

基础科学国际合作的测度和分析

谭晓^{1,2} 韩涛³ 张志强¹

(1.中国科学院国家科学图书馆兰州分馆/中国科学院资源环境科学信息中心, 兰州 730000; 2.中国科学院研究生院 北京 100049; 3.中国科学院文献情报中心 北京 100190)

摘要: 科技资源全球化使国家在更大范围内对资源进行流动配置, 国际合作有助于促进国家控制和运用科技资源的能力。学术论文直接反映出科研主体的科研水平和规模。通过对科学论文的国际合作测度反映全球科学研究的国际合作态势。基于 SCI 数据创建国际合作论文数据集, 结合文献计量和社会网络分析方法, 从国际合作整体发展特征、合作网络的子群演变、合作阵营的特征、学科领域的国际合作状况较全面的分析世界国际合作, 并总结 2000-2010 年基础科学国际合作的新特征。

关键词: 国际合作 网络子群 合作角色 合作倾向

Measurement and Analysis of international collaboration in science

Tan Xiao^{1,2} Han Tao³ Zhang Zhiqiang¹

(1. Lanzhou Branch of National Science Library of the Chinese Academy of Sciences/Scientific Information Center for Resources and Environment, Lanzhou 730000
2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049
3. Library of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190)

Abstract: The globalization of the scientific and technological resource has made the state allocate resources in a wider range. International collaboration will help facilitate the ability of state control and the use of S&T resources. Papers reflect the level of scientific research and the scale directly. Measurement of international collaboration in scientific papers reflects the global trend of international collaboration in scientific research. Based on SCI data, combine with bibliometrics and social network analysis, get the overview of the world international collaboration from the perspectives of characteristics of the the international collaboration, the evolution of cooperation network subgroup, features of collaboration camp, the situation of international collaboration in 12 disciplines and draw the conclusion from the analysis.

Keywords: international collaboration, network subgroup, collaborative role, collaboration tendency

1、引言

在经济全球化背景下, 科技资源的发展具有浓重的全球化色彩: 一国科技资源的规模不仅取决于本国, 而且与全球范围内的供求状况密切相关。全球化使国家在更大范围内对科技资源进行流动配置。国家间的科学合作有利于促进国家控制和运用科技资源的能力。

学术论文直接反映出科研主体的科研水平和规模。国内外已经把学术论文的数量、质量以及学术影响作为评价学术机构或国家学科水平的主要指标之一。Loet Leydesdorff 指出: SCI 已被证明对各国科学政策的制定起到一定的作用, 因为作者的地址使得在机构之间进行文献计量学评价成为可能。我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020)》中指出要坚持促进日趋活跃的国际科技交流与合作, 全面提升我国科技创新和参与国际竞争的能力。OECD^[1]的研究表明, 在国家创新系统中, 国际合作发表与 FDI (请补充全称)、国际企业合作一样, 是促进国际间知识扩散的主要形式之一。

国家论文合作, 促进国家间的智力资本的扩散, 对各国科技资源进行科学配置, 进而促进经济发展、科技进步具有现实意义。

国际科技合作的文献计量方法可以帮助了解一个国家国际科技合作的总量、变化、特点、关系、模式、习惯、对象、影响因素等^[2], 可以为制定国际科学合作的宏观政策提供科学依据, 进而指导科技资源配置的实践从而获得最大效益。而社会网络分析法为论文合作的深层研究提供了有效途径, 可以有效揭示合作者之间纵横交错的网络关系^[3]。

本文数据分析来源于 2000-2010 年 SCI 数据, 使用文献计量和社会网络方法, 采用 NetDraw、FusionCharts 可视化工具。

2 科学研究国际合作整体发展特征分析

2.1 跨国合作日益频繁

将 2000-2010 年的数据从世界发文总量、国际合作量、合作率三个指标进行统计, 得到以下图表:

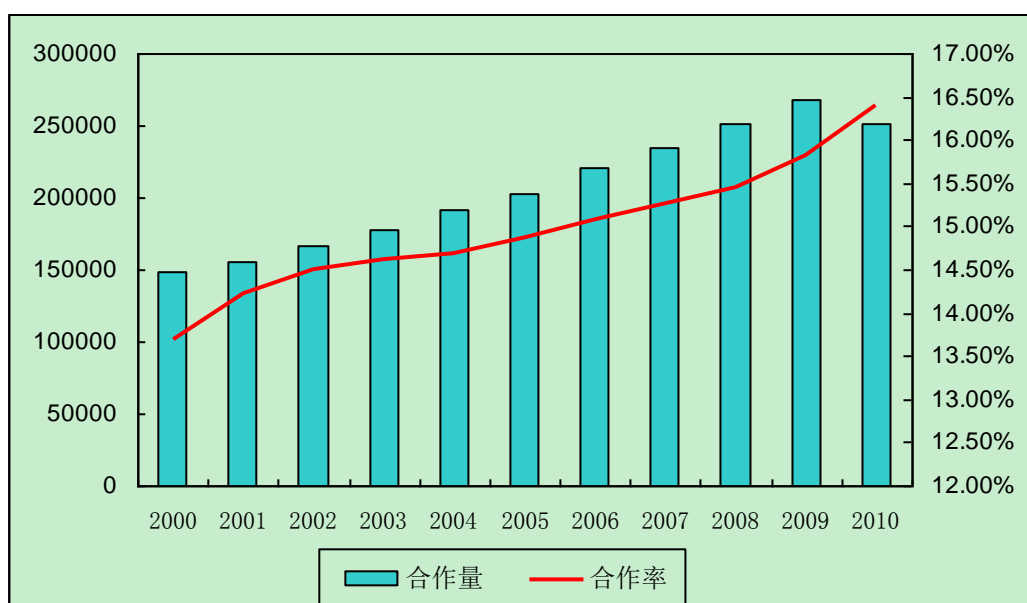


图 1 2000-2010 年世界整体论文合作量、合作率

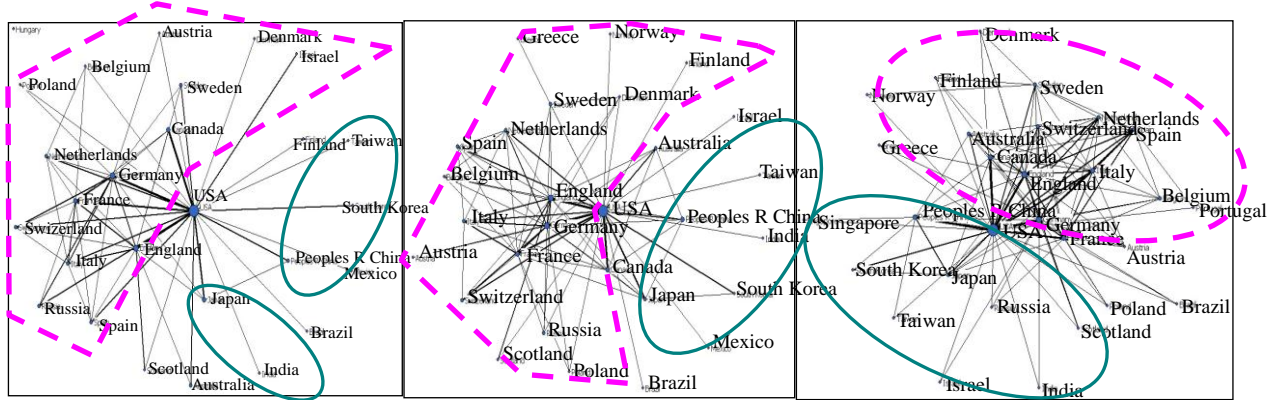
国际合作研究成果占全球成果的份额逐步上升, 说明大科学时代国际合作趋势日益加强, 这从另一个侧面反映出全球化条件下, 跨国活动日益频繁, 国际合作在科学研究中的地位逐步提高。国家合作的目标是提升本国自主创新能力, 科技资源的流动与配置的最终目标也是为了让更多的优势资源为本国利益服务。

2.2 国际合作网络中逐渐出现合作子群

随着大量国家不断加入国际合作, 国际合作的全球化特征越来越凸显。以 2000 年、2005 年、2010 年作为测度的三个时间点, 统计各国论文合作量并国与国合作矩阵, 选取合作量位于前 30 的国家为网络节点, 国与国之间的网络连线阈值为 900 (两国之间的合作量 > 900, 对应网络中两点之间有连线), 利用 netdraw 绘制三个时间点合作量 top30、合作强度 > 900 的网络图。从图 2 直观的看出科学合作网络中逐渐形成了不断崛起的“亚洲子群”(绿色实线)与“欧洲子群”(红色虚线)共存。

从各年度国家论文合作网络图的变化过程可以直观看到, 欧洲各国一直存在比较稳定的合作群体, 除地理因素外, 较高且相近的科技发展水平以及一贯促进合作的科技体制都是欧洲合作子群形成的主要驱动力。然而, 亚洲合作子群呈现出一个从无到有、逐步发展的过程。这表明随着亚洲各国在科技领域的崛起, 亚洲国家越来越多地参与到国

际化的科学研究体系中，虽然不论从量还是质上尚不能与欧洲子群相比较，但是通过数十年的发展已经逐步形成了一个具有一定规模和紧密度的合作子群。从两大子群的演变来看，说明“邻近地域优先流动的省力法则”是全球科技资源流向规则之一。



亚洲子群已有雏形，但是合作并不紧密 亚洲国家国际合作子群不断扩大 亚洲国家合作子群的规模和密切度都有所提高

(a) 2000 年国际合作网络图

(b) 2005 年国际合作网络图

(c) 2010 年国际合作网络图

图 2 国际合作网络图（合作量 top30，合作强度>900）

（红线虚线是“欧洲子群”，绿线实线是“亚洲子群”）

2.3 国际合作呈现多元化趋势

针对各年度国际合作网络图的密度和点度中心度两个指标研究网络整体紧密性。密度（Density）指网络图凝聚力的总体水平；中心势（Centrality）指这种内聚性在多大程度上围绕某些特定的点组织起来^[4-6]。如表 2、图 3 所示，从 2000 到 2010 年网络密度逐步增加，说明国家之间的合作越来越多，但是点度中心势呈现下降趋势，说明在十几年间围绕某些特定国家的合作在一定程度上有所弱化，合作的集中度有所分散，国际合作网络出现多元化趋势。造成这种趋势的可能原因是，越来越多的新兴国家开展了广泛的科技活动，加入到国际科学技术交流体系中，各国形成的科技力量制衡使得合作网络的中心度降低，因此合作网络的集中度减少，表现出趋于分散的特征。

表 1 国际合作网络整体特征

年度	密度	点度中心势
2000	0.2140	70.18%
2005	0.2624	68.41%
2010	0.3236	62.95%

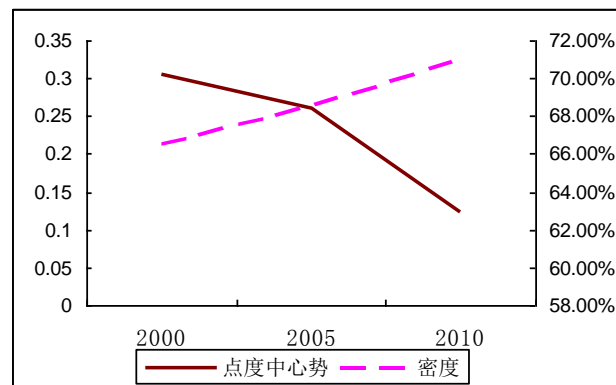


图 3 国际合作网络整体特征

3、两类国家阵营合作特征比较

Wagner, Brahmakulam, Jackson^[7]等将国家依据科技发展状况分为四类 SAC (scientifically advanced country)、SPC (scientifically proficient country)、SDC (scientifically developing country) 以及 SLC (scientifically lagging country)。根据本节的分析目的，将以上四类归并为两类，分别是传统科技强国阵营 (A)、新兴国家阵营 (B)，其中传统科技强国阵营包括美国、英国、法国、德国、日本，新兴国家阵营是指金砖五国 (巴西、俄罗斯、中国、南非、印度)。

表 2 不同阵营国家国际合作率及相对中心势

国家	合作率 (%)				相对中心势			
	2000	2005	2010	平均合作率	2000	2005	2010	平均增长率
USA	20.60	23.60	30.30	24.83	90.86	93.97	94.712	3.60%
England	35.60	42.70	51.80	43.37	81.22	87.94	88.462	9.50%
Germany	36.90	43.10	48.30	42.77	74.62	79.899	84.615	8.90%
France	38.60	45.50	50.90	45.00	77.67	84.925	87.981	9.40%
Japan	18.40	21.40	25.20	21.67	60.91	71.357	75.481	13.10%
A 平均	30.02	35.26	41.30	35.53	77.06	83.618	86.25	8.90%
Russia	31.40	37.00	33.30	33.90	47.72	59.799	55.769	33.40%
Brazil	32.30	30.00	27.10	29.80	54.32	60.804	70.192	27.00%
India	17.60	19.40	20.90	19.30	54.32	61.809	73.077	19.40%
South Africa	37.60	48.20	53.30	46.37	56.35	61.809	66.827	29.50%
Peoples R China	24.30	22.00	24.10	23.47	52.79	63.819	70.673	26.40%
B 平均	28.64	31.32	31.74	30.57	53.1	61.608	67.308	27.14%

3.1 合作率视角下两大阵营的合作特点

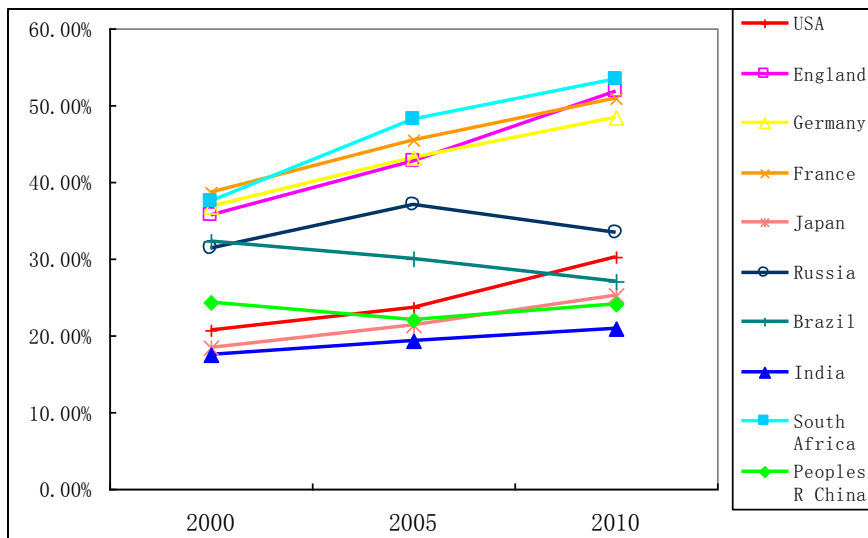


图 4 不同阵营国家国际合作率

- (1) 传统科技强国平均合作率 (35.53%) 高于新兴国家平均合作率 (30.57%)；
- (2) 传统科技强国国际合作率的发展态势是逐年增加，新兴国家的国际合作率整体上是波动的；
- (3) 传统科技强国和新兴国家年平均国际合作率都呈现上升的态势，但前者同期水平远高于后者。
- (4) 传统科技强国和新兴国家内部也呈现不同趋势：传统科技强国大力加强了国际合作，欧盟国家由于特殊体制的原因，其合作研究率显著高于他国（同为传统强国，英、德、法的合作率要高于同期的美、日国际合作率）；印度、南非的论文国际合作率持续增长，而中国、

韩国的国际合作率平稳发展，俄罗斯则呈现先升后降的发展，巴西则是下降趋势，表明全球科技资源流动的趋向性受科技发展水平和各国科技合作战略双重因素制约。

对于绝大多数国家而言，合作研究成果的份额显著低于 50%，由于国际合作与自主研究是构成科研活动的两种模式，由此看来自主研究仍是当代科研活动的主要模式。

由 2.2 图 2 中的网络图看出，美国始终处于国际合作网络中心，但其国际合作率在图 4 中看出并不高，处于 20%-30%，而巴西、韩国、南非、俄罗斯的国际合作率要远超越这个数值，这从另一个侧面印证了 Frame、Garpenter 揭示出的国家科学产出规模与国际合作依存度一般呈现反比关系的现象^[8]。

3.2 社会网络视角下国家合作紧密度研究

由于不同时间点上国家论文合作网络的规模不同，因此选取相对点度中心势，便于对不同规模的网络进行比较。如表 3 所示

(1) 从 2000 到 2010 年各国的相对点度中心势都在逐步增加。传统科技强国的相对点度中心势普遍高于新兴国家。

(2) 新兴国家平均增长率高于传统科技强国，说明新兴国家参与国际合作的规模越来越大，逐渐意识到自身科技资源的限制，导致他们强烈需要参加国际科学合作，尤其注重参与发达国家的科技合作，以提高自身的科研能力和水平，因此都在国际合作上采取了一些具体措施以加入到国际科学技术交流体系中。

(3) 传统科技强国较之新兴国家发展稳定，说明传统科技强国可以有效利用本国丰富的科技资源并根据需要组织科研，在国际合作中表现出较强的主动性和选择性，因此其国际合作一般保持在适度的范围内。

总体来看，科技新兴国家国际合作份额普遍低于科技强国，中国也不例外，这与国际合作度受科技发展水平制约相关。发展中国家要想实现跨越式发展，需更加广泛、更加深度参与到国际合作交流中，但同时面临着发展水平制约形成的合作瓶颈，更多得是通过资源互补寻求与发达国家的合作。可见，全球科技资源流动与配置既是各国科技战略规划的结果，也是不同发展水平国家在科学交流自组织下形成的天然状态。

4、不同学科领域的国际合作中演变特征

学科发展的不均衡是科学前进中的普遍规律，各学科领域在国际合作中也呈现了不同的特征。表 5 反映了不同领域的合作率状况。以科技期刊所属的学科领域为标准划分为 12 个领域，分别是：材料科学、地学、工程技术学、化学、环境/生态学、计算机科学、空间科学、农学、生物学、数学、物理学、医学。

4.1 学科领域合作总况

表 4 不同领域国际合作率及主要国际合作国家

领域	2000			2005			2010		
	合作率 (%)	合作国家数量	各领域参加国际合作主要国家	合作率 (%)	合作国家数量	各领域参加国际合作主要国家	合作率 (%)	合作国家数量	各领域参加国际合作主要国家
材料科学	29.13	110	美国、德国、英国、法国、奥地利、瑞士、荷兰、波兰	31.12	117	美国、德国、中国、日本、法国、瑞士、荷兰、英国	34.53	124	美国、中国、德国、法国、比利时、瑞士、荷兰、奥地利
地学	46.15	149	美国、德国、加拿大、英国、瑞典、瑞士、法国、挪威	51.33	158	美国、德国、法国、加拿大、丹麦、奥地利、英国、比利时	57.38	168	美国、德国、法国、中国、英国、瑞士、奥地利、荷兰
工程技术	28.17	133	美国、德国、法国、	32.94	134	美国、德国、中国、	35.46	148	美国、中国、德国、

			日本、瑞士、奥地利、丹麦、英国			法国、瑞士、奥地利、英国、比利时			法国、英国、奥地利、比利时、荷兰
化学	27.10	134	美国、德国、法国、英国、比利时、奥地利、丹麦、瑞典	28.60	141	美国、德国、英国、法国、马来西亚、泰国、比利时、奥地利	34.50	148	美国、德国、中国、英国、沙特阿拉伯、比利时、瑞典、奥地利
环境、生态学	34.59	154	美国、加拿大、德国、澳大利亚、英国、荷兰、瑞士、法国	41.96	165	美国、德国、加拿大、法国、英国、丹麦、瑞士、荷兰	48.32	175	美国、德国、中国、加拿大、英国、瑞士、丹麦、比利时
计算机科学	29.59	87	美国、英国、中国、日本、加拿大、德国、意大利、法国	33.78	91	美国、德国、中国、意大利、澳大利亚、法国、加拿大、英国	42.57	105	美国、德国、法国、中国、瑞士、新加坡、英国、荷兰
空间科学	66.27	83	美国、英国、法国、意大利、智利、荷兰、澳大利亚、德国	71.23	81	美国、英国、法国、意大利、智利、瑞士、荷兰、德国	77.94	103	美国、德国、法国、意大利、智利、奥地利、瑞士、荷兰
农学	25.85	132	美国、加拿大、西班牙、日本、荷兰、英国、法国、德国	31.70	148	美国、德国、日本、西班牙、英国、法国、中国、加拿大	34.82	155	美国、德国、中国、西班牙、荷兰、英国、法国、加拿大
生物学	33.31	178	美国、德国、法国、加拿大、英国、泰国、瑞士、比利时	37.32	187	美国、德国、法国、加拿大、英国、泰国、瑞士、奥地利	42.66	195	美国、德国、法国、中国、英国、瑞士、奥地利、比利时
数学	40.50	111	美国、德国、法国、英国、荷兰、以色列、加拿大、澳大利亚	42.51	119	美国、法国、德国、中国、加拿大、澳大利亚、以色列、英国	44.09	130	美国、德国、法国、中国、澳大利亚、以色列、加拿大、英国
物理学	47.45	117	美国、德国、法国、俄罗斯、匈牙利、丹麦、奥地利、比利时	47.39	134	美国、德国、法国、英国、英国、奥地利、保加利亚、罗马尼亚	48.39	135	美国、法国、德国、中国、英国、瑞士、比利时、匈牙利
医学	23.81	184	美国、德国、法国、加拿大、泰国、英国、瑞士、埃及	28.73	189	美国、德国、法国、加拿大、瑞士、泰国、比利时、英国	34.03	202	美国、德国、加拿大、意大利、瑞典、南非、瑞士、英国

(各领域参加国际合作主要国家指标从合作率和合作量综合考虑,这样避免了某些国家在某领域只有少量合作论文,而其合作率很高;同时也避免了有些国家具有高合作量,但其合作率低的情况。)

整体来看,随着时间的推移,各领域的合作率和合作国家数量都在不断增加,说明各国都在顺应国际化趋势,在各学科领域展开发展。

只有几个领域的合作率较高,其他领域合作率基本相当,较高合作率的领域有空间科学、生物学、物理学;合作国家数量几乎都很高,同期差异大的领域不是很多,合作国家数量较低的领域有计算机科学、空间科学。这一系列的学科合作差异性是由学科领域、国家及科学合作自身特点所决定^[9]。通常倾向基础研究的学科的国际合作依存度较高(如地学与空间科

学、物理学、数学、医学), 倾向应用基础研究的学科的国际合作依存度较低(如生物学、工程技术), 化学居于两者之间。各领域主要的合作国家整体上看较为集中, 主要分布在北美、欧洲、亚洲、太平洋地区。

4.2 代表性国家在各领域的合作情况

根据 4.1 的统计结果, 选取美国、英国、德国、法国、日本、中国、加拿大、瑞士、澳大利亚、南非、荷兰、俄罗斯、印度作为代表性国家, 通过计算各个代表性国家在各领域的合作率, 得到如下图表:

表 5 代表性国家在各领域的合作率 (%)

	材料科学	地学	工程技术	化学	环境、生态学	计算机科学	空间科学	农学	生物学	数学	物理学	医学
美国	29.54	39.47	26.64	20.63	27.42	28.68	57.92	24.49	26.3	36.23	40.3	20
德国	41.02	62.14	43	41.36	51.51	42.98	84.86	30.6	47.55	50.51	61.89	32
法国	48.8	64.64	43.44	46.91	54.03	44.67	77.81	40.3	49	45.12	60.35	32.1
日本	23.13	43.24	21.6	17.12	33.3	21.52	60.86	20.03	23.59	25.97	29.59	16.4
英国	44.51	63.33	40.04	47.90	56.03	42.63	79.47	47.35	51.91	53.23	59.59	34.9
中国	16.79	37.67	26.12	13.41	36.32	33.39	41.46	39.9	32.14	29.28	22.7	30.6
加拿大	35.57	53.72	39.39	36.68	41.24	44.72	78.78	34.14	41.95	56.98	57.52	38.5
瑞士	52.05	72.63	57.44	48.50	60.25	57.55	88.55	51.27	59.43	59.52	72.06	54.6
荷兰	49.51	71.31	47.14	46.73	58.06	48.34	89.69	52.32	55.08	55.49	65.01	40
澳大利亚	45.71	57.45	44.22	42.17	41.74	48.49	82.77	29.86	44.3	55.69	55.58	35
俄罗斯	28.06	29.46	30.16	23.71	39.86	23.68	56.47	13.33	37.71	29.92	44.5	23.9
南非	44.89	53.57	39.27	40.78	40.42	38.91	80.87	40.5	46.76	60.6	65.43	46.4
印度	19.58	24.1	19.2	17.20	21	32.24	49.22	11.06	17.06	33.6	30.55	17.1
世界平均	31.59	51.62	32.19	30.39	41.62	35.31	71.81	30.79	37.76	42.37	47.74	28.9

- 各领域呈现不同合作率。

- (1) 在地学、环境/生态学、空间科学、物理学、数学领域呈现了高合作率;
- (2) 材料科学、计算机科学、农学、化学呈现较低的合作率。

一方面反映了不同学科领域的合作倾向不同, 另一方面反映了世界在各领域的合作发展布局的不均衡。

- 各代表性国家在各领域呈现不同合作率。

(1) 除中国、俄罗斯、印度、日本、美国之外, 其他选取国家的合作率均高于世界平均水平。

(2) 瑞士、荷兰在各领域合作率都高于其他国家, 这是由于国家意识到合作的对资源流动的推动作用, 而自身科技受到资源限制, 所以加大国际科技交流与合作。

(3) 绝大多数代表性国家在数学、物理学、化学领域国际合作率处于上升状态, 有的国家处于谷峰, 中国恰恰相反, 在这个领域处于明显的合作率谷底, 这说明在数学、物理学、化学领域, 中国科学研究以自主研究为主导地位, 这也从另一个侧面说明, 中国在数学、物理学、化学等基础研究中具有较强的实力。

各国应充分利用国际合作引起的资源流动, 优化自身资源配置。

4.3 合作倾向——以中国为例

这里采用归一化的合作量, 原因是这一指标消除了因为领域、国家的差异所引起的合作差距, 在领域间各国具有可比性。选取 2000、2005、2010 三年在各领域与中国合作的平均标准化合作量居于前 15 位的国家, 作为中国在各学科领域具有合作倾向性的国

家, 采用 Jaccard 指数公式: $NW = \frac{AW}{\sqrt{n_i n_j}}$, 其中 n_i 是 i 国的国际合作量, n_j 是 j 国的国际合作量。

中国在 12 个领域的主要合作国的国别分布如图 5 所示。美国是中国在各学科领域中的最大合作国, 标准化合作量在 20% 左右, 其次是日本, 标准化合作量在 18% 左右。在空间科学领域中国与其他 15 国的标准化合作量差值较小, 其他领域都表现出较大的差别, 计算机科学领域标准化合作量差值较大, 说明在计算机领域中国更倾向于与美国、日本、加拿大、韩国合作。在与这些国家的合作中, 中国与北美、西欧、亚洲、大洋洲的发达国家及新兴工业国家或地区的合作为主; 与东北欧、南美、中东等地区的国家的合作较为分散, 所占份额也较小, 这一格局具有合理性, 这是由科技资源分布和科技实力决定的。同时, 中国与日本、马来西亚、泰国、新加坡、台湾有密切的合作往来, 地缘作用也发挥着重要作用。总体看来, 在各领域的合作国家分布较为集中; 在各领域中, 各国的合作量变动较大, 这与各国的资源分布、科技实力以及学科领域特征相关。

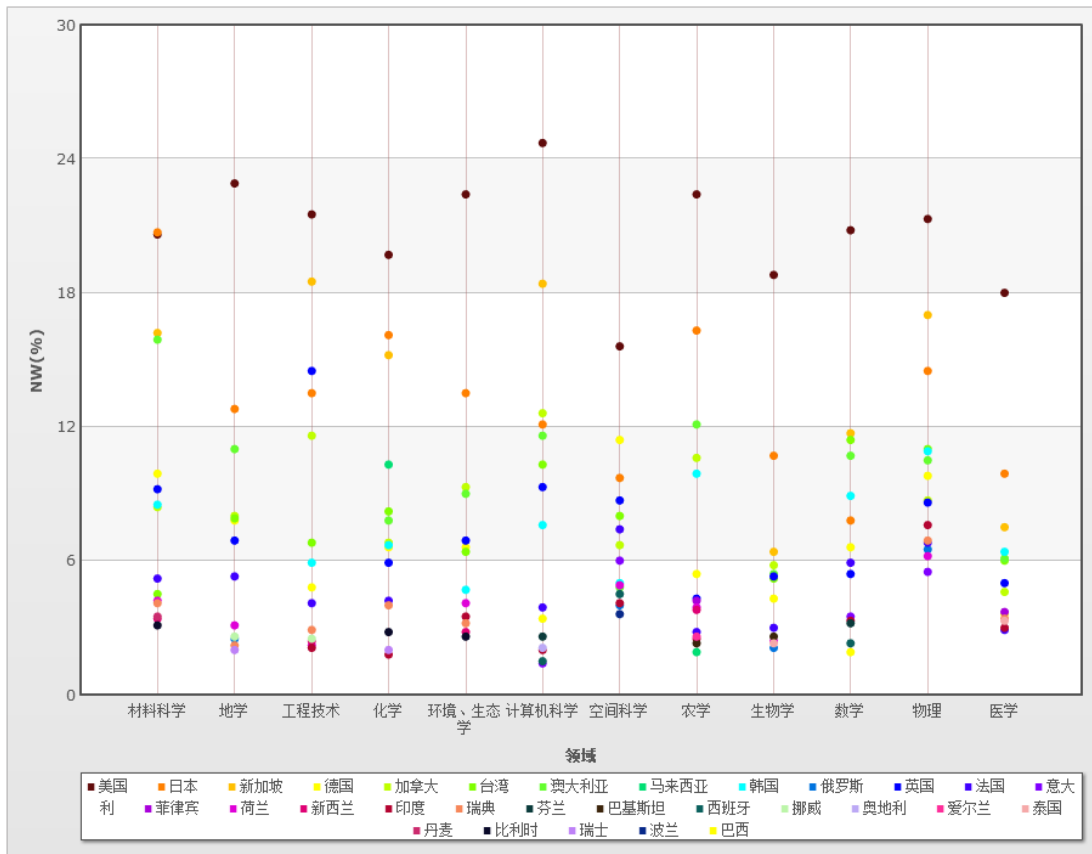


图 5 中国 2000-2010 各领域国际合作主要国家

5、总结

2000 年以来, 全球化日益明显, 国际科学合作也呈现出了新的发展特征。

- (1) 国际合作一直保持较快的增长, 其格局由单一化走向多元化趋势, 并且有了子群特征, 形成了具有地缘性的欧洲子群和亚洲子群, 但不论从质上还是量上, 后者与前者还具有明显的差距。
- (2) 从科技实力上来说, 国际合作还具有阵营性——传统科技强国和新兴国家, 但科技新兴国家国际合作份额普遍低于科技强国, 尽管国际合作呈现多元化趋势, 但是科研中心还是传统科技强国, 只是两个阵营的差距慢慢在减小。

- (3) 在国际合作领域上, 各领域合作率在不断增强, 整体看来倾向于基础研究的学科领域其合作性强, 倾向于应用研究的合作性弱。
- (4) 从选择的代表性国家的领域国际合作来看, 还存在学科领域合作结构的不合理, 各国应该积极利用科学合作, 充分利用国际先进技术和设备, 提高自身研究能力。特别是在大科学工程上, 各国应该加大投入强度和宏观调控力度, 支持科学家精英加入到国际合作中, 为世界输出更多的智力资源。

参考文献

- [1]. OECD. The Measurement of Scientific and Technological Activities Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data: Oslo Manual. 1997: European Commission and Eurostat,.
- [2]. 金炬, 武夷山, 梁战平. 国际科技合作文献计量学研究综述[J]. 图书情报工作, 2007. 3: p. 63-67.
- [3]. Egghe, L. Methodological Aspects of Bibliometric[J]. Library Science, 1988. 25(3): p. 13.
- [4]. 高小强, 赵星, 陶乃航. 网络中心度用于期刊引文评价的有效性研究[J]. 大学图书馆学报, 2009(005): p. 61-65.
- [5]. 约翰·斯科特. 社会网络分析法. 2007, 重庆: 重庆大学出版社.
- [6]. 刘军. 整体网分析讲义-UCINET 软件使用指南. 2009, 上海: 上海人民出版社.
- [7]. Wagner, C.S., I. Brahmakulam, B. Jackson, A. Wong, T. Yoda. Science and technology collaboration: building capacity in developing countries? 2001: RAND.
- [8]. Davidson Frame, J.M.P. Carpenter. International research collaboration[J]. Social Studies of Science, 1979. 9(4): p. 481-497.
- [9]. 刘云, 朱东华. 基础学科国际合作特征的科学计量分析[J]. 科学学研究, 1997. 15(001): p. 34-38.

作者简介:

张志强, 男, 1964 年生, 研究员。博士生导师。发表论文 260 多篇, 独立和合作公开出版专编著 17 部、出版译著 7 部。研究方向: 科技战略与科技政策研究、科技情报学理论与方法研究。zhangzq@lzb.ac.cn

韩涛, 男, 1980 年生, 副研究员, 博士。发表论文十余篇, 出版专著 1 部。hant@mail.las.ac.cn
谭晓, 女, 1983 年生, 博士研究生。发表论文 3 篇。tanxiao@mail.las.ac.cn