

《巴黎协定》背景下国际低碳技术转移的碳减排研究

顾高翔¹, 王 铮^{2,3}

(1. 华东师范大学 人口研究所, 上海 200241; 2. 中国科学院 科技政策与管理科学研究所, 北京 100190;
3. 华东师范大学 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241)

摘要:在《巴黎协议》框架下, 获得来自发达国家的低碳技术支持是许多发展中国家对合作减排的重要诉求。本文将一个基于个体模仿的技术转移机制引入集成评估模型 CIECIA, 对低碳技术转移下全球地表升温和碳减排进行了模拟。研究结果显示: 低碳技术转移具有显著的减排和升温控制效果。发达国家之间的低碳技术转移具有很高的减排潜力, 专利保护制度是其进一步降低碳排放的主要障碍; 中低发展中国家的知识储备和研发学习能力有限, 其对研发加速度的提高更为敏感。美国退出《巴黎协定》对发达国家利用技术转移实现碳减排的冲击较大, 而美国退出可能带来的技术共享环境恶化等连锁反应对发展中国家碳减排的影响更大。对中国而言, 短期内应加大研发投入, 提高技术学习能力, 以更高效地学习先进技术, 而积极参与实现低碳技术共享机制是其未来通过技术转移进一步降低碳排放的制度性基础。

关键词: 低碳技术转移; 碳减排; 国家自主贡献; 巴黎协定; 集成评估模型

中图分类号: F062.4; X196 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0566(2018)12-0008-09

Research of Carbon Abatement by International Low Carbon Technology Transfer in the Context of the Paris Agreement

GU Gao-xiang¹, WANG Zheng^{2,3}

(1. *Population Research Institute, East China Normal University, Shanghai 200241, China;*
2. *Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;*
3. *Key Laboratory of Geographical Information Science, Ministry of State Education of China, East China Normal University, Shanghai 200241, China*)

Abstract: Under the framework of the Paris Agreement, technology sharing and support from developed countries is one of the main requests for the conditional reduction targets of many developing countries. This study introduced a technology transfer mode into the integrated assessment model named CIECIA to study the global warming mitigation and carbon reductions under international technology transfer. The results show that technology transfer has significant carbon reduction and global warming mitigation effects. Low carbon technology transfer among developed countries has remarkable reduction potential, and its main barrier is the patent protection regimes. The developing countries with lower knowledge capital stocks and R&D capabilities spend more time imitating advanced technologies and thus are more

收稿日期: 2018-05-29 **修回日期:** 2018-11-15

基金项目: 国家自然科学基金(41501130)“全球一体化作用下中国应对气候变化的区域碳治理研究”; 教育部人文社科重点研究基地重大招标项(17JJD790008)“中国大城市人口与可持续发展研究”。

作者简介: 顾高翔(1985-), 男, 浙江宁波人, 华东师范大学人口研究所讲师, 博士, 研究方向: 人口、资源与环境经济学、地理计算、经济计算。通讯作者: 王铮。

sensitive to the improvement of R&D acceleration. The carbon reductions of developed countries are shocked by the withdrawal of the United States from the Paris Agreement, whereas the chain reactions that would worsen the technology transfer environment have more negative impacts on the carbon reductions of developing countries. China should improve its R&D input to enhance its technological learning capability in the short term. The active involvements in the international climate negotiations to achieve low carbon technology sharing mechanism is also important for China, as it is the institutional foundation for its carbon reductions by technology transfer in the long term.

Key words: low carbon technology transfer; carbon abatement; nationally determined contribution; the Paris Agreement; integrated assessment model

一、引言

低碳技术的研发和应用被广泛认为是各国,尤其是发展中国家降低碳排放量和碳强度的关键途径^[1-3]。《巴黎协定》以“国家自主贡献(NDC, nationally determined contribution)”形式确定了各国中短期内减排目标。已有大量发展中国家将获得低碳技术支持和合作作为“条件减排”项写入其自主贡献文件中。印度甚至提议将低碳技术转为全球公共品,以替代当前市场驱动的技术转移机制。因此,在《巴黎协定》框架下研究低碳技术国际转移的气候保护和碳减排效果,具有重要的现实意义。

当前学术界对于低碳技术转移的研究主要集中在探讨专利、知识产权等制度性因素以及相关政策措施的影响方面^[4],但其着重于对低碳技术转移的概念、种类、过程及其影响因素进行分析,未涉及技术转移所带来的碳减排量的测算,无法就其减排和升温控制效果进行评价。对低碳技术转移的减排效果和气候影响的评价涉及技术投入、研发、采纳、扩散等一系列技术转型过程的分析 and 建模,以及技术进步与经济、环境、政策等要素之间的互动,是一个跨学科的气候-经济复杂问题,适合采用集成评估模型(IAM, integrated assessment model)。已有许多 IAM 包含了技术创新、扩散、采纳机制,但仍存在不足^[5-6]。

以 AIM^[7]、C-GEM^[8]、EPPA^[9-10]为代表的能源技术模型普遍使用自主能源效率,以提高参数反映低碳技术的自然扩散^[11],但其只能反映宏观层面上低碳技术扩散带来的减排效应。Kypreos 在 MERGE 模型中以“干中学”和“搜索学习”方式降低已有技术的研发投入,通过市场激励手段提高低碳技术的市场占有率^[12],WITCH 模型也采用了

近似的方法^[13]。这一方式只能刻画统计意义上的技术扩散带来的成本下降,缺乏微观机制。Hübler 等在 REMIND 模型基础上设计了一个内生技术进步模块,但其扩散机制仍较为宏观,难以对低碳技术转移进行政策性分析^[6]。总体而言,构建在宏观经济模型之上的 IAM 由于模型简化需要而无法表达微观层面上的技术发展和采纳过程,而自底向上的 IAM 由于宏观经济系统的不足而缺乏内生技术进步机制。

针对这一问题,本研究采用宏观经济模型与微观技术转移机制结合的方法,以 CIECIA 模型为基础,引入一个基于个体模仿的技术转移扩散机制,构建 CIECIA-TD 模型。CIECIA 以一个多国多部门一般均衡模型作为经济核心,刻画了全球经济一般均衡条件下国家/部门间的经济联系^[14-15]。改进后的 CIECIA-TD 以国家/部门为技术转移单位,在部门层面实现了低碳技术转移扩散的微观机制。

本文使用 CIECIA-TD 模型,针对技术转移过程中存在的障碍,分情景模拟了不同技术共享程度和技术学习能力下低碳技术转移的碳减排和全球升温控制效果,评价了美国政府退出《巴黎协定》对全球低碳技术转移可能带来的负面影响,对技术转移背景下中国在未来不同阶段的研发投资策略和国际减排合作立场提出了政策性建议。

二、技术转移模型

CIECIA-TD 的技术转移模块改进自一个基于 Agent 的创新扩散技术溢出模型^[16-17],将其技术研发过程与 CIECIA 模型的过程技术进步模块进行对接。过程技术进步指的是产品生产工艺的革新,体现在生产一单位产品对复合中间需求的减少,反映了广义上的能源节约型低碳技术。模型

将技术转移过程划分为技术搜索、选择和模仿学习三个阶段,将各国各部门的每一组过程技术水平 $\omega_{i,t}^j = (a_{1,j,i,t}, \dots, a_{k,j,i,t}, \dots, a_{l,j,i,t})$ 都看作一个独立的技术 ($a_{k,j,i,t}$ 为各国各部门生产过程中的中间需求系数),实现对国家/部门间点对点的技术转移过程的刻画。

CIECIA-TD 以研发加速度 s 和转移阈值 W 刻画部门间的技术转移的障碍。这是由于技术接收方在获得技术转移之后,对新技术的学习、理解和采纳仍然需要花费时间和成本,同时专利制度的存在也会在一定程度上阻碍了技术的扩散速度^[3]。在 Kennedy 和 Basu 的基础上^[18],本文将其归纳为制度性障碍,即知识产权和专利保护制度,和知识-投资障碍,即技术接收者知识储备和投资较低导致模仿学习能力不足。其中研发加速度体现技术学习者对先进技术的学习吸收能力,代表技术转移的知识-投资障碍;技术转移阈值体现技术转移过程中专利技术的共享程度,代表技术转移的制度性障碍。

受篇幅限制,本文主要介绍 CIECIA 的技术转移模块,其余经济、气候、投资和技术进步模块详见顾高翔和王铮^[14]、Wang 等^[15]。

(一) 技术搜索

在技术搜索阶段,各国各部门从全球范围内其他国家/集团中寻找一组低碳技术转移源,作为自己潜在的学习对象。筛选的条件分为技术水平和经济发展水平两部分,每个部门只能从其他国家/集团的本部门引进技术,若一个部门已经拥有全球范围内最高的过程技术水平,则只能作为技术提供者。

$$\omega = \{ \omega_k | (1 + W_{j,k})c_{i,t}^k < c_{i,t}^j \text{ and } x_{i,t}^k > \omega x_{i,t}^j, k \neq j \},$$

$$c_{i,t}^j = \sum_{k=1}^l a_{k,j,i,t} p_{k,t} \quad (1)$$

式(1)中, ω 表示国家 j 部门 i 在第 t 期搜索到的可行技术转移源的集合, ω_k 是一个可行的源技术, $W_{j,k}$ 为国家间的技术转移阈值, $c_{i,t}^j$ 为单位生产成本(即过程技术水平), $p_{i,t}$ 表示产品价格, $x_{i,t}^j$ 为人均增加值,代表技术学习者在选择技术提供者时对其经济发展水平的要求。

(二) 技术选择

在搜索得到可行技术转移源后,技术学习者从中选择一个作为学习对象。CIECIA-TD 采用技术追赶作用和惯性依赖作用,以 Wilson 空间相互作用力的形式来刻画各国各部门与其搜索得到的可行源技术之间的吸引力^[16]。

技术追赶表现为由于技术水平的差距而具有的追赶作用^[17]。模型参考文献[19]中的,其认为技术差距是技术传播的最主要的推动力,同时经济差距的影响也不可忽视。本文设国家 j 部门 i 和国家 k 部门 i 之间的技术差距 $\Delta c_{i,t}^{j,k}$ 为其单位成本的比值,经济差距 $\Delta x_{i,t}^{j,k}$ 为其人均增加值的比值,同时考虑技术转移阈值 $W_{j,k}$ 对技术选择的影响,则:

$$Eg_{i,t}^{j,k} = \mu e^{\mu_0 \cdot \Delta c_{i,t}^{j,k} + \mu_0 \cdot \Delta x_{i,t}^{j,k}}, \Delta c_{i,t}^{j,k} = \frac{c_{i,t}^j}{(1 + W_{j,k})c_{i,t}^k},$$

$$\Delta x_{i,t}^{j,k} = \frac{x_{i,t}^k}{x_{i,t}^j} \quad (2)$$

式(2)中, $Eg_{i,t}^{j,k}$ 为国家 j 部门 i 和国家 k 部门 i 之间的技术追赶强度, μ 为强度参数, μ_0 为强度变化因子。

惯性依赖表现为由于过去在技术转移行为上的合作关系而产生的维持合作的依赖作用。设 $n_{i,t}^{j,k}$ 为国家 j 部门 i 和国家 k 部门 i 之间在第 t 期以前曾经发生的技术转移次数,则惯性依赖强度 $Ez_{i,t}^{j,k}$ 为:

$$Ez_{i,t}^{j,k} = \nu e^{\nu n_{i,t}^{j,k}} \quad (3)$$

式(3)中, ν 为强度参数, ν_0 为强度变化因子。技术吸引力强度 $E_{i,t}^{j,k}$ 可表达为:

$$E_{i,t}^{j,k} = Eg_{i,t}^{j,k} + Ez_{i,t}^{j,k} = \mu e^{\mu_0 \cdot \Delta c_{i,t}^{j,k} + \mu_0 \cdot \Delta x_{i,t}^{j,k}} + \nu e^{\nu n_{i,t}^{j,k}} \quad (4)$$

部门间的技术吸引力强度从技术差距和合作倾向上为各部门选择技术学习对象提供了决策的概率基础。

(三) 技术学习

确定学习对象后,技术学习者将在转移阈值范围内获得研发加速度,加速完成这一部分的研究;而在转移阈值以外,受到专利保护制度的约束,技术学习者必须独立完成研发工作。因此, CIECIA 的技术冲击方程可改写为:

$$\ln(a'_{k,j,i,t}) = \ln(a^*_{k,j,i,t,n}) + \varepsilon_{j,k,i,t,n}$$

$$\varepsilon_{j,k,i,t,n} \sim \begin{cases} N(0; s\rho^j_{k,t}) & \text{if } a^*_{k,j,i,t,n} > (1 + W_{j,j})a_{k,j,i,\tau} \\ N(0; \rho^j_{k,t}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中,国家 \tilde{j} 为国家 j 部门 i 选定的技术提供者, $a_{k,j,i,\tau}$ 为目标过程技术水平中该中间投入系数的大小。部门在以 s 倍速度将中间投入系数降低到 $(1 + W_{j,j})a_{k,j,i,\tau}$ 后,必须独立完成剩余的从 $(1 + W_{j,j})a_{k,j,i,\tau}$ 到 $a_{k,j,i,\tau}$ 的研发,然后才能进行下一轮的技术转移周期。

三、低碳技术转移情景

基于 CIECIA-TD,针对技术转移过程中的制度性障碍和知识-投资障碍,本文通过调整技术扩散模型中的研发加速度 s 和技术转移阈值 W ,设计了六种技术转移扩散情景,其参数设置见表1。在文献[16]中,研发加速度和技术转移阈值的取值分别为2和0.2,代表了一般情况下经济个体之间技术的扩散和转移速度。六种情景中其他参数设置与基准情景一致。受篇幅限制,CIECIA的基准情景和校验结果详见文献[14]和[15]。由于技术进步和转移扩散过程中随机性的存在,本文所有情景均模拟了200次,所有分析都基于200次模拟的统计结果。

表1 六种情景的参数设置

情景	研发加速度	技术转移阈值
情景1	1.5	0.2
情景2	1.5	0
情景3	2	0.2
情景4	2	0
情景5	4	0.2
情景6	4	0

表2显示了六种情景下到2100年的全球地表升温幅度。基准情景下,2100年全球地表较工业化前水平的升温幅度约为3.20°C。可以看到,随着研发加速度的提高和技术转移阈值的下降,全球地表升温显著下降。在情景6下,当研发加速度提高到4倍,且低碳技术完全共享时,全球到2100年的地表升温幅度下降到1.74°C左右,满足2°C升温控制的“哥本哈根目标”。

截至2017年11月波恩气候大会前,已有165

表2 六种情景下到2100年全球地表温度较工业化前水平上升幅度(°C)

情景	均值	50%置信区间	95%置信区间
情景1	2.9535	2.9490 - 2.9571	2.9394 - 2.9642
情景2	2.7691	2.7665 - 2.7719	2.7597 - 2.7794
情景3	2.8066	2.8028 - 2.8108	2.7918 - 2.8237
情景4	2.4470	2.4447 - 2.4487	2.4382 - 2.4583
情景5	2.5661	2.5606 - 2.5728	2.5231 - 2.5833
情景6	1.7383	1.7360 - 1.7413	1.7300 - 1.7474

份 INDC(intended nationally determined contribution)提交至 UNFCCC,涵盖了全球超过190个国家/地区,目前已有177个国家/地区将其 INDC 转化为第一份 NDC 文件。各国的 INDC/NDC 中短期减排目标形式多样,主要分为碳排放量减排和碳强度减排两种,基准年主要有1990年、2005年和基准情景同期,目标年大致从2025年到2035年。本文将未正式提交 NDC 国家的 INDC 目标作为其 NDC 目标,参考 Gu 和 Wang 的方法^[21],将其他发达国家、高发展国家、中发展国家和低发展国家的目标年统一为2030年,减排方式统一为碳排放量减排,各国家/集团的 NDC 目标见表3。

表3显示了六种情景下各国在 NDC 目标年(除美国为2025年外,其余各国均为2030年)较各基准年的碳排放和碳排放强度下降率。中国和印度在情景1下即完成了 NDC 碳强度下降目标,其碳强度较2005年分别下降了69.28%和48.93%,其中中国的碳排放高峰提前到2031年;情景1下日本到2030年的碳排放量较2005年下降37.13%,也实现了 NDC 目标;情景4下美国和其他发达国家在其 NDC 目标年的碳排放量较2005年分别减少了30.68%和33.38%,达到 NDC 减排要求;欧盟和俄罗斯也可在情景4下完成 NDC 减排任务;而高、中、低发展国家只有在情景6下才能实现 NDC 减排目标。除情景1外,中国在其余各情景下的碳排放高峰均在2030年以后,满足《中美气候变化联合声明》和《中国国家自主贡献》中对碳排放高峰的要求。

表 3 各国 NDC 目标以及六种情景下各国 NDC 目标年碳排放较基准情景和各基准年平均下降率 (%)

目标/情景	比较基准	中国	美国	日本	欧盟	印度	俄罗斯	其他发达国家	高发展国家	中发展国家	低发展国家
NDC 目标	较 1990 碳排放	-	-	-	40	-	30	-	-	-	-
	较 2005 碳排放	-	28	25.4	-	-	-	30	-	-	-
	较基准情景同期	-	-	-	-	-	-	-	20	30	20
	较 2005 碳强度	65	-	-	-	35	-	-	-	-	-
情景 1	较 1990 碳排放	-491.43	5.67	25.46	19.10	-447.71	15.75	-35.50	-103.78	-267.27	-189.52
	较 2005 碳排放	-135.73	20.75	37.13	19.73	-168.25	-27.48	18.64	-65.77	-118.99	-124.17
	较基准情景同期	13.73	0.71	4.62	5.66	14.63	6.99	3.60	2.51	4.79	4.94
	较 2005 碳强度	69.28	47.39	46.40	41.95	48.93	64.31	51.87	40.84	59.59	35.32
情景 2	较 1990 碳排放	-446.10	8.98	35.95	28.67	-439.83	22.98	-29.56	-96.78	-239.28	-186.48
	较 2005 碳排放	-117.66	23.52	45.98	29.23	-164.39	-16.53	22.20	-60.08	-102.30	-121.82
	较基准情景同期	20.34	4.20	18.04	16.82	15.86	14.98	7.82	5.86	12.05	5.94
	较 2005 碳强度	71.64	49.23	53.95	48.82	49.67	67.37	53.98	42.87	62.68	36.00
情景 3	较 1990 碳排放	-436.96	5.74	28.59	22.24	-382.15	20.74	-33.08	-100.17	-251.10	-177.52
	较 2005 碳排放	-114.02	20.80	39.76	22.85	-136.14	-19.93	20.09	-62.84	-109.35	-114.88
	较基准情景同期	21.67	0.79	8.62	9.32	24.85	12.50	5.32	4.23	8.98	8.88
	较 2005 碳强度	72.11	47.43	48.66	44.21	55.05	66.42	52.73	41.89	61.38	38.00
情景 4	较 1990 碳排放	-343.91	17.49	46.42	40.06	-353.47	35.28	-10.95	-84.36	-201.29	-170.86
	较 2005 碳排放	-76.93	30.68	54.81	40.53	-122.10	2.07	33.38	-49.97	-79.65	-109.72
	较基准情景同期	35.24	13.15	31.44	30.10	29.32	28.55	21.06	11.80	21.90	11.06
	较 2005 碳强度	76.95	53.98	61.49	57.01	57.73	72.59	60.60	46.49	66.87	39.51
情景 5	较 1990 碳排放	-340.12	7.15	38.01	28.14	-240.08	30.93	-24.92	-86.04	-216.85	-152.76
	较 2005 碳排放	-75.42	21.99	47.71	28.70	-66.56	-4.51	24.99	-51.34	-88.93	-95.71
	较基准情景同期	35.80	2.27	20.67	16.20	46.99	23.75	11.12	11.00	17.86	17.01
	较 2005 碳强度	77.15	48.22	55.45	48.46	68.31	70.75	55.65	46.01	65.16	43.56
情景 6	较 1990 碳排放	-121.63	42.88	70.76	64.32	-135.03	69.13	40.00	-31.14	-88.84	-100.90
	较 2005 碳排放	11.66	52.01	75.34	64.60	-15.11	53.30	63.97	-6.68	-12.60	-55.55
	较基准情景同期	67.67	39.88	62.58	58.39	63.37	65.92	57.31	37.26	51.05	34.04
	较 2005 碳强度	88.50	68.15	79.00	74.43	78.12	86.94	78.71	61.97	79.25	55.17

图 1 显示了六种情景下各国 2016-2100 年累积碳排放较基准情景的下降率。随着研发加速度的提高和技术转移阈值的下降,各国的累积碳减排率显著上升。比较发达国家和发展中国家的碳排放对研发加速度提高和技术转移阈值下降的反应可以看到,欧美等发达国家对技术转移阈值下降更为敏感,美国在情景 1、3 和 5 下的碳减排率均小于 5%,而实现技术完全共享后,其碳减排率得到显著提高。在情景 6 下,发达国家和发展中国家的碳减排率差距很小,这表明发达国家之间的技术交流对其长期碳减排有明显的促进作用。与之

相反,印度和低发展国家对于研发加速度的提高更加敏感,从情景 2 到情景 3,情景 4 到情景 5,当研发加速度和技术转移阈值都提升时,印度和低发展国家的碳减排率仍然能够保持上升趋势。

这主要是由于发达国家本身具有较高的知识储备、过程技术水平和自主研发能力,使得由技术转移阈值表示的制度性障碍对其技术升级的阻碍作用较大,因而当低碳技术完全共享时,发达国家凭借其较高的自主研发能力在很短的时间内完成技术学习,迅速降低碳排放;而发展中国家受制于较低的知识储备和自主研发能力,对新技术的学

习周期较长,因此知识-资本障碍成为阻碍其进一步通过技术转移提高过程技术水平的主要原因。

中国在六种情景下的碳减排变化大致介于俄罗斯和高发展国家之间,但其在模拟过程中碳减排率的变化却呈现不同的趋势。比较表3和图1,六种情景下中国2030年的碳减排率呈现持续上升的趋势,与印度和低发展国家相似,但其在情景3和5下的累积碳减排率却分别低于情景2和4,累积减排变化趋势更接近发达国家。因此,在未来中短期内,中国对先进低碳技术的学习将主要受到自身知识储备和研发能力不足的制约;而随着中国经济实力的进一步增强和研发能力的不断提

高,由转移阈值代表的专利和知识产权保护等制度性因素将成为中国进一步通过引进和学习先进技术降低碳排放的主要障碍。因此,进一步加大研发投入力度是中国在短期内利用技术转移实现碳减排目标的重点。

此外,尽管情景6下各发展中国家的累积碳减排率在80%左右,但是在NDC目标年附近,其减排率不超过70%,尤其是高发展和低发展国家的减排率不足40%,低于欧盟和日本等发达国家。这反映了技术转移扩散的减排作用更多地体现在中长期,单纯依靠技术转移实现所有国家/集团的NDC中短期减排目标具有较大的难度。

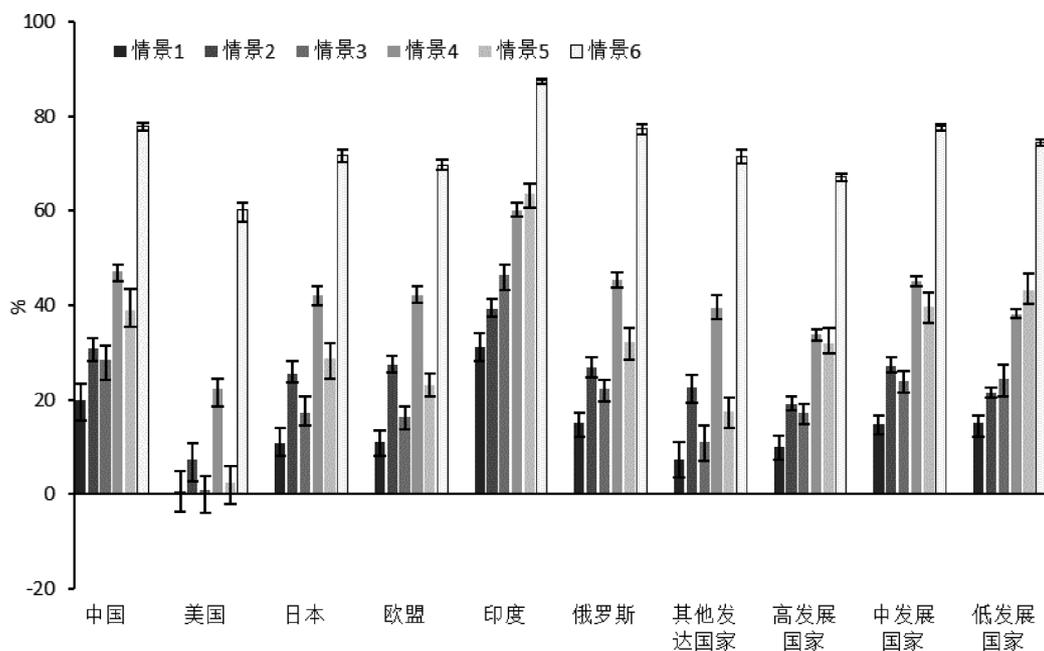


图1 六种情景下各国2016-2100年累积碳排放量较基准情景下降率(%),柱状图表示模拟结果的均值,误差线表示95%置信区间

四、美国退出《巴黎协定》对低碳技术转移影响分析

2017年6月1日,美国总统特朗普以“损害美国经济”为由宣布退出《巴黎协定》,给国际气候保护和合作减排前景蒙上阴影。由于《京都议定书》将在2020年后到期,这一决定严重损害了全球气候合作,可能引发不良示范效应,带来其他国家延迟减排或不履行减排承诺的连锁反应,甚至可能导致《巴黎协定》失效。同时,逆全球化思潮和贸易保护主义在全球范围内特别是主要发达国家中

的逐渐兴起,也为国际技术转移与合作交流带来极大的不确定性。本文在情景3的基础上,通过调整技术转移阈值,设计了三种情景,就美国退出《巴黎协定》对低碳技术转移的碳减排影响进行研究:

情景7:美国自2020年开始终止其他国家/集团之间的技术转移关系;

情景8:在情景7的基础上,从2020年起将日本、欧盟和其他发达国家与其他国家/集团间的技术转移阈值提高到0.5;

情景 9:在情景 7 的基础上,从 2020 年起将所有国家/集团间的技术转移阈值提高到 0.5,其中日本、欧盟和其他发达国家与其他国家/集团间的技术转移阈值提高到 1。

三种情景中其他的参数设置与情景 3 一致,其中情景 7 仅考虑美国退出《巴黎协定》,终止与其他国家的低碳技术交流,情景 8 和 9 考虑美国退出《巴黎协定》可能对其他各国参与全球合作减排造成连锁的负面影响,使其对低碳技术支持和共享的态度发生转变,从而带来更严格的知识产权和专利保护制度。

表 4 显示了三种情景下 2100 年全球地表较工业化前升温幅度。随着美国退出《巴黎协定》,不再为其他国家/集团提供技术支持,情景 7 下全球到 2100 年的地表升温幅度较情景 3 上升了约 0.05°C;而由此可能带来的各国提高技术转移的制度性障碍的连锁效应,更使得全球地表升温幅度在情景 8 和 9 下分别达到 2.94 和 3.06°C 左右,可见美国退出《巴黎协定》及其产生的负面影响可能对低碳技术转移下的全球升温控制造成巨大的冲击。

表 4 三种情景下到 2100 年全球地表温度较工业化前水平上升幅度(°C)

情景	均值	50% 置信区间	95% 置信区间
情景 7	2.8509	2.8449 - 2.8561	2.8317 - 2.8753
情景 8	2.9389	2.9292 - 2.9472	2.9226 - 2.9524
情景 9	3.0634	3.0555 - 3.0728	3.0389 - 3.0772

随着美国退出《巴黎协定》及各国提高低碳技术转移阈值,模拟过程中全球低碳技术转移次数急剧下降。其中情景 9 下全球低碳技术转移次数不到情景 3 下的三分之一,来自发达国家的技术转移占比从超过 70% 下降到不足 40%,对各国的碳排放产生显著影响(图 2)。对发达国家而言,美国退出《巴黎协定》本身对其通过低碳技术转移降低碳排放的冲击更大,情景 7 下,日本的碳排放较情景 3 上升了 15%,欧盟和其他发达国家也在 5% 以上,而其在情景 8 和情景 9 下的碳排放变化率几乎一致;对发展中国家而言,由美国退出可能引起的《巴黎协定》框架崩溃以及其他各国对专利制度的进一步加强对其碳减排的影响更大,情景 7 下,印度的碳排放较情景 3 上升不足 5%,而在情景 9 下,其碳排放较情景 3 上升了 35% 以上。

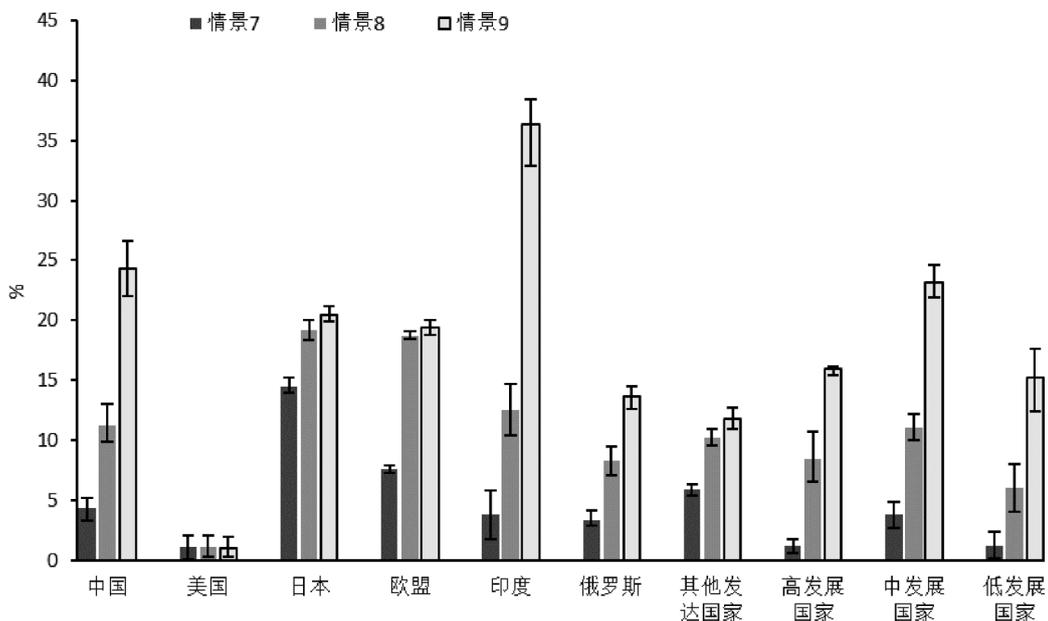


图 2 三种情景下各国 2016 - 2100 年累积碳排放量较情景 3 变化率(%), 柱状图表示模拟结果的均值,误差线表示 95% 置信区间

这主要是由于发达国家间的技术差距较小,当其技术转移阈值提高到0.5时,发达国家之间就几乎不存在可行的技术转移源,因此进一步提高技术转移阈值对其碳减排的影响微乎其微;而发展中国家本身技术较发达国家差距较大,因此其碳排放量会随着转移阈值的上升稳定提高。此外,技术转移阈值的变化使得各国的技术转移过程具有更大的不确定性,从而使得三种情景的模拟结果误差范围较大。

三种情景下,尽管中国到2030年的碳排放强度下降率均高于65%,但其碳排放高峰都出现在2030年后,无法满足《中美气候变化联合声明》和《中国国家自主贡献》中的相关要求。

五、总结与讨论

本文对气候-经济集成评估模型CIECIA进行了改进和扩展,引入自下而上的过程技术转移扩散机制,构建了CIECIA-TD模型,以技术转移阈值和研发加速度表示专利制度下先进技术在全球范围内的共享程度(制度性障碍)和技术学习者在技术转移过程中对先进技术的学习能力(知识-投资障碍)。在模型的基础上,本文分析了不同强度的制度性障碍和知识-投资障碍下,低碳技术转移的碳减排和升温控制效果,以及对各国实现NDC减排目标的有效性,并就美国退出《巴黎协定》对国际低碳技术转移的影响进行了评价,得到以下结论。

1. 低碳技术转移具有显著的碳减排和升温控制效果,在技术完全共享的情况下,2倍的研发加速度即可使大部分国家/集团的累积减排率达到40%以上,并将2100年的地表升温降至较工业化前水平提高2.5℃以下;而在极端的4倍研发加速度的情况下,仅凭借技术转移就可以使各国的累积减排率达到60%以上,而全球2100年地表升温也被控制在2℃以下,可见技术转移具有极大的减排潜力。

2. 发达国家本身具有很高的研发学习能力和过程技术水平,可以在短时间内完成阈值许可范围内的技术学习,因此技术转移阈值代表的专利和知识产权保护制度是其进一步减排的主要障

碍;而中低发展中国家的知识资本存量较低,研发学习能力较弱,导致其在阈值许可范围内的学习过程仍然较为缓慢,因此研发加速度代表的知识-资本障碍对其碳减排的影响更加明显。

3. 美国退出《巴黎协定》破坏国际气候合作环境,其可能带来的连锁反应对低碳技术的国际转移产生极大的负面影响。对发达国家而言,美国退出《巴黎协定》对其通过技术转移降低碳排放产生巨大的直接影响,而对发展中国家而言,由美国退出可能带来的针对先进低碳技术转移的制度性障碍的提高对其碳减排的影响更大。中国在美国退出《巴黎协定》情景下的碳排放高峰均出现在2030年后,无法实现NDC碳高峰目标。

4. 尽管制度性障碍的消除对于中国利用低碳技术转移降低碳排放具有重要意义,中国的碳减排在未来中短期内仍将主要受制于知识储备和研发学习能力。因此,短期内中国应该加大技术的研发投入,提高知识储备和学习能力,更高效地引进学习国外的先进技术。同时,中国也应该更加积极地参与国际气候保护和碳减排合作谈判,倡导实现全球性先进低碳技术的共享机制,力争创造出更好的技术支持和知识共享环境,努力降低制度性障碍对技术转移的影响,为未来通过技术转移进一步降低碳排放打下制度性基础。

本文构建的CIECIA-TD模型的核心是一个多国多部门的一般均衡模型,其数据来源依赖于投入产出表,因此尽管设计整合了微观视角下的技术扩散机制,其低碳技术仍然是从宏观层面上的工艺技术水平抽象而来,并未细化到单个专利技术层面,无法刻画特定的碳减排技术的研发和转移扩散。此外,本文的技术呈现渐进的进步趋势,因而同样无法表现突破性或革命性的碳减排技术的出现和传播,这些有待我们下一步的工作来实现。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Mitigation contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] OCKWELL D G, WATSON J, MACKERRON G, et al.

- Key policy considerations for facilitating low carbon technology transfer to developing countries [J]. *Energy Policy*, 2008, 36(11), 4104-4115.
- [3] PUEYO A. Enabling frameworks for low-carbon technology transfer to small emerging economies: Analysis of ten case studies in Chile [J]. *Energy Policy*, 2013, 53(1): 370-380.
- [4] SHI Q, LAI X. Identifying the underpin of green and low carbon technology innovation research: A literature review from 1994 to 2010 [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2013, 80(5): 839-864.
- [5] GRÜBLER A, NAKICENOVIC N, VICTOR D G. Modeling technological change: Implications for the global environment [J]. *Annual review of energy and the environment*, 1999, 24(1): 545-569.
- [6] HÜBLER M, BAUMSTARK L, LEIMBACH M, et al. An integrated assessment model with endogenous growth [J]. *Ecological Economics*, 2012, 83: 118-131.
- [7] FUJIMORI S, MASUI T, MATSUOKA Y. AIM/CGE [basic] manual [R]. Discussion paper series Center for Social and Environmental Systems Research, National Institute Environmental Studies, 2012.
- [8] QI T, WINCHESTER N, ZHANG D, et al. The China-in-global energy model [R]. MIT JPSPGC Report 262, 2014.
- [9] JACOBY H D, REILLY J M, MCFARLAND J R, et al. Technology and technical change in the MIT EPPA model [J]. *Energy Economics*, 2006, 28(5): 610-631.
- [10] MORRIS J F, REILLY J M, CHEN Y H. Advanced technologies in energy-economy models for climate change assessment [R]. MIT JPSPGC Report 272, 2014.
- [11] ZHANG S, WORRELL E, CRIJNSGRAUS W, et al. Synergy of air pollutants and greenhouse gas emissions of Chinese industries: A critical assessment of energy models [J]. *Energy*, 2015, 93: 2436-2450.
- [12] KYPREOS S. A MERGE model with endogenous technological change and the cost of carbon stabilization [J]. *Energy Policy*, 2007, 35(11): 5327-5336.
- [13] BOSETTI V, CARRARO C, DUVAL R, et al. The role of R&D and technology diffusion in climate change mitigation: New perspectives using the Witch model [R]. OECD Economics Department Working Papers, 2009.
- [14] 顾高翔, 王 铮. 经济相互作用与产业进化下全球经济和气候保护问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [15] WANG Z, GU G, WU J, et al. 2016. CIECIA: A new climate change integrated assessment model and its assessments of global carbon abatement schemes [J]. *Science China Earth Sciences*, 59(1): 189-206.
- [16] WANG Z, YAO Z, GU G, et al. Multi agent-based simulation on technology innovation-diffusion in China [J]. *Papers in Regional Science*, 2014, 93(2): 385-408.
- [17] 姚梓璇. 多区域创新扩散与知识溢出的自主体模拟[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
- [18] KENNEDY M, BASU B. Overcoming barriers to low carbon technology transfer and deployment: An exploration of the impact of projects in developing and emerging economies [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2013, 26(10): 685-693.
- [19] 王 铮, 马翠芳, 王 露, 等. 知识网络动态与政策控制(1)——模型的建立[J]. *科研管理*, 2001, 22(3): 126-133.
- [20] WANG Z, LIU T, DAI X. Effect of policy and entrepreneurship on innovation and growth: An agent-based simulation approach [J]. *Studies in Regional Science*, 2010, 40(1): 19-26.
- [21] GU G, WANG Z. Research on global carbon abatement driven by R&D investment in the context of INDCs [J]. *Energy*, 2018, 148: 662-675.

(本文责编: 辛 城)