

## 基于 CGE 模型的碳交易机制技术效应和减排效应研究

### Assessing technological effect and mitigation effect of carbon trading using Computable General Equilibrium (CGE) model

杨琳<sup>1</sup> 姚云飞<sup>2</sup> 张贤<sup>3</sup> 张九天<sup>3</sup> (1. 北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081; 2. 中石化石油工程研究所, 北京 100101; 3. 中国 21 世纪议程管理中心, 北京 100038)

**摘 要** 本文基于一般均衡理论, 结合中国经济和能源市场特征, 利用含有内生技术进步的 CGE (Computable General Equilibrium) 模型分析了碳交易机制下的三种减排情境对技术进步的影响以及带来的 CO<sub>2</sub> 减排效应, 以期为中国减排政策的制定提供科学的信息支持和决策参考。结果表明低减排目标、中等减排目标、高减排目标约束下: (1) 技术进步相对于基准情景的变化率逐年上升, 减排初期为 0.13%、0.40%和 0.73%, 到 2030 年达到 0.47%、1.60%和 3.35%; (2) 碳价波动幅度较小, 平均水平为 57.86 元/吨、203.17 元/吨和 452.87 元/吨; (3) 碳强度相对于 2005 年水平逐年下降, 减排初期为 30.38%、35.34%和 42.38%, 到 2030 年达到 58.37%、61.38%和 65.66%; (4) 减排量也呈现逐年上升趋势, 初期为 0.74 亿吨、2.46 亿吨和 4.93 亿吨, 到 2030 年到达 1.08 亿吨、3.62 亿吨和 7.23 亿吨; (5) 减排初期 GDP 相对于基准情景都出现不同程度的下降, 分别为 0.02%、0.12% 和 0.37%, 后期逐渐转为正向, 到 2030 年高于基准情景 0.03%、0.05% 和 0.02%; (6) 研发投入相对于基准情景平均每年分别增加约 0.5%、2% 和 3.5%。碳交易能够有效激励技术进步, 实现二氧化碳减排, 但现阶段对于经济增长有负面效应。因此, 目前不适宜建立全国性的碳市场。只有在科技水平达到一定程度, 并且经济形势趋于稳定之后, 碳交易才能实现减排和增长的“双重红利”。

**关键词** 碳交易; 技术进步; 减排; CGE 模型

**免责声明** 本文仅代表作者个人观点, 与中国 21 世纪议程管理中心、中国可持续发展研究会及联合国均无关。

*Disclaimer: This brief was submitted through the Administrative Centre for China's Agenda 21 (ACCA21), Ministry of Science and Technology, China, and the Chinese Society for Sustainable Development (CSSD). The views and opinions expressed are those of the author(s) and do not necessarily represent the views of, and should not be attributed to, the Secretariat of the United Nations, the ACCA21 or the CSSD. Online publication or dissemination does not imply endorsement by the United Nations. For further information, please contact Mr. Sun Xinzhang (sunxzh@acca21.org.cn)*

## 1 引言

现阶段我国正处于工业化和城镇化的关键时期, 高碳产业较多, 降低碳强度是减排的必然选择。我国已承诺到 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 40%–45%, 并将其作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。一般而言, 产业碳强度的降低主要源于三类因素: 其一为产业结构调整, 其二为能源结构优化, 其三为技术进步<sup>[1–3]</sup>。《IPCC 排放情景特别报告》和《2001 气候变化: IPCC 第三次评估报告》指出, 技术进步是实现减排的最重要的因素, 其作用超过其他所有因素。90 年代中期以来, 我国重新出现了重工业化趋向, 其增速大大超过轻工业, 这种完全由市场决定的产业升级调整

对能耗与排放强度降低的作用逐步消失, 甚至产生负作用<sup>[4–6]</sup>。与此同时, 各产业的生产主要依赖于能源投入, 产业的高能源强度以及能源结构依赖于煤炭的高碳禀赋特征明显, 短期内不会有大的改变。因此, 从产业结构和能源结构寻找降低能耗和排放的思路受到了限制。但是在 1990–2005 年间, 技术节能对于我国碳强度的下降的贡献率达到了 56%, 并且要完成 2020 年的碳减排目标, 技术节能的贡献率还应维持在 43%左右<sup>[7]</sup>。由此可见, 依靠科技进步来发展低碳技术已经成为减少温室气体排放的主要途径<sup>[8–10]</sup>。

如何利用环境政策法规来促进企业进行环保 R&D 投资一直受到学术界及政策制定者的关注。长期以来政府

都是以监督惩治为主，激励政策为辅，不能有效地鼓励企业进行低碳技术投资。合理的减排政策不应再依赖于传统行政命令式的管理方式，而应该是基于市场机制和经济激励。经济发展过度依赖能源消耗的背后，是价格体制的长期扭曲，引入市场手段能够使减排更较高效和公正，也可在国际范围内以最低的成本实现减排承诺，因此应该让市场真正发挥调节配置资源的功能。碳交易从资本的层面通过划分环境容量，利用市场机制把气候变化这一科学问题、减少碳排放这一技术问题与可持续发展这个经济问题相融合，逐渐成为各国解决温室气体减排的新路径。

碳交易的目的有三：第一是必须促进节能减排，至少是降低碳排放的增速，而不是反向扩大和刺激排放；第二是降低全社会的减排成本；第三是推动企业技术进步<sup>[11]</sup>。碳交易利用价格机制来调节市场中参与主体的行为，企业通过比较节能减排技术的投资和购买碳排放配额的投资来权衡是否进行低碳技术投资。因此碳价处于何种水平能促进技术进步、达到节能减排的目标是碳交易机制的关键。与此同时，碳交易还应兼顾经济发展的目标，如果价格波动影响企业产出，拖累经济增长，那么碳交易机制即使能够实现节能减排的目标也是不合理的。未来的10年是国际政治经济格局重建、资源环境要素约束加剧的10年，也是中国现代化建设的关键10年。如何在保障中国经济可持续发展前提下顺利实现碳排放强度目标，对于中国的长远发展至关重要。可计算一般均衡模型（CGE 模型）能够定量评估减排政策带来的直接影响以及对宏观经济的全局性影响。因此，基于CGE 模型，本文将在碳交易背景下研究技术进步的变化以及带来的经济影响，以期科学制定减排政策提供依据。

## 2 文献综述

技术进步对减排的作用主要体现在低碳技术的创新<sup>[12]</sup>。技术进步会提高资源利用率，从而在一定的产出水

平下降低使能源消耗量，相应的污染排放和生态破坏也减少<sup>[13]</sup>。IEA 在 2006 年的能源技术展望中指出，到 2050 年，在关键能源技术的作用下，全球排放量可以回到目前的水平。相关的研究也证实近十几年来，技术效应使得我国产业碳强度总体呈下降趋势，对抑制二氧化碳排放的起到十分显著的作用<sup>[14-16]</sup>。技术进步需要依靠大量的资金投入来进行设备更新和技术改造，以及国际的合作技术，通过研发（R&D），创造和积累知识，促进产品创新和工艺创新<sup>[17]</sup>。正确认识技术进步的形成机制和作用机制，对于充分发挥其减排效用和经济效用，探索低碳经济发展道路具有重要意义。碳交易对促进技术进步的影响取决于多重因素，最主要碳价的波动<sup>[18]</sup>。碳配额分配过多，碳排放配额交易价格过低，不足以弥补新能源领域的投资，企业也就没有减少碳排放的动力，过高则会增加企业负担，在一定程度上阻碍该行业技术的更新换代，并造成电力等能源价格的上涨<sup>[19]</sup>。由此可见，碳交易对于技术投资的影响是复杂的，而且不全是对环境有力的，某些情况下甚至适得其反<sup>[20]</sup>。学术界对于碳交易能否促进技术进步一直存在争议，部分学者认为免费分配可以激励企业环境友好技术创新<sup>[21-22]</sup>；部分学者认为政府只有拍卖排放权才能够促进企业的技术创新和公平的共担成本。实践中多采用免费分配方式，这是因为利益集团的压力及免费分配的政治可控性<sup>[23]</sup>。从欧盟碳交易的现状来看，碳市场对于技术进步的影响并未达到预期，主要是因为减排目标不合理，导致碳价低迷，不能有效的激励企业开展低碳技术研发。我国碳交易市场还处于试验阶段，探索不同减排目标下技术进步的效应对于推动我国节能减排技术的发展十分重要。

碳交易虽然有利于技术进步，但同时应尽量减少对其经济产出的影响，否则会产生物资短缺、高物价及失业等问题，大大抵消技术进步所带来的收益，从而降低整个社会的福利<sup>[3, 24-26]</sup>。传统的环境政策对经济增长都有一定的拖累，碳交易虽然不同于以往的减排手段，但如何设计交易机制以实现减排技术的创新和低碳经济的发

展依然是关键<sup>[27]</sup>。从国外碳交易现状来看,不同地区的碳交易机制由于减排目标、配额机制和碳价的不同,带来的结果不尽相同。在澳大利亚西部地区,碳交易虽然使得温室气体减少 3-11%,但是以降低经济产出为代价的,该地区的生产成本上升了 3%;欧盟的碳交易市场则并未对企业的绩效和竞争力造成较大的冲击<sup>[28-32]</sup>,而且所有部门综合起来分析,整体产出的变化幅度也不是很大<sup>[33]</sup>;在美国,碳交易对经济增长的影响也比较弱,多种模型的预测结果都显示 GDP 并未出现大幅下滑<sup>[27]</sup>。我国学者还没有开展碳交易对于经济影响的研究,但部分关于中国实施碳减排政策对经济影响的研究表明,虽然实施碳减排政策将大大提高能源效率,但都使得经济负增长<sup>[34-36]</sup>。合理的碳交易机制的应该是在碳强度减排的同时,通过技术进步降低生产成本,使得工业总产出受到的负面影响最小,即减排的经济成本最小。因此,测度不同减排方案的经济成本,选择最优的减排路径是我国建立全国性碳交易市场和实现减排目标的关键性步骤。

通过以上文献分析可以看出:(1)技术进步已经成为节能减排的主要手段;(2)碳交易通过市场机制来激励企业进行减排技术的投入;(3)碳价波动会对企业技术投资决策产生影响;(3)减排机制会对经济社会发展产生影响。由此可见,碳市场的减排总量和碳价只有控制在一定范围内,才能在实现碳排放降低的同时,促进经济社会的又好又快发展。因此,分析碳交易对技术进步的影响,并且预测减排目标和碳价波动对于宏观经济的影响对于我国建立全国性的碳市场具有重要参考价值。

### 3 研究方法和数据

#### 3.1 CGE 模型

可计算一般均衡模型(CGE)广泛应用于宏观政策问题的研究,如税收政策、贸易政策、收入分配政策、宏观稳定与部门调整政策、能源政策等。CGE 模型的研究

始于 Walras 的一般均衡理论<sup>[37]</sup>,以生产者利润最大化和消费者效应最大化为原则,在预测的约束条件下,确定商品供需平衡、劳动力供需平衡、能源平衡等平衡关系,并根据优化后的平衡关系求出经济结构中相关指标。如图 1 所示,该模型中,消费者分为居民、企业和政府三类,各个主体通过税收、转移支付等相互作用。此外,考虑到目前我国高耗能高排放的国际贸易结构,本文的模型设置了国外账户,即为开放模型。

本研究应用的 CGE 模型考虑了 24 个生产部门和两类居民,并且包括了政府、企业和国外账户。模型的主要模块由生产、收入支出、投资、外贸、环境、宏观闭合及市场出清等组成。此外,对于技术进步的处理是依据内生经济增长理论的假设,在模型中引入内生技术进步。知识资本存量因其在内生经济增长理论的重要作用<sup>[38-41]</sup>被很多研究引入 CGE 模型中来反映内生技术进步<sup>[42-45]</sup>。本研究沿用该建模方法,在社会核算矩阵中引入知识资本要素投入账户和 R&D 投资账户,采用 Terleckyj's method 核算知识资本<sup>[42, 43]</sup>。

#### 3.2 模型假设和情景设置

为了分析不同的减排目标对技术进步的影响,本文模型设定的基准情景(无碳交易的情景)和政策模拟情景如表 1 和表 2 所示。其中,碳强度的设定是相对于 2005 年碳强度的下降率;碳配额的初始分配方式是免费一次性转移给企业,这主要是因为我国排放权交易机制在运行初期普遍采用的分配方法是免费分配,这种方式降低了企业获得配额的成本,并且在前期容易被企业接受,推行阻力较小。此外,由于我国暂时没有制定绝对的减排目标,这里通过假设 2015 年到 2030 年碳排放量比基准情景下的减少水平来设定减排目标(表 2)。

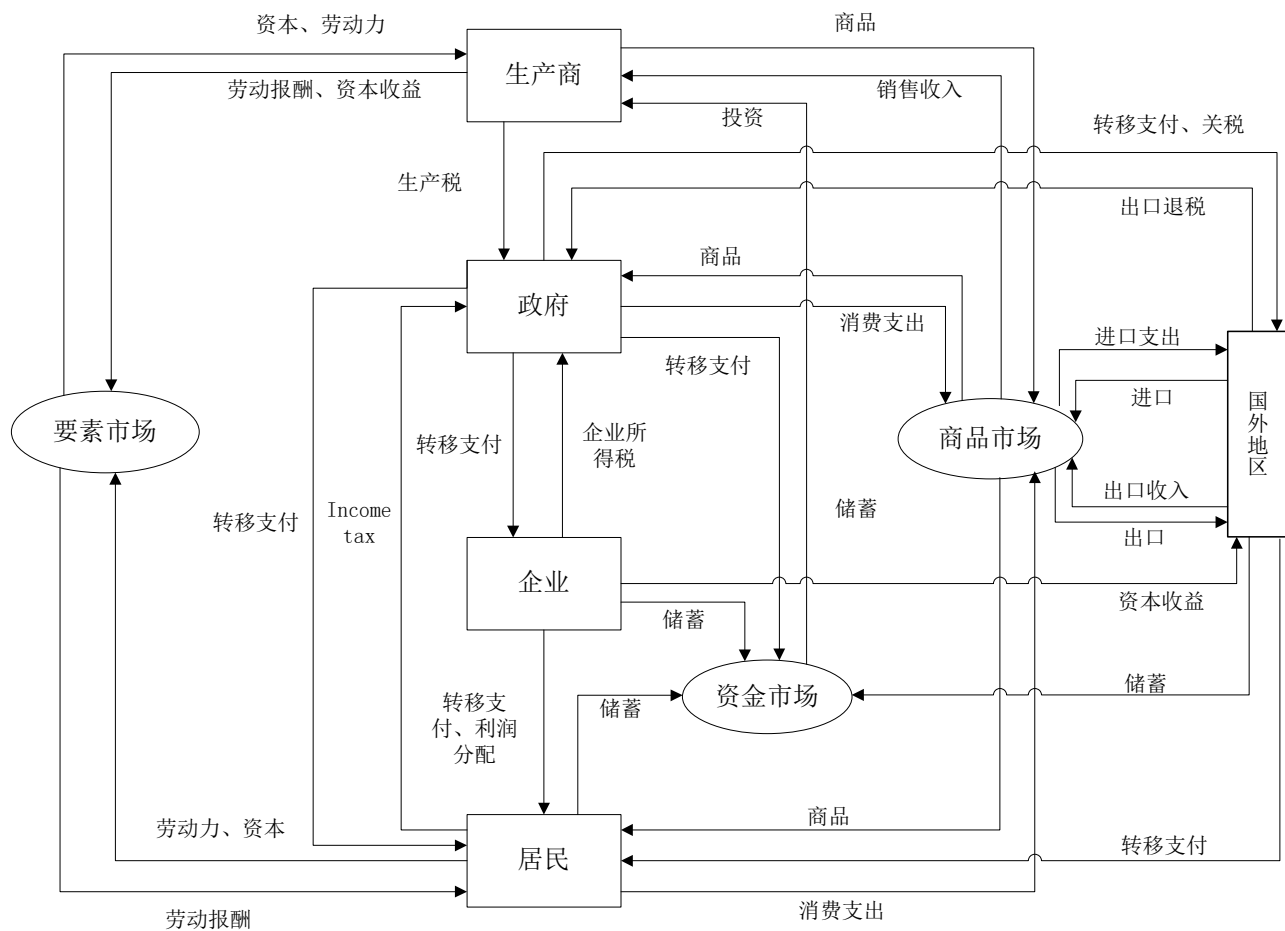


图 1 CGE 模型框架图

表 1 基准情景设定

年份	GDP 增长率 (%)	人口 (亿人)	城市化率 (%)	碳强度下降 (%)	碳排放 (亿吨碳)
2015	7.5	13.8	55	-28.2	24.6
2020	7	14.1	58	-39.3	29.2
2025	6	14.3	61	-48.6	33.1
2030	5.5	14.4	64	-57.1	36.1

表 2 政策情景设定

情景名称	减排目标	配额分配
低减排目标情景	2015-2030 年相对基准情景每年减排 3%	2015 年起实施碳交易市、免费分配配额，一次转移给企业
中等减排目标情景	2015-2030 年相对基准情景每年减排 10%	
高减排目标情景	2015-2030 年相对基准情景每年减排 20%	

### 3.3 数据来源

本研究中 CGE 模型所用数据来源于全国社会核算矩阵 (Social Accounting Matrix, SAM) 表, 基于 2007 年投入产出表, 包括 24 个生产部门, 以及居民、企业、政府和国外账户。为了分析城乡的福利差异, 本文将居民部门进一步划分为城镇和农村两类居民。模型中包含有内外生参数, 其中内生参数通过校准的方法, 将 SAM 表中的数据作为基年均衡点代入模型方程。外生参数包括各种替代弹性, 碳排放因子, 固定资本构成系数等。

## 4 实证结果

### 4.1 碳交易机制对技术进步影响

如表 3 所示, 低减排目标、中等减排目标、高减排目标约束下: (1) 技术进步相对于基准情景的变化率逐年上升, 减排初期为 0.13%、0.40%和 0.73%, 到 2030 年达到 0.47%、1.60%和 3.35%; (2) 碳价波动幅度较小, 平均水平为 57.86 元/吨、203.17 元/吨和 452.87 元/吨。不同的减排目标下技术均有所进步, 但减排目标越严格, 技术进步的幅度越大, 碳价水平也相应越高。碳交易机制在配额总量的约束下, 将其分解并免费一次性发放给企业, 减排目标越高, 企业得到的配额就越少, 市场上可用于交易的配额也越少, 碳价就会走高。企业碳排放超额, 则必须要到市场上购买, 高昂的碳价必然会增加企业的生产成本, 并且长期依靠购买配额来获得碳排放权也会限制企业的发展。因此, 在权衡低碳技术的投资和碳配额的成本之后, 企业会倾向于选择前者, 并且技术进步使得企业碳排放降低, 多余的配额还可以在在市场上出售, 能够缓解低碳投资带来的成本压力。

此外, 表 3 还可以看出无论何种减排目标下, 技术进步的速度会随时间的变化而逐渐减弱, 但高减排目标约束下, 技术进步的变化率较快, 并且 2025 年以后才逐渐趋缓, 而低减排目标约束下, 技术进步的变化率较

缓, 企业到 2020 年就趋于稳态。这主要是因为减排初期, 在一定的减排目标约束下, 各个主体积极采取措施, 但随着时间推移, 逐渐调整其生产行为和消费行为, 适应了减排政策, 政策力度的效果也就逐渐弱化。但是在高减排目标约束下, 企业的减排任务相对较重, 减排努力也较大, 因此技术进步持续的时间也较长。与此同时, 表 3 中显示三种减排目标下, 碳价都维持在相对稳定的水平, 并未出现大幅度波动, 这主要是由我国所处的发展阶段所决定。我国经济发展在未来较长的一段时间内还将依赖于能源投入, 高碳化的发展模式还无法扭转, 这也就决定了碳交易市场是广阔和巨大的。

表 3 不同情境下碳交易对技术进步和碳价的影响

	情景名称	技术进步/% (与 BAU 相比)	碳价水平/元/吨 (与 BAU 相比)
2016	低减排目标	0.13	66.3
	中等减排目标	0.40	215.6
	高减排目标	0.73	448.5
2020	低减排目标	0.39	57.1
	中等减排目标	1.21	199.0
	高减排目标	2.35	441.7
2025	低减排目标	0.46	54.9
	中等减排目标	1.50	198.6
	高减排目标	3.05	453.9
2030	低减排目标	0.47	57.5
	中等减排目标	1.60	209.4
	高减排目标	3.35	479.0

### 4.2 技术进步对节能减排的贡献率

为了分析碳交易机制对于碳排放的影响, 表 4 和表 5 加入了基准情境下碳排放的情况 (BAU 情景)。如表 4 所示, 低减排目标、中等减排目标、高减排目标约束下, 碳强度相对于 2005 年水平逐年下降, 减排初期为 30.38%、35.34%和 42.38%, 到 2030 年达到 58.37%、61.38%和 65.66%; 减排量也呈现逐年上升趋势, 初期为 0.74 亿吨、2.46 亿吨和 4.93 亿吨, 到 2030 年到达 1.08

亿吨、3.62 亿吨和 7.23 亿吨。表 4 还可以看出，低减排情景下的减排效果基本接近于基准情景，成效并不是十分显著。

我国实施碳强度减排而非总量减排，碳强度一直是衡量减排成效最主要的指标，这主要是由我国所处的发展阶段和经济结构决定的。首先，我国正处于城镇化和工业化的高速发展时期，第二产业依然是国民经济的支柱产业，能源消费和二氧化碳排放总量势必会有所增加；此外，我国作为最大的发展中国家，人均碳排放量还较低，因此不能限制绝对量合理上升，但碳强度的下降会使得增加的速度放缓。我国已承诺到 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放要比 2005 年下降 40%~45%，并将其作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。从表 4 可以看出，碳交易机制有利于减排目标的实现，

但减排的成效是基于减排目标的设置。本文设定实际 GDP（剔除通货膨胀因素）的增速均低于 8%，将我国降低单位 GDP 碳排放强度 40%~45%的减排目标折算为每年的碳排放量，并与基准情景的碳排放量对比，2010~2020 年每年大约需要形成 2 亿~6 亿吨的减排能力，中等减排目标和高减排目标的减排效果较好。表 4 显示低减排情境下，碳排放量基本接近于基准情景，达不到很好的减排效果。碳强度下降最主要的途径是技术进步，因此技术进步的幅度越大，碳强度下降的幅度也越大。低减排目标下碳交易对于技术进步的作用非常有限，其减排效果自然也不及其他两种情景。由此可见，碳交易机制下，三种减排目标约束虽然均有利于碳强度的下降，但如果减排目标设置不合理，碳市场将形同虚设。

**表 4 不同情境下碳交易的减排效果**

	情景名称	碳强度/% (与 2005 年相比)	碳排放/ 亿吨	减排量/亿吨
2015	基准情景	-28.25	24.63	
	低减排目标	-30.38	23.99	0.74
	中等减排目标	-35.34	22.16	2.46
	高减排目标	-42.38	19.70	4.93
2020	基准情景	-39.28	29.22	
	低减排目标	-41.11	28.35	0.88
	中等减排目标	-45.36	26.31	2.92
	高减排目标	-51.37	23.38	5.85
2025	基准情景	-48.57	33.13	
	低减排目标	-50.13	32.14	0.99
	中等减排目标	-53.74	29.82	3.13
	高减排目标	-58.85	26.51	6.63
2030	基准情景	-57.07	36.15	
	低减排目标	-58.37	35.06	1.08
	中等减排目标	-61.38	32.53	3.62
	高减排目标	-65.66	28.92	7.23

### 4.3 减排目标对经济增长的影响

碳市场虽然有利于技术进步和碳减排的实现，但是不同的减排目标会对经济增长产生不同的影响。如表 5 所示，三种减排目标下，减排初期 GDP 相对于基准情景都出现不同程度的下降，分别为 0.02%，0.12% 和 0.37%。低减排目标下，2020 年碳交易对 GDP 的影响转为正向，到 2030 年达到 0.03%；中等减排目标下，2021 年碳交易对 GDP 的影响开始转为正向，到 2030 年达到 0.05%，并且超过低减排目标带来的正向影响；高减排目标下，2030 年碳交易对 GDP 的影响达到 0.02%。中国社科院和中国气象局发布的 2010 年气候变化绿皮书《应对气候变化报告坎昆的挑战与中国的行动》中对我国确定的 2020 年降低碳排放强度目标可能带来的影响做出了评估。根据模型测算，不同碳强度政策目标对经济和社会福利有一定影响。40%到 45%的这个碳强度指标的预设前提是中国将保持 GDP 增长率 8%到 9%，对 2015 年和 2020 年 GDP 的影响均小于 1%。本文根据中国的现实情况，对经济增速重新调整，得到的结果也是小于 1%，与绿皮书的结论基本一致。与此同时，低减排目标、中等减排目标、高减排目标约束下，研发投入每年分别增加约 0.53%，1.74%和 3.56%。我国在“十一五”期间，实现降低单位 GDP 能耗 20%的目标主要依靠的是行政和财政手段。从实际运行效果来看，成效显著但减排量仍然不足。其根本原因是没有充分动员社会资源，尤其是私人资本和金融资源在节能项目上的投入较少，本文的研究结果表明碳市场在能够有效地鼓励低碳技术投资。

减排初期 GDP 增长率均有所下降，但后期都将恢复到正向增长的水平，这是因为技术效应对于经济的拉动作用需要一定的时间。Arthur<sup>[48]</sup>认为，技术进步路径依赖的特征包括四个方面：一是大量的初始成本或固定成本，逐渐产量的增加，会带来单位成本下降的收益；二是学习效应，随着该项技术的流行，人们会改进产品或降低成本；三是协调效应，由于其他当事人采取相配合的行为，会产生合作利益；四是适应性预期，该项技术市场上越来越多的使用，有利于技术的进一步扩散。

减排后期，中等减排目标下 GDP 的增长幅度会超越低减排情景下 GDP 的增长幅度，高减排目标下 GDP 的增长在 2030 年以前虽然未超越低减排情景下 GDP 的增长幅度，但也有超越的趋势。这是因为低减排目标对于前期技术进步的刺激较小，使得后期对于 GDP 的拉动作用也十分有限。此外，技术进步虽然对经济增长促进作用，但是碳市场减排目标设置过高则不一定能达到预期效果，因为技术减排的潜力也是有一定限度的。如图 2 所示，我国的研发投入增长率已经较高，并且会呈现逐年下降的态势。高减排情境下，技术投资虽然增加较快，但不一定能达到很好的效果。这是因为一方面，技术研发和应用需要一定的积累，一项技术从立项到实验，从试行到应用，需要很长的周期。中高减排目标的情境下技术进步的速度很高，但很可能会违背其发展的客观规律；另一方面，技术进步需要人力、物力、财力的投入。无论是传统的指令控制型（Command and Control-CAC）还是新兴的市场导向型（Market-Based Incentives-MBI）都面临着成本的约束。碳交易虽然能激励低碳投资，但麦肯锡报告指出技术投资中大约只有 1/3 的投资会产生经济回报，其余都成为沉没成本，过快的技术投资会产生大量的资金浪费，而且回报过低也会降低投资者的积极性。此外，投入过多一方面会对其他投资造成一定的挤出效应<sup>[46]</sup>，另一方面使得短期内企业生产成本的上升过快，反过来制约经济发展<sup>[47]</sup>。所以从市场化角度来看，碳交易能否成功在很大程度上取决于如何有效平衡成本与减排之间的关系，必须确保对减排的正向激励才能使得碳市场良性运转，即排放有代价，减排有收益。

通过以上分析可以得出，碳交易是能够通过促进技术进步实现减排，并且长期来看能够实现经济的正向增长，但是在政策初期，减排目标的设定需要仔细斟酌，既需要考虑对于当下经济的影响，也要考虑未来技术进步所带来的长期经济增长效应。目前我国碳交易试点基本为经济发达地区，也是出于碳交易可能会加大市场负担的考虑。当前节能减排市场中，电力、钢铁、水泥等行业虽然开展碳减排的潜力较大，但对于经济增长的影

响也会较大，从市场未来发展的趋势观察，平台将收纳全国范围内的交易，但是能否扩大实现全面覆盖仍取决于试点工作的开展。我国正处于工业化和城镇化的高速发展时期，严峻的经济形势要求碳交易必须要在初始阶段和后期发展中都能够实现经济增长和节能减排的“双重红利”，这就需要碳市场实施的初期搭配其他的经济策略来缓解这种负面影响，直至碳市场实现良性循环，对经济起到推动作用。

**表 5 不同情境下碳交易的经济效应**

情景名称		GDP/% (与 BAU 相比)	技术投资/% (与 BAU 相比)
2015	低减排目标	-0.02	0.64
	中等减排目标	-0.12	1.93
	高减排目标	-0.37	3.60
2020	低减排目标	0.01	0.54
	中等减排目标	0.00	1.75
	高减排目标	-0.12	3.53
2025	低减排目标	0.02	0.49
	中等减排目标	0.04	1.67
	高减排目标	-0.02	3.53
2030	低减排目标	0.03	0.49
	中等减排目标	0.05	1.69
	高减排目标	0.02	3.63



**图 2 BAU 情境下研发投入变化**

## 5 结论

本研究运用包含内生技术进步的 CGE 模型，探讨了碳交易机制下不同的减排目标带来的技术效应和经济效用，得到的结论如下：

(1) 碳交易正越来越受到重视，但在我国城镇化和工业化的大背景下，还需要深入探讨很多方面的问题，尤其需要设置合理的减排目标。

(2) 碳交易机制能够通过减排总量的控制和价格机制的作用实现技术进步，减排目标越严格，碳价越高，技术进步的幅度也越大，但随着时间推移，最终会趋向达到一个稳定水平；

(3) 碳交易机制下，减排目标的设置对于减排的效用有显著影响，减排目标过低，碳市场对于降低碳强度的作用十分有限，中高减排情境下技术进步对于降低碳强度的作用明显，并且使得碳排放总量上升的幅度显著放缓；



(4) 碳市场虽然有利于减排目标的实现,但在减排初期会对经济增长产生负向影响,后期正向作用会逐渐显现:高减排情境下,GDP下降幅度较大,负面影响持续的时间也比较长;低减排情境下,GDP下降的幅度较小,但从长期来看,后期对于经济的正向激励作用也较小;

(5) 碳交易机制下减排目标的实现能够激励研发资金的投入,并且减排目标越高,资金投入越多,但是过高的投入使得技术进步的负面效应超过正面效应:一方面会对其他投资产生挤出效应,一方面会增加企业的生产成本。

(6) 碳市场对经济的综合影响充满不确定性,初期需要其他相关的经济策略来缓解负面效应,直至正向作用显现。

(7) 现阶段我国面临严峻的经济下行压力,不适宜建立全国性的碳市场,通过技术进步来实现减排还需要其他的手段和政策,当科技水平达到一定的程度,经济形势趋于稳定,可以逐步将试点拓展到全国。

总体来看,本文的研究结果表明碳市场能够形成有效地二氧化碳减排市场激励机制,既可以有效减少现有二氧化碳的排放规模,又能鼓励低碳技术与开发,但减排初期对于经济增长的目标形成压力,因此减排目标的设定对于整个机制的成功与否起着决定性作用。碳市场应该在严格完成国家节能减排约束性指标的同时,积极利用市场机制,拓宽资金筹集渠道,进一步降低节能减排的成本。我国目前正处于经济快速增长的关键时期,碳交易作为市场机制下解决温室气体减排的新路径,需要在减排的同时兼顾经济增长,合理的减排目标结合辅助的经济策略才能起到有效配置资源的作用,实现减排和增长的“双重红利”。

## 参考文献

[1] 李廉水,周勇. 技术进步能提高能源效率吗:基于中国工业部门的实证检验[J]. 管理世界, 2006 (10): 82-89.

[2] Ma C, Stern DI. China's changing energy intensity trend: A decomposition analysis [J].

Energy Economics, 2008, 30(3): 1037-1053.

[3] 姚西龙. 技术创新对工业碳强度的影响测度及减排路径研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.

[4] Wu L, Kaneko S, Matsuoka S. Driving forces behind the stagnancy of China's energy-related CO<sub>2</sub> emissions from 1996 to 1999: the relative importance of structural change, intensity change and scale change [J]. Energy policy, 2005, 33(3): 319-335.

[5] 史丹. 我国经济增长过程中能源利用效率的改进[J]. 工业经济, 2003, (1): 36-43.

[6] Liao H, Fan Y, Wei Y M. What induced China's energy intensity to fluctuate: 1997 - 2006? [J]. Energy Policy, 2007, 35(9): 4640-4649.

[7] 何建坤. 我国 CO<sub>2</sub> 减排目标的经济学分析与效果评价[J]. 科学学研究, 2011, (1): 9-17.

[8] 冯俊新. 经济发展与碳减排分析[J]. 中国人民大学学报, 2010, (2): 11-18.

[9] 李国璋, 王双. 中国能源强度变动的区域因素分解分析: 基于 LMDI 分解方法[J]. 财经研究, 34(8): 52-62.

[10] 李凯杰, 曲如晓. 技术进步对中国碳排放的影响-基于向量误差修正模型的实证研究[J]. 中国软科学, 2012, (6): 15-58.

[11] 李俊峰. 做碳市场是希望交易量越来越少[EB/OL]. <http://finance.sina.com.cn/roll/20131227/022517765984.shtml>.

[12] Bao J. The analysis and strategy of information asymmetry in e-commerce [C]. 2011 International Conference on IEEE, 2011: 1-4.

[13] 于峰, 齐建国. 开放经济下环境污染的分解分析: 基于 1990-2003 年间我国各省市的面板数据[J]. 统计研究, 2007, (1): 47 - 53.

- [14] Liu L C, Fan Y, Wu G, et al. Using LMDI method to analyze the change of China's industrial CO<sub>2</sub> emissions from final fuel use: An empirical analysis[J]. Energy Policy, 2007, 35(11): 5892-5900.
- [15] 郭朝先. 中国碳排放因素分解: 基于 LMDI 分解技术[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 20(12): 4-9.
- [16] 孙宁. 依靠技术进步实行制造业碳减排-基于制造业 30 个分行业碳排放的分解分析[J]. 中国科技论坛, 2011, (4): 44-48.
- [17] 吴延兵. 自主研发、技术引进与生产率: 基于中国地区工业的实证研究[J]. 经济研究, 2008, (8):51-64.
- [18] Zhang Y J, Wei Y M. An overview of current research on EU ETS: Evidence from its operating mechanism and economic effect [J]. Applied Energy, 2010, 87(6): 1804-1814.
- [19] 魏一鸣, 张跃军, 邹乐乐, 等. 应对气候变化的市场机制: 欧盟排放交易体系对我国的启示[EB/OL]. <http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2009/8/223052.html>.
- [20] Klingelhöfer HE. Investments in EOP-technologies and emissions trading: results from a linear programming approach and sensitivity analysis[J]. Eur J Oper Res, 2009, 196(1):3, 70 - 83.
- [21] Requate T, Unold W. Environmental policy incentives to adopt advanced abatement technology: Will the true ranking please stand up[J]. European Economic Review, 2003, 47(1): 125-146.
- [22] Requate T. Dynamic incentives by environmental policy instruments: a survey [J]. Ecological economics, 2005, 54(2): 175-195.
- [23] Cramton P, Kerr S. Tradeable carbon permit auctions: How and why to auction not grandfather [J]. Energy policy, 2002, 30(4): 333-345.
- [24] Jaffe A B, Newell R G, Stavins R N. Environmental policy and technological change[J]. Environmental and resource economics, 2002, 22(1-2): 41-70.
- [25] 石敏俊, 周晟吕. 低碳技术发展对中国实现减排目标的作用[J]. 管理评论, 2010, (6): 48-53.
- [26] Shi M J, Li N, Zhou LS. Can China realize the CO<sub>2</sub> emission reduction target for 2020 [J]. Journal of Resources and Ecology, 2010, (2): 145-154.
- [27] Janet P, Timothy J. The coming carbon market and its impact on the American economy[J]. Policy and Society, 2009, 27(4): 305-316.
- [28] Oberndorfer U, Rennings K. Costs and competitiveness effects of the European Union emissions trading scheme[J]. Eur Environ, 2007, 17(1):1 - 17.
- [29] Anger N, Oberndorfer U. Firm performance and employment in the EU emissions trading scheme: An empirical assessment for Germany [J]. Energy Policy, 2008, 36(1): 12-22.
- [30] Convery F, Ellerman D, Perthuis CD. The European carbon market in action: lessons from the first trading period (interim report). Working paper; 2008. [EB/OL] <[http://web.mit.edu/globalchange/www/ECM\\_InterimRpt\\_March08.pdf](http://web.mit.edu/globalchange/www/ECM_InterimRpt_March08.pdf)>.
- [31] Chevallier J, Ielpo F, Mercier L. Risk aversion and institutional information disclosure on the European carbon market: a case-study of the 2006 compliance event[J]. Energy Policy, 2009, 37(1):15 - 28.

- [32] Demailly D, Quirion P. European Emission Trading Scheme and competitiveness: A case study on the iron and steel industry [J]. *Energy Economics*, 2008, 30(4): 2009–2027.
- [33] Klepper G, Peterson S. Emissions Trading, CDM, JI, and More: The Climate Strategy of the EU [J]. *Energy journal*, 2006, 27(2).
- [34] 高鹏飞, 陈文颖. 碳税与碳排放[J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2002, 42(10): 1335–1338.
- [35] 魏涛远. 征收碳税对中国经济与温室气体排放的影响[J]. *世界经济与政治*, 2002, (8): 47–49.
- [36] 朱永彬, 刘晓, 王铮. 碳税政策的减排效果及其对我国经济的影响分析[J]. *中国软科学*, 2010, (4): 1–9.
- [37] Walras L. *Elements of pure economics; or The theory of social wealth* [M]. New York: A. M. Kelley, 1954.
- [38] Lucas Jr R E. On the mechanics of economic development [J]. *Journal of monetary economics*, 1988, 22(1): 3–42.
- [39] Romer P M. Endogenous technological change [R]. 1990.
- [40] Aghion P, Howitt P. A model of growth through creative destruction[R]. National Bureau of Economic Research, 1990.
- [41] Barro R J. Economic growth [R]. 1995.
- [42] Sue Wing I. Representing induced technological change in models for climate policy analysis [J]. *Energy Economics*, 2006, 28(5): 539–562.
- [43] Fisher-Vanden K, Sue Wing I. Accounting for quality: Issues with modeling the impact of R&D on economic growth and carbon emissions in developing economies [J]. *Energy Economics*, 2008, 30(6): 2771–2784.
- [44] Loisel R. Environmental climate instruments in Romania: A comparative approach using dynamic CGE modeling [J]. *Energy Policy*, 2009, 37(6): 2190–2204.
- [45] Bye B, Jacobsen K. Restricted carbon emissions and directed R&D support; an applied general equilibrium analysis[J]. *Energy Economics*, 2011, 33(3): 543–555.
- [46] Popp D. ENTICE: endogenous technological change in the DICE model of global warming [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2004, 48(1): 742–768.
- [47] Goulder L H, Schneider S H. Induced technological change and the attractiveness of CO<sub>2</sub> abatement policies[J]. *Resource and Energy Economics*, 1999, 21(3–4): 211–253.
- [48] Arthur W B. Self-reinforcing Mechanisms in Economics[R]. 1988.