

# 主要排放部门的减排责任分担研究： 基于全局成本有效的分析

姚云飞<sup>1,2</sup> 梁巧梅<sup>2,3</sup> 魏一鸣<sup>2,3</sup>

(1. 中国科学技术大学管理学院; 2. 北京理工大学能源与环境政策研究中心;  
3. 北京理工大学管理与经济学院)

**摘要:** 运用中国能源与环境政策分析模型(CEEPA),从经济全局成本有效的角度,分析了一定减排约束下中国主要排放部门宜分担的减排责任及其减排行为。研究发现,基于排放量进行减排责任部门分担是有助于整体成本的,但对煤炭和运输仓储部门宜做出调整;随着减排目标的增加,应增添运输仓储部门的减排配额比例,减少煤炭部门的减排配额比例;短期内不宜对各部门尤其是煤炭部门设置较高的减排目标。

**关键词:** 减排责任分担; 部门减排行为; 可计算一般均衡

**中图分类号:** C93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-884X(2012)08-1239-05

## Sharing the Burden of Mitigation among Key Emission Sectors in China: A Economy-wide Cost-effective the Perspective

YAO Yunfei<sup>1, 2</sup> LIANG Qiaomei<sup>2</sup> WEI Yiming<sup>2</sup>

(1. University of Science and Technology of China, Hefei, China;  
2. Beijing Institute of Technology, Beijing, China)

**Abstract:** This study applies a CGE model for China's energy and environmental policy analysis (CEEPA) to analyze how the carbon mitigation burdens should be shared among key emission sectors in China, as well as how these sectors would behave to meet their burdens. This study finds that in general, allocating mitigation burdens based on historical emission could realize the national target in a cost-effective way. However, some adjustments should be made to coal and transportation sectors. The higher the national target, the burden shared by transportation sector should increase more while that shared by coal sector should increase less. The mitigation targets for all sectors, especially for coal sector, should not be set too high in the short term.

**Key words:** mitigation burden sharing; sectoral reduction behavior; computable general equilibrium

## 1 研究现状

减排目标的提出通常是在国家或区域层面上的,但这些目标的实现最终将落实在部门层面,由各部门具体完成。这势必带来如何适当地在部门层面进行减排责任分担的问题,例如,在依靠行政管制时,应如何规定各部门的减排指标;在实施能源环境税时,应如何考虑各部门适用的税率;在运用排放权交易时,应如何确定各部门可分配到的排放配额;在决定相关的节能减排技术投资时,应向哪些部门侧重,等等。

对以上这些问题的回答需要得到部门层面一系列行为和特征信息的支持,包括部门的减排潜力、减排成本、技术选择、特定政策的潜在影响等。围绕着这些部门特征信息,目前已有大量研究,其中多数是以单个部门,尤其是电力部门<sup>[1]</sup>、交通运输部门<sup>[2]</sup>、农林业<sup>[3]</sup>、居民<sup>[4]</sup>、建筑<sup>[5]</sup>、钢铁部门<sup>[6]</sup>为对象的从下向上的研究。针对单个部门的研究可以深入部门特征的细节,在对技术选择的探讨上尤显优势,但只强调局部的研究难免会失于片面,单个部门的最佳策略并不一定能保证总体最优。例如,BASSI

等<sup>[7]</sup>关于厄瓜多尔的研究就显示,只针对电力部门的能源效率和可再生技术投资可以降低该部门的温室气体排放,但全国水平减排压力反而会增大。由此,将部门间的相互作用关系考虑进来,从经济全局的角度对部门行为进行考察是非常必要的。

现有关于我国部门层面减排特征的研究主要集中于讨论某个部门的减排成本和减排潜力<sup>[1,6,8]</sup>。另有少数研究比较了主要排放部门的减排潜力和措施选择<sup>[9]</sup>,讨论了工业部门碳排放的演变特征<sup>[10]</sup>。目前尚缺少在经济全局背景下对我国各部门减排行为的系统探讨和分析。本研究基于所构建的中国能源与环境政策分析模型 CEEPA,旨在从经济全局的角度,确定在全国总体减排成本有效的情况下,应该分担主要减排责任的部门有哪些;在不同的全国减排目标下,各主要减排责任分担部门所应分担的减排责任(一定减排约束下部门所分担的减排量占全国总减排量的比例)有什么变化;并对主要排放部门的减排行为进行比较,分析在现有的技术条件下这些部门主要依靠什么效应分担减排责任;随着全国减排目标的变化,部门减排方式的构成又会发生怎样的改变,从而探讨在对我国的减排责任进行部门部署时,在总体成本有效的前提下如何尽可能减少对居民福利的不利影响。

## 2 研究的理论依据

### 2.1 中国能源与环境政策分析模型 CEEPA

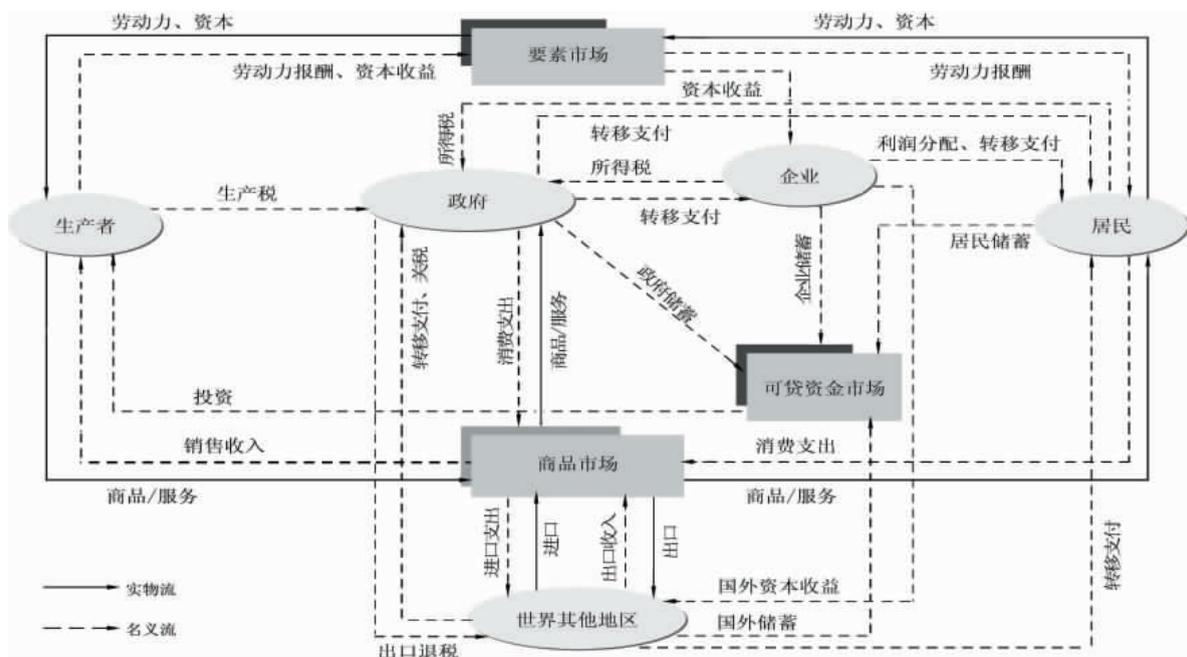


图 1 CEEPA 框架

本研究是基于中国能源与环境政策分析模型(CEEPA)进行的。CEEPA 模型是为了分析中国能源与环境政策而开发的一个多部门可计算一般均衡(CGE)模型<sup>[11]</sup>。CGE 模型能最完整地反映经济层面的交互作用,更加细化对现实经济系统的描述,增加更多的经济主体、约束条件和优化机制,通过大量联立方程,从宏观和微观层面描述经济系统中各行为主体之间复杂的交互关系,在全局成本分析方面具有很强的优势。CEEPA 目前已经被成功运用于评估在中国实施不同的节能或减排措施的影响,如碳税<sup>[12]</sup>、终端能源使用效率的提高<sup>[13]</sup>及可再生发电<sup>[10]</sup>等。

CEEPA 模型考虑了生产者、居民、政府 3 类行为主体,通过构建不同的子模块,运用一系列联立的非线性方程对中国经济系统中这些行为主体的生产、国民收入的初次分配和再分配、进出口贸易、投资分配等活动进行了描述。CEEPA 的基本框架,见图 1。其基本思想为:在生产资源和要素约束下,生产者优化其生产决策,实现利润最大化或成本最小化;消费者则在预算约束下,优化其消费决策,实现效用最大化;在经济系统中,均衡价格能够实现生产者和消费者的最优决策,既能优化资源配置又使消费者效用得到最大满足,实现经济进入均衡而稳定的状态。关于 CEEPA 基本模型的详细描述参见 LIANG 等<sup>[12,13]</sup>的研究。

## 2.2 部门减排行为分解

部门的减排效果实现包含 2 个方面<sup>[14~16]</sup>:

①供给面效应,即能源和技术替代效应,指的是通过采用清洁低碳能源或无碳能源替代诸如煤炭等高碳能源以使得排放减少;②需求面效应,指的是因政策导致市场价格增加从而减少产品的需求所带来的排放减少。本研究对部门减排行为构成的考察是通过分解其供给面效应和需求面效应的贡献实现的。

本研究对替代效应和需求效应的计算基于希克斯替代效应理论,参考了 SHRESTHA 等<sup>[14~16]</sup>的分解方法,结合模型针对本问题做如下调整:

假设第  $i$  部门的初始产出为  $Z_{0,i}$ ,相应的排放量为  $E_i(0, Z_{0,i})$ ;在一定减排水平下均衡状态时的产出为  $Z_{1,i}$ ,相应的碳排放量为  $E_i(P_C, Z_{1,i})$ 。为了衡量不同效应的贡献,假设按照初始的生产结构和技术完成一定减排水平下均衡状态时的产出  $Z_{1,i}$ ,相应的碳排放量为  $E_i(0, Z_{1,i})$ 。

将第  $i$  部门由替代效应实现的减排量记为

$$\Delta E_{SE,i} = E_i(0, Z_{1,i}) - E_i(P_C, Z_{1,i})$$

将第  $i$  部门由需求效应实现的减排量记为

$$\Delta E_{PE,i} = E_i(0, Z_{0,i}) - E_i(0, Z_{1,i})$$

将第  $i$  部门总的减排量记为

$$\Delta E_{Tot,i} = \Delta E_{SE,i} + \Delta E_{PE,i}$$

将第  $i$  部门替代效应和需求效应的贡献分别记为

$$\alpha_i = \frac{\Delta E_{SE,i}}{\Delta E_{Tot,i}}; \quad \beta_i = \frac{\Delta E_{PE,i}}{\Delta E_{Tot,i}}$$

## 3 减排目标、情景分析

考虑到我国未来减排目标的不确定性,本研究针对不同的减排目标情景进行分析。运用 CEEPA 模型,以 2007 年为基年进行静态比较分析,选择全国减排 5% 的情景代表低减排约束,全国减排 50% 的情景代表高减排约束。同时值得注意的是这里的减排目标假设为相对于基年(2007 年)的排放量的下降百分比。

选择排放量占全国总排放量 5% 以上的部门为主要排放部门(见图 2)。2007 年我国主要排放部门为电力、化工、非金属制品、钢铁、运输仓储、炼焦和煤炭 7 个,这些部门的二氧化碳排放量占全国排放量的 75% 以上。其中,电力部门是碳排放大户,仅此一家就超过全国碳排放的 1/4。

### 3.1 全局成本有效政策下的我国主要减排责任分担部门

本研究通过实施全局成本的有效政策来实

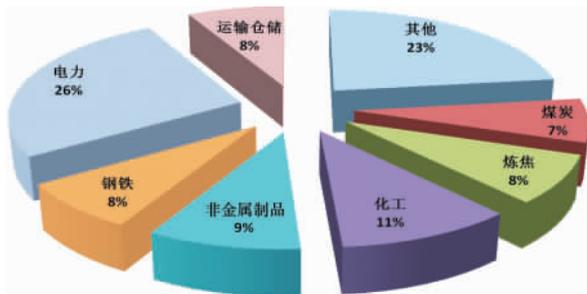


图 2 2007 年我国各部门排放比重

现一定的减排目标,以确定我国主要减排责任分担部门。同样,在选择一定的全国减排政策力度下,部门减排量占全国总减排量 5% 以上的部门为主要减排责任分担部门。从表 1 可见,5% 和 50% 的减排约束下,分担减排责任最大的 7 个部门分别是电力、煤炭、钢铁、非金属制品、化工、炼焦和运输仓储,其中电力、煤炭、钢铁、非金属制品、化工和炼焦为主要减排责任分担部门,6 个部门减排量约占全国总减排量的 75%。鉴于此,从经济全局成本有效考虑,今后制定减排政策时这 6 个部门应成为减排责任的主要承担部门。

表 1 不同减排目标约束下我国主要碳排放部门应分担的减排责任

部门	5%		50%	
	减排量 / 亿吨碳	减排责任分担 / %	减排量 / 亿吨碳	减排责任分担 / %
煤炭	0.14	15.70	1.03	11.44
炼焦	0.06	6.39	0.66	7.36
化工	0.08	9.42	0.85	9.51
非金属制品	0.09	9.75	0.91	10.19
钢铁	0.08	9.08	0.81	9.03
电力	0.24	27.35	2.42	27.02
运输仓储	0.03	3.25	0.43	4.84
其他	0.17	19.06	1.85	20.61

对比主要碳排放部门(图 2)和主要减排责任分担部门(表 1)可见,为了实现经济全局成本有效,钢铁、非金属制品、化工和炼焦部门在总减排量中所应分担的比例与它们在总排放量中的贡献比例基本一致,煤炭和运输仓储部门在总减排量中所应分担的比例却与它们在总排放量中的贡献比例有明显不同:虽然运输仓储部门是主要的碳排放源(排放量占全国总排放量的 8%),各种情景下其所应分担的减排责任却较小(均不到全国总减排量的 5%),而煤炭部门宜分担的减排责任比其排放占全国总排放的比例高出很多。由于各部门的生产行为和要素投入结构的不同使得各部门的边际减排成本有很大差别。在全局成本有效的政策下,各部

门根据各自的减排成本分担相应的减排责任,特别是高排放低减排成本的部门应分担更多的减排责任。这也是导致各部门应分担的责任和其在总排放中的贡献比例会出现差异的主要原因。

从表1可见,减排目标对主要责任分担部门所应分担的减排责任份额大小顺序没有影响,7个主要排放部门中电力部门所应分担的减排责任都是最大的,其次分别是煤炭部门和非金属制品部门,运输仓储部门所应分担的减排责任最小。

随着减排目标的变化,各主要减排责任分担部门宜分担的责任会发生变化:在较大的减排目标下,煤炭宜分担的减排责任会有所下降,相应的会使得主要减排责任分担部门所应分担的责任总和在较大减排约束下有所下降;运输仓储部门宜分担的减排责任虽然在2种减排约束情景下都小于5%,但减排约束的加强却会加大该部门所应分担的减排责任。在较小的目标约束下,钢铁部门宜分担的减排责任略大于化工部门,在较高的减排目标下化工部门宜分担的责任则会略大于钢铁部门。可见,为了尽可能使全局成本有效地实现减排目标,随着减排约束的变化,各部门所承担的减排责任应有所调整。

### 3.2 主要碳排放部门减排的供给-需求效应

碳减排对部分主要部门就业和经济产出的影响较大,这也是减排在国际社会上受到很大阻力的主要原因之一。减排的需求面效应是造成减排对就业和经济产出产生负面影响的主要因素,因此,在进行减排责任部署时应考虑就业和居民福利,需要进一步准确把握部门减排的需求-供给效应。

由图3可见,在5%和50%的全国减排约束条件下,煤炭部门的减排主要依靠产出减少来完成,而其他6个部门的减排主要依靠要素替代。作为含碳量最高的化石能源,煤炭的消

费和生产受减排的影响很大。减排会直接导致煤炭的消耗量和生产量大幅下降。在5%和50%的减排目标下,煤炭部门的减排有60%以上是依靠产出的减少来实现。在其他6个部门中,减排使得这些部门的化石能源使用成本增加,因此这些部门主要通过低碳能源代替高碳能源,资本劳动代替化石能源的方式实现减排,这点在化工部门表现得尤其突出。

从图3还可见,相比5%的减排水平,在50%的减排水平下,各主要排放部门的减排活动中替代效应的贡献减少,需求效应增强:虽然各部门通过增加资本和劳动投入实现减排的效果会随着减排目标的提高而加强,但在现有的技术条件下,替代效应的贡献提高空间毕竟有限,更高的减排目标只有依赖各部门产出的减少来实现。与产出减少相伴的,是就业和居民福利的减少,这无疑与我国现阶段发展经济、消除贫困的目标相违背,在技术没有改变的条件下,不适合设置较高的减排目标。

## 4 管理启示

通过以上的分析与讨论,本研究可得到以下几点关于我国减排政策制定的启示。

(1)调整运输仓储和煤炭部门的减排责任 电力、化工、非金属制品、钢铁、运输仓储、炼焦和煤炭这7个主要排放部门的排放总量占全国总排放量的75%以上。研究结果显示,在各种情景下这些部门所应分担的减排责任也是最大的,且占全国总减排量的比例在80%左右。在所有考察的情景下,电力、钢铁、非金属制品、化工和炼焦部门在总减排量中所应分担的比例与它们在总排放量中的贡献比例基本一致。鉴于此,从经济全局成本有效的角度来看,可以考虑基于排放量对多数主要排放部门进行减排责任分配。

煤炭和运输仓储部门在总减排量中所应分担的比例与其在总排放量中的贡献比例有明显不同。未来在进行减排责任部署时,如果基于排放责任进行,则需要考虑到全局经济效率以及对居民福利和就业的影响,宜减少运输仓储部门的减排责任,增加煤炭部门的减排责任,从而以更小的经济和福利代价实现全国的减排目标。

(2)减排配额比例需要调配 不同的减排目标约束下,部门的减排贡献比例会发生变化,因此在责任分配时应应对配额比例作相应的调整。在经济全局成本有效的前提下,相比较低

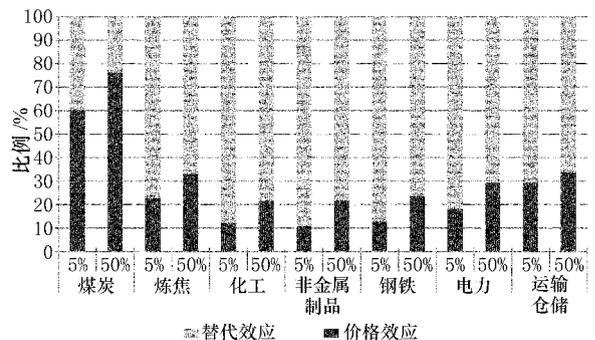


图3 不同减排约束下主要碳排放部门的减排行为

的减排目标(5%)、较大的减排(50%)约束下煤炭所应分担的减排责任会降低4个百分点,运输仓储业宜分担的减排责任会增加1.5个百分点,因此从经济全局成本有效的角度考虑,在实行较高的减排目标时可以考虑相应降低煤炭的减排责任,增加运输仓储业的减排责任,反之亦然。

③短期内不宜设置高减排目标 减排对部门就业的冲击主要来自需求面效应下产出的减少。在全局成本有效的政策下,较高的减排目标使得各主要碳排放部门需求效应对所应分担责任的贡献有不同程度的增加,这一效应在煤炭部门尤为明显。由此,为了避免各部门过度依靠需求效应减少碳排放,在减排中弱化技术替代效应的贡献,对各部门、特别是减排需求效应最为明显的煤炭部门,不适合设置较高的减排目标。

为了促进煤炭部门在未来减排活动中的作用,一方面应积极推进煤炭企业兼并重组,淘汰落后产能,充分利用需求效应对减排的作用;另一方面应同时加大技术的研发与引进、更新设备,提高煤炭生产的技术装备水平,进一步发挥技术替代效应在煤炭生产部门减排中的作用。

#### 参 考 文 献

- [1] CAI W, WANG C, WANG K, et al. Scenario Analysis on CO<sub>2</sub> Emissions Reduction Potential in China's Electricity Sector[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(12): 6 445~6 456.
- [2] LIAQUAT A M, KALAM M A, MASJUKI H H, et al. Potential Emissions Reduction in Road Transport Sector Using Biofuel in Developing Countries[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, 44(32): 3 869~3 877.
- [3] GOLUB A, HERTEL T, LEE H L, et al. The Opportunity Cost of Land Use and the Global Potential for Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture and Forestry[J]. *Resource and Energy Economics*, 2009, 31(4): 299~319.
- [4] SHIMODA Y, YAMAGUCHI Y, OKAMURA T, et al. Prediction of Greenhouse Gas Reduction Potential in Japanese Residential Sector by Residential Energy End-use Model[J]. *Applied Energy*, 2010, 87(6): 1 944~1 952.
- [5] LI J. Towards a Low-carbon Future in China's Building Sector—A Review of Energy and Climate Models Forecast[J]. *Energy Policy*, 2008, 36(5): 1 736~1 747.
- [6] WANG K, WANG C, LU X, et al. Scenario Analysis on CO<sub>2</sub> Emissions Reduction Potential in China's

- Iron and Steel Industry[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(4): 2 320~2 335.
- [7] BASSI A M, BAER A E. Quantifying Cross-sectoral Impacts of Investments in Climate Change Mitigation in Ecuador[J]. *Energy for Sustainable Development*, 2009, 13(2): 116~123.
- [8] ZHU B, ZHOU W, HU S, et al. CO<sub>2</sub> Emissions and Reduction Potential in China's Chemical Industry[J]. *Energy*, 2010, 35(12): 4 663~4 670.
- [9] CAI W, WANG C, CHEN J, et al. Comparison of CO<sub>2</sub> Emission Scenarios and Mitigation Opportunities in China's Five Sectors in 2020[J]. *Energy Policy*, 2008, 36(3): 1 181~1 194.
- [10] 魏一鸣,刘兰翠,范英. 中国能源报告 2008:碳排放研究[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [11] WEI Y M, LIANG Q M. A New Approach to Energy Modeling: The SE<sup>3</sup>T System and Its Multi-objective Integrated Methodology[J]. *International Journal of Global Energy Issues*, 2009, 31(1): 88~109.
- [12] LIANG Q M, FAN Y, WEI Y M. Carbon Taxation Policy in China: How to Protect Energy and trade-intensive Sectors[J]. *Journal of Policy Modeling*, 2007, 29(2): 311~333.
- [13] LIANG Q M, FAN Y, WEI Y M. The Effect of Energy End-use Efficiency Improvement on China's Energy Use and CO<sub>2</sub> Emissions: A CGE Model-based Analysis[J]. *Energy Efficiency*, 2009, 2(3): 243~262.
- [14] SHRESTHA R M, MARPAUNG C O P. Supply- and Demand-side Effects of Carbon Tax in the Indonesian Power Sector: An Integrated Resource Planning Analysis[J]. *Energy Policy*, 1999, 27(4): 185~194.
- [15] SHRESTHA R M, MARPAUNG C O P. Supply- and Demand-side Effects of Power Sector Planning with CO<sub>2</sub> Mitigation Constraints in a Developing Country[J]. *Energy*, 2002, 27(3): 271~286.
- [16] SHRESTHA R M, MARPAUNG C O P. Supply- and Demand-side Effects of Power Sector Planning with Demand-side Management Options and SO<sub>2</sub> Emission Constraints[J]. *Energy Policy*, 2005, 33(6): 815~825.

(编辑 丘斯迈)

通讯作者:魏一鸣(1968~),男,江西安远人。北京理工大学(北京市 100081)管理与经济学院院长、能源与环境政策研究中心主任,教育部“长江学者奖励计划”特聘教授。研究方向为能源经济复杂系统建模、能源与气候政策及资源与环境管理。E-mail:wei@bit.edu.cn