

科学技术指标体系设计及评价

武宇, 李牧知, 李延通

军事科学院评估论证研究中心, 北京 100091

摘要 国际上关于国家科技活动投入产出的评价指标体系建设及其评价研究已有较长历史,产生了一些具有重要影响力的代表性研究成果。通过对世界主要科学技术指标体系进行梳理与分析,总结其研究共识与特征,分析存在问题与不足,并基于中国现有的科学技术指标研究框架,针对跻身创新型国家前列、建设世界科技强国的战略目标,提出指标体系设计、数据采集分析以及国际交流合作等方面的发展建议。

关键词 科学技术指标;科技评价;研发活动

进入 21 世纪以来,由于全球各地区、国家和经济体对科学与技术的高度重视与持续投入,全球科技发展和研发活动格局已经发生了巨大变化,之前主要分布在美国、西欧和日本的科学与工程能力已逐步扩展到发展中国家。科学技术指标,作为科技创新活动的定量观察和测度,是评价科技创新活动投入产出的重要依据。借助科学技术指标可以准确把握科学技术的活动状况及其对社会、经济的作用和影响,并将其反映到政策上来,成为国家运筹未来、谋取竞争优势的重要参考依据^[1]。

为有效评估和对比世界各国/地区的科技创新发展水平,诸多国际组织、学术机构等已相继研究出多个有关国家科技发展水平的评价指标体系,并基于这些评价指标体系发布了一系列关于国家科技创新能力或科技竞争力的评价报告。目前国内

外关于科学技术指标的研究报告大致可分为两种类型:指数测算与排名、指数数据描述与分析。其中,指数测算排名报告以《全球竞争力报告》和《全球创新指数》为主要代表,指数数据描述分析报告以美国《科学与工程指标》、日本《科学技术指标》、经合组织(OECD)《科学、技术和工业记分牌》等为主要代表。

1 指数测算排名

指数测算排名报告将科学技术指标作为构建综合指标体系的基础指标,通过指数测算对国家或组织的竞争力和创新能力进行综合评价和排名。报告通常以全球多个经济体为评价对象,使用研发(R&D)经费、R&D 人员、论文和专利等指标反映国

收稿日期:2019-05-15;修回日期:2019-07-10

基金项目:2019 国家高端智库课题

作者简介:武宇,助理研究员,研究方向为战略规划与科技评估,电子信箱:cestlavie_wuyu@yeah.net

引用格式:武宇,李牧知,李延通. 科学技术指标体系设计及评价[J]. 科技导报, 2019, 37(19): 12-18; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.19.002

家或地区的科技活动投入与产出情况,使用国内生产总值(GDP)和进出口指标等反映经济发展情况,并采用树状评价指标体系对参评国家或组织进行评价与排名。

1.1 《全球竞争力报告》

自1979年以来,世界经济论坛每年发布一份《全球竞争力报告》,该系列报告是衡量全球各经济体促进生产力发展和经济繁荣程度的重要参考,其竞争力排名基于“全球竞争力指数”(global competitiveness index, GCI)。GCI由世界经济论坛于2005年提出,旨在衡量一国经济中长期持续增长的能力。GCI以12项主要竞争力因素作为衡量指标,为识别处于不同发展阶段的世界各国竞争力状态提供了全面图景,综合反映世界各经济体的竞争力状况^[1]。12项主要竞争力指标为法律和行政架构、基础设施、信息技术采纳、宏观经济环境、健康和技能教育、商品市场效率、劳动力市场效率、金融体系、市场规模、商业活力和创新能力。

世界经济论坛于2018年10月发布《2018年全球竞争力报告》,通过构成12大支柱的98项基本指标,绘制140个世界主要经济体的竞争力格局。基于40年的竞争力基准经验构建,GCI已经发展成为新型的综合指标,用于评估影响经济生产力水平及长期发展的一系列决定性因素。每个指标均采用0~100评分值,反映实际经济状况与理想状态(竞争力前沿)之间的差距。《2018年全球竞争力报告》采用全新研究方法捕捉第4次工业革命中的全球经济动态,引入了众多有望在未来推动竞争力发展却从未成为主要政策焦点的因素,包括创意、企业文化、开放性和灵活性等。该报告指出:在新兴数字化科技加速推动世界转型的大背景下,经济竞争性性质的变化对政府和企业提出了一系列新挑战。

评估结果表明,美国是最接近竞争力前沿的国家,不仅在劳动力市场和金融系统等指标表现突出,凭借其活力十足的企业文化,在商业活力指标上更是遥遥领先,这些因素共同为美国造就了全球领先的创新生态系统。中国在2018全球竞争力指数中排名第28位,在主要新兴经济体国家中竞争力表现突出。

1.2 《全球创新指数》

全球创新指数(global innovation index, GII)每年由世界知识产权组织、美国康奈尔大学和欧洲工商管理学院联合发布,作为一个详细的量化工具,GII有助于全球决策者更好地理解如何激励创新活动,以此推动经济增长和人类发展。自2007年首次发布以来,GII现已成为世界公认的基准工具,为全球范围内的企业高管、政策制定者以及其他在创新方面寻求创见的人员所使用。

2018年7月,第11版GII发布。根据80项指标对126个经济体进行排名^[2],这些指标从知识产权申请率到移动应用开发,从教育支出到科技出版物,不一而足。GII的核心部分由全球经济体创新能力和结果的排名组成,在认识到创新在促进经济增长和繁荣中发挥的关键作用后,GII对适用于发达经济体和新兴经济体的创新建立了更为广阔的视野,因而纳入了传统创新措施之外的指标,例如研发水平等。GII的特点主要包括:(1) 126个国家/经济体的情况介绍,包括各种数据、排名和劣势情况;(2) 根据30多个国际公私部门指标得出的80个数据表,其中57个可靠数据,18个综合指标,5个调查问卷;(3) 通过公开的计算方法,其中每个指数排名有90%的置信区间,加上对影响排名的要素进行综合分析。

2018年全球创新指数是以两个次级指数的平均值计算的。创新投入次级指数衡量的是体现创新活动的国家经济要素,这些要素共分为五大类:(1) 制度;(2) 人力资本与研究;(3) 基础设施;(4) 市场成熟度;(5) 商业成熟度。创新产出次级指数体现的是创新成果的实际证据,分为两大类:知识与技术产出以及创意产出。在2018全球创新指数排名中,新兴经济体脱颖而出,在创新蓝图中不断攀升突破。中国首次跻身全球创新20强,位列第17,这对于在政府重视研发的政策指引下实现快速转型的经济体而言,是一个具有里程碑意义的重大突破。中国排名的快速攀升也反映出国家的战略导向,即发展世界一流的创新能力,推动经济基础结构向知识密集型产业转变,而这些产业需要通过创新来保持竞争优势,这也预示着多极创新

格局的产生。尽管美国在2018年全球创新指数中跌至第6位,但这并没有影响到美国的创新强国地位,由其催生的大量在全球处于领先地位的高科技公司正在改变人们的生活。

2 指数数据描述分析

指标数据描述型报告主要是通过对指标数据进行定量分析和事实描述,来反映国家科学技术的发展现状,报告观点中立并且不给出排名以及政策建议。

2.1 美国《科学与工程指标》

自1972年起,美国国家科学基金会(NSF)每2年发布一次《科学与工程指标》报告,向总统和国会报告美国科学技术和工程领域的量化信息,同时分析全球主要国家创新发展状况,以此作为制定国家政策的基础。目前,报告已成为美国科学、工程和教育状况研究最有影响力的报告,含有关于美国大学、企业、联邦政府以及国际科学和工程领域研发活动的全面信息,也是了解世界科技创新格局的重要参考^[4]。

2018年1月,美国国家科学基金会发布了《2018科学与工程指标》(《2018 Science & Engineering Indicators》)报告。该报告纵览了全球科学与工程(S&E)的现状,提供了大量可比数据,以检验跨区域、跨国家和跨经济体的各项S&E指标^[5],用以比较S&E培训、科研产出、知识产权的创造和利用以及知识密集型产业的产出,并说明了变化中的S&E模式如何对美国和其他全球主要参与者相对地位产生影响^[6]。

美国《科学与工程指标》的体系结构相对稳定,主要包括中小学数学与科学教育,科学与工程高等教育,科学与工程劳动力,研究与发展经费,学术研究,产业、技术和全球市场,公众对科学与技术的态度和认知等7部分。其中,2部分教育指标处于重要位置,其余5部分分别反映了美国科技研发活动、学术研发活动与产业界和全球市场的互动关系等情况。报告的每一部分还包含指标数据变动的简要分析和相应的国际比较,得出世界各国科技水

平的评估和对比。研究结果发现,科技已经成为经济增长新引擎,科技创新活动的国际合作特点更趋明显,全球创新格局正在向多极化方向转变。以美国为代表的西方发达国家的科技创新实力和科技影响力仍然具有十分显著的优势,而以中国、印度为代表的亚洲国家科技创新能力正在迅速提升。经过近10年的持续发展,中国的科技创新投入产出规模已经稳居世界前列,但在科技创新的发展质量和影响力、国际合作等方面仍待进一步提升。当前,中国的科技发展正处于从数量规模向质量提升的关键阶段,必须围绕提高发展质量构建科技创新政策和体制,以牵引科技创新加速向高质量发展阶段转变。

2.2 日本《科学技术指标》

日本科学技术政策研究所(NISTEP)从1991年开始每年发布《科学技术指标》报告,反映日本科技发展的整体状况^[7],使科技统计数据成为日本科技决策的基础和依据。《科学技术指标》在日本受到各界研究者的广泛关注,其中反映日本科技活动的各种指标数据被日本其他科技研究报告所广泛采用。

2018年8月,日本科技政策研究所发布了《科学技术指标2018》,对日本及全球主要国家的科技活动情况进行对比。报告由文部科学省下属的科学技术学术政策研究所组织编写,通过定量和客观的指标数据反映日本科技活动,同时也注重时间序列的历史比较和国际对比^[8]。日本科学技术指标体系主要包括5个基本方面:(1)研发支出,对日本和世界主要国家的各类R&D支出进行分析比较;(2)研发人员,介绍科学技术活动的人力资源情况和国际比较;(3)高等教育,通过高等院校的就读和就业选择情况反映科技人力资源的储备情况;(4)R&D产出,分析和比较世界主要国家科学论文和专利等研发产出情况;(5)科技与创新,使用科技创新影响力指标来反映科技研发与经济社会效应之间的联系。总体上看,日本科学技术指标体系定位明确,指标分析多样化,在同一层级的分指标体系中又细分为不同类型的具体指标。目前,《科学技术指标》已经成为日本科技活动和国家科技发展战略的风向标。

日本《科学技术指标 2018》通过数据分析发现, 日本的研究经费投入保持稳定增长, 在全球主要国家中仅次于美国和中国, 世界主要国家的研究经费来源均以企业支出所占比重最大。与此同时, 日本的研究人员数量位居世界第 3, 仅次于中国和美国; 全球主要国家的研究人员集中分布于企业。尽管近年来日本的科技论文数量、高被引论文排名均有所下降, 但日本的专利申请及授权量排名不断攀升, 且向多个国家申请的专利数量仍在继续增加。

2.3 OECD《科学、技术和工业记分牌》

经合组织自成立以来, 一直把 R&D 的定义和测度作为科技政策研究的重点。从 1997 年开始, OECD 每 2 年发布《科学技术和工业记分牌》报告, 提供了一个对 OECD 成员国科学技术和产业活动绩效进行比较分析的框架, 并采用记分牌的方式形成动态的检测系统。

2017 年 11 月, 经济合作与发展组织发布《OECD 2017 年科学、技术与工业记分牌: 数字转型》报告, 揭示了数字转型对科学、创新、经济以及人们工作与生活方式产生的影响, 旨在帮助政府在瞬息万变的数字时代设计更高效的科学、创新和产业政策。该报告基于通常用于监测科学、技术、创新及工业领域发展状况的指标^[9], 并以实验性指标作为补充, 重点分析了 OECD 成员国以及其他领先经济体实施数字转型的现状与趋势。OECD 科学技术指标选取以高质量的统计数据 and 稳健的分析原则为基础, 而且是国际上通用的衡量指标, 并具有随时间推移进行改进的前景, 其指标体系主要包括 6 部分: (1) R&D 和创新; (2) 科学技术人力资源; (3) 专利; (4) 信息与通信技术; (5) 知识流动和全球企业; (6) 知识在生产活动中的影响。该报告共 76 个指标, 全面系统地反映了科学、技术、全球化和工业等领域的绩效, 并由 OECD 科学技术和产业司开发的数据库进行支撑。需要特别指出的是, OECD 科技指标以均量指标为主, 影响力指标较少, 难以区分不同国家对全球科技发展的贡献。

OECD 科技指标研究发现, 全球数字革命飞速发展, 科研强国推动数字创新, 移动、云计算、物联网、人工智能和大数据分析已经成为全球数字经济

中最重要技术。在过去的 15 年中, 中国高影响力的科研成果增长了 2 倍以上, 成为仅次于美国的第二大科研强国。美国在机器学习研究方面处于领先, 其次是中国, 同时, 印度也进入了这个领域之中并有着不俗表现。全球前沿技术高度集中, 研发活动主要分布于各经济体内的高技术企业, 全球排名前 2000 的研发企业主要分布于美国、日本和中国。

2.4 中国科学技术指标

中国科学技术部自 1991 年起, 每 2 年发布一次《中国科学技术指标》报告, 以翔实的国内统计数据为基础, 对中国科学技术发展的资源、能力和在国际科技活动中的地位以及发展趋势进行系统的分析。中国科学技术指标从多个侧面反映国家科技活动和科技政策的特征, 主要包括科技人力资源、研究与发展经费、科技活动产出、主要执行部门科技活动、高技术产业、区域科技指标和公民对科学技术的态度等。

2018 年 5 月, 中国科协创新战略研究院发布《中国科学技术与工程指标》, 对中国科技创新投入产出、科学技术与工程发展状况进行了分析, 映射科技创新投入产出, 分析科技发展潜力与竞争格局。从科技人力资源、科技与工程的高等教育、R&D 经费投入、科研产出和影响力、公民科学素质及对科技的态度等方面系统客观地反映了中国科学技术与工程的发展状况、潜力与竞争格局, 为制定科技政策、产业政策和经济政策提供科学依据, 为评价科技投入和政策实施效果提供参考工具^[10]。

中国科学技术与工程指标的设计, 遵循系统性和科学性的原则, 充分考虑指标的可比性和有效性, 力图实现重要指标和共性指标的历史可比性和国际可比性。指标主体包含 8 个维度, 包括 25 个一级指标, 203 个基本指标。在投入方面, 主要包括科技活动的人力和资本投入; 在产出方面, 主要包括科学技术与工程的学术产出, 产出的学术、社会和经济影响力以及高技术产业发展情况; 创新体系的要素包括基础设施条件、公民的科学素质及对科学的态度等指标。指标的基础数据, 主要来自经合组织、世界银行、《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》等国内外公开统计数据 and 专项调查数据。

3 中国科技与创新发展的位势

综合国内外科学技术指标研究情况,可以总结出中国科技与创新发展的现状。

1) 中国科技人力资源总量居世界首位且高速增长,但平均水平和分布比例与发达国家相比存在较大差距。截至2015年,中国科技人力资源总规模达8640万人,R&D人员总量与规模增速均居世界第一,学历总体结构呈现出金字塔特征;R&D人员从业领域分布比例差异较大(试验发展占81.8%、基础研究占6.7%、应用研究占11.5%)。平均来看,中国就业人员中从事R&D活动的人员仅为49人年/万人,大幅落后丹麦、瑞典、韩国等研发强国;研究人员仅占R&D人员的43.1%,与俄罗斯接近,大幅低于西方发达国家水平。

2) 中国教育事业迅速发展,但学生“解决问题”能力与高等教育的国际吸引力有待提高。教育数据表明,中国高等学校数量稳步增长,民办普通高等教育占比上升,2015年民办高校占比为28.6%,自然科学与工程领域学生数量稳步增长;中小学实验仪器达标率、实验室人均使用面积和人均实验设备资产逐步上升。但从解决问题维度看,仍有约3成学生在知识技能、数学理解、运用规则等方面达标率较低;从国际吸引力看,2013年中国输出留学生70余万人,但接收留学生仅为10万人,明显落后于美国(85万人)、英国(42万人)等发达国家。

3) 中国R&D经费投入和国际论文发表数量已居世界前列,但投入强度不高,高水平科技成果影响力不佳。2015年中国R&D经费支出约14万亿元,居世界第2,2001—2015年经费年均增长率为19.0%,居世界第1。但从投入强度(经费投入/国内生产总值)看,仅为2.07%,明显落后于韩国(4.23%)、日本(3.49%)等,也落后于美国(2.79%)水平;同时,中国3类R&D经费(基础研究、应用研究、试验发展)投入中,基础研究经费为716.1亿元,仅占全部R&D经费的5.1%,是美国的19.5%、日本的83.2%。在国际论文发表方面,2006—2015年中国国际论文发表数量为157.85万篇,占全球总量的

13.56%,国际论文被引总频次为0.14亿次,居全球第5,但引文影响力仅为9.05次/篇,排名全球第130位;2006—2015年全球共有473人次获国际科技奖项,其中美国202人次,欧盟139人次,英国61人次,而中国仅有10人次。

4) 中国大型科研仪器建设投入持续增加,自主创新取得成效,但高技术行业发展速度差异大,地区分布集中度高。2008—2014年中国大型科研仪器数量的年增长率为16.4%,重点高校大型科研仪器快速发展,各地区促进仪器开放共享的激励引导机制不断创新,重大科研基础设施建设势头强劲,航空航天领域、现代交通领域和海洋领域的科研仪器国产化比例已经分别提升至43.6%、47.9%和43.5%。2015年中国高技术产业营业收入为14.0万亿元,其中,电子及通信设备制造业占比56.0%,东部沿海地区高技术产业营业收入占全国高技术产业收入的71.4%。

5) 中国具备科学素质的公民比例不断提升,但呈现东高西低特点,与科技强国仍有显著代差。近年来中国公民科学素质显著提升,东部沿海地区与西部欠发达地区的差距进一步拉大,其中长三角、珠三角、京津冀三大区域的公民科学素质水平处于领先地位。2015年中国具备科学素质的公民比例为6.2%,仅相当于美国1991年、欧盟1992年、日本2001年水平。

4 结论

4.1 当前科学技术指标研究的特征与不足

目前,国内外权威机构开展的科学技术指标研究一般包括4个研究内容:R&D经费、科技活动产出、创新主体的R&D活动、科技活动的产业化和经济效应。纵观国内外科学技术指标评价体系的研究,可以发现其发展和演进具有以下特征。

1) 注重评价指标的国际比较。各类科技指标的比较主要体现在两个维度:国际或地区间的比较和本国或地区在时间序列上的比较。国际或地区间的比较要求指标的数据具有良好的可获取性,时间序列上的比较要求指标体系具有相对稳定性和

可持续性。

2) 重视指标分析的多样表达。以日本《科学技术指标》为例,尽管 150 个指标的体量并不复杂,但在同一大类的指标下又分为描述型、分析型和评价型的具体指标,每一大类指标的分析角度也较多,同时还注重数据的可视化表达与关联性分析。

3) 强调指标数据的应用分析。各科技指标体系不仅用于评价各国或地区科学技术与工程的发展状况,而且还将识别先进水平并发现差距作为研究的重要内容,旨在为政府和决策机构提供支撑。

为丰富完善中国的科学技术指标体系设计,在总体把握和借鉴国内外已有研究共识的基础上,还应当充分认识到当前各科技指标研究存在的不足。

1) 对科技产出的质量关注不够。科技产出是国家或地区科技实力的重要体现,若仅以科技成果例如发表论文、专利的数量等衡量科技产出,无法反映其真实发展水平。

2) 缺乏对科技活动环境条件因素的客观评价。环境条件是科技活动效果的重要影响因素,现有研究大多采用主观调查数据,仍需进一步完善环境因素的客观评价指标。

3) 缺少对关键技术领域的分析和研判。现有的研究工作着重关注科技发展水平的宏观评价,对关键技术领域比如国防科技关键技术领域未有详实比较分析。

4.2 启示与建议

世界各国和国际组织都非常重视科学技术指标,研究起步较早,并已取得一系列研究成果。通过分析和总结国外的科学技术指标研究,可以借鉴其相关经验对中国的科学技术指标研究进行改进。

1) 扩充完善现有的指标体系。中国的科学技术指标研究尚未涉及关键技术领域的评价分析,可以考虑在目前的基础上,补充有关国防科技关键技术领域的相关评价指标。

2) 创新指标数据的收集和分析。中国科学技术指标中普遍采用的是政府统计数据,也可以考虑设立专项调查项目,结合大数据、知识图谱、人工智能等先进技术手段改进对指标的测度。

3) 加强指标体系的国际合作。目前中国科学

技术指标研究中涉及的国际比较还相对较少,在指标设计、分析、数据平台的开发和共享等方面都需要与国际教育、科技部门、研究机构等进行广泛深入合作。

参考文献 (References)

- [1] 张志强, 田倩飞, 陈云伟. 科技强国主要科技指标体系比较研究[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(10): 1052-1063. Zhang Zhiqiang, Tian Qianfei, Chen Yunwei. Research on main scientific and technological indicators of science and technology power[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(10): 1052-1063.
- [2] Klaus S. The global competitiveness report: 2018[EB/OL]. [2018-10-29]. <https://www.weforum.org/gcr>.
- [3] Soumitra D, Bruno L. The global innovation index 2018 [EB/OL]. [2018-09-19]. <https://Creativecommons.Org/licenses/by-nc-nd/3.0/Igo>.
- [4] National Science Board. Science and engineering indicators 2018[EB/OL]. [2018-09-19]. <https://www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/assets/nsb20181.pdf>.
- [5] 陈钰, 徐英华. 从《科学与工程指标》看世界科技创新格局[J]. 全球科技经济瞭望, 2018, 33(1): 52-57. Chen Yu, Xu Yinghua. A study of world S&T innovation development based on SEI report[J]. Global Science, Technology and Economy Outlook, 2018, 33(1): 52-57.
- [6] 方陵生, 梁偲. 美国《2018 科学与工程指标》: 全球发展趋势[J]. 世界科学, 2018(3): 31-36. Fang Lingsheng, Liang Si. America 《2018 Science & Engineering Indicators》: The global development trend [J]. Global Science, 2018, 3: 31-36.
- [7] 文部科学省科学技术·学术政策研究所. 科学技术指标 2018[R/OL]. <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/1103-5/3071/182/NISTEP-RM238-FullJ.pdf>. National Institute of Science and Technology Policy, Tokyo. Japanese science and technology indicators 2018[R/OL]. <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/3071/182/NISTEP-RM238-FullJ.pdf>.
- [8] 徐婕. 日本科学技术指标概览及对中国的启示[J]. 全球科技经济瞭望, 2016, 31(3): 51-57. Xu Jie. Introduction and enlightenment of Japanese S&T indicators[J]. Global Science, Technology and Economy Outlook, 2016, 31(3): 51-57.
- [9] OECD. Science, technology and industry scoreboard 2017. [2018-09-19]. <http://www.oecd.org/sti/oecd-science-tech>

nology and-industry-scoreboard-20725345.htm.
[10] 中国科协创新战略研究院. 中国科学技术与工程指标
[M]. 北京: 清华大学出版社, 2018.
Institute of Innovation Strategies, China Association of

Science and Technolog. China science, technology and
engineering indicators[M]. Beijing: Tsing University
Press, 2018.

Study of science and technology indicators system and evaluation

WU Yu, LI Muzhi, LI Yantong

Centre for Assessment and Demonstration Research, Academy of Military Science, Beijing 100091, China

Abstract There is a long history of evaluation indicator system and research about input-output of national science and technology activities, some representational research results with important influence have been achieved. In this paper, the main international scientific and technological indicators are analyzed, the characteristics are summarized and the deficiencies are discussed. Based on the existing scientific and technological indicator research framework of our country, some suggestions focusing on indicator system design, data analysis and international cooperation are proposed according to the strategic target of being in the forefront of innovative countries and building a powerful country in science and technology.

Keywords scientific and technological indicators; science and technology evaluation; R&D activities ●



(责任编辑 刘志远)



聚焦新时期微生物学研究的“知”与“行”
——中国科协第381次青年科学家论坛9月20—23日在西南大学召开