

中国重大科技基础设施的现状和未来发展

王贻芳

中国科学院高能物理研究所, 北京 100049

摘要 重大科技基础设施是国家基础设施的重要组成部分,是国家科技实力、经济实力乃至软实力的重要标志。回顾了中国重大科技基础设施建设历史:起步于20世纪60年代,经历了萌芽期、成长期、发展期、快速发展期,部分设施综合水平达到世界领先,产生了一批具有国际重大影响的科研成果和技术突破,对满足国家重大战略需求、促进中国科技事业发展起到了巨大的支撑作用。分析了中国重大科技基础设施建设仍存在的一些差距和不足,包括仍缺乏世界领先、甚至独创独有的设施,还需加强依托设施的建制化研究,提高国际合作活跃程度。提出中国的科技发展需克服上述问题,强化顶层设计,优化管理,发起国际大科学计划,为经济社会发展、建设世界科技强国、高水平实现科技自立自强做出更大的贡献。

关键词 重大科技基础设施;大科学装置;科技创新;建制化研究;国际合作;科技支撑

2022年4月26日,习近平总书记在中央财经委员会第十一次会议上强调,基础设施是经济社会发展的重要支撑,要统筹发展和安全,优化基础设施布局、结构、功能和发展模式,构建现代化基础设施体系,为全面建设社会主义现代化国家打下坚实基础^[1]。习近平总书记亲自部署全面加强基础设施建设,并明确提出要“推进重大科技基础设施布局建设”,彰显了这一新型基础设施对中国实现高水平科技自立自强,带动制造业转型升级,保障产业链、供应链安全,推动经济高质量发展的重大战略意义。

科技是国家强盛之基,创新是民族进步之魂。

党的十九大以来,以习近平总书记为核心的党中央坚持把科技创新摆在国家发展全局的核心位置,全面谋划科技创新工作。习近平总书记非常关心重大科技基础设施建设,视察了北京正负电子对撞机,就设施建设和开放运行等工作做出重要指示、提出明确要求。这对我们是巨大的鼓舞和激励,也为中国重大科技基础设施建设发展指明了方向,提供了根本遵循。

结合笔者的工作体会和认识,本文将分别介绍重大科技基础设施的内涵及分类、国际现状,中国的建设历程、运行成效、差距与不足,新形势新要求以及对未来发展的几点思考。

收稿日期:2022-07-26;修回日期:2022-09-06

作者简介:王贻芳,研究员,中国科学院院士,研究方向为粒子物理与原子核物理,电子信箱:yfwang@ihep.ac.cn

引用格式:王贻芳. 中国重大科技基础设施的现状和未来发展[J]. 科技导报, 2023, 41(4): 5-13; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.04.001

1 重大科技基础设施的内涵及分类

国家重大科技基础设施,有时也称大科学装置,是指为提升探索未知世界、发现自然规律、实现科技变革的能力,由国家统筹布局,依托高水平创新主体建设,面向社会开放共享的大型复杂科学研究装置或系统,是为高水平研究活动提供长期运行服务、具有较大国际影响力的国家公共设施^[2]。按照不同的用途,重大科技基础设施一般分为3类^[3]。

第一类是专用设施,这是为特定学科领域的重大科学技术目标而建设的研究装置,如北京正负电子对撞机、超导托卡马克核聚变实验装置、高海拔宇宙线观测站、“中国天眼”、武汉国家生物安全实验室等。专用研究设施有明确具体的科学目标,追求国际基础科学研究的最前沿,依托设施开展的研究内容、科学用户群体也比较特定、集中。

第二类是公共实验平台,这类设施主要为多学科领域的基础研究、应用研究提供支撑性平台,例如上海光源、中国散裂中子源、强磁场实验装置等。这类装置为多个领域的不特定大量用户提供实验平台和测试手段,为相关基础科学研究及其应用提供关键支撑,追求满足用户需求,服务全面完整。

第三类是公益基础设施,主要为经济建设、国家安全和社 会发展提供基础数据和信息服务,属于非营利性、社会公益性设施,如中国遥感卫星地面站、长短波授时系统、西南野生生物种质资源库等,追求满足国家和公众需求。

重大科技基础设施是国家基础设施的重要组成部分,但它不同于一般的基本建设项目,具有鲜明的科学和工程双重属性,其设计、研制及相关技术和工艺具有综合性、复杂性、先进性,有时具有唯一性,知识创新和科学成果产出丰硕,技术溢出、人才集聚效益非常显著,因此往往成为国家创新高地的核心要素。同时,它也不同于一般的科研仪器中心或者平台,而是需要自行设计研制专用的设备,体量大、投资大、能力强、技术复杂先进、生命周期长,具有明确的科学目标,体现了国家意志,反映了国家需求,是“国之重器”“科技利器”,需要国家统筹规划、统一布局、统一建设、统筹运行与开放。重

大科技基础设施也代表着国家的形象,是国家科技实力、经济实力乃至软实力的重要标志。1969年,美国费米实验室申请建造质子主环加速器,实验室主任罗伯特·威尔逊在国会被询问建设该加速器对国防的作用。他回答说,“做这件事,不仅对基础研究有极其重要的意义,而且可以使这个国家更值得被保卫”。

2 国际重大科技基础设施的发展态势

国际上,重大科技基础设施建设起源于第二次世界大战时期的美国,至今已有80多年的历史。长期以来,欧洲、美国、日本等主要发达国家和新兴经济体都高度重视重大科技基础设施的建设与发展,将其视作本国科技的核心竞争力,持续加大投资力度,加强设施建设和战略布局,保持、培育和发展领先优势。

美国在高能物理、核物理、天文、能源、纳米科技、生态环境、信息技术等领域布局了一批性能领先的大型研究基础设施,主要由能源部、国家自然科学基金会等部门进行资助和管理^[4-5],据统计截至2022年7月有60个左右,如先进光子源及其升级(APS,1996年运行,2022年完成升级)、激光引力波天文台及其多次升级(LIGO,2002年运行,2015年完成升级)、先进地震学设施(SAGE,2014年运行)、韦伯太空望远镜(JWST,2021年发射)、大型综合巡天望远镜(LSST,计划2023年运行)、深地中微子实验(DUNE,计划2026年建成)等,取得了发现引力波等一系列重大科学成果和相关核心技术的突破,在美国科技创新、国家安全和经济社会可持续发展等方面发挥了重要作用,巩固了其世界头号科技强国的地位^[6]。

欧洲以英国、法国、德国等国家为代表,在能源、生命、资源环境、材料、空间、天文、粒子物理与核物理、工程技术等科学领域布局建设了数量众多的研究基础设施。据不完全统计,英国约有40多个,德国约有60多个,法国有将近60个。除此之外,为了整合资源,提高整体科技竞争力,欧盟国家

还联合建设了一批国际领先的大型研究基础设施,如欧洲同步辐射装置(ESRF,1994年运行,2015年完成升级,新升级2022年完成)、大型强子对撞机(LHC,2008年运行,2022年完成升级)、甚大巡天望远镜(VST,2011年运行)、欧洲自由电子激光(EXFEL,2017年运行)、欧洲散裂中子源(ESS,计划2025年运行)等,取得了发现希格斯粒子等一系列重大科学成果,发明了万维网(world wide web, WWW)技术,催生了互联网经济。这些设施不仅保持了欧洲在相关领域的科技领先优势,而且促进了欧洲国家的和平与合作,提高了技术市场的占有率,为欧洲在全球供应链、产业链中占据高位赢得了主动^[7-8]。

3 中国重大科技基础设施建设发展历程

中国重大科技基础设施建设起步于20世纪60年代,60多年来,走过了从无到有、从小到大、从跟踪模仿到自主创新的艰难历程。目前,设施技术水平和性能不断提升,学科领域和地域布局不断优化,从一个侧面反映出中国科学技术事业发展的巨大进步和成就^[9]。下面从4个发展时期进行介绍。

3.1 20世纪五六十年代的萌芽期

新中国成立后,中国于1956年12月颁布了第一个科技发展规划——《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要》。在这一规划指导下,围绕“两弹一星”的研制,国家布局建设了一些研究设施,如点火中子源、实验性重水反应堆、材料试验堆、粒子加速器等。这些虽然还不能算作“大科学装置”,但是重大科技基础设施的萌芽。20世纪60年代,中国科学界开始酝酿基础研究设施,在国家计划委员会等部门的支持下,部署并启动了高能加速器、短波授时、2.16米天文望远镜等装置的预先研究工作。在此基础上建设的长短波授时台,可以说是中国第一个大科学装置。

3.2 20世纪七八十年代的成长期

改革开放后,以经济建设为中心使国家对科学技术的需求急剧增加。邓小平同志在全国科学大

会上提出“科学技术是生产力”的战略思想,中国进入了“科学的春天”。

1979年1月,邓小平同志访美与卡特总统在华盛顿签订了《中美政府间科学技术合作协定》,并据此签订了高能物理等领域的34项合作议定书或备忘录。1983年12月,邓小平同志亲自批准建设北京正负电子对撞机,中央书记处决定将其列入国家重点工程。1984年10月7日,该项目在中国科学院(以下简称中科院)高能物理研究所破土动工,邓小平同志亲临现场为工程奠基。1988年10月24日,邓小平同志又亲自出席了对撞机建成典礼。两次出席一个项目的奠基与建成,足见邓小平同志对国家重大科技基础设施的高度重视和亲切关怀。也正是在这次建成典礼上,他发表了影响深远的重要讲话:“过去也好,今天也好,将来也好,中国必须发展自己的高科技,在世界高科技领域占有一席之地。”

北京正负电子对撞机的建成是中国重大科技基础设施建设的重要里程碑。这一时期,在国家计划委员会的支持下,中国遥感卫星地面站、串列加速器、合肥同步辐射装置、东方红2号海洋综合调查船等设施相继建成,设施建设开始向多学科领域扩展。

3.3 20世纪90年代以后的发展期

20世纪90年代以后,中国经济建设快速发展,国家提出科教兴国发展战略。在国家计划委员会支持下,郭守敬望远镜、超导托卡马克核聚变实验装置、中国地壳运动观测网络等新一批设施项目启动建设。

“十一五”之后,国家把重大科技基础设施建设作为提升创新能力的重要举措,形成了按五年规划推进建设的制度。“十一五”期间,散裂中子源开工建设,2018年通过国家验收,投入运行使用。这是世界第4台散裂中子源,填补了国内脉冲中子源的空白。“中国天眼”也在“十一五”开工建设。通过多项自主创新,中科院国家天文台建成了目前世界最大单口径(500 m)、也是最灵敏的射电天文望远镜。这一阶段,在国家发展改革委员会支持下,强磁场实验装置、结冰风洞等设施也相继开工建设,

设施建设和开放共享水平大幅提升,科研产出能力不断提高。上海光源的高水平建成,标志着中国进入国际一流水平的同步辐射光源俱乐部。

3.4 党的十八大以来快速发展期

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内外发展形势,全面分析国际科技创新竞争态势,从把创新作为引领发展的第一动力到把高水平科技自立自强作为国家发展的战略支撑,从建设创新型国家到建设世界科技强国,从“三个面向”到“四个面向”,习近平总书记对科技创新提出一系列新思想、新观点、新论断和新要求,亲自谋划、部署和推动一系列重大战略举措,中国科技创新事业取得许多新的历史性成就。

习近平总书记非常关心国家重大科技基础设施建设。2013年,总书记视察科教单位,第一站就选择了中科院高能物理研究所的北京正负电子对撞机。也就是在这次视察时,他对中科院提出了“四个率先”的目标要求。2016年9月,总书记为“中国天眼”落成启用发来贺信,要求高水平管理和运行好这一重大科学基础设施,早出成果、多出成果、出好成果、出大成果。这不仅是对“中国天眼”提出的要求,也是对所有重大科技基础设施提出的要求。2021年2月,总书记还在贵阳亲切会见项目负责人和科研骨干,视频连线装置现场,亲切慰问科研人员,听取建设历程、技术创新、科研成果、国际合作等情况介绍,指出“天眼”是国之重器,实现了中国在前沿科学领域的重大原创突破。

这一阶段,中国对重大科技基础设施进行了前瞻部署和系统布局,投入力度持续加大。在国家发展改革委的规划组织和投资支持下,“十二五”期间,中国启动建设了高海拔宇宙线观测站、高效低碳燃气轮机试验装置等15项重大科技基础设施;“十三五”期间,在基础科学、能源、地球系统与环境、空间和天文以及部分多学科交叉领域,启动建设了高能同步辐射光源、硬X射线自由电子激光装置等9项设施。这2个五年计划累计项目数接近此前建设总数。根据国家发展改革委的规划,“十四五”期间拟新建约20个国家重大科技基础设施,在数量和质量上有新的跃升。中国重大科技基

础设施建设迎来实现历史性跨越的快速发展期。

截至2022年6月,中国在建和运行的重大科技基础设施项目总量达57个,部分设施综合水平迈入全球“第一方阵”。中科院是中国重大科技基础设施建设的最早发起者,也一直是设施建设和运行的主要力量,一代又一代科学家和工程技术人员为此付出了长期艰苦的努力,做出了许多重大卓越的贡献。截至2022年6月,共承担建设和运行重大科技基础设施30余项,超过全国总数的一半。这些设施规划建设过程中,中科院与国内科教界广泛合作,已建成运行的设施更面向国内外开放,吸引广大科研人员利用设施开展科学研究。在包括重大科技基础设施在内的大型科研设施和仪器设备开放共享方面,在财政部、科技部组织的评估中,中科院长期在全国科教单位中排名第一。当然,高校和其他有关科研单位也承担了很多重大科技基础设施建设任务,同样做出了重要贡献。

4 中国重大科技基础设施建设运行成效

几十年来,在国家有关部门的统一部署下,中国重大科技基础设施布局逐步完善、运行更加高效、产出更加丰硕,对促进中国科学技术事业发展起到了巨大的支撑作用,为解决国家发展中遇到的关键瓶颈问题做出了突出贡献,其技术溢出也显著促进了经济社会发展,并依托设施逐步形成了一批在国际上有重要影响的国家科技创新中心和人才高地。主要成效可以概括为以下5个方面。

4.1 原创性引领性科技成果的策源地

重大科技基础设施为开展基础研究和应用研究提供了重要平台,推动中国粒子物理、凝聚态物理、天文、空间科学、生命科学等领域部分前沿方向的科研水平迅速进入国际先进行列。2011年以来,依托重大科技基础设施产生的成果中有22项入选国家科技“三大奖”,其中9项国家自然科学奖、3项国家技术发明奖、10项国家科学技术进步奖。29项成果入选年度“中国十大科技进展新闻”或“中国科学十大进展”^[10-11],占上榜成果的13.2%。

一些成果更是在国际上产生了重大影响。例如,大亚湾反应堆中微子实验发现了一种新的中微子振荡,并精确测量到其振荡几率。该结果是对自然界最基本物理参数的测量,使人类更深入了解了中微子的基本特性,也对未来中微子物理的发展方向起着决定性作用。高海拔宇宙线观测站在银河系内发现大量超高能宇宙加速器,并记录到最高1.4 PeV 伽马光子,这是人类观测到的最高能量光子,突破了人类对银河系粒子加速的传统认知,开启了“超高能伽马天文”的时代,为破解“宇宙线起源和加速”这一世纪之谜奠定了基础。快速射电暴起源是当今天体物理领域最前沿的科学问题之一,中国科学家利用“慧眼”卫星精准定位了快速射电暴对应的X射线天体,利用“中国天眼”第一次捕捉到了快速射电暴多样化的偏振信息,揭示了快速射电暴的来源和辐射机制之谜。超导托卡马克核聚变实验装置实现了可重复1.2亿℃下维持101 s的等离子体运行,再次创造托卡马克实验装置运行新的世界纪录,标志着中国在稳态高参数磁约束聚变研究领域引领国际前沿^[12]。

4.2 解决国家重大战略科技问题的主平台

重大科技基础设施在解决重点领域和战略产品“卡脖子”问题等方面发挥了重要作用,推动解决了一批关键核心技术、引领带动了相关产业发展。众所周知,航空发动机核心部件——叶片的服役寿命,一直是制约中国航空领域发展的“卡脖子”问题,过去一直缺乏合适的检测手段,因中子不带电、穿透性强,可以在叶片等大型部件的内部结构和应力探测方面发挥独特优势。通过中国散裂中子源,科研人员首次获得了多种型号发动机的高温合金叶片、单晶叶片、3D打印叶片在不同工艺、不同服役状况下的内部应力数据,填补了国内深层高精度应力测试与评价的空白,支撑解决国产叶片的设计、制备和加工工艺。

2020年新冠肺炎疫情暴发之初,武汉国家生物安全实验室(P4实验室),在世界上首次检测出新冠病毒全基因组序列,首次分离出病毒毒株,为全球科学家开展药物、疫苗、诊断研究提供了重要基础。同时,该实验室在新冠病毒病原鉴定、快速

检测、抗病毒药物筛选、疫苗研制等重要工作中也做了很多非常重要的工作,为抗击新冠肺炎疫情做出了不可替代的贡献^[13]。

4.3 推动战略性高技术发展的新引擎

重大科技基础设施技术溢出效应大幅提升,催生一批新技术、新产品,成为促进战略性新兴产业的科技创新驱动力,为国民经济和社会发展提供了科技支撑。

例如,中国第二代中微子实验——江门中微子实验的核心部件光电倍增管,之前几乎全部由日本公司垄断,对中国科学家来说自主生产这一核心器件,在十几年前还只是一个大胆的梦想。2008年,中科院高能物理研究所提出全新设计方案,2011年联合北方夜视等国内企业组成产学研合作组,成功研制出20英寸微通道板型光电倍增管,综合性能达到国际先进水平,打破了国际垄断。2020年,15000只国产20英寸光电倍增管生产完成,将使用在江门中微子实验中。仅这一项,就比采购国外设备节省数亿元。该产品也成为高海拔宇宙线观测站的核心部件,让观测设备更加“耳聪目明”。

再如,癌症是当今社会对人类生命健康威胁最大的疾病之一。中科院近代物理研究所依托兰州重离子研究装置,于2021年实现中国首台医用重离子加速器——碳离子治疗系统的成功应用^[14],使人类向攻克癌症又迈进了一步。这标志着中国成为全球第4个拥有自主研发重离子治疗系统和临床应用能力的国家,实现了中国在大型医疗设备研制方面的历史性突破。

4.4 打造国家创新高地的强内核

近年来,有关部门将重大科技基础设施作为国家创新高地建设的核心内容,加快推动北京、上海、粤港澳大湾区科技创新中心建设。特别是依托设施集群,建设上海张江、安徽合肥、北京怀柔、粤港澳综合性国家科学中心。这一战略举措不仅加快了重大科技基础设施的建设,也显著提升了这些国家创新高地的科技实力和创新能力。据不完全统计,“十二五”和“十三五”期间规划布局的24个装置中有15个项目整体或部分在综合性国家科学中心集聚,涉及总投资300多亿元。

同时,重大科技基础设施有很强的外部辐射效应,不仅能显著提升所在区域的科技实力和创新能力,而且有利于提升所在区域的人才环境和形象,吸引大批高端人才和企业,持续支撑和促进地方经济社会发展。例如,散裂中子源落户广东东莞,显著改善了当地的人才环境,促进了高端产业落户,对东莞及大湾区的产业转型升级和经济发展起到了积极作用。正因为如此,许多地方党委政府都非常重视争取设施落户,对设施建设和运行给予大力支持。

4.5 引才聚才和推动高水平创新合作的新高地

重大科技基础设施在建设和运行过程中,集聚和培养了一大批懂科学、懂技术、懂工程、懂管理的领军人才,建成后还依托设施吸引大批高水平国内外人才开展科学研究和科技合作。以落户东莞的中国散裂中子源为例,中科院高能物理研究所在当地集聚和培养了一支400多人的高水平工程和科研团队及大批青年学生,其中既有以陈和生院士为代表、有着丰富设施建设与开放运行经验的战略科学家,也有一批在专业领域颇有建树的学科领军人才和蓬勃奋进的青年科学家。散裂中子源的高度开放共享,也吸引了大批国内外的用户,包括科学家和工程技术人员开展科学研究和技术攻关。据统计,2018年以来,散裂中子源注册用户超过2600人(包括国外用户40余人),共完成600余项课题,有力推动了中国中子散射的应用和关键技术的重大发展。

5 中国重大科技基础设施建设的不足

在充分肯定成绩的同时,我们也清醒地认识到,由于中国的设施建设起步相对较晚,技术储备和人才队伍尚有不足,科技水平和产出效率还需提高,管理体制机制有待优化,对更高水平原始创新和核心技术产出的支撑作用亟待提升,整体水平与建设科技强国和高水平自立自强的目标要求还有较大差距。

5.1 世界领先、甚至独创独有的设施还不多

当前,国际科技竞争空前激烈,世界科技强国经过长期积累,已经拥有相当规模、有重要影响力的重大科技基础设施。中国的重大科技基础设施建设在起步相对较晚、财力相对有限、水平相对不高的情况下,大多以跟踪模仿和追赶西方发达国家为主。近年来,中国陆续建设了“中国天眼”、高海拔宇宙线观测站、高能同步辐射光源、江门中微子实验等一批处于国际领先水平的设施。但总的来说,具备原创科学思想和科学设计、世界领先甚至独创独有的重大科技基础设施数量还很少;关键技术的源头主要来源于国外,性能指标还常常有差距。面对科学前沿研究不断向超微观、超宏观、超复杂方向发展的趋势,我们尤其需要加强战略研究,瞄准世界一流,高水平、高起点、有重点地选择建造一批国际领先的重大科技基础设施,以点带面,逐步实现从“占有一席之地”、到重点突破、再到引领创新的战略目标。

5.2 依托设施的建制化研究有待加强

建设高水平、引领型的重大科技基础设施固然重要,但是运行好、使用好这些设施,发挥最大效益也很重要。中国重大科技基础设施不断推进开放共享,吸引了大批高水平用户开展科研工作,但我们也发现在公共实验平台类的设施上,科研用户自发申请使用设施,围绕国家紧迫的战略需求,开展定向性科学问题牵引的建制化研究不多,从而制约了依托设施开展高水平科学研究、产出重大原创成果、解决关键核心技术问题的能力。

5.3 依托设施的国际合作活跃程度不够

重大科技基础设施是国际合作的重要平台。中国重大科技基础设施在国际合作上还存在一些不足。一方面,中国主持的本土项目中国际合作比重较低,且大部分停留在一般性的交流合作上,缺少实质性的外方经费投入和人员、技术贡献,导致中国专用研究设施的国际领先性、国际影响和重大成果产出不足。另一方面,中国也较少实质性地、有显示度地参加国外的项目,国际影响不足,不易达到国际领先水平,也影响吸引国外投入参与本土

项目。

当前,西方少数国家对中国的科技遏制和封锁持续升级,加上新冠肺炎疫情的影响,国际科技合作面临严峻挑战。重大科技基础设施在突破封锁、吸引合作,特别是开展科学家之间的科研合作、互通有无、进行深度科技交流合作上,具有独特优势,可以发挥更大的作用。

6 中国经济社会发展和科技自立自强的新形势、新要求

“十四五”是开启全面建设社会主义现代化国家新征程的第一个五年。作为国家创新体系的重要组成部分,中国重大科技基础设施建设发展面临着新的形势和要求。

1) 从新科技革命的历史机遇来看。现阶段中国建设科技强国的进程正好与知识经济演进中正在产生并日渐加速的新一轮科技革命相伴。科学研究的发展不断向广度拓展、向深度进军,多学科交叉融合汇聚日益频繁,重大创新突破需要依赖科学仪器拓展人类的感知能力,必须依靠精度更高、功能更强的大科学设施。这就对设施的能力和水平提出了更高要求。

2) 从深刻复杂多变的国际形势来看。设施建设集科学技术、工业制造、材料加工、人才队伍优势于一体,代表了一个国家的综合科技实力。因此,各国都将设施的发展作为提升国家核心竞争力的重要举措,加强部署并大力实施。国家发展的激烈竞争也使设施的竞争日益激烈,在重大科技基础设施领域既要合作,也有竞争,各种困难交织,对中国设施的建设和未来发展提出了新的挑战。

3) 从中国加快建设科技强国战略目标来看。以习近平总书记为核心的党中央高度重视科技事业,确立了加快建设科技强国、实现高水平科技自立自强的战略目标。这就要求中国重大科技基础设施发展要加速,只有加速才能实现从跟跑、并跑向领跑的转变,才能为原始创新和关键技术攻关提供更强大的支撑。

新时代赋予新使命,内外因素叠加,对中国的

设施建设提出了更高、更急迫的要求——要尽快建成布局完备、技术领先、运行高效、创新有力、综合效应显著的国家重大科技基础设施体系,设施建设水平、运行服务能力和重大成果产出要实现国际引领,以全面支撑原始创新能力提升、战略高技术研发、产业创新发展、区域创新高地建设,实现跻身创新型国家前列和世界科技强国的目标。

7 建议

7.1 要强化顶层设计,优化管理

当前,中国的科技发展面临着多处被“卡脖子”的被动局面,只有集中力量,发挥优势,才能实现重点突破,争取能“互卡脖子”,以尽快走出受制于人的困境。国家重大科技基础设施需要做好顶层规划设计,全国一盘棋,避免一哄而上,重复布局。要发挥“集中力量办大事”的制度优势,在充分考虑学科领域均衡发展的同时,做好发展战略选择和优势学科布局,避免“撒胡椒面”。

合理的投入是实现发展目标的最基本保障。要实现追赶超越,作为支撑的基础设施就必须比对手更强,对设施发展的投入应该有较大幅度的增长。事实上,相比国外,中国现有的重大科学基础设施总投资规模,尤其是专用设施的投资规模偏小,限制了重大科技基础设施的领先性和对高水平人才的吸引,进而限制了重大原始创新成果的产生。要在继续加强对基础科学投入的同时,合理平衡不同学科领域。

对设施预先研究的前瞻布局不够,也是制约引领型、独创独有型设施发展的因素之一^[15-16]。国家有关部门也开始重视这一问题,已将少数预研项目列入“十四五”设施建设规划。但由于设施的原理性探索、概念性设计或关键部件的研制,可能难以预设明确的“交账”目标,往往不易获得支持。需要在国家有关部门支持预研项目的基础上,加强部门联动,完善不同类型预研的投入机制,在可能发生革命性突破的方向,加强原理性探索、概念性设计或关键部件研制等预研工作。

要充分发挥重大科技基础设施人才高地的关

键作用。一是要分类考核评价,特别要考虑大科学装置的工程技术人才在论文、独立成果上的特点,培养设施所需的科学、技术、工程、管理复合型战略科学家和领军人才。二是要依托设施培养规模宏大的青年科学家,让青年人才有更多机会承担重大任务、担任重要岗位,使优秀青年人才更好地成长成才。三是要对设施建设和运行维护人员予以稳定支持,凝聚培养一批专业队伍,鼓励他们全力投入高水平建设和运行国家重大科技基础设施,发挥设施最大效益。

此外,国家重大科技基础设施的设计和建造有许多研究试验和技术攻关的内容,具有鲜明的工程和科研双重性。建议充分考虑这种类型科研工作的特点与需求,制定适应设施特点与发展规律的建设管理制度。

7.2 强化依托设施的建制化科学研究工作

要系统提升重大科技基础设施对基础研究、国家战略和高技术发展的服务支撑能力,加强开放共享,组织开展定向性、建制化的科学研究工作。一方面,要加强开放共享,做好设施升级和实验新方法、新技术的创新,提高设施本身的运行服务能力,为高水平科研活动提供更好的支撑。另一方面,可以在科研用户自发性申请、零散式利用的基础上,找准国家发展中遇到的重大瓶颈科学问题,设计一些利用建制化组织优势,多设施、多用户协同创新的新机制。最近在中科院的部署和支持下,高能物理研究所与中科院金属研究所、中国钢研科技集团、中国航发沈阳发动机研究所、中国航发北京航空材料研究院等优势团队,围绕航空航天发动机叶片和复合材料、高端轴承、高铁轮轴等“卡脖子”技术,开展有组织、体系化的科学研究。技术人员和科研专家组成一体化团队联合攻关,利用散裂中子源、北京同步辐射装置、稳态强磁场实验装置等多个设施,共同制定实验方案,开发更精准的测试方法,推动实验方法创新、实验能力升级与科学问题研究的深入融合。

7.3 加强高水平国际合作,发起国际大科学计划

重大科技基础设施一直是国际科技合作的重点领域,世界上很多设施本身就是国际大科学计划

和大科学工程的产物^[16-17]。中国的设施建设也是如此,一些关键技术从国外引进或国内外合作研发,不少关键器件从国外进口,一些本土项目获得国际参与与贡献。2021年3月,“中国天眼”正式向全球开放,征集观测申请,共收到15个国家31份申请,14个国家的27份申请获得批准,并于2021年8月启动科学观测。这为世界注入了中国力量和中国贡献,充分彰显了中国科学家与国际科学界携手合作的理念。江门中微子实验获得国际实物贡献约15%左右,共有16个国家和地区约300多位科学家参加。

我们要坚定开放合作,围绕重大科技基础设施的建设和运行,努力拓展合作范围、方式和渠道。要在项目遴选、评估、建设上有更多的国际参与和贡献,同时积极参加国际项目,广交朋友,培养人才,扩大影响,争取国际支持。希望有更多的重大科技基础设施开展高水平国际科技合作,也希望国家围绕建设高水平重大科技基础设施,尽快发起实施若干国际大科学计划和和大科学工程。

8 结论

重大科技基础设施肩负着支撑科技强国建设的重要使命。我们相信,在党中央、国务院领导下,在国家有关部门的组织和支持下,中国将形成布局完备、技术领先、运行高效、创新有力、成果产出显著的国家重大科技基础设施体系,为建设世界科技强国、高水平实现科技自立自强做出更大的贡献。

参考文献(References)

- [1] 习近平主持召开中央财经委员会第十一次会议[EB/OL]. (2022-04-26) [2022-06-28]. http://www.xinhuanet.com/2022-04/26/c_1128599047.htm?jump=true.
- [2] 国家重大科技基础设施管理办法[EB/OL]. [2022-04-20]. <http://www.gov.cn/foot/site1/20140630/19851404130410233.pdf>.
- [3] 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.

- [4] 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.
- [5] 杨春霞, 罗小安, 侯宏飞, 等. 美国国家科学基金会设施的管理及启示[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(3): 347-353.
- [6] 李泽霞, 魏韧, 曾钢, 等. 重大科技基础设施领域发展动态与趋势[J]. 世界科技研究与发展, 2019, 41(3): 221-230.
- [7] 卡特琳娜·C. 克莱默, 奥恰夫·哈伦斯坦. 欧洲的大科学和研究基础设施[M]. 乔黎黎, 樊潇潇, 邸月宝, 译. 北京: 中国科学技术出版社, 2021.
- [8] 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, 28(3): 386-393.
- [9] 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.
- [10] 中华人民共和国科学技术部. 历年国家科学技术奖励[EB/OL]. [2022-07-29]. <https://www.safea.gov.cn/ztzl/gjksjshdh/jldh2020/>.
- [11] 中国科学院. 中国科学院十年重要科技进展[EB/OL]. [2022-07-20]. <https://www.cas.cn/zt/kjzt/cas10years/>.
- [12] 中科院合肥物质科学研究院等离子体研究所. EAST装置物理实验创造1.2亿度101秒等离子体运行的世界纪录[EB/OL]. [2021-05-31]. http://www.ipp.ac.cn/xwdt/ttxw/202105/t20210528_641312.html.
- [13] 为打赢疫情防控阻击战提供强大科技支撑[EB/OL]. [2020-03-15]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-03/15/c_1125715397.htm.
- [14] 中科院近代物理研究所. 重离子治疗技术[EB/OL]. (2022-03-23)[2022-06-25]. <https://imp.cas.cn/cgzh2017/cyhxm/>.
- [15] 樊潇潇, 李泽霞, 宋伟, 等. 重大科技基础设施预先研究管理解析及思考[J]. 科技管理研究, 2019, 39(2): 31-36.
- [16] 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.
- [17] 中国科学院重大科技基础设施战略研究组. 新时代奋勇攀登谱新章——新形势、新要求下的重大科技基础设施发展思路[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(增刊2): 3-7.

Current status and future prospects of the national major infrastructure for science and technology

WANG Yifang

Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract Major infrastructure for science and technology is an important constituent of national infrastructure, a significant strength symbol of the national science, technology, economy, and even the soft power. The construction of China's major infrastructure for science and technology started in 1960s and experienced germination, growth, development, and rapid development stages. Some facilities have reached the world's leading level, generating a number of internationally renowned achievements in science and technology, which substantially supported national strategic needs and sustained the development of science and technology. However, there are still gaps and shortcomings in construction of national major infrastructure for science and technology, such as the lack of world-leading, original or even unique facilities, the need to strengthen the institutionalize research at facilities and to improve the international cooperation. China's science and technology development needs to resolve the above issues, to strengthen the top-level design and optimize the management, to initiate large international science projects so as to make greater contributions to the economic and social development, the construction of a world-leading country on science and technology with a high level of self-reliance and self-strengthening.

Keywords large infrastructure for science and technology; large science facility; innovation; institutionalized research; international collaboration; science and technology support ●



(责任编辑 王志敏)