

引用格式:张红丽,沈镭,李艳梅. 京津冀经济活动隐含的碳排放转移——基于多区域投入产出模型的分析[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2287-2298. [Zhang H L, Shen L, Li Y M. Carbon dioxide emission transfers embodied in interregional economic activities in Beijing-Tianjin-Hebei according to multiregional input-output model[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2287-2298.] DOI: 10.18402/resci.2017.12.08

京津冀经济活动隐含的碳排放转移 ——基于多区域投入产出模型的分析

张红丽^{1,2}, 沈 镭¹, 李艳梅³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 北京工业大学循环经济研究院, 北京 100124)

摘 要:随着京津冀协同发展战略的实施,区域之间经济往来更加密切,由此造成的隐含CO₂排放转移日益频繁,不利于区域公平及有效地分摊碳减排责任。本文在编制最新年份(2012年)的区域间投入产出表的基础上,构建多区域投入产出模型,分析了京津冀区域经济活动隐含的CO₂排放转移特点。结果表明:①2012年,京津冀对其他区域的CO₂排放转移,比其他区域对京津冀的转移高出4350.52万t,这主要隐含于除采选业以外工业部门的终端产品转移;②京津冀区域内部,北京和天津分别向河北净转移449.75万t和88.46万t CO₂排放,这主要隐含于冶金业和非金属矿物制品等高耗能部门的中间产品往来。鉴此,建议加强京津冀,尤其是高耗能工业部门的协作,提升区域整体节能减排效率。

关键词:区域经济活动;CO₂排放转移;多区域投入产出;京津冀地区

DOI: 10.18402/resci.2017.12.08

1 引言

作为能源消费与CO₂排放大国,中国面临较大的碳减排国际压力。2015年,巴黎气候变化大会召开,习近平主席提出中国已在“国家自主减排贡献”文件中承诺,到2030年单位GDP的CO₂排放比2005年下降60%~65%。这是继2009年的CO₂排放控制目标之后,中国提出的又一减排目标。国家碳减排目标需要落实到其内部各地区,国务院在《“十三五”控制温室气体排放工作方案》^[1]中明确提出,应综合考虑各地区差异,分类确定省级碳排放控制目标。然而,中国内部各区域经济往来频繁,区域间经济往来导致商品隐含的能源流动,从而致使CO₂排放跨区域转移。公平、有效的碳减排责任分解方案应该对此加以考虑。

自《京都议定书》生效以来,CO₂排放转移问题日益凸显,不少学者对国际贸易隐含的CO₂排放转移进行了研究,方法主要集中于投入产出分析和生命周期评价法。不少学者构建多区域或单区域投入产出模型测算了国际贸易隐含的CO₂排放^[2]。在多区域投入产出模型方面的研究,需要运用多个国家的碳排放强度进行计算^[3,4],如吴献金等基于中国和日本投入产出表,测算了两国贸易隐含的CO₂排放^[5];王媛等基于多个国家贸易数据测算了中国与世界不同类国家进出口贸易隐含的CO₂排放^[6];余慧超等利用中、美投入产出数据,计算了两国贸易中分行业的CO₂排放转移量^[7]。在单区域投入产出模型方面的研究,基于贸易国与本国碳排放强度相同的假设进行计算,如陈迎等,邓荣荣等基于中国

收稿日期:2017-09-07; 修订日期:2017-11-20

基金项目:中华人民共和国科学技术部国家重点研发计划项目(2016YFA0602802);北京市自然科学基金项目(9172001);北京工业大学人文社科基金项目。

作者简介:张红丽,女,河北邢台人,博士生,主要研究方向为资源经济与能源安全。E-mail: zhanghl.17b@igsrr.ac.cn

通讯作者:沈镭, E-mail: shenl@igsrr.ac.cn

投入产出表,核算中国国际贸易隐含的CO₂排放^[8,9]。事实上,不同国家的碳排放强度是不同的,故多区域投入产出模型计量CO₂排放转移的结果更符合实际。此外,还有少部分学者运用生命周期评价法测算了国际贸易隐含CO₂排放转移,如刘强等选取46种主要的出口产品,计算了中国出口贸易隐含的CO₂排放^[10]。比较来看,投入产出分析法是基于投入产出表从分部门角度,基于同质性假设核算贸易隐含的CO₂排放,而生命周期评价法是从产品角度计量其整个生命周期的CO₂排放,基于数据的可获得性,后一种方法的研究较少。

另有学者对国内区域之间的CO₂排放转移进行了研究。如Su B等、Zhang B等、姚亮等、刘红光等与肖雁飞等运用投入产出法对中国八大区域CO₂排放转移进行了核算,结果表明区域间CO₂排放转移量在增加,造成“碳泄漏”现象^[11-15]。此外,石敏俊等和Xie R等分析了中国省际之间的CO₂排放转移^[16,17]。

随着京津冀协同发展战略的实施,区域之间经济往来日益密切,其隐含的CO₂排放转移将更加频繁。本文构建多区域投入产出模型,对京津冀区域产品(服务)往来隐含的CO₂排放转移进行研究,以期京津冀协同发展和整体碳减排政策的制定提供理论参考。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 京津冀区域间投入产出表编制

测度京津冀各地之间CO₂排放转移,需要将京、津、冀三个区域单独列出的区域间投入产出表。目前,中国编制并发布的区域间投入产出表较为有限(见表1)。大多数区域间投入产出表,如张亚雄等主编的中国区域间投入产出表^[21],将中国分为八大区域,对于分析京津冀各地之间的相互影响存在局

限。虽然石敏俊等^[16]、刘卫东等^[22,23]编制的中国30省区间投入产出表,将京、津、冀三个区域单独列出,然而其编制年份有限,且时间上存在滞后性。因此,本文在借鉴前人编表方法的基础上^[18-21],编制最新年份的京津冀区域间投入产出表。

2.1.1 基本结构

基于MRIO模型,构建京津冀区域间投入产出表基本结构,如表2所示。该表包含四个区域:北京、天津、河北以及其他区域(香港、澳门、台湾除外),分别记为区域1、2、3和4。每个区域的部门数量为 m ,分类方法与口径均一致。

其中,第I象限为区域间中间投入矩阵 X_I ,具体见公式(1)。其子矩阵如 X_I^{12} ,表示天津生产过程中需要的来自北京的中间投入。

$$X_I = \begin{bmatrix} X_I^{11} & X_I^{12} & X_I^{13} & X_I^{14} \\ X_I^{21} & X_I^{22} & X_I^{23} & X_I^{24} \\ X_I^{31} & X_I^{32} & X_I^{33} & X_I^{34} \\ X_I^{41} & X_I^{42} & X_I^{43} & X_I^{44} \end{bmatrix} \quad (1)$$

第II象限为区域间最终需求矩阵 F ,具体见公式(2)。其子矩阵如 F^{23} ,表示河北最终消费支出与资本形成总额需求中来自天津的消耗量。

$$F = \begin{bmatrix} F^{11} & F^{12} & F^{13} & F^{14} \\ F^{21} & F^{22} & F^{23} & F^{24} \\ F^{31} & F^{32} & F^{33} & F^{34} \\ F^{41} & F^{42} & F^{43} & F^{44} \end{bmatrix} \quad (2)$$

MRIO模型的行平衡关系式如下:

$$X_I + F + EX - IM + ERR = X \quad (3)$$

$$= C \times A \times X + C \times F_0 + EX - IM + ERR = X$$

式中 EX 为出口矩阵; IM 为进口矩阵; ERR 为其他项; X 为总产出矩阵。 F_0 为各地区投入产出表最终需求(最终消费支出和资本形成总额)矩阵组

表1 中国已编制的区域间投入产出表

Table 1 Interregional input-output table compiled in China

表名	作者	区域
1987年中国经济区域间投入产出表	市村真一等 ^[18]	七大区域
1997年中国区域投入产出表	许宪春等 ^[19]	八大区域
1997年中国区域间投入产出表	王长胜等 ^[20]	八大区域
2002年中国省区间投入产出表	石敏俊等 ^[16]	30个省(不包括香港、澳门、台湾和西藏)
2002年、2007年中国区域间投入产出表	张亚雄等 ^[21]	八大区域
2007年、2010年全国30省市区区域间投入产出表	刘卫东等 ^[22,23]	30个省(不包括香港、澳门、台湾和西藏)

2017年12月

表2 京津冀区域间投入产出表表式

Table 2 The framework of interregional input-output table for Beijing-Tianjin-Hebei region

	代码	中间使用				最终使用				出口	进口	其他	总产出
		北京	天津	河北	其他区域	北京	天津	河北	其他区域				
代码	—	1...m	1...m	1...m	1...m	TC GCF	TC GCF	TC GCF	TC GCF	EX	IM	ERR	TO
中间投入 北京	1			I				II		III	IV	V	VI
	⋮												
	m												
天津	1												
	⋮												
	m												
河北	1												
	⋮												
	m												
其他区域	1												
	⋮												
	m												
合计	III			VII									
增加值合计	TVA			VIII									
总投入	TI			IX									

成的对角矩阵,其子矩阵如 F_0^1 ,表示北京最终需求矩阵。 A 为由所有区域直接消耗系数矩阵组成的对角矩阵,其子矩阵如 A^1 ,表示北京直接消耗系数矩阵。

C 为由北京、天津、河北和其他区域两两之间的产品(服务)交流系数矩阵组成的矩阵,具体如下:

$$C = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其子矩阵如 C^{12} 表示北京到天津的流动系数对角矩阵,具体见公式(5)。其元素如 C_m^{12} ,表示在天津第 m 部门产品(服务)的使用中来自北京的比例。

$$C^{12} = \begin{bmatrix} C_1^{12} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & C_2^{12} & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & C_m^{12} & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & C_m^{12} \end{bmatrix} \quad (5)$$

可见,编制京津冀区域间投入产出表的关键,是对区域间产品(服务)交流系数矩阵 C 进行估算。将部门 i 产品(服务)从区域 R 到区域 S 的流动系数记为 C_i^{rs} ,则其计算公式如下:

$$C_i^{rs} = \frac{t_i^{rs}}{U_i^s} \quad (6)$$

式中 t_i^{rs} 为区域 R 部门 i 产品到区域 S 的流量; U_i^s 为区域 S 对部门 i 产品的总使用量(中间使用+最终使用)。可见,估算区域间产品(服务)交流系数的关键,是得到区域间的产品(服务)流量。

2.1.2 编制步骤

基于京津冀区域间投入产出表表式,逐步编制该表如下:

(1)确定部门划分,调整地区投入产出表。京津冀区域间投入产出表是基于北京、天津、河北和中国投入产出表编制的,虽然地区投入产出表的部门分类可达42种,但受区域产品(服务)交流统计数据所限,本文将投入产出表整合为13部门。参照《国民经济行业分类注释》^[24],将统计的主要产品与部门对应,如表3所示。

(2)计算区域之间产品(服务)流量。目前,估计区域间产品流量应用最广泛的方法是引力模型。Leontief等提出了引力模型的一般形式^[25]:

$$T_i^{rs} = \frac{X_i^r D_i^s}{\sum_{r=1}^n X_i^r} Q_i^{rs} \quad (7)$$

式中 T_i^{rs} 为 i 部门产品从 R 区域到 S 区域的流量; X_i^r 为 R 区域 i 部门的总产出; $\sum_{r=1}^n X_i^r$ 为所有区域 i 部门的总产出; D_i^s 为 S 区域 i 部门的总需求; Q_i^{rs} 为 i

表3 京津冀区域间投入产出表部门与统计产品的对应

Table 3 Correspondence between statistical products and sectors of interregional input-output table for Beijing-Tianjin-Hebei region

部门	代码	产品
农林牧渔产品和服务	S1	粮食、棉花
煤炭采选产品	S2	煤
石油和天然气开采产品	S3	石油
金属矿采选产品	S4	金属矿石
非金属矿和其他矿采选产品	S5	非金属矿石
石油、炼焦产品和核燃料加工品	S6	焦炭
非金属矿物制品	S7	矿物性建筑材料、水泥
金属冶炼和压延加工品	S8	钢铁及有色金属
其他工业部门	S9	木材、化肥及农药、盐、其他货物
建筑业	S10	—
批发和零售	S11	—
交通运输、仓储和邮政	S12	—
其他服务业	S13	—

部门产品从 R 区域到 S 区域的摩擦系数。该模型在构建国内区域间投入产出表时被广泛采用^[26,27]。

对于农业及工业部门而言,采用 Leontief-Strout 引力模型估算区域之间产品的流量。区域间不同部门(S1—S9)的摩擦系数,运用运输量分布系数法估算,即假定从某一区域向其他区域的物资输送量的分配比例,和这些物资中重要产品的分配比例相近,公式如下:

$$Q_i^{rs} = \frac{H_i^{rs}}{\frac{H_i^{ro} H_i^{os}}{H_i^{\infty}}} \quad (8)$$

式中 H_i^{rs} 为 i 部门的重要产品从 R 区域到 S 区域的流量; H_i^{ro} 为 R 区域区 i 部门重要产品的发送量; H_i^{os} 为 S 区域 i 部门重要产品的到达量; H_i^{∞} 为所有区域 i 部门重要产品的发送量或需求量。

对于建筑业和第三产业而言,不同区域间产品(服务)交流的统计极少。参照李善同等的估算方法^[28],根据分部门的省际调出和调入数据,估算区域间建筑业和第三产业产品(服务)的流量,公式如下:

$$T^{rs} = \frac{IF^s}{\sum_{s=1}^4 IF^s} OF^r \quad (9)$$

式中 T^{rs} 为各部门产品(服务)从 R 区域到 S 区域的流量; IF^s 为区域 S 该部门的总调入量; OF^r 为区域 R 该部门的总调出量。

初步估算出区域之间产品(服务)的流量后,

依据各区域投入产出表中的调出和调入量分别为行和列控制数,利用RAS法(双比例尺度法)对区域间交流矩阵(区域内部数值为0)进行平衡调整,迭代计算直到行和、列和与控制数之间的误差达到0.001%以内,即得到区域间流量最终矩阵。

(3)计算区域间交流系数矩阵。在估算出区域间产品(服务)流量的基础上,结合公式(4)、公式(5)和公式(6),可计算北京、天津、河北和其他区域两两区域之间的交流系数。产品(服务)在区域内部的流动系数,等于1减去其他区域到该区域的交流系数之和。

(4)编制区域间投入产出表各组成部分。基于公式(3),计算出京津冀区域间投入产出表的中间使用(I)和最终使用(II)。其中,其他区域分部门的中间消耗矩阵,借鉴全国直接消耗系数矩阵,乘以其他区域总产出后,利用其他区域的中间使用合计作行和控制数,进行调整得到。区域间投入产出表其他部分的基础数据来自地区投入产出表。

2.2 CO₂排放转移的投入产出模型构建

2.2.1 CO₂排放强度计算

各区域CO₂排放强度由生产部门直接CO₂排放总量除以该部门总产出计算而来,直接CO₂排放量根据区域分行业分品种化石能源消费量计算而来^[29]。以北京为例,说明CO₂排放强度计算过程。

首先,计算北京直接CO₂排放总量:

$$DC_i^1 = \sum_{j=1}^n DC_{ij}^1 = \sum_{j=1}^n DE_{ij}^1 \times \delta_j \quad (10)$$

2017年12月

式中 DC_i^1 为北京生产部门 i 的直接 CO_2 排放; DC_{ij}^1 为北京生产部门 i 消费化石能源 j 产生的 CO_2 排放; DE_{ij}^1 为北京生产部门 i 对能源 j 的消费。 δ_j 为能源 j 的 CO_2 排放系数, 计算公式如下:

$$\delta_j = \text{折标系数} \times \text{净发热值} \times \text{CO}_2 \text{排放因子} \times \text{氧化率} \quad (11)$$

在计算直接 CO_2 排放总量的基础上, 结合分部门总产出, 计算 CO_2 排放强度如下:

$$C^1 = \begin{bmatrix} c_1^1 \\ c_2^1 \\ \vdots \\ c_i^1 \\ \vdots \\ c_n^1 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} DC_1^1/X_1^1 \\ DC_2^1/X_2^1 \\ \vdots \\ DC_i^1/X_i^1 \\ \vdots \\ DC_n^1/X_n^1 \end{bmatrix}^T \quad (12)$$

式中 C^1 为北京各生产部门 CO_2 排放强度组成的行向量, 其元素 c_n^1 为北京第 n 个生产部门的 CO_2 排放强度; DC_i^1 为北京第 i 个生产部门的直接 CO_2 排放总量; X_i^1 为北京第 i 个生产部门的总产出。

2.2.2 CO_2 排放转移的四区域投入产出模型

基于京津冀区域间投入产出表表式, 建立行方向的平衡关系, 基本形式如下:

$$\begin{bmatrix} A^{11} & A^{12} & A^{13} & A^{14} \\ A^{21} & A^{22} & A^{23} & A^{24} \\ A^{31} & A^{32} & A^{33} & A^{34} \\ A^{41} & A^{42} & A^{43} & A^{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ X^3 \\ X^4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y^1 \\ Y^2 \\ Y^3 \\ Y^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ X^3 \\ X^4 \end{bmatrix} \quad (13)$$

式中 A^r 为区域 R 内直接消耗系数矩阵; A^s 为区域间直接消耗系数矩阵; X^1 、 X^2 、 X^3 和 X^4 分别表示北京、天津、河北和其他区域的总产出; Y^1 、 Y^2 、 Y^3 和 Y^4 分别表示北京、天津、河北和其他区域的最终需求。

则区域总产出可以表示为:

$$\begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ X^3 \\ X^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - \begin{bmatrix} A^{11} & A^{12} & A^{13} & A^{14} \\ A^{21} & A^{22} & A^{23} & A^{24} \\ A^{31} & A^{32} & A^{33} & A^{34} \\ A^{41} & A^{42} & A^{43} & A^{44} \end{bmatrix} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} Y^1 \\ Y^2 \\ Y^3 \\ Y^4 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$= \begin{bmatrix} B^{11} & B^{12} & B^{13} & B^{14} \\ B^{21} & B^{22} & B^{23} & B^{24} \\ B^{31} & B^{32} & B^{33} & B^{34} \\ B^{41} & B^{42} & B^{43} & B^{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y^1 \\ Y^2 \\ Y^3 \\ Y^4 \end{bmatrix}$$

式中 B^s 为区域间完全消耗系数矩阵, 如 B^{22} 指为满

足天津最终需求, 对当地生产的产品的完全消耗; B^{23} 指为满足最终需求, 河北对天津产品的完全消耗。

基于计量总产出的投入产出模型, 计算各区域 CO_2 排放总量, 公式如下:

$$\begin{bmatrix} DC^1 \\ DC^2 \\ DC^3 \\ DC^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C^4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B^{11} & B^{12} & B^{13} & B^{14} \\ B^{21} & B^{22} & B^{23} & B^{24} \\ B^{31} & B^{32} & B^{33} & B^{34} \\ B^{41} & B^{42} & B^{43} & B^{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y^1 \\ Y^2 \\ Y^3 \\ Y^4 \end{bmatrix} \quad (15)$$

式中 DC^r 为区域 R 分部门的 CO_2 排放; C^r 为区域 R 的 CO_2 排放强度。

基于公式(15), 计算区域间交流引起的 CO_2 排放转移, 以天津对北京的 CO_2 排放转移为例, 公式如下:

$$\begin{aligned} TC^{12} &= [C^1 \ 0 \ 0 \ 0] \cdot \begin{bmatrix} B^{11} & B^{12} & B^{13} & B^{14} \\ B^{21} & B^{22} & B^{23} & B^{24} \\ B^{31} & B^{32} & B^{33} & B^{34} \\ B^{41} & B^{42} & B^{43} & B^{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y^{12} \\ Y^{22} \\ Y^{32} \\ Y^{42} \end{bmatrix} \quad (16) \\ &= C^1 \cdot B^{11} \cdot Y^{12} + C^1 \cdot B^{12} \cdot Y^{22} \\ &\quad + (C^1 \cdot B^{13} \cdot Y^{32} + C^1 \cdot B^{14} \cdot Y^{42}) \\ &= TCF^{12} + TCM^{12} + TCI^{12} \end{aligned}$$

式中 Y^{12} 、 Y^{22} 、 Y^{32} 和 Y^{42} 分别表示天津对北京、天津、河北和其他区域产品的最终需求; TC^{12} 为天津向北京转移的 CO_2 排放矩阵; TCF^{12} 表示天津通过终端产品流动向北京转移的 CO_2 排放; TCM^{12} 表示天津通过中间产品流动向北京转移的 CO_2 排放; TCI^{12} 表示天津间接向北京转移的 CO_2 排放, 这是由于天津对河北和其他区域的终端产品存在需求, 引起这些区域对北京的中间产品存在需求所导致。

同理, 其他任何两区域之间的 CO_2 排放转移, 可参照天津对北京的 CO_2 排放转移计算。

2.3 数据来源

由于地区投入产出表每5年一编, 最新年份为2012年, 因此本文编制了2012年京津冀区域间投入产出表。编表所需的投入产出基础数据来源于2012年北京、天津、河北和中国投入产出表^[30, 31]。受统计资料所限, 区域间产品流量采用铁路运输数据进行估算, 资料来源于《2012年全国铁路统计摘要》^[32]。

能源消费基础数据来源于《中国能源统计年鉴(2013)》、《北京统计年鉴(2013)》、《天津统计年鉴(2013)》以及《河北经济年鉴(2013)》^[33-36]。其中,河北工业分行业能源消费数据仅限于规模以上企业的消耗,因此本文基于《河北经济普查年鉴(2008)》中规模以上企业分行业能耗占全行业的比例^[37],推算出2012年全行业的能源消费。计算CO₂排放系数所需的数据来源如表4所示。

3 结果及分析

3.1 京津冀与其他区域CO₂排放转移

3.1.1 京津冀对其他区域的转移

河北向其他区域转移的CO₂排放高于北京和天津的转移,主要隐含于终端产品往来。如表5所示,2012年,河北向其他区域转移了7380.56万t的CO₂排放。其中,终端产品往来隐含的CO₂排放转移占总转移量的69%,其余的CO₂排放转移主要隐含于中间产品往来。

北京和天津对其他区域的CO₂排放转移规模较为相近,但转移方式存在较大差异。2012年,北京和天津分别向其他区域转移了4958.86万t、4657.27万t CO₂排放。但北京的转移主要隐含于中间产品往来,占总转移量的72%;天津的转移主要隐含于终端产品往来,占总转移量的69%。京津冀各地间接向其他区域转移的CO₂排放均较少。

从部门结构来看,京津冀对其他区域的CO₂排放转移集中于资源依赖型的工业部门。如图1所示,北京对其他区域的CO₂排放转移集中于其他工

业部门(S9,即除采选业,石油、炼焦产品和核燃料加工品,冶金以及非金属矿物制品以外的工业部门)、金属冶炼和压延加工品(S8)以及石油、炼焦产品和核燃料加工品(S6),占转移总量的80%。这主要是由于北京工业生产过程中,对其他区域的资源消耗型产品有较大的依赖。

天津和河北对其他区域的CO₂排放转移结构较为相似。天津和河北对其他区域的CO₂排放转移主要集中于其他工业部门(S9)、金属冶炼和压延加工品(S8)以及非金属矿物制品(S7),占转移总量的70%左右,这主要隐含于终端产品往来。

3.1.2 其他区域对京津冀的转移

其他区域向河北转移的CO₂排放,高于向北京

表6 2012年其他区域向京津冀的CO₂排放转移

Table 6 CO₂ emissions transfer from the rest regions to Beijing-Tianjin-Hebei in 2012 (万t)

Beijing-Tianjin-Hebei in 2012		其他区域
北京	中间产品往来	3 683.59
	终端产品往来	792.27
	间接往来	24.35
	合计	4 500.21
天津	中间产品往来	1 369.60
	终端产品往来	450.79
	间接往来	40.74
	合计	1 861.13
河北	中间产品往来	5 118.19
	终端产品往来	873.97
	间接往来	292.67
	合计	6 284.83

表4 CO₂排放系数核算的基础数据

Table 4 Basic data for calculating CO₂ emissions coefficient

能源类型	原煤	焦炭	焦炉煤气	其它煤气	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	液化石油气	其它石油制品	天然气
折标系数 ^[33] /(万tec/万t,万tec/亿m ³)	0.71	0.97	5.71	1.79	1.43	1.47	1.47	1.46	1.43	1.71	1.00	13.30
CO ₂ 排放因子 ^[38] /(tCO ₂ /TJ)	94.60	107.00	44.40	44.40	73.30	70.00	71.90	74.10	77.40	63.10	73.30	56.10
氧化率 ^[39]	0.93	0.93	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99

表5 2012年京津冀向其他区域的CO₂排放转移

Table 5 CO₂ emissions transfer from Beijing-Tianjin-Hebei to the rest regions in 2012 (万t)

		北京	天津	河北	合计
其他区域	中间产品往来	3 591.09	1 373.34	2 143.79	7 108.22
	终端产品往来	1 340.77	3 218.50	5 066.73	9 626.00
	间接往来	27.00	65.43	170.04	262.47
	合计	4 958.86	4 657.27	7 380.56	16 996.69

2017年12月

和天津的转移量。如表6所示,2012年,其他区域向河北转移了6284.83万t CO₂排放,而向北京和天津分别转移了4500.21万t、1861.13万t CO₂排放。这些均主要隐含于中间产品往来,终端产品及间接往来隐含的CO₂排放转移较少。

从部门结构来看,其他区域向河北的CO₂排放转移主要集中于冶金部门等高能耗工业部门。如图2所示,其他区域对河北金属冶炼和压延加工品(S8)转移的CO₂排放高达3850.15万t,远远高出其他部门,占向河北转移总量的61%。这主要与其他区域的生产环节对河北钢铁等金属冶炼加工品有

较大需求有关。

其他区域对天津和北京的CO₂排放转移主要集中于其他工业部门。2012年,其他区域对天津和北京其他工业部门(S9)转移的CO₂排放分别为1189.03万t、1478.66万t,占转移总量的比例分别为64%和33%,这主要隐含于中间产品往来。此外,其他区域对北京石油和天然气开采产品(S3)以及金属矿采选产品(S4)转移的CO₂排放也较多。

总体来看,京津冀向其他区域转移的CO₂排放,明显高于其他区域向京津冀的转移量。京津冀与其他区域之间的CO₂排放转移主要集中在工业部

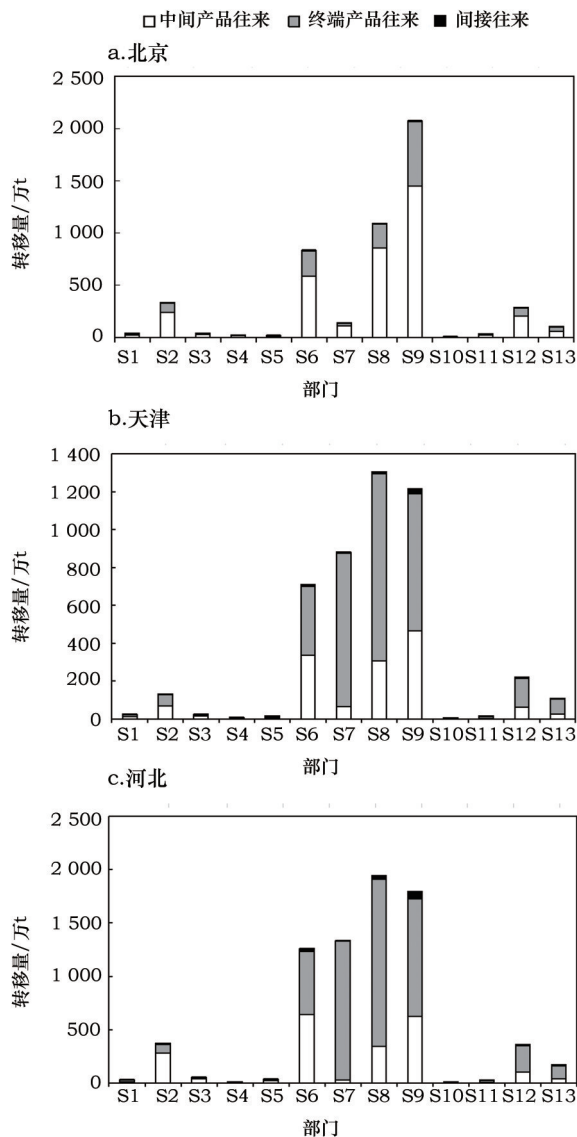


图1 2012年京津冀对其他区域转移的CO₂排放结构

Figure 1 Structure of CO₂ emissions transfer from Beijing-Tianjin-Hebei to the rest regions in 2012

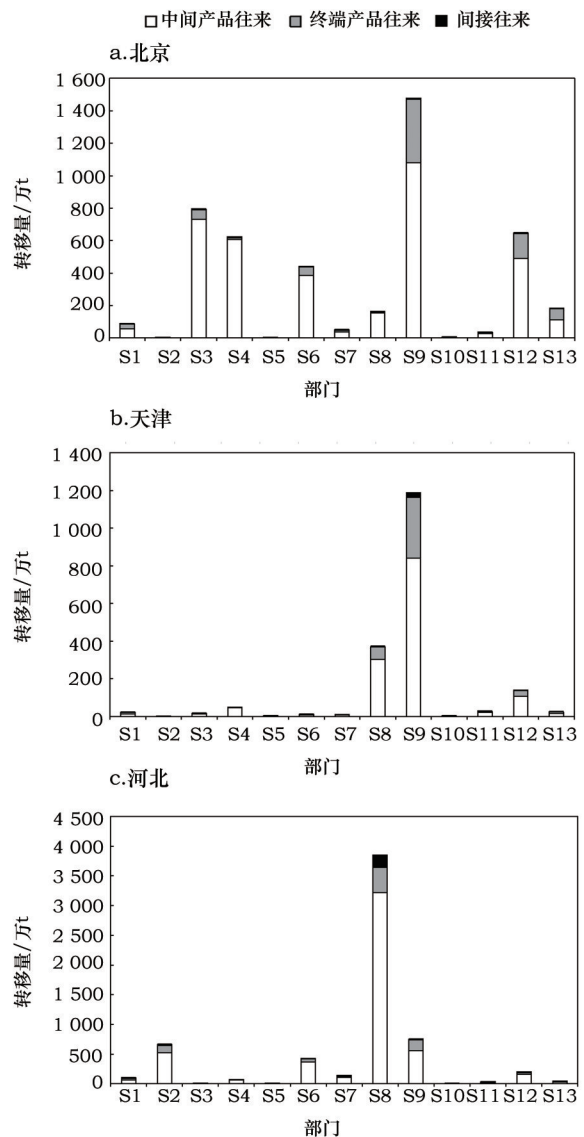


图2 2012年其他区域对京津冀转移的CO₂排放结构

Figure 2 Structure of CO₂ emissions transfer from the rest regions to Beijing-Tianjin-Hebei in 2012

门。其他区域向京津冀的CO₂排放转移主要隐含于中间产品往来,而京津冀向其他区域的转移更多地隐含于终端产品往来。

3.2 京津冀区域内部CO₂排放转移

3.2.1 北京和天津之间的转移分析

天津对北京转移的CO₂排放,高于北京对天津的转移量。2012年,天津通过产品(服务)往来向北京净转移30.56万t CO₂排放。其中,天津与北京直接往来中(包括终端产品和中间产品往来),北京向天津净转移10.75万t的CO₂排放。但天津向北京间接净转移了41.31万t的CO₂排放(见图3),导致北京成为天津CO₂排放的净转出区。

从部门特征来看,北京和天津直接往来过程中的CO₂排放净转移以其他工业部门为主,间接往来以采选业为主。直接往来过程中,北京对天津其他工业部门(S9)净转移的CO₂排放最多,达31.32万t,远远高于其他部门。这主要与北京生产环节对天津工业产品的需求较大有关。间接往来过程中,天津向北京石油和天然气开采产品(S3)以及金属矿采选产品(S4)净转移的CO₂排放较高,共有19.98万t左右。这主要是天津对北京产品的间接消耗较高所致。此外,天津对北京交通运输、仓储和邮政(S12)的CO₂排放转移也较多(见图4)。

3.2.2 北京和河北之间的转移分析

北京对河北CO₂排放的转移,远高于河北对北京的转移。2012年,北京向河北净转移449.75万t CO₂排放。其中,北京生产环节对河北中间产品的消耗,向河北净转移504.05万t的CO₂排放。而终端产品流动以及间接往来过程中,北京对河北的CO₂排放转移与河北对北京的转移较为相近(见图5)。北京生产过程中对河北的中间产品有较高的依赖,这对河北经济发展有一定的带动作用,却以大量CO₂排放转移为代价。

从部门特征来看,北京和河北之间的CO₂排放转移高度集中于金属冶炼和压延加工业等高耗能工业部门。北京生产环节通过消耗河北的金属冶炼和压延加工品(S8),向河北净转移419.55万t CO₂排放,占北京净转移总量的93%。此外,北京生产环节通过消耗河北的非金属矿物制品(S7),也向河北转移了较多的CO₂排放(见图6)。河北经济发展

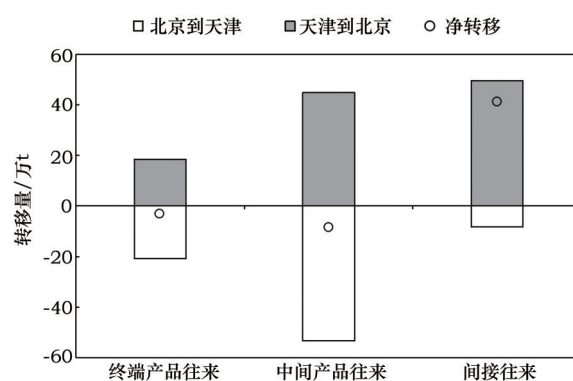


图3 2012年北京和天津CO₂排放转移

Figure 3 CO₂ emissions transfer between Beijing and Tianjin in 2012

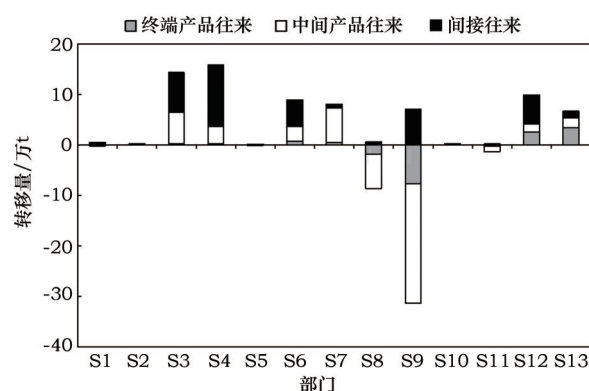


图4 2012年天津对北京CO₂排放净转移的部门结构

Figure 4 Net transfer structure of CO₂ emissions from Tianjin to Beijing in 2012

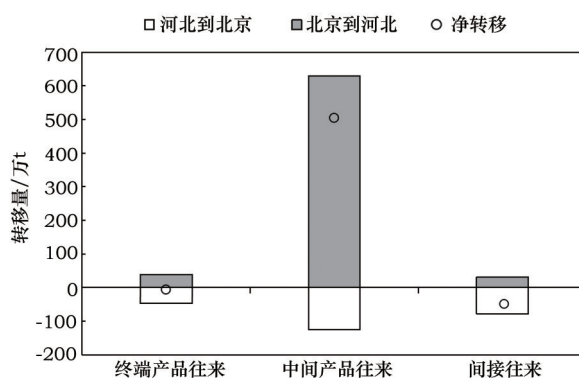


图5 2012年北京和河北CO₂排放转移

Figure 5 CO₂ emissions transfer between Beijing and Hebei in 2012

对第二产业高度依赖,长期以来向北京供应钢铁、水泥等工业原料,必然承接大量CO₂排放转移。

3.2.3 天津和河北之间的转移分析

天津对河北CO₂排放的转移,高于河北对天津的转移。2012年,天津通过产品(服务)往来向河北

2017年12月

净转移88.46万t CO₂排放。其中,天津生产环节通过消耗河北的中间产品,向河北净转移67.28万t CO₂排放。而天津对河北终端产品的需求较小,向河北转移的CO₂排放低于河北对天津的转移量(见图7)。此外,天津还间接向河北净转移了48.02万t CO₂排放。

从部门CO₂排放转移来看,天津对河北的CO₂排放转移集中于金属冶炼和压延加工业等高能耗工业部门。天津通过消耗河北金属冶炼和压延加工品(S8),向河北净转移了78.70万t CO₂排放,占向河北净转移总量的比例达近90%,这主要隐含于中间产品流动及间接往来。其次,天津生产部门通过消耗河北的非金属矿物制品(S7)以及煤炭采选产品(S2),向河北净转移的CO₂排放也较多(见图8)。这与河北长期向天津供应钢材、煤炭、水泥等工业原料和能源有关。

4 结论与建议

本文通过构建多区域投入产出模型,分析了2012年京津冀区域经济往来隐含的CO₂排放转移,主要得到如下结论:

(1)京津冀向其他区域转移的CO₂排放,明显高于其他区域向京津冀的转移量,转移主要集中于除采选业以外的工业部门。2012年,京津冀对其他区域的CO₂排放转移,比其他区域对京津冀的转移高出4350.52万t,这主要隐含于除采选业以外工业部门的终端产品往来。其他区域对京津冀的CO₂排放转移,主要集中于冶金业等工业部门的中间产品往来。

(2)京津冀区域内部,CO₂排放转移主要从北京和天津流向河北。2012年,北京和天津通过消耗河北产品(主要是中间产品),分别向河北净转移449.75万t和88.46万t CO₂排放,这主要隐含于冶金业和非金属矿物制品等高耗能部门的产品往来。而天津主要通过产品的间接往来向北京净转移30.56万t CO₂排放,这主要隐含于石油和天然气开采以及金属矿开采部门产品的往来。

因此,建议加强区域间,尤其是高耗能工业部门的协作,通过资金融合、技术共享等,提升区域整体节能减排效率。

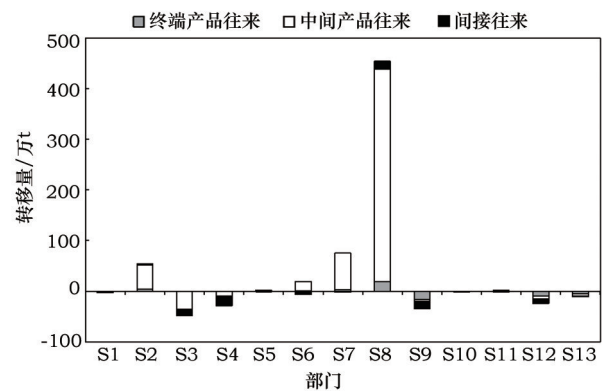


图6 2012年北京对河北CO₂排放净转移的部门结构

Figure 6 Net transfer structure of CO₂ emissions from Beijing to Hebei in 2012

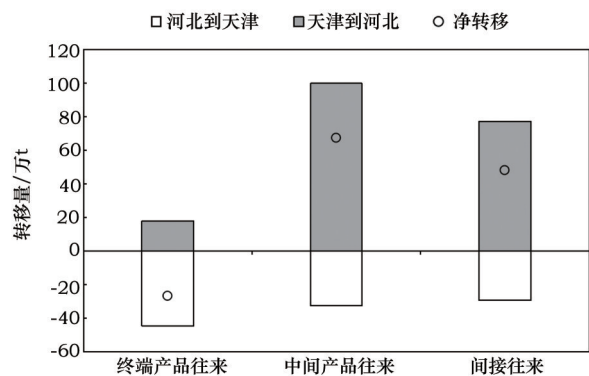


图7 2012年天津和河北CO₂排放转移

Figure 7 CO₂ emissions transfer between Tianjin and Hebei in 2012

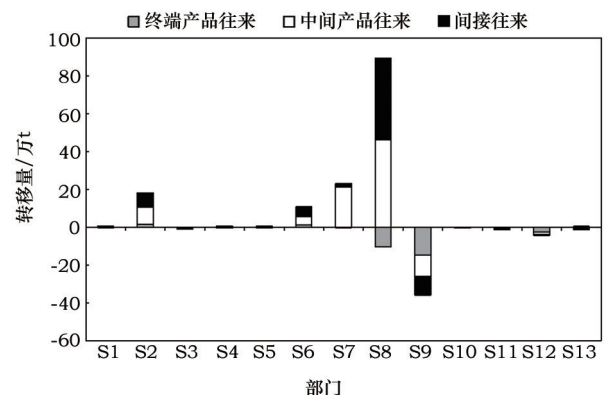


图8 2012年天津对河北CO₂排放净转移的部门结构

Figure 8 Net transfer structure of CO₂ emissions from Tianjin to Hebei in 2012

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国国务院.“十三五”控制温室气体排放工作方案[EB/OL].(2016-11-04)[2017-11-13].http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-11/04/content_5128619.htm. [State Coun-

- cil of the People's Republic of China. The 13th Five-Year Plan for Controlling Greenhouse Gas Emissions[EB/OL]. (2016-11-04) [2017-11-13]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-11/04/content_5128619.htm.]
- [2] Liu Y, Chen S Y, Chen B, *et al.* Analysis of CO₂ emissions embodied in China's bilateral trade: a non-competitive import input-output approach[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 163: S410-S419.
- [3] Wang C. Differential output growth across regions and carbon dioxide emissions: evidence from US and China[J]. *Energy*, 2013, 53(1): 230-236.
- [4] Wiedmann T. A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting[J]. *Ecological Economics*, 2009, 69(2): 211-222.
- [5] 吴献金, 李妍芳. 中日贸易对碳排放转移的影响研究[J]. *资源科学*, 2012, 34(2): 301-308. [Wu X J, Li Y F. Effects of carbon emissions transfer in China-Japan trade[J]. *Resources Science*, 2012, 34(2): 301-308.]
- [6] 王媛, 王文琴, 方修琦, 等. 基于国际分工角度的中国贸易碳转移估算[J]. *资源科学*, 2011, 33(7): 1331-1337. [Wang Y, Wang W Q, Fang X Q, *et al.* Assessment of carbon transfer embodied within the trade between China and other regions based on international specialization[J]. *Resources Science*, 2011, 33(7): 1331-1337.]
- [7] 余慧超, 王礼茂. 中美商品贸易的碳排放转移研究[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(10): 1837-1846. [Yu H C, Wang L M. Research on the carbon emission transfer by Sino-US merchandise trade[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(10): 1837-1846.]
- [8] 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. [Chen Y, Pan J H, Xie L H. Energy embodied in goods of international trade in China: calculation and policy implications[J]. *Economic Research Journal*, 2008, (7): 11-25.]
- [9] 邓荣荣, 陈鸣. 中国对外贸易隐含碳排放研究: 1997-2011年[J]. *上海经济研究*, 2014, (6): 64-73. [Deng R R, Chen M. Carbon emissions embodied in China's import and export: 1997-2011[J]. *Shanghai Economic Review*, 2014, (6): 64-73.]
- [10] 刘强, 庄幸, 姜克隽, 等. 中国出口贸易中的载能量及碳排放量分析[J]. *中国工业经济*, 2008, (8): 46-55. [Liu Q, Zhuang X, Jiang K J, *et al.* Energy and carbon embodied in main exporting goods of China[J]. *China Industrial Economics*, 2008, (8): 46-55.]
- [11] Su B, Ang B W. Input-output analysis of CO₂ emissions embodied in trade: a multi-region model for China[J]. *Applied Energy*, 2014, 114: 377-384.
- [12] Zhang B, Qiao H, Chen M, *et al.* Growth in embodied energy transfers via China's domestic trade: evidence from multi-regional input-output analysis[J]. *Applied Energy*, 2016, 184: 1093-1105.
- [13] 姚亮, 刘晶茹. 中国八大区域间碳排放转移研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(12): 16-19. [Yao L, Liu J R. Transfer of carbon emissions between China's eight major regions[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(12): 16-19.]
- [14] 刘红光, 范晓梅. 中国区域间隐含碳排放转移[J]. *生态学报*, 2014, 34(11): 3016-3024. [Liu H G, Fan X M. CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(11): 3016-3024.]
- [15] 肖雁飞, 万子捷, 廖双红. 沿海外向型产业区际转移定量测评及空间特征分析-基于2002、2007年区域间投入产出表[J]. *经济地理*, 2014, 34(6): 124-129. [Xiao Y F, Wan Z J, Liao S H. Quantitative evaluation and spatial characteristics of coastal export-oriented industrial regional transfer: based on inter-regional input-output table in 2002 and 2007[J]. *Economic Geography*, 2014, 34(6): 124-129.]
- [16] 石敏俊, 张卓颖. 中国省区间投入产出模型与区际经济联系[M]. 北京: 科学出版社, 2012. [Shi M J, Zhang Z Y. China Inter-Provincial Input-Output Model and Economic Linkage[M]. Beijing: Science Press, 2012.]
- [17] Xie R, Hu G X, Zhang Y G, *et al.* Provincial transfers of enabled carbon emissions in China: a supply-side perspective[J]. *Energy Policy*, 2017, 107: 688-697.
- [18] 市村真一, 王慧炯. 中国经济区域间投入产出表[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007. [Ichimura S C, Wang H T. Interregional Input-Output Analysis of the Chinese Economy[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.]
- [19] 许宪春, 李善同. 中国区域投入产出表的编制与分析(1997年)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008. [Xu X C, Li S T. Compilation and Analysis of China Interregional Input-Output Table (1997)[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.]
- [20] 王长胜, 阎娟荣, 张亚雄, 等. 中国区域间投入产出表[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2005. [Wang C S, Yan J R, Zhang Y X, *et al.* Multi-Regional Input-Output Model for China[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2005.]
- [21] 张亚雄, 齐舒畅. 2002、2007年中国区域间投入产出表[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012. [Zhang Y X, Qi S C. China Multi-Regional Input-Output Models in 2002 and 2007[M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.]
- [22] 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. [Liu W D, Chen J, Tang Z P, *et al.* Theory and Practice of Compiling Multi-Regional Input-Output Table of 30 Provinces in China in 2007[M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.]

2017年12月

- [23] 刘卫东,唐志鹏,陈杰,等. 2010年中国30省市区区域间投入产出表[M]. 北京:中国统计出版社,2014. [Liu W D, Tang Z P, Chen J, et al. Multi-Regional Input-Output Table of 30 Provinces in China in 2010[M]. Beijing: China Statistics Press, 2014.]
- [24] 中华人民共和国国家统计局.国民经济行业分类注释[M]. 北京:中国统计出版社,2011. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Classification Notes of National Economic Industries[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011.]
- [25] Leontief W, Strout A. Multiregional Input-Output Analysis, in Structural Interdependence and Economic Development[M]. London: Palgrave Macmillan, 1963.
- [26] 张亚雄,赵坤. 区域间投入产出分析[M]. 北京:社会科学文献出版社,2006. [Zhang Y X, Zhao K. Interregional input-Output analysis[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2006.]
- [27] 刘强,冈本信广. 中国地区间投入产出模型的编制及其问题[J]. 统计研究,2002,19(9):58-64. [Liu Q, Okamoto. Establishing inter-region input-output model of China and its problems [J]. *Statistical Research*, 2002, 19(9): 58-64.]
- [28] 李善同,齐舒畅,许召元. 2002年中国地区扩展投入产出表:编制与应用[M]. 北京:经济科学出版社,2010. [Li S T, Qi S C, Xu Z Y. China Regional Extended Input-Output Table: Compilation and Application[M]. Beijing: Economy Science Press, 2010.]
- [29] Li Y M, Zhao R, Liu T S, et al. Does urbanization lead to more direct and indirect household carbon dioxide emissions? Evidence from China during 1996-2012[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 102: 103-114.
- [30] 国家统计局国民经济核算司. 中国地区投入产出表2012[M]. 北京:中国统计出版社,2016. [Department of National Economic Accounting, National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Chinese Regional Input-Output Tables of 2012[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [31] 国家统计局国民经济核算司. 2012年中国投入产出表[M]. 北京:中国统计出版社,2015. [Department of National Economic Accounting, National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Input-Output Tables of China of 2012[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.]
- [32] 铁道部统计中心.2012年全国铁路统计摘要[M]. 北京:中国铁道出版社,2014. [Statistics Center of National Railway Administration of the People's Republic of China. Summary of National Railway Statistics in 2012[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2014.]
- [33] 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴2013[M]. 北京:中国统计出版社,2014. [Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Energy Statistical Yearbook of 2013[M]. Beijing: China Statistics Press, 2014.]
- [34] 北京市统计局.北京统计年鉴2013[M]. 北京:中国统计出版社,2013. [Beijing Municipal Bureau of Statistics. Beijing Statistical Yearbook of 2013[M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.]
- [35] 天津市统计局.天津统计年鉴2013[M]. 北京:中国统计出版社,2013. [Tianjin Municipal Bureau of Statistics. Tianjin Statistical Yearbook of 2013[M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.]
- [36] 河北省人民政府.河北经济年鉴2013[M]. 北京:中国统计出版社,2013. [The People's Government of Hebei Province. Hebei Economic Yearbook of 2013[M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.]
- [37] 河北省第二次经济普查领导小组办公室.河北经济普查年鉴2008[M]. 北京:中国统计出版社,2011. [The Leading Group Office of the Second Economic Census of Hebei Province. Hebei Economic Census Yearbook of 2008[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011.]
- [38] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[EB/OL]. (2008-07-20)[2017-11-13]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- [39] 国家发展和改革委员会应对气候变化司.省级温室气体清单编制指南(试行)[EB/OL]. (2011-05)[2017-11-13]. <http://qhs.ndrc.gov.cn/zcfg/index.html>. [National Development and Reform Commission for Addressing Climate Change. Notice on Issuing Guidelines for the Compilation of Provincial Greenhouse Gas Inventories (for Trial Implementation) [EB/OL]. (2011-05)[2017-11-13]. <http://qhs.ndrc.gov.cn/zcfg/index.html>.]

Carbon dioxide emission transfers embodied in interregional economic activities in Beijing–Tianjin–Hebei according to multiregional input–output model

ZHANG Hongli^{1,2}, SHEN Lei¹, LI Yanmei³

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

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Institute of Circular Economy of Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: With the implementation of a collaborative development strategy in the Beijing-Tianjin-Hebei region, interregional economic exchange is becoming closer. That causes the transfer of CO₂ emissions and has a significant effect on fair and effective allocation of carbon reduction responsibility. Here, the multiregional input-output (MRIO) table for the Beijing-Tianjin-Hebei region for 2012 is compiled. Then, the MRIO model is constructed to analyze CO₂ emission transfers embodied in economic exchange in the Beijing-Tianjin-Hebei region. We found that in 2012, CO₂ emission transfer from Beijing-Tianjin-Hebei to the rest of China is 43.51 million tons higher than that from the rest of China to Beijing-Tianjin-Hebei, and it is mainly embodied in the final product exchange in industrial sectors rather than mining and processing. Within the Beijing-Tianjin-Hebei region, the net amounts of CO₂ emissions transfer from Beijing and Tianjin to Hebei are 4.50 million tons and 0.88 million tons respectively, and it is mainly embodied in intermediate product exchange in high energy-consuming sectors, such as smelting and pressing of metals and manufacture of non-metallic mineral products. Based on these results, we propose that the collaboration between Beijing, Tianjin and Hebei, especially in the high energy-consuming sectors, should be strengthened to improve the overall efficiency of energy conservation and carbon reduction in Beijing-Tianjin-Hebei.

Key words: interregional economic activities; CO₂ emissions transfer; multiregional input-output; Beijing-Tianjin-Hebei