

中国大科学装置发展现状及国外经验借鉴

西桂权, 付宏, 刘光宇

北京市科学技术情报研究所, 北京 100048

摘要 大科学装置是基础研究的重要实验条件, 不同于一般的科研装置和基建设施, 在管理上有特别严格的要求。通过阐述大科学装置的基本属性、分类和特点, 总结了中国大科学装置发展现状。运用案例分析法和对比分析法, 对美、德、法等发达国家大科学装置的建设开发、管理运行、经费保障、开放共享服务以及评估评价机制等进行了分析。在此基础上, 提出了促进中国大科学装置发展的建议。

关键词 大科学装置; 组织管理; 路线图; 评价机制; 科技创新

20 世纪中叶以来, 科学技术发展出现了一种新态势, 许多科学领域发展和研究前沿突破, 都离不开大科学装置的辅助, 基础科学的探索日益离不开大科学装置的使用。大科学装置可以使人类对宇宙起源和演化有更深层次的了解, 是孕育前沿科技创新领域和产出重大原创性成果的沃土。近年物理学的 3 个重大突破——中微子振荡(1998 年)、希格斯粒子(2012 年)和引力波(2016 年)都是依托大科学装置实现的, 后 2 项成果在发现后第 2 年就获得诺贝尔物理学奖。大科学装置成为了提高科技原始创新力的重要工具, 是吸引科技人才的“磁石”, 也是国家发展经济, 实现社会稳定发展的关键载体之一^[1-2]。

近年来, 基于大科学装置发挥的重要作用, 有

学者从财政投入、资金使用、组织效率、运行管理等方面进行了研究。例如, 王敬华^[3]、杨耀云^[4]、吴海军^[5]、张新民等^[6]分别就德国、英国、法国、荷兰大科学装置或大型研究基础设施的规划制定、建设开发、资助方式、管理运行、开放共享服务以及评估评价机制等进行了分析。周小林等^[7]介绍了欧盟、英国、美国等地区和国家大科学计划(工程)规划组织实施的基本情况, 在此基础上总结出各国(地区)大科学计划(工程)规划在起草机制、遴选原则、评估机制、优先领域等方面的特点。刘楠等^[8]对大科学装置管理、经费投入、评价等方面进行了研究。陈套等^[9]分析了大科学装置集群的内涵和优势及大科学装置的集群效应。尚智丛等^[10-11]以上海同步辐射光源、美国康奈尔同步辐射光源为例, 分析了国

收稿日期: 2019-10-08; 修回日期: 2020-02-09

基金项目: 北京市社会科学基金项目(18YJC026)

作者简介: 西桂权, 博士, 研究方向为科技情报及科技政策, 电子信箱: xiguiquan@126.com

引用格式: 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; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.11.001

家不同阶段目标对大科学装置发展的影响。杨娜娜等^[12]分析了英国散裂中子源和美国橡树岭国家实验室的大科学装置运营体制与经验。张玲玲等^[13]分析了美、日、英3国以大科学装置为依托建设科学园区的模式和经验。尚智丛等^[14]以北京正负电子对撞机为例,介绍了依托其所产生的获奖、论文、专利、成果转化等科学成果情况。陈光^[15]从推动经济发展、诱致技术创新、增强人力资本与社会网络、增加社会福利4个方面探讨了大科学装置对其所在地经济发展的直接推动作用。彭洁^[16]运用博弈论对大科学装置公共物品和私有物品属性引起的管理困境成因进行了分析。

综上,国内大多数研究是通过总结国内外大科学装置建设管理经验,提出发展建议,少有结合中国大科学装置具体发展情况开展的文献分析。本文在分析中国大科学装置发展现状的基础上,将美国、德国、英国等发达国家作为代表,总结其大科学装置投资建设、运营管理、开放共享等方面特点,从而为中国发展大科学装置提供参考借鉴。

1 大科学装置概念

1.1 大科学装置定义

“大科学”(big science)是国际科技界提出的新概念。1962年,美国科学学家普赖斯在《小科学、大科学》演讲中对其进行了阐述。“大科学”主要特点是研究目标宏大、多学科交叉、实验设备昂贵、投资强度大等^[17-18]。英文中称大科学装置为“large scale scientific facility”,美国、德国、英国等称之为“大型装置”,即“large-scale facilities”。随着科学研究的发展,大科学装置的内涵相应有了扩展。近年来一些国家和地区较多地使用“large research infrastructures”这样的名称,意为“大型研究基础设施”,例如澳大利亚、法国、丹麦等。在中国“大科学装置”属于重大科技基础设施中的一类,关于大科学装置的定义,目前还没有统一的说法,但一些学者或机构组织给出了定义,例如中国科学院大科学装置领域战略研究组及吴海军、陈光、彭洁、陈套、

黄敏、韩文艳等学者^[19]。概括起来为:大科学装置是指通过较大规模投入和工程建设来完成,建成后通过长期的稳定运行和持续的科学技术活动,为在科学技术前沿取得重大突破的大型设施。

1.2 大科学装置分类

大科学装置是基础研究、应用研究和科学发展必不可少的基础设施,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。大科学装置按照主要用途可分为专用研究装置、公共实验平台、公益基础设施3种类型。专用研究装置为完成特定学科领域的重大科学技术目标而建设,例如北京正负电子对撞机等;公共实验平台主要为多学科领域的基础研究、应用基础研究服务而建设,例如同步辐射装置等;公益基础设施主要为国家经济建设、国防安全和社会发展提供基础数据服务,例如遥感卫星地面站等。

1.3 大科学装置特点

大科学装置是一个复杂巨系统,不同于一般的科学仪器或装备,也有别于一般的基本建设项目,具有自身特点如下。

1) 具有明确的科技目标和国家使命,其科学技术目标必须面向国际科学技术前沿,对促进国家原始创新起到推动作用,科学技术意义重大,影响面广且长远。

2) 建设规模和耗资大,建设时间长,具有较长的使用寿命,设施建设具有科研和工程双重属性,建设本身是复杂的科学技术活动。

3) 建成后要通过较长时间稳定的运行和持续的科学技术活动才能产生科学知识和技术成果,间接成果可产生巨大的经济效益。

4) 使用过程中涉及到的学科多,交叉性强,研究人员多,具有资金密集型、技术密集型、人才密集型特点。

5) 具有科学性和社会性双重属性,科学性体现在它是具有先进技术特性的科学专用设施,社会性体现在它是包含多个主体目标和期望的公共物品,而且具有明显的开放性和国际性特点^[20]。大科学装置特点如图1所示。

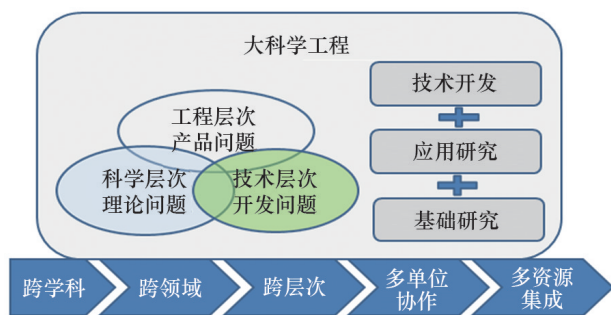


图1 大科学装置特点

2 中国大科学装置的发展

2.1 中国大科学装置发展过程

大科学装置作为基础研究的重要组成部分和原始创新的重要工具,越来越受到国家重视。中国大科学装置建设发展可分为萌芽期、成长期和追赶期3个阶段。

1) 萌芽期。新中国成立后,围绕“两弹一星”研制任务,建造起一些大型科研支撑装置,带动和引领了中国科技领域取得多项瞩目成绩。

2) 成长期。从20世纪80年代末的北京正负电子对撞机开始,中国在上海、北京、合肥等城市陆续建成了一系列大科学装置,但布局不均衡,发展内容不够全面,基本上以中国科学院为依托单位,主要用于科学研究及公益科技。

3) 追赶期。2010年以来,主要以中国科学院及多所地方高校为依托单位,在4个综合性国家科学中心开始大规模布局建设大科学装置。

2.2 中国大科学装置发展现状

据统计,目前中国已建成大科学装置22个,即将新增16个。中国已建成的22个大科学装置如表1所示。纵观中国大科学装置的部署、建设发展,呈现出以下趋势:从物理学领域向多领域发展;从传统的单一大科学装置向集成的、复杂的综合设施发展;设施建设从最初的单一、集中建设向分散、多地建设发展;承担单位从中国科学院向多部门发展^[21-22]。

近年来,中国对大科学装置的投资力度不断增大^[9,23]。“九五”“十五”期间建设了11项大科学装置,

表1 中国已建成的大科学装置

序号	名称	序号	名称
1	北京正负电子对撞机	12	北京5 MW核供热试验堆
2	兰州重离子加速器	13	中国地壳运动观测网络
3	合肥同步辐射加速器	14	合肥HT-7托卡马克
4	遥感卫星地面站	15	合肥EAST托卡马克
5	短波与长波授时系统	16	北京遥感飞机
6	上海“神光”系列高功率激光装置	17	上海神光II装置
7	合肥HT-6M受控热核反应装置	18	宁波种质资源库
8	H1-13串列式静电加速器	19	子午工程
9	2.16 m光学望远镜	20	合肥稳态强磁场实验装置
10	合肥环流器HL-1装置	21	贵州FAST望远镜
11	新疆太阳磁场望远镜	22	武汉国家脉冲强磁场科学中心

总投入约33.2亿元。“十一五”期间中国投资建设的大科学装置有12项,总投资大约60亿元。“十二五”期间在7个重要科学领域安排了16项大科学装置建设项目,总投资超过100亿元。“十三五”期间,主要以上海张江、北京怀柔、安徽合肥和深圳4个综合性国家科学中心为主开展大科学装置建设。上海在既有大科学装置基础上,继续建设硬X射线自由电子激光装置等多个大科学装置,预计总投入达137.75亿元。截至2019年7月底,中国在北京怀柔综合中心布局的5个大科学装置全部开工建设,预计到2025年将全部实现投入使用。安徽合肥综合性国家科学中心正在建设国家大科学装置集群,先后启动合肥先进光源、强光磁集成实验装置等预研工作。深圳综合中心立足粤港澳大湾区优势,正在建设空间引力波探测地面模拟装置等设施^[24]。4个综合性国家科学中心正在建设或布局的大科学装置如表2所示。

2.3 中国大科学装置发展过程中存在的问题

中国大科学装置在快速发展的同时,其规划、

表2 4个综合性国家科学中心正在建设或布局的大科学装置

名称	批准时间	聚焦领域	大科学装置的情况	合作大学等
北京怀柔 综合性国家 科学中心	2017年5月	物质科学、空 间科学、大气环 境科学、地球科 学	多模态跨尺度生物医学成像设施,总投资17.35 亿元,预计2023年建成运行;高能同步辐射光源, 总投资47.6亿元,预计2025年建成运行;综合极端 条件实验装置,预计2022年建成运行;空间环境地 基综合监测网二期;地球系统数值模拟装置	中国科学院大学
上海张江 综合性国家 科学中心	2016年3月	光子科学与技 术、生命科学、 能源科技、类脑 智能等	上海光源线站工程,预计2020年建成;软X射线 自由电子激光用户装置,投资1.95亿;超强超短激 光实验装置;活细胞结构和功能成像平台;硬X射 线自由电子激光装置等	上海交通大学、上海 科技大学
合肥综合 性国家科学 中心	2017年1月	信息、能源、健 康、环境等	聚变堆主机关键系统综合研究设施,投资22亿 元	中国科技大学、合肥 工业大学、安徽大学
深圳综合 性国家科学 中心	2019年8月	生命科学、信 息科学、空间科 学等	脑模拟与脑解析设施;多模态跨尺度生物医学成 像装置;合成生物研究设施;空间引力波探测地面 模拟装置等	南方科技大学、清华 大学深圳研究生院

注:根据相关材料、网站整理。

建设、管理等方面还存在一些问题,例如开放共享不够、利用效率不高、大科学装置的作用还未充分发挥出来等。与国际大科学装置相比,科研产出成果不够丰富,还不能满足建设创新型国家知识创新体系的要求。概括起来主要存在以下4个问题。

2.3.1 运行管理机制不健全

在大科学装置发展的“萌芽期”和“成长期”,中国更多的是采用“两弹一星”组织管理模式,这种行政路线和技术路线的管理模式,在当时确实起到了很好作用。然而随着科技的发展,大科学装置建设规模、资金投入、参与人数都在增多,管理难度也在增加。与国外相比,中国大科学装置的管理体制和政策还不够完善,管理过程中行政色彩浓厚,管理机构较多。例如,北京怀柔综合性国家科学中心大科学装置的专门管理机构有怀柔区政府、怀柔科学城管理委员会、北京怀柔综合性国家科学中心理事会、中国科学院等,多头管理造成效率低下。尤其是装置建设完成后管理方面经验不足,较少考虑其后期维护、运行、管理成本等问题。

2.3.2 产出的重大成果不够多

中国投入运行的大科学装置已产出部分成果。例如依托上海光源装置,用户已发表期刊论文约5000篇,其中在《自然》《科学》《细胞》发表的论

文已达96篇。国家蛋白质科学中心(上海)设施服务了来自国内外290余家单位的4822个课题研究工作。依托“中国天眼”——500米口径球面射电望远镜(FAST)发现脉冲星优质候选体146颗,已证实发现脉冲星102颗,用户发表论文300余篇,其中SCI收录80篇,EI收录76篇,并获得多项专利。而国外大装置产出的更多是诺奖级成果,例如美国阿拉莫斯国家实验室利用散裂中子源、强激光装置产出了大量成果,产生了6位诺贝尔奖获得者和计算机的发明者,劳伦斯伯克利国家实验室产生了13位诺贝尔奖获得者和15位国家科学奖章获得者^[9]。

2.3.3 溢出效应不明显

大科学装置集群之间高效协同机制尚未完全形成,辐射效应没有充分发挥。目前大科学装置的开放共享程度还不够,缺乏用户参与机制。尤其是大科学装置的利用水平仍需提高,例如兰州重离子加速器的利用效率不足60%。大科学项目不但会产出有国际影响力的重大科研成果,对国民经济部门的“溢出效应”也非常高,能够有效带动相关技术和产业的发展。目前张江综合性国家科学中心依托大科学装置,虽然已形成了以信息技术、生物医药等为重点的主导产业,但产业规模和对经济的带动作用有限。安徽合肥综合性国家科学中心只是

在量子信息技术产业方面发展较为突出。

2.3.4 考核评价体系不完善

利用大科学装置开展的科研活动与一般科研活动不同,涉及到的学科多、交叉性强、研究人员多。现有评价体系与大科学装置的特点不相适应,评价指标较为单一,往往是用承担课题任务数、获得的专利数、发表论文数等指标来衡量。而且已有指标往往都是定性评价,更多关注的是建设指标能否实现。评价来源多为科技部门人员,缺乏用户参与。评价指标科学性有待增强,大科学装置一般产出的是原创性科学突破或颠覆性技术突破成果,且有些成果需要较长时间,所以不宜用常规指标体系评价其质量和水平。

3 国外大科学装置建设管理情况

大科学装置已经成为美国、德国、英国等发达

国家开展科技创新活动和提高原始创新能力的重要设施。很多国家或地区为推进大科学装置建设,出台相应发展战略规划,制定发展指南和路线图,成立专门委员会、注重开放合作、优化和健全科研环境、集聚科研人才,抢占科技创新战略制高点。

3.1 设立委员会或理事会

国外一般是通过组建专门委员会或理事会来牵头实施和管理大科学装置。委员会或理事会在大科学装置的发起、评估和筛选过程中,在重点领域大科学项目的识别、技术路线设计与选择、可行性论证等方面发挥着重要作用。欧洲科技基础设施战略论坛、英国科学技术设施理事会、荷兰全国大型科研基础设施常设委员会、丹麦国家研究基础设施委员会等作为专门机构在制定本国或地区大科学装置发展战略中起到了重要作用^[25-26]。部分国家或地区大科学装置委员会或专门管理机构情况如表3所示。

表3 部分国家或地区大科学装置管理机构

国家/地区	名称	成立时间	组成	作用
英国	科学技术设施理事会(ST-FC)	2007年	项目部、国家实验室部、企业服务部、财务管理部、商业和创新性部、绩效和信息部	资助在粒子物理、核物理、空间科学和天文学等方面的研究和相关领域大科学装置的管理
法国	大型研究基础设施指导委员会和大型研究基础设施高级理事会	—	大型研究基础设施指导委员会由全法6大研究联盟主席、原子能委员会主席、国家科研中心主任、外交与国际发展部代表组成。大型研究基础设施高级理事会由主席和科技界代表组成	对大型研究基础设施的相关决策提供建议,向教研部科技创新总公司提供科技和战略方面的意见
荷兰	全国大型科研基础设施常设委员会	2015年	设置在荷兰科学研究组织内部,并由荷兰教育、文化和科学部任命的12名委员组成。	制定大型研究基础设施投资的国家战略,资助超大型研究设施战略框架,制定荷兰国家大型研究设施需求清单和建设路线图
欧洲(以欧洲X射线自由电子激光器为例)	成立公司,并设立理事会为最高决策机构	—	董事会、行政和财务委员会、机械咨询委员会、科学咨询委员会、实物审查委员会、检测咨询委员会、激光咨询委员会	对公司重大事项进行决策,保障公司的正常运转,并与科学委员会合作,确保研究设施得到最佳利用
日本(以质子同步加速器为例)	3类委员会	2013年	行政管理委员会、技术交流委员会、安全防范委员会	行政管理委员会负责与政府及时沟通;技术交流委员会与国际各大科学装置、国家实验室项目技术人员进行技术交流及相关指导;安全防范委员会确保用户安全

注:根据相关材料、网站整理。

3.2 制定发展路线图

大科学装置因投资巨大,各国政府往往通过制定路线图的方式对其进行组织管理。欧洲国家中,已有包括英国、德国、法国、荷兰、瑞典、丹麦、捷克等在内的 20 多个国家制定了研究基础设施路线图^[27-34]。美国、日本、俄罗斯等非欧盟国家也制定了大科学装置路线图或相关规划。例如,美国重大

科技基础设施规划由美国能源部和国家科学基金会负责,由各学科领域咨询委员会提出重大科技基础设施的建设需求,从不同视角不定期发布各学科领域的未来重大科技基础设施发展战略报告和发展路线图^[35]。部分国家或地区大科学装置发展路线图情况如表 4 所示。

表 4 部分国家或地区大科学装置发展路线图情况

国家/地区	名称	制定机构	年份	资助情况	资助领域	特点
欧盟	欧洲研究基础设施路线图	欧洲研究基础设施战略论坛 (ESFRI)	2006	2010 年路线图设施的总建设经费达 200 亿欧元左右	能源、环境、健康与食品、物理科学与工程学、社会和文化创新等	在欧盟路线图的框架下,欧盟各国还根据各自国家的特点规划本国重大科技基础设施发展的路线图
			2008			
			2010			
			2016			
德国	大型科研基础设施建设路线图	德国联邦教研部	2013	联邦政府将投入 6.5 亿欧元	深海科考船、大气研究基础设施、医学研究装备等	权衡大型科研基础设施的总体需求、科学潜力及其对德国科技强国地位的意义,明确装置建设的重点和方向
荷兰	国家大型科研设施路线图	全国大型科研基础设施常设委员会	2008	每两年进行一次评审和资助。	物理学、天文学、天体物理学与数学、化学和材料科学、工程学与能源等	对现有研究设施开展调查,对具有重大科学意义的科学设施进行需求分析,据此列出项目清单,并制定资源分配框架
			2016	每年提供 2000 万欧元经常性资助		
英国	大型装置战略路线图	英国贸工部	2001	入选资金门槛 2500 万英镑以上	能源、环境、生物科学、健康、物理科学与工程、计算和电子基础设施等	支持对英国卓越研究和技术发展相关能力有重要作用的国家科研基础设施
			2010			
			2012			
			2014			
法国	大型研究基础设施发展路线图	法国高等教育与研究部	2008	—	核物理与高能物理、材料科学、数字化科学与数学、农业生态与环境科学等	明确了今后 20 年的发展战略,指导法国大型研究基础设施建设、运营和使用
			2012			
			2016			
澳大利亚	国家合作科技基础设施战略路线图	创新、工业和科研部	2006	—	食品、土地和水交通、信息安全、能源资源、先进制造、环境变化等	—
			2008			
			2011			
			2016			

注:根据相关材料、网站整理。

3.3 保障经费投入

部分发达国家为提高原始创新能力,抢占科技制高点,对大科学装置进行了大规模且稳定的投入。例如,近年来德国对基础研究大科学装置的投入约占政府研发投入的 3.6%,英国为 2.3%,美国也达到了 1.9%。世界各国政府都投入大量财政资金

用于大科学装置建设^[15]。例如,美国国家科学基金会每年投入大科学装置的经费约 2 亿美金,法国平均每年投入约 13.5 亿欧元,荷兰技术基金会和健康研究与发展组织平均每年投入约 8 亿欧元,英国科技设施研究理事会平均每年投入约 5.6 亿英镑用来建设大科学装置。欧洲大科学装置战略论坛预计未

来投资 130 亿欧元在 7 个领域建造 37 个跨国研究基础设施。一些先进的单体大科学装置更是造价惊人,例如美国阿贡国家实验室的先进光子源耗资 8 亿美元,美国橡树岭国家实验室的散裂中子源投入达 14 亿美元。可见,大量而稳定的资金投入是保障大科学装置建设运行的重要条件。

如此大量的公共财政投入,大科学装置除了科学用途,还会产生经济和社会效益。从目前的研究结果来看,大科学装置创造的经济效益较为显著。国际上对大科学装置的投入产出比有一些研究,例如用于高能物理研究的大型加速器类装置,一般公认在大约 1:3,即投入 1 元,产出 3 元^[36]。据估计,到 2040 年,欧洲散裂中子源在瑞典建成之后,将给装置所在地 Skane 省带来 350 亿~3020 亿瑞典克朗的 GDP 增长值。英国同步辐射光源在运营期间共为其雇员支付了 2.2 亿英镑的工资,给所在地带来了 9.92 亿英镑的 GDP。日本质子技术直接关联产业在 2015 年贡献了 10% 的 GDP,显著拉动了日本诸如汽车行业的技术升级,实现了科技成果向产业应用的溢出。仅在 2012 年,美国人类基因组研究成果带动的产业就形成了超过 39 亿美元的联邦税收和 21 亿美元的地方财政税收,促进了国家和当地经济的发展^[15]。

3.4 开展合作共建

通过不同国家合作共同出资建设和共同管理大科学装置已成为国际上比较普遍采用的模式。在德国新的大型研究基础设施建设路线图确定的 15 个大科学装置中,有近 1/2 都是与其他国家共同建设,以降低投资风险。以欧洲 X 射线自由电子激光器(XFEL)为例,此项目投资额高达 16.2 亿欧元,共有 11 个国家参与,其中德国出资占比为 58%,俄罗斯出资占比为 27%,其他国家出资比例在 1%~3%。欧洲同步辐射光源项目参与的国家有 20 多个,年度预算约合 8500 万欧元左右,法国出资比例为 27.5%,德国为 25.5%,俄罗斯出资比例为 6%。基于超导重离子加速器的离子对撞机装置项目由俄罗斯杜布纳联合核子研究所牵头,共有 18 个成员国、6 个官方合作伙伴参与。美国国家科学基金会大型研究设施建设计划设立以来支持的 28 个大

科学项目都涉及程度不等的国际合作,不少是全球选点,共同设计、投资、建设和运行的深度合作^[37]。通过合作可以分担成本、降低风险,充分利用各合作方工程技术优势,提高大科学项目成功率。

3.5 建立使用制度

由于大科学装置具有公益性质,各国鼓励大科学装置向社会开放使用,以使耗资巨大的大科学装置得到充分利用。以欧洲 X 射线自由电子激光器为例,大学和研究机构以及工业企业在内的用户都可通过用户协会提交申请,经该研究中心协调委员会对申请进行评估审批后,根据光源射线的不同范围进行分配使用。德国设有专门协调委员会负责统一协调大科学装置设施的使用。为了维护科研设施的科研属性,使用之前用户需要向委员会说明使用目的、时间和所需仪器,得到理事会批准后方可使用。德国大多数大科学装置原则上向所有科研机构及科学家开放,无偿提供给大学、科研机构使用。但是对工业界则收取一定的使用费用,以重离子加速器为例,会根据加速器及射线类型收取 500~5000 欧元的费用。在英国,用户若要使用大科学装置需先由用户单位提出使用申请,经大科学装置专门委员会审查批准后,根据申请先后顺序安排使用。在用户使用大科学装置过程中,有专门工作人员进行设备运行维护,协助用户开展实验,确保实验顺利完成。美国大科学装置的使用也是对公益部门免费使用,而对私营部门为获得专利而进行的试验活动按照成本收费。

3.6 注重评估评价

大科学装置由于建设周期长、投资成本高、系统维护复杂,其立项建设及运行服务需进行评估评价。德国对大科学装置的评价包括立项建设前的评估和建成后的运行管理评价。立项建设前的评估包括以科学为主导的科学评估和以经济为导向的经济评估,评估方法包括定性评估和比较评估,评价内容包括应用领域、科学潜力、可行性和重要性等方面。建成后的评价包括联邦教研部和科学委员会对大科学装置的综合评价、大科学装置运营中心内部的自我评估、亥姆霍兹联合会的定期考核评价等。英国对大科学装置运行服务的评价包括

3个方面:第1方面是来自高教科研拨款部门的评价,用科研成果质量、科研环境活力、科研影响力3项指标来考察大科学装置运行使用情况;第2方面是来自专业科研管理部门的评价,各专业研究理事会从世界级研究、世界级创新、世界级技能3项指标对大科学装置影响力进行分析;第3方面是来自审计部门的评价,主要对大科学装置运行经费进行审计评价。

4 国外大科学装置建设管理经验借鉴

中国大科学装置经历了几十年建设发展,在规划、管理、运营等方面积累了一定经验。然而与发达国家相比,在规划制定、管理制度、开放程度、评价体系等方面还存在一定差距。通过借鉴国外大科学装置的先进建设管理经验,可以较快提高中国大科学装置建设管理水平。

4.1 加强协调管理,提高大科学装置服务水平

加强对大科学装置建设的领导和协调管理工作,对大科学装置实施精细化管理。借鉴欧盟、德国、法国等国家和地区经验,把大科学装置发展作为国家科技创新战略的重要组成部分进行总体考虑和规划。中国大科学装置在建设管理中涉及到的部门较多,例如中国科学院、科技部、当地政府部门等,通过建立多个国家部委和单位参与的协同联动工作机制,协调解决大科学装置的管理运营等问题。针对每一个大科学装置设立技术委员会、财务委员会、用户委员会等专门管理机构,负责技术路线选择、建设投资、用户使用等。重视咨询在大科学装置决策过程中的作用,成立由管理专家、战略专家、企业家,以及国际专家组成的战略咨询委员会,负责大科学装置发展规划和相应使用办法的制定。提高风险意识,强化大科学装置风险管理。建议借鉴美国能源部大科学装置风险管理模式,将管理全过程划分为风险规划、识别、分析、处理和监控5个过程,确保大科学装置建设管理使用安全。

4.2 保证后续投资,确保大科学装置顺利运行

大科学装置建设周期较长,从规划到产出成果往往需要至少5年以上的时间。大科学装置参加

方较多,协调任务巨大,涉及因素较多,常常遇到超预算、超工期等问题,要保证大科学装置的后续投资,以实现装置的顺利完工。大科学装置建成后的不断改进是必要的,还需要维护费、材料费、改进发展费等费用。要充分考虑装置零部件更新的需求,要将装置的小型改进纳入运行经费安排。根据国际经验,大科学装置后续年投入运行费约占工程总投资的10%。例如,欧洲同步辐射光源在做资金预算时就规定了每年20%的经费预算用于设施的维护更新投入。要为大科学装置的建设、运行提供较为稳定的费用支持和明确的支持渠道,确保装置的建设水平、建成后的持续发展和科学目标的实现。

4.3 加速成果转移转化,提升装置经济价值

提高大科学装置成果产出,瞄准颠覆性技术、原创性科学成果,进行基础性研究,解决中国长期受限于人的“卡脖子”关键技术。大科学装置具有产业集聚和辐射效应,可以通过技术溢出和辐射作用促进地方经济和产业发展。提高大科学装置成果产出效率与应用水平,实施边研究、边发展、边应用的大科学装置建设路径。加大研究成果转化,面向未来全球价值链选择主导产业,聚焦优势重点产业,因地制宜地布局一批学科方向和产业领域,打造经济发展新引擎。积极完善科技成果转化利用机制和知识产权保护机制,鼓励企业依托大科学装置开展科技研发,促进技术成果转化和产业化,延伸产业链,形成产业与科研平台良性互动。

4.4 鼓励开放共享,提高大科学装置使用效率

在保证大科学装置基本使用需求的基础上,可以向科研院所、高等学校、企业等国内外用户开放。例如,劳伦斯伯克利国家实验室向世界开放大型先进仪器设备,欢迎不同领域、不同背景、不同国家的科学家共同使用,不仅促进实验室产出了大量科研成果,也提高了实验室国际声誉。在装置前期开发和运行期间,研究机构应充分利用大学的研究力量,并联合企业开展合作,针对关键技术和设备联合攻关。发挥大科学装置的“磁石”作用和技术条件优势,广泛吸引国内外顶尖人才和杰出团队开展研究,把实验室建设成为相关领域人才培养基地,以及重要的科普教育基地。例如,美国橡树岭

国家实验室通过举办“科学星期六”等科普活动吸引公众参与,提高公众科学素养。

4.5 建立评估机制,促进大科学装置健康发展

建立既符合中国国情,又与国际接轨的大科学装置考核评价体系。对大科学装置的考核评价应该放在国际水准上进行,考核评价标准应包括科学目标实现、装置运行状况、管理工作水平、人才培养、经费使用有效性、开放共享程度等。美国国家科学基金会在项目建设阶段和运行阶段都会进行评审,若装置建设过程中的费用或进度偏离预定计划,需由变更控制委员会对预算或实施进度进行调整。大科学装置产生的往往是原始创新成果,结合原有常规论文、专利评价结果方式,建立同行评议专家评价机制。评价体系还应充分考虑大科学装置所产生的技术、产业、社会等多方面的收益和影响,形成一套综合评价体系,切实提高大科学装置的运行服务效率。设置合理考核周期,评估不应过于频繁,按照国际惯例,建议以3~4年为1个考核周期。

5 结论

大科学装置在促进中国原始创新方面发挥着重要作用。从大科学装置的概念出发,对美、德、法等发达国家大科学装置的建设管理、经费投入、合作共建、共享使用、评估评价等经验进行了总结。针对中国大科学装置发展过程中存在问题,结合国外经验提出了5条建议。然而,每个国家建设发展大科学装置的背景不尽相同,不能完全照抄国外发展经验,今后将结合中国经济社会的特点进一步研究大科学装置的建设管理情况。

参考文献(References)

- [1] 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(5): 483-487.
- [2] 尹雪慧, 李正风. 在科学与工程之间: 评《国家大科学工程研究》[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2012, 4(1): 95-98.
- [3] 王敬华. 德国大科学装置运行服务及管理评价机制[J]. 全球科技经济瞭望, 2016, 31(10): 23-28.
- [4] 杨耀云. 英国大科学装置的管理及运行服务评价[J]. 全球科技经济瞭望, 2016, 31(10): 35-39.
- [5] 吴海军. 法国对大型研究基础设施的建设管理情况分析[J]. 全球科技经济瞭望, 2015, 30(6): 21-25.
- [6] 张新民, 杨光. 荷兰大科学项目组织机制及科研产出管理办法[J]. 全球科技经济瞭望, 2017, 32(1): 21-25.
- [7] 周小林, 李力, 杨云. 大科学计划(工程)规划制定的国际经验及对我国的启示[J]. 全球科技经济瞭望, 2019, 34(3): 46-53.
- [8] 刘楠, 王成程, 刘德斌, 等. 大科学装置的全面质量管理[J]. 项目管理技术, 2017, 15(10): 106-110.
- [9] 陈套, 冯锋. 大科学装置集群效应及管理启示[J]. 西北工业大学学报(社会科学版), 2015, 35(1): 61-66.
- [10] 尚智丛, 陈晨. 国家目标对大科学装置发展的影响——以美国康奈尔同步辐射光源为例[J]. 自然辩证法研究, 2010, 26(12): 54-61.
- [11] 尚智丛, 王鑫. 国家目标引导下的大科学装置建设——以上海同步辐射光源为例[J]. 科技管理研究, 2016, 36(2): 37-41.
- [12] 杨娜娜, 张长生. 借鉴国外管理经验,更好发挥广东省大科学装置作用[J]. 探求, 2015(1): 104-109.
- [13] 张玲玲, 付赛际, 张秋柳. 以大科学装置为依托的高科技园区管控模式分析及对策建议——以中子科学城为例[J]. 科技进步与对策, 2019, 36(15): 14-23.
- [14] 尚智丛, 赵凯. 大科学装置成果转化模式探析——以北京正负电子对撞机为例[J]. 科技进步与对策, 2011, 28(19): 6-10.
- [15] 陈光. 大科学装置的经济与社会影响[J]. 自然辩证法研究, 2014, 30(4): 118-122.
- [16] 彭洁. 大科学装置管理的公共风险困境与出路[J]. 现代仪器, 2007(3): 50-52.
- [17] Solla Price D J. Little science, big science[M]. New York: Columbia University Press, 1963: 1-12.
- [18] 李建明, 曾华锋. “大科学工程”的语义结构分析[J]. 科学学研究, 2011, 29(11): 1607-1612.
- [19] 中国科学院综合计划局, 基础科学局. 我国大科学装置发展战略研究和政策建议[J]. 中国科学基金, 2004(3): 166-167.
- [20] 杜澄, 尚智丛. 国家大科学工程研究[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2011.
- [21] 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.
- [22] 罗小安, 杨春霞. 中国科学院重大科技基础设施建设的回顾与思考[J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(6): 710-716.

- [23] 黄敏, 杨海珍. 加强大科学装置的管理[J]. 中国科学院院刊, 2006, 21(3): 213-218.
- [24] 黄振羽. 大科学装置与粤港澳大湾区发展的关系分析[J]. 科技管理研究, 2019, 39(18): 69-72.
- [25] 卞松保, 柳卸林. 国家实验室的模式、分类和比较——基于美国、德国和中国的创新发展实践研究[J]. 管理学报, 2011(4): 97-106.
- [26] 王海燕, 冷伏海. 英国科技规划制定及组织实施的方法研究和启示[J]. 科学学研究, 2013, 31(2): 217-222.
- [27] 中国科学院大科学装置领域战略研究组. 中国至2050年重大科技基础设施发展路线图——创新2050: 科学技术与中国的未来[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1.
- [28] ESFRI. Strategy report on research infrastructures roadmap 2016[R/OL]. (2016-03-18) [2019-09-28]. http://www.esfri.eu/sites/default/files/20160308_ROADMAP_single_page_LIGHT.pdf.
- [29] ESFRI. Strategy report on research infrastructures-roadmap 2018[R/OL]. (2018-10-18) [2019-09-28]. <http://roadmap2018.esfri.eu/media/1066/esfri-roadmap-2018.pdf>.
- [30] 陈娟, 罗小安, 樊潇潇, 等. 欧洲研究基础设施路线图的制定及启示[J]. 中国科学院院刊, 2013(3): 386-393.
- [31] 程如烟. 欧盟2016年研究基础设施路线图的组织管理及启示[J]. 世界科技研究与发展, 2017, 39(1): 3-7.
- [32] 樊潇潇, 李泽霞, 曾钢, 等. 澳大利亚国家科技基础设施路线图制定及启示[J]. 世界科技研究与发展, 2018, 40(6): 595-603.
- [33] 董琳. 法国全面更新大型研究基础设施的发展路线图[J]. 全球科技经济瞭望, 2016, 31(10): 29-34.
- [34] 全博. 对荷兰大型研究设施路线图的解读[J]. 全球科技经济瞭望, 2014, 29(4): 16-20.
- [35] 陈娟, 周华杰, 樊潇潇, 等. 美国能源部大科学装置建设管理与启示[J]. 前沿科学, 2016, 10(2): 63-70.
- [36] 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(5): 483-487.
- [37] 赵俊杰. 国外发起和参与大科学项目的相关情况研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2017, 32(1): 13-20.

Current development of large scale scientific facilities in China and foreign experiences

XI Guiquan, FU Hong, LIU Guangyu

Beijing Science and Technology Information Institute, Beijing 100048, China

Abstract The large scale scientific facilities are regarded as an important component of basic research. It is different from general scientific research installations and infrastructure facilities. The paper expounds the concept, the classification and the characteristics of large scale scientific facilities. The development state of large scale scientific facilities in China is reviewed. Based on the case analysis and the comparative analysis, this paper analyzes the construction, the management, the operation, the fund guarantee, the open sharing and the evaluation of large scale scientific facilities in Germany, France, America, and other countries. Finally, some suggestions are made to promote the development of large scale scientific facilities in China.

Keywords large scale scientific facilities; organizational management; road map; evaluation mechanism; science and technology innovation ●



(责任编辑 王志敏)