

· 基金纵横 ·

关于国际科学合作过程与效益的案例研究

——基于国家自然科学基金国际合作项目的案例

樊春良*

(中国科学院 科技政策与管理科学研究所, 北京 100190)

[关键词] 国际科学合作; 过程与效益; 国家自然科学基金委员会

DOI: 10.16262/j.cnki.1000-8217.2015.02.010

科学正日益地成为全球化的事业, 成为国家间相互联结的网络, 国际科学合作不断深入。2011年, 国际学术期刊已超过35%的论文是国际合作, 而之前15年总量仅为25%^[1]。国际科学合作不仅成为发达国家科学发展的主流, 在发展中国家也日益显著。从事基础研究的科学家越来越多地在国际化和网络化的开放环境中相互竞争、相互交流与合作。国际合作已成为各国科技政策与战略的一个重要内容。

国际合作对中国科学发展起到了十分重要的作用, 已成为中国促进科学发展的重要途径之一。在科学国际化和经济全球化趋势日益加深的背景下, 国际合作对中国科学发展将起到日益重要的作用, 因此, 需要深入研究中国国际科学合作中重要的规律性问题, 为政策的实施与管理提供依据。

国内外学术界对中国国际科学合作开展的研究主要分为两个方面: 一是从宏观政策与管理层面, 研究中国国际科学合作的政策与管理^[2-4]; 二是从国际合著论文的角度, 主要采取科学计量学的方法, 分析中国参与国际科学合作的发展态势、特点, 某一具体学科领域以及与某一具体国家科学合作的态势与特点^[5-11]。现有的研究对国际科学合作自身实践层面的活动涉及不多。科学计量学研究虽然可以很好地分析不同学科和国别领域国际合作的特点, 但局限于国际合著论文, 且依赖于具体的数据选择和模型, 对国际科学合作的过程发展的动力、机制及其更广泛的效益揭示不足。因此, 需要从经验研究的角度, 通过合作过程关键环节和因素的考察, 揭示合作研究的动力机制和效益, 总结规律性的认识。

本研究基于学术界相关的主要研究^[12-15], 提出国际科学合作活动运行的分析框架, 据此提出关于研究中国国际科学合作活动的主要科学问题, 开展案例研究。案例选择国家自然科学基金资助的国际科学合作项目。国家自然科学基金是中国国际科学合作的主要渠道之一^[16], 其资助的国际科学合作项目是中国国际科学合作的主要代表。本文力图通过案例研究, 探讨中国国际科学合作的动力机制、形式与效益以及相关的政策管理问题。

1 分析框架和研究问题

1.1 国际科学合作的基本概念和分析框架

Katz等将研究合作定义为研究人员一起工作, 以达到推进新科学知识生产的共同目标^[12]。合作的基本特点是围绕一个问题展开思想的交流: 这项研究需要怎样开展, 下一步试验怎么做, 检测什么样的假说, 建造什么样的仪器, 怎样把实验结果与理论模型联系起来。当研究涉及需要性能不同的仪器设备、不同领域或不同来源的数据以及独特的资源时, 合作的动力就大大增强, 以求思想、仪器、数据和资源的互补与共享, 实现更大的研究目标。当合作跨越不同的国界, 合作成为国际合作。

从研究问题、学科以及研究领域层面看, 国际科学合作具有客观的驱动因素, 与研究问题、学科特征有关, 例如, 数据在生命医学、遗传学, 资源在地理学、海洋地理、土壤学, 仪器在高能物理、天文学的国际合作中发挥着重要的作用^[13]。从科学家活动层面, 又有一系列主观的动机。例如, 利用专家的专业技能; 利用仪器, 资源或没有的材料; 获得资金; 获得

收稿日期: 2014-11-26; 修回日期: 2014-12-21

* 通信作者, Email: fcl@mail.casipm.ac.cn

声望或显示度;职业上的进步;提高效率;学习与技术相伴的诀窍;更快地取得成果等^[14]。在实际过程中,合作关系的建立要通过一个过程,常常从非正式交流开始。合作具有多种多样的形式,合作与交流是不可分的。合作的成果通常以国际合著论文和合作申请专利来衡量,但国际科学合作有着丰富的内

容,其结果和效益也有着广泛内涵。

我们可以把国际科学合作分为几个重要的方面(1)合作关系的建立,包括合作的客观需求、主观动机以及合作的基础;(2)合作开展的各种形式及其功能;(3)合作的效益:合作产生的各种直接和间接的效益。如图1所示。

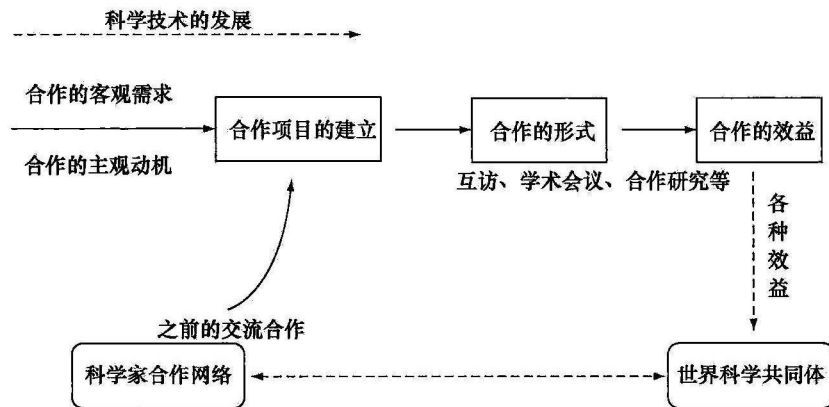


图1 国际科学合作过程与效益模型示意图

1.2 研究问题

根据以上分析,本文主要考察如下几个科学问题:(1)合作关系是如何建立起来的?合作的基础是什么?(2)合作的客观驱动因素和主观动机是什么?(3)合作有哪些主要的形式?(4)如何衡量国际科学合作的效益?(5)以上方面的研究发现的政策含义是什么?

2 研究方法和案例选择

本文选择国家自然科学基金资助的国际合作项目为案例,从以上几个科学问题对所选择的案例做深入研究。

国家自然科学基金委资助的国际(地区)合作项目包括国际合作研究和国际合作交流两类项目,国际合作研究项目是主体。国际合作项目包括两类项目:重大国际(地区)合作研究项目(2013年以后更名为重点国际合作研究项目,下同)和组织间合作研究项目。组织间合作研究项目是国家自然科学基金委员会在组织间协议框架下,与境外基金组织或学术机构共同组织和资助科学技术人员开展的双边或多边合作研究项目^[17]。虽然重大国际(地区)合作的项目数和经费数占较大比重,但因为组织间合作项目通过共同征集、分别或联合同行评议、国际评审、共同批准等多种评选方式进行遴选,在资助机制和项目遴选方面保持高质量,更能体现自然科学基金国际合作项目的特点,因此,选择以组织间合作项目为典型案例研究的代表。

根据基金委国际合作局的推荐,选择2002年至

2009年启动的20个组织间合作项目作为案例研究(其中一个项目为3个单位共同承担),涵盖基金委资助的主要学科领域。项目包括中日韩A3前瞻计划和双/多边协议项目,合作国家(地区)和组织包括:日本,奥地利、美国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯、芬兰、丹麦、法国、中国香港、国际玉米小麦改良中心(CIMMYT),所选择案例涵盖的国家(地区)和学科具有代表性。

本研究的研究方法是,根据本研究的科学问题,设计案例调研提纲和案例撰写要求,各备选案例单位完成案例报告,共收到16个项目的18份详细案例;就一些重要问题,采访案例项目负责人或主要完成人;根据国内外相关研究和最新进展,进行比较分析和综合研究。

本研究的案例主要是课题组长领导的自由探索研究的国际合作,代表基础研究国际合作的基本类型,没有涉及到大科学、大项目的国际科学合作,也没有涉及研究所组织间的国际合作模式,以及其他资助渠道资助其他类型的国际合作。

3 主要发现

3.1 合作关系是如何建立起来的

本案例研究的大多数项目都有多年合作的基础,因此容易形成共同的研究题目,从合作关系的建立来说,可以分为两类:

(1)科学家个人之间的关系。合作关系是通过长期的国际学术交流、学术界的师承关系等形成的。

许多合作关系是研究人员早年在对方单位学习和工作时与对方建立并保持下来的。其中，博士后是建立合作关系的一种重要的途径。本案例研究中有大量这样的例子，如“世界乐平统与古生代末生物大灭绝”项目的主持人金玉玕院士早年在美国史密斯研究院做博士后，与该院著名的演化古生物学家 D. Erwin 建立了长期友好的合作关系；项目主要成员沈树忠研究员，通过 20 世纪 90 年代末在澳大利亚 Deakin 大学的博士后研究，与大洋洲国际古生物学会主席著名的二叠纪专家石光荣教授建立了长期稳定的合作关系。以上两位外国学者在该项目中分别为美方和澳方的主要合作者。反过来，国外科学家在中国学习和工作与中国科学家建立长期合作关系的例子几乎没有。另外，中国的科研人员与海外的外籍华人学者和中国留学生有着深厚的联系，在许多方面促进了中国的国际科学合作发展。本案例研究中，洪先龙教授、程旭和严晓浪共同主持的“系统芯片的设计方法及其 EDA 关键技术的研究”合作项目充分体现了这一点。

(2) 组织间的合作。有的合作项目是在双边机构长期的合作基础上开展的。本案例研究中机构合作的典型是北京师范大学与位于奥地利的国际系统风险研究所 (IIASA) 的合作，双方从 2001 年开始就开展了洪水灾害风险评估方面的合作研究。

3.2 国际科学合作的客观因素和主观动机

(1) 合作的客观因素

国际科学合作有着内在客观驱动要素，最重要的是学科特征。本案例合作项目涉及的学科有材料科学、能源科学、环境科学、计算机科学、微电子学、信息科学、生命科学、医学等。

本案例研究的国际科学合作项目可以分为几种类型：(i) 基础前沿问题研究，如“新型介孔材料的合成与结构解析”、“亚 10 纳米线新奇的物理化学性质的探索”等项目；(ii) 资源依赖型研究。依据特有的地理资源和生物地貌等，围绕某一个资源环境问题开展研究，如“中国洞庭湖区水灾综合评估模型与减灾对策研究”、“珠江三角洲大气持久性有机污染物的环境地球化学与健康风险”等项目；(iii) 共同面临的全球性问题，如“温室气体控制技术与战略研究”项目；(iv) 技术任务导向型研究。为解决一个技术目标，分工协作，优势互补，如“高性能热电转换材料和太阳能高效热电—光电复合发电技术”。

考察这些合作的过程，数据、资源、仪器和思想这四种驱动要素发挥着作用，但常常不是一个因素

单独地发挥作用，而是两种或多种因素共同起着作用，可以分为两类：(i) 一个领域的思想、技术和应用的分工与合作。赵东元院士主持的中日韩 A3 前瞻项目“新型介孔材料的合成与结构解析”，中方的优势在材料的合成，日本在解析，韩国在应用。清华大学薛其坤院士主持的 A3 项目“亚 10 纳米线新奇的物理化学性质的探索”，各方重点分工如下：日方负责纳米尺度上的 10K 温度以上的电输运测量；韩方负责 10K 温度下的测量；中方负责磁场下的测量。三方都进行测量制备，共享样品；(ii) 人员、数据、仪器、模型互补的交流与合作。何中虎教授主持的与国际玉米小麦改良中心 (CIMMYT) 合作的“小麦条锈病和白粉病慢性机理及其分子遗传学基础研究”合作项目，中方的合作优势是分子遗传基础好、有研究生、独特研究材料，合作方的优势是专家经验丰富，知名度高。北京师范大学史培军教授与奥地利国际系统风险研究所 (IIASA) 合作的项目“中国洞庭湖区水灾综合评估模型与减灾对策研究”，中方具有大量的经验和数据，合作方具有有效的洪水灾害风险管理模型与示范。金玉玕院士主持的与美、俄、澳方合作的项目“世界乐平统与古生代末生物大灭绝”，中方的优势是有独特的地貌，美俄澳等合作方在同位素年龄测定、古生物学演化等方面具有很强的实力。这些结果，反映出新兴学科的发展以及新思想、新技术在传统学科中应用带来的新的合作特征。

(2) 科学家从事合作的动力

根据本案例研究的分析，科学家从事国际合作的主要动机可以分为 6 种：(i) 利用国外专家的专业技能；(ii) 利用仪器、资源或稀缺材料；(iii) 获得国际承认、声望，增加影响和显示度；(iv) 更快地取得成果；(v) 对付更大的科学难题；(vi) 培养学生。

科学家们倾向于寻求他们在本领域中最优秀的科学家合作，以寻求知识和技能的互补，激发新的思想，提高工作质量和效益。利用国外专家的知识、技能和专长是国际科学合作的共性^[1]。本案例研究的合作，几乎都是瞄准国际上本领域的顶尖专家开展合作，而且有的还把外国专家聘请到本地项目组开展合作，如清华大学顾明教授主持的项目“嵌入式系统仿真与验证平台开发”，聘请了法国著名的专家 Jean-Pierre Jouannaud 来华工作。而 Jouannaud 之所以来到中国工作，是因为中国年轻人才资源丰富，决定把职业转向中国。

利用仪器、资源和材料是一些合作项目开展的

一个主要动力,特别是利用中国所缺乏的先进仪器设备和测试技术。

一些项目明确地把提高国际认可和获得影响作为重要的动力。中国农科院何中虎研究员接受采访时说,合作研究有利于提高国际影响,合作项目扩大了中国在国际上发言权。他说,虽然在本领域,中国科学家发表的学术论文只有国际总量的1%,但是没有这1%的份量,就没有发言权。他强调,要与国际组织合作,国际组织合作有许多优势,可以得到很多信息资源,并且可以作为与发展中国家合作的平台,平等开展合作。

更快地取得成果是一些合作开展的动机,当问到“如果没有国际合作,研究会怎样”,一些项目承担者的回答是:“如果没有合作,进展不会这么快,单独一个单位做不出”;“如果没有合作,进展会慢,而且结果也没那么好。”

国际合作也使得对付复杂性难题成为可能。顾明教授项目组的一位主要成员说,有了与法国专家的合作,才开始启动现在的项目。“我们研究的问题是形式化方法,属于定理证明领域,需要很深的理论基础才行。国内基本上没人做,因为不敢做,这需要一个小分队,投入非常大。而法国在这方面处于领先地位。”

培养年轻人才和学生几乎是所有合作项目的-一个主要动力。

3.3 国际科学合作的主要形式

本案例研究包含的组织间合作项目,多数是双边资助组织共同资助,还有中日韩三方资助的A3项目。项目的合作模式大多数是在以项目负责人(PI)领导的研究组之间开展合作,这种合作模式的特点是研究与教育紧密结合,包括多种形式(互访、联合举办会议、合作研究和联合研究等)的结合。

互访是国际交流合作的一种重要的形式,一般合作项目都有互访,通过互相交流实验样品、交流成果或短期合作,联合培养研究生,共同发表学术论文,举办小型研讨会。派遣学生短期访问与攻读学位是互访的一种重要形式,通过这种形式使学生学到最新的知识和掌握新技术,培养青年人才。

国际学术会议具有引导本学科领域发展的方向、交流最新研究成果以及培养人才等方面的作用,共同举办国际会议是国际合作的一项重要内容。本案例研究的多个项目都把共同举办国际学术会议作为一个重要内容,这些会议包括主题会议、系列会议、双边会议、论坛等。

联合研究包括联合野外考察和联合实验。根据项目进展及需要,合作各方相互进行学术访问与交流,以及补充采集必要的实验样品。为了阶段性地交流研究进展,总结与评价前期工作,展望与规划后续工作,合作各方定期举行国际工作组会议。

合作研究是实质性的合作方式。一般采取研究任务各自分工,以一方为主,另一方为辅,最后集成结果。合作成功的一个关键因素是领导和协调,协调研究计划、进度安排、学术交流计划及数据交流。有一些项目采用成立联合协调小组的形式。

概括地说,国家自然科学基金资助的国际合作研究项目以合作研究和联合研究为主,但也包括多种形式的交流形式,表明合作研究是与交流分不开的。国际上的合作项目也类似,例如,美国国家科学基金会(NSF)2005年启动的国际研究与教育伙伴关系计划(PIRE)的合作形式包括研讨会、暑期学校、互惠交流,深入的互访等多种形式。

值得指出的是,一些受访的科研人员强调,合作十分重要的是科学家之间观念碰撞和交流的思想氛围和空间,以及彼此一起工作的愉快感受。

3.4 国际科学合作的效益

在科学研究中,国际科学合作的成果通常以国际合著论文和合作申请专利来衡量。但是,合著论文只是衡量合作的一个不完整的指标,因为它不能反映合作的其他情况,如两个研究人员合作,但并不想一起发表文章,而是分别发表文章,或者需要还有其他情况,合作并不带来合著论文^[11]。科学合作有着丰富的内容,效益也是广泛的。

根据本案例的研究,可以把国际科学合作的效益分为三类:直接效益、过程效益、溢出效益。

(1) 直接效益

国际科学合作的直接效益表现为研究取得科学成果,表现为理论与方法上的进展和突破,合作论文发表在国际重要的学术刊物上;引进新的技术和新品种,开发新技术系统;为国家的战略和政策提供支持(如水灾、资源环境方面的研究)。

(2) 过程效益

合作过程自身会带来效益。其一,合作伙伴坐到一起,可以积聚信息,获得最前沿的信息,有时是意外的收获。特别是活跃的前沿领域,发展迅速,获得最新信息是十分宝贵的;其二,合作是双方共享知识、技能和技术。一般是根据自己的特长分工合作,优势互补。参与合作的双方会从对方学到不同的思想、知识、技能和技术,特别是在合作伙伴有独特的

仪器或资源时；其三，国际合作是一个遵守国际规则、在国际学术舞台展示自身实力和成果的活动。对于年轻研究人员和研究生，是一个很好的培养和锻炼机会。本研究大多数合作项目的参与主体是45岁以下的研究工作者和博士、硕士研究生。通过与合作方研究人员的交流和共同研究，参加本领域重要的学术会议，他们熟悉了国际合作的理念和规则，了解和学到了新的思想和方法，培养了语言表达能力和国际合作能力。

(3) 溢出效益

合作的溢出效益表现在，合作使得科学家进入一个更大的国际科学共同体和合作网络中，产生更大的影响，形成新的合作关系：其一，合作提高中国的国际影响和发言权。正如中国农科院何中虎的案例所显示的，虽然中国科学家在本领域的国际论文份额很小，但据此就有了发言权；其二，合作项目的实施，带来了新的合作，形成新的网络。例如，“温室气体控制技术与战略研究”项目的实施期间，对外交流的频率大大增加，同时与英国，欧盟以及亚洲发展银行等相关研究机构与企业建立了新的合作关系，为今后进一步的国际合作打下了基础，促使国内温室气体控制方面的研究进一步与国际接轨；其三，促进中国科学家在国际科学组织任职，“世界乐平统与古生代末生物大灭绝”项目实施期间，课题组成员在国际组织中开始担任重要职务，沈树忠研究员自2004年起担任二叠系分会秘书长，王向东研究员成为国际刺丝胞学会理事、国际石炭系分会副主席，王玥研究员为国际二叠系分会选举委员、国际二叠系古特提斯、新特提斯和华南对比工作组共同主席；其四，参与国际大科学计划中。“中国洞庭湖区水灾综合评估模型与减灾对策研究”项目完成后，国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)科学委员会于2007年正式接纳由该项目负责人等提出的科学研究计划：综合灾害风险防范(IHDP-Integrated Risk Governance)项目IHDP-IRG核心科学计划于2010年9月正式通过IHDP批准，开始实施，为期十年，项目负责人担任首届双主席之一。这个计划推动了中国风险科学与国际接轨，加强了国际合作研究，同时大大加快了中国风险学科人才的培养及基地建设。原科技部副部长刘燕华教授对IHDP-IRG核心科学计划给予了高度评价：“过去我们只是做习题，连例题都几乎没有。现在我们参与设计主题，并推进其国际研究的进展”。

3.5 国家自然科学基金的作用

(1) 搭建合作平台

2005年，国家自然科学基金委员会与日本学术

振兴会(JSPS)和韩国科学和工程基金会(KOSEF)设立了三方联合资助的A3前瞻计划，联合资助三国科学家在选定的战略领域共同开展世界先进水平的合作研究，为中国科学家与日本、韩国科学家开展合作搭建了一个更大的平台。之前，整个亚洲国家范围之间的科学家，没有交流合作，虽然科学家们事先都知道本领域的各自的特长。因此，可以说A3计划促进了交流，促进了实质性合作。

本案例中，2003年初国家自然科学基金委员会积极促成与日本科学技术振兴机构(JST)的合作，为张清杰教授与日本航空宇宙技术研究所的新野正之教授的合作项目创造了条件^[18]。

(2) 提高合作的层次和质量

科学基金的支持，通过一定的经费保证以及确定双方的权利和义务，有助于提高合作的层次和质量：(1)保持与国际一流实验室、研究组或科学家的长期合作关系以及学术交往频度，适时了解和掌握国际学术前沿发展动态；(2)通过采取优势互补的强强国际合作方式，可以在现有国内实验条件下，取得一些目前不能独立完成的、具有国际先进水平的科研成果；(3)通过互派青年学者和研究生异地合作实验和交流，可以有效提高青年研究人员的学术水平，建立有国际影响力的先进科研团队。

(3) 提供连续性支持

通过对一些重要科学前沿和前瞻性、战略性高新技术领域的合作项目持续支持，促进取得了突出的成效。本案例中有多个项目获得持续的资助，获得明显更大的效益。

4 讨论

国际科学合作是一个过程，有自身的规律性。本案例得出的新认识主要有：第一，归纳出项目层面上开展国际科技合作各种主要动机，包括利用专家的专业技能；利用仪器、资源或没有的材料；更快地取得成果；对付更大的科学难题；获得国际承认、声望，增加影响和显示度；培养学生。第二，提出衡量国际科学合作效益的一个新的分类概念，即：可以从直接效益、过程效益和溢出效益三个方面衡量国际科学合作，并对这三类效益的含义做了说明。本案例研究还对人们从经验中获得的认识提供了证据支持，如良好的合作关系和效果是建立在以前交流与合作的基础之上的，并且分析了各种合作形式的作用。

国际科学合作的本质是科学家个人之间的交流

合作,具体的合作项目是建立在一个更长远的和更广泛的合作关系之中。科学家个人合作的利益是寻求资源和声誉,但科学研究是一种创造性的活动,合作更重要的是创造科学家之间观念碰撞和交流的思想氛围,以及彼此一起工作的愉快感受。可以说,科学家的国际交流与合作是一种特殊的交往,良好的合作关系和效果是长期持续形成的。因此,首先要创造促进国际科学合作的良好环境,尊重国际科学交流与合作自身的规律,不能把国际科学交流与合作与其他不同社会活动类型的国际交流混为一谈。应在保持政策的连续性和稳定性,在审批出国、经费使用方面给予正常的待遇,无差别地限制科研人员出国交流合作会有害于科学研究的自身发展。

根据本案例的研究,提出如下政策建议:

第一,根据科学研究国际交流与合作的特点和规律,制定差别化的外事审批制度(如因公出国、召开国际会议),在尊重科学活动规律的前提下调整现行关于科学研究国际交流与合作的管理规定,使其更具灵活性。

第二,在科学研究国际合作项目的资助方面,把有利于提高中国的国际地位、加入国际大科学计划、开拓新的合作渠道的潜力等列入重要的资助标准。

第三,对科学研究国际合作项目的评估,要有更广阔的视野和标准。不仅要注重合作论文和合作专利等直接产出上,而且要注重更广泛的过程效益和溢出效益,把培养人才、特别是高层次的国际合作人才(如在重要的国际组织中任职),建立新的国际合作关系,加入国际大科学计划,形成我国自己的国际科技计划等作为重要的评价指标。

致谢 本文工作为国家自然科学基金(项目编号:J1024009)资助成果。

Case studies on the process and benefits of international science collaboration: based on the joint research projects funded by NSFC

Fan Chunliang

(Institute of Policy and Management, CAS, 100190 Beijing)

Key words process and benefits; international collaboration; NSFC

参 考 文 献

- [1] The Royal Society. Knowledge, networks and nations: Global scientific collaboration in the 21st century. 2011-3-28 <https://royalsociety.org/policy/projects/knowledge-networks-nations/report/>.
- [2] 程如烟. 30年来中国国际科技合作战略和政策演变. 中国科技论坛, 2008, 7:7—11.
- [3] 刘云,董建龙. 我国政府投入国际科技合作经费的现状与发展对策. 科学学研究, 2000, 1(35): 42.
- [4] 韩建国,邹立尧,张琳. 加强实质性国际合作,提升基础研究创新能力. 中国科学基金, 2007, 5: 282—283.
- [5] 韩秀兰,杨宁莉. 从国际合著现象看我国参与国际科学合作的发展态势. 情报科学, 2000, 10:925—926.
- [6] 刘娅. 从国际科技合著论文状况看中国环境领域国际科技合作态势. 中国软科学, 2011, 6:34—46.
- [7] 梁立明,马肖华. 从中德合著SCI论文看中德科技合作. 科学学与科学技术管理, 2006, 11: 22—28.
- [8] 金炬,马峥,梁战平. 从中美合著论文状况看中美科技合作. 科学学与科学技术管理, 2007, 05:41—47.
- [9] 袁军鹏,薛澜. 主导与协同:中国国际科技合作的模式和特征分析. 科学学与科学技术管理, 2007, 11:5—9.
- [10] 袁军鹏,薛澜. 从学科特征考察中国参与科技全球化的进程——基于科学计量学的实证分析. 科研管理, 2009, 4: 184—194.
- [11] Tang L, Shapira P. China—US scientific collaboration in nanotechnology: patterns and dynamics. *Scientometrics*, 2011, 88:1—16.
- [12] Katz S, Martin BR. What is research collaboration? *Research Policy*, 1997, 26: 1—18.
- [13] Caroline S. Wanger. Six case studies of international collaboration in science. *Scientometrics*, 2005, 62: 3—26.
- [14] Beaver D. Reflections on scientific collaboration, *Scientometrics*, 2001, 52: 365—377.
- [15] Wagner CS, Leydesdorff L. Network structure, self-organization, and the growth of international collaboration in science. *Research Policy*, 2005, 34: 1608—1618.
- [16] 李铭禄 吴善超 郑永和. 科学基金国际合作促进基础研究发展的若干思考. 中国科学院院刊, 2014, 29(2):192—198.
- [17] 国家自然科学基金委员会 2012年项目指南. <http://www.nsf.gov.cn/nsfc/cen/xmzn/2012xmzn/11/index.html>.
- [18] 张双虎. 中日科研合作由“民间”提升到国家层面——国家自然科学基金搭建国际学术交流平台. 科学时报, 2006-12-11.