

# 郑汴都市区产业CO<sub>2</sub>排放演变机理及脱钩分析

张丽君, 秦耀辰, 张金萍, 张 艳

(河南大学黄河文明与可持续发展研究中心/环境与规划学院, 开封 475004)

**摘 要:**探索都市区产业CO<sub>2</sub>排放变化的驱动机制,因地制宜地制定减排政策,对低碳城市与经济发展具有重要意义。本文将都市区的CO<sub>2</sub>排放源分成农业、工业、建筑业、交通运输业、商业和居民等6个部门的能源消费,并将工业CO<sub>2</sub>排放进一步细分为34种产业的能源消费。基于2000-2009年能源消费数据,构建CO<sub>2</sub>测算模型,核算了各部门各产业范畴1(仅指能源燃烧)与范畴2的CO<sub>2</sub>排放。运用LMDI方法对2000-2009年间不同层级产业的CO<sub>2</sub>排放变化机理进行研究,采用脱钩指数分析郑汴都市区产业低碳发展的类型与方向。结果发现:CO<sub>2</sub>排放结构的变化呈现不同的阶段性、部门性和区域性特征;CO<sub>2</sub>排放变化是在强度(技术)效应、结构效应与规模效应共同作用下发生的,经济规模与要素投入的外生经济增长方式是CO<sub>2</sub>排放变化主要的正向驱动因素,碳排放强度和劳动密集程度是主要的负向驱动因素,劳动生产率与产业结构的变动则起双向作用,而影响居民消费CO<sub>2</sub>排放的各因素贡献相对较小;CO<sub>2</sub>排放与经济脱钩状态决定了产业结构调整的方向与程度;产业结构调整对CO<sub>2</sub>排放的贡献及脱钩程度的确定需要进一步探讨。

**关 键 词:**产业CO<sub>2</sub>碳排放;低碳城市与经济;LMDI分析;脱钩指数;郑汴都市区

## 1 引言

中国快速城市化和工业化过程中的巨大能源需求与全球变暖情况下的减排压力,成为当前人地关系地域系统中最突出的矛盾之一。实质上,城市化与工业化对环境的影响很大程度上通过经济发展方式的转变与产业结构的调整来改变<sup>[1]</sup>。为探索经济发展与环境破坏之间的关系,城市产业CO<sub>2</sub>排放及变化机理成为学术界关注的焦点。

已有研究采用LMDI分析、I-O分析、Granger分析、基于DEA模型的Malmquist指数等方法,从经济与人口规模、能源强度与结构、产业结构与排放因子、外商投资与全要素生产率、经济发展方式等方面探析经济发展与CO<sub>2</sub>排放的相互作用机制及其区域差异<sup>[2-10]</sup>。其中,产业结构的作用受到广泛关注,并被认为是在能源现状约束下实现低碳经济发展的有效途径<sup>[11-14]</sup>。但诸多研究发现产业结构对碳排放变化的贡献并不大<sup>[11-14]</sup>,甚至认为依靠经济结构调整实现CO<sub>2</sub>减排对中国来说目前还不是

一个有效的政策选择<sup>[13]</sup>。理论与实证之间似乎存在矛盾,因而有学者关注到经济发展方式的重要作用,从出口、消费、投资角度证实了其对碳排放的影响<sup>[15-17]</sup>。但国家层面的规律在地方尺度应用存在局限性,道格拉斯生产函数从微观视角表征不同类型的经济发展方式,如外生资本密集型和劳动密集型、内生技术进步型等,一定程度上弥补了这方面的不足。

脱钩被经济合作与发展组织(OECD)定义为经济增长与环境冲击或资源消耗耦合关系的破裂<sup>[18]</sup>,近年来被广泛应用于测定产业发展与CO<sub>2</sub>排放脱钩的效果,以制定或评价减排政策<sup>[19-21]</sup>。但是采用不同时间尺度会得出不同的脱钩指数,因而研究时段的选取及脱钩程度的确定还需进一步研究。郑州和开封两市作为我国中原地区城镇体系中的新、老核心城市,两市空间对接、经济社会部门衔接形成的一体化都市区是未来带动中原经济区发展的强力增长极,其城市化和工业化发展对城市低碳化有特殊的需求。本文构建CO<sub>2</sub>排放测算模型,假定

收稿日期:2011-08; 修订日期:2011-10。

基金项目:国家自然科学基金项目(41171438);国家重大科学研究计划项目(2012CB955800);国家教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(10JJDZONGHE015)。

作者简介:张丽君(1985-),女,河南南阳人,博士研究生,研究方向为区域可持续发展。E-mail: zlj7happy@163.com

通讯作者:秦耀辰,教授,博士生导师。E-mail: qinyc@henu.edu.cn

规模报酬不变,考虑不同经济发展方式与产业结构对 CO<sub>2</sub> 排放变化的驱动机制,同时运用脱钩指数因地制宜地制定减排措施,不仅对明晰经济发展方式与产业结构的关系、丰富都市区低碳发展理论具有重要意义,也可以为郑汴都市区产业低碳发展提供现实指导。

## 2 研究区域与数据方法

### 2.1 研究区域概况

城市中心区“倒金字塔”式的营养和能量结构决定低碳生态城市发展必须以所在区域为支撑平台,城市碳循环系统所涵盖的足迹区可能延伸及支撑区域<sup>[22]</sup>。因而,郑汴都市区不仅包括中心区,还包括与之具有密切社会经济联系和一体化倾向的县(市)。根据都市区空间范围划定不同标准<sup>[23-24]</sup>,综合考虑郑汴都市区的发展前景、政策指向性及数据统计口径的一致性,本研究将郑汴都市区分为核心层和紧密联系层,前者包括郑汴市区及中牟县,后者包括郑汴两市所辖的5个县及县级市(图1)。

### 2.2 变量与数据

本研究主要分析 2000-2009 年间郑汴都市区范畴 1(仅指燃料燃烧)与范畴 2 的 CO<sub>2</sub> 排放变化,将都市区 CO<sub>2</sub> 排放源分为农业、工业、建筑业、交通运输业(即交通运输仓储及邮电通信业)、商业(批发、零售和住宿、餐饮业与其他行业的合并)和居民消费等 6 个部门的能源消费。工业 CO<sub>2</sub> 排放的贡献众说纷纭<sup>[2, 13, 25]</sup>,但工业能源消费的持续增长是 CO<sub>2</sub> 排放量增长的主要驱动因子<sup>[26]</sup>。因而,进一步详细探析工业部门内部的 CO<sub>2</sub> 排放结构,以深入研究都市区 CO<sub>2</sub> 排放的特征。根据郑汴两市统计年鉴对工业各

行业的划分,共有 37 种产业类型,为避免重复计算,工业 CO<sub>2</sub> 排放总量核算中将剔除“电力、热力的生产和供应业”、“石油加工及炼焦业”和“煤气生产和供应业”。主要变量为郑汴两市 6 个部门、34 种产业的能源消费量,19 种能源的排放系数,人口数量和家庭收入水平,以及各产业的增加值、从业人数和固定资产。除排放系数及部分年份的能源消费量外,其他数据均来自郑汴两市及河南省统计年鉴。为消除价格变动的影响,增加值、固定资产及家庭收入均以 2000 年可比价表示。

部分能源消费数据通过估测、计算而得。其中,农业部门能源消费量数据来自煤炭、柴油、电力消费量的加总;工业部门能源消费量包括 17 种化石能源及电力和热力的消费量;建筑业能源消费量根据河南省房屋建筑单位施工面积的能源消费量与郑汴房屋建筑施工总面积折算而得;交通运输业 2006-2010 年能源消费量数据来自河南省统计年鉴,2000-2005 年数据由郑汴汽车、货车百公里耗油量与郑汴两市汽车、货车拥有量推算而得;商业能源消费量根据河南省单位增加值能耗与郑汴商业增加值换算而得;居民消费的能源数据基于河南省居民人均能源消费量与人口总量计算而来。

另外,平均低位热值采用《中国能源统计年鉴》中规定的分品种能源平均低位发热值,含碳量数据采用 2006 年《IPCC 国家温室气体清单编制指南》中的缺省值<sup>[27]</sup>,电力 CO<sub>2</sub> 排放系数采用华中电网基准线排放因子<sup>[28]</sup>,热力 CO<sub>2</sub> 排放系数根据标准煤折算而得,折算系数取 2.493<sup>[29]</sup>。

### 2.3 研究方法

CO<sub>2</sub> 排放测算公式为:

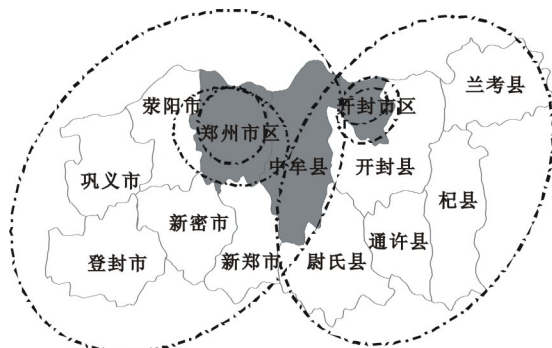
$$C = C_f + C_{eh} \quad (1)$$

$$C_f = 44/12 \times 1000 \sum_m E_{fm} \times NCV_{fm} \times F_{fm} \quad (2)$$

$$C_{eh} = E_e \times F_e + E_h \times F_h \quad (3)$$

式中:  $C$  为 CO<sub>2</sub> 排放总量(万 t),  $C_f$  为化石能源的 CO<sub>2</sub> 排放量(万 t),  $C_{eh}$  为电力和热力的 CO<sub>2</sub> 排放量(万 t),  $E_{fm}$  为第  $m$  ( $m=1, 2, \dots, 17$ ) 种化石能源的消费量(万 t),  $NCV_{fm}$  为第  $m$  种化石能源的平均低位热值(TJ/Gg),  $F_{fm}$  为第  $m$  种化石种能源的含碳量(kg/GJ),  $E_e$ 、 $E_h$  分别为电力、热力的消费量(万 t),  $F_e$ 、 $F_h$  分别为电力、热力的 CO<sub>2</sub> 排放系数。

借鉴产业结构多元化系数<sup>[30]</sup>,用 CO<sub>2</sub> 排放多元化系数(CSD)阐释 CO<sub>2</sub> 排放结构的演进状态和趋



图例 ■ 郑汴都市区核心层 □ 郑汴都市区紧密层

图1 郑汴都市区空间范围

Fig.1 The spatial dimension of Zhengzhou-Kaifeng metropolitan area  
注:郑汴两市区内内而外3个圈层代表建成区、扩张区和蔓延区

势,基本公式表示为:

$$CSD = \sum (C_1/C_1, C_2/C_1, C_3/C_1, C_4/C_1, C_5/C_1, C_6/C_1) \quad (4)$$

式中:  $C_1, C_2, \dots, C_6$  分别代表农业、工业、建筑业、交通运输业、商业、居民消费 6 个部门的  $\text{CO}_2$  排放量,  $CSD$  越大说明对碳基能源的依赖程度越高。

河南省的资源禀赋特点决定了郑汴都市区能源消费以煤炭为主,其所占份额在 80% 左右,因而,本文暂不考虑能源结构的影响。将 6 部门分为生产部门和消费部门,后者指居民消费,前者为其他 5 部门。6 部门的  $\text{CO}_2$  排放总量又可以表示为:

$$\begin{aligned} C &= \sum_n C_n/V_n \times V_n/V_t \times V_T/V_P \times P \\ &\quad + C_6/THI \times AHI \times HN \\ &= \sum_n I_n \times S_n \times R \times P + HI \times AHI \times HN \end{aligned} \quad (5)$$

式中:  $C_n$  为第  $n$  ( $n=1, 2, \dots, 5$ ) 个部门的  $\text{CO}_2$  排放量(万 t),  $V_n$  为第  $n$  个部门的增加值(亿元),  $V_T$  为生产部门的总增加值(亿元),  $P$  为总人数(万人),  $C_6$  为居民消费的  $\text{CO}_2$  排放量,  $THI$  为家庭总收入(万元),  $AHI$  为家庭年均收入(元/户),  $HN$  为家庭数量(万户)。生产部门重点研究碳排放强度  $I_n$ 、产业结构  $S_n$ 、经济水平  $R$  及人口规模  $P$  的变化对  $\text{CO}_2$  排放变化的影响,消费部门则从家庭碳排放强度  $HI$ 、家庭收入  $AHI$  与数量  $HN$  等方面探析。公式(1)与(5)分别代表自下而上和自上而下的  $\text{CO}_2$  排放量核算方法,其结果是一致的。

工业部门对  $\text{CO}_2$  排放具有重要作用,工业的发展与要素投入密切相关,主要从强度(技术)效应、规模效应、结构效应,以及经济发展方式等方面探析其对  $\text{CO}_2$  排放变化的影响。工业部门 34 个行业的  $\text{CO}_2$  排放总量  $C_i$ ,从生产结构看可以表示为:

$$\begin{aligned} C_i &= \sum_k C_k/V_k \times V_k/V \times V/L \times L/K \times K \\ &= \sum_k I_k \times S_k \times LP \times LI \times K \end{aligned} \quad (6)$$

另外,  $C_i$  从就业结构看可以表示为  $C'_i$ :

$$\begin{aligned} C'_i &= \sum_k C_k/V_k \times V_k/L_k \times L_k/L \times L/K \times K \\ &= \sum_k I'_k \times LP'_k \times S'_k \times LI' \times K' \end{aligned} \quad (7)$$

式中:  $C_k$  为第  $k$  ( $k=1, 2, \dots, 34$ ) 个行业的  $\text{CO}_2$  排放量(万 t),  $V_k$  为第  $k$  个行业的增加值(亿元),  $V$  为工业部门的总增加值(亿元),  $L$  为工业部门的从业人数(万人),  $K$  为工业部门的固定资产总值(亿元)。  $I$  与  $S$  的含义同上;  $LP=V/L$ , 代表劳动生产率;  $LI=L/K$ , 代表劳动密集程度。

根据 LMDI 方法,目标对象分解方法有加法和

乘法两种形式<sup>[31]</sup>。

6 部门的  $\text{CO}_2$  排放变化量  $\Delta C$  可以表示为:

$$\Delta C = C^t - C^0 = \Delta I + \Delta S + \Delta R + \Delta P + \Delta HI + \Delta AHI + \Delta HN \quad (8)$$

工业部门  $\text{CO}_2$  排放变化量  $\Delta C_i$  可以表示为:

$$\Delta C_i = C_i^t - C_i^0 = \Delta iI + \Delta iS + \Delta iLP + \Delta iLI + \Delta iK \quad (9)$$

借鉴 Tapio 的研究思路<sup>[32]</sup>,用弹性来测度脱钩指数  $DI$ 。用公式表示为:

$$DI = \% \Delta \text{CO}_2 / \% \Delta V \quad (10)$$

式中:  $\% \Delta \text{CO}_2$  为  $\text{CO}_2$  排放量变化的百分比;  $\% \Delta V$  为增加值变化的百分比。该指数不仅划分出了脱钩与复钩的不同类型,并且区分了衰退性耦合和扩张性耦合,即将弹性值为 1 处上下浮动 20% 区间看作耦合,避免将轻微变化过度解释为显著变化。

### 3 结果与分析

#### 3.1 郑汴都市区 $\text{CO}_2$ 排放结构演变

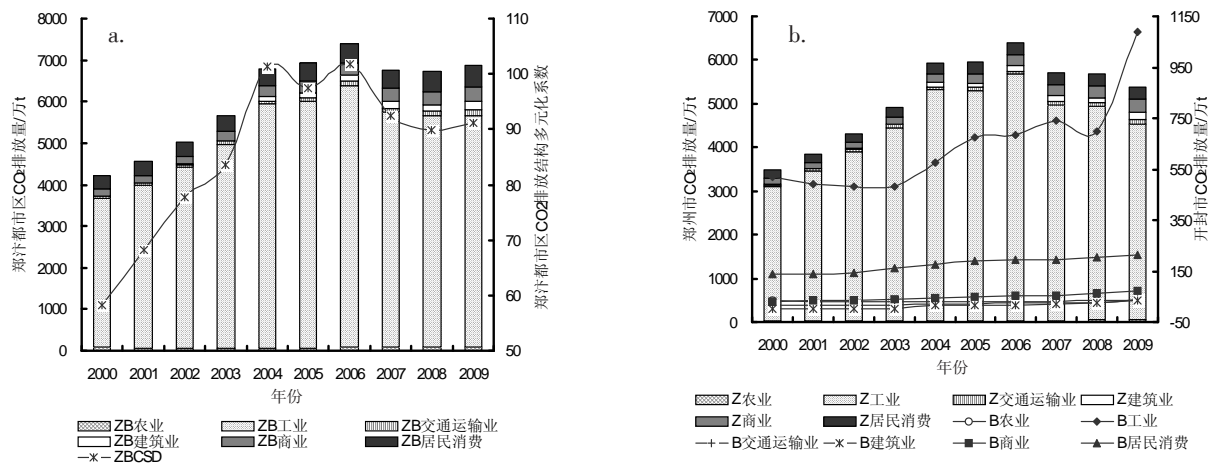
##### 3.1.1 6 部门 $\text{CO}_2$ 排放结构演变

2000-2009 年间郑汴都市区  $\text{CO}_2$  排放结构的演进不断加快,存在着明显的地域差异(图 2a、2b)。郑汴都市区  $\text{CO}_2$  排放结构多元化系数先增后减,总体呈上升趋势,其中郑州市  $\text{CO}_2$  排放结构的演进水平与速度远高于开封市。研究期内 6 部门中工业  $\text{CO}_2$  排放量最大,所占份额最高,约占总排放量的 81.3%~86.5%。居民消费产生的  $\text{CO}_2$  排放量仅次于工业,所占份额较小,在 6.2%~7.8% 之间。商业  $\text{CO}_2$  排放量位居第三,但增速较快。建筑业与交通运输业基期  $\text{CO}_2$  排放量相对较小,2004 年之后成为增速最快的两大部门,年均增速分别为 16.5% 和 11.5%。农业  $\text{CO}_2$  排放量最小,且变化速度最慢。就郑汴两市而言,郑州市工业  $\text{CO}_2$  排放所占份额高于开封市,但后者总量不断增加且幅度较大;郑州市居民消费产生的  $\text{CO}_2$  比重远小于开封市,但前者所占份额有上升的趋势;郑州市建筑业、交通运输业和商业的总量及增速均大于开封市。

##### 3.1.2 工业 $\text{CO}_2$ 排放结构演变

根据 2000-2009 年间郑汴都市区及郑汴两市各产业  $\text{CO}_2$  排放量所占比重的排序,前 9 位产业累计贡献率均在 80% 以上。9 种高  $\text{CO}_2$  排放产业的组合关系一定程度上反映了工业部门的  $\text{CO}_2$  排放结构(图 3)。





注: ZB 代表郑汴都市区, Z 代表郑州市, B 代表开封市, 下同。  
图 2 2000-2009 年郑汴都市区 6 部门 CO<sub>2</sub> 排放结构  
Fig.2 CO<sub>2</sub> emissions structure of six sectors in Zhengzhou-Kaifeng metropolitan area from 2000 to 2009

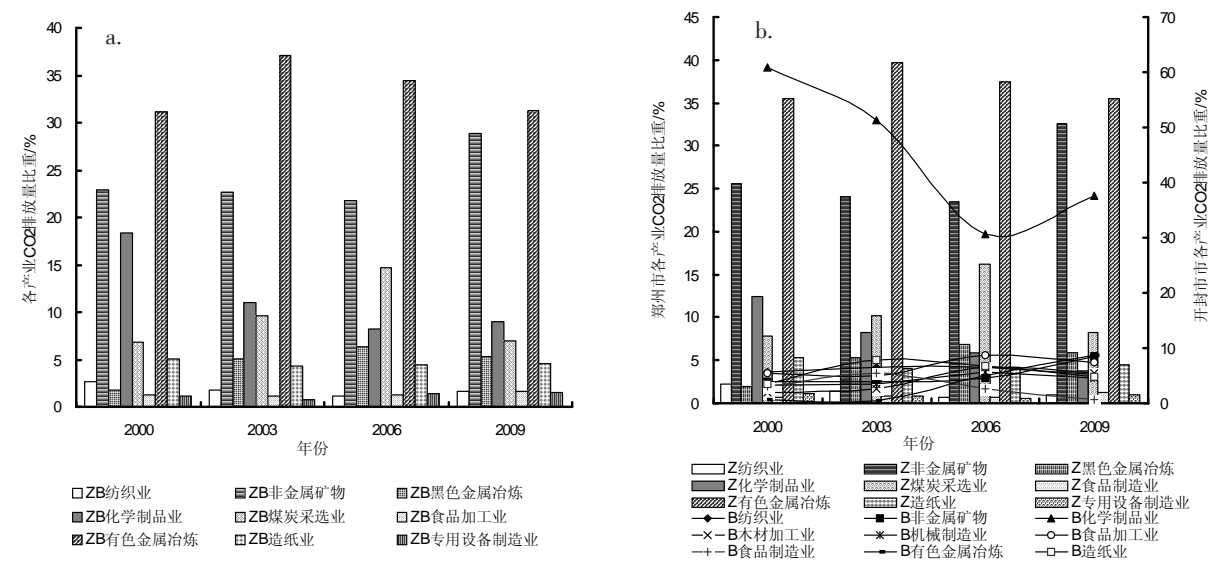


图 3 2000-2009 年郑汴都市区主要产业 CO<sub>2</sub> 排放结构  
Fig.3 CO<sub>2</sub> emissions structure of leading industries in Zhengzhou-Kaifeng metropolitan area from 2000 to 2009

郑汴都市区工业 CO<sub>2</sub> 排放呈现以下特点: ① 产业 CO<sub>2</sub> 排放结构变化幅度及趋势不同, 其中, 有色金属冶炼业、煤炭采选业与化学原料及化学品制造业的排放量大幅下降, 而非金属矿物冶炼业的排放量有所上升。② 高 CO<sub>2</sub> 排放的产业以重工业、化工业及生产规模较大的轻工业为主, 且重化工业的 CO<sub>2</sub> 排放比重较大(图 3a)。郑汴两市因资源禀赋、产业发展历史及发展阶段不同而表现出各自的地域特点: ① 产业 CO<sub>2</sub> 排放的首位度差异较大。2000-2009 年间, 开封市首位产业(化学原料及化学制品业)所占比重在 30.7%~60.7% 之间, 其他产业所占比重均不到 1%; 郑州市首位产业(有色金属冶炼业)的比重变化于 35.5%~39.6% 之间, 而第二位产业

(非金属矿物制品业)也占较大比重, 变化于 23.3%~32.6% 之间。② 产业类别具有明显的地域特色。郑州市高排放产业以资源型重工业为主, 而开封市的高排放主要为化工及轻工业(图 3b)。  
**3.2 郑汴都市区 CO<sub>2</sub> 排放变化的机理分析**  
**3.2.1 6 部门 CO<sub>2</sub> 排放变化的机理分析**  
从生产和消费视角研究影响郑汴都市区 CO<sub>2</sub> 排放的一系列驱动因素, 得出以下结果: 郑汴都市区 CO<sub>2</sub> 排放量是在强度效应、结构效应与规模效应共同作用下变化的。经济规模对 CO<sub>2</sub> 排放起着明显的促进作用, 碳排放强度起着明显的抑制作用, 两者的平均贡献度分别为 49.1% 和 32.8%。产业结构的变动起双向作用, 2002-2008 年间造成 CO<sub>2</sub> 排



结构效应及发展方式作用下演变的。技术水平的提高,包括能源利用技术和生产技术等,带动碳排放强度的降低与劳动生产率的提高,成为 CO<sub>2</sub>排放量增加的重要抑制力。要素投入的经济发展方式,包括劳动密集度的降低与资本投入的增加分别成为抑制与促进 CO<sub>2</sub>排放变化的重要因素。其中,碳排放强度和劳动密集程度的平均贡献度分别为-30.9%和-15.8%。劳动生产率及产业结构促使 CO<sub>2</sub>排放量变化由正变负,但产业结构的贡献并不显著,平均贡献度约为 0.8%。资本投入的贡献较大,平均贡献度达 39.2%。

郑汴两市 CO<sub>2</sub>排放变化的驱动因素作用方式与强度各异(图 5b)。郑州市处于工业化中后期,重化工业化的产业特征使资本投入的正向拉动与劳动密集程度的负向驱动效应比较显著;开封市处于由工业化初期向中期过度的阶段,重工业比重的逐步增加带动资本投入和碳排放强度的增加,传统的轻工业基础使劳动生产率提高的负向作用较为明显,而劳动密集程度对碳排放的变化相对敏感度较小。可以看出,郑州市资本投入的增加幅度相对较慢,碳排放强度与劳动力密集程度呈下降趋势,而开封市资本投入与碳排放强度不断增加,增幅较大。劳动生产率对开封市工业 CO<sub>2</sub>排放的抑制作用更为明显。

3.3 郑汴都市区产业发展与 CO<sub>2</sub>排放的脱钩分析

结合 Tapio 的脱钩分类标准<sup>[32]</sup>,根据平均脱钩程度将郑汴都市区产业分为 2 大类、6 小类(表 1)。2000-2009 年间各产业的脱钩状况不同,6 部门中,农业已经脱钩,工业与商业均处于弱脱钩状态,建筑业的脱钩指数变化比较剧烈,而交通运输业和居民消费部门脱钩指数均大于 1,对 CO<sub>2</sub>减排造成较大压力。37 个工业部门中,多半产业属于高 CO<sub>2</sub>排放类型,郑汴都市区及郑汴两市非脱钩产业所占比重均在 70%以上,如塑料制品业、非金属矿物制品业、食品加工业等处于扩张性复钩状态,是减排的重点调控部门;非平稳性脱钩的产业占据一定比重且存在区域差异,郑汴都市区及郑汴两市该类产业所占比重分别为 31%、22%和 43%,特别是开封市重工业化的推动、新型主导产业的大力发展使得金属冶炼业、设备制造业、家具制造业等的脱钩指数急剧变化。

脱钩指数的非平稳变化多由政策调控所致,产业规模的扩张具有不确定性,而农业脱钩指数变化波动较小,下文仅以典型部门和典型产业的平稳性脱钩变化为研究对象来说明产业脱钩的演变过程(图 6a、6b)。各部门各产业历年对碳基能源利用的压力有所不同,典型部门中,郑汴都市区及郑州市的工业由研究初期的扩展性耦合于 2006 年后转变

表 1 郑汴都市区各产业脱钩程度分类

Tab.1 The categories for decoupling degrees of various industries in Zhengzhou-Kaifeng metropolitan area					
平稳脱钩( $-10 \leq \overline{DI}_{max} \leq 10$ )				非平稳脱钩( $\overline{DI}_{max} \leq -10$ 或 $\overline{DI}_{max} \geq 10$ )	
平稳	平稳	平稳	平稳	非平稳	非平稳
强脱钩	弱脱钩	扩张性耦合	扩张性复钩	强脱钩	扩张性复钩
$\Delta V > 0$ , $\Delta CO_2 < 0$ , $\overline{DI} < 0$	$\Delta V > 0$ , $\Delta CO_2 < 0$ , $0 < \overline{DI} < 0.8$	$\Delta V > 0$ , $\Delta CO_2 < 0$ , $0.8 < \overline{DI} < 1.2$	$\Delta V > 0$ , $\Delta CO_2 < 0$ , $\overline{DI} > 1.2$	$\Delta V > 0$ , $\Delta CO_2 < 0$ , $\overline{DI} < 0$	$\Delta V > 0$ , $\Delta CO_2 < 0$ , $\overline{DI} > 1.2$
ZB	1, 220, 208, 230	2, 5, 218, 207	4, 6, 219, 214, 209, 204, 225	229, 223, 228, 215, 222, 227, 206, 201, 221, 205, 226, 212, 211, 233, 224, 210	236, 216, 237
					3, 235, 202, 232, 234, 213, 217, 203, 231
Z	220, 208, 211, 218, 230	1, 2, 5, 212, 207, 214, 209	4, 221, 204, 225, 228, 229	6, 223, 219, 205, 215, 222, 201, 226, 227, 206, 224, 232, 213, 231, 202	236, 237
					3, 234, 233, 210, 217, 203, 216, 231
B	208, 233, 206	1, 2, 4, 5, 219	230	207, 218, 209, 227, 226, 221, 214, 205, 212, 222, 223, 210	236, 216, 231, 237
					3, 6, 235, 229, 211, 224, 232, 228, 213, 225, 215

注:代码 1~6 分别代表农业、工业、建筑业、交通运输业、商业、居民消费等部门。201~237 分别代表煤炭开采和洗选业,黑色金属矿采选业,有色金属矿采选业,非金属矿采选业,农副食品加工业,食品制造业,饮料制造业,烟草制品业,纺织业,纺织服装鞋帽制造业,皮毛羽毛(绒)及其制品业,木材加工制造业,家具制造业,造纸及纸制品业,印刷业,文教体育用品制造业,石油加工及炼焦业,化学原料及化学制品制造业,医药制造业,化学纤维制造业,橡胶制品业,塑料制品业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼及压延加工业,有色金属冶炼及压延加工业,金属制品业,通用设备制造业,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,通信及电子设备制造业,仪表及文化办公用机械制造业,其他制造业,废弃资源和废旧材料回收加工业,电力、热力的生产和供应业,燃气生产和供应业,水的生产和供应业。各种产业按脱钩指数大小排序。

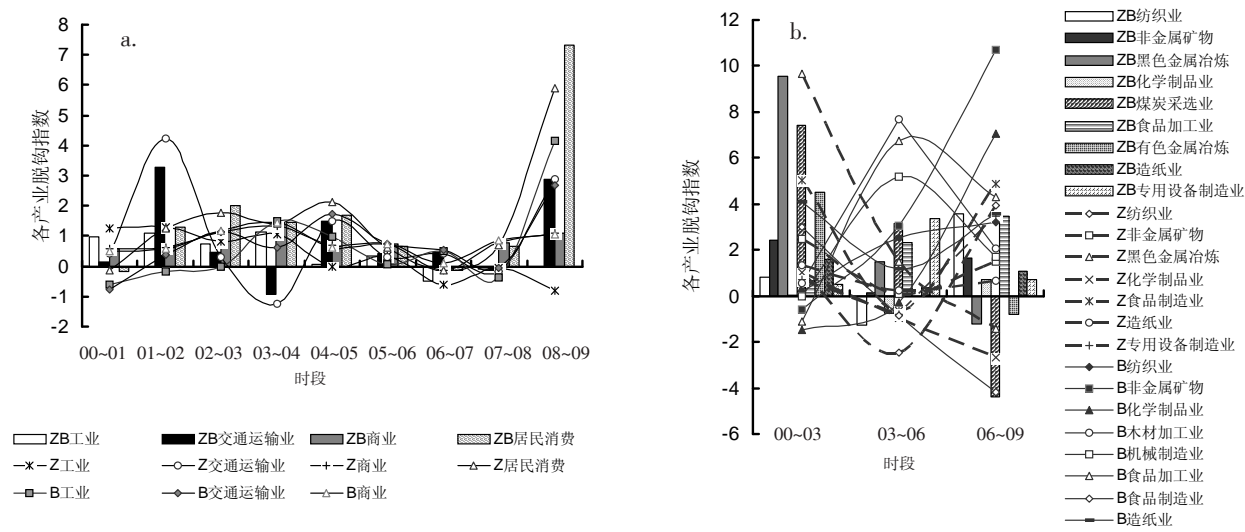


图 6 2000-2009 年郑汴都市区典型部门及产业的脱钩变化不同时段分析

Fig.6 The evolution of typical sectors and decoupling degrees of industries in Zhengzhou-Kaifeng metropolitan area(2000-2009)

为强脱钩状态,而开封市则在研究末期呈现复钩趋势。交通运输业及居民消费部门的脱钩变化幅度较大,近年来处于扩张性耦合状态。商业部门的脱钩指数不断上升,对 CO<sub>2</sub>减排的压力不断增大。典型产业历年脱钩水平与状态变化较大,脱钩指数大致表现为先增后减、先减后增、持续下降和持续上升 4 种变化特点。郑汴都市区及郑州市多半产业表现出先减后增的特点,除黑色金属冶炼业及煤炭采选业外,郑州市的化学制品制造业也呈不断下降趋势。开封市产业的脱钩指数主要表现出先增后减的特点,而非金属矿物制品业和化学制品业的脱钩指数持续上升,食品制造业的脱钩指数不断下降。

4 结论与讨论

(1) CO<sub>2</sub>排放结构的变化呈现不同的阶段性、部门性和区域性特征。郑汴都市区的 CO<sub>2</sub>排放总量先增后减,工业是排放量最大的部门,居民消费的排放也不容忽视,商业、建筑业和交通运输业虽然排放的基数小,但增速较快。工业 CO<sub>2</sub>排放主要集中在 24%左右的产业中,且以重化工业及规模较大的轻工业为主,是应当重点减排的产业。郑汴两市排放总量悬殊较大,产业排放结构演进水平与速度不一,资源禀赋、产业发展历史及发展阶段不同,因而调控潜力与敏感性各异。

(2) CO<sub>2</sub>排放变化是在强度(技术)效应、结构效

应与规模效应共同作用下发生的,经济规模的快速增长与要素投入的经济发展方式是 CO<sub>2</sub>增加的主要原因,影响居民消费 CO<sub>2</sub>排放的各因素贡献相对较小。碳排放强度和劳动密集程度起着明显的抑制作用,劳动生产率与产业结构的变动起双向作用,后者对 6 部门 CO<sub>2</sub>排放变化的贡献明显大于 34 产业的,人口规模贡献度较小,而资本投入的增加是促进 CO<sub>2</sub>排放变化的重要因素。郑汴两市因所处经济发展阶段不同,要素投入对 CO<sub>2</sub>排放变化的作用方式与强度有所差异。

(3) CO<sub>2</sub>排放与经济发展的脱钩状态决定了产业调整升级的方向与程度。6 部门的脱钩变化相对平稳,而工业部门内部的变化幅度较大。其中,平稳扩张性负脱钩的产业对 CO<sub>2</sub>排放变化的压力大,结构调整与产业升级是减排的重要途径。非平稳扩张性负脱钩的产业是需要重点调控的部门,但对经济发展方式转变的敏感性强,减排潜力大。平稳扩张性耦合的产业是脱钩程度变化最复杂的部门,需要根据不同产业的发展阶段及自身特性制定减排措施。平稳强脱钩与平稳弱脱钩的产业虽不是当前调控的重点,但要关注其年度变化趋势,谨防脱钩后的复钩。

(4) 产业结构调整一直是学术界及政界关注的重要减排手段,但 LMDI 分析结果表明,该因素的贡献远小于经济规模及经济发展方式的作用。可能基于以下原因:①产业结构调整是一个长期过

\*本文对 9 大产业的 CO<sub>2</sub>排放机理也进行了分析,各效应的作用强度与方式与 34 产业的研究结果相似。



程,且具有滞后效应,而经济规模及发展方式的变化能较快改变 CO<sub>2</sub> 排放变化。②CO<sub>2</sub> 排放量高的行业主要集中于少数产业,这些产业的调整往往受制于区域发展的政策环境,变化较慢。③LMDI 分析中经济规模或经济发展方式的变化部分是由产业结构引起,一定程度上掩盖了其贡献。因而,后续研究将选取较长时段或采用其他方法与本研究对比,以解释产业结构调整对 CO<sub>2</sub> 排放变化的作用。

(5) 脱钩分析是衡量驱动因素对 CO<sub>2</sub> 压力变化的重要指标。但脱钩指数的大小与研究时期的选择密切相关,脱钩类型的划分具有一定主观性,脱钩指数小的产业有可能是高 CO<sub>2</sub> 排放的产业,因而,在制订减排策略时,产业 CO<sub>2</sub> 排放量的结构分析非常必要。要根据产业的发展基础及 CO<sub>2</sub> 排放的变化趋势、考虑不同研究时期的针对性,也即应综合考虑产业 CO<sub>2</sub> 排放特性、平均脱钩指数及年度脱钩指数来制定相应的政策措施。

## 参考文献

- [1] 刘卫东, 张雷, 王礼茂, 等. 我国低碳经济发展框架初步研究. 地理研究, 2010, 29(5): 778-788.
- [2] 刘红光, 刘卫东. 中国工业燃烧能源导致碳排放的因素分解. 地理科学进展, 2009, 28(2): 285-292.
- [3] 张雷. 中国一次能源消费的碳排放区域格局变化. 地理研究, 2006, 25(1): 1-9.
- [4] 吴彼爱, 高建华, 徐冲. 基于产业结构和能源结构的河南省碳排放分解分析. 经济地理, 2010, 30(11): 1902-1907.
- [5] Tarancón Morán M Á, del Río González P. A combined input-output and sensitivity analysis approach to analyse sector linkages and CO<sub>2</sub> emissions. Energy Economics, 2007, 29(3): 578-597.
- [6] Liu L C, Fan Y, Wu G, et al. Using LMDI method to analyze the change of China's industrial CO<sub>2</sub> emissions from final fuel use: An empirical analysis. Energy Policy, 2007, 35(11): 5892-5900.
- [7] 孙建卫, 赵荣钦, 黄贤金, 等. 1995-2005 年中国碳排放核算及其因素分解研究. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1284-1295.
- [8] Zhou P, Ang B W, Han J Y. Total factor carbon emission performance: A Malmquist index analysis. Energy Economics, 2010, 32(1): 194-201.
- [9] Pao H T, Tsai C M. Multivariate Granger causality between CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): Evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries. Energy, 2011, 36(1): 685-693.
- [10] 张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响. 经济研究, 2010(4): 120-133.
- [11] Tunc G I, Türlüt-Asik S, Akbostanci E. A decomposition analysis of CO<sub>2</sub> emissions from energy use: Turkish case. Energy Policy, 2009, 37(11): 4689-4699.
- [12] Zhang M, Mu H L, Ning Y D, et al. Decomposition of energy-related CO<sub>2</sub> emission over 1991-2006 in China. Ecological Economics, 2009, 68(7): 2122-2128.
- [13] 王锋, 吴丽华, 杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究. 经济研究, 2010(3): 123-136.
- [14] 刘春兰, 陈操操, 陈群, 等. 1997 年至 2007 年北京市二氧化碳排放变化机理研究. 资源科学, 2010, 32(2): 235-241.
- [15] 刘红光, 刘卫东, 唐志鹏. 中国产业能源消费碳排放结构及其减排敏感性分析. 地理科学进展, 2010, 29(6): 670-676.
- [16] 魏本勇, 方修琦, 王媛, 等. 基于最终需求的中国出口贸易碳排放研究. 地理科学, 2009, 29(5): 634-640.
- [17] 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. 地理研究, 2011, 30(4): 590-600.
- [18] OECD. Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressures for Economic Growth. Paris: OECD, 2002.
- [19] Diakoulaki D, Mandaraka M. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO<sub>2</sub> emissions in the EU manufacturing sector. Energy Economics, 2007, 29(4): 636-664.
- [20] de Freitas L C, Kaneko S. Decomposing the decoupling of CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in Brazil. Ecological Economics, 2011, 70(8): 1459-1469.
- [21] 彭佳雯, 黄贤金, 钟太洋. 中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究. 资源科学, 2011, 33(4): 626-633.
- [22] Folke C, Jansson A, Larsson J, et al. Ecosystem appropriation by cities. AMBIO, 1997, 26(3): 167-172.
- [23] 谢守红, 宁越敏. 都市区: 长株潭一体化的必由之路. 经济地理, 2005, 25(6): 834-837.
- [24] 王国霞, 蔡建明. 都市区空间范围的划分方法. 经济地理, 2008, 28(2): 191-195.
- [25] 陈诗一. 节能减排与中国工业的双赢发展: 2009-2049. 经济研究, 2010(3): 129-143.
- [26] 王强, 伍世代, 李婷婷. 中国工业经济转型过程中能源消费与碳排放时空特征研究. 地理科学, 2011, 31(1): 36-41.
- [27] IPCC/OECD. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories//Eggleston H S, Buendia L, Miwa



- K, et al. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan, IGES, 2006.
- [28] 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 关于确定中国区域电网基准线排放因子的公告. 中国清洁发展机制网. 2008-07-18[2011-05-06]. <http://cdm.ccchina.gov.cn/web/NewsInfo.asp?NewsId=3239>.
- [29] 张金萍, 秦耀辰, 张艳, 等. 城市 CO<sub>2</sub> 排放结构与低碳水平测度: 以京津沪渝为例. 地理科学, 2010, 30(6): 874-879.
- [30] 张雷. 经济发展对碳排放的影响. 地理学报, 2003, 58(4): 629-637.
- [31] Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide. Energy Policy, 2005, 33(7): 867-871.
- [32] 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. Transport Policy, 2005, 12(2): 137-151.

## Evolution Mechanisms of Industrial CO<sub>2</sub> Emissions and Its Decoupling Analysis in Zhengzhou-Kaifeng Metropolitan Area

ZHANG Lijun, QIN Yaochen, ZHANG Jinping, ZHANG Yan

(Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development/  
College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China)

**Abstract:** The conflict between the great demand of energy in the process of rapid urbanization and industrialization and the CO<sub>2</sub>-abate pressure under the condition of global warming has become one of the most prominent foci in man-land territorial system. Exploring evolution mechanisms of industrial CO<sub>2</sub> emissions in Zhengzhou-Kaifeng metropolitan area and taking appropriate measures are significant for the theoretical and practical development of low-carbon city and low-carbon economy. Sources of CO<sub>2</sub> emissions from metropolitan areas are divided into six categories, consisting of agricultural, industrial, commercial and residential energy consumption, as well as construction and transportation energy consumption. Industrial CO<sub>2</sub> emissions are further subdivided into 34 kinds of industrial energy consumption. Based on the 2000-2009 Energy consumption data, a CO<sub>2</sub> estimation model to account for CO<sub>2</sub> emissions in scope 1 (only refer to energy combustion) and scope 2 was constructed in this paper. Evolution mechanisms of CO<sub>2</sub> emissions between 2000 and 2009 of six units and 34 kinds of industries were also researched by using LMDI methods. The low-carbon types and low-carbon directions of industrial development are analyzed by decoupling the index in Zhengzhou-Kaifeng metropolitan area. The conclusions can be drawn as follows. (1) The changes of CO<sub>2</sub> emissions show different sectoral and regional characteristics in various stages, due to the adjustment to CO<sub>2</sub> emissions structure. (2) The changes of CO<sub>2</sub> emissions took place in the interaction of factors including intensity (technical) effects, structural effects and scale effects of economies. The main reasons for CO<sub>2</sub> emissions increase are the rapid growth of economies of scale and the exogenous pattern of economic development by inputting factors. The residential sector has less contribution than production sectors to CO<sub>2</sub> emissions, while the gap is gradually narrowing. (3) The decoupling between CO<sub>2</sub> emissions and the economic development determines the direction and the degree of industrial restructuring and upgrading. (4) Further studies should be conducted on the contribution of industrial restructuring to CO<sub>2</sub> emissions and the degree of decoupling.

**Key words:** industrial carbon emissions; low-carbon city and economy; LMDI analysis; decoupling index; Zhengzhou-Kaifeng metropolitan area

本文引用格式:

张丽君, 秦耀辰, 张金萍, 等. 郑汴都市区产业 CO<sub>2</sub> 排放演变机理及脱钩分析. 地理科学进展, 2012, 31(4): 426-434.