

科学仪器设备创新的内涵、特征与评价

伊彤 常静 王海峰
(北京科学学研究中心, 北京 100089)

摘要: 本文从理论上对仪器、仪表、设备、装备、设施、科学仪器设备等概念进行辨析, 提出科学仪器设备创新不同于一般意义上技术创新的内涵和特点, 并在借鉴相关产业创新评价指标体系的基础上, 建立科学仪器设备产业创新评价指标体系。

关键词: 科学仪器设备; 创新规律; 评价指标体系

中图分类号: C93

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2014.06.006

Connotation, Characteristics and Evaluation to Scientific Instrument Innovation

Yi Tong, Chang Jing, Wang Haifeng

(Beijing Research Centre for Science of Science, Beijing 100089)

Abstract: Based on a preliminary theory research, this paper points out the differences between the following confusing concepts: Instrument, equipment, meter, armament and facility. It puts forward some new ideas on the connotation and characteristics of scientific instrument innovation, which is different from the general technical innovation. Furthermore, learning from the literatures regarding to other industry innovation, this paper attempts to establish an evaluation system regarding to scientific instrument innovation.

Keywords: scientific instrument, innovation regularity, evaluating indexes system

1 引言

科学仪器设备创新是科技创新的重要“基石”, 在国家科技、经济和社会发展中占有重要战略地位。近年来, 科学仪器设备创新日益得到国家有关部门的重视和支持, 对重大科学仪器设备研发与应用的支持力度逐年加大。相形之下, 目前学界对于科学仪器设备创新的理论研究则显

得相对缺乏。本文主要围绕科学仪器设备创新的内涵、特点和评价等问题开展研究, 在科学仪器设备创新的理论研究方面进行了初步探讨。

2 科学仪器设备创新的基本内涵

2.1 相关概念辨析

谈到科学仪器设备, 通常涉及几个与之相关的重要概念, 即仪器、仪表、设备、装备、设施

作者简介: 伊彤* (1967-), 女, 北京科学学研究中心研究员, 主要研究方向: 科技战略、科技创新、科技管理; 常静 (1982-), 女, 北京科学学研究中心助理研究员, 主要研究方向: 科技创新、科技管理、科技政策; 王海峰 (1983-), 男, 北京科学学研究中心助理研究员, 主要研究方向: 科技战略、科技管理、科技统计。

基金项目: 北京市科学技术研究院创新团队计划项目“科学工具自主创新与发展前景研究”(IG2013-02-N); 国家科技部创新方法工作专项项目“重大科学仪器项目管理现状、需求及影响因素研究”(2012IM040500-01)。

收稿日期: 2014年4月4日。

等。

(1) 仪器。按照现代汉语词典中的解释,“仪器”是指科学技术上用于实验、计量、观测、检验、绘图等的比较精密的器具或装置。著名科学家王大珩院士曾指出,“仪器是认识世界的工具,机器是改造世界的工具,而认识世界是改造世界的前提”。

(2) 仪表。按照百度百科的定义,仪表是指测定温度、气压、电量、血压、流量等仪器的统称。这类仪器外形似计时的表,能由刻度直接显示数值。因此,从内涵界定来看,相对于仪器而言,仪表的范畴要更小一些,单指用来测量各种自然量并以数值形式反馈测量结果的一类仪器。随着科学技术的发展,仪器和仪表的功能都在不断增加,界线也越来越模糊。人们已经习惯于将仪器、仪表统称为仪器仪表或简称为仪器。此外,在现实应用中,工程技术人员一般将科学研究(或科学实验)中应用的称为仪器,将工业上应用的、与工艺设备相连安装长期连续使用的称为仪表。在这种情况下,“科学仪器”和“工业仪表”是比较典型的称谓。

(3) 设备。按照现代汉语词典的解释,设备是指进行某项工作或供应某种需要所必需的成套建筑或器物。所以,与科学仪器概念相关的设备,通常指进行科学研究工作所必需的成套器物。换言之,其概念更加强调仪器装置的成套集合。在这种情况下,体积大是设备的突出特点,其多为一群中大型机具器材集合而成,无法拿在手上操作而必须有固定的台座,使用电源之类的动力,并一般放置在专属的房间中运作,例如大型核磁共振仪等。

(4) 装备。“装备”多用来指为军队配备的武器、军装、器材、技术力量等,也用来指为工矿、企业配备的机器和技术力量。因此,从装备的概念内涵来看,其不仅包括了机器之类的物化内容,也包括了有技术力量所指的技术人员以及配套的技术资料等内容。具体来看,在各种装备中与仪器仪表相关的产品很多,例如环保装备中的环境监测专用仪器、环境治理相关仪器仪表、

便携式污染事故应急监测仪器等。

(5) 设施。相较之下,“设施”的概念内涵则更为复杂。按照现代汉语词典的解释,其多用来指为进行某项工作或满足某种需要而建立起来的机构、系统、组织、建筑等,例如工程设施、卫生设施、服务设施等。就开展科学研究所需要的科研设施而言,其不仅包含了各种科学仪器设备,同时也包含了与之相关的实验室建筑等内容。总体来看,在设施的布置过程或完成的设施中都与仪器仪表有着密切关系,例如风洞试验设施中包括了大量的测量仪器设备,同时还需要洞体和驱动系统等构成。

(6) 科学仪器设备。根据科技部《关于〈国家重大科学仪器设备开发专项管理办法(试行)〉解读》,科学仪器设备是对事物的组成、结构、相互作用机理与机制、变化规律趋势等进行检测表征,并获得相关科学数据和图像的工具。可见,科学仪器设备是科学技术发展的重要工具,是人类认识世界能力的延伸。正像飞机、汽车、轮船拓展了人腿行走的功能,科学仪器设备大大拓展了人类眼睛、鼻子、耳朵、舌头等认识世界的功能。“科学仪器设备”较之“仪器设备”,更加突出了仪器设备的主要用途和特点,即用于科学研究活动且具有技术密集特征。换言之,相对于专门应用于生产和生活实践的仪器设备,如炼钢设备、汽车仪表等就不在科学仪器设备之列。

为简便起见,下面暂且将“科学仪器设备”简称为“科学仪器”。

2.2 科学仪器创新

“创新”一词最早由美国经济学家熊彼特于1912年出版的《经济发展理论》一书中提出。关于科学仪器创新,目前尚无明确界定,一般是将其纳入科技创新的范畴。

科学仪器创新也是创新活动中的一类,是指通过研究开发形成新原理、新方法和新技术,通过工程技术手段形成新的科学仪器,最终应用于具体的科学研究活动或投放市场获取经济效益的过程。科学仪器创新既包括通过拥有自主知识产权的核心技术创造出新仪器的整体创新,也包括相关元器

件、零部件、功能模块的局部突破和创新。

科学仪器创新通常从观测、测量、分析等科研需求出发,为了满足特定领域的科学研究(或试验)目的、实现某个研究目标、得出相关研究结论,由开发人员构想出基本概念并进行设计,通过工程技术手段对不同功能部件进行研制、组合、装配后,生产出能够应用于科学研究实验、产生实验数据或结论的科学仪器,并通过实际反复应用,不断完善各部件功能和仪器整机的性能和质量,从而保证最终完成科学研究,推动人类认知能力提升和经济社会发展(图1)。

毫无疑问,科学仪器应具有前沿性、先进性、科学性,其研发制造主要是为科研服务的,众多的科研机构、大专院校、检测部门等就是科学仪器创新的主要用户。除极少量的尖端科学仪器外,大多数科学仪器都产自企业,这些科学仪器创新最终追求的同样是市场价值实现。因而对于科学仪器而言,满足科学研究的需要同满足市场用户的需求是统一的,企业必然也是科学仪器创新的核心主体。

目前,我国各高校、科研机构、国家和省级重点实验室、分析测试中心、相关政府部门装备的科学仪器,绝大部分都是进口产品;能源、材料、环境、公共安全等战略性新兴产业和民生领域急需的、量大面广的科学仪器国产率不高;依靠进口科学仪器开展科学研究,必然导致大量跟踪模仿型的科研路径,已成为限制我国原始创新能力提高的重要因素。究其原因是多方面的。由于科学仪器创新是典型的复杂系统工程,从技术研发看,涉及多领域、多部件、多模块;从工作链条看,涉及研究设计、应用开发、工程化开发和产业化应用等环节;从参与主体看,涉及政、产、学、研、用等主体。因此,只有各领域、各环节、各主体实现协调互动,才能保证科学仪器创新过程的顺利推进。

3 科学仪器创新的主要特点

作为独具特色的一类创新活动,科学仪器创新不仅具有一般意义上技术创新的基本特征,如需要较强的基础理论研究作为源头、以市场需求为导向、以企业为创新主体等,同时还具有自身的独特规律和特点。

3.1 科学仪器创新大都包含“硬”和“软”两方面

科学仪器既要有获取检测数据、获取信息的各种硬件组成,更应包含操作和控制软件、数据处理软件、数据库、模型等软件系统。软件已成为仪器的重要组成部分。在现代仪器的设计中软件的工作量已占70%~80%,并在某种程度上决定了仪器的功能和性能^[1]。随着现代信息技术和网络技术的快速发展,智能化的操控系统、丰富的数据库、强大的数据分析处理功能、人性化的人机界面,已成为决定一种科学仪器水平和档次的重要标志。因此,对相应的软件开发要求更高,这是科学仪器创新特有的内在规律和本质要求,也是在仪器开发项目管理中必须重视的问题。

3.2 科学仪器创新对可靠性稳定性等指标要求极高

质量要求在科学仪器创新中体现得极为突出,可以说,质量是科学仪器的生命线。科学仪器创新不仅要求仪器性能的先进性,还极为看重仪器设备的可靠性和稳定性等,相对于发表学术论文等常用创新评价指标而言,可靠性应该是评价科学仪器创新成功与否的重要指标。与国外发达国家产品和技术相比,国产科学仪器虽然技术指标差距不大,但可靠性方面和国外产品差距很大。不少国外产品在交货以后的保修期已经延长到5年、10年,甚至提出终身保修的概念,而多数国产科学仪器仍处在保修期一年的水平上。可靠性问题已经成为制约我国科学仪器产业发展和技术创新的严重障碍。

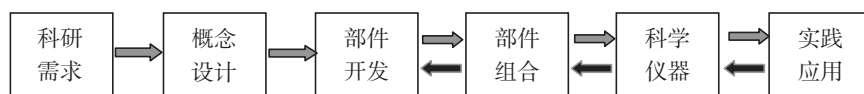


图1 科学仪器创新过程示意图

因此，在科学仪器的创新活动中，需要不断加强研究活动的质量控制和风险防范，并将质量管理理念贯穿于整个科学仪器创新的全过程之中。除了性能指标测试之外，还要采取严格的质量保障措施，建立严格的质量管理和控制体系，增强对科学仪器质量的过程监理和验收考核，将质量管理贯穿于仪器开发的全过程中。一是要求仪器开发者建立包括良好系统集成、档案管理在内的质量管理方案，并在实施各环节具有严格的质量技术文件；二是建立监理机制，由第三方机构对仪器设备开发的方案设计、工程工艺流程、应用研究以及产业化开发全过程进行监督和技术指导；三是重视成果的质量评价，鼓励仪器开发的组织部门在项目验收前建立科学仪器成果的质量评价环节。

3.3 科学仪器创新更加注重应用开发和用户参与

科学仪器创新所产生的最终成果，应满足某一特定领域的科学研究需要，能够应用于相关的研究实验，产生相应的实验数据或图像。而对于该仪器设备的使用者而言，其需求往往存在一定差异。要满足这些更为细化的需求差异，需要通过应用开发的方式来解决。

所谓应用开发，是指与科学仪器使用相关的配套软件、试验方法、数据库、相关零部件等的开发，它与最终用户的使用需求紧密相关，面向的使用者是具备一定科研开发能力的科研人员，并能在研发和使用中进一步发挥作用，形成新的创新产品或服务。

从创新链条来看，一般意义上的科技创新可以概括为：基础研究→应用研究→产品开发→市场应用；而科学仪器创新则可以概括为：基础研究→应用研究→产品开发→应用开发→市场应用^[2]（图2）。

在应用开发环节，需根据不同用户的需求或不同行业的特征，研制具有一定差异性的应用开发软件、数据库等系统，使用户在使用过程中更加便捷。

科学仪器开发是一个相对漫长的过程。它往往起源于一个创新的想法或理念，基于此形成一个关键部件，然后逐步发展成整机，进而再开发出与之配套的方法和软件，最终走向大规模应用。在这个过程中，要突出强调其产品导向、应用导向，自始至终与用户保持沟通和交流，准确、全面地掌握用户对科学仪器的实际需求，依此不断改进和完善设计方案，并由用户最终确认创新成果。也就是说，用户必须全程参与整个创新过程。一是在设计阶段就邀请潜在的仪器用户共同参与仪器开发；二是用户要参与仪器应用方法的开发和应用示范。只有科学仪器最终用户的需求得到满足，才意味着科学仪器创新的真正成功。这方面可以通过在科学仪器开发项目管理中设计相关制度安排来加以体现。

3.4 科学仪器创新更体现为多学科融合的集成创新

随着多学科的交叉融合以及科学前沿的迅速拓展，计算机、激光、超导等高新技术在科学仪器中得到广泛采用，科学仪器的性能不断改

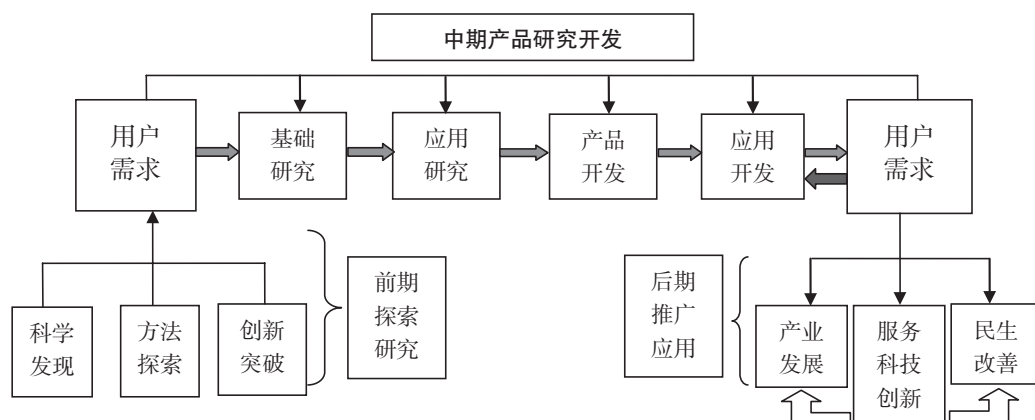


图2 科学仪器创新的不同阶段示意图

善,科学仪器作为一种高技术新产品,是物理、化学、生物、材料等多种科学知识以及光、机、电、计算机等多种先进技术(包括软件和硬件)的高度集成。近年来,运用新原理、新技术、新材料、新工艺等最新科技成果集成的新仪器层出不穷。例如,计算机技术和信息技术的广泛应用已使仪器设备高度智能化。许多仪器已只用单键操作,用于空间开发的分析仪器甚至完全没有控制旋钮^[1]。

科学仪器作为多学科、多技术有机集成的高技术产品,其开发和应用是一项复杂的系统工程,涉及产、学、研、用等方面,具有较强的工程性和系统性。一种重大科学仪器往往由成百上千个零部件组成,且各组成部分往往是一环扣一环。为此,科学仪器开发既涉及现有知识产权的合理使用,又涉及新产生知识产权的创造和保护。

从我国科学仪器现阶段发展水平和国际竞争形势看,要在短时间内取得科学仪器整体的原创性突破难度较大,目前更可行的是采用“整体集成+局部创新”的模式,在跟踪模仿和消化吸收有关键技术的基础上,根据实际用户需求,对科学仪器中已不能满足实际工作需求的控制系统、数据处理系统及其软件等进行研究开发或技术升级,恢复和提升科学仪器的功能。同时,还可以在创新产品细分类别、改进产品性能的同时,进一步研究开发与现有科学仪器配套的关键部件,拓展现有科学仪器功能,提升其性能指标,形成新的、更加高效且适合更多用户研究需求的产品。

3.5 科学仪器创新兼具经济属性和社会属性

科学仪器创新既有经济效益,也有社会效益,后者往往体现为对科技进步、国家和社会发展的促进和保障。一方面,如果用户的需求量较大,市场前景广阔,必然能够带动批量生产,抢占市场份额,实现经济效益最大化。另一方面,对于制造成本高昂、战略意义或社会效益突出但需求量不大的科学仪器,如正负粒子对撞机、同步辐射装置、激光遥测装置、射电望远镜等具有特定用途的高精尖科学仪器,主要用于国家战略性、前沿性研究,是我国在特定领域参与

国际竞争必备的重大仪器设备。这类科学仪器的创新研制极为重要,但其最终成果并不需要大规模产业化。对这类项目,国家应该出台相关政策给予补贴,以支持鼓励面向少量需求的重大科学仪器的创新研制。

4 科学仪器产业创新的评价

我国科学仪器产业起步较晚,与发达国家存在较大差距,相关部门在推动国产科学仪器产业创新发展时,应结合我国的国情和特色,采取有的放矢的政策举措。因此,有必要从产业(企业)创新的角度建立一套科学仪器创新评价指标体系,并在此基础上开展评价工作,以准确把握我国科学仪器创新现状和问题,为政府相关政策制定提供参考依据。

4.1 评价指标设计的基本原则

第一,系统性原则。科学仪器创新涉及多个环节和多个层面,各个环节和层面之间又存在一定的相互影响。因此,在建立评价指标体系时,需要有相应的指标来反映这些环节和层面的功能与特点,相应的指标要具有高度的系统性和概括性。同时,指标体系不能只是指标的简单堆积,而是具有层次结构的指标集合,通过指标体系的层次结构,能够有序反映科学仪器创新在某一环节或层面的实质内容^[3]。

第二,科学性原则。科学仪器创新评价指标体系的建立,既要考虑到指标结构整体的合理性,从不同侧面设计相关指标反映产业创新状况,同时也要考虑到指标具有较好的可靠性、独立性、代表性和统计性;既要结合一般的产业创新评价指标,同时也要体现科学仪器创新特点的相关指标。设立的指标体系应以理论研究作为支撑,不仅有足够的涵盖面,能够从不同角度、各个层次来反映科学仪器产业创新的总体状况,而且指标间还要具有一定的内在联系,便于进行定量和定性分析^[3]。

第三,可操作性原则。从理论上讲,完全可以设计出一个理想的、逻辑自洽的评价指标体系,来全面反映科学仪器创新状况,但在实际过

程中，往往会遇到数据难以准确统计和收集、定性指标过于主观、统计数据来源不稳定等一些难以操作的情况。因此，设计的指标体系的一定要具有可操作性。主要包括3个方面的内容：一是数据的可获得性，数据资料要尽可能通过查阅官方统计数据或年鉴获得，对于无法直接采集到数据的理想指标，可以采取用指标替代等办法加以解决；二是数据的可量化，定量指标数据要保证其真实、可靠和有效，而定性指标或经验指标尽量少用；三是评价指标体系不宜过分复杂，选用的指标要简洁明了，综合性强，重点突出^[3]。

第四，可比性原则。进行科学仪器创新评价，目的在于进行对标和比较，并在此基础上正确评价我国科学仪器创新的实际水平及所处的位置，寻找和分析不同国家科学仪器创新的差距。因此，在设置评价指标时，必须考虑设置的统计指标具有可比性，要选用具有共性的指标，最大限度地利用和开发现有统计系统发布的统计数据，并且要明确各指标的涵义和统计口径，确保评价结果能够进行标杆比较^[4]。

4.2 评价指标体系的框架模型

在分析比较现有高技术产业创新评价指标^[5-6]的基础上，我们构建了由创新资源、创新活动、创新产出、创新环境组成的科学仪器创新评价指标体系的框架模型（图3）。

（1）创新资源

该模块主要反映科学仪器产业潜在的技术创新能力，主要通过科学仪器创新所需的各种创新

要素资源进行表征，具体来看，由人、财、物3方面的资源组成。①人力资源是实现科学仪器创新的决定性要素。鉴于科学仪器创新具备应用导向和“软硬并重”的独特特点，人力资源评价指标不仅包括反映产业内R&D人员数量和能力的一般性指标，同时，也包括了技术支持人员和软件开发人员的配备状况。首先，具有较高专业素质的技术支持人员，能够在技术服务中及时、准确地获取用户需求，强化科学仪器企业与其产品最终用户的交互联系，从而促进相关科学仪器产品的应用开发和性能优化；其次，软件开发在科学仪器创新中的重要意义越来越显著，因此相当数量的软件开发人员是科学仪器创新人力资源构成中必不可少的重要单元。②财力资源是开展科学仪器创新活动的基本经济要素。相对于科学仪器产业而言，其财力资源存量状况主要通过企业经营情况和盈利能力来体现。企业只有具备较高的主营业务收入和净利润，才能为科学仪器开发源源不断地注入资金。③物力资源是科学仪器创新的物质条件保证。其中，科研用固定资产和仪器设备是推动科学仪器技术创新活动的重要基础要件，而部件及原材料的进口依赖程度反映了高质量部件和原材料的可获得性和易获得性，这些将对科学仪器创新产品的质量产生重要影响。

（2）创新活动

该模块主要反映科学仪器创新活动的开展情况，主要包括技术研发和质量保障两个维度。技术研发状况主要通过企业在科学仪器技术研发活

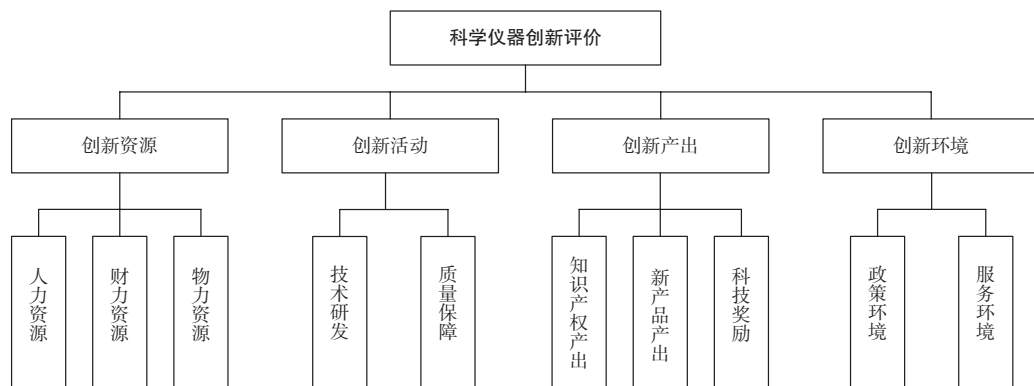


图3 科学仪器创新评价指标体系的框架模型

动中的经费投入来反映。具体来看,该评价指标包括了R&D经费支出占产品销售收入的比重等一般性指标。同时,对于科学仪器企业而言,还应包括软件开发和研发外包的经费支出。质量是科学仪器的生命线。为了考量科学仪器产业在创新活动中的质量保障水平,我们用企业的检测经费支出、质量管理体系认证情况、主要产品的质保期、主要产品平均故障间隔时间(MTBF)认证达标情况等作为主要评价指标。

(3) 创新产出

该模块主要反映科学仪器创新的具体成效,也是衡量科学仪器创新能力的最直接、最重要的指标维度,主要包括知识产权、新产品和科技奖励等3个维度。知识产权主要包括专利产出、标准制定、软件著作权等方面。新产品是科学仪器创新的最终产物。新产品推出速度和经济效益是衡量科学仪器产业创新产品产出水平的重要方面,其具体指标包括近3年的新产品推出数量、新产品销售收入、以及新产品销售收入占产品销售收入比重等。科技奖励同样是科学仪器创新的重要产出。行业内重点企业的科学仪器创新项目或产品是否能够获得国家或省部级的科技奖励,无疑在一定程度上反映了科学仪器产业的创新产出能力。

(4) 创新环境

该模块主要反映可能对科学仪器创新产生影响的外部因素,主要包括政策环境和服务环境两个维度。政策环境主要反映政府对于科学仪器创新的鼓励、引导和支持情况。由于“市场失灵”效应的存在,需要政府在相应环节发挥其宏观引导作用。具体来看,这种宏观引导往往通过财政资助、税收优惠、政府采购等手段实现。同时,良好的知识产权保护环境也将促进科学仪器产业的技术创新。因此,这些因素构成了政策环境维度的评价指标。服务环境主要反映科学仪器创新过程中的技术需求和资金需求能否从市场服务中得到满足。这些需求通常包括了质量检测、成果转化、投融资等。因此,从事这些相关业务的服务机构是否完备,将影响科学仪器创新效果,也成为评价科学仪器创新的重要方面。

4.3 评价指标体系的初步构建

基于上述框架模型,我们初步构建了科学仪器创新评价指标体系(表1)。

需要指出的是,该指标体系并不是最终的科学仪器创新评价指标体系,其中大部分评价指标还有待结合数据可获得性来进一步细化。该评价框架模型的建立,一是保证了各级评价指标之间的逻辑性,二是尽可能体现了科学仪器创新的独特性,对于今后更进一步的实证研究具有基础性意义。

表1 科学仪器创新评价指标体系

一级	二级	三级
创新资源	人力资源	研发带头人的学历水平 R&D人员占从业人员的比重 技术支持(售前、售后、应用研发)人员占从业人员比重 软件开发人员占从业人员的比重
	财力资源	主营业务收入 净利润
	物力资源	科研用固定资产价值 科研用仪器设备原值 部件及原材料的进口依赖程度
创新活动	技术研发	R&D经费支出占产品销售收入的比重 软件开发经费支出占产品销售收入的比重 研发外包费用占产品销售收入的比重
	质量保障	检测经费支出 质量管理体系认证情况 主要产品的质保期 主要产品MTBF指标认证达标情况
创新产出	知识产权	专利申请数 拥有发明专利数 软件著作权数 参与制定并发布的国家标准或行业标准数
	新产品	近3年新产品推出数量 近3年新产品销售收入 近3年新产品销售收入占产品销售收入比重
	科技奖励	获国家或省部级科技奖励项目数
创新环境	政策环境	国家层面的发展战略和资助计划 财政资金在科技活动经费筹集额中的比重 税收优惠政策落实系数 政府采购支持力度 知识产权保护程度
	服务环境	行业内重点实验室和工程研究中心数量 行业技术创新服务平台数量 金融机构贷款在科技活动经费筹集额中的比重

5 结语

本文针对科学仪器创新的基本内涵和主要特点，提出了一些新的观点，并尝试性地搭建了科学仪器创新评价指标体系的理论模型。通过这些研究探讨，期待能对政府层面加强科学管理、促进国产科学仪器创新提供一定的理论依据。

本文构建的科学仪器创新评价模型首次将产业创新评价与科学仪器创新相结合，较为系统和全面地体现了科学仪器创新不同于一般意义技术创新的特点。同时，该评价模型还有待于结合评价指标数据的可获得性进行合理简化，以籍此对国内外科学仪器产业的创新能力进行比较，找到差距和解决办法，为政府相关政策的制定提供科学依据。

感谢

研究期间，得到科技部政策法规司原副司长

李新男、科技部条件财务司郑健副处长以及陈会忠、张经华、秦竹、张四纯、董诚、吴家喜、余兴、杨智君等专家学者的指导和帮助，在此一并致谢。

参考文献

- [1] 吴波尔, 张渝英. 大力发展我国科学仪器事业加强技术创新 发展高科技 实现产业化[J]. 现代科学仪器, 2002(1): 8-16.
- [2] 吴家喜, 于忠庆. 重大科学仪器设备研发项目管理模式探讨[J]. 项目管理技术, 2011(12): 56-60.
- [3] 刘婧姝, 刘凤朝. 产业技术创新能力评价指标体系构建研究[J]. 科技和产业, 2007(11): 8-12.
- [4] 熊侃. 基于标杆管理的北京市科技成果转化研究[R]. 北京市科学技术研究院, 2012.
- [5] 张目, 周宗放. 我国高技术产业自主创新能力评价指标体系研究[J]. 科技管理研究, 2010(16): 46-49.
- [6] 国家统计局国家经济景气监测中心. 中国企业自主创新能力分析报告[R]. 2005.
- [7] 李新男, 科技部条件财务司郑健副处长以及陈会忠、张经华、秦竹、张四纯、董诚、吴家喜、余兴、杨智君等专家学者的指导和帮助, 在此一并致谢.
- [8] 冯端. 实验室是培养创新人才的摇篮——从卡文迪什实验室看实验室的作用[J]. 实验室研究与探索, 2008, 27(10): 1-5.
- [9] 闫康年. 英国卡文迪什实验室的传统与学风[J]. 科研管理 1980, (1): 68-71.
- [10] Mott N F. The Life in Science [M]. London: Taylor & Francis, 1986.
- [11] Crowther J G. The Cavendish Laboratory [M]. New York: Science History Publication, 1974.
- [12] Eve A S. Being the Life and Letters of Rt Hon [M]. Cambridge: Lord Rutherford, 1939.
- [13] Jenkin J. William and Lawrence Bragg, Father and Son: The Most Extraordinary Collaboration in Science [M]. Oxford: Oxford University Press, 2007.
- [14] Fitzpatrick T C. A History of the Cavendish Laboratory 1871-1910: With Portraits in a ColloTYPE and Other Illustrations [M]. Carlestone, SC: Nabu Press, 2010.
- [15] Dong-Won Kim. Leadership and Creativity: A History of the Cavendish Laboratory, 1871-1919 [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [16] Sarayreh B, Mardawi A, Dmor R. Comparative Study: The Nonaka Model of Knowledge Management [J]. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 2012(6): 45-48.
- [17] Gourlay S. Conceptualizing Knowledge Creation: A Critique of Nonaka's Theory [J]. Journal of Management Studies, 43(7): 1415-1436.
- [18] Yan A, Gray B. Bargaining Power, Management Control and Performance in United States-China Joint Ventures: A Comparative Case Study [J]. Academy of Management Journal, 1994, 37(6): 1478-1517.
- [19] Eisenhardt K M. Building Theories from Case Study Research [J]. Academy of Management Review, 1989, 14 (4): 532-550.
- [20] 赵万里, 郭宏义. 汤姆逊和卡文迪什学派的兴起[J]. 科学技术与辩证法, 1999, 16(6): 46-51.
- [21] 陈正洪. 20世纪卡文迪什的巅峰: 卢瑟福时期的研究[D]. 内蒙古: 内蒙古师范大学, 2005.
- [22] 孙倩. J.J. 汤姆逊与卡文迪什实验室[J]. 物理, 1998, 27(2): 117-120.
- [23] 闫康年. 卢瑟福与现代科学的发展[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1987: 62.

(上接第37页)