基于国际比较视角的在沪重大科学装置发展问题及对策研究

武雨婷，张聪慧，常　静，施颖杰
（上海市科学学研究所，上海　200040）

摘　要：世界进入大科学时代，重大科学装置已经成为各国抢占科技制高点的重要基础。系统梳理在沪重大科学装置建设进展、运行现状及在服务国家战略需求、支撑区域科技创新等方面取得的成效。在此基础上，基于国际比较视角提出，在沪重大科学装置在原始创新、核心技术攻关、专业化运行管理、多层级协同开放、可持续发展等方面面临持续挑战，因此，提出聚焦前沿科学引领，夯实原始创新根基；攻坚关键核心技术，赋能产业高端转型；深化管理机制改革，提升系统运行效能；构建全球合作网络，增强创新辐射能级；健全长效保障体系，培育战略发展动能等建议。

关键词：重大科学装置；原始创新；核心技术攻关；管理机制；开放合作；持续保障
中图分类号：G321　**文献标识码：**A　DOI：10.3772/j.issn.1009-8623.2025.07.007

当前，科学正向极宏观拓展、向极微观深入、向综合极端条件和交叉融合迈进，国家科技竞争向基础研究前移，重大科学装置（国家重大科技基础设施，以下简称“大装置”）能否高效能地发挥支撑作用，对上海服务国家战略及国际科技创新中心建设具有重大意义。

长期以来，国家和地方均高度重视大装置建设。截至 2023 年 12 月，中国已布局建设 77 个大装置，在建和运行的大装置达 57 个，北京、上海和粤港澳国际科技创新中心成为大装置建设的重要区域[1]，大装置在服务国家战略、加快形成发展新质生产力方面发挥了重要作用。例如，北京正在建设的高能同步辐射光源将是世界上亮度最高的第四代同步辐射光源之一[2]；粤港澳大湾区正在推进南方先进光源建设，以期推动量子系统、能源材料和纳米医学材料等领域的相关研究，突破相关产业关键核心技术[3]。

近年来，美国、日本和欧洲等科技强国及地区的大装置运行数量均快速增加。例如，2023 年 11 月，美国和英国就聚变能源建立战略伙伴关系，合作研究建设美国国家聚变设施（DIII-D National Fusion Facility，DIII-D）[4]。2023 年 12 月，日本启动运行世界上最大超导托卡马克核聚变反应堆（Superconducting Tokamak Advanced Sustainment，以下简称“JT-60SA”），标志着日本在核聚变技术领域取得了重大突破，也为其在清洁能源领域核心技术突破和新兴产业发展奠定了全球领先优势[5]。

1　在沪重大科学装置的发展成效

“十二五”以来，上海集中、持续地布局了一批大装置，包括神光高功率激光物理实验装置[6]、上海同步辐射光源（以下简称“上海光源”）、硬 X 射线自由电子激光装置等。截至 2025 年 6 月，

第一作者简介：武雨婷（1993—），女，硕士，助理研究员，主要研究方向为科技政策、科技人才。
通信作者简介：张聪慧（1971—），女，硕士，工程师，主要研究方向为科学学、科技政策。电子邮箱：zhangch@siss.sh.cn
项目来源：上海市 2024 年度“科技创新行动计划”软科学研究项目“新时期强化在沪重大科学装置策源功能研究”（24692103100）。
收稿日期：2025-03-20

面向物质、化学、生命和海洋等领域，上海已持续地布局了一批大装置，其中投入运营 11 个、在建 5 个、规划中 4 个，总投资达 350 亿元。

一是支撑高水平前沿科学成果产出。以“上海光源”作为典型案例，截至 2024 年 5 月，其服务范围覆盖全国 34 个省级行政区，累计为近 800 家单位、约 4 500 余个研究团队的超 47 000 名科研用户提供支持。依托“上海光源”，用户成功开展并完成了 2 万余项实验课题，在众多关键科学领域取得了突破，攻克了大量重要科学难题[7]。

二是推动产业核心技术攻关与突破。在生物医药领域，“上海光源”和国家蛋白质科学研究（上海）设施支持了泽布替尼胶囊、多格列艾汀片等多款国产创新药的研发，其中，泽布替尼胶囊产值已超百亿元；面向集成电路产业对关键材料性能检测的迫切需求，“上海光源”精准聚焦极紫外光刻胶研发痛点，专项搭建 X 射线干涉光刻线站，通过该设施成功完成了光刻胶曝光性能的专业化评价，进而为国内集成电路领域的领军企业突破技术瓶颈，提供了定制化技术服务支撑。

三是引领高水平国际科技交流与合作。一方面，在大装置研制进程中，积极推动技术交流与成果输出。例如，硬 X 射线自由电子激光装置与欧洲分子生物学实验室（European Molecular Biology Laboratory）、美国费米国家加速器实验室（Fermi National Accelerator Laboratory）、欧洲核子研究中心（European Organization for Nuclear Research）、日本高能加速器研究设施（High Energy Accelerator Research Organization）等持续深化关键技术领域的协同研发。另一方面，着力提升大装置的国际化开放共享水平。例如，2023 年以来，“上海光源”通过上海市高端外国专家引进计划、“‘一带一路’国际科学组织联盟”等，吸引美国、德国、法国、新加坡、巴西和泰国等国家的访问学者开展合作研究。

2　国际比较视角下在沪大装置面临的主要问题

大装置作为各国抢占科技制高点的“国之重器”，其建设、运行和使用均应对标国际一流水平。本文基于国际比较视角，结合全面走访调研，与来自“上海光源”、国家蛋白质科学研究（上海）设施等大装置的 10 余位运行管理人员开展半结构化访谈，查找短板，提出在沪大装置规划、建设、管理、使用方面存在的不足之处。

2.1　支撑原始创新与国际顶尖设施相比存在差距

大装置肩负着引领原始创新、突破前沿技术的战略使命，是科技领域的关键制高点。但相较于国际顶尖同类设施，在沪大装置在支撑战略性基础研究实现跨越式发展，推动大科学研究范式构建与推广，以及引领国际科技合作拓展广度与深度等方面，仍需进一步优化提升。

一是大装置布局建设较晚。装置引领性和“首发效应”十分突出。纵观全球，越早投入应用的装置，越有可能孕育出高水平论文等重大创新成果。以欧洲同步辐射装置（European Synchrotron Radiation Facility，ESRF）为例，ESRF 于 1994 年建成，是全球第一台投入使用的第三代同步辐射光源。该装置于 2018 年进行了第二期改造，成为全球首座投入使用的第四代同步辐射光源[8]。观察 ESRF 论文产出情况可知，2018—2023 年，ESRF 支撑的论文总量呈递减趋势，其中影响因子大于 7 的论文于 2018—2020 年逐步上升，2020—2023 年也呈现了下降趋势[9]。相较之下，在沪大装置大多数跟随国外布局，例如，上海同步辐射光源（以下简称“上海光源”）作为第三代同步辐射光源，于 2009 年投入使用，截至 2024 年 5 月，支撑用户在《科学》《自然》《细胞》等国际顶级刊物发表高水平论文 220 余篇，与 ESRF 存在一定的差距。

二是大装置基础研究人才协同培养仍显不足。2021 年欧盟地平线欧洲计划（Horizon Europe）提出，投资 24 亿欧元用于建设世界一流的科研设施，并组建最优秀的人才团队开展最前沿的科学实验，极大地推动了基础研究高水平发展[10]。2023 年 4 月，德国正式启动“ErUM 转化行动计划：基础研究的创新”计划（ErUM-Transfer），该计划明确规划了 2023 至 2033 年的实施周期，将累计投入近 950 万欧元，通过立项资助、网络倡议等多元举措[11]，依托大装置畅通教育、科技和人才良性循环，共同推动基础研究创新突破。欧洲 X 射线自由电子激光装置（European X-ray Free-Electron Laser Facility，XFEL）和股东国家的大学共同资助建立“共享”博士职位，博士生须在 XFEL 装置至少工

作 12 个月 [12]。相较之下，在沪大装置项目发起以研究团队申请为主，上海市层面尚未围绕大装置部署科研专项，在支撑战略导向的体系化基础研究和有组织科研方面缺少相应的平台载体和机制保障，解决根本性科学问题的成果偏少。

三是大装置国际开放水平较低。支撑全球高水平科学家开展前沿探索和原始创新是大装置的主要功能之一。美国能源部（Department of Energy，DOE）积极推进下属大装置开放共享，国际用户约占全部用户的 16%。同时，积极探索远程服务模式，对用户交互技术、信息技术与标准化等提出更高要求，保证全球科研人员可以通过远程方式开展科研工作，2021 年远程使用用户约占全部用户比例的 66%[13]。相较之下，在沪大装置的国际化水平还有待提升。以“上海光源”为例，2023 年国际用户占全部用户的比例仅为 0.5%。

2.2 支撑核心技术攻关仍有待提质增效

大装置与学术前沿、工程前沿及产业实际需求存在深度耦合关系，在统筹核心技术协同攻关方面具备独特优势。但在沪大装置对重点产业技术攻关的需求响应存在滞后性，与产业领域的深度互动交流频次较低，同时在新兴产业培育与催生方面尚未取得实质性突破。

一是大装置支撑用户开展关键核心技术攻关的能力不足。ESRF 在结构生物学（占公众用户实验分配时间的 21%）、生命科学（占公众用户实验分配时间的 7%）和应用材料科学（占公众用户实验分配时间的 16%）等多个领域开展前沿研究，尤其在蛋白质结构、催化反应和医学成像等方面贡献显著。相对而言，以建设发展较为成熟的“上海光源”为例，从 2023 年用户分布上来看，生命科学领域占比为 77%，材料、能源和物理等领域应用均低于 10%。在所有科研项目中，与光刻胶、硅片等核心技术研发相关的项目机时占比低于 1%，对于集成电路等重点产业支撑较为有限。

二是企业参与大装置建设、运营和使用的程度均待加强 [14]。从国际经验看，企业或社会资本以共建专用装置等方式参与大装置建设已成为主要趋势，如日本新一代 SLiT-J 光源建设企业出资占 52%。此外，日本第三代同步辐射光源“Super Photon ring-8”（以下简称“日本 Spring-8 光源”）企业用户机时占比达 10%[15]。相较之下，在沪大装置产业用户少，参与建设的企业更少。目前，不同于面向科研用户的免费服务，在沪大装置为企业服务大多以签署合作协议为主，典型案例如“上海光源”向百济神州有限公司、比亚迪股份有限公司等民营企业提供机时服务。通过与相关大装置管理人员半结构化访谈得知，截至 2024 年 10 月，“上海光源”企业用户机时为 2023 年同期的 1.8 倍，但企业用户机时占比仍约为 3%。中国石化上海石油化工研究院作为中国第一家参与大装置建设的企业，其与“上海光源”共建三条专用线站的运营模式尚在探索中，民营企业尚无参与在沪大装置建设的案例。

三是大装置建设关键技术尚未自主可控。大装置作为“科技航母”，应当兼具工程效益与创新效益。但是，在沪大装置关键技术和设备主要依靠国际采购，尚未充分带动国内相关技术设备突破。正在建设中的“上海光源”用户装置，其 70% 的技术设备仍需依赖国外进口，受当前国际形势影响，关键核心零部件及备品备件引进困难，导致装置建设周期延缓。同时，在沪大装置与企业共同提出应用场景、催生新兴产业较少，尚未实现大装置技术转化应用。

2.3 专业化运行管理机制仍需优化完善

大装置作为前沿科研活动的系统集成，运营管理应当高度专业化 [16]。但上海地区大装置的运营发展仍存在体制机制障碍，大装置考核评价导向呈现同质化倾向，运营管理模式存在单一化局限，制约大装置整体运行效能的充分释放。

一是大装置分类考核管理机制尚需优化 [17]。大装置分为“前瞻引领型、战略导向型、应用支撑型”三大类，并强调要强化设施建设事中事后监管，完善全周期管理，全面提升开放共享水平和运行效率，在沪大装置尤其是以“上海光源”为代表的通用型和应用支撑型大装置，总体考核评价机制仍以服务高校院所基础研究为主，在主动适应需求变化、优化评价机制等方面尚需进一步完善。

二是专业化大装置独立法人运营机构尚未建立。为了方便对大科学装置的统筹管理以及避免重复建设，日本、美国等国家都设有专门的大科学装置运营管理部门或机构。例如，“日本 Spring-8 光源”的“双核”管理模式，“双核”是指日本理化学研

究所（Institute of Physical and Chemical Research）和高辉度光科学研究中心（Japan Synchrotron Radiation Research Institute）。其中，理化学研究所代表国家拥有“日本Spring-8光源”的所有权，负责向上级主管部门争取财政拨款，从事具有战略意义的基础研究；高辉度光科学研究中心则代表关西经济联合会等产业界利益，属于公益财团法人性质的新型研发机构，依法从日本文部科学省获取运营补贴费用，负责保障装置的日常运行，为用户提供技术咨询指导、共享机时申请与受理、技术支撑服务、促进大装置成果最大化等[18]。但是，所有在沪大装置均依托中国科学院下属院所及高等院校的内设职能部门开展运维工作，尚未建立起具备独立运行属性、能够适配大装置多元化发展需求的专门管理机构。这类依托现有机构的运维模式，难以突破内设部门的职能边界与管理惯性，无法充分响应大装置在跨学科协作、资源动态调配和长效机制建设等方面的差异化需求，进而对其运营效能的提升形成制约。此外，2023年“上海光源”装置运行管理人员规模仅约20人，远远低于ESRF装置总部、行政和中心服务的38位科学家、工程师、高级管理人员及59位工人、技术员、行政人员的规模。

三是大装置央地建设管理合力仍需加强。多个国家或地区合建大装置较为普遍，虽然资助来源多元化，但是经费使用标准统一[19]。例如，ESRF由22个国家共同支持，其中，包括法国、德国等成员国和奥地利、葡萄牙等9个联系国。为了更好地运行ESRF，其经费实行统一管理。2023年，光束线、实验和内部研究费用约2 857万美元，约占全年经费支出的19%。相较之下，在沪装置主要由中央在沪单位运行管理，装置资产归属中央在沪单位，运行经费主要由中央财政承担。在国家相关经费构成中，设计费普遍不含科研工艺设备费用，大量前沿尖端的非标设备，只能由项目单位自行设计、加工或委托加工，研发效率有待提升。

2.4　多层级协同开放优势亟须加速构建

大装置是构建国家创新高地、提升区域科技创新能力的核心支撑要素，其建设与运营效能对长三角区域创新一体化进程具有重要影响。但长三角地区大装置发展存在显著短板，集群协同效应薄弱，存在资源配置重复化、跨区域协作机制缺失等问题，未能形成高效协同的创新合力。同时，数据开放治理能力不足，科研数据“孤岛现象”突出，跨装置数据共享与规范化治理机制尚未建立。

一是长三角大装置尚未形成集群效应。大装置的联动使用往往能释放更大前沿探索支撑能力，例如，自2014年起，“日本Spring-8光源”和“SPring-8自由电子激光装置”（Spring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser，SACLA）推出了“互补使用计划”，允许研究人员同时申请使用两个装置，研究人员可以使用SACLA提供的高强度自由电子激光进行快速实验，同时利用“日本Spring-8光源”的同步辐射进行更详细的结构分析，这种组合使得科学家能够观察材料在极端条件下的反应，从而产生新发现[20]。粤港澳大湾区内深圳光明科学城布局的合成生物、脑解析与脑模拟和自由电子激光等9个大装置，与河套深圳园区紧密联动，积极推动园区承接大装置的衍生技术转化落地，深化“科学城+园区”协同发展。相较之下，长三角地区地缘相近、技术相亲，大装置协同发展的基础较好，但是尚未形成制度化协同，联合开展国家战略任务攻关不足，缺少推动大装置协同发展的规划和专项政策。

二是大装置数据开放治理亟须适应科研范式变化。近年来，科学智能急速发展，对蛋白质结构分析预测等科研活动的组织方式产生了深刻影响，大装置普遍面临科研大数据带来的巨大挑战[21]。国外部分大装置已开始科学数据治理相关的技术研究，努力推进大装置基础数据建设。例如，XFEL自2017年到2023年用户运行情况原始数据积累已达111 PB，主要用于数据分析计算集群所用时间为180万h[12]。相较之下，在沪大装置在数据治理领域的短板较为突出，在数据全生命周期管理层面，海量科研数据的确权规则、存储标准及使用规范尚未形成清晰统一的制度框架，针对数据使用权限界定、使用流程管控等核心环节，仍缺乏系统性的规划安排与操作细则，导致数据资源在共享与利用过程中存在权责模糊、流程无序的风险。在数字化基础设施建设层面，以国家蛋白质科学研究（上海）设施为代表的部分大装置，尚未完成专业化数字化基础平台的搭建，既无法为科研数据的高效存储、实时分析提供技术支撑，也难以满足跨装置数据协同应用的基础条件，进一步制约了在沪大装置数据价

值的挖掘与释放。

三是大装置全社会深度开放程度有待提升[22]。例如，2023 年 XFEL 共邀请 1 800 余名访客参与导览项目，访客包括学生、科学会议参与者和行业利益相关者。通过一系列多样化的科普互动活动，提升了社区居民对装置功能有了更深入的认知，也对科研活动产生了浓厚的兴趣[23]。“日本 Spring-8 光源”为了提高全社会对装置的深度了解，专门设置了学术协同体和产业协议会专项预算。学术协同体负责举办学术研讨会、提供用户需求动态调研、开展技术培训班、组织学术研究会及评选青年科学家奖等，极大地推动了大装置在企业中的科学普及，培养了大批掌握装置方法的企业技术人员，为大装置发展了大量的产业用户。相较之下，上海企业对大装置的知晓度尚需提升，大装置运行机构自身缺乏提升全社会有效认知的体系化路径设计和专项经费支持。

2.5 大装置可持续发展需加强全面谋划

大装置建设周期长、投入大，保障其长期可持续发展是必然要求。但在沪大装置普遍面临“重建设、轻运行”的问题，即在建设过程中投入大量资源和精力，但在运行阶段却因经费和人员保障的紧缺而难以维持高效稳定的运营状态。

一是大装置技术和方法更新迭代有待加强。大装置自身的迭代研究是其持续发挥效用的关键。例如，2023 年 9 月，美国《LCLS 战略计划 2023—2028》明确以建立长周期的科学优先事项，推动装置性能的重大变化，建立卓越运营确保任务成功，以及赋能社会和经济影响为目标，提出未来 5 年将集中于美国直线加速器相干光源（Linac Coherent Light Source，LCLS）装置一系列重大投资的设计、交付、调试和利用[24]。相较之下，在沪大装置体系化科研方法不足，操作技术迭代有待加强。

二是大装置运维经费保障与激励措施相对不足。大装置建成后仍需要大量经费保障其高效运行。美国劳伦斯伯克利国家实验室先进光源（Advanced Light Source），总投资 0.995 亿美元，美国国家财政每年提供运维经费 0.6 亿美元，运行费与建设费配比达 3∶5[25]。德国电子同步加速器中心（Deutsches Elektronen-Synchrotron）由德国联邦和所在州按照 9∶1 共同出资，每年由联邦财政提供 2.2 亿欧元运维经费，保障装置的高效运行[26]。相较之下，在沪大装置国家保障的稳定运行经费存在普遍不足的问题，承建单位尚未单独设立财政支持序列，运维经费难以支撑高效运行。此外，在沪大装置人员经费保障与激励相对不足。国家及地方层面尚未建立大装置专项人员经费补贴机制，所属单位自主补贴亦存在局限，直接导致大装置相关岗位薪酬与市场同类岗位差距明显、竞争力不足，进而引发部分具备丰富工程技术经验的核心科技人才流失，对大装置骨干人才队伍稳定性造成显著制约，间接影响其运营管理效能与创新支撑能力的持续提升。

三是面向未来的大装置建设前瞻布局仍需深化[27]。2024 年 3 月，日本文部科学省发布《大型同步辐射光源 Spring-8 升级改进方向》报告，提出了下一代同步辐射光源“SPring-8-II”改进升级的技术目标、开放利用的改进方向等内容，以达到现行“日本 Spring-8 光源”约 100 倍的最高辉度，并且具备世界顶尖性能的目标。同时，明确谋划布局第五代同步辐射光源设施以突破技术极限。欧洲 XFEL 装置制定了《欧洲 XFEL2030 战略：战略方向》（European XFEL Strategy 2030：Strategic Directions），计划进行主要的设施升级，包括加速器和实验设备的改进，旨在提升光源的性能，增加 X 射线的亮度和脉冲频率，以支持更复杂的实验和研究。相较之下，上海已建成的大装置大多为前瞻引领型，致力于探索基础科学研究前沿。相对于三大先导产业和未来产业发展的迫切需求，应用支撑型大装置严重不足[28]。面对新一轮科技革命和产业变革带来的重大机遇，加快建设应用支撑型大装置及增强高质量发展的科技基础能力是新形势下的迫切需求。

3 关于在沪重大科学装置发展的建议

面对新的形势背景和战略要求，如何发挥大装置的作用，强化对原始创新和核心技术攻关的支撑能力，本文围绕夯实原始创新根基、赋能产业高端转型、提升系统运行效能、增强创新辐射能级和培育战略发展动能 5 个方面提出对策建议。

3.1 聚焦前沿科学引领，夯实原始创新根基

通过技术方法迭代、创新资源整合和国际合作拓展等支持举措，推动大装置在前沿突破、跨主体

协同及全球创新网络参与中发挥枢纽作用。一是推动大装置持续优化技术方法。建立大装置基础研究专项支持计划，引导大装置在量子科技、生物科技和智能材料等领域开展前瞻性技术革新，为技术突破与产业转化奠定基础。建立重点产业领域支持计划，瞄准产业升级需求，开展高风险高价值原创研究与跨学科融合研究。二是推动大装置深化合作与资源协同共享。以重大科学问题攻关为导向，促进大装置与国家战略科技力量建立深度协同的机制，优化攻关模式，提升跨主体解决复杂问题的联动能力。支持组建创新联合体，共同推进重大项目攻关，强化资源高效整合，放大共享协同效应。三是助力大装置牵头发起国际大科学计划。推动“上海光源”等与国际大科学计划紧密联动，深度参与全球科学研究。加强与科技强国及“一带一路”沿线国家的协作，谋划牵头发起国际大科学计划，推动大装置引入国际资源、拓展合作网络。

3.2　攻坚关键核心技术，赋能产业高端转型

通过产业服务能力提升、衍生技术孵化和企业参与机制完善等举措，构建大装置与区域产业协同发展的良性生态。一是提升大装置科技产业服务支撑能力。优化市场导向的选题机制，以重点产业需求为核心，构建适配企业研发的选题体系；在选题设计中纳入研发目标实现度、技术带动效应及市场前景评估指标，通过精准对接产业需求，增强大装置产业服务与市场适配能力。二是秉持梯次孵化理念，助力衍生技术与新兴产业发展。统筹建设新型研发机构、跨学科联合实验室等转化载体平台，依托平台整合技术、人才和资金等要素，提升衍生技术从实验室研发到产业化的梯次孵化效能，扩大技术辐射范围，助推新兴产业培育。三是完善企业参与大装置建设运行的激励机制。发挥用户委员会协同作用，突出企业在需求对接与决策中的核心作用。围绕上海重点产业发展方向规划布局大装置，建立“先明确需求、推进合作，再定载体内容”的立项流程，确保与产业需求契合。健全企业投入分类评价、专项奖励及成本风险分担机制，提升企业参与大装置建设运营的主动性。

3.3　深化管理机制改革，提升系统运行效能

通过大装置评价改革、市场化运营机制优化及开放创新试点等举措，推动大装置在考核导向、管理模式与国际合作等方面实现突破。一是完善大装置评价标准。加强央地相关部门协同，在新一轮院市、部市合作框架下，协同优化大装置考核评价体系，将企业用户使用机时占比、服务产业带来的经济效益、面向企业开展的培训与宣传频次等产业服务指标纳入年度考核，增强评价体系与区域产业发展的契合度。二是建立市场化运行管理机制。针对应用支撑类大装置，深入推进产学研用融合的管理模式改革，探索由企业或新型研发机构承担专业化运营管理，构建“用户收费 + 财政补贴”相结合的市场化运营机制与可持续商业模式，全面提升大装置的运行效率和对市场需求的响应能力。三是制定大装置开放创新试点清单。聚焦全球科研人员短期访沪的核心需求，提供涵盖专项资助、出入境便利和实验样品快速通关等全流程服务保障，通过增强服务的便捷性与可及性，提升大装置在国际合作中的吸引力。

3.4　构建开放合作体系，增强创新辐射能级

通过共建长三角大装置联盟、加快科研范式与数据治理创新、系统加强科普体系建设等举措，全面提升大装置开放水平。一是共建长三角大装置联盟，强化区域科技协同机制。通过构建涵盖项目、专家、数据与人才的一体化资源平台，系统推动长三角地区大装置在项目布局、资金使用及管理机制上的深度融合，实现跨区域创新资源的高效整合与联合攻关能力的整体提升。二是率先推进大装置数据治理与科研范式创新，引领科学数据开放与 AI 融合应用。加快建立涵盖数据确权、流通与共享的制度体系，推动大装置科学数据规范管理与高效利用。面向重点产业领域的战略需求，建设科学智能大模型，加速能源材料与生物医药等领域的原创性突破。三是系统加强大装置科普体系建设，提升公众科技认知水平与参与感。通过与科技馆等机构合作建设国际大装置微缩展示馆，设立专项科普基金，广泛开展多层次、多形式的大装置科普宣传与交流活动，增强社会公众对大装置科技价值与创新贡献的感知与认同。

3.5　健全长效保障体系，培育战略发展动能

通过系统优化大装置全周期统筹机制、经费保障体系及关键技术攻关路径，全面提升大装置的可持续运行能力。一是坚持大装置建设、运营与使用

一体化统筹推进。在战略层面，系统整合大装置布局与区域科技突破及新兴产业培育目标，科学确立“前瞻引领型、战略导向型、应用支撑型”大装置的体系架构。尤其在应用支撑型大装置的前期规划中，应重点评估其对上海集成电路、生物医药和人工智能等先导产业的服务能力与匹配程度。在立项阶段，通过制度设计推动产业界深入参与和社会资本有效引入，从而增强大装置与产业需求之间的协同性与联动效应。二是建立长期稳定的大装置运行经费保障体系。建议成立市级层面的一体化平台机构，全面负责大装置的“投资—建设—运营—维护”统筹管理，构建包括财政拨款、科技成果转化收益和设备共享服务收入等在内的多元化资金筹措机制。形成“财政保障为主、市场补充为辅”的可持续资金支持模式，为大装置的持续高效运行提供坚实支撑。三是推动大装置关键技术的国产化替代。围绕上海光子大装置集群等重大需求，可借助“揭榜挂帅”等科研管理制度，联合大装置运营单位与科研主体共同梳理关键技术瓶颈，形成精准的攻关清单，重点推进高端科学仪器与核心零部件的自主研发。同时，通过配套激励政策与资源倾斜，鼓励高校、科研机构及企业参与国产化研发，加快关键技术自主可控进程，降低对国外技术与设备的依赖。■

参考文献：

[1] 中国新闻网 . 王贻芳院士 : 中国已布局建设 77 个大科学装置覆盖主要科研领域 [EB/OL]. [2024-04-28]. https://www.chinanews.com.cn/gn/2024/04-28/10208219.shtml.

[2] 陆成宽 . 高能同步辐射光源储存环成功实现束流存储 [N]. 科技日报 , 2024-08-20(1).

[3] 陆成宽 . 内地与港澳探索南方先进光源合建新模式 [N]. 科技日报 , 2024-10-28(2)

[4] 白路 . 美国家实验室大科学装置对外合作机制与模式分析 [EB/OL]. [2023-11-28]. https://mp.weixin.qq.com/s/umnbzTvFcXKIVuVFK4Bm6Q.

[5] 田倩仪 . 未来能源之可控核聚变的发展趋势及发展建议 [EB/OL]. [2025-01-02]. https://mp.weixin.qq.com/s/dPvFc7Z8YEe9L2qhDQr82g.

[6] 中国科学院上海光学精密仪器研究所 . 实验室发展历史 [EB/OL]. [2023-11-23]. http://www.siom.cas.cn/jgsz/ggljgwlgjsys/fzls/200908/t20090819_2423759.html .

[7] 中国科学院上海高等研究院 . 追光奋进十五载，逐源争先攀高峰 : 上海光源迎来开放十五周年 [EB/OL]. [2024-05-06]. http://www.sari.cas.cn/xwdt/ttxw/202405/t20240506_7153392. html.

[8] ESRF. Science and Technology Programme 2008-2017[R/OL]. [2024-09-28]. https://www.esrf.fr/files/live/sites/www/files/about/upgrade/documentation/ESRF-SciTechProg 2008-2017.pdf.

[9] ESRF. ESRF Highlights 2023[R/OL]. [2024-09-26]. https://www.esrf.fr/Apache_files/Highlights /2023/index.html.

[10] 张丽娟 , 曾凡珂 . 欧盟科技政策新航标 : “地平线”计划 [EB/OL]. [2021-06-30]. https://mp.weixin.qq.com/s/gc_x13ZOzAjJozVdF_9mDA.

[11] 王子丹 . 主要国家大科学装置建设和运营管理经验研究 [J]. 全球科技经济瞭望 , 2024, 39(7):19-25, 33.

[12] XFEL. XFEL: Annual Report 2023[R/OL]. [2024-01-24]. https://www.xfel.eu/sites/sites_custom/ site_xfel/content/e35178/e56171/e56388/xfel_file272332/XFEL_Report-2023_A4_20240605_digital_compressed_eng.pdf.

[13] 董璐 , 李宜展 , 李云龙 , 等 . 美国能源部重大科技基础设施对我国开放服务趋势研究及启示 [J]. 中国科学院院刊 , 2024, 39(3): 459-471.

[14] 周燕 , 杜鹏辉 . 大科学装置的建设运行、效应影响及经验启示 : 综述与评估 [J]. 科技进步与对策 , 2024, 41(12): 151-160.

[15] SPring-8. 平成 25 年度 SPring-8 重点産業化促進課題・一般課題 (産業分野) 実施報告書 (2013B)[R/OL]. [2024-11-10]. https://support.spring8.or.jp/report/Report_JSR/Jsr_25B.html.

[16] 杨锡怡 , 张玲玲 , 柳卸林 , 等 . 强化优化专业人才队伍建设提升重大科技基础设施效能 [J]. 中国科学院院刊 , 2024, 39(4): 737-747.

[17] 杨晓 , 孙裕彤 , 袁军鹏 . 大科学装置科学效益的测度体系构建与差异评价 [J]. 科技管理研究 , 2024, 44(20): 28-41.

[18] 刘子洋 , 黄孚 . 日本重大科技基础设施服务产业发展演化探究 [J]. 科学学研究 , 2024, 42(11): 2305-2317.

[19] 胡艳 , 张安伟 . 新发展格局下大科学装置共建共享路径

研究 [J]. 区域经济评论 , 2022(2): 112-119.

[20] 文部科学省 . 大型放射光施设 (SPring-8) 及び X 线自由电子レーザー施設 (SACLA) 中間評価報告書 [R/OL]. [2019-03-01]. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/ gijyutu/gijyutu2/090/houkoku/__icsFiles/afieldfile/2019/03/01/1413947_1_1.pdf.

[21] 吴家睿 . 大科学设施的科学数据汇交与开放共享面临的挑战与对策 [J]. 生命科学 , 2024, 36(11): 1311-1314.

[22] 冯敬宇 . 推进大科学装置科学普及工作分析 [J]. 产业创新研究 , 2023(24): 57-59.

[23] STFC. Impact evaluation of European XFEL[R/OL]. [2023-08-28]. https://www.ukri.org/wp-content/uploads/2023/08/STFC-030823-EuropeanXFELImpactEvaluationReport.pdf.

[24] LCLS. LCLS strategic plan 2023-2028[R/OL]. [2023-12-25]. https://lcls.slac.stanford.edu/sites/ default/files/2023-12/LCLS%20Strategic%20Plan%202023-2028.pdf.

[25] 创新中心 . 国外重大科技基础设施运行管理模式经验与启示 [EB/OL]. [2023-12-28]. https://mp.weixin.qq.com/s/mCBwUk1ZSkWZU8BvxG0QTA.

[26] 黄敏聪 . 德国大科学中心现状分析 [EB/OL]. [2018-04-02]. https://mp.weixin.qq.com /s/HgsGSKB1lI9ITwimYciZcw.

[27] 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.

[28] 黄从利 , 周非特 , 徐祥 , 等 . 加强应用支撑型重大科技基础设施建设 , 增强我国高质量发展的科技基础能力 [J]. 中国科学院院刊 , 2024, 39(3):423-435.

From an International Comparative Perspective: Research of the Development Issues and Countermeasures of Major Scientific Facilities in Shanghai

WU Yuting, ZHANG Conghui, CHANG Jing, SHI Yingjie

(Shanghai Institute for Science of Science, Shanghai　200040)

Abstract: As the world enters an era of big science, major scientific infrastructure has become pivotal for nations aspiring to the forefront of scientific and technological advancement. This paper presents a systematic examination of the development and operational performance of major scientific facilities in Shanghai, appraising their contributions to fulfilling national strategic imperatives and bolstering regional innovation ecosystems. Grounded in an international comparative perspective, the analysis reveals that these facilities exhibit persistent challenges related to fostering original innovation, achieving critical technological breakthroughs, implementing professionalized operational management, promoting multi-tiered synergistic collaboration, and ensuring sustainable development. This paper proposes several recommendations: focusing on cutting-edge scientific leadership to strengthen the foundation of original innovation; tackling key core technologies to empower high-end industrial transformation; deepening the reform of management mechanisms to enhance operational efficiency; building global cooperation networks to expand the reach of innovation; and establishing long-term safeguard systems to cultivate momentum for strategic development.

Keywords: major scientific facilities; original innovation; core technology research; management mechanism; open cooperation; sustained support