

· 管理纵横 ·

基础研究科研机构创新能力构成要素分析模型

周超峰^{1, 2, 3, 4†*} 魏凤^{1, 2†} 付豪^{1, 2, 3} 周洪^{1, 2, 3}

1. 中国科学院武汉文献情报中心, 武汉 430071
2. 中国科学院大学经济与管理学院图书情报与档案管理系, 北京 100190
3. 科技大数据湖北省重点实验室, 武汉 430071
4. 福建农林大学图书馆, 福州 350002

[摘要] 基础研究科研机构创新能力直接关系我国国家原始创新能力、科技竞争力、主导权和话语权,明晰其内涵、特征、构成要素及要素间的逻辑关系是提升创新能力亟待解决的问题。本文在分析创新能力基本内涵和特征的基础之上,对创新能力构成要素进行深度剖析,将其分为创新投入要素、创新运行要素和创新产出要素3要素,并构建三维关系模型,进而提出“弓弦箭”理论模型框架,为提升基础研究科研机构创新能力提供理论框架。

[关键词] 基础研究;科研机构;创新能力;构成要素

“基础研究是整个科学体系的源头,是所有技术问题的总机关,处于从研究到应用、再到生产的科研链条起始端”^[1]。基础研究是一个国家科技创新、自主创新和原始创新的前提和根基,对国家创新发展起着决定性、基础性和战略性作用。科研机构作为我国实施创新驱动发展战略的创新主体之一,是我国国家创新体系和科技创新力量的重要组成部分,也是我国实施重大科技创新的关键力量。近些年,党中央、国务院及其相关部门纷纷出台相关意见和举措,但提升基础研究科研机构创新能力是一项复杂的系统工程,除了不断完善宏观层面的顶层设计,还需要在微观层面界定其基本内涵、明确其特征、剖析其构成要素及要素间关系等。因此,本文聚焦以下两方面研究:(1)基础研究科研机构创新能力的内涵及特征分别是什么?(2)基础研究科研机构创新能力的构成有哪些要素?如何构建要素之间逻辑关联模型?

1 基础研究科研机构创新能力的理论基础

理论基础是分析基础研究科研机构创新能力构成要素及构建分析模型的基石和逻辑起点。本文以



周超峰 目前为中国科学院武汉文献情报中心在读博士研究生,主要从事科学计量与评价、科技战略情报分析等研究。目前已参与中科院A类先导计划9项,撰写十余篇战略情报分析报告,发表5篇核心论文,参与撰写2部专著。



魏凤 中国科学院武汉文献情报中心研究员、博士生导师。主要研究领域包括战略情报与标准研究、科技决策与标准情报、标准战略与知识产权战略等。主持中国科学院、国家自然科学基金委员会等单位课题30余项,出版著作10多部,发表论文80余篇。

运用创新理论、3E理论、科学革命理论等理论为指导。其中,创新理论为分析创新能力内涵提供理论支撑,3E理论为分析构成要素具体内涵提供理论依据,科学革命理论为分析创新能力特征提供理论基础。

1.1 创新生态理论

熊彼特首次提出创新概念后,创新理论经过百余年发展,研究内容逐渐丰富,研究广度和深度不断

收稿日期:2022-12-31;修回日期:2024-09-25

† 共同第一作者。

* 通信作者,Email: zhouchaofeng@mail.las.ac.cn

深入。目前,创新理论已演变为两大创新理论体系:一是以技术为对象的技术创新理论;二是以制度或机制为对象的制度创新理论^[2]。创新生态理论借鉴自然界生态系统多样性以及共生演化规律,基于动态、联系和互动的理念,从更为关注资源配置与要素构成的静态结构分析,演变为更为强调创新主体间交互作用的动态演化分析^[3],聚焦于两个方面:一是创新主体内部构成要素之间的相互作用、互相关联;二是创新主体与外部环境的相互影响。该理论既融合生态理论和创新理论,突破了单一理论的研究局限性,又从微观层面探究创新能力构成要素之间的相互作用关系,这不仅延伸了生态理论内涵,而且拓展了创新理论体系,这为研究基础科研机构的创新能力提供新的理论视角和依据。

该理论在本文中的适用性及本文对其深化,具体表现在:(1) 将创新生态理论应用于基础研究科研机构,意味着要构建一个开放、协同、高效的创新生态系统,促进知识创新和技术突破。此生态系统通过促进内部各要素之间的有效互动,如研究人员之间的合作、资源共享机制的建立以及跨学科团队的形成,能够极大地提升科研机构的创新能力。此外,通过与外部环境的良好互动,如与产业界的合作、国际交流项目的开展以及政策支持的有效对接,科研机构能够更好地吸收外部资源和知识,进一步增强其创新能力和竞争力。在这种开放、协同的环境下,基础研究科研机构能够更好地应对科学发展的挑战,推动知识创新和技术突破,最终提升整个机构乃至国家的原始创新能力和基础研究水平。通过上述分析可以看出,创新生态理论不仅为理解基础研究科研机构内部要素之间的互动提供了框架,还为这些机构如何与外部环境进行有效互动提供了指导,从而为提升其创新能力提供了强有力的理论支持。(2) 基础研究领域重点关注的是原创性的基础发现和原理性创新,这些创新有可能在未来带来新的科学突破^[4]。本文通过将创新生态理论应用于基础研究科研机构创新要素,具体分析了科研机构内部要素之间的相互作用,不仅构建了“弓箭箭”理论模型框架,通过引入创新投入要素、创新运行要素和创新产出要素的三维关系模型,为提升基础研究科研机构创新能力提供了理论框架。这一框架不仅有助于理解科研机构创新能力的内在逻辑,深化了要素间相互作用的理解,更重要的是拓展了创新生态理论的应用范围和理论深度。

1.2 3E 理论

20 世纪 80 年代,英国学者 Checkland 基于

SSM(Soft Systems Methodology)方法论提出了 3E 理论:在任何复杂系统中,在综合考虑其内部结构与运行机制和外部影响因素以及内外部相互作用和影响的基础上,包含以下 3 个核心维度,分别从系统的产出能力、资源利用效率和对上级系统目标贡献的角度,对复杂系统的绩效进行全面而深入的评价,为在软系统情境下改进系统设计、提升系统效能提供了理论指导和支持。具体而言,3E 包括:(1) 产出(Efficacy)用于反映系统自身的产出;(2) 效率(Efficiency)是指系统在实现特定目标时所消耗的资源(如时间、资金、人力等)与所取得的成果之间的比率;(3) 效果(Effectiveness)是指系统行为或结果对实现更高层次目标的贡献程度,它既考虑了产出的实际质量,也关注了这些产出对系统目标达成的影响。

3E 理论在本研究中的适用性以及本文对其理论深度的拓展方面,具体表现在:(1) 产出方面,对基础研究科研机构而言,产出这一概念更侧重于评价研究的质量、影响力和对科学发展长远的贡献。它衡量的是基础研究工作在推进科学知识前沿、理论创新、方法论革新等方面的效果;评估内容包括发表论文的数量、学术专著、科研项目等级、授权专利数量、人才培养数量(硕博士数和杰出人才数)以及对后续研究和应用转化的潜在促进作用。需要指出的是,科技评估中的产出(Output)通常指的是科学研究活动直接且可量化的结果,包括但不限于科研产品、数据、报告等,侧重于科研活动的实际成果及其对经济、社会的直接影响,包括技术创新、产业升级、市场应用潜力等方面。虽然两者都涉及产出,但产出(Efficacy)在基础研究中更注重科学价值和长远影响,而科技评估中的产出(Output)则更加广泛,既包含科研成果的直接物化产品,也关注其对经济社会的实际贡献。(2) 效率方面,在基础研究的背景下,该概念更多地关注于如何以最少的资源投入(如资金、人力、时间)获得最大的科学知识产出。评价指标包括每单位资金投入所带来的年均发文数、人均高质量发文数、论文篇均他引次数、年均专利申请量、人均专利申请授权量等方面。然而,该概念在科技评估中更偏向于技术和产品的研发、转化及应用过程中的成本效益分析,评价时会考虑研发投入与最终科技成果(如技术、产品、服务)的市场价值、社会影响之间的关系;评价指标包括研发成本与产生的经济效益的比例、技术转移的成功率、产品上市速度、技术改进带来的生产效率提升等。这些指标

直接关联到科研活动的经济可行性和对社会的实际贡献。(3) 效果方面,一是创新成果是否具有较高质量和影响力,具体体现在高水平论文数量和引用量、专利引用情况;二是创新成果对外部环境的影响,具体表现为国际获奖情况、国际学术会议特邀报告、重要学术机构任职情况、人均国际获奖情况、人均国际会议邀请报告次数等方面。相比之下,科技评估中的效果(Outcome)是指那些长期的、间接的、非预期的结果。影响(Effect)则指的是科研成果对科技领域、经济、社会、文化、环境等方面的间接和深远影响,更侧重于科研活动的外溢效应,即研究成果如何转化为实际应用,对社会经济、文化、环境等产生积极作用。评价指标包括技术转移收入、新产品和服务的市场占有率、对就业的贡献、环境指标的改善、政策采纳情况等。

1.3 科学革命理论

科学革命理论又被称为“库恩范式理论”,由美国学者托马斯·库恩于1962年首次提出,包括范式理论、范式转变、学术共同体、常态、危机等概念,深刻揭示了科学革命的逻辑过程:(1) 前科学阶段(未达成共识、也未形成既定的研究范式);(2) 常规科学阶段(科学通常在套共同的“范式”下运行);(3) 异常和危机阶段(当前理论、方法或技术无法解释或预测的科学观察或现象使现有范式处于危机状态);(4) 科学革命阶段(范式转移);(5) 新的常规科学阶段(新范式对研究发挥着主导作用)^[5]。

科学革命理论对本文支撑性及本文对该理论进一步深化,主要体现在:一是解释科学发展的周期性,该理论不仅揭示了科学发展的周期性和科学发展的历程,还为理解基础研究科研机构在不同科学阶段的表现提供了理论框架,为理解基础研究科研机构如何在不同的科学发展阶段中运作,特别是在常规科学阶段遵循已建立的范式进行研究,以及在科学革命阶段如何通过范式转移实现创新能力的飞跃。二是解释科研机构在不同科学阶段的角色,强调了基础研究科研机构在每个阶段的不同角色和任务。在常规科学阶段,基础研究科研机构通过遵循既定范式推动特定领域的研究深化;而在科学革命阶段,基础研究科研机构需通过范式转移实现创新能力的跨越。这一理论为基础研究科研机构提供了应对不同科学阶段挑战的策略指南,有助于基础研究科研机构在不同阶段合理调配资源,激发创新潜能。三是提供创新思维的激发机制,当科研人员在基础研究中遇到无法用现有理论解释的现象时,这

标志着可能进入了异常和危机阶段。此时,基础研究科研机构需要及时识别这些异常,并鼓励对现有范式的质疑与反思,这有助于激发创新思维,为科学革命铺路。科学革命理论解释了这种机制,并为其提供了如何在面对理论危机时通过质疑现有范式来激发创新思维的方法。四是促进新理论、新方法的诞生,科学革命阶段不仅是对现有知识体系的补充,更是对学术共同体看待问题方式的根本变革。通过支持跨学科合作、鼓励高风险高回报的研究项目以及培养具有批判性思维和创新能力的研究人员,基础研究科研机构能够促进新理论、新方法的诞生,实现创新能力的飞跃。科学革命理论为这些活动提供了理论依据。

2 基础研究科研机构创新能力内涵与特征

2.1 基本内涵

已有研究在基础研究内涵方面达成共识:为获取现象和可观察事实的潜在基础的新知识而进行的实验或理论工作,没有任何特定的应用或用途,以深刻认识自然现象、揭示自然规律,获取新知识、新原理、新方法和培养高素质创新人才等为基本使命的研究^[6-13]。可将科研机构概括为:以科学研究为核心业务、有明确的研究方向和研究任务、具备开展科技创新的基础设施条件和人才团队,既是国家或者地区创新体系的重要力量,也是前沿性研究、战略规划研究的主体^[14, 15]。

综合两者,本文的基础研究科研机构是指专注于探索自然界与科学深层次原理,是以增进人类对自然界根本规律的理解、扩充人类的知识体系、注重规律的挖掘和理论体系的构建进而推动理论创新和方法论发展为目的的科研组织,而不是以直接的商业或解决实际工程问题为目的。活跃于数学、物理、化学、天文、地理、生物等领域,通过深度的理论推演与实验验证,旨在发现新知识、新理论和新方法,为长期的科技进步和社会发展奠定理论基石。基础研究科研机构作为国家和地区创新体系的基石,引领着前沿科学探索和战略科研布局,其研究成果虽非即时转化,却是推动应用科学发展、促进技术革新和社会进步不可或缺的源头活水。

与上述不同,非基础研究科研机构创新(如应用研究)专注于将基础研究成果转化为可实施的技术方案,以解决工业、农业、医疗健康、环境保护等领域内的具体问题,并推动技术创新与社会经济发展。这类机构的核心目标在于通过应用研究和技术开发

活动,创造出具有明确实用价值的产品、技术、工艺和服务,以期实现经济价值和社会效益的双重提升。与侧重于探索自然现象本质和理论构建的基础研究机构相比,此类机构强调科研成果的实用性,更侧重于科学研究的应用导向和成果转化,是连接理论知识与市场需求的桥梁。通过跨学科合作、产学研结合等方式,实现知识、技术和资源的高效配置,以加速科技成果的成熟和商业化进程。其成功标准往往以技术转让的效率、市场接纳度、经济效益和社会影响为重要衡量指标。

企业类科研机构(如航天科技集团、华为、阿里巴巴、百度等央/国企或私企)创新特征主要是指在其通过技术创新实现产品、服务、流程等方面的改进或革新,从而在市场上获得竞争优势或市场占有率,通常包括对市场需求的敏感性、技术创新的快速响应能力、高效的市场转化能力和对经济效益的关注,更加重视技术创新的商业化、盈利化,追求技术的市场化和产业化,以实现经济利益最大化;其创新成果则往往以新产品、新服务或新工艺的形式呈现。相比之下,基础研究科研机构的创新特性则更加侧重于原始创新和理论探索,追求的是科学知识的前沿突破,而非直接的商业价值,创新成果往往以经过同行评议的学术论文或专利等形式出现。因此,两者创新能力在内涵、特征及成果形式等方面有着本质区别:前者关注的是技术创新及其商业应用,后者侧重于科学知识的积累和理论创新。

因此,本研究通过对国内外文献梳理和凝练,将基础研究科研机构创新能力的内涵归纳为:从事基础研究的科研机构在发现新理论、新方法、新见解、新领域等创新活动中所拥有的创新投入、创新运行、创新产出等要素,并利用这些创新要素之间的相互协作、共同作用的关系而取得突破性和原始性创新产出的一种综合能力。其中,创新产出则以论文和专利为主要载体和表现形式,是衡量基础研究科研机构创新能力的核心指标。

2.2 显著特征

基础研究科研机构创新的特征具体表现在以下方面:(1)原始创新性,是指可能改变现有研究范式,开辟新的知识领域,即实现0到1的突破,该特征是创新能力的本质特征,也是其最为显著的特征,原因在于基础研究创新活动的本质和核心是原始创新。(2)探索与不确定性,是指探索未知的事物、规律或现象的整个过程成功与失败并存,最终的研究结果可能达到预期目标也可能不及预期甚至与预期

目标完全无关或相反,整个研究过程充满了不确定性和风险性。纯基础研究的成功率仅有3%^[16],而应用基础研究的成功率约为15%^[17],该特征是基础研究科研机构创新能力的显著特征,原因在于不论是基于个人兴趣驱动的自由探索研究还是基于国家战略需求的目标导向研究,整个基础研究创新过程充满了不稳定性和偶然性。(3)长期积累性,是指从基础研究问题的提出、假设、论证到最终研究结果整个过程需要大量时间和实践,尤其是新理论或新知识的形成,可能需要数十年甚至几代人的不懈坚持和努力,既需要个人学术思想和经历的长期积累和沉淀,也需要科学和社会条件的积累,才有可能使得最终的研究成果有所突破,同时,得出的研究成果也需要数十年的检验和反复论证。该特征是基础研究科研机构创新能力的基本特征。据统计,从获得基础研究的知识发现到实现商业化,往往要经历20~30年,诺贝尔奖获得者所做出代表性工作与获奖时的平均年龄差为16.1年^[18,19]。(4)非商业性,是指基础研究科研机构创新并不以直接追求商业利益或应用为目标,而是专注于获取新知识、发现新规律和推动理论创新,该特征确保了基础研究科研机构保持独立性和客观性,不受商业利益驱动,允许其采取长期视角而不受短期市场利益的束缚,更加使其专注于科学真理的探索,从而为长远的科技进步和社会发展奠定了坚实的理论基础。此外,非商业性也意味着基础研究科研机构创新更注重知识的普遍性和学术价值,而非特定应用的价值。该特征是基础研究科研机构区别于应用研究机构和企业创新特征的独特特征。

3 基础研究科研机构创新能力构成要素理论模型

3.1 创新能力构成要素分析

创新要素是创新资源与能力的组合而成^[20]。基础研究科研机构创新能力是一个产生新理论和新原理、发现新规律和新机制等新知识的形成过程,也是一个由投入、运行和产出等诸多相互联系的要素组成的有机整体。为此,运用文献调研和内容分析方法,结合现有相关文献,本研究将创新能力构成要素归纳总结为:创新投入要素、创新运行要素和创新产出要素,划分依据如下:

(1)创新投入要素是指对基础研究科研机构创新活动发挥直接作用并影响最终成果的投入,主要包括资金、创新人才、科研仪器设备等要素,这些要

素是开展创新活动的基础和必要条件。需要说明的是,本文将科研仪器设备视为基础设施的重要组成部分,原因在于科研仪器设备为研究人员提供了收集、分析和解释数据的途径,使得科学家能够进行实验,从而验证理论、揭示原理和规律、提高实验结果的准确性和可靠性,这对于维持和提高基础研究机构创新能力至关重要。

(2) 创新运行要素是指在基础研究科研机构中,将创新投入有效转化为高质量创新产出的机制和过程,包括但不限于内部保障措施(如稳定的公共支出和人员支出)和外部支撑条件(如国家级项目、地方政府、科技企业如华为、航天科技集团等提供的科研项目支持)。本文仅选择“国家级项目”作为外部支撑的代表,理由如下:一是鉴于本文主要聚焦于基础研究科研机构创新能力的分析,国家级项目的资助情况具有前瞻性、战略性和基础性,有利于进行一致性和可比性的研究分析。而地方政府和私营企业的支持则因地区差异、企业规模等因素存在较大变异性,难以形成统一标准,不利于进行定量分析。二是国家级项目作为政策导向的重要工具,其资助情况能够直接反映国家对基础研究科研机构的支持力度和方向,更好地理解国家层面的政策导向对基础研究科研机构创新能力的支持和导向作用。

(3) 创新产出要素是指整个基础研究科研机构创新活动的最终实体和体现物,主要包括理论模型、科学原理、研究方法、学术出版物和专利等成果,其中以获得同行评议的论文和专利为主要载体的学术性成果和以人才培养为主的非学术性成果,而非新技术、新产品和新服务等,这是有别于非基础研究科

研机构创新能力构成要素的重要区别。因此,创新产出要素是基础研究科研机构创新能力强弱程度最直接表现形式,也是测度创新能力关键要素。

基础研究科研机构创新能力三个构成要素之间并不是简单的并列关系,而是基于相互联系、相互作用、相互协同形成的具有内在联系的不可分割有机整体。为此,构建基于构成要素间相互作用关系的基础研究科研机构创新能力三维关系,有助于进一步清晰地了解各构成要素之间的内在关联性。

在图1中,创新投入要素(如创新人才、创新资金、创新科研设备)是基础研究科研机构创新能力的基石,通过创新运行要素(如内部保障和外部支撑)作用,最终转化为创新产出要素(如论文、专利、人才、获奖等),创新产出要素反过来会影响创新投入要素,形成一个内外双层的闭环逻辑链以促进创新活动的持续优化和发展。从内层逻辑链来看,三大要素既相互独立又相互作用,形成了“创新投入作用于创新运行进而影响创新产出,而创新产出会反馈到创新投入,进而促进创新投入的调整和创新运行的优化”的内环。从外层逻辑链来看,形成了“创新投入要素是基础,创新运行提供保障,创新产出是最终实体”。上图从双层逻辑关系厘清了三者之间相互作用的关系,反映了量化测度创新能力不同要素所需的数据来源,也为构建逻辑结构严谨、逻辑关系清晰、表述体系简洁的基础研究科研机构创新能力评估方法提供了理论依据和支撑。

3.1.1 创新投入要素

创新投入要素是指促进和增强其创新能力所需的各类投入,是开展创新活动的基础、前提和决定性

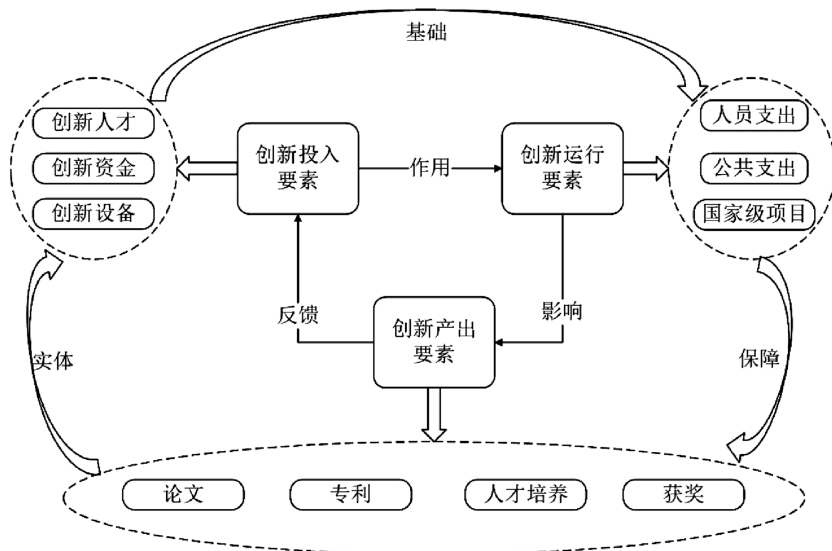


图1 基础研究科研机构创新能力构成要素三维关系

要素,直接影响到创新能力的高低,主要包括创新人才、创新资金和创新科研设备。

(1) 创新人才,是创新投入要素中的核心要素。基础研究科研机构创新能力中的创新人才要素是指直接从事科研创新活动的专业技术人员,是提升自身创新能力的主体和源泉。基础研究科研机构创新能力可持续性提升的关键力量和核心主体在于是否拥有一定数量和层次的高层次专业人才队伍,根据专业技术人员的层次,可将创新人才分为战略科学家、高级人才和后备人才。其中,战略科学家主要包括获得国际或国家级荣誉的人才,该群体是科研机构提升自身创新能力的核心力量和主力军,对创新能力具有重要的引领作用。需要注意的是,此类创新人才作为创新投入要素而非产出要素,究其原因在于此类创新人才是基础研究科研机构围绕国家战略发展目标和需求而从国内外著名高校或科研院所遴选或引进的高层次人才或优秀学术带头人,侧重于外部引进。因此,将此类人才视为重要的创新投入要素之一。高级人才,是科研机构提升自身创新能力的重要力量、核心、骨干和主力军,是最具创新潜力和开拓能力的群体^[21];后备人才包括博士后和博士生等,是科研机构提升自身创新能力的后备军,对创新能力具有一定的促进作用。

(2) 创新资金

如果说创新人才是创新投入要素中的第一要素,那么创新资金则是创新投入要素中的决定性条件,也是基础研究科研机构创新能力的“血液”。充足的创新资金是科学创新的动力源,也是为科研机构创新能力形成的必要物质基础和重要保障,更是其创新能力持续提升和发展的重要支柱和坚实基础。创新资金一定程度上表征了科研机构在创新能力形成过程中是否具有较强的抗风险能力,资金越充足,对创新的风险承受能力越强,特别是基础研究的创新过程具有极大的不确定性和高风险性。因此,就更需要有长期持续和稳定的资金支持,才能保证创新的可持续性和顺利进行。基础研究科研机构创新能力的创新资金按照主体来源,可以分为:政府类创新资金和私有类创新资金。其中,政府类创新资金是指由各级政府部门的批准并立项或委托或直接拨款的创新资金,如基金类的纵向资金(如国家自然科学基金等)^[22];私有类资金是指由私有企业捐赠(或资助)的创新资金。我国基础研究经费中,约有 98% 的经费是来自政府^[23];我国 SCI 基金论文占本国 SCI 论文比高达 85.59%,其中仅国家自然科

学基金和国家重点基础研究发展计划的两项创新资金资助占比达 76.06%,反映出了我国基础研究领域的创新资金模式是典型的由政府主导的单一模式^[24]。同时,也体现出政府资金对我国基础研究的发展及其整体科研水平的提高发挥着重要的推动作用^[25],在我国基础研究科研机构创新能力形成和提升过程中具有主导作用。同时,获得政府资金的支持可以看出政府对基础研究科研机构创新能力的认可度和支持度。

(3) 创新科研设备

创新科研设备主要是指支撑科学研究、技术开发、产品研制的具有公益属性的设备^[26],也是基础研究领域产生新理论、新原理、新知识、新技术等重大发现和突破的“加速器”与“倍增器”^[27],同时良好的创新基础设施是催生重大基础研究成果的温床和关键支撑。对于基础研究科研机构而言,创新基础设施包括但不限于同步辐射装置、稳态强磁场实验装置、x 射线自由电子激光试验装置、高能同步辐射光源等大型科学设备仪器,已成为基础研究领域极为重要依托,这些创新基础设施不只是某单个科研机构,同时也是整个国家的科研创新能力的重要体现和重要标志,是支撑创新活动的必要物质基础,也是科研机构承担重大科技项目、抢占科技制高点、引领领域发展的利器,更是汇聚和培养创新人才、形成创新团队和创新环境的重要平台,对创新成果的产出具有重要的推动作用,为科研机构取得重大基础性的、原始性的创新成果提供有力保障支撑。如在物理基础研究领域中,欧洲核子研究中心通过大型强子对撞机发现的希格斯粒子;在生物基础研究领域中,谷歌公司开发的 AlphaFold2 并基于人工智能预测出蛋白质三维结构;在天文基础研究领域中,中国天眼 FAST 观察并计算出快速射电暴的起源证据、大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜^[28]等,国内外创新基础设施为各个基础研究领域取得一系列重大原始创新成果提供了重要支撑。

3.1.2 创新产出要素

基础研究科研机构创新能力中的创新产出要素是创新投入经创新运行后形成的各类创新成果,是创新能力的最终实体和体现物,也是创新能力强弱最直接和最重要的显性要素,又是衡量其创新活动成功与否的重要标尺,还是衡量创新能力的关键和后续创新活动的初始条件^[29]。基础研究科研机构创新能力的创新产出要素包括两大类:

(1) 学术性创新产出要素,是基础研究科研机

构创新活动的最终结果,也是其创新能力的最直接体现,产出要素的数量多少和质量高低直接表征了创新能力的强弱。具备以下基本特征:①以深刻认识自然现象和揭示自然规律为研究对象;②不以特定应用为目的且短期内无法获得显著的经济效益和社会贡献;③必须有能够向同行展示或供同行提供参考的实物等;④必须有明确的新观点、新概念、新思想、新理论或新知识等。不同于应用研究,学术性创新产出要素包括多种形式:①论文,不仅是衡量微观层面科研人员在某阶段创新能力的重要标尺,也测度是中观层面科研机构在某阶段创新能力的重要指标之一;可根据引用次数进入前1%的顶尖论文量、发文总量、ESI高被引论文总量、篇均被引次数、h指数等指标分别来测度SCI论文数量、质量和影响力。②发明专利授权量,相比实用新型专利、外观设计专利,发明授权专利能够更加直接测度创新活跃程度和技术创新水平^[29, 30]。基础研究领域的发明专利尽管在数量上不如应用研究和科技创新领域的数量,但其对创新活动同样具有重要作用和意义,也是基础研究科研机构创新能力的表征形式之一。③其他形式,如研究报告、专著等形式。考虑到基础研究科研机构创新能力内涵和特征、创新成果的学术价值,本文将论文和专利视为创新能力的主要体现物和主要表现形式。

(2)非学术性创新产出要素,虽然在表征创新能力的形式和效果上不如学术性创新产出要素显著,但前者却是后续创新活动的初始条件。主要表现形式有:成果奖励、学术声誉、标准、国际学术组织中任职情况、人才培养等形式,其中,培养创新人才是其代表,原因在于“人才是驱动创新发展的第一资源”,尤其是对于产生重大原创性成果的基础研究科研机构而言,往往需要几代科研人员前仆后继、坚持不懈地继承和发展。因此,在此过程中,需要培养大量的创新人才、不断优化和完善创新人才结构,为创新能力提供最重要资源和活力,为创新活动的继承和发展提供重要的智力支持和战略力量。主要包括:引领人才和后备人才。此外,获得省部级、国家级或国际自然科学奖是对基础研究科研机构创新能力的重要认可,也是反映基础研究科研机构创新产出的重要指标之一。

3.1.3 创新运行要素

基础研究科研机构创新能力的创新运行要素是指在开展创新活动过程中,能够将创新投入要素高效地转化为高质量、高影响力和高价值创新产出的

支撑要素。根据支撑范围,可将其分为两大类型:一是内部保障;二是外部支撑。其中,前者是指科研机构内部对创新活动和创新能力的重视和支持,具有明显的内生性,突出表现在智力支持与经费资助两方面,如包括制度、文化、环境、人员支出、公共支出等方面^[31]。后者是指科研机构获得的外部支持和力度,具有显著的社会性,突出表现在政策引导与支撑,如获得国家级项目数量和经费的资助情况,这些外部环境为基础研究科研机构开展创新活动提供了丰富的资源和广阔的平台,从而激发了此类科研机构不断提升自身创新能力和创新水平。

综上所述,创新投入要素、创新运行要素和创新产出要素贯穿于基础研究科研机构整个创新过程中,共同组成了基础研究科研机构创新能力,这三个构成要素之间的关系是:创新投入要素是基础研究科研机构创新能力的基础;创新产出要素是创新能力强弱的最直接体现,也是衡量其创新能力高低的最显著性要素;创新运行要素是创新能力的重要保障。因此,以上三个要素相互作用、相互影响,共同构成一个紧密结合的有机整体。

3.2 构成要素“弓弦箭”理论模型

为深入分析基础研究科研机构创新能力的创新投入要素、创新运行要素和创新产出要素三者之间逻辑关联性,进一步诠释三者之间相互作用、相互依存、相互配合的协同关系,可将此协同关系形象地描述为“弓弦箭”理论模型。

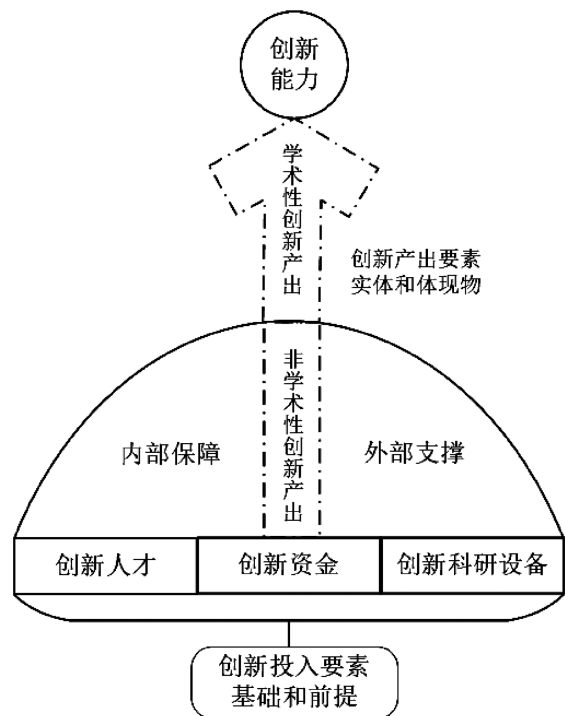


图2 基础研究科研机构创新能力构成要素“弓弦箭”模型

由图2可知,由创新人才、创新资金和创新科研设备组成的创新投入要素承担着“弦”的角色,为基础研究科研机构创新能力提供初始动能;由内部保障和外部支撑构成的创新运行要素承担“弓”的角色,为基础研究科研创新能力提供了所需的必要条件;由学术性创新产出和非学术性创新产出构成的创新产出要素担任着“箭”的角色,受创新投入和创新运行形成的合力影响,可以看出只有创新投入和创新运行要素足够的强大,创新产出才能更加有效地展现其创新能力。

因此,在该关系图中,创新投入要素、创新运行要素和创新产出要素是相辅相成、不可分割的有机整体。为此,基础研究科研机构必须加大创新投入力度,夯实创新产出的基础和根基,同时还须不断优化内部保障机制和制度,政府和社会为之提供强有力的外部支撑,不断提高创新产出的数量和质量,才能实现提升自身创新能力,进而提高我国原始创新能力、增强国际科技竞争力、提升全球创新话语权和主导权。

4 总结与展望

基础科研机构创新能力直接关系我国国家原始创新能力,对于提升我国国家创新能力的全球竞争力和话语权,在日益激烈的国际科技创新竞争中占据主导优势具有重要作用。本文尝试相关创新点可归纳为以下两个方面:(1)系统凝练了基础研究科研机构创新能力的独特内涵和特征,有利于研究边界更加明确;(2)详细阐述了创新能力的构成要素,并建立关联性理论模型。综上,本内容虽然可进一步丰富基础研究科研机构创新能力相关理论体系,但其创新能力的提升是一个复杂的系统工程,仍然存在很多问题待解决:如何建立基础研究科研机构创新能力构成要素的创新投入、运行和产出三者之间的定量关系模型,并在此基础之上量化测定三者之间的关联性。为深入解析三者之间的关系,下一步需要采用合适的量化研究方法,构建关联性量化模型,并通过实证探究构成要素之间的量化关联性。

参 考 文 献

[1] 新华社. 习近平主持中共中央政治局第三次集体学习并发表重要讲话. (2023-02-22) / [2023-10-15]. https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/22/content_5742718.htm.

[2] 周茜. 基础研究生态系统的概念、结构、特征与运行. 中国科技论坛, 2022(2): 59—67.

[3] 王小洁, 刘鹏程, 许清清. 构建创新生态系统推进新旧动能转换: 动力机制与实现路径. 经济体制改革, 2019(6): 12—18.

[4] 杨卫, 郑永和, 董超. 如何评审具有颠覆性创新的基础研究. 中国科学基金, 2017, 31(4): 313—315.

[5] Kuhn TS. The structure of scientific revolutions second edition. The United States of America: International Encyclopedia of Unified Science, 1970.

[6] Bush V. Science, the endless frontier. Nature, 1960, 188: 190—191.

[7] UNESCO. Guide to statistics on scientific and technological information and documentation. Paris: UNESCO, 1984.

[8] 经济合作与发展组织. 弗拉斯卡蒂手册: 研究与试验发展调查实施标准. 北京: 科学技术文献出版社, 2010.

[9] National Science Foundation. Definitions of Research and Development: An Annotated Compilation of Official Sources. [2018-03-22] / [2022-10-19]. <https://www.nsf.gov/statistics/randdef/rd-definitions.pdf>.

[10] 国务院. 国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见. (2006-02-09) / [2022-10-19]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-01/31/content_5262539.htm.

[11] 李静海. 抓住机遇推进基础研究高质量发展. 中国科学院院刊, 2019, 34(5): 586—596.

[12] 郑雁军. 基础研究概念的演变与应用科学之间的关系. 中国科学基金, 2019, 33(5): 515—519.

[13] 张炜. 基础研究定义与经费的比较讨论. 中国科学基金, 2019, 33(5): 423—428.

[14] 中华人民共和国科学技术部. 中国科学技术指标-2016. 北京: 科学技术文献出版社, 2017: 131.

[15] 国家科技评估中心, 中国科技评估与成果管理研究会. 科技评估方法与实务. 北京: 北京理工大学出版社, 2019: 193—194.

[16] 陈劲, 宋建元, 葛朝阳, 等. 试论基础研究及其原始性创新. 科学学研究, 2004, 22(3): 317—321.

[17] 邓衢文, 刘敏, 黄敏聪, 等. 我国及世界科技强国的基础研究经费投入特点与启示. 世界科技研究与发展, 2019, 41(2): 137—147.

[18] 路甬祥. 回眸与展望: 路甬祥科技创新文集. 北京: 科学出版社, 2016.

[19] 陈雪静. 我国高科技产业原始创新能力评价与实现路径研究. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2014.

[20] OECD. Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data: Oslo manual. Paris: OECD Publishing, 1997.

[21] 肖小溪, 代涛. 国立科研机构培养使用战略人才的国际经验及启示. 科技导报, 2022, 40(16): 46—54.

- [22] 李志民. 科技研发经费要分类管理. (2016-06-14)/[2022-10-19]. https://www.edu.cn/rd/special_topic/zbwjt/201606/t20160614_1413294.shtml.
- [23] 朱迎春. 我国基础研究经费投入与来源分析. 科学管理研究, 2017, 35(4): 20—23.
- [24] 陈秋怡, 刘海波. 科研基金资助投入与高水平国际论文产出研究——基于六国 SCI 论文的实证分析. 中国科技论坛, 2018(1): 158—163.
- [25] 于璇, 高端平. 发挥国家自然科学基金联合基金“四个平台”作用健全基础研究多元投入机制. 中国科学基金, 2023, 37(2): 296—300.
- [26] 李宜展, 刘细文. 国家重大科技基础设施的学术产出评价研究: 以德国亥姆霍兹联合会科技基础设施为例. 中国科学基金, 2019, 33(3): 313—320.
- [27] 汪洋, 周园春, 王彦桐, 等. 适度超前推动科研基础平台建设支撑我国高水平科技自立自强. 中国科学院院刊, 2022, 37(5): 652—660.
- [28] 刘强, 颜景志, 董国轩. 新时代我国天文学发展的思考. 中国科学基金, 2019, 33(5): 520—524.
- [29] 申红芳, 廖西元, 胡慧英. 农业科研机构科技产出绩效评价及其影响因素分析. 科研管理, 2010, 31(6): 126—135, 150.
- [30] 中国科学技术发展战略研究院. 国家创新指数报告-2015. 北京: 科学技术文献出版社, 2016.
- [31] 赵朝飞, 王心如. 科研机构财力保障能力分析与评价的实践探索. 农业科研经济管理, 2022(2): 1—6.

Innovative Capacity of Basic Research Institutions: Constituent Elements and Model Frameworks

Chaofeng Zhou^{1,2,3,4†*} Feng Wei^{1,2†} Hao Fu^{1,2,3} Hong Zhou^{1,2,3}

1. Wuhan Library, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071
2. Department of Library, Information and Archives Management, School of Economic and Management, UCAS, Beijing 100190
3. Hubei Key Laboratory of Science and Technology Big Data, Wuhan 430071
4. Library of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002

Abstract The innovation capacity of basic research institutions is directly related to China's national original innovation capacity, scientific and technological competitiveness, dominance and discourse power, and clarifying its connotation, characteristics, constituent elements and the logical relationship between the elements is an urgent problem to be solved to enhance the innovation capacity. On the basis of analyzing the basic connotation and characteristics of innovation capability, this paper analyzes the constituent elements of innovation capability in depth, divides them into three elements, namely, innovation input elements, innovation operation elements and innovation output elements, and constructs a three-dimensional relationship model, and then puts forward the theoretical modeling framework of “Bowstring Arrow”, which provides a theoretical framework for enhancing the innovation capability of basic research institutions. It also constructs a three-dimensional relationship model, and then proposes the “bowstring arrow” theoretical model framework, which provides a theoretical framework for improving the innovation capability of basic research institutions.

Keywords basic research; scientific research institutions; innovation ability; constituent elements

(责任编辑 陈鹤 张强)

† Contributed equally as co-first authors.

* Corresponding Author, Email: zhouchaofeng@mail.las.ac.cn