

· 资料信息 ·

全球主要国家(地区)研发投入与产出的比较分析

蔡郁文¹ 刘 灿^{2*}

(1. 国家自然科学基金委员会办公室; 2. 国家自然科学基金委员会科学传播中心, 北京 100085)

[编者注] 《科学与工程指标》是美国国家科学基金会(NSF)受美国国会委托组织撰写的科技指标综合分析报告, 该系列报告不仅描述了美国科学、工程和技术相关指标在全球背景下的动态变化, 还囊括了在全世界科学技术领域有重要影响的主要国家(地区)的科技指标数据以及国际合作与竞争态势等方面的数据分析。本文根据《2018年科学与工程指标》摘要编译, 报告全文免费获取网址为: <https://www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/downloads>。

1 全球主要国家(地区)研发投入比较

1.1 主要国家(地区)研发投入总量

研发投入是对知识增长与积累的投资, 是创新的基础, 《科学与工程指标》中国家(地区)的研发投入指的是其全社会研发投入(Gross Expenditures on R&D, GERD)。统计数据表明, 全球研发投入继续保持大幅增长, 以购买力平价计算, 2015年全球总研发投入高达19 180亿美元, 这一数字在2000年仅为7 220亿美元, 15年间全球研发的年均增长率为6.7%。

全球研发投入集中在北美、欧洲、东亚、东南亚和南亚地区。2015年, 北美地区(包括美国、加拿大、墨西哥)研发投入总额占全球的28%(5 350亿美元); 欧洲地区(包括28个欧盟成员国)占全球的22%(4 150亿美元); 东亚、东南亚和南亚地区(包括中国、日本、韩国、印度等), 占全球的40%(7 735亿美元)。全球研发投入剩余的10%分布在中东、南美、中亚、澳大利亚、大洋洲、非洲、中美洲和加勒比地区。

对比世界主要国家(地区)的研发投入(表1), 美国依旧是研发资金投入最多的国家, 2015年以4 970亿美元的投入资金占全球总额的26%。中国以4 090亿美元的投入资金紧随其后, 占全球总额的21%, 较欧盟整体的研发投入总量还高(3 860亿美元)。日本(1 700亿美元, 9%)和德国(1 150亿美

元, 6%)分别排名第3和第4。韩国(740亿美元)、法国(610亿美元)、印度(500亿美元)和英国(460亿美元)的研发投入位于第三梯队, 占全球总额的2%—4%。全球排名前15的其他7个国家(地区)分别为巴西、俄罗斯、台湾、意大利、加拿大、澳大利亚和西班牙。美国和中国的研发投入总量几乎占全球的一半(47%), 排名前15名的国家(地区)占全球的85%。

2000—2015年, 全球研发投入总量增加了超过2.5倍, 表明各国家(地区)之间知识密集型的经济竞争增强。东亚、东南亚及南亚国家(地区)研发投入明显增长, 全球占比从2000年的25%增长至2015年的40%。中国作为较大新兴经济体保持着强有力的研发增长态势, 2010—2015年研发投入以13.9%的年均速率增长(考虑通货膨胀因素后为12.0%), 2000—2015年15年间的增长量占全球总增长量的31%(3 760亿美元)。同时期, 韩国和日本研发投入的年均增长率分别为7.3%和3.9%, 近10年的研发投入增长占全球总增量的5%(560亿美元)和6%(710亿美元)。

美国的研发投入量仍居世界首位, 但其增长速率较为缓慢, 2010—2015年的平均增长速率为4.0%, 全球占比从2000年的37%下降至2015年的26%。2010—2015年, 欧盟国家研发投入总量的年均增长率为4.6%, 但其投入总量的全球占比也从2000年的25%下降至2015年的20%。

* 通讯作者, Email: liucan@nsf.gov.cn

表1 主要国家(地区)研发投入总量(GERD)及研发投入强度(GERD/GDP)

| 国家(年份) | GERD(10亿美元) | GERD/GDP (%) |
|-------------|-------------|--------------|
| 美国(2015) | 496.6 | 2.74 |
| 中国(2015) | 408.8 | 2.07 |
| 欧盟(2015) | 386.5 | 1.96 |
| 日本(2015) | 170.0 | 3.29 |
| 德国(2015) | 114.8 | 2.93 |
| 韩国(2015) | 74.1 | 4.23 |
| 法国(2015) | 60.8 | 2.22 |
| 印度(2015) | 50.3 | 0.63 |
| 英国(2015) | 46.3 | 1.70 |
| 巴西(2014) | 38.4 | 1.17 |
| 俄罗斯联邦(2015) | 38.1 | 1.10 |
| 意大利(2015) | 30.1 | 1.33 |
| 加拿大(2015) | 27.1 | 1.71 |
| 澳大利亚(2013) | 23.1 | 2.11 |
| 西班牙(2015) | 19.8 | 1.22 |

1.2 主要国家(地区)研发投入强度

研发投入强度是衡量国家或地区研发创新程度的另一个重要指标,即全社会研发投入与国内生产总值之比(GERD/GDP)。对比世界各个国家(地区)的研发投入强度,尽管美国的研发投入量远高于其他任何一个国家,但其研发投入强度在全球仅排第11位。2015年,以色列在研发投入强度排行榜上位列榜首,占比为4.3%。韩国自19世纪90年代末以来持续加大研发投入,已成为世界上研发投入强度最大的国家之一,占比为4.2%,名列第2。瑞士排名第3,研发投入占比为3.4%。日本名列第4,占比为3.3%。其他一些研发投入强度较高的国家(地区)分别为瑞典(3.3%)、奥地利(3.1%)、台湾(3.1%)、丹麦(3.0%)、德国(2.9%)、芬兰(2.9%)。美国在2015年的排名有所下降,位列第11位(2.7%)。排名前15的国家(地区)还包括法国(2.2%)、中国(2.1%)、英国(1.7%)和印度(0.6%)。2000—2015年研发投入强度增加速度最快的两个国家是中国和韩国,中国从2000年的0.9%增加至2.1%,韩国从2.2%增加至4.2%。欧盟整体的研发投入强度从2000年的1.7%提高至2015年的约2.0%。

1.3 主要国家(地区)研发经费来源及执行部门

企业既是各国家(地区)研发投入的主要来源又是主要执行者(表2)。2015年,美国企业执行比率占研发总支出的72%,中国、日本、韩国、德国、法国及英国研发支出的企业执行比率分别为77%、79%、78%、69%、65%和66%,印度仅为44%。

政府是研发经费投入的第二个主要执行者。2015年,美国政府的研发投入约占全国总量的11%,主要由联邦政府投入,少量由非联邦政府(州)投入。与较低的企业投入相反,印度政府的研发投入份额远远高于其他国家,高达53%。中国这一参数高于美国,政府投入占全国投入总量的16%。其次分别为德国(14%)、法国(13%)、韩国(12%)、日本(8%)和英国(7%)。

高等教育部门的研发投入在主要国家(地区)研发投入总额所占比例间于4%—26%。2015年,法国为20%、英国26%、德国17%、美国13%、日本12%、韩国9%、中国7%,印度最低为4%。

统计数据表明,企业是研发资金的主要来源(表2)(无印度的资金来源数据)。2015年,美国62%的研发经费来源于本土企业,中国、日本和韩国的比例较高,分别占75%、78%和75%。另外,德国的这一比例为66%,英国较低为48%。

政府部门的资助是第二个重要的资金来源。法国是几个国家中政府投入最多的国家,比例达35%,美国政府投入占比26%,德国、英国、韩国、中国的这一比例分别为28%、28%和24%及21%,日本政府科研投入的全国占比最低,仅为15.4%。

海外支持包括来自国外的企业、大学、政府、非营利组织和其他组织的资金。2015年,英国18%的研发经费来源于海外,其次为法国(8%)、德国(6%)和美国(5%),中国仅有0.7%的资金来自海外。

在研发投入活动类型方面,各主要国家(地区)对基础研究、应用研究和实验研发的投入各有侧重。2015年,美国将研发投入总额的17%用以基础研究,资金达839亿美元。这一比例在法国更高(24%),其他主要国家用于基础研究的研究投入占比为:法国24.4%、韩国17.2%、英国16.9%、英国16.0%、日本11.9%(表3)。中国在基础研究上的投入比例明显偏低,仅为5.1%,约210亿美元,约95%的研发经费用在了应用研究和实验发展上。

表2 2015年主要国家研发投入的执行部门及来源

| 国家 | 研发投入 (10亿美元) | 研发执行部门占总量比例(%) | | | | 研发投入来源占总量比例(%) | | | |
|----|-----------------|----------------|------|--------|---------|----------------|------|--------|------|
| | | 企业 | 政府 | 高等教育部门 | 私有非盈利机构 | 企业 | 政府 | 国内其他机构 | 海外 |
| 美国 | 496.6 | 71.7 | 11.3 | 13.0 | 4.0 | 62.4 | 25.5 | 7.1 | 5.0 |
| 中国 | 408.8 | 76.8 | 16.2 | 7.0 | — | 74.7 | 21.3 | — | 0.7 |
| 日本 | 170 | 78.5 | 7.9 | 12.3 | 1.3 | 78.0 | 15.4 | 6.1 | 0.5 |
| 德国 | 114.8 | 68.7 | 14.1 | 17.3 | * * | 65.6 | 27.9 | 0.4 | 6.2 |
| 韩国 | 74.1 | 77.5 | 11.7 | 9.1 | 1.6 | 74.5 | 23.7 | 1.0 | 0.8 |
| 法国 | 60.8 | 65.1 | 13.1 | 20.3 | 1.6 | 55.7 | 34.6 | 2.0 | 7.8 |
| 印度 | 50.3 | 43.6 | 52.5 | 3.9 | — | — | — | — | — |
| 英国 | 46.3 | 65.7 | 6.8 | 25.6 | 1.9 | 48.4 | 28.0 | 6.0 | 17.6 |

表3 2015年主要国家研发投入分布

| 国家 | 研发投入 (10亿美元) | 基础研究 | | 应用研究 | | 实验发展 | |
|----|-----------------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| | | 投入 (10亿美元) | 占比 (%) | 投入 (10亿美元) | 占比 (%) | 投入 (10亿美元) | 占比 (%) |
| 美国 | 496.6 | 83.9 | 16.9 | 97.3 | 19.6 | 315.3 | 63.5 |
| 中国 | 408.8 | 20.8 | 5.1 | 44.2 | 10.8 | 344.2 | 84.2 |
| 日本 | 170.0 | 20.2 | 11.9 | 33.8 | 19.9 | 108.3 | 63.7 |
| 德国 | 114.8 | — | — | — | — | — | — |
| 韩国 | 74.1 | 12.7 | 17.2 | 15.4 | 20.8 | 45.9 | 61.9 |
| 法国 | 60.8 | 14.8 | 24.4 | 22.9 | 37.6 | 21.1 | 34.7 |
| 印度 | 50.3 | 8.0 | 16.0 | 11.2 | 22.3 | 11.8 | 23.5 |
| 英国 | 46.3 | 7.8 | 16.9 | 20.0 | 43.3 | 18.4 | 39.8 |

2 全球主要国家(地区)研发产出比较

2.1 科技论文产出量

本次分析论文产出的计量数据均来自美国国家科学基金会(NSF)、国家科学与工程统计中心(NCSES)、斯坦福国际研究院(SRI International)、Science-Metrix、Elsevier、Scopus的数据库。同行评议科技论文是衡量一个国家科研产出实际且有效的指标之一。2016年,发达国家(地区)依旧是全球科技论文产出大国,发表论文约140万篇,发展中国家为90多万篇,但发展中国家发表论文数的增长速度(年均8.9%)较发达国家(年均1.7%)快。美国发表科技论文的数量从2006年的38.3万篇增加至2016年的约41万篇,增长了约0.7%,但全球占比却从24.4%下降至17.8%。

2016年,排名前5的论文产出大国分别为中国(占全球18.6%)、美国(17.8%)、印度(4.8%)、德国(4.5%)和英国(4.3%)。欧盟作为一个整体,占世界科技论文总量的26.7%(表4)。日本一直是科技论文的产出大国,但自2013年以来其论文量一直在下降,2016年排名第6。在数量上,美国、中国和欧盟产出的论文总量大约占据了全世界发表论文的2/3。

表4 2006年和2016年主要国家(地区)科技论文产出情况

| 排名 | 国家/地区 | 2006年 | 2016年 | 年均增幅 (%) | 2016年全球 占比(%) |
|----|-------|-----------|-----------|-------------|------------------|
| 1 | 中国 | 189 760 | 426 165 | 8.4 | 18.6 |
| 2 | 美国 | 383 115 | 408 985 | 0.7 | 17.8 |
| 3 | 印度 | 38 590 | 110 320 | 11.1 | 4.8 |
| 4 | 德国 | 84 434 | 103 122 | 2 | 4.5 |
| 5 | 英国 | 88 061 | 97 527 | 1 | 4.3 |
| 6 | 日本 | 110 503 | 96 536 | -1.3 | 4.2 |
| 7 | 法国 | 62 448 | 69 431 | 1.1 | 3.0 |
| 8 | 意大利 | 50 159 | 69 125 | 3.3 | 3.0 |
| 9 | 韩国 | 36 747 | 63 063 | 5.5 | 2.8 |
| 10 | 俄罗斯 | 29 369 | 59 134 | 7.2 | 2.6 |
| 11 | 加拿大 | 49 259 | 57 356 | 1.5 | 2.5 |
| 12 | 巴西 | 28 160 | 53 607 | 6.6 | 2.3 |
| 13 | 西班牙 | 39 271 | 52 821 | 3 | 2.3 |
| 14 | 澳大利亚 | 33 100 | 51 068 | 4.4 | 2.2 |
| 15 | 伊朗 | 10 073 | 40 974 | 15.1 | 1.8 |
| 16 | 土耳其 | 19 547 | 33 902 | 5.7 | 1.5 |
| 17 | 波兰 | 21 267 | 32 978 | 4.5 | 1.4 |
| 18 | 荷兰 | 24 461 | 29 949 | 2 | 1.3 |
| 19 | 台湾 | 25 246 | 27 385 | 0.8 | 1.2 |
| 20 | 瑞士 | 16 385 | 21 128 | 2.6 | 0.9 |
| — | 世界 | 1 567 422 | 2 295 608 | 3.9 | — |

2006—2016年,全球发表科技论文数平均每年增长3.9%,发展中国家的论文产出量以每年8.6%的比例增加,是世界年均增长率的2倍。其中,中国以8.4%的增长率引领发展中国家的论文产量,在科技论文发表上一直保持着稳定增长并在2016年跃居为全球最大的论文生产国(426 165篇),占全球总份额的18.6%。同为发展中国家的印度和巴西,论文年增长率分别为11.1%和6.6%,2016年全球占比分别上升至4.8%和2.3%;印度的发文量全球排名第3(表4)。发展中国家科研论文量的强劲增长表明了发展中国家科学技术能力的迅速增强,这一变化趋势也与研发支出的增长趋势一致。总体上,2016年占全世界1/4的50个国家(地区)产出的科技论文数量占到了全球总量的96.9%(表4)。2016年发表论文数超过5 000篇的一些规模较小的发展中国家,如伊朗、马来西亚、沙特阿拉伯、印度尼西亚和哥伦比亚,2006—2016年的论文年增长率均超过了15%。

欧盟作为全球最大的科技论文生产经济体,2006—2016年论文产出量增长了2.5%,高于发达国家的1.7%。欧盟一些较小的成员国,如捷克共和国、罗马尼亚和斯洛伐克等国家的论文产出量增速加快,年均增长率超过6.0%。相比之下,欧盟三大论文产出国法国、德国和英国则增速下滑,分别为1.1%、2.0%、1.0%。与美国变化趋势一样,欧盟论文产出量全球占比也从2006年的30.7%下降到2016年的26.7%。日本发表科技论文的数量在2006—

2016年10年间以1.3%的平均速率下降,全球占比从2006年的7.0%下降到4.2%。除了欧盟成员国和美国之外的其他发达国家,如澳大利亚、挪威、韩国和新加坡的论文产出量平稳增长(图1)。

2.2 不同学科的论文产出量

一个国家(地区)在不同学科产出的论文份额反映了其优先资助和重点发展的科学领域。美国、欧盟、中国、日本、印度几大论文产出国(地区)在论文出版的学科分布上有明显差异(表5)。数据表明,2016年美国近一半的科技论文都集中在生物学、医学或其他生命科学领域,高于全球的占比(38.6%),

表5 2016年主要国家(地区)/经济体不同学科论文的比例(%)

| 学科领域 | 全球 | 美国 | 欧盟 | 中国 | 日本 | 印度 |
|---------|-----------|---------|---------|---------|--------|---------|
| 工程 | 18.4 | 12.3 | 14.6 | 28.9 | 17.1 | 24.2 |
| 天文学 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 0.3 | 0.5 | 0.4 |
| 化学 | 7.9 | 5.1 | 6.7 | 12.3 | 9.1 | 10.1 |
| 物理 | 8.7 | 6.7 | 8.3 | 9.9 | 12.4 | 9.0 |
| 地球科学 | 5.7 | 5.0 | 5.5 | 7.1 | 3.8 | 4.9 |
| 数学 | 2.3 | 2.0 | 2.6 | 2.0 | 1.7 | 1.9 |
| 计算机科学 | 8.3 | 6.4 | 8.6 | 8.7 | 8.1 | 14.1 |
| 农业科学 | 2.2 | 1.2 | 2.0 | 2.2 | 1.5 | 2.6 |
| 生物学 | 15.3 | 17.9 | 15.0 | 14.0 | 15.2 | 14.5 |
| 医学 | 22.1 | 29.3 | 24.4 | 13.3 | 27.9 | 15.3 |
| 其他生命科学 | 1.2 | 2.4 | 1.3 | 0.2 | 0.4 | 0.4 |
| 心理学 | 1.7 | 3.5 | 2.1 | 0.3 | 0.6 | 0.2 |
| 社会学 | 5.3 | 7.2 | 8.0 | 1.0 | 1.5 | 2.4 |
| 论文总量(n) | 2 295 608 | 408 985 | 613 774 | 426 165 | 96 536 | 110 320 |

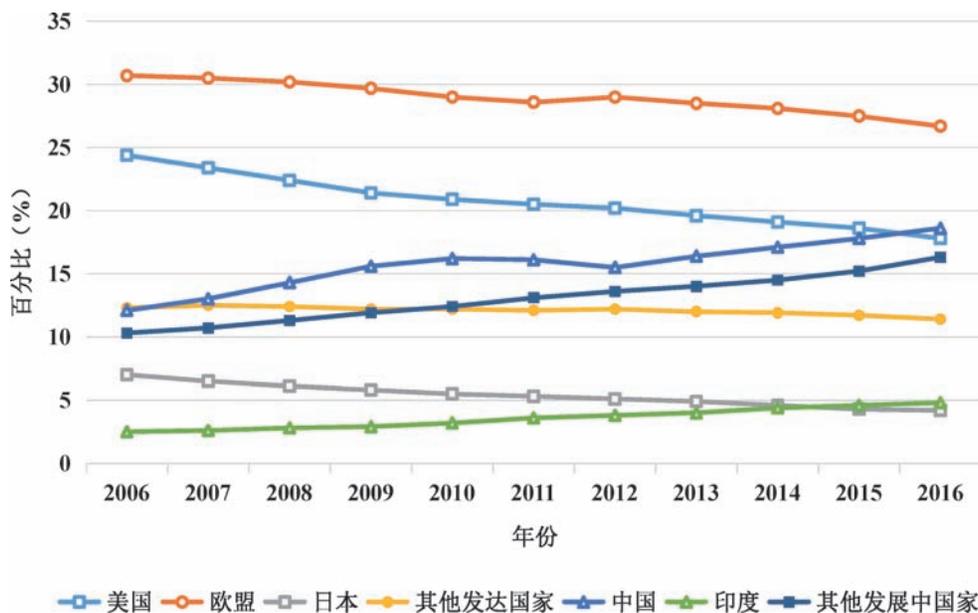


图1 2006—2016年主要国家(地区)/经济体产出科技论文全球占比情况

心理学和社会科学领域的论文产出量亦较大。欧盟在生物学、医学或其他生命科学领域发表的论文也较多,占其发文总量的40.7%,另外在物理学、化学和工程领域的论文比例均高于美国。

2016年,中国产出的科技论文主要集中于工程、化学、物理和地球科学领域,尤其在工程方面,以28.9%的占比高出世界(18.4%)近10%。印度是全球计算机科学领域论文产出最多的国家,以14.1%的比率占据这一学科论文排行榜首;其工程领域论文发表份额仅次于中国,为24.2%。日本产出的科技论文主要集中于工程、化学、生物学和医学领域。

2.3 科技论文的合作

当前,科学研究的国际合作日益普遍,不同国家通过国际合作发表的论文数量不断增多,2006—

2016年国际合作发表的论文比例从16.7%上升到21.7%,体现了全球整体研发能力的增强、科研人员素质的提升以及通信技术的发展。另外,全球在气候变化、食品、水源、能源安全研究等方面面临的挑战也促进了各国之间的科研合作。

数据表明,各个学科领域的国际合作均呈现增加趋势。2016年,天文学科的国际合作论文占比超过一半,为54.0%;其次为地球科学、数学、生物学和物理学,平均高于24.2%(图2)。国际合作项目及昂贵的研究设备(原子对撞机、望远镜等)都是影响合作密切程度的因素。2006—2016年间,以往国际合作比例相对较低的研究领域(如社会科学、工程学)国际合作率同样发生了增长,例如社会科学从11.4%上升至15.4%,工程学从13.7%增加至17.7%(图2)。

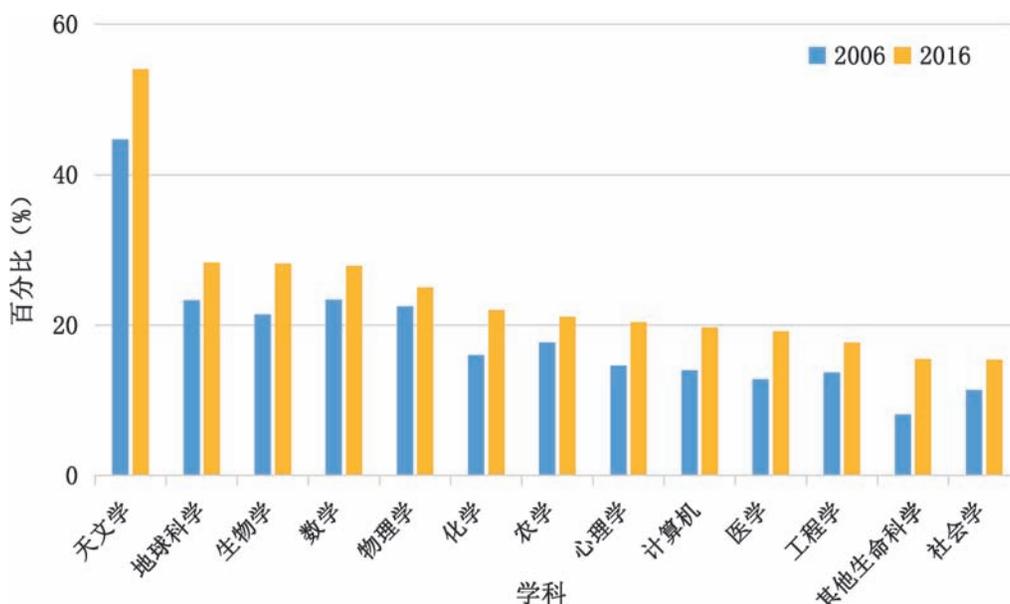


图2 2006年及2016年不同学科科技论文国际合作情况

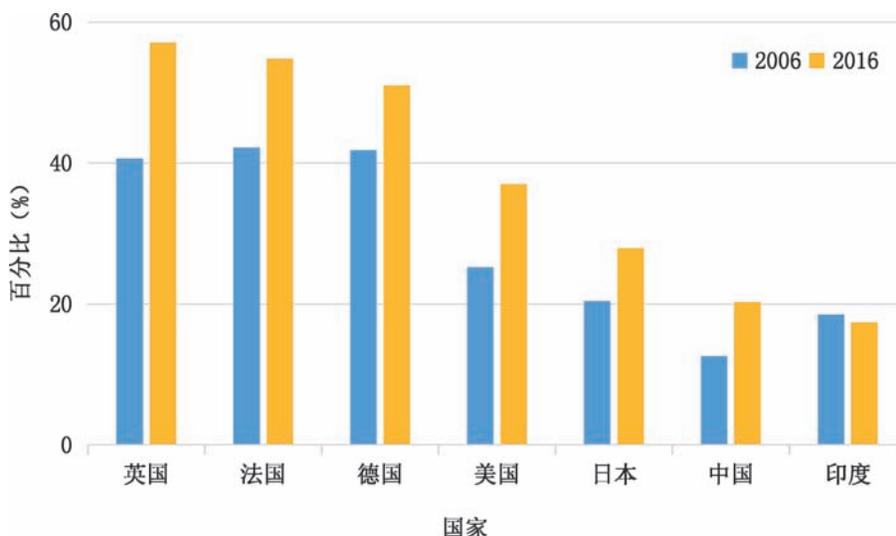


图3 2006年及2016年主要国家科技论文的国际合作情况

2006—2016 年欧洲主要国家国际合作研究论文产出比例普遍大幅提高,幅度最为明显的 3 个国家为英国、法国和德国,这 3 个国家也是欧洲最大的科技论文生产国。中国国际合作论文比例提升明显,但仍略低于世界平均水平(21.7%)。印度国际合作论文则从 2006 年的 18.5%下降至 2016 年的 17.4%(图 3)。

从科技论文合作程度上来看,美国的主要合作伙伴主要包括中国(22.9%)、英国(13.4%)、德国(11.2%)和加拿大(10.2%)。中国作为目前全球最大的科技论文产出国,国际合作能力日益提高,2016 年有 95 476 篇论文产生于国际合作,是 2003 年产出

的 6.6 倍(14 460 篇)。主要合作国家包括美国(43 968 篇)、英国(10 472 篇)、澳大利亚(9 246 篇)及日本(6 706 篇)。从论文合作范围上来看,地理、历史及语言都不同程度地影响了国家或地区间的合作强度。“教育合作”也是推动国际合作的一个重要原因,中国作为获得美国博士学位最大的外国学生来源国,与美国的“合作指数”在 2006—2016 年间从 0.88 上升到 1.19。

2.4 科技论文的引用

科技论文被其他国家(地区)引用的次数代表一个国家的国际影响力,国际引用数越高也表明该国家(地区)科研产出的质量越强。从平均被引率和高

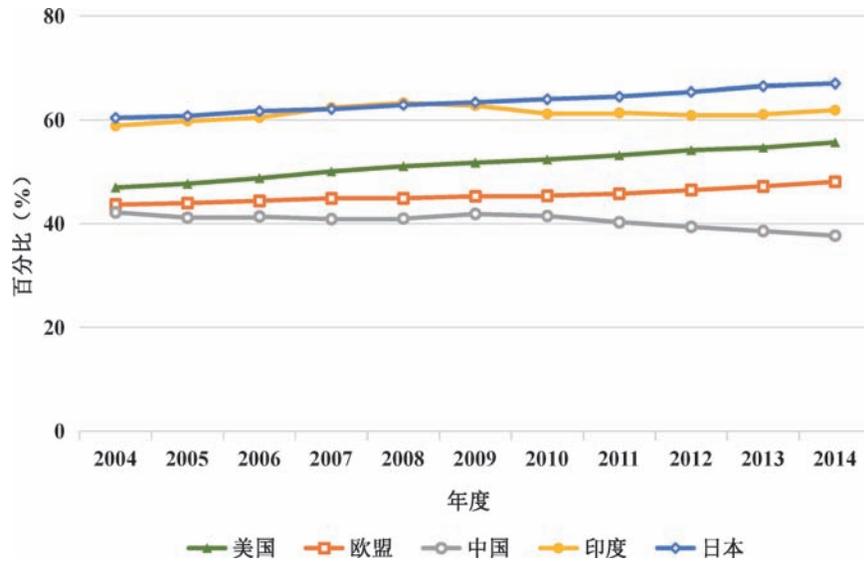


图 4 2004—2014 年主要国家(地区)科技论文被引情况

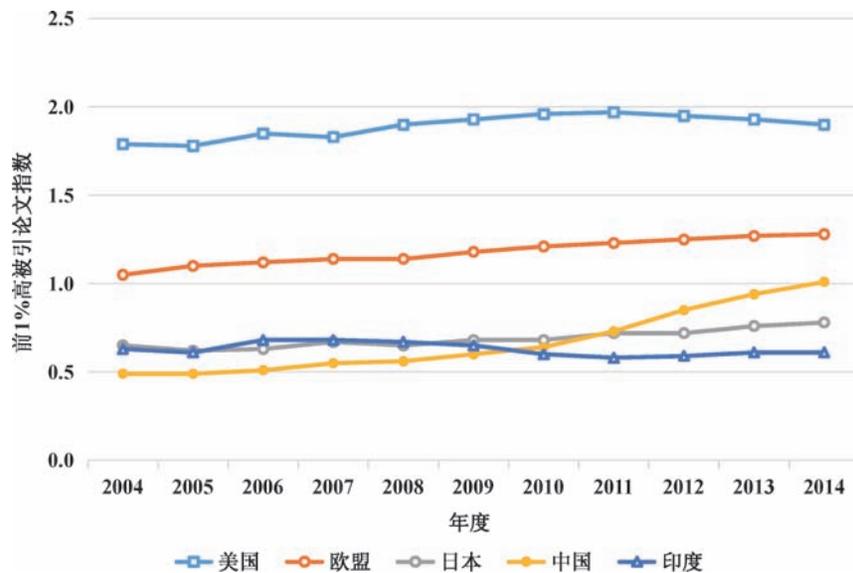


图 5 2004—2014 年主要国家(地区)前 1%高被引科技论文指数

被引论文量上看,发达国家较发展中国家更高,但发展中国家呈迅猛增长的趋势。2004—2014年,大部分国家(地区)产出论文被国际引用的比例都有所增加,美国从47.0%上升到55.7%,欧盟21个国家的国际引用率呈上升趋势,欧盟整体的引用份额从43.7%上升到48.1%,但其科研产出量的全球占比有所下降。亚洲经济体中,中国学者发表的论文被引用比例下降,从2004年的42.2%下降到2014年的37.7%,究其原因可能与近年来中国大幅增加的文章数量有关,论文体量的增大导致了被引比例的下降(图4)。印度则在论文产出和引用上均有增加的趋势,其文章引用率的逐年波动特征可能源于本报告选用数据库的变化或由于本国科研环境变化造成的。日本产出论文的被引率呈逐年增加趋势。

衡量一个国家(地区)科研影响力的另一项重要标准是被引用次数位居前1%的高被引论文数,本文用高被引论文指数来表示一个国家(地区)产出的前1%高被引论文比例。从一国(地区)所有科技论文入围前1%高被引论文的比例来看,美国高水平论文数量仍遥遥领先,2004—2014年间1%高被引论文指数一直稳定在1.78—1.97。2000—2014年间,欧盟前1%高被引论文指数从1.05增长到1.28,中国从0.49增加到了1.01,虽落后于美国,但增长速率不容小觑(图5)。

2004—2014年,美国在农业科学、天文学、生物科学、计算机科学、地球科学、医学和物理学等领域内发表的前1%高被引论文在全球所占的比例逐年增长,而在化学、工程和数学领域高被引论文占比下降,社会科学高被引论文指数保持稳定。中国产出

的前1%高被引论文指数较高的学科领域分别为化学、计算机科学、数学、其他生命科学和社会科学领域。2014年,欧盟一些较小的研究密集型国家前1%高被引论文指数超过了美国,包括奥地利、比利时、塞浦路斯、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、希腊、爱尔兰、卢森堡、荷兰和瑞典。近年来,比利时、捷克共和国、法国、德国、意大利、西班牙和英国产出的前1%高被引论文指数亦超过了1。

3 结 语

全球越来越多的国家或地区日益重视科技投入并将其视为经济增长的引擎,数据表明,美国、欧盟、日本等传统发达国家在科学和工程领域仍处于世界领先地位,绝对研发活动水平仍在不断上升,但增长速度放缓,全球份额缩小。全球科技格局正在向“多极化”发展,发展中国家的科技实力持续增强,新兴经济体特别是中国的发展尤为迅速,在研发投入、论文产出方面与美国不断接近。印度、韩国和其他亚洲经济体也和世界其他国家一样,在他们各自相对较强的领域内发展,提高了全球科学和技术的研发能力。

科技论文被引证情况表明,中国在“质”的指标上与美欧等国家或地区相比还有较大差距,存在着“总量”和“质量”的分化,即发表的科技论文数量最多,但影响力不大。国际合作及国际间引用的增加表明,科技工程领域的知识正在全世界范围内不断地流动,科技的日益交融将为世界各国(地区)带来更多发展机遇,并进一步促进全球科技成果的共享和经济的发展。