

中国产业能耗的区域差异与区域联系

李方一¹, 刘卫东^{2,3}, 公丕萍^{2,3,4}

(1. 合肥工业大学管理学院, 安徽 合肥 230009; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 选取能源指标刻画中国区域能耗特征, 揭示产业能耗的区域差异, 并将30个省市、自治区划分为都市消费型、重型出口型、轻型出口型、能源基地型、中等能耗型和低能耗型6种能源利用类型。通过评估2007年各类型区域之间的隐含能源转移量, 明确区域在隐含能源流中的位置, 揭示产业能耗的区域联系。基于区域间投入产出分析与地域分工理论, 分析中国产业能耗区域差异和区域联系现象的形成机制, 可归因于区域产业分工与产业链分工, 以及由此产生的最终产品与中间产品贸易, 其中, 区域参与产业链分工格局与区域间隐含能源流动格局基本匹配。最后为不同类型区域提出政策建议。

关键词: 区域类型划分; 能源强度; 隐含能源; 产业链分工

中图分类号: K902 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2015)01-0038-09

随着工业化和城市化进程的推进, 中国能源消费量不断提升。2010年, 中国能源消费量占全球的20.3%^[1], 成为世界上最大的能源消费国和二氧化碳排放国, 但GDP只占全世界的10%, 能源效率亟待提高。2011年9月, 中国政府为各地区2011~2015年制定了严格的节能减排目标^[2], 成为考核地方政府的重要约束性指标。为了给政策制定和实施路径提供科学支撑, 区域能源强度和碳排放强度的影响因素及趋势预测成为相关领域的研究热点之一^[3-10]。研究结果显示, 各地区的能源强度现状、变化趋势与影响因素存在显著差异, 节能减排潜力存在较大的区域差异。

另一方面, 自1997年《京都协议书》签署之后, 由于国际气候谈判涉及到温室气体排放权问题, 国内外学者对隐含在商品和服务贸易流中的能源及碳排放进行了深入研究^[11-16]。随着中国经济总量不断增长, 其国际隐含碳排放链条中的地位和角色更加受到学术界的关注^[17-21]。尤其是在加入世界贸易组织(WTO)后, 出口对中国经济增长的拉动作用不断增强, 出口在带动经济增长、促进就业的同时, 也带来了大量的能源消耗和环境污染, 研究发现, 中国消耗的能源有一部分作为商品和服务中的隐

含能源, 被出口到世界其他国家和地区, 主要目的地是美国、西欧和日本等发达国家和地区^[22-26]。

目前中国国内贸易中的隐含能源和碳排放研究比较少见^[27], 一是因为区域间投入产出表基础数据缺乏, 二是因为区域间隐含能源和隐含碳转移对各区域节能减排的影响未受到重视, 相关研究的政策意义还不够突出。有学者研究了中国隐含碳排放的区域联系^[28], 但运用的是传统的区域划分方法, 由于地理上相互邻近的省份有可能在能源利用和发展模式上存在较大的差别, 研究中提出的政策建议的区分度不够。为了提出针对性强、区分度高的政策建议, 有必要基于对区域能耗特征的分析, 重新划分区域类型, 并深入研究产业能耗区域差异与区域联系的现象及其形成机制。

本文选取能源指标刻画区域能耗特征及其区域差异, 通过评估不同类型区域之间的隐含能源转移量, 揭示产业能耗的区域联系, 并对差异与联系现象的形成机制展开分析。

1 方法与数据

1.1 计算方法

为了充分刻画区域能耗特征, 需要计算能源

收稿日期: 2014-03-17; 修订日期: 2014-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41125005)、中央高校基本科研业务费专项资金(2013BH2X0048)资助。

作者简介: 李方一(1985-), 男, 湖南常德人, 博士, 讲师, 主要从事区域与城市可持续发展研究。E-mail: fyl1985@gmail.com

强度、区域间隐含能源转移量和区域人均消费隐含能源等指标,分别介绍其计算方法。

1) 能源强度

能源强度指单位国内(地区)生产总值能耗。在中国统计资料中,能源消耗分为生活能耗和产业能耗,计算能源强度时一般包括这两部分。区域能源强度可由等式(1)计算得到:

$$I_i = \frac{E_{household}^i + E_{industry}^i}{G_i} \quad (1)$$

式中, I 为能源强度, i 为区域代码, $E_{household}$ 和 $E_{industry}$ 分别为生活能耗和产业能耗, G 为地区生产总值。

2) 区域间隐含能源贸易量

计算区域间隐含能源贸易量的方法和数据基础是区域间投入产出表,其基本结构和运算方法见文献[29, 30]。在区域间投入产出表中,设区域间直接消耗系数矩阵 A , Leontief 逆矩阵 $B = (I - A)^{-1}$, 即产业乘数矩阵,其中 I 为单位矩阵。 B 可以写成与 $(I - A)^{-1}$ 相对应的分块矩阵,即:

$$B = \begin{bmatrix} B^{11} & B^{12} & \cdots & B^{1s} & \cdots & B^{1m} \\ B^{21} & B^{22} & \cdots & B^{2s} & \cdots & B^{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{r1} & B^{r2} & \cdots & B^{rs} & \cdots & B^{rm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{m1} & B^{m2} & \cdots & B^{ms} & \cdots & B^{mm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$= \begin{bmatrix} I - A^{11} & -A^{12} & \cdots & -A^{1s} & \cdots & -A^{1m} \\ -A^{21} & I - A^{22} & \cdots & -A^{2s} & \cdots & -A^{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A^{r1} & -A^{r2} & \cdots & I - A^{rs} & \cdots & -A^{rm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A^{m1} & -A^{m2} & \cdots & -A^{ms} & \cdots & I - A^{mm} \end{bmatrix}^{-1}$$

式中, A^s 为 $s(s=1, \dots, m)$ 区域各产业对 r 区域各产业的直接消耗矩阵, m 为区域数, 设 D 为与区域间投入产出表对应的各区域各产业直接能耗系数行向量, F_h 为 h 区域的最终使用列向量, 则 h 区域最终使用中的隐含能源 W_h 可由式(3)得到:

$$W_h = D(I - A)^{-1} F_h = DBF_h = D(BF_h)$$

$$= [D^1 \ D^2 \ \cdots \ D^r \ \cdots \ D^m] \times$$

$$\begin{bmatrix} B^{11} & B^{12} & \cdots & B^{1s} & \cdots & B^{1m} \\ B^{21} & B^{22} & \cdots & B^{2s} & \cdots & B^{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{r1} & B^{r2} & \cdots & B^{rs} & \cdots & B^{rm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{m1} & B^{m2} & \cdots & B^{ms} & \cdots & B^{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_h^1 \\ F_h^2 \\ \vdots \\ F_h^r \\ \vdots \\ F_h^m \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= [1 \times m] [D^1 K_h^1 \ D^2 K_h^2 \ \cdots \ D^r K_h^r \ \cdots \ D^m K_h^m]^T$$

式中, $[1 \times m]$ 表示 m 个 1 组成的行向量, 目的是使后面的列向量相加。 W_h 为从消费者责任的角度看由 h 区域范围内最终使用而在全国范围内引发的能源消耗。同时, 根据等式(3), 存在:

$$D^1 K_h^1 = D^1 B^{11} F_h^1 + D^1 B^{12} F_h^2 + \cdots + D^1 B^{1r} F_h^r + \cdots + D^1 B^{1m} F_h^m \quad (4)$$

式中, $D^1 B^r F_h^r$ 表示区域 r 提供给区域 h 最终使用中的隐含能源来自区域 1 的部分, $D^1 K_h^1$ 表示 h 区域最终使用中的隐含能源来自区域 1 的部分, 而 $D^r K_h^r$ 表示区域 h 最终使用中的隐含能源来自区域 r 的部分, m 为区域数量。根据等式(3)和(4), 可以得到多区域两两之间的隐含能源转移量。

3) 区域人均消费隐含能源

为了满足社会消费需求, 在生产商品和服务的过程中所消耗的能源, 定义为消费中的隐含能源(也称为完全能耗)。此外, 还存在投资中的隐含能源、出口中的隐含能源等。由于消费、投资和出口三项最终使用是拉动产业发展的源动力, 因此, 最终使用也可以看作是产业能耗的根本原因。一个国家(或地区)的隐含能源反映了该国(地区)最终使用对产业能耗的拉动作用, 剔除掉人口规模因素, 人均隐含能源更具有可比性。其中, 居民人均消费的隐含能源反映了人均消费对产业能耗的拉动作用, 受学术界关注较多, 目前已形成较为成熟的计算方法^[31-33]。

1.2 数据处理

本研究所采用的数据来自《中国统计年鉴》^[34]、《中国能源统计年鉴》^[35], 及《区域间非竞争型投入产出表》^[30]。其中, 中国区域间非竞争型投入产出表以 2007 年数据为基础编制, 包含中国 30 个省、直辖市和自治区(省市区), 不含西藏自治区、香港和澳门特别行政区、台湾省, 各地区产业部门分别划分为 30 个产业^[30, 36]。受能源统计资料的限制, 难以计算各区域各产业的直接能耗系数。考虑到各区域工业结构与技术水平存在差异, 所以不能直接使用全国直接能耗系数代替, 需通过修正得到各区域直接能耗系数。这里采用行列平衡法进行修正, 具体修正过程见文献[26]。

2 产业能耗的区域差异

总体上, 中国能源强度的分布呈现出北方高于南方、西部高于东部的空间特征(图 1a)。具体而言, 山西、宁夏、青海和贵州是能源强度最高的

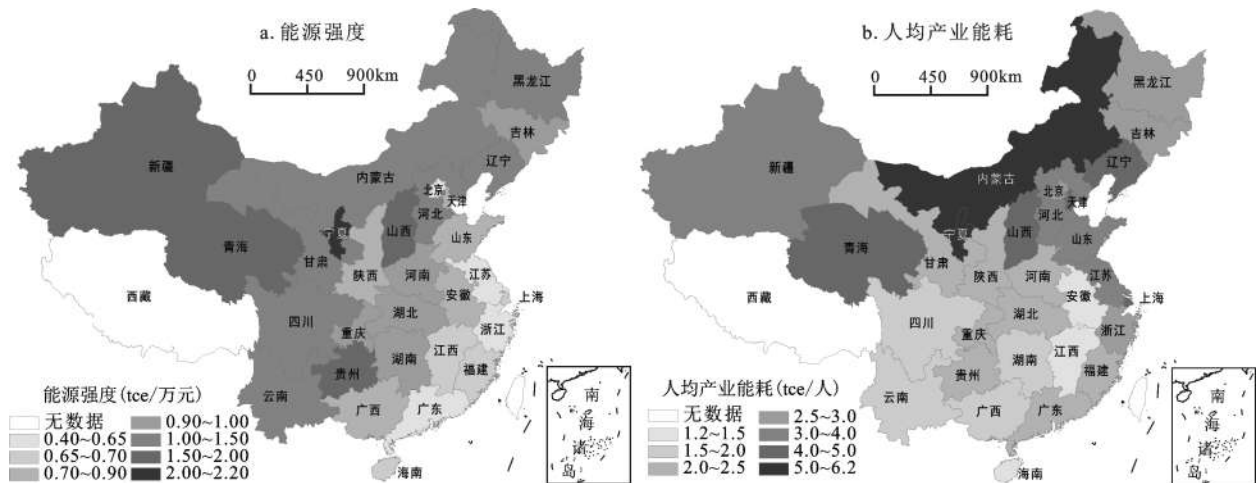


图1 2010年能源利用的区域差异

Fig. 1 Regional difference of energy consumption in 2010

省份,内蒙古和新疆2个自治区的能源强度也较高,东北和中部省份居中,而除辽宁、河北以外的东部沿海省市能源强度最低。此外,2005年和2010年对比发现,能源强度的区域差异并未发生根本改变,5 a间能源强度降低幅度最大的区域是北京、山西、内蒙等,降幅最小的是海南、新疆、福建等。

人均产业能耗是衡量区域能耗差异的另一指标。从图1b可知,内蒙古、宁夏和山西人均产业能耗最高,其次是上海、辽宁、河北、青海、北京和天津,再次是东部沿海省份和东北。而工业基础较为薄弱的安徽、江西、广西、云南、四川和海南的人均产业能耗最低。

从世界发达国家的发展历程来看,随着工业化和城市化进程推进,能源强度是先上升、后下降,呈倒U型^[37-40]。例如,英国在1883年,美国、德国在1917年左右,法国在1930年左右,日本在1938年左右达到能源强度的顶峰,随后逐渐下降。根据国际经验,现阶段中国能源强度和人均能耗的区域差异明显,反映了各省区市在经济发展阶段和生产技术水平上的差异^[41,42]。

3 产业能耗的区域联系

3.1 区域类型划分

基于能源强度的区域差异,结合其他能源指标划分区域类型。现有研究发现,消费中的隐含能源不仅反映了居民消费对产业能源的需求和拉

动作用,也在一定程度上反映了国家(地区)的经济发展水平^[31-33]。而出口贸易中的隐含能源则反映了国家(地区)经济的外向性。因此,一个国家(地区)的能源强度、人均消费的隐含能源和隐含能源中的出口比重3个指标,可分别反映该国家(地区)的产业能耗现状和最终使用对产业能源的拉动特征。基于上述3个指标,根据相近即相似的原理,对中国30省区市进行类型划分。由于中国区域间投入产出表数据目前只更新到2007年,为了保持时间上的一致性,指标均采用2007年数据计算得到。

具体划分过程如图2所示, X 、 Y 、 Z 分别是2007年各省区市的能源强度、人均消费隐含能源、隐含能源中的出口比重。首先根据 X 及 Y 值可将所有省区市分为3类(图2a),其中处于第三象限的个数较多,可以进一步划分,根据 Y 与 Z 值,将图2a中第三象限中的省区市进一步划分为4种类型(图2b)。最终将30个省区市划分为6种类型。

根据划分,类型一包括东部三大直辖市,是中国经济发达的大都市,人均消费隐含能源高;类型二的省份位于中国北方沿海地区,能源强度处于全国中等水平,隐含能源出口比重较高;类型三省份主要位于中国北方内陆地区,能源强度最高;类型四分布在中国的东北和中西部地区,能源强度处于中等水平;类型五是中国经济发达的东部沿海地区,能源强度低,隐含能源出口比重高;类型六的3项能源指标都偏低。由此可见,划分结果

表1 2007年区域间贸易中的隐含能源转移矩阵($\times 10^4 \text{tce}$)
Table 1 Embodied energy transfer matrix in inter-regional trade in 2007 ($\times 10^4 \text{tce}$)

	都市消费型	重型出口型	能源基地型	中等能耗型	轻型出口型	低能耗型	区域外	在隐含能源流中的位置
都市消费型	—	—	—	—	—	—	109	消费终端、进口端
重型出口型	11	—	—	12	15	7	104	起点、中间节点、出口终端
能源基地型	41	6	—	25	51	17	66	起点
中等能耗型	10	—	—	—	15	3	47	起点、中间节点
轻型出口型	4	—	—	—	—	—	378	出口终端、消费终端
低能耗型	8	—	—	—	19	—	31	起点、中间节点
区域外	150	60	40	36	250	22	—	终端

转换为产品隐含能源最重要的起点。中等能耗型区域高能耗产业比重也较高,但不及能源基地型区域,是能源转换为产品隐含能源的起点,也是隐含能源转移的中间节点。低能耗型区域还处于低能耗发展阶段,是隐含能源流的起点和中间节点,但与其他区域联系较弱。各类型区域通过隐含能源转移,在产业能耗方面建立了密切的联系。

4 机制分析

已有研究发现,区域能耗特征与产业结构、生产的技术水平等因素密切相关^[5-10]。另一方面,区域产业结构、技术水平又与地域分工紧密相关,下文将基于区域间投入产出分析与地域分工理论,阐述中国产业能耗区域差异与区域联系的形成机制。

4.1 区域间产业分工

国家或区域间的产业分工是地域分工最初的表现形式,各国家(区域)基于自身的生产要素禀赋参与国际(区际)贸易,而形成了产业分工。在一国内部,区位熵是某地区某产业占全国该产业的比重与该区所有产业占全国所有产业比重之比,反映了区域间产业分工。将2007年区域间投入产出表转化为6区域11产业,利用增加值数据计算6类区域各产业的区位熵(表2)。

由表2可知,中等能耗型与低能耗型区域在农业,能源基地型区域在采矿业、原材料加工业、公共供给和交通运输业,都市消费型在商业、公共服务,轻型出口型区域在轻工业、机械制造业,重型出口型区域在化学工业具有较高的区位熵。各区域形成了各自的优势产业,承担着差异明显的生产职能。结合产业能源强度来看,都市消费型和轻型出口型区域在低能耗产业上占据优势,而能源基地型与重型出口型区域的高能耗产业占据优

势。中等能耗型与低能耗型区域的工业和第三产业缺乏优势。由此可见,各类型区域存在明显的产业分工,是导致产业能耗区域差异的原因之一,而由此产生的区域间贸易,是区域间隐含能源转移的重要载体,也是区域联系的重要纽带。

4.2 区域参与产业链分工

随着经济全球化的不断加深,区域分工逐渐由产业间分工向产业内甚至产品内分工演化,区域间经济联系不仅表现在不同产业之间,也同样表现在相同产业的彼此合作^[43]。区域间初级产品与中间产品的贸易流量在一定程度上反映了区域参与产业链分工的情况。

依据区域间投入产出表,分别计算农业、采矿业和制造业中间使用的区域间流量,以反映产业链中的区域联系(表3)。可以看出,中等能耗型、能源基地型和低能耗型区域是农业中间产品的输出区域,能源基地型、中等能耗型与重型出口型区域是采矿业中间产品的输出区域,重型出口型、能源基地型和低能耗型是制造业中间产品的输出区域。而轻型出口型与都市消费型区域是3项中间产品的主要输入区域。由此可见,在全国产业链分工中,承担原材料供应职能的区域主要是能源基地型和中等能耗型区域,其次是重型出口型和低能耗型区域,都市消费型与轻型出口型区域则大量利用其他区域的原材料。由最终产品的净调出和出口情况来看,重型出口型与轻型出口型区域是最终产品的净调出区,这两者与都市消费型区域又是主要的最终产品出口区。基于区域产业链分工与中间产品贸易,各类型区域建立了紧密的经济联系。与产业分工相比,产业链分工所产生的区域间贸易绝大部分是中间产品,是生产者与生产者之间的贸易,在区域间的连接性更强。

表2 2007年产业能源强度及在各区域的区位熵

Table 2 Energy intensities and location entropies of each sector in six regions in 2007

	能源强度	都市消费型	重型出口型	能源基地型	中等能耗型	轻型出口型	低能耗型
农业	115	0.12	0.94	1.14	1.51	0.63	1.67
采矿业	516	0.40	1.45	2.15	1.48	0.22	0.99
轻工业	143	0.51	1.18	0.71	0.79	1.26	1.14
化学工业	488	0.88	1.35	0.90	0.85	1.12	0.78
原材料加工业	664	0.72	1.09	1.61	0.74	0.88	1.13
机械制造业	63	1.31	0.99	0.34	0.77	1.51	0.61
公共供给	475	0.78	0.80	1.43	1.04	0.95	1.00
建筑业	55	0.74	0.93	1.08	1.17	0.86	1.25
交通运输业	625	1.08	0.91	1.42	0.99	0.81	1.08
商业	90	1.37	0.93	0.76	0.95	1.09	0.90
公共服务	95	1.61	0.83	0.88	0.98	1.02	0.83

注：能源强度为全国平均值，单位：kgce/万元。采矿业包括煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业、金属矿采选业、非金属矿及其他矿采选业，轻工业包括食品制造及烟草加工业、纺织业、纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业、木材加工及家具制造业、造纸印刷及文教体育用品制造业，化学工业包括石油加工、炼焦及核燃料加工业、化学工业，原材料加工业包括非金属矿物制品业、金属冶炼及压延加工业、金属制品业，机械制造业包括通用和专用设备制造业、交通运输设备制造业、电气机械及器材制造业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业、仪器仪表及文化办公用机械制造业、其他制造业，公共供给包括电力、热力的生产和供应业、燃气及水的生产与供应业，商业包括批发零售业、住宿餐饮业、租赁和商业服务业，公共服务包括研究与试验发展业、其他服务业。农业、建筑业、交通运输业分别对应着投入产出表中的农业、建筑业、交通运输和仓储业。

表3 2007年中间产品流量及各区域调出产品价值量

Table 3 Flow of intermediate products and finished products in 2007

目的地调出地	都市消费型	重型出口型	能源基地型	中等能耗型	轻型出口型	低能耗型	中间产品净调出			制造业最终产品	
							农业	采矿业	制造业	净调出	出口
都市消费型	——				◆□		-611	-493	-903	-764	13109
重型出口型	◆	——			◆		-808	664	2012	971	7636
能源基地型	☆◆□	☆	——	☆◆	☆☆◆◆□□	☆	802	1409	4223	-1736	2583
中等能耗型		☆☆◆	☆	——	☆☆◆◆□	☆	1277	985	-2778	-1840	3094
轻型出口型	□		□	□	——	□	-1222	-2787	-4980	4866	51468
低能耗型				☆	☆☆◆◆□□	——	563	222	2426	-1498	2396

注：☆：农业中间使用；◆：采矿业中间使用；□：制造业中间使用，个数多表示流量大，未评估自身对自身的中间使用流量。其他数据单位：亿元人民币。净调出=调出-调入。

结合6类区域在隐含能源流和产业链中的位置，绘制出图4，可以看出区域产业链分工格局与隐含能源流动格局基本匹配。能源基地型和低能耗型区域主要承担原材料和中间产品的生产功能，是隐含能源流的起点；重型出口型与中等能耗型则承担了中间产品的生产功能，是隐含能源流的中间节点；而轻型出口型与都市消费型区域一方面承担着最终产品的生产功能，另一方面又是最终产品的消费终端和出口终端，隐含能源流在这两类区域汇集，一部分被最终消耗掉，另一部分被出口到国外被其他国家所消耗。因此，区域通

过参与产业链分工，使产业能耗的区域联系更加紧密。在此背景下，区域各自出台的节能减排政策与产业发展政策，也极有可能通过产业链的紧密连接关系而产生相互影响，从而影响到全国节能减排和经济发展方式转型的整体效果。

5 结论与政策建议

本文选取能源强度、人均消费隐含能耗和隐含能源中的出口比重3个指标，将中国30个省区市划分为都市消费型、重型出口型、轻型出口型、能源基地型、中等能耗型和低能耗型6种能源利用

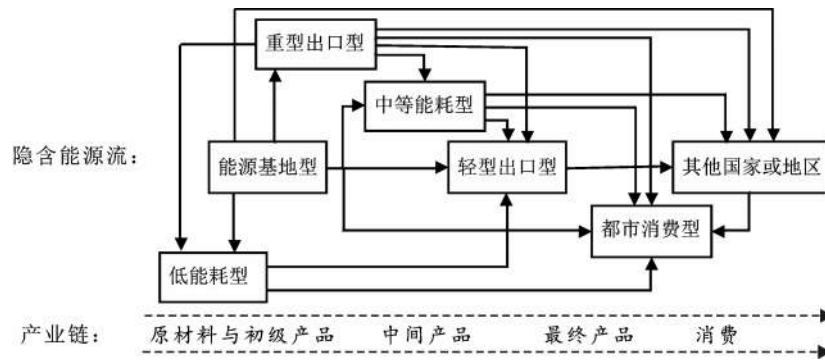


图4 区域在隐含能源流和产业链中的位置

Fig.4 Position of each region in embodied energy flow and industrial chains

类型;通过评估区域间贸易中的隐含能源,明确了各区域在隐含能源流中的位置,并结合地域分工理论展开机制分析。结果显示,区域产业链分工格局与隐含能源流动格局基本匹配,低能耗型区域承担了部分原材料与初级产品的生产功能,与其他地区的能源联系较弱;能源基地型区域主要承担初级产品与中间产品的生产功能,能源强度高,是隐含能源流的重要起点;重型出口型区域产业结构偏重,既是隐含能源流的出口终端,又是隐含能源在国内转移的重要节点;都市消费型和轻型出口型区域主要承担最终产品的生产功能,是中国隐含能源流的消费和出口终端。总体来看,中国产业能耗目前所形成的区域差异和区域联系现象主要由地域分工导致,尤其是区域普遍参与产业链分工,使各类型区域产业能耗形成紧密的相互联系。基于各类型区域能耗特征与区域间能源联系,为区域发展与节能减排政策的制定提出相关建议:

低能耗型区域尚处于工业化初期或中期阶段,能源强度较低,与其他区域的能耗联系也较弱;能源基地型区域目前仍处于工业化中期阶段,同时还在承接高能耗产业的转移,短时期内能源强度大幅降低的可能性不大。这两类区域的经济水平较全国水平低,为了实现节能减排和区域协调发展两大目标,应加大财政转移力度、改善基础设施条件,推动当地轻工业和第三产业的发展;加快淘汰落后产能,推动传统企业的技术改造,充分挖掘技术节能潜力;在制定区域节能减排目标时,应考虑到落后地区的发展模式和在产业链中的分工,目标可略低于全国平均水平。

重型出口型区域处于工业化中后期阶段,但产业结构偏重,是隐含能源流的出口终端。应大力推

动高能耗企业的国际化发展,构建全球性的产业链,将产业链的高能耗部分向国外转移。中等能耗型区域处于工业化中期阶段,可通过制造业产业升级和提升第三产业比重实现能源强度降低。这两类区域经济基础较好,是经济发展方式转型的重点区域,节能减排目标应高于全国平均水平。

轻型出口型和都市消费型区域处于工业化后期或后工业化阶段,技术较为先进,主要通过产业结构调整 and 对外转移实现节能减排。产业转移虽然利于自身节能减排,但实际上加大了产业承接区域的节能减排压力。因此,从全局来看,关键不在于减少多少,而在于减少的那部分能耗转移到哪里去了,需要从产业链的角度进行分析。这两类区域应进一步提高经济的外向程度,通过国际贸易增加高能耗产品进口,使其成为国际隐含能源向国内转移的重要节点。此外,区域自身还应加强消费领域的节能减排。

为了实现经济发展方式转型与节能减排目标,中国应形成合理的隐含能源流动格局,同时还要改变目前的国际分工地位与隐含能源出口格局,适度增加隐含能源进口。

参考文献:

- [1] British Petroleum. Statistical Review of World Energy 2011[R/OL]. <http://www.bp.com>.
- [2] 中国国务院. 国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知[EB/OL]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2011/content_1947196.htm.
- [3] 赵媛,梁中,袁林旺,管卫华. 能源与社会经济环境协调发展的多目标决策——以江苏省为例[J]. 地理科学, 2001, 21(2): 164~169.
- [4] 齐玉春,董云社. 中国能源领域温室气体排放现状及减排对策

- 研究[J].地理科学,2004,24(5):528~534.
- [5] 贺灿飞,王俊松.经济转型与中国省区能源强度研究[J].地理科学,2009,29(4):461~469.
 - [6] 姜磊,季民河.基于STIRPAT模型的中国能源压力分析——基于空间计量经济学模型的视角[J].地理科学,2011,31(9):1072~1077.
 - [7] 杨威,王成金,金凤君,等.中国工业能源消费强度的影响因素研究——基于省域工业数据的实证分析[J].自然资源学报,2013,28(1):81~91.
 - [8] 齐绍洲,罗威.中国地区经济增长与能源消费强度差异分析[J].经济研究,2007,(22):74~81.
 - [9] 张晓平.中国能源消费强度的区域差异及影响因素分析[J].资源科学,2008,30(6):883~889.
 - [10] 史丹.中国能源效率的地区差异与节能潜力分析[J].中国工业经济,2006,(10):49~58.
 - [11] Munksgaard J, Pederson K A. CO₂ account for open economics: producer or consumer responsibility[J]. Energy Policy, 2001, 29(4):327-335.
 - [12] Druckman A, Bradley P, Papathanasopoulou E, et al. Measuring progress towards carbon reduction in the UK[J]. Ecological Economics, 2008, 66(4):594-604.
 - [13] Sánchez-Chóliz J, Duarte R. CO₂ emissions embodied in international trade: evidence for Spain[J]. Energy Policy, 2004, 32(18):1999-2005.
 - [14] Parikh J, Panda M, Ganesh-Kumar A, et al. CO₂ emissions structure of Indian economy[J]. Energy, 2009, 34(8):1024-1031.
 - [15] Skelton A, Guan D, Peters GP, et al. Mapping flows of embodied emissions in the global production system[J]. Environmental Science and Technology, 2011, 45(24):10516-10523.
 - [16] Rodrigues J, Domingos T. Consumer and producer environmental responsibility: Comparing two approaches[J]. Ecological Economics, 2008, 66(2-3):533-546.
 - [17] Weber C L, Peters G P, Guan D, et al. The contribution of Chinese exports to climate change[J]. Energy Policy, 2008, 36(9):3572-3577.
 - [18] Guan D, Peters GP, Weber CL, et al. Journey to world top emitter: An analysis of the driving forces of China's recent CO₂ emissions surge[J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36(L04709):1-5.
 - [19] Liu H, Xi Y, Guo J, et al. Energy embodied in the international trade of China: An energy input-output analysis[J]. Energy Policy, 2010, 38:3957-3964.
 - [20] Su B, Ang B. Input-output analysis of CO₂ emissions embodied in trade: The effects of spatial aggregation[J]. Ecological Economics, 2010, 70(1):10-18.
 - [21] Su B, Ang B. Multi-region input-output analysis of CO₂ emissions embodied in trade: The feedback effects[J]. Ecological Economics, 2011, 71(C):42-53.
 - [22] 姚愉芳, 齐舒畅, 刘琪. 中国进出口贸易与经济、就业、能源关系及对策研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, (10):56~86.
 - [23] 张晓平. 中国对外贸易产生的 CO₂ 排放区位转移分析[J]. 地理学报, 2009, 64(2):234~242.
 - [24] 刘红光, 刘卫东, 范晓梅. 贸易对中国产业能源活动碳排放的影响[J]. 地理研究, 2011, 30(4):590~600.
 - [25] 陈迎, 潘家华, 谢来辉. 中国外贸进出口商品中的内涵能源及其政策含义[J]. 经济研究, 2008, (7):11~25.
 - [26] 李方一, 刘卫东, 唐志鹏. 中国区域间隐含污染转移研究[J]. 地理学报, 2013, 68(6):791~801.
 - [27] Guo J, Zhang Z, Meng L. China's provincial CO₂ emissions embodied in international and interprovincial trade[J]. Energy Policy, 2012, 42:486-497.
 - [28] Feng KS, Davis SJ, Sun LX, et al. Outsourcing CO₂ within China [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(28):11654-11659.
 - [29] 陈锡康, 杨翠红. 投入产出技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
 - [30] 刘卫东, 陈杰, 唐志鹏, 等. 中国 2007 年 30 省市区区域间投入产出表编制理论与实践[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
 - [31] Liu H, Guo J, Qian D, et al. Comprehensive evaluation of household indirect energy consumption and impacts of alternative energy policies in China by input-output analysis[J]. Energy Policy, 2009, 37(8):3194-3204.
 - [32] Druckman A, Jackson T. Household energy consumption in the UK: A highly geographically and socio-economically disaggregated model[J]. Energy Policy, 2008, 36(8):3177-3192.
 - [33] Feng K, Hubacek K, Guan D. Lifestyles, technology and CO₂ emissions in China: A regional comparative analysis[J]. Ecological Economics, 2009, 69(1):145-154.
 - [34] 中国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007~2010.
 - [35] 中国国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007~2010.
 - [36] 刘卫东, 刘红光, 范晓梅, 等. 地区间贸易流量的产业——空间模型构建与应用[J]. 地理学报, 2012, 67(2):147~156.
 - [37] Nilsson L J. Energy intensity trends in 31 industrial and developing countries 1950 - 1988[J]. Energy, 1993, 18(4):309-322.
 - [38] Galli R. The relationship between energy intensity and income levels: forecasting long term energy demand in Asian emerging countries[J]. The Energy Journal, 1998, 19(4):85-105.
 - [39] Medlock III K B, Soligo R. Economic development and end-use energy demand[J]. The Energy Journal, 2001, 22(2):77-105.
 - [40] 符冠云, 郁聪, 熊华文. 典型国家工业化进程中能源强度的变化及启示[J]. 中国能源, 2012, 34(3):17~21.
 - [41] Wu Y. Energy intensity and its determinants in China's regional economies[J]. Energy Policy, 2012, 41(2):703-711.
 - [42] Yu H. The influential factors of China's regional energy intensity and its spatial linkages: 1988-2007[J]. Energy Policy, 2012, 45(6):583-593.
 - [43] 刘卫东, 张国钦, 宋周莺. 经济全球化背景下中国经济发展空间格局的演变趋势研究[J]. 地理科学, 2007, 27(5):609~617.

Regional Differences and Inter-regional Linkage of Industrial Energy Consumption in China

LI Fang-yi¹, LIU Wei-dong^{2,3}, GONG Pei-ping^{2,3,4}

(1. School of Management, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China; 2. Institute of

Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Targets on energy conservation and emission reduction have been an important binding force of regional development in the last few years, along with a series of strategies and policies implemented by central government of China. It is significant to reveal regional differences and inter-regional linkage of industrial energy consumption in respect to proposing guidelines for energy conservation and emission reduction on both national and regional scales. In this study, regional differences in energy intensity in China's 30 provinces were analyzed. And in combination with the embodied energy indicators, all of the provinces were classified into six types according to their energy consumption and development patterns, namely urban-consumer, heavy-export-oriented, light-export-oriented, energy-base, medium-energy-intensity and low-energy-intensity. Then, inter-regional linkage of energy consumption was clarified in respect to the spatial pattern of embodied energy flow in China. According to the theory of regional division of labor, the regional differences and inter-regional linkage of industrial energy consumption could be explained from two aspects. One is the inter-industrial division, and the other is industrial chain division of all regions and the resulted intermediate products trade. Specifically, the low-energy-intensity regions are specialized in producing raw materials and primary products with low energy intensity, while the heavy-export-oriented and energy-base regions are specialized in producing intermediate products with high energy intensity. Urban-consumer and light-export-oriented regions are specialized in producing final products. To be more important, the pattern of embodied energy flow in China is related to that of industrial chain division to a large degree. At last, based on the results, suggestions for the development strategies and policies of the six types of regions are given as follows: 1) for the low-energy-intensity and energy-base regions that are still in the early or middle stage of industrialization, the central government should increase financial transfer to improve infrastructure and promote technological transformation in traditional industries, and the target may be slightly lower than the national average level; 2) for heavy-export-oriented and medium-energy-intensity regions, the energy intensity target can be realized through upgrading of manufacturing industry and enhancement of proportion of tertiary industry, and the target should be higher than the national average level; 3) for urban-consumer and light-export-oriented regions that are in the late industrialization or post-industrial stage, energy saving lies on increasing the importance of high-energy products and industrial transfer, which means increasing imported embodied energy. For the country as a whole, more efforts should be made to change China's exportation-oriented development strategies, and the position in the international trade of embodied energy, through controlling of the exportation and importation.

Key word: regional division; energy intensity; embodied energy; industrial chain division