目标, 有力推动了炼铁全流程低碳生产新模式的形成, 为钢铁行业智能化与低碳化转型提供了极具价值的示范样本, 引领了行业发展的新方向。

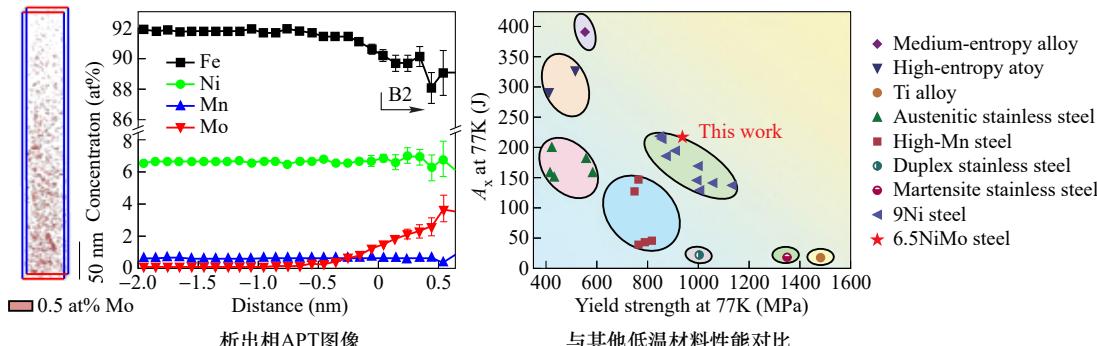
新型 Mo 微合金化节镍钢首次用于大型 LNG 船用储罐

在高性能清洁能源用钢研发方面, 随着能源工程向超大型化发展, LNG 船用储罐对钢材性能提出了极为严苛的要求, 既要具备高强度, 又要在 -196 °C 的极低温环境下拥有出色的冲击韧性。

东北大学与湘钢、南钢等企业携手共进, 成功攻克技术难关, 开发出一种含 Ni 量为 5.5%~6.5%、Mo 微合金化的新型节镍型低温钢成分体系及制造工艺, 首次在基体中获得高密度的新型富钼 B2 纳米共格析出相, 这一突破使钢材在 -196 °C 极寒环境下兼具高强度与高韧性, 超越传统材料性能局限, 使新型节镍钢性能与传统 9Ni 钢相媲美。



析出相HAADF STEM图像及其FFT图像



析出相APT图像

与其他低温材料性能对比



LNG船用储罐

基于此, 湘钢生产的 6~50 mm 厚的 Mo 微合金化 5.5Ni 钢成功出口海外, 替代 9Ni 钢应用于 LNG 储

罐建造；南钢、湘钢等企业在国际上率先采用 Mo 微合金化 7Ni 钢替代 9Ni 钢制造 7.89 万立方米的 LNG 船用储罐，且新产品相比 9Ni 钢每吨可降低成本 2000~3000 元，同时焊接工艺绿色高效、焊接接头安全性显著提升。

这一技术突破为钢铁材料在极低温环境下的强韧化开辟了新路径，对高性能清洁能源用钢的开发与应用产生了巨大的推动作用，在全球能源运输与储存安全保障方面具有重要的战略意义。

东北大学在 2024 年世界钢铁工业技术创新进程中的突出成就，是其长期深耕钢铁科研领域、坚持产学研协同创新的有力见证。学校不仅为钢铁企业输送了大量前沿技术成果，加速科技成果产业化进程，还培育了大批专业精英人才，充实行业人才库，为钢铁行业可持续发展注入持久动力。展望未来，东北大学必将秉持创新驱动发展理念，持续深化钢铁技术研发，助力全球钢铁产业在高质量、可持续发展轨道上破浪前行，书写钢铁科技辉煌新篇。

赋能钢铁工业革新，引领技术奋进新征程，东大人锐意进取，砥砺前行，为科技强国建设不懈奋斗！

2 DSL 要闻

推动“AI+ 钢铁”深度融合 钢铁流程 AI 应用创新中心暨智能化联合实验室在鞍钢股份成立

2 月 28 日，钢铁流程 AI 应用创新中心暨智能化联合实验室在鞍钢股份成立。鞍钢股份、鞍钢数科、东北大学、中控技术共同签署合作协议，旨在贯彻落实国家关于推动制造业数字化转型、绿色低碳发展的战略部署，充分发挥各自在钢铁制造、数字化技术、科研创新及工业智能化领域的优势资源，共同推进钢铁行业智能化转型和高质量发展。

鞍山钢铁 / 鞍钢股份党委副书记、总经理张红军，中控技术创始人褚健出席会议并致辞。鞍山钢铁 / 鞍钢股份党委常委、鞍钢股份副总经理张华出席会议。全国人大代表、东北大学副校长、中国工程院院士唐立新，鞍钢数科董事长蔡恒君出席会议并讲话。

会上，王国栋以《生成式 AI 助力钢铁行业转型升级》为题，解析生成式 AI 在工艺优化、新材料研发



等领域的潜力，提出“以数据驱动创新”的实践路径。褚健在《AI 发展加速流程工业智能化》报告中，分享了中控技术在工业智能控制、数字孪生等领域的成功案例，强调“AI+ 工业知识”的协同创新模式。



会后，四家代表共同签署战略合作协议，并为“钢铁流程 AI 应用创新中心”和“钢铁流程智能化联合实验室”揭牌。

张红军在致辞中指出，习近平总书记在辽宁及鞍钢集团本钢考察时强调，制造业要坚持高端化、智能化、绿色化方向，鞍钢股份始终秉持“创新驱动发展”理念，积极拥抱新技术、新趋势，致力于推动钢铁行业智能化、数字化转型。在全球数字化转型的大潮中，钢铁产业面临着前所未有的机遇与挑战，此

次与东北大学、中控技术强强联合，是鞍钢股份在 AI 领域迈出的重要一步，也是共同探索钢铁行业智能化转型的新起点，希望以此为契机，共同聚焦“AI+ 钢铁全流程”，推动装备升级、生产优化、低碳减排等领域技术突破，攻克“卡脖子”难题，提升自动化、工业软件等关键环节的国产化比例，构建“数智生态圈”，加强 AI 算力设施建设、生成式模型开发、智能化解决方案推广，为钢铁行业转型升级提供更多智力支撑。同时，鞍钢股份将发挥全流程产业场景优势，为 AI 技术研发、应用验证提供真实、丰富的实践平台。

让液化天然气储罐材料更绿色更安全！东大团队又出新成果！

2023 年，中国 LNG（液化天然气）的进口量达 7132 万吨，约 984 亿立方米，同比增长 12.6%，成为全球最大的液化天然气进口国。随着全球对清洁能源需求的不断增长，LNG 作为重要的清洁能源之一，其储运和安全问题日益凸显。

然而，液化天然气运输与储存设备等关键设施，需要在 -196 °C 的超低温环境中工作。随着能源工程的超大型 LNG 储罐容积高达 27 万立方米，为保证其安全运行，钢材不仅需要具有高强度，同时还需要在 -196 °C 的极低温条件下具有优异的冲击韧性。

当前，在超低温下同时实现钢材的高强度与高韧性，十分困难。低温铁素体或马氏体钢，通常通过添加质量分数高达 9% 的镍（9Ni 钢）来实现这种性能。镍既能通过提高淬透性来实现高强度，还可以通过改善位错运动来提高超低温韧性。

但由于镍的成本较高，开发镍含量较低、同时性能与 9Ni 钢性能相当的新型低温钢，一直是低温钢科研的前沿领域。在过去数十年的研究中，钢铁科研工作者一直无法突破镍含量降低带来的低温条件下强度和韧性同时下降的技术瓶颈。

面对这一挑战，东北大学数字钢铁全国重点实验室刘振宇教授团队携手南钢、湘钢等知名企业，共同

研发出了一种新型钼微合金化节镍钢, 即 6.5NiMo 钢。该技术突破了低温能源用钢中强度、韧性难以兼顾的瓶颈, 使新型节镍钢性能比肩传统 9Ni 钢, 产品结构大大优化, 为高性能绿色清洁能源用钢的开发和应用提供了重要保障。该技术入选《世界金属导报》评选的 2024 年度世界钢铁工业十大技术要闻。



技术突破：钼微合金化与纳米析出相的创新结合

为破解镍合金钢成本较高、LNG 储罐强度和韧性难以兼顾的难题, 东北大学数字钢铁全国重点实验室(原轧制技术及连轧自动化国家重点实验室)刘振宇教授团队在“十三五”重点研发计划等多项国家和企业重大项目的支持下, 汇聚了计算模拟、加工成形、组织表征、性能评价、应用技术等全国 18 家高校、企业和研究院所的多学科人才, 形成了一支名副其实的“产学研检用”协同创新团队, 开启了集成攻关的旅程。

时间的刻度是奋斗者的足迹, 压力和困难是拼搏者的“试金石”。团队成员心往一处想、劲往一处使, 充分发挥各学科优势, 围绕超低温低成本容器用钢的基础理论及关键技术开展了系统研究。研发团队通过深入研究、上百次的反复试验, 用了近 10 年时间成功开发出了一种含 Ni 量为 5.5%~6.5% 的新型节镍型

低温钢成分体系及制造工艺。在母材中, 研发团队首次获得了密度高达 $(2.15\sim2.60) \times 10^24/m^3$ 、平均尺寸仅为 1.73~1.81 nm 的富钼纳米 B2 共格析出相。“这一创新的关键, 在于细小、超高密度、具有强韧化效果的纳米析出物的成分设计策略与精准调控。”刘振宇教授表示。

在钢铁研发的过程中, 如何调控析出物是一项巨大的挑战。最初, 团队对如何从元素周期表中筛选合适元素及如何优化工艺进行了艰苦的探索。加强基础研究和关键核心技术攻关, 团队发挥自身优势和特色, 通过计算模拟、理论推导与



刘振宇教授团队在实验室开展科研工作

实验摸索相结合的方式, 辅以人工智能技术, 为问题的解决提供了新的思路和方法。

在技术攻关的过程中, 析出表征依然是核心难题。尤其是面对纳米级析出物时, 由于其磁性特征, 透射电子显微镜几乎无法有效表征, 犹如大海捞针一般困难。

然而, 团队成员不畏艰难, 勇往直前: “面对困难, 我们要再试试, 坚持到底。”刘振宇教授不时勉励团队成员。正是这种精神, 推动团队不断努力, 最终通过与国内外顶尖团队合作, 经过长期的摸索和试验, 掌握了析出物表征的关键技术, 成功突破了技术瓶颈。

通过不断创新与实践, 团队打破了传统认知, 大胆创新找到了析出物调控与强韧化机制的新路径。这不仅是技术上的突破, 更是科学精神的彰显, 让团队成员收获了前所未有的成长与喜悦。

富钼纳米 B2 共格析出相，是一种在金属材料中通过特定工艺形成的微观结构。“这种析出相中钼元素的含量较高，B2 是一种晶体结构具有特定的原子排列方式，这种析出相与基体材料之间具有一致的晶格取向，能够增强析出相与基体之间的结合力，提高材料的整体性能。”团队技术骨干张维娜介绍说。

这种析出相，如同钢材中的“强化剂”，能够在极低温环境下保持钢材的高强度和高韧性，为清洁能源极低温用钢铁材料的组织设计提供了新思路。“通过优化析出相的成分、尺寸和分布，我们可以提升钢铁材料的综合性能，使其在不增加 Ni 含量的前提下，达到了与传统 9Ni 钢相当甚至更优的性能水平。满足特定应用场景的需求。”团队青年教师唐帅表示。

在实现了钢材本身的性能提升外，团队研发的新型节镍钢的焊接工艺也得到了显著的优化，解决了传统的高 Ni 合金钢容易引发磁偏吹等焊接难题。

与传统的高锰钢相比，新型节镍钢的焊接过程更加绿色高效，且焊接接头的安全性也得到了显著提升。这一改进，不仅降低了焊接过程中的能耗和污染排放，还提高了焊接接头的强度和韧性，为 LNG 储罐的整体性能提供了有力保障。

从实验室到大型储罐的成功跨越

技术的突破，需要企业生产一线的检验。基于刘振宇教授团队的合金设计和纳米析出相控制策略，湘钢迅速响应，成功生产出了 6~50 mm 厚的钼微合金化 5.5Ni 钢。

“这批钢材不仅满足了国内市场的需求，还成功出口‘一带一路’倡议国家，替代了传统的 9Ni 钢，用于建造 LNG 储罐。这一应用实践，不仅验证了新型钢材的优异性能，更为其在全球范围内推广奠定了坚实的基础。”湘钢专家张计谋表示。

与此同时，南钢、湘钢等企业也紧跟步伐，在国际上首次采用钼微合金化 7Ni 钢替代 9Ni 钢，成功制造了 7.89 万立方米的 LNG 船用储罐。这一创新应用与 9Ni 钢相比，新产品可降低成本 2000~3000 元 / 吨，更提升了储罐的安全性和稳定性，为液化天然气等清洁能源的运输与储存提供了更加可靠的选择。

“新型钼微合金化节镍钢的成功研发与应用，不仅解决了传统钢材在极低温环境下的性能瓶颈问题，还为高性能清洁能源用钢的开发和应用提供了重要保障，为提升液化天然气等清洁能源的运输与储存安全性提供了有力支持，更为清洁能源产业的繁荣注入了新的活力。”

这一技术的推广和应用，还将有助于降低清洁能源的生产成本，提高能源利用效率，为全球能源转型和可持续发展贡献力量。

“我们会以习近平总书记重要回信精神为指引，牢记习近平总书记的殷殷嘱托，不断推出高水平科研成果，赋能钢铁智能制造，把为国奉献作为最高追求。”刘振宇教授表示，面对未来钢铁能源领域的挑战和机遇，团队将继续秉承创新精神，不断探索和优化钢材的成分体系及制造工艺，通过持续的技术创新推动产业升级，积极寻求与国内外知名企业的合作与交流，让原始创新与产业创新同频共振，推动清洁能源用钢材料领域实现更大的突破，推动钢铁行业新质生产力的发展，为全球清洁能源产业贡献科技力量。

牢记嘱托，感恩奋进，创新求索，砥砺前行。着眼国家战略需求，坚持科技报国，东大始终与国家发展和民族复兴同频共振、同向同行！

东北大学徐伟团队《Acta Materialia》等多篇文章： 晶体塑性指导深度学习方法

东北大学数字钢铁全国重点实验室（原轧制技术及连轧自动化国家重点实验室）徐伟教授团队近期在 *Acta Materialia* 发表题为 “Fitting-free mechanical response prediction in dual-phase steels by crystal plasticity theory guided deep learning” (<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2025.120936>) 的研究成果，文章第一作者为博士研究生韩思宇，通信作者为王晨充副教授；另在 *Scripta Materialia* 发表题为 “Harmonizing physical and deep learning modeling : A computationally efficient and interpretable approach for property prediction” (<https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2024.116350>) 的研究成果，文章第一作者为博士研究生任达，共同通信作者为王晨充副教授和魏晓蓼博士后。

在金属材料“成分 / 工艺—组织—性能”关系的建模策略中，物理建模与人工智能建模分别以强可解释性和高计算效率的优势而著称。然而，在确保可解释性的同时，高效且准确地预测金属材料的力学性能仍然是一项重大挑战。例如，晶体塑性建模作为模拟复杂微观组织、揭示材料加工硬化及塑性变形机制的强大工具，虽具有强可解释性，但其模型构建和校准过程计算复杂，导致计算效率较低。相比之下，深度学习模型在训练后可实现快速性能预测，具备高计算效率，但普遍缺乏可解释性。当前主流的晶体塑性和深度学习建模方法体现了物理模型与人工智能模型间的“可解释性—计算效率”冲突。因此，如何平衡二者的优劣势，突破这一建模瓶颈，对于推动金属材料领域的研究至关重要。

针对加工硬化行为、塑性等力学性能正向预测的长期挑战，东北大学徐伟教授团队与南京工业大学赖庆全教授合作提出了晶体塑性指导深度学习的新方法（CNN-DP）。该方法旨在突破传统晶体塑性建模计算复杂、参数敏感性强的局限，实现双相钢在不同成分和工艺条件下力学行为的精准预测，整体建模流程如图 1 所示。首先，通过实验和晶体塑性理论构建双相钢多模态数据集，包括完整的成分、工艺、性能，并引入不同应变条件下的局部应力分布图。接着，通过点乘方式深度耦合不同模态信息，使成分、工艺和局部应力分布数据在物理约束下相互融合。这种多模态数据处理策略有效挖掘了各类信息之间的内在联系，并增强了模型的泛化能力。最终，融合后的特征矩阵被输入卷积神经网络 CNN 模型，确保在保持物理可解释性的同时，实现双相钢应力 – 应变曲线、加工硬化行为及颈缩起始点的高精度预测。CNN-DP 模型在双相钢力学性能预测中具有良好的准确性，平均预测精度达 96.6%，误差为 68.6 MPa。同时，模型对原始数据库以外不同成分、工艺双相钢力学性能也可实现准确预测（图 2），具有良好的扩展性和普适性。此外，还深入探讨了晶体塑性本构方程对 CNN-DP 模型预测精度的影响，验证了其在不同条件下的稳健性。本研究通过晶体塑性指导深度学习，不仅有效克服了传统晶体塑性模型因参数敏感性导致的泛化能力受限问题，还显著提升了建模效率，为钢铁材料的力学性能预测提供了一种新思路。

针对于力学性能预测的反向机制解析需求，徐伟教授团队进一步结合晶体塑性建模和多模态深度学习策略，提出了兼具强可解释性和高计算效率的双相钢性能预测方法（DL-CP）。该方法通过 U-Net 架构引入晶体塑性模拟的应力 – 应变分布信息并作为预测力学性能的中间环节，从而在多模态深度学习框架下嵌

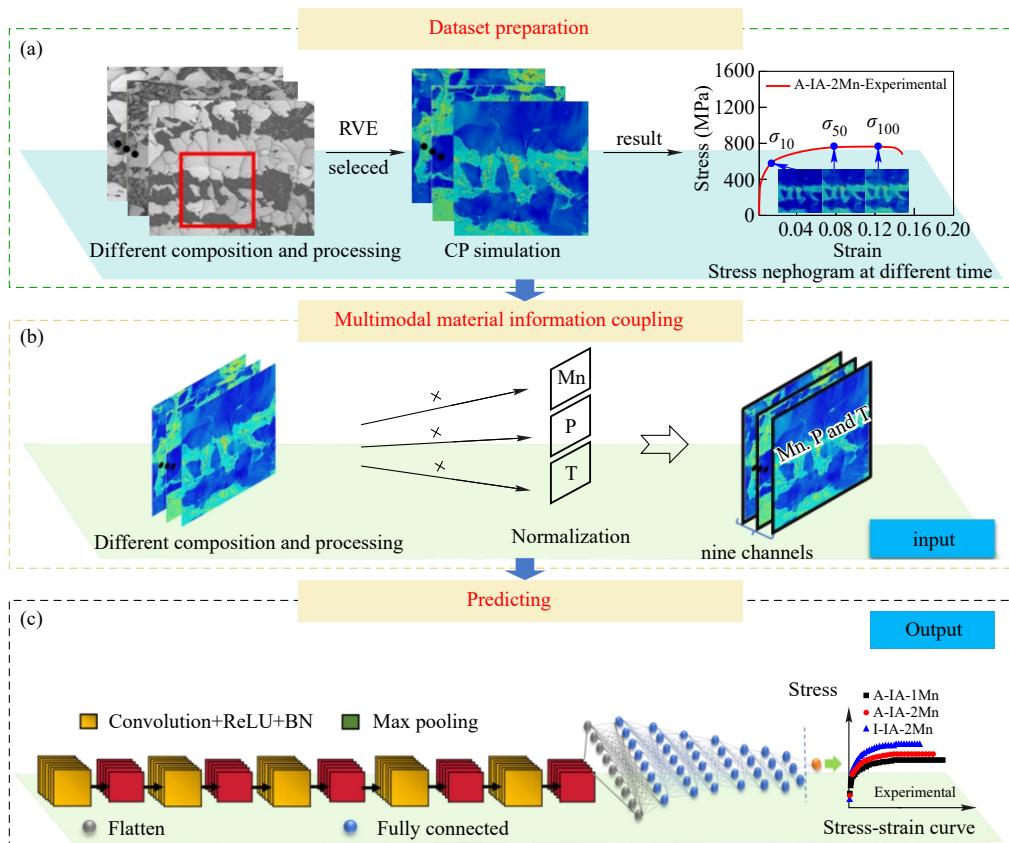


图 1 CNN-DP 工作框架

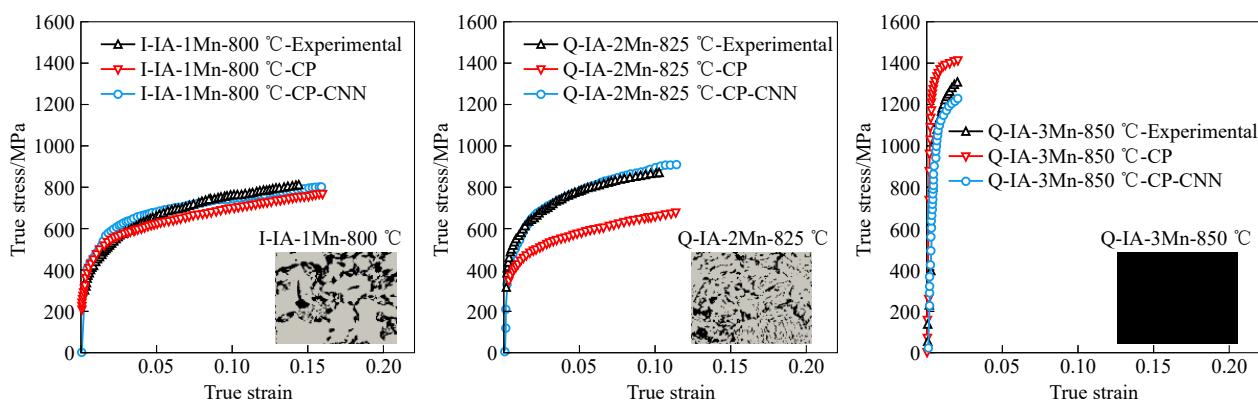


图 2 不同样本下的域外验证

人物理机理，实现应力 – 应变分布和拉伸性能的双输出预测，工作框架如图 3 所示。首先，对成分和显微组织图像进行点乘操作，生成多模态融合矩阵；随后将融合矩阵输入至 DL-CP 框架中，该框架包含两个关键模块：初始模块利用 U-Net 架构对 DP 钢的应力和应变分布进行精准预测；后续模块利用池化层和全连接层对 U-Net 输出的应力 – 应变分布数据进行综合分析，从而预测 DP 钢的拉伸性能。DL-CP 框架实现了不同组织形貌下双相钢力学性能的准确预测，平均预测准确率超过 96%，且对域外样本具有良好泛化能力。此外，模型可实现应力 – 应变分布（图 4）的精准复现，符合晶体塑性模拟获得的机理知识。值得强调的是，基于 Grad-CAM 的可视化结果表明，晶体塑性引入使得该框架可精准识别显微组织图像中的应

力-应变集中, 从而显著提高了可解释性及预测能力, 实现了变形机制的反向精准解析。另外, 在高模量钢体系性能预测中的扩展应用进一步证明了该框架在其他金属材料体系应用中的良好普适性、可移植性。

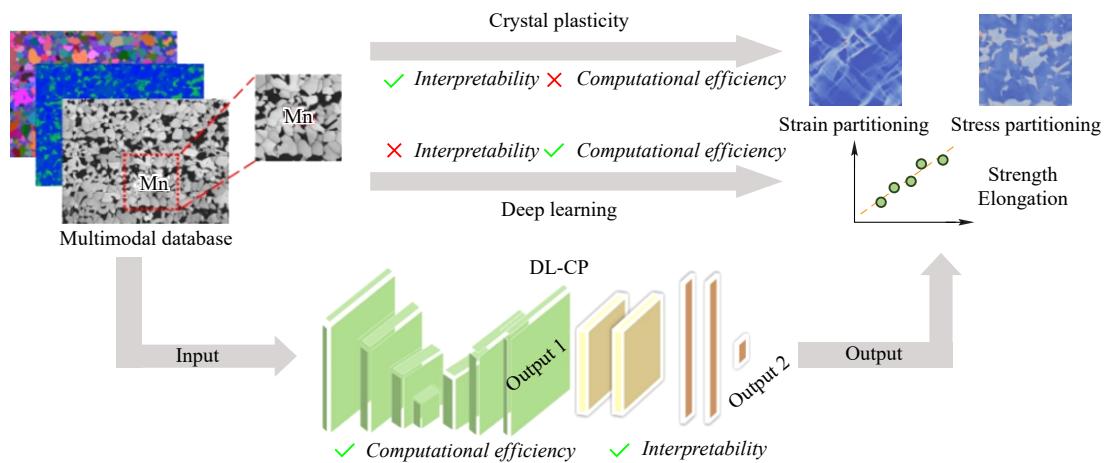


图3 DL-CP 模型工作框架

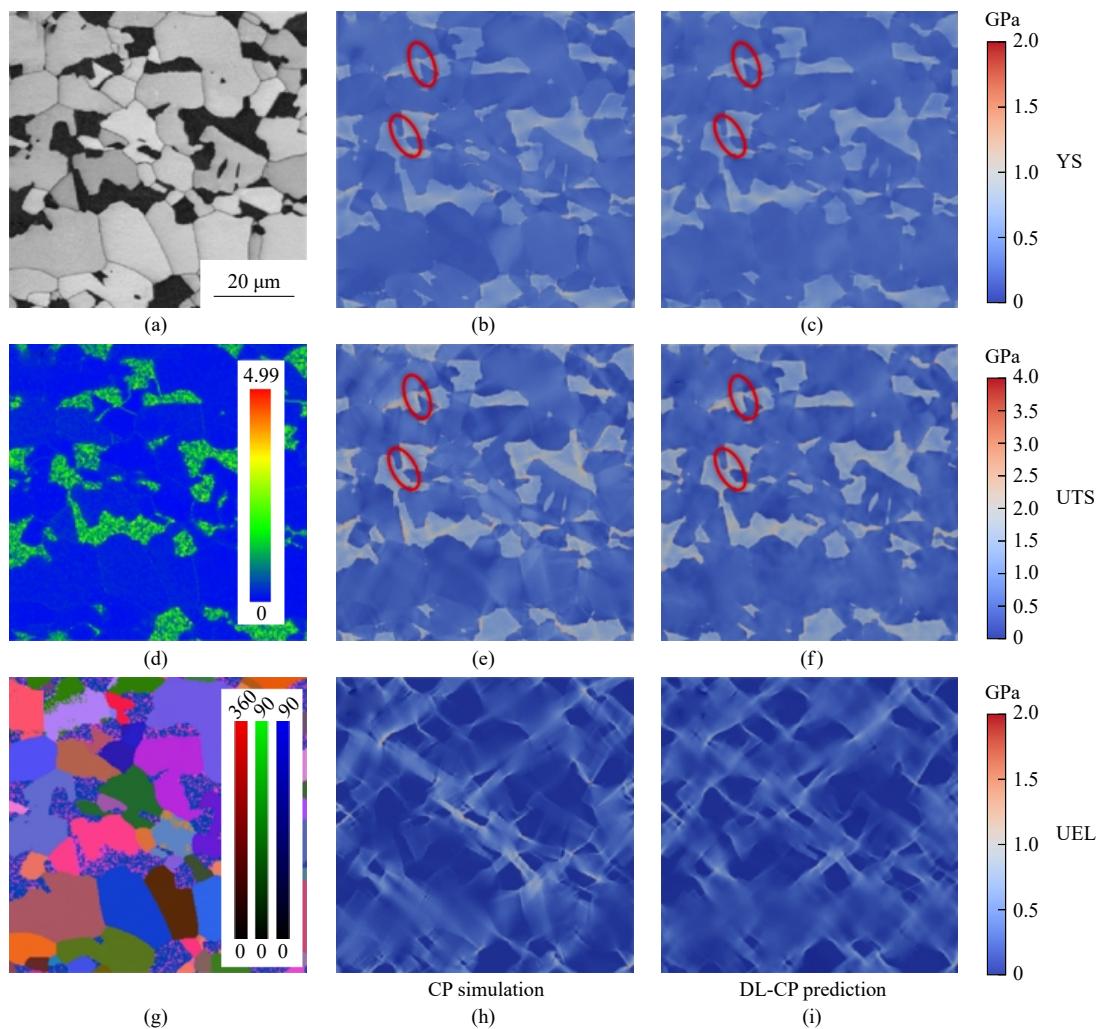


图4 应力应变配分预测结果

综上，晶体塑性指导的深度学习策略为钢铁材料“成分 / 工艺—显微组织—性能”全链条关系的高效可解释建模提供了切实有效的方法，为材料的研发与优化提供有力的理论支持与技术手段，同时具有广泛的应用前景，有望推广到其他材料体系中。

鞍钢数科携手东北大学共探智慧炼钢新方向

近日，鞍钢集团大数据中心举办了一场聚焦“转炉全流程智慧炼钢”的深度交流会。东北大学钢铁共性技术协同创新中心刘书超教授应邀出席，并作《数据驱动的转炉全流程智慧炼钢系统》专题报告。鞍钢旗下各大基地炼钢厂及鞍钢数科子公司通过线上线下联动方式积极参与，鞍钢集团首席信息官、鞍钢集团数智科技有限公司党委书记、董事长蔡恒君全程参会，并对该研究成果给予高度评价：“这项成果精准破解了炼钢工艺‘最后一公里’的难题，为鞍钢的转炉智能化升级指明了方向。”

报告中，刘书超教授系统展示了其团队研发的转炉全流程智慧炼钢系统。该系统深度融合工业数据与人工智能技术，集成烟气分析、音频化渣、火焰监测等 20 余项智能化模块，涵盖智能吹炼控制、合金优化投加、溅渣护炉引导等核心环节。通过动态调控氧枪参数、实时优化合金配比、精准预测碳温命中率，系统实现了从“经验依赖”到“数据驱动”的跨越式升级。

蔡恒君董事长指出：“这套系统不仅突破了传统转炉生产工艺标准化、操作标准化等管理瓶颈，更通过端到端的机器学习方法、转炉数字孪生、参数过程防错预警等先进技术，将复杂工艺转化为可视化、可量化的决策依据。”

校企协同：从实验室到生产线的无缝衔接

作为鞍钢数智化转型的核心合作伙伴，刘书超教授团队与鞍钢数科共建了“需求牵引 + 技术赋能”的创新机制。蔡恒君董事长强调：“鞍钢提供真实的工业场景与海量数据，东大智慧炼钢团队则以实验室成果反哺生产实践，这种双向赋能模式堪称校企合作的典范。”

刘书超教授特别感谢鞍钢数科公司及广大科技人员的支持：“此前双方在鲅鱼圈基地已有成功合作，未来我们将继续协同现场工艺人员优化系统，将其打造为钢铁行业智能化转型的标杆。”

成果斐然：从辽宁走向全国的转型样板

自 2022 年 12 月在鞍钢落地以来，该系统已在全国 10 余家钢铁企业推广应用。在河钢、梅钢等炼钢厂应用后，碳温命中率提升 10%、补吹率降低 50%、吨钢综合制造成本下降 4~15 元，年创效益超千万元，部分案例获评冶金行业数字化转型典型案例。

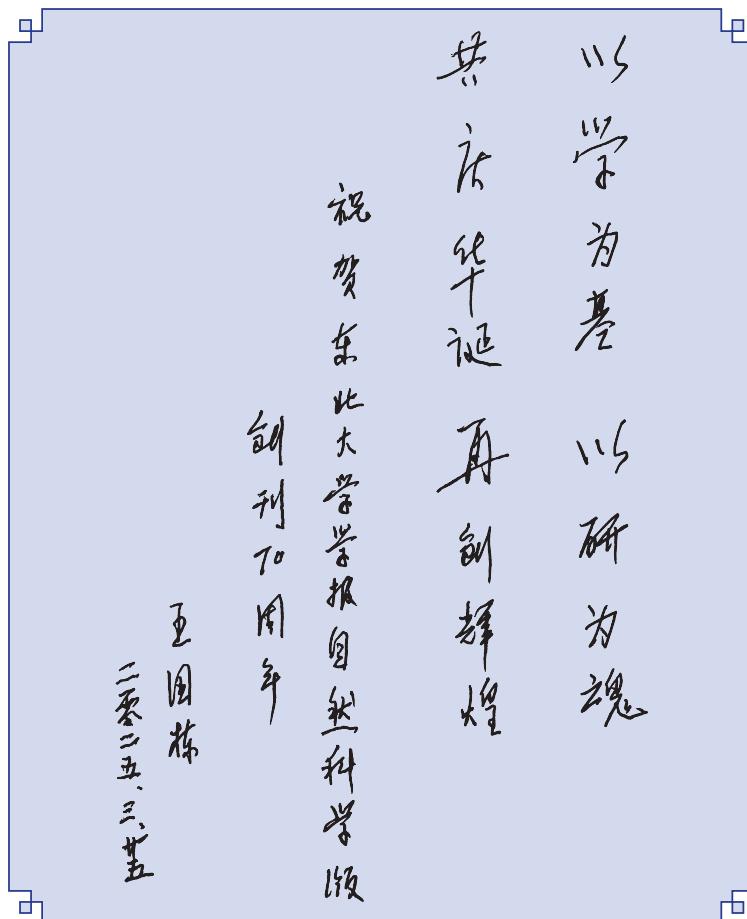
蔡恒君董事长总结道：“鞍钢数科与东北大学的合作不仅是技术攻坚，更是人才培养的摇篮。未来，我们将持续深化产教融合，推动更多创新成果在鞍钢落地生根，为‘数字鞍钢’建设注入更强动力。”

东北大学学报编辑部拜访东北大学学报（自然科学版）编委王国栋院士

2025年3月24日上午，东北大学学报编辑部主任钱丽丽带领学报（自然科学版）编辑团队，拜访了自然科学版编委、中国工程院院士王国栋，并就学报（自然科学版）专题专刊组织、青年编委会建设等听取院士意见。

王国栋院士聚焦钢铁行业“绿色化、高质化、数字化、强链化”发展，废钢资源战略，智能制造数字化转型路径等前沿方向，为学报（自然科学版）的选题策划提供了前瞻性指导。王国栋院士在谈话中对学报（自然科学版）寄予厚望，强调学术期刊应坚持“四个面向”，成为“产学研用”协同创新的桥梁，推动学科交叉和产学研融通创新。

王国栋院士表示，将大力支持学报与数字钢铁全国重点实验室合作，围绕学术前沿问题共同策划专刊专题，并寄语学报（自然科学版）建刊70周年：“以学为基、以研为魂、共庆华诞、再创辉煌”，鼓励学报编辑部立足建刊70周年历史节点，鼎新强刊，争创一流。



3 合作交流**东北大学钢铁共性技术协同创新中心与宝钢股份技术交流会举行**

3月20日，东北大学钢铁共性技术协同创新中心与宝钢股份技术交流会在数字钢铁全国重点实验室举行。宝钢股份党委常委、副总经理吴军，中国工程院院士、钢铁共性技术协同创新中心主任王国栋等领导专家出席交流会。



王国栋院士在致辞中对宝钢股份在数字化转型方面取得的显著成就表示赞赏。他指出，宝钢近年来在数字化领域开展了大量创新性工作，对宝钢发展起到了重要的作用。王院士强调，东北大学与宝钢股份有着深厚的合作基础，期待通过此次交流，双方能够在技术创新和产业应用方面达成更多实质性合作，共同推动钢铁行业高质量发展。

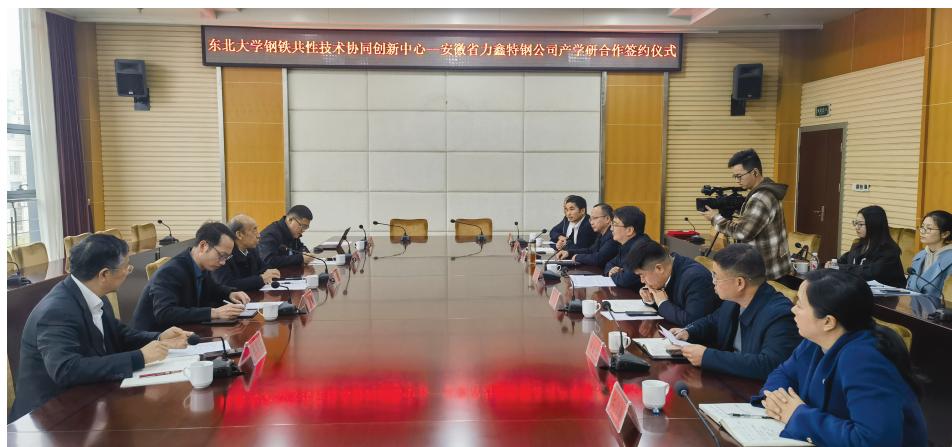
吴军副总经理回顾了双方的合作历程，表示自2019年签署全面战略协议以来，校企合作不断深化，取得了丰硕成果。他感谢东北大学长期以来对宝钢科技创新工作的大力支持，并希望通过此次交流，进一步明确未来合作方向，聚焦重点领域，推动双方合作向更深层次、更广领域发展。

会上，宝钢股份数据AI部部长肖苏做了题为《AI赋能，未来钢铁》的专题报告，深入阐述了人工智能技术在钢铁行业的应用前景。钢铁共性技术协同创新中心首席专家储满生教授分享了《基于大数据的智能化炼铁技术》研究成果。王国栋院士做了题为《生成式AI(AIGC)助力钢铁行业转型升级》的主旨报告，为行业数字化转型提供了新思路。

会议期间，双方围绕东北大学钢铁共性技术协同创新中心的典型数字化技术进行了深入探讨。宝钢股份数据AI部、炼铁厂、中央研究院数智技术创新中心等部门负责人，以及东北大学钢铁共性技术协同创新中心的相关专家教授参加会议。

东北大学钢铁共性技术协同创新中心与安徽力鑫特钢公司签署产学研合作协议

3月13日下午，东北大学钢铁共性技术协同创新中心与安徽省力鑫特钢有限公司产学研合作签约仪式在市会议中心隆重举行。广德市委副书记、新杭镇党委书记马亮，广德市人民政府党组成员、副市长张强出席并见证签约。



签约仪式上，中国工程院院士、东北大学钢铁共性技术协同创新中心主任王国栋与安徽力鑫特钢公司总经理周明夸分别代表双方签署合作协议。此次合作将重点围绕钢铁产业技术创新、数字化转型等领域展开深度合作，标志着新杭镇传统产业转型升级迈出重要一步。

据悉，此次产学研合作将充分发挥东北大学在钢铁材料领域的科研优势，结合力鑫特钢的产业基础，共同推进技术创新和成果转化，为力鑫特钢高质量发展注入新动能。

广德市科技局、市工信局及新杭镇、东北大学钢铁共性技术协同创新中心相关负责人和老师参加活动。

东北大学与梅山钢铁技术交流会举行

2月27日，东北大学与梅山钢铁技术交流会在数字钢铁全国重点实验室举行。梅钢总经理助理陈刚，中国工程院院士、钢铁共性技术协同创新中心主任王国栋出席交流会。

陈刚总经理助理表示，梅山钢铁将持续依托东北大学的科研优势和钢铁领域高水平科研成果，紧紧围绕数字化钢铁前沿技术，针对工艺优化、质量提升、数据赋能和降本增效等方向开展工作，建设科技创新示范区，积极推动东北大学技术创新成果在梅钢公司转化落地。

王国栋院士在讲话中强调，钢铁行业作为传统制造业的代表，亟须通过数字化转型破解生产全流程中的“黑箱”问题，而数字技术与实体经济的深度融合是实现这一目标的核心路径。他指出，钢铁行业拥有丰富的应用场景和海量数据资源，应充分发挥工业互联网、大数据、人工智能等技术优势，构建数据驱动

的闭环赋能体系，实现从生产到管理的全链条优化。未来希望双方持续落实合作平台各项内容，围绕优势领域开展协同创新，为企业增强核心竞争力与新动能。



交流期间，双方分别就炼铁、炼钢、连铸、热轧、冷轧等钢铁全流程生产技术及数字化转型等内容进行了深入交流与探讨。

梅钢企划部、技术中心、制造部、热轧厂、冷轧厂、东北大学钢铁共性技术协同创新中心相关负责人及专家教授参加会议。

东北大学与苏州实验室技术交流会举行

2月27日，东北大学与苏州实验室技术交流会在数字钢铁全国重点实验室举行。苏州实验室结构材料部主任刘伟，中国工程院院士、钢铁共性技术协同创新中心主任王国栋出席交流会。苏州实验室结构材料部、东北大学钢铁共性技术协同创新中心相关负责人及专家教授参加会议。



刘伟主任介绍了苏州实验室及结构材料部的建设背景、定位目标、规划布局等基本情况。他表示，东北大学在材料领域拥有深厚的学术积淀和突出的科研优势，双方合作空间广阔。希望以此次技术交流会为契机，建立常态化交流机制，在联合攻关、人才培养等方面开展务实合作，为服务国家战略需求做出更大贡献。

王国栋院士对刘伟主任一行的到访表示热烈欢迎，介绍了东北大学钢铁共性技术协同创新中心在科学研究、人才培养等方面取得的系列成果。他指出，苏州实验室作为国家战略科技力量，拥有雄厚的科研实力和丰富的创新资源。此次技术交流会的举办，为双方搭建了良好的沟通平台，希望未来能够进一步加强交流合作，共同为国家科技创新发展贡献力量。

会议期间，双方围绕前期项目合作内容和未来即将开展的项目进行了技术交流与探讨。

东北大学与冶金工业信息标准研究院合作交流暨专题报告会举行

1月9日，东北大学与冶金工业信息标准研究院合作交流暨专题报告会在轧制技术及连轧自动化国家重点实验室举行。信息标准院党委书记、院长张龙强，中国工程院院士、钢铁共性技术协同创新中心主任王国栋出席会议。中心首席张殿华主持会议。



王国栋院士热烈欢迎张龙强院长一行，感谢信息标准院长期以来的支持，分享了关于钢铁工业数字化转型的趋势、方向、路线的深入思考。王国栋院士首先介绍了人工智能发展趋势与生成式人工智能的诞生与发展，分析美国材料基因组计划、浦项光阳智能高炉、JFE钢铁主流程数字孪生等全球钢铁领域数字化转型的国际动向，详细介绍了全流程一体化的数字化转型、钢铁企业创新基础设施、机器人系统ROBOTSTEEL等内容。王国栋院士强调，生成式人工智能是大势，全流程一体化协同创新是方向。王国栋院士表示，信息标准院具有丰富的平台资源、高水平的专家队伍，希望加强合作，共同推动行业数字化转型。

张龙强院长感谢东北大学的热情接待，也感谢长期以来对信息标准院的信任，简要介绍了信息标准院在冶金标准化服务、信息研究、媒体宣传、综合咨询四大核心业务的最新进展情况。张龙强院长指出，标准供给质量的持续提升在产业转型升级、创新成果转化等方面发挥了重要作用，围绕行业数字化转型，将持续推进基础共性、智能装备、智能车间等新一代信息技术应用标准，不断完善智能制造标准体系，助力提升新型工业化水平。张龙强院长表示，信息标准院以提供有价值服务为使命，愿意充分发挥平台、资源、专业优势，围绕技术成果转化、信息资源价值及获取、专业人才培训、重大课题研究等方面，进一步强化合作，助力行业高质量发展。

交流期间，双方分别就炼铁、炼钢、连铸、热轧、冷轧等钢铁全流程生产技术及数字化转型等内容进行了深入交流与探讨。信息标准院任江涛介绍了全球不锈钢 MA 平台的建设思路和进展情况。

专题报告阶段，张龙强院长以《中国钢铁工业发展形势分析》为题，面向冶金学院、材料学院的教师和研究生，系统介绍了中国钢铁工业最新进展，分析和研判了钢铁行业未来发展趋势，梳理了国内外标准化发展历程，提出了钢铁标准促进行业高质量发展的方向和路径。

冶金工业信息标准研究院冶金信息研究所、经营管理部、世界金属导报社、冶金标准化研究所、东北大学钢铁共性技术协同创新中心相关负责人及教授专家参加会议。

东北大学与河南钢铁技术交流会举行

1月7日，东北大学与河南钢铁集团有限公司技术交流会在轧制技术及连轧自动化国家重点实验室举行。河南钢铁集团副总经理李向宇，中国工程院院士、东北大学副校长唐立新，中国工程院院士、钢铁共性技术协同创新中心主任王国栋出席交流会。



唐立新副校长在致辞中对李向宇副总经理一行的来访表示热烈欢迎。唐校长指出，东北大学钢铁共性技术协同创新中心自组建以来，在王院士的带领下聚焦钢铁全流程技术创新，坚持理论联系实际，围绕钢铁、有色行业的工艺、材料、装备、服务、智能化等方面做了大量卓有成效的工作，取得了一系列突

出的成绩。唐校长表示,河南钢铁和东北大学有着非常好的合作基础,希望通过此次交流进一步深化合作,发挥我校科研优势,助力河南钢铁集团提质增效、转型升级,实现高质量发展。

李向宇副总经理表示,河南钢铁集团坚持稳住基本盘、迈向中高端、抢占新赛道的基本方向,现阶段公司正处于转型升级的关键时期,面临减量提质、特钢转型、数字化升级的艰巨任务;希望能够与东北大学深化协同创新,加强钢铁关键技术、重大科研项目、高端产品研发等领域的合作,实现共赢发展,使河南钢铁集团在钢铁和有色协同发展过程中走出河南省新冶金产业的转型之路。

王国栋院士围绕数字时代的人工智能与国际钢铁业数字化转型态势等方面向与会人员介绍了钢铁工业数字化转型的趋势、方向与路线。他介绍,工业互联网、云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术的快速发展和应用,正式宣告了数据时代的来临。在数据时代,数据成为社会发展的重要驱动力,成为全球新一轮产业竞争的制高点、改变国际竞争格局的新变量。他指出,通过数据 / 机器学习进行数据分析,是数据时代解决不确定性问题最强有力的科学方法。钢铁行业要紧紧抓住数字技术变革机遇,促进实体经济和数字经济深度融合,为高质量发展提供新动能;希望双方进一步加强交流互动,发挥各自优势,积极推进全流程数字化转型工作,为河南钢铁实现高质量发展提供有力支撑。

交流期间,双方分别就炼铁、炼钢、连铸、热轧、冷轧等钢铁全流程生产技术及数字化转型等内容进行了深入交流与探讨。

河南钢铁产业研究院、科技创新中心、金数智科公司、数字智慧中心相关负责人,东北大学科学技术研究院、东北大学钢铁共性技术协同创新中心相关负责人及教授专家参加会议。

会后,钢铁共性技术协同创新中心李建平首席陪同李向宇副总经理一行参观了 DSL 实验室中试平台。

东北大学钢铁共性技术协同创新中心与凤宝特钢技术交流会举行

3 月 27 日,东北大学钢铁共性技术协同创新中心与河南凤宝特钢有限公司技术交流会在数字钢铁全国重点实验室举行。凤宝特钢总工程师刘晓,中国工程院院士、钢铁共性技术协同创新中心主任王国栋等领导专家出席交流会。



王院士对刘晓总工程师一行的到来表示热烈欢迎。他指出，凤宝特钢作为中国钢铁行业的特色标杆企业，在技术创新和产业升级方面具有独特优势，希望通过此次交流为企业面临的技术挑战提供解决方案。会上，王院士做了题为《生成式 AI 助力建设 SEII 夯实钢铁行业中国式现代化数字底座》的专题报告，详细阐述了人工智能技术在钢铁生产中的应用前景。

刘晓总工程师详细介绍了企业发展现状、主营业务和未来规划。他表示，希望通过此次交流，与东北大学钢铁共性技术协同创新中心在技术创新、科技平台建设和人才培养等方面建立深度合作关系，共同攻克行业技术难题。

会议期间，双方围绕数字化技术应用、工艺创新等议题展开深入研讨。凤宝特钢钢厂、钢管研究室、信息科技部、炼钢车间、连铸车间等部门负责人，与东北大学钢铁共性技术协同创新中心的专家教授参加会议。

4 协同创新

【中国教育报】东北大学自主研发高炉智能化系统，助力钢铁产业转型升级 智慧高炉：为“钢需”提供新解法

众所周知，钢铁生产过程中，高炉冶炼环节是能源消耗和排放“大户”。而在中国宝武钢铁集团有限公司下属的上海梅山钢铁股份有限公司（以下简称“梅钢”），东北大学储满生教授团队研发的智慧高炉系统实现了碳排放降低 5%、吨铁降本 30 元的功效，为推动钢铁产业降碳增效提供了新解法。这一成果入选了《世界金属导报》组织评选的“2024 年世界钢铁工业十大技术要闻”。



东北大学教授储满生（右三）和学生在实验室开展工作

“梅钢智慧高炉项目的成功应用，代表了钢铁行业智能化与低碳化转型的重要突破，为钢铁行业的绿

色转型提供了可复制的示范路径，并为未来钢铁产业的智能化发展提供了重要支持。”对于该项目，评审专家给予了高度评价。

校企携手攻关，让高炉更智能

传统的高炉操作，依赖经验与人工调控，难以实现精确的过程优化和实时调整，容易造成生产不稳定和资源浪费。随着“双碳”目标的实施，推动钢铁产业降碳增效迫在眉睫。

2023 年 9 月，东北大学与梅钢签署了产学研合作协议，“低碳数字化钢铁协同创新中心”揭牌成立。针对传统高炉冶炼的痛点，该校钢铁共性技术协同创新中心充分发挥专业优势，与梅钢组成产学研协作创新团队，以“通用模型+个性数据”的创新理念，成功研发出智慧高炉系统，顺利应用于梅钢 4070 m³ 高炉。

团队青年教师唐珏介绍，智慧高炉系统着眼于高炉操作的智能化预测和调控，主要包括高炉操作炉型智能化表征、高炉关键操作变量的智能化预测与反馈、高炉炉渣碱度的闭环智能调控、高炉炉况的智能预测与溯源模型等方面。这些技术通过对历史和实时数据进行分析，建立高精度的预测模型，使高炉操作能够根据实际情况实时调整，优化工艺过程，减少不必要的能源消耗。

科学原理的理论可行性如何在生产一线落地？如何解决高炉炼铁中数据利用率低、原料波动大、炉热控制不稳定等关键难题？一个个问题犹如拦路虎，考验着团队的智慧与毅力，呼唤着校企双方发挥各自优势，共同迎接挑战。

自项目开展以来，该校科技工作者和梅钢技术人员双向奔赴，携手钻研。研究团队驻厂工作累计约 4500 h，与梅钢专家组团队交流讨论 20 余次。

以梅钢 5 号高炉为核心应用场景，历经两个月通宵达旦的测试后，团队采用大数据、智能算法与冶炼工艺深度融合的驱动模式，提出了基于“原燃料—操作—状态—渣铁”的全链条数据治理方案，以及涵盖炉热智能预测与反馈、关键变量预测、炉渣碱度闭环和综合炉况智能诊断的智慧高炉模型，为智慧高炉技术的深度应用奠定了基础。

变数据为信息，让高炉更“透明”

封闭的高炉中，化学反应瞬息万变。通过深度解析，把复杂的高炉数据变为可供优化的信息，让高炉运转更加“透明”，是智慧高炉系统成功的关键。

“根据高炉数据来源和结构复杂的特点，我们系统梳理了梅钢高炉生产工序数据，共采集 2500 余个参数字段，通过数据治理、时滞性分析和关联性分析，开发了模块化、自适应的智能解析方法，将炼铁数据利用率提升至 80%。”团队技术骨干石泉说。

在数据智能解析过程中，团队就梅钢原燃料数据与入炉料对应关系拟出多种解决方案，逐个测试验证方案的可行性，累计测试代码量近 4 万行。

通过数据与机理的深度融合，团队实现了提前 1~3 h 精准预测炉热、煤气利用率、透气性等关键参数，提前 6 h 优化配料方案应对原料波动，并实时诊断炉况状态，动态推送喷煤量、风温等调整措施，全面提升了高炉运行的稳定性和智能化水平，为吨铁燃料比降低 11 kg、吨铁生产成本减少 30 元、吨铁二氧化碳

排放降低 25 kg 目标的实现提供了强有力的支撑。

“高炉智能化系统的应用，如同给高炉装上了‘聪明大脑’，不仅提升了操作的稳定性，还能提升炼铁过程的可控性和安全性，显著降低生产成本和碳排放。”储满生说。

“这个项目的成功，归功于数据、机理与经验的深度融合。以数据驱动为基础、机理模型为核心、冶炼经验为补充，形成了集成式智能炼铁解决方案，为钢铁产业低碳化、智能化转型树立了标杆，提供了可推广、可复制的技术示范。”中国工程院院士、东北大学教授王国栋表示。

工艺全面升级，发展新质生产力

智慧高炉系统的成功应用，并没有使团队停下攻关的脚步。着眼于技术在其他高炉和工序中的推广，团队又在铁区一体化智能化炼铁技术上取得了重大突破。

铁区一体化闭环赋能体系，是团队自主研发的以人工智能和数字孪生技术为核心的高效生产优化平台。该体系通过对烧结、球团、高炉等工序的实时数据采集与分析，目标是实现虚拟和物理过程的动态交互，支持炼铁工序实现从状态感知、实时分析到科学决策、精准执行的全流程闭环控制。

在该体系的助力下，数据就像一条条灵动的“信息流”，高保真、全局性、高响应地流动着，提前预测工序运行状态，为炼铁生产提供更加稳定、高效的保障。

这项技术引起了多家国内大型钢铁企业的重点关注，并实现了工业应用。在抚顺新钢铁 180 m² 烧结生产线，技术团队实现了精准计算烧结终点信息，协助现场烧结终点精细化管控，开展烧结状态质量提前预测与操作参数反馈，突破了现场操作人员产线调整时空限制，通过数据驱动烧结产线异常分析，提供现场工艺所忽视的产线异常数据挖掘结果。

“我们将深化智能化炼铁技术的研发与应用，服务钢铁行业新质生产力的发展，为我国钢铁产业的转型升级贡献自己的力量。”储满生对未来充满信心。

祝贺！钢铁共性技术协同创新中心 2024 年度优秀创新成果发布

近日，东北大学钢铁共性技术协同创新中心 2024 年度考评工作落下帷幕，各团队围绕提升我国钢铁行业核心竞争力、推动钢铁产业绿色低碳智能化发展与数字化转型、保障高端钢铁材料产业安全的总体目标，遵循科技创新与产业创新深度融合、多学科交叉协同、基础研究与工程应用并重的基本原则，圆满完成了年度工作。按照“实干、实绩、实效”的评价原则，最终评选出“梅钢 4070 m³ 智慧高炉引领低碳智能化炼铁新模式”等 5 项创新成果。

成果介绍与点评

1. 梅钢 4070 m³ 智慧高炉引领低碳智能化炼铁新模式

2023 年 9 月，梅山钢铁（以下简称“梅钢”）与东北大学签署产学研合作协议并揭牌“低碳数字化钢

铁协同创新中心”，双方深度合作助力钢铁行业在“双碳”目标下实现转型升级。2023 年 11 月至 2024 年 6 月，钢铁共性技术协同创新中心炼铁方向储满生教授团队，采用“通用模型 + 个性数据”，研发出智慧高炉系统，并在梅钢 4070 m³ 高炉上成功应用。梅钢智慧高炉项目在精准数据支持下，形成了“原燃料—操作—状态—渣铁”的全链条数据治理方案；构建了智能诊断高炉智慧模型。实现了提前 1~3 h 精准预测炉况参数发展趋势；提前 6 h 调整配料方案应对原燃料质量变化；通过多维度提取炉况信息，形成科学的综合炉况智能评估方法，实时诊断炉况状态，推送调整措施，为高炉稳定顺行提供保障。该项目推动了梅钢高炉操作稳定性提升，为碳排放降低 5%、吨铁降本 30 元目标的实现提供了强有力的支撑。项目的成功应用推动了炼铁全流程低碳生产新模式的形成，并获评《世界金属导报》2024 年度“世界钢铁工业十大技术要闻”。

点评：

梅钢智慧高炉项目成功应用代表了钢铁行业智能化与低碳化转型的重要突破。该项目为钢铁行业的绿色转型提供了可复制的示范路径，并为未来钢铁产业的智能化发展提供了重要支持。随着技术的进一步成熟，梅钢智慧高炉将在全球钢铁行业的绿色转型和智能升级中发挥重要作用。

2. 电磁旋流及其多级耦合电磁驱动技术研发与应用

位于高端装备制造业无人区，我国亟须自主科技创新，探索钢铁材料制造新技术，引领世界钢铁行业发展，高品质钢连铸坯质量稳定控制是钢铁材料高端化、高效化、低成本稳定生产的关键。

东北大学钢铁共性技术协同创新中心连铸方向王强教授团队，聚焦钢铁凝固过程电磁调控关键技术，历经 10 余年校企联合攻关，通过理论—装备—工艺应用全链条科技创新，实现了轴承钢、齿轮钢等钢材高质、高效、低成本、稳定制造，创建了铸坯凝固组织细化、均质化、洁净化电磁旋流调控新理论，构建了电磁场下高温金属熔体传输行为与凝固理论模型，揭示了高温金属熔体凝固过程的电磁调控机制；原创了适配多钢种、多规格、多坯型的电磁旋流技术与成套装备，电磁旋流技术与装备适用于各种规格和钢种的方坯、圆坯、板坯等连铸生产，为我国高品质钢制造提供原创性电磁冶金技术与装备支撑；自主研发了电磁旋流及其多级耦合电磁驱动技术并实现工业应用，通过电磁旋流协同耦合结晶器、二冷、末端电磁搅拌，有效促进铸坯凝固组织细化，降低宏观偏析缺陷，去除大尺寸夹杂并抑制夹杂物偏聚，实现弹簧钢方坯等轴晶率从 27% 提升到 43%，轴承钢大圆坯碳极差从 0.08% 降低到 0.04% 以下，齿轮钢大圆坯夹杂物数量降低 45%，包晶钢板坯夹杂物数量降低 41% 的突破。该技术获冶金科技一等奖 1 项，国家科技进步奖二等奖 1 项。

点评：

电磁旋流及其多级耦合电磁驱动技术采用浸入式水口电磁旋流协同耦合结晶器、二冷、末端电磁搅拌技术，形成连铸坯凝固前期、初期、中期、末期全连铸过程综合电磁控流技术，进而全面提升铸坯凝固组织细化、均质化和洁净化，为实现我国高品质钢稳定生产提供原创性电磁冶金技术与装备支撑。

3. 超宽幅高性能宽厚板绿色制造关键连铸技术研发及其应用

高性能宽厚板轧制高发的宽边裂纹（也称边部“黑线”、边直裂等）一直是制约其超宽幅高效制备的瓶颈。东北大学钢铁共性技术协同创新中心连铸方向朱苗勇教授团队通过深入研究，全面阐明了边线裂纹

产生的机理成因,首次提出通过制备窄面内凹形宽厚板坯从源头控制的新方法,并首创研制出了凸透镜连铸结晶器及其无缺陷铸坯制备技术,极限超宽幅宽厚板的边线裂纹宽度由传统工艺的 140~160 mm 稳定控制至不大于 20 mm,实现了宽度 5048mm 的极限超宽幅高性能宽厚板正品批量制备,应用于我国石化与核电等领域的重大工程与装备。该技术获辽宁省科技进步奖一等奖 1 项、冶金科技一等奖 1 项、中国科技产业化促进会科学技术一等奖 1 项。

点评:

超宽幅高性能宽厚板是核电、石化等高端装备与重大工程亟须的关键金属材料。受制于轧制过程高发的宽边裂纹,一直难以突破正品 5000 mm 以上超宽幅高性能板的生产瓶颈。东北大学创新研发出了凸透镜连铸结晶器制备窄面内凹形宽厚板坯技术,批量制备出了正品宽度 5000 mm 以上的超宽幅高性能宽厚板,有力支撑了我国石化、核电等重要领域的重大工程与高端装备建设,服务于国家重大需求与安全。

4. 新型 Mo 微合金化节镍钢首次用于大型 LNG 船用储罐

随着能源工程的超大型化,为保证 LNG 船的安全运行,钢材不仅需要高强度,还需要在 -196 °C 下具有优异的冲击韧性。东北大学钢铁共性技术协同创新中心热轧方向刘振宇教授团队与湘钢和南钢等企业合作,开发出一种含 Ni 量为 5.5%~6.5%、Mo 微合金化的新型节镍型低温钢成分体系及制造工艺,首次在母材中获得密度高达 $(2.15\sim2.60) \times 10^{24}/m^3$ 、平均尺寸仅为 1.73~1.81 nm 的富钼纳米 B2 共格析出相。该技术突破了低温能源用钢中“强度 – 韧性难以兼顾”的瓶颈,使新型节镍钢性能比肩传统 9Ni 钢。

基于上述合金设计和纳米析出相控制策略,湘钢生产出 6~50 mm 厚的 Mo 微合金化 5.5Ni 钢,出口海外替代 9Ni 钢用于建造 LNG 储罐;南钢、湘钢等企业在国际上首次采用 Mo 微合金化 7Ni 钢替代 9Ni 钢用于制造 7.89 万立方米的 LNG 船用储罐,新产品与 9Ni 钢相比可降低成本 2000~3000 元 / 吨。与高锰钢相比,新型节镍钢的焊接工艺绿色高效、焊接接头安全性显著提升。该技术为实现钢铁材料在极低温环境下的强韧化提供了新途径,对推动高性能清洁能源用钢的开发和应用具有重要理论意义与实用价值。该技术相关理论创新成果已在材料学领域的顶级期刊 *Advanced Functional Materials* 发表,并获评《世界金属导报》2024 年度“世界钢铁工业十大技术要闻”。

点评:

新型 Mo 微合金化节镍型 LNG 低温钢成分设计及制造技术,实现了在 -196 °C 极低温条件下的高强度与优异韧性的平衡,对超高强钢的强韧性调控具有重要的参考价值。此项技术对推动绿色高性能清洁能源用钢材料的发展,提升液化天然气等清洁能源的输运与储存安全性,具有重要的战略意义。

5. 传统冶金技术迁移至信息领域,破解“卡脖子”难题

2023 年 9 月,东北大学与华为公司签署研发合作合同,由我校负责研发关键信息存储用纳米粉末材料制备工艺与装备。东北大学钢铁共性技术协同创新中心短流程方向张元祥副教授带领的液态轧制团队设计并实现了基于双辊高速液态轧制非晶带材和非晶晶化获得纳米晶的工艺与装备开发,破解了发达国家对我国“卡脖子”难题。

随着我国物联网 /ICT、AI 技术以及工业信息物理系统的飞速发展,工业和社会经济运行产生的数据量

正在呈指数级增长, 形成宝贵的数据资源。巨量积累的“冷数据”如何安全、经济且长期存储, 是形成和挖掘“新数字红利”的关键。磁带存储技术是“冷数据”经济高效存储的关键器件, 而高存储量磁带技术目前掌握在日本富士等科技公司手中, 我国高科技信息技术企业从关键原料、单体设备到知识产权的进行受到全面封锁。为此, 我国科技企业组织国内企业、院校和科研院所进行磁性颗粒磁带技术的系统“突围”。其中, 铁氧体纳米粉末是最为关键的原材料。东北大学张元祥副教授团队开发了成熟非晶带体实验装备和系列铸轧非晶制备工艺。在此基础上, 团队将钢铁行业的短流程技术迁移至电子行业亟须的磁性纳米材料制备领域, 与华为公司高效合作, 设计实施了基于熔体双辊快淬制备非晶薄带和非晶晶化法制备高性能纳米铁氧体粉末的工艺方案, 截至目前已经稳定供应非晶带材 2 t, 研发的专用装备也投入使用。

点评:

在激烈竞争的科技竞争中, 关键材料制备的共性工艺与装备研发成为关键“制高点”, 充分开展需求端和研发端的高效对接与联合技术攻关是破局的有效手段。本项目充分体现了我国加工学科科研积累和应用端结合后, 高效的技术攻关能力。