

碳排放配额分配的 DEA 建模与应用

王科, 李默洁

(北京理工大学 管理与经济学院 能源与环境政策研究中心, 北京 100081)

摘要: 在区域层面分解 CO₂ 排放强度下降目标是我国能源经济政策关注的热点问题,也是实现国家“十二五”CO₂ 排放强度削减目标的有效途径。基于数据包络分析方法 (DEA), 提出一种新的 DEA-CEA (DEA based carbon emissions allocation) 配额分配模型,该模型将 CO₂ 排放配额分配问题视为一种总量受控的资源配置问题,以效率优先为目标,人均公平为约束,将国家排放总量分配给各省。采用 2010 年数据,基于传统 DEA 分配模型和 DEA-CEA 模型分别进行计算,并与 2010 年实际情况进行对比分析,结果显示:在相同生产水平和减排约束下,DEA-CEA 模型分配结果的减排成本更低,减排任务更符合各地区实际情况,从而更有利于地区经济协调发展,地区间分配配额的差距有所减小进而有助于提高减排政策的可执行性。

关键词: 数据包络分析 (DEA); CO₂ 排放; 配额分配

中图分类号: F273

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2013)04-0007-07

一、问题的提出

当前国际学术界的主流观点认为,过去一个世纪全球平均温度上升了 0.74℃,而全球气候变暖与人类化石能源使用相关活动有直接关系,据测算,在各类温室气体中,CO₂ 对大气升温影响超过 50%^[1],控制以 CO₂ 为主的温室气体排放成为减缓全球气候变暖对人类生产生活影响的重要途径^[2]。

为了建设资源节约型和环境友好型社会,实现经济社会可持续发展,我国提出到 2020 年 CO₂ 排放强度比 2005 年下降 40%~45% 的减排目标。实现这一目标的重要前提是将该排放强度下降的国家整体目标在各地区间进行合理的分解^[3-4]。而上述减排目标分解一般有三种途径可供选择:通过情景分析,将强度目标转换为总量目标,然后将总量目标分解到各地区,再由各地区分配给各个行业;经过情景分析和目标转换后,将总量目标直接分解到各个行业;直接将强度目标分解到各个地区或行业。比较三种途径,可以发现第二种途径实际操作难度较高,中央政府难以直接调整全国各个行业的排放,直接制定出行业节能减排政策,也需要细化到各地区并依靠各级地区行政单位执行,这本质上与第一种途径是相当的。而第三种途径直接分解强度指标,存在一定困难:各地区的强度目标与全国强度目标间并非简单加总关系;强度目标作为二次指

标,在分解计算时难以直接体现减排目标分解的有效和公平需求。事实上,当前国内外较为常见的减排目标分解方法,大多直接以 CO₂ 排放量作为计算标的指标^[5]。综上,本文考虑采用上述第一种途径研究减排目标的区域分解方式,而在上述途径中,如何将减排量分配给各个地区则是工作的重点。为了比较不同分配方法的差异,可以采用表 1 总结的配额分配中应当遵循的原则进行比较评估。

国家间与省区间的 CO₂ 排放权分配方法有一定差异,但是梳理国家间分配方法对我国国内分配工作有很强的借鉴意义。在大量研究中,不少学者采取单一指标分配地区排放权,例如人均排放相等方案^[6]、历史累计排放方案^[7]、人均历史累计排放方案^[8]、排放主体减排率趋同方案^[9]和国土面积排放相等方案^[10]等。

CO₂ 排放权分配是一个复杂的系统问题,涉及到国民经济的许多方面,参考表 1 中列举的分配标准,可知单一指标法在有效性和易对比性上有较大优势,但也存在不易调和公平性与高效性之间矛盾的劣势,这也导致单一指标法下的分配方案的可行性受限。

为解决上述问题,相关研究又进一步提出了多种综合分配模型。例如三部门法 (Triptych Approach) 作为欧盟采用的核心分配方法,具有很强的代表性^[11-12]。三部门法将一地区能源排放分为三

收稿日期: 2012-12-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71101011,71020107026); 中国清洁发展机制基金赠款项目

作者简介: 王科(1983—),男,博士,讲师,E-mail:wangkebit@bit.edu.cn

表1 CO₂排放配额分配参考原则^[6-8]

原则	内涵
有效	保证各地区的减排目标实现的同时全国的碳强度减排目标也得以完成
可操作性	合理分解节能减排指标。综合考虑经济发展水平、产业结构、节能潜力、环境容量及国家产业布局等因素。此外,分配结果在政策层面也需具有可执行性
易对比	能够通过分配结果,方便、透明、直接地对比出各地区所承担责任的不同以及原因
高效	不同于国与国之间分配,在一国内各地区间分配排放配额,应当首先考虑国家整体的效率最优。当前阶段,我国设定和分配减排目标的目的是促进经济结构加速转型,提高能源效率与节约能源并减少污染,促进经济社会协调可持续发展
公平	在保证全国整体经济高效运行的同时,减排目标的分配不能过分拉大各地区间经济发展差距。CO ₂ 排放权作为自然人的基本权利必须得到保障,因此要充分考虑人均公平的约束或原则

个部分:电力、工业和其他行业部门的排放,在分配排放配额时,电力部门侧重考虑能源结构,工业部门侧重考虑能源效率,其他行业侧重考虑生活福利(以人均GDP和人均CO₂排放代表)。此外还有一类模型在分配排放配额时借鉴一些其他领域采用的数学工具,使计算结果更具有说服力,例如基于运筹学数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)的排放配额分配方法。与其他方法相比,DEA模型的优势在于其可以设置多个投入/产出参数和多种约束条件,并通过不同参数设置反映排放配额分配中需要考虑的各类因素,通过不同约束条件的构造体现排放配额分配的各类原则和标准,进而使模型的内涵更加丰富,并扩大了模型的适用范围。

Wang K(2013)的研究指出,区域间CO₂排放配额分配问题一般被视为一种总量控制下的成本分配问题,可以采用总量控制DEA方法对其进行求解^[13]。Cook(1999)为解决固定成本分摊问题,较早地提出了基于DEA的资源配置方法,该方法的分配原则是资源重新配置后各DMU效率情况与分配前保持一致^[14]。后来Cook扩展了该方法,使之既可以基于面向投入的DEA模型,又可以基于面向产出的DEA模型,同时扩展的模型也考虑了应对规模收益可变的情况^[15]。但是该方法有一个缺陷,其资源配置的最终结果仅与各DMU的投入量有关,产出量在资源分配过程中的作用被忽视了。与上述模型不同,Beasley提出了一系列非线性的扩展DEA资源配置方法,即FCAM(Fixed Cost Allocation Model)模型,该模型在资源分配时不仅考虑了投入量,也考虑了产出量^[16]。该方法假定某项待分配的总量固定成本是各个DMU的一项新的投入,以追求所有DMU的平均效率最大为目标,采用分配比例趋同原则,将总固定成本分配给各个DMU。此外Lozano(2004)提出了一种中央化(Centralized Resource Allocation)CRA-DEA资源分配方法,该方法假设在资源配置过程中存在一个中央决策者,有权力决定各DMU可以获得的资源配额,而该方法的分配原则是通过中央调

控所有DMU的投入量之和最小化或产出量之和最大化以实现所有DMU的总体效率最大化^[17]。该方法只适用于存在中央决策者能够对各DMU的投入产出选择有控制权的情况。

上述DEA模型主要针对资源总量不受约束的资源自由配置问题,而受控资源DEA配置方法则主要包括结合零和博弈思想的非线性DEA资源配置模型和参数DEA资源配置模型。在待分配资源总量固定问题中,各DMU的某种投入或产出量并非独立,而是受到其他DMU的该种投入或产出量的制约,为解决这样的受控资源配置问题,Lins(2003)最早提出了零和博弈(Zero Sum Gains)ZSG-DEA方法,该方法假设任何DMU为达到效率前沿面而增加产出(或减少投入)都将导致其他部分或全部DMU相应地减少产出(或增加投入)以维持投入或产出总量的固定,进而导致投入或产出量在所有DMU之间进行重新分配并改变原效率前沿面的位置^[18]。ZSG-DEA的机制很好地反映了受控资源通过效率竞争方式进行配置的思想,是一种优秀的资源配置方法,但该模型属于非线性规划,求解相对困难。

参数DEA资源配置方法引入了由参数方法构造的效率前沿面。Avellar(2005)提出了一种双曲线前沿面(hyperbolic frontier model)HFM-DEA资源分配模型,该HFM-DEA模型考虑产出总量固定的约束,采用参数方法构造了一个双曲线前沿面,使得资源重新配置后的所有DMU均移动到该效率前沿面上^[19]。类似的,Avellar(2007)提出了一种球面前沿面(spherical frontier model)SFM-DEA资源分配模型,采用该SFM-DEA模型对资源进行重新配置后,所有的DMU均移动到球心在原点的球面效率前沿面的第一象限部分上,这样的配置保证了所有DMU均能达到强CCR有效^[20]。Guedes(2012)在SFM-DEA模型的基础上加入了对各投入产出项的倾向性调节参数,进一步提出了调整球面前沿面(adjusted spherical frontier model)ASF-DEA模型^[21]。Milioni(2011)又扩展了SFM-DEA方法,提出了用于分配

固定总量投入资源的椭球面前沿面(ellipsoidal frontier model)EFM-DEA资源分配模型^[22],该模型较SFM-DEA模型更加一般化,可以通过调节以椭球的离心率表征的权重系数来构造不同形状的前沿面,进而使得可以采用不同的资源分配方案将各DMU以不同的路径移动到效率前沿面上。非参数DEA资源配置方法可以事先设置一些期望的效率前沿面,通过资源配置将所有DMU移动到前沿面上以实现全体DMU的有效,但是该方法较非参数DEA资源配置方法在计算上更加复杂。

以上各个DEA模型中,ZSG-DEA模型更侧重于效率评估,应用于资源分配领域时,一般需要多次迭代计算^[23]。FCAM在设计时,只考虑将DMU间的比例趋同作为体现公平的手段,因此在应用中往往会产生DMU之间分配差距过大的问题,从而在政策实施层面产生阻力^[24]。CRA-DEA模型用于排放配额分配时,先要对CO₂排放量进行控制,然后再尽可能提高各地GDP,这一机制与实际经济发展和节能减排的过程有一定偏差。以SFM模型为代表的一系列参数DEA模型在计算时需要加入预定参数,而如何理解参数含义以及如何设定参数值目前尚有一些争议^[25]。FCAM的计算原理简洁清晰、易于理解,但是该模型采用的各个DMU在其区间内取值比例趋同以体现资源配置的公平性这一原则,可能会拉大高绩效单元和低绩效单元间的差距。因此,本文以FCAM模型为基础,以人均趋同的公平原则为限制条件,提出了一种修正的针对省际CO₂排放配额分配的DEA资源分配模型:DEA-CEA(Dea based carbon emission allocation for China)模型,基于该模型,使用2010年数据对中国各省CO₂排放权进行了分配计算,并基于表1中所列各项标准,将计算结果与2010年各省真实排放数据进行对比,检验模型的可行性和适用性。

二、模型的构建

本文基于2010年各省能源消费与经济发展数据,使用FCAM和DEA-CEA模型,分别计算得出2010年各省CO₂排放配额的分配方案。将这两种分配方案与2010年各省的实际排放量对比,研究FCAM与DEA-CEA模型在CO₂排放配额分配问题上各自的特点。

(一)FCAM模型

Beasley(2003)认为,决策者不仅期望通过资源配置提高单个DMU效率,更关注待分配对象整体绩效的提升,因此使用一次整体平均效率优化代替

多次单个DMU效率优化,同时基于比例趋同思想,设计了一种新的分配固定成本的FCAM模型。

该模型假定有 n 个DMU _{q} ($q=1,2,\dots,n$),每个DMU有 s 种产出和 m 种投入。 y_{rq} 代表DMU _{q} 的第 r ($r=1,2,\dots,s$)种产出; x_{iq} 代表第 i ($i=1,2,\dots,m$)种投入; α_r 为对应第 r 种产出的权重系数; β_i 为对应第 i 种投入的权重系数; e_q 是DMU _{q} 相对于全部DMU的效率值。集合 S 包含所有已经分配完毕的DMU, F_q 是集合 S 中的DMU _{q} 的分配结果; ε 是非阿基米德无穷小数,计算上常取 $\varepsilon=10^{-6}$ 。在固定成本条件下,令 F 代表将要分配给各个DMU的某项总量固定的成本(或投入); f_q 代表分配给DMU _{q} 固定成本(或投入),于是有规划(1)

$$\begin{aligned} & \max \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n e_q \\ \text{s.t.} & \frac{\sum_{r=1}^s \alpha_r y_{rq}}{f_q + \sum_{i=1}^m \beta_i x_{iq}} = e_q \\ & 0 \leq e_q \leq 1, \quad q=1,2,\dots,n \\ & \alpha_r \geq \varepsilon, \beta_i \geq \varepsilon, \quad i=1,2,\dots,m, \quad r=1,2,\dots,s \\ & \sum_{q=1}^n f_q = F \\ & f_q = F_q, \quad \forall q \in S \end{aligned} \quad (1)$$

计算规划(1),可以得到最优解 $\frac{1}{n} \sum_{q=1}^n e_q = E^*$,

将其作为新的约束纳入规划(1),并以 $\min f_q$ 为目标函数,求出每个DMU _{q} 对应的 f_q 的最小值,记为 $f_{q \min}$,同理,以 $\max f_q$ 为目标函数,求出每个 f_q 的最大值,记为 $f_{q \max}$ 。这样,每个 f_q 的取值都应当被限定在 $[f_{q \min}, f_{q \max}]$ 内。由于DEA模型倾向于使各个DMU的效率最大化,那么最后的分配情况会使每个 f_q 都倾向取 $f_{q \min}$,如此就有可能使被分配量 F 最后没有分完。为了实现DMU间公平、充分地分配 F ,就要让每个 f_q 都能以尽量相同的比例在 $[f_{q \min}, f_{q \max}]$ 内取值,因此有规划(2)如下

$$\begin{aligned} & \min p_{\max} - p_{\min} \\ \text{s.t.} & p_{\max} \geq (f_q - f_{q \min}) / (f_{q \max} - f_{q \min}) \\ & p_{\min} \leq (f_q - f_{q \min}) / (f_{q \max} - f_{q \min}), \quad q=1,2,\dots,n \\ & p_{\max} \geq 0, p_{\min} \geq 0 \\ & \frac{\sum_{r=1}^s \alpha_r y_{rq}}{f_q + \sum_{i=1}^m \beta_i x_{iq}} = e_q, \quad 0 \leq e_q \leq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n e_q = E^*, \sum_{q=1}^n f_q = F \\ & f_q \geq 0, q=1, 2, \dots, n \\ & f_q = F_q, \forall q \in S \\ & \alpha_r, \beta_i \geq \varepsilon, r=1, 2, \dots, m, i=1, 2, \dots, s \end{aligned}$$

规划(2)的最优解为 p^* , 将此代入规划(2)中作为约束, 求 $\max f_q$ 和 $\min f_q$ 。若此时得到 $\max f_q = \min f_q$, 则说明 f_q 已经被唯一确定, 可令 $f_q = F_q$ 。如果此时得到 $\max f_q \min f_q > 0$, 则说明固定成本(或投入)还有余量, 此时设 DMU_q 为已确定分配值的决策单元, DMU_k 为尚未分配完毕的决策单元, 令 $f_{k\max}, f_{k\min} = f_{q\max}, f_{q\min} (q=1, 2, \dots, n, q \notin S)$, $F_k = (f_{k\max}, f_{k\min})/2$, 从而使 f_k 从一个较小的位于区间 $[f_{k\max}, f_{k\min}]$ 内的可变值, 变为 $(f_{k\max} - f_{k\min})/2$ 。变动完后, 将其他尚未确定分配量的 DMU 代入上述规划重新进行优化计算。

(二)DEA-CEA 模型

在当前经济发展和气候变化大背景下, CO_2 排放权有可能逐渐成为一种稀缺资源, 具有经济价值^[28]。而目前在我国国内, 促进经济发展仍是中心任务, 因此减排目标的分解或排放配额的分配需要在一定程度上体现发展效率优先的原则。排放权与发展权、生存权一样, 是每个公民应当享有的基本权利, 这就意味着在制定和分解减排目标时, 也需要尽量照顾到人均分配的公平。另外, 制定减排政策时, 必须考虑政策本身的实施成本, 合理设计减排策略以减少实施的阻力。

基于以上思考, 本文按照以下原则设计 DEA-CEA: (1) 优先保证分配效率, 这体现在模型中即以总平均效率 E 最大化为优化目标。(2) 要体现人均公平原则, 这体现在模型中即要求 f_q 在 F 中所占比例与该省人口在全国人口中所占比例尽量接近。(3) 省际排放配额分配所得出的分配方案要将全国总排放量分配完毕。

DEA-CEA 模型变量和参数的设置与 FCAM 一致, 其生产可能集为

$$\begin{aligned} T_{DEA-CEA} = \{ (x, f, y) \mid & \sum_{q=1}^n \lambda_q x_q \leq x, \sum_{q=1}^n f_q = F, \\ & \sum_{q=1}^n \lambda_q y_q \geq y, \lambda_q \geq 0, j=1, 2, \dots, n \} \end{aligned}$$

考虑如下计算过程:

第一步, 确定整体最优平均效率值。求解规划(1), 记 E^* 为规划(1)的最优解。为保证系统效率不衰退, 在随后的各个步骤中, 均把 $\frac{1}{n} \sum_{q=1}^n e_q \geq E^*$

纳入约束条件。

第二步, 求 f_q 的变动范围。分别以 $\min f_q$ 和 $\max f_q$ 为目标求解规划(3)

$$\begin{aligned} & \max/\min f_q \\ & \sum_{r=1}^s \alpha_r y_{rq} \\ \text{s.t.} \quad & \frac{\sum_{r=1}^s \alpha_r y_{rq}}{f_q + \sum_{i=1}^m \beta_i x_{iq}} = e_q \\ & 0 \leq e_q \leq 1, q=1, 2, \dots, n \\ & \sum_{q=1}^n f_q = F \\ & f_q \geq 0, q=1, 2, \dots, n \\ & \alpha_r \geq \varepsilon, \beta_i \geq \varepsilon, r=1, 2, \dots, m, i=1, 2, \dots, s \\ & \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n e_q \geq E^* \end{aligned} \tag{3}$$

记规划(3)所得最小最优解为 L_q , 最大最优解为 U_q , 一般的 DMU 均有 $L_q < U_q < f_q$, 如果个别 DMU 有 $L_q = U_q = f_q$, 则说明 DMU_q 的分配结果已经被确定。

第三步, 确定每个 DMU 的分配量。设 p_q 为 DMU_q 中人口数目, P 为全国人口总数。为使分配体现人均分配公平, 要使 f_q 在 F 中所占比例与 p_q 在 P 中所占比例尽量接近。为了使全国总公平性达到最优, 需要求 $\min \sum_{q=1}^n |f_q/F - p_q/P|$, 设 $\varphi_q = p_q/P$, 则有规划(4)

$$\begin{aligned} & \min \sum_{q=1}^n \left| \frac{f_q}{F} - \varphi_q \right| \\ \text{s.t.} \quad & f_q \geq L_q, f_q \leq U_q, q=1, 2, \dots, n, q \notin S \\ & \sum_{r=1}^s \alpha_r y_{rq} \\ & \frac{\sum_{r=1}^s \alpha_r y_{rq}}{f_q + \sum_{i=1}^m \beta_i x_{iq}} = e_q \\ & 0 \leq e_q \leq 1, q=1, 2, \dots, n \\ & \sum_{q=1}^n f_q = F \\ & f_q \geq 0, q=1, 2, \dots, n \\ & \alpha_r \geq \varepsilon, \beta_i \geq \varepsilon, r=1, 2, \dots, m, i=1, 2, \dots, s \\ & \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n e_q \geq E^* \end{aligned} \tag{4}$$

为求解带绝对值的目标函数, 可设以下中间变量: $u_q = (|f_q/F - \varphi_q| - f_q/F + \varphi_q)/2$, 以及 $v_q = (|f_q/F - \varphi_q| - f_q/F + \varphi_q)/2$, 由此可以得出 $|f_q/F - \varphi_q| = u_q + v_q, f_q = F(u_q - v_q + \varphi_q)$ 。由于 φ_q, F 已知, 易由 f_q 的范围拓展求得 u_q 和 v_q 的

范围,此时规划(4)转变为有规划(5)

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{q=1}^n u_q + v_q \\
 \text{s.t. } & u_{q\min} \leq u_q \leq u_{q\max} \\
 & v_{q\min} \leq v_q \leq v_{q\max}, q=1, 2, \dots, n, q=1, 2, \dots, n, q \notin S \\
 & e_q = \frac{\sum_{r=1}^s \alpha_r y_{rq}}{F(u_q - v_q + \varphi_q) + \sum_{i=1}^m \beta_i x_{iq}} \\
 & \sum_{q=1}^n u_q - v_q + \varphi = 1 \tag{5} \\
 & u_q - v_q + \varphi_q \geq 0, q=1, 2, \dots, n \\
 & 0 \leq e_q \leq 1, q=1, 2, \dots, n \\
 & \alpha_r \geq \varepsilon, \beta_i \geq \varepsilon, r=1, 2, \dots, m, i=1, 2, \dots, s \\
 & \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n e_q \geq E^*
 \end{aligned}$$

用 G_q^* 表示模型(5)的最优解,则 f_q 为 $F(\varphi_q + G_q^*)$ 或 $F(\varphi_q - G_q^*)$,又由于 $f_q \in [L_q, U_q]$,此时可以得到 f_q 的唯一解。

三、指标选取与数据来源

CO₂ 排放配额分配问题,不仅仅是一个环境问题,更是一个涉及到多种因素的社会经济问题^[26]。本文结合已有研究成果^[27-28],设定投入指标为地区资本形成总额、从业劳动力和能源消费量;产出指标为国内生产总值;参考指标为各省人口数。由于本文要将 CO₂ 排放配额分配给各省,全国 CO₂ 排放量总量受控,CO₂ 排放权可以被视为一种资源,因此可以将 CO₂ 排放量配额作为一种投入指标。

本文对我国 30 个省、自治区和直辖市(西藏、台湾、香港和澳门除外)的数据进行收集整理和计算,其中的能源消费数据来源于《中国能源统计年鉴 2011》;CO₂ 排放数据以各省各类能源消费量为依据,根据各类能源发热系数、排放系数和碳氧化率估算得到,相关系数取自发改委推荐值和 IPCC 国家温室气体排放清单指南中的推荐标准;GDP 数据、资本形成总额和劳动力数据来自《中国统计年鉴 2011》,同时将 GDP 和资本形成总额数据按 2005 年不变价折算,各个指标的描述性统计如表 2 所示。

表 2 2010 年各地区主要数据的描述性统计

指标	单位	均值	标准差	最小值	最大值
国内生产总值	亿元	12 146.6	9 835.9	1 006.7(青海)	40 160.80(广东)
资本形成总额	亿元	6 934.1	4 652.7	880.1(青海)	18 774.80(山东)
能源消费量	万吨标准煤	12 983.7	8 172.4	1 358.5(海南)	34 807.80(山东)
从业劳动力	万人	2 555.3	1 700.9	294.1(青海)	6 041.61(河南)
CO ₂ 排放量	亿吨	28 117.0	18 963.9	2 651.6(海南)	81 002.10(山东)
人口	万人	4 432.6	2 707.2	563.0(青海)	10 430.00(广东)

四、分配结果分析

本文基于 Lingo 9.0 平台开发 FCAM 和 DEA-CEA 模型,采用上文的指标和数据分别进行计算,得到两套 CO₂ 排放配额分配方案,运算结果如图 1 所示。通过与 2010 年我国 30 个省实际测算的排放情况对比,分析得出如下结果。

(一)DEA-CEA 模型的配额分配方案的减排成本更低

在其他投入如资本形成总额、从业劳动力和能源消费量不变的情况下,单独增加 CO₂ 排放配额,并不能带来经济效益的提高。但是缩减 CO₂ 排放配额,必然减少产出。因此,减排成本的高低,取决于模型最后计算结果中 CO₂ 排放量的削减程度。分别使用 FCAM 模型和 DEA-CEA 模型计算全国各地区平均效

率,得到最优解 $E_{FCAM}^* = E_{DEA-CEA}^* = 1$ 。FCAM 模型中含有约束 $\sum_{q=1}^n e_q / n = E_{FCAM}^*$,因此可以保证 FCAM 模型分配方案的全国平均效率为 1;DEA-CEA 模型中含有约束 $\sum_{q=1}^n e_q / n \geq E_{DEA-CEA}^*$,又由 DEA 有关效率定义,知 $e_q \leq 1$,当 $E^* = 1$ 时, $\sum_{q=1}^n e_q / n = 1$ 与 $\sum_{q=1}^n e_q / n \geq 1$ 的含

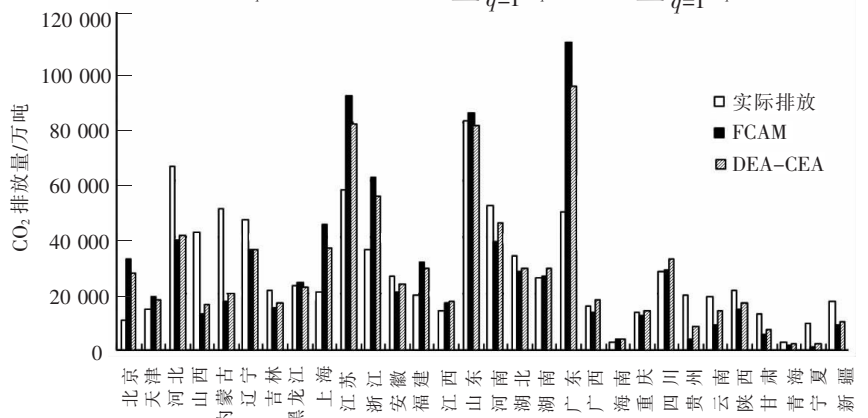


图 1 两种模型分配结果和 CO₂ 实际排放比较

义相同,因此DEA-CEA模型分配方案的全国平均效率与FCAM模型相等且都为1。此时,FCAM的计算结果要求全国CO₂减排188 695万吨(仅计入被要求减少CO₂排放量的地区),而DEA-CEA模型的计算结果显示,全国减少CO₂排放149 084万吨。即在全国效率都达到1的前提下,DEA-CEA模型要求减排总量要大大低于FCAM模型,减排成本也低于FCAM模型。

(二)DEA-CEA的配额分配方案更有利于促进经济协调发展

在当前的发展阶段,我国排放控制和配额分配政策实施的根本目的是提高能源利用效率,优化经济结构,缩减发达地区与不发达地区的经济差距,实现社会经济的可持续发展,同时达到减少CO₂排放量和保护环境的目的。从图2中可以看出,FCAM模型的计算结果与DEA-CEA模型的计算结果方向基本一致。在对象选择上,河北、山西和内蒙古为代表的能源消费大省和以新疆、河南、云南为代表的中西部效率较低省份成为减排重点。但是具体量值有很大差别。

在FCAM计算结果被要求减排的省份中,除山东、黑龙江以外,其他各省减排任务在DEA-CEA模型下均有所下降。山东省在DEA-CEA模型的计算结果中变为有减排任务省。山东是我国经济较发达的省份,在保证全国效率提升的条件下,令其承担更多减排任务也符合其实际减排能力。黑龙江省在FCAM模型中增加了4.28%的排放配额,而在DEA-CEA模型中缩减了1.07%的排放配额。这是由于黑龙江省人口相对较少而重工业、冬季采暖和能源开采等排放较多,导致在DEA-CEA模型中被要求减排。同时,1.07%的减排量对其经济也不会造成大的冲击。由以上分析可以看出,DEA-CEA模型在保证经济效率和排放总量不变的前提下,不仅减排任务较轻,而且比FCAM在计算结果上更好的体现出了

东西部地区的不同发展状态和排放需求,分配结果更有利于各地区的经济可持续发展。

(三)DEA-CEA模型的配额分配方案更有利于政策执行

制定CO₂减排政策必须考虑政策的可执行性,各地区间配额量差别过大会增加政策执行阻力。在达到相同效率的前提下,能尽可能缩小地区间减排任务的差异,则有助于政策实施。

FCAM和DEA-CEA模型都使用各地区能源平衡表中的各项能源消费量数据计算CO₂排放量,从图1可以看出,FCAM的运算结果的波动程度要较DEA-CEA模型的结果大。FCAM分配方案中各地区排放配额的变异系数为0.924 4,而DEA-CEA模型分配方案中各地区排放配额的变异系数为0.796 2。这说明DEA-CEA模型在一定程度上缓解了FCAM分配方案中不同地区间CO₂排放配额分配差距过大的问题。在同等效率下,分配差距相对较小的方案更容易被各地区接受。

五、结论

本文在前人研究的基础上,归纳了比较和评价各种CO₂排放配额分配方式的参考标准,分析了在地区层面进行CO₂排放配额分配研究的必要性,指出在地区间进行配额分配应该兼顾效率与公平的原则,进而在FCAM模型的基础上,引入人口指标作为调节因素,构建了DEA-CEA模型。为了比较两种模型的特点,使用2010年数据,分别基于FCAM模型和DEA-CEA模型计算得到了两个排放配额分配方案,并分别与我国2010年各地区实际的CO₂排放情况进行对比。与传统DEA模型相比,在相同的生产水平和相同的减排约束下,DEA-CEA模型下分配方案的总减排成本更低。从各地区的分配结果看,DEA-CEA模型所分配的减排任务更符合各地区实际情况,西部省份、人口大省以及经济欠发达省份的

减排任务有所下降,沿海发达地区的减排任务有所增加,因此减排任务的分解有助于促进各地区经济的协调发展。已有研究中指出FCAM模型分配结果的地区间差距过大,而DEA-CEA模型在一定程度上缓解了这一问题,其分配结果的波动程度相对较小,因此在一定程度上更有利于减排政策的执行。

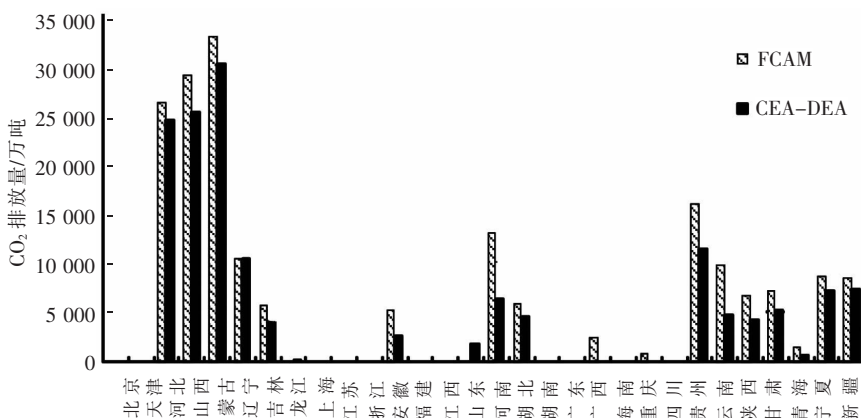


图2 两种模型下的CO₂减排量比较

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis[M]. New York: Cambridge University Press, 2007:996.
- [2] 魏一鸣,刘兰翠,范英,等. 中国能源报告(2008):碳排放研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008:13.
- [3] Yi W, Zou L, Guo J, Wang K, Wei Y M. How can China reach its CO₂ intensity reduction targets by 2020? a regional allocation based on equity and development[J]. Energy Policy, 2011(39):2407-2415.
- [4] 王科, 魏一鸣. 我国区域能源效率指数分析与展望[J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(4):493-501.
- [5] 饶蕾, 曾骋, 张发林. 欧盟碳排放交易配额分配方式对我国的启示[J]. 环境保护, 2009, 419(5):66-68.
- [6] Grubb M. The greenhouse effect: negotiating targets[J]. International Affairs, 1990, 66(1):67-89.
- [7] Baumert K A, Bhandari R, Kete N. What might a developing country climate commitment look like [M]. World Resources Institute, 1999:56.
- [8] 丁仲礼, 段晓男, 葛全胜, 等. 2050年大气CO₂浓度控制: 各国排放权计算[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2009, 39(8): 1009-1027.
- [9] Grübler A, Nakicenovic N. International burden sharing in greenhouse gas reduction [M]. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 1994:19.
- [10] Westing A H. Law of the air[J]. Environment, 1989, 31(3):3-4.
- [11] Phylipsen G, Bode J W, Blok K. A triptych sectoral approach to burden differentiation, GHG emissions in the European bubble[J]. Energy Policy, 1998, 26(12):929-943.
- [12] 王金南, 蔡博峰, 曹东, 等. 中国CO₂排放总量控制区域分解方案研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(4):680-685.
- [13] Wang K, Zhang X, Wei Y M. Regional allocation of CO₂ emissions allowance over provinces in China by 2020 [J]. Energy Policy, 2013, 54: 214-229.
- [14] Cook W D, Kress M. Characterizing an equitable allocation of shared costs: a DEA approach[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 119(3):652-661.
- [15] Cook W D, Zhu J. Allocation of shared costs among decision making units: a DEA approach [J]. Computers and Operations Research, 2005, 32(8):2171-2178.
- [16] Beasley J E. Allocating fixed costs and resources via data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2003, 147(1):198-216.
- [17] Lozano S, Villa G. Centralized resource allocation using data envelopment analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2004, 22(1): 143-161.
- [18] Lins M P E, Gomes E G, Soares De Mello J C C B, et al. Olympic ranking based on a zero sum gains DEA model [J]. European Journal of Operational Research, 2003, 148(2):312-322.
- [19] Avellar J V G, Milioni A Z, Rabello T N. Modelos DEA com variáveis limitadas ou soma constante [J]. Pesquisa Operacional, 2005, 25(1):135-150.
- [20] Avellar J V G, Milioni A Z, Rabello T N. Spherical frontier DEA model based on a constant sum of inputs [J]. Journal of the Operational Research Society, 2007, 58(9):1246-1251.
- [21] Guedes E C C, Milioni A Z, De Avellar J V G, et al. Adjusted spherical frontier model: allocating input via parametric DEA[J]. Journal of the Operational Research Society, 2012, 63(3):406-417.
- [22] Milioni A Z, De Avellar J V G, Gomes E G, et al. An ellipsoidal frontier model: allocating input via parametric DEA[J]. European Journal of Operational Research, 2011, 209(2):113-121.
- [23] Hu J L, Fang C Y. Do market share and efficiency matter for each other? an application of the zero-sum gains data envelopment analysis[J]. Journal of the Operational Research Society, 2010, 61:647-657.
- [24] 李勇军. 基于DEA理论的固定成本分摊方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.
- [25] 廖华, 魏一鸣. “十二五”中国能源和碳排放预测与展望[J]. 中国科学院院刊, 2011, 26(2):150-153.
- [26] 段美宁, 房斌, 廖华. 中国区域GDP发展质量评价——基于方向距离函数的研究[J]. 中国能源, 2011, 33(6):21-27.
- [27] Zhou P, Ang B W, Poh K L. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 189(1):1-18.
- [28] Wang K, Zhang X, Wei Y M. A comparative analysis of China's regional energy and emission performance: which is the better way to deal with undesirable outputs[J]. Energy policy, 2012(46):574-584.

Demand-side Research on Supporting Infrastructure Layout of the Electric Vehicles in China:

—Based on Consumer Preference Analysis of the Logit Regression Method

TANG Baojun, ZHENG Xi

(Center for Energy and Environmental Policy Research, School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Starting from consumer preferences, via a series of field interviews and questionnaire surveys, accessing to the demand-side of the first-hand data and using factor analysis and the Logit regression, the paper draws a conclusion that consumers pay attention to social-environmental benefits, technology properties, internal conditions and external attributes which constitute four main factors of supporting infrastructure layout. In addition, consumers' awareness of the car has also changed, who pay more attention to the attitude of energy saving and emission reduction, preferring to buy more energy saving and better environmental-friendly models. On the basis of demand-side research, based on the actual situation of Chinese electric vehicle industry and its charging infrastructure, we can overcome technical bottlenecks, promote decentralized charging piles, integrate oil and electricity refueling station, and take full account of consumer preferences to further improve the supporting infrastructure layout of Chinese electric vehicles and promote the industrialization of electric vehicles.

Key words: electric vehicles(EVs); factor analysis; logit regression; facility layout; consumer preferences

[责任编辑:孟青]



(上接第 13 页)

DEA-based Carbon Emission Allowance Allocation Modeling and Application

WANG Ke, LI Mojie

(Center for Energy and Environmental Policy Research, School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The method of achieving the 12th Five-Year Plan's carbon emission reduction goal becomes an important issue in the field of energy and economic policy. Regional carbon emission allocation is proved to be an effective way to solve this problem. This paper proposes a DEA-CEA (DEA based Carbon Emission Allocation) model for carbon emission allowance allocation in China. The DEA-CEA, which is efficiency-oriented and subjected to population proportion, addresses the problem of distributing the national carbon emission permit among the provinces by treating the permit as a kind of fixed total cost. Both efficiency and fairness are considered in the DEA-CEA model. Two provincial allocation scenarios are proposed based on the data of 2010. The results show that, under the same production level and same emission reduction constraint, the DEA-CEA model has a better performance. Firstly, DEA-CEA model provides an emission reduction scheme with a lower cost. Secondly, such scheme can effectively reflect the characteristics of different regions and balance the regional economic development. Thirdly, the difference on the emission reduction burdens between different regions are reduced under DEA-CEA model, and therefore the related emission reduction policy is more enforceable.

Key words: data envelopment analysis (DEA); CO₂ emissions; allowance allocation

[责任编辑:孟青]