

全球 AI for Science 战略动向及对我国的启示

王 硕,高睿婧,李正风
(清华大学社会科学学院,北京 100084)

摘要:在全面推进“人工智能+”行动和加快实现高水平科技自立自强的背景下, AI for Science 正成为引领科研范式变革、培育新质生产力和重塑全球科技竞争格局的关键力量。2025年下半年,美国、英国、欧盟和日本等主要经济体密集出台了多项 AI for Science 政策文件。虽然各国因资源禀赋与制度差异选择不同发展路径,但普遍将 AI for Science 上升为国家级战略工程,呈现出科研流程实体自动化、科学数据资产化以及主权型科研基础设施建设等共同趋势。美国强调以国家动员体系巩固科技霸权,英国聚焦优势领域的敏捷突围策略,欧盟通过泛欧整合维护技术主权,日本则以理论驱动和标准引领构建竞争优势。国际经验对我国“十五五”时期推进 AI for Science 具有重要启示意义。应将 AI for Science 作为系统性战略任务整体布局,统筹算力、能源与科研网络建设,推动自动化实验平台与接口标准自主可控,完善科学数据资产化制度,通过有组织科研与复合型人才培养,为新质生产力发展提供持续动力。

关键词: AI for Science; 人工智能+; “十五五”; 科技自立自强; 卡脖子; 知识生产

中图分类号: G301

文献标识码: A

党的二十届四中全会审议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》强调,“加快高水平科技自立自强,引领发展新质生产力”“全面实施‘人工智能+’行动,以人工智能引领科研范式变革”^[1]。人工智能驱动的科学研究的(AI for Science,下称 AI4S)正在成为新一轮科技革命与产业变革的核心驱动力,并演变为全球科技竞争的战略要地。这场变革不仅关乎基础科学的突破速度,更决定着新材料、新药物、新能源等未来产业的主导权归属,影响着国家经济竞争力、社会发展模式和综合国力。

世界主要科技强国均将 AI4S 视为抢占未来发展制高点的关键,并已展开激烈的战略角逐。尤其是进入 2025 年下半年,全球 AI4S 战略竞争态势加剧,进入了政策密集发布与战略博弈的新阶段(见图 1)。欧盟率先于 2 月发布《科学领域人工智能基础设施:国家政策互学实践》(Infrastructures for AI in Science: Mutual Learning Exercise on National Policies for AI in Science,以下简称《欧盟基建报

告》)^[2];美国于 7 月发布《赢得竞赛:美国人工智能行动计划》(America's AI Action Plan,以下简称《美国行动计划》)^[3];进入 10 月,战略发布的密度达到顶峰,欧盟推出《欧洲科学领域人工智能战略:为欧洲科学人工智能资源铺平道路》(A European Strategy for Artificial Intelligence in Science: Paving the Way for the Resource for AI Science in Europe,以下简称《欧盟战略》)^[4],日本文部科学省出台《关于推进 AI for Science 的基本思路》(AI for Science の推進に向けた基本的な考え方について,以下简称《日本基本思路》)^[5];11 月,英国发布《AI for Science 战略》(AI for Science Strategy,以下简称《英国战略》)^[6],美国政府更是签署了号称比肩“曼哈顿计划”的《启动创世纪任务》(Launching the Genesis Mission,以下简称《创世纪任务》)行政令^[7]。这些文件并非单纯的科技规划,而是各主要经济体在算力、数据、能源与地缘政治维度上进行系统性战略布局的体现。

学界已对 AI4S 开展了一定研究。很多研究指

收稿日期:2025-12-24;修回日期:2026-01-08

基金项目:国家社会科学基金重大项目(21ZDA017);清华大学首都高端智库课题(A-20250104)

作者简介:王硕(1999-),男,博士研究生。高睿婧(2000-),女,博士研究生。李正风(1963-),男,教授、博士生导师,通讯作者,

E-mail: lizhf@tsinghua.edu.cn。

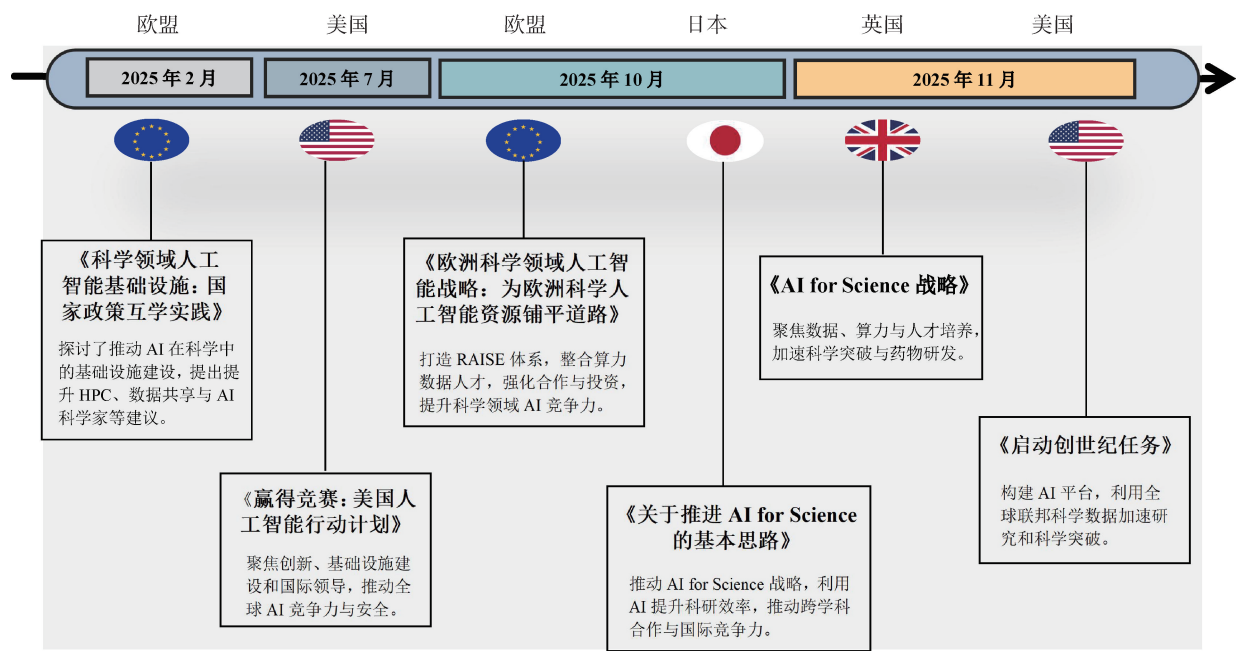


图 1 2025 年世界主要科技强国 AI for science 战略时间轴

Figure 1 Timeline of major global technology powers' AI for science strategies in 2025

出,其革命性本质在于技术发展带来了科研主体的根本性变化,而不只是研究方法的革新^[8,9]。有学者将其视为继经验、理论、计算和数据科学之后的“第五科研范式”^[10-12]。这一范式的核心特征表现为 AI 技术与各学科领域的深度汇聚,使其成为一种通用型科研赋能工具^[13,14]。AI 深度介入从知识生产到传播与评价的科研全过程^[15],其影响也从微观的个体认知交互到宏观的国家创新能力等多个层面展开^[16]。一些研究指出,要推动这场科技革命,需要国家层面的政策支撑与平台建设,以更好地释放 AI4S 的潜力^[17-19]。同时,学界也高度关注 AI 在科学知识生产、传播与普及过程中的伦理风险^[20-22]。

然而,现有文献多聚焦于具体的技术应用、范式变革机理或伦理风险,对于如何从国家层面系统性地战略规划与布局、尤其是对世界科技强国在 2025 年发布的最新战略,学界尚缺乏系统性的梳理与引介。这种战略层面的研究缺位,可能导致我国在制定相关政策时缺乏精准的国际对标和针对性的战略设计。对美国、英国、欧盟、日本等经济体的战略动向进行系统性研究,不仅是应对全球科技竞争挑战的必然要求,更是我国发展新质生产力、实现高水平科技自立自强以及建设世界科技强国的必要战

略认知前提。

1 美国:确立“科学国家主义”动员体制

在中美大国博弈的地缘政治背景下,美国已将人工智能驱动的科学研究的从一般的科技资助范畴,升级为关乎国家安全与霸权护持的优先任务。早在拜登政府时期,美国便已着手系统布局,其科技顾问委员会于 2024 年 4 月发布的《为研究注入超强动力:利用人工智能应对全球挑战》(Supercharging Research: Harnessing Artificial Intelligence to Meet Global Challenges),确立了利用 AI 应对重大科学挑战的逻辑框架^[23]。2025 年下半年,随着特朗普政府相继发布《美国行动计划》并签署《创世纪任务》行政令,美国 AI4S 战略完成了从生态培育向国家动员的转变。这一新战略体系以“曼哈顿计划”为历史参照,构建了以能源部为核心执行中枢、以能源与算力复合体为物质基础、以排他性安全平台为载体的举国体制,意图通过物理控制科研生产资料,确立美国在 21 世纪关键技术领域的优势地位(见图 2)。

第一,确立能源部主导的动员体制。美国政府通过行政动员将分散的科研力量整合为国家战略力

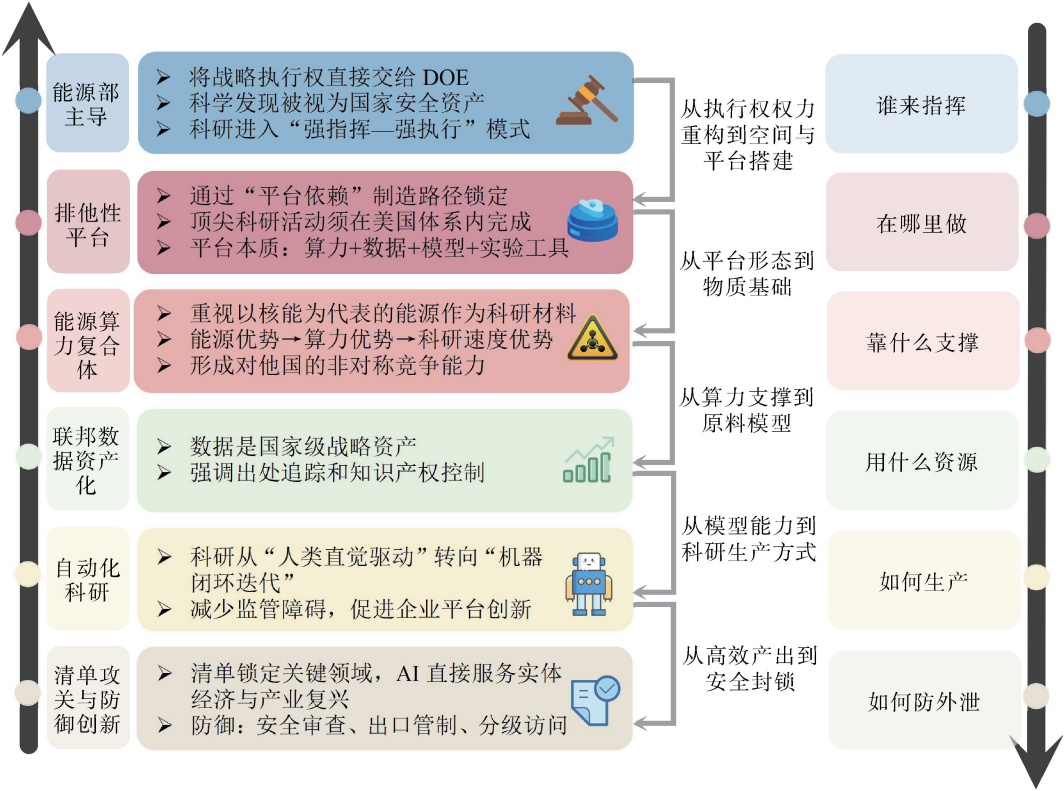


图2 美国“科学国家主义”动员体制图

Figure 2 Diagram of the American “scientific nationalism” mobilization system

量,能源部(DOE)^①由此被赋予了这场科学革命的
执行指挥权。《创世纪任务》在开篇即定调,当前的
科技竞争在紧迫性与目标上堪比二战时期的“曼哈
顿计划”,并指出要释放一个新的 AI 加速创新时
代。这一战略转型的核心逻辑在于执行权力的重
构:行政令依据宪法赋予总统的权力,改变了以往仅
由白宫科技政策办公室^②进行协调的传统,转而授
权能源部部长负责创世纪任务的实施与优先级设
定。这一制度安排是基于能源部下属的 17 个国家
实验室具备承载大规模 AI 科学计算的高性能超算
集群及高等级核能设施的现实考量。这种将科学发
现能力锚定为国家安全资产的治理结构,也标志着
美国 AI4S 进入了由联邦政府主导的强力指挥阶段。
第二,构建排他性美国科学与安全平台。构建

集权且排他的美国科学与安全平台,是美国试图控
制下一代科研生产资料、重塑全球科研版图的手段。
不同于以往松散的云资源共享构想,该平台被定义
为一个具有封闭性与安全性的算力、模型、数据与实
验工具的集成实体。其功能包括提供能够支持大规
模模型训练的安全云环境、部署能够探索设计空间
的 AI 智能体^③以及集成自动化的实验与生产工具。
行政令设定了具体的时间表,要求能源部在 90 天
内完成联邦计算与存储资源的摸底,并在 270 天内展
示平台的初步运行能力。这种基础设施的平台化与
集中化趋势,能够通过控制科研活动的底层操作系
统,使顶尖科研活动依赖于美国的数字生态,从而通
过路径依赖锁定技术优势。

① 能源部(Department of Energy, DOE)是美国联邦政府的一个内阁级别部门,其主要职能包括推动美国的核能安全与应用、能源政策制定、能源技术研发及管理国家核武器库。能源部下辖一套由国家实验室组成的网络,这些实验室拥有并运营着美国最先进的超算集群与高能物理设施,使其成为 AI 科学计算所需的算力与物理基础设施的主要承载者。

② 白宫科技政策办公室(White House Office of Science and Technology Policy, OSTP)是美国总统行政办公室所属部门,负责为总统提供科学、工程和技术方面的建议,并协调联邦政府的科技政策与预算。在传统上,OSTP 在科技事务中发挥协调者的作用,而《创世纪任务》直接授权能源部,则是对其传统协调模式的一种权力结构调整。

③ AI 智能体(AI Agent)指具备一定自主决策能力、可以感知环境、规划行动并执行任务的 AI 程序。在机器人实验室中,AI 智能体可以自主设计实验步骤、调整仪器参数、评估实验结果,并根据反馈进行闭环迭代,从而实现科研过程的加速自动化。

第三,锁定能源与算力复合体优势。美国战略关注到了 AI4S 发展的物质限制,将能源主导地位与算力优势进行绑定,构建了具有竞争力的能源与算力复合体^④。由于 AI 大模型训练与推理的电力需求激增,仅靠芯片积累已无法维持领先优势,《创世纪任务》将“确保能源主导地位”列入核心目标,并强调了核裂变与聚变能源的关键作用。这意味着美国计划利用其在核能技术与电网基础设施上的存量优势,为高能耗的 AI 数据中心与超算中心提供廉价、稳定且绿色的能源保障。相比于能源成本高昂的欧洲等经济体,美国试图将能源转化为算力竞争中的非对称优势,通过物理层面的资源保障,支撑其在 E 级 (Exascale)^⑤乃至更高量级科学计算上的运行能力。

第四,实施联邦数据资产化战略。在数据要素层面,美国通过实施数据资产化战略,将联邦政府积累的存量数据转化为了训练专用科学基础模型的关键要素。行政令要求能源部在 120 天内制定计划,对包括专有数据、联邦策展数据以及通过计算资源生成的合成数据^⑥进行数字化、标准化和溯源追踪,以解决科学 AI 面临的数据稀缺问题,并通过清洗和结构化处理大量的实验记录和观测数据,训练出能够理解物理定律、化学分子式与生物序列的垂直领域大模型。值得注意的是,战略强调了数据的出处追踪与知识产权保护,这表明美国正试图建立严格的数据产权与流通规则,以将由联邦数据衍生的智能模型掌握在可控范围内。

第五,部署机器人实验室与自动化设施。美国意图通过 AI 智能体与自动化机器人的融合,将科学研究从依赖人类直觉的传统人工模式,转化为大规模、高通量、可快速迭代的工业化流程。《创世纪任务》第 3 节要求部署 AI 建模与分析框架,其中包括能够自主探索设计空间、评估实验结果的 AI 智能体;同时要求在 240 天内审查并部署“机器人实验室”与自动化生产设施。这种新型科研实体能够将 AI 生成的假设直接传输给自动化实验设备进行验

证,并将结果实时反馈给模型进行闭环迭代,从而在材料筛选、药物合成等领域实现更快的研发速度。与此同时,《美国行动计划》侧重于减少监管障碍,为私营部门参与这一进程扫清道路。这种公共部门提供基础设施、私营部门利用平台创新的模式,实质上是利用 AI 技术对科研生产方式进行的一次再工业化改造。

第六,实施清单式攻关与防御性创新。为保持关键领域的代际领先,美国采取了清单式的精准攻关策略,并配套以防御性的地缘政治安全机制,以构建精准管控的科研生态。行政令要求能源部在 60 天内提交一份包含至少 20 项国家级科技挑战的详细清单,并优先锁定先进制造、生物技术、关键材料、核能、量子信息、半导体六大领域。这表明其 AI4S 战略具有实用主义导向,直接服务于实体经济复兴。与此同时,美国建立了一套防御性创新体系,在推动公私合作及国际合作时,强调安全审查标准、知识产权保护以及出口管制合规。特别是针对非联邦合作者访问平台资源,必须遵守严格的分类分级保护,以确保由 AI 加速产出的核心配方、模型权重及实验数据在国内实现商业转化的同时被限制向战略竞争对手外溢,在知识生产的源头构筑技术壁垒。

2 英国:实施“主权 AI”有限聚焦战略

面对中美两国在资源规模上的优势,英国政府于 2025 年 11 月发布的《英国战略》反映了英国在既有国际科技竞争结构中对自身发展路径的现实考量。早在 2024 年 5 月,英国皇家学会就发布了《人工智能时代的科学:人工智能如何改变科学研究的性质和方法》(Science in the Age of AI:How Artificial Intelligence is Changing the Nature and Method of Scientific Research)对科研范式转变进行了分析,为后续国家战略在重点领域的布局提供了背景参考^[24]。不同于美国的全领域霸权动员,英国战略采取了主

④ 能源与算力复合体指在 AI4S 时代能源供应能力与高性能计算基础设施之间形成的一种战略绑定关系。这种复合体强调将廉价、稳定、绿色的能源(如核能)视为与芯片算力同等重要的科研生产资料,美国也试图通过其在核能和电网上的存量优势,将能源优势转化为 AI 领域的非对称竞争优势。

⑤ E 级计算(Exascale Computing)指计算机系统能够达到每秒执行百亿亿次浮点运算的性能水平。这是当前超级计算领域的代际门槛。E 级计算机是支撑前沿科学(如气候建模、核聚变模拟、大规模材料设计)AI4S 应用的关键基础设施。

⑥ 合成数据(Synthetic Data)指非真实世界采集、通过计算模型或算法人工生成的数据。在 AI 科学领域,合成数据通常是通过高精度仿真模拟或现有真实数据进行扩展的方法生成,用于弥补真实实验数据稀缺、昂贵或难以获取的问题。它可以作为训练 AI 基础模型的关键补充,并具有天然的可追溯性。

权聚焦与敏捷治理相结合的路线。该战略承认无法在所有战线展开竞争,转而通过设立具体的国家任务、挖掘独特的暗数据资产及构建联邦化的算力网络,试图在工程生物学、材料科学等具有比较优势的领域建立非对称的“主权 AI”能力^⑦。

第一,确立“主权 AI”聚焦原则。《英国战略》承认不可能在每个领域都实现领先,这种战略现实主义促使英国将资源精准锁定在工程生物学、核聚变能源、材料科学、医疗研究和量子技术这五个科研积淀深厚且符合现代产业战略的领域。为此,英国设立了主权 AI 部门,在负责扶持如同构实验室(Isomorphic Labs)^⑧这类本土领军企业的同时,使英国拥有不依赖外部巨头的核心算力与垂直领域模型能力。战略将 1.37 亿英镑的专项资金导向这些优先领域,以通过集中投资在特定高地形成不可替代的生态位,避免陷入与超级大国的消耗战。

第二,确立工程化国家科学任务。英国借鉴了玛丽安娜·马祖卡托关于任务导向型创新^⑨的经济学思想,试图通过设定具体且具有时限的国家任务来拉动创新,以克服科研资源碎片化的弊端。战略发布的首个任务提出了量化指标:“到 2030 年,将药物开发周期压缩至 100 天,并开发出可用于临床试验的药物”。这一任务被定义为一种“平战结合”的

机制,即在和平时期建立的 AI 药物研发能力是为了给未来可能出现的“X 疾病”大流行提供快速反应手段^⑩。通过整合 UK Biobank^⑪、EMBL—EBI^⑫ 及新成立的健康数据研究服务,英国试图将生物安全战略与产业发展绑定,通过目标牵引,在短时间内集聚产学研力量实现重点突破。

第三,挖掘暗数据与阴性数据价值。在数据战略层面,英国不仅关注数据的生成,更提出挖掘暗数据^⑬与阴性数据^⑭的资产价值,这在各国战略中较为独特。战略第五项行动指出,科学界存在大量未发表的实验细节、失败的实验结果及非机器可读的遗留数据,训练鲁棒、无偏见的科学 AI 模型不仅需要成功的案例,更需要这些失败的结果以消除算法的阳性偏差。为此,UKRI^⑮ 将启动 3 至 5 个试点项目收集和利用这些通常被忽视的负面结果,并试图与制药公司等私营部门达成协议,建立机制以允许研究人员访问私有的阴性数据,通过提升数据的丰富性与完整性来提升 AI 模型的预测精度。

第四,组建联邦化算力网络^⑯。面对算力规模不及美国的劣势,英国采取了联邦化的存量整合路径。战略第八项行动提出利用 Jisc/JANET 国家科研网络^⑰,将分散在各高校、研究机构的闲置算力,

⑦ 主权 AI (Sovereign AI) 指一个国家在人工智能的关键组成部分上,拥有独立自主的掌控能力,而不必完全依赖于外国科技巨头或技术供应链,强调在特定优势领域,确保本土拥有不依赖外部的、完全可控的 AI 能力,以保护国家安全和经济利益。

⑧ 同构实验室(Isomorphic Labs)是一家由谷歌母公司 Alphabet 分拆成立的、专注于药物发现的 AI 公司,其目标是通过 AI 模型来预测和设计新的蛋白质、分子或药物结构。

⑨ 玛丽安娜·马祖卡托(Mariana Mazzucato)提出的“任务导向型创新”(Mission-Oriented Innovation)思想,强调政府应该设定大胆、具体且具有社会挑战性的“登月计划式”任务,以此来拉动跨部门的创新和投资。这种思想主张政府不仅是市场的监管者,更是积极的任务设定者和风险承担者。

⑩ X 疾病(Disease X)是世界卫生组织(WHO)用来代指“一种尚不存在但具有全球大流行潜力”的严重国际传染病的通用术语。

⑪ UK Biobank 是一个独特的、大规模的生物医学数据库。它收集了英国 50 万志愿者的详细健康和遗传信息,是全球研究疾病成因、预防和治疗的重要公共资源,对训练医疗健康领域的 AI 模型具有极高价值。

⑫ EMBL—EBI(欧洲生物信息学研究所,European Molecular Biology Laboratory - European Bioinformatics Institute)是欧洲分子生物学实验室的一个重要组成部分。该机构为全球科学界提供和维护着大量的生物分子数据库,包括蛋白质序列、核酸序列和基因组信息等,是生命科学领域基础数据的提供者。

⑬ 暗数据(Dark Data)指组织或机构在正常业务活动中收集、处理和存储,但从未被用于任何分析或洞察过程的海量数据。在科研领域,可能包括未分类的传感器读数、非结构化的实验笔记、老旧的存档文件等。

⑭ 阴性数据(Negative Data)特指实验结果与预期假设不符的“失败”数据或非显著性结果。与通常只发表成功案例(阳性数据)的传统不同,阴性数据对于训练 AI 模型至关重要,它可以教会模型哪些路径是无效的或导致失败的,从而减少模型中的“阳性偏差”,使预测更加鲁棒。

⑮ UKRI(UK Research and Innovation)是英国政府的科学和研究资助机构。它负责协调和分配政府对英国大学和研究机构的科研投入。在战略中,它被指定为实施数据收集和利用试点项目的执行者。

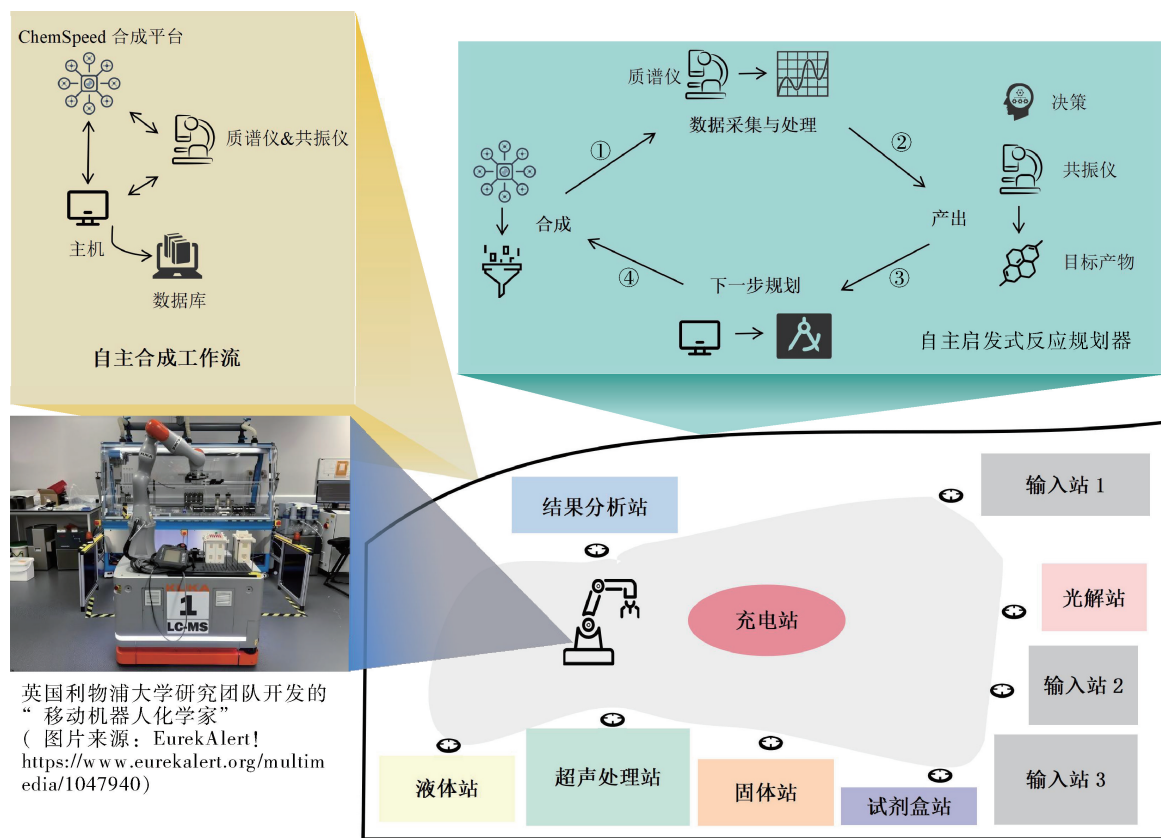
⑯ 联邦化算力网络(Federated Compute Network)是一种去中心化的计算资源组织模式。它通过软件和网络连接,将分散在不同地理位置、由不同机构(如大学、研究中心)拥有的异构计算资源(包括高性能计算机、GPU 集群)整合起来,形成一个统一、可透明调度的虚拟资源池,其目的是提高现有存量资源的利用效率。

⑰ Jisc 是英国的一个非营利性机构,为英国的教育和研究部门提供数字服务和技术支持。JANET 是 Jisc 运营的高速国家研究和教育网络,连接着英国所有大学、学院和研究机构,是支撑联邦化算力网络和数据传输的关键基础设施。

特别是 Tier 3 级别的计算资源^⑮,整合成统一的联邦网络。通过 AIRRport 平台,研究人员可以透明地调度分布在全国的异构算力资源。同时,英国计划在布里斯托的 BriCS 超算中心和爱丁堡的 EPCC 建立与算力共址的大规模数据存储设施,以解决数据传输瓶颈。这种联邦化算力策略,本质上是一种去中心化的资源动员机制,以通过软件定义的互操作性提高现有硬件资产的利用率,为中小规模的科研团队提供灵活的算力支持。

第五,推广自主实验室实体自动化^⑯。英国战略未停留在单纯的数字化预测应用上,而是将重点延伸至以“AI 代理和机器人”为代表的实体自动化

方向,推动科研流程在实验环节的进一步整合。战略参考了利物浦大学材料创新工厂的模式,该工厂部署的移动机器人化学家曾在 8 天内独立进行了 688 次实验,并在无人干预的情况下发现了一种新型催化剂(见图 3)。受此启发,战略第一项行动指示主权 AI 部门发布公开招标,支持在全国范围内复制和扩展自主实验室平台。英国判断,未来的科学竞争将从“谁算得快”转向“谁做得快”,通过构建物理与数字的闭环系统,可以将新材料和新药物的发现与验证周期从数年缩短至数周,从而在实体经济领域确立技术主权。



资料来源:基于 Burger 等^[25]与 Dai 等^[26]两文自制。

图 3 英国利物浦大学“自主实验室”平台及自主实验功能图示

Figure 3 Diagram of The University of Liverpool's "Autonomous Laboratory" platform and autonomous experimentation capabilities

^⑮ Tier 3 通常指由地方性大学或中小型研究机构所拥有的、规模适中但数量众多的计算设施。这些资源虽然单个规模不大,但通过联邦化网络整合后,可以为特定科研任务提供重要的补充算力。

^⑯ 自主实验室(Autonomous Laboratories)指结合了 AI 智能体和自动化实验机器人(硬件)的科研设施。AI 智能体负责生成科学假设、设计实验步骤,然后通过机器人系统自动执行实验、收集数据,并将结果反馈给 AI 进行优化,从而形成“假设—实验—分析”的物理闭环迭代,实现科研流程的工业化与加速。

第六,建立技术人才通道与社区评测。英国战略重视科研技术专业人员的作用,并致力于建立一套社区驱动的评价体系。战略第十三项行动指出, AI4S 的瓶颈在于缺乏研究软件工程师、数据管家和高性能计算专家等能够连接领域知识与 AI 工程的中间人。因此,英国计划同技术技能与战略研究所合作,建立专门的职业晋升通道来留住关键技术人才。同时,战略第十四项行动提出效仿结构生物学领域的 CASP 竞赛^②,支持建立 CASP 式的社区基准测试,通过设定公认的“科学奥林匹克”标准,引导全球算法团队针对英国关注的科学难题进行攻关,以较低的成本利用全球智力资源。

3 欧盟:构建泛欧整合下的技术主权

面对中美两国的竞争挤压,以及自身算力份额不足全球 5% 的相对劣势,欧盟委员会于 2025 年连续发布《欧盟基建报告》与《欧盟战略》,确立了一条平衡技术主权^③与开放合作的中间路线。欧盟的战略结论是,任何单一成员国都无法独立承担 AI4S 的资源门槛,必须通过统一的泛欧行动^④,利用其在基础研究、开放科学规范及实验室自动化产业上的优势,克服内部碎片化风险,重塑全球领导地位。

第一,建立泛欧协同机制。欧盟战略的出发点在于扭转出版物领先但基础设施落后的错位局面,并回应《欧洲经济安全战略》中关于研究安全的关切^⑤。尽管欧洲拥有 AlphaFold 背后的数据支撑(例

如 EMBL—EBI) 及 COSMIC—DANCE^⑥ 等利用机器学习发现 70 多颗流浪行星的科研成果,但宏观数据显示自 2017 年起其 AI4S 出版物领先地位已被中、美超越。面对全球 AI 专用算力不足 5% 的现状,欧洲科研界面临人才与资金外流压力的同时,在对少数技术供应商的依赖程度较高。欧盟为此制定了超越成员国界限的统一战略,通过集体行动打破数字鸿沟,使欧洲科学家能够依托本土公共基础设施开展前沿研究,兼顾学术自由与技术主权的维护。

第二,启动 RAISE 资源整合旗舰计划。为克服资源碎片化,欧盟推出了战略核心支柱“欧洲科学人工智能资源”(RAISE) 旗舰计划(见图 4)。RAISE 被设计为一个虚拟欧洲研究所,初期将在“地平线欧洲”2026—2027 工作计划下获得 1.08 亿欧元试点资金支持。其运作依赖于两大支柱:“主题卓越网络”聚焦于将材料、生物等特定领域的实验室通过“欧洲材料共享平台”等共享数据平台进行联合^⑦;“欧洲前沿 AI 实验室网络”则致力于开发符合欧洲价值观的下一代 AI 系统。在治理上,RAISE 建立了一个包含高级学术咨询委员会、秘书处、以及与《AI 法案》^⑧监管机构联动的四层架构,以成为协调全欧算力、数据与人才配置的核心协调中枢,并通过地平线欧洲下一个多年度财政框架确立长期地位^⑨。

第三,建设算力与数据一体化设施。欧盟致力于打破算力与数据的孤岛,构建一体化的主权科研底座(见图 5)。在算力端,依托自 2018 年启动、预

② CASP 是一项全球性、盲测、社区驱动的蛋白质结构预测基准测试。它的目的是公正严格地评估各种计算方法(包括 AI 算法)预测蛋白质三维结构的准确性。该竞赛通过要求参赛者在实验结构尚未公开时进行预测,提供了一个客观的科学标尺。CASP 竞赛不仅是全球蛋白质科学和计算生物学的年度盛事,也是衡量领域技术代际突破的关键舞台,例如,Google DeepMind 的 AlphaFold 系统正是在 CASP14(2020 年)竞赛中,以达到接近实验水平的预测精度,被公认为解决了困扰生物学界五十年的“蛋白质折叠问题”。

③ 技术主权指一个国家或地区(如欧盟)拥有对关键技术(特别是数字技术,如 AI、云计算、半导体)的选择、设计、部署和掌控的能力。

④ 泛欧行动是指超越单一欧盟成员国边界,在整个欧洲层面推进资源、政策、基础设施与科研力量统一协调与部署的行动。

⑤ 欧洲经济安全战略(European Economic Security Strategy)是欧盟委员会在地缘政治竞争加剧的背景下提出的一项高层战略文件。其目标是识别并降低欧盟在经济上的安全风险,特别是那些由依赖或技术外泄所带来的风险。

⑥ COSMIC—DANCE 是一个由欧洲科研机构主导的科学项目,利用机器学习和人工智能技术,对天文观测数据进行分析,以发现新的宇宙目标或现象,例如“流浪行星”(不围绕任何恒星运行的行星)被用作欧洲基础研究和 AI 应用能力领先的例证。

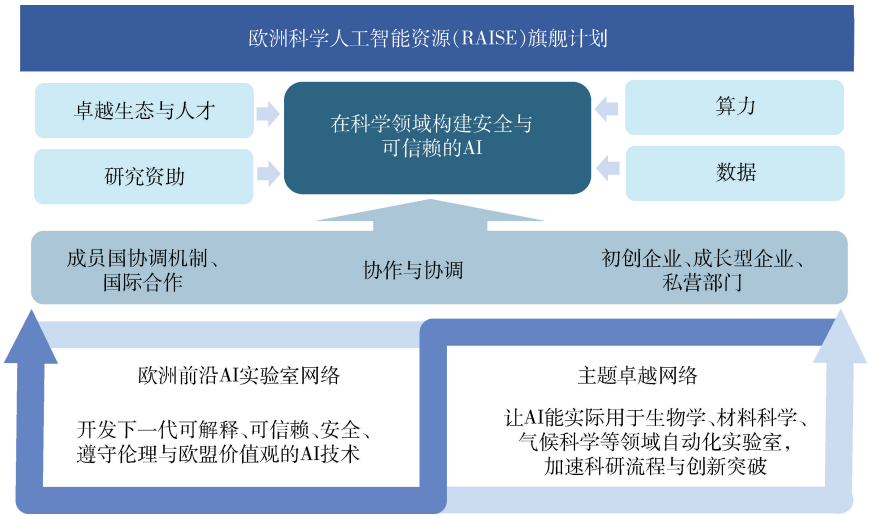
⑦ 主题卓越网络(Thematic Networks of Excellence)是欧盟科研项目组织的一种形式,旨在将分散在不同成员国的、在特定科学主题上具有领先地位的研究团队、实验室或机构联合起来。这些网络通过共享知识、资源和数据,专注于解决某一复杂且跨学科的科学挑战,是打破欧盟内部科研碎片化的重要机制。欧洲材料共享平台(European Materials Sharing Platform)则是一个虚拟的数据和信息共享基础设施,用于整合欧洲各地关于新材料发现、合成和测试的实验数据、计算模型和知识,旨在克服材料科学数据的碎片化问题,为 AI 模型提供统一、高质量的数据集,加速新材料的研发。

⑧ AI 法案(AI Act)是欧盟提出并已通过、世界上首部全面监管人工智能的法律框架。该法案采取基于风险的方法,对不同风险等级的 AI 系统实施不同的监管要求。它旨在确保在欧盟部署和使用的 AI 系统是安全、透明、可信的,并与欧盟的价值观相符。

⑨ 地平线欧洲(Horizon Europe)是欧盟最大的、横跨多年度的科研与创新资助框架计划。它的预算高达数百亿欧元,旨在支持欧盟范围内各个领域的科研项目、基础设施建设和人才培养。

算达 70 亿欧元的“欧洲高性能计算联合事业”(EuroHPC JU)^②, 欧盟正从建设区域性的 AI 工厂向 AI 千兆工厂^③升级, 并已新增“AI 科学与欧盟合作项目”通道, 为 RAISE 试点项目提供无需额外评估的优先访问权。在数据端, 战略提出在 AI 工厂内部设

立数据实验室, 作为服务枢纽与“欧洲开放科学云”(EOSC)^④及“欧洲健康数据空间”^⑤进行联邦化互联。这种计算就近、数据联邦的架构, 旨在解决从原始数据到 AI 就绪数据的清洗与标准化难题, 构建一个独立于美国巨头之外的开放科学生态。



资源来源: 参考《欧盟战略》, 结合文件内容自制。

图 4 欧洲科学人工智能 (RAISE) 旗舰计划图

Figure 4 European scientific Artificial Intelligence (RAISE) flagship program diagram

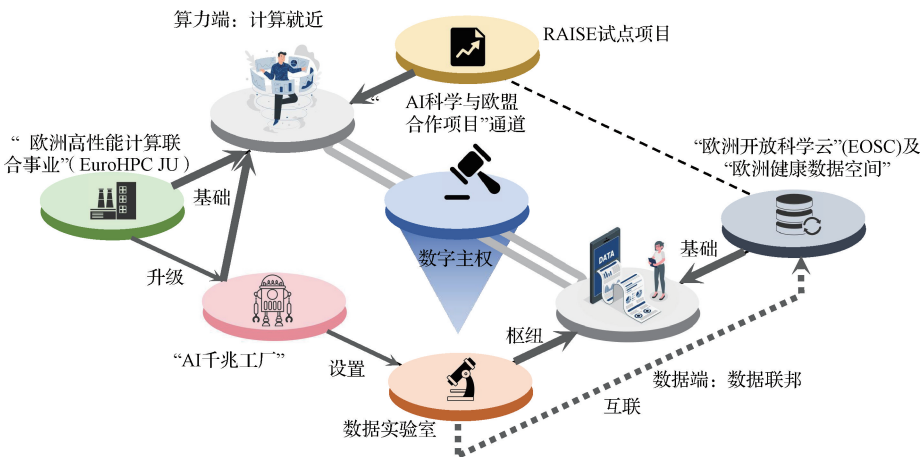


图 5 欧盟数据与算力一体化建设图

Figure 5 EU data and computing integration construction diagram

② 欧洲高性能计算联合事业 (European High - Performance Computing Joint Undertaking) 是由欧盟、欧洲成员国和私营部门共同发起的一项公私合营 (PPP) 计划, 旨在开发和部署一个世界级的欧洲超级计算生态系统。其核心任务是资助、建设和运营欧洲的 AI 工厂和千兆工厂等高性能计算设施, 为欧洲的科研人员 and 工业界提供战略性的算力资源, 以确保欧洲的数字主权。

③ AI 千兆工厂 (AI Giga - factory) 是 EuroHPC JU 计划下一代基础设施的概念。它比传统的超算中心 (AI 工厂) 更进一步, 不仅提供巨大的计算能力, 还整合了自动化实验技术、大规模数据处理和 AI 建模能力。它代表着一种算力、数据、自动化实验一体化的主权科研底座。

④ 欧洲开放科学云 (European Open Science Cloud) 是一个欧盟委员会倡议的泛欧科研基础设施, 旨在为全欧洲的科研人员提供一个统一的、联邦化的网关, 用于存储、共享、访问和复用跨学科的研究数据和服务。EOSC 是欧盟实现开放科学愿景和构建联邦化数据基础设施的核心支柱, 其目标是使科研数据遵循 FAIR 原则 (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable)。

⑤ 欧洲健康数据空间 (European Health Data Space) 是欧盟的一项大型倡议, 旨在创建一个统一的、安全且可信的泛欧医疗数据交换和使用环境。它致力于确保医疗健康数据的互操作性, 支持医疗保健、科学研究以及公共卫生决策, 是训练医疗 AI 模型的关键数据资产。

第四,确立“可信 AI”人才培育标准。面对人才短缺,欧盟试图通过强调负责任创新来建立差异化的人才竞争优势。战略提出通过“玛丽·居里行动”^②资助 RAISE 博士生网络,并更新欧洲研究人员能力框架,正式将 AI 能力纳入科研人员的核心技能。此外,欧盟将“可信 AI”确立为核心价值观,通过定期更新《研究中负责任使用生成式 AI 的指南》确保科研活动符合伦理标准。同时,《AI 法案》为纯科研活动提供了监管沙盒式的豁免^③,试图在监管与学术自由之间保留弹性空间,打造一个以人为本的 AI 科研阵地。

第五,聚焦“AI 科学家”自动化项目。欧盟战略采取了工具与场景的双重聚焦策略,试图将自动化优势转化为产业竞争力。在工具层面,欧盟计划效仿 AI 界的 CERN 模式,启动关于“AI 科学家”计划,即自驱动实验室的泛欧旗舰计划,利用欧洲在 Tecan、Zeiss、Leica^④ 等实验室自动化设备领域的产业存量优势,通过公共采购标准推动科研流程的无人化。在场景层面,战略选取先进材料与生物技术作为突破口,计划于 2026 年提出《先进材料法案》以赋能 5 万亿欧元的材料市场,并随即提出《生物技术法案》以应对 650 亿欧元的生物技术产业需求,利用 AI 缩短优势产业的研发周期并管控双重用途技术的扩散风险^⑤。

第六,构建多层次协作与资金网络。在资金层面,基于 2021–2024 年地平线欧洲已投入 64 亿欧元、2025 年追加 16 亿欧元(其中 7 亿用于 AI4S)的基础,欧盟承诺在 2028 年前将地平线欧洲的年度 AI 投资翻一番。在协作层面,欧盟构建了三层网络:利用 AI 科学峰会和欧洲创新理事会超过 1.5 亿

欧元的年度投资吸纳私营部门技术;通过欧洲研究区治理框架对齐成员国政策;在 G7、OECD、UNESCO 等国际平台推广其负责任的 AI 价值观。这种内合外联的机制,主要通过规则制定来弥补硬实力不足,从而保持欧洲在全球创新网络中的相对位置。

4 日本:实施理论驱动的系统架构

面对科研论文全球排名逐渐下滑,且 AI 论文总量处于劣势的现实,日本政府于 2025 年 10 月发布了《日本基本思路》,不同于美国的资源动员模式,日本通过构建“支援型—自律型”双轨演进框架与“三重循环”变革模型,将有限的国家资源投向化学、材料等基于数据验证的优势领域,并试图通过确立实验室自动化标准等软基建,在物理与数字的接口处建立非对称竞争优势。其中,2026 财务预算已达 355 亿日元。

第一,确立对 AI4S 的两种理解^⑥。日本战略试图将 AI 在科学中的角色划分为“支援型”与“自律型”两条平行演进轨道(见图 6)。“支援型”将 AI 定义为增强人类能力的工具,通过自动化文献综述、数据清洗及辅助写作等缓解科研人员的低价值劳动束缚。相比之下,“自律型”则代表了范式的跃迁,将 AI 视为独立研究主体。文部科学省^⑦为后者规划了演进路线图:第一阶段是人类主导、AI 执行的自动化研究;第二阶段是以理化学研究所^⑧为试点的半自动研究,实现人机协同的假设生成;最终阶段是 AI 能够自主探索未知领域、归纳新物理定律的完全自动研究。

^② 玛丽·居里行动(Marie Skłodowska-Curie Actions)是地平线欧洲框架下的一个核心组成部分,专门用于支持和资助科研人员的职业发展和跨国流动。它为博士生、博士后和经验丰富的研究人员提供资助,是欧盟培养和吸引顶尖科研人才的重要工具。

^③ 监管沙盒(Regulatory Sandbox)是一种创新监管机制,允许企业或研究机构在一个受限制的、受监督的真实环境中,测试新的产品、技术或商业模式,而可以暂时豁免于全部或部分常规法律或监管要求。欧盟为纯科研活动提供“监管沙盒”式的豁免,旨在在不牺牲创新速度的前提下,确保 AI 研究符合伦理标准。

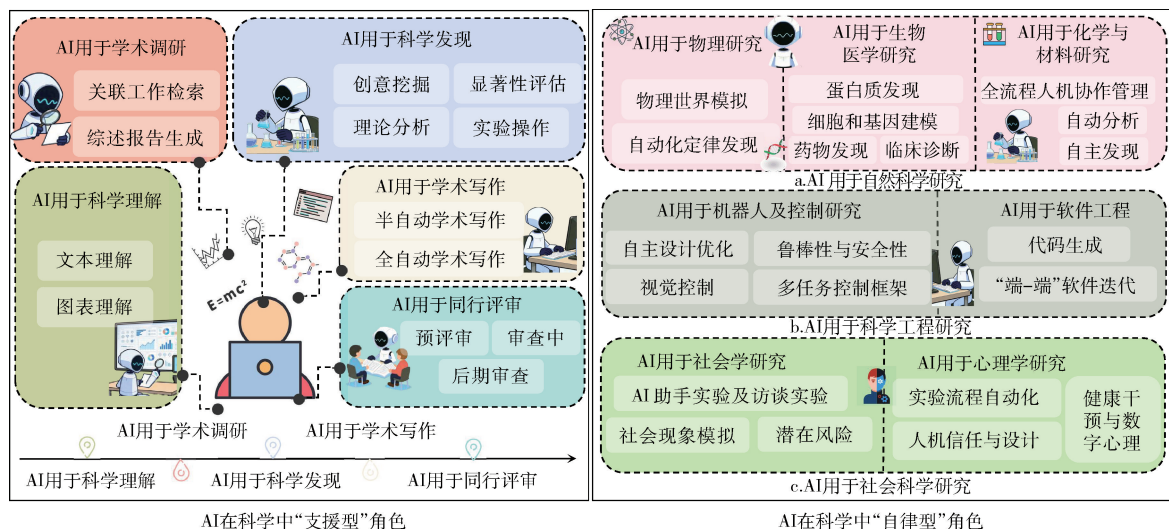
^④ Tecan、Zeiss、Leica 是在实验室自动化设备、光学仪器和显微镜领域具有全球领先地位的欧洲公司。

^⑤ 双重用途技术(Dual-Use Technology)指既可以用于民用目的,也可用于军事或安全用途的技术或产品。

^⑥ AI4S 在当下成为一个热议的理论与实践话题。但是,在当前政策文本和学术探讨中,AI4S 这一概念的内涵常常显得模糊不清。在有的学者那里,AI4S 应该是基于科学模型的探索,例如 AlphaFold;而在另一些学者那里,AI4S 几乎等同于“生成式 AI 赋能科研”。基于当前实践观察,AI4S 的内涵的确呈现出两条在性质、目标与实践形态上存在显著差异,但又深度互补的并行路径。日本战略里明确提出这两种理解方式的划分,并且将其作为 AI4S 发展的并行轨道,是有借鉴意义的。

^⑦ 文部科学省(Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT)是日本负责教育、文化、体育、科学技术和学术研究的政府部门。它在国家科研战略中扮演规划、指导和资助的核心角色,特别是对基础科学和高层次人才培养的投入。

^⑧ 理化学研究所(RIKEN)是日本最大的综合性科学研究机构,也是日本科技政策中的重要执行机构。RIKEN 拥有多个顶尖研究中心(包括 AIP 中心和超算设施),在生命科学、物理学、工程学等领域具有世界级水平。



资料来源:翻译自《AI for Science:概念与方向性》^[27]。

图6 日本战略对AI4S的两种理解

Figure 6 Two interpretations of Japan's strategy regarding AI4S

第二,构建“三重循环”变革模型。与美英战略侧重资源投放不同,日本提出了“三重循环”模型来解析AI重塑科学的社会机理(见图7),并以此对应其旗舰项目的“四大支柱”执行体系^[28]。内循环聚焦微观实验过程的加速,利用AI将假说、实验、知识的迭代周期从数月压缩至数天;中循环则聚焦于中观科研范式的革新,通过NII RDC^⑤等共享数据平台打破实验室孤岛,建立跨学科的协作网络;外循环则关注宏观社会系统的重塑,探讨AI如何改变科研评估体系、资助模式乃至科学发现的社会定义。这一模型为“AI驱动的下一代研究开发”项目提供了理论支撑,以使政策干预能覆盖从微观实验操作到宏观制度设计的各个层面。

第三,锁定优势领域实施非对称竞争。日本采

取基于实证数据的非对称竞争策略,避免在自身短板领域与中美进行算力消耗战。日本科学技术振兴机构^⑥通过引入特定领域AI论文相对规模的科学计量指标,减少了国家科研体量差异的影响,以识别出日本的比较优势。数据分析显示,尽管日本在计算机科学领域的AI论文产出不足,但在化学与材料、生命科学与医学等领域位居世界前列,且Top10%高被引论文占比高,特别是iPS细胞相关研究^⑦。基于此,日本战略将资源集中投向这些优势领域,利用高质量的实验数据训练专用基础模型,例如TRIP-AGIS项目^⑧中的生成式AI,在材料基因组、新药靶点发现等垂直赛道上形成竞争优势^[29]。

第四,制定LADS标准与基础设施。在基础设施布局上,日本试图在硬算力与软标准两端同时发

^⑤ NII RDC(National Institute of Informatics Research Data Cloud)是日本国立信息学研究所(NII)运营的科研数据共享平台。它是一个云基础设施,旨在提供统一的数据存储、管理和共享服务,帮助研究人员打破数据孤岛。在三重循环模型中,它扮演了实现“中循环”的基础设施角色。

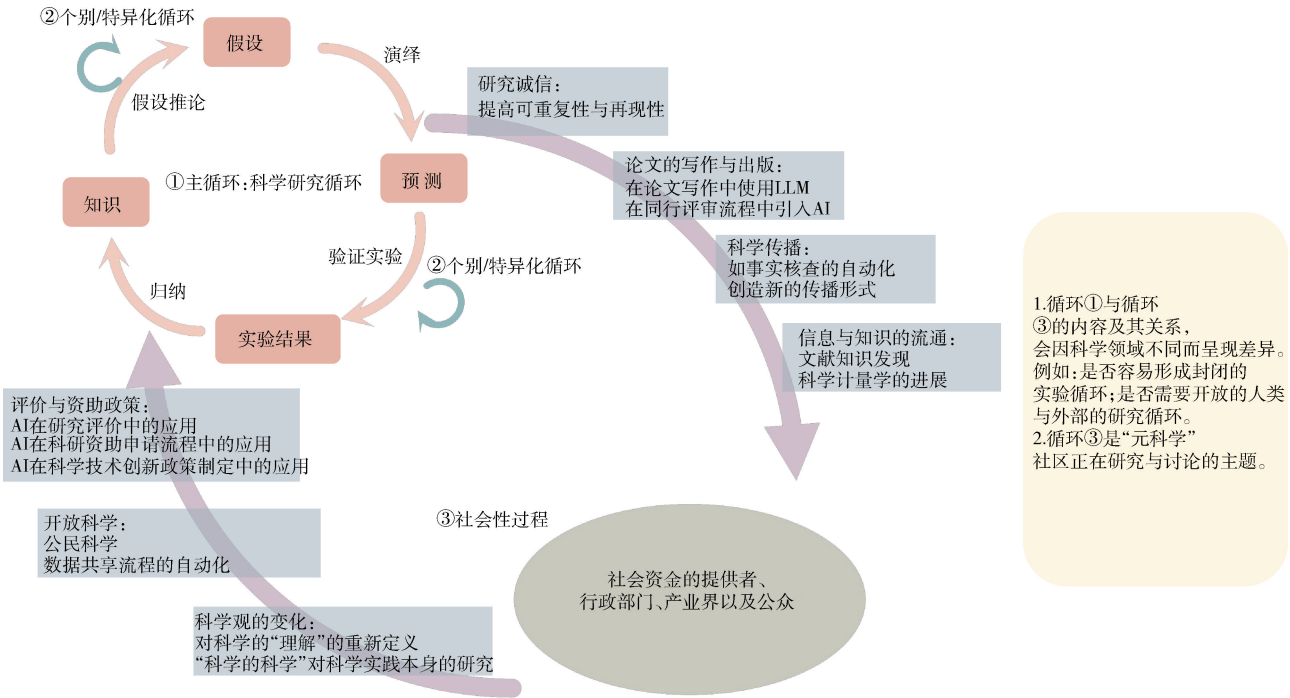
^⑥ 日本科学技术振兴机构(Japan Science and Technology Agency, JST)是日本一个重要的国家级科研资助和推广机构。JST的职责包括支持基础研究、促进技术转移和人才培养。

^⑦ iPS细胞(Induced Pluripotent Stem Cells)即诱导多能干细胞,是一种通过对体细胞进行基因重编程而获得的、具有分化为几乎所有细胞类型能力的细胞。iPS细胞技术是日本科学家(山中伸弥)的重大科学发现,也是日本在生命科学和再生医学领域的核心优势和高质量论文的重要来源。

^⑧ TRIP-AGIS是由日本理化学研究所主导的、旨在实现“AI科学家”的旗舰科研项目,其核心战略是将生成式AI技术(Generative AI)引入基础科学。该项目通过建立“支援型—自律型”双轨演进框架,在生命医科学和材料物性科学等优势领域,集中资源开发能够理解物理、化学和生物序列的垂直领域科学基盘模型。项目关键在于将AI模型与自动化实验机器人(自主实验室)和高性能计算(如“富岳”超算后继机)紧密结合,通过Active Learning(能动学习)实现“假说—实验—知识”迭代的物理闭环和加速,从而在保持理论驱动和系统架构优势的同时,快速将基础科学发现转化为社会效益。

力。在硬算力层面,日本坚持发展自主可控的计算架构,除继续运营“富岳”超级计算机外,已正式启动后继机富岳 NEXT 的研发^⑬,计划于 2030 年左右投入使用以支撑 E 级科学计算需求。在软标准层面,针对目前实验室设备接口不统一、数据难互通的痛

点,日本大力推动“实验室与分析设备标准”(LADS)的制定与推广^⑭,以打通不同厂商的实验仪器与数据系统,实现数据的自动化采集与互操作。日本试图通过这一软基建,将全球科研设备纳入其定义的协议标准中,从而掌握科研工业互联网的底层规则。



资料来源：翻译自《AI for Science:概念与方向性》。

图 7 AI for science 的“三重循环”模型图

Figure 7 The “triple loop” model diagram of AI for science

第五,部署实体化自主实验网络。日本战略重视将 AI 落地为物理世界的生产力,推动实体化的自主实验网络建设。文部科学省通过“先端研究基盘刷新事业”^⑮和“大规模集积研究系统形成先导项目”,在全国范围内部署整合机器人技术、物联网与云端控制的共享实验室网络,以通过云端指令与实体执行的模式,将科学研究转化为标准化、可远程调用的工业化流水线。这不仅解决了日本老龄化背景下科研人力短缺的结构性难题,也为实现“自律型”研究提供了必要的物理载体和数据燃料。

第六,实施基于认识论反思的治理。日本在积

极拥抱技术加速主义的同时,依然保持了深层的哲学审视与人文关怀。其战略文件将哲学反思置于核心,直面“科学是什么?”“机器理解是否等同于人类理解?”等根本问题。对于生成式 AI 可能产生的幻觉、偏见,日本并未简单依赖监管,而是设立专门研究据点以提升 AI 的透明与可解释性。其 2024 年 6 月实施的《人工智能关联技术研究开发及活用推进相关法律》(人工知能関連技術の研究開発及び活用の推進に関する法律)也强调平衡创新与风险,并警惕技术鸿沟可能加剧学术不平等的风险。这种

⑬ 富岳 (Fugaku) 超级计算机是日本理化学研究所 (RIKEN) 运营的、曾经长期位居世界第一的超级计算机。它代表了日本在高性能计算领域的硬算力存量和自主研发能力。富岳 NEXT 则是其规划中的后继机型,目标是满足未来的 E 级 (Exascale) 科学计算需求。

⑭ 实验室与分析设备标准 (Laboratory and Analytical Device Standard) 是一项旨在实现实验室自动化设备和数据系统之间互操作性的开放标准 (如 SILA 2)。日本战略中对 LADS 的重视,是希望通过统一这一软基建标准,打通不同厂商设备间的数据和流程壁垒,为构建自动化、自律化的 AI 科学家平台 (即“自律型”研究) 奠定数据和流程的互操作基础。

⑮ 先端研究基盘刷新事业 (Advanced Research Infrastructure Renewal Project) 是日本文部科学省推动的一项政府事业,旨在投资并更新全国范围内的科研基础设施,特别是那些能够整合机器人技术、物联网和云端控制的共享实验室。

将技术治理提升至哲学与认识论高度的视角,也体现了日本在推动科学自动化的同时坚守人类在知识创造中主体地位的考量。

5 美英欧日 AI4S 战略的比较分析

美、英、欧、日四大经济体的 AI4S 战略,本质上

是其国家意志、地缘政治诉求与资源禀赋在科学智能时代的投射。通过多维度的比较分析,可以识别出全球科技竞争正在从单一的技术比拼演变为关于科研范式、基础设施形态与治理哲学的系统性博弈^[30]。受制于国家实力与政治体制的差异,四方选择了不同的战略突围路径(见表1)。

表 1 美英欧日 AI4S 战略逻辑比较
Table 1 A comparative analysis of the AI4S strategic logic of the US, UK, EU, and Japan

维度	美国	英国	欧盟	日本
战略原型	霸权动员型	敏捷突围型	整合规范型	系统架构型
核心逻辑	科学国家主义	主权聚焦与敏捷治理	泛欧整合与技术主权	理论驱动与标准引领
执行中枢	能源部(DOE)	主权 AI 部门	RAISE 计划	文部科学省
基建形态	垄断性安全平台	联邦化算力网络	跨境一体化阶梯	软硬标准结合体
数据策略	联邦数据清洗与合成	暗数据与阴性数据挖掘	数据空间联邦互联	互操作性标准
风险重心	地缘安全	生物安全	基本权利与伦理	主体性

美国以能源与算力复合体为基础,实施带有排他性与防御性的霸权式动员,通过安全审查与出口管制构建科研生产资料的物理与制度壁垒;英国作为中等强国,采取敏捷治理的非对称突围策略,以任务导向和暗数据等边缘资产挖掘为抓手,聚焦工程生物学等垂直领域;欧盟则通过 RAISE 计划推进泛欧整合,以规范性治理和可信 AI 规则输出弥补硬实力不足,积极构建制度性技术主权;日本强调理论先行与标准引领,通过双轨制、“三重循环”等争夺科研工业互联网的底层互操作性规则。尽管地缘政治立场各异,但各方在对 AI 重塑科学范式的认知上展现出一致性,共同指向了科研生产关系的变革。

第一,围绕实验与执行环节的自动化逐渐成为各经济体关注的方向。无论是美国《创世纪任务》中的机器人实验室,英国推广的利物浦材料创新工厂,欧盟 RAISE 计划下的“AI 科学家”项目,还是日本构建的自主实验网络,其核心逻辑相似。各方均致力于打破数字预测与实体验证的隔阂,利用 AI 智能体与自动化机器人的闭环系统,将科学发现的物理过程标准化、无人化和高通量化。这标志着全球科学竞争的焦点已从单纯的算力预测,转向物理世界的实验验证效率上。

第二,各经济体从强调开放共享转向更加重视数据的战略属性。各国战略均承认,单纯依赖公开发出版物已无法训练高性能的科学基础模型,必须通

过国家干预解决数据匮乏问题。美国授权能源部清洗联邦数据并实施出处追踪;英国独辟蹊径挖掘暗数据与阴性数据;欧盟在 AI 工厂内设立数据实验室链接 EOSC;日本则建立 NII RDC 并强推 LADS 标准。这些举措表明,科学数据治理已从过去的开放科学理想主义,转向了强调主权控制与资产增值的实用主义。

第三,自主掌控关键基础设施成为各经济体在相关战略中的重要考虑。面对科技巨头的垄断,各国政府不再甘于充当单纯的客户,而是亲自下场成为基础设施的构建者。美国建立统一的安全平台,英国构建联邦化算力,欧盟建设 AI 千兆工厂,日本研发自主架构的富岳 NEXT。这种去依赖化的趋势,反映了各经济体确保本国科研人员拥有不被外部切断的算力与模型访问权的战略焦虑。

第四,制度与文化背景的差异影响各经济体的战略关注重点。美国的风险观政治化,主要关注地缘政治对手的渗透与技术窃取,因此其治理手段倾向于准军事化的安保措施。英国的风险观具有实用主义色彩,将生物安全风险视为产业发展的驱动力,强调平战结合。欧盟的风险观侧重于权利保护,关注算法偏见与科研伦理,试图构建以人为本的信任生态。日本的风险观则上升到了哲学高度,关注 AI 作为异质研究主体对人类知识论的冲击,强调在推动自动化的同时保留人类的主体性。

6 对我国“十五五”期间 AI4S 发展的战略启示

“十四五”期间,我国 AI4S 发展已完成从专项部署到行动方案的初步布局。2023 年,“人工智能驱动的科学”专项部署启动,国家自然科学基金委员会与科技部将其列为核心研究与创新方向^[31]。2025 年 8 月,国务院发布《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》,将“人工智能+”科学技术列为六大重点行动之首^[32]。在地方层面,北京市于 2025 年 7 月发布《北京市加快人工智能赋能科学研究高质量发展行动计划(2025—2027 年)》,提出到 2027 年建成科学基础大模型、建设高质量科学数据库、并在多个关键领域形成标杆应用案例^[33]。

站在新的历史起点,深入学习贯彻落实党的二十届四中全会精神,亟需在“十五五”时期将 AI4S 提升至引领新质生产力发展的核心地位。通过系统梳理美、欧、英、日等主要经济体的战略动向,可以得出我国“十五五”期间 AI4S 发展的若干战略启示,这不仅关乎国家科研体系的顶层设计与创新生态构建,更决定了我国在全球科技治理新格局中的战略定位。

第一,构建集算力、能源与科研网络于一体的实体化指挥中枢。面对美国依托能源部建立的“科学国家主义”动员体制,我国必须充分发挥新型举国体制的制度优势,统筹算力网、能源网与科研网的顶层设计。这要求我们适度超前建设新型基础设施,不能仅将“东数西算”停留在商业调度层面,而应将其升级为国家级科研底座,构建全国一体化算力网。鉴于科学智能对能耗的巨大需求,必须同步建设清洁低碳安全高效的新型能源体系,优先在能源富集地区部署国家级 AI 科学计算基地,确保能源供给与算力扩容的深度融合,从而在物理底层掌握不被外部切断的战略控制权。

第二,实现自动化实验平台与接口标准的自主可控。未来的科学竞争正从单纯的数字预测转向物理世界的实验验证,谁能率先实现物理实验的无人化与标准化,谁就能主导下一代科研范式。我国应警惕西方国家通过控制实验室自动化标准与高端仪器接口来锁定全球科研生态的风险,必须下大力气攻克科研仪器领域的关键核心技术,解决“卡脖子”问题。应由国家级计量机构牵头,联合头部企业制

定自主的 AI 就绪设备协议,构建软硬一体的自主科研生产线,确保国产智能体能够无缝指挥国产机器人与分析设备,从物理执行端夯实高水平科技自立自强的根基。

第三,通过制度创新系统性供给高质量数据。训练高性能的科学基础模型不能仅依赖公开文献,必须激活沉睡在实验室硬盘中的大量过程数据与阴性数据。我国应依托全国一体化数据市场的建设契机,深化数据要素市场化配置改革,建立国家级科学数据资产化机制。通过制定标准将包括失败实验记录在内的高质量数据转化为机器可读的标准化数据集,能够有效修正算法偏差并提升模型鲁棒性,从而在数据维度上形成区别于西方私有化数据孤岛的非对称竞争优势。

第四,推行面向国家重大科技任务的有组织科研。针对科学智能跨学科、高投入的特征,我国应摒弃传统宽泛的课题资助模式,转而强化有组织科研,设立目标明确、时限严格的国家重大科技任务。应借鉴“100 天研发新药”等国际先进经验,设定若干极具挑战性的工程化指标,通过揭榜挂帅机制集结跨学科攻关团队,在实战中打磨科学大模型。这种以明确结果为导向的工程化思维,旨在倒逼科研范式变革,有效防止科研活动陷入“为了用 AI 而用 AI”变“人工智能+”为“+ 人工智能”的形式主义误区,确保人工智能真正成为解决科学难题的利器^[34]。

第五,抢占优势垂直领域的科技发展制高点。面对外部在通用大模型领域的先发优势,我国不应在所有战线进行对称性的资源消耗,而应集中资源抢占先进材料、生物制造、脑机接口、氢能和核聚变能、量子科技及集成电路等关键领域的科技发展制高点。通过组建创新联合体,促进科技创新与产业创新深度融合,将垂直领域的科学模型能力快速转化为实体经济的生产效能。这种在特定高地形成不可替代技术生态位的策略,是培育新质生产力的必然要求,也是构建相互依赖的国际技术格局的有力手段。

第六,构建教育科技人才一体发展的开放创新生态。AI4S 的竞争归根结底是人才与生态的竞争,必须坚持教育科技人才一体发展,将“AI4S 胜任力”纳入科研人员评价与培养的核心指标,重点培养能够贯通科学与工程的战略科学家^[35]。在治理层面,应统筹发展与安全,完善人工智能治理体系,强化科技伦理审查,重点防范国家安全与生物安全风险。

在国际合作上,应以主动姿态重构全球版图,向全球南方国家输出科学模型能力与自动化实验方案,致力于构建人类命运共同体,推动建立以中国标准和平台为核心的全球科研协作新生态^{[36][37]}。

参考文献:

- [1] 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/202510/content_7046050.htm. 2025-10-28/2025-11-07.
- [2] European Union. Infrastructures for AI in Science: Mutual learning exercise on national policies for AI in science[EB/OL]. <https://euagenda.eu/publications/download/622781>. 2025-02/2025-10-02.
- [3] The White House. White House Unveils America's AI Action Plan[EB/OL]. <https://www.whitehouse.gov/articles/2025/07/white-house-unveils-americas-ai-action-plan/>. 2025-07-23/2025-09-02.
- [4] European Commission. A European Strategy for Artificial Intelligence in Science: Paving the way for the Resource for AI Science in Europe[EB/OL]. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/document/download/c1afd7d0-ff65-4f84-be48-b0e0949596c5_en?filename=COM_2025_724_1_EN_ACT_part1_v8.pdf. 2025-10-08/2025-10-12.
- [5] 文部科学省. AI for Science の推進に向けた基本的な考え方について[EB/OL]. https://www.mext.go.jp/content/20251006-mxt_jyohoka01-000045188-04.pdf. 2025-10/2025-10-20.
- [6] Department for Science, Innovation & Technology. AI for Science Strategy[EB/OL]. <https://www.gov.uk/government/publications/ai-for-science-strategy/ai-for-science-strategy>. 2025-11-20/2025-12-01.
- [7] The White House. Launching the Genesis Mission[EB/OL]. <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/11/launching-the-genesis-mission/>. 2025-11-24/2025-12-01.
- [8] 刘梦迪,李伦.划分科学研究范式的另一种视角——从 AI for Science 谈起[J]. 科学学研究, 2025, 43(5): 955-963. Liu M D, Li L. Another perspective on dividing scientific research paradigms: Starting from AI for Science[J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(5): 955-962.
- [9] 李伦,刘梦迪.人工智能驱动的科学范式革命: 态势与未来[J]. 探索与争鸣, 2024(10): 143-151, 180. Li L, Liu M D. AI for Science as a scientific research paradigm revolution: Situation and future[J]. Exploration and Free Views, 2024(10): 143-151, 180.
- [10] 周代数,魏杉汀.人工智能驱动的科学第五范式: 演进、机制与影响[J]. 中国科技论坛, 2024(12): 97-107. Zhou D S, Wei S T. The fifth paradigm of science driven by artificial intelligence: Evolution, mechanisms, and implications[J]. Forum on Science and Technology in China, 2024(12): 97-107.
- [11] 李国杰. 智能化科研(AI4R): 第五科研范式[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(1): 1-9. Li G J. AI4R: The fifth scientific research paradigm[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(1): 1-9.
- [12] 李国杰. 智能时代呼唤新的科研方法[J]. 科技导报, 2024, 42(10): 40-45. Li G J. The intelligent era calls for new research methods[J]. Science & Technology Review, 2024, 42(10): 40-45.
- [13] 王彦雨,雍熙,高芳. 人工智能的学科汇聚现象及其对科研范式的影响研究[J]. 社会科学战线, 2024(3): 26-40. Wang Y Y, Yong X, Gao F. Interdisciplinary convergence of artificial intelligence and its impacts on scientific research paradigms[J]. Social Science Front, 2024(3): 26-40.
- [14] 高璐,舒心雨,王彦雨. 人工智能驱动生物学研究: 历程、特征及展望[J]. 科学学研究, 2025, 43(12): 2631-2641. Gao L, Shu X Y, Wang Y Y. AI for biology: Progress, characteristics, and future[J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(12): 2631-2641.
- [15] 王硕,张徐姗,武晨箫,等. AI for Science: 认知性协作、全过程效应与行动领域[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2025, 45(3): 117-128. Wang S, Zhang X S, Wu C X, et al. AI for Science: Cognitive collaboration, lifecycle impacts, and action areas[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences), 2025, 45(3): 117-128.
- [16] 王硕,张徐姗,李正风. 多层视域下的 AI for Science[J]. 自然辩证法研究, 2025, 41(9): 42-50. Wang S, Zhang X S, Li Z F. The multi-level perspective of AI for Science[J]. Studies in Dialectics of Nature, 2025, 41(9): 42-50.
- [17] 杨小康,许岩岩,陈露,等. AI for Science: 智能化科学设施变革基础研究[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(1): 59-69. Yang X K, Xu Y Y, Chen L, et al. AI for Science: AI enabled scientific facility transforms fundamental research[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(1): 59-69.
- [18] 李建会,杨宁. AI for Science: 科学研究范式的新革命

- [J]. 广东社会科学, 2023(6): 81-92, 289-290. Li J H, Yang N. AI for Science: A new revolution of the paradigm of scientific research[J]. Social Sciences in Guangdong, 2023(6): 81-92, 289-290.
- [19] 王彦雨, 谢莉娇, 雍熙, 等. AI for Sciences 发展历程及演变律研究[J]. 社会科学战线, 2025(3): 50-63. Wang Y Y, Xie L J, Yong X, et al. The development trajectory and evolutionary patterns of AI for Sciences[J]. Social Science Front, 2025(3): 50-63.
- [20] 徐东波. 人工智能驱动科学研究的逻辑、风险及其治理[J]. 中国科技论坛, 2024(5): 120-129. Xu D B. The logic, risks and governance of artificial intelligence-driven scientific research[J]. Forum on Science and Technology in China, 2024(5): 120-129.
- [21] 王硕, 阎妍. 生成式人工智能时代下科技传播的机遇与挑战——基于科技传播体系的分析[J]. 中国科技论坛, 2024(9): 134-143. Wang S, Yan Y. Opportunities and challenges of science and technology communication in the era of artificial intelligence generated content: Analysis based on science and technology communication system. [J]. Forum on Science and Technology in China, 2024(9): 134-143.
- [22] 王硕, 阎妍, 李正风. 生成式人工智能赋能科学普及: 技术机遇、伦理风险与应对策略[J]. 科普研究, 2024, 19(4): 5-13, 22, 101. Wang S, Yan Y, Li Z F. Empowering science popularization through generative artificial intelligence: Technological opportunities, ethical risks, and response strategies[J]. Studies on Science Popularization, 2024, 19(4): 5-13, 22, 101.
- [23] PCAST. Supercharging Research: Harnessing Artificial Intelligence to Meet Global Challenges[EB/OL]. https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2024/04/AI-Report_Upload_29APRIL2024_SEN-2.pdf. 2024-04-29/2025-09-02.
- [24] The Royal Society. Science in the age of AI: How artificial intelligence is changing the nature and method of scientific research[EB/OL]. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/science-in-the-age-of-ai/science-in-the-age-of-ai-report.pdf>. 2024-05/2024-07-24.
- [25] Burger B, Maffettone P M, Gusev V V, et al. A mobile robotic chemist[J]. Nature, 2020, 583(7815): 237-241.
- [26] Dai T, Vijayakrishnan S, Szczypiński F T, et al. Autonomous mobile robots for exploratory synthetic chemistry[J]. Nature, 2024, 635(8040): 890-897.
- [27] 文部科学省. AI for Science /概念と方向性[EB/OL]. https://www.mext.go.jp/content/20251006-mxt_jyohoka01-000045188_01.pdf. 2025-10-06/2025-10-20.
- [28] 文部科学省. 「AI for Science」による科学研究の革新[EB/OL]. https://www.mext.go.jp/content/20250826-ope_dev02-000044427_8.pdf. 2025-10/2025-10-20.
- [29] Taiji M. AI for Science Project: Advanced General Intelligence for Science of Transformative Research Innovation Platform (TRIP-AGIS)[EB/OL]. https://llmc.nii.ac.jp/wp-content/uploads/2024/10/20240925_k3_taiji.pdf. 2025-12-01.
- [30] 宋国新. 人工智能全球治理的路径之争及其超越[J]. 探索, 2025(5): 26-41. Song G X. The paths debate transcendence of artificial intelligence global governance[J]. Probe, 2025(5): 26-41.
- [31] 科技部. 科技部启动“人工智能驱动的科学”专项部署工作[EB/OL]. https://www.gov.cn/xinwen/2023-03/27/content_5748495.htm. 2023-03-27/2025-07-20.
- [32] 国务院. 关于深入实施“人工智能+”行动的意见[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202508/content_7037862.htm. 2025-08-26/2025-09-02.
- [33] 孟凡新. 人工智能基础设施: 概念、特征与提升路径——基于北京市建设实践分析[J]. 科技智囊, 2025(5): 44-53. Meng F X. Artificial intelligence infrastructure: Concepts, characteristics and improvement pathways—Based on Beijing's construction practice[J]. Think Tank of Science & Technology, 2025(5): 44-53.
- [34] Wang S. AI for AI, not AI for science? [J]. AI & Society, 2025: 1-2.
- [35] 王硕. “人工智能+”行动背景下的全民 AI 胜任力: 战略意义、概念内涵与提升路径[J]. 科普研究, 2025, 20(6): 91-100. Wang S. AI competence for all in the context of the "Artificial Intelligence+" action: Strategic significance, conceptual connotation, and enhancement paths[J]. Studies on Science Popularization, 2025, 20(6): 91-100.
- [36] 谢卉, 姜志达. 联合国人工智能全球治理: 框架、举措与路径[J]. 长沙理工大学学报(社会科学版), 2025, 40(5): 118-128. Xie H, Jiang Z D. The United Nations' global governance on artificial intelligence: Frameworks, initiatives and pathways[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology (Social Science Edition), 2025, 40(5): 118-128.

to the role of enterprises as the principal agents of technological innovation, and fostering enterprise – led consortia, can effectively promote the deep integration between scientific innovation and industrial innovation. Second, in light of the characteristics of complex product systems, it is important to build differentiated types of innovation consortia. On the one hand, coordination among upstream and downstream innovation actors should be supported. On the other hand, participation should also be encouraged among actors operating in the same segment of the value chain, even if potential competitive relationships exist. Third, innovation actors should align their strategies with their positions in the industrial chain and resource endowments. Both vertical collaboration and horizontal integration can be used to form innovation consortia that are well – matched to specific technological breakthrough goals and pathways. Internal relationships within innovation consortia should be effectively managed by improving value distribution mechanisms, strengthening trust – based governance, and stimulating partners’ willingness to share knowledge. These efforts are essential for enhancing knowledge sharing and co – creation efficiency within the consortium.

Key words: complex product systems; key core technology; innovation consortium; knowledge enhancement

(上接第 463 页)

[37] 王硕,文侃骁,李正风. 中国式现代化视域下科技伦理治理的问题意识[J]. 科技导报,2024,42(6):69 – 78.
Wang S, Wen K X, Li Z F. Problem awareness of ethics

governance of science and technology from the perspective of Chinese path to modernization [J]. Science & Technology Review, 2024, 42(6): 69 – 78.

Global AI for Science strategic trends and implications for China

WANG Shuo, GAO Rui – jing, LI Zheng – feng

(School of Social Sciences, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Against the backdrop of comprehensively advancing the “AI + ” initiative and accelerating the achievement of high – level scientific and technological self – reliance, AI for science is becoming a key force in leading the transformation of research paradigms, fostering new productive forces, and reshaping the global landscape of scientific and technological competition. In the second half of 2025, major economies such as the United States, the United Kingdom, the European Union, and Japan intensively released numerous policy documents on AI for science. Although each country chose different development paths due to differences in resources and institutions, they universally elevated AI for science to a national strategic project, exhibiting common trends such as the automation of research processes, the assetization of scientific data, and the construction of sovereign research infrastructure. The United States emphasizes consolidating its technological dominance through a national mobilization system; the United Kingdom focuses on agile breakthrough strategies in areas of strength; the European Union maintains technological sovereignty through pan – European integration; and Japan builds competitive advantages through theory – driven approaches and standards leadership. International experience offers important insights for promoting AI for Science in my country during the “15th Five – Year Plan” period. AI for Science should be approached as a systemic public project, integrating computing power, energy, and research network infrastructure. China’s efforts should focus on developing domestically controlled automated experimental platforms and interface standards, improving the institutional framework for the assetization of scientific data, and providing sustained momentum for the development of new productive forces through organized research and the cultivation of interdisciplinary talent.

Key words: AI for Science (AI4S); AI + ; the “15th Five – Year Plan” period; technological self – reliance and self – improvement; chokepoint technologies; knowledge production