

政府主导型科技基础条件资源融合发展： 现状问题及监测体系

朱承亮^{1,2,3}, 叶 成³, 庞鹏沙⁴

- (1. 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所, 北京 100732;
2. 中国社会科学院项目评估与战略规划研究咨询中心, 北京 100732;
3. 中国社会科学院大学商学院, 北京 102488; 4. 工业和信息化部火炬高技术产业开发中心, 北京 100036)

摘要:科技基础条件资源融合发展是实现高水平科技自立自强的重要保障。目前,我国由政府支持的重大科研基础设施、大型科研仪器、科学数据、生物种质与实验材料、国家野外站等五类科技基础条件资源发展及其开放共享取得了显著进展,但现有科技基础能力建设尚无法满足持续高水平基础研究的现实需要,现有科技基础条件资源的开放共享、融合发展均有待进一步提升。在界定科技基础条件资源融合发展内涵基础上,提出政府主导型科技基础条件资源融合发展的评价体系和分析框架。新时代对科技基础条件资源融合发展提出新的更高要求,应加强对现有科技基础条件资源融合发展状况的监测评估,掌握我国科技基础条件资源融合发展状况,为我国加强科技基础能力建设提供决策咨询和政策参考。

关键词:政府主导型;科技基础条件资源;融合发展;监测体系

中图分类号:F062.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2024)08-0001-12

Integrated development of government-led basic scientific and technological condition resources: Current situation issues and monitoring system

ZHU Chengliang^{1,2,3}, YE Cheng³, PANG Pengsha⁴

- (1. Institute of Quantitative and Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;
2. Research and Consultation Center for Project Evaluation and Strategic Planning, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;
3. Business School, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488, China;
4. Torch High Technology Industry Development Center, Ministry of Industry and Information Technology, Beijing 100036, China)

Abstract: The integrated development of basic scientific and technological condition resources is an important guarantee for achieving high-level scientific and technological self-reliance. At present, China has made significant progress in the development and open sharing of five types of basic scientific and technological condition resources supported by the government, including major scientific research infrastructure, large-scale scientific research instruments, scientific data,

收稿日期:2024-04-18 修回日期:2024-06-12

基金项目:中国社会科学院智库基础研究项目“畅通教育科技人才良性循环研究”;中国社会科学院经济大数据与政策评估实验室(2024SYZH004);中国社会科学院创新工程项目“新质生产力视角下的生产率研究”。

作者简介:朱承亮(1985—),男,安徽太湖人,中国社会科学院数量经济与技术经济研究所技术经济研究室副主任、研究员,中国社会科学院项目评估与战略规划研究咨询中心秘书长,博士,研究方向为科技创新与经济发展。通信作者:庞鹏沙。

biological germplasm and experimental materials, and national field stations. However, the existing construction of basic scientific and technological capabilities is still unable to meet the practical needs of sustained high-level basic research, and the open sharing and integrated development of existing basic scientific and technological condition resources need to be further improved. On the basis of defining the connotation of the integrated development of basic scientific and technological condition resources, this article exploratively proposes an evaluation system and analytical framework for the government-led integrated development of basic scientific and technological condition resources. The new era has put forward new and higher requirements for the integrated development of basic scientific and technological condition resources. We should strengthen the monitoring and evaluation of the integrated development of existing basic scientific and technological condition resources, master the situation of the integrated development of basic science and technology condition resources, and provide decision-making consultation and policy reference for strengthening the capacity construction of science and technology basic conditions.

Key words: government-led; basic scientific and technological condition resources; integrated development; monitoring system

当前,新一轮科技革命和产业变革深入发展,科研范式发生深刻转变,科技基础条件资源日益成为创新发展的重要驱动力,重大科学发现和技术突破越来越离不开科技基础条件资源的强力支撑。实际上,科技基础条件资源是一个由众多资源组成的大系统,但目前我国由政府支持的科技基础条件资源主要包括重大科研基础设施、大型科研仪器、科学数据、生物种质与实验材料、国家野外站等 5 类。科技基础条件资源对创新发展的支撑作用不仅取决于单个科技基础条件资源的高质量发展,更取决于各类科技基础条件资源之间的融合发展及其与国家创新体系之间的协同。当前,我国步入实现高水平科技自立自强的关键期,对各类科技基础条件资源融合发展提出了新的更高要求,如何监测和评估科技基础条件资源融合发展状况是亟待研究的重要课题。

一、文献综述

科技基础能力是国家科技综合实力的重要体现,是基础研究的物质技术基础^[1],很大程度上决定着科技创新的能力与水平,在国家科技事业中起着基础性、战略性作用。加强科技基础能力建设对于加快建设世界科技强国、实现高水平科技自立自强以及抢抓新一轮科技革命和产业变革战略机遇具有重要战略意义^[2]。国际经验表明,科技基础能力是保持一国在政治、经济及军事等领域居于全球领先地位的有效手段^[3],日本在《2021 年科技创新白皮书》中强调增强科技基础能力是

促进科技创新创造的重要手段之一^[4]。新中国成立以来,我国在科技基础能力方面取得了长足发展,但评价制度、奖励制度等“软件”问题严重制约了我国科技基础能力^[5]。

目前,国外学者对科技基础能力的研究大多聚焦于对重大科研基础设施、大型科研仪器等科技基础条件资源的开放共享研究。Morrison^[6]强调国家或区域间科研设施与仪器的开放共享有助于科学家研制出更为先进的设备,认为对配置无效率的设施应进行处理或调至其他地方。Rahm 等^[7]认为应加强企业与高校间人员、科研设施、装备方面的合作交流以实现双方利益最大化。Kim^[8]详细介绍了海洋学、生态学和基因组学这 3 个学科数据共享的历史,并提出了数据共享方面需要注意的问题。Tenopir 等^[9]调查了地球物理学家对于数据共享的态度,发现研究人员总体上对数据共享和二次使用的态度是积极的,但在实践中科学家对自己的研究数据被滥用及能否被正确引用等方面感到担忧。Abele-Brehm 等^[10]在德国心理学会开展了一项关于数据开放共享的调查,结果显示出于成本或效益的考虑,人们对数据共享的积极态度有所减弱。Stieglitz 等^[11]利用结构方程模型定量分析了影响研究人员接受开放数据的非技术因素和不确定性因素,结果显示当感知到的优点超过缺点时,学术界的大多数人都接受开放数据,并且不确定性因素会影响共享研究数据的感知价值。Ardestanie 等^[12]讨论了 B2SHARE 这一

平台的设计、架构并通过一些案例展示了其在数据共享方面的实用性。Doel 等^[13]建立了一个数据和医学影像共享平台 GIFT-Cloud 以满足医学界与学术界间的数据共享。Kotschi 等^[14]讨论了开源植物种质的方法,并介绍和分析了开源种子许可证。Smith 等^[15]强调了生物种质的交换对于保障全球粮食安全的重要意义。在国家野外站的开放共享方面,Stevens 等^[16]对位于美国国家公园内且由大学运营的野外观测站的合作伙伴关系进行了研究,发现这种独特的伙伴关系能够有效地为生物学家等利益相关者提供信息。

当前,国内学术界、产业界乃至政府对科技基础条件资源的研究大多聚焦于国际经验^[17]、发展现状^[18]、运行机制^[19]、未来展望^[20]等定性分析方面,仅有少数几篇文献对我国科技基础条件资源的丰裕度、发展水平、配置效率、平台运行服务绩效,以及科技基础条件与创新活动关系等进行了探索性的定量研究。比如,吕先志等^[21]采用层次分析法对各地区的科技基础条件资源水平进行了定量分析,发现科技基础条件资源的分布与当地经济发展水平具有显著相关性。赫运涛等^[22]通过专家打分法测算了 2012—2014 年科技基础条件资源发展指数,发现我国科技基础条件资源发展指数逐年递增,规模和质量显著增长,共享利用稳步提升,人员经费保障逐年增强。李美楠等^[23]采用数据包络分析方法(DEA)对各地区大型科学仪器资源的配置效率进行了比较分析,研究发现我国大型科学仪器资源配置综合效率地区差异明显。

在科技基础条件平台服务绩效的定量研究方面,许东惠等^[24]从服务数量、服务成效、运行管理、资源整合 4 个维度,构建了一个包含 12 个二级指标的国家科技基础条件平台运行服务绩效考核指标体系,并运用层次分析法确定了各个指标的权重。进一步地,陈丽娜等^[25]从资源整合、运行管理、服务成效 3 个维度,构建了一个包括 10 个二级指标共 35 个三级指标的指标体系,并以国家农作物种质资源平台为例,运用归一化方法对“十二五”期间国家科技基础条件平台服务绩效进行了

定量评估。Li 等^[26]运用层次分析法对我国 8 个科学数据共享平台进行了绩效评价,发现这些平台存在政策法规有待完善、数据描述和组织标准缺乏、数据可用性较差、提供服务单一及平台间服务效率差距较大等问题。

在科技基础条件与创新活动关系的定量研究方面,吕先志等^[27]参考知识生产函数的设定方法实证分析了科技基础条件对区域科技创新的影响,研究发现科技基础条件资源对区域公立科研单位区域整体科技创新活动有积极的影响,科技基础条件资源对所在区域公立科研单位及企业科技创新活动的影响差别较大。此外,2022 年科技部办公厅印发的《国家重大科研基础设施和大型科研仪器开放共享评价考核实施细则》,从运行使用、共享服务和组织管理等 3 个一级指标和 8 个二级指标对国家重大科研基础设施和大型科研仪器开放共享情况进行评价考核。

综上所述,关于国内外科技基础条件资源的研究可以发现,鲜有文献对各类科技基础条件资源的融合发展情况进行探讨,对于各类科技基础条件资源融合发展程度的定量分析更是空白。本文基于政府主导的五大类科技基础条件资源,分析其发展现状及在开放共享、融合发展等方面存在的突出问题,在界定科技基础条件资源融合发展内涵基础上,探索性地给出了政府主导的五大类科技基础条件资源融合发展程度评价指标体系及监测分析框架,最后提出了促进我国科技基础条件资源融合发展的对策建议以及未来定量监测评估的展望。

二、我国科技基础条件资源发展现状及存在的突出问题

(一)我国科技基础条件资源发展现状

1. 重大科研基础设施发展及共享状况分析

重大科研基础设施是用于探索未知世界、发现自然规律、实现技术变革的大型复杂科学设施,是突破科学前沿、解决经济社会发展和国家安全重大科技问题的技术基础。当前我国重大科研基础设施建设规模投入持续增长。截止到 2022 年年底,纳入国家网络管理平台的重大科研基础设施

共计 91 项,涵盖了生命科学等 7 大关键重要科学领域^[28]。重大科研基础设施呈现区域聚集态势,其中北京、上海数量较多、规模较大,这两个地区合计占全部设施总量的 1/3。重大科研基础设施布局日益完善,溢出效应明显,自主创新关键技术不断涌现,自主创新能力不断提升。500 米口径球面射电望远镜(FAST)等多项自主研发建造的重大科研基础设施具有国际领先水平。

当前,重大科研基础设施开放运行模式日趋成熟,通过开放设施预约、设立开放课题、组建联合研究合作组等多种方式,吸引了国内外大批高水平科研用户开展科研工作,推动了重大科学研究,加快了原创成果的产出,发挥了设施作为公共平台的作用,提升了重大科研基础设施的运行效益。随着设施开放共享管理体制机制的不断完善与健全,我国重大科研基础设施的开放共享水平持续提升。2018—2022 年开展的中央级高等学校和科研院所等单位重大科研基础设施和大型科研仪器开放共享评价考核表明,在此期间我国重大科研基础设施的开放共享水平呈现明显的逐年提升态势。

2. 大型科研仪器发展及共享状况分析

科研仪器是基于科学原理和先进技术设计建造的复杂系统,是人们认识世界、获得原始数据的

重要工具,是进行重大发现和前沿探索的必备条件。当前,我国大型科研仪器规模增长迅猛。截至 2021 年年底,全国高校和科研院所大型科研仪器原值为 50 万元及以上的总量为 13.3 万台(套),仪器原值总额达 2 046.9 亿元。我国仪器主要分为分析、工艺实验、物理性能测试等 14 类,北京是拥有大型科研仪器数量最多的省份,中央部门所属单位拥有的大型科研仪器主要集中在教育部和中国科学院。我国大型科研仪器来源于全球 70 多个国家,而来自美国的仪器数量最多。近年来,国产大型科研仪器占全国仪器总量的比例整体呈现上升趋势,从 2010 年的 24.6% 提升至 2021 年的 26.3%。

自 2015 年建立国家网络管理平台以来,我国大型科研仪器实现了应开放尽开放,开放率从 2020 年的 98% 提升到 2021 年的 100%。2021 年,我国大型科研仪器平均有效工作机时为 1 095 小时,平均每台(套)大型科研仪器对外服务机时为 229 小时,平均对外共享率为 20.9%。在国家大型科研仪器开放共享评价考核工作的推动下,中央级高校院所大型科研仪器对外服务机时增长明显。数据显示,中央级高校院所大型科研仪器对外服务机时由 2015 年的 50 小时显著增长至 2021 年的 232 小时。

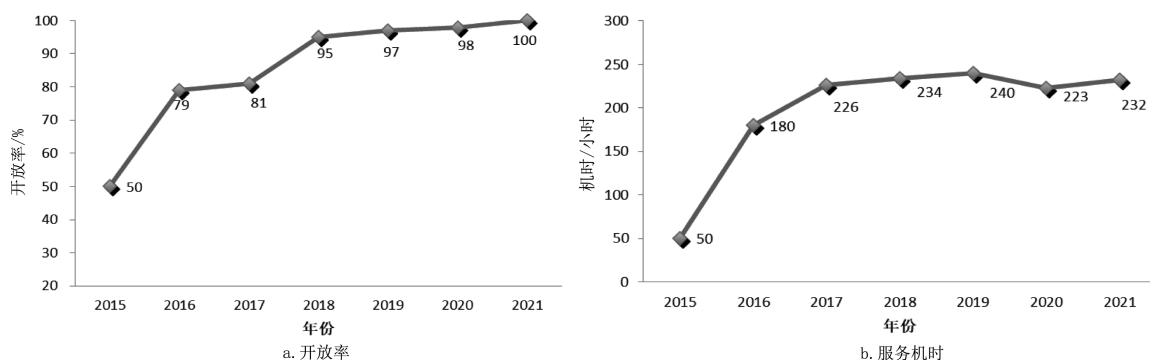


图 1 2015—2021 年中央级高校院所大型科研仪器开放率及年平均对外服务机时

资料来源:《重大科研基础设施和大型科研仪器开放共享发展研究报告(2022)》。

3. 科学数据发展及共享状况分析

科学数据是大数据时代科技创新和经济社会发展的重要基础,随着数据密集型科学范式的持续深入发展,科学数据的汇聚、开放与应用备受关注。国家科学数据中心是科技创新基地,是科技

创新体系的重要组成部分,为科技创新提供基础支撑和条件保障。当前,我国优化调整形成了国家高能物理科学数据中心等 20 个国家科学数据中心,推动了地球科学、生物学等多个学科领域的科学数据资源持续整合和积累,形成了覆盖多领域

的数据资源目录和领域资源库。截至 2020 年年底,20 个国家科学数据中心整合的数据总量达到了 104.1 PB。近年来,科学数据在支撑国家宏观决策等方面发挥了重要作用,应用服务范围不断拓展,支撑服务程度不断加深。

当前,开放数据成为开放科学的研究热点,构建科学数据开放生态进一步成为国际共识。科研数据在开放共享过程中需要满足“可发现、可访问、可互操作和可重用的基本原则”,近年来得到全球学界的广泛认同,我国也初步形成了科学数据资源开放共享与应用服务体系。我国通过落实科技计划项目数据汇交工作,推动科学数据管理、长期保存和共享应用,在一定程度上解决了我国科学数据分散重复的问题,促进了科学数据的流转、利用和增值,推动了科学研究和科技成果产出。

4. 生物种质与实验材料发展及共享状况分析

生物种质和实验材料资源一般指经过长期演化自然形成或人为改造的重要物质资源,历来是科技资源领域国际竞争和争夺的焦点。近年来,我国生物种质和实验材料资源的保藏量稳步提升。截至 2020 年年底,我国 31 个国家生物种质和实验材料资源库拥有实物资源保存库 377 096 个,收集保藏作物种质资源 146.14 万份、园艺种质资源 6.579 万份、林草种质资源 13.16 万份、热带作物种质资源 2.70 万份;非人灵长类实验动物 22 300 个、遗传工程小鼠 16 970 个、人类疾病动物模型 1 018 种、实验细胞 3 294 株系超 5.7 万份、国家标准物质实物资源 67.1 万单元。

当前,国家科技资源共享服务平台拥有 31 个国家生物种质和实验材料资源库。这些国家资源库通过资源的整理整合和平台构建,逐步向开放共享和专题服务转变,实现了资源服务的标准化和信息化。截至 2020 年年底,31 个国家资源库通过与中国科技资源共享网的互联互通,有效促进了资源共享。31 个国家资源库实现了 5 840 万条资源记录的数字化,开放共享的资源记录达到 5 428 万条。2020 年,累计服务用户单位 28 428 个,累计服务用户超过 65 万人次,在线服务系统人

员访问量超过 1 800 万人次。

5. 国家野外科学观察研究站发展及共享状况分析

国家野外科学观测研究站(简称“国家野外站”)是重要的国家科技创新基地之一,是国家创新体系建设的重要组成部分。截至 2021 年年底,我国共建成国家野外站 167 个,主要分布在生态环境与气候变化、农业资源与农田生态系统等五大学科领域。经过多年建设和布局,我国初步搭建了野外科学观测研究的网络体系,已经成为野外科学考察、野外科学实验和野外科技工作人才培养的重要载体。国家野外站按照各领域野外观测指标、观测方法、采集规程、数据标准等持续开展观测监测,已经形成了一大批 10 年以上长期持续的观测数据集,多数国家野外站已经实现了观测监测数据的自动采集、汇聚、质控、分类和共享。

当前,我国多数国家野外站已经开发了野外站数据管理信息系统,开展观测监测数据实时汇聚和规范管理,有序开展数据的开放共享。部分野外站也与相关领域国家科学数据中心实现了对接,建立了长期稳定的科学数据汇交更新机制。在有序开放观测监测数据方面,2021 年国家野外站可以对外开放共享的科学数据总量为 1 278.67 TB,国家野外站科学数据对外共享服务法人单位数量 6 927 个,年度对外共享服务 197 万人次。在科研仪器、实验装置、样品、样地开放共享方面,2021 年国家野外站原值 5 万元以上科研仪器设备年度平均对外开放共享时间超过了平均研究工作时间的 1/3,通过联合观测研究等多种渠道显著提升了科技资源的利用效率。此外,国家野外站还充分发挥野外公共实验平台的作用,开展多种形式的学术交流和开放合作。

(二)我国科技基础条件资源发展存在的突出问题

1. 现有科技基础条件资源无法满足持续高水平基础研究现实需要

近年来,我国高度重视科技基础条件资源发展和能力建设,支撑基础研究的科技基础条件平

台建设取得长足进步,但受历史因素制约,在当前技术加速迭代、颠覆性创新不断涌现的背景下,我国现有科技基础条件和能力建设尚无法满足持续高水平基础研究现实需要。

一方面,解决重大基础研究问题的科研仪器设备、操作系统和基础软件等主要依赖进口,我国自主的研究平台和仪器设备缺失。从大型科研仪器的产地来看,我国高校院所大型科研仪器来源于全球 70 多个国家,其中美国和德国是国外主要

来源国。数据显示,2021 年,来自美国的大型科研仪器数量高达 4.7 万台(套),原值为 653.3 亿元,分别占全国大型科研仪器总量和原值总额的 35.4% 和 31.9%,比国产大型科研仪器数量和原值占比分别高出 9.1 个百分点和 4.8 个百分点;来自德国的大型科研仪器数量为 1.8 万台(套),原值为 299.4 亿元,分别占全国大型科研仪器总量和原值总额的 13.3% 和 14.6%。来自日本、英国等发达国家的大型科研仪器数量和原值占比也较大。

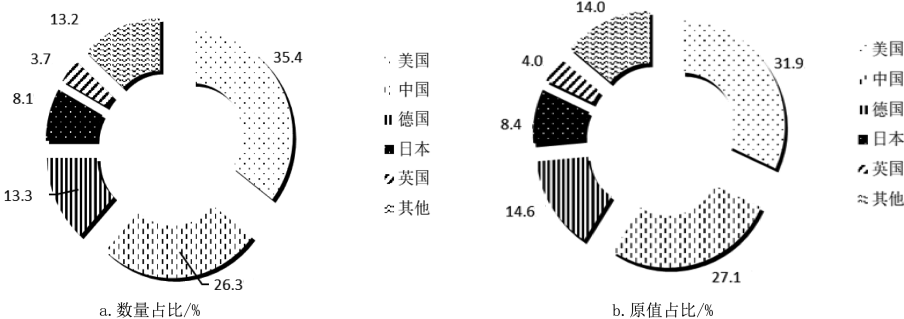


图 2 2021 年全国高校院所大型科研仪器来源国的数量及原值分布

资料来源:《重大科研基础设施和大型科研仪器开放共享发展研究报告(2022)》。

另一方面,虽然当前我国重大科研基础设施建设规模投入持续增长,纳入国家网络管理平台的重大科研基础设施已达 91 项,但是世界领先甚至独创独有的科研基础设施不多,关键技术的源头也主要来源于国外,性能指标还常常有差距,且在公共实验平台类的科研设施上,科研用户自发申请使用科研设施,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。

此外,虽然我国在各类科技基础条件资源的规模上位居世界前列,但是在结构建设方面仍存在诸多不足的地方。比如,在生物种质和实验材料资源领域,虽然我国生物种质资源具有规模优势,但是资源机构建设不均衡,微生物资源、植物标本资源等的机构建设与美国等发达国家相比还存在不少差距。我国生物种质保藏资源覆盖面不足,生物种质和实验材料的结构有待进一步优化。比如,我国农作物种质资源保存总量虽位居世界第二,但资源

的覆盖面仍然不足,遗传基础狭窄,多样性不够丰富,严重影响了我国农作物育种和基础研究^[29]。

2. 现有科技基础条件资源开放共享水平有待进一步提升

长期以来,我国科技创新平台和大型科研仪器设备的分散、重复、封闭、低效等问题不同程度地存在,科技基础条件资源利用率有待提高,资源开放共享水平有待提升。此外,我国虽搭建了科技资源共享平台,建立了中国科技资源共享网,但存在资源内容和服务同质化严重、现代信息技术研发应用不足、引领性战略性科技资源共享平台缺位等问题^①。自 2018 年开始,科技部、财政部联合相关部门,率先开展了对中央级高等院校和科研院所科研设施和仪器的开放共享评价考核工作,每年对近 350 家中央级高等院校和科研院所等单位的科研设施和仪器的开放共享情况进行评价考核,根据考核结果对科研设施和仪器利用水平

① 来源于中国科协创新战略研究院《创新研究报告》:我国科技资源共享平台建设存在的问题与对策建议,2022 年第 32 期。

高、开放效果好的单位给予后补助奖励,对科研设施和仪器闲置浪费严重、开放效果差的单位进行通报批评和督促整改。从2018—2022年的考核结果来看,通报需要整改的高等院校和科研院所达60家,优良率不足50%。总体来讲,我国中央级单位科研仪器共享率严重偏低且提升缓慢。2021年,中央级单位科研仪器共享率仅为17%,2015年不足10%,年均仅提升了约1个百分点。

表1 2018—2022年中央级高等院校和科研院所科研设施和仪器的开放共享评价考核结果情况

(单位:家/次)

年份	2018	2019	2020	2021	2022
优秀	41	52	50	50	50
良好	60	89	100	100	100
合格	246	192	197	188	189
较差	26	11	9	8	6
优良率/%	27	41	42	43	43

资料来源:《重大科研基础设施和大型科研仪器开放共享发展研究报告(2022)》。

此外,我国科技基础条件资源平台的国际合作程度和整体质量有待进一步提升。我国坚持科技领域开放合作原则,积极主动融入全球创新网络,逐步形成了全方位、多层次、广领域的国际科技合作新格局。但是,由于我国科技实力相对薄弱,我国在科技基础条件资源领域难以在国际科技合作中掌握主动权,合作深度、合作范围、合作方式和合作渠道等有待进一步拓展。比如,重大科研基础设施是我国重要的科技基础条件资源,也是国际合作的重要平台,但我国依托重大科研基础设施的国际合作程度不够。一方面,我国支持的本土项目国际合作比重较低,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,导致我国专用研究设施国际领先性、国际影响和重大成果产出不足。另一方面,我国较少实质性地、有显示度地参加别国的项目,国际影响不足,不易达到国际领先水平,也影响我们吸引国外投入参与本土项目。

3. 现有科技基础条件资源融合发展水平有待进一步提升

我国坚持“整合、共享、完善、提高”的方针,建设和认定了一批运行服务高效的国家科技基础条

件平台,推动了各具特色的地方科技基础条件平台发展,形成了跨部门、跨区域、多层次的资源整合与共享网络体系,初步改善了资源分散、封闭和低效状况,有效促进了科技资源的优化配置和高效利用。我国高度重视科技基础条件资源的开放共享工作,全面推进政府主导的5类科技基础条件资源的开放共享和高效利用,积极探索科技基础条件平台互联互通、协同合作机制,为科技基础条件平台协同创新创造了良好条件。2023年4月,我国首个国家微生物科学数据互联互通平台正式发布。这个平台是目前我国科学数据领域,首个利用区块链和隐私计算技术,实现对具有数据风险保护要求的科学数据实现“可用不可见”的应用实践,为解决数据安全、数据确权等长期困扰数据流通利用的难题提供了解决方案,具有重要的示范意义。

实际上,国家科技基础条件资源涉及多部门、多平台、多学科、多领域。总体来讲,当前我国科技基础条件资源融合发展仍处于初级阶段,各专业平台之间缺乏有效联系和互动,资源整合共享领域和范围有待进一步扩大。所谓平台之间的互联互通,并不是平台自身技术系统的打通,而是在相互兼容性上给对方提供接口,开放应用程序接口。目前,我国政府主导的5类科技基础条件资源之间没有实现融合发展和协同合作,研究与开发平台和成果转化服务平台之间协同不足,国家科技基础条件平台与部门、地方科技基础条件平台之间尚未实现融合发展,国家科技基础条件平台与国家创新体系之间也尚未实现融合发展。

三、我国科技基础条件资源融合发展的内涵界定及监测体系

(一)科技基础条件资源融合发展的内涵界定

唯物辩证法认为,整个世界既是相互联系的整体,也是相互作用的系统。系统是由若干要素组成的具有独特结构和功能的整体,系统要实现不断优化和进化就必须重视其整体性及要素的关联性、耦合性和协同性。系统思维是指以系统论的原理和观点为指导,对事物进行分析和认识的

思维方式。它把事物作为系统,从系统和要素、要素和要素、系统和环境的相互联系、相互作用中综合地考察认识对象。习近平总书记强调,系统观念是具有基础性的思想和工作方法。客观事物不仅作为矛盾而存在,而且作为系统而存在,分析问题必须具有系统的观点,把事物作为系统来认识。

本文将政府主导的科技基础条件资源界定为是一个由重大科研基础设施、大型科研仪器、科学数据、生物种质与实验材料、国家野外站等 5 类子资源系统构成的庞大、复杂的系统。5 个子系统之间不是彼此独立的,而应是相互作用、彼此影响的,共同构筑科技基础条件资源,从而赋能和支撑科技创新发展。同时,也只有运用系统思维,才能协调好重大科研基础设施、大型科研仪器、科学数据、生物种质与实验材料、国家野外站等科技创新发展所需的各种科技基础条件资源关系,处理好内部 5 个子系统协作交流机制,通过各子系统的开放共享,打破各子系统之间的壁垒,促进相关创新要素在各个子系统之间的自由流动,不断提升其内部各子系统之间联动力度、协同力度、互动力度,从而推动科技创新驱动高质量发展。

因此,我们认为政府主导的科技基础条件资源融合发展是建立在重大科研基础设施、大型科研仪器、科学数据、生物种质与实验材料、国家野外站等 5 类子资源系统规模、结构等方面高质量发展基础上的、各子系统实现高水平开放共享的、各子系统之间高度协同的、旨在更好赋能和支撑科技创新的融合发展。

(二)科技基础条件资源融合发展程度评价指标体系

在上述关于科技基础条件资源融合发展内涵界定基础上,基于指标构建的系统性、层次性、可比性、可操作性等基本原则,本文尝试性地构建了我国政府主导的科技基础条件资源融合发展程度评价指标体系,具体见表 2 所示。

这套指标体系由重大科研基础设施系统、大型科研仪器系统、科学数据系统、生物种质与实验

材料系统、国家野外站系统 5 个一级指标 22 个二级指标构成,每个子系统发展程度均从规模、结构等方面高质量发展、实现高水平开放共享两个维度的指标来刻画。具体而言,重大科研基础设施系统采用纳入国家网络管理平台的设施数量、年科研经费、年平均有效工作机时、对外共享率等 4 个指标刻画;大型科研仪器系统采用原值 50 万元以上仪器数量、仪器总原值、原值 50 万元以上仪器开放率、年平均有效工作机时、对外共享率 5 个指标刻画;科学数据系统采用国家科学数据中心资源总量、基于科学数据的重大科学成果、中国科技资源共享网年访问量 3 个指标刻画;生物种质与实验材料系统采用国家资源库拥有实物资源保存库个数、国家资源库开放共享的资源数、年累计服务用户数、年在线服务系统人员访问量 4 个指标刻画;国家野外站系统采用累积观测监测科学数据总量、年科研经费、可对外开放共享的科学数据占比、对外共享服务法人单位数量、原值 5 万元以上仪器设备年均对外服务时间、年举办国内国际会议次数等 6 个指标刻画。

表 2 政府主导的科技基础条件资源融合发展程度评价指标体系

一级指标	二级指标	单位
重大科研基础设施系统	纳入国家网络管理平台的设施数量	项
	年科研经费	亿元
	年平均有效工作机时	小时
	对外共享率	%
大型科研仪器系统	原值 50 万元以上仪器数量	台套
	仪器总原值	亿元
	原值 50 万元以上仪器开放率	%
	年平均有效工作机时	小时
	对外共享率	%
科学数据系统	国家科学数据中心资源总量	PB
	基于科学数据的重大科学成果	项
	中国科技资源共享网年访问量	次
生物种质与实验材料系统	国家资源库拥有实物资源保存库个数	个
	国家资源库开放共享的资源数	条
	年累计服务用户数	人次
	年在线服务系统人员访问量	人次
国家野外站系统	累积观测监测科学数据总量	TB
	年科研经费	亿元
	可对外开放共享的科学数据占比	%
	对外共享服务法人单位数量	个
	原值 5 万元以上仪器设备年均对外服务时间	小时
	年举办国内国际会议次数	次

(三)科技基础条件资源融合发展程度分析框架

在构建政府主导型科技基础条件资源融合发展程度评价指标体系基础上,需要对指标的赋权方法进行选择,且通过计算协调度系数来监测评估五类科技基础条件资源的融合发展程度。

1. 赋权方法的选取

对我国科技基础条件资源融合发展程度进行评估的关键在于确定各个指标的权重。目前,国内外关于评价指标权重系数的确定方法有很多种。根据计算权重系数时原始数据来源以及计算过程的不同,这些方法大致可分为两大类:一是主观赋权法(如层次分析法、专家调查法等),二是客观赋权法(如熵权法、算术平均法等)。为了规避主观赋权法的主观随意性缺陷,建议采用客观赋权法确定我国科技基础条件资源融合发展程度评价指标体系各指标权重系数。此外,为了避免客观赋权法计算方法的过于繁琐,且确保研究结果的跨期可比性,建议采用算术平均法确定各指标的权重^[30]。

首先,根据指标属性的不同,采取如下方法对数据进行无量纲化处理。

对于正指标,计算公式为:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (1)$$

对于逆指标,计算公式为:

$$\bar{x}_i = \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (2)$$

式(2)中, $\max(x_i)$ 和 $\min(x_i)$ 分别表示指标 x_i 的最大值和最小值。经过处理后的各指标数值取值范围为 $[0, 1]$, 指标数值越接近于 1, 则说明该指标得分越高; 指标数值越接近于 0, 则说明该指标得分越低。

其次, 计算各指标权重, 各指标权重系数 W_i 的计算公式为:

$$W_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (3)$$

最后, 根据各指标权重, 结合无量纲化数据,

计算相关指数。指标 x_i 对应的指数值 Q_i 的计算公式为:

$$Q_i = x_i \times W_i \quad (4)$$

那么, 本文中重大科研基础设施系统的评价指数 $A(a)$ 的计算公式如下。其中, m 表示重大科研基础设施子系统包含的指标个数。

$$A(a) = \sum_{i=1}^m (x_i \times W_i) \quad (5)$$

大型科研仪器系统的评价指数 $B(b)$ 的计算公式如下。其中, k 表示大型科研仪器子系统包含的指标个数。

$$B(b) = \sum_{i=1}^k (x_i \times W_i) \quad (6)$$

科学数据系统的评价指数 $C(c)$ 的计算公式如下。其中, n 表示科学数据子系统包含的指标个数。

$$C(c) = \sum_{i=1}^n (x_i \times W_i) \quad (7)$$

生物种质与实验材料系统的评价指数 $D(d)$ 的计算公式如下。其中, p 表示生物种质与实验材料子系统包含的指标个数。

$$D(d) = \sum_{i=1}^p (x_i \times W_i) \quad (8)$$

国家野外站系统的评价指数 $E(e)$ 的计算公式如下。其中, q 表示国家野外站子系统包含的指标个数。

$$E(e) = \sum_{i=1}^q (x_i \times W_i) \quad (9)$$

2. 协调度系数的计算

协调度是度量系统或系统内部要素之间在发展过程中彼此和谐一致的程度, 体现了系统由无序发展走向有序融合的趋势, 是协调状况好坏程度的定量指标。我国科技基础条件资源融合发展程度可以用协调度系数来衡量。这个系数体现了重大科研基础设施、大型科研仪器、科学数据、生物种质与实验材料、国家野外站 5 类资源之间在发展过程中彼此和谐一致的程度, 体现了五大子系统之间由无序发展走向有序融合的趋势。

我国科技基础条件资源融合发展的协调度系数计算公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T} \tag{10}$$

式(10)中, D 为协调度系数, C 为耦合度, T 为我国科技基础条件五大资源子系统之间的综合协调指数。

耦合是指 2 个或者 2 个以上的系统通过各种相互作用而彼此影响的现象,而耦合度则反映了系统之间相互作用彼此影响程度的大小。那么,我国科技基础条件五大资源子系统的耦合度计算公式如下:

$$C = \left\{ \frac{A(a) \times B(b) \times C(c) \times D(d) \times E(e)}{[\frac{A(a) + B(b) + C(c) + D(d) + E(e)}{5}]^5} \right\}^{\frac{1}{5}} \tag{11}$$

式(11)中, C 为耦合度,处于 $[0,1]$ 区间。当 $C = 0$ 时,表明 5 个子系统之间处于无关状态且发展方向和结构呈无序性;当 $C = 1$ 时,表明 5 个系统之间达到了良性共振耦合且向有序融合方向发展。

T 为我国科技基础条件五大资源子系统的综合协调指数,反映了 5 个子系统之间的整体协同效应,计算公式如下:

$$T = \alpha \cdot A(a) + \beta \cdot B(b) + \varphi \cdot C(c) + \delta \cdot D(d) + \varepsilon \cdot E(e) \tag{12}$$

式(12)中, α 、 β 、 φ 、 δ 、 ε 均为待定系数。本文将我国科技基础条件五大资源子系统看作是 5 个平等的子系统,不存在孰轻孰重的问题,故建议取 $\alpha = \beta = \varphi = \delta = \varepsilon = 0.2$ 。

为能更直观地展示我国科技基础条件五大资源子系统的耦合度和协调发展程度,我们根据已有文献研究基础并结合相关专家经验,将耦合度按照低水平到高水平的演进路径划分为 4 个等级(见表 3),将协调发展程度按照失调到协调的演进路径划分成了 10 个等级(见表 4)。

表 3 耦合度等级划分标准

序号	耦合度	耦合等级
1	0.0~0.3	系统处于低水平耦合阶段
2	0.3~0.5	系统处于颤颤阶段(不相上下,相互抗衡)
3	0.5~0.8	系统处于磨合阶段
4	0.8~1.0	系统处于高水平耦合阶段

表 4 协调发展程度等级划分标准

序号	协调度系数	协调等级
1	0.0~0.1	极度失调
2	0.1~0.2	重度失调
3	0.2~0.3	中度失调
4	0.3~0.4	轻度失调
5	0.4~0.5	微度失调
6	0.5~0.6	勉强协调
7	0.6~0.7	初级协调
8	0.7~0.8	中级协调
9	0.8~0.9	良好协调
10	0.9~1.0	优质协调

综上所述,根据上述构建的我国科技基础条件资源融合发展程度评价指标体系,采用上述计算方法,在数据可得的前提下,就能计算出我国政府主导的重大科研基础设施、大型科研仪器、科学数据、生物种质与实验材料、国家野外站等 5 类子资源系统之间的耦合度、协调度系数,从而定量评估出我国科技基础条件资源融合发展程度,发现优势长板,找出问题短板。

四、促进政府主导型科技基础条件资源融合发展的对策建议与未来展望

(一) 对策建议

习近平总书记指出,加强基础研究是实现高水平科技自立自强的迫切要求,是建设世界科技强国的必由之路。当前,加强基础研究越来越离不开科技基础条件资源的强力支撑,科技基础能力是国家综合科技实力的重要体现,也是实现高水平科技自立自强的战略支撑。新时代新形势对科技基础条件资源开放共享、融合发展提出的新的更高要求,亟待多措并举促进我国科技基础条件资源融合发展,从而为支撑我国科技创新发展和高水平科技自立自强提供坚实基础。

1. 加强科技基础条件资源建设,提升科技基础条件平台运行效率

一是持续加大科技基础条件投入力度。发挥“集中力量办大事”的制度优势,强化科技基础条件资源的顶层设计,优化管理,系统提升现有科技基础条件资源对基础研究的服务支撑能力。科学规划布局前瞻引领型、战略导向型、应用支撑型重大科技基础设施。二是强化科研仪器设备等国产

化研发攻关。打好科研仪器设备、操作系统和基础软件国产化攻坚战,引导科研单位优先配置可替代进口科研仪器的自主品牌。三是打造一批高质量专业队伍。围绕科技基础条件平台的建设与运行要求,加强人才的引进、培养、使用与提升,完善人才评价与激励制度,充分调动人才积极性与创造性,打造一支具备科技基础条件平台建设、管理与服务能力的骨干人才队伍。

2. 强化开放共享管理,提升科技基础条件平台开放共享水平

一是强化科技基础条件资源开放共享管理。强化对中央级高校院所科研设施和仪器开放共享的评价考核和奖惩,指导地方开展对省属高校院所的评价考核。高质量推进新购仪器查重评议工作,确保查重评议的科学性和规范性。二是优化创新开放共享体制机制。扎实推进资产登记与开放共享工作的衔接,实现大型科研仪器购置、管理、服务、监督、评价的全链条管理。通过建立联盟等多种合作方式,促进交叉学科、相近领域、相同地域科研设施和科研仪器中心资源共享。推进区域科研设施和仪器开放服务体系的融合。三是处理好政府与市场、开放与安全之间的关系。政府主要负责科技基础条件资源有关开放共享公共政策的制定,市场的功能在于提升共享收益和降低共享成本。推动数据开放共享与数据安全保护之间保持必要的平衡,加强数据安全保护,推动数据要素资源有效配置。四是提高科技基础条件平台国际化水平。推进重大科研基础设施国际开放共享,开展资源建设、联合研究、数据共享、人才交流等多层次的国际科技合作。

3. 构建新型信息化基础平台,促进科技基础条件资源互联互通

一是构建新型信息化基础平台。以科研设施和仪器国家网络管理平台、中国科技资源共享网等科技资源信息平台为基础,集成高端仪器以及相关科学数据、实验材料、科技文献等科技资源,建设新型科技资源共享服务信息化基础平台,形

成强大的基础研究骨干网络,完善优质科技资源网络服务体系。围绕脑科学、人工智能、生物育种等重点领域,打通大型科学仪器中心与科学数据、科技文献、生物资源库等科技资源共享平台资源,建立跨领域跨平台的联合服务机制。二是建立国家、部门、地方科技基础条件资源联动机制。处理好中央和地方的关系,国家部委负责区域间科技基础条件资源的整合共享,地方政府负责区域内科技基础条件资源的整合共享。建立国家、部门、地方科技基础条件资源联动机制,实现部门、地方科技基础条件资源与国家科技基础条件资源的协同发展。推进国家科技基础条件资源与国家创新体系之间实现有机融合和协同发展。

(二)未来展望

本文是关于政府主导型科技基础条件资源融合发展状况监测评估体系的一个探索性研究,基于数据可得性限制,尚无法给出具体的定量测算结果。在未来,相关部门应当强化科技基础条件资源统计指标的科学性和规范性,不断完善相关统计指标的统计工作,不断规范相关统计指标的统计方法和口径。接下来,我们将在数据可得性的前提下,基于本文的指标体系和分析框架,加强对现有科技基础条件资源融合发展状况的定量评估,掌握我国科技基础条件资源融合发展状况,找出我国科技基础条件资源融合发展的痛点、堵点和难点,从而为我国加强科技基础能力建设提供决策咨询和政策参考。

参考文献:

- [1] 万劲波. 基础研究的内涵、模式与高质量发展路径[J]. 人民论坛·学术前沿, 2023(11): 86-95.
- [2] 侯建国. 加强科技基础能力建设[N]. 人民日报, 2022-12-22(7).
- [3] DUBOIS R F, KEAGLE J M, DUDECK C. Science, technology, and us national security strategy[R]. Center for Strategic and International Studies, 2015:2.
- [4] NISTEP. Science, technology and innovation white paper [R]. Tokyo: Impulse Corporation, 2022: 6.
- [5] 梅永红. 新型举国体制下我国科技基础能力建设[J]. 经济导刊, 2023(11): 38-44.

- [6] MORRISON G H. Sharing the wealth-regional instrumentation facilities[J]. *Analytical chemistry*, 1981, 53(4): 577-577.
- [7] RAHM D, HANSEN V. Technology policy 2000: university to industry transfer [J]. *International journal of public administration*, 1999, 22(8): 1189-1211.
- [8] KIM J. Overview of disciplinary data sharing practices and promotion of open data in science[J]. *Science editing*, 2019, 6(1): 3-9.
- [9] TENOPIR C, CHRISTIAN L, ALLARD S, et al. Research data sharing: practices and attitudes of geophysicists [J]. *Earth and space science*, 2018, 5(12): 891-902.
- [10] ABELE-BREHM A E, GOLLWITZER M, STEINBERG U, et al. Attitudes toward open science and public data sharing[J]. *Social psychology*, 2019, 50(4): 252-260.
- [11] STIEGLITZ S, WILMS K, MIRBABAIE M, et al. When are researchers willing to share their data? impacts of values and uncertainty on open data in academia [J]. *PLoS one*, 2020, 15(7): e0234172.
- [12] ARDESTANIE S B, HAKANSSON C J, LAURE E, et al. B2share: an open escience data sharing platform[C]. 2015 IEEE 11th International Conference on e-Science. IEEE, 2015: 448-453.
- [13] DOEL T, SHAKIR D I, PRATT R, et al. GIFT-cloud: a data sharing and collaboration platform for medical imaging research[J]. *computer methods and programs in biomedicine*, 2017(139): 181-190.
- [14] KOTSCHI J, HORNEBURG B. The open source seed licence: a novel approach to safeguarding access to plant germplasm[J]. *PLoS Biology*, 2018, 16(10): e3000023.
- [15] SMITH S, NICKSON T E, CHALLENGER M. Germplasm exchange is critical to conservation of biodiversity and global food security[J]. *Agronomy journal*, 2021, 113(4): 2969-2979.
- [16] STEVENS M T, GILSON G G. An exploration of field-station partnerships: university-operated field stations located in US national parks [J]. *BioScience*, 2016, 66(8): 693-701.
- [17] 罗珊. 国外科技基础条件平台建设的经验启示与借鉴[J]. *科技管理研究*, 2009, 29(8): 75-78.
- [18] 卢明纯, 蒋美仕, 张长青. 国内外科技基础条件平台建设研究现状及展望[J]. *江西社会科学*, 2010(8): 236-240.
- [19] 黄珍东, 吕先志, 袁伟, 等. 国家科技基础条件平台运行和发展的机制分析[J]. *中国基础科学*, 2013, 15(1): 44-47.
- [20] 李新男. 关于国家科技基础条件建设的若干思考[J]. *中国科技资源导刊*, 2008(1): 6-12.
- [21] 吕先志, 王瑞丹. 科技基础条件资源丰度指数研究[J]. *中国科技论坛*, 2013(8): 15-19.
- [22] 赫运涛, 范治成, 许东惠. 我国科技基础条件资源发展指数的构建和比较分析[J]. *中国科技资源导刊*, 2016, 48(6): 1-9.
- [23] 李美楠, 吕永波, 任远, 等. 我国科技基础条件资源配置效率研究:以大型科学仪器资源为例[J]. *中国科技资源导刊*, 2016, 48(6): 10-17.
- [24] 许东惠, 吕先志, 袁伟, 等. 国家科技基础条件平台运行服务绩效考核指标体系研究[J]. *中国基础科学*, 2013, 15(1): 40-43.
- [25] 陈丽娜, 司海平, 方涛, 等. 国家科技基础条件平台服务绩效评价研究[J]. *科技管理研究*, 2016, 36(18): 262-266.
- [26] SI L, LI Y, ZHUANG X, et al. An empirical study on the performance evaluation of scientific data sharing platforms in China[J]. *Library hi tech*, 2015, 33(2): 211-229.
- [27] 吕先志, 王瑞丹. 科技基础条件对区域科技创新促进作用实证研究[J]. *科技进步与对策*, 2013, 30(16): 23-25.
- [28] 科技部基础研究司, 国家科技基础条件平台中心. 重大科研基础设施和大型科研仪器开放共享发展研究报告(2022)[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2023: 8.
- [29] 白晨, 王弋波, 赫运涛, 等. 生物种质资源与实验材料样本建设存储情况的国际比较研究[J]. *中国科技资源导刊*, 2017, 49(1): 8-13.
- [30] 樊纲, 王小鲁, 朱恒鹏. 中国市场化指数:各地区市场化相对进程 2009 年报告[M]. 北京: 经济科学出版社, 2010: 10.

(本文责编: 润 泽)