

清洁能源补贴改革对产业发展和环境 污染影响研究 ——基于动态CGE模型分析

徐晓亮

(南京理工大学 经济管理学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 清洁能源补贴是促进我国相关产业发展和实现资源环境目标的重要政策工具。文章采用不同政策场景下差异性清洁能源补贴模式, 模拟清洁能源补贴改革对相关产业发展和环境系统的影响, 由此探讨主要污染物和碳排放影响的政策效应。研究结果显示, 清洁能源补贴政策有利于促进能源价格改革, 提高能源和工业等相关产业的总产出, 并改变化石与清洁能源间的替代弹性, 有效改善能源消费结构, 降低主要污染物排放强度; 但不同补贴方案影响的差异性较大, 应采用“国家+强地方”的方案设计, 以发挥清洁能源补贴改革的环境效应。

关键词: 清洁能源补贴改革; 动态CGE模型; 产业发展

中图分类号: F205 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0150(2018)05-0044-14

一、引言

清洁能源作为我国未来能源发展的重要战略方向之一, 对清洁能源进行补贴是促进相关产业发展和资源环境目标达成的重要政策工具。根据国家发改委的研究显示, 如果不对固定价格政策作出改革, 2020年清洁能源补贴缺口预计将达到2 000亿元左右; 在不考虑化石能源环境成本的情况下, 清洁能源要与煤炭等传统化石能源竞争是非常困难的。目前已进入能源革命的战略机遇期, 优化能源布局、提高清洁能源消费和能源利用率是主要发展方向, 要在2020年之前将清洁能源(可再生能源)占能源结构份额提高到15%, 对清洁能源补贴政策改革势在必行。

作为高能耗国家, 清洁能源补贴改革对加快产业发展和改善环境系统具有积极意义, 目前清洁能源补贴改革研究成果多集中在相关机制、能源结构和替代弹性等方面。由于能源消费和经济增长及环境变化存在相关性(Bella等, 2014), 要实现减排目标, 就必须降低能源强度和速度(Kawase等, 2006), 而对清洁能源补贴则可以纠正能源消费引起的严重污染等市场失灵问题(Wiser等, 2007)。在方案设计上, 补贴组合方案比单一方案效果更佳(Jager等, 2008)。由于改革可能会对经济产生负面影响, 必须对能源进行有效补贴(魏巍贤, 2009), 采用“市场+政府”相结合的能源补贴改革, 更加有利于发挥我国减排潜力(张国兴等, 2014)。学界对化石能源政策研

收稿日期: 2018-01-02

基金项目: 国家社会科学基金项目“基于动态CGE模型的矿产资源税改革减排效应及环境福利研究”(16CJY024); 南京理工大学“卓越计划”“紫金之星”; 南京理工大学经济管理学院青年教师计划; 江苏省青蓝工程优秀骨干教师和江苏服务型政府建设决策咨询研究基地; 江苏产业集群决策咨询研究基地。

作者简介: 徐晓亮(1982—), 男, 安徽蚌埠人, 南京理工大学经济管理学院教授。

究较为集中,从化石能源资源税改革看,鉴于煤炭的基础资源作用,煤炭资源税改革较为谨慎(郭菊娥等,2011);林柏强等(2012)分析煤炭资源税影响时,提出经济可以承受的税率改革区间。由于能源转嫁能力较强,单纯通过提高税率将导致税负向下游转嫁(李波,2013),同时可能会对落后地区产生紧缩效应,因此必须对能源消费进行补贴,促进均衡发展。然而,煤炭消费导致碳排放加剧(涂正革,2012),会提高资源消费,给减排带来不利影响(李虹和熊振兴,2017),对此较早关注清洁能源补贴改革的是庄贵阳(2006),他们分析了清洁能源政策的不足,主张进行能源补贴改革,认为改革化石能源补贴有利于清洁能源发展(姚昕等,2011)。在研究工具选择上,CGE模型被较多使用在社会经济和环境治理等领域,如李钢等(2012)、牛玉静等(2012)和刘亦文和胡宗义(2014)等构建CGE模型研究资源环境政策影响。

鉴于化石能源消费诱发的一系列严重环境污染问题,近年来加大清洁能源使用,提高清洁能源利用程度来改善和优化能源消费结构的呼声越来越强烈;但以往研究大多集中在能源价格改革和补贴规模对社会经济的影响,以及能源补贴政策对宏观经济运行的作用过程和效果。在环境污染日益严重的情况下,需要进一步在微观层面上聚焦清洁能源补贴改革对相关产业发展和环境污染的影响。从清洁能源补贴改革的实践看,不同的补贴政策方案差异性较大,清洁能源补贴改革设计对不同产业发展和环境污染治理的影响究竟有多大,值得进一步深入研究。基于此,本文构建动态CGE模型,分析清洁能源补贴改革的关键因素,分别采用“国家+地方”等不同的补贴模式,模拟分析不同清洁能源补贴改革方案对相关产业发展和环境污染治理的影响。本文研究发现:清洁能源补贴方案影响的差异性较大,较强的地方补贴改革能更加有效地促进清洁能源产业的发展,改善单位GDP能耗,并提高人均能源盈余;因此,采用“国家+强地方”的清洁能源补贴改革方案设计更加有利于发挥其环境效应。

本文的主要贡献体现在:第一,通过清洁能源产业发展与国家和地方等两个补贴主体相结合,将产业发展与环境污染的协同治理纳入补贴政策的研究范畴,通过不同方案的比较,进一步扩展了补贴政策的内涵;第二,构建动态CGE模型,将清洁能源产业和资源环境等因素引入补贴改革研究中,有效评估不同方案对产业发展和环境系统的差异性,研究补贴政策中国家和地方政府等不同主题补贴强度对能源间替代弹性、产业发展及环境污染治理的影响,使清洁能源补贴政策更加符合社会发展的现实状况,更加科学地定量分析清洁能源补贴政策的改革效应。

本文的研究意义在于:清洁能源作为我国能源未来重要的发展战略之一,通过不同清洁能源补贴方案的政策模拟,比较分析国家和地方政府两个不同主体提供补贴方案产生的影响差异性;基于不同区域产业发展情况和资源禀赋状况,中央和地方政府选择不同的清洁能源补贴政策 and 补贴力度,有利于提高清洁能源补贴方案可行性,为关系国计民生的清洁能源补贴政策的制定和可持续发展提供借鉴。

二、清洁能源补贴背景和政策要点梳理

能源补贴是通过政策工具干预经济活动的政府行为,主要采用转移支付或税收政策弥补能源价格机制,从而降低能源使用成本。目前我国能源补贴主要用于化石能源,一方面是面临经济增长压力和消费惯性,能源消费刚性较强;另一方面,僵化的补贴制度加大了对化石能源的补贴力度。这不仅阻碍能源价格改革的进程,也加剧了环境污染和碳排放。2009年G20峰会及联合国气候变化峰会提出发展清洁能源是促进减排的重要手段,而在支持清洁能源发展的政策中,最直接有效的就是进行清洁能源补贴。因此,清洁能源补贴制度改革势在必行。

当前我国清洁能源补贴范围涵盖风能、光伏、新型电池以及新能源汽车行业等领域,主要以环境类和供给类政策工具为主,其中环境类政策工具中的目标规划使用频率较高,通过对清洁能源产业发展的顶层设计和宏观引导,提供更加优质的清洁能源供给服务,有效降低环境污染物的产生和碳排放强度,促进社会可持续发展。从其政策目标和功能设定看,补贴政策改革的目的在于通过提高清洁能源供给力度,降低能源综合使用成本,优化能源消费结构。

从清洁能源补贴改革的实践看,清洁能源补贴措施主要采用财政补贴、价格补贴和投资补贴等方式,具体形式上可分为投资补贴、价格优惠、税收减免、法律支持和贸易支持等不同内容。我国清洁能源补贴措施主要集中于支持节能环保(如节能技术改造、节能产品惠民工程及再生节能材料补助等)和可再生能源发展(如太阳能屋顶计划、风力发电设备产业化及秸秆能源利用补助等),其财政补贴方向主要为风能和太阳能等产业。由于我国计划在2020年前将可再生能源占能源结构份额提高到15%左右,因此政府采取措施积极补贴可再生能源。各级政府大多成立清洁能源专项基金,以财政拨款、股权投资等形势参与各类清洁能源研发过程,对生物质能、风能、太阳能等清洁能源产业提供税收、价格等优惠政策,支持清洁能源的技术创新;但在清洁能源补贴方式选择上差异性较大,我们对清洁能源补贴政策进一步梳理后发现,自2006年后我国清洁能源补贴政策改革力度明显加快,并在不同领域同步进行,国家层面的补贴政策改革过程和具体内容见表1。

表1 国家清洁能源补贴政策情况分析

时间	清洁能源政策名称	重点内容
2006	中华人民共和国可再生能源法	可再生能源发电站以并网时间为根据,通过排队纳入可再生能源补贴目录,获得国家下发的可再生能源发电补贴
2008	资源综合利用企业所得税优惠目录,资源综合利用产品及劳务增值税优惠目录	秸秆能源化补贴:对利用秸秆等生产电力、热力及燃气实行所得税、增值税优惠
2009	关于完善风力发电上网电价政策的通知	实行风电费用分摊制度
2013	关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知	明确分布式光伏发电项目的补贴标准为0.42元/千瓦(含税)
2014	能源发展战略行动计划(2014-2020)	实行差别化能源价格政策,加强能源需求侧管理,推行合同能源管理
2015	2015年农村沼气工程转型升级工作方案	投资补贴:对规模化大型沼气工程、规模化生物天然气试点工程予以投资补助
2016	生物质燃料锅炉补贴	对生物质锅炉进行资金补助
2016	关于太阳能热发电标杆上网电价政策的通知	核定太阳能热发电标杆上网电价为每千瓦时1.15元,对太阳能热发电企业采取税费减免、财政补贴等措施
2016	国家能源局关于做好“三北”地区可再生能源消纳工作的通知	按新能源标杆上网电价与当地煤电标杆上网电价的差额享受可再生能源补贴
2017	关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作的通知	支持试点城市推进清洁方式取暖替代散煤燃烧取暖

在光伏产业方面,由于光伏产业前期投资大且回收期长,补贴政策是扶持光伏产业重要的手段,2013年国家发改委出台《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》,明确分布式光伏发电项目的补贴标准为0.42元/千瓦,这也为清洁能源补贴提供了国家标准。在此基础上,浙江、广东、江苏和安徽等省纷纷出台光伏产业的地方标准,其中,安徽既有度电补贴的方式,也有初始投资补贴方式;江苏则对采用合同能源管理模式的光伏制造产业进行补贴。总体而言,清洁能源地方补贴标准基本在0.1-0.2元/度电之间。同时,为缓解可再生能源补贴的财政负担,我国降低了新建大型太阳能和风电项目补贴,并限制弃电率较高地区的补贴标准。

目前中国的可再生发电装机已突破6万千瓦,占全国发电机总量的36%左右,其中,风电已超过核电的发电量,成为仅次于火电和水电的第三大电源。国家已经出台了包括风电在内的可

再生能源价格分摊办法,对风电上网电价高于火电的部分实行全国分摊。此外,对风电企业给予定期减免所得税和增值税先征后退的优惠政策。经过十多年的发展,风电经过大量政府补贴后已经初具规模,其补贴政策开始分类型、分区域逐步退出,这也意味着我国清洁能源补贴政策的设计初衷开始逐步实现,并进一步发挥对相关产业和环境系统的调节和引导作用。

在世界能源消费结构中,清洁能源比重占到15%左右,各国能源消费差异较大,但清洁能源的总体发展方向较为一致,我国清洁能源比例为13%—14%左右,虽然份额低于世界平均水平,但发展速度较快;从清洁能源补贴的效果看,国家开始尝试通过法律手段将清洁能源税收和补贴政策制度化,对于氢燃料电池、生物质能、太阳能以及核能的研发投入进行补贴,贯穿清洁能源发展需要经历的各阶段。由于能源补贴往往会形成能源的过度消费和低效率使用,在低碳转型的生态文明背景下,清洁能源补贴政策改革有利于促进社会发展。由于清洁能源上网价格是政府制定的,水电、风电等价格相对稳定,而核电价格较为复杂,差异性较大;通常清洁能源补贴的基准价格多参考其发电成本,清洁能源的外部性成本多在化石能源的1/10左右。然而要完全弥补清洁能源的成本,加大补贴规模仍十分必要。实际上,关于清洁能源补贴规模和改革的争议在政商界和学界争议不断,改革清洁能源补贴制度能够更好地实现生态文明和资源环境目标,特别是对加快实现我国碳减排和大气雾霾治理目标具有重要意义,其中合理而有效的清洁能源补贴机制构建是关键。

三、动态CGE模型构建

(一)动态CGE模型构建思路和基本要素

为进一步深入剖析清洁能源补贴政策对相关产业发展的影响机制,本文参考Acemoglu等(2012)年的做法,构建了包含清洁部门(clean sectors)和非清洁部门(dirty sectors)的两部门增长模型,分析政府干预对技术偏向的作用过程,并推导清洁能源补贴政策对总产出、产业发展和环境的影响。

假设总产出函数中分别包含清洁部门的清洁型和非清洁部门的污染型两类中间投入,则总生产函数可以定义为:

$$Q_T = \sum(TVA + IP) = \sum(TVA + A_{ip}(\pi_1^{1/\sigma} IP_1^{\sigma-1/\sigma} + \pi_2^{1/\sigma} IP_2^{\sigma-1/\sigma})) \quad (1)$$

其中, Q_T 表示产业总产出, TVA 表示总增加值, IP 表示总中间投入, IP_1 、 IP_2 分别表示清洁部门和非清洁部门的消耗数量, σ 表示清洁部门和非清洁部门投入间的替代弹性, π_1 和 π_2 分别表示清洁部门和非清洁部门技术。

为简化分析过程,假设生产者会在清洁部门和非清洁部门间进行选择,其决策依据为政府研发补贴的规模和力度。假设中间品价格函数为:

$$P_E = \kappa_1 \sum P_1 + (1 - \kappa_1) \sum P_2 \quad (2)$$

其中, P_E 表示总中间投入价格, P_1 和 P_2 分别为清洁部门和非清洁部门中间品价格, κ_1 为清洁部门中间品比例。

当中间产出利润最大化时,则有

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{IP_1}{IP_2} \right)^{-\frac{1}{\sigma}} \quad (3)$$

可以得到生产者利润最大化情况为:

$$\max P_E Q_T = \max \left(\kappa_1 \sum P_1 + (1 - \kappa_1) \sum P_2 \right) \left(\sum (TVA + A_{ip}(\pi_1^{1/\sigma} IP_1^{\sigma-1/\sigma} + \pi_2^{1/\sigma} IP_2^{\sigma-1/\sigma})) \right) \quad (4)$$

由此得到不变弹性的清洁能源需求曲线:

$$S = \left(\frac{\alpha P_E}{P_1} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} A Q_E \quad (5)$$

其中, S 为清洁能源需求情况, A 为技术水平, Q_E 为能源需求总量。

当政府采用清洁能源补贴政策时, 政府向清洁能源部门提供 B 元/单位的补贴额; 此时, 生产者的利润最大化函数变为:

$$\max P_E Q_T = \max \left(\kappa_1 \sum (P_1 + B) + (1 - \kappa_1) \sum P_2 \right) \left(\sum (TVA + A_{ip} (\pi_1^{1/\sigma} IP_1^{\sigma-1/\sigma} + \pi_2^{1/\sigma} IP_2^{\sigma-1/\sigma})) \right) \quad (6)$$

本文对投入产出经典模型中的政策变量对总产出和环境系统影响进行比较静态分析, 同时借鉴景维民和张璐 (2014) 的做法, 通过清洁能源补贴政策等环境管制的冲击变化, 以总需求为外生变量, 分析总需求变动对总产出等内生变量的影响。

假设清洁能源补贴政策对生产者产品价格带来的边际收益是相对固定的, 当处于生产者均衡时, 清洁能源补贴政策对其中间品价格的固定加成比例为:

$$B = P_1 / \alpha_1 \quad (7)$$

代入公式 (5) 可以得到:

$$S = \left(\frac{P_E \alpha}{B \alpha_1} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} A Q_E \quad (8)$$

当供需均衡时, 即 $S = Q_T$, 进一步推导则有:

$$\left(\frac{P_E \alpha}{B \alpha_1} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} A Q_E = \sum (TVA + A_{ip} (\pi_1^{1/\sigma} IP_1^{\sigma-1/\sigma} + \pi_2^{1/\sigma} IP_2^{\sigma-1/\sigma})) \quad (9)$$

可以得到:

$$B = P_E \frac{\alpha}{\alpha_1} \left(\frac{\sum (TVA + A_{ip} (\pi_1^{1/\sigma} IP_1^{\sigma-1/\sigma} + \pi_2^{1/\sigma} IP_2^{\sigma-1/\sigma}))}{A Q_E} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} = P_E \frac{\alpha}{\alpha_1} \left(\frac{Q_T}{A Q_E} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (10)$$

通过检验观察和比较静态分析可以得到以下变量间的逻辑关系, 如表2所示:

表2 清洁能源补贴政策对相关变量影响的比较静态分析

比较静态分析		清洁能源补贴政策对相关变量的影响
价格A	$\frac{\partial B}{\partial P_E}$	正向关系
总产出	$\frac{\partial B}{\partial Q_T}$	正向关系
总体技术水平	$\frac{\partial B}{\partial A}$	负向关系

当社会总利润相对稳定时, 社会总产出的增加主要依赖于补贴的力度, 此时清洁能源补贴政策会抑制总体技术水平的提升, 并提高能源价格。在理论模型的基础上, 为进一步检验清洁能源补贴政策对产业发展和环境系统的影响, 本文构建动态CGE模型, 模型包含模型主体、行为准则、变量、方程和均衡状态等基本要素, 由生产、需求、价格、能源和环境等模块构成, 通过各模块之间的相互关系形成模型结构 (见图1)。

生产模块中, 生产者属于Leontief/CES函数, 其总产出函数为:

$$Q_T = A L_t^\gamma E_t^\eta K_t^{1-\gamma-\eta} = \sum (TVA + IP) \quad (11)$$

其中, Q_T 表示产业总产出, A 表示要素生产率, L 表示人力资本, E 表示能源, K 表示资本, TVA 表示总增加值, IP 表示总中间投入。

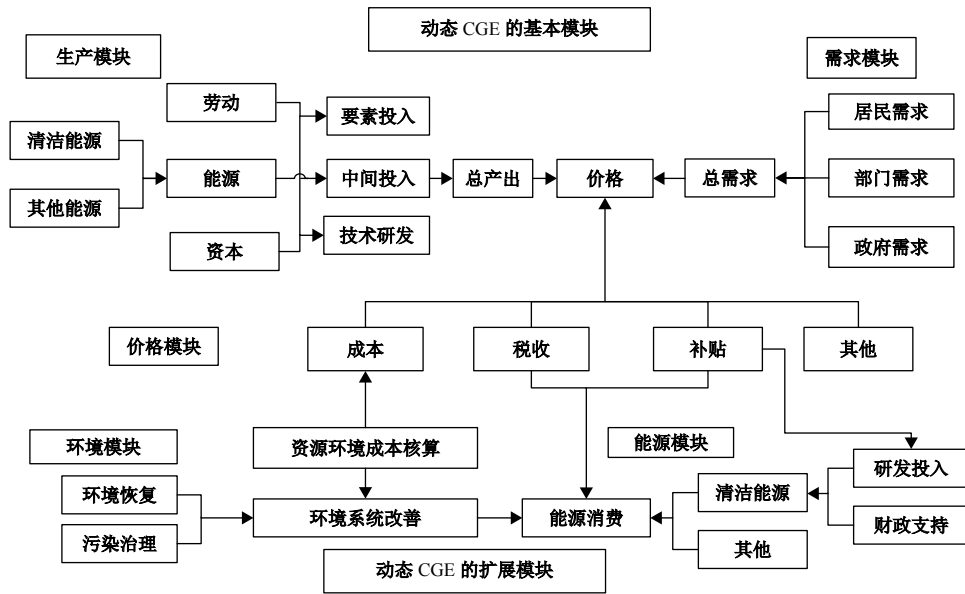


图 1 动态CGE模型的模块结构和基本框架

总增加值函数方程为：

$$TVA = A(\alpha_1^{1/\kappa} L^{(\kappa-1)/\kappa} + \alpha_2^{1/\kappa} K^{(\kappa-1)/\kappa} + \alpha_3^{1/\kappa} E^{(\kappa-1)/\kappa}) \quad (12)$$

其中, TVA 表示总增加值, E 、 K 、 L 表示能源、资本和劳动等不同要素投入, A 表示技术水平, α_1 、 α_2 、 α_3 分别表示能源、资本和劳动技术系数, κ 表示要素间替代弹性。

在需求模块中, 由于居民、政府和产业为能源需求和消费的主体, 因此将需求模块分为居民、产业部门和政府等主体需求, 其中产业需求指国民生活中的42个产业需求, 政府需求通常包括政府日常运营和政府采购所产生的需求。政府通过对生产、流通和消费等领域征税来增加其财政收入, 通过消费和转移支付实现经济发展。政府和产业需求函数分别为LES型和CES型。

消费函数方程为：

$$S = \left(\sum G_E + \sum_{n=1}^{42} Fx_n + \sum C_E \right) P_E \quad (13)$$

其中, S 表示消费总量, G_E 表示政府需求量, Fx_n 表示部门需求量, C_E 表示居民消费量, P_E 表示能源综合价格。

政府消费作为外生变量, 起到促进消费、储蓄和转移支付等重要作用。政府消费函数服从Stone-Geary效用函数, 其函数方程为：

$$G_E = (1 - R_{GS})GDP - B \quad (14)$$

其中, G_E 表示政府需求量, R_{GS} 表示政府储蓄率, GDP 表示国内生产总值, B 表示补贴。

假设部门对能源需求函数为不变替代弹性型(CES), 即在消耗不变的情况下, 要素替代弹性是不变的, 则部门需求方程为：

$$Fx_n = Y - w - rK - T + B \quad (15)$$

其中, Fx_n 表示部门需求量, Y 表示部门收入, w 表示人力资本支出, r 表示银行利率, K 表示资金资本, T 表示税收, B 表示补贴。

居民消费函数为：

$$C_E = w + B - C_i \quad (16)$$

其中, C_E 为居民消费量, B 为补贴, C_i 为居民支出。

价格模块中, 价格方程为:

$$P_E = \left(\sum PQ + \sum PV \right) \text{inta} \quad (17)$$

其中, P_E 表示总中间投入价格, PQ 表示复合产品价格, PV 表示要素价格, inta 表示总中间投入产出系数。

产出价格方程为:

$$P_o = P_E + PR + PW + T + B \quad (18)$$

其中, P_o 表示产出价格, P_E 表示生产价格, PR 表示资源恢复价格, PW 表示污染价格, T 表示税收, B 表示补贴。

在能源模块中, 不同类型的能源消费存在相关替代的嵌套关系, 分别采用内部替代和外部替代两种方式, 其中内部替代为能源研发和技术应用导致的能源消费结构的变化; 可以通过补贴改革调节不同能源间交叉替代弹性、能源和资本等要素间的替代关系。

能源函数为:

$$E = A_e (\lambda_1 Q_C \times 0.7143 + \lambda_2 Q_o \times 1.4286 + \lambda_3 Q_G \times 12.143 + \lambda_4 Q_{CE} \times 0.1229) \quad (19)$$

其中, E 表示合成能源消耗量, Q_C 、 Q_o 、 Q_G 、 Q_{CE} 分别表示煤炭、石油、天然气和清洁能源等消耗量, A_e 表示能源综合技术水平, λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 分别表示不同能源技术系数。

能源中间投入函数为:

$$IP = A_{ip} \left(\pi_1^{1/\sigma} IP_1^{(\sigma-1)/\sigma} + \pi_2^{1/\sigma} IP_2^{(\sigma-1)/\sigma} \right) \quad (20)$$

其中, IP 表示能源中间投入量, IP_1 、 IP_2 表示化石能源和清洁能源投入量, σ 表示能源替代弹性。

环境核算方程为:

$$\begin{aligned} YE &= PE_{TAX} - PE_{COST} \text{ s.t. } PE_{TAX} \\ &= \sum PE_{P1} QE_{Q1} + \sum PE_{P2} QE_{Q2} PE_{COST} \\ &= \sum (PE_{P2} + QE_{Q2}) PE_1 PE_{AC} \end{aligned} \quad (21)$$

其中, YE 表示环境账户收益, PE_{TAX} 表示污染物收费, PE_{COST} 表示污染物治理成本, PE_{P1} 表示核准收费标准, QE_{Q1} 表示核准排污量, PE_{P2} 表示超核收费标准, QE_{Q2} 表示超核排污量, PE_1 表示污染强度, PE_{AC} 表示污染单位治理成本。

(二) 基础数据、变量选择和关键参数的确定

基础数据主要来源于《中国投入产出表》(2012)。主要账户包括: (1) 产品账户。产品账户的行中存在中间投入的总产出、环境恢复的总产出和环境污染治理的总产出。总产出可以根据相应的统计数据直接获得, 根据《中国投入产出表》可以得到中间投入的总产出。环境恢复的总产出和环境污染治理的总产出则没有相关的统计资料, 只能通过其他途径获取相关资源并进行转换, 采用余量的处理方法, 使其成为所需要的数据资料。考虑环境污染治理的乘数效用, 将环境污染治理的投入转化成经济的总产出。(2) 活动账户。在生产活动的行中, 对应于产品账户、居民账户、产业账户和政府账户的分别为总产出、劳动总额、利润总额和税收总额。(3) 要素账户。其分别表现为个人所得税、企业所得税等相关支出。(4) 居民账户。其分为城镇和农村居民。(5) 产业账户。产业账户行表示产业扣除支出后的净利润, 主要包括利润和政府补贴。(6) 政府账户。在政府账户行中, 主要指各种税入; 在政府账户列中是财政支出, 主要包括各项公共事业、转移支付与政策性补贴等。(7) 储蓄账户。在储蓄账户行中为居民、产业和政

府总储蓄额,在储蓄账户列中为居民、产业和政府总投资额。

CGE模型中生产函数的弹性参数主要由经典统计方法、Bayesian方法和GME方法求得;需求函数是由居民效用函数推导而得,效用函数的参数常用经典计量经济方法估计。各要素之间的替代系数,需求函数中的弹性系数等关键参数值的选取主要借鉴计量经济学方法和其他CGE模型的相关文献确定,其他参数通过对社会核算矩阵进行校准(Calibration)的方法确定。

废气主要包括CO₂和SO₂等。在CO₂的处理上,只计算一次能源。在SO₂的处理上,将资源消耗折算成标准煤后的单位含硫系数处理,将能源部门和其他部门的SO₂排放量累加即可得到资源消耗的SO₂总排放量。在废水和工业固体废物处理上,基础数据来自于《环境统计年鉴》(2012)。同时通过SAM表求出关键参数,对不能直接计算的弹性值参数,通过计量文献估算。

(三)模型动态化处理过程

采用动态递推方式使CGE模型动态化,其动态化递推方程为:

$$Q(E) = \theta P_E \left(\sum (Q(E)_{T-1} + B_{T-1}) + \sum Q(E)_T \right) \quad (22)$$

其中, $Q(E)$ 表示能源收入总额, $Q(E)_{T-1}$ 表示上一期能源恢复量, $Q(E)_T$ 表示本期资源存量, θ 表示能源开采和利用程度, P_E 表示能源综合价格指数, B_{T-1} 表示清洁能源补贴。

四、模型模拟和结果分析

(一)初始政策场景设定

在能源系统的初始设定上,采用历史数据分析法得出能源生产和消费的平均趋势,2000-2012年我国能源生产和消费情况如表3所示。

表3 我国历年能源生产和消费情况

单位:万吨标准煤

时间	能源生产弹性系数	能源消费弹性系数	能源消费总量	煤炭消费总量	石油消费总量	天然气消费总量	清洁能源消费总量
2012	0.41	0.51	402 138	240 914	68 006	18 810	34 003
2011	0.95	0.77	387 043	238 033	64 728	17 400	27 840
2010	0.86	0.69	360 648	220 959	61 738	14 297	27 945
2009	0.34	0.53	336 126	215 879	54 890	11 959	23 918
2008	0.52	0.31	320 611	204 888	53 335	10 784	22 442
2007	0.56	0.61	311 442	199 441	52 736	9 257	19 075
2006	0.54	0.76	286 467	183 919	49 924	7 502	17 331
2005	0.98	1.19	261 369	167 086	46 727	6 136	16 048
2004	1.54	1.67	230 281	148 352	45 466	5 336	14 302
2003	1.41	1.62	197 083	128 287	38 964	4 595	11 946
2002	0.66	0.99	169 577	108 413	35 553	3 826	11 638
2001	0.77	0.7	155 547	102 727	32 789	3 610	11 280
2000	0.6	0.54	146 964	100 707	32 308	3 202	9 314
均速	-	-	14.47%	11.60%	9.21%	40.63%	22.09%

能源消耗通过人均能源供给、人均能源需求、人均能源赤字/盈余、人均能源压力和单位GDP能源效率等刻画,具体情况见表4。

环境系统采用废水、废气和工业固体废物等指标表示,通过分析年均增长来判断主要污染物排放状况,其中废水排放的年均增长率为9.32%,废气排放的年均增长率为4.45%;同时,用于废水、废气和工业固体废物排放的治理资金分别以3.73%、3.73%和2.12%的速度增长,详细情况见表5。

表4 2007-2012年我国能源消耗情况

单位:公顷/人

关键指标	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
人均能源供给量	1.14	1.11	1.18	1.14	1.23	1.29
人均能源需求量	2.27	2.25	2.26	2.12	2.05	2.12
人均能源赤字/盈余	-1.13	-1.14	-1.08	-0.98	-0.82	-0.83
人均能源压力系数	1.73	1.68	1.65	1.57	1.49	1.47
单位GDP能耗	0.560	0.544	0.529	0.513	0.472	0.455

表5 我国历年主要污染物排放和治理投入情况

时间	废气排放总量(万吨)	SO ₂ (万吨)	工业废水(亿吨)	工业固体废物排放(万吨)	污染物治理投入(亿元)
2000	138 145	1 995	415	81 608	1 010
2001	160 863	1 948	433	88 840	1 107
2002	175 257	1 927	439	94 509	1 367
2003	198 906	2 159	459	100 428	1 628
2004	237 696	2 255	482	120 030	1 910
2005	268 988	2 549	526	134 449	2 388
2006	330 990	2 589	537	151 541	2 566
2007	388 169	2 468	557	175 632	3 387
2008	403 866	2 321	572	190 127	4 937
2009	-	2 214	589	203 943	5 258
2010	-	2 185	617	240 944	7 612
2011	-	2 218	659	322 772	7 114
2012	-	2 118	684	329 044	8 253
均速	32.45%	8.17%	12.68%	31.02%	62.86%

补贴政策改革是促进清洁能源发展的重要手段,各级政府大多成立清洁能源专项基金,以财政拨款、股权投资等形式参与各类清洁能源研发过程;但在清洁能源补贴方式的选择上差异性较大,如英国采用财税政策改革,预计2020年可再生能源占能源产出的比重将达到20%。美国和荷兰等国通过法律手段将新能源税收政策制度化,对于氢燃料电池、生物质能、太阳能以及核能的研发投入进行补贴,贯穿新能源发展需要经历的“前生产—生产—市场化—消费”阶段。总体而言,各国多采用定额研发补助,对清洁能源研发进行固定额度的补助形式。基于国内清洁能源研发补贴现状和国外研发补贴的经验,本文从研发补贴方式和补贴力度设计清洁能源研发补贴改革模拟场景,基于国家对清洁能源的产业补贴数据,采用“国家+地方”的补贴方式,分别设计不同清洁能源补贴改革场景,如表6所示。其中,国家基本补贴依据国家发改委在2013年发布的《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》,其中明确分布式光伏发电项目的补贴标准为0.42元/千瓦。地方0.1元每千瓦时和0.2元每千瓦时的补贴主要参考浙江省、山西省和广东省对光伏产业补贴的政策和做法。

表6 清洁能源补贴改革模拟场景设计

补贴改革场景	补贴强度	补贴标准
场景一(P1)	国家基本补贴	国家0.42元每千瓦时
场景二(P2)	国家基本补贴+弱地方补贴	国家0.42+地方0.1元每千瓦时
场景三(P3)	国家基本补贴+强地方补贴	国家0.42+地方0.2元每千瓦时

模型的基期为2012年,以10年为一个周期,模拟期为2020-2050年,采用GAMS软件模拟。

(二)清洁能源补贴改革的环境效应影响分析

1. 对能源价格和能源替代弹性的影响

清洁能源补贴改革将首先影响不同类型能源价格的变化,使煤炭、石油、天然气和清洁能源等的价格和比价关系发生变化。当采用国家基本补贴场景(P1)时,由于经济对能源产业的高度依赖性,煤炭和石油等传统化石能源价格将上涨,而清洁能源和天然气价格将呈现下降趋势,从时间纬度看,由于补贴改革降低了清洁能源研发和使用成本,化石能源价格的上涨趋势将逐步缓解,其变化趋势如图2所示。

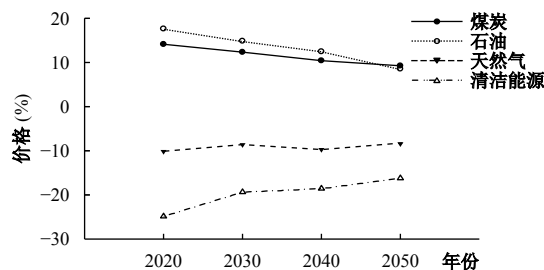


图2 国家基本补贴改革场景一(P1)对能源价格的影响

由于补贴政策是能源体系中的重要构成部分,补贴改革会降低能源使用成本,导致清洁能源价格下降,并使不同类型能源间的替代弹性发生变化,从而影响能源需求供给关系变化的长期趋势;在清洁能源补贴改革后,不同能源替代弹性变化如表7所示。

表7 不同能源间的替代弹性变化情况(2050年) 单位:%

能源替代弹性	场景一(P1)	场景二(P2)	场景三(P3)
煤炭—石油	0.26	0.29	0.27
煤炭—天然气	1.34	1.47	1.44
煤炭—清洁能源	0.18	0.27	0.35
石油—天然气	0.49	0.52	0.51
石油—清洁能源	1.15	1.31	1.43
天然气—清洁能源	1.23	1.38	1.52

由此可见,不同类型的化石能源间的替代弹性变化不大,而化石能源和清洁能源的替代关系随着补贴力度加大而逐步增加,此时国家基本补贴加强地方政府补贴的政策模式对二者之间的替代关系影响较大,即补贴力度和替代弹性之间存在正向关系。在能源替代弹性变化后,能源消费结构也发生相应变化,如表8所示。

表8 不同政策场景对能源结构的影响情况(2050年) 单位:%

比重	场景一(P1)	场景二(P2)	场景三(P3)
煤炭	62%	61%	61%
石油	15%	14%	12%
天然气	9%	15%	10%
清洁能源	14%	15%	17%

当采用清洁能源补贴改革场景三(P3)时,地方政府清洁能源补贴改革支持力度最大,清洁能源价格和替代弹性要高于地方弱补贴改革场景二(P2)和基本补贴场景一(P1),此时对清洁能源生产和消费有积极作用,对能源结构的影响最明显。

2. 对产业产出和能源消费的影响

由于制造业等产业对能源投入的依赖程度较高,且在社会经济中占比较大,清洁能源补贴改革会降低能源价格和使用成本,如表9所示。

从产业层面看,清洁能源补贴改革对产业总产出产生明显的刺激作用,且补贴力度越大,对产业总产出的刺激效应越明显(见表10)。

除农业外,其他产业总产出不同程度上升,最突出的为能源、工业等,由于能源需求刚性较大,这使得相关总产出水平大幅上升,由于能源产业大多是位于经济产业的上游,受影响较大。

在总产出受影响的同时,各产业的能源消耗情况会发生不同的连锁反应,如表11所示。

3. 能源系统和污染治理的影响

补贴改革对能源系统产生较明显的正面影响,人均能源盈余/赤字将得到改进,人均能源压

表9 清洁能源补贴改革对产业总产出增速的影响

单位:%

时间	政策场景	2020年	2030年	2040年	2050年
总产出	场景一(P1)	11.27	15.46	17.15	21.38
	场景二(P2)	13.16	16.29	19.43	22.62
	场景三(P3)	14.43	17.86	21.26	24.54

表10 清洁能源补贴改革对不同产业总产出的影响(2050年)

单位:%

政策场景	农业	工业	能源	环保	服务	建筑	运输
场景一(P1)	1.72	8.22	12.35	4.22	2.52	3.22	7.13
场景二(P2)	2.95	12.48	18.47	6.25	4.84	4.17	9.64
场景三(P3)	3.11	15.45	24.22	7.21	6.52	5.31	11.18

表11 不同补贴改革场景下的能源消费情况(2050年)

政策场景	相关产业	能源消费	煤炭消费	石油消费	清洁能源消费
场景一(P1)	农业产业	1.68	-4.32	2.69	5.41
	开采产业	10.18	5.69	8.86	16.62
	工业产业	16.53	12.17	14.35	22.16
	能源产业	14.16	7.52	10.36	18.67
	建筑产业	6.58	3.62	8.59	10.43
	交通产业	14.56	10.22	16.55	19.19
	服务产业	7.49	4.66	9.32	11.43
	环境保护	4.56	2.79	3.17	14.45
场景二(P2)	农业产业	1.97	-4.67	2.89	7.78
	开采产业	10.75	5.24	8.26	18.59
	工业产业	16.18	11.67	13.64	25.34
	能源产业	14.02	7.26	10.12	19.61
	建筑产业	6.52	3.35	7.84	12.47
	交通产业	14.42	9.76	15.48	20.65
	服务产业	7.23	4.16	9.08	13.12
	环境保护	4.21	2.56	2.97	15.62
场景三(P3)	农业产业	1.93	-4.23	2.77	8.43
	开采产业	10.58	5.12	8.03	20.29
	工业产业	16.34	11.05	12.89	27.69
	能源产业	14.12	7.08	10.34	20.88
	建筑产业	6.41	3.26	7.45	14.09
	交通产业	14.26	9.28	15.07	21.06
	服务产业	7.04	4.02	8.59	14.35
	环境保护	4.18	2.34	2.27	16.32

力系数减少,同时单位GDP能耗降低。从政策效果看,较强的补贴力度(场景三)将产生更加明显的影响,如表12所示。

清洁能源补贴改革实施后主要污染物排放发生相应变化,具体变化如表13所示。

随着清洁能源补贴力度的逐步提高,主要污染物排放总量会有不同程度的下降,且下降幅度由大到小依次为工业固体废物排放量、废气排放量和废水排放量;在不同的政策设计中,采

表 12 清洁能源补贴改革对能源系统的影响 (2050年)

清洁能源补贴	人均能源盈余/赤字	人均能源压力系数	单位GDP能耗
场景一(P1)	-0.86	1.67	0.449
场景二(P2)	-0.83	1.62	0.426
场景三(P3)	-0.79	1.58	0.417

表 13 清洁能源补贴改革对主要污染物排放的影响

单位:%

指标	场景一(P1)				场景二(P2)				场景三(P3)			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
废水排放	2.45	2.29	1.98	1.76	2.37	2.16	1.88	1.65	2.29	2.01	1.82	1.56
废气排放	2.85	2.62	2.34	2.13	2.73	2.53	2.31	2.08	2.65	2.48	2.27	1.98
工业固体废物排放	4.27	3.96	3.73	3.55	4.18	3.84	3.61	3.47	4.09	3.77	3.52	3.39

用国家基本补贴和强政府补贴的作用更加明显(如从2020年到2050年,受影响的主要污染物排放量变化幅度分别为1.56%、1.89%和3.39%左右)。尽管清洁能源补贴改革并未直接涉及环境污染治理活动,但是由于清洁能源补贴改革对能源使用和消费成本产生直接影响,这使得主要污染物排放有所改善,且清洁能源补贴力度越高,相关产业的主要污染物排放的降幅越大(见表14)。

表 14 清洁能源补贴改革对主要产业污染物排放的影响 (2050年)

单位:%

	废水			废气			工业固体废物		
	场景一	场景二	场景三	场景一	场景二	场景三	场景一	场景二	场景三
农业产业	1.22	1.12	1.06	1.65	1.42	1.28	3.45	3.36	3.27
开采产业	2.24	2.09	1.89	2.62	2.56	2.41	4.62	4.34	4.15
工业产业	3.05	2.85	2.66	3.32	3.06	2.78	5.59	5.25	4.89
能源产业	2.11	1.98	1.77	2.87	2.46	2.31	4.38	4.09	3.78
建筑产业	1.36	1.21	1.06	2.09	1.88	1.67	3.23	3.03	2.82
交通产业	1.13	1.03	0.89	4.06	3.48	3.27	3.49	3.26	3.09
服务产业	1.79	1.56	1.37	2.65	2.45	2.32	3.66	3.18	2.72
环境保护	1.23	1.16	1.05	1.37	1.18	1.04	1.42	1.23	1.04

在不同的清洁能源补贴改革场景下,碳排放总量也会发生不同变化,如图3所示。

受清洁能源补贴改革的影响,相关产业的主要污染物排放量都会有不同程度的下降,其中,开采业下降幅度最大,农业略有下降,其原因在于清洁能源补贴改革有利于发挥市场价格机制,降低能源使用成本,进一步传导和调节能源消费结构,从而调整能源密集产业的能源消费构成,提高单位GDP能耗,促进资源使用者注重资源节约,并降低主要污染物排放,发挥清洁能源补贴改革对环境系统的调节作用。

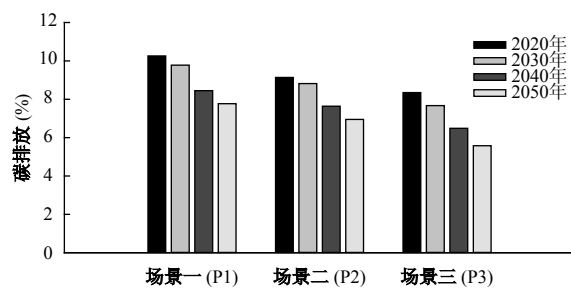


图 3 不同政策场景下碳排放的变化情况

五、结 语

本文研究发现,清洁能源补贴改革有利于促进能源价格改革,改变化石能源与清洁能源的

替代弹性,提高相关产业的总产出;清洁能源的快速发展可以有效改善能源消费结构,降低主要污染物排放强度。但需要注意的是,不同的补贴改革方案差异性较大,较强的地方补贴改革能更加有效地促进清洁能源产业的发展,改善单位GDP能耗,并提高人均能源盈余,从而降低环境损失,优化能源消费结构,此时“国家+强地方”的清洁能源补贴改革设计的影响更加明显。

因此,本文提出:(1)在国家基本补贴标准中,选择消费侧为主的清洁能源政策,由于基本补贴标准直接影响清洁能源产业,其基础标准设置必须能在促进社会和谐发展、提供优质能源服务和保障环境可持续发展间进行有效抉择。目前我国能源价格形成机制由于受非市场化因素影响较大,因此,国家基本补贴标准可以作为促进清洁能源发展的基础,应该尽量采取消费侧补贴。(2)根据区域社会经济的不同情况,选择适当的地方补贴标准,在经济较为发达的省份可选择较高的补贴标准,以加快清洁能源发展,弥补资源开发的环境代价,同时通过地方财政支出扶持清洁能源产业,在资源禀赋较好的区域可选择相对较低的补贴标准,提高政策的可操作性。(3)确定清洁能源补贴的最优规模,并进一步明确补贴方式和对象,注重化石能源和清洁能源补贴改革的协调性,深入探索不同政策组合对减排和环境治理的影响,避免无效的能源补贴,从而形成统一而有效的清洁能源补贴改革体系。(4)加快清洁能源补贴机制和范围的研究,本文研究时只考虑清洁能源补贴的常规方式,建议将非常规的清洁能源也纳入补贴范畴。

主要参考文献:

- [1] 郭菊娥,钱冬,吕振东,等. 煤炭资源税调整测算模型及其效应研究[J]. 中国人口·资源与环境,2011,(1).
- [2] 景维民,张璐. 环境管制、对外开放与中国工业的绿色技术进步[J]. 经济研究,2014,(9).
- [3] 李波. 煤炭资源税改革目标实现的困境与对策[J]. 中国人口·资源与环境,2013,(1).
- [4] 李钢,董敏杰,沈可挺. 强化环境管制政策对中国经济的影响——基于CGE模型的评估[J]. 中国工业经济,2012,(11).
- [5] 李虹,熊振兴. 生态占用、绿色发展与环境税改革[J]. 经济研究,2017,(7).
- [6] 林伯强,刘希颖,邹楚沅,等. 资源税改革:以煤炭为例的资源经济学分析[J]. 中国社会科学,2012,(2).
- [7] 刘亦文,胡宗义. 能源技术变动对中国经济和能源环境的影响——基于一个动态可计算一般均衡模型的分析[J]. 中国软科学,2014,(4).
- [8] 牛玉静,陈文颖,吴宗鑫. 全球多区域CGE模型的构建及碳泄漏问题模拟分析[J]. 数量经济技术经济研究,2012,(11).
- [9] 涂正革. 中国的碳减排路径与战略选择——基于八大行业部门碳排放量的指数分解分析[J]. 中国社会科学,2012,(3).
- [10] 魏巍贤. 基于CGE模型的中国能源环境政策分析[J]. 统计研究,2009,(7).
- [11] 姚昕,蒋竺均,刘江华. 改革化石能源补贴可以支持清洁能源发展[J]. 金融研究,2011,(3).
- [12] 张国兴,高秀林,汪应洛,等. 政策协同:节能减排政策研究的新视角[J]. 系统工程理论与实践,2014,(3).
- [13] 庄贵阳. 气候变暖与诺亚方舟[N]. 人民日报,2006-04-05(03).
- [14] Acemoglu D, Aghion P, Bursztyn L, et al. The environment and directed technical change[J]. *American Economic Review*, 2012, 102(1): 131–166.
- [15] Bella G, Massidda C, Mattana P. The relationship among CO₂ emissions, electricity power consumption and GDP in OECD countries[J]. *Journal of Policy Modeling*, 2014, 36(6): 970–985.
- [16] Kawase R, Matsuoka Y, Fujino J. Decomposition analysis of CO₂ emission in long-term climate stabilization scenarios[J]. *Energy Policy*, 2006, 34(15): 2113–2122.
- [17] Rader N A, Norgaard R B. Efficiency and sustainability in restructured electricity markets: The renewables portfolio standard[J]. *The Electricity Journal*, 1996, 9(6): 37–49.

- [18] Wiser R, Bolinger M, Barbose G. Using the federal production tax credit to build a durable market for wind power in the United States[J]. *The Electricity Journal*, 2007, 20(9): 77-88.

Impacts of the Clean Energy Subsidy Reform on Industry Development and Environment Pollution: An Analysis Based on a Dynamic CGE Model

Xu Xiaoliang

(*School of Economics and Management, Nanjing University of Science and Technology, Jiangsu Nanjing 210094, China*)

Summary: Clean energy subsidies are important policy tools to promote the development of related industries and achieve resource and environmental goals in China. In view of a series of serious environmental pollution problems caused by fossil energy consumption, the call for increasing the clean energy use and improving the utilization of clean energy to improve and optimize the energy consumption structure has become more and more intense in recent years. However, previous studies have focused on the energy price reform and the impact of the subsidy scale on the social economy, focusing on the analysis of the process and effect of energy subsidy policies on macroeconomic operations while lacking quantitative research on the impact of relevant industries and environmental systems. In the clean energy subsidy program, different subsidy policy schemes are quite different. How much influence does the clean energy subsidy reform design have on different industry development and environmental pollution control? It is worth further research. The paper constructs a dynamic computable general equilibrium model (DCGE) to appraise the impact of clean energy subsidies on industry development and environmental governance based on a “national + local” scenario from a long-term latitude. The results show that, overall speaking, clean energy subsidies are helpful to promote the energy price reform. Due to the price advantage brought by clean energy subsidy policies, elasticity of substitution between fossil energy and clean energy can be changed greatly, which will increase the total output of related industries, improve the energy consumption structure, and reduce the emission intensity of major pollutants. However, the impacts of different subsidy programs greatly differ from each other. National basic subsidy policies can improve the competitiveness of clean energy to some extent, and strong local subsidy policies can be more effective to promote the development of clean energy industries, improve energy consumption per unit GDP and per capita energy surplus, reduce the environmental damage, and optimize the energy consumption structure. Therefore, the use of the “national + strong local” design is more conducive to clean energy industry development and environmental governance. The main contributions of this paper are to introduce factors such as clean energy industry and resource environment into the subsidy reform research, effectively assess the differences between different programs on industrial

(下转第86页)