

# 西部开发中能源配置模型的研究

杨宏林, 田立新, 市文

(江苏大学理学院, 江苏 镇江 212013)

**摘要:** 开发西部丰富的能源资源,解决东部地区能源紧缺的矛盾,是东西部经济合作、优势互补、东西联动双赢战略研究的一项重要课题.在国家投资主体和市场经济条件下,以能源消费效益最大为目标,建立了基于边际效益均衡的能源空间配置优化模型;兼顾经济效益与环境效益的能源部门配置优化模型.结果显示,各地区、部门要获得更多的能源,就必须提高能源的使用效率,提高能源消费的边际效益,降低污染排放水平.

**关键词:** 西部开发;能源配置;边际效益;均衡

## 1 引言

经过改革开放后 20 多年的高速发展,我国东部能源紧缺的矛盾越来越突出,能源短缺已成为东部经济发展的“瓶颈”制约因素.因此,根据我国东部能源不足,而西部具有较大的能源发展空间的现状,开发西部丰富的能源资源,解决东部地区能源供应矛盾,是东西部经济合作、优势互补、东西联动双赢战略研究的一项重要课题,也是西部大开发战略的一项重要内容.经过众多专家论证提出的“西气东输”、“西电东送”等大型能源工程正在实践当中.为方便,我们暂且把东部地区称为受能区.在这些重大能源工程建成之后,国家面临的一个重要问题就是如何合理有效地在东部各受能区之间分配能源,而各个受能区在得到能源之后,也面临着如何在本地区各部门之间合理地配置有限的能源,使得总的经济效益最大.能源资源的配置一般可以从时间、空间、部门三个方面来考虑.关于能源资源的跨时最优配置问题,文 [1] 有详细讨论.在我国,能源的空间配置和部门配置一般是根据各地区的实际需要以及参照往年的实际消费量根据经验进行配置.多年来,在“粗放型”经济增长模式之下,实行非经济性的能源供给机制<sup>[2]</sup>.这种机制的重要特征是,能源生产部门向各省区、各部门提供能源是由行政性计划安排的,没有价格对消费的约束,消费者对能源的需求是无限限制的.随着我国经济增长方式的转变和市场经济体制的确立及进一步完善,能源的非经济性配置机制已逐步为经济性配置机制所替代.市场这只“看不见的手”在能源配置中的基础性作用越来越突出,能源的价格开始对需求产生约束作用,国内能源形势正在发生深刻的变化.我们必须清醒地认识到能源资源的稀缺性及我国能源面临的严峻形势.我国人均能源量相对匮乏;分布不均匀;结构不合理;能源工业技术水平低下;能耗水平高,能源利用率低;农村能源问题日趋突出;能源环境问题日趋严重,制约了经济社会发展<sup>[3]</sup>.因此,能源作为稀缺资源,在各省区的基本用能得到保证之后,在国家投资主体和市场经济条件下,能源配置应

收稿日期: 2004-03-18

基金项目: 国家自然科学基金 (90210004); 国家社会科学基金 (02BJY051); 江苏省教育厅哲学社会科学项目

(05SJD790061)

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

该追求经济效益最大.本文采用边际效用理论,基于边际效益均衡原理建立了能源空间配置优化模型及能源部门配置优化模型.

## 2 能源空间配置模型

### 2.1 模型的建立

一个地区用能可分为基本用能和经济发展用能,基本用能是指一个地区各行业维持生产及居民维持生活的用能量,这一部分用能对各地区来讲都是必须满足的,可以在用能总量中一次性扣除.剩余的能源作为经济发展用能,从国家、各地区经济发展和环境保护角度来讲,经济发展用能的配置应该以经济效益和环境效益及社会效益最大为目标,实行优化配置.本文只考虑经济发展用能的配置问题.

根据经济学中边际产出的概念,能源消费的边际效益是指在其他生产要素都不变的条件下,在当前用能量的基础上每增加一单位用能,所增加的产值.需要注意的是,能源消耗在带来经济产出的同时一般都伴随着污染的产生.因此,在进行能源配置时,应同时考虑经济效益和环境效益,从而使能源使用的整个社会效益最优.

设  $t$  时刻从西部调入东部的能源总量为  $E$ , 这些能源在东部各个受能区的不同分配方案,会产生不同的经济效益和环境效益.从国家角度考虑,分配方案应使总的社会效益最大.为方便,在能源的空间配置模型中,我们暂不考虑环境效益.即国家以经济效益最大为目标,在各受能区之间进行能源配置.

设东部有  $N$  个受能区(实际操作中可按行政区域划分),各受能区自己可供经济发展用能量为  $Q_0, i = 1, 2, \dots, N$ . 假设各地区总是先用本地能源,然后用西部输入的能源.设各受能区能源消费的边际效益为  $f_i = f_i(Q_0)$ , 可由各受能区的实际数据利用二次函数进行拟合.将各受能区按其能源利用的边际效益从大到小进行重新编号.不失一般性,不妨设  $f_i > f_j, \forall i < j$ .

现在的问题是,已知输入能源总量  $E$ , 要求各受能区的受能量  $E_i$ , 以最大化能源配置后的经济效益,设各受能区接受能源后的经济效益为

$$U_i = \int_{Q_0}^{Q_i} f_i(Q) dQ = \int_0^{E_i} f_i(Q_0 + E_i) dE_i.$$

则有以下优化问题

$$\text{Max } U = \sum_{i=1}^N U_i = \sum_{i=1}^N \int_{Q_0}^{Q_i} f_i(Q) dQ = \sum_{i=1}^N \int_0^{E_i} f_i(Q_0 + E_i) dE_i \quad (1)$$

$$\text{s. t. } E = \sum_{i=1}^N E_i \quad (2)$$

$$\frac{df_i(Q)}{dQ_i} = \frac{df_i(Q_0 + E_i)}{dE_i} < 0 \quad (3)$$

其中  $Q_i = Q_0 + E_i$  为第  $i$  受能区总的能源消费量,式(3)为能源消费边际效益递减约束.

### 2.2 模型的求解

上述优化问题是一个条件极值问题.因此,构造如下拉格朗日乘数函数

$$L = U + \lambda(E - \sum_{i=1}^N E_i) \quad (4)$$

则有

$$\frac{dL}{dE_i} = \frac{d\left(U + \lambda\left(E - \sum_{i=1}^N E_i\right)\right)}{dE_i} = f_i(Q_{i0} + E_i) - \lambda = 0 \quad (5)$$

且

$$\frac{d^2L}{dE_i^2} = \frac{df_i(Q_{i0} + E_i)}{dE_i} < 0 \quad (6)$$

由式(5)可得

$$f_i(Q_{i0} + E_i) = \lambda, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

当式(7)成立,即各受能区的能源消费的边际效益都等于 $\lambda$ 时,总的经济效益最大.

由式(7)得

$$Q_i = Q_{i0} + E_i = f_i^{-1}(\lambda) \quad (8)$$

其中 $f_i^{-1}(\cdot)$ 表示 $f_i(\cdot)$ 的反函数.为方便,不妨设 $f_i^{-1}(\cdot) = g_i(\cdot)$ .则有

$$E_i = g_i(\lambda) - Q_{i0} \quad (9)$$

以上各式中的 $\lambda$ 可由下列方法求得.由式(2),(9)可得

$$\sum_{i=1}^N g_i(\lambda) - \sum_{i=1}^N Q_{i0} = E \quad (10)$$

由以上分析过程可见, $\lambda$ 可解释为各受能区的能源消费的均衡边际效益.

对以上求解结果解释如下:首先给能源边际效益最大的1号受能区供能,由边际效用递减原理知,随着1号受能区供能量的增加,其能源利用的边际效益开始减小,当其边际效益等于2号受能区的边际效益时,即 $f_1(Q_{10} + E_1^2) = f_2(Q_{20})$ 时,开始对1号和2号受能区同时供能,其中 $E_1^2$ 表示2号受能区开始接受分能时1号受能区已经分到的能源量,而 $Q_{10} + E_1^2$ 为2号受能区的能源边际效益对应于1号受能区的用能总量.当1号和2号受能区的边际效益递减到等于3号受能区的边际效益时,开始对1 2 3号受能区同时供能,以此下去,直到 $E$ 全部被分配完.也就是说,在多个受能区之间进行能源配置,要保证各个受能区能源消费的边际效益均衡,才能使能源在各受能区产生的总的经济效益最大.

因此,能源空间配置的边际效益均衡原理可叙述为:当各受能区的能源消费的边际效益均衡时,整个东部地区的能源消费总体经济效益最大.由于模型中没有考虑环境效益,该结论与文[4]的结论类似.

一般地,对 $\forall i < j$ ,可由

$$f_i(Q_{i0} + E_i^j) = f_j(Q_{j0}) \quad (11)$$

确定何时对 $j$ 号受能区供能.其中 $E_i^j$ 表示 $j$ 号受能区开始接受分能时, $i$ 号受能区已经接受的能源量. $Q_{i0} + E_i^j$ 为 $j$ 号受能区的能源边际效益对应于 $i$ 号受能区的用能量,记为 $Q_{i0}^j = Q_{i0} + E_i^j$ .若记 $y_{j0} = f_j(Q_{j0})$ ,则由式(11)可得:

$$Q_{i0}^j = f_i^{-1}(y_{j0}) = g_i(y_{j0}) \quad (12)$$

### 3 能源部门配置模型

各地区在接受国家调拨的能源后,也面临着类似的问题,即如何在当地各部门之间合理地安排有限的能源资源,使得本地区社会效益最大.因为能源消费特别是不可再生能源的消

费往往伴随着巨大的污染,带来损失.所以在考虑这一问题时,除根据当地各部门的能源消费的边际效益的大小,采用和能源空间配置相似的分配方案外,我们同时考虑了能源消费带来的污染损失,或称为环境损失,为方便,不妨以第  $i$  受能区为例进行分析.

设第  $i$  受能区有  $M$  个用能部门,本地区可用于经济发展的能源为  $Q_0$ ,接受输入能源量为  $E_i$ ,各部门能源消费的边际效益记为  $f_{ij}, j = 1, 2, \dots, M$ . 由于技术水平、设备、管理水平等差异,不同部门消费单位能源所产生的污染为  $z_{ij}$  一般不同,不妨称  $z_{ij}$  为部门  $j$  的污染排放水平,  $j = 1, 2, \dots, M$ . 设各部门受能量为  $E_{ij}$ , 则各部门产生污染为  $P_{ij} = z_{ij} E_{ij}$ . 在以上假设之下,有以下优化问题.

$$\begin{aligned} \text{Max } U_i &= \sum_{j=1}^M \int_{Q_j}^{Q_j + E_{ij}} f_{ij}(Q_j + E_{ij}) dE_{ij} \\ \text{Min } P_i &= \sum_{j=1}^M P_{ij} = \sum_{j=1}^M z_{ij} E_{ij} \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^M E_{ij} &= E_i \end{aligned} \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^M Q_j = Q_0 \quad (14)$$

$$\frac{df_i(Q_j + E_{ij})}{dE_{ij}} < 0 \quad (15)$$

其中  $Q_{ij}$  表示当地用于经济发展能源  $Q_0$  在各部门之间的分配量,在模型中不考虑当地能源的配置问题,但其大小会影响各部门接受输入能源时的能源消费的边际效益,从而影响输入能源的配置.  $P_i$  表示接受输入能源量为  $E_i$  对第  $i$  受能区造成的污染总量.

问题可转化为在式 (13)、(14)、(15) 约束下,

$$\text{Max } Y_i = U_i - P_i = \sum_{j=1}^M \int_{Q_j}^{Q_j + E_{ij}} f_{ij}(Q_j + E_{ij}) dE_{ij} - \sum_{j=1}^M z_{ij} E_{ij} \quad (16)$$

构造拉格朗日乘数函数

$$L = Y_i + \lambda_1 (E_i - \sum_{j=1}^M E_{ij}) + \lambda_2 (Q_0 - \sum_{j=1}^M Q_j) \quad (17)$$

有

$$\frac{dL}{dE_{ij}} = f_{ij}(Q_j + E_{ij}) - z_{ij} - \lambda_1 = 0 \quad (18)$$

且

$$\frac{d^2 L}{dE_{ij}^2} = \frac{df_{ij}(Q_j + E_{ij})}{dE_{ij}} < 0 \quad (19)$$

由式 (18) 可得

$$f_{ij}(Q_j + E_{ij}) - z_{ij} = \lambda_1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, M \quad (20)$$

即当各部门能源消费的边际效益与污染排放水平之差均衡时,受能区总的社会效益最大.显然,部门能源消费的边际效益越高,污染排放水平越小,该部门就可得分到更多的能源,就可以更好的发展.这就会刺激各部门努力提高能源使用效率,使用清洁能源技术,从而使经济发展与环境保护走上良性循环发展的道路.

由式 (20) 有

$$E_{ij} = g_{ij}(\lambda_1 + z_{ij}) - Q_{ij} \quad (21)$$

式(21)确定了各部门分配到的能源量.在实证分析时,  $g_{ij}$ 可由各部门的实测历史数据用二次函数进行拟合.

由以上分析可得,兼顾经济效益和环境效益的能源部门配置的边际效益均衡原理可叙述为:当各部门能源消费的边际效益与能源消费的污染排放水平之差均衡时,受能区总的能源消费的社会效益最大.

#### 4 能源空间配置模型的进一步讨论

如果西部输入东部的能源足够多,即  $E \geq \sum_{i=1}^N E_i^N = \sum_{i=1}^N (Q - Q_0)$ , 则所有受能区均可接受分能,此时,若设调来能源量  $E$  对应的分能后均衡边际效益为  $y$ , 则有  $y = f_N(Q_{N0})$ , 且有

$$\sum_{i=1}^N E_i = \sum_{i=1}^N (g_i(y) - Q_0) = E \quad (22)$$

由式(22)计算得到  $y$ , 然后代入式(9)即可求得各受能取得分能量

$$E_i = g_i(y) - Q_0, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (23)$$

在实际计算时,  $g_i(y)$  可用二次函数进行拟合得到,

$$\text{设 } g_i(y) = a_i y^2 + b_i y + c_i \quad (24)$$

则由式(22)可得

$$\sum_{i=1}^N (a_i y^2 + b_i y + c_i) = E + \sum_{i=1}^N Q_0 \quad (25)$$

即

$$\sum_{i=1}^N a_i \cdot y^2 + \sum_{i=1}^N b_i \cdot y + \left( \sum_{i=1}^N c_i - \sum_{i=1}^N Q_{i0} - E \right) = 0 \quad (26)$$

解得:

$$y(E) = \frac{-\sum_{i=1}^N b_i \pm \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N b_i\right)^2 - 4\left(\sum_{i=1}^N a_i\right)\left(\sum_{i=1}^N c_i - \sum_{i=1}^N Q_0 - E\right)}}{2\sum_{i=1}^N a_i} \quad (27)$$

式(27)分子中正负号可按如下规则选取.根据边际效益递减原理,正负号的选取应使  $y = y(E)$  是  $E$  的减函数,且要保证边际效益  $y \geq 0$ . 当  $y = 0$  时,由式(25)可知,东部地区能源饱和时的最大消费量为  $\sum_{i=1}^N c_i$ , 故  $\sum_{i=1}^N c_i - \sum_{i=1}^N Q_0 > 0$ , 且应满足最大输入能源量  $E < \sum_{i=1}^N c_i - \sum_{i=1}^N Q_0$ . 为方便,不妨记  $a = \sum_{i=1}^N a_i$ ,  $b = \sum_{i=1}^N b_i$ ,  $c = \sum_{i=1}^N c_i - \sum_{i=1}^N Q_0 - E$ . 显然,  $a, b$  为常数,  $c > 0$  且为  $E$  的减函数. 则式(27)可重写为

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (28)$$

据上述分析,当  $a, b$  为常数时,正负号的选取应使  $y$  为  $c$  的增函数,且  $y \geq 0$ . 则正负号具体选取如下.

1) 当  $a > 0, b > 0$  时,取正号; 2) 当  $a > 0, b < 0$  时,取负号; 3) 当  $a < 0, b > 0$  时,取负号; 4) 当  $a < 0, b < 0$  时,取正号.

如果西部调入东部的能源有限,即  $E < \sum_{i=1}^N (Q_i - Q_0)$ , 亦即  $y > f_N(Q_{N0})$ . 此时,只有部分受能区参加分能,设为  $N_1$  个,  $N_1 < N$ . 能源配置模型与上述模型相同,只需将  $N$  换成  $N_1$  即可. 这里的关键问题是,已知能源输入量  $E$ , 要求  $N_1$ . 可按下述方法进行. 由各受能区的实际数据,按照式 (12) 可以算出  $Q_0^j$ , 从而由  $Q_0^j = Q_0 + E_i^j$  可得到  $E_i^j, i, j = 1, 2, \dots, N, i \leq j$ . 然后,对  $\forall j$ , 可以计算出  $E_0^j = \sum_{i=1}^j E_i^j$ ,  $E_0^j$  表示与第  $j$  受能区的初始能源量  $Q_0$  相应的边际效益  $f_j(Q_0)$  所对应的整个受能区的受能量. 也就是说,当输入能源量为  $E_0^j$  时,能源消费的均衡边际效益恰好等于第  $j$  受能区的初始能源消费的边际效益. 根据能源空间配置的边际效益均衡原理,当输入能源量  $E \geq E_0^j$  时,第  $j$  受能区受能区才能分配到能源. 因此,对于已知的能源输入量  $E$ , 对  $\forall j$ , 判断  $E_0^j \leq E < E_0^{j+1}$  是否成立,上式成立时对应的  $j$  即为所求  $N_1$ .

对能源部门配置模型可以做完全类似的讨论. 其结果也是类似的.

## 5 结 论

我国能源分布的不均衡及我国目前经济发展现状,决定了今后我国能源资源的基本流向是由西部流向东部. 在各地区的基本用能得到保证之后,在能源开发国家投资主体和我国日趋成熟的市场经济条件下,经济发展用能应该追求经济效益和环境效益最优. 本文基于能源消费的边际效益均衡原理,利用经济学中的边际效用理论,以最大化能源消费的经济效益为目标,建立了能源空间配置的优化模型,以及考虑能源消费带来环境污染的能源部门配置的优化模型. 在能源空间配置的优化模型中,当各受能区的能源消费的边际效益均衡时,整个东部地区的能源利用总体经济效益最大. 在能源部门间配置的优化模型中,当各部门能源消费的边际效益与能源消费的污染排放水平之差均衡时,受能区总的能源消费的社会效益最大. 需要指出的是,在能源空间配置的优化模型中,也可以同时考虑经济效益和环境效益两方面的得失,可以得到完全类似的结果. 所建模型对能源资源,特别对电力、石油、天然气等以“网络”或“管道”形式输送的能源在空间、部门之间的合理配置有现实的参考价值. 对模型的实证分析,我们将在采集到相关数据之后,另行分析.

本文理论分析结果表明,各受能区、各部门想要获得更多的能源,有更好的发展潜力,就必须不断提高本地区、本部门的能源消费的边际效益,或者说提高能源的使用效率,采用先进的能源技术,降低能源消费的污染水平. 从某种意义上讲,这正是我们采用这种能源配置模型的目标所在,符合经济可持续发展、环境保护及能源可持续利用的要求.

## 参考文献:

- [1] 杨宏林等. 不可再生能源的经济学分析 [J]. 江苏大学学报 (自然科学版), 2003, 24(4): 79-82.
- [2] 齐中英. 开放式能源资源配置过程的风险表现 [J]. 技术经济, 1997, (11): 18-20.
- [3] 杨宏林. 能源的最优配置及经济可持续发展的研究 [D]. 江苏: 江苏大学理学院, 2003.
- [4] 王劲峰, 刘昌明, 王智勇等. 水资源空间配置的边际效益均衡模型 [J]. 中国科学 (D辑), 2001, 31(5): 421-427.
- [5] 钱颂迪. 运筹学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1990.

# The Study of The Energy Configuration Model in the Western Develop

YANG Hong-lin, TIAN Li-xin, DING Zhan-wen

(Faculty of Science, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

**Abstract** Exploiting plenty energy resource in the western, solving the contradiction of energy shortly supply of the eastern. This is an important subject in the study of "win-two-win" strategy of the economic cooperation between east and west, mutual supplement with each other's advantages. Under the condition of market economy and nation is the investment subject, in order to maximize energy-consuming benefit, we set up the energy space configuration model, which based on the equilibrium of marginal benefit; and set up the energy department configuration model in which economic benefits and environmental benefit are both taken into account. The result shows if any area or department wants to get more energy, they must to improve the utilize efficiency and the marginal benefit of energy; reduce the pollution.

**Keywords** western development; energy configuration; marginal benefit; equilibrium