

· 科学论坛 ·

全球主要国家(地区)研发支出与科研产出的比较分析

姜钧译[†] 刘 灿^{†*}

国家自然科学基金委员会 科学传播与成果转化中心,北京 100085

[编者按] 《科学与工程指标》是美国国家科学基金会(NSF)受国家科学委员会(NSB)委托,指导美国国家科学与工程统计中心(NCSES)每两年编制一次的报告。该系列报告描述了全世界主要国家(地区)科学、工程和技术相关指标数据以及在全球背景下的动态变化,它仅对全球数据进行高质量地统计分析,不提供政策选择或提出政策建议。随着2020年版的发布,各项指标正在从一份单一、庞大的报告转变为一系列在线发布的精简报告,报告全文免费获取网址为:<https://ncses.nsf.gov/indicators/reports>。本文根据《2020年科学与工程指标》中研发支出、科研产出及国际科研合作部分内容进行摘要编译。

1 全球主要国家(地区)研发支出比较

1.1 主要国家(地区)研发支出总量

研发支出已经成为衡量一个国家(地区)资金实力、教育水平、研发实力、创新成果的重要指标,研发支出巨大的国家(地区)通常也是创新的领先者。《科学与工程指标》中国家(地区)的研发支出指的是其全社会研发支出(Gross Expenditures on R&D, GERD)。

报告显示全球研发支出总额继续大幅增长,NCSES最新估计,根据当年购买力,2017年全球研发支出达到2.153万亿美元,相比于2000年的7220亿美元,全球研发支出在17年间年平均增长率为6.2%,这种近乎3倍的增长从一定程度上反映出世界各国经济竞争中不断升级的知识强度,以及各国利用科技进步来改善国家经济和社会福利的愿望。

全球各国家(地区)的研发绩效仍然集中在北美(美国、加拿大和墨西哥等)、欧洲(主要为欧盟成员国)、亚洲南部(印度、巴基斯坦等)和亚洲东部(中国、日本、韩国、中国台湾等)地区。其中,亚洲南部及东部地区的研发支出全球占比最高(42%),约合

8970亿美元;其次是北美地区,研发支出占比27%,约合5870亿美元;欧洲地区位列第三,研发支出占比21%,约合4600亿美元。剩余10%的研发支出来自中东、南美、中亚、澳大利亚与大洋洲、非洲、中美洲与加勒比地区(按降序排列)。

各主要国家(地区)之间研发支出的差异更为明显(表1)。2017年,美国的研发支出继续保持领先地位(5490亿美元),占全球研发支出总额的25%;中国继续保持全球第二大经济体(4960亿美元),占比23%,在过去几年中,中美两国在研发支出上的差距逐渐缩小;日本占全球总研发支出的8%(1710亿美元),位居第三;德国位居第四,全球占比6%(1320亿美元);韩国也加大了研发支出,2017年达到910亿美元,全球占比4%,位居第五。紧随其后的是法国(650亿美元)、印度(500亿美元)和英国(490亿美元),全球占比为2~3%。俄罗斯、巴西、中国台湾和意大利每年的研发支出总量为340~420亿美元,约占全球的2%。加拿大、西班牙、土耳其和澳大利亚每年的研发支出为210~270亿美元,约占全球的1%。以上这16个国家(地区)2017年的研发支出总额占全球的86%,其他国家(地区)均远低于他们。

收稿日期:2020-05-08;修回日期:2020-05-15

[†] 共同第一作者

* 通信作者,Email: liucan@nsfc.gov.cn

表1 全球前16位国家(地区)的研发投入总量(GERD)及研发投入强度(GERD/GDP)

序号	国家(年份)	GERD (10亿美元)	GERD/GDP (%)	序号	国家(年份)	GERD (10亿美元)	GERD/GDP (%)
1	美国(2017)	548.98	2.81	9	俄罗斯(2017)	41.87	1.11
2	中国(2017)	495.98	2.15	10	巴西(2016)	39.90	1.27
3	日本(2017)	170.90	3.20	11	中国台湾(2017)	39.30	3.30
4	德国(2017)	132.00	3.04	12	意大利(2017)	33.54	1.35
5	韩国(2017)	90.98	4.55	13	加拿大(2017)	27.16	1.59
6	法国(2017)	64.67	2.19	14	西班牙(2017)	21.93	1.21
7	印度(2015)	49.75	0.62	15	土耳其(2017)	21.73	0.96
8	英国(2017)	49.35	1.66	16	澳大利亚(2015)	21.15	1.88

2000年以来,南亚和东南亚地区的研发支出增幅最大,全球占比由2000年的25%升至2017年的42%,而北美地区由2000年的40%下降至2017年的27%。亚洲地区的研发支出在未来几年将继续保持高速增长。

2000—2017年,中国仍然是世界上研发支出增长最快的国家,其研发支出增量占全球的32%(4630亿美元),其中2000—2010年间年均增长20.5%,2010—2017年间年均增长12.8%。亚洲除中国之外的其他几个主要国家的研发支出增长也很显著,2000—2017年,日本和韩国的增量均占全球的5%(分别为720亿美元)。韩国2000—2010年的年均增长率为10.9%,2010—2017年的年均增长率为8.3%;而日本的研发支出增长则慢得多,年均增长率分别为2000—2010年的3.6%和2010—2017年的2.8%。

虽然美国的研发支出仍位居世界之首,但其2000—2017年的研发支出增量仅占全球的20%(2800亿美元),在2000—2010年和2010—2017年两个时间段的研发支出年均增长率均为4.3%,其研发支出的全球占比已从2000年的37%下降至2017年的25%。

欧盟国家2000—2017年研发支出增量占全球的17%(2470亿美元),其在2000—2010年的年均增长率为5.3%,2010—2017年的年均增长率为4.9%。其中德国在两个时间段的年均增长率分别为4.9%和6.1%,法国分别为4.3%和3.5%,英国分别为4.1%和4.0%。

1.2 主要国家(地区)科研支出强度比较

研发支出强度是指研发支出与国内生产总值的比值(GERD/GDP),它反映了一个国家(地区)研发支出相对于整个社会经济活动的水平,是衡量其研

发创新程度的另一个重要指标。

2000—2017年,美国的研发支出强度保持在2.6~2.8%,尽管其研发支出总额远高于其他国家,但其2017年的研发支出强度在全球仅排第10位。2017年,韩国和以色列的研发支出强度接近并列第一(以色列的数据中不包含国防研发支出,而韩国包含这部分数据),分别为4.6%和4.5%。长期以来,以色列的研发支出强度在国际上一直处于领跑地位,但自20世纪90年代末以来,韩国的研发支出强度上升速度尤为明显,且韩国是世界上研发支出最多的国家之一,每年的研发支出是以色列的数倍。瑞典和瑞士排名并列第三(均为3.4%);中国台湾紧随其后(3.3%);日本排名第六(3.2%)。其他几个研发支出强度较高的国家分别是:奥地利(3.2%)、丹麦(3.1%)、德国(3.0%)、芬兰(2.8%)、法国(2.2%)、中国(2.2%)、英国(1.7%)、土耳其(1.0%)、印度(0.6%)。

2009年,美国的研发支出强度全球排名第8位,2013年和2015年排名第11位,2017年排名第10位。尽管美国在过去十年里研发支出强度总体上处于较高水平,但其他国家一直在扩大研发活动的范围和水平,因此美国的排名有所下降。

欧盟作为一个整体其研发支出强度一直逐年上升,从2000年的1.7%上升至2017年的近2.0%。在研发支出较高的欧盟成员国中,德国的研发支出强度从2.4%逐渐上升至3.0%,而法国(从2.1%上升到2.2%)和英国(从1.6%上升到1.7%)的研发支出强度增幅较为缓慢。

亚洲研发支出较高的国家和地区中,日本研发支出强度近些年呈逐年上升趋势,由2000年的2.9%上升至2017年的3.2%。中国和韩国均排在全球研发支出水平的前八位,2000—2017年,中

国的研发支出强度增长超过一倍,从2000年的近0.9%增长至2017年的约2.1%,这表明未来仍有充足的增长空间。近年来,韩国的研发支出强度大幅上升,从2000年的2.2%升至2017年的4.6%。

1.3 主要国家(地区)科研支出结构比较

全球研发支出排名前8位的国家中,大都以企业作为最主要的研发部门。2017年,美国的企业研发支出约占总研发支出的3/4,达到73%。亚洲研发支出表现突出的国家中,中国的企业研发支出占比为78%,日本和韩国的占比均为79%。相比于美国和亚洲国家,欧盟国家的企业研发支出占比较低,德国为69%,法国为65%,英国为68%。印度2015年数据为44%。印度的研发执行结构中一半以上是由政府完成的(52%)。全球研发支出排名前8的其余7个国家中,政府执行研发的费用占比在7~15%不等。法国和英国的科研机构执行的研发占比分别为21%和24%;其余研发支出排名前8的国家中,这一占比在4%~17%,其中印度的这一比例为4%(表2)。

通常研发支出表现较好的国家其资金来源主要为企业,政府则为第二大资金来源。除印度外,研发

支出排名前8的国家中企业占研发资金的52~78%,政府部门占15~33%。海外资金指的是来自一个国家之外的企业、科研机构、政府、非营利组织和其他海外组织的研发资金。英国在8个国家中的海外资金占比最高,为15.6%。法国、德国和美国的海外研发资金对于本国的研发水平也起到很大作用(占比约为6~8%),而其他研发支出排名靠前的国家的海外资金来源占比要低得多。

通常研发活动类型可分为基础研究、应用研究和实验开发三个方面,比较这三种研发活动的绩效和支出份额,为分析各国家(地区)的发展趋势提供数据支撑。

在研发支出排名前8位的国家中(表3),法国对于基础研究的研发支出占比最高(2016年为21%),但支出金额相对较低,仅为134亿美元。美国在基础研究上的支出金额最多(2017年为915亿美元),占其研发总支出的17%。中国的基础研究支出占比较低,2017年约为6%,但支出金额达到了270亿美元,远高于法国。本报告未获得德国、印度等国家关于不同研发类型支出的翔实数据。

表2 全球前8位国家研发支出的执行部门及来源

国家 (年份)	研发支出 (10亿美元)	研发执行部门占总量比例(%)				研发支出来源占总量比例(%)			
		企业	政府	高等教育部门	私有非营利机构	企业	政府	国内其他机构	海外
美国(2017)	549.0	72.9	9.9	13.0	4.3	62.5	23.1	7.3	7.1
中国(2017)	496.0	77.6	15.2	7.2	—	76.5	19.8	—	0.6
日本(2017)	170.9	78.8	7.8	12.0	1.4	78.3	15.0	6.1	0.6
德国(2017)	132.0	69.1	13.5	17.4	—	66.2	27.7	0.4	5.8
韩国(2017)	91.0	79.4	10.7	8.5	1.4	76.2	21.6	0.9	1.3
法国(2016)	62.3	65.0	12.7	20.7	1.7	55.6	32.8	3.9	7.7
印度(2015)	49.7	43.6	52.5	3.9	0.0	—	—	—	—
英国(2016)	47.4	67.6	6.5	23.7	2.2	51.8	26.3	6.4	15.6

表3 全球前8位国家的研发支出分布

国家(年份)	研发支出 (10亿美元)	基础研究		应用研究		实验开发	
		支出 (10亿美元)	占比 (%)	支出 (10亿美元)	占比 (%)	支出 (10亿美元)	占比 (%)
美国(2017)	549.0	91.5	16.7	108.8	19.8	347.6	63.3
中国(2017)	496.0	27.5	5.5	52.1	10.5	416.4	84.0
日本(2017)	170.9	22.4	13.1	31.9	18.7	109.2	63.9
德国(2017)	132.0	—	—	—	—	—	—
韩国(2017)	91.0	13.2	14.5	20.0	22.0	57.8	63.6
法国(2016)	62.3	13.4	21.5	25.6	41.1	22.0	35.5
印度(2015)	49.7	—	—	—	—	—	—
英国(2016)	47.4	8.6	18.1	20.9	44.0	18.0	37.9

英国在应用研究方面的研发支出占比最高(2016年为44%),约为210亿美元。其余国家的占比从11%(中国)到41%(法国)不等,美国的占比位列中间,为20%。但美国在应用研究上支出的金额最多,其2017年的支出为1088亿美元。中国的支出金额排名第2,为521亿美元;日本排第3位,支出319亿美元。

2017年,中国在实验开发的研发支出占总研发支出的比重最高,达到了84%,支出4164亿美元。美国支出了3476亿美元,占比63%。日本和韩国的这项研发占比也相对较高,均约为64%,但用于实验开发的研发支出金额则均远低于中国和美国。

2 全球主要国家(地区)科研产出比较

2.1 科技论文产出量

科研产出包括人才培养和知识进步,其中知识进步主要包括两个方面:科学与工程类学术论文的发表,以及科研人员获得的专利。虽然学术论文是一个国家或经济体科研产出的指标,但其并不是唯一的衡量标准。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-Matrix、Elsevier的Scopus摘要与引文数据库。

2018年,全球科技论文发表总量约为260万篇(表4),其中高收入经济体(美国、德国、日本等国家)发表的论文总量占全球的56%,中高收入经济体(中国、俄罗斯、巴西等国家)约为34%,中低收入经济体(印度、印度尼西亚、巴基斯坦等国家)约为9%。中美两国产出的论文数量最多,分别为528263篇(21%)和422808篇(17%)。紧随其后的是印度(135788)、德国(104396)、日本(98793)和英国(97681)。表4中的15个国家在2018年产出的论文数超过全球论文总量的75%,除伊朗取代中国台湾外,论文产出量前15的国家(地区)在过去10年中一直保持稳定。

2008—2018年,中低收入经济体的论文产出年均增长率为9%,而高收入国家的增长率为1%。2000—2008年全球论文产出年均增长率为6%,而2008—2018年间下降至4%。

不同国家/经济体对全球科技论文产出的贡献各不相同。2000年以来,历史上最大的论文产出国(美国、欧盟国家和日本)产出论文的全球占比一直在下降,与此同时中国和印度的论文占比有所增加

(图1)。全球科技论文产出总量从2008年的180万篇增加到2018年的260万篇,其中三个主要贡献者分别为中国(35%)、欧盟(12%)和印度(11%),美国对全球论文产出增长贡献了4%。

2000—2018年,中国科技论文产出量全球占比从5%增长到21%;印度从2%上升到5%。在全球15个最大的论文产出国中,增长率高于世界平均水平(4%)的国家包括:韩国(4%)、巴西(5%)、中国(8%)、俄罗斯(10%)、印度(11%)和伊朗(11%)。美国论文产出年均增长率约为1%。全球论文产出排名前15的欧盟国家的年增长率也均低于世界平均水平:意大利(2%)、西班牙(2%)、德国(1%)、英国(1%)和法国(0.0%)(表4)。

2.2 不同学科的论文产出量

将论文成果按科学领域划分有助于分析一个国家(地区)的研究重点和科研能力。所有科学领域中,与健康相关的研究领域,包括健康科学、生物和生物医学的论文产出量最大,占论文产出总量的36%。美国和欧盟国家产出科技论文最多的研究领域与健康相关。中国产出科技论文最多的研究领域是工程学(25%),其次是与健康相关的研究领域(23%),计算机和信息科学(13%)位居第三。日本在健康领域产出的论文也位居榜首(24%),其次是计算机和信息科学(18%)以及工程学(18%)(表5)。

表4 2008年和2018年主要国家(地区)科技论文产出情况

排名	国家/地区	2008年	2018年	年均增幅 (%)	2018年全球占比 (%)
1	中国	249 049	528 263	7.81	20.67
2	美国	393 979	422 808	0.71	16.54
3	印度	48 998	135 788	10.73	5.31
4	德国	91 904	104 396	1.28	4.08
5	日本	108 241	98 793	-0.91	3.87
6	英国	91 358	97 681	0.67	3.82
7	俄罗斯	31 358	81 579	9.88	3.19
8	意大利	56 157	71 240	2.41	2.79
9	韩国	44 094	66 376	4.17	2.60
10	法国	66 460	66 352	-0.02	2.60
11	巴西	35 490	60 148	5.42	2.35
12	加拿大	53 296	59 968	1.19	2.35
13	西班牙	44 191	54 537	2.13	2.13
14	澳大利亚	37 174	53 610	3.73	2.10
15	伊朗	17 034	48 306	10.99	1.89
—	欧盟	528 938	622 125	1.64	24.34
—	世界总量	1 755 850	2 555 959	3.83	—

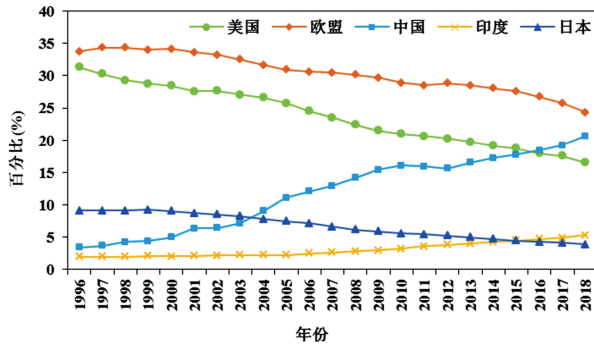


图 1 1996—2018 年主要国家(地区)/经济体产出科技论文全球占比情况

表 5 2018 年主要国家/经济体不同学科论文产出的比例(%)

学科领域	美国	欧盟	中国	日本	印度
健康科学、生物学及生物医学	47.95	39.10	22.96	24.41	42.56
工程学	12.84	14.43	25.47	17.56	15.13
计算机和信息科学	7.66	9.60	13.24	18.41	9.36
物理	6.46	8.39	10.07	10.59	12.87
化学	3.56	5.33	9.61	8.46	7.36
材料科学	1.30	2.56	6.48	9.32	1.48
社会科学	7.34	6.86	1.04	1.48	1.45
论文总量	422 808	622 125	528 263	98 793	135 788

2.3 科技论文的合作

2008—2018 年,全球通过国际合作发表的科技论文比例从 17% 上升到 23%,研究人员之间的国际合作表明世界各地的研究能力正在增强。科研人员合作的原因包括:找到一个理想的合作者,共享昂贵的实验设备,获得国际合作研究的资金资助。在过去十年,通过同行评议论文的作者合作情况可以看出,科学与技术的研究逐步变得更加全球化。以引用率作为评价指标,证明国际合作可以增加论文的影响力,科研机构、政府和行业之间的国内合作也能提高论文的引用率。

2018 年,最大的 15 个科技论文产出国中,国际合作比例较高的国家依次是:英国(62%)、澳大利亚(60%)、法国(59%)、加拿大(56%)、德国(53%)、西班牙(53%)和意大利(50%)(图 2)。美国产出科技论文的国际合作比例为 39%,略低于这 15 国家的平均国际合作比例(41%)。而印度(18%)、中国(22%)和俄罗斯(23%)产出的科技论文国际合作比例相对较低。除了这 15 个国家外,其他国家产出科技论文的国际合作比例差异较大,其中沙特阿拉伯(75%)、瑞士(72%)和比利时(71%)的国际合作比例相对较高。

2018 年,美国学者与至少一位国际同行合作的论文占论文总数的 39%,而 2008 年为 27%。欧盟国家由于其幅员辽阔、地理邻近和对跨国合作的政策支持,其产出论文显示出较高的国际合作率。由德国、法国和英国相互合作产生的论文数均超过各自产出论文总数的 50%,而在 2008 年这三个国家发表的国际合作论文占比不到 40%。2018 年,中国与美国学者的合作最为频繁(26%),而 1996 年美国最大的科技论文合作国家是英国(13%)。中国迅速崛起的科研实力,以及逐渐增加的留美中国学者,可能是促进两国学者进行合作的原因。

2.4 科技论文的引用

科技论文被其他期刊发表的文章或会议论文引用的次数,代表了一篇文章及其作者的影响力,也是衡量一个国家(地区)研发支出绩效的重要指标之一,被引用次数越多的论文对其科学领域的影响力就越大。在被引用的文章中,有一小部分被归为高被引论文(HCA),即在其他研究人员的文章和会议论文中被引频次最高的论文。图 3 为被引用频次最高的前 1% 的论文数据。一个国家的高被引论文数相对于世界高被引论文数的指数,可以用来衡量各个国家对全球高被引论文的贡献率。

2016 年,美国对 HCA 的贡献约为世界平均水平的 2 倍(HCA 指数 1.9),中国的 HCA 得分略高于世界平均值(HCA 指数 1.1)。并不是所有的论文产出大国的 HCA 指数都高于世界平均水平,2016 年日本和印度产出论文的 HCA 指数都低于世界平均水平(HCA 指数分别为 0.9 和 0.7)。这是由于 HCA 指数需要在论文发表一段时间之后根据其被引用情况来分析,所以报告仅提供了 2016 年的数据(图 3)。

HCA 指数也能够显示一个国家(地区)产出的高被引论文的影响力随着时间的变化趋势。2006—2016 年,中国科研产出的影响力增长速度快于美国和其他国家。美国的 HCA 指数从 2006 年

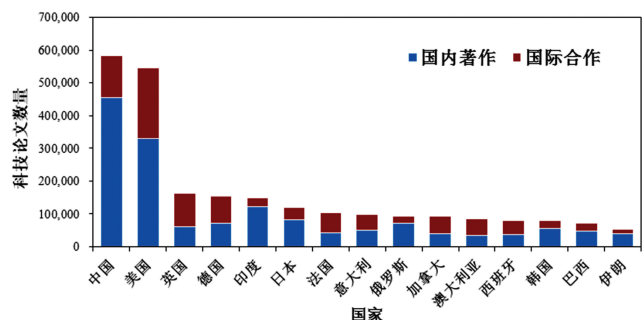


图 2 2018 年主要科技论文产出国际合作情况

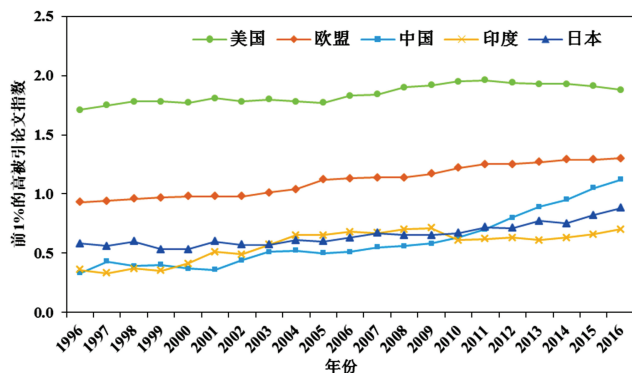


图3 1996—2016年主要国家(地区)前1%高被引科技论文指数

的1.8增加至2016年的1.9,而中国的HCA指数从0.5增加至2016年的1.1。2006年,印度的HCA指数略高于中国,但至2016年印度的HCA指数一直保持在0.7左右。日本的HCA指数从2006年的0.6增加到2016年的0.9。2011年中国的HCA指数与日本的大致相同,但自2012年以后中国超越了日本,并逐渐拉大差距。欧盟国家的HCA指数从2006年的1.1增加到2016年的1.3(图3),主要是由高被引论文产出量较高的国家所带动的,如2006—2016年

英国HCA指数从1.7增加到2.4,德国从1.3增加到1.8,法国从1.3增加到1.7。

3 小结

在研发支出总额上,美国依旧处于全球领跑地位,中国作为第二大经济体是全球研发支出增长最快的国家,并与美国的差距逐年缩小;中国的研发强度处于快速上升趋势,在未来具有较大的提升空间。

过去十年,中国的科技论文产出数量迅速增长,目前已与美国相当,这反映了中国在全球范围内经济和社会发展速度的显著提升。中国科技论文的影响力也快速增加,但仍落后于美国和欧盟国家,美国在科技论文的贡献规模及被引用方面仍然很有影响力。高收入国家/经济体(包括美国、欧盟和日本等)在科技论文方面的增长更为缓慢,而低收入、中等收入国家/经济体的科技论文产出量、国际合作和影响力的增长速度要快得多。中等收入国家/经济体的科研水平不断增长,全球在科研上的国际合作正在加强,而这也促进了科学与技术知识在全世界范围内快速传播。

Comparison and Analysis of Research and Development Expenditure and Publication Output of Major Countries (Regions) in the World

Jiang Junyi[†] Liu Can^{†*}

Center for Science Communication and Achievement Transformation,
National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085

Editor's Note The Science and Engineering Indicators Report (Indicators) is a biennial report prepared under the guidance of the National Science Board (NSB) by the National Center for Science and Engineering Statistics (NCSES), a federal statistical agency within the National Science Foundation (NSF). Indicators provide information on the science, engineering and technology related data of major countries (regions) in the world over time and within a global context. Indicators are a factual and policy-neutral source of high-quality international data; it does not offer policy options or make policy recommendations. With the 2020 edition, Indicator is being transformed from a single, voluminous report into a series of streamlined reports. The website for free access to the full report is <https://ncses.nsf.gov/indicators/reports>. This paper compiled and summarized the contents of Research and Development (R&D) expenditure, scientific publication output and international scientific cooperation in Indicators.

(责任编辑 吴妹)

[†] These authors contributed equally to this work.

* Corresponding author, Email: liucan@nsfc.gov.cn