

引文格式

江坤宁, 韩效锋, 尹红星, 等. 新时期下重大科技基础设施运行管理面临的挑战与关键机制探讨 [J]. 集成技术, 2023, 2(1): 1-5

Citing format

Jiang KN, Han XF, Yin HX, et al. Challenges and path exploration of major scientific and technological infrastructure construction in the new era [J]. Journal of Integration Technology, 2023, 2(1): 1-5

新时期下重大科技基础设施运行管理面临的挑战与关键机制探讨

江坤宁, 韩效锋, 尹红星, 刘志宏, 陈俊凌

(中国科学合肥物质科学研究院等离子体物理研究所, 合肥 230031)

摘要: 重大科技基础设施是我国建设世界科技强国的“国之重器”, 可持续推动重大原创成果的产出、加快创新要素的整合、高端产业的突破。随着新一轮科技革命发展和经济全球化推进, 国际竞争日趋复杂化, 重大科技基础设施发展进入新的阶段, 也面临新的挑战。文章通过梳理分析重大科技基础设施发展新态势、及运行管理面临的挑战, 探讨重大科技基础设施运行相应对的措施和管理政策制定等, 对提高重大科技基础设施的建设和运行管理水平, 具有参考和借鉴意义。

关键词: 重大科技基础设施; 大科学装置; 重大成果产出; 创新资源; 开放共享

中图分类号: G311 文献标识码: A doi: 10.12146/j.issn.2095-3135.20230414001

Challenges and path exploration of major scientific and technological infrastructure construction in the new era

Jiang Kunning, Han Xiaofeng, Yin Hongxing, Liu Zhihong, Chen Junling

(Institute of Plasma Physics, Hefei Academy of Physical Science, Science of China, Hefei 230031, China)

Corresponding to: jlch@ipp.ac.cn

Abstract: Major science and technology infrastructure is a "national tool" to build China into a world science and technology power. It can sustainably promote the output of major original achievements, accelerate the integration of innovation factors, and make breakthroughs in high-end industries. With the development of a new round of scientific and technological

收稿日期: 2023/4/14 修回日期: 2023/5/10

作者简介: 江坤宁, 科研项目主管, 主要研究方向为大科学工程与科研项目管理; 韩效锋副研究员, 主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理; 尹红星, 主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理, 五级职员; 刘志宏, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理; 陈俊凌 (通讯作者), 总经济师, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理, **E-mail:** jlch@ipp.ac.cn.

revolution and the advance of economic globalization, international competition is becoming increasingly complicated, and the development of major scientific and technological infrastructure has entered a new stage and faced new challenges. The profound change of scientific research paradigm and the rapid development of interdisciplinary integration will put forward higher requirements for the construction level of major scientific and technological infrastructure. By sorting out and analyzing the current situation of major science and technology infrastructure construction, analyzing the new development situation of big science and technology devices, as well as the challenges faced by operation and management, this paper focuses on the problems faced by major science and technology infrastructure development and management bottlenecks. To explore the development path of efficient management mechanism for big science and technology facilities in the future from three dimensions of strategy, policy and management, such as the development of appropriate measures and management policies for major science and technology infrastructure operation, the closeness between national forward-looking deployment and major national needs, the innovative organization and management mode with multi-body participation, and the open and shared international cooperation mechanism. It is of reference significance for improving the construction, operation and management level of major science and technology infrastructure, strengthening major original innovation capacity, building a powerful country in science and technology, and realizing self-reliance and self-improvement of high-level science and technology at an early date.

Keywords: Major scientific and technological infrastructure; major scientific devices; major achievements; innovative resources; opening and sharing

引言

重大科技基础设施是依托高水平创新主体建设的大型复杂科学研究装置或系统,其在新时期建设与发展的目标将紧密围绕国家战略需求、推动在重要基础科学领域取得突破性进展,为重大原创成果产出和高水平人才集聚提供有力支撑,助力国家高水平科技自立自强。目前,我国已布局建设 55 个国家重大科技基础设施,随着重大科技基础设施布局不断加快,有力加大了对科技创新的支撑,同时围绕大科学装置的建设和运行,构建了以装置为中心带动地方创新和经济发展的小核心、大网络创新驱动模式,起到科学研究示范引领、产业技术推动创新的重要作用。重大科技基础设施体系化建设初见成效,但随着重大科技基础设施规模发展壮大,其运行管理路径仍面临诸多挑战,本文通过梳理我国大科学装置布

收稿日期: 2023/4/14 修回日期: 2023/5/10

作者简介: 江坤宁, 科研项目主管, 主要研究方向为大科学工程与科研项目管理; 韩效锋副研究员, 主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理; 尹红星, 主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理, 五级职员; 刘志宏, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理; 陈俊凌 (通讯作者), 总经济师, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理, **E-mail:** jlch@ipp.ac.cn。

局发展历程和当前重大基础设施管理存在的挑战，探索科技自立自强要求下重大科技基础设施运行管理机制，以期为加强原始创新能力、加快建设科技强国、实现高水平科技自立自强提供借鉴和参考。

1 重大科技基础设施发展现状

1.1 大科学装置宏观政策

近年来，随着我国大科学装置建设和发展的不断加快，国家先后制定了多项促进重大科技基础设施发展的战略规划政策，如《国家重大科技基础设施建设中长期规划（2012-2030年）》^[1]，首次在国家顶层建立了大科学装置发展路线图；同时从国家长远经济发展和战略需求角度考虑，制定了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》^[2]、《能源技术革命创新行动计划（2016-2030年）》^[3]、《“十四五”国家基础研究专项规划》等顶层方针^[4]，明确了面向国家战略需求，部署重点支持领域设施，强调通过提高大科学装置建设和运行队伍水平、提高原始创新能力，推动科技自立自强，在国际竞争中赢得发展主动权。（表1）

表1 国家宏观政策列表

Table 1 List of national macro policies

政策名称	年份	内容
国家重大科技基础设施建设中长期规划（2012-2030）	2013年	我国正处于建设创新型国家的关键时期，按照全国科技创新大会部署和深化科技体制改革的要求，前瞻谋划和系统部署重大科技基础设施建设，建议提高发展水平，对增强我国原始创新能力、实现重点领域跨越、保障科技长远发展、实现从科技大国迈向科技强国的目标具有重要意义

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总经济师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

能源技术革命创新行动计划（2016-2030年）

2016年

到2030年，建成与国情相适应的完善的能源技术创新体系，能源自主创新能力全面提升，能源技术水平整体达到国际先进水平，支撑我国能源产业与生态环境协调可持续发展，进入世界能源技术强国行列。

中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要

2021年

支持北京、上海、粤港澳大湾区形成国际科技创新中心，建设北京怀柔、上海张江、大湾区、安徽合肥综合性国家科学中心，支持有条件的地方建设区域科技创新中心。强化国家资助创新示范区、高新技术产业开发区、经济技术开发区等创新功能。适度超前布局国家重大科技基础设施，提高共享水平和使用效率。

“十四五”国家基础研究专项规划

2021年

着眼于世界科技前沿和主要国家竞相布局的战略必争领域，在重点领域实施重大科技项目，发挥新型举国体制优势，创新组织管理模式，加强与国家战略科技力量的统筹部署，力争产出重大原创成果，抢占国际科技竞争制高点，培育战略性新兴产业，掌握未来发展主动权。

1.2 重大科技基础设施不同阶段发展特点

根据国家布局特点和政策导向，首先对中国大科学装置发展历程^[5]以及中国

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学与工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总工程师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

科学院布局建设的重大科技基础设施分布情况进行了整体回顾（表2），其发展阶段可分为以下三个时期：

第一时期为1986年-2010年，国家开始集中发展专用专业设施和公益类设施，主要以中国科学院为依托单位，建设地点以北京为主，布局领域集中在光学、核物理等。此阶段中国以学习发达国家科技经验、消化吸收国外大科学基础设施建设的先进技术为主。

第二时期为十二五期间（2011-2015年），国家为加快重大科技基础设施建设、对标国家战略需求、在薄弱领域努力赶超世界先进水平，布局建设设施近40项，对单个设施的体量和技术指标均加大力度，以此带动多学科领域的科学技术发展。如投入运行了郭守敬望远镜、大亚湾反应堆中微子实验、国家蛋白质科学研究（上海）设施、东半球空间环境地基综合检测子午链、科学号海洋科学综合考察船等，在天文、生物、空间环境等研究领域起到了关键的支撑和突破作用^[6]。

第三阶段是国家十三五期间（2016-2020年），全球面临新一轮科技革命和产业变革，中国科技发展处于从量变到质变能力提升的重要转折期，国家亟需高端科技力量支撑经济发展。在此期间布局的重大科技基础设施以公共实验类为主^[7]，如稳态强磁场实验装置、武汉国家生物安全实验室、物质前沿等，并把原始创新能力、重大成果产出等列为重大科技基础设施的重要考核指标。

进入十四五以来，随着科学技术的广度和深度不断向宏观和微观世界拓展，重大科技基础设施不仅支撑科学前沿的革命性突破，也为技术创新和产业发展带来了巨大动能。如依托中国科学院在建的大科学装置已有8项，公用设施类占比超2/3，以增强科技创新支撑能力、建成世界强国为目标，在能源、生物、极端条件等制约我国发展短板和“卡脖子”的前沿科学领域布局建设了一批重大科技基础设施，并逐步形成以创新驱动发展为核心的大科学装置集群，在区域科技创新、产业发展上起到关键的辐射作用^[8]。如合肥对标国家发展战略，瞄准世界科学前沿，发挥集群优势，集聚创新资源，目前已建成的大科学装置有EAST全超导托卡马克装置、稳态强磁场实验装置、以及在建的聚变堆主机关键研究设施，形成突破型、引领型、平台型一体化的综合性科学中心城市，有效激发大科学装置之间“1+1>2”的交叉协同效应。

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总经济师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

表 2 中科院运行、在建重大科技基础设施（设施名称有*标注为在建设施）

Table2 CAS operates and building major scientific and technological infrastructure

投入运行期	新建设施数量	设施名称	研究机构	类别
十二五时期前	10	北京正负电子对撞机（二期）	高能物理研究所	专用设施
		神光高功率激光实验装置	上海光学精密机械研究所	专用设施
		兰州重离子研究装置	近代物理研究所	专用设施
		超导托克马克实验装置	合肥物质科学研究院等 离子体物理所	专用设施
		中国散列中子源	高能物理研究所	公共实验
		合肥同步辐射装置	中国科学技术大学	公共实验
		上海光源	上海高等研究院	公共实验
		长短波授时系统	国家授时中心	公益基础
		中国遥感卫星地面站	空天信息创新研究院	公益基础
		遥感飞机	空天信息创新研究院	公益基础
十二五时期 (2011-2015)	5	“实验 1”科学考察船	声学所、南洋海洋所、沈阳自动化所	公益基础
		中国西南野生生物种质资源库	昆明职务研究所	公益基础
		郭守敬望远镜	国家天文台	专用设施
		大亚湾反应堆中微子实验	高能物理研究所	专用设施
		国家蛋白质科学研究（上海）设施	上海高等研究院	公共实验
		东半球空间环境地基综合检测子午链	国家空间科学中心	公益基础
		强流重离子加速器*（在建）	近代物理研究所	公共实验
科学号海洋科学综合考察船	海洋研究所	公益基础		
十三五时期 (2016-2020)	7	500 米口径球面射电望远镜	国家天文台	专用设施
		稳态强磁场实验装置	合肥物质科学研究院强 磁场科学中心	公共实验
		武汉国家生物安全实验室	武汉病毒研究所	公共实验
		高能同步辐射光源*（在建）	高能物理研究所	公共实验
		大连相干光源	大连化学物理研究所	公共实验
		航空遥感系统*（在建）	空天信息创新研究院	公益基础

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学与工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总经济师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

十四五时期 (2021-2025)	9	高海拔宇宙线观测站	高能物理研究所	专用设施
		聚变堆主机关键系统综合研究设施* (在建)	合肥物质科学研究院等	专用设施
		强流重离子加速器* (在建)	离子体物理所	专用设施
		上海光源线站工程* (在建)	近代物理研究所	专用设施
			上海应用物理研究所	公共实验
		硬 X 射线自由电子激光装置* (在建)	上海科技大学、中科院上海应用物理研究所	公共实验
		综合极端条件实验装置* (在建)	物理研究所	公共实验
		地球系统数值模拟装置* (在建)	大气物理研究所	公共实验
		模式动物表型与遗传研究设施* (在建)	昆明植物研究所	公共实验

2 重大科技基础设施发挥的重要作用

2.1 推动重大原创性科技成果产出

重大科技基础设施作为支撑基础研究、技术应用和成果转化全链条研究的重要平台，可为实现预先设定的重大科学技术目标、发展新理念以及推动国家科技进步与科学创新发展提供强大驱动力，在重大原创性成果产出方面起到重要的推动作用^[9]。例如“人造太阳”全超导托卡马克核聚变实验装置 EAST，围绕国家聚变能发展战略需求的重大任务目标，制定了详细的 5 年运行计划，推动创造了多项长脉冲高参数等离子体运行世界记录；“中国天眼”FAST 在建设过程中突破多项技术瓶颈，其灵敏度首次占据国际天文观测领域的制高点，运行至今发现脉冲星数量已多达 500 余颗；上海光源在生命健康、材料、能源领域取得多项创新性研究进展；海洋科学综合考察船在热带西太平洋暖池热盐结构与变异的关键过程和气候效应研究领域取得重要突破，发布了多套海洋资料。

2.2 激发和吸引创新要素

重大科技基础设施在协同创新体系中起到重要的关键牵引与支撑作用，成为各类创新要素的集聚地。在建设大科学装置的过程中，随着科学研究的发展与深入，学科分化在纵向上向宏观与微观层次不断延伸发展，交叉融合点呈现多元化，

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总经济师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

研究目标集成化、单个设施综合化、多个设施联盟化，逐步形成重大科技基础设施集群，汇聚力完成多项交叉融合科学研究。

具体分为两个层面：一是重大科技基础设施依托单位围绕需解决的重大科学和技术问题，根据任务目标划分攻关团队，在团队组建过程中，以目标为导向，与优势力量如科研院所、高校、高新企业签订合作协议、组建攻关团队，共建联合实验室等创新机制，合力开展科研攻关，通过资源互换和共享，激发生新技术与新工艺，又能促进在能源等多个行业和领域创新要素的有效对接，加快高新技术的孕育，形成依托重大科技基础设施的基础研究、实验研究、前沿交叉探索、产业化融通发展的科技创新生态；二是科学研究与技术突破相辅相成的趋势日益明显，科学研究成果为技术研发提供新思路与新方法，同时技术的突破与创新也加快科学研究在方法、途径上的不断探索和实践^[10]。例如，美国橡树岭国家实验室在建设大型综合性研究基地的同时，还设立了多个实验室和研究中心，从事多领域科学研究与技术创新；德国亥姆霍兹联合会由德国航空航天中心等 18 个国家科研中心组成，每个中心都围绕重大科技基础设施和装置开展研究工作，领域涉及能源、生物、环境等^[11]。

2.3 在国际合作与竞争中扮演重要角色

随着国际局势的不断发展与变化，重大科技基础设施已成为各国间重要竞争点。同时，能源消耗、气候变化、生命健康等全球共性问题的不断涌现和日益严重，科技领域的布局与人类命运共同体愈发紧密相连，重大科技基础设施通过多国联合共建与合作研究的方式已成为国际合作的重要手段，其具体形式包括：一是依托大科学装置，发起以我为主的国际合作，与国内优先布局的发展领域规划衔接、凝练重大科学技术问题、选择与有较强研究基础的国际团队联合攻关、取长补短，提升科学研究能力；二是通过提高装置的开放共享率吸引优秀的国际科学家开展联合实验，促进国际成果交流。如美国能源部主管的大科学装置将大部分使用机时用于外国用户^[12]；澳大利亚也充分鼓励国家大科学装置在保持国家主管以及资产所属性的前提下，全面为科研创新服务。

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总经济师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

3 新时期重大科技基础设施管理面临的挑战

3.1 投入总体数量快速增长对重大科技基础设施运行管理提出新的要求

我国进入“十四五”以来已布局近 10 项重大科技基础设施项目，投入总量已由起步时的总量相对较低。领域布局较为单一，发展成为总量快速增长，装置规模扩大、领域遍布多学科，交叉融合的创新模式。这对新时期重大科技基础设施运行管理提出了更高的要求。首先需要政府层面强有力的政策支持和可靠的法律保障，保证重大科技基础设施科学规范的发展；其次在投入扩大的同时也对设施利用率和共享水平提出更高的要求，避免设施重复建设，加大设施开放共享，推动形成大型科研基础设施网络集群，促进大科学设施性能不断优化、管理机制的创新。

3.2 全球竞争与合作新格局

近年来，经济全球化面临前所未有的危机，国际局势单边保护主义不断盛行，新冠肺炎疫情影响深远，国际科技合作与交流面临严重挑战，中国科技发展的外部环境日趋严峻。组织管理上，对国际合作的伙伴职责、进度成本等提出了更高的要求；数据安全与知识产权保护也需要制定更为合理的开放共享与产权保护机制面对全球竞争与合作的双重需求，为了更好的应对国际新形势，除在经费、人员、技术贡献加大支持力度之外，国家层面应在政策和制度上提供更大的保障和支持。例如，由国家科技主管单位牵头，制定与国家“十四五”规划配套的战略规划，积极参与或牵头发起国家大科学工程计划/工程，并制定配套保障政策；以国际大科学装置建设为契机，健全国际化管理体系，制定成果共享机制、明确产权权限，进一步扩大中国在多领域的国际影响力，形成深层次、多元化、多体系的国际合作网络；以更加开放的姿态，吸引国际高水平专家参加科学前沿研究，有目的的选派更多的优秀青年人才参与国际装置的实验和理论研究，培养领军人才，进一步提升国际影响力与话语权。

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总经济师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

3.3 重大原创性成果质量和数量面临双重挑战

“十四五”时期是我国开启全面建设社会主义现代化国家新征程以及迈进创新型国家前列的起步阶段。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央深入研判国际发展形势，全面分析国际科技竞争态势，把高水平科技自立自强作为国家发展的战略支撑，对国家重大科技基础设施的产出机制提出了更高的要求，重大原创成果产出动力也面临更高的挑战^[6]。近年来中国在重要学科领域布局建立了一批专用型重大科技基础设施，以集中攻关重大科学技术问题为目标，通过制定明确的科学目标和研究任务，依托先进的大科学装置，着重开展国际基础前沿研究，不断涌现重大原创成果。但总体来说，目前我国原创科学设计理念以及位居世界领先的重大科技基础设施数量仍相对较少，关键核心技术仍主要来源于国外，性能指标与国际先进水平相比仍有不小差距；具有世界影响力的重大原创成果数量较发达国家仍偏少；对国家经济社会发展的源头动力支撑性不强^[8]；世界领军人才、顶尖科学家和高水平研究团队仍较为匮乏；激励青年骨干人才的科研奖励机制尚未健全；分类科技评估机制亟待完善等。

3.4 重大科技基础设施资助效率有待提高

重大科技基础设施的全生命周期包括从预研时期制定立项计划、经历建设时期、再到运行、批准开工、竣工验收等，整体建设周期时间普遍在 5 年以上，立项时期执行的运行管理机制和经费预算通常面临随社会快速发展更新迭代的需求。具体体现在以下两方面：

一是针对研究设施的自身长远规划和重点研究目标应该定期更新或调整^[13]，建立长期稳定的动态支持体系。如以解决国家能源需求为目的的磁约束聚变发展路线研究路径分为三个阶段：首先建立近堆芯稳态等离子体实验平台，消化吸收、发展与储备聚变基础物理研究关键技术，同时设计、预研聚变工程实验堆关键部件等；其次是工程堆阶段，该阶段的目标是开展稳态、高效、安全的聚变堆科学研究；最后是发展聚变电站，探索聚变商用电站的工程、安全、经济性^[14]（见图 1）。需要在每个阶段对设施发展和性能提升进行前瞻规划和充分评估，以强

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学与工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总经济师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

化其科研支撑能力,而在任一环节支持力度和效率的不足均无法保障聚变能应用的实现。



图 1 磁约束聚变发展路线图

Figure 1 Development roadmap of magnetic confinement fusion

另一方面,重大科技基础设施的经费使用评估有待完善。重大科技基础设施全生命周期可分为预研、建设、运行、开放升级或退役四大阶段,各阶段产出具有差异性、动态性和高度开放共享性^[13]。但是,当前的重大科技基础设施评估框架尚未针对装置在不同阶段的具体发展特征建立覆盖全周期多维度的动态全局监测体系。其具体表现包括:未构建重大科技基础设施全生命周期的综合评估体系,建立对科学产出、经济效益、社会影响力等多维度的评估指标^[13],进而无法对大科学装置的动态发展实施效益进行综合评估;二是对重大科技基础设施在建造运行阶段衍生的高端技术及潜在价值的有效评估普遍滞后,未对大科学装置投入与产出进行深入研究比对。以国际高能物理研究的大型加速器装置为例,一般公认预期在约 1:3 的投入产出比例为合理区间。这可为重大科技基础设施的高效运行和评估提供有效的促进作用。

收稿日期: 2023/4/14 修回日期: 2023/5/10

作者简介: 江坤宁, 科研项目主管, 主要研究方向为大科学工程与科研项目管理; 韩效锋副研究员, 主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理; 尹红星, 主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理, 五级职员; 刘志宏, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理; 陈俊凌 (通讯作者), 总经济师, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理, E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

4 面向新时期科技自立自强，重大科技基础设施发展路径探索

4.1 加强重大科技基础设施前瞻性部署中与国家重大需求的对接，促进重大原创成果产出

对标国家战略需求的标准和要求，新时期重大基础设施布局应充分发挥各科研院所和高校优势，打破院属单位之间、不同学科间的藩篱，汇聚优势力量，瞄准国家重大战略需求，开展建制化研究，强化战略科学目标的控制、分解、保障，建立目标集中、力量集约、成果集成的定向性建制化科研组织模式，形成重大科学问题与大科学装置平台间互相牵引带动的新格局。

一是加强政府层面有力的政策支持和规划。如可将重大科技基础设施布局纳入《基础研究十年规划》，融合布局基础科学研究和技术攻关，有机性地构成我国重大战略性需求体系^[15]。基础研究是重大原创成果的策源动力，科技部、中科院等在对基础研究宏观布局时加强基础研究中的研究目标与重大科技基础设施的衔接，依托重大科技基础设施的先进研究平台，开展前沿性、交叉性基础研究；同时在设定大科学装置科学目标和技术指标时促进基础研究和技术攻关协同融合、互相促进，促进原始创新能力的不断提高和关键性技术的不断突破。

二是加大对重大科技基础设施的滚动性支持和人员的激励。一方面针对国家战略和长远需求，制定发展路线图，凝练亟需解决重大科学问题和长远目标，建立长期稳定、滚动发展的支持机制，部署重大科技基础设施项目。例如美国在聚变能研究路线中制定“重返全球第一”计划，为抢占新一代能源领域科技研发的制高点，制定了2025年、2030年战略计划及对应的支持举措。另一方面，通过组建建制化科研团队，在重大科技基础设施运行经费中提高人员费的比例，对基础研究、技术攻关等不同类别的科研人员，制定多维度的人员评估体系^[16]、通过对不同科研人员类型量身定制奖励制度，在设施建设和运行不同阶段对原创性成果、科学效益等有突出贡献的科研人员提供绩效奖励，进一步激励和吸引高水平人才在重大科技基础设施上开展长期稳定的科学研究。

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总经济师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

4.2 探索多主体参与的高效管理模式

建立重大科技基础设施自上而下多主体共同参与的管理模式可在两个阶段分别实施：

一是在重大科技基础设施建设阶段，建立自上而下贯穿大科学装置全生命周期的共商、共建、共管、共用机制。如在大科学装置前期评估阶段，由国家主管部门成立理事会，与参与主体共同召开评估会议，理事会可由国家机构主管领导担任理事长，战略科学家、依托单位、省市规划部门、部分投入企业代表为理事会成员，理事长和战略科学家主要负责制定研究任务与科学目标，保障科学目标的先进性和可行性，在制定实施政策、配套资金和技术创新转化对接过程中，省市部门和企业代表可建言献策，主动对接创新需求，进一步提高管理效率。

二在大科学装置运行阶段，根据国际形势和国家需求对设施路线图定期组织优化评估，理事会全方位评估设施在关键领域保持或争取达到国际领先地位的技术路径和关键指标，省市及地方主体对规划路线的实施切实发挥保障和资源优化统筹作用，建立清晰可行的配套投入分摊机制以及固定资产和成果共享机制，对装置经济性、产业辐射性等开展多维评估，实现大科学装置规范化的创新科学管理。

4.3 构建开放共享的国际合作机制

构建面向全球发布重大科研问题的国际合作研究模式、制定有针对性的开放共享计划等进一步开放共享国际合作。

一是优化国际合作模式，根据大科学装置战略路线图，在重大科技基础设施建设方案和运行计划中，提炼重大基础科学问题、工程技术瓶颈并向全球发布，吸引世界顶尖科研力量共同开展前沿研究，建立利益共享、风险共担的国际协同攻关机制，推动重要成果的产出。

二是充分调研外部用户状况，制定详细的开放共享要求，针对性的制定合作战略，对高端用户开放合作，进行优质资源倾斜。例如全超导托卡马克核聚变实验装置 EAST，针对磁约束聚变能成员国中的欧美等发达国家，以共享共赢为核

收稿日期：2023/4/14 修回日期：2023/5/10

作者简介：江坤宁，科研项目主管，主要研究方向为大科学工程与科研项目管理；韩效锋副研究员，主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理；尹红星，主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理，五级职员；刘志宏，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理；陈俊凌（通讯作者），总经济师，研究员，主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理，E-mail: jlch@ipp.ac.cn。

心目标, 依托中国 EAST、美国 DIII-D 装置开展联合实验。引进高端人才和智力, 输出聚变工程技术, 培养和吸引优秀青年人才, 输出中国智慧与中国方案, 推进聚变建设和研究发展, 助力科技外交。

三是持续投入对大科学装置的改造升级, 保持装置指标和性能的先进性和共享性。定期组织国际顾问委员会对装置进行评估, 根据装置的科研需求和研究目的, 对其系统和设备性能进行改造升级, 扩展其功能, 优化其指标, 充分发挥大科学装置的前沿科学效益, 吸引更多国际高端用户参与前沿科学研究。

总结

重大科技基础设施建设和运行的高效发展, 是获取原创成果、突破核心技术、抢占科技竞争制高点的利器, 能为实现高水平科技自立自强奠定了重要的基础。文章探索了新时期下国家顶层规划布局中与国家重大需求的衔接, 促进重大原创成果的产出; 建立自上而下多主体参与的共商共议理事会制度, 优化在目标制定、路径实施和新技术转化等阶段的高效管理模式; 面向全球建立更为开放的国际合作模式, 牵头发起大科学工程, 建立深度合作网络, 进一步提高国际影响力与话语权。

参考文献:

[1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发国家重大科技基础设施建设中长期规划 (2012—2030 年) 的通知[EB/OL]. (2013-02-23)[2013-03-04]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2013-03/04/content_5176.htm.

Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the state council on printing and distributing the medium - and long-term plan for the construction of major national scientific and technological infrastructure (2012-2030) [EB/OL]. (2013-02-23)[2013-03-04]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2013-03/04/content_5176.htm.

[2] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十

收稿日期: 2023/4/14 修回日期: 2023/5/10

作者简介: 江坤宁, 科研项目主管, 主要研究方向为大科学工程与科研项目管理; 韩效锋副研究员, 主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理; 尹红星, 主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理, 五级职员; 刘志宏, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理; 陈俊凌 (通讯作者), 总经济师, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理, **E-mail:** jlch@ipp.ac.cn。

四个五年规划和 2035 年远景目标纲要 [EB/OL]. (2021-03-14).
<http://www.kzlj.gov.cn/P/C/5352.htm>.

Central People's Government of the People's Republic of China. The 14th Five-Year Plan for National Economic and Social Development of the People's Republic of China and the Outline of the Long-range Goals for 2035 [EB/OL]. (2021-03-14). <http://www.kzlj.gov.cn/P/C/5352.htm>.

[3] 国家能源局. 国家发展改革委 国家能源局关于印发《能源技术革命创新行动计划（2016-2030 年）》的通知 [EB/OL]. (2016-04-07)[2016-06-01]. http://www.nea.gov.cn/2016-06/01/c_135404377.htm.

National Energy Administration. Notice of the National Development and Reform Commission and the National Energy Administration on Printing and Distributing the Action Plan on Energy Technology Revolution and Innovation (2016-2030) [EB/OL]. (2016-04-07)[2016-06-01]. http://www.nea.gov.cn/2016-06/01/c_135404377.htm.

[4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. “十四五”规划《纲要》名词解释之 18| 基础研究十年行动方案 [EB/OL]. (2021-12-24). https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzjlgh/gjzfzh/202112/t20211224_1309267.html?code=&state=123.

National Development and Reform Commission. “Difference” planning the outline of nouns explain 18 | basic research action plan for ten years. [EB/OL]. (2021-12-24). https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzjlgh/gjzfzh/202112/t20211224_1309267.html?code=&state=123.

[5] 韩文艳, 熊永兰, 张志强. 中国大科学装置建设现状, 问题与路径研究[J]. 中国西部, 2018 (6): 51-60.

Han WY, Xiong YL, Zhang ZQ. Research on the status, problems and path of large-scale scientific facilities construction in China [J]. Western China, 2018 (6): 51-60.

[6] 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.

收稿日期: 2023/4/14 修回日期: 2023/5/10

作者简介: 江坤宁, 科研项目主管, 主要研究方向为大科学工程与科研项目管理; 韩效锋副研究员, 主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理; 尹红星, 主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理, 五级职员; 刘志宏, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理; 陈俊凌 (通讯作者), 总经济师, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理, **E-mail:** jlch@ipp.ac.cn。

Wang YF, Bai YX. Developing mega-science facility to lead the innovation globally [J]. Management World, 2020, 36(5): 172-188.

[7] 齐芳. 国之重器奠定创新未来: 十八大以来我国大科学装置成就综述[J]. 科技传播, 2017, 9(18): 14-15.

Qi F. The important national projects underpin the innovative future: an overview of the achievements of Chinese great scientific devices since the 18th national congress of the CPC [J]. Public Communication of Science & Technology, 2017, 9(18): 14-15.

[8] 习近平. 努力成为世界主要科学中心和创新高地[J]. 共产党员, 2021(08): 4-7.

Xi JP. Strive to become a major science center and innovation highland in the world [J]. Communist, 2021(08): 4-7

[9] 王贻芳, 白云翔. 如何依托大科学设施实现科技引领[J]. 科学与社会. 2021, 11(01): 12-23.

Wang YF, Bai YX. Realizing science and technology leading by relying on big science facilities [J]. Science and Society, 2021, 11(01): 12-23.

[10] 梁永福, 盘思桃, 林雄, 等. 大科学装置集群的协同创新与产业带动效应——以广东大科学中心为例[J]. 科技管理研究, 2018, 38(3): 5-10.

Liang YF, Pan ST, Lin X, et al. Collaborative innovation and industry-driven effect of large-scale scientific facilities cluster: taking Guangdong large-scale scientific facilities center as an example [J]. Science and Technology Management Research, 2018, 38(3): 5-10.

[11] 王贻芳. 建设国际领先的大科学装置奠定科技强国的基础[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(05): 483-487.

Wang YF. Build world-leading large scientific facilities, lay foundation for a powerful country in science [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017, 32(05): 483-487.

[12] Hallonsten O, Heinze T. Institutional persistence through gradual

收稿日期: 2023/4/14 修回日期: 2023/5/10

作者简介: 江坤宁, 科研项目主管, 主要研究方向为大科学工程与科研项目管理; 韩效锋副研究员, 主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理; 尹红星, 主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理, 五级职员; 刘志宏, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理; 陈俊凌 (通讯作者), 总经济师, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理, **E-mail:** jlch@ipp.ac.cn.

organizational adaptation: Analysis of national laboratories in the USA and Germany [J]. Science and Public Policy, 2012, 39(4): 450-463.

[13] 李粉. 重大科技基础设施管理的国际经验与启示[J]. 科技中国, 2021(05), 5-8.

Li F. International experience and enlightenment of major science and technology infrastructure management [J]. Science and Technology China, 2021(05), 5-8.

[14] 李建刚. 托卡马克研究的现状及发展[J]. 物理, 2016(02), 88-97.

Li JG. The status and progress of tokamak research [J]. Physics, 2016 (02), 88-97.

[15] 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(213): 236-255.

Wang T, Chen KH, Lu T, et al. The research on the evaluation system of large research infrastructures' comprehensive benefits with an application in the evaluation of FAST [J]. Management World, 2020, 36(213): 236-255.

[16] 陈光. 科技规划事前评估指标体系构建与方法探索[J]. 科学学研究, 2022, 40(07): 1192-1200.

Chen G. Criteria and method research on ex-ante evaluation of science and technology and innovation planning [J]. Studies in Science of Science, 2022, 40(07): 1192-1200.

收稿日期: 2023/4/14 修回日期: 2023/5/10

作者简介: 江坤宁, 科研项目主管, 主要研究方向为大科学与工程与科研项目管理; 韩效锋副研究员, 主要研究方向为磁约束聚变物理、重大项目管理; 尹红星, 主要研究方向为国家重大科技基础设施项目管理, 五级职员; 刘志宏, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理; 陈俊凌 (通讯作者), 总经济师, 研究员, 主要研究方向为核能科学与工程、重大项目管理, **E-mail:** jlch@ipp.ac.cn。