

# 基于投入产出技术的中国部门生产链平均能耗

唐志鹏<sup>1</sup>, 刘卫东<sup>1</sup>, 刘红光<sup>1</sup>, 陈锡康<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院数学与系统科学研究院, 北京 100190)

**摘 要:** 温室气体导致全球气候异常变化是全球目前的热点问题, 而能源消耗排放的 CO<sub>2</sub> 成为首要的温室气体。为理解产业结构对我国能源消耗及其碳排放的影响机制, 本文创建了一个基于投入产出技术的 AECPC 模型, 提出了平均能耗的概念。该模型从节能效果直接且易于调控的角度反映了不同层次的生产环节对部门生产链能耗的影响, 它综合了直接能耗和完全能耗两种方法的优点。通过该模型对中国 2005 年各产业部门的测算, 找出了 9 条不同能源产品平均能耗最大的生产链, 这些生产链主要集中在传统的高能耗部门, 但也包含一些其他部门, 如自来水的生产与供应业部门。AECPC 模型为产业转型对碳排放的影响提供了有力的分析指导工具。

**关 键 词:** 生产链; 生产环节; AECPC 模型; 直接能耗; 完全能耗; 平均能耗; 产业转型; 中国

近 100 年来, 以全球变暖为主要特征的全球气候与环境发生了重大变化, 这种变化幅度超出了地球自然变动的范围, 对人类的生存、社会经济的可持续发展构成了严重威胁<sup>[1]</sup>。引起气候变化的主要外部因素包括火山喷发、太阳活动以及人类活动导致的温室气体成分变化等。温室气体主要包括水蒸气, 二氧化碳, 甲烷、氧化亚氮、臭氧等气体。二氧化碳相对于其它气体虽然变暖因子不强, 但是由于其浓度很高且在大气中留存时间长, 而成为温室效应的首要气体。人类工业化的生产活动是导致气候变化的最主要原因, 化石能源消费导致的碳排放是温室气体的主要来源<sup>[2]</sup>。人类大范围的能源活动造成了大气中 CO<sub>2</sub> 的含量迅速攀升。因而, 积极转变经济增长方式、降低能源消耗, 是人类应对全球气候变化的重要途径。只有深入理解不同部门的能源消耗强度, 建立科学实用的能耗计算方法, 才能选择正确的产业调整方向, 从而科学的实施产业转型。

目前, 单位国内生产总值(或 GDP)能耗是学术界讨论不同产业部门能源消费强度的主要指标, 也是政府部门考核节能减排的约束性指标之一, 例如在“中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要”中, 明确提出“十一五”时期努力实现“单位国内生产总值能源消耗降低 20% 左右”的目标。国内有学者指出, 单位 GDP 能耗虽然能在一定程度上反映一个国家或地区经济活动对能源消

费强度, 但是受到汇率和价格水平等动态因素以及国家发展阶段和资源禀赋等静态因素影响, 使这个指标在地区之间和国内外静态和动态比较上可比性差<sup>[3]</sup>。目前反映能源效率常用指标主要为能源强度 (Energy Intensity), 它包括单位产值能耗、单位 GDP 能耗、单位产品能耗、单位服务量能耗等指标<sup>[3]</sup>。各种指标就方法的思想而言, 分为直接能耗和完全能耗的计算。国民经济系统中产业部门之间相互依存相互影响, 形成了众多的生产链, 在众多的生产链中, 每一条生产链都包含了不同层次生产环节的能源消耗, 位于不同层次数的生产环节能耗对于整条生产链的节能影响显然是不同的。特别是, 不同地区的产业部门在经济体系(生产链)中的所处位置不同, 降低其能耗对于整条生产链的影响也有较大差别。科学地评价部门能耗水平以便为节能政策提供参考依据, 必须考虑众多部门之间的投入产出关系。正是基于这样的出发点, 本文创建了一个基于投入产出技术的 AECPC (Average Energy Consumptions of Production Chains)模型, 来测定各部门的平均能耗。

## 1 投入产出技术的主要研究方法

投入产出分析(Input-Output Analysis)由 1973 年诺贝尔经济学奖获得者 Wassily W. Leontief 提出

收稿日期: 2009-07; 修订日期: 2009-10.

基金项目: 国家科技攻关计划(2007BAC03A11-04); 国家自然科学基金项目(60874119)。

作者简介: 唐志鹏(1978-), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事区域经济与区域可持续发展研究。E-mail: tangzhipeng@amss.ac.cn

的一种依赖棋盘式平衡表反映国民经济各部门间相互依存相互影响的经济学方法。采用投入产出技术分析的部门关联,指的是一个部门在投入与产出上和其他部门的关系,一个部门和向它提供投入的部门间的联系称作后向关联,和它供给产出的部门之间的联系称作前向关联<sup>[4]</sup>。关于产业关联的主要方法有: 主要采用直接消耗系数矩阵计算单个部门的关联变化<sup>[5]</sup>; 构建扩散能力系数、扩散感应系数<sup>[6]</sup>并对其进行标准化<sup>[7]</sup>,为处理部门间不平衡联系的问题在部门分析中引进方差系数<sup>[8]</sup>,并据此确定国民经济的关键部门; 阶矩阵和的相关函数法,主要通过构造阶矩阵和的相关函数来确定部门关联<sup>[9]</sup>; 假设抽取法,其思想是把某个部门假设性去掉后,研究对剩余其他部门所造成的影响,这一影响反映了被去掉部门与其他部门的关联大小<sup>[10]</sup>; 结构分解技术,该方法主要对引起产业结构变化的因素进行分解,并考察各因素影响大小<sup>[10]</sup>,在经济、环境和能源方面得到广泛应用<sup>[11-17]</sup>; 其他的一些方法,如重要系数法等<sup>[10]</sup>。以上方法大都是研究某一部门与其他部门的关联程度的分析或者某一部门的变动对其他部门产生的影响以及产业结构要素的变动,并不涉及到生产链中各生产环节的不同影响。

在复杂经济系统中两个部门之间的生产消耗包含了很多层次的生产环节,构成了一条生产链。其中能源产品作为一种辅助动力材料被投入到产品生产制造过程中,生产出来的制成品如果退出了生产领域就称为最终产品,否则一直在生产领域流通就称为中间产品。由能源产品到最终产品反映了能源在生产链间的各个生产环节的不同层次消耗和使用过程。从生产链的角度研究能耗比上述的产业关联分析方法能够更加详细地反映能源作为中间产品在各层次生产环节中的密切联系和顺次消耗。目前基于投入产出技术的生产链研究方法主要有从需求角度建立的 Leontief 模型和从供给角度建立的 Ghosh 模型。荷兰投入产出学者 Dietzenbacher、E 等人在 2005 年提出了 APL (Average Propagation Lengths) 模型,该模型引入了不同层次的生产环节对生产链的影响研究<sup>[18-19]</sup>。APL 模型是基于投入产出技术从位于不同层次数的生产环节构成的生产链来测算两部门之间的平均层次数,通过平均层次数大小来衡量两部门在国民经济系统中的联系紧密程度,平均层次数越小,则两部门联系越紧密,

反之亦相反。通过 APL 模型可以来确定联系紧密的生产链。邓志国和陈锡康应用 APL 模型对我国 1987-2002 年 19 部门的生产链演化作了应用分析<sup>[20]</sup>。关于 Leontief 模型、Ghosh 模型及 APL 模型三种模型的具体形式可参阅文献<sup>[20]</sup>,这里不再赘述。

## 2 直接能耗系数和完全能耗系数存在的不足

通常各产业部门的单位产品对各种能源产品的直接消耗和完全消耗,可以通过投入产出方法计算得到对应部门的直接能耗系数和完全能耗系数。直接能耗系数反映了该部门在生产过程中对能源产品的直接消耗强度,具有直观、经济意义明确的特点,它的不足之处在于没有考虑到中间产品对能源间接消耗的情况。而完全消耗系数虽然考虑了在生产过程中各种中间产品对能源的消耗,但没有反映出位于不同层次的生产环节的能耗对部门节能的影响。具体可以按下面的实例来加以说明:

假设简化为一种最简单的情形,忽略其他层次的生产环节,只考虑前两层次的生产环节,A、B 两个部门在前两层次生产环节对电力(E 部门)总的消耗系数相同,但在不同层次的生产环节上对电力的消耗系数不同,其中第一层次生产环节的消耗系数即为直接消耗系数,第二层次生产环节(即经过其他中间产品部门 M)的消耗系数即为间接消耗系数,如图 1(a)和图 1(b)所示:

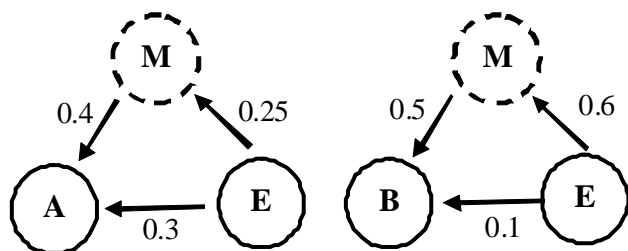


图 1 A、B 部门分别对电力的前两层次生产环节的消耗系数  
(箭头附近数值为部门间的直接消耗系数)

(a) A 部门对电力消耗

(b) B 部门对电力消耗

Fig.1 The electricity power consumptions coefficient of the first two production links by sector A and sector B respectively

(a) The electricity power consumptions by sector A

(b) The electricity power consumptions by sector B

A 部门对电力总的消耗= 第一层次生产环节消耗+第二层次生产环节消耗=  $0.3+0.4\times0.25=0.4$

B 部门对电力总的消耗= 第一层次生产环节消耗+第二层次生产环节消耗=  $0.1+0.5\times0.6=0.4$

从图 1 来看,虽然前两层次生产环节中 A、B 两部门对电力 E 部门总的消耗系数都相同,但 A 部门能耗较高的生产环节集中在第一层次生产环节,A 部门对电力总的能耗系数受中间产品环节 M 的影响相对较小。而 B 部门能耗较高的生产环节集中在第二层次生产环节,B 部门对电力总的能耗系数受到中间产品环节 M 的影响。从产业部门节能的角度而言,降低直接消耗系数大的 A 部门更可取,因为该部门第一层次生产环节的能耗高,由于避免了中间产品环节的影响,更容易通过实施技术进步等措施来达到降低能耗的目标,对 A 部门产生的效果也更直接。因此在作相关的产业部门节能政策决策时,A 部门应该比 B 部门优先考虑。

将上述生产环节推广到更多的层次,可以分别得到 A、B 部门对电力的完全消耗系数,因此用完全消耗系数来测算部门的能耗对于部门的节能从具体调控和节能效果而言也存在上述实例的问题。利用投入产出方法计算的完全能耗系数实质上是把所有层次的生产环节的能耗进行算术求和加总,每一层次的生产环节的能耗对于整条生产链的影响而言是等权重的,即完全能耗系数只能衡量部门对能源产品总的消耗。至于同样高能耗的生产环节所存在的层次差异则无法体现在完全能耗的计算方法里。实际上这种层次差异反映了中间产品环节的多少,位于第一层次生产环节的能耗反映出了从部门到该生产环节的能源产品在生产消耗过程中并无中间产品环节,位于第二层次生产环节的能耗反映出了从部门到该生产环节的能源产品生产消耗过程中有一层中间产品环节,位于第三层次生产环节的能耗反映了从部门到该生产环节的能源产品生产消耗过程中有两层中间产品环节,以此类推。由此可以看出从具体生产实施节能角度而言,按生产环节所在的层次先后顺序,层次排在越前面的生产环节的能耗,越不受到中间产品环节的影响,而层次排在越后面则越容易受到中间产品环节的影响。上述实例中,A、B 部门不同层次生产环节的电力消耗应该对衡量 A、B 部门电力总的消耗造成差

异,把这种差异反映在新的计算方法里对部门实施节能无论对具体调控还是对节能效果都可以起着很好的实践指导作用。

### 3 基于生产链的平均能耗计算方法: AECPC 模型

在国民经济系统 n 部门中,以炼钢消耗电力为例:炼钢生产活动中钢产品对电力的完全消耗包含了对电力的直接消耗,即第一层次生产环节消耗,同样还包含了对电力的间接消耗,即第二层次生产环节消耗、第三层次生产环节消耗,……。由前面分析可知,所在不同层次生产环节的能耗对于衡量部门总的能耗起着不同的影响。我们以钢对电力消耗为实例建立一种模型,该模型不仅能反映钢对电力的直接消耗以及间接消耗,还能反映出不同层次的生产环节对电力消耗的影响。层次排在越前面的生产环节,由于在生产消耗过程中包含的中间产品环节越少,即层次数越小的生产环节的能耗对部门生产链总能耗的影响越大,平均而言,它对整条生产链总能耗的贡献相对越大。反之,层次排在越后面的生产环节,由于在生产消耗过程中包含的中间产品环节也越多,即层次数越大的生产环节的能耗对部门生产链总能耗的影响越小,平均而言,它对整条生产链总能耗的贡献相对也就越小。由上面分析得出两个部门在某一层次生产环节的能耗即使相同,但由于层次数的大小不一样,导致通过新模型计算出部门生产链的平均能耗也必然不同。新模型应该考虑不同层次生产环节能耗在生产链总能耗中的

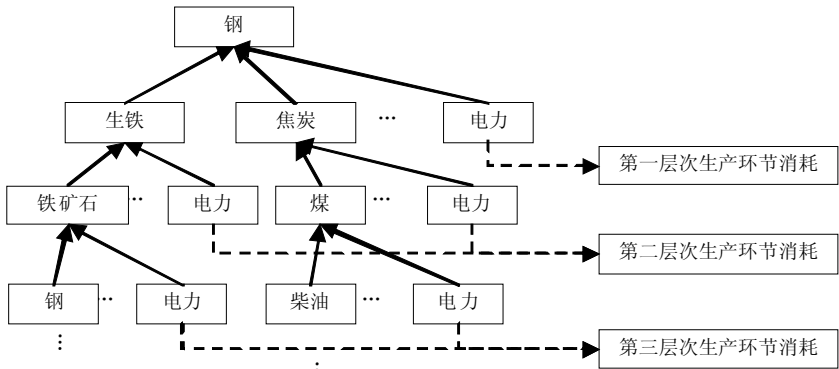


图 2 炼钢对电力的多层次生产环节消耗

Fig.2 The electricity power consumptions of the limitless production links by steel-making



权重,克服完全能耗计算加总各层次生产环节采用等权的弊端。钢对电力消耗的具体生产环节可以表示为图 2。

由图 2 可以按以下方法来设定每一层生产环节能耗的权重,并将考虑权重后所有层次生产环节的能耗再加总得到部门生产链的平均能耗:钢产品( $j$  部门)对电力产品( $i$  部门)第一层次生产环节消耗可用直接消耗系数表示为  $a_{ij}$ ,第二层次生产环节消耗可表示为  $\sum_{s=1}^n a_{is} a_{sj}$ ,将其折算为第一层次生产环节消耗取其平均值  $\frac{1}{2} \sum_{s=1}^n a_{is} a_{sj}$ ,第三层次生产环节消耗可表示为  $\sum_{s=1}^n \sum_{m=1}^n a_{is} a_{sm} a_{mj}$ ,将其折算为第一层次生产环节消耗取其平均值  $\frac{1}{3} \sum_{s=1}^n \sum_{m=1}^n a_{is} a_{sm} a_{mj}$ ... ,将所有折算为第一层次的平均值与直接消耗系数进行相加求和,就得到了钢产品对电力这条生产链的平均消耗  $f_{ij}$ ,表示为式(1)。其中,  $a_{ij}$  为钢对电力的直接消耗系数。

$$f_{ij}=a_{ij}+\frac{1}{2}\sum_{s=1}^na_{is}a_{sj}+\frac{1}{3}\sum_{s=1}^n\sum_{m=1}^na_{is}a_{sm}a_{mj}+\cdots; \quad (1)$$

在上述经济系统中推广到所有部门,取其矩阵形式得到  $F=A+\frac{1}{2}A^2+\frac{1}{3}A^3+\cdots$ ,  $A$  为  $n$  阶直接消耗系数矩阵。由于  $A$  矩阵所有元素  $a_{ij} \in [0,1)$ ,化简易得到式(2):

$$F=A+\frac{1}{2}A^2+\frac{1}{3}A^3+\cdots=(-1)\times[(-A-\frac{1}{2}A^2-\frac{1}{3}A^3-\cdots)]$$
$$=-\ln(I-A) \quad (2)$$

式(2)中若  $A$  矩阵可对角化,则  $-\ln(I-A)=\ln(I-A)^{-1}$ ,证明见附录。

式(1)和式(2)分别为 AECPC(Average Energy Consumptions of Production Chains)模型的系数形式和矩阵形式,可以看出 AECPC 模型计算部门生产链的平均能耗实质上是以不同层次生产环节所在层次数的倒数作为权重取其均值加总得到,就不同

表 1 部门的三种能耗计算方法比较

Tab.1 A comparison in three methods of measuring each sector's energy consumption

	反映直接消耗	反映间接消耗	从减少中间产品环节影响的节能角度衡量部门的能耗
直接能耗	√		√
完全能耗	√	√	
平均能耗	√	√	√

层次生产环节上相同的能耗系数而言,若所在生产环节的层次数越小,其包含的中间产品环节越少,对部门生产链总能耗的影响越大,相反若所在生产环节的层次数越大,其包含的中间产品环节越多,对生产链平均能耗的影响越小。这样,AECPC 模型反映了不同层次数的生产环节能耗对整条生产链总能耗的影响,通过减少中间产品环节影响衡量部门的能耗来实施节能,使节能政策更具可操作性,克服了完全能耗计算加总各层次生产环节能耗对部门生产链总能耗影响权重一致的问题。计算部门的生产链平均能耗与通常所计算的直接能耗以及完全能耗通过比较归纳如表 1 所示。

## 4 实证分析

本文依据中国国家统计局相关的数据编制了 2005 年能源投入产出表\*,将中国国民经济三次产业分为 29 个部门,其中前 9 个部门为能源部门,分为 4 个一次能源部门和 5 个二次能源部门,能源部门括号内为代表的主要能源产品,其余 20 个部门为非能源部门。详细的部门划分及名称见表 2。

表 3 为通过 AECPC 模型测算得到 29 个部门对煤炭等能源产品的生产链平均消耗情况。

表 2 2005 年中国国民经济的部门编号及名称

(括号内为代表的主要能源产品)

Tab.2 Each sector number according to its denomination of national economy of China in 2005

部门编号	部门名称	部门编号	部门名称
1	煤炭采选业(煤炭)	2	石油开采业(原油)
3	天然气开采业(天然气)	4	水电核电业(水电核电)
5	火电业(火电)	6	石油及核燃料加工业(成品油)
7	炼焦业(焦炭)	8	蒸汽热水生产业(热力)
9	燃气生产供应业(煤气和液化石油气)		
10	农业	11	金属矿及其他非金属矿采选业
12	食品加工业及烟草制品业	13	纺织服装皮革羽绒制品业
14	木材加工及家具制造业	15	造纸印刷及文教用品制品业
16	化学工业	17	非金属矿物制品业
18	金属冶炼及压延加工业	19	金属制品业
20	通用专用设备制造业	21	交通运输设备制造业
22	电气机械及器材制造业	23	电子通讯设备制造业
24	仪器仪表办公用具及其他制造业	25	自来水的生产和供应业
26	建筑业	27	交通运输仓储及邮政业
28	批发零售贸易及餐饮业	29	其他社会服务业

\* 2005 年中国投入产出表主要由国家统计局编制,中国人民大学张红霞等参与作修订工作。如需索取相关的数据,可与中科院数学与系统科学研究院陈锡康研究员联系: xkchen@iss.ac.cn

表 3 2005 年中国国民经济各部门生产链的平均能耗 单位(万元/万元)

Tab.3 Each sector's average energy consumptions of production chains of China in 2005 (unit: 10<sup>4</sup> yuan/10<sup>4</sup> yuan)

部门编号	煤炭	原油	天然气	水电核电	火电	成品油	焦炭	热力	煤气和液化 石油气
1	0.0562	0.0179	0.0014	0.0235	0.1123	0.0394	0.0021	0.0007	0.0005
2	0.0183	0.0202	0.0076	0.0104	0.0500	0.0337	0.0008	0.0002	0.0015
3	0.0157	0.0310	0.0347	0.0148	0.0680	0.0635	0.0016	0.0006	0.0004
4	0.0065	0.0090	0.0005	0.0809	0.0128	0.0154	0.0015	0.0003	0.0004
5	0.2913	0.0384	0.0054	0.0052	0.1033	0.0917	0.0013	0.0012	0.0017
6	0.0152	0.6903	0.0063	0.0065	0.0310	0.0531	0.0007	0.0011	0.0007
7	0.2907	0.0776	0.0051	0.0215	0.1028	0.0430	0.0293	0.0038	0.0080
8	0.2901	0.0711	0.0011	0.0120	0.0560	0.0730	0.0012	0.0245	0.0013
9	0.2461	0.1218	0.0061	0.0129	0.0617	0.1307	0.0108	0.0029	0.0466
10	0.0093	0.0100	0.0003	0.0036	0.0171	0.0201	0.0005	0.0002	0.0002
11	0.0261	0.0451	0.0010	0.0210	0.1006	0.0976	0.0046	0.0004	0.0018
12	0.0108	0.0089	0.0004	0.0041	0.0194	0.0152	0.0006	0.0005	0.0007
13	0.0141	0.0122	0.0015	0.0065	0.0312	0.0193	0.0008	0.0007	0.0006
14	0.0227	0.0172	0.0006	0.0084	0.0400	0.0326	0.0014	0.0006	0.0007
15	0.0210	0.0166	0.0014	0.0087	0.0416	0.0282	0.0014	0.0016	0.0007
16	0.0321	0.0603	0.0025	0.0158	0.0756	0.0646	0.0045	0.0014	0.0012
17	0.0659	0.0272	0.0028	0.0202	0.0966	0.0568	0.0095	0.0006	0.0020
18	0.0490	0.0223	0.0047	0.0171	0.0819	0.0427	0.0307	0.0008	0.0020
19	0.0254	0.0186	0.0018	0.0141	0.0676	0.0305	0.0119	0.0007	0.0009
20	0.0238	0.0163	0.0022	0.0100	0.0476	0.0284	0.0076	0.0006	0.0011
21	0.0191	0.0147	0.0019	0.0076	0.0361	0.0243	0.0046	0.0007	0.0012
22	0.0186	0.0179	0.0015	0.0083	0.0399	0.0300	0.0057	0.0006	0.0017
23	0.0129	0.0138	0.0008	0.0067	0.0318	0.0222	0.0024	0.0005	0.0011
24	0.0171	0.0128	0.0007	0.0060	0.0288	0.0210	0.0057	0.0005	0.0013
25	0.0349	0.0117	0.0008	0.0410	0.1962	0.0208	0.0011	0.0006	0.0048
26	0.0182	0.0189	0.0010	0.0079	0.0376	0.0388	0.0059	0.0007	0.0008
27	0.0114	0.0718	0.0010	0.0048	0.0227	0.1898	0.0025	0.0009	0.0017
28	0.0102	0.0117	0.0007	0.0058	0.0277	0.0260	0.0006	0.0013	0.0017
29	0.0137	0.0109	0.0005	0.0055	0.0262	0.0205	0.0010	0.0014	0.0011

根据表 3 中的计算数据可以得到,2005 年生产链平均能耗最高的各生产链分别是(括号内数值分别为生产链的平均能耗值):

①煤炭:煤炭采选业→火电业(0.2913);②原油:石油开采业→石油及核燃料加工业(0.6903);③天然气:天然气开采业→天然气开采业(0.0347);④水电核电:水电核电业→水电核电业(0.0809);⑤火电:火电业→自来水的生产和供应业(0.1962);⑥成品油:石油及核燃料加工业→交通运输仓储及邮政业(0.1898);⑦焦炭:炼焦业→金属冶炼及压延加工业(0.0307);⑧热力:蒸汽热水生产业→蒸汽热水生产业(0.0245);⑨煤气和液化石油气:燃气生产供应业→燃气生产供应业(0.0466)。

从生产链平均能耗的计算结果来看,天然气开采业和水电核电业两个一次能源部门与蒸汽热水生产业和燃气生产供应业两个二次能源部门的部门自身能耗最高,应从部门自身改进技术,改善经营管理,提高能源自身的利用效率。从其他 5 条生

产链来看,火电业仍然是煤炭的消费大户,煤炭在我国一次能源生产和消费中所占比例一直是 70%左右,占据着主导地位,我国煤炭资源虽然较为丰富,但具有经济性可开采的储量并不充足,预计 2010 年原煤供需缺口约 5 亿吨<sup>[21]</sup>,受地理位置以及当前水资源短缺等因素制约,水电业大规模替代火电业也很困难,这使得火电业的发展只有考虑从自身来降低煤耗,并且我国发电设备技术较国际先进水平存在着一定差距<sup>[21]</sup>,使机组供电煤耗偏高也具有节能的潜力空间。只有积极的改进技术,引进先进生产设备,坚持资源节约型的电力工业可持续发展才是必然选择,同时降低了火电业的煤耗,对于上游煤炭行业的安全生产、避免矿难的发生也有客观的促进作用。

交通运输仓储及邮政业对成品油的平均消耗最高,该行业对成品油的依赖性很强。油价的波动对交通运输业的影响冲击很大,油价的上涨导致交通运输行业的成本面临上涨的压力,就节能降低成

本而言,交通运输业应改善经营管理,增强节油意识,严格控制油耗,加大节油产品的研制,积极寻找其他低能耗的能源替代成品油。金属冶炼及压延加工业对焦炭的消耗反映了我国金属冶炼业的生产结构没有发生大的变化。石油及核燃料加工业作为原油的加工下游产业,必然对原油的平均消耗最高。另外从对火电消耗来看,自来水的生产和供应业是它的最大的消耗部门,自来水生产和供应消耗的电能主要来自水泵和电动机设备,在制水过程中科学的利用生产设备,可以有效的提高产能节约能耗,同时在居民消费中注意节约用水也会缓解供水压力降低对电力的消耗。由各生产链的平均能耗的计算结果可得出,对 9 种不同能源产品的高能耗部门实施节能政策,可以使在具体调控中避免中间产品的影响,并且节能效果也更直接。

## 5 结论

关于部门能耗的计算方法主要分为直接能耗和完全能耗的计算。直接能耗的计算体现了对能源最直接的消耗,不足之处在于没有反映间接消耗的情况。完全能耗的计算包括了间接消耗在内的完全消耗的大小,却没有反映出在生产链中不同层次生产环节对于能耗的影响。由于受到中间产品环节的影响,从节能具体调控以及产生的节能效果而言,不同层次生产环节的能耗对部门节能影响显然是不同的。因此必须把这种差异反映在新的计算方法里,即考虑不同层次生产环节的能耗对于部门生产链总能耗的贡献是不等权的,对于权重的设置,本文作了初步探讨,采用各生产环节层次数倒数来设置权重,提出了生产链平均能耗的概念。建立的 AECPC 模型不仅反映了部门对能源直接以及间接消耗,同时还考虑不同层次生产环节能耗对于部门生产链总能耗的影响,综合直接能耗和完全能耗两种方法的优点,这为制定产业节能政策从具体生产操作层面上提供了有力的决策依据。从本文 2005 年中国不同能源产品最主要的 9 条生产链计算结果来看,传统的能源消耗结构仍占据主导地位。自来水的生产和供应业部门对火电的生产链平均消耗最高。因此,节约生活用水不仅是在节约一种生活资源,同时也是在最直接的节约火电这种能源。

目前我国“十一五”规划以及未来的“十二五”规划中,节能减排工作始终是重点。通过改进生产

技术,提高管理效率来降低能耗对于实现环境经济双赢无疑是具有重要意义的。AECPC 模型基于投入产出技术从复杂系统的角度衡量了部门的生产链平均能耗情况,这对于在能源消耗分析基础上确定重点的产业部门,进而开展碳减排工作,为实现产业转型提供了重要的参考依据。另外从本文建模分析中可以看出,AECPC 模型不仅可以测算生产链的平均能耗,还可以测算生产链其他物质的平均消耗,比如一些金属矿等自然资源的消耗情况,这为调整产业结构,制定相关的产业政策也提供了一种分析工具。

## 附录

证明:设  $A \in C^{n \times n}$  是可对角化的,则  $I-A$  也是可对角化的,即存在  $P \in C^{n \times n}$ ,使得  $P^{-1}EP = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \Lambda$ ,其中  $E = I-A$ ,则有  $g(E) = -\ln E = -\ln P \Lambda P^{-1} = P(-\ln \Lambda)P^{-1} = P \text{diag}(g(\lambda_1), g(\lambda_2), \dots, g(\lambda_n))P^{-1}$   
 $= P \text{diag}(-\ln \lambda_1, -\ln \lambda_2, \dots, -\ln \lambda_n)P^{-1}$   
 $= P \text{diag}(\ln \lambda_1^{-1}, \ln \lambda_2^{-1}, \dots, \ln \lambda_n^{-1})P^{-1}$   
 $f(E) = \ln E^{-1} = \ln(P \Lambda P^{-1})^{-1} = P(\ln \Lambda^{-1})P^{-1} = P \text{diag}(f(\lambda_1),$   
 $f(\lambda_2), \dots, f(\lambda_n))P^{-1} = P \text{diag}(\ln \lambda_1^{-1}, \ln \lambda_2^{-1}, \dots, \ln \lambda_n^{-1})P^{-1}$   
 故  $g(E) = f(E)$

## 参考文献

- [1] 秦大河. 全球气候变化对中国可持续发展的挑战. 中国发展观察, 2007, (4): 38-39.
- [2] 魏一鸣, 刘兰翠, 等. 中国能源报告碳排放研究(2008), 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 王会娟, 夏炎, 陈锡康. 能耗指标的投入占用产出研究. 统计研究, 2008, 25(6): 25-29.
- [4] 陈锡康, 曹居中, 薛新伟, 等. 中国城乡经济投入占用产出分析. 北京: 科学出版社, 1992.
- [5] Chenery H B, Watanabe T. International comparisons of the structure of production. *Econometrica*, 1958, 26: 487-521.
- [6] Rasmussen P. *Studies in Intersectoral Relations*, Amsterdam: North Holland, 1956.
- [7] Hirschman A O. *The strategy of economic development*, New Haven, Conn.: Yale University Press, 1958.
- [8] Hazari B R. Empirical identification of key sectors in the Indian economy, *The Review of Economics and Statistics*, 1970, 52(3): 301-305.
- [9] Yan C, Ames E. Economic interrelatedness, *The Review of*

- Economic Studies, 1965, 32(4):299–310.
- [10] Kurz H D, Dietzenbacher E, Lager C. Input–Output Analysis(Vol ). Cheltenham, Edward Elgar,1998.
- [11] Khan A Q. Structural change in Pakistan’s interindustry relationships, Economic Systems Research, 1991,3(2):163–170.
- [12] Roberts B M. Structural change in Poland, 1980–90: Evidence from social accounting multipliers and linkage analysis. Economic Systems Research, 1995,7(3):291–308.
- [13] Han Xiaoli. Structural change and labor requirement of the Japanese economy. Economic Systems Research, 1995,7(1):47–66.
- [14] Lin Xiannuan, Polenske K R. Input–output anatomy of China’s energy use changes in the 1980s. Economic Systems Research, 1995,7(1):67–84.
- [15] Teng Jian. Input–output analysis of economic growth and structural changes in China, Journal of Applied Input–Output Analysis, 1996,3:18–55.
- [16] Lesuis P J J, Paul K C et al. Structural models of factor demands and technological change: An empirical assessment of dynamic adjustment specifications for sectors of the Dutch economy. Economic Systems Research, 1996, 8(4):341–360.
- [17] Wolff E N. Spillovers, linkages and technical change. Economic Systems Research, 1997, 9(1):9–23.
- [18] Dietzenbacher E, Romero I, Bosma N S. Using average propagation lengths to identify production chains in the andalusian economy. Estudios de Economia Aplicada, 2005, 23(2): 405–422.
- [19] Dietzenbacher E, Romero I. Production chains in an inter-regional framework: Identification by means of average propagation lengths. International Regional Science Review, 2007, 30(4): 362–383.
- [20] 邓志国, 陈锡康. 基于 APL 模型的中国部门生产链演化分析. 数学的实践与认识,2008,38(1): 53–59.
- [21] 焦庆丰, 朱光明, 李明, 等. 我国火电厂能耗现状及节能潜力分析. 湖南电力, 2008, 28(1): 19–23.

## Research on China’s Average Energy Consumption of Production Chain Based on Input–Output Technique

TANG Zhipeng<sup>1</sup>, LIU Weidong<sup>1</sup>, LIU Hongguang<sup>1</sup>, CHEN Xikang<sup>2</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Academy of Mathematics and Systems Science, CAS, Beijing 100190, China)

**Abstract:** The changes of global climate abnormality induced by greenhouse gases are the focuses of the world’s attention, CO<sub>2</sub> emissions induced by energy consumptions has been the major greenhouse gas during recent years. In order to show mechanism of industrial structure of Chinese energy consumption, we bring forward the concept of average energy consumption and construct an AECPC (Average Energy Consumptions of Production Chains) model based on input–output technique in this paper, which not only reflects direct energy consumption and indirect energy consumption of each sector, but also reflects the effect on energy consumption by different production links from the point of view of energy saving. By applying the model, the paper calculates twenty–nine sectors in Chinese national economy in 2005. The results show maximal average consumptions of production chains of nine kinds of energy production respectively. These production chains not only include known sectors which are high energy consumption, but also other sector, such as the production and supply of tap water sector. The AECPC model can help make industrial policy of Chinese industrial transformation impact on carbon emissions.

**Key words:** production chain; production link; average energy consumptions of production chains model; direct energy consumption; total energy consumption; average energy consumption; industrial transformation; China