

政策建议

面向“十五五”的中国大科学工程建设与治理研究

李克龙^{1,2}, 徐飞^{1*}

摘要 大科学工程以重大装置为关键载体,贯穿论证、建设、运行维护与开放共享等全生命周期,其建设成效最终取决于治理体系与运行机制的持续支撑。以知识发现机制与组织治理模式为主线,比较分析中美大科学工程的演进路径与制度生态。研究表明,美国依托国家实验室、大学与企业构成的分布式协同网络,通过用户制度、产权规则与契约化管理实现开放共享与成果转化的循环迭代;中国依托新型举国体制与综合性国家科学中心的集群化布局,在战略牵引与系统集成方面优势突出,并通过“沿途下蛋”等机制推动关键技术外溢与产业协同。面向“十五五”,大科学工程呈现战略目标复合化、组织生态化、运行治理精细化、发现过程智能化与合作网络多边化并行的趋势。建议构建“战略—平台—生态”三位一体的建设与治理体系,完善运行期经费、用户机制与绩效评价,强化数据治理与AI能力制度化配置,稳妥推进多元投入与成本分担,提升国际合作与规则参与能力。

关键词 大科学工程;中美比较;发展趋势;战略举措

“十五五”时期是中国迈向科技强国、实现高水平科技自立自强的关键阶段,大科学工程建设与治理面临新的战略环境与发展要求。系统比较中美两国大科学工程的发展逻辑与治理模式,研判未来演进趋势,对中国优化科技战略布局、提升创新体系整体效能具有重要理论与现实意义。在学术研究和政策实践中,“大科学工

程”常常与“大科学装置”等概念交织使用。“大科学装置”是指通过较大规模投入和工程建设来完成,建成后依托长期稳定运行与持续科研活动,为在科学技术前沿取得重大突破提供支撑的大型设施^[1],它侧重于实体与平台属性,是集聚全球高端创新资源的载体,也是体现基础科研能力的重要组成部分^[2]。而“大科学工程”通常指围绕重大装置建造,或为实现宏大的科学技术目标与国家使命目标而实施的复杂工程项目与组织化科研活动,它侧重于过程、组织与项目管理属性^[3],并贯穿论证、建设、运行维

护与开放共享等全生命周期安排。由此,大科学工程并不等同于装置本身,大科学装置是大科学工程的重要载体,是大科学工程建设期的重要物化结果和产出。以美国“曼哈顿计划”为典型代表,大科学工程面向国家科技发展或国防建设的战略需求,具有明确的任务目标^[4],逐渐成为第二次世界大战以来各国竞相布局的战略高地。既有研究从历史梳理^[5]、案例分析^[6]、政策解读^[7]等角度探讨了大科学工程,但从知识发现机制与组织治理创新视角开展的比较研究仍显不足。本文以科学实践哲学、创新

1. 中国科学技术大学科技哲学系,合肥 230051

2. 西南科技大学马克思主义学院,绵阳 621010

收稿日期: 2026-01-27; 修回日期: 2026-04-27

基金项目: 中国科学院学部咨询评议项目(3-ZXB2025009); 国家社会科学基金重点项目(23AZD040); 西南科技大学优秀人才培养基金项目

作者简介: 李克龙,副教授,研究方向为科学技术与社会,电子信箱: lkl2018@mail.ustc.edu.cn; 徐飞(通信作者),教授,研究方向为科技哲学与科学史,电子信箱: xufei@ustc.edu.cn

引用格式: 李克龙,徐飞. 面向“十五五”的中国大科学工程建设与治理研究[J]. 科技导报, 2026, 44(12): 150-158; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2026.01.00104

系统理论为基础,构建“历史演进—知识发现机制—治理与协同模式”三维分析框架,力图解释中美路径差异的深层逻辑,对“十五五”时期中国大科学工程建设与治理的新趋势进行前瞻性思考。

1 中美大科学工程的历史演进与模式对比

美国以“任务牵引—市场转化”为逻辑,强调科研生态的自组织与数据驱动的发现;中国则在国家战略牵引下,依托举国体制构建了从源头突破到产业协同的系统能力。

1.1 中美大科学工程发展的演进历程

美国大科学工程的发展与其国家战略、军事需求及市场机制紧密耦合,呈现“任务牵引—技术原创—产业转化”的连贯逻辑。第二次世界大战期间,“曼哈顿计划”汇聚了多元化的个体与组织^[8],奠定了以国家实验室为核心、多机构协同的大科学组织范式。冷战时期的“阿波罗计划”(Apollo Program)则得益于“政府主导—企业分包—高校参与”的分布式协作网络。20世纪70年代后,美国大科学工程逐渐向高能物理、计算科学、生命科学等领域拓展,形成以国家自然科学基金会(National Science Foundation, NSF)、能源部(United States Department of Energy, DOE)、国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)等机构为资助主体,国家实验室、研究型大学和创新型企业共同参与的创新

生态系统。NSF的建立标志着美国以小科学为基础、以大科学项目为核心的“大科学”建制成立,其宗旨是“由政府出钱,但不由政府控制”,同时通过项目拨款或同行评议资助系统,保护小科学的自由探索性^[9]。

中国大科学工程的发展则具有“战略追赶—自主创新—系统布局”的特征。新中国成立初期,面对严峻的国际封锁与国防安全压力,“两弹一星”工程依靠自力更生得以突破,奠定了全国大协作的举国体制雏形^[10]。这一阶段科研模式具有“政府推动”“二元主体,政府主导”等特点^[9]。改革开放后,中国大科学工程逐步从国防优先转向经济与科技并重;1988年北京正负电子对撞机(Beijing Electron Positron Collider, BEPC)建成,标志着中国进入高能物理国际前沿。进入21世纪,全超导托卡马克(Experimental Advanced Superconducting Tokamak, EAST)、500米口径球面射电望远镜(Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope, FAST)、上海同步辐射光源(Shanghai Synchrotron Radiation Facility, SSRF)、中国散裂中子源(China Spallation Neutron Source, CSNS)等大科学工程陆续建成,实现了从“跟跑”到“并跑”乃至部分“领跑”的跨越,中国大科学工程在较短时间内完成了体系化布局与能力积累。

1.2 机制比较:中美大科学工程的知识发现与技术突破模式演化

1) 美国:从“任务牵引的干预式突破”到“平台化数据密集型发现”。

美国大科学工程的知识发现机制早期表现为“任务牵引下的现象构建”。曼哈顿计划(Manhattan Project)与阿波罗工程(Apollo Program)将理论假设转化为可操控、可观测的物质过程,即在极端条件下制造出自然界中难以直接观察的现象(如链式反应、地外环境生存),体现了强烈的干预主义认识论传统。随着大科学装置规模与复杂度的提升,美国的发现模式日益呈现出“平台化”与“数据密集型”特征。激光干涉引力波天文台(Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, LIGO)等巨型设施演变为开放研究平台,通过标准化的数据采集与开放的用户机制吸引跨机构团队持续挖掘与交叉验证海量数据。在大型强子对撞机(Large Hadron Collider, LHC)等超大型国际合作装置中,美国仍通过关键部件与数据分析网络深度嵌入。总体而言,知识发现进入“第四范式”,研究者借助算法对拍字节(Petabytes, PB)级数据进行挖掘、建模与可视化,从而揭示新规律、提出新假设。美国在此范式转型中占据领先地位,其优势根植于强大的计算基础设施、活跃的开源社区,以及自由探索的持续资助体系。

2) 中国:从“验证学习”到“自主建构”。

中国大科学工程的科学发现路径,从“技术追赶验证”演进至“自主建构与融合转化”。在追赶阶段,以北京正负电子对撞机为例,在验证标准模型的同时,更通过全过程的自主设计与建造,锤炼了自主创新能力。进入自主创新

阶段, EAST 突破了格林沃尔德密度极限(Greenwald density limit), 为可控核聚变商业化开辟全新路径^[11]; FAST 在快速射电暴等领域取得突破性发现; 大亚湾中微子实验站揭示了中微子的第 3 种振荡模式^[12]。这些装置的科学目标直指领域内长期悬而未决的重大科学难题。尤为值得关注的是, 中国形成了独特的“沿途下蛋”机制, 即在大科学装置建设与运行中同步推进衍生技术研发与成果转化。例如, EAST 衍生技术支撑了国内高端医疗装备研制; 兰州重离子加速器装置带动了重离子相关技术体系的成熟; 上海同步辐射光源为新材料、生物医药等产业提供关键研发平台。这种科学目标与应用目标协同实现的路径, 使大科学工程成长为牵引跨学科交叉、孕育新兴产业的“创新策源器”。

1.3 组织比较: 中美大科学工程的治理与协同模式

1) 美国分布式创新网络与契约化协作。

美国大科学工程的组织架构以“扁平化、分布式、契约化”为特征, 形成了“国家实验室—研究型大学—高科技企业”的三角协作网络。洛斯阿拉莫斯(Los Alamos National Laboratory, LANL)、劳伦斯伯克利(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)、橡树岭(Oak Ridge National Laboratory, ORNL)等国家实验室多采用“国有一委托运营”(government-owned, contractor-operated, GOCO)模式, 既承接国家使命, 又保持与学术界的紧密联系。各实验室依托地域与历史传统形成差异化优

势, 呈现分工明确、协同互补的格局。项目制管理通过定向申请与同行评议确定资助单位, 入选团队拥有较强自主权。在成果转化方面, 美国《1980 年专利与商标法修正案》(Patent and Trademark Law Amendments Act of 1980), 也称《拜杜法案》允许研究机构保留联邦政府资助研发成果的专利权, 并将其转让给私营部门实现商业化, 科研人员也可获得相应收益^[13]。这一制度设计强化了“联邦资助—知识产出—市场转化—反哺科研”的闭环。更值得比较的是运行期治理安排, 美国通过用户制度贯通科学目标、资源配置和绩效评价, 对学术研究提供成本友好的使用条件, 对商业性研究探索以协议方式收取费用或企业共同投入, 既维持装置公共属性, 又增强可持续性。在国际舞台上, 美国更是凭借综合技术优势扮演合作主导者, 通过关键技术、核心部件与数据分析枢纽发挥重要影响力, 持续吸引全球高端智力资源。

2) 中国集中统一的战略协同体系。

中国的组织模式体现出“顶层设计、多层联动、举国协同”特征。新型举国体制在中央统一领导下, 发展和改革委员会、科技部、财政部等多部门协同推进战略规划与资源统筹。针对重大项目设立“总师制”与专项办公室, 实现高效调度。从历史上的中共中央十五人专门委员会(中央专委)到如今的“国家重大科技专项”管理, 贯穿着集中力量攻坚克难的制度逻辑。综合性国家科学中心(如北京怀柔、上海张江、安徽合肥), 围

绕大科学装置集群整合高校、院所与企业力量, 力图打造完整创新链。中国在国际角色上, 正从参与向主导转变, 在国际热核聚变实验堆(International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER)计划中承担约 9% 的采购包, 是平方公里阵列射电望远镜(Square Kilometre Array, SKA)创始成员国, 发起的大亚湾、江门中微子实验也已成为国际粒子物理前沿重要组成部分。此外, 中国主导成立的“一带一路”国际科学组织联盟(The Alliance of International Science Organizations, ANSO)已吸纳 67 家成员单位^[14], 拓展了与发展中国家的科技合作。

与建设期的集中攻坚相比, 运行期治理更考验制度精细化与可持续性。当前, 中国大科学工程运行经费仍以财政为主, 但随着装置数量增长、运行成本上升, 单一资金来源容易带来“重建设、轻运行”的压力。面向“十五五”, 可探索更具弹性的运行机制: 一是完善用户制度与机时分配, 建立面向战略任务、前沿探索与产业应用的分类服务; 二是对具有商业收益预期的项目, 引入企业联合投入或费用经费分担, 形成“公共资助+合作共担”结构; 三是将运行绩效评价从论文、课题数量拓展到用户结构、数据利用、技术外溢与产业转化贡献等指标, 形成可追踪的闭环。

2 “十五五”时期大科学工程建设与治理的新趋势研判

基于中美发展实践比较、全球科技演进态势以及部分地区的

先行探索,中国“十五五”期间大科学工程建设与治理将呈现以下趋势。

2.1 组织模式生态化与多元共治

组织模式只有与大科学工程建设相适应才能促进其发展,反之则阻碍和影响大科学工程的建设^[15]。过去主要依靠中央财政与行政指令驱动的线性管理模式,已难以适配大科学工程日益增长的复杂性及其对地方经济的深度带动需求。面向“十五五”,塑造“政府引导、企业主演、市场运作、社会参与”的协同治理生态成为必然选择。一是政府角色从“包办”转向“引导”。核心职责在于顶层设计与制度供给(土地、财税、人才等政策),并通过规则与环境建设提升资源配置的可预期性。成都科学城的经验显示,前瞻性的科研用地规划与“人城境业”融合的园区设计,是吸引大装置集聚、留住顶尖人才的重要基础。二是企业角色从“旁观”转向“共建”。按照Hummel等^[16]的观点,大科学与企业之间可形成并行联盟,这种联盟可灵活形成、解散与重构,并开展竞争与合作。因此,领军企业不仅担任提出需求、使用装置的角色,更应介入前期的规划论证、中期的技术攻关以及后期的成果转化与产业化。深圳光明科学城通过建立“脑创中心”等平台吸引企业深度融入,便是有益探索。三是激活市场与社会资本。创新投融资机制,探索政府与社会资本合作(public-private partnership, PPP)、设立专项引导基金、发行长期债券等多元化模式,吸引社会资本参与,形成风险共担、利益共享的格

局,提升资源配置效率与工程可持续性。

关键的是,多元共治只有落到运行期的制度细节,才能避免“共建热、运行冷”的尴尬。当大科学工程来到运行期,治理重心应向精细化配置延伸,建立更透明的用户准入与机时分配规则,形成面向战略任务、前沿探索与产业应用的分类服务;同步完善数据管理、开放共享与安全合规的边界,减少低效消耗;对具有明确商业收益预期、强调专有数据或专利布局的项目,要不断提升运行的可持续性与装置能力的外溢效率。如此,协同治理才能从参与主体多转化为运行效率高、产出更稳定。

2.2 大科学工程与人工智能交叉融合

学科交叉不仅是新学科的生长点,更成为当今大科学工程和重大科学发现的源泉^[17]。在大科学时代,科技创新和学科发展愈加依赖大科学装置,而人工智能(artificial intelligence, AI)基础设施已经成为大科学装置的重要类型^[18]。更重要的是,人工智能与大数据技术正在深刻渗透大科学工程的全生命周期,使科研范式逐步转向“数据—算法—算力”协同驱动的“AI for Science”。

在装置设计与仿真阶段,数字孪生与高性能计算能够在虚拟空间对关键部件、束流/等离子体行为、热-力耦合等复杂过程进行模拟与优化,从而缩短建造周期、降低成本,并在运行前识别潜在风险点。在装置运行阶段,依托传感器网络的状态数据、历史工况与运维记录,结合机器学习模型可实现

实时监测、故障智能诊断与预测性维护,提升运行稳定性与整体效率。对用户而言,智能化的数据处理可压缩“数据获取—清洗标注—建模分析—可解释呈现”周期,更快转化为可验证的科学结论与工程方案。需要强调的是,人工智能对大科学工程的推动并不止于“更快算、更准判”,更重要的是把AI嵌入治理体系之中,形成可持续的能力闭环。面对LHC、SKA、FAST等大科学工程产生的海量、高维、实时数据,传统分析方法已难以为继,机器学习、深度学习等算法成为从复杂数据中提取微弱信号、识别未知模式、发现新物理规律与生物标志物的关键工具。此外,AI技术有助于整合来自不同装置、不同尺度、不同模态的信息,构建更统一、更强大的模型体系,以应对复杂系统性问题。

面向“十五五”,大科学工程在规划之初就应将数据治理与智能能力摆在与硬件建设同等重要的位置。一是把数据标准、元数据规范、质量控制与权限分级纳入装置运行规则,明确数据开放边界与合规流程,避免“数据多而难用、开放多而无序”;二是同步规划算力与存储架构,形成面向用户的通用分析平台与可复用算法库,减少重复开发与资源浪费;三是建立面向运行期的智能运维与算法迭代机制,把模型训练、上线、监控与回溯纳入日常管理,持续校准模型、数据与工况;四是以复合型人才为支撑,推进“懂装置、懂数据、懂算法”的交叉培养与稳定岗位,使智能化能力真正沉淀为装置的长期竞争力。相应地,在评价层

面应更突出可观测、可追踪的运行绩效指标,如数据利用率、开放机时与用户覆盖以及基于装置数据产生的高质量成果与技术外溢贡献等。

2.3 合作网络全球化与多边化并行演进

科研合作网络是大科学装置研制建造的载体,也是实现大科学装置成功研制的关键^[9]。尽管当前地缘政治竞争加剧,但大科学工程固有的高昂成本、极端复杂性以及探索人类共同认知边界的本质,决定了开放合作仍是主流。面向未来,国际科技合作将更趋多边化、网络化与灵活化,并呈现“条约型工程+分布式网络”并行的格局。一方面,类似 ITER 这样的政府间大型条约项目,仍将依托国家间承诺、长期投入与工程化组织来维系;另一方面,基于共同科学兴趣、由科学家群体推动、多国资助机构支持的分布式合作网络也将更加活跃。与此同时,借助欧洲核子研究中心(European Organization for Nuclear Research, CERN)、欧洲南方天文台(European Southern Observatory, ESO)等现有国际组织的开放会员制与用户机制,依然是综合科技实力较弱国家参与前沿研究的重要途径。

从复杂系统视角看,合作网络的演进并非简单的更开放或更封闭,而是受到技术、制度、安全与资源等多重变量的耦合约束。合作伙伴的多样性、关键部件与软件的可替代性、数据敏感等级与合规成本以及国际规则参与程度,共同决定合作的可持续性。因此,对问题解决措施的评判,应更多回

到可操作的治理依据,哪些环节必须实现自主可控与冗余备份,哪些环节适合开放共享以提高科研效率;哪些数据可按通行规则开放,哪些数据需要分级授权与可追溯管理。只有把“开放”与“安全”同时纳入制度设计,才能避免合作网络在外部冲击下出现结构性断裂。

通过“一带一路”国际科学组织联盟(Alliance of International Science Organizations, ANSO)等平台,中国可深化与发展中国家的科技合作,共享大科学工程建设与运行经验,提供能力建设培训,合作开展适应跨区域需求的联合研究(如气候变化、灾害防治、公共卫生)。这既是卓有成效的科技外交,也是提供普惠性全球公共产品,有助于共同塑造开放信任、互利共赢的国际科技合作新秩序。需要强调的是,随着国际合作纵深发展,围绕数据主权、知识产权分享、技术出口管制、科研伦理等议题的博弈将愈发激烈,主动参与并力争引领相关国际规则与标准制定,是中国提升全球科技治理话语权、保障自身发展利益的关键所在。

3 中国“十五五”大科学工程建设与治理的战略举措

为系统推动大科学工程实现从单一科研设施向国家战略科技力量的根本性跃迁,亟需围绕组织模式、研究生态、产业融合、运行治理与投入机制、国际合作等关键维度,开展全局性、体系化的改革创新。具体而言,应着力推动 5 大战略转向。

3.1 构建以“战略牵引—平台赋能—生态融合”为核心的新型组织实施体系

针对当前大科学工程布局存在的分散化问题,需构建一个层次清晰、有机联动的系统性实施架构。一是强化战略聚焦,实现从“全面布点”到“重点突破”的转变。立足国家长远战略需要与世界科技前沿趋势,进行顶层设计与动态遴选,集中资源稳定支持一批能开辟新领域、新赛道的变革性大科学方向,确保国家投入的精准性与战略性,从根本上避免重复布局与低水平竞争。二是推动平台升级,实现从“单一设施”到“能力集群”的跃迁。着力推动大科学工程的功能整合与协同增效。构建云端互联、数据共享的分布式研究网络,形成支撑复杂前沿研究的综合能力体系。在此过程中,应深度推进“AI for Big Science”的落地,将人工智能贯穿于数据采集、处理、建模与验证全链条,实现从“数据驱动”到“智能驱动”的范式跃升。同时,应将数据标准、元数据规范、算力调度与通用算法服务接口作为平台集群建设的“同等级工程”,与硬件能力一体规划、同步验收,避免出现装置建成后数据割裂、算力分散的局面。三是培育创新生态,实现从“科研孤岛”到“增长极核”的演化。核心是以大科学工程集群为锚点,系统化培育“政产学研金服用”深度融合的区域创新生态。积极推动人工智能与大科学工程的交叉融合,鼓励算法科学家、数据工程师与实验物理学家、材料科学家等协同攻关。通过专业的园区规

划、包容的制度设计以及全链条的配套服务,高效集聚全球创新要素,形成以平台驱动产业、以产业反哺科研的自我造血与持续迭代能力,使大科学工程所在地真正成为原始创新策源地与新兴产业孵化器。并以用户制度为牵引完善运行绩效评价,将开放机时、用户结构、数据利用、AI模型复用率与关键技术外溢等指标纳入常态化治理,使“生态繁荣”不仅体现在主体集聚,更体现在装置能力的高频使用与高质量产出。

3.2 强化基础研究投入,培育原创性科学问题的土壤

“基础研究是科技创新的源头”^[20],大科学工程的突破性进展,从根本上依赖于基础研究提供的源头活水与新知识供给。当前,中国在好奇心驱动、自由探索的“小科学”方面仍存在短板,这使得重大设施有时面临“世界级装置、课题跟随性”的挑战。“小科学在某时将是小科学,大科学在某时曾是小科学”^[21]。所有大规模、建制化的大科学工程,最初都孕育于自由探索的“小科学”源头;而分散、前沿的“小科学”探索,则可能在未来演化为需要系统攻关的“大科学”主题。为此,必须在战略上实现“大科学”与“小科学”的并重与衔接。一是建立面向重大设施需求的定向自由探索机制。在稳定支持目标明确的大科学工程的同时,应专门设立与大科学工程关键能力相匹配的“原创探索计划”。此类资助应鼓励科研人员依托装置优势,提出高风险、非共识乃至颠覆性的科学设想,将设施的极限性能转化为发现新现象、新规律

的独特优势。二是构建滋养原创的科研生态与评价体系。改革基金评审机制,全面推行“负责任、讲信誉、计贡献”的评审模式,对围绕大科学工程产生的、挑战现有认知的原创构想给予特殊支持。三是强化青年人才与大科学工程的早期互动。设立专项基金,支持优秀青年学者基于大科学工程开展探索性研究,鼓励他们主导实验方法开发与数据分析新范式的尝试。唯有培育出敢于冒险、宽容失败的肥沃土壤,才能持续为大科学工程输送最前沿的科学问题、最富创造力的研究方法与最具活力的青年人才,从根本上筑牢自主创新的知识根基。

3.3 推动大科学与工程产业融合,构建区域创新引擎

一直以来,中国科学研究的创新链与社会经济的产业链结合不紧密,存在“两张皮”的现象^[22],产自大科学工程的创新成果比比皆是,如何实现创新成果的产业应用是阻碍大科学工程充分发挥其经济效益的“篱笆墙”^[23]。为实现大科学工程从“科研利器”向“产业引擎”的功能拓展,必须将其系统性嵌入区域经济脉络,形成“设施—产业—人才”的正向循环。一是以设施为核心规划产业生态圈。鼓励地方政府围绕国家重大科技基础设施,前瞻布局专业化园区、中试基地与孵化载体,构建覆盖研发、测试、转化到规模化生产的全链条服务体系。推动形成“设施牵引、平台支撑、企业集聚”的空间布局,使大科学工程成为区域产业升级的锚点。二是建立“需求—能力”双向对接机制。搭建常态化

对接平台,定期开展“企业走进大科学工程”等活动,引导企业提出真问题、参与装置功能升级与实验方法开发。探索“共建、共担、共享”的合作模式,推动装置向产业界开放数据、技术与研发能力,使其成为跨行业技术创新的公共实验平台。三是培育依托装置优势的新兴产业集群。通过联合研发、人才流动与技术溢出,重点孵化一批基于大科学工程独特能力成长起来的科技型企业。推动装置研发团队与产业界深度融合,解决产业关键技术问题,形成具有全球竞争力的特色产业集群。

3.4 创新“政府—市场—社会”多元投入与风险共担机制

大科学工程往往规模大、资金投入多、能产生很大的经济社会效益,对科技与社会的影响深远,但也伴随着较大的项目风险^[24]。除建设期投入外,运行期经费保障与升级迭代同样是“长周期风险”的来源,可结合国家正在研讨的合理收费与成本分担探索,形成“稳定财政保障+分类服务+合作共担”的可持续投入结构。在稳定国家主渠道投入的同时,构建吸引多元资本、共担长期风险的现代化支撑体系。一是设立国家大科学工程引导基金,撬动社会资本。由中央财政发起,采用市场化运作模式,广泛吸引地方政府、国企、金融机构及社会资本参与。基金专注于投资与大科学工程紧密相关的核心技术研发、成果转化项目及衍生初创企业,实现国家战略目标与市场活力的结合。二是强化面向深度参与企业的精准政策激励。在全面落实研发费用加计扣

除等普惠政策基础上,对牵头或深度参与大科学工程设计、建设、应用的企业,实施更大力度的税收优惠、设备折旧与专项奖励,实质性降低其参与门槛与风险。三是全面推行以解决问题为导向的竞争性机制。对大科学工程中的关键核心技术难题,广泛采用“揭榜挂帅”“赛马”等机制,打破单位与身份限制,以结果实效为唯一标准,激发全社会创新单元的潜力,形成多方共担风险、合力攻关的格局。

3.5 深度参与全球科技治理,主动塑造国际合作新议程

在全球科技合作从“项目合作”延伸到“数据、标准、知识产权与安全合规”规则博弈的背景下,应在更高水平开放与安全可控之间形成可执行的制度安排。为提升中国在全球创新体系中的影响力与规则制定权,未来中国应以更高水平的开放融入全球创新体系,更积极地谋划和引领国际合作,实现从“参与者”向“倡议者”与“塑造者”的角色升级。一是推动技术领先转化为规则主导权。系统梳理中国已建成和在建大科学工程的全球比较优势,有组织地主导或深度参与相关国际技术标准、数据规范、观测协议乃至伦理准则的制定工作。将装置的“技术参数”优势,高效转化为国际科研合作的“规则话语权”。二是实施以设施开放为核心的双向国际人才战略。在确保安全的前提下,加大国家科技计划对外开放力度,用好大科学工程的平台作用,主动设计和牵头发起国际大科学工程,吸引全球顶尖人才进行前沿科学研究和关键核心技术攻关^[25],提高海外

人才在国家重大科技任务和大科学工程实施中的参与度^[26]。同时,配套设立具有国际竞争力的访问学者与博士后计划,以世界级的科研设施和科研环境,吸引顶尖科学家来华开展长期合作研究,实现“以设施聚人才,以人才促合作”。三是构建基于知识共享的普惠性发展合作网络。通过 ANSO 等多边平台,系统性输出中国在大科学工程建设、运营与管理方面的成功经验。面向广大发展中国家,提供设施使用、数据分析及技术培训等公共产品,在共同应对全球性挑战中,塑造中国负责任科技大国的形象。

4 结论与展望

从历史脉络与制度逻辑的比较可以看出,中美两国大科学工程的发展路径深受各自国家使命、制度安排与创新生态的塑形影响,最终形成了差异显著但各有长处的实践范式。2种模式并非简单的二元对立,而是在全球科技竞争与合作交织的现实中相互参照、彼此影响,为不同国家在“大工程—大平台—大生态”的组合构建上提供了互补性的经验镜鉴。

展望“十五五”,大科学工程正在进入“能力跃迁与治理升级”并行的新阶段。装置技术复杂度持续攀升,科研范式从假说驱动加速转向“数据—智能”双轮驱动,运行成本与迭代升级压力同步上升;与此同时,地缘政治扰动与规则竞争加剧,使国际合作在更开放与更审慎之间寻求新的平衡。多重力量共同推动大科学工程沿着

战略目标复合化、组织模式生态化、发现过程智能化、合作网络多边化演进,并将运行治理的精细化推到更加核心的位置。相应地,趋势判断不宜停留在方向性表述,而应能够落实到可观测、可追踪的指标体系之上,例如开放机时与用户结构变化、数据可用率与复用度、分析周期缩短与停机时长下降、跨机构协作密度与关键技术外溢贡献等。

未来,中国可聚焦于“坚守优势、补齐短板、主动塑造”3大战略支点。“坚守优势”的关键在于把新型举国体制的组织动员与系统集成能力,真正贯穿到大科学工程全生命周期,既能在战略必争领域保持集中攻坚的确定性,也能在建成后的运行阶段形成更稳定、更高效的治理能力,把装置从“建成可用”推进到“长期好用、持续迭代”。“补齐短板”的重点不在于继续叠加建设规模,而在于补足与大科学工程协同共生的创新生态与制度细节。一方面要持续滋养自由探索与原创问题供给,使世界级装置不止于“硬件领先”,更能产出“问题领先、方法领先”;另一方面要完善运行期的经费、用户、数据与绩效体系,推动多元投入与风险共担机制走向可复制、可评估,使“开放共享”与“差异化服务”在制度边界内实现兼容,从而把“沿途下蛋”的技术外溢与产业转化做得更可预期、更可持续。“主动塑造”则是在更高水平开放中提升规则塑造能力,依托已建成与在建的世界级装置体系,更自信地发起或牵头国际大科学工程,在数据标准、观测协议、知识产权与

科研伦理等关键议题上深度参与乃至主动引领,推动科技实力转化为制度性影响力与全球公共产品供给能力。

参考文献(References)

- [1] 西桂权,付宏,刘光宇.中国大科学装置发展现状及国外经验借鉴[J].科技导报,2020,38(11): 6-15.
- [2] 王贻芳,白云翔.发展国家重大科技基础设施 引领国际科技创新[J].管理世界,2020,36(5): 172-188.
- [3] Eggleton D C. Large-scale research infrastructure projects: A conceptual review for science policy and management[J]. Science Progress, 2024, 107(4): 00368504241266555.
- [4] 郭桐,沈敏圣,樊怡辰,等.大科学工程项目风险分析与量化评估[J].项目管理技术,2019,17(5): 22-27.
- [5] 王续琨,张春博.试论大科学工程的基本特征和社会功能[J].山东科技大学学报(社会科学版),2017,19(4): 1-8.
- [6] 李唐.从KARST到FAST:中国天眼的概念起源与决策过程[J].天文学报,2023,64(1): 36-43.
- [7] 王婷,陈凯华,卢涛,等.重大科技基础设施综合效益评估体系构建研究:兼论在FAST评估中的应用[J].管理世界,2020,36(6): 213-236.
- [8] Shore B, Zollo G. Managing large-scale science and technology projects at the edge of knowledge: The Manhattan Project as a learning organisation[J]. International Journal of Technology Management, 2015, 67(1): 26-46.
- [9] 陶迎春.大科学与小科学的“耗散结构”[M].合肥:合肥工业大学出版社,2019.
- [10] 雷丽芳,潜伟,吕科伟.科技举国体制的内涵与模式[J].科学学研究,2020,38(11): 1921-1927.
- [11] 王凯,马功涛.合肥庐阳区:科创融合产业向“新”[N].安徽经济报,2026-01-08(004).
- [12] 中国科学院高能物理研究所.大亚湾中微子实验发现新的中微子振荡[EB/OL]. (2012-03-09)[2026-03-03]. <https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab440/info56920.htm>.
- [13] 楼世洲,俞丹丰,吴海江,等.美国科技促进法对大学科技成果转化的影响及启示:《拜杜法案》四十年实践回顾[J].清华大学教育研究,2023,44(1): 90-97.
- [14] 习怡衡,王海燕,李爽,等.非对称竞争中国际科技话语权构建[EB/OL]. (2026-01-11)[2026-04-27]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20250722.003>.
- [15] 陈套.重大科技基础设施内涵演进与发展分析[J].科学管理研究,2021,39(5): 21-26.
- [16] Hummel J T, Berends H, Tuertscher P. From boundary objects to boundary infrastructure: A process study of collaboration between big science and big business[J]. Journal of Management Studies, 2025, 62(4): 1644-1679.
- [17] 姜春林,赵宇航,魏庆肖.发文和引文视角下我国航空航天领域学科交叉研究[J].情报杂志,2016,35(11): 32-38.
- [18] 苏明.人工智能新工科学科网络的动态演化研究[J].中国高教研究,2025(11): 49-56.
- [19] 刘人境,钟兴举,孟拓宁,等.大科学装置科研合作网络结构特征研究[J].西安交通大学学报(社会科学版),2023,43(6): 140-151.
- [20] 习近平.论科技自立自强:大字本[M].北京:中央文献出版社,2023: 202.
- [21] 普赖斯.小科学,大科学[M].宋剑耕,戴振飞,译.北京:世界科学社,1982: 4.
- [22] 邢超.创新链与产业链结合的有效组织方式:以大科学工程为例[J].科学学与科学技术管理,2012,33(10): 116-120.
- [23] 曾钢,姜言彬,樊潇潇,等.中国科学院重大科技基础设施发展概述[J].中国科学院院刊,2019,34(增刊2): 14-17.
- [24] 张志会,马连轶.“墨子号”量子科学实验卫星大科学工程的历史与管理模式探究[J].中国科技论坛,2018(11): 1-8.
- [25] 胡祖铨.人口高质量发展支撑中国式现代化的形势、挑战与实践[J].人民论坛·学术前沿,2025(12): 43-55.
- [26] 任孝平,杨云,李子愚,等.扩大国际科技交流合作推进高水平对外开放:党的十八大以来国际科技合作工作回顾与展望[J].科技导报,2022,40(20): 33-41.

New trends in the construction and governance of China's mega science projects during the 15th Five-Year Plan period

LI Kelong^{1,2}, XU Fei^{1*}

1. Department of Philosophy of Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230051, China

2. School of Marxism, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China

Abstract Mega science projects, with large-scale research facilities as their core carriers, span the full lifecycle from planning and construction to long-term operation and open access; their performance ultimately depends on sustained governance and robust operational mechanisms. This paper takes knowledge discovery mechanisms and organizational governance models as the main analytical lenses and conducts a comparative analysis between China and America. The results show that the United States, relying on a distributed collaboration network connecting national laboratories, universities, and industry, achieves iterative cycles of open access and technology transfer through mature user programs, clearer IP rules, and contract-based management. China, leveraging a new whole-of-nation system and clustered national science centers, demonstrates strengths in strategic alignment and system integration, and promotes technological spillovers and industry coupling through mechanisms such as "spin-offs along the way." Looking ahead to the 15th Five-Year Plan period, mega science projects are expected to exhibit intertwined trends including more complex strategic objectives, ecosystem-based governance, refined operational management, AI and data-driven discovery, and increasingly multi-layered international collaboration. Accordingly, this paper proposes building an integrated "strategy-platform-ecosystem" framework for construction and governance, strengthening operation-phase funding, user governance, and performance evaluation, institutionalizing data governance and AI capabilities, prudently advancing diversified financing and cost-sharing, and enhancing international cooperation and participation in rule-making.

Keywords mega science projects; comparison between China and America; development trends; strategic measures ●



(责任编辑 王志敏)