

从对历史数据的量化分析 看中美两国研发支出的社会经济效益

刘 艳

(科学技术部高新技术司, 北京 100862)

摘 要: 量化分析研发经费投入与产出的社会经济效益越来越重要。本文以中国和美国历史数据为研究对象, 选取专利申请量(居民)、科技期刊论文数、高技术出口三个指标为代表, 衡量研发活动对社会经济影响的输出; 选取年度研发经费支出及其来源构成等相关参数作为输入, 通过数据分析得出以下结论: 一是研发活动直接与以专利、论文、高技术出口为代表的社会经济发展产出线性正相关; 二是专利申请量(居民)与五年前的研发支出、科技期刊论文数与四年前的基础研究支出、高技术出口与六年前的研发支出呈强线性相关。在此基础上, 本文提出以更长远眼光前瞻部署科技规划、重视基础研究经费投入比例的建议。

关键词: 研发支出; 高技术出口; 专利申请; 科技期刊论文

中图分类号: F416 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2019.08.003

2016 年, 我国研发支出高达 4 102 亿美元, 位居世界第二, 美国研发支出 4 643 亿美元, 继续保持总量世界第一^[1]。面对如此巨额的研发经费, 能否选取特定指标, 定量分析研发投入与产出的效益? 如果选取科技期刊论文数、专利申请量(居民)、高技术出口作为衡量科技对社会和经济影响的输出指标; 选取研发经费及其相关参数构成作为衡量研发活动的输入指标, 能否找到输出与输入的具体量化关系? 如果找到了输入和输出直接关联的量化关系, 能否使用当前已有的输入数据预测未来数年的输出数据, 使企业和政府等研发投入主体能提前预判产出? 中国和美国在研发支出和产生效益上是否遵循同样的客观规律?

本文尝试利用中美两国最早从 1953 年开始的历史数据, 同时使用不同的数据分析方法, 寻找上

述问题的答案, 量化分析研发经费投入与产出的效益。

美国雪城大学的巴里·博兹曼教授和拉斯加大学东南分校的茱莉亚·迈尔可副教授共同编著的《评估研发经费效益: 方法和实践》^[2]一书, 较为全面地梳理了使用案例研究、书目计量学、共字分析、同行评审等各种方法对研发经费效益进行评估的理论和实践。在国家软科学研究计划的支持下, 北京航空航天大学的王再进副研究员和徐治立教授在《国外科技创新政策评估研究现状、特点及启示》^[3]一文中, 介绍了国际上科技创新政策评估的最新研究方法, 包括理论分析、对比分析、个案研究分析等定性研究方法, 以及问卷调查法、经济计量分析法、成本-效益分析法等定量研究方法。

作者简介: 刘艳(1975—), 女, 一级调研员, 工学硕士, 工学和法学学士, 主要研究方向为科技管理、国际科技合作、法律。

收稿日期: 2019-07-30

与此同时,随着近年来人工智能技术的不断成熟,已经开始有不同领域的专家开始使用神经网络模型研究具体项目的绩效评估,例如约旦大学的格翰里·阿巴西等^[4]用神经网络预测建筑工程中的预算绩效。

考虑到神经网络处理未知确切因果关系模型的独到优势,尽管目前可以采用的样本数量偏少,本文仍然选取神经网络建模作为方法之一开展研究,同时采用较为成熟的皮尔逊相关系数计算、图表相关分析加以验证。即使目前因为样本量偏少,不足以消除过拟合现象,但探索使用神经网络建模的方法仍具有积极意义。后续,随着时间推移和对历史数据的挖掘,样本数量将不断增加,神经网络模型可以得到不断优化,相信神经网络建模将在社会科学领域得到更多的应用。

1 研究方法

1.1 神经网络模型分析和预测

本文选用了深度学习算法来搭建神经网络模型。考虑到各个国家的人口、科技基础等条件差异性,研发活动对专利申请量(居民)、科技期刊论文、高技术出口等作用的模型也相应存在差异性,因此,本文选用单国别数据搭建模型。为增加训练数据集的量,尽量避免过拟合现象出现,在搭建神经网络模型时,选用了历史数据最多的美国作为研究对象,采用了可以公开查询到的全部数据,最早数据为1953年,最晚数据为2016年。数据主要来源为经济合作与发展组织(OECD)、世界银行(World Bank)和美国国家科学基金会(National Science Foundation)。

选取衡量社会与经济进步的典型指标作为输出,包括专利申请量(居民)、科技期刊论文数、高技术出口,分别作为输出 Y_1, Y_2, Y_3 。

选择研发经费支出总量,研发经费来源(政府、企业等),研发活动类型(基础研究、应用研究、试验开发等),研发活动执行部门(企业、高等院校、政府等),研究人员总数、人口总数、国内生产总值(GDP)等衡量国家研发活动的九类基本指标作为输入。具体包括年度研发经费支出的系列数据(当年,前1年,前2年,……,前 n 年)为

$X_1, X_{1-1}, X_{1-2}, \dots, X_{1-n}$; 基础研究经费支出的数据为 X_2 系列;应用研究经费支出的数据为 X_3 系列;政府研发经费投入占GDP的比例为 X_4 系列;高等院校研发经费支出占GDP的比例为 X_5 系列;企业研发经费支出占GDP的比例为 X_6 系列;研究人员数为 X_7 系列;人口总数为 X_8 系列;GDP为 X_9 系列,作为有可能对输出产生重要影响的输入指标。

$$Y_1 = F_1[X_1, X_{1-1}, X_{1-2}, \dots, X_2, X_{2-1}, X_{2-2}, \dots, X_9, X_{9-1}, X_{9-2}, \dots]$$

$$Y_2 = F_2[X_1, X_{1-1}, X_{1-2}, \dots, X_2, X_{2-1}, X_{2-2}, \dots, X_9, X_{9-1}, X_{9-2}, \dots]$$

$$Y_3 = F_3[X_1, X_{1-1}, X_{1-2}, \dots, X_2, X_{2-1}, X_{2-2}, \dots, X_9, X_{9-1}, X_{9-2}, \dots]$$

选择深度学习算法,修正线性单元作为激活函数,为专利申请量(居民)、科技期刊论文数和高技术出口分别搭建3个神经网络。通过神经网络建模,用拟合结果比较分析输入和输出是否存在因果关系,以及各输入参数的重要性。

考虑到神经网络分析结果显示,输入参数显示出较强的共线性,本文同时使用广义线性回归模型(Generalized Linear Modeling)进行拟合。为减少过拟合现象可能性,仅选择神经网络模型已经筛选出的重要性在0.8以上的参数作为输入,输出参数不变,拟合结果聚焦出影响因素最大的输入参数。

1.2 皮尔逊相关系数和图表相关分析验证

皮尔逊(Pearson)相关系数,也叫相关系数或线性相关系数,是度量两个定距变量或者定比变量之间线性相关性的统计量,一般用字母 r 表示, r 等于1意味着直接线性相关。定义式^[5]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

本文在神经网络和广义线性回归模型已经计算出的线性相关关系基础上,直接选择中美两国研发相关的原始历史数据,通过计算皮尔逊相关系数和图表相关分析两种方法,检验线性相关关系。

1.3 预测数据

考虑到现实世界的复杂性和不确定性,在国

家宏观尺度上，单纯依靠数学模型很难对专利申请量（居民）、科技期刊论文数和高技术出口做出精确预测。但即便如此，通过历史数据预估未来输出数据，对于政策和规划制定者研判宏观态势、及时调整相关政策仍然具有参考意义。因此，本文在已经验证的线性相关关系基础上，预测了2019年至2020年的科技期刊论文数、专利申请量（居民）和高技术出口作为参考。

2 专利申请量（居民）的模型建立与分析预测

2.1 专利申请量（居民）的神经网络模型分析

专利申请是指在世界范围内通过《专利合作条约》程序或向国家专利部门提交的专利申请，目的是对一项发明（即提供一种新的做事方法或对某个问题提供一种新的技术解决方案的产品或程序）拥有专有权。专利权在有限的期限内为专利所有者的发明提供保护，一般为20年^[6]。

专利申请量（居民）是衡量国家创新能力的重要指标。2018年12月世界知识产权组织（WIPO）发布的最新年度报告显示，2017年中国的全球专利、商标和工业品外观设计申请量再创新高。其中，2017年中国国家知识产权局受理的申请数量达到创纪录的138万件，名列世界第一^[7]。研究影响专利申请量的输入变量，对于保持国家竞争力具有重要意义。

考虑到专利申请量的历史数据相对比较丰富，同时专利的申请与论文相比周期较长，本文在选择历史数据时回溯到10年前的数据，即分析1963年开始的专利申请量与1954年开始的研发投入等参数之间的关系。通过使用深度学习算法建立模型，拟合结果显示，决定系数 $r^2=0.992\ 130$ ，接近1，在不考虑过拟合可能性的前提下，模型的拟合度非常高，具体结果如图1所示。

神经网络模型的输入参数显示出较强的共线性。本文使用广义线性回归模型，选择神

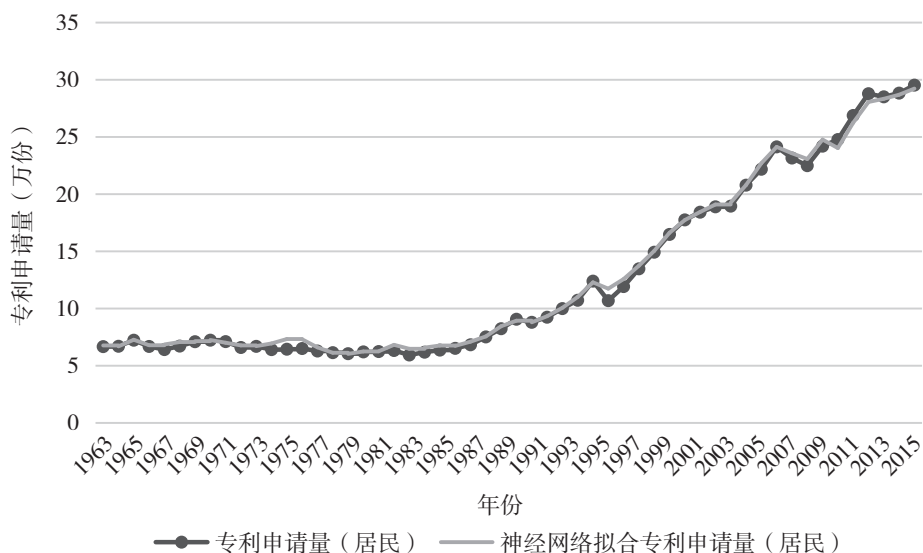


图1 美国专利申请量（居民）实际数据与拟合数据（1963年至2015年）

神经网络模型已经遴选出的重要性在0.8以上的24个参数作为输入，输出参数仍为专利申请量（居民）。模拟预测的结果 $=0.933\ 923$ ，输入参数与输出参数仍然有较强的关联性，但输入参数重要性已经聚焦到倒数第5年的研发经费支出。

2.2 皮尔逊相关系数和图表相关分析验证

为了验证中美两国的专利申请量（居民）、倒数第5年的研发经费支出之间是否的确存在线性关系，本文首先使用原始数据计算皮尔逊相关系数，得出中国专利申请量（居民）、倒数第5年的研发支出之间的相关系数为0.992 135 746，美

国为 0.965 703 465, 都非常接近 1, 线性关系明显。具体数据见表 1。

同时, 使用中美两国当年专利申请量(居民)、倒数第 5 年的研发支出的原始数据做图。从原始数据来看, 两者趋势几乎完全平行, 线性关系非常清晰, 详见图 2、图 3。

2.3 预测数据

考虑到现实世界的复杂性和不确定性, 在国

家宏观尺度上, 单纯依靠数学模型很难对专利申请量(居民)、科技期刊论文数和高技术出口做出精确预测。但即便如此, 通过历史数据预估未来输出数据, 对于政策和规划制定者研判宏观态势、及时调整相关政策仍然具有参考意义。因此, 本文在已经验证的线性相关关系基础上, 预测了 2019 年至 2020 年的科技期刊论文数、专利申请量(居民)和高技术出口作为参考。

表 1 中美两国当年专利申请量(居民)和倒数第五年的研发支出

年度	美国当年专利申请量(居民) ^[6]	美国倒数第五年的研发支出(单位为 10 亿, 2009 美元) ^[8]	中国当年专利申请量(居民) ^[6]	中国倒数第五年的研发支出(单位为百万, 2010 美元) ^[1]
相关系数	$r = 0.965\ 703\ 465$		$r = 0.992\ 135\ 746$	
1963	66 715	64.2		
1964	67 013	72.5		
1965	72 317	78.5		
1966	66 855	82.4		
1967	64 118	87.4		
1968	67 180	96.9		
1969	71 008	104		
1970	72 343	108.3		
1971	71 089	114.8		
1972	65 943	118		
1973	66 935	119.6		
1974	64 093	120.1		
1975	64 445	115.3		
1976	65 050	112.6		
1977	62 863	115.1		
1978	61 441	117.5		
1979	60 535	116.2		
1980	62 098	113.7		
1981	62 404	119.2		
1982	63 316	123.3		
1983	59 391	129.6		
1984	61 841	136		
1985	63 673	142.5		
1986	65 195	149		

续表

年度	美国当年专利申请量（居民） ^[6]	美国倒数第五年的研发支出（单位为10亿，2009美元） ^[8]	中国当年专利申请量（居民） ^[6]	中国倒数第五年的研发支出（单位为百万，2010美元） ^[1]
1987	68 315	156.7		
1988	75 192	167.9		
1989	82 370	184.3		
1990	90 643	200.3		
1991	87 955	205.9		
1992	92 425	211		
1993	99 955	216		
1994	107 233	220.4		
1995	123 962	227.6		
1996	106 892	233.2	22 742	13 443.9
1997	119 214	234.3	24 774	15 431.82
1998	134 733	229.4	47 396	16 778.61
1999	149 251	229.3	50 044	17 177.75
2000	164 795	243.8	51 906	17 206.28
2001	177 513	257.3	63 450	18 739.93
2002	184 245	271.6	80 232	23 214.6
2003	188 941	286.3	105 317	25 355.97
2004	189 536	305.3	130 384	31 634.4
2005	207 867	327.2	173 327	40 891.39
2006	221 784	332.6	210 501	46 639.47
2007	241 347	326.8	245 161	57 261.12
2008	231 588	335.9	289 838	66 732.05
2009	224 912	339.7	314 604	79 686.66
2010	241 977	353.6	391 177	95 556.32
2011	247 750	370.1	526 412	112 704.4
2012	268 782	388.2	652 777	129 161.4
2013	287 831	407.8	825 136	149 023.6
2014	285 096	402.9	928 177	187 564.4
2015	288 335	401.7	1 101 864	213 485.7
2016	295 327	412.5	1 338 503	242 801.5

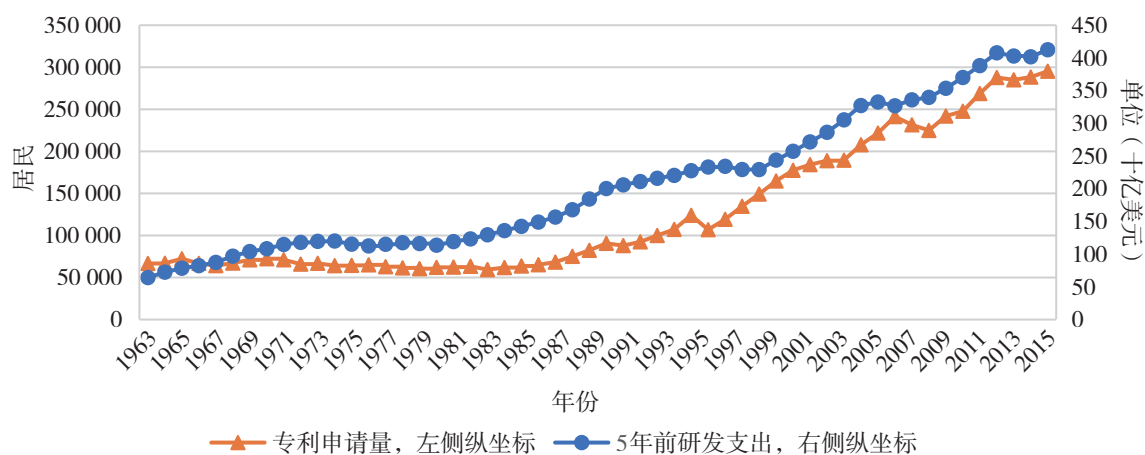


图2 美国 1963 年至 2016 年的当年专利申请量（居民）和倒数第五年研发支出

数据来源：世界银行，美国国家科学基金会。

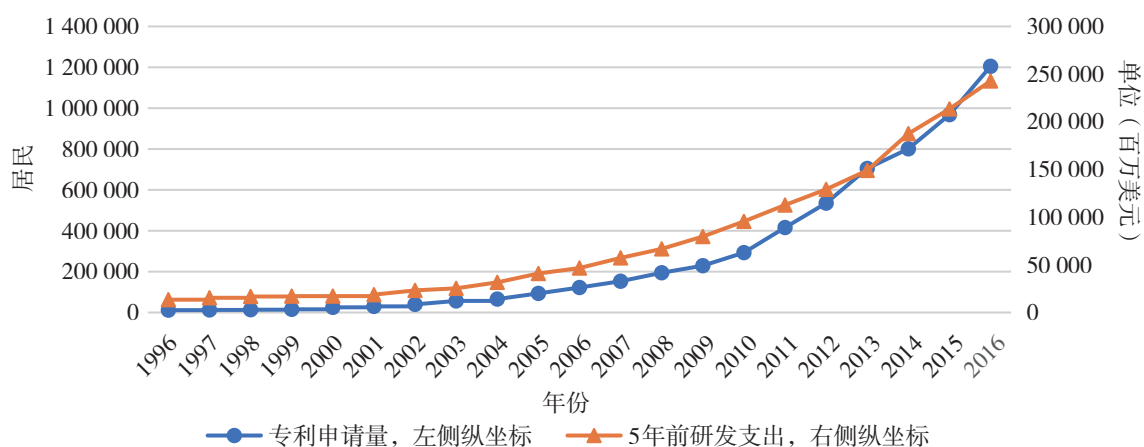


图3 中国 1996 年至 2016 年的当年专利申请量（居民）和倒数第五年研发支出

数据来源：经济合作与发展组织，世界银行。

表2 中国和美国 2018 年至 2020 年专利申请量
（居民）预测

年度	2019 年专利申请量 （居民）预测	2020 年专利申请量 （居民）预测
预测值（中国）	1 814 150	2 008 969
预测上限（中国）	1 904 858	2 109 417
预测下限（中国）	1 723 443	1 908 521
预测值（美国）	321 224	335 398
预测上限（美国）	332 146	346 802
预测下限（美国）	310 302	323 994

3 科技期刊论文数的模型建立与分析预测

3.1 科技期刊论文数的神经网络模型分析

按照世界银行的定义，科技期刊论文数（Scientific and Technical Journal Articles）是指在下述领域出版的科学和工程类文章：物理、生物、化学、数学、临床医学、生物医学研究、工程和技术，以及地球和空间科学^[9]。

目前可以公开查询到的各国科技期刊论文数只有从2003年到2016年的数据。考虑到样本数据较少，为减少输入变量，尽可能避免过拟合现象，本文在选择历史数据时仅回溯到6年前的数据。模拟结果

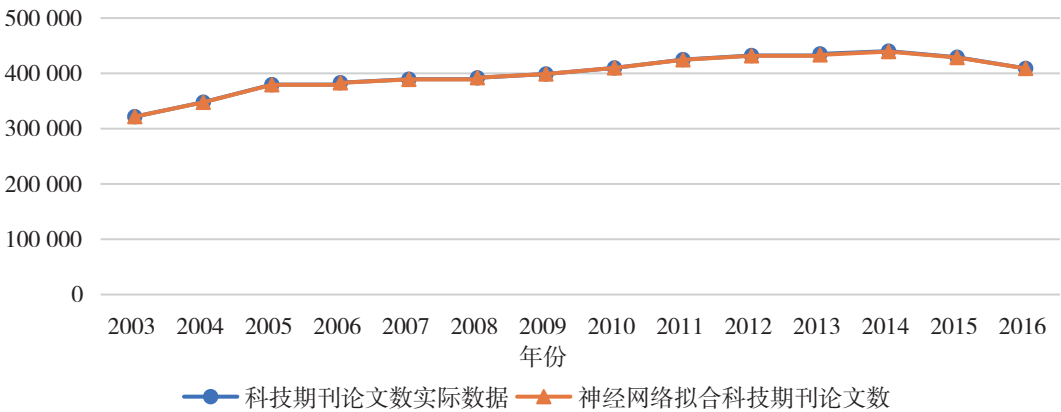


图 4 美国科技期刊论文数的实际数据与拟合数据（2003 年至 2016 年）

显示，决定系数 =0.996 199，接近 1。在不考虑过拟合可能性的前提下，模型的拟合度非常高，真实数据与拟合数据几乎完全重合，具体结果如下图 4。

神经网络模型的输入参数显示出较强的共线性。本文选择神经网络模型已经遴选出的重要性在 0.8 以上的 16 个参数作为输入，输出参数仍为科技期刊论文数。模拟预测的结果 =0.941 007，输入参数与输出参数仍然有较强的关联性，但输入参数重要性已经聚焦到倒数第 4 年的基础研究经费支出。

3.2 皮尔逊相关系数和图表相关分析验证

为了验证中美两国的专利申请量（居民）、倒数第 4 年的研发经费支出之间是否的确存在线性关系，本文首先使用原始数据计算皮尔逊相关系数，得出中国专利申请量（居民）、倒数第五年的研发支出之间的相关系数为 0.992 135 746，美国为 0.965 703 465，都非常接近 1，线性关系明显，详见表 3。

同样，原始数据图像显示出较强线性关系，详见图 5、图 6。

表 3 中美 2003 年至 2016 年当前科技刊物论文数和倒数第四年基础研究支出数据

年度	美国当年科技期刊论文数 ^[9]	美国倒数第四年基础研究支出（单位 10 亿美元，2009 美元） ^[8]	中国当年科技期刊论文数 ^[9]	中国倒数第四年基础研究支出（单位百万美元，2010 美元） ^[10]
相关系数	r = 0.965291789		r = 0.937429878	
2003	321 765.9	47 814	86 621.4	1 579.623
2004	347 873.9	51 331	119 754.6	2 133.539
2005	379 701.3	55 929	164 747.4	2 487.486
2006	383 114.9	59 724	189 759.8	3 281.975
2007	389 451.8	63 208	215 700.4	3 799.44
2008	391 933.4	63 262	249 972.9	4 748.787
2009	398 871.1	65 122	290 330.2	5 117.585
2010	409 853.3	64 933	316 915.3	5 845.422
2011	424 938	66 368	334 045	6 075.343
2012	432 311.5	69 057	332 082.1	7 128.953
2013	435 212	72 659	362 972.9	8 737.515

续表

年度	美国当年科技期刊论文数 ^[9]	美国倒数第四年基础研究支出（单位 10 亿美元，2009 美元） ^[8]	中国当年科技期刊论文数 ^[9]	中国倒数第四年基础研究支出（单位百万美元，2010 美元） ^[10]
2014	440 229.7	74 991	393 962.7	9 808.656
2015	429 139	70 679	411 268.1	11 510.19
2016	408 985.3	69 652	426 165.3	13 615.926

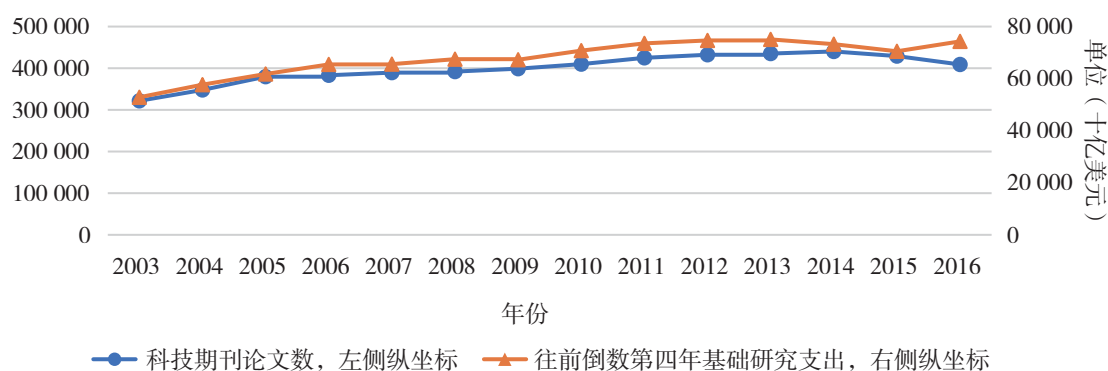


图 5 美国 2003 年至 2016 年的当年科技期刊论文数和倒数第四年基础研究支出

数据来源：世界银行，美国国家科学基金会

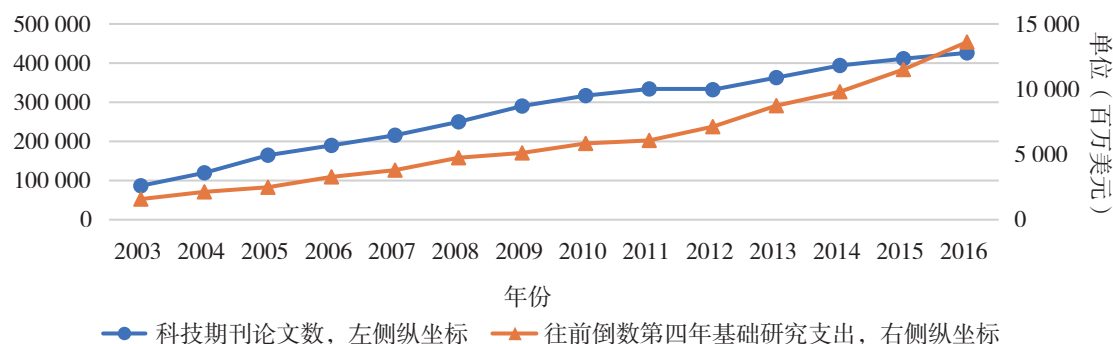


图 6 中国 2003 年至 2016 年的当年科技期刊论文数和倒数第四年基础研究支出

数据来源：经济合作与发展组织，世界银行

3.3 预测

科技期刊是科研成果交流和展示的载体，也是衡量国家科技竞争力与文化软实力的重要指标。本文在历史数据基础上预测了 2019 年和 2020 年科技期刊论文数，详见下方表 4。

表 4 2019 年至 2020 年中国和美国科技刊物论文数预测

年度	2019 年科技期刊论文数预测	2020 年科技期刊论文数预测
预测值（中国）	463 882.8	482 163.1
预测上限（中国）	468 521.7	486 984.8
预测下限（中国）	459 244.0	477 341.5

续表

年度	2019 年科技期刊论文数预测	2020 年科技期刊论文数预测
预测值（美国）	452 014.0	463 152.8
预测上限（美国）	460 737.9	472 091.7
预测下限（美国）	443 290.2	454 214.0

4 高技术出口的模型建立与分析预测

4.1 高技术出口的神经网络模型分析

高技术出口（High-Technology Exports）产品是

指具有高研发强度的产品，是衡量国家创新能力的重要指标。本文采用美国自然基金会的统计数据，高技术出口定义为飞机和航天器，通信和半导体，电脑，药品，以及测试、测量和控制仪器，美国的出口不包括对加拿大和墨西哥的出口^[11]。

考虑到美国自然基金会的统计数据仅包括2005年至2016年数据，样本量较少，同时考虑到从研发活动到产品生成需要周期较长，本文在选

择历史数据时仅回溯6到10年前的数据，即分析2005年开始的高技术出口与1996年开始的研发投入之间的关系。同样，使用深度学习算法建立模型后，拟合结果显示，决定系数=0.996 833，接近1，在不考虑过拟合可能性的前提下，模型的拟合度非常高，实际数据与拟合数据几乎完全重合，具体结果如下图7。

神经网络模型的输入参数显示出较强的共线



图7 美国高技术出口的实际数据与拟合数据（2005年至2016年）

性。同样，本文使用广义线性回归模型，选择神经网络模型已经遴选出的重要性在0.8以上的25个参数作为输入，输出参数仍为高技术出口金额。模拟预测的结果 $r^2=0.945\ 673$ ，输入参数与输出参数仍然有较强的关联性，但输入参数重要性已经聚焦到倒数第6年的研发经费支出。

4.2 皮尔逊相关系数和图表相关分析验证
为了验证中美两国的高技术出口、倒数第6年的研发支出之间是否的确存在线性关系，本文首先使用原始数据计算皮尔逊相关系数，得出中国的相关系数为0.938 891 908，美国为0.951 320 197，都非常接近1，线性关系明显，详见下方表5。

表5 中美2003年至2016年当年高技术出口和倒数第六年研发支出

年度	美国当年高技术出口（单位10亿，2009美元） ^[11]	美国倒数第六年研发支出（单位10亿，2009美元） ^[11]	中国当年高技术出口（单位10亿，2009美元） ^[11]	中国倒数第六年研发支出（单位百万，2010美元） ^[1]
相关系数	r = 0.951320197		r = 0.938891908	
2005	213.00	305.30	286.00	310 429.6
2006	249.00	327.20	347.00	333 146.1
2007	261.00	332.60	366.00	338 685.1
2008	255.00	326.80	404.00	333 151.4
2009	236.00	335.90	364.00	342 930.8
2010	252.00	339.70	489.00	347 142.2
2011	261.00	353.60	540.00	361 066

续表

年度	美国当年高技术出口(单位 10 亿, 2009 美元) ^[1]	美国倒数第六年研发支出(单位 10 亿, 2009 美元) ^[1]	中国当年高技术出口(单位 10 亿, 2009 美元) ^[1]	中国倒数第六年研发支出(单位百万, 2010 美元) ^[1]
2012	280.00	370.10	545.00	377 206.8
2013	287.00	388.20	564.00	395 493.3
2014	298.00	407.80	601.00	415 342.3
2015	302.00	402.90	597.00	411 368.6
2016	303.00	401.70	615.00	410 093

为了验证高技术出口、倒数第六年的研发经费支出之间线性关系是否同样适用于中国,在对美国历史数据进行分析的基础上,本文直接使用高技术

出口、倒数第 6 年的研发经费支出的原始数据做图。从原始数据来看,两者趋势线几乎完全平行,线性关系较为清晰,详见下图 8、图 9。

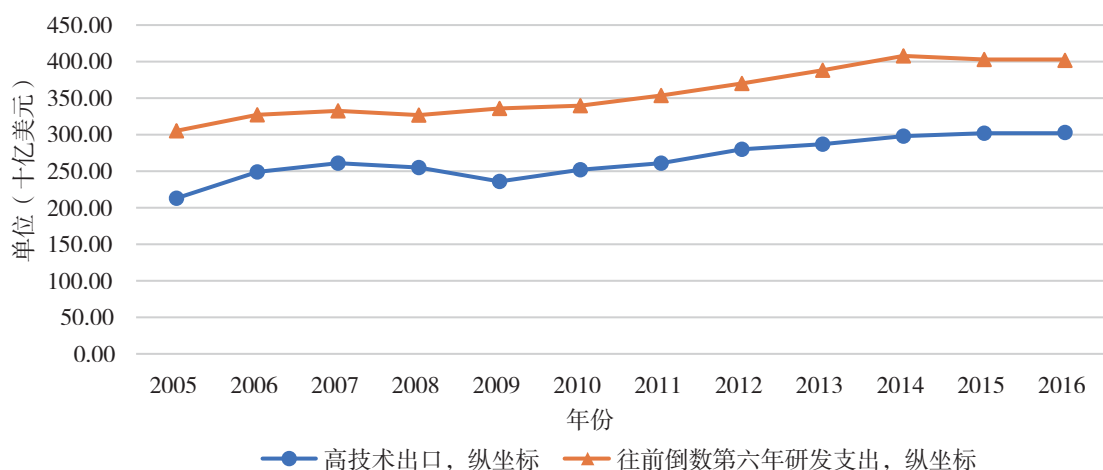


图 8 美国 2005 年至 2016 年的当年高技术出口和倒数第六年研发支出

数据来源: 美国国家科学基金会

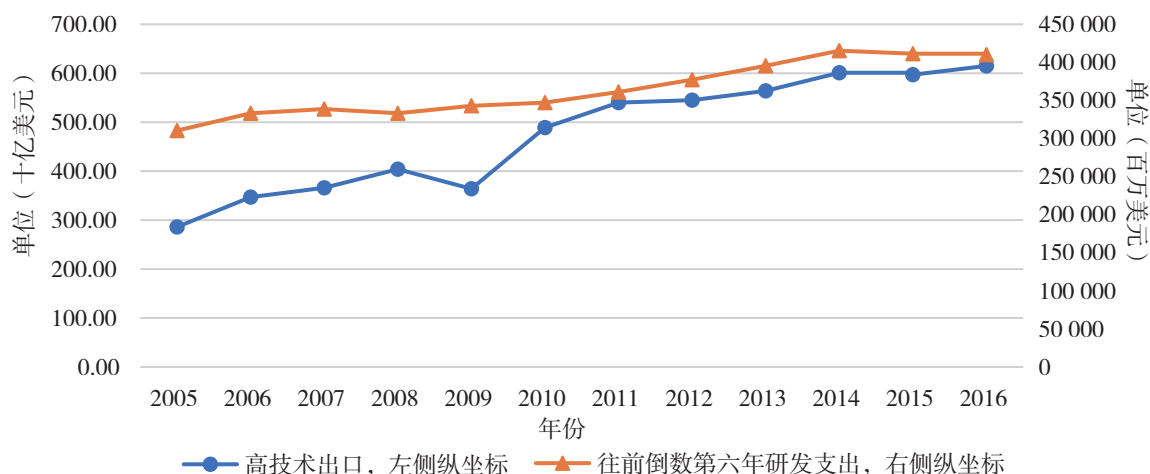


图 9 中国 2005 年至 2016 年的当年高技术出口和倒数第六年研发支出

数据来源: 经济合作与发展组织, 美国国家科学基金会

4.3 预测

高技术出口因为统计口径不同，不同组织的统计数据差异较大。考虑到2019年国际形势的变化，本文基于历史数据的预测有可能存在偏差。

表6 2019年至2020年中国和美国高技术出口预测，单位10亿美元

年度	2019年高技术出口 预测（单位10亿美元）	2020年高技术出口 预测（单位10亿美元）
预测值（中国）	636.98	663.03
预测上限（中国）	681.57	709.44
预测下限（中国）	592.39	616.62
预测值（美国）	319.67	328.55
预测上限（美国）	335.65	344.98
预测下限（美国）	303.68	312.12

5 结论

通过使用3种不同方法对历史数据进行分析，本文得出结论，中国和美国在研发支出和产生效益上遵循同样的客观规律：一是在中国和美国，专利申请（居民）、科技期刊论文和高技术出口都与研发支出及其组成有着因果关系；二是在中国和美国，专利申请（居民）与5年前的研发支出、科技期刊论文与4年前的基础研究支出、高技术出口与6年前的研发支出呈强线性关系。同时，基于以上分析，尽管复杂的现实世界不可能完全用模型来量化，但仍然可以在宏观尺度上对未来一段时期的专利申请（居民）、科技期刊论文和高技术出口等指标进行量化预测，为政策制定和调整以及战略研究提供参考。以上结论，对于所有雄心勃勃、希望能从科技创新中获取更多行动力的国家，都具有参考价值。

2019年既是“十三五”和《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》即将收官的攻坚年，也是“十四五”和中长期科技发展规划提前布局谋篇的一年。结合即将开始的“十四五”科技发展规划研究，本文提出两条建议：一是考虑到研发支出需要4至6年才能发挥出最大效益，政

策和规划制定需要有更长远的眼光前瞻部署，提前投入；二是规划制定不仅需要重视研发经费的数量，同时也要重视构成比例，特别是要重视与科技期刊论文数直接相关的基础研究经费投入。■

参考文献：

- [1] OECD. Research and development (R&D) - Gross domestic spending on R&D - OECD data[DB/OL]. [2019-06-06]. <http://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>.
- [2] Bozeman B, Melkers J. Evaluating R&D Impacts: Methods and Practice[M]. Boston: Kluwer Academic, 1993: 1-279.
- [3] 王再进，徐治立. 国外科技创新政策评估研究现状、特点及启示[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版)，2017，30(2)：114-120.
- [4] Abbasi G Y, Alnahhal M J. A neural network model for predicting budget performance of construction projects in Jordan[J]. International Journal of Construction Project Management: 2012, 4(1): 75-86.
- [5] Sarab Boslaugh. 统计学及其应用[M]. 北京：机械工业出版社，2016：173，183-185.
- [6] The World Bank. Patent applications, residents | Data[DB/OL]. [2019-07-06]. <https://data.worldbank.org/indicator/IP.PAT.RESD?locations=AT>.
- [7] WIPO. World intellectual property indicators: Filings for patents, trademarks, industrial designs reach new records on strength in China[EB/OL]. [2019-07-06]. https://www.wipo.int/pressroom/en/articles/2018/article_0012.html.
- [8] National Science Foundation. Data - S&E indicators 2018 | NSF - National Science Foundation[DB/OL]. [2019-07-03]. <https://www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/data/appendix>.
- [9] The World Bank. Scientific and Technical Journal Articles | Data[DB/OL]. [2018-12-04]. <https://data.worldbank.org/indicator/IP.JRN.ARTC.SC>.
- [10] OECD. OECD Statistics[DB/OL]. [2019-06-04]. <https://stats.oecd.org/#>.
- [11] National Science Foundation. High-Technology Exports (Current US\$) | Data[DB/OL]. [2019-07-06]. <https://www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/data/appendix>.

(下转第33页)

The Inspiration of Switzerland Innovation Ecosystem's Core Features for China to Build National Innovation System of China

GUO Man

(Torch High Technology Industry Development Center, Ministry of Science and Technology, Beijing 100045)

Abstract: As a country with a small land area and a lack of natural resources, Switzerland has achieved outstanding innovation performance in innovation and development. It has ranked first in the world in the Global Innovation Index released by the World Intellectual Property Organization for nine consecutive years. Its outstanding innovation performance is derived from its superior innovation ecosystem of scientific institutions, universities, enterprises, government and institutional culture, etc. This paper summarizes the main characteristics of Swiss Innovation Ecology from six main aspects: history, culture, government, enterprise and education. On this basis, based on the successful experience of the Swiss National Innovation Ecosystem, some suggestions for upgrading our National Innovation System are proposed.

Key words: Switzerland; innovation ecosystem; integration of production, study and research; innovation system

(上接第22页)

The Social and Economic Benefits of R&D Expenditure in China and in the United States From the Quantitative Analysis of Historical Data

LIU Yan

(Department of High and New Technology, Ministry of Science and Technology of China, Beijing 100862)

Abstract: It becomes more and more important to quantitatively analyze the performance of rapidly increasing R&D expenditure both in China and in USA. This article chose patent applications (residents), scientific and technical journal articles and high-technology exports as three output parameters to measure the social and economic benefits of R&D expenditure. At the same time, it chose R&D expenditure and several other relative parameters as inputs to measure a country's R&D investment. This article drew following conclusions after analyzing historical data from 1953 to 2016. First, there was a causal relationship between the inputs and the outputs, which meant R&D expenditure had direct social and economic benefits. Second, R&D expenditure 5 years ago had a strong linear relationship with patent applications (residents), basic research expenditure 4 years ago had a strong linear relationship with scientific and technical journal articles, R&D expenditure 6 years ago had a strong linear relationship with high-technology exports, which meant R&D expenditure (including basic research expenditure) took a long time to make the most benefits. In the end, this article offered two suggestions for policy makers. First, it is necessary for policy makers to have a long-term view and have determinations to invest R&D in advance and have patience to wait them make the most impact after 4 to 6 years. Second, it is necessary for policy makers to pay attention not only on the amount of R&D expenditure but also on its structure and allocate more resources on basic research expenditure.

Key words: R&D expenditure; high-technology exports; patent applications; S&T journal articles