

在 AI 大航海时代来临之际 探索冶金行业的“AI 新大陆”

宝钢欧洲研发中心主任 教授级高级工程师，刘献东
英国兰卡斯特大学工程学院 讲师，温炜

自 2020 年全球多国提出“碳中和”目标以来，人工智能（AI）领域也在近两年取得了突飞猛进的发展，尤其是以 ChatGPT、DeepSeek 等为代表的大模型技术的突破，标志着我们正迎来一个崭新的时代。这是一个充满挑战和危机的时代，也是一个伟大的时代。

一、“AI 大航海时代”的序幕已经拉开

以 ChatGPT、DeepSeek 为代表的大模型技术正重新定义人机交互的边界，与机器人、无人机等物理设备的融合进一步拓展了 AI 的应用空间。这一变革不仅推动技术革新，也深刻影响社会的生产方式、生活方式与全球竞争格局。正如 15 至 17 世纪的大航海时代拓展了地理疆域，AI 时代正开辟智能化与认知探索的新领域。AI 的未知性、工具革命的本质以及全球协作的需求，使其与人类历史上的地理探索高度相似。

AI 不仅是一场技术革命，也是一场深远的社会变革。它催生了新的“技术新大陆”，包括通用人工智能（AGI）、量子 AI、人机协作等前沿领域，同时也带来了数据伦理、隐私保护、算法偏见和就业冲击等风险。AI 的普及将重塑经济形态，甚至改变人类对智能和自我的理解。正如航海时代面对未知海域的风险，AI 的发展也需应对算力竞争和技术治理的挑战。如何在技术进步与社会公平之间寻求平衡，成为时代的核心命题。

AI 不仅重新定义知识获取的方式，也在赋予机器理解物理世界的的能力。生成式 AI 降低了知识门槛，促进信息和知识的平权，多模态 AI 提升了机器对现实的感知，而机器人则正以前所未有的“自主性”介入现实劳动。AI 正成为科学探索的“新罗盘”。然而，AI 带来的机遇和风险同样复杂，技术垄断可能加剧权力不均衡，深度伪造技术冲击社会信任，算法偏见可能固化既有矛盾。更深层次的挑战在于，当 AI 系统开始承担关键决策，人类文明将面临“智能控制权”让渡的伦理困境，这比地理大发现时期的文化冲突更具深远影响。

历史总是螺旋式前进。大航海时代催生了全球化文明，而 AI 大航海时代或将塑造人机共生的新文明形态。人类正站在智能革命的甲板上，需要哥伦布式的探索勇气，更需要超越殖民时代的智慧。唯有通过全球协作构建 AI 伦理框架和技术治理体系，将技术发展锚定在增强人类福祉的坐标上，这场智能革命才能成为文明跃迁的契机，而非失控冒险的序章。如果 AI 不幸成为脱缰的野马，将会成为下一个被“大洪水”淹没的传说。

二、人类正开启“硅碳纪元”

人类文明的演进以材料和技术的革命性变革为标志。从石器时代到青铜、铁器时代，材料的革新推动了农业、战争与经济的深远变革，重塑了社会形态。相比之下，当前的“信息时代”或“数字时代”虽以应用层面的广泛变革为特征，但其背后

依赖于基础技术的革命性进步。未来回溯当今，人类或许会将硅基信息技术与碳基生命科学、新材料科技的深度融合视为决定性因素。这种融合正在催生智能生命、仿生系统和可持续材料等突破性领域，可能成为未来文明的核心驱动力。因此，未来的人类可能会将这一时代命名为“硅碳纪元”，以体现无机与有机、人工与自然的协同进化，以及多维度、跨领域的综合创新。

硅与碳分别代表智能革命与生命及材料科学的核心。硅基芯片推动计算机、互联网和人工智能发展，成为现代生产力的基石；碳则在生命科学和材料创新中发挥关键作用，如基因编辑、生物芯片、脑机接口依赖碳基分子，碳纤维、石墨烯等新材料推动航空航天、能源和制造业的突破。硅与碳的融合，使信息处理与实体建构相互作用，催生智能机器人、仿生材料、合成生物学等前沿领域，推动人类迈向信息与生命深度融合的新时代。

尽管“硅碳纪元”概括了硅基与碳基技术的交叉革命，其命名仍存在局限。随着摩尔定律趋缓，硅基技术的性能提升面临瓶颈，量子计算、光子芯片、碳纳米管等新兴技术可能挑战其主导地位。同时，核聚变、太空开发等领域的突破可能超越材料革命的范畴，主导未来数千年的文明进程。单一材料命名（如“硅碳纪元”）虽简洁，但可能无法全面反映技术变革的多维性和复杂性。若未来能源革命或空间革命取得突破性进展，这一命名可能会被更具划时代意义的术语（如“智能纪元”或“星际纪元”）所取代。然而，在中短期内，“硅碳纪元”仍是对当前技术变革的有力概括，因其抓住了硅基与碳基技术融合的核心特征。

三、探索冶金行业的 AI“新大陆”

AI 大航海时代，每一个传统的行业都将发现“新大陆”。就冶金行业而言，钢铁行业自身正面临 3200 年铁器时期以来最伟大的革命，以氢、绿电为代表的新兴技术替代化石碳，实现碳中和。（全球钢铁行业的直接碳排放总量约为 26 亿吨，占全球人类活动碳排放总量的 7%至 9%）。

冶金行业作为传统工业，必须抓住“AI 大航海时代”的机遇，探索技术与商业落地的“新大陆”。应在四个战略方向布局：“应用端垂直延伸的 AI 物理化”“AI 算法基础研究的早期介入”“开源平台的建设”“数据平台的建设”。应加强跨学科合作，推动 AI 与材料科学、工艺工程的交叉创新，形成独特的竞争优势。同时，要关注数据安全与知识产权保护，在开放合作与自主可控之间找到平衡点。

在全球范围内高效组织利用优势资源非常关键，要推动原始创新，避免跟随模仿或封闭式研发。要平衡应用变现与基础研究，形成清晰的战略路线图，精准预判技术趋势。应积极参与制定 AI 技术标准与规范，确保在技术浪潮中掌握话语权，为可持续发展奠定基础。

在 AI 时代，我们应致力于成为技术前沿的原创贡献者，而非短期获利者。同时，需构建国际化研发生态圈，培养冶金行业全球 Top100 顶尖技术专才和具备 AI 思维的复合型人才，以保持长期竞争力。

3.1 应用端垂直延伸的 AI 物理化：再定义“冶金大模型”。

DeepSeek 已发布的 R1 系列使得面向机器人、无人机等物理设备的 AI 模型多了一种可能性，有利于 AI 物理化应用，支持实时决策和控制。例如，如果集成到

无人机中，可用于电力线路、能源管道等基础设施的智能巡检。通过实时图像分析和决策，无人机能够自动识别故障（如设备损坏、异常温度等）并生成报告，甚至自主规划飞行路径以避免障碍物；如果用于工业机器人的实时控制，例如在智能制造中，机器人能够根据传感器数据自主调整操作（如装配、焊接、搬运等），从而提高生产效率和精度。这些应用场景展示了 R1 系列在 AI 物理化领域的潜力，为未来智能设备的发展提供了新的可能性。

当然，冶金 AI 未来的核心不只是控制 AI，而是“物理模拟 AI + 数据驱动 AI + 实时优化 AI”的融合，这需要新的 AI 系列来支持。如果我们可以预测的话，大概率地，包括 DeepSeek 和 ChatGPT 为代表的头部企业，都可能向冶金过程垂直渗透，向新大陆腹地深入。

对于冶金行业而言，R1 有潜力在某些领域拓展和对接，比如智能炼钢机器人控制（如高温环境下的自动浇铸）、无人机巡检（检测高炉、连铸设备的运行状态）、实时优化控制（高炉风口调整、连铸速度优化等）。但冶金行业的“四化”方向（纳米级建模、跨尺度建模、多物理场耦合、原位建模与实时监控）涉及复杂的材料模拟、跨尺度建模、大数据预测和实时反馈，需要更强大的“跨尺度物理模拟 AI” + “数据驱动 AI”，而不仅仅是“实时优化控制 AI”。因此，DeepSeek 的 AI 物理化趋势在冶金版块，应该推出新的系列，才能适应冶金行业的深度需求。这是因为，冶金行业的 AI 需求不同于通用机器人 AI。通用机器人和无人机侧重于控制，而冶金 AI 需要深度的物理建模和跨尺度模拟，传统通用 AI 不足以应对冶金复杂环境。冶金大模型必须融合热-力-电-磁等多物理场模拟，这一能力超出当前 R1 主要处理的“AI 物理化控制”任务。冶金行业从原子尺度（材料微结构）到宏观工艺（高炉炼钢），跨度巨大，需要 AI 能同时处理分子动力学（MD）和工业级有限元分析（FEA）。

我们可以以某模型的“RX”版本为假想，设想一些未来的趋势：

3.1.1 “R-Metal”

目标：专注于冶金、材料工程、物理模拟 AI，结合第一性原理计算、分子动力学（MD）、相场模拟、有限元分析（FEA）。包括不仅限于的核心模块：纳米级建模（强化基于 DFT、LAMMPS、CALPHAD 的 AI 预测能力，为产品研发和工艺技术奠定基础）；跨尺度建模（从量子尺度到微观结构，再到宏观性能，实现真正意义上的制造过程中的在线性能预报，把精确控制再提高一个数量级）；材料智能发现（高通量计算驱动合金设计，大幅度提高研发效率、减少研发成本、下游行业验证的周期和成本）；自适应物理学习（能结合实验数据修正 AI 预测）。

3.1.2 “R-Manufacture”

目标：面向钢铁生产、智能制造、工业优化。包括不仅限于的核心模块：工业传感器+AI 实时决策（优化连铸速度、高炉温控等）；多物理场耦合 AI 计算（热-力-电-磁复合模拟）；碳中和优化（AI 计算碳排放、优化冶炼工艺）；原位监控+实时智能决策（AI 监测冶金过程中的微观演变）。

3.1.3 “R-Application”

目标：面向钢铁的下游用户，推动从材料研发到终端应用的全价值链智能化解决方案。未来的竞争不仅是企业之间的竞争，更是生态圈与生态圈之间的竞争。通过 AI 驱动的数据共享、协同优化和智能决策，将帮助下游行业（如汽车、建筑、

能源、航空航天等)实现更高效的材料选型、工艺优化和性能预测,从而提升整体价值链的竞争力。具体的核心模块可能包括:

1. 材料-性能匹配优化:

AI 根据下游用户需求推荐最优材料,并预测其性能表现,支持定制化材料供应。

2. 工艺-性能协同优化:

AI 分析下游加工工艺对材料性能的影响,优化工艺参数以提高成品率和性能稳定性。

3. 服役性能预测与寿命管理:

AI 预测材料在实际使用环境中的表现(如腐蚀、疲劳等),提供寿命预测和维护建议,实现预测性维护。

4. 上下游协同开发与数字孪生研发:

通过数字孪生技术,实现下游行业设计与上游材料研发的高效互动,大幅提高新产品研发效率和需求匹配度,缩短验证(Homologation)周期(很多行业的传统模式的验证周期在1~2年之间)。

5. 碳中和与可持续性优化:

结合具体的原料资源、能源结构、技术工艺路线、成本等综合因素,推荐低碳材料并优化生产工艺、优选供应链路径,帮助下游用户实现碳中和目标,支持全生命周期的可持续发展。

6. 生态圈协同与数据安全:

构建跨行业数据共享平台,通过区块链等技术确保数据安全和隐私,促进上下游企业的高效协作。

通过以上模块,R-Application 将推动钢铁行业与下游用户深度融合,构建以数据驱动和 AI 优化为核心的价值链生态圈,助力全行业实现绿色化、智能化和可持续发展。

3.2 重视 AI 算法基础研究的早期介入:为科学侧的发现对接应用场景

AI 基础研究正在多个方向上持续突破,特别是在 LLM(大语言模型)、科学计算、优化策略和多模态 AI 领域。冶金行业的专家团队需要与 AI 算法团队紧密合作,冶金专家应在 AI 算法基础研究阶段“早期介入”,确保技术与行业需求的深度融合。商业落地的应用场景端与科学侧、开发侧在早期的同步介入,将构建核心竞争力。

尽管以 DeepSeek 为代表的“中国队”在 AI 领域取得了显著成就,但我们仍需清醒认识到,与西方在原始性创新方面的差距,其根本在于基础研究的深度和广度,这一点尤其体现在“技术社区”的差异上。

当前 AI 研究仍在突破的关键方向包括:

算法: Transformer、GNN(图神经网络)、MoE(混合专家模型)、PINNs(物理信息神经网络)、量化、分布式训练等;

模型: LLM、多模态 AI、科学计算 AI、轻量级 AI 等;

框架: JAX、FSDP(完全分片数据并行)、ZeRO(零冗余优化器)、ONNX、TensorFlow Serving 等;

优化：训练优化（如分布式训练、混合精度训练）和推理优化（如低比特量化、KV 缓存优化）；

应用：材料科学、分子动力学、多模态 AI（文本—视频等）。

相对成熟但仍需优化的技术包括：

CNN（卷积神经网络）：在图像处理等任务中仍然重要；

知识蒸馏：主要用于模型压缩和加速；

数据处理工具：如 Pandas、Apache Arrow，需进一步提升性能和效率；

可视化工具：如 Matplotlib、OVITO，在交互性和实时性方面仍有改进空间。

为缩小与西方的差距，中国需加强基础研究投入，推动原始性创新，特别是在算法、模型和框架等核心领域。同时，冶金行业与 AI 的结合需要跨学科深度合作，从基础研究到商业落地全链条协同，以实现技术突破和产业升级。

3.3 探索冶金大模型开源平台的建设：变封闭的生态系统为百花齐放的 AI 生态圈

在 AI 物理化方向的研究中，冶金专家、AI 科学家和开发团队可以通过开源数据、模型、计算工具和行业标准共建 AI 冶金平台。未来可能的具体工作，包括但不限于以下：

建立开放数据集，采用 FAIR 原则共享冶金实验、模拟和生产数据，利用 Pandas、Apache Arrow 进行高效存储。结合 PyTorch、JAX 训练 PINNs、GNN、Transformer 物理结合 AI 的模型，并基于 Quantum ESPRESSO、LAMMPS 进行多尺度材料模拟。通过 ONNX、TensorFlow Serving 实现 AI 冶金模型的高效推理部署，并建立 GitHub 开源社区促进行业协作。为统筹知识产权保护与合作，采用“开放核心”模式，基础研究成果开源，关键优化算法或商业应用部分可采用专利或闭源许可。制定 AI+冶金数据使用协议，允许学术共享但限制商业用途，保障数据贡献者权益。通过联盟组织设立标准，鼓励数据和模型贡献者获得署名权和收益分成，平衡开放性与竞争力，确保产业共赢。

建设开源的平台促进行业的 AI 转型，并有利于促进碳中和的转型，一些潜在的商业模式值得探索：比如，通过提供高级模型优化、企业级支持和定制化 AI 方案，实现开源与商业的平衡。数据即服务（DaaS）模式，让企业按需订阅高质量冶金实验和模拟数据，或使用 AI 生成优化数据集。AI 计算即服务（AIaaS）使企业可以通过云端 API 调用材料模拟、工艺优化或质量预测 AI 模型，按计算量或使用次数收费。软硬件结合的智能制造，将 AI 冶金模型嵌入生产线，实现智能化炉温控制、自动质量检测和实验室自动化。知识产权共享采用开源+商业许可模式，贡献者可获得收益分成，并利用区块链记录贡献与激励分配。产业联盟推动 AI 冶金行业标准化，提供专有模型认证和行业合作计划，为企业独提供独家技术合作机会。

3.4 建设冶金大模型数据平台：解决冶金行业的特殊性难题

当前，AI 在冶金行业应用的瓶颈之一是数据。ChatGPT、DeepSeek 等语言大模型的成功，得益于全网海量语言数据的支撑。然而，冶金行业缺乏系统性的数据库，

涵盖从化学成分、材料微观组织结构、钢铁制造过程到下游加工服役表现的全链条数据，甚至存在诸多理论空白。尽管 AI 算法和算力已足以满足行业需求，但缺乏高质量数据库，AI 的价值难以充分发挥。

从支撑整个价值链实现“零碳排放”层面而言，现有的基础研究和材料数据库尚未准备好。用于支撑解决方案的“池子”太小，需在更广阔的“大江大河”中寻找突破。纳米级建模、跨尺度建模等技术正在突破传统局限，从量子尺度到微观结构，再到宏观性能，每个尺度都可建立对应的数据库，用于训练 AI，最终构建覆盖 PSPP（工艺—结构—性能—性能预测）的 AI 能力。

实验技术创新、表征技术的创新，以及数据标准的建立、高质量数据的训练与标定，是跨行业数据融合与深度挖掘冶金行业数据的核心工作。只有夯实这些基础，才能充分发挥 AI 在冶金行业的潜力，推动行业向绿色化、智能化转型。

跨行业材料学领域的科学数据可作为重点开发的“金矿”，为冶金行业提供支持；而钢铁制造及下游行业的专有数据则面临知识产权和隐私问题，诞生数据解决方案提供商等商业模式可以平衡数据共享与保护。

（来源：世界金属导报）