

# 陕西省土地利用碳排放影响因素及脱钩效应分析

李玉玲, 李世平, 祁静静

(西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**通过测算陕西省2001—2014年土地利用碳排放量,采用LMDI分解法探讨了土地利用碳排放变化的影响因素,并基于因素分解的结果构建脱钩弹性分解量化模型对经济增长和土地利用碳排放的脱钩效应进行分析。主要结论如下:(1)2001—2014年,陕西省土地利用碳排放量呈逐年递增趋势,13年间上升163%。(2)能源强度是唯一抑制土地利用碳排放增加的负效应因素,正效应因素对陕西省土地利用碳排放增加的贡献值由大到小依次为经济规模效应>能源碳排放强度效应>人口规模效应>土地规模效应;(3)各影响因素对土地利用碳排放与经济增长脱钩的贡献由大到小依次为经济规模效应>能源强度效应>能源碳排放强度效应>人口规模效应>土地规模效应,且能源强度效应对经济增长与土地利用碳排放脱钩状态的改善具有积极作用。研究结论有利于清晰了解土地利用碳排放影响因素及其影响经济增长和土地利用碳排放脱钩的内在作用机理,从而得出相应的碳减排政策启示。

**关键词:**土地利用碳排放;影响因素;脱钩效应;陕西省

中图分类号:F301.2;X24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0382-09

## Influencing Factors on Carbon Emissions of Land Uses and Analysis of Their Decoupling Effects in Shaanxi Province

LI Yuling, LI Shiping, QI Jingjing

(College of Economics & Management, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** According to the measurement method of carbon emission, carbon emissions of land uses in Shaanxi Province from 2001 to 2014 were calculated. We used LMDI method to explore the main factors that affect the changes of carbon emissions of land uses, and established the model of decoupling elasticity decomposition to analyze decoupling effects between the economic growth and carbon emission of land use. The results showed that: (1) the total carbon emissions of land uses increased gradually from 2001 to 2014 in Shaanxi Province, and increased by 163% during the thirteen years; (2) the energy intensity was the only inhibiting effect and decreased carbon emissions of land uses, the positive effect factors which contribute to the increase of carbon emissions of land uses decreased in the order: economic scale>carbon emission intensity of energy>population size>land scale; (3) all effect factors which contribute to decoupling between the economic growth and carbon emission decreased in the order of: economic scale>energy intensity>carbon emission intensity of energy>population size>land scale, energy intensity played the positive role in improving decoupling state between the economic growth and carbon emission of land use. The above results shall be conducive to understanding the influencing factors on carbon emissions of land uses and how these factors affect the internal mechanism between the economic growth and carbon emission, which can provide appropriate policy implications of reduction of carbon emissions.

**Keywords:** land use; carbon emission; influencing factors; decoupling effects; Shaanxi Province

面对温室效应引起的一系列社会、经济、环境问题,控制和减少二氧化碳等温室气体排放成为世界各国环境经济政策的重要导向。党的十八大报告提出

大力推进生态文明建设,着力推进绿色发展、循环发展和低碳发展,形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式,将生态文明建设

收稿日期:2017-01-03

修回日期:2017-03-01

资助项目:陕西省国土资源厅项目(K14210323);陕西省土地整治战略研究项目(K332021306)

第一作者:李玉玲(1993—),女,甘肃定西人,硕士研究生,研究方向:区域经济理论与政策。E-mail: xnlyl@nwfu.edu.cn

通信作者:李世平(1963—),男,甘肃武威人,博士生导师,研究方向:资源经济与环境管理。E-mail: lishiping68@126.com

提到前所未有的战略高度。陕西省作为我国的经济大省和能源大省,长期以来粗放型经济增长方式使得土地、能源资源禀赋条件相对匮乏,经济发展与资源环境的矛盾日趋尖锐。在经济新常态背景下,如何保持足够的发展空间走低碳发展道路,是陕西省发展低碳经济面临的巨大挑战。在此背景下,对碳排放变动的驱动因素及其与经济增长之间的内在关系进行深入分析对区域“资源—经济—环境”三者之间的协调发展具有重要意义。

土地利用和覆被变化(LUCC)是影响陆地生态系统碳循环的重要因素,已成为仅次于化石能源燃烧的大气 CO<sub>2</sub> 浓度急剧增加的最主要人为原因<sup>[1-3]</sup>。因此,考虑到生物生产性土地要素变化导致的碳排放,国内诸多学者从不同的角度对相关领域进行了基础研究,主要集中于区域碳排放核算及碳足迹分析<sup>[4-5]</sup>、土地利用碳排放效应及影响因素分析<sup>[6-7]</sup>、面向低碳目标的土地利用结构优化<sup>[8]</sup>以及土地利用碳排放与经济增长关系研究<sup>[9-10]</sup>。上述研究各具特色,但存在以下局限:(1)对土地利用碳排放的影响因素研究多停留在表面,并未对各个因素做深层次的剖析;(2)在核算土地利用碳排放过程中,主要选择耕地、林地、建设用地等主要土地利用类型,较少考虑其他土地利用类型的碳排放;(3)主要从短期或长期对土地利用碳排放与经济增长总体关系进行研究,缺乏土地利用碳排放各影响因素与经济增长之间内在作用机理的定量分析。

基于上述考虑,本文综合土地利用直接碳排放与土地利用间接碳排放核算陕西省土地利用碳排放量,对完备的土地利用碳排放核算研究起到补充和完善作用;基于 Kaya 恒等式基本原理结合对数均值迪氏指数分解法(LMDI)建立土地利用碳排放的因素分解模型对陕西省 2001—2014 年土地碳排放影响因素进行实证分析;结合因素分解的结果构建脱钩弹性分解量化模型考察各影响因素的脱钩效应,力求深入全面地反映各影响因素对土地利用碳排放与经济增长脱钩的内在作用机理及其贡献大小,对制定全面合理的土地低碳利用战略和低碳经济发展措施、政策具有重要的理论和现实意义。

## 1 数据来源及方法

### 1.1 数据来源

本文所用陕西省原煤、原油、燃料油、汽油、煤油、柴油、天然气、电力等能源消费数据均来源于《中国能

源统计年鉴》(陕西省能源平衡表);为统一数据和提高分析精度,根据我国现行土地分类系统将土地利用类型归类合并,将研究区域的土地共分为耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域及未利用地 7 种土地利用类型,各土地利用类型面积数据均来源于陕西省国土资源厅第二次土地调查和变更调查数据;涉及社会经济、人口数据均来源于《陕西省统计年鉴》。

### 1.2 研究方法

1.2.1 土地利用碳排放测算模型 结合陕西省土地利用现状,土地利用碳排放主要涉及耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域和未利用地 7 种土地利用类型。土地利用兼具碳源和碳汇功能,耕地的碳排放主要考虑农业生产活动如农业化肥施用、农业机械使用及灌溉等产生的直接或间接温室气体(如 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)<sup>[11]</sup>;园地的碳汇作用很小且等同于林地,但其人为干扰活动比林地强,因此将其视为碳源;林地、草地生态系统碳储量密度较高,是主要陆地生态系统碳汇;水域、未利用地碳排放强度长时间范围内变化不大,一般被认为是碳汇;而从碳源角度考虑建设用地所承载的不同产业对能源消耗所引起的间接碳排放<sup>[12]</sup>。因此,本文主要讨论以耕地、园地和建设用地作为碳源产生的碳排放和以林地、草地、水域、未利用地作为碳汇生产的碳吸收测算陕西省土地利用碳排放总量。

借鉴李颖等<sup>[11]</sup>提出的直接碳排放系数法测算耕地、园地、林地、草地、水域和未利用地碳排放效应,计算公式为

$$E_i = \sum e_i = \sum A_i \times \delta_i \quad (1)$$

式中: $E$  为总碳排放量( $10^4$  t); $e_i$  为第  $i$  种土地利用类型产生的碳排放(吸收)量( $10^4$  t); $A_i$  为第  $i$  种土地利用类型面积( $10^4$  hm<sup>2</sup>); $\delta_i$  为第  $i$  种土地利用类型的碳排放(吸收)系数(t/hm<sup>2</sup>),排放为正,吸收为负,其中耕地、园地、林地、草地、水域、未利用地碳排放系数根据已有研究成果分别确定为 0.422, 0.210, -0.644, -0.021, -0.218, -0.005 hm<sup>2</sup><sup>[11,13-14]</sup>。

建设用地作为主要碳源,其碳排放效应主要通过间接核算其承载的人类活动如经济建设、城市扩展和能源消耗等活动引起的碳排放。具体地,建设用地碳排放测算参考相关文献<sup>[15]</sup>,计算公式为

$$E_b = \sum n_i \times \epsilon_i \times \varphi_i \quad (2)$$

式中: $E_b$  为建设用地的碳排放量(万 t); $n_i$  为不同能源终端消费量(万 t); $\epsilon_i, \varphi_i$  分别为不同能源转换标准煤系数以及碳排放系数(表 1)。

1.2.2 影响因素分解模型 国外学者 ANG 对中国

工业部门能源消费 CO<sub>2</sub> 进行因素分解研究时首次提出对数均值迪氏指数分解法(logarithmic mean Divisia index method, LMDI),并在综述各种分解分析方法的基础上,认为对数平均 Divisia 指数分解法在理论基础、适应性、操作性、结果呈现四个方面都表现良好,是能源政策领域比较好的分析方法<sup>[17-18]</sup>。国内学者宋德勇等<sup>[19]</sup>将能源碳排放相关影响因素分解为经济规模、能源结构、排放强度和能源强度四个方面;宋杰鲲<sup>[20]</sup>、王晓霞等<sup>[16]</sup>分别引入人口和环境效应,将碳排放分解为经济效应、产业结构、能源结构、能源强度、人口/环境效应五个方面因素。

表 1 不同能源的碳排放系数

能源种类	折标准煤系数	碳排放系数
原煤	0.7143 kgce/kg	0.7559 kg/kgce
洗清煤	0.9000 kgce/kg	0.7559 kg/kgce
焦炭	0.9714 kgce/kg	0.8550 kg/kgce
原油	1.4286 kgce/kg	0.5857 kg/kgce
汽油	1.4714 kgce/kg	0.5538 kg/kgce
煤油	1.4714 kgce/kg	0.5714 kg/kgce
柴油	1.4571 kgce/kg	0.5921 kg/kgce
燃料油	1.4286 kgce/kg	0.6185 kg/kgce
其他石油制品	1.2280 kgce/kg	0.5857 kg/kgce
天然气	1.3300 kgce/m <sup>3</sup>	0.4483 m <sup>3</sup> /kgce
焦炉煤气	0.5714 kgce/m <sup>3</sup>	0.3548 m <sup>3</sup> /kgce
液化石油气	1.7143 kgce/kg	0.5042 kg/kgce
电力	0.1229 kgce·kW·h	0.7476 kg/kgce

注:电力能源消费产生的碳排放按照煤炭的碳排放系数进行计算,具体值参考文献<sup>[16]</sup>。

基于 LMDI 分析框架,借鉴已有研究成果,综合考虑与土地利用碳排放有关的能源、经济、土地、人口因素,弥补传统 Kaya 恒等式仅仅考察经济、能源、人口变量的不足,本文将陕西省土地利用碳排放影响因素分解为能源碳排放强度、能源强度、经济规模、土地规模、人口规模五种因素。基于扩展的 Kaya 恒等式建立土地利用碳排放影响因素分解模型:

$$LC = \sum \frac{LC}{E} \times \frac{E}{GDP} \times \frac{GDP}{L} \times \frac{L}{P} \times P \tag{3}$$

$$LC = \sum (f \times e \times g \times l \times p) \tag{4}$$

式中:LC 表示土地利用碳排放总量(万 t);E 表示能源消费总量(万 tce);GDP 为地区生产总值(万元);L 为区域土地面积(万 hm<sup>2</sup>);P 为区域人口总数(万人)。

则定义: $f = \frac{LC}{E}$ ,即不同能源单位消费量的碳排放量,表征能源碳排放强度因素; $e = \frac{E}{GDP}$ ,即单位 GDP 的能源消耗量(tce/10<sup>4</sup>元),表征能源强度因素;

$g = \frac{GDP}{L}$ ,即单位面积土地产值(10<sup>4</sup>元),表征经济规模因素; $l = \frac{L}{P}$ ,即人均土地面积(10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>),表征土地规模因素; $p = P$ ,即地区人口总数(人),表征人口规模因素。

本文采用加和分解,设基期土地利用碳排放总量为 LC<sup>0</sup>,期土地利用碳排放总量为 LC',用下标 tot 表示总效应的变化:

$$\Delta LC_{tot} = LC' - LC^0 \\ = \Delta LC_f + \Delta LC_e + \Delta LC_g + \Delta LC_l + \Delta LC_p \tag{5}$$

式中: $\Delta LC_f$  表示能源碳排放强度效应引起的碳排放的变化; $\Delta LC_e$  表示能源强度效应引起的碳排放的变化; $\Delta LC_g$  表示经济规模效应引起的碳排放的变化; $\Delta LC_l$  表示土地规模效应引起的碳排放的变化; $\Delta LC_p$  表示人口规模效应引起的碳排放的变化。

各影响因素差分分解结果及各分解因素贡献率分别为:

$$\text{能源碳排放强度效应: } \Delta LC_f = \sum \frac{LC' - LC^0}{\ln LC' - \ln LC^0} \times \ln \frac{f'}{f^0}$$

$$\text{能源强度效应: } \Delta LC_e = \sum \frac{LC' - LC^0}{\ln LC' - \ln LC^0} \times \ln \frac{e'}{e^0}$$

$$\text{经济规模效应: } \Delta LC_g = \sum \frac{LC' - LC^0}{\ln LC' - \ln LC^0} \times \ln \frac{g'}{g^0} \tag{6}$$

$$\text{土地规模效应: } \Delta LC_l = \sum \frac{LC' - LC^0}{\ln LC' - \ln LC^0} \times \ln \frac{l'}{l^0}$$

$$\text{人口规模效应: } \Delta LC_p = \sum \frac{LC' - LC^0}{\ln LC' - \ln LC^0} \times \ln \frac{p'}{p^0}$$

各分解因素贡献率表达式为:

$$S_{f/e/g/l/p} = \frac{\Delta LC_{f/e/g/l/p}}{\Delta LC_{tot}} \times 100\% \tag{7}$$

式中:S 表示不同分解因素的贡献率,其他变量含义同上。

1.2.3 脱钩效应分解量化模型 目前,脱钩指标的构建有两种主流模式,即经济合作与发展组织 OECD 脱钩模型和 Tapio 脱钩模型。20 世纪末,OECD 开始将脱钩概念引入农业政策研究领域,定义脱钩为打破环境压力与经济绩效之间的联系,并将其划分为绝对脱钩和相对脱钩<sup>[21]</sup>。Tapio<sup>[22]</sup>针对 1970—2001 年欧洲经济增长与交通业温室气体排放之间的脱钩研究时引入弹性概念构建脱钩指标,将脱钩状态主要定义为脱钩、连结、负脱钩三种,其次依据相对量弹性值的大小进一步细分为强脱钩、弱脱钩、衰退性脱钩、弱负脱钩、强负脱钩、扩张性负脱钩、衰退性连结、扩张性连结 8 种状态,这种将弹性引入脱钩理论框架的研究方法克服了 OECD 模型在基期选择上的困难,丰富了脱钩状态的划分,能更精确地反映碳排放与经济增长之间的关系。

表 2 脱钩弹性指数与脱钩状态划分

脱钩状态		%ΔLC (环境压力)	%ΔGDP (经济驱动力)	T <sub>LC/GDP</sub> 脱钩弹性指数
脱钩	强脱钩	<0	>0	ε<0 0.8≤ε≤1.2
	弱脱钩	>0	>0	0≤ε<0.8
	衰退性脱钩	<0	<0	ε>1.2
	弱负脱钩	<0	<0	0≤ε<0.8
负脱钩	强负脱钩	>0	<0	ε<0
	扩张性负脱钩	>0	>0	ε>1.2
连结	衰退性连结	<0	<0	0.8≤ε≤1.2
	扩张性连结	>0	>0	0.8≤ε≤1.2

表 2 中, Tapio 划分的脱钩类型, 依据土地利用碳排放与经济增长的相互关系, 依次划分从强脱钩到强负脱钩八种类型, 分别表示了从土地利用碳排放总量降低和经济增长的理想状态到经济与土地利用碳排放全面恶化的悲观愿景, 其中强脱钩是可持续发展

$$T_{LC,GDP} = \Delta LC \times \frac{GDP^0}{LC^0 \cdot \Delta GDP} = (LC' - LC^0) \times \frac{GDP^0}{LC^0 \cdot \Delta GDP} = (\Delta LC_f + \Delta LC_e + \Delta LC_g + \Delta LC_l + \Delta LC_p) \times \frac{GDP^0}{LC^0 \cdot \Delta GDP}$$
$$= \frac{\Delta LC_f / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0} + \frac{\Delta LC_e / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0} + \frac{\Delta LC_g / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0} + \frac{\Delta LC_l / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0} + \frac{\Delta LC_p / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0} = t_f + t_e + t_g + t_l + t_p$$

式中:  $T_{LC,GDP}$ ;  $LC^0$ ;  $\Delta LC$ ;  $GDP^0$ ;  $\Delta GDP$ ;  $\Delta LC_f$ ;  $\Delta LC_e$ ;  $\Delta LC_g$ ;  $\Delta LC_l$ ;  $\Delta LC_p$  含义同上,  $t_f = \frac{\Delta LC_f / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0}$ ;  $t_e = \frac{\Delta LC_e / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0}$ ;  $t_g = \frac{\Delta LC_g / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0}$ ;  $t_l = \frac{\Delta LC_l / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0}$ ;  $t_p = \frac{\Delta LC_p / LC^0}{\Delta GDP / GDP^0}$  分别表示各效应对应的分脱钩弹性指标。因此, 土地利用碳排放与经济增长的脱钩弹性指数  $T_{LC,GDP}$  可分解为能源碳排放强度脱钩弹性  $t_f$ 、能源强度脱钩强度  $t_e$ 、经济规模脱钩弹性  $t_g$ 、土地规模脱钩弹性  $t_l$  以及人口规模脱钩弹性  $t_p$ 。

2 实证分析

2.1 陕西省土地利用碳排放分析

根据 2001—2014 年陕西省土地利用变更调查数据与各项能源消费数据, 基于土地利用碳排放测算公式(1),(2), 得到陕西省土地利用碳排放量(表 3)及变化趋势(图 1)。

由表 3 可知, 陕西省土地利用净碳排放量呈逐年递增态势, 从 2001 年的 1 068.96 万 t 增加到 2014 年的 4 676.25 万 t, 碳排放总量增加 3 607.29 万 t, 年均增长率达 13%。土地利用净碳排放量受碳汇和碳源共同作用影响, 2001—2014 年土地利用碳吸收总量和碳排放总量均呈上升趋势, 土地利用碳吸收总量从 639.45 万 t 增加到 733.90 万 t, 年均增长率为 1.09%, 土地利用碳排放总量从 1 708.40 万 t 增加

状态, 弱脱钩是前景较为乐观状态, 扩张性连结是发展较不理想状态, 其余均为不可持续状态。在经济增长的前提下, ε 值越小越有利于可持续发展。综上, 本文参照 Tapio 脱钩模型, 构建土地利用碳排放与经济增长的脱钩指数表达式:

$$T_{LC,GDP} = \frac{\% \Delta LC}{\% \Delta GDP} = \frac{(LC' - LC^0) / LC^0}{(GDP' - GDP^0) / GDP^0} \quad (8)$$

将公式(8)变形, 可得:

$$T_{LC,GDP} = \frac{\Delta LC}{LC^0} \times \frac{GDP^0}{\Delta GDP} = \Delta LC \times \frac{GDP^0}{LC^0 \cdot \Delta GDP} \quad (9)$$

式中:  $T_{LC,GDP}$  为土地利用碳排放与经济增长的脱钩弹性指标;  $LC^0$  为基期土地利用碳排放总量;  $\Delta LC$  为现期相对于基期土地利用碳排放变化量;  $GDP^0$  为基期地区生产总值;  $\Delta GDP$  为现期相对于基期 GDP 的变化量。

结合土地利用碳排放因素分解结果公式(5), 得到土地利用碳排放与经济增长的脱钩效应分解量化模型:

到 5 410.15 万 t, 年均增长率为 9.54%, 是碳吸收总量年均增长率的 8.76 倍, 反映出陕西省每年土地碳排放量增加的速度远高于碳吸收量增加的速度, 导致土地利用净碳排放量变化趋势与土地利用碳排放总量逐年递增一致。

由图 1 可知, 2001—2014 年, 陕西省土地利用净碳排放、碳源、碳汇均呈上升趋势, 即作为主要碳源的建设用地与林地的碳汇效应逐年增加, 但林地的碳汇能力远远不能抵消显著递增的建设用地碳排放量, 导致 2001—2014 年陕西省土地利用净碳排放量呈逐年递增趋势。碳源方面, 耕地的碳排在研究期内保持平稳下降趋势, 碳排放量由 2001 年的 197.73 万 t 下降到 2014 年的 168.58 万 t, 共减排 29.15 万 t, 年均降低 2.24 万 t。2001—2014 年园地的碳排放量基本保持稳定, 从 12.29 万 t 增加到 17.26 万 t, 13 a 间的变化量并不大。作为碳源主导地位的建设用地碳排放量约占总碳源排放量的 87.68%~96.56%, 在研究期内从 1 497.96 万 t 增加到 5 224.31 万 t, 年均增加 286.64 万 t, 增长率达 10.40%。因此, 建设用地碳排放与净碳排放总量具有趋同的变化趋势并显著影响了陕西省土地利用碳排放总量。碳汇方面, 研究期内, 林地的碳汇量占总碳汇的 97.62% 以上, 碳汇量从 624.23 万 t 增加到 721.11 万 t, 共增加 96.88 万 t, 年均增长率为 1.14%。水域、草地、未利用地的碳汇效应依次降低, 研究期内其碳吸收量处于基本稳定的状态, 变化并不明显。

表 3 陕西省土地利用类型碳排放/碳吸收

万 t

年份	碳源			碳汇				净碳排放
	耕地	建设用地	园地	林地	草地	水域	未利用地	
2001	197.73	1497.96	12.79	−624.23	−6.73	−8.36	−0.14	1068.96
2002	190.15	1655.07	13.07	−633.88	−6.75	−6.49	−0.14	1211.03
2003	179.01	1710.64	13.67	−651.65	−6.64	−6.65	−0.14	1238.24
2004	175.30	2092.58	14.31	−657.08	−6.58	−6.63	−0.14	1611.75
2005	172.55	2742.16	14.42	−662.38	−6.55	−6.67	−0.14	2253.40
2006	171.26	2795.60	14.78	−666.32	−6.45	−6.64	−0.14	2302.09
2007	170.87	2936.05	14.80	−666.78	−6.44	−6.66	−0.14	2441.71
2008	170.92	3398.88	14.83	−666.80	−6.44	−6.61	−0.14	2904.65
2009	168.70	3756.91	17.85	−723.33	−6.07	−6.75	−0.06	3207.26
2010	168.45	4273.27	17.77	−722.95	−6.06	−6.77	−0.06	3723.65
2011	168.29	4819.57	17.71	−722.52	−6.05	−6.75	−0.06	4270.18
2012	168.33	5071.20	17.52	−722.01	−6.04	−6.75	−0.05	4522.19
2013	168.46	5119.33	17.34	−721.44	−6.04	−6.75	−0.05	4570.85
2014	168.58	5224.31	17.26	−721.11	−6.01	−6.74	−0.05	4676.25

2.2 陕西省土地利用碳排放影响因素分析

采用 LMDI 分解法,基于公式(5),(6)计算出能源碳排放强度效应、能源强度效应、经济规模效应、土地规模效应、人口规模效应对陕西省土地利用碳排放变化的影响(表 4)。

由表 4 可知,2001—2014 年陕西省土地利用碳排放增加主要是由经济规模效应引起的,累计增加了 6 085.92 万 t;其次是能源碳排放强度效应,导致土地利用碳排放共增加 510.10 万 t;人口规模和土地规模效应对土地利用碳排放增加的促进作用相对较小,分别促进土地利用碳排放增加 94.64 万 t 和 17.42 万 t;研究期内累积效应出现唯一负值总效应—能源强度效应,对土地利用碳排放的减小起到了积极作

用,共引起碳排放减少了 3 100.80 万 t。由于抑制土地利用碳排放增加的作用有限,因此,2001—2014 年共引起土地利用碳排放累积增加 3 607.29 万 t。

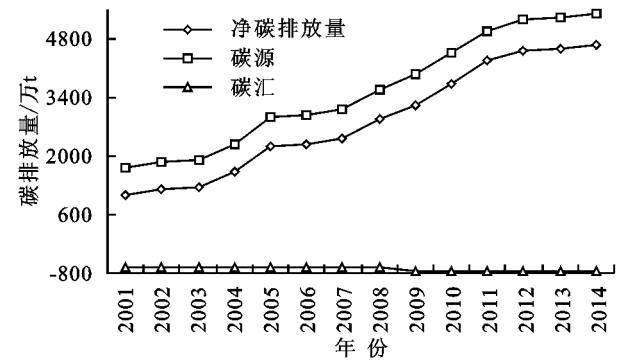


图 1 陕西省土地利用碳排放变化趋势

表 4 陕西省土地利用碳排放影响因素分解结果

万 t

年份	能源碳排放强度效应	能源强度效应	经济规模效应	土地规模效应	人口规模效应	综合效应
2001—2002	16.49	−102.50	236.31	−11.02	2.80	142.07
2002—2003	−16.71	−32.55	76.27	−3.14	3.34	27.21
2003—2004	62.75	49.89	260.33	−2.94	3.47	373.50
2004—2005	204.36	−27.45	463.84	−3.77	4.68	641.65
2005—2006	−29.02	−393.31	470.44	−4.96	5.55	48.69
2006—2007	−25.38	−408.68	578.48	−10.57	5.76	139.62
2007—2008	51.53	−226.96	637.99	−6.81	7.18	462.93
2008—2009	35.19	−70.21	213.73	116.52	7.38	302.61
2009—2010	51.84	−277.11	741.92	−7.68	7.42	516.39
2010—2011	88.97	−387.88	845.57	−8.66	8.54	546.53
2011—2012	38.92	−420.83	634.12	−11.93	11.73	252.01
2012—2013	−8.15	−418.13	475.30	−13.68	13.31	48.65
2013—2014	39.31	−385.08	451.62	−13.95	13.49	105.40
累积效应	510.10	−3100.80	6085.92	17.42	94.64	3607.29

为了考察各效应对土地利用碳排放短期影响的阶段性特征,根据因素分解结果得到陕西省土地利用碳排放影响因素年度变化趋势(图 2),并计算出 2001—2014 年各效应对土地利用碳排放的累积贡献率(图 3)。

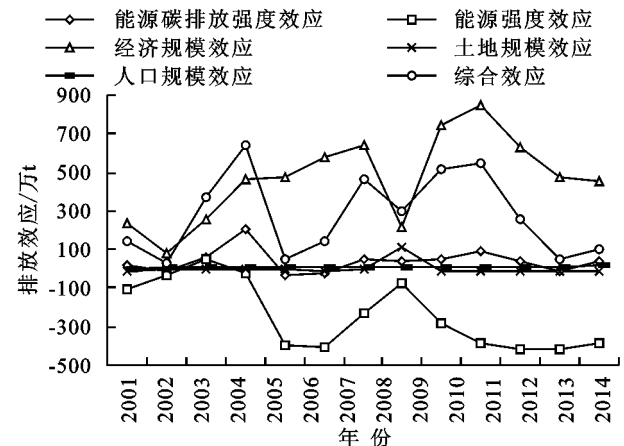


图 2 陕西省土地利用碳排放年度增量分解

由图 2,图 3 可以看出,各效应在不同时期对土地利用碳排放变化的影响是不同的,具体分析如下:能源碳排放强度效应,即单位能源消耗碳排放量对陕西土地利用碳排放变化的影响有较大的浮动性,2001—2014 年正、负效应并存,2005 年达到最大的正向影响值(204.36 万 t),说明代表能源利用效率的碳排放强度对土地利用碳排放变化的影响具有不确定性。从能源碳排放强度的累积效应来看,对土地利用碳排放的增加呈正效应,即在研究期内不同能源单位碳排放强度促进土地利用碳排放增加,累积贡献率为 14.14%。

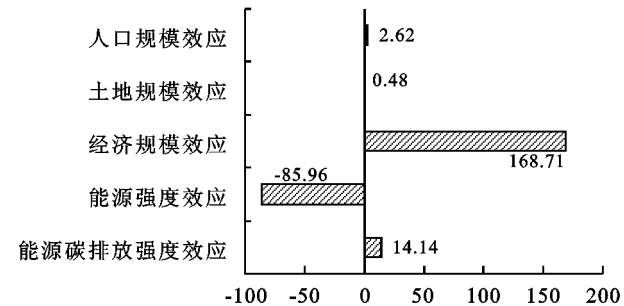


图 3 各效应对土地利用碳排放的累积贡献率

能源强度效应是唯一促进土地利用碳排放减少的效应类型,累积贡献率绝对值达 85.96%。该效应对碳排放的影响从初始的负向效应(-102.50 万 t)在 2004 年转变达到唯一正效应值(49.89 万 t)后又递减到 2014 年的 -385.08 万 t,预示着经济发展过程中,能源新技术的发展,使单位 GDP 能源消耗不断减小。因此,提高能源效率、发展低碳产业是减少碳排放的有效手段。

经济规模效应贡献值持续扩大且在研究期内一直为正值,累积贡献率高达 168.71%,说明土地经济产出

是陕西省土地利用碳排放增长的首要贡献因素。陕西省土地利用碳排放的总效应变化趋势与经济规模效应引致的碳排放变化趋势吻合程度很高,表明土地利用碳排放的持续增长与陕西省经济快速发展密不可分。

土地规模效应在部分年度出现了微弱正效应(2009 年为 116.52 万 t),对碳排放总体上呈正效应,影响是最小的,累积贡献率为 0.48%,说明土地本身如农用地、建设用地规模扩大并未直接导致碳排放量增加,而是基于土地承载的不同能源消费行业导致能源碳排放的大量增加。人口规模的持续扩大对土地利用碳排放总量的增加具有正效应,2001—2014 年陕西省人口规模的增加对土地利用碳排放的累积贡献为 2.62%,累计增加 94.64 万 t 碳排放,说明人口规模增加也是造成土地利用碳排放增加的因素之一。人口数量的增加带来消费规模的增长,导致基于土地承载的能源消费增长最后使碳排放量增加,带来环境问题的加剧。

为了深入分析各分解因素对陕西省土地利用碳排放的贡献程度及变化趋势,基于公式(7)得到 2001—2014 年各效应对陕西省土地利用碳排放的年度贡献率(图 4)。

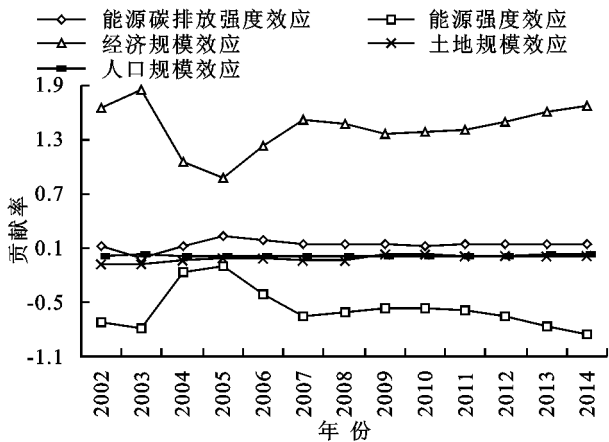


图 4 各效应对土地利用碳排放的年度贡献率

根据各效应对陕西省土地利用碳排放的累积贡献将各因素划分为正效应因素(包括经济规模、能源碳排放强度、土地规模和人口规模)和负效应因素(能源强度),各效应累积贡献率绝对值由大到小依次是经济规模效应>能源强度效应>能源碳排放强度效应>人口规模效应>土地规模效应。由图 4 可以看出,作为正效应的首要贡献因素—经济规模效应对土地利用碳排放的贡献率呈“U”型曲线,即经济规模对碳排放的作用呈强—弱—强的态势,拐点出现在 2005 年;此外,唯一的负效应因素—能源强度效应对土地利用碳排放的贡献率呈倒“U”型曲线,即能源强度对抑制土地利用碳排放增加的作用呈由强变弱,再由弱变强的发展阶段;能源碳排放强度、土地规模和

人口规模对土地利用碳排放增加的贡献率则基本稳定在-0.1~0.25。虽然能源强度抑制土地利用碳排放增加的趋势在加强,但仍然无法抵消土地经济产出强劲的促进作用,说明陕西省仅仅依靠能源新技术的开发和提高能源利用效率实现碳减排比较困难,因此需加快转变经济增长方式,改善能源消费结构,同时合理规划土地利用及人口规模控制,多管齐下实现碳排放总量控制和经济增长的可持续发展。

2.3 陕西省土地利用碳排放与经济增长脱钩效应分析

2001—2014 年,陕西省土地利用碳排放与经济增长的关系呈现阶段性变化特征(图 5):2001—2003 年,土地利用碳排放增速低于地区生产总值(GDP)的增长速度;2003—2005 年,土地利用碳排放增加速度超过 GDP 增长速度,且差距呈拉大趋势;2005—2014 年,土地利用碳排放增长速度放缓,且低于经济增长速度。

为了深入分析土地利用碳排放与经济增长内在作用机理以及影响经济增长和土地利用碳排放脱钩的各因素及其贡献大小。基于公式(8)—(10)和陕西省土地利用碳排放影响因素分解结果,计算出经济增长与土地利用碳排放脱钩弹性指数及各影响因素对应的分脱钩弹性指数(表 5)。

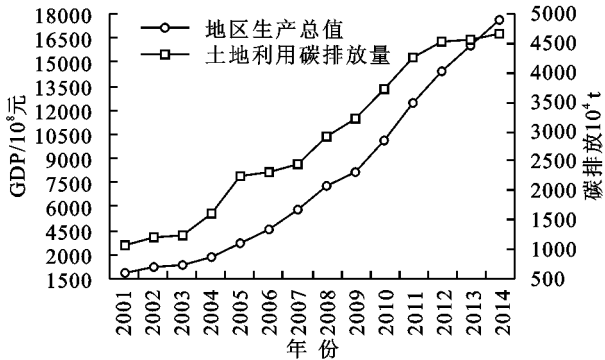


图 5 2001—2014 年陕西省土地利用碳排放与 GDP 增长趋势

由表 5 可以看出,陕西省土地利用碳排放与经济增长除了在 2003—2005 年、2008—2009 年呈现扩张性负脱钩和扩张性连结状态外,其余年份总体处于弱脱钩状态,土地利用碳排放与经济在增长呈正相关关系,2001—2014 年陕西省 GDP 平均增长速度为 19.21%,土地利用碳排放的平均增长速度为 13%,GDP 增速明显高于土地利用碳排放增速,从而保证了土地利用碳排放与经济增长的弱脱钩状态。对比脱钩弹性指数的变化,陕西省的脱钩状态经历了从弱脱钩—扩张性负脱钩—弱脱钩—扩张性连结—弱脱钩的发展阶段。

表 5 陕西省土地利用碳排放各影响因素脱钩弹性指标

年份	能源碳排放 强度脱钩弹性	能源强度 脱钩弹性	经济规模 脱钩弹性	土地规模 脱钩弹性	人口规模 脱钩弹性	脱钩弹性	脱钩状态
2001—2002	0.0696	-0.4323	0.9966	-0.0465	0.0118	0.5992	弱脱钩
2002—2003	-0.2141	-0.4172	0.9773	-0.0402	0.0428	0.3487	弱脱钩
2003—2004	0.2507	0.1993	1.0400	-0.0117	0.0139	1.4921	扩张性负脱钩
2004—2005	0.4615	-0.0620	1.0476	-0.0085	0.0106	1.4492	扩张性负脱钩
2005—2006	-0.0561	-0.7597	0.9087	-0.0096	0.0107	0.0941	弱脱钩
2006—2007	-0.0403	-0.6486	0.9181	-0.0168	0.0091	0.2216	弱脱钩
2007—2008	0.0780	-0.3436	0.9660	-0.0103	0.0109	0.7009	弱脱钩
2008—2009	0.1036	-0.2067	0.6293	0.3431	0.0217	0.8910	扩张性连结
2009—2010	0.0676	-0.3613	0.9673	-0.0100	0.0097	0.6733	弱脱钩
2010—2011	0.1013	-0.4414	0.9623	-0.0099	0.0097	0.6220	弱脱钩
2011—2012	0.0587	-0.6352	0.9571	-0.0180	0.0177	0.3804	弱脱钩
2012—2013	-0.0164	-0.8397	0.9545	-0.0275	0.0267	0.0977	弱脱钩
2013—2014	0.0839	-0.8219	0.9639	-0.0298	0.0288	0.2250	弱脱钩

2001—2003 年,脱钩弹性指数由 0.599 2 下降到 0.348 7,陕西省土地利用碳排放与经济增长呈现出弱脱钩(弹性指数下降)的状态,GDP 和土地利用碳排放逐年增加,GDP 的增长速度相对于土地利用碳排放增长速度逐渐增强,出现这种状态的可能原因在于随着宏观环境改善和西部大开放战略的提出,陕西省工业经济进入了一个新的快速发展时期,恢复经济带动了相关工业能源消费与土地利用碳排放量增加。2003—2005 年,脱钩弹性指数为 1.449 2~1.492 1,土地利用碳排放与经济

增长呈扩张性负脱钩状态,陕西省工业经济进入了以重工业为主导新的快速发展时期,碳排放的急剧扩张速度远远快于经济增长速度,政府应采取有效措施对相关行业的高碳发展予以控制。2005—2008 年,脱钩弹性指数由 0.094 1 上升到 0.700 9,土地利用碳排放与经济增长呈弱脱钩(弹性指数上升)状态,该阶段陕西省 GDP 和土地利用碳排放逐年增加,但土地利用碳排放增长速度相对于 GDP 的增长速度逐渐增强,因此表现出脱钩弹性指数整体上升。2008—2009 年,土地利用碳排放与经

经济增长呈扩张性连结状态,经济增长与土地利用碳排放增加的幅度正向且几乎一致。随着经济形势持续好转,政府持续扩大内需、加强基础设施建设,导致大批工业能源消费及其产生的碳排放大幅增长,这是陕西省低碳经济发展的较不理想状态。2009—2014年,脱钩弹性指标值呈逐年下降趋势并呈现弱脱钩状态,反映出土地利用碳排放增长速度逐步放缓,其增加量相对于GDP的增加日趋减少,因此呈现出弹性指数整体下降的情况。

从各影响因素对应的分脱钩弹性指标(图6)来看,经济规模脱钩弹性和能源强度脱钩弹性值所占比重依次最高,是影响陕西省经济增长与土地利用碳排放脱钩最重要的因素。具体分析如下:

经济规模脱钩弹性指标呈现先升后降再升的波动变化趋势,拐点出现在2009年(最低值0.6293),但整体呈下降趋势(从2001年的0.9966下降到2014年的0.9639),这表明陕西省经济由粗放转为集约节约发展方式对节能减排的作用初见成效。从横向看,经济规模脱钩弹性指标一直为正值且在0.90~1.10之间波动变化,说明经济规模效应是影响土地利用碳排放与经济增长脱钩的最重要因素,土地的经济产出效益的持续增长导致了土地承载的能源消费不断加大,从而造成土地利用碳排放不断增加,这是陕西省低碳经济发展的不理想状态。

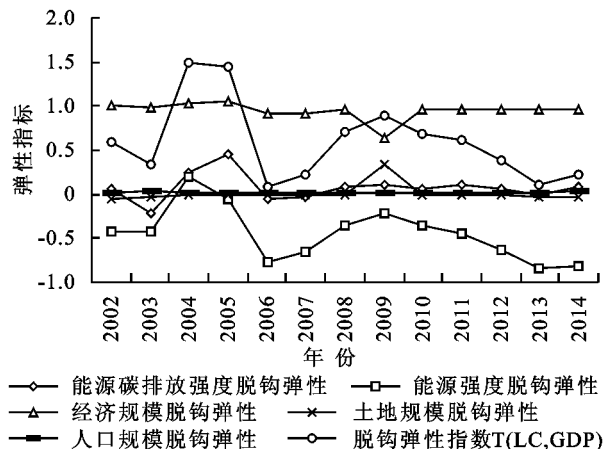


图6 陕西省土地利用碳排放各影响因素脱钩弹性分解

能源强度脱钩弹性指标呈倒“U”型变化趋势,峰值出现在2004年(0.1993)。从纵向看,2001—2014年能源强度脱钩弹性从-0.4323下降到-0.8219,呈现出稳步下降态势,说明以应对能源约束降低单位能耗对抑制土地利用碳排放增加起到积极作用。从横向看,能源强度脱钩弹性指标年度变化趋势与土地利用碳排放脱钩弹性变化趋势一致,说明能源强度效应对经济增长与土地利用碳排放脱钩状态的改善具有积极作用,陕西省应该进一步发掘依靠提升能源效

率节能减排的潜力和空间。

能源碳排放强度脱钩弹性指标的变化趋势与能源强度脱钩弹性类似,都呈现出先增后减的趋势,不过碳排放强度变化幅度较小,脱钩弹性峰值出现在2005年(0.4615),说明能源碳排放强度效应对经济增长与土地利用碳排放脱钩的影响也相对较小,这与能源消费结构和能源利用效率有关。

土地规模的脱钩弹性指标年度变化不是很大,说明土地规模效应对促进经济增长与土地利用碳排放脱钩的影响较小。除2009年(0.3431)外均为负值,且围绕-0.01上下浮动,表明根据低碳发展的要求优化土地利用空间结构、合理控制建设用地扩展也是降低土地利用碳排放的有效途径。

人口规模脱钩弹性指标13a间均为正值,围绕0.01上下浮动很小,表明人口规模对经济增长与土地利用碳排放脱钩具有微弱的作用,即人口数量的增加带来的土地利用碳排放增量有限,但目前陕西省通过合理规划人口规模实现节能减排的作用还未充分发挥。

### 3 结论及政策启示

#### 3.1 结论

本文通过测算2001—2014年陕西省土地利用碳排放量,对土地利用碳排放影响因素及其脱钩效应进行分析,得出以下结论:

(1) 2001—2014年,陕西省土地利用碳排放量受碳源和碳汇综合影响,但碳排放量增速大于碳吸收量增速,所以土地利用净碳排放量呈逐年递增趋势,从2001年的1068.96万t增加到2014年的4676.25万t,13a间上升163%。

(2) 2001—2014年,陕西省土地利用碳排放影响因素除能源强度为负效应因素外,经济规模、能源碳排放强度、土地规模和人口规模为正效应因素,各效应累积贡献率绝对值由大到小依次是经济规模效应>能源强度效应>能源碳排放强度效应>人口规模效应>土地规模效应。能源强度效应是唯一抑制土地利用碳排放增加的因素。经济规模效应作为促进土地利用碳排放增加的首要因素,与陕西省GDP保持10%以上增速不无关系。此外,能源碳排放强度效应、人口规模效应和土地规模效应均以不同程度促进陕西省土地利用碳排放的增加。

(3) 从时间序列纵向来看,2001—2014年陕西省土地利用碳排放与经济增长脱钩状态经历了弱脱钩—扩张性负脱钩—弱脱钩—扩张性连结—弱脱钩的发展阶段。从各影响因素对应的分脱钩弹性指标横向来看,指标值占比从大到小依次为经济规模脱钩



弹性>能源强度脱钩弹性>能源碳排放强度脱钩弹性>人口规模脱钩弹性>土地规模脱钩弹性,说明经济规模效应仍然是促进碳排放增加的最重要因素,能源强度效应则对陕西省经济增长与土地利用碳排放脱钩状态的改善具有积极作用。能源碳排放强度效应、人口规模效应和土地规模效应对经济增长与土地利用碳排放脱钩的影响相对较小。

### 3.2 政策启示

综上所述,依据陕西省当前的经济发展状况与资源禀赋条件,提出以下政策启示对于消除经济可持续发展中的资源瓶颈,实现“稳增长”与“碳减排”双赢具有重要意义:

(1) 科学布局生产空间、生活空间和生态用地,增加森林覆盖率和生态用地面积,增强土地利用的碳汇能力;合理控制建设用地扩展减少单位土地能源投入,以此减少陕西省土地利用碳排放压力。

(2) 适应经济发展新常态,陕西省应紧紧抓住“丝绸之路经济带”战略的历史机遇,改变偏“重”的产业结构,加快构建绿色经济体系,加大能源升级改造力度,依靠能源消费结构优化和能源利用效率提高大力培育低耗能、战略性新兴产业。未来陕西省碳排放与经济脱钩发展措施重点方向在于进一步在能源资源开发利用、交易方式、节约高效使用等方面建立合作共同体,加快建设丝绸之路经济带能源储备基地;发展节能减排技术、推动产业结构的优化升级与工业低碳化发展,着力促进陕西省绿色 GDP 发展。

(3) 强化土地利用规划约束性指标管理,引入低碳化土地利用理念,将单位土地面积的碳排放作为约束性指标纳入,从源头上通过严格控制高耗能产业的用地审批,促进土地供应向低碳产业转移,逐步实现土地利用结构与低碳经济结构相协调,形成倒逼机制促进经济发展方式转变与区域经济发展,实现碳排放总量控制和经济增长的可持续发展状态。

(4) 提高人口素质,降低人口增多导致的农业生产活动(如农业化肥施用和农械使用)和居民消费行为(如垃圾处理、汽车使用等)对碳排放增加的促进作用。

#### 参考文献:

- [1] Houghton R A, Hackler J L. Sources and sinks of carbon from land-use change in China[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003,17(2):31-39.
- [2] 赵荣钦,刘英,郝仕龙,等. 低碳土地利用模式研究[J]. *水土保持研究*, 2010,17(5):190-194.
- [3] 黎孔清. 低碳经济导向的区域土地利用评价与结构优化

研究[D]. 武汉:华中农业大学,2013.

- [4] 蓝家程,傅瓦利,袁波,等. 重庆市不同土地利用碳排放及碳足迹分析[J]. *水土保持学报*, 2012,26(1):146-150.
- [5] 孙赫,梁红梅,常学礼,等. 中国土地利用碳排放及其空间关联[J]. *经济地理*, 2015,35(3):154-162.
- [6] 王桂波,南灵. 陕西省土地利用碳排放效应时空差异分析[J]. *资源与产业*, 2012,14(1):124-130.
- [7] 张勇,张乐勤,汪应宏,等. 安徽省池州市土地利用碳排放演变及其影响因素[J]. *中国农业大学学报*, 2014,19(2):216-223.
- [8] 毋晓蕾,王婧,汪应宏,等. 浙川县土地利用结构低碳优化研究[J]. *地域研究与开发*, 2013,32(2):160-165.
- [9] 卢娜,冯淑怡,曲福田. 经济发展对我国土地利用碳排放的影响[J]. *南京农业大学学报:社会科学版*, 2013(2):108-115.
- [10] 程子腾,严金明,高峰,等. 土地利用碳排放与经济增长研究:以柳州市为例[J]. *生态经济*, 2016,32(8):87-89.
- [11] 李颖,黄贤金,甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. *农业工程学报*, 2008(S2):102-107.
- [12] 曲福田,卢娜,冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011,21(10):76-83.
- [13] 苏雅丽,张艳芳. 陕西省土地利用变化的碳排放效益研究[J]. *水土保持学报*, 2011,25(1):152-156.
- [14] 王亮. 盐城市土地利用变化碳排放效益及影响因素分解研究[J]. *生态科学*, 2015,34(5):122-128.
- [15] 彭文甫,樊淑云,潘荟交,等. 区域土地利用变化的碳排放效应及时空格局研究[J]. *生态经济*, 2013(9):28-33.
- [16] 王晓霞,南灵. 基于 LMDI 模型的陕西省能源消费碳排放压力解耦分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2014,30(3):311-316.
- [17] Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition[J]. *Energy*, 1998,23(6):489-495.
- [18] Ang B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method[J]. *Energy Policy*, 2004,32(9):1131-1139.
- [19] 宋德勇,卢忠宝. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2009,19(3):18-24.
- [20] 宋杰鲲. 基于 LMDI 的山东省能源消费碳排放因素分解[J]. *资源科学*, 2012,34(1):35-41.
- [21] OECD. Indicators to measure decoupling of environmental pressures from economic growth[R]. Paris: OECD, 2002.
- [22] 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.