

九块式能源投入产出模型与能源需求量预测

张炎治, 聂锐, 吕涛

中国矿业大学管理学院, 江苏徐州 221116

[摘要] 利用九块式能源投入产出表, 将整个能源经济系统划分为能源部门和非能源部门, 编制基年能源投入产出表并利用RAS法将能源投入产出表系数不断向前推进, 从而得到预测年份的能源投入产出表, 输入能源、人口和经济数据, 预测未来一次能源消费总量和分量。以江苏省为例, 预测了2010、2015和2020年的能源需求量, 结果表明: 能源消费总量与经济发展变化呈正相关关系; 煤炭在能源消费结构中仍占主导地位, 但下降空间巨大; 能源供需缺口不断拉大, 自给率持续下降; 能源利用效率有较大幅度提高。

[关键词] 能源经济系统; 九块式能源投入产出表; 能源需求; 供需缺口

[中图分类号] F124

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)05-0025-05

The Energy Input-Output Model of Nine Pieces and the Demand Prediction of Jiangsu Province

ZHANG Yanzhi, NIE Rui, LU Tao

School of Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu Province, China

Abstract: The table of nine pieces for energy input-output is used in this paper and the whole energy-economy system is divided into energy and non-energy sections. Then energy input-output table of the base year is first obtained and the coefficient is calculated continuously by using the method of RAS sequentially. The energy input-output table of the prediction year can then be obtained. Putting the data of energy, population and economy into the table, the future total and the respective amount of the primary energy are predicted. This paper takes Jiangsu province as an example and predicts its energy demand amount in the year of 2010, 2015 and 2020. The result indicates that there is a positive correlativity between energy consumption and economy development; the coal still predominates in the energy consumption structure, but with a large declining margin; the gap between energy supply and demand becomes increasingly large and the self-reliance level declines continuously; the energy efficiency sees a significant increase.

Key Words: energy-economy system; energy input-output table of nine pieces; energy demand; gap between supply and demand

CLC Number: F124

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)05-0025-05

0 引言

能源的开发利用是人类社会活动的基础, 随着经济的发展以及“两个率先”目标的实现, 江苏省能源供需矛盾将逐渐突出。因此, 对能源这一复杂系统进行分析研究、科学预测, 为完善能源政策以及制定未来能源

发展战略具有重要的理论意义。同时又具有深远的经济意义和政治意义。

从国际范围来看, 能源系统模型的研究可追溯到20世纪60年代, 而真正比较集中的、大量的研究是从20世纪70年代初期的石油危机开始的, 它的发展演变

收稿日期: 2006-11-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(90410015), 江苏省软科学研究计划项目(BR2005015), 教育部人文社会科学研究项目(03JD630002)

作者简介: 张炎治, 男, 中国矿业大学管理学院, 博士研究生, 研究方向为能源经济与管理、产业组织; E-mail: zycumt2003@163.com

聂锐(通讯作者), 男, 中国矿业大学管理学院, 教授, 研究方向为战略管理、能源经济与管理、产业组织;

E-mail: adeam@cumt.edu.cn

经历了能源部门模型—能源系统模型—能源/经济模型 3 个历程(表 1)。近年来,国内外对能源需求进行了大量的研究,如 A. S. Weigend^[1]等运用时间序列法进行能源需求预测;J. S. McMenamin, F. A. Monforte^[2]等运用人工智能及计算机辅助分析进行能源策略的仿真;V. Gevorgian^[3]等应用混沌动力学理论对不确定能源供给条件下的能源分配及消费进行了短期预测。国内对能源需求预测应用的方法较多,主要有以下几种:类比法、弹性系数法、投入产出法^[4-6]、部门分析法、回归分析法、时间序列法、灰色模型法、组合预测法等。随着计量经济学非线性理论不断发展以及计算技术的进步,又出现了一些准确描述能源系统的模型,预测精度也大为提高。如傅瑛、田立新^[7]运用 Logistic 模型对江苏省的能源消费总量作了短期预测;彭建良^[8]、牛东晓^[9]、冯述虎^[10]、宁云才^[11]等对神经网络方法进行了探讨和应用;江苏大学非线性研究中心^[12-13]和天津大学系统工程研究所^[14]把混沌动力学理论与经济学理论相结合,建立了预测模型。

能源是国民经济的基础性行业,进行能源系统分析,从本质上说就是研究能源在国民经济发展过程

中的供求平衡问题,实现供求平衡的最优途径,研究各种能源产品在国民经济中的地位和发展趋势。因此,必须抓住能源部门与整个国民经济的联系,抓住能源产品和其他产品的联系。投入产出法从国民经济是一个有机整体的观点出发,综合研究各个具体部门间的数量关系,既有综合指标,又有分解指标,两者有机结合,是分析能源部门和非能源部门之间互动关系的有效方法。

1 能源投入产出模型的基本原理

1.1 能源投入产出表的构建

本文省去投入产出表的一般理论,只讨论能源投入产出表与一般投入产出表的不同之处。本文采用九块式能源投入产出表(表 2)。

表 2 中,将整个能源经济系统划分为能源供应部门和非能源部门。为了增加数据的可获性,其部门划分标准按能源平衡表中的项目划分。其中,非能源部门(I)包括农业、工业、建筑业、交通业、商业、生活消费、其他三产(能源平衡表中的损失量和其他两个项目的能源消费量计算到该部门)七部门。一次能源供应部门(S)包括原煤、洗选煤(包括洗精煤和其

他洗选煤。严格来说,洗选煤应属于二次能源,但为了计算方便,将它并入一次能源供应部门,这并不影响最终计算结果。)、原油、天然气。二次能源供应部门(C)即能源加工转换部门,包括新能源(主要指核电和风电的发电量,为方便计算将其列入二次能源供应部门)、炼焦、炼油、电力、供热、其他(包括源平衡表中的型煤、其他煤气和回收能 3 个项目)六部门。

1.2 参数及编制说明

1) A_{ss} , A_{cc} 分别为一次能源供应部门、二次能源供应部门各自内部相互转换系数矩阵。

2) 由于能源加工转换部门产品不能向一次能源逆向转换,所以在 A_{cs} 位置的系数矩阵为零。

3) F_s , F_c 表示本地区能源系统的调出、调入需求,规定调出为正,调入为负。

4) F_I 是对物质部门产品的需求,它是折旧、调出、投资和最终需求 4 部分之和。

5) 在表 2 中的结构中,前 2 行的数据来自能源平衡表(其中有些数据需要合并计算);第 3 行数据来自于江苏统计年鉴和已编制好的投入产出直接消耗系数表。

6) 表中前 2 行的数据按实物量并根据各种能源折标煤系数折算成万吨标准煤;第 3 行中除生活消费部门根据人口总数(万人)计算外,其余都按价值量(亿元)计算。

1.3 数学表达式与计算

投入产出表的简化表达式如下

$$AX + F = X \quad (1)$$

将式(1)按表 2 的结构展开,得

$$A_{ss}X_s + A_{sc}X_c + A_{sl}X_l + F_s = X_s \quad (2)$$

$$0 + A_{cc}X_c + A_{cl}X_l + F_c = X_c \quad (3)$$

$$A_{ls}X_s + A_{lc}X_c + A_{ll}X_l + F_l = X_l \quad (4)$$

为方便求解,根据江苏能源的实际消费情况,作如下假设。

1) 为支援国民经济发展,江苏煤炭企业长期超负荷生产,部分矿井已处于衰老阶段,后备资源储量不

表 1 世界能源模型

Table 1 The world energy model

模型类别	模型名称
能源部门模型	电力模型,石油模型,煤炭模型等
能源系统模型	BESOM, DESOM, TESOM, MARKAL, EFOM, EFOM-12c, LEAP, MEDEE, FOSSIL
能源/经济模型	Hudson-Jorgeson, Wharton, PILOT, PIESETA-MACRO, ILLINOIS, IIASA, DRI-BROOKHAVEN

表 2 九块式能源投入产出表

Table 2 Format of energy input-output table of nine pieces

	一次能源供应部门(S)	二次能源供应部门(C)	非能源部门(I)	最终需求(F)	总产出(X)
一次能源供应部门(S)	A_{ss}	A_{sc}	A_{sl}	F_s	X_s
二次能源供应部门(C)	A_{cs}	A_{cc}	A_{cl}	F_c	X_c
非能源部门(I)	A_{ls}	A_{lc}	A_{ll}	F_l	X_l

足,故原煤与洗选煤产量增长潜力不大;受自然资源的限制,石油和天然气的生产能力也将呈缓慢增长。因此,式(2)中 X_S 可看作已知量。

2) 由式(3)可以看出,如果设定 $F_C=0$,求得 X_C 即为二次能源总需求量。因此,在预测中,令 $F_C=0$ 。

3) 根据经济的发展速度趋势以及政策规划预测非能源部门的总产出量,本文以GDP代替总产出,这并不影响预测结果。因此,式(4)中 X_I 是已知量。

根据上述假设,可以将已知项全部移到等式右边,未知项移到等式左边,整理出如下求解式

$$X_C=(I-A_{CC})^{-1}(A_{CI}X_I+F_C) \quad (5)$$

$$F_S=X_S-A_{SS}X_S-A_{SC}X_C-A_{SI}X_I \quad (6)$$

$$F_I=X_I-A_{IS}X_S-A_{IC}X_C-A_{II}X_I \quad (7)$$

根据预测的需要,只需计算出 X_C 和 F_S ,而表2中第3行的系数部分 A_{IS}, A_{IC}, A_{II} 并没有参与 X_C 和 F_S 的计算。因此,系数 A_{IS}, A_{IC}, A_{II} 对预测结果没有影响,计算过程中可以不必写出。

2 模型输入数据设定

2.1 能源生产量预测

矿井衰老、后备资源储量不足已成为制约江苏煤炭工业未来发展的

主要因素。笔者不加预测地设定未来江苏省煤炭生产量2010年为2800万t,2015年为2600万t,2020年为2400万t;原油生产量采用近3年平均增长速率2.31%来粗略估算;天然气3个年份的生产量均设定为0.4亿 m^3 。根据江苏省的实际情况和发达国家的现状,设定原煤入洗比例、洗精煤回收率、其他洗选煤回收率如表3,一次能源生产量见表4。

2.2 人口和经济增长预测

2.2.1 人口发展趋势

江苏省属我国较为发达地区,人口控制已经走上正轨。2000年全省常住人口7327.24万人,2004年7432.5万人,2000-2004年人口年增长率平均为3.6‰。2005-2020年,假设年人口增长率均为3.6‰,照此趋势,到2010年末,全省常住人口将达到7594.49万人,2015年末达到7732.18万人,2020年末达到7872.37万人。

2.2.2 经济增长和产业结构变化趋势

设定江苏省未来经济发展的基本方案为:2004-2010年发展速度为10%,2011-2015年为8%,2016-2020年为7%,并以基本方案为依据,发展速度上下浮动1个百分点,

设计出经济发展的高方案和低方案。至于各个物质部门的发展速度和规模,根据以下优化算法并人工调整得出2010,2015,2020三个年份的经济发展方案。

$$V_t=V_0(1+R_0)^t; V_{it}=V_{i0}(1+R_i)^t; V_t^{(n)}=\sum_{i=1}^6 V_{it}$$

迭代满足条件 $|V_t-V_t^{(n)}|=0$ 。式中: V_t 为预测期GDP发展总量, V_0 为基期GDP总量, R_0 为GDP发展速度, V_{it} 为第 i 部门预测期增加值, V_{i0} 为第 i 部门基期增加值, R_i 为第 i 部门发展速度指标。经过反复运算并加入人工适度调整,得出基本经济发展水平,并在基本方案的基础上同比例增加或减少,求得高、低经济发展水平(见表5)。

以上计算的一个基本假设是各个年份3个方案的经济结构保持不变,经济总量发生变化。2010年3次产业结构为5.48%,53.14%,41.38%;2015年为4.13%,50.01%,45.86%;2020年为3.23%,46%,50.79%。

3 模型应用

根据历年《中国能源统计年鉴》、《江苏统计年鉴》中的相关数据^[15-16],各种能源品种折标煤系数,按照前文所述编制说明,本文编制出了2003年和1996年的能源投入产出表。由于投入产出表系数的滞后性,本文假设2003-2010,2010-2015,2015-2020年间能源投入产出表系数的发展变化趋势与1996-2003年相同,利用RAS法将能源投入产出表系数不

表3 原煤洗选比例设定

Table 3 Proportion design of the raw coal washed

年份	入洗比例	洗精煤回收率/%	其他洗选煤回收率/%
2010	0.3	0.6	0.2
2015	0.4	0.63	0.17
2020	0.5	0.65	0.15

表4 一次能源生产量预测

Table 4 Production forecast of the preliminary energy

实物量	原煤 /万t	原油 /万t	洗精煤 /万t	其他洗选煤 /万t	天然气 /亿 m^3	标准量	原煤 /Mtce	洗选煤 /Mtce	原油 /Mtce	天然气 /Mtce
折合万t标煤系数	0.7143	1.4286	0.9	0.3214	13.3					
2010年	2800	200	504	168	0.4	2010年	2000.04	507.5994	285.72	5.32
2015年	2600	220	655.2	175.8	0.4	2015年	1857.18	646.50794	314.292	5.32
2020年	2400	240	780	180	0.4	2020年	1714.32	759.8565	342.864	5.32

注: Mtce——百万t标准煤

表 5 2010-2020 年经济发展预测(单位:亿元)
Table 5 Economical development forecast from 2010 to 2020
(Unit: 100 millial yuan)

方案	年份	GDP	农业	工业	建筑业	交通业	商业	其他三产
低方案	2010	23 106	1 320	10 902	1 442	1 672	2 725	5 044
	2015	32 407	1 446	14 689	1 741	2 640	4 192	7 699
	2020	43 368	1 566	18 424	2 058	3 864	6 140	11 316
基本方案	2010	24 407	1 337	11 456	1 515	1 790	2 920	5 389
	2015	35 862	1 483	16 057	1 876	2 999	4 754	8 693
	2020	50 299	1 626	20 847	2 275	4 647	7 371	13 533
高方案	2010	25 769	1 354	12 031	1 591	1 914	3 127	5 751
	2015	39 649	1 520	17 533	2 020	3 400	5 380	9 796
	2020	58 257	1 687	23 543	2 512	5 568	8 819	16 128

注:按 2000 年不变价。

表 6 能源消费及加工转换预测结果(单位:万 tce)
Table 6 Forecast of energy consumption and conversion
(Unit: 10kton Standard Coal)

方案	项目	2010 年	2015 年	2020 年
低方案	一次能源消费总量	14 894.56	17 979.79	23 600.63
	其中:加工转换量	13 618.53	17 316.06	23 056.36
	终端消费	1 276.03	663.73	544.28
	分品种:原煤	10 813.02	12 334.89	14 824.56
	原油	4 027.93	5 565.02	8 256.65
	天然气	30.70	92.25	283.82
	新能源	22.91	101.92	464.18
基本方案	一次能源消费总量	15 618.31	19 649.20	26 908.01
	其中:加工转换量	14 280.78	18 929.64	26 312.88
	终端消费	1 337.53	719.56	595.13
	分品种:原煤	11 310.42	13 219.85	16 329.45
	原油	4 252.04	6 220.74	9 751.44
	天然气	31.83	97.55	302.06
	新能源	24.02	111.06	525.07
高方案	一次能源消费总量	16 374.30	21 479.99	30 727.49
	其中:加工转换量	14 972.82	20 700.00	30 075.18
	终端消费	1 401.48	779.99	652.32
	分品种:原煤	11 829.17	14 484.12	18 666.16
	原油	4 486.96	6 885.82	11 372.46
	天然气	32.99	103.28	322.46
	新能源	25.18	121.06	594.98

断向前推进,从而得到预测年份的能源投入产出表。将能源数据、人口数据和经济数据输入模型并运行,得到结果如表 6 所示。

将能源投入产出表系数矩阵中 A_{sb} 、 A_{cl} 各系数分别乘以相应的总产出,可以求得各种能源的部门终端消费量,限于篇幅,在此不一一列举。

4 结论及结果分析

基本方案是依据江苏省“十一五”发展规划和其他规划文件设定的,考虑到我国经济发展的计划性,下面重点分析基本方案的预测结果。

4.1 原煤比重下降空间巨大

对比不同经济发展方案可以发现,随着经济发展水平的变化,能源

消费量也呈同方向变化。可见,经济发展对能源需求的拉动作用是十分巨大的。从一次能源消费构成来看,煤炭所占一次能源消费总量的比重不断下降,从 2003 年的 75.6% 下降到 2010 年的 72.4%, 降低了 3 个百分点。2020 年这一比例为 60.7%, 与 2003 年相比,下降近 14 个百分点。与之相反,石油的消费比重不断上升,由 2003 年的 24.3% 上升到 2020 年的 36.2%, 上升 12 个百分点。可以看出,煤炭下降的份额与石油上升的份额几乎相当,说明未来江苏省能源消费的优质化程度不断提高,石油将逐渐替代煤炭,但不容忽视的一个问题是煤炭仍占据了一次能源消费总量的绝对比重。同时值得一提的是新能源在能源消费结构中经历了从无到有的过程,2020 年新能源所占比重为 2%。由于我们是以 1996-2003 年能源的发展趋势来进行预测,显然低估了这一比例,随着未来江苏省对新能源的重视和技术的成熟,这一比例必将有一个大的提升。在预测中也未将“西气东输”和进口国外液化天然气(LNG)考虑在内,如果加以考虑,天然气在能源消费结构中也将有一席之地。考虑到新能源发展和天然气的输入,未来煤炭比重还有下降的空间。

4.2 能源供需缺口不断拉大

由预测结果可知,未来江苏省的能源需求量巨大,而省内资源匮乏,后备储量不足,能源供需缺口将不断拉大。2010 年一次能源需求 15 618 万 tce(吨标准煤),省内生产量仅 2 291 万 tce, 短缺 13 327 万 tce; 2015 年这一缺口将达 17 472 万 tce, 2020 年达 24 845 万 tce。随着能源缺口的越来越大,一次能源自给率也将一降再降,由 2003 年的 21.97% 降到 2010 年的 14.82%、2020 年的 9.62%。其中原煤自给率由 2003 年的 25.87% 降到 2020 年的 10.5%, 石油自给率由 2003 年的 9.7% 降到 2020 年的 3.52%, 未来江苏能源需求主要

依靠省外调入和进口。为保证经济的持续快速发展,如何弥补这部分巨大的能源缺口,成为政府要解决的重大问题。

4.3 能源消费强度持续下降

江苏省“十一五”发展规划指出,2010年单位生产总值能源消耗力争比“十五”期末降低20%左右。2000年每万元单位产值能耗为0.96 tce,根据我们的预测,经过计算2010年这一指标值为0.64 tce,降低35%,显然是远远超出了规划值。但通过分析2000-2003年单位产值能耗变化情况,我们发现0.64 tce/万元的能耗是可以达到的。2003年的单位产值能耗为0.84 tce/万元,与2000年相比,平均每年下降4%,照此趋势,2010年的单位产值能耗应为0.64 tce/万元,与我们的预测值正好相等。

参考文献(References)

- [1] WEIGEND, A S. Time series analysis and prediction using gated experts with application to energy demand forecasts[J]. *Applied Artificial Intelligence*, 1996, 10(6): 583-624.
- [2] MCMENAMIN J S, MONFORTE F A. Short term energy forecasting with neural networks [J]. *Energy Journal*, 1998(4): 43-62.
- [3] GEVORGIAN V, KAISER M. Fuel distribution and consumption simulation in the republic of armennin[J]. *Simulation*, 1998(9): 154-167.
- [4] 罗向东,赵亮,等.投入产出法在石化企业能源预测中的应用[J]. *节能*, 2003(3): 20-22.
LUO Xiangdong, ZHAO Liang, et al. Application of the input-output theory in the petrochemical corporation [J]. *Energy Conservation*, 2003(3): 20-22.
- [5] 王海慧.经济结构变动与能源需求的投入产出分析 [J]. *统计研究*, 1999(6): 30-34.
WANG Haijian. Input-output analysis on the change of economic structure and energy demand [J]. *Statistical Research*, 2003(3): 30-34.
- [6] 常中阳.石家庄市能源发展战略研究 [D]. 天津:天津大学,2001.
CHANG Zongyang. Strategic study on energy development of Shijiazhuang city[D]. Tianjin: Tianjin University, 2001.
- [7] 傅新,田立新.江苏能源消费 Logistic 的统计检验估计法及预测 [J]. *江苏理工大学学报 (社会科学版)*, 2001(1): 17-19.
FU Xin, TIAN Lixin. Statistical verifying estimation and application of logistic model in the forecast of energy consuming in Jiangsu province [J]. *Journal of Jiangsu University of Science and Technology (Social Science)*, 2001(1): 17-19.
- [8] 彭建良,李新建,等.能源消费量模拟分析和预测的神经网络方法 [J]. *系统工程理论与实践*, 1998(7): 76-83.
PENG Jianliang, LI Xinjian, et al. Neural network method for simulation and prediction of energy consumption[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 1998(7): 76-83.
- [9] 牛东晓,邢棉.时间序列的小波神经网络预测模型的研究 [J]. *系统工程理论与实践*, 1999(5): 89-92.
NIU Dongxiao, XING Mian. A study on wavelet neural network prediction model of time series[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 1999(5): 89-92.
- [10] 冯述虎,候运炳.基于时序分析与神经网络的能源产量预测模型[J]. *辽宁工程技术大学学报*, 2003, 22(2): 168-171.
FENG Shuhu, HOU Yunbing. Forecast model of energy production based on time series analysis-artificial neural network[J]. *Engineering Technique University College Journal in Liaoning*, 2003, 22(2): 168-171.
- [11] 宁云才.煤炭需求预测的复合小波神经网络模型 [J]. *煤炭学报*, 2003, 28(1): 108-112.
- [12] 傅新,田立新.混沌动力学模型在我国能源生产预测中的应用 [J]. *江苏大学学报 (自然科学版)*, 2003, 24(1): 26-28.
FU Xin, TIAN Lixin. Application of chaotic dynamics model in energy output forecasting of China [J]. *Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 2003, 24(1): 26-28.
- [13] 于景华,田立新.混沌时间序列及其在能源系统中的应用 [J]. *江苏大学学报 (自然科学版)*, 2002, 23(4): 84-86.
YU Jinghua, TIAN Lixin. Chaotic time series and application of energy system[J]. *Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 2002, 23(4): 84-86.
- [14] 陈卫东,顾培亮.能源时序相空间重构及其混沌特征分析[J]. *天津大学学报*, 2002, 35(2): 293-297.
CHEN Weidong, GU Peiliang. Phase space reconstruction and the analysis of its chaos [J]. *Journal of Tianjin University*, 2002, 35(2): 293-297.
- [15] 江苏省统计局.历年江苏统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社.
Jiangsu Statistics Bureau. Jiangsu statistical yearbooks [M]. Beijing: China Statistics Press.
- [16] 国家统计局工业交通统计司,国家发展和改革委员会能源局,等.历年中国能源统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社.
Department of Industry and Transport Statistics of National Bureau of Statistics, Bureau of Energy of National Development and Reform Commission, et al. China Statistical Yearbooks[M]. Beijing: China Statistics Press.

(责任编辑 代丽)