

能源、经济与环境协调发展的最优政策设计

——基于 CGE 模型的实证研究

邱立新,徐海涛

(青岛科技大学 经济与管理学院,山东 青岛 266061)

摘要: 针对我国现阶段能源环境与经济发展的突出矛盾,构建基于 KAYA 等式和 CGE 模型的中国能源-经济-环境混合模型,模拟研究不同政策变量调整对能源经济结构变化的敏感程度及各变量对二氧化碳减排成本的有效性。结果表明,第二产业总额占 GDP 比重的调整对能源及环境的影响较为显著,且变量呈现高敏感度,边际减排成本呈递增趋势;出口贸易总额占 GDP 比重的下调对经济的负面影响较大,且由于对能源及环境数据的低敏感性,其边际减排成本呈递减趋势;能源效率的提高对能源及环境改善最为显著,且不同能源技术对同一政策变量的敏感程度不同。在模拟分析的基础上给出多种优化组合策略,并据此提出如下政策建议:一是制定能源环境政策时应统筹兼顾,以经济政策为主、技术政策为辅,实现经济与环境的协调发展;二是政策实施需要循序渐进,避免减排成本过度波动、增加减排成本及难度;三是政策制定应因地制宜,经济发达地区应承担更多的减排义务,经济欠发达地区在环境承载能力范围内优先发展经济。

关键词: 可计算的一般均衡模型;政策模拟;卡雅恒等式;能源经济环境

中图分类号: F206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-6049(2018)05-0078-12

一、引言

近年来,随着中国城市化进程的快速推进及人口规模的不断扩大,能源环境与经济发展之间的矛盾日渐凸显。据国际气候环境研究中心最新数据显示,中国碳排放总量已占全球排放量的 29%,正在超越欧美排放总和。能源约束趋紧、生态环境恶化已逐渐成为制约我国经济高速增长的刚性约束,如何在经济、能源、环境三者之间寻求最佳平衡点,是中国现阶段经济结构全面转型必然面临的问题。

对于发达国家而言,由于工业化起步早,能源经济与环境发展的矛盾在工业革命时期已经显现,这就促使发达国家在污染治理的政策制定方面做出明显改善。在一系列不同政策的干预下,发达国家在 20 世纪末已基本完成了对环境改善及经济发展道路的探索,经济水平已发展到一定高度,这就为其在新时期下对能源环境问题的改善及减排政策福利效应的全面评估提供了充足机会。相较于发达国家,由于经济发展的滞后性和不稳定性,大部分发展中国家工业化进程缓慢,这使他们不得不“瞻前顾后”。一方面要考虑经济发展的持续性;另一方面不得不考虑工业化进程带来的能源环境问题。中国作为发展中国家,同样面临着经济发展与能源环境改善的双重矛盾。

要正确处理好能源经济环境问题,就要深入了解三者之间的矛盾关系及变化规律。从理论上讲,

收稿日期:2018-07-23;修回日期:2018-09-30

基金项目:国家社会科学基金一般项目(14BJY018)

作者简介:邱立新(1967—),女,山东济宁人,青岛科技大学经济与管理学院教授,研究方向为能源技术经济与管理、低碳经济;徐海涛(1992—),男,江苏宿迁人,青岛科技大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向为能源经济环境影响评价。

能源既是社会生产发展的主要动力来源,也是人类赖以生存和发展的物质基础;经济是人类依靠能源及环境资源进行生产流通环节的投入产出总和;环境是人类进行能源经济活动的载体,三者相互依存、相互影响。一般说来,三者的主要矛盾关系表现为经济生产规模扩大,能源资源消耗愈多,环境污染也就越严重。当然,三者之间的矛盾也并不是一成不变的,其主要受到经济规律及自然规律的制约。受经济规律的制约主要体现在生产活动中对客观经济规律的遵守。在生产布局上,如果只顾经济效应,侧重于社会整体的生产过程而不关注能源及环境的关系,就会产生大量能源资源的浪费,带来严重的环境负担,反之,如果在生产过程中坚持经济发展与资源节约、环境保护协同规划,则会在保证能源及环境效益的前提下获取经济利益。受自然规律的影响主要体现于经济的再生产,社会经济规模的扩大,需要从环境中获取能源资源,经济发展的高低与否,一定程度上取决于当下环境的能源资源存量。社会的生产过程在转化为经济效益的同时需要产生一定的废弃物排放,这就使得环境承载力成为经济发展的又一制约性因素。遵循客观的自然规律,掌握自然资源的再生机制及生态平衡规律,避免盲目开采及过度排放,就会促使能源、经济、环境三者之间产生良性循环,实现经济再生产及资源再生产的统一。因此,要正确处理好能源经济环境的矛盾问题,化感性认识为理性思考,就不得不兼顾三者利益及其矛盾的各种对立面,这就为不同政策的联合实施提供了理论依据。党的十九大报告提出,“既要金山银山,也要绿水青山,绿水青山就是金山银山”,阐释了经济发展与环境保护的辩证关系,科学破解了经济发展和环境保护的“两难”悖论,为能源、经济、环境协调发展提供了强大的理论指引和思想武器。

中国地域辽阔,不同地区发展程度迥异,加之新时期我国社会主要矛盾关系的转变,不同政策的协同制定及差异化实施应成为社会主义新时期下中国面对能源经济环境问题的重要政策选择。所谓政策的联合实施包含两个方面,一是不同政策的协同化制定,如制定节能减排政策要以保证经济及其他各方面稳定发展为前提,实现减排效益最大化;二是不同地区政策的差异化实施,即针对不同地区的发展现状,制定不同的能源经济环境联合实施方案。本文研究将从这两个方面入手,通过 KAYA 等式与传统 CGE 模型相结合,构建出我国能源经济环境模型,以产业结构、外贸程度、能源强度为模拟变量,分析我国国民生产总值、社会总资本存量、劳动投入量、能源消耗量和二氧化碳排放量等参数的敏感程度,以及不同模拟方案的成本有效性,在此基础上提出多种优化组合方案,探讨各种组合策略在能源环境改善及经济发展中具有的现实意义。

二、文献综述

20 世纪 20 年代,苏联首先展开对能源与经济的综合研究,这在当时被称为能源经济学。1973 年,世界能源危机爆发,发达国家经济发展受到严重影响,西方学者开始注重能源经济学的研究。Kraft and Kraft^[1]实证分析了美国 20 世纪 40 年代到 70 年代的能源消费和经济增长的关系,Solow^[2]、Stiglitz^[3]、Heal^[4]等均利用经济增长模型完成了对能源资源开采及利用的最优路径的探索。在能源经济学的两元研究中,能源消费和经济增长的双向因果关系被认为是切实存在的^[5-6]。

随着工业化进程的加快,化石能源的大量开发利用导致了生态环境的恶化,人们开始逐渐从经济学视角探究环境问题,环境经济两元研究体系逐渐形成。Nordhaus *et al.*^[7-8]对环境约束与经济增长之间关系的研究被认为是环境经济两元研究的先河。20 世纪 90 年代,Grossman and Krueger^[9]对 66 个国家的不同地区的 14 种污染物质在 12 年间的变动趋势进行了深入的研究,结果显示环境污染程度与人均收入的变动情况呈现倒 U 型关系,这就是著名的环境库兹涅茨曲线假说。在随后的十几年时间里,国内外不少学者均对该假说做了充分的论证,包括 Stockey^[10]利用 AK 模型对收入及环境质量关系的研究以及刘荣茂^[11]、王敏^[12]等对中国环境污染与经济增长之间倒 U 型关系的验证。

进入 90 年代后,在相关领域研究的不断深入下,国际上许多能源研究机构和环保机构开始加紧合作,构建出能源、经济、环境三元研究体系(3E 系统分析)。Nick *et al.*^[13]认为,政府如果单方面注重能源在经济方面的作用,盲目地促进生产和消费的增加,其结果只会造成更多的环境污染。因此,综合考虑能源、经济、环境三个方面,才能真正意义上解决社会发展过程中面临的经济增长与环境污染

染的矛盾问题。Ivan and Lucille^[14]在可持续发展战略的能源指标体系研究中曾指出,应该从经济增长、社会发展及环境保护三个方面评价国家的可持续发展战略。3E的多元分析方法为中国应对气候变化和新时期下经济的可持续发展问题打开了崭新的大门。胡绍雨^[15]通过对中国能源、经济与环境三个系统协调发展系数的测算,指出在当下中国社会环境中,产业结构的失衡、地方政策实施力度的趋缓必将产生局部地区环境与经济发展的不协调。赵芳^[16]指出,环境、资源的公共性与不明晰的产权安排,使得环境资源利用存在着广泛的不经济性,这种不经济性同样体现在不完善的市场与价格机制上,这就直接导致了中国3E系统非协调发展现象的产生。中国地域面积较大,地区差异化显著,苏静等^[17]对中国30个省域3E系统协调度的测算分析下,发现有26个省域3E系统协调水平处于不同程度的失调状态,并且协调水平存在很大的空间依赖性。逯进等^[18]通过3E系统耦合机制分析得出了耦合度由东到西的递减态势,这在一定程度上说明了空间视角对中国3E分析的必要性。

综观上述文献,不难发现,无论是能源—经济和环境—经济的二元系统分析,或是能源—经济—环境的三元系统分析,关于如何实现经济的可持续发展仍是一个高度关注、有待探讨的问题。现有研究成果虽已证实了3E之间的各种协同关系,但从微观层面具体分析3E影响因素进而给出最优化的政策组合建议的研究成果较少;从研究方法看,多数研究成果在研究方法的选择上多集中于CGE模型、因素分解模型等单一模型,单一的研究方法在解决多重问题时难免会不够全面。基于此,本文基于中国135个行业部门投入产出数据,构建CGE模型扩展模型,以产业结构、外贸程度、能源效率、劳动投入量、能源使用量、二氧化碳排放量等具体参数指标,对中国3E系统的相互作用进行实证分析,设计最优组合方案,满足不同发展程度地区的差异化需求。

三、研究方法与数据来源

可计算的一般均衡模型(CG E模型)是进行经济系统分析的有力工具,它通过一组方程来描述经济市场中供给与需求的关系,并在各优化条件下,得出在各个方面都达到均衡的一组数量和价格^[19]。本文通过将CGE模型与KAYA等式相结合,构建中国四部门能源经济的混合模型。以2012年投入产出数据为依据(目前能获得的最新的投入产出数据为2012年),运用GAMS程序,对模型变量进行求解,并对相关数据进行模拟分析。

(一) 模型框架设计

图1是本文构建的四部门经济结构的基础框架图。图中,企业、政府、居民及国外(进出口)为经济部门主体,国民收入主要取决于国内消费、投资、政府支出以及净出口,国外经济活动通过进出口方式进行。中间投入、能源、资本以及劳动共同构成了要素市场,

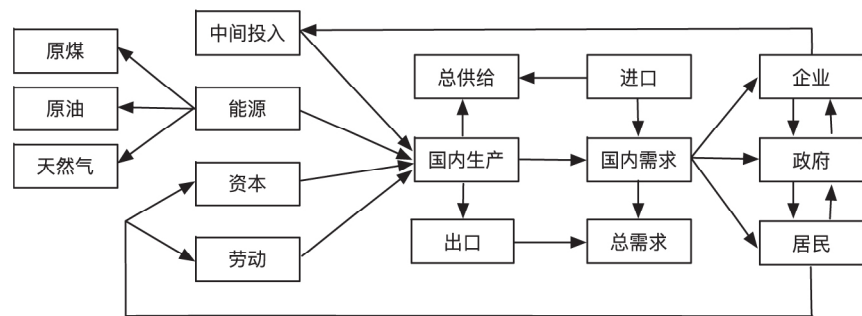


图1 中国宏观经济结构的基本框架

通过国内生产及外贸进口,满足企业、政府、居民及出口需求。资金的循环流动通过要素市场将四个经济部门联系在一起:资金以劳务的形式通过要素市场由企业流向居民,向政府支出税收后,居民将剩余收入用于个人消费及储蓄;企业通过要素市场购买劳务及生产要素,用于转增资本及再生产,通过产品和劳务的购买,资金由政府和居民流向企业;政府以各项税收为主要资金流入,对企业及居民的转移支付为主要的资金流出;最后,对国外的出口会产生资金流入;相反,进口会产生资金流出。

(二) KAYA等式变量分解

本文借鉴日本学者Yoichi Kaya提出的用以表达碳排放量与相关变量关系的KAYA恒等式进行变量分解后,与CGE模型相结合,构建中国能源经济环境模型。KAYA等式表示为:

$$CO_2 \text{ 排放量} = P \times \frac{GDP}{P} \times \frac{E}{GDP} \times \frac{CO_2}{E} \tag{1}$$

该等式中二氧化碳排放量被分解为与人类生产活动相关的四个要素,其中 P 表示人口总数,反映了碳排放在社会环境中的规模效应; $\frac{GDP}{P}$ 为人均 GDP,是分析一个国家宏观经济环境的重要指标; $\frac{E}{GDP}$ 表示能源消费强度,指一定时期内单位 GDP 的能源消费量,它反映了经济增长对能源消费的依赖程度,是衡量一个国家能源利用效率的重要指标,与经济增长方式、能源消费构成及能源技术水平等密切相关^[20]; $\frac{CO_2}{E}$ 表示单位能源消费量的碳排放强度,每种能源的碳排放系数是一定的,能源种类不同,碳排放量会有差异,它反映了能源结构与碳排放量之间的关系。综上可见,KAYA 等式将碳排放影响因素概括为人口、经济、能源和技术 4 个方面。本文选取产业结构、能源强度及外贸程度为自变量,地区生产总值、劳动人口投入量、能源消费总量及二氧化碳排放量为因变量,模拟不同政策变量调整下,能源经济环境的变动情况。

(三) 核心函数构建

本文以一般均衡理论为主要依据,在传统的 CGE 模型基础上引入带有技术累积机制的能源模块,模型中包含生产模块、外贸模块、价格模块、消费行为模块及能源模块 5 大部分,主要模块函数设计如下:

1. 生产模块

生产模块函数设定采用恒替代弹性生产函数,即 CES 生产函数,是 CGE 模型中使用最频繁的非线性函数。其标准格式如下:

$$q = f(x_1, x_2) = A(\delta_1 x_1^\rho + \delta_2 x_2^\rho)^{\frac{1}{\rho}} \tag{2}$$

式中 q 代表总产出; x_1 和 x_2 为相应的两个要素投入;参数 A 为生产效率或者规模因素,即经济学上的全要素生产率;参数 ρ 与替代弹性相关,也可理解为两个要素之间的替代弹性参数; δ_1 、 δ_2 分别为两个投入要素的份额参数,他们与总产出中两个要素各自投入量的贡献度有关。一般而言,总产出等于各要素投入总量之和,即所有要素贡献份额相加等于 1,因而有 $\delta_1 + \delta_2 = 1$ 。

本文中,生产模块投入产出要素被简化为劳动、资本、能源以及中间投入四部分,由于 CGE 模型中 CES 生产函数通常只包含两个投入,过多的投入要素会导致各要素投入之间的替代弹性一致,因此,本文采取 CES 五层嵌套构建生产模块函数。CES 嵌套示意图见图 2。

2. 外贸模块

本文 CGE 模型基于四部门经济体构建,国内生产活动需要的中间投入商品不仅来自于国内的产出,也有一部分来自于国外进口。同样,国内产出不仅满足于国内需求,同时也用于出口创汇。针对开放经济结构,在 CGE 模型中通常将生产活动与商品区分开来,其中商品被分为国内生产用于出口部分 QE ,国内生产用于国内销售部分 QD 以及市场上销售的进口商品 QM (分配结构见图 3)。国内总产出 Q 如何在出口及国内供给之间分配,取决于国际价格以及国内价格的相对水平,即受汇率的影响。本文采用 CET(Constant Elasticity of Transformation) 函数对国内产出商品的分配情况予以描述。

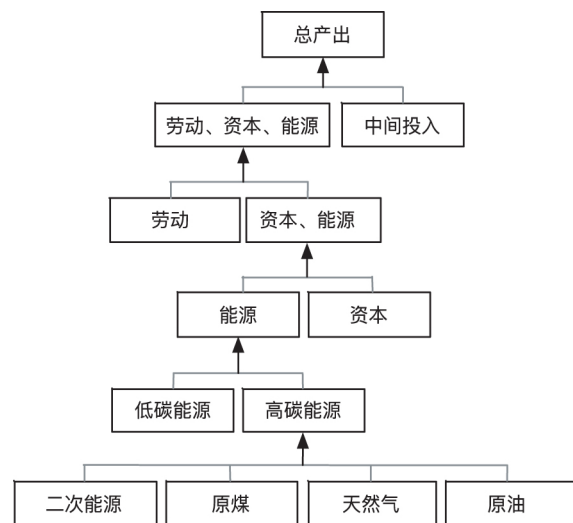


图 2 生产模块结构

3. 收入模块与支出模块

由于相关参数获取难度较大,现有文献中可借鉴成果较少,因此,本文对收入和支出两部分建模采用一般线性函数。

收入模块由居民收入、企业收入和政府收入三部分组成,其中居民收入包括居民劳动收入、居民资本收入以及政府和企业对居民的转移支付;企业收入包括企业当季各部门总的资本收入以及企业的国外投资收益;政府收入包括商品间接税收入、商品关税收入、居民所得税、企业所得税以及国外收益。

支出模块与收入模块相对应,同样由居民、企业及政府支出三部分组成。居民支出包含居民储蓄及产品消费;企业支出包含对居民的转移支付、企业储蓄、资本投入及国外投入;政府支出主要包含对居民和企业的转移支付、政府储蓄、产品消费及国外投入。

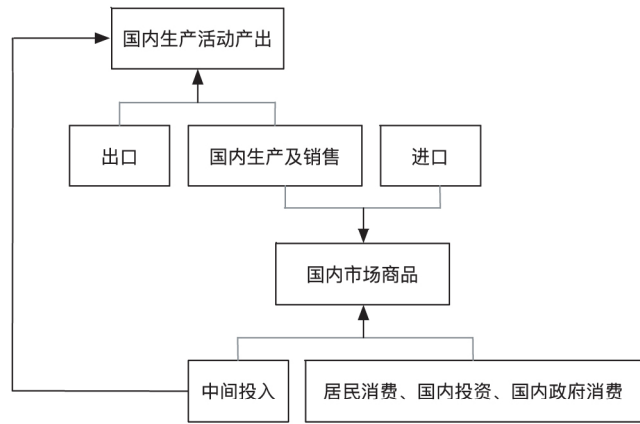


图3 外贸模块结构

4. 能源模块

能源模块以 KAYA 恒等式为依据,将 KAYA 公式分解后的细分变量进行函数表达,并与 CGE 模型相结合,构成混合模型的能源模块。该模块主要包括碳排放量的核算,产业结构、外贸程度及能源强度的函数表达等。在碳排放量计算中,考虑到数据获取的难易程度以及计算结果的准确性,本文选取煤炭、石油、天然气三种主要化石能源的一次消费量,采用排放系数法核算碳排放总量,函数表达如下:

$$CO_{2i} = \sum_j E_{i,j} \times \theta_j \quad (j = coal, oil, gas) \quad (3)$$

式3表示碳排放总量 CO_{2i} 等于部门 i 各能源(煤炭、石油、天然气)消费量 $E_{i,j}$ 与相应能源碳排放系数 θ_j 乘积的总和。

5. 均衡模块

(1) 国际收支平衡。本文选择国外储蓄为外生变量,汇率为内生变量的闭合原则,这意味着进出口可以通过汇率的改变来影响整个经济,其国际总支出等于进口商品、企业国外投入以及政府国外投入三者总值之和;国际总收入等于商品出口、企业国外收入、政府国外收入三者总值之和加上国外储蓄。

(2) 储蓄投资平衡。本文储蓄投资闭合规则采用新古典主意闭合原则,既储蓄由投资决定,经济中所有储蓄都将转化为投资。

(3) 产品市场均衡。产品市场均衡满足总需求等于总供给。

(4) 劳动力市场均衡。假设工资为内生变量,受到经济政策影响后,经过工资的充分调整,可以实现劳动力市场的出清。

(5) 资本市场均衡。假设资本价格为内生变量,受到经济政策影响后,由于资本价格的变化,企业可以调整资本存量,资本实现自由流动,最终实现资本的充分利用。

(四) 数据来源及 SAM 表构建

1. 基础数据及 SAM 表编制

本文旨在对中国能源经济环境状况进行实证研究,相关能源经济数据主要来自于《中国统计年鉴》及《中国能源统计年鉴》,少部分数据来自于《中国劳动统计年鉴》及《中国经济年鉴》等。为增加数据可比性及有效性,CGE 模型中涉及价格指数的数据指标均为以 2001 年为基期的不变价格。

社会经济核算矩阵(Social Accounting Matrix, SAM)是 CGE 模型的数据基础,本文 SAM 表数据以

2012年135部门投入产出表为依据(截至2017年底,能获得的最新投入产出数据为2012年),为了便于研究计算,以及考虑到模型构建的可行性,本文将135产业部门整合为农业、重工业、轻工业、建筑业、交通运输及仓储业、第三产业、煤炭、石油、天然气、二次能源、其他能源11个大类部门,要素账户包括劳动力及资本,机构账户包括居民、企业及政府。本文所构建社会核算矩阵中的数据大部分均来自中国2012年投入产出表,其余少部分数据来自于《中国财政统计年鉴》以及《中国统计年鉴》。由于数据来源差异及相应的统计误差,初始SAM表为非平衡状态,本文采取直接交叉熵法进行调平。

2. 份额参数及弹性参数确定

本文份额参数估计包括投入产出系数、收入及消费的份额参数以及税率等,均采用校准的方法,使参数数值可以计算得出基期数据,即能够作为基期数据的一组均衡解。本文依据所编制的平衡后的基期SAM表计算得到相应参数,这组参数能够使本文编制的SAM表成为CGE模型的一组均衡解。

考虑到计算的复杂性,对于生产要素的替代弹性、阿明顿参数及CET参数等弹性系数,本文主要参考借鉴已有研究成果,并根据本文CGE模型中所涉及部门进行相应调整。参考研究成果主要有贺菊煌^[21]、赵永^[22]等。

四、实证分析

根据本文所构建的中国能源经济环境模型,分别模拟第二产业比重(第二产业产出总额与GDP总量之比)下调1%、3%、5%,第三产业比重(第三产业产出总额与GDP总量之比)上调0.5%、1%、2%及外贸程度(出口贸易总额与GDP总量之比)下调1%、3%、5%时,我国经济环境及能源环境的变化趋势。

(一) 能源—经济—环境分析

1. 产业结构对能源经济环境的影响分析

如表1所示,第二产业占比下调会显著影响二氧化碳减排量,当比重分别下调1%、3%、5%时,二氧化碳排放量将分别减少0.79%、

1.98%、3.86%,降幅显著。实际上,我国目前产业结构依旧存在第二产业占比过高,第三产业占比较低的情况,大量的高耗能产业是碳排放的主要来源,如何限制高耗能产业继续扩张,促进新型工业发展,是近年来国家主要关注的问题。适当调整产业结构,引导高耗能产业转型升级,将对温室气体排放带来极大改善。换个角度分析,产业结构

升级,可以减少社会整体对化石能源的依赖,第二产业占比下调1%时,能源消费量就会减少0.75%,并且随着第二产业占比的继续下调,能源消费量将呈现持续下降的趋势。能耗减少会从根本上带动工业由能源密集型向资源节约型方向转变。其他变量中,GDP、社会总资本存量、劳动投入量与第二产业占比存在明显的正向非线性关系。第二产业占比下调会对社会经济产生比较明显的负面影响,GDP及社会总资本存量减少,社会劳动投入量也会相应下滑。从宏观视角来看,单纯的去工业化发展所带来的减排收益难以平衡由此所带来的经济损失,社会经济体的非帕累托最优状态明显,效率降低及过度的工业产业链缩减是经济效用流失的重要原因;微观方面看,第二产业占比下调造成经济社会全要素生产率下降,生产要素的不均衡分配使得大量投资流向非产出性部门,社会总资本存量降低,企业较低的资本存量造成对廉价劳动力的过度依赖,扭曲了社会劳动资源的分配,过于廉价的劳动报酬带来劳动人口失业,社会总劳动投入量减少,总体消费能力下降。

第三产业方面,产业结构的服务型转变对推进经济社会发展具有显著的积极作用。当第三产

表1 产业结构模拟结果

	二产占比调整			三产占比调整		
	-1	-3	-5	0.50	1	2
国民生产总值 GDP	-0.56	-1.72	-3.64	1.21	2.34	4.56
社会总资本存量 CS	-0.23	-1.09	-2.98	0.46	0.87	1.76
劳动投入量 LS	-0.33	-1.13	-3.01	0.57	1.02	2.13
能源消费量 E	-0.75	-2.01	-4.03	-0.61	-1.36	-2.12
二氧化碳排放量 SCO	-0.79	-1.98	-3.86	-0.34	-0.71	-1.18
碳排放强度 TCOEI	-0.12	-0.51	-0.81	-0.74	-1.47	-2.81

注:数字前负号表示下降,否则为上升。

业占比上调 0.5% 时,国内生产总值相应提高 1.21%,社会总资本存量提高 0.46%,劳动投入量增加 0.57%。第三产业的发展将提高社会整体资源配置效率,大部分“资本红利”流向以服务业为主的高经济产出集群,经济增长动力由工业产出为主向全要素生产率提升转换,高 GDP 回报率是此时产业结构“正向”转变的主要体现。此外,高新技术产业集群的聚集,会吸引大量投资涌入,尤其对于大中型城市而言,第三产业占比上升将带来大量国内资本及外来资本的投入,实现了生产要素的良性配置,促使经济空间集聚效应形成,社会总资本存量提升明显。于此同时,新兴产业的萌发以及外来企业的驻进,扩大了原有的市场范围,加速了技术及知识溢出,为人力资本带来充分的交流实习机会,经济“集聚效应”带来的企业规模报酬递增使高劳动报酬供给成为可能,这就为劳动投入量的增加提供了充分解释。从能源环境方面看,第三产业占比的提升限制了传统高耗能产业的发展空间,产业的结构性转变撬动了企业的绿色化发展,摆脱了对能源的过度依赖,能源消费量持续走低。新兴工业及新型能源企业的加入,弱化了经济社会以环境换增长的路径依赖,碳排放量及碳排放强度都明显好转。

从敏感度分析,能源总消费量及二氧化碳排放量对工业调整最为敏感,当第二产业占比分别下调 1%、3%、5% 时,能源消费总量降幅可以达到 0.75%、2.01%、4.02%,二氧化碳排放量降幅将达到 0.79%、1.98%、3.96%;工业排放是社会碳排放总量的主要组成部分,能源是工业尤其是高耗能产业投入产出的主要消耗品,当第二产业占比缩减时,带来了高密度能源聚集的“稀释效应”,能源消费弹性大幅缩紧,因此,碳排放量的高敏感度是第二产业减少的必然反映。反观第三产业,GDP、社会总资本存量等经济变量对第三产业结构的调整更为敏感,当第三产业占比上升 0.5%、1%、2% 时,GDP 总量涨幅均超过 1%,达到了 1.21%、2.34%、4.56%,能源强度降幅也达到了 0.74%、1.47%、2.81%。第三产业的发展,促进了资本聚集效应的形成,高经济产出集群的加入,为社会总产出带来巨大贡献。“结构红利”及“人口红利”的双向影响,催生了社会经济的高弹性倾向,为 GDP 等的高敏感度提供了依据。我国目前正处于城市化快速推进期,加快经济体制改革、促进产业结构优化升级是社会主义现代化建设的首要任务,扩展第三产业发展空间的同时,适当淘汰高耗能产业,降低传统重工业的发展空间,可以促使能源经济环境的协调发展。若盲目下调工业结构比例或单纯发展第三产业,将会使能源环境与经济矛盾愈加凸显。

2. 外贸程度对能源经济环境的影响分析

如表 2 所示,外贸程度的下降与各变量均呈现正相关关系。从经济水平看,降低外贸占比会拉低社会的经济发展水平,GDP 及社会总资本存量都有明显程度下降,劳动投入量减少,人口失业率增加。降低出口贸易比,将造成现有要素分配机制的失衡,资本产生净向流出,外资经济逐渐解体。受政策限制干预,地区将产生外资的“排他效应”,这种外贸经济的“边缘化发展”,直接导致地区经济结构的异质性转变。对本地区经济技术的过度依赖,使得经济创新活力丧失,企业开始走向“老龄化”发展。资本撤出带来的全要素生产率降低致使社会总产出下降,资本存量降低,企业及外来资本的流出,带走大量高端人才及劳动力,社会整体劳动投入量呈递减趋势。再看能源环境方面,外贸程度下降将带来二氧化碳排放量及能源消费量的减少,能源环境呈现绿色发展趋势。中国是加工贸易大国。2015 年,我国加工贸易出口已占出口总额的 35.1%,外贸程度的下降,一定程度上缓解了粗放式加工贸易带来的能源浪费,摆脱了以“能源换外资”的路径依赖,为温室气体排放量及能耗的降低提供了可能。

从敏感度分析,虽然外贸程度比重的下调会带来能源及环境的改善,但趋势并不明显,如表 2 所示,在外贸程度下降 1% 时,带来的二氧化碳排放量及能源强度降幅仅有 0.12% 及 0.04%,敏感度不

表 2 外贸程度模拟结果 %

	外贸程度调整		
	-1	-3	-5
国民生产总值 GDP	-0.76	-1.82	-3.97
社会总资本存量 CS	-0.35	-1.23	-3.02
劳动投入量 LS	-0.45	-1.26	-3.13
能源消费量 E	-0.07	-0.14	-0.37
二氧化碳排放量 SCO	-0.12	-0.45	-1.32
碳排放强度 TCOEI	-0.04	-0.23	-0.45

注:数字前负号表示下降,否则为上升。

高。但是相较于能源环境变量而言,GDP及劳动投入量等经济指标更为敏感,在外贸程度下降1%时,GDP降幅就已经达到了0.76%,劳动投入量也下降了0.45%,这意味着过度下调外贸结构是在以“环境换发展”。在我国碳排放构成中,工业排放占据首要位置,占比约为68%,其次为交通及生活能耗,约占24%,而外贸带来的碳排放占比则相对较小。我国是进出口大国,截至2015年,我国外贸占GDP比重已超60%,占国际市场份额的13.4%左右,对外贸易收紧带来的国际收支失衡,致使资本流出大于收益流入,对经济结构的影响将异常明显。

3. 能源效率对能源经济环境的影响分析

据表3结果显示,三种不同化石燃料能源效率的提高,均会推动社会经济的绿色发展。能源效率在一定程度上反映了社会整体的能源技术水平,能源技术进步将带动能源企业及传统高能耗工业的内部升级,效率大幅提升,高产出回报为企业技术的持续进步及经济的规模化发展提供了有力保障。由于能源效率的改善,企业将减少在能耗品上的成本,有利于扩大企业资金流动空间,这意味着将有更多的资金剩余转向劳动者报酬,带来社会整体劳动力的增加。另一方面,能效提高缓解了对能源消费品的过度依赖,传统粗放式经济增长向集约型经济增长方式转变,二氧化碳排放量显著降低,环境与发展之间的矛盾趋于平缓。

从敏感度分析来看,三种能源中,煤炭效率的提高,对二氧化碳排放的改善最为明显,达到了2.45%。长久以来,煤炭占据着中国能源消费结构的首要位置,电力热力等行业一直是煤炭消费大户,对二氧化碳排放的贡献极大。马丽梅和张晓^[23]曾在研究中指出,国内电力行业大量引进价格低廉的低卡进口煤与优质煤掺杂使用进行供电以降低成本,而这些进口煤尤其是褐煤对空气污染极为严重,褐煤进口量的增加变向提高了能源消耗结构中煤炭占据的比例。煤炭效率的改善,将有效缓解电力行业在控制成本上的“投机取巧”,大幅降低由混合煤带来的空气污染问题;而对于石油而言,其对经济的增长贡献更大,其中GDP增幅达到了1.42%。由于开采技术的进步及运输效率的提升,石油已逐渐代替煤炭成为主要的能源消耗品,比煤炭更高的发热量,有效提升了企业的生产效率,从长期来看,将为社会发展带来巨大的经济贡献。天然气对各变量指标敏感程度较为均衡,均在1%~2%之间,主要原因在于,中国目前的天然气使用量相对偏低,能源消耗品依旧以煤炭和石油为主,天然气在经济及能源环境方面的优势还没有完全凸显,随着天然气使用的不断推广,其对经济及环境的贡献将会进一步提升。

(二) 成本有效性分析

由于下调第二产业占比及外贸程度等带来的能源环境改善会在一定程度上使整体经济呈现下滑趋势,因此,本文以各经济变量的变化率与二氧化碳排放量的下降幅度之比作为各经济变量的边际减排损失,衡量政策变量调整的成本有效性,计算结果如表4、表5所示。

1. 第二产业调整下的边际减排损失分析

表4显示,随着第二产业占比的不断下调,各经济变量的边际减排损失呈上升趋势,以GDP为例,当第二产业占比下调1%时,二氧化碳边际减排损失为0.71;下调3%时,边际减排损失为0.87;下调5%时,边际减排损失为0.94。第二产业下调初期,较小的降幅并未瓦解工业化带来的经济优势,要素分配依然趋向于工业产出为主,此时并未对经

表3 能源效率模拟结果 %

	能源效率提高		
	coal 2	petr 2	gas 2
国民生产总值 GDP	0.03	1.42	1.06
社会总资本存量 CS	0.05	1.21	1.19
劳动投入量 LS	0.07	1.32	1.08
二氧化碳排放量 SCO	-2.45	-2.01	-1.89

注:数字前负号表示下降,否则为上升。

表4 工业结构调整下的二氧化碳边际减排损失 %

	第二产业调整比例		
	-1	-3	-5
国民生产总值 GDP	0.71	0.87	0.94
社会总资本存量 CS	0.29	0.55	0.77
劳动投入量 LS	0.42	0.57	0.78

注:数字前负号表示下降,否则为上升。

济发展带来较大波动,减排损失在可控范围之内。随着第二产业占比不断下调,经济变量敏感性逐渐增加,此时工业化经济逐渐解体,大面积工业聚集区消失,工业企业发展空间被挤压,要素分配开始失衡,社会经济呈现倒退发展趋势。当第二产业占比持续下调,能源环境的改善与经济发展之间逐渐失衡,原本相同的减排量需要更多的“经济牺牲”为代价,这就使得边际减排损失逐渐增大。

2. 外贸程度调整下的边际减排损失分析

表5显示,随着外贸程度的不断下调,边际减排损失呈逐渐下降趋势。以GDP为例,当外贸程度下调1%时,边际减排损失为6.33;下调3%时,边际减排损失为4.04;下调5%时,边际减排损失为3.01。外贸结构调整初期,外贸限制使得资本外流,大量外资撤出造成了社会经济状态的失衡,资本存量降幅明显,由于对温室气体减排量的低贡献程度,此时的减排损失必然过高。随着外贸比例的不断下调,虽然对外资影响依然持续存在,但是外资撤出留下的经济空缺变相的为国内资本投资带来发展空间,内贸比例的提升一定程度上缓解了经济的下降趋势,当碳排放量保持同比例下将时,由于内贸比例的提升带来的经济降幅放缓,反而使得外贸下调的边际减排损失呈现下降趋势。

表5 外贸结构调整下的二氧化碳边际减排成本 %

	外贸程度调整比例		
	-1	-3	-5
国民生产总值 <i>GDP</i>	6.33	4.04	3.01
社会总资本存量 <i>CS</i>	2.92	2.73	2.29
劳动投入量 <i>LS</i>	3.75	2.8	2.37

注:数字前负号表示下降,否则为上升。

(三) 最优组合策略分析

本文在结合上述模拟变量设定的前提下,列出了总计27种不同策略组合,并得出了不同组合方式下各变量的变动情况(见表6)。数据结果显示,大部分组合策略都是在改善碳排放量的同时,使得经济变量呈现下降趋势,这种策略对于工业化发展中的中国不是可取方案。除此之外,仅有4种组合策略是在保证经济增长的前提下实现了碳排放量的减少(脱钩模式),分别为“-1,1,-1”“-1,2,-1”“-1,2,-3”和“-3,2,-1”策略组合(表中斜体下划线表示)。

1. 四种组合策略中,“-1,1,-1”策略成效最不显著,其无论对经济增长或者能源环境的改善都不十分敏感。在这种组合条件下,虽然能保证社会效率为正值,但是依旧存在帕累托改进,没有达到对生产要素的有效利用,没有体现地区发展的异质性问题。这种组合条件下所产生的社会经济状况正是现阶段中国大部分地区所面临的经济增长陷阱,如何摆脱这种困境,必须在制定策略时考虑到地区经济发展的非均衡性。

2. “-1,2,-1”组合策略对经济变量最为敏感,GDP增幅可以达到3.24%,对碳排放的改善也有2.09%的贡献。在这种组合策略下,经济发展被看作是城市化推进的先决条件,大量的生产要素被优先分配于以经济产出为主的企业部门,国民产出是该策略下地区意志的首要体现。能源环境问题作为经济发展的衍生品,必然对城市化发展产生一定影响,但是相较于经济发展的优先级,能源环境在该种组合策略下将给予更少的关注,经济投入量相对较少,但依然能保证能源环境的良性发展。该组合策略更适用于正在尝试城市化发展的经济欠发达地区,经济发展是这些地区的首要任务,在能源环境方面可以允许承担更少的责任。

3. “-1,2,-3”组合策略对各变量敏感程度相对较为均衡,能够在保证GDP增幅为2.18%的前提下,实现碳排放量2.42%的降幅。这种组合策略对生产要素的分配相对均衡,投入产出并没有过分的偏向任何部门,发展环境趋于稳定,其对经济发展的倾向并不强烈,经济呈现出常态化发展趋势。能源环境方面,该组合策略在能源环境方面的重视程度与经济增长相近,没有过分的增加环境投入,碳排放量处于一种稳定下降态势。这种组合策略适用我国大多数追求均衡发展的二线地区,城市化快速推进期已经度过,更加注重新时期下能源环境与经济环境的协调发展。

4. “-3,2,-1”组合策略更加倾向于能源环境的改善,碳排放量数据最为敏感,达到了3.28%的降幅,在四种组合策略中最高,同时GDP也能稳定在2.08%的增幅。该组合策略强调能源环境的改善大于一切,社会大量生产要素向能源方向集中,环境的改善成为其首要解决的问题。在环境改善的

同时,少部分要素流向经济产出,旨在保证经济的平稳发展,避免经济倒退效应的产生。这种组合策略特别适合于城市化进程已经完成、经济发达的一线地区,这些地区更加注重能源环境及生活条件的改善,其对绿色生活环境的向往要大于对经济发展的需求,由于经济的高度发展,其在环境改善方面将承担更大的责任。

五、结论与政策建议

本文将CGE模型与KAYA等式相结合,构建中国能源经济环境CGE模型,并从产业结构、外贸程度、能源效率三个方面模拟碳排放量及社会整体经济的变化情况。整体来看,第二产业占比下调将减少社会整体的能源依赖,带动经济环境向集约型发展,但是单纯的去工业化发展同样会带来严重的经济负增长问题;第三产业占比增加将拉动社会全要素生产率提升,促使经济“聚集效应”产生,经济增长态势显著,与此同时,其对传统工业行业发展空间的挤压,也会对社会能源环境改善带来积极影响;外贸程度下调会减少由于粗放式加工贸易带来的二氧化碳排放量,但是过度的外贸限制将对社会整体资本及投资水平产生负面影响;能源效率的改进体现了能源技术的进步,显著降低了社会总能源消费量,能源环境问题改善明显,技术的进步提高了企业的生产效率,对社会产出值的增加具有一定贡献。

结合本文分析结果,可提出如下政策建议:

第一,统筹兼顾,多管齐下解决能源环境问题。根据研究结果来看,产业结构、外贸程度以及能源效率均在不同程度上对能源经济环境产生影响,这意味着,政府在制定及实施相关政策时,应当多角度、多层次考虑问题。要想保证在经济稳定发展的前提下改善能源经济环境就必须多管齐下,在加快经济结构优化的同时大力发展节能技术,积极开发利用新能源设备,以经济政策为主、技术措施为辅,实现多种政策手段的有效组合。

第二,循序渐进,注意减排成本的可控性。碳减排力度并非越大越好,要根据地区实际情况进行适当的环境改善。相关部门关于减排方案的选择将对减排成本带来直接影响,过度的碳减排要求会

表6 各种组合策略模拟结果

组合策略	国民生产总值 GDP	社会总资产存量 CS	劳动投入量 LS	能源使用量 E	二氧化碳排放量 SCO	碳排放强度 TCOEI
-1 0.5, -1	-0.11	-0.12	-0.21	-1.43	-1.25	-0.9
-1 1, -1	1.02	0.29	0.24	-2.18	-1.62	-1.63
-1 2, -1	3.24	1.18	1.35	-2.94	-2.09	-2.97
-1 0.5, -3	-1.17	-1	-1.02	-1.5	-1.58	-1.09
-1 0.5, -5	-3.32	-2.79	-2.89	-1.73	-2.45	-1.31
-1 1, -3	-0.04	-0.59	-0.57	-2.25	-1.95	-1.82
-1 1, -5	-2.19	-2.38	-2.44	-2.48	-2.82	-2.04
-1 2, -3	2.18	0.3	0.54	-3.01	-2.42	-3.16
-1 2, -5	0.03	-1.49	-1.33	-3.24	-3.29	-3.38
-3 0.5, -1	-1.27	-0.98	-1.01	-2.69	-2.44	-1.29
-3 1, -1	-0.14	-0.57	-0.56	-3.44	-2.81	-2.02
-3 2, -1	2.08	0.32	0.55	-4.2	-3.28	-3.36
-3 0.5, -3	-2.33	-1.86	-1.82	-2.76	-2.77	-1.48
-3 0.5, -5	-4.48	-3.65	-3.69	-2.99	-3.64	-1.7
-3 1, -3	-1.2	-1.45	-1.37	-3.51	-3.14	-2.21
-3 1, -5	-3.35	-3.24	-3.24	-3.74	-4.01	-2.43
-3 2, -3	1.02	-0.56	-0.26	-4.27	-3.61	-3.55
-3 2, -5	-1.13	-2.35	-2.13	-4.5	-4.48	-3.77
-5 0.5, -1	-3.19	-2.87	-2.89	-4.71	-4.32	-1.59
-5 1, -1	-2.06	-2.46	-2.44	-5.46	-4.69	-2.32
-5 2, -1	0.16	-1.57	-1.33	-6.22	-5.16	-3.66
-5 0.5, -3	-4.25	-3.75	-3.7	-4.78	-4.65	-1.78
-5 0.5, -5	-6.4	-5.54	-5.57	-5.01	-5.52	-2
-5 1, -3	-3.12	-3.34	-3.25	-5.53	-5.02	-2.51
-5 1, -5	-5.27	-5.13	-5.12	-5.76	-5.89	-2.73
-5 2, -3	-0.9	-2.45	-2.14	-6.29	-5.49	-3.85
-5 2, -5	-3.05	-4.24	-4.01	-6.52	-6.36	-4.07

注:组合策略中,三位数字分别表示第二产业占比,第三产业占比及外贸程度变动的百分比,其中带有负号的表示下调。例“-1 0.5, -1”表示第二产业占比下调1%,第三产业占比上调0.5%,外贸程度下调1%。

使得政策实施的有效性出现差异,同样的减排成本并不一定会取得与之相应的减排成果。因此,在政策制定上,要结合不同地区情况,考察政策实施的有效性,在保证减排成本维持在可控范围的基础上,完成相关减排策略。另外,由于各经济变量的敏感程度不一,因此在政策实施时要循序渐进,避免减排成本过度波动,增加减排成本及难度。

第三,多策并举,注重不同政策方案的联动实施。单一的碳减排方案的实施,很大程度上依赖于经济发展的“让步”,这就会使经济发展与能源环境之间一直处于一种非均衡状态。然而,政策的联动实施,可以在保证减排成本合理性的前提下实现碳排放量的有效控制。针对不同地区的经济差异,不同政策组合也可以实现对不同地区的差异化覆盖。经济发达地区应承担起更大的减排责任,在政策选择方面更加倾向于能源领域,辅以经济领域;对于中等发达地区,应兼顾经济发展及能源环境改善;经济欠发达地区,应当更加注重地区的经济发展,在保证能源环境的前提下,优先发展经济。

参考文献:

- [1] KRAFT J, KRAFT A. On the relationship between energy ANP [J]. *Energy development*, 1978(3): 401 - 403.
- [2] SOLOW, ROBERT M. The economics of resources or the resources of economics [J]. *American economic review*, 1974 2: 1 - 14.
- [3] STIGLITZ, JOSEPH E. Monopoly and the rate of extraction of exhaustible resources [J]. *American economic review*, 1976, 4: 655 - 661.
- [4] HEAL G M, DASGUPTA P. *Economic theory and exhaustible resources* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.
- [5] 贺小莉, 潘浩然. 基于 PSTR 模型的中国能源消费与经济增长非线性关系研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2013 (12): 84 - 89.
- [6] 郭晶, 王涛. 中国能源消费与经济增长关系的实证分析 [J]. *统计与决策*, 2017(34): 138 - 141.
- [7] NORDHAUS W D, STAVINS R N, WEITZMAN M L. Lethal model 2: the limits to growth revisited [J]. *Brookings papers on economic activity*, 1992(2): 1 - 59.
- [8] NORDHAUS W D. Regional dynamic general equilibrium model of alternative climate-change strategies [J]. *American economic review*, 1996(86): 741 - 765.
- [9] GROSSMAN G, KRUEGER A. Environmental impacts of a North American free trade agreement [R]. NBER paper, No. 3914.
- [10] STOKEY. Are there limits growth [J]. *International economic review*, 1998 39(1): 1 - 31.
- [11] 刘荣茂. 经济增长与环境质量: 来自中国省际面板数据的证据 [J]. *经济地理*, 2006(3): 374 - 377.
- [12] 王敏, 黄滢. 中国的环境污染与经济增长 [J]. *经济学(季刊)*, 2015(2): 557 - 578.
- [13] NICK D, HANLEY, PETER G, et al. The impact of a stimulus to energy efficiency on the economy and the environment: a regional computable general equilibrium analysis [J]. *Renewable energy*, 2006 31(2): 161 - 171.
- [14] IVAN V, LUCILLE L. Energy indicators for sustainable development [J]. *Energy policy*, 2007, 32(6): 912 - 919.
- [15] 胡绍雨. 我国能源、经济与环境协调发展分析 [J]. *技术经济与管理研究*, 2013(4): 78 - 82.
- [16] 赵芳. 能源—经济—环境非协调发展原因的经济解释 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2008(4): 67 - 72.
- [17] 苏静, 胡宗义, 唐李伟. 我国能源—经济—环境(3E)系统协调度的地理空间分布与动态演进 [J]. *经济地理*, 2013 (9): 19 - 24.
- [18] 逯进, 常虹, 汪运波. 中国区域能源、经济与环境耦合的动态演化 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2017(2): 60 - 68.
- [19] 郑玉歆, 樊明太. *中国 CGE 模型及政策分析* [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 1999.
- [20] 宋艳蕾. *中国典型城市碳排放情景分析与干扰方案模拟研究* [D]. 青岛: 青岛科技大学, 2014.

[21] 贺菊煌, 沈可挺, 徐嵩龄. 碳税与二氧化碳减排的 CGE 模型[J]. 数量经济技术经济研究, 2002(10): 39-47.

[22] 赵永, 王劲峰. 经济分析 CGE 模型与应用[M]. 北京: 中国经济出版社, 2008.

[23] 马丽梅, 张晓. 中国雾霾污染的空间效应及经济、能源结构影响[J]. 中国工业经济, 2014(4): 19-31.

(责任编辑: 王顺善; 英文校对: 陈芙蓉)

Optimal Policy Design for Coordinated Development of Energy Economy and Environment: Based on CGE Model

QIU Lixin, XU Haitao

(School of Economics and Management, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: In China, the contradiction between energy consumption and economic growth becomes more and more severe. In view of this situation, the study has constructed a Chinese Energy-Economy-Environment CGE model based on Kaya equation. First, the study quantified the effect degree of analog variable on sensitivity of energy economic structure and cost effectiveness of emission reduction. Then the study put forward some optimum combination scheme based on the research results. The results show that lowering the proportion of industrial structure will cause a positive impact on energy environment, and because of a high sensitivity on energy environment, the marginal abatement cost on industrial structure presents an increasing trend; lowering the degree of foreign trade has a negative effect on economy, and the marginal abatement cost on foreign trade presents a downward trend due to a low sensitivity on energy environment; increasing energy efficiency has an obvious positive effect on energy environment, and different energy efficiency has a different influence on a same variable. According to the combined strategy, we should adjust policy to the local conditions, the developed area should undertake more obligations of emissions-reduction and a high priority should be given to the economic development of the developing area.

Key words: CGE model; policy simulation; KAYA equation; Energy-Economy-Environment