

# 省域建筑业碳排放空间分异及驱动因素分析\*

孔凡文, 李鲁波

(沈阳建筑大学管理学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要:** 基于2007~2016年我国省域建筑业碳排放量数据, 运用趋势分析、地理探测器等方法, 分析10年来省域建筑业碳排放量变化趋势, 并对省域建筑业碳排放量空间分异特征以及驱动因素变化规律进行模拟和估计。结果显示: 建筑业碳排放东西方向上的空间分异程度大于南北方向, 且总体均呈现东部>中部>西部的趋势; 省域建筑业碳排放由单一因素为主导向多因素共同作用转化, 且驱动因素存在区域异质性。以期制定差别化的建筑业碳减排政策提供参考。

**关键词:** 建筑业碳排放; 空间分异; 驱动因素; 地理探测器方法

中图分类号: F426.92 文献标识码: A 文章编号: 1002-851X(2019)08-0102-05

DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.201908102

## Analysis on Spatial Distribution and Driving Factors of Carbon Emissions in Provincial Construction Industry

KONG Fanwen, LI Lubo

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** Based on the carbon emission data of China's provincial construction industry from 2007 to 2016, this paper uses trend analysis, geo-detectors and other methods to analyze the trend of carbon emissions, and estimate the spatial differentiation characteristics and driving factors of carbon emissions in the provincial construction industry. The results show that the spatial differentiation of carbon emissions in the east-west direction of the construction industry is greater than that in the north-south direction, and the overall trend is east>middle>west; The carbon emissions of the provincial construction industry are transformed from single factor dominance to multi-factors interaction. There is regional heterogeneity in the driving factors. Hopes to provide a reference for the construction industry to develop differentiated carbon emission reduction policies.

**Keywords:** carbon emissions from construction industry; spatial differentiation; driving factors; geographic detector method

### 1 引言

建筑业的快速发展为促进我国经济增长做出了巨大的贡献, 但建筑业作为高能耗、高污染行业的代表, 其发

展过程中出现能源消耗不断增加、较低的能源利用效率等问题, 导致碳排放量持续攀升, 对生态环境造成不利影响。由于经济发展及建筑业碳排放的区域异质性, 相关减排政策对不同省域的影响也不尽相同。因此, 有必要对我国建筑业碳排放的空间差异以及造成这种差异的原因进行深入分析。目前, 既有研究多从一个地区或者从一个项目的某个阶段对建筑业碳排放量进行测算分析, 或者分析其与行业经济发展间的关系, 而对建筑业碳排放空间分异的研究较少。此外, 诸多学者对建筑业碳排放驱动因素的研究一般围绕单个因素进行, 很少涉及因素之间的交互作用。为此, 本文在现有研究的基础上, 综

\*基金项目: 住房和城乡建设部科学技术项目“现代建筑产业化产业链发展路径与运行机制研究”(2016-R4-012)

作者简介: 孔凡文, 男, 生于1963年, 辽宁北票人, 教授, 主要研究方向: 房地产经济。

李鲁波, 女, 生于1995年, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要研究方向: 房地产经济。

收稿日期: 2019-01-20

合考虑建筑业碳排放空间分布差异以及驱动因素的空间差异, 为制定差别化的建筑业碳减排政策提供参考。

## 2 研究思路与研究方法

### 2.1 研究思路

首先从能源消费侧角度测算出2007-2016年建筑业碳排放量; 然后以地理学为视角对省域建筑业碳排放空间分异特征进行客观呈现, 重点关注高排区和较高排区的内部变化规律; 其次对省域建筑业碳排放在空间上大致的变化状况和规律状况进行模拟; 最后识别该分异特征的主导驱动因素, 并探测主导驱动因素作用强度值的变化趋势, 通过深入分析各驱动因素的作用机制, 重点分析关键交互因素对建筑业碳排放空间分异的多重叠加交互效应。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 关联碳排放法

从消费侧角度对建筑业碳排放量进行核算, 既考虑到建筑生产过程中所消耗的化石燃料以及电力和热力的消耗量, 又考虑到建筑业诱发其他行业生产所产生的间接碳排放, 利用关联碳排放法对将全国30个省、市、自治区的建筑业碳排放进行测算, 其测算模型如下:

$$E = E_{\text{dir}} + E_{\text{ind}} = \frac{12}{44} \times [\sum_{m=1}^{15} C_m \times \alpha_m \times f_m + C_h \times f_h + C_l \times f_l + \sum_{n=1}^5 M_n \times \beta_n \times (1 - \varepsilon_n)] \quad (1)$$

式中:  $E$ 为建筑业碳排放总量 (Kg);  $E_{\text{dir}}$ 为建筑业直接碳排放量 (Kg);  $E_{\text{ind}}$ 为建筑业间接碳排放量 (Kg);  $C_m$ 为第 $m$ 种能源的消耗量 (Kg);  $\alpha_m$ 为第 $m$ 种能源的平均低位发热量;  $f_m$ 为第 $m$ 种能源的二氧化碳排放系数;  $C_h$ 和 $f_h$ 分别为热力能源的消耗量和二氧化碳排放系数;  $C_l$ 和 $f_l$ 分别为电力能源的消耗量和二氧化碳排放系数;  $M_n$ 为第 $n$ 种建筑材料的使用量 (Kg);  $\beta_n$ 和 $\varepsilon_n$ 分别为第 $n$ 种建筑材料的二氧化碳排放系数和回收系数。

#### 2.2.2 三维趋势分析法

三维趋势分析法是在GIS软件中实现的可以对研究对象在时间和空间上的变化规律进行模拟与预测的方法。设 $Z_i (X_i, Y_i)$ 为第 $i$ 个省域的建筑业碳排放量,  $X_i, Y_i$ 为平面空间坐标。根据趋势分析定义可知:

$$Z_i (X_i, Y_i) = T_i (X_i, Y_i) + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中,  $T_i (X_i, Y_i)$ 为趋势函数, 表示建筑业碳排放量的趋势值。  $\varepsilon_i$ 为随机误差项, 表示第 $i$ 个省域建筑业碳排放量实值与趋势值的偏差, 本文采用三阶多项式计算趋势值。

#### 2.2.3 地理探测器法

地理探测器方法是用来揭示自变量 $X$ 在多大程度上解释了因变量 $Y$ 异质性的—种新的统计学方法, 其核心思想是当解释变量与被解释变量在空间分布状态上有较强的吻合度时, 解释变量对被解释变量在空间分异的作用强度就越大。主要包括风险、因子、生态和交互探测4个部分的内容。本文借助因子和交互探测对省域建筑业碳排放空间分异驱动因素的作用强度以及交互作用进行分析, 作用强度值可表示为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^h N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (3)$$

式中:  $q$ 为驱动因素对建筑业碳排放空间分异的作用强度值。其中,  $h$ 为驱动因素 $X$ 的分类数或分层数, 本文将选取的6项驱动因素利用GIS中的自然断点法来分类, 将其由数值型变量转换成类型变量, 即将6项指标值分为低、较低、中、较高、高共五类, 由该比例确定各探测因素指标值所处的类别。  $N$ 为研究区的数量, 本研究区共30个,  $N_h$ 表示第 $h$ 类子区域中的省域数量,  $\sigma_h^2$ 和 $\sigma^2$ 分别为驱动因素在第 $h$ 类子区域和整个研究区域内的方差。  $q$ 的值为 $[0, 1]$ ,  $q$ 值越大, 表明该因素对建筑业碳排放空间分异的作用强度越大,  $q=0$ , 表明建筑业碳排放量空间分异不受该影响因素的驱动。

## 3 省域建筑业碳排放时空分异及时空演变特征分析

### 3.1 省域建筑业碳排放时空分异特征

本文选取全国30个省、市、自治区2007、2010、2013和2016年四个时间截面的数据, 数据的可视化表达见图1, 并利用GIS中的自然断点法根据碳排放量划分低排区 (1462.64~2692.94万吨)、较低排区 (2692.94~5601.09万吨)、中排区 (5601.09~8483.39万吨)、较高排区 (8483.39~14053.01万吨)和高排区 (14053.01~25354.45万吨)五类 (见表1), 重点分析省域建筑业碳排放空间分异规律, 有效识别建筑业碳排放重点控制区域。

由图1可知, 各省域建筑业碳排放在整体上呈逐年波动上升趋势, 且空间分异特征较为明显。由表1可以看出我国各省域建筑业碳排放具体变动规律。具体变动规律包括如下几个方面:

(1) 在研究期内, 建筑业碳排放高值区主要集中在环渤海地区 (鲁、冀) 以及东部与南部沿海的部分地区 (苏、浙、粤); 建筑业碳排放低值区主要集中在西北部地区 (青、宁) 以及海南省。

表1 2007~2016年省域建筑业碳排放量区域划分

自然断点法分区	2007	2010	2013	2016
低排区	青、琼、宁	青、琼、宁、贵	青、琼、宁	青、琼、宁、吉
较低排区	陕、甘、新、渝、滇、赣、桂、津、贵	陕、甘、新、渝、滇、赣、桂、津、京、吉、皖、	陕、甘、渝、滇、赣、桂、津、京、吉、贵、黑、	陕、甘、渝、滇、赣、桂、津、京、贵、黑
中排区	川、鄂、湘、闽、京、黑、皖、吉	川、鄂、湘、闽、黑、晋、蒙、沪	鄂、湘、闽、晋、新、沪	鄂、湘、闽、晋、新、沪、蒙、川、皖
较高排区	豫、辽、蒙、晋、沪	豫、辽、浙、粤、	豫、辽、浙、粤、川、蒙	豫、辽、浙、粤、冀
高排区	冀、鲁、苏、浙、粤	冀、鲁、苏	冀、鲁、苏	鲁、苏

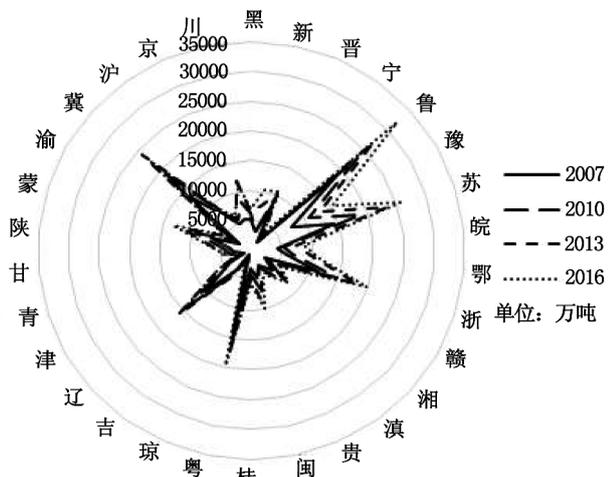


图1 建筑业碳排放量分布

(2) 各省域建筑业碳排放在不同碳排区之间过渡都是逐步进行的, 没有跳跃式的变动。

(3) 各研究截面上, 碳排放区域内部变异较为明显, 需要重点关注高排放区和较高排放区的内部变异规律。其中, 2016年与2007年相比, 高排区省域由鲁、苏、冀、浙、粤降为鲁、苏, 但较高排区新增冀、浙、粤省域。青、宁、琼一直处于建筑业低排区范围之内。

### 3.2 省域建筑业碳排放时空演变特征分析

为了直观展现省域建筑业碳排放时空演变规律, 在GIS中利用地理统计分析中的趋势分析工具对省域建筑业碳排放全局变化趋势进行三维透视分析, 生成省域建筑业碳排放2007、2012和2016年的趋势变化图, 其中Z轴代表省域建筑业碳排放量, X、Y轴分别表示正东、正北方

向, 分析结果如图2所示。

由图2可以得出:

(1) 建筑业碳排放量在X轴方向呈现出“S”型曲线, 在Y轴方向呈现出“倒U型”曲线, 表明省域建筑业碳排放东西方向的空间分异程度大于南北方向。

(2) 随着时间的推移, 省域建筑业碳排放量在X轴方向由一条稍被拉平的“S”型曲线逐渐演变为明显的“S”形曲线, 在Y轴方向上由稍被拉平的“倒U型”曲线演变为明显的“倒U型”曲线。表明中国省域建筑业碳排放总体均呈现东部>中部>西部的趋势, 预计中国省域建筑业碳排放在未来一个时期内空间分异的趋势将逐渐减弱。

## 4 省域建筑业碳排放空间分异驱动因素分析

### 4.1 驱动因素选取

由于我国正处于工业化、城市化快速发展阶段, 以建筑业为典型代表的工业发展具有高能耗、高碳排放的特征, 城市化进程中城市居民的增加导致住房刚性需求增加, 并且人口由农村向城镇迁移的动态过程更能有效解释建筑业碳排放的波动规律(赵领娣, 2018)。另外, 各地区经济发展水平、能耗水平以及能耗强度、环境规制强度不同仍会导致建筑业碳排放存在区域差异性。因此, 本文在借鉴已有关于建筑业碳排放驱动因素研究的基础上, 结合建筑业行业本身特点, 并引入政府执行环境规制的力度, 最终选取城市化水平、经济发展水平和工业化水平等作为影响建筑业碳排放空间分异的6项驱动

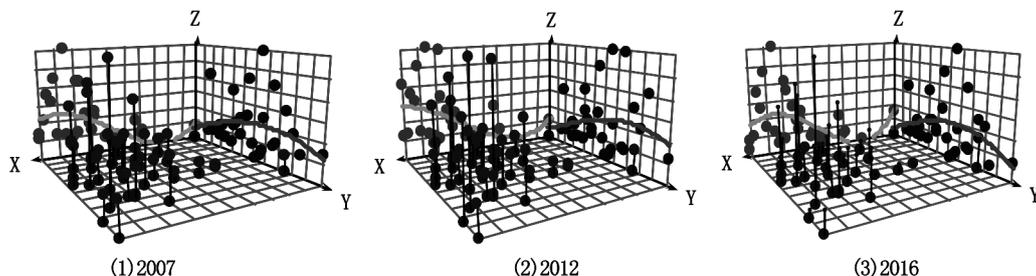


图2 省域建筑业碳排放量趋势分析

因素(见表2)。数据来源于《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》和《中国建筑业统计年鉴》。

#### 4.2 单个驱动因素的作用强度分析

本文结合前文关于地理探测器的相关理论模型介绍, 并利用GeoDetector软件对影响建筑业碳排放空间分异的驱动因素进行探测分析, 其探测结果如图3所示。由于地理探测器方法是基于截面数据进行分析的, 在篇幅有限的条件下为了尽可能保证建筑业碳排放空间分异驱动因素探测的全面性, 本文以2007年作为初始年份, 平均每3年选取研究截面, 最终选择2007年、2010年、2013年和2016年数据进行建筑业碳排放空间分异驱动因素的地理探测分析。图3呈现了建筑业碳排放空间分异驱动因素的变化特征。其特征如下:

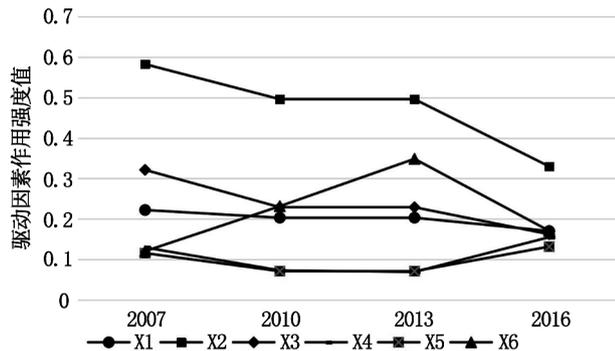


图3 各驱动因素对省域建筑业碳排放空间分异作用强度值对比

(1) 总体上来看, 不同时期造成建筑业碳排放空间分异驱动因素的作用强度值变化明显, 且各驱动因素作用强度值的差距逐渐变小。

(2) 从各驱动因素来看, 城市化、工业化、经济发展水平对建筑业碳排放空间分异的作用强度呈波动递减趋势, 但经济发展水平对建筑业碳排放空间分异的作用强度仍居于所有因素之上。

根据“虹吸效应”原理, 经济发展水平高的地区能够促进产业在本地的集聚, 并带动建筑业等相关产业的加速发展, 建筑业作为高耗能行业之一, 其对碳排放的贡献较大。因此, 经济发展水平与建筑业碳排放紧密相

关。政府在建筑业上的环保支出在2007~2013年间呈直线上升趋势, 到2016年虽然有所下降, 但对建筑业碳排放空间分异的驱动强度成为仅次于经济发展水平的第二大影响因素, 这说明充分利用政府“有形的手”均衡资源配置、制定碳减排政策变得日益重要。此外, 能源强度、能耗水平对建筑业碳排放空间分异的作用强度比较平稳且相对较低。根据地理探测器的核心思想, 当解释变量与被解释变量在空间分布状态上有较强的吻合度时, 解释变量对被解释变量在空间分异的作用强度就越大。能源强度、能耗水平对建筑业碳排放空间分异作用强度相对较低的原因主要是能源强度与建筑业碳排放水平不匹配。浙、沪、粤地区建筑业碳排放一直处于较高值区, 但其建筑业消耗能源强度较低, 而青、甘、宁等建筑业生产总值和能源消耗总量在全国范围内相对滞后, 但其能源强度水平相对较高。

#### 4.3 关键驱动因素的交互作用分析

利用地理探测器对驱动省域建筑业碳排放空间分异的6个指标进行两两交互探测, 结果表明, 所有交互因子对建筑业碳排放空间分异的作用强度都呈增强趋势(见表3)。其中, 2007年经济发展水平和工业化交互影响力达到0.850, 经济发展水平和能源强度交互强度高达0.869, 这表明包含经济发展水平的关键交互因子对建筑业碳排放空间分异具有双重空间叠加交互效应。2016年, 经济发展水平与城市化、能源强度、能耗水平的交互作用达到0.615、0.711、0.665, 环保支出与城市化、经济发展水平、工业化的交互作用达到0.663、0.625、0.758, 这说明包含经济发展水平和环保支出的关键交互因子对建筑业碳排放空间分异具有重要的多重空间叠加交互效应。

### 5 结论与建议

本文对省域建筑业碳排放空间分异特征进行模拟和估计, 识别该变化特征的主导驱动因素, 并探索主导驱动因素的多重叠加交互效应。结果表明:

(1) 省域建筑业碳排放区域内部变异较为明显, 东

表2 省域建筑业碳排放量空间分异驱动因素

影响因素	变量(单位)	定义
城市化水平	X <sub>1</sub> (%)	城市人口占总人口的比重
经济发展水平	X <sub>2</sub> (元/人)	地区生产总值与地区常住人口的比值
工业化水平	X <sub>3</sub> (%)	工业总产值占地区生产总值的比重
能源强度	X <sub>4</sub> (吨标准煤/万元)	能源消耗量与地区生产总值的比值
能耗水平	X <sub>5</sub> (吨/平方米)	建筑业碳排放量与建筑业施工面积的比值
环保支出	X <sub>6</sub> (亿元)	用于建筑业环保方面的财政支出, 即政府在环保方面的财政支出*(建筑业增加值/地区生产总值)

表3 建筑业碳排放空间分异驱动力交互探测

2007年				2016年			
两因子交互	交互值	值对比	交互结果	两因子交互	交互值	值对比	交互结果
$X_1 \cap X_2$	0.744	$> \max(X_1, X_2)$	双因子增强	$X_1 \cap X_2$	0.615	$> X_1 + X_2$	非线性增强
$X_1 \cap X_3$	0.640	$> X_1 + X_3$	非线性增强	$X_1 \cap X_3$	0.381	$> \max(X_1, X_3)$	双因子增强
$X_1 \cap X_4$	0.800	$> X_1 + X_4$	非线性增强	$X_1 \cap X_4$	0.508	$> X_1 + X_4$	非线性增强
$X_1 \cap X_5$	0.706	$> X_1 + X_5$	非线性增强	$X_1 \cap X_5$	0.481	$> X_1 + X_5$	非线性增强
$X_1 \cap X_6$	0.627	$> X_1 + X_6$	非线性增强	$X_1 \cap X_6$	0.663	$> X_1 + X_6$	非线性增强
$X_2 \cap X_3$	0.850	$> \max(X_2, X_3)$	双因子增强	$X_2 \cap X_3$	0.551	$> X_2 + X_3$	非线性增强
$X_2 \cap X_4$	0.869	$> X_2 + X_4$	非线性增强	$X_2 \cap X_4$	0.711	$> X_2 + X_4$	非线性增强
$X_2 \cap X_5$	0.782	$> X_2 + X_5$	非线性增强	$X_2 \cap X_5$	0.665	$> X_2 + X_5$	非线性增强
$X_2 \cap X_6$	0.730	$> \max(X_2, X_6)$	双因子增强	$X_2 \cap X_6$	0.625	$> X_2 + X_6$	非线性增强
$X_3 \cap X_4$	0.622	$> X_3 + X_4$	非线性增强	$X_3 \cap X_4$	0.488	$> X_3 + X_4$	非线性增强
$X_3 \cap X_5$	0.924	$> X_3 + X_5$	非线性增强	$X_3 \cap X_5$	0.407	$> X_3 + X_5$	非线性增强
$X_3 \cap X_6$	0.719	$> X_3 + X_6$	非线性增强	$X_3 \cap X_6$	0.758	$> X_3 + X_6$	非线性增强
$X_4 \cap X_5$	0.409	$> X_4 + X_5$	非线性增强	$X_4 \cap X_5$	0.450	$> X_4 + X_5$	非线性增强
$X_4 \cap X_6$	0.757	$> X_4 + X_6$	非线性增强	$X_4 \cap X_6$	0.562	$> X_4 + X_6$	非线性增强
$X_5 \cap X_6$	0.388	$> X_5 + X_6$	非线性增强	$X_5 \cap X_6$	0.131	$> X_5 + X_6$	非线性增强

注: ① 设交互后驱动力为 $q(X_1 \cap X_2)$ , 若 $q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$ , 为非线性减弱; 若 $\min(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), q(X_2))$ , 为单因子非线性减弱; 若 $q(X_1 \cap X_2) > \max(q(X_1), q(X_2))$ , 为双因子增强; 若 $q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$ , 两因子独立; 若 $q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$ , 为非线性增强。

西方向的空间分异程度大于南北方向, 且总体均呈现东部>中部>西部的趋势。冀、鲁、苏、浙、粤的建筑业碳排放量稳居全国其他省份之上, 青、宁、琼的建筑业碳排放长期居于低值区。

(2) 经济发展水平一直是影响建筑业碳排放空间分异的重要因素, 且政府在建筑业的环保支出成为建筑业碳排放空间分异不可忽略的外部因素, 以经济发展水平和环保支出为核心的关键交互因素对省域建筑业碳排放空间分异特征具有多重叠加交互效应。

由于我国建筑业碳排放存在较大的空间分异性, 因此, 建筑业碳减排应该结合本地建筑业发展实际情况, 制定“共同但有区别”的对策建议:

首先, 应该充分发挥政府“有形的手”对区域间建筑业协同减排的作用, 加大建筑业环保方面的投入, 健全建筑节能环保法律法规, 通过适当的财税政策激励建筑业低碳发展, 使经济发展与政府调控二者相结合对建筑业碳减排的作用发挥到最大。其次, 建立建筑业碳减排重点控制区, 重点关注高排区和较高排区建筑业碳排放的内部变化规律, 对于冀、鲁、苏、浙、粤等建筑业碳排放大省, 应该将其列入重点控制区范围之内。最后, 建筑业企业应该优化建筑业能源消费结构, 改变长期以来以煤炭、石油、天然气等为主的能源消费, 应该增加清洁能

源的利用比重, 转变高能耗、高碳排放的粗放型发展模式, 提高能源利用效率, 积极推进被动式超低能耗绿色建筑的发展。▲

## 参考文献

- [1] 尹上岗, 李在军, 宋伟轩, 等. 基于地理探测器的南京市住宅租金空间分异格局及驱动因素研究[J]. 地球信息科学学报, 2018(8): 1139-1149.
- [2] 王凤, 刘艳芳, 孔雪松, 等. 中国县域粮食产量时空演变及影响因素变化[J]. 经济地理, 2018(5): 142-151.
- [3] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017(1): 116-134.
- [4] 赵领娣, 吴栋. 中国能源供给侧碳排放核算与空间分异格局[J]. 中国人口·资源与环境, 2018(2): 48-58.
- [5] 刘艳军, 于会胜, 刘德刚, 等. 东北地区建设用地开发强度格局演变的空间分异机制[J]. 地理学报, 2018(5): 818-831.
- [6] 李进涛, 刘彦随, 杨园园, 等. 1985~2015年京津冀地区城市建设用地时空演变特征及驱动因素研究[J]. 地理研究, 2018(1): 37-52.
- [7] 张瀚文. 中国各省市建筑业碳排放与行业经济增长相关性研究[D]. 大连: 东北财经大学, 2017.