

如何加快构建重大科技基础设施对企业技术创新的促进机制？——基于分阶段多案例研究

乔黎黎

国家发展改革委创新驱动发展中心（数字经济研究发展中心），北京 100038

摘要：重大科技基础设施在科技强国建设和国家创新体系中具有重要作用。然而，针对重大科技基础设施如何发挥促进技术创新作用，理论研究和实践中评价管理导向均不足。本文设计了分阶段的重大科技基础设施技术创新促进机制的分析框架，基于四个重大科技基础设施典型案例，探讨了重大科技基础设施引发的创新市场效应、创新网络效应、研发条件效应、技术转化效应等，并针对技术转化的四种类型进行了重点分析。在此基础上提出了政策建议，以推动重大科技基础设施更好地服务于企业技术创新、关键核心技术攻关和未来产业发展。

关键词：重大科技基础设施；企业技术创新；促进机制；案例研究

中图分类号：C931

文献标识码：A

文章编号：1674-4969(2024)01-0039-11

引言

随着我国创新驱动发展战略的提出，如何将创新作为提高生产力和综合国力的战略支撑，已经成为国家发展的核心问题。重大科技基础设施（以下简称“设施”）是为探索未知世界、发现自然规律、实现技术变革提供极限研究手段的大型复杂科学研究系统，是突破科学前沿、解决经济社会发展 and 国家安全重大科技问题的物质技术基础^[1]。

凭借科学技术的引领作用，设施带来了世界一流的研发，促进了更多的技术创新和其他进步，保持了国家可持续的经济竞争力。近年来，中国的设施建设已进入快速发展期，正在建设和运营的设施总数已达到世界前列。从国际经验来看，设施具有综合效应，其中除了科学效应外，经济社会效应也很重要^[2-4]。但是，我国设施的经济社会效应发挥尚显不足，特别是带动企业技术创新还没有得到足够的重视。如何依托设施，将先进科

收稿日期：2023-12-01；修回日期：2023-12-13

基金项目：国家自然科学基金应急管理项目：支持全面创新的创新创业生态基础制度研究(72341005)

作者简介：乔黎黎（1983—），女，副研究员。研究方向为创新政策。Email: noraqiao@163.com

引用格式：乔黎黎. 如何加快构建重大科技基础设施对企业技术创新的促进机制？——基于分阶段多案例研究[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2024, 16(1): 39-49. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20230007

Qiao L L. How to accelerate the establishment of major research infrastructure to promote enterprise technological innovation?— Based on staged multi-case studies[J]. Journal of Engineering Studies, 2024, 16(1): 39-49. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20230007

学技术转化为生产力, 为产业高质量发展提供创新支撑, 需要统筹考虑和政策支持。

本文将重点研究设施对企业创新的影响。我国设施建设通常注重科学产出而忽视技术创新效应, 尽管综合性国家科学中心的发展在一定程度上弥补了政策工具的缺失, 但技术创新效应仍有待进一步发挥。本文试图通过我国典型设施案例分析, 探讨设施对技术创新的影响机制, 以及应采取哪些政策来有效促进这些影响, 以便为政策制订提供依据。

1 关于重大科技基础设施技术创新效应的文献综述

1.1 重大科技基础设施的技术效应

传统的重大科技基础设施的评价方法在评估社会和经济发展中的功能方面存在局限性, 代表性研究有“装置计量学”, 即考察出版物数量、操作可靠性/技术性能和用户对实验时间需求的组合^[5]。近年来, 一些学者扩展了一些评估措施, 不仅仅是简单的出版物、引用和成本计数, 还包括对技术效应的评价, 有助于全面评估重大科技基础设施的综合效应^[6,7]。Florio等^[8]提出了一个概念模型, 该模型基于对成本总量的数量和影子价格的估计, 以及六种主要的经济利益类别(纯发现的价值、知识产出、技术溢出、人力资本形成、文化效应和对第三方的服务)。并选取了大型强子对撞机这一最为典型的大科学设施, 分析了从1993年到2025年计划退役的成本效益, 技术溢出在整体效应中的贡献占39%, 而人力资源形成效应占41%, 科学产出仅占2%^[9]。而大科学的创新影响难以有效评价, 欧洲核子研究中心技术最著名的例子是万维网, 深刻地改变了人类社会在世界范围内的运作方式^[10]。国际上对设施典型的投入产出比的研究指出, 比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左右^[6]。与产业创新合作还存在不少困难, 欧洲调查研究了设施与产业合作的障碍, 包括缺少数据和需求信息(20.4%)、缺少联系的必要资源(人力、物力、

信息和资金)(20.4%)、知识产权纠纷(19.4%)、双方时间表差异(9.4%)、行政法律和资金障碍(6.4%)、双方缺少信任(1.7%)^[11]。Del bo和Florio^[12]指出, 在考虑基础设施的回报率时, 基础设施经济学的主要问题有其不完善的市场特点: 市场失灵, 政治目标和约束、监管和分配问题影响着投资回报, 基础设施投资远离市场给出的反馈信号。

国内学者从组织管理、创新效应机制、转化路径、影响因素等角度开展研究。邢超^[13]提出了利用大科学工程促进产业链与创新链结合的组织方式。李平等^[14]根据科技基础设施的概念, 将其技术创新机制归结为资源配置效应、知识平台效应、人力资本效应和协同创新效应。设施所在区域差异对设施的技术创新效应存在影响, 科技基础设施拉动技术创新存在经济发展水平和研发投入水平的“门槛”和“陷阱”, 只有跨过“陷阱”, 科技基础设施对技术创新的推动作用才能得以有效发挥。尚智从等^[15]归纳了北京正负电子对撞机的开展社会化合作、承接国际合作研制任务、参股高新企业等3种科技成果转化模式。张玲玲等围绕谁来转化, 提出大科学装置的4种产业化模式^[16], 以及产业化所需的5个关键因素^[17]。张毅等^[4]提出了大科学的技术创新范式和演化动力, 外部压力、规模投入、适度聚集、有效组织、基础理论和技术准备等是大科学的高效创新的主要条件; 大科学的技术创新存在组合创新、颠覆式创新和需求拉动创新3种主要范式。

1.2 基于重大科技基础设施的创新政策

面向创新的公共采购(PPI)是一个应对重大挑战的需求侧的创新政策工具。大科学组织, 如欧洲核子中心、欧洲同步辐射光源、欧洲散裂中子源、欧洲自由电子激光、劳厄郎之万研究所等提供了价值百亿欧元的投资, 为当前还不存在的物品(通常是产品或系统)下订单, “物品”必须在交付之前由供应商研制开发出来^[18]。重大科技基础设施在创建创新网络方面的作用不可忽视。创新实践和理论都表明, 组织间的互动学习对创新

的产生至关重要。合作是制定有效的创新公共采购政策的关键决定因素^[19]。大科学组织在需求拉动、供给推动双方面发力,形成“政策组合”^[20]。这些手段包括为研发提供公共资金、税收激励、基于需求的远见、制定修改法规和规范、制定标准或创新券等等。大科学中心是“大科学”组织方式在地理上的呈现。从大科学中心与不同利益相关者关系的角度,学者构建了大科学中心-大学-产业关系框架,关注不同类型的利益相关者之间的关系^[21,22]。Autio等^[23]利用质性研究方法,构建了描述大科学中心产生产业知识扩散的不同机制框架。Heinze等^[24]还构建了科学制度变化的理论框架,从制度变迁和科学政策管理的角度,来描述大型科学实验室研究的相关性。Autio等^[25]从技术、认知、金融、教育、政治和战略等视角,分析总结了大科学中心与学术界、产业界和社会开放合作框架。

在之前的研究中,设施的技术创新拉动效应长期以来一直被低估。与科学效应相比,设施的技术效应显得次要。国际上在设施规划阶段就充分预计全寿命期对创新的拉动,并合理测算公共财政设施投资投入的技术产出效应,具有完善以设施带动创新的政策体系。而基于中国发展阶段需求、对我国对设施创新促进作用机制的相关研究较为缺乏,以往对设施技术效应研究主要集中在运行使用阶段,未考虑全寿命周期,也缺少考虑不同类型设施在科学目标实现和成果转化方式方面的差别^[26],导致发挥我国设施技术创新效应的价值导向和评价机制导向还不健全。

2 案例选择和分析框架

2.1 选择标准

考虑到不同设施技术效应的差异性,本文综合考虑了设施功能、所处阶段等因素。(1)从功能的角度包括专用设施和公用设施。专用设施是为解决特定学科的主要科学和技术目标而开发的。这种类型的重大科技基础设施服务于单一学科。例子包括大型对撞机、大型天文望远镜、托卡马

克等。公用设施服务于多学科的基础研究、应用基础研究和应用研究。如同步辐射光源、散裂中子源和强磁场设施。(2)考虑了设施所处阶段。本文选择已经运行了一段时间的设施,这样可以兼顾建设期和运行期。

2.2 案例描述和素材来源

对于每种功能类型的重大科技基础设施,选择2个典型案例。共选择4个案例,具体包括北京正负电子对撞机(BEPCII)、全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)、上海光源(SSRF)、稳态强磁场实验装置(SHMF)设施。表1列出了这些重大科技基础设施案例的基本信息。由于数据获得存在难度,主要通过设施年报、调研访谈、以及文献中案例分析的数据素材。

2.3 分析框架

从重大科技基础设施的全寿命周期来看,不同阶段的管理往往具有较大差异^[27],通常分为建设阶段和运行阶段。

建设阶段,重大科技基础设施是作为一个大型的复杂技术投资项目开展管理。建设管理特点包括,建设目标明确,资金、人员资源调动能力强。虽然建设技术难度高,技术处在研发阶段,人员团队也还在探索阶段,但建设投资的公共采购能够带动供应商创新,也迫切需要供应商结合技术专长提供解决方案,通过合作研发方式确保项目按期按质建成,对技术创新带动作用确定且直接。

运行阶段,重大科技基础设施往往纳入研究机构对科研条件的常规管理范畴。运行经费主要用来弥补资源消耗和人力成本,虽然技术成熟、技术人员能力提升,但运行目标以保障机器正常运转、提供科学服务为主,技术溢出并不是优先的评价导向。除非管理者积极倡导并分配必要的资源,否则难以实现促进技术创新的效果。

因此,本文建立建设-运行分阶段重大科技基础设施技术创新影响分析框架。

表 1 典型重大科技基础设施案例基本情况
Table 1 Basic situation of typical major science and technology infrastructure cases

分类	设施名称	建设运行单位	基本情况与支撑学科	运行年份/年	建设地点
专用+公用	北京正负电子对撞机 (BEPCII)	中国科学院高能物理研究所	粲物理能区国际领先的对撞机和高性能的兼用同步辐射装置, 主要开展粲物理研究, 同时又可作为同步辐射光源提供真空紫外至硬 X射线, 开展凝聚态物理、材料科学、生物和医学、环境科学、地矿资源、以及微细加工技术方面等交叉学科领域的应用研究, 达到“一机两用”。由注入器(BEL)、输运线、储存环、北京谱仪(BES)和同步辐射装置(BSRF)等几部分组成	1990	北京
专用	全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)	中国科学院等离子体物理研究所	世界首个全超导非圆截面托卡马克装置, 对磁约束核聚变相关的前沿物理问题开展实验研究和工程验证, 为未来稳态、安全、高效的聚变堆提供物理和工程技术基础。具有“超高温”“超低温”“超大电流”“超强磁场”“超高真空”等极限条件。支撑核聚变物理学科	2007	合肥
公用	上海光源(SSRF)	中国科学院上海应用物理研究所	中能第三代同步辐射光源, 可用来从事生命科学、材料科学、环境科学、信息科学、凝聚态物理、原子分子物理、团簇物理、化学、医学、药学、地质学等多学科的前沿基础研究, 以及微电子、医药、石油、化工、生物工程、医疗诊断和微加工等高技术的开发应用的实验研究。目前共有27条光束线39个实验站开放运行。不同学科使用时占比: 生命25%, 材料20%, 物理19%, 环境9%	2009	上海
	稳态强磁场实验装置(SHMF)	中国科学院合肥物质科学研究院强磁场科学中心	集成了国际领先的强磁场、超高压、极低温综合极端实验条件, 拥有40T级混合磁体一台/套、水冷磁体五台、超导磁体四台/套, 配套的一系列科学实验测试系统以及支撑磁体/实验测试系统运行的技术装备系统。不同学科使用时占比: 物理29%, 化学17%, 材料与工程38%, 生物医药16%	2010	合肥

注: 数据来源于中国科学院重大科技基础设施年报(2016—2022)。

3 重大科技基础设施的技术创新影响

3.1 建设阶段的创新影响

设施在设计与建造期间是工艺创新、技术创新最集中的时期^[10]。在建设期, 重大科技基础设施作为任务导向的重大工程项目, 设施承担单位需要在联合研制基础上, 向企业采购大量非标的仪器设备, 形成了大规模的创新公共采购, 拉动了参与企业的创新研究。

3.1.1 创新市场效应 重大科技基础设施的公共采购优势在于金额大、周期长、技术功能明确、提供技术支持、示范效果好。设施承担单位在申报设计阶段, 已经明确了部件的功能, 提供明确的创新需求, 使中小企业确定技术研发方向, 并为企业 提供稳定的技术市场预期, 使创新型中小企业充分投入研制开发。

设施提升企业研发能力和市场竞争力。上海光源建设过程中, 一批高技术企业结合自身军工和型号研制经验, 承担了电源、泵等通用部件的研

制工作, 通过自主研发和合作研发取得了技术突破, 获得了合同和加速器领域的认可。以电源系统为例, 电源系统是同步辐射光源中的关键子系统。西安爱科曾承担中国科学院高能物理研究所加速器电源的中标和样机研制, 在加速器电源市场具有技术积累。在研制过程中, 企业与上海应用物理研究所紧密合作, 采用了功率部件串联技术、多环控制方法、动态功率波动抑制技术, 使部分指标优于国际上其他同类加速器电源。设施通过合同采购提供创新市场, 吸纳国内研发能力较强的企业共同研制开发关键技术系统, 能够有效带动中小企业聚焦核心技术积累研发能力、提高研发水平。设施建设还带动了国产替代和产业技术升级。成都飞机制造厂通过承担北京正负电子对撞机部件加工任务, 机械加工精度和工艺水平提高了近一个量级。北京正负电子对撞机的研制, 推动我国的广播电视用上了国产的微波功率源^[10]。创新型企 业依据设施需求, 实现了新的技术指标, 带动工业制造标准升级。这一过程是通

过设施建设拉动产业链条中的各环节创新突破来实现的, 设施建设成为技术创新和产业升级的动力。只有在国家的战略需求牵引下, 企业才敢于“贴老本”, 承担创新产品而带来的市场风险, 因为这样的市场风险有强大的政府需求在做支撑^[13]。

3.1.2 创新网络效应 重大科技基础设施的各种行业利益相关者的参与创造了一种网络效应。设施是技能和知识形成的“核心”。上海光源建设的供应商创新网络如图1所示。建设内容包括基本建设、设备设计和设备制造等, 研发合作伙伴也分为建筑设计施工单位、中国科学院研究所和零部件制造商。上海光源成为技术创新网络的核心, 将从事通用高性能组件的高科技公司纳入创新合作网络, 通过明确的技术需求和技术积累, 提升企业相关领域的技术水平, 同时, 提供了网络中更多的潜在合作方和需求方, 与企业合作也形成了进一步拓展市场的示范效应。

技术创新网络效应是科技创新机构与产业界和学术界互动、加强科技活动合作的重要机制。在合作伙伴之间建立了正式和非正式的社会网络、共同的价值观和相互信任。在建设阶段, 网络是由合作伙伴之间的契约关系形成的供应商网络, 而设施则是产业部门提供的创新产品和服务的“启动客户”^[2]。通过设施建设, 设施所在的研究院所和企业形成良好的产学研创新互动, 这一创新过

程是由科学界和企业界共完成的, 形成科学目标驱动带来的技术拉动, 再由企业技术累计推动科学目标的提升, 这种互相成就、相辅相成的关系是设施创新的特点。

3.2 运行阶段的创新影响

在运行阶段, 由于设施需要维护和更新, 市场效应和供应链创新网络仍然存在。企业创新模式从颠覆性创新转变为渐进式创新。高水平的设施能够获得升级改造项目, 重大的升级改造往往需要颠覆性创新来支撑。拉动中小企业根据设施维修、升级改造需求, 持续获得市场订单。

3.2.1 研发条件效应 运行阶段的开放使用是重大科技基础设施发挥功能的主要方式。不同重大科技基础设施的产业用途差异很大, 是否提供技术服务取决于重大科技基础设施的功能类型。公用设施能够直接将企业作为用户提供机时和数据服务。企业通过申请在稳态强磁场实验装置上开展实验, 如西部超导材料科技股份有限公司、维亚生物科技(上海)有限公司、国家海洋局所属企业等, 支撑了企业技术创新^[28]。上海光源对生物制药、化工和新材料等多个产业领域的技术研发提供了有力支撑^[29]。依照国际惯例, 大型的创新型企业作为重点用户, 往往与公用设施共同建设终端平台, 在企业使用的同时, 按照协议, 提供

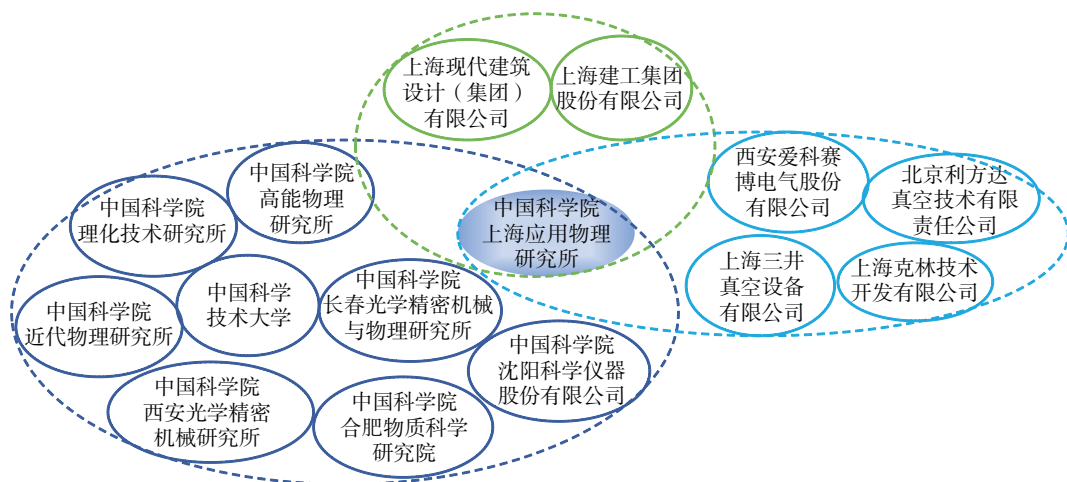


图1 上海光源的国内供应商创新网络

Figure 1 Domestic supplier innovation network for Shanghai Synchrotron Radiation Source

一定的开放机时。当前, 重大科技基础设施的产业服务功能相对较弱。

在提供研发条件的基础上, 设施会与企业、科研院所等进行合作, 共同开展研发项目, 通过合作共享资源、技术和知识, 实现技术应用和商业化进程。稳态强磁场实验装置 (SHMFF) 与合肥合源医药科技股份有限公司共同建立“创新靶向药物联合实验室”, 与和也健康科技有限公司共同建立“强磁场磁生物学联合实验室”。这种基于国家水平独有设施的研发合作, 超出了一般研究机构与企业之间的合作。拥有大型设施的费米实验室注重“向市场转移技术”, 关注合作研发协议、战略伙伴计划, 其典型转化案例包括在加速工业规模超导导线发展方面的先锋作用, 使磁共振成像 (MRI) 等应用具有商业可行性。

由于规模较小的公司大多不具备与设施合作所必需的内部科学知识, 与设施系统合作具有难度。政府往往发放创新券, 允许中小企业从设施实验室购买“研究时间”或获得技术咨询服务。由于在这样的程序中不会发生金融交易, 在条款和合同上花费的时间远远少于传统的用户协议。这种局部相关创新方式有效降低了中小企业企业创新成本, 促进了企业、高校和科研院所之间的开放共享和产学研合作。

3.2.2 技术转化效应 利用设施建设所形成的技术能力, 开展科技成果转化。从案例设施可转化的技术成果来看, 除全超导托卡马克核聚变实验装

置外, 授权专利数量不多, 在且分析的年份没有显着增加 (表2)。因为技术成果定量评估不是设施绩效的主要衡量标准, 没有得到运行单位和管理者的重视。全超导托卡马克拥有比其他设施更多的专利, 且在设施年报中公布专利产出情况, 2021年发明专利60项, 实用新型18项, 软件著作权24项。这可能是由于它对ITER (国际热核实验反应堆) 项目的深入参与和实物贡献。设施转让的难点不在于生产出单台套设备产品, 而在于找到合适的具有技术潜力的企业, 并将技术转让给企业并获得市场认可。与传统的技术转移通过技术许可、技术转让、合作开发等多种形式不同, 设施往往通过合作开发实现, 技术许可使用较少。由于设施的转移项目规模较大, 单台设备的成本很容易达到数百万美元, 从技术成熟到批量生产方面还存在工艺、成本、市场需求等鸿沟。

从供给侧来看 (图2), 可分为系统级转化和部件级转化, 由于设施具有复杂系统性、技术资金密集、技术人员依赖性等特点, 技术接受者缺乏吸收、掌握和利用的能力, 其转移转化也不同于一般的许可、授权, 整机级的转化难度较大。部件产业化是设施技术转化的主要形式。设施涉及到许多先进的部件级技术, 通过技术转移对各行各业产生影响。这类成果转化较整机转化难度相对降低, 需求面相对更广。材料、设备、检测和精密制造技术往往用在其他需要极端条件的行业, 如航空航天、核工业、医疗、半导体制

表2 案例重大科技基础设施的发明专利产出
Table 2 Invention patent output of major research infrastructure

年份	专用设施发明专利产出/件		公用设施发明专利产出/件	
	北京正负电子对撞机(BEPCII)	全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)	上海光源(SSRF)	稳态强磁场实验装置(SHMFF)
2008	5	16	—	—
2009	8	23	—	—
2010	7	18	—	—
2011	9	17	1	—
2012	15	18	1	3
2013	—	15	5	8
2014	2	26	5	3

注: 数据来源于中国科学院重大科技基础设施年报(2008—2014)。“—”代表无数据记录。

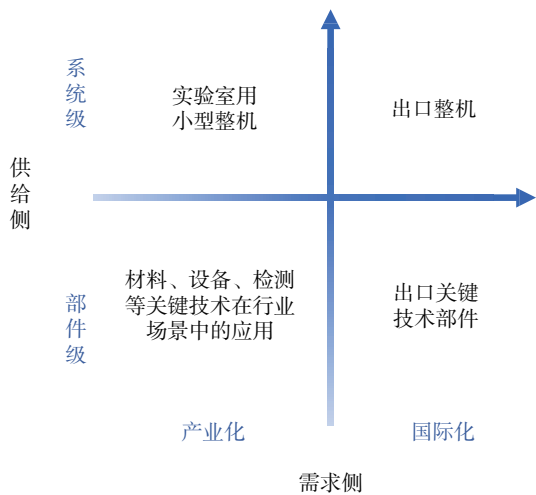


图2 重大科技基础设施技术的转移供给和需求分析
Figure 2 Analysis of the transfer supply and demand for major scientific and technological infrastructure

造、精密仪器等。设施运行使用往往涉及大量数据处理和分析，相关数据技术应用到医疗、金融、环境监测等需要大数据处理的领域。案例设施全超导托卡马克的超导技术、等离子体控制、高真空技术等可应用在医疗成像设备、磁共振成像设备、半导体制造、光学薄膜沉积、电子器件

制造等领域。

从需求侧来看（图2、表3），可分为向产业转化和向国际转化。由于设施在一国往往具有唯一性，技术转移的场景只能是国际范围，或者是产业级应用。因此，技术转移转化往往需要拆解系统，而整机级转化通常需要重大科技基础设施机构自行执行。全超导托卡马克核聚变实验装置相关的研制单位依托设施建设突破的相关技术，如超导技术、大功率连续波加热、遥控机器人维修与材料、大型低温系统、大电源等，承担了国际热核计划（ITER）的大型工程包。通过参与ITER计划，我国核聚变在材料科学、超导技术、精密加工等相关领域的研发能力提升和技术水平进步，促进相关技术实现产业化。整机的产业化较难，往往通过设施整机小型化，用在实验室研发场景。例如，降低加速器小型化是加速器应用技术发展的一个重要趋势。随着能量的不断增加，加速器的尺寸已接近极限，紧凑型科学装置的研发已成为其技术发展的重点，并取得了许多进展。

表3 不同转化类型的案例和政策启示
Table 3 Cases and policy implications of different conversion types

转化类型	转化形式	转化案例	政策启示
部件产业化	利用设施形成的部件级高技术成果，由科研人员自主进行成果转化，难度中等	稳态强磁场实验装置的工程师团队集体现金出资，成立了中科微力科技有限公司，主营新原理压电马达等由团队自主研制的专利产品	鼓励设施独有技术的专利申请，给予技术成果转化机构和政策支持，匹配转化资金和转化人才资源。形成技术和产品清单，通过政府首购和订购等方式从市场需求角度拉动
部件国际转化	通过参与国际大科学计划或工程，利用国际投标程序，对工程技术和管理水平要求较高	全超导托卡马克核聚变实验装置设施项目团队依托设施建设突破的超导、低温、电源等技术，参与国际热核计划，承担大型工程包 上海光源项目团队在成功研发自用真空内波荡器的基础上，为韩国光源、加拿大光源提供高水平波荡器产品	成为我国牵头和参与国际大科学计划和工程的主要形式，需要组织、资金、人才开放流动等政策支持
整机产业化	以整机小型化、整机功能转化等方式实现转化	降低设施装置指标水平和规模，供高校、科研院所、企业等科研或研发使用 上海光源以加速器技术为核心技术，针对医疗需求，与瑞金医院、上海艾普强例子设备有限公司联合开发了国产首台质子治疗装置，服务精准放射治疗	拓展设施小型化使用场景，匹配产业政策支持，降低生物等领域市场准入难度等
整机国际转化	承担他国同类设施建设项目总包	上海光源通过建设期系统技术积累，以“交钥匙”项目形式与巴西能源与材料国家研究中心合作建设了巴西Sirius光源直线加速器	作为我国开展高水平国际合作和科技外交的重要形式，纳入统筹规划

3.2.3 增强的创新网络效应 设施建设期形成的企业创新网络, 在运行期持续发挥作用。除了供应商企业外, 吸引了用户企业, 以及用户研究单位, 促进了设施依托单位和企业之间深度合作。案例设施所在综合性国家科学中心建设过程中, 围绕案例设施, 形成了创新集群, 科学成果的不断产生, 大量的专利、新技术发明和新兴产业出现, 来自世界各地优秀研究人员的聚集, 区域经济受益于创新资源吸引和科技成果转化所带来的知识和经济增长^[30,31]。“社会资本”(social capital)是设施对科学、经济和社会产生影响的一种重要机制^[2]。“社会资本”是建立正式和非正式的社会网络的益处, 包括在此基础上共享价值和双边信任。运行阶段, 技术得以持续升级, 技术创新网络效应也持续存在, 在建设阶段技术能力接受过检验的供应商和技术合作伙伴, 会持续加强研发合作。除了强化技术创新网络连接之外, 区域创新网络逐步发展起来。运行组织需要交流的范围, 包括科学家网络、以及非科学家在内的广泛群体, 如商业、政府、公共组织代表等, 通过建立设施的社会资本, 实现与利益相关者的知识共享。

4 结论

通过多案例分析重大科技基础设施的技术创新影响, 得到以下结论: (1) 重大科技基础设施在全生命周期对企业技术创新的影响是多方面的, 不仅限于科技成果转化; 建设阶段也有较强的技术创新促进作用, 往往被忽略。可以从建设阶段、运行阶段来分别制定政策促进重大科技基础设施对技术创新的影响。(2) 在建设阶段, 设施大规模公共采购会为创新型创业者提供新的市场机遇, 创业者可以借助设施所带来的“启动市场”空

间, 开拓新技术和市场领域。通过参与设施建设, 创业者可以获取到最新的科学技术知识和经验, 有助于驱动他们的技术创新和产品研发。

(3) 在运行阶段, 建成设施在从事支持科学前沿研究的同时, 积累了为中小企业创新提供创新环境、创新要素、向中小企业转移转让技术的能力, 公用型设施同时还具有为企业提供创新服务的能力。但能否真正高水平地创造创新环境、转让技术、为企业创新提供有效的服务, 促进信息交流、合作创新, 形成有活力的创新生态圈, 还需要提供政策导向支持。当前还存在设施与企业创新需求差异大、设施与企业科技基础差异大、缺少合作的必要资源、存在体制机制限制等问题。由于设施具有提升企业技术能力的潜力, 包括创新资源聚集、国际视野、实验能力、市场预期和示范效应, 需要一个更有效、更完整的政策框架来促进这些效应的发挥, 包括弥合技术提供者和接受者双方的需求, 改进优化公用型重大科技基础设施的开放使用规则, 完善设施技术产出的统计机制和评价机制, 优化设施建设运行机构的组织设置, 完善支持企业利用设施开展创新的政策组合等。

本文还存在一些不足: 由于选择已经投入运行的设施, 案例选取侧重于面向前沿科技的设施, 而未能选择更具代表性的产业支撑型设施, 如高效低碳燃气轮机试验设施、未来网络试验设施等。由于获取数据的限制, 未能在统一框架下建立对比分析。未来对设施技术创新作用机制的研究, 还可以结合投入产出效应测算等定量方法, 随着更多设施投入运行, 进一步拓展案例选择, 尝试在统一框架下建立多案例分析框架, 结合综合性科学中心相关主体多渠道获取数据、开展不同区域和类型设施的对比研究, 从而获得更有针对性的结论。

参考文献

- [1] 中国政府网. 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]. (2013-03-04)[2023-12-09]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2013-03/04/content_5176.htm.

- Chinese Government Network. Notice of the State Council on the Issuance of the Medium and Long-Term Plan for the Construction of Major National Science and Technology Infrastructure (2012—2030)[EB/OL]. (2013-03-04)[2023-12-09]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2013-03/04/content_5176.htm.
- [2] Zuijdam F. The role and added value of large-scale research facilities[J/OL]. Technopolis, 2011. DOI: <http://www.manchester.ac.uk/escholar/uk-ac-man-scw:157328>.
- [3] 徐慧芳, 侯沁江, 陈思思, 等. 国家重大科技基础设施的社会经济影响评估研究综述[J]. 科技管理研究, 2021, 41(13): 25-34.
Xu H F, Hou Q J, Chen S S, et al. Summary of research on socio-economic impact assessment of large research infrastructure[J]. Science and Technology Management Research, 2021, 41(13): 25-34.
- [4] 张毅, 闫强. 大科学的技术创新范式及演化动力分析[J]. 中国软科学, 2023(6): 1-25.
Zhang Y, Yan Q. Analysis of technology innovation paradigm and evolutionary dynamic of big science[J]. China Soft Science, 2023(6): 1-25.
- [5] Hallonsten O. How expensive is big science? Consequences of using simple publication counts in performance assessment of large scientific facilities[J]. *Scientometrics*, 2014, 100(2): 483-496.
- [6] GSF. The impacts of large research infrastructures on economic innovation and on society[R]. Paris: OECD, 2014.
- [7] Heidler R, Hallonsten O. Qualifying the performance evaluation of big science beyond productivity, impact and costs[J]. *Scientometrics*, 2015, 104(1): 295-312.
- [8] Florio M, Sirtori E. The evaluation of research infrastructures: A cost-benefit analysis framework[J]. SSRN Electronic Journal, 2014: 10.
- [9] Florio M, Forte S, Sirtori E. Forecasting the socio-economic impact of the large hadron collider: A cost-benefit analysis to 2025 and beyond[J]. Technol. Forecast. Soc. Chang, 2016: 112, 29-44.
- [10] 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.
Wang Y F, Bai Y X. Developing mega-science facility to lead the innovation globally[J]. Management World, 2020, 36(5): 172-188, 17.
- [11] Smits R. Report on the consultation on long term sustainability of research infrastructures[R]. Paris: European Commission, 2016.
- [12] Del Bo C F, Florio M. Infrastructure and growth in a spatial framework: Evidence from the EU regions[J]. European Planning Studies, 2012, 20(8): 1393-1414.
- [13] 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.
Xing C. The effective organization mode of innovation chain and industrial chain: Big science project as an example[J]. Science of Science and Management of S & T, 2012, 33(10): 116-120.
- [14] 李平, 黎艳. 科技基础设施对技术创新的贡献度研究: 基于中国地区面板数据的实证分析[J]. 研究与发展管理, 2013, 25(6): 92-102.
Li P, Li Y. Contribution of S & T infrastructure to technological innovation: An empirical analysis based on China's regional panel data[J]. R&D Management, 2013, 25(6): 92-102.
- [15] 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.
Shang Z C, Zhao K. Analysis on the transformation mode of scientific apparatus's achievements: A case study of BEPC[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2011, 28(19): 6-10.
- [16] 张玲玲, 赵道真, 张秋柳. 依托大科学装置的产业化模式及其对策研究: 以散裂中子源为例[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(19): 53-59.
Zhang L L, Zhao D Z, Zhang Q L. Research on the industrialization mode based on large-scale scientific facilities: A case study of spallation neutron source[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2017, 34(19): 53-59.
- [17] 张玲玲, 白雪, 王蝶, 等. 依托大科学装置进行产业化的关键因素研究[J]. 科技促进发展, 2018, 14(9): 817-825.
Zhang L L, Bai X, Wang D, et al. Key factors for the industrial application of large-scale scientific facilities[J]. Science & Technology for Development, 2018, 14(9): 817-825.
- [18] Edquist C, Zabala-Iturriaga J M. Public procurement for Innovation as mission-oriented innovation policy[J]. *Research Policy*, 2012, 41(10): 1757-1769.
- [19] Edquist C. Design of innovation policy through diagnostic analysis: Identification of systemic problems (or failures)[J]. *Industrial and Corporate Change*, 2011, 20(6): 1725-1753.
- [20] Flanagan K, Uyarra E, Laranja M. Reconceptualising the “policy mix” for innovation[J]. *Research Policy*, 2011, 40(5): 702-713.
- [21] Wang Y, Li - Ying J. Licensing foreign technology and the moderating role of local R&D collaboration: extending the relational view[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2015, 32(6): 997-1013.
- [22] Li Y, Vanhaverbeke W. The effects of inter-industry and country difference in supplier relationships on pioneering innovations[J].

- [Technovation](#), 2009, 29(12): 843-858.
- [23] Autio E, Hameri A P, Vuola O. A framework of industrial knowledge spillovers in big-science centers[J]. [Research Policy](#), 2004, 33(1): 107-126.
- [24] Heinze T, Hallonsten O, Heinecke S. Turning the ship: The transformation of DESY, 1993–2009[J]. [Physics in Perspective](#), 2017, 19(4): 424-451.
- [25] Autio E, Hameri A P, Nordberg M. A framework of motivations for industry-big science collaboration: A case study[J]. [Journal of Engineering and Technology Management](#), 1996, 13(3-4): 301-314.
- [26] 王玉华, 黄英良, 郭红燕. 公共实验平台型大科学装置成果转化路径探析: 以中国稳态强磁场实验装置和英国散裂中子源为例[J]. 科技促进发展, 2021, 17(12): 2080-2087.
- Wang Y H, Huang Y L, Guo H Y. Analysis of the scientific and technological achievements transformation of the large-scale scientific facilities with the type of public experimental platform[J]. [Science & Technology for Development](#), 2021, 17(12): 2080-2087.
- [27] 聂继凯. 重大科技基础设施生命周期演化路径及其影响因素研究: 以费米国家加速器实验室加速器复合体为例[J]. 自然辩证法研究, 2021, 37(11): 76-80.
- Nie J K. A study on the evolution path and influence factors of large research infrastructures life cycle: A case from the accelerator complex of Fermi national accelerator laboratory[J]. [Studies in Dialectics of Nature](#), 2021, 37(11): 76-80.
- [28] 中国科学院合肥物质科学研究院官网. 稳态强磁场实验装置磁体技术和综合性能达到国际领先水平[EB/OL]. (2017-06-22). http://www.hmfl.cas.cn/xwzx/tt/201706/t20170622_376470.html.
- Hefei Institute of Physical Sciences, Chinese Academy of Sciences. The magnet technology and comprehensive performance of the steady-state high magnetic field experimental device have reached the international leading level[EB/OL]. (2017-06-22). http://www.hmfl.cas.cn/xwzx/tt/201706/t20170622_376470.html.
- [29] 中国科学院上海高等研究院大科学装置管理中心. 上海张江先进光源大科学装置集群[EB/OL]. <http://www.sari.cas.cn/lari/jqxm/larishgy/>.
- Shanghai Institute for Advanced Studies, Chinese Academy of Sciences. Shanghai Zhangjiang advanced light source large scientific device cluster[EB/OL]. <http://www.sari.cas.cn/lari/jqxm/larishgy/>.
- [30] 谷峻战, 高芳, 张波. 美国国家实验室推动地方经济发展的经验与启示[J]. 全球科技经济瞭望, 2018, 33(7): 19-27.
- Gu J Z, Gao F, Zhang B. The practice and inspiration of American national labs in boosting local economy[J]. [Global Science, Technology and Economy Outlook](#), 2018, 33(7): 19-27.
- [31] Florio M, Sirtori E. Social benefits and costs of large scale research infrastructures[J]. [Technological Forecasting and Social Change](#), 2016, 112: 65-78.

How to Accelerate the Establishment of Major Research Infrastructure to Promote Enterprise Technological Innovation?—Based on Staged Multi-Case Studies

Qiao Lili

Center for Innovation-Driven Development (Digital Economy Research and Development Center), National Development and Reform Commission, Beijing 100038, China

Abstract: Major science and technology infrastructure plays an important role in the construction of science and technology power and the national innovation system. However, regarding how major science and technology infrastructure plays a role in promoting technological innovation, the evaluation management orientation is insufficient in both theoretical research and practice. This paper designs a phased analysis framework and puts forward the mechanism of promoting technological innovation by major science and technology infrastructure.

This paper establishes a framework for analyzing the impact of technological innovation on major science and technology infrastructure in phases of “construction-operation”. During the construction phase, major science and technology infrastructure is managed as a large complex technology investment project. The characteristics of construction management include clear construction objectives and strong mobilization ability of capital and personnel resources. Although the construction technology is difficult, the technology is in the research and development stage, and the personnel team is still in the exploration stage, the public procurement of the construction investment can drive the innovation of suppliers, and it is also urgent for suppliers to provide solutions with technical expertise, and ensure that the project is completed on schedule and in good quality through cooperative research and development, and the driving role of technological innovation is determined and direct. In the operation phase, major scientific and technological infrastructure is often included in the scope of conventional management of scientific research conditions of research institutions. Operation funds are mainly used to make up for resource consumption and labor costs. Although the technology is mature and the ability of technical personnel is improved, the operation goal is mainly to ensure the normal operation of the machine and provide scientific services, and technology spillover is not a priority evaluation orientation. Unless managers actively advocate and allocate the necessary resources, it is difficult to achieve the effect of promoting technological innovation.

In terms of case selection, first of all, the major science and technology infrastructure that has been in operation for a period of time is selected after considering factors such as facility function, stage, discipline and region, so that the construction period and operation period can be taken into account, and the major science and technology infrastructure of different disciplines, including particle physics, nuclear physics and multi-disciplinary service facilities are selected.

In terms of data collection, this study uses data materials from facility annual reports, survey interviews, and case studies in literature.

(1) The impact of major science and technology infrastructure on enterprise technological innovation in the whole life cycle is multifaceted, not limited to the transformation of scientific and technological achievements; The construction stage also has a strong role in promoting technological innovation, which is often ignored. The influence of major scientific and technological infrastructure on technological innovation can be promoted from the construction stage and the operation stage respectively. (2) In the construction stage, large-scale public procurement of facilities will provide new market opportunities for innovative entrepreneurs, who can use the "start-up market" space brought by facilities to develop new technologies and market fields. By participating in the construction of the facility, entrepreneurs can gain access to the latest scientific and technological knowledge and experience to help drive their technological innovation and product development. (3) In the operation stage, while the completed facilities are engaged in supporting cutting-edge scientific research, they have accumulated the ability to provide innovation environment and creative factors for smes' innovation and transfer technology to smes, and public facilities also have the ability to provide innovative services for enterprises. However, whether we can truly create a high-level innovation environment, transfer technology, provide effective services for enterprise innovation, promote information exchange, cooperation and innovation, and form a dynamic innovation ecosystem, we also need to provide policy-oriented support.

Keywords: major research infrastructure; enterprise; technological innovation; promotion mechanism; case study