

doi: 10.3969/j.issn.1000-7695.2016.14.045

中美能源技术领域机构合作网络比较研究

栾春娟^{1,2}, 林 原¹

- (1. 大连理工大学公共管理与法学学院暨 WISE 实验室, 辽宁大连 116023;
2. 印第安纳大学布鲁明顿校区信息与计算机学院暨数字文化实验室, 美国布鲁明顿 47405)

摘要: 综合运用多种软件技术和算法得到的中美机构合作网络, 更清晰地揭示机构之间的合作网络关系。学术机构是中美能源技术领域机构合作网络中的最广泛创新主体; 中美能源技术领域都与国际上许多国家存在着比较广泛的技术合作关系; 政府和产业在两个合作网络中出现的数量相对比较少; 美国能源技术领域的最大连通组网络比中国的更稠密一些; 美国能源部和环保局等政府部门在美国能源技术合作网络中参与程度较高; 参与美国能源技术合作网络研究的企业也相对比较多。美国能源技术领域的机构合作网络更具有三螺旋创新结构特征等。最后提出中国能源技术机构合作网络的发展, 应加强政府与产业的参与程度。

关键词: 能源技术; 机构合作网络; 中美; 三螺旋创新; 大学; 产业; 政府

中图分类号: G302; G306; N18

文献标志码: A 文章编号: 1000-7695 (2016) 14-0262-05

Comparing Institution Collaborative Network in Energy Domain of China – USA

LUAN Chunjuan^{1,2}, LIN Yuan¹

- (1. School of Public Administration and Law, WISE Lab, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China;
2. School of Informatics and Computing, Indiana University, 1320 E 10 str., 47405 Bloomington, USA)

Abstract: Exploring the comparison institution collaborative network in energy domain of China – USA, will help us understand the innovation model of energy industry of China – USA, and it is of great significant for our decision – making of energy industry development. We integrated multiple frontier softwares and techniques and drew the innovation network of China – USA. Results show that universities are the popular innovators in the networks, and international collaborations are very common among universities from different nations. Government and industry are seldom found in the network. USA network is much denser than that of China. Triple helix character is obvious in USA network than that of China.

Key words: energy technology domain; institution innovation network; China and United States; triple helix innovation; university; industry, government

比较中国和美国能源技术领域机构合作网络的结构和特征, 有利于我们把握中美能源技术领域的创新模式, 对促进我国能源产业的创新发展, 提供重要的决策支撑。新一轮的全球能源技术革命始于 2008 年全球金融危机。金融危机之后, 各国政府纷纷开始注重新能源产业的发展。奥巴马政府新能源计划实施的目标, 是可再生的新型能源取代传统化石能源的主导地位, 并由此催生经济增长模式的重大转变, 给美国乃至世界能源和经济发展带来深远影响^[1-2]。中国政府近年来也加大了电动汽车、生物质能和太阳能等新能源产业的发展力度^[3-4]。中美能源技术领域在政府的大力支持下获得快速的发展, 也引起国内外学者们的关注。学者们对中国能源技术发展的主要研究成果集中于以下几个方面: 清洁能源发展的政策保障^[5]、新能源技术领域的专利质量^[6]、能源领域技术创新的困境与对策建

议^[7-9]、能源合作网络的动态演化^[4]等。对美国能源技术的研究成果主要集中于美国能源法制建设经验及其对我国的启示^[10-11]、美国能源安全规划^[12]、能源效率^[13-14]、可再生能源的消费与经济增长^[15]等。学者们对中美能源领域也进行了一些比较研究, 比如中美太阳能领域的技术相似性比较^[3]、中美能源供给的脆弱性评估^[16]、中美能源领域的创新扩散^[17]等。我们尚未发现关于中美能源技术领域机构合作网络比较研究的成果。本文要解决的主要问题是: 中美能源技术领域机构合作网络比较分析; (2) 美国能源技术领域机构合作网络对我国能源产业发展的启示。

1 材料与方法

1.1 材料

本文的研究数据来源于《科学引文索引》数据

收稿日期: 2015-11-03, 修回日期: 2016-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目“技术会聚网络结构探测与新兴趋势识别的理论方法及其应用研究”(71473028)

库扩展版 SCI - E (Science Citation Index - Expanded), 我们检索并统计了 2009—2014 年间中国 (PEOPLES R CHINA) 和美国 (USA) 发表的能源技术领域 (energy & fuels) SCI 论文 (article) 数据。2008 年全球金融危机之后, 中国政府和美国政府都加大了能源科学技术领域的投入, 结果是两个国家在 2009—2014 年间能源技术领域的 SCI 论文大幅度增长。因此, 我们选择这五年的数据作为分析的样本。数据检索和下载的时间为 2015 年 1 月 26 日。

1.2 研究方法

(1) 采用 CiteSpace 提取分析的数据单元 “机构 (institution)” 的网络数据文件

本文中研究的数据样本的基本单元是论文的产出机构 (institution), 比如大学、科研院所、国家实验室、政府部门、公司等。我们从 Web of Science 下载的数据内容的栏目中, 并没有独立的机构这一栏, 机构信息包含于地址栏目中, 如下列五行英文列出的是一篇文章的作者地址信息, 其中方括号内的斜体字是作者姓名, 方括号外的粗体字是机构 (institution) 名称。该文共有七位作者, 其中五位作者的所属机构是 “重庆科学技术大学” (Chongqing Univ Sci & Technol), 一位是 “中原油田公司” (Zhongyuan Oilfield Co), 另外一位是 “俄克拉荷马大学” (Univ Oklahoma)。反映了文章的机构合作关系的这三个不同机构, 是我们本文中要研究的数据单元。

C1 [Qiu, K.; Li, T. F.; Chen, S. K.; Zhang, L. Y.; Gu, X. H.] Chongqing Univ Sci & Technol, Sch Chem & Chem Engn, Chongqing, Peoples R China.

[Shang, J. F.] Zhongyuan Oilfield Co, SIN-OPEC, Puguang Branch, Dazhou, Sichuan, Peoples R China.

[Ozturk, M.] Univ Oklahoma, Sch Chem Biol & Mat Engn, Norman, OK 73019 USA.

我们采用陈超美开发的软件 CiteSpace [18-19], 选择共现分析中的 “机构” (institution), 分析对象数据之间的连接强度选择 “夹角余弦距离” (Cosine) 算法, 见公式 (1)。

$$\text{Cosine}(x,y) = \frac{X \cdot Y}{\|X\| \|Y\|} = \frac{C_x C_y}{\sqrt{(\sum_{i=1} C_{xi})^2 (\sum_{i=1} C_{yi})^2}} \quad (1)$$

x, y 为任意两个节点, X, Y 为机构共现关系向量, C_x 为与 x 相连的节点所组成的向量, 这里节点是指与 x 机构相连的其他机构 (包括 x 本身), 向量每一维度 C_{xi} 所表示的值为 x 与 i 结点共现的次数 (即机构间的共现次数)。

结合步骤 (2) “VOSviewer 绘制的网络” 的可视化效果, 经过反复调整阈值, 最后提取出 Pajek 网络数据文件。

(2) 用 VOSviewer 绘制机构合作网络图谱

为了更好地展示中美能源技术领域机构合作网络的可视化效果, 我们反复实验了几种可视化软件, 比如

Netdraw^[20]、SCI2^[21-22]、CiteSpace^[23] 和 VOSviewer^[24] 等, 最后选择了荷兰莱顿大学 (Leiden University) 科学技术研究中心 (CWIS) 开发的软件 VOSviewer^[24-25] 进行。VOSviewer 用以公式 (2) 来展现图谱中项目彼此之间的关联强度。VOSviewer 被认为是专门用于科学知识图谱绘制的有效工具 [26-28], 网络图谱反映的信息量非常大, 并且清晰的主体网络结构以不同颜色表示, 该软件可接收数以万计的数据源, 为科学计量学研究提供更全面的信息揭示。

$$S_{ij} = \frac{C_{ij}}{W_i W_j} \quad (2)$$

其中, S_{ij} 表示项目 i 和项目 j 的相似度, C_{ij} 为项目 i 和 j 共现的总次数, W_i 和 W_j 是指项目 i 和 j 各自出现的次数。经过了公式 (1) 和公式 (2) 两次关联强度计算后得到的机构合作网络图谱, 更能清晰地反映机构之间合作创新关系。

2 分析结果

2.1 中美能源技术领域 SCI 论文的年度发展趋势: 2009—2014 年

中美能源技术领域的 SCI 论文产出在 2009—2014 年间的分布如图 1 所示。

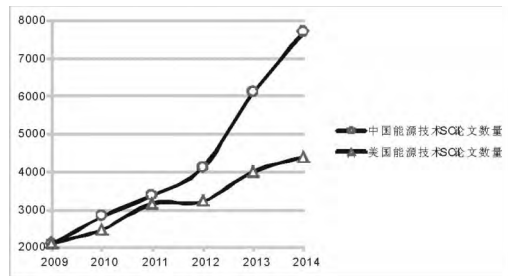


图 1 中美能源技术 SCI 论文的年度发展趋势: 2009—2014 年

图 1 显示, 中美能源技术领域 SCI 论文产出在 2009—2014 年间, 都呈现出明显的上升发展趋势。美国能源技术领域的 SCI 论文产出是一种稳步的上升发展势头, 由 2009 年的 2000 篇左右增长到 2014 年的 4395 篇; 中国能源技术领域的 SCI 论文增长趋势更加迅猛, 由 2009 年的 2000 篇左右增长到 2014 年的 7706 篇。中国在 2009—2014 年期间能源技术领域 SCI 论文的年均增长率为 30.27%, 美国的年均增长率为 16.13%。中国的增长速度远远高于美国的增长速度, 接近于美国年度平均增长速度的两倍。

2.2 中国能源技术领域机构合作网络

根据 2.2 小节的方法, 我们选取 2009—2014 年中国能源技术领域 SCI 论文数据 26220 篇, 绘制了中国能源技术领域机构合作网络 (图 2)。为了保证网络的可视化效果清晰, 我们保留了网络中的最大连通组部分, 其中包括 363 个结点。图 2 显示, 中国能源技术领域机构合作网络主要具有以下特征。

(1) 学术机构是中国能源技术领域机构合作网络中最广泛的主体

在中国能源技术领域产生的 SCI 论文中，学术机构、尤其是大学成为机构合作网络中最广泛的主体。图 2 显示了学术机构在合作网络中的重要地位和作用。江南大学 (Jiangnan_ Univ)、南京林业大学 (Nanjing_ Forestry_ Univ)、香港城市大学 (City_ Univ_ Hong_ Kong)、美国威斯康辛大学 (Univ_ Wisconsin)、上海大学 (Shanghai_ Univ)、山东大学 (Shandong_ Univ)、上海科技大学 (Shanghai_ Univ_ Sci_ &_ Technol)、北京交通大学 (Beijing_ Jiaotong_ Univ)、西北大学 (NW_ Univ_ Xian)、瑞典皇家理工学院 (Royal_ Inst_ Technol)、重庆科技大学 (Chongqing_ Univ_ Sci_ &_ Technol)、北京师范大学 (Beijing_ Normal_ Univ)、合肥工业大学 (Hefei_ Univ_ Technol)、四川大学 (Sichuan_ Univ)、中国矿业大学 (China_ Univ_ Min_ &_ Technol)、西北农林大学 (NW_ A&F_ Univ)、澳大利亚卧龙岗大学 (Univ_ Wollongong)、南京航空航天大学 (Nanjing_ Univ_ Aeronaut_ &_ Astro)、英国纽卡斯尔大学 (Newcastle_ Univ)、广东省生态环境与土壤研究所 (Guangdong_ Inst_ Ecoenvironm_ &_ Soil_ Sci) 等，成为机构合作网络中诸多子域的中心。

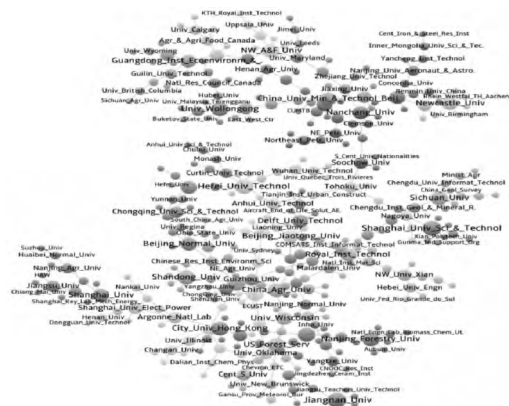


图 2 中国能源技术领域机构合作网络 (最大连通组部分)：2009—2014 年

(2) 与域外大学合作频繁

图 2 的机构合作网络中，有很多域外的学术机构。比如，美国的威斯康辛大学、俄克拉荷马大学 (Univ_ Oklahoma)、马里兰大学 (Univ_ Maryland)、伊利诺伊大学 (Univ_ Illinois)、荷兰代尔夫特理工大学 (Delft_ Univ_ Technol)、日本东北大学 (Tohoku_ Univ)、瑞典皇家理工学院、澳大利亚卧龙岗大学、英国纽卡斯尔大学、香港城市大学等。揭示了我国能源技术领域广泛的国际学术交流与技术合作关系。

(3) 政府和产业在网络中较少出现

图 2 的机构合作网络中，政府和产业机构出现较少，我们尚未发现中国政府部门在网络中出现。但发现有其他国家的政府部门，比如美国林务局 (US_ Forest_ Serv)，还有隶属于美国能源部的阿贡

国家实验室 (Argonne_ Natl_ Lab) 等。产业机构在网络中也很少见，细心查找后，发现有为数不多的公司在图 2 的网络中出现，包括中国的“钢铁研究总院” (Cent_ Iron_ &_ Steel_ Res_ Inst，位于图 2 的右上端，即中国钢研科技集团有限公司)，美国第二大石油公司“雪佛龙股份有限公司” (Chevron_ ETC，位于图 2 的下半部分，俄克拉荷马大学的下方)，荷兰的“飞机临终解决方案公司” (Aircraft_ End_ of_ Life_ Solut_ AE，位于图 2 中部，安徽工业大学下方)。这里隶属于美国联邦政府的国家实验室和性质为企业的钢铁研究总院，实质上它们更多地具有学术机构的属性。

2.3 美国能源技术领域主体合作网络

同样依据 2.2 小节的方法，选取 2009—2014 年美国能源技术领域 SCI 论文数据 19386 篇，绘制了美国能源技术领域机构合作网络 (图 3)。为了保证网络的可视化效果清晰，我们保留了网络中的最大连通组部分，共包括 489 个结点。



图 3 美国能源技术领域机构合作网络 (最大连通组部分)：2009—2014 年

图 3 显示，美国能源技术领域机构合作网络主要具有以下特征：

(1) 学术机构是美国能源技术领域机构合作网络中数量最多的主体

在美国能源技术领域的 SCI 论文中，学术机构成为机构合作网络中最的一类主体。图 3 显示了学术机构在合作网络中的重要地位和作用。俄罗斯科学院 (Russian_ Acad_ Sci)、马萨诸塞大学 (Univ_ Massachusetts)、加拿大阿尔伯塔大学 (Univ_ Alberta)、弗吉尼亚大学 (Univ_ Virginia)、加州大学圣地亚哥分校 (Univ_ Calif_ San_ Diego)、蒙大拿州立大学 (Montana_ State_ Univ)、休斯顿大学 (Univ_ Houston)、加州大学河滨分校 (Univ_ Calif_ Riverside)、南佛罗里达大学 (Univ_ S_ Florida)、新墨西哥矿业技术学院 (New_ Mexico_ Inst_ Min_ &_ Technol)、科罗拉多大学 (Univ_ Colorado)、中国南京工业大学 (Nanjing_ Univ_ Technol)、加利福尼亚理工学院 (CALTECH)、密西西比州立大学 (Mississippi_ State_ Univ)、匹兹堡大学

(Univ_ Pittsburgh)、加拿大滑铁卢大学(Univ_ Waterloo)、卡耐基麦隆大学(Carnegie_ Mellon_ Univ)等,这些学术机构形成美国能源技术研究领域机构合作网络中的诸多子网络中心。

(2) 与国际上诸多国家存在着能源技术合作关系

图3美国能源技术领域的机构合作网络中,有很多其他国家的学术机构或产业。比如,俄罗斯科学院、加拿大阿尔伯塔大学、加拿大滑铁卢大学、中国清华大学(Tsinghua_ Univ)、中国南京工业大学、韩国高丽大学(Korea_ Univ)、中国上海交通大学(Shanghai_ Jiao_ Tong_ Univ)、中国华南理工大学(S_ China_ Univ_ Technol)、中国山东大学(Shandong_ Univ)、中国地质大学(China_ Univ_ Geosci)、中国船舶重工集团(CSIC)、丹麦技术大学(Tech_ Univ_ Denmark)、法国国家科学研究院(CNRS)等,揭示了美国能源技术领域广泛的国际科学技术合作关系。

(3) 政府和隶属于政府的国家实验室在网络中占有一定地位

在图3美国能源技术领域的机构合作网络中,清晰地显示出有美国的政府部门参与其中。比如,位于图3上半部分的美国能源部(US_ DOE)、位于图3左半部分的美国环保局(US_ EPA)、位于图3左下部分的美国空军(USAF)等。还有隶属于美国联邦政府部门的国家实验室,比如,位于图3中间部分的、隶属于美国能源部的“劳伦斯伯克利国家实验室”(Lawrence_ Berkeley_ Natl_ Lab)和“国家能源技术实验室”(Natl_ Energy_ Technol_ Lab)等。

(4) 产业/企业在合作网络中可见

参与美国能源技术合作网络研究的企业主要有,位于图3下半部分的“日本丰田公司北美技术研发中心”(Toyota_ Res_ Inst_ North_ Amer)、位于图3中右部分的“中国船舶重工集团”、位于图3右部的“美国Arcadis公司”(Arcadis_ US_ Inc)、位于图3左部的“美国西屋萨凡纳河核废料保存处理公司”(Westinghouse_ Savannah_ River_ Co)、位于图3上部分的“美国会聚科学公司”(Convegent_ Sci_ Inc)和“美国康宁公司”(Corning_ Inc)等。

2.4 中美能源技术领域机构合作网络的比较

中美能源技术领域机构合作网络的共同点主要有:学术机构是两个机构合作网络中的最广泛创新主体;中美能源技术领域都与国际学术机构存在着比较广泛的技术合作与交流关系;政府和产业在两个合作网络中出现的数量相对比较少。

中美能源技术领域机构合作网络的不同点主要有:在选择方法、步骤与参数相同的条件下,美国能源技术领域的最大连通组网络结点更多,网络也更稠密;作为美国政府部门的美国能源部和环保局,以及隶属于美国政府部门的国家实验室等,在美国能源技术合作网络中参与程度较高;中国政府部门参与中国能源技术合作网络的程度相对较低;参与

美国能源技术合作网络研究的企业也相对比较多。

3 结论与启示

3.1 主要结论

本文选择2009—2014年间中国和美国发表的能源技术领域SCI论文数据为样本,综合运用国际前沿科研软件CiteSpace和VOSviewer等,对样本数据进行了分析和提炼,绘制了中国和美国能源技术领域机构合作网络,分析了各自的网络结构特征,并对两个网络的异同进行了比较。主要得到如下结论。

学术机构是中美能源技术领域机构合作网络中的最广泛创新主体;中美能源技术领域都与国际上许多国家存在着比较广泛的技术合作关系;政府和产业在两个合作网络中出现的数量相对比较少;美国能源技术领域的最大连通组网络比中国的更稠密一些;美国能源部和环保局等政府部门在美国能源技术合作网络中参与程度较高;参与美国能源技术合作网络研究的企业也相对比较多。美国能源技术领域的机构合作网络更具有三螺旋合作网络特征。

3.2 启示

本研究的创新之处在于:综合运用国际信息科学发展前沿的可视化软件和技术手段,形象地揭示了中美能源技术领域机构合作网络的结构特征。研究中的主要结论和发现,对我国能源技术领域的创新发展,具有以下重要启示。

加强能源技术研究领域的国际合作,是新一轮能源技术革命的重要特征。中国和美国的能源技术机构合作网络同时显示,两个国家能源技术领域的研究发展过程中,都存在着比较广泛的国际科学技术合作和交流关系:对于中国而言,比如中美、中英、中加、中澳、中国和瑞典等;对于美国而言,美俄、美中、美加、美韩等。在全球科学技术经济日益一体化的当今时代,伴随着信息革命带来的沟通与交流的方便和快捷,中国能源技术领域的国际合作已经取得了重大的成就^[4, 29-30],我们可以借鉴美国能源技术领域合作国家与合作机构的选择,结合我国能源技术发展的优势,有针对性地选择更多的、更合适的合作对象,进一步提高我国能源技术的国际合作水平。

如何在能源技术发展中发挥政府的作用,是一个值得深入探讨的问题。我们看到,美国能源部、美国环保局和美国林务局等政府部门,切实参与到了能源产业的三螺旋合作网络中。还有隶属于美国政府部门的国家实验室,比如隶属于美国能源部的劳伦斯伯克利国家实验室等,也在三螺旋合作网络中发挥着重要的作用^[31-32]。科技完备的国家创新系统要求政府在创新战略构建、提高企业创新能力、构建产学研合作网络等方面发挥能动主导作用^[33-34]。美国政府和隶属于政府的国家实验室在能源技术合作网络中的地位和作用,值得我们借鉴。

作为机构合作网络中的产业,它是三螺旋合作网络中的重要组成部分,但我们在中国和美国能源技术领域的机构合作网络中,却较少地发现产业机

构的出现。这是因为,产业机构参与的SCI论文数量,远远少于学术机构。比如,中国石油化工集团公司(SINOPEC)作为中国能源技术领域SCI论文产出最多的产业机构,它的论文产出为243篇,远远低于中国科学院(Chinese Academy of Sciences)的论文产出3420篇,因此在图2这样比较宏观的中国能源技术领域机构合作网络中,就很难清晰地显示SINOPEC这样的创新主体的合作关系,实际上,SINOPEC与中国石油大学、华东科技大学、中国石油天然气集团公司、四川大学、中国地质大学、北京化工大学等几十个学术机构存在着合作合作网络关系。产业在与大学和其他机构合作过程中,不仅促进了其科研成果的转化,并且产业的实践也为大学等学术机构提出了应用导向型的新课题^[35-37],为下一轮的大学—产业的合作提供了新的契机。

参考文献:

- [1] KRUPA J. Energy Policy in the US: Politics, Challenges, and Prospects for Change [J]. *Energy Policy*, 2012 (51): 996-997
- [2] WILKERSON J T, LEIBOWICZ B D, TURNER D D, et al. Comparison of integrated assessment models: Carbon price impacts on US energy [J]. *Energy Policy*, 2015 (76): 18-31
- [3] ZHANG J J, YAN Y, GUAN J C. Scientific relatedness in solar energy: a comparative study between the USA and China [J]. *Scientometrics*, 2015, 102 (2): 1595-1613
- [4] LIU N, GUAN J C. Dynamic evolution of collaborative networks: evidence from nano-energy research in China [J]. *Scientometrics*, 2015, 102 (3): 1895-1919
- [5] 刘宁. 我国清洁能源技术的政策保障机制研究 [J]. *科技管理研究*, 2014 (04): 6-10
- [6] 张古鹏,陈向东. 新能源技术领域专利质量研究——以风能和太阳能技术为例 [J]. *研究与发展管理*, 2013 (01): 73-81
- [7] 张克震,赵剑波. 我国新能源技术创新存在的问题与建议 [J]. *中国国情国力*, 2014 (11): 15-17
- [8] 郭丕斌,周喜君,李丹,等. 煤炭资源型经济转型的困境与出路: 基于能源技术创新视角的分析 [J]. *中国软科学*, 2013 (07): 39-46
- [9] LIU L Q, LIU C X, WANG J S. Deliberating on renewable and sustainable energy policies in China [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2013 (17): 191-198
- [10] 吴海霞,霍学喜. 美国新能源法案对中国玉米价格波动的影响研究 [J]. *软科学*, 2014 (09): 16-20
- [11] 赵保庆. 新能源投资促进的法律政策体系研究——美国的经验及其对中国的启示 [J]. *经济管理*, 2013 (12): 162-171
- [12] 谢世清. 美国新能源安全规划及对我国的启示 [J]. *宏观经济管理*, 2011 (10): 73-74
- [13] LEKOV A, FRANCO V, MEYERS S. Evaluation of energy efficiency standards for residential clothes dryers in the USA [J]. *Energy Efficiency*, 2014, 7 (1): 133-149
- [14] SREEDHARAN P. Recent estimates of energy efficiency potential in the USA [J]. *Energy Efficiency*, 2013, 6 (3): 433-445
- [15] YILDIRIM E, SARAC S, ASIAN A. Energy consumption and economic growth in the USA: Evidence from renewable energy [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16 (9): 6770-6774
- [16] LIU L C, WU G. Assessment of energy supply vulnerability between China and USA [J]. *Natural Hazards*, 2015 (75): S127-S138
- [17] LACERDA JS, VAN DEN BERGH J. International Diffusion of Renewable Energy Innovations: Lessons from the Lead Markets for Wind Power in China, Germany and USA [J]. *Energies*, 2014, 7 (12): 8236-8263
- [18] CHEN C M, LEYDESDORFF L. Patterns of Connections and Movements in Dual-Map Overlays: A New Method of Publication Portfolio Analysis [J]. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 2014, 65 (2): 334-351
- [19] CHEN C M, DUBIN R, KIM M C. Emerging trends and new developments in regenerative medicine: a scientometric update (2000-2014) [J]. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 2014, 14 (9): 1295-1317.
- [20] TRUJILLO H M, MANAS F M, GONZALEZ-CABRERA J. Assessment the explanatory power of clandestine social networks graphs with Ucinet and NetDraw [J]. *Universitas Psychologica*, 2010, 9 (1): 67-78
- [21] BORNER K, CHEN CM, BOYACK KW. Visualizing knowledge domains [J]. *Annual Review of Information Science and Technology*, 2003 (37): 179-255
- [22] LARIVIERE V, HAUSTEIN S, BORNER K. Long-Distance Interdisciplinarity Leads to Higher Scientific Impact [J]. *Plos One*, 2015, 10 (3)
- [23] CiteSpace: Visualizing Patterns and Trends in Scientific Literature [EB/OL]. <http://cluster.cis.drexel.edu/%7Ecchen/citespace/download.html>. 2015-05-20.
- [24] VAN ECK N J, WALTMAN L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping [J]. *Scientometrics*, 2010, 84 (2): 523-538
- [25] VOS mapping and clustering software [EB/OL]. <http://www.vosviewer.com/relatedsoftware/>. 2015-06-06
- [26] WAAIJER C J F. Careers in science: policy issues according to Nature and Science editorials [J]. *Scientometrics*, 2013, 96 (2): 485-495
- [27] LEYDESDORFF L, CARLEY S, RAFOLS I. Global maps of science based on the new Web-of-Science categories [J]. *Scientometrics*, 2013, 94 (2): 589-593
- [28] 廖胜姣. 科学知识图谱绘制工具 VOSviewer 与 Citespace 的比较研究 [J]. *科技情报开发与经济*, 2011 (07): 137-139
- [29] 冯正强,冯佳佳. 我国可再生能源国际合作机制研究 [J]. *中国科技论坛*, 2013 (03): 150-155
- [30] LEWIS JI. Managing intellectual property rights in cross-border clean energy collaboration: The case of the US-China Clean Energy Research Center [J]. *Energy Policy*, 2014 (69): 546-554
- [31] CHEN S Q, LEVINE M D, LI H Y, et al. Measured air tightness performance of residential buildings in North China and its influence on district space heating energy use [J]. *Energy and Buildings*, 2012 (51): 157-164
- [32] CROOK J A, JONES L A, FORSTER P M, et al. Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output [J]. *Energy & Environmental Science*, 2011, 4 (9): 3101-3109
- [33] 王德华,刘戒骄. 国家创新系统中政府作用分析 [J]. *经济与管理研究*, 2015 (04): 31-38
- [34] 孙亮,李建玲,等. 产业技术创新战略联盟的组织模式与政府作用 [J]. *中国科技论坛*, 2015 (03): 12-17
- [35] 王凯,邹晓东. 美国大学技术商业化组织模式创新的经验与启示——以“概念证明中心”为例 [J]. *科学学研究*, 2014 (11): 1754-1760
- [36] SERBANICA C M, CONSTANTIN D L, et al. University-Industry Knowledge Transfer and Network Patterns in Romania: Does Knowledge Supply Fit SMEs' Regional Profiles? [J]. *European Planning Studies*, 2015, 23 (2): 292-310
- [37] MALIK T H. National institutional differences and cross-border university-industry knowledge transfer [J]. *Research Policy*, 2013, 42 (3): 776-787

作者简介:栾春娟(1969—),女,辽宁大连人,教授,博士,访问学者,主要研究方向为技术测度与知识产权;林原(1983—),男,吉林长春人,博士,讲师,主要研究方向信息计量学。