

# 京津冀产业能源碳排放与经济增长 脱钩弹性及驱动因素

## ——基于 Tapio 脱钩和 LMDI 模型的实证

王凤婷<sup>1</sup> 方 恺<sup>2</sup> 于 畅<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ( 中国农业大学经济与管理学院, 北京 100083)    <sup>2</sup> ( 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058)

<sup>3</sup> ( 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083)

**〔摘 要〕** 本文基于 1996~2017 年京津冀产业碳排放面板数据, 采用脱钩模型分析经济增长与碳排放之间的同步关系, 运用对数平均迪氏指数 (LMDI) 分解分析模型探究碳排放增长的驱动因素。研究表明: 1996~2017 年京津冀产业能源碳排放平均年增长率 3.50%, 增加主要由河北拉动, 工业、民用和交通部门是碳排放主要部门; 京津冀三地产业能源碳排放与经济增长的脱钩关系由弱脱钩转变为强脱钩关系; 碳排放强度和能源消耗强度的降低是碳排放的两个主要抑制因素, 并且抑制作用逐年增强, 经济强度因素对碳排放有正向影响, 产业结构和能源结构对京津冀碳排放影响程度较小。因此, 可以从严控高能耗产业、增加技术投入、借助经济杠杆、提高环境补偿等方面着手京津冀减排。

**〔关键词〕** 产业能源 碳排放 Tapio 脱钩 LMDI 模型 京津冀 经济增长

DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2019.08.004

(中图分类号) F124.1; F224 (文献标识码) A

### 引 言

由温室气体引起的全球气候变暖问题受到全球持续广泛关注, 温室气体 95% 的增量来自能源消费 (Guo 等, 2018)<sup>[1]</sup>。作为全球最大的发展中国家, 中国经济快速增长的同时, 碳排放量也与日俱增。中国碳排放占全球总排放量的 22.3%, 增量占 70%, 人均碳排放量超世界平均水平, 中国已成为温室气体排放大国和能源消费大国(沈能等, 2014)<sup>[2]</sup>。国际气候谈判的舆论压力和中国 2020 年碳减排的承诺使中国减排承受巨大压力。京津冀逐渐成为中国经济增长第三极, 也成为中国碳排放主要区域。甄别碳排增长的驱动因素是制定区域碳减排政策依据, 产业经济低碳转型也是可持续发展的必经之路。探究经济发展与碳排放同步变化关系, 识别碳排放增长驱动因素已吸引国内外学者的广泛关注 (彭水军等, 2016; Bel 和 Rosell, 2017; Li 等, 2018)<sup>[3-5]</sup>。因此, 厘清京津冀经济

转型过程中碳排放与经济发展是否同步变化, 甄别产业能源碳排放的重要驱动因素, 这对促进京津冀经济协同发展、应对气候变化有重要的实践意义, 也有助于为节能减排政策制定提供参考, 为其他经济发达地区碳减排提供经验借鉴, 共同实现中国碳减排目标。

### 1 相关文献回顾

目前, 关于碳排放的已有研究大多关注碳排放量的核算、碳排放与经济发展关系、碳排放驱动因素、碳排放情景分析及预测、减碳技术及政策模拟等。随着经济快速发展以及对环境问题的重视, 学术界开始关注经济增长与碳排放之间的脱钩关系。脱钩关系表示经济发展与环境压力是否同步变化的关联, 脱钩理论由经济合作与发展组织 (OECD) 提出, 是用来描述经济增长与资源消耗或环境污染之间联系的基本理论。20 世纪末 OECD 将脱钩概念引入到农业政策研究, 并逐

收稿日期: 2019-04-15

基金项目: 国家自然科学基金项目“跨区域环境污染协同治理的绩效评价研究”(项目编号: 71804012); 国家自然科学基金青年科学基金项目“中国省域碳排放权多标准分配方法研究”(项目编号: 71704157); 浙江省杰出青年科学基金项目“‘2030 双重目标’下的我国碳排放权动态分级分配研究”(项目编号: LR19G030001)。

作者简介: 王凤婷, 中国农业大学经济与管理学院博士研究生。研究方向: 产业经济, 资源与环境经济。方恺, 浙江大学公共管理学院教授, 博士生导师。研究方向: 产业经济。于畅, 通讯作者, 北京林业大学经济管理学院副教授。研究方向: 产业经济, 资源与环境经济。

步拓展到环境等领域。衡量碳排放和经济增长之间脱钩关系的主要方法有 Tapio 提出的弹性系数和 OECD 提出的脱钩因子两种常用指标,前者相对于后者更能消除基期选择上的误差 (Tapio, 2005; Zhou 等, 2017) [6,7]。因而,本文采用 Tapio 指数衡量以经济增长与碳排放为代表指标的环境压力的关系。甄别碳排放驱动因素是制定碳减排政策和应对气候变化的重要前提,已有的研究大多认为经济增长、产业结构是影响碳排放的最主要因素 (杨武等, 2018) [8]。此外,部分学者对能源碳排放进行分解后指出,能源消耗强度、碳排放强度、技术变革等也对碳排放有影响 (鲁万波等, 2013) [9]。碳排放因素分解方法主要有结构分解分析 (SDA) 和指数分解分析 (IDA)。结构分解方法通常基于投入产出表,而投入产出表只在逢 2、逢 7 年份编制,因此该方法对数据要求较高,亦不易进行连续年份分析,进而影响结果的连贯性、完整性。指数分解分析方法利用各产业部门各能源品种数据进行分析比较,其对数据要求更为灵活,在能源研究领域应用范围更广。因而,本研究采用指数分解分析,指数分解方法主要有 Marshall-Edgeworth、Paache、Fisher、Divisia、Laspeyres 指数法等,其中,Divisa 指数法和 Laspeyres 指数法因其能弥补其他分解方法无法解决的残差项存留问题而受到广泛使用,对数平均迪氏分解指数法 (LMDI) 是 Divisa 指数法的对数形式,也是指数分解中最常用的分解方法之一。另外,相比较 Laspeyres 指数法,Divisa 指数法更易于建模,尤其有利于较多的分解因素。因此,本文采用对数平均迪氏分解法 (LMDI) 分解碳排放影响因素。

随着国际上对二氧化碳排放问题的日趋关注,学者对碳排放的研究范围由国家层面变化到区域或省市级层面。有学者对亚洲四小龙碳排放经验研究指出,碳排放强度是发展中国家(地区)兑现气候变化承诺的重要基础,通过联立方程模型分析指出经济发展和碳排放之间存在双向因果关系 (Ang, 2004) [10]。此外,部分学者探究了瑞典工业部门碳排放绩效收敛性 (Brännlund 等, 2015) [11],部分学者比较了美国单位产值下不同部门不同化石燃料碳排放差异 (Mishra 等, 2014) [12],还有学者对中国的广东、江苏、辽宁、北京等省市能源

消耗和碳排放的增长影响因素进行了分析 (Xu 等, 2015) [13]。省级或城市层面的碳排放驱动因素仍需深入研究,尤其是国家经济发展的重要区域应该积极应对中国 2020 年碳减排的目标承诺。自从 2013 年京津冀协同发展战略提出以来,围绕京津冀区域的研究主要集中在空气污染、水资源问题、能水关系等问题 (Wang 和 Chen, 2016) [14]。然而,针对京津冀区域整体的经济发展与碳排放之间的同步关系及碳排放变化影响因素的研究相对较少。此外,从产业的角度探究经济发展与碳排放脱钩关系以及碳排放变化的决定因素的研究也较为缺乏。

有鉴于此,本文将基于 Tapio 脱钩模型探究京津冀经济发展与二氧化碳排放之间的同步关系,利用 LMDI 分解方法甄别 1996~2017 年京津冀全产业能源碳排放的驱动因素,以期为其他城市或区域碳减排提供借鉴,促进经济转型和社会可持续发展。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 碳排放测算

采用基于燃料中碳总量的方法来估计二氧化碳排放量,时期  $t$  终端二氧化碳排放量计算公式如下:

$$CE = \frac{44}{12} \times \sum_{j=1}^{44} E_j \times \alpha_j \times NCV_j \times CC_j \times COF_j \quad (1)$$

其中,  $E_j$  表示第  $j$  种能源物理消耗量,以  $\text{kg}$ 、 $\text{m}^3$  或  $\text{L}$  为计量单位,  $\alpha_j$  代表折标准煤系数;  $NCV_j$ 、 $CC_j$ 、 $COF_j$  分别表示平均低位发热量、单位热值含碳量、碳氧化率,这 3 项乘积为碳排放系数; 44 与 12 分别指二氧化碳与碳的分子量,二氧化碳碳排放系数与碳排放系数比值为 44/12。

### 2.2 脱钩关系与碳排放变化因素分解

#### (1) 脱钩关系

二氧化碳排放量与经济发展 GDP 之间的脱钩弹性指标由式 (2) 表示:

$$\varepsilon(CE, GDP) = \Delta CE \times \frac{GDP}{CE \times \Delta GDP} = \frac{\Delta CE / CE}{\Delta GDP / GDP} \quad (2)$$

其中,  $\Delta CE$ 、 $\Delta GDP$  分别表示某一特定时段内二氧化碳排放量、GDP 的变化,表 1 为 8 种脱钩状态的判别标准 [6]。

表 1 脱钩状态的判别标准

$\Delta CE$	$\Delta GDP$	$\varepsilon$	脱钩类型
<0	>0	$\varepsilon < 0$	强脱钩
>0	>0	$0.8 \geq \varepsilon > 0$	弱脱钩
>0	>0	$1.2 \geq \varepsilon > 0.8$	扩张连接
>0	>0	$\varepsilon > 1.2$	扩张负脱钩
>0	<0	$\varepsilon < 0$	强负脱钩
<0	<0	$0.8 \geq \varepsilon > 0$	弱负脱钩
<0	<0	$1.2 \geq \varepsilon > 0.8$	衰退连接
<0	<0	$\varepsilon > 1.2$	衰退脱钩

(2) 碳排放变化因素分解

时刻  $t$  二氧化碳排放量  $CE^t$  由式 (3) 表示:

$$CE^t = \sum_i \sum_j CE_{ij}^t = \sum_i \sum_j \left( \frac{CE_{ij}^t}{E_{ij}^t} \right) \times \left( \frac{E_{ij}^t}{E_i^t} \right) \times \left( \frac{E_i^t}{GDP_i^t} \right) \times \left( \frac{GDP_i^t}{GDP^t} \right) \times GDP^t = \sum_i \sum_j CI_i^t \times ES_i^t \times EI_i^t \times S_i^t \times$$

$$\begin{aligned} \Delta CE_{ci} &= \begin{cases} 0 & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 = 0 \\ \sum_i \sum_j \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln(CE_{ij}^t / CE_{ij}^0)} \times \ln(CI_i^t / CI_i^0) & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 \neq 0 \end{cases} \\ \Delta CE_{es} &= \begin{cases} 0 & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 = 0 \\ \sum_i \sum_j \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln(CE_{ij}^t / CE_{ij}^0)} \times \ln(ES_i^t / ES_i^0) & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 \neq 0 \end{cases} \\ \Delta CE_{ei} &= \begin{cases} 0 & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 = 0 \\ \sum_i \sum_j \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln(CE_{ij}^t / CE_{ij}^0)} \times \ln(EI_i^t / EI_i^0) & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 \neq 0 \end{cases} \\ \Delta CE_s &= \begin{cases} 0 & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 = 0 \\ \sum_i \sum_j \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln(CE_{ij}^t / CE_{ij}^0)} \times \ln(S_i^t / S_i^0) & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 \neq 0 \end{cases} \\ \Delta CE_{gdp} &= \begin{cases} 0 & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 = 0 \\ \sum_i \sum_j \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{\ln(CE_{ij}^t / CE_{ij}^0)} \times \ln(GDP^t / GDP^0) & \text{if } CE_{ij}^t \times CE_{ij}^0 \neq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

联立式 (2) 和 (4), 二氧化碳和 GDP 的脱钩弹性也可分解为式 (6):

$$\begin{aligned} \varepsilon(CE, GDP) &= \Delta CE \times \frac{GDP}{CE \times \Delta GDP} = (\Delta CI + \Delta ES + \\ &\Delta EI + \Delta S + \Delta GDP) \times \frac{GDP}{CE \times \Delta GDP} = \frac{\Delta CI \times GDP}{CE \times \Delta GDP} + \\ &\frac{\Delta ES \times GDP}{CE \times \Delta GDP} + \frac{\Delta EI \times GDP}{CE \times \Delta GDP} + \frac{\Delta S \times GDP}{CE \times \Delta GDP} + \frac{\Delta GDP \times GDP}{CE \times \Delta GDP} = \end{aligned}$$

$$GDP_i^t \quad (3)$$

$i$ 、 $j$  分别表示部门、能源类别,  $CE_{ij}^t$  表示时刻  $t$  由第  $i$  部门第  $j$  种能源产生的二氧化碳排放量;  $CI_{ij}^t = CE_{ij}^t / E_{ij}^t$ , 代表  $t$  时刻第  $i$  部门第  $j$  种能源的碳排放强度;  $ES_{ij}^t = E_{ij}^t / E_i^t$ , 代表时刻  $t$  第  $j$  种能源消费比例;  $EI_i^t = E_i^t / GDP_i^t$ , 代表时刻  $t$  第  $i$  部门的能源消耗强度, 代表单位产值消耗的能源, 反映能源的利用效率;  $S_i^t = GDP_i^t / GDP^t$ , 代表时刻  $t$  第  $i$  部门的产业增加值占国内生产总值 GDP 的比重。

由 LMDI 模型加法形式将二氧化碳排放变化量  $\Delta CE^t$  分解为五大因素之和: 碳排放强度效应 ( $\Delta CE_{ci}$ ), 能源结构效应 ( $\Delta CE_{es}$ ), 能源强度效应 ( $\Delta CE_{ei}$ ), 产业结构效应 ( $\Delta CE_s$ ) 和经济发展效应 ( $\Delta CE_{gdp}$ )。

$$\Delta CE^t = CE^t - CE^0 = \Delta CE_{ci} + \Delta CE_{es} + \Delta CE_{ei} + \Delta CE_s + \Delta CE_{gdp} \quad (4)$$

各因素由式 (5) 计算而得:

$$\varepsilon_{CI} + \varepsilon_{ES} + \varepsilon_{EI} + \varepsilon_S + \varepsilon_{GDP} \quad (6)$$

$\varepsilon_{CI}$ 、 $\varepsilon_{ES}$ 、 $\varepsilon_{EI}$ 、 $\varepsilon_S$ 、 $\varepsilon_{GDP}$  分别为相应驱动因素的弹性, 则二氧化碳和经济增长的脱钩弹性可分解为 5 个驱动因素的脱钩弹性之和。

2.3 数据来源

本文以 1996~2017 年为研究区间, 以 1996 年作为起始年的原因是 1996 年国家将国民经济行

业分类标准进行调整,为了统一口径因而以1996年作为时间起点,而2017年是产业能源碳排放数据可获取的最新年份。经济增长用国内生产总值GDP衡量,GDP数据来自《中国统计年鉴》,为了增加数据的可比性,本文以1978年为基准年对数据进行了指数平减。为了对碳排放增长进行分部门分析,将国民经济部门细分为农业、工业、建筑业、运输邮电、商业、民用和其他部门7个部门。纳入能源统计的主要能源有五大类:煤、

油、气、电和其他燃料,此外,电力消耗不产生二氧化碳,故不予计算,具体的能源子类有14种(表2)。能源消耗物理量数据来自于《中国能源统计年鉴》中的能源平衡表,平均低位发热量、折标准煤系数来自于《综合能耗计算通则》(GB/T 2589-2008),单位热值含碳量、碳氧化率数据取自《省级温室气体清单编制指南》,二氧化碳排放系数参考国家温室气体清单指南。

表2 折标准煤系数和二氧化碳排放指标

能源类别	折标准煤系数 <sup>(1)</sup>	CO <sub>2</sub> 排放系数 <sup>(2)</sup>	能源类别	折标准煤系数	CO <sub>2</sub> 排放系数
原煤	0.7143	2.690	燃料油	1.429	3.171
洗精煤	0.900	0.7559	焦炉煤气	6.143	0.641
焦炭	0.9714	2.690	液化石油气	1.714	3.101
原油	1.4286	2.760	天然气	12.143	2.162
汽油	1.4714	2.925	其他焦化产品	1.300	0.645
煤油	1.4714	3.017	其他石油制品	1.200	0.586
柴油	1.4571	3.0959	其他煤气	3.570	0.355

注: (1) 低位发热量等于29307千焦(kJ)的燃料称为1千克标准煤(1kgce); (2) 煤油类能源单位为Kg-co2/kg, 气类单位为Kg-co2/m<sup>3</sup>。

### 3 碳排放与经济增长脱钩关系

#### 3.1 京津冀碳排放

整体来看,京津冀3个地区碳排放逐年增加,1996~2017年平均增速3.50%(图1)。从时间变化看,2002年之前碳排放增速较缓,年均增速不足2.7%,2002年之后3个地区碳排放快速增加,在2005年,碳排放平均增速最高,达21.5%,其中,河北碳排放年均增速最大(30%)。2012年

之后,3个地区碳排放年均增速放缓,均在8%以下。分区域来看,北京碳排放增速较低,除了1999年、2006年,其他年份增速均在10%以下,天津碳排放增速呈现波峰波谷交替出现,2000年和2004年增速达到最高,分别为18%、19%。河北碳排放增速相对较高,并且呈先上升后下降的趋势,其增速在2004~2008时段达到最高,年均增速近16%。

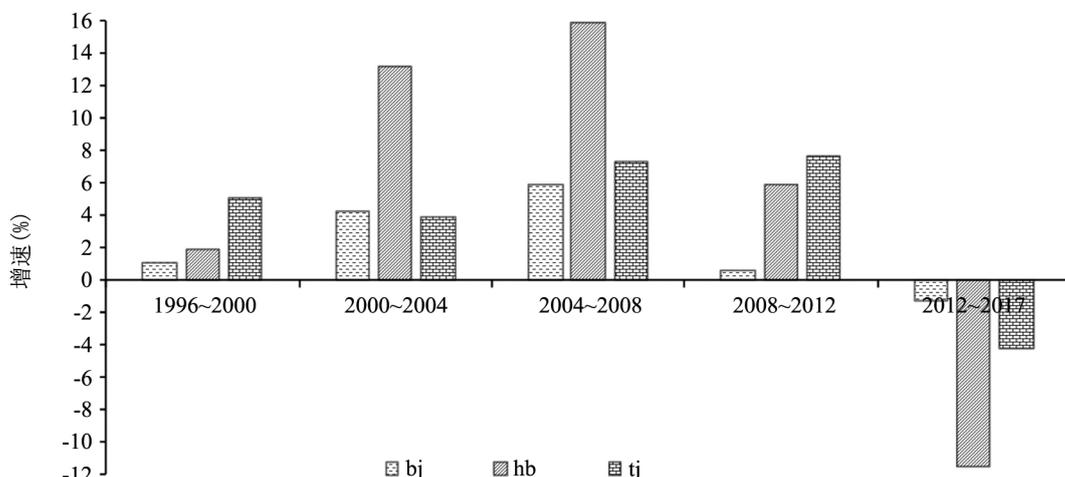


图1 京津冀1996~2017年碳排放增速

分部门来看,工业碳排放量最高,农业碳排放量最低,工业、建筑业、交通运输业碳排放贡献率整体呈上升趋势,农业和生活消费部门碳排放贡献率先降低后增加,商业和其他部门碳排放贡献率整体呈下降趋势。具体而言,农业碳排放量2012年之前呈波动上升趋势,2012年之后大幅下降,降幅达51.13%,原因可能是此时段内为快速实现农业增产增收,出现土地利用不当、化肥过量施用现象,进而增加了农业碳排放<sup>[24]</sup>,2012年之后京津冀产业结构转型,农业在国民经济中比重下降,并且农业重视绿色发展,化肥使用减少,因而农业碳排放降低。工业部门在5个时段的碳排放贡献率最高,其在碳排放增量中的比重均在65%以上,2012~2017年时段的工业碳排放占比最高,河北工业碳排放贡献最大(77.86%),这

和北京、天津为减少碳排放向河北转移重污染化工企业有关。建筑业碳排放2012年之前碳排放贡献率持续增加,2012年之后下降,这和十二五期间加强环境管制、减排技术的进步有关。交通运输业作为现代服务业的重要产业其碳排放20年间年均增加了21238万吨,其时间上的变化趋势和建筑业基本一致,交通运输业的碳排放日益增加可能和国家大力发展基础设施建设有关。1996~2017年商业和其他产业的碳排放贡献率基本保持稳定,民用部门碳排放贡献率仅次于工业部门,时间上的变化规律和前两个部门基本一致,值得注意的是,2012~2017年民用部门碳排放减少了近4倍,这和京津冀推进冬季清洁取暖、改革农村采暖方式有关,燃煤是民用部门碳排放的主要贡献者,以散煤为主的采暖方式逐步被电或气替代。

表3 各部门碳排放量和贡献率

单位:万吨, %

时段	指标	农业	工业	建筑业	交通运输	商业	民用	其他
1996~2000	碳排放	7778	242103	39.29	24273	9104	42816	19833
	贡献率	2.22	69.20	1.12	6.94	2.60	12.24	5.67
2000~2004	碳排放	7789	299321	5241	35921	11083	46236	24695
	贡献率	1.81	69.56	1.22	8.35	2.58	10.75	5.74
2004~2008	碳排放	7611	477716	8035	67058	17590	53543	31992
	贡献率	1.15	71.99	1.21	10.11	2.65	8.07	4.82
2008~2012	碳排放	13550	596916	13691	91795	18442	75012	40891
	贡献率	1.59	70.20	1.61	10.80	2.17	8.82	4.81
2012~2017	碳排放	2323	97069	1888	11928	2215	15993	5072
	贡献率	1.70	71.12	1.38	8.74	1.62	11.72	3.72

### 3.2 经济增长与碳排放的脱钩分析

从表4可看出经济增长与碳排放脱钩状态呈现3种类型:弱脱钩、强脱钩和扩张连接,北京和天津由弱脱钩转为强脱钩,河北仍保持着弱脱钩关系。

分时段来看,1996~2000年,北京、天津、河北三地区经济增长与碳排放脱钩关系均为弱脱钩,即碳排放随着经济增长而增加,但碳排放增长率幅度小于经济增长率。天津脱钩弹性系数数值最大(0.4982),但其值远小于临界值0.8。2000~2004年,河北经济增长和碳排放脱钩状态为扩张连接,即碳排放和经济总量均增长,其他两个地区脱钩

状态是弱脱钩。呈现扩张连接的原因可能是,该时段国际经济发展环境较好,国内涉及能源行业的基础设施项目增多,进而能源消耗和二氧化碳排放加速增加。2004~2008年,京津冀二氧化碳排放和经济发展呈现弱脱钩关系,可能的原因是2004年中国经济进行宏观调控,京津冀积极发展对外贸易,促使京津冀经济快速发展;2008~2012年,京津冀碳排放和经济发展脱钩类型为弱脱钩,主要原因可能是2008年发生自然灾害、全球金融危机,由此政府推行积极的财政和货币政策,促进经济较快平稳增长;2012~2017年,北京和天津碳排放与经济发展呈现强脱钩关系,这

与两地产业结构优化,服务业在国民经济中比重提升有关,2017 年北京和天津高能耗的第二产业比重分别下降到 19.0%、40.8%。同时,河北碳

排放与经济发展也进入强脱钩关系,主要原因是在环境保护和经济转型同步推进背景下河北完善产业结构、严格控制环境污染物排放。

表 4 京津冀产业能源碳排放与经济增长脱钩关系

年份	地区	CE 变化率	GDP 变化率	弹性	脱钩类型
1996~2000	北京	0.0429	0.7671	0.0559	弱脱钩
	天津	0.1723	0.3458	0.4982	弱脱钩
	河北	0.0614	0.2757	0.2226	弱脱钩
2000~2004	北京	0.1688	0.9082	0.1859	弱脱钩
	天津	0.1557	0.6211	0.2507	弱脱钩
	河北	0.4680	0.5366	0.8721	扩张连接
2004~2008	北京	0.2342	0.8423	0.2780	弱脱钩
	天津	0.2760	0.7203	0.3831	弱脱钩
	河北	0.2497	0.5993	0.4167	弱脱钩
2008~2012	北京	0.0267	0.6086	0.0439	弱脱钩
	天津	0.1911	0.7142	0.2675	弱脱钩
	河北	0.2149	0.5419	0.3966	弱脱钩
2012~2017	北京	-0.0513	0.5669	-0.0905	强脱钩
	天津	-0.1680	0.4386	-0.3830	强脱钩
	河北	-0.4603	0.2800	-1.6437	强脱钩

#### 4 碳排放驱动因素的分解分析

经济增长与碳排放之间的脱钩关系描述两者同步关系,但是很难解释碳排放变化的机理,因此,进一步利用 LMDI 模型分析产业能源碳排放变化的驱动因素。利用 Matlab 7.10 软件求解 LM-

DI 模型式 (4)。结果表明 (图 2),整体上来看,京津冀碳排放驱动因素影响程度降序排列依次是:经济发展强度、能源消耗强度、碳排放强度、产业结构、能源结构。

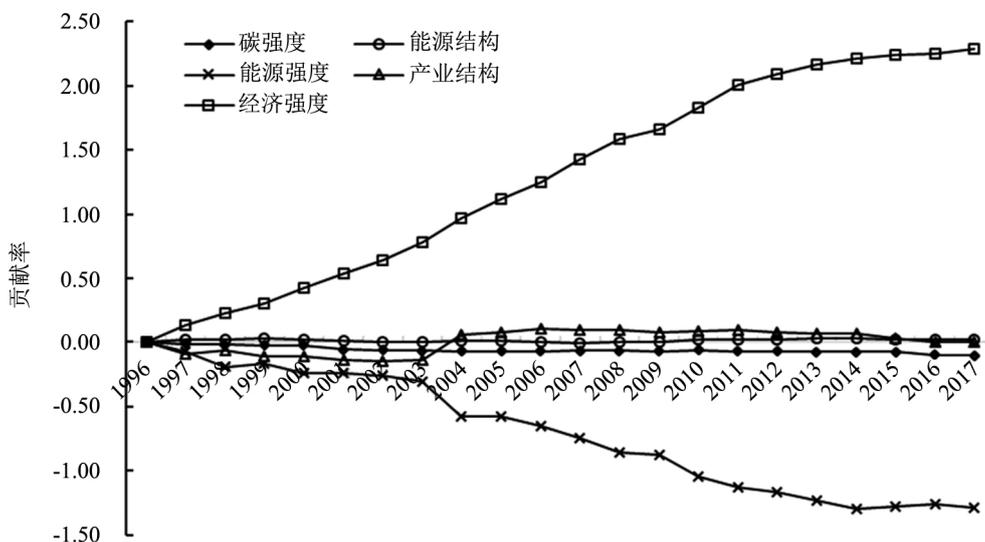


图 2 1996~2017 年京津冀碳排放驱动因素 LMDI 分解

能源强度、碳排放强度是碳排放的抑制因素，经济发展强度对碳排放有正向作用，能源结构对碳排放影响程度较小。京津冀经济增长的脱钩弹性远大于碳排放和经济增长之间的脱钩弹性（图2和表5），这表明经济发展是碳排放增长的主要驱动因素。5个时段内该因素对京津冀碳排放增加贡献率较大，主要原因是国家为促进经济发展，优先支持东部地区贸易，优势产业整合，因此，京津冀经济发展水平取得快速增长，经济快速增长带来以碳排放为主的环境负外部性。能源消耗强度对产业能源碳排放起着较强的抑制作用，能源消耗强度使京津冀1996~2017年碳排放累积减少了58259万吨，5个时段内2012~2017年能源

消耗强度对减排贡献率最大（-621.1%），这与政府逐步实施强有力的环境管制政策、推进绿色革命有关。此外，能源消耗强度的脱钩值均为负值，能源强度的脱钩值绝对值大于碳排放和经济增长之间的脱钩值，这表明能源强度对限制碳排放有较强作用。除了1996~2000年、2012~2017年两个时段，产业结构对碳排放有正向影响，产业结构对碳排放增加的累积影响是377万吨标准煤。1996~2000年、2012~2017年两个时段内能源密集型第二产业比重大幅下降，这是该时段碳排放减少的主要原因。能源结构在碳排放中的重要性相对较小，该因素使得近20年京津冀碳排放累积增加了1522万吨。

表5 1996~2017年京津冀各驱动因素脱钩弹性变化

时段	地区	CI 弹性	ES 弹性	EI 弹性	S 弹性	GDP 弹性
1996~2000	北京	-2.6519	0.5847	-3.4668	-1.4953	8.5287
	天津	0.1806	0.1519	-1.5772	-0.7654	3.8285
	河北	0.0395	0.1277	-2.0715	-0.7713	3.5570
2000~2004	北京	-3.6189	0.5528	-5.3753	2.6950	10.1492
	天津	0.3020	-0.6817	-3.5803	0.6929	3.9565
	河北	0.4609	-0.3775	-1.2302	0.7926	4.4662
2004~2008	北京	-3.1845	0.0680	-4.6996	0.9802	9.6763
	天津	0.0853	-0.4757	-3.2201	-0.1806	5.5715
	河北	0.7224	0.1032	-1.7247	0.3249	4.9029
2008~2012	北京	-4.6112	0.4557	-5.3068	0.1037	10.1827
	天津	0.0782	0.0838	-2.2235	-0.0300	3.9237
	河北	0.1465	0.0762	-2.2973	-0.3675	4.4412
2012~2017	北京	10.89748	-3.79705	-2.69287	-0.30797	2.19009
	天津	-0.7369	0.075787	0.888133	-0.86497	0.254956
	河北	-0.91385	-0.0865	0.808855	-1.4706	0.018403

能源消耗强度逐年降低，商业、工业、建筑业和运输部门的能源消耗强度对减少碳排放影响较大<sup>①</sup>。分时段来看，能源消耗强度每年下降，同时呈现下降递减规律，主要原因是能源消耗强度降低难度逐年增加。分部门来看，商业部门2000~2004年能源强度对产业能源二氧化碳排放抑制作用最强，对该时段减排的贡献达94.1%，工业部门对能源消耗强度降低主要来自技术进步引致的能源利用效率提高。分区域来看，北京是该区域

中能源消耗强度降幅最大的，这与北京绿色城市发展定位相符。碳排放强度也逐年降低，碳排放强度脱钩弹性对脱钩关系影响程度较大。分时段来看，碳排放强度呈逐年下降趋势，时间上变化规律和能源强度基本一致。分部门来看，7个部门的碳排放强度有显著差异，工业、交通运输和其他产业部门碳排放强度降低幅度最大，工业部门碳排放强度的降低主要来自京津冀工业技术创新、重工业转型升级，交通运输部门对降低碳排放

放强度的影响来自公共交通的大力发展、交通工具能耗模式的变革。分区域来看,北京和天津大多时段碳排放强度降幅大于河北,这与经济快速发展中京津两地将环境压力逐步转移给河北有关。

## 5 结论与政策建议

本文旨在探究京津冀地区经济发展与产业能源碳排放是否同步变化以及碳排放增长的驱动因素,核算了京津冀1996~2017年产业能源碳排放,基于Tapio脱钩模型分析了经济增长与京津冀碳排放之间的脱钩关系,利用LMDI模型探究京津冀产业能源碳排放驱动因素,以期为中国2020年减排提供科学支撑。本文所得研究结论如下:

京津冀产业能源碳排放逐年增加,增幅显著降低。京津冀碳排放平均年增长率为3.50%,但2012年后碳排放大幅减少,这与十二五国家执行严格的环境规制政策、减排技术的大力投入有关。分区域来看,河北省碳排放总量最大、增速最快;分部门来看,工业、民用和交通运输部门是碳排放重点部门。

京津冀经济发展和产业能源碳排放整体上呈现弱脱钩关系,2012年后京津冀三地进入强脱钩关系。京津经济增长与碳排放弱脱钩关系和其“十一五”、“十二五”期间节能减排措施、环境规制政策实施有关,这也表明京津两地产业发展转型较为成功,经济发展对物质资源尤其是能源的依赖程度逐步降低。京津经济增长和碳排放增量之间的关系正在减弱,这是经济转型中经济发展与环境污染比较理想的同步模式,符合“绿色发展”目标。同时,河北受京津两地经济发展辐射及生态补偿影响,经济增长和碳排放逐步由弱脱钩关系转为强脱钩关系。

碳排放强度和能源消耗强度是碳排放的主要抑制因素,该抑制作用逐年增强。京津冀地区产业能源碳排放与经济发展之间的脱钩关系由弱脱钩到强脱钩转变是由碳排放强度的降低、能源消耗强度的降低以及产业结构的不断优化带来的。此外,经济发展强度是碳排放增长的主要因素,产业结构、能源消耗结构的改善两个因素对减排影响程度较小。分部门来看,工业、交通运输两个部门能耗强度、碳强度对减排贡献最大,这与京津冀工业技术进步、公共交通普及、交通工具能源消耗模式的变革有关。分区域来看,京津两

地碳排放强度降低幅度更大,这与京津转移高能耗、加大减排技术投入的减排路径相符。

基于上述结论,为了促进京津冀地区节能减排,应该重视能源消耗与经济同步协调发展。(1)继续降低京津冀碳排放,重点把控工业、民用和交通运输部门。京津冀整体要继续推进减排,河北碳减排是重点区域,要继续降低能耗高的二产比重。部门上要实现工业、民用和交通部门减排重点突破,工业部门应该保持减排政策的延续性和力度,民用部门要提高采暖方式变革普及率,增加煤清洁利用技术研发投入,交通运输部门要提升公共交通规模和水平,提高电、乙醇等清洁能源为运输动力的机动车使用率;(2)增加技术创新投入,借助经济杠杆作用,降低能源消耗强度、碳排放强度。依靠技术创新、技术进步助推能源利用效率提升,减少以化石燃料消费为主的产业比重。加快能源价格改革步伐,借助碳税、碳配额、碳排放权等工具,加快碳市场机制建立,有效减少碳排放量。降低产业能源消耗强度,尤其是碳排放增长最主要的工业和交通运输业;(3)增加环境生态补偿,协助河北减排。北京、天津政府应加强与河北在减排技术改进、能源调度和使用方面的合作,从排放源实现联合减排。积极落实北京和天津对河北环境生态补偿政策,为河北减排提供重要的支撑作用,加快京津冀一体化碳排放管理工作的进展。

注释:

①限于篇幅,分时段分部门碳排放强度和能源强度结果表未放置在文中,请感兴趣读者与作者联系。

## 参 考 文 献

- [1] Guo J, Zhang Y J, Zhang K B. The Key Sectors for Energy Conservation and Carbon Emissions Reduction in China: Evidence from the Input-output Method [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 179: 180~190.
- [2] 沈能,王群伟,赵增耀. 贸易关联、空间集聚与碳排放——新经济地理学的分析 [J]. 管理世界, 2014, (1): 176~177.
- [3] 彭水军,张文城,卫瑞. 碳排放的国家责任核算方案 [J]. 经济研究, 2016, (3): 137~150.
- [4] Bel G, Rosell J. The Impact of Socioeconomic Characteristics on CO<sub>2</sub> Emissions Associated with Urban Mobility: Inequality Across Individuals [J]. Energy Economics, 2017, 64: 251~261.
- [5] Li W, An C and Lu C. The Assessment Framework of Provincial Carbon Emission Driving Factors: An Empirical Analysis of Hebei Province [J]. Science of the Total Environment, 2018, 637~

- 638: 91~103.
- [6] Tapio P. Towards a Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland Between 1970 and 2001 [J]. *Transport Policy*, 2005, 12 (2): 137~151.
- [7] Zhou X, Zhang M, Zhou M, et al. A Comparative Study on Decoupling Relationship and Influence Factors Between China's Regional Economic Development and Industrial Energy-related Carbon Emissions [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 783~800.
- [8] 杨武, 王贲, 项定先, 等. 武汉市能源消费碳排放因素分解与低碳发展研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 215 (S1): 18~21.
- [9] 鲁万波, 仇婷婷, 杜磊. 中国不同经济增长阶段碳排放影响因素研究 [J]. *经济研究*, 2013, (4): 106~118.
- [10] Ang B W. Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which is the Preferred Method? [J]. *Energy Policy*, 2004, 32 (9): 1131~1139.
- [11] Brännlund R, Lundgren T, Söderholm P. Convergence of Carbon Dioxide Performance Across Swedish Industrial Sectors: An Environmental Index Approach [J]. *Energy Economics*, 2015, 51: 227~235.
- [12] Mishra G S, Zakerinia S, Yeh S, et al. Mitigating Climate Change: Decomposing the Relative Roles of Energy Conservation, Technological Change, and Structural Shift [J]. *Energy Economics*, 2014, 44: 448~455.
- [13] Xu B, Lin B. Factors Affecting Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Emissions in China's Transport Sector: A Dynamic Nonparametric Additive Regression Model [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 101: 1~12.
- [14] Wang S, Chen B. Energy-water Nexus of Urban Agglomeration Based on Multiregional Input-Output Tables and Ecological Network Analysis: A Case Study of the Beijing-Tianjin-Hebei Region [J]. *Applied Energy*, 2016, 178: 773~783.

## Decoupling Between Industrial Energy-related Carbon Emissions and Economic Growth and Its Driving Factors in Beijing, Tianjin and Hebei Urban Agglomeration ——Empirical Study Based on Tapio Decoupling and LMDI Model

Wang Fengting<sup>1</sup> Fang Kai<sup>2</sup> Yu Chang<sup>3</sup>

- (1. College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China;  
2. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;  
3. School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**(Abstract)** The recognition of synchronization relationship between economic growth and carbon emission, the driving factors of carbon emissions increment, which are the premise of energy conservation and emission reduction and social sustainable development of the society. Based on the Beijing-Tianjin-Hebei 1996~2017 panel data, using the synchronous decoupling model to analyze the relationship between economic growth and carbon emissions, using logarithmic mean Divisia decomposition (LMDI) to explore the driving factors of carbon dioxide emissions growth. The results show that: the average annual growth rate of energy carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei industry is 3.50% from 1996 to 2017, and the increase is mainly driven by Hebei. The industrial, civil and transportation sectors are the main sectors of carbon emissions. The decoupling relationship between industrial energy carbon emission and economic growth in Beijing-Tianjin-Hebei changes from weak decoupling to strong decoupling. The reduction of carbon emission intensity and energy consumption intensity is the inhibitory factor of carbon emissions, and the inhibition is increasing year by year. The expansion of economic scale has a positive impact on the increase of carbon emissions. Industrial structure and energy structure have little impact on carbon emission in Beijing-Tianjin-Hebei. Finally, the corresponding emission reduction measures are put forward based on the conclusions.

**(Key words)** industrial energy; carbon emission; Beijing Tianjin Hebei; decoupling index; LMDI model; economic growth

(责任编辑: 张舒逸)