

# 浙江省县域尺度生态效率的 时空分异及影响因素

邱立新 周家萌<sup>1</sup>

(青岛科技大学 经济与管理学院, 山东 青岛 266061)

**【摘要】:**新常态下资源环境消耗型经济增长模式难以为继,提高生态效率成为经济高质量发展的必然选择。文章构建考虑温室效应与雾霾污染的生态效率评价指标体系,运用非期望产出 Super-SBM、ESDA 和 GWR 模型,对 2010–2018 年浙江省 69 个县域生态效率进行“定量测度—时空演化—空间集聚—因素剖析”的综合研究。结果显示:研究期内浙江省生态效率的总体水平不高且进程相对缓慢,2010–2016 年呈“N”字形波动徘徊态势,2016 年之后相对稳定且趋于上升;省内生态效率空间分布具有明显的“马太效应”,高值区主要集中在浙江大湾区经济带,低值区以面状分布于浙北边界地带、浙西南和台州北部;空间集聚的强度呈“V”字形变迁,形成以绍兴县、宁波市区和台州市区为核心的三级热点格局,以景宁县等为核心的冷点连绵区域;生态效率受科技创新、财政分权、金融集聚、贸易开放和人口密度等因素影响,影响强度呈空间分异特征。据此提出合理调控不同县域发展要素、实施差异化地区发展策略的对策建议。

**【关键词】:**生态效率 影响因素 时空分异 GWR 浙江省

**【中图分类号】:** F127; F205 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1007-5097 (2020) 10-0011-10

## 一、引言

我国经济已经进入高质量发展新阶段,保护“绿水青山”是高质量发展的重要内涵和应有之义。片面追逐 GDP 行为所导致的生态环境破坏局面尚难以在短时期内得到根本扭转,大气污染、水污染、土地重金属污染等现象依然时有发生,生态环境问题成为经济高质量发展阶段的突出短板和全面建成小康社会路上的绊脚石,我国经济转型亟待进一步“绿色化”。浙江省是全国生态文明建设的排头兵和示范者,一方面,作为“两山”理论的萌发地,浙江省以更深的理解、更高的要求学习贯彻习近平总书记关于生态文明建设的重要思想,十几年来绿色发展成效显著;另一方面,作为长江经济带“龙头”的两翼之一和海上丝绸之路的起点之一,浙江省在推动长江经济带和海洋绿色发展进程中发挥重要引领作用。因此,量化浙江省资源要素利用效率、协调其经济发展与生态环境间关系,符合国家战略需求,对推进浙江省、长江经济带乃至全国的生态文明建设,加快经济、资源与环境协同高效发展,具有重要的指导和借鉴意义。

生态效率兼顾社会经济发展与资源环境保护,是衡量经济—资源—环境复合系统协调程度和可持续发展水平的重要指标。《中国 21 世纪议程》一书中指出,生态效率这一概念是在 1990 年由德国学者提出,后经世界可持续发展商业理事会(WBCSD)和经合组织(OECD)等延伸推广,成为一个极具政策意义的环境绩效测度工具。生态效率指经济体的资源消耗、环境负荷与产

<sup>1</sup>**作者简介:** 邱立新(1967–),女,山东济宁人,教授,博士生导师,博士,研究方向:低碳经济,能源政策。周家萌(1994–),女(回族),山东聊城人,硕士研究生,研究方向:能源环境分析与评价。

**基金项目:** 国家社会科学基金面上项目“基于动态 KAYA 模型的城市低碳化转型发展的政策模拟与路径选择研究”(14BJY018);山东省科技厅重点研发计划“城市能源—经济—环境(3E)大数据平台规划与设计”(2019GGX105014)。

出价值的比值,核心思想为“产多耗少”,即以更少的资源、环境成本获得更多的产品和服务,体现可持续发展在经济生产全过程中的重要地位。目前国内外学者对于生态效率的研究集中于以下方面:(1)生态效率评价指标构建。评价指标主要涉及经济价值、资源消耗和环境污染三个层面。在经济价值层面,地区 GDP 是应用最为广泛的指标<sup>[1-2]</sup>,也有学者应用工业增加值<sup>[3]</sup>、政府财政预算收入<sup>[4]</sup>和基本商品输出价格<sup>[5]</sup>等指标;在资源消耗层面,多数学者从劳动、资本、能源和土地等维度选取代表性指标,例如,Chen 等<sup>[6]</sup>利用就业人数、固定资产投资和能源消费总量代表资源消耗,罗能生等<sup>[7]</sup>将就业人数、固定资产投资、建成区面积和城市用电量作为资源消耗指标,刘阳等<sup>[8]</sup>将技术投入要素纳入资源消耗层,进一步丰富了资源投入体系;在环境污染层面,学者们普遍以“工业三废”来量化环境污染情况,杨斌<sup>[9]</sup>、韩永辉等<sup>[10]</sup>均选取废水、SO<sub>2</sub>、烟尘、工业粉尘、工业固体废物排放作为环境污染指标对中国区域生态效率进行评价。(2)生态效率测度方法。最常用的测度方法为数据包络分析法(DEA),该方法通过内生最优权重,有效避免了经济—环境比值法主观设权问题。传统径向、角度 DEA 模型(如 CCR、BCC)必须遵循投入或产出相同比例改进原则,估算结果可能存在偏差。非径向、非角度的 SBM 模型克服了传统 DEA 模型对测量结果可靠性的影响,Lozano 等<sup>[11]</sup>、胡彪等<sup>[12]</sup>、李健等<sup>[13]</sup>都采用 SBM 模型来测算生态效率。(3)生态效率应用实践。区域生态效率仍是我国学者研究的热点视角,近年来出现从国家、省域、市域尺度转向城市群尺度的趋势,付丽娜等<sup>[14]</sup>、汪克亮等<sup>[15]</sup>、张新林等<sup>[16]</sup>、郭付友等<sup>[17]</sup>分别对长株潭城市群、京津冀城市群、长三角城市群、山东半岛城市群进行了长时间序列的生态效率测度以揭示城市群发展内质的不均匀性。在区域生态效率影响因素的研究中,Chen 等<sup>[6]</sup>运用空间杜宾模型探讨了环境规制、贸易开放、城镇化水平、企业所有制结构和技术创新等因素对中国区域生态效率的影响,罗能生等<sup>[7]</sup>探讨高铁网络对城市生态效率的影响,发现高铁网络在一定程度上加剧了城市生态效率不协调、不平衡发展的局面,其对中心城市产生正效应,对欠发达地区产生负效应。此外,Anselin 等(1998)<sup>[18]</sup>指出,忽视空间地理关联因素会使估计结果有所偏差,越来越多的学者利用莫兰指数(Moran, sI)等方法验证出区域生态效率存在显著的空间依存与集聚特征<sup>[3,19]</sup>。更有少数学者将空间效应研究从“时空格局”深入到“影响机理”,郭付友等<sup>[17]</sup>通过空间计量回归分析发现经济发展水平、产业结构、外商投资等因素对山东省产业生态化产生明显的负向溢出效应,而政府调控和环境规制等因素正向溢出效应突出。卢燕群等<sup>[20]</sup>通过空间计量分析发现产业集聚对相邻地区工业生态效率的影响呈现先抑制后提升的正“U”型关系。

现有文献提供了丰富洞见,但仍存在以下局限:一是环境污染指标大多基于传统污染物视角,很少有人从温室效应、雾霾污染视角出发,生态效率指标体系有待丰富创新;二是区域研究对象侧重于大尺度宏观层面,鲜有县域尺度微观层次更为细致的研究;三是影响因素研究主要基于空间均质性假设,未能充分考虑不同地区生态效率形成的特殊性,空间异质性的探究不足。基于此,本文以浙江省县域作为研究对象,首先,将大气 CO<sub>2</sub>浓度、PM<sub>2.5</sub>浓度纳入生态效率评价之中,构建考虑非期望产出的县域生态效率指标体系;其次,运用考虑非期望产出的 Super-SBM 模型定量测度 2010-2018 年浙江省县域生态效率水平值,运用空间自相关(ESDA)方法揭示 2010 年以来浙江县域尺度生态效率时空演化规律;最后,运用地理加权回归模型(GWR)剖析生态效率演化的影响因素及区域差异,以期对浙江省经济可持续发展提供理论参考及实践指导。

## 二、研究设计

### (一) 研究对象

浙江省按区域划分为浙东(绍兴市、宁波市、舟山市)、浙西(衢州市)、浙中(金华市)、浙南(温州市、台州市、丽水市)和浙北(杭州市、嘉兴市、湖州市)。2010-2018 年,浙江省由于“撤县设区”政策,部分行政区划出现调整。为了保证研究时序可比和数据来源稳定,本文统一以 2010 年的行政区划为标准,将地级市辖区合并归入市区,2010 年之后转变为“区”的部分县市依然按照县级行政区划进行处理,具体包括富阳市代表富阳区、临安市代表临安区、奉化市代表奉化区、洞头县代表洞头区、绍兴县代表柯桥区、上虞市代表上虞区、玉环县代表玉环市,最终确定 69 个县级行政单元作为研究对象。

### (二) 研究方法

#### 1. 基于非期望产出的 Super-SBM 模型

与传统的数据包络模型（DEA）相比，考虑非期望产出的 SBM 模型既能够有效解决投入产出松弛性的问题<sup>[21]</sup>，又兼顾了负外部效益等非期望产出因素的影响，效率测度结果更贴近实际情况。为了进一步区分处于生产前沿面的 DMU 之间的效率差异，本文采用 Tone (2012)<sup>[22]</sup>提出的考虑非期望产出的 Super-SBM 模型进行生态效率测算。模型构建如下：

$$\min \rho = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\bar{x}/x_{ik})}{\frac{1}{r_1 + r_2} \left[ \sum_{s=1}^{r_1} (\bar{y}^d/y_{sk}^d) + \sum_{q=1}^{r_2} (\bar{y}^u/y_{qk}^u) \right]} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1, \neq k}^n x_{ij} \lambda_j, i = 1, 2, \dots, m \\ \bar{y}^d \leq \sum_{j=1, \neq k}^n y_{sj}^d \lambda_j, s = 1, 2, \dots, r_1 \\ \bar{y}^u \geq \sum_{j=1, \neq k}^n y_{qj}^u \lambda_j, q = 1, 2, \dots, r_2 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ \bar{x} \geq x_k, k = 1, 2, \dots, m \\ \bar{y}^d \leq y_k^d, q = 1, 2, \dots, r_1 \\ \bar{y}^u \geq y_k^u, u = 1, 2, \dots, r_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中，n 代表决策单元个数；m、r<sub>1</sub> 和 r<sub>2</sub> 分别代表投入、期望产出和非期望产出；x、y<sup>d</sup>、y<sup>u</sup> 分别为投入矩阵、期望产出矩阵和非期望产出矩阵中的元素；ρ 表示生态效率值。

## 2. 地理加权回归分析

地理加权回归模型（GWR）是对每一个观测单元进行局部回归，可以更好地体现变量之间的空间依赖性和空间异质性。本文利用地理加权回归模型（GWR）考察生态效率影响因素的空间变化规律，模型构建如下：

$$\begin{aligned} d\_ae_i = & \beta_0(u_i, \theta_i) + \beta_1(u_i, \theta_i) d\_od_i + \\ & \beta_2(u_i, \theta_i) d\_fd_i + \beta_3(u_i, \theta_i) d\_fa_i + \\ & \beta_4(u_i, \theta_i) d\_st_i + \beta_5(u_i, \theta_i) d\_pd_i + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (3)$$

其中，d<sub>aei</sub> 为 i 县域的生态效率；d<sub>od</sub>、d<sub>fd</sub>、d<sub>fa</sub>、d<sub>st</sub> 和 d<sub>pd</sub> 分别为 i 县域的贸易开放度、财政分权、金融集聚、科技创新和人口密度；β<sub>i</sub>(u<sub>i</sub>, θ<sub>i</sub>) 分别为五个解释变量的空间权重函数，i=1, 2, 3, 4, 5；ε<sub>i</sub> 代表残差项。

## 3. 空间计量模型

在考察生态效率影响因素空间分异特征的基础上，本文进一步采用空间面板模型对生态效率影响因素的回归结果进行了稳健性检验。借鉴 STIR-PAT 模型构建对数形式的时间效应模型和空间效应模型，采用林光平等<sup>[23]</sup>提出的经济空间权重矩阵确定空间权重。模型构建如下：

$$\begin{aligned} \ln ae_{i,t} &= \beta_0 + \beta_1 \ln od_{i,t} + \beta_2 \ln fd_{i,t} + \beta_3 \ln fa_{i,t} + \\ &\quad \beta_4 \ln st_{i,t} + \beta_5 \ln pd_{i,t} + \varepsilon_{i,t} + \omega_i \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \ln ae_{i,t} &= \beta_0 + \rho \omega \ln ae_{i,t} + \beta_1 \ln od_{i,t} + \beta_2 \ln fd_{i,t} + \\ &\quad \beta_3 \ln fa_{i,t} + \beta_4 \ln st_{i,t} + \beta_5 \ln pd_{i,t} + \\ &\quad \beta_6 \omega \ln od_{i,t} + \beta_7 \omega \ln fd_{i,t} + \beta_7 \omega \ln fa_{i,t} + \\ &\quad \beta_7 \omega \ln st_{i,t} + \beta_7 \omega \ln pd_{i,t} + \mu_{i,t} + \lambda \omega \varepsilon_{i,t} \end{aligned} \quad (5)$$

式（4）为生态效率时间效应模型， $\varepsilon_{i,t}$ 表示个体固定效应。式（5）为生态效率的空间效应模型， $\omega \ln ae_{i,t}$ 为空间项； $\rho$ 反映地区生态效率空间影响程度，其中当 $\rho$ 显著为正时，表明不同地区生态效率呈显著正向空间溢出效应，反之则为负向空间溢出效应； $\omega$ 为经济空间权重矩阵； $\omega \varepsilon_{i,t}$ 为误差空间项； $\lambda$ 为其弹性系数； $\mu_{i,t}$ 为个体和时间的固定效应。

### （三）指标选取与数据来源

生态效率强调以更少的资源消耗和环境污染获得更大的经济产出和生态保护。为体现生态效率内涵，本文从投入（资源消耗）、期望产出（经济价值和环境保护）与非期望产出（环境污染）三个层面出发，构建基于遥感卫星反演数据和社会经济统计数据的浙江省县域生态效率评价指标体系，见表1所列。参考现有文献，投入指标除了选择常见的人力、资本、能源和土地指标外，本文还重点考虑能够干预调动各类资源价值量、对生态效率起积极调控作用的政府环保财政支出作为环保投入变量；期望产出包括经济产出和环境产出两类指标，增加植被覆盖能够带来保护土壤、调节气候等间接环境收益，本文借鉴钟成林等<sup>[24]</sup>的研究成果，将GDP和建成区绿化覆盖面积共同纳入期望产出；非期望产出主要指环境污染，本文选取大气CO<sub>2</sub>浓度与PM<sub>2.5</sub>浓度2项指标衡量。

表1 浙江省县域生态效率评价指标体系

| 指标类型 | 一级指标  | 二级指标                                      |
|------|-------|-------------------------------------------|
| 投入指标 | 资本投入  | 全社会固定资产投资                                 |
|      | 人力投入  | 全社会从业人员                                   |
|      | 能源投入  | 全社会用电量                                    |
|      | 土地投入  | 建成区面积                                     |
|      | 环保投入  | 地方环保财政支出                                  |
| 产出指标 | 期望产出  | GDP、建成区绿化覆盖面积                             |
|      | 非期望产出 | 大气CO <sub>2</sub> 浓度、PM <sub>2.5</sub> 浓度 |

经济、社会领域数据来源于《浙江省统计年鉴》、各县（市）历年《国民经济和社会发展统计公报》，个别缺失数据利用插值法补齐。非期望产出中的大气CO<sub>2</sub>浓度数据来自GOSAT官方网站(<http://www.gosat.nies.go.jp>)提供的L3柱深度产品(V02.75版本)，经过几何校正、栅格转点、克里金插值等处理后得到栅格数据集，空间分辨率为2.5°×2.5°；PM<sub>2.5</sub>数据来源于大气成分分析组织(ACAG)提供的基于MODIS、MISR等遥感数据反演得到的栅格数据集，空间分辨率为0.01°×0.01°。

## 三、结果与分析

### （一）生态效率时间演化分析

基于非期望产出的 Super-SBM 模型，运用 MaxDEA 专业版软件测算出 2010-2018 年浙江省县域尺度的生态效率值，并绘制 9 年间的生态效率时间变动趋势图，如图 1 所示。从全省县域平均水平看，浙江省在研究期内的生态效率为 $[0.5226, 0.6128]$ ，总体水平不高且进程相对缓慢。具体分阶段分析，2010-2016 年为“N”字形波动徘徊期，即浙江省生态效率在“十二五”前期稳步增长并于 2013 年达到第一个高峰，之后出现显著回落，又于 2016 年重新上升至第二个高峰。究其原因，“十八大”将生态文明建设上升到战略地位，浙江省顺势作出全面建设“美丽浙江”的决策，2013 年浙江生态省建设卓有成效。然而进入经济发展新常态之后，浙江省的经济发展速度降低、经济发展动力转换，2014 年浙江省的 GDP 增速下降到 7.6%，创了十年来的最低纪录，经济发展动力转换、资源环境生态约束趋紧，经济转型致使 2014 年和 2015 年的资源环境生态约束愈加紧张，2014 年和 2015 年的大气环境效率明显下降。2016 年浙江省生态效率出现较大幅度的升高，这不仅与对新常态的适应和调整有关，更得益于 G20 峰会之前和期间浙江省贯彻绿色发展理念、加大生态环境整治力度的行动落实。2016-2018 年为平缓上升期，浙江省生态效率相对稳定且趋于上升。进入“十三五”之后，浙江省经济结构已经由传统的工业化经济逐渐调整为现代服务型、创新型、数字经济，因此浙江省能以较少的资源投入获取较高的经济产出，保持了生态效率的向好态势。从不同行政区类型看，市辖区 $[0.6761, 0.7811]$ 、县级市 $[0.5586, 0.6793]$ 和县 $[0.4306, 0.5461]$ 的生态效率呈梯度递减，并且均与全省平均生态效率的变动趋势基本保持一致。其中，市辖区在集聚高端生产要素、发挥规模经济效应和污染治理投资等方面具有相对优势，其生态效率远高于全省平均水平；县级市和县在大力推进工业化与城镇化过程中往往容易忽视环境保护，但是县级市的发展重点更侧重城市，其生态效率略高于全省；县的职能重点更侧重乡村，其生态效率尚低于全省平均水平，说明县仍以粗放型经济发展方式为主，环境污染较为严重。

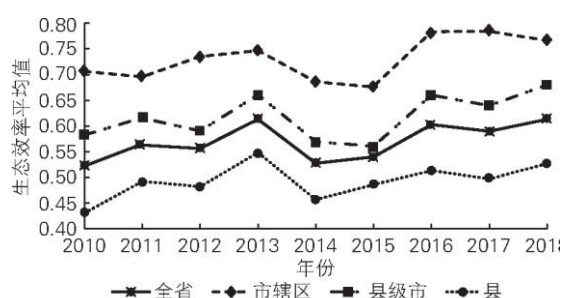


图 1 2010-2018 年浙江省县域生态效率时间变动趋势

## （二）生态效率空间异质分析

### 1. 空间格局总体特征

运用 ArcGIS10.6 软件中的自然间断点分级法 (Jenks)，将浙江省县域生态效率从低至高划分为四个等级，并选取 2010 年和 2018 年进行可视化，如图 2 所示。从宏观层面来看，全省生态效率高值区域分布与浙江大湾区经济带“一环一带一通道”的规划格局基本吻合，即环杭州湾经济区南部、甬台温临港产业带和义甬舟开放大通道的大部分区域占据绿色发展高地，显示科技创新能级提升、产城深度融合及重点湾区协同推进等多项因素共振作用推动区域高质量发展的态势；全省生态效率低值区域数量较多，并且以面状集中分布于浙北边界地带、浙西南和台州北部，浙江省生态效率空间分布呈现明显的“马太效应”。从微观层面来看，杭州市区、奉化市、象山县、义乌市、台州市区、乐清市和温州市区共 7 个县域的生态效率稳定保持在最高水平，其中，义乌市孤军深入浙江省内陆，有利于对西部、南部县域发挥正向空间溢出效应；而嘉善县、海盐县、常山县、龙游县、遂昌县、云和县、庆元县和泰顺县共 8 个县域始终处于最低水平，应予以高度重视。值得一提的是，相较于 2010 年，2018 年浙东地区的余姚市、上虞市、绍兴县、嵊泗县、舟山市区和宁海县均提升至副高水平，宁波市区、慈溪市和嵊州市提升至最高水平，整个区域都展现出集中连片的良好状态，居于全省领先地位。需要注意的是，以嘉善县、海盐县等为代表的嘉兴市经济地理位置优越，生态环境短板却尤为突出，说明其经济发展与生态环境耦合度亟待提高。

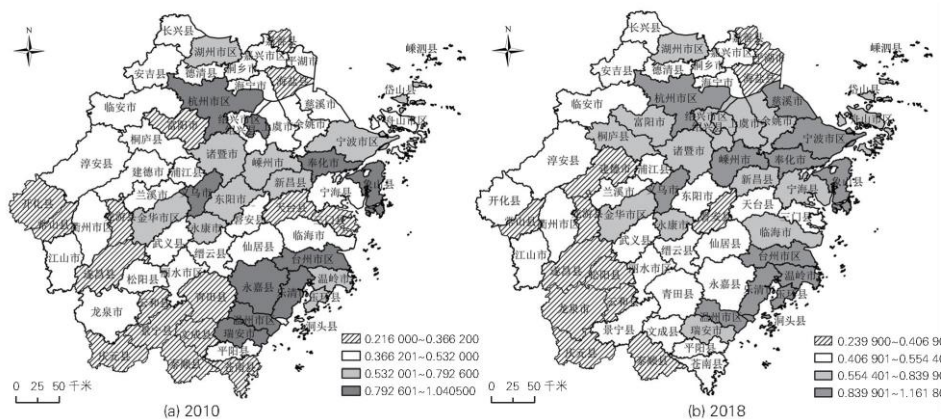


图 2 浙江省县域生态效率空间分异格局

注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS (2016) 2556 号的标准地图制作，底图无修改。下同。

## 2. 空间自相关分析

为了探讨生态效率在浙江省县域的空间关联关系，采用 ArcGIS10.6 软件中的空间自相关统计工具计算 2010–2018 年生态效率的全局空间自相关 Moran. sI 指数，结果见表 2 所列。2010–2018 年生态效率的全局 Moran. sI 指数都为正值，且除了 2013 年外均通过 10% 的显著性检验，这表明研究期内浙江省各县域的生态经济发展在空间上并不独立，存在明显的空间集聚分布特征；全局 Moran. sI 指数整体上呈“V”字形发展态势，2010–2013 年空间集聚程度不断减弱，2013–2018 年空间集聚态势又逐渐增强，2013 年的空间自相关指数跌到谷底且未通过检验，可能由于该年浙江省生态效率发展水平整体得到提高，县域之间效率差异落到最小，故效率值在空间上的集聚特征相对不再明显。

表 2 2010–2018 年浙江省县域生态效率全局 Moran. sI 统计量

| 年份        | 2010    | 2011    | 2012    | 2013    | 2014    | 2015    | 2016    | 2017    | 2018    |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Moran' sI | 0. 3097 | 0. 3278 | 0. 2719 | 0. 1512 | 0. 1687 | 0. 2375 | 0. 4250 | 0. 3216 | 0. 5085 |
| Z         | 3. 1956 | 3. 3723 | 2. 8170 | 1. 6228 | 1. 8084 | 2. 4898 | 4. 3033 | 3. 2975 | 5. 1156 |
| P         | 0. 0014 | 0. 0007 | 0. 0048 | 0. 1046 | 0. 0705 | 0. 0128 | 0. 0000 | 0. 0010 | 0. 0000 |

为了进一步探究浙江省县域生态效率的空间集聚效应及其演化规律，基于 ArcGIS10.6 软件中的热点分析统计工具计算 2010–2018 年生态效率的局部空间自相关 Getis-OrdGi\* 指数，识别具有统计显著性的冷点和热点，并选取 2010 年和 2018 年进行可视化。由图 3 可知，2010–2018 年热点区域全部分布在浙东北和浙东南的沿海区域，形成以绍兴县、宁波市区和台州市区为核心的三级热点格局，凸显出沿海地带在辐射带动生态环境发展中的重要作用；冷点区域主要集中在浙江省西南部的内陆腹地，形成以景宁县等为核心的冷点连绵区域，山地、丘陵地貌从地域空间上制约了该区域工业经济发展的速度和水平，致使经济发展水平整体滞后于生态文明建设，生态效率较低且呈现明显的低值空间集聚。从发展趋势来看，2018 年的热点县域总量比 2010 年减少 1 个，仅占全省的 16%，热点范围缩小不利于正向空间溢出效应的发挥。热点格局呈现向东跃迁趋势，其中，嵊州市、永嘉县和温州市区生态效率有所下降且对周边县域的影响逐渐减小，最终退出热点区；宁海县和象山县在宁波市区、奉化市的带动下，经济与环境发展趋向良好，加入热点区。绍兴县受到嵊州市退化的影响，热点集聚程度有所降低，而宁波市区、台州市区、玉环县和洞头县等热点区域置信度均从 95% 上升到 99%，生态效率集聚效应进一步加强。冷点县域总量从 2010 年的 1 个增

加至 2018 年的 8 个，冷点范围的扩散趋势明显。具体而言，2010 年全省只有景宁县一个冷点区，2018 年该区域低值集聚程度进一步升高，并且向北、向西成片蔓延，云和县、松阳县、丽水市区和龙泉市等毗邻县域都由不显著区进入冷点区，折射出西南边陲地区绿色经济发展处于瓶颈期，面临着难以实现内生性跨越式发展和难以接收东部先进地区外源性辐射的双重障碍，需要加大政策扶持力度以抑制冷点范围的持续扩大；嘉兴市区打破了东部沿海高值集聚的稳固状态，独自内生为冷点地带，揭示出该地区生态经济体系不合理，亟待寻找改善生态环境的突破口。

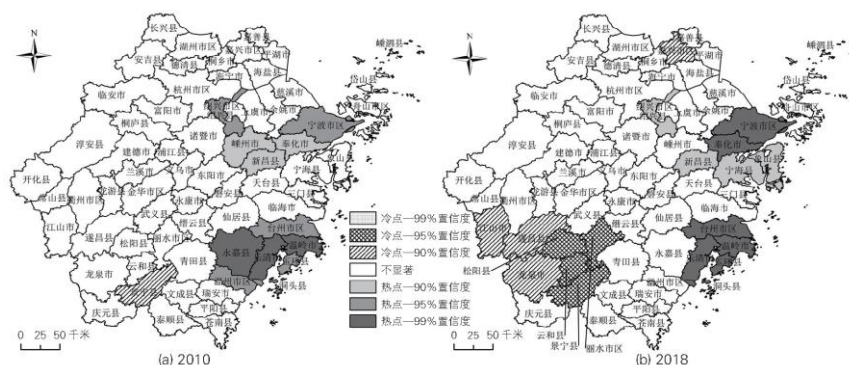


图 3 浙江省县域生态效率冷热点分异格局

### （三）生态效率影响因素分析

#### 1. 影响因素变量选择

生态效率的水平高低受制度、规模、技术和空间等多重因素影响，机制较为复杂。参考既有研究成果，考虑数据可获取性、可表征性，并通过共线性检测，本文选择从贸易开放度、财政分权、金融集聚、科技创新和人口密度 5 个维度探讨浙江县域生态效率的影响机理。(1)贸易开放度。贸易开放程度对生态环境的影响一直存在争议，Antweiler<sup>[25]</sup>认为进口贸易可以通过吸收国外先进技术和管理经验来改进国内贸易结构，提高能源环境效率，也有一些学者认为高消费和低附加值的贸易扩张只会进一步破坏生态环境。本文选择进出口总额占 GDP 的比重作为衡量贸易开放度的指标。(2)财政分权。在晋升激励体制下，地方政府往往更加注重经济增长而忽略环境质量改善<sup>[26]</sup>。财政分权指标以县级政府的财政收支比例表示。(3)金融集聚。金融集聚理论上可以有效促进绿色发展，本文参考庞庆华等人的研究成果<sup>[27]</sup>，以区位熵  $LQ_i$  表示金融集聚水平， $LQ_i = (X_i G_i) / (X G)$ ， $X_i$ 、 $X$  分别表示地区  $i$  和浙江省的金融机构各项存贷款余额， $G_i$ 、 $G$  分别表示地区  $i$  和浙江省的经济发展水平（GDP），金融集聚水平与  $LQ_i$  数值呈正相关。(4)科技创新。科技、人力等资源汇集可以为降低资源消耗和环境污染提供智力支撑，故选取地方政府科技和教育财政支出占地方财政支出的比重表征科技创新水平。(5)人口密度。人口集聚会对经济和环境带来双重影响，以年末总人口数与建成区面积的比值表示人口密度因素。

#### 2. 影响因素的空间分异规律

鉴于 GWR 模型只能采用截面数据，为了体现生态效率的变化，本文以每个影响因子的变动值（2018 年数据与 2010 年数据的差值）作为自变量，以生态效率的变动值（2018 年数据与 2010 年数据的差值）作为因变量，采用 AICc 的带宽方法构建 GWR 模型。结果显示，GWR 模型的  $R^2$ 、调整后  $R^2$  分别为 0.779 和 0.615，明显高于 OLS 模型的 0.441 和 0.396，并且 GWR 模型与 OLS 模型的 AICc 差值大于 3，(170.568)3 以上，可见 GWR 模型优于 OLS 模型。对 GWR 模型进行进一步检验，局部标准化残差（图 4a）均低于 2.5，残差莫兰指数为 -0.034， $p$  值为 0.852， $z$  值为 -0.187，残差在空间上完全随机分布，说明 GWR 模型可以较好地揭示浙江省生态效率影响因素的空间分布特征，影响因素回归系数估计的空间分布结果如图 4 所示。

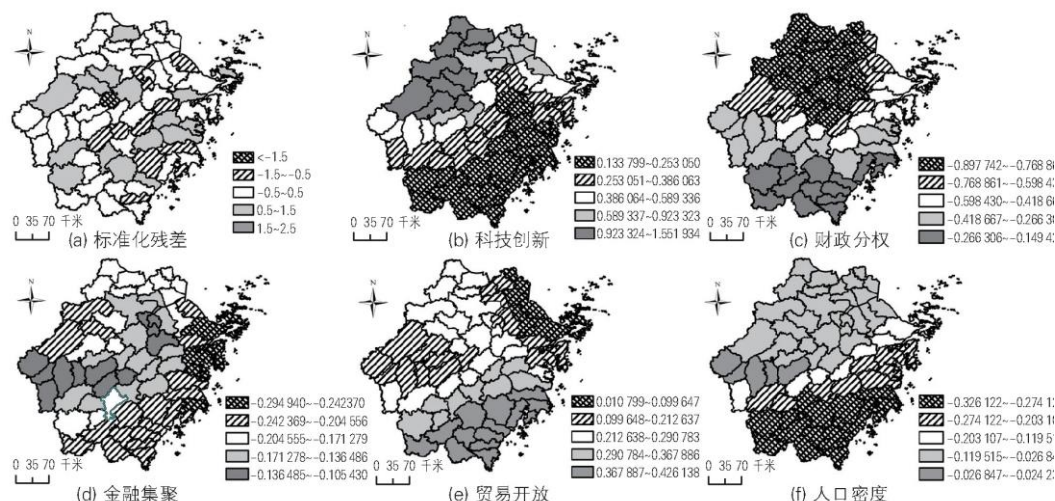


图 4 影响因素回归系数的空间分布

(1) 科技创新。科技创新是影响生态效率的第一大要素，对生态效率的提升起到正向推动作用，全域形成“西北高、东南低”的空间分布格局。回归系数的高值区主要集中在湖州市区、长兴县、安吉县、临安市和淳安县等省际边界地带，这主要可以从政策驱动和经济情况两方面解释：省际毗邻县域在深化联动苏浙皖、推动长三角绿色生态一体化发展中具备重要的地缘优势，推动“两山”转化任务紧迫；然而，由于经济的欠发达性，产业发展陷于长期的低端路径依赖状态，科技教育资源成为这些地区经济绿色发展极其重要的资源，因此，这些地区对科技教育发展的诉求很大，科技进步和人才培养对提升生态效率有着显著的推动作用。回归系数的低值区跨越东部、南部呈 45 度倾斜“U”字形分布，其中，浙东地区的嵊州市和新昌县等科技发展基础已经相对较好，浙南的山地丘陵地区对科技教育之外的交通、信息基础设施等其他需求也很高，因此单纯的发展科技教育对这些地区生态效率的提升带动作用相对较弱。

(2) 财政分权。财政分权因素的回归系数全部为负值，说明现阶段财政分权对生态效率发展主要起阻碍作用，需要加强政治激励使得地方政府调整支出结构，提高环境保护等公共服务比重。从财政分权回归系数的空间分布来看，阻碍程度由北向南逐渐递减，高值区以杭州市区为核心形成块状集聚，低值区主要分布在浙东南沿海少部分地区和浙西南地区。究其原因，浙江县域财政权利的不均衡发展历史改革影响、政策红利差异等密切相关，财政自主权较高的县域往往集中在经济发达地区，特别是义乌，被称为“全国权力最大的县”。南部边陲地区由于自身的经济劣势，财政分权程度相对低于北部地区。因此，财政分权对生态效率的负向作用机制也表现出“北高南低”空间差异性特征。

(3) 金融集聚。金融集聚与生态效率呈负相关关系，说明金融集聚并不像预期一样能够对生态效率提高起积极作用，反而还会形成一定的阻碍。可能的解释为：研究期间浙江省金融资源特别是民间资本仍以流向“三高一低”的传统企业为主，逐利行为在解决企业融资问题的同时却给资源环境增加了较大压力。绿色金融的发展尚未形成规模，短期内对生态效率的提升效果不明显，因此金融集聚对生态效率未产生正向影响。从空间分布格局来看，金融集聚对生态效率空间差异的作用程度呈现以“衢州市区—金华市—绍兴市区”一带为核心向外围圈层反向递增的演变格局。温岭市、乐清市和温州市区及周围县域受金融集聚的抑制作用最强，这些地区以劳动密集型产业为主的民营经济比较发达，民间资本相对活跃，经济增长与环境改善之间的金融资源争夺性矛盾最为突出。省中部和西部的衢州市区、金华市和绍兴市区及附近县域受到历史地缘、资源要素和产业基础等诸多掣肘，金融发展水平相对落后，对生态效率的负向影响也显得较弱。

(4) 贸易开放。贸易开放对生态效率的提升表现出正向促进作用。虽然处于生产链低端的加工贸易会消耗大量的资源和能源，增加碳排放，但是对外贸易同时也会通过外商直接投资的溢出效应、学习国外先进技术经验等方式提高生态效率，从而实

现经济增长和环境保护的双赢。贸易开放度系数在空间上呈现“南高北低”“中间高两边低”的分布格局。宁波都市圈受贸易开放的影响最小，这主要因为该地区依托港口优势，贸易开放程度一直比较高，生态效率对贸易开放因素的依赖程度相对较低。浙南的温台等地虽然民营经济高度发育，但由于制度和门槛的双重制约，对外开放规模尚且不大，以温州为例，2018 年温州的外贸依存度仅为 25.09%，低于浙江省平均水平 50.75%。可见，温台地区的对外贸易还处于一个快速提质增效阶段，继续开拓国外市场有助于加速其贸易方式结构向多元化转变，进而显著推动生态效率提高。

(5) 人口密度。人口密度因素的回归系数中有 99%为负值，说明人口密度增加主要对生态效率带来负面影响，其影响程度在空间上呈现出从南向北次第减弱的态势。负面影响较强的区域主要集中于浙南的山地丘陵地区，包括温州、台州和丽水的大部分县域。温台地区资源匮乏，经济发展后劲不足，人口集聚势必会加剧人口与资源承载力之间的矛盾；丽水地区尽管资源丰富，但是传统劳动密集型产业迁入将对原本优质的自然环境造成较大的损害，因此，人口密度因素对这些地区的生态效率提升起到较强的阻滞作用；负面影响较弱的区域分布在浙北地区和浙中、浙西的部分县域，其中，开化县、常山县、衢州市区和龙游县自身的人口密度较低，未受到人口因素的显著影响；杭州等县域虽然人口密度较高，但经济发展速度快，因此仍具有较大的社会承载空间，受人口密度因素的影响也相对较弱。

### 3. 影响因素的稳健性检验

囿于地理加权回归模型只能分析横截面数据，前文主要以 2018 年与 2010 年两年变量的差值来进行生态效率影响因素的回归分析，其余年份变量的具体变化特征未能充分考虑，因此，需要进一步对影响机制进行稳健性检验。常用的稳健性检验方法有调整数据分类标准、替换相关的变量或更换不同的计量方法等。考虑实际可操作性，本文采用面板进行多元回归来检验 GWR 模型回归结果的稳健性。将静态面板作为基准模型，在静态面板模型中，Hausman 检验拒绝原假设，说明固定效应更为合理。但是静态面板未考虑空间因素，因而本文又以空间误差、空间滞后和空间杜宾三个模型进行了空间多元回归，结果见表 3 所列。

表 3 生态效率影响因素的回归分析

| 变量              | 静态面板                 | 空间面板                  |                       |                       |
|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                 | 固定效应                 | 空间误差                  | 空间滞后                  | 空间杜宾                  |
|                 | OLS                  | SEM                   | SLM                   | SDM                   |
| $\omega \ln ae$ |                      | 0.714***<br>(0.232)   | 1.332***<br>(0.174)   | 0.574*<br>(0.334)     |
| $\ln od$        | 0.0362<br>(0.0343)   | 0.0459<br>(0.0313)    | 0.0451<br>(0.0297)    | 0.0549**<br>(0.0272)  |
| $\ln fd$        | -0.102<br>(0.0831)   | -0.194<br>(0.121)     | -0.167**<br>(0.0697)  | -0.197*<br>(0.119)    |
| $\ln fa$        | -0.411***<br>(0.131) | -0.513***<br>(0.124)  | -0.282**<br>(0.117)   | -0.483***<br>(0.118)  |
| $\ln st$        | 0.116***<br>(0.0172) | 0.0703***<br>(0.0188) | 0.0999***<br>(0.0182) | 0.0639***<br>(0.0195) |
| $\ln pd$        | -0.0888<br>(0.0988)  | -0.112<br>(0.0933)    | -0.0208<br>(0.0691)   | -0.0951<br>(0.0951)   |
| $\omega \ln od$ |                      |                       |                       | -0.168<br>(0.432)     |
| $\omega \ln fd$ |                      |                       |                       | -0.390<br>(0.851)     |

|                 |                   |          |          |                     |
|-----------------|-------------------|----------|----------|---------------------|
| $\omega \ln fa$ |                   |          |          | -1.574<br>(1.504)   |
| $\omega \ln st$ |                   |          |          | -0.559**<br>(0.246) |
| $\omega \ln pd$ |                   |          |          | -0.516<br>(1.294)   |
| Cons            | -0.939<br>(0.593) |          |          |                     |
| Hausm           | 25.69***          |          |          |                     |
| AIC             |                   | -533.541 | -207.272 | -535.204            |
| LogL            |                   | 273.770  | 112.636  | 279.602             |
| Obs             | 621               | 621      | 621      | 621                 |
| R2              | 0.134             | 0.057    | 0.225    | 0.022               |

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10%的显著性水平上显著；括号内为稳健性标准误。

基于 AIC 和 LogL 准则，判别空间杜宾模型的 AIC 最小、LogL 最大，因此空间杜宾模型最为合理，但是空间模型的回归系数无法直接反映变量之间的弹性关系，因此又将空间杜宾模型分解为直接效应、间接效应和总效应。具体分解结果见表 4 所列。

表 4 空间杜宾模型效应分解结果

| 变量       | 直接效应                 | 间接效应                | 总效应                 |
|----------|----------------------|---------------------|---------------------|
| $\ln od$ | 0.055**<br>(0.028)   | -0.070<br>(0.241)   | -0.015<br>(0.245)   |
| $\ln fd$ | -0.205*<br>(0.116)   | -0.307<br>(0.559)   | -0.512<br>(0.604)   |
| $\ln fa$ | -0.481***<br>(0.111) | -1.107<br>(0.812)   | -1.588**<br>(0.791) |
| $\ln st$ | 0.061***<br>(0.019)  | -0.270**<br>(0.136) | -0.209<br>(0.142)   |
| $\ln pd$ | -0.092<br>(0.095)    | -0.286<br>(0.763)   | -0.378<br>(0.784)   |

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10%的显著性水平上显著。

如表 4 所列，从空间杜宾模型直接效应来看，除了人口密度外，各解释变量对生态效率具有显著的正向或者负向影响。其中，贸易开放、科技创新均对生态效率起到正向影响作用，贸易开放度、科技创新每提升 1%，生态效率分别提高 0.055% 和 0.061%；金融集聚和财政分权不利于生态效率，金融集聚、财政分权每提高 1%，反而致使生态效率下降 0.481% 和 0.205%；人口密度与生态效率为负相关关系，但未通过显著性检验。以上结果均与 GWR 模型的解释相一致，说明 GWR 模型的回归结果具有良好的稳健性。另外，从空间杜宾模型的间接效应来看，科技创新因素存在显著的负向空间溢出效应，即科技创新虽然有利于本地区生态效率的提升，但是对其周围地区的生态效率发展反而起到抑制作用，原因可能与政府之间的逐底竞争有关，地方政府为了保持

本地区的经济水平或政治优势，实行技术保护主义，产生技术壁垒，致使正向空间溢出效应难以体现。

## 四、结论与建议

本研究得出如下结论：

(1) 从时间序列上来看，2010-2018 年浙江省生态效率总体水平不高且进程相对缓慢。其中，生态效率在 2010-2016 年间呈“N”字形波动徘徊态势，2016 年之后相对稳定且趋于上升。市辖区、县级市和县的生态效率水平呈梯度递减，并且均与全省平均生态效率的变动趋势基本保持一致。

(2) 从空间分布上来看，浙江省生态效率空间分布具有明显的“马太效应”。高值区主要集中在“一环一带一通道”的浙江大湾区经济带，包括环杭州湾经济区南部、甬台温临港产业带和义甬舟开放大通道的大部分区域；低值区域数量较多并且以面状分布于浙北边界地带、浙西南和台州北部。其中，浙东地区居于全省领先地位，嘉兴市生态环境短板突出。

(3) 从空间关联特征来看，2010-2018 年浙江省生态效率在全局上表现出连续的空间集聚状态，这种空间集聚状态呈“V”字形发展态势；在局部上表现显著的冷热点分异格局，形成以绍兴县、宁波市区和台州市区为核心的三级热点格局，以景宁县等为核心的冷点连绵区域。热点数量变化不大，冷点扩散趋势明显。

(4) 从影响因素上来看，影响因子表现出明显的地区异质性。科技创新是影响生态效率的第一大要素，对生态效率的提升起到正向推动作用，全域形成“西北高、东南低”的空间分布格局；财政分权对生态效率发展主要起阻碍作用，阻碍程度由北向南逐渐递减；金融集聚与生态效率呈负相关关系，其影响程度在空间上形成以“衢州市区—金华市区—绍兴市区”一带为核心向外围圈层反向递增的演变格局；贸易开放度对生态效率的提升有正向推动作用，在空间上呈现“南高北低”“中间高两边低”的分布格局；人口密度增加主要对生态效率带来负面影响，影响程度从南向北次第减弱。

根据上述结论，针对浙江省经济的绿色可持续发展提出如下建议：

(1) 统筹兼顾，均衡发展。关注空间联动效应，继续纵深推进环杭州湾经济区、甬台温临港产业带和义甬舟开放大通道建设，进一步增强绍兴县、宁波市区和台州市区及周边县域的辐射带动作用，建立东部沿海与中西部内陆的要素对接机制，引导东部效率高值区的绿色资金、技术、人才和信息等资源要素流入中西部地区。同时，借鉴义乌市发展经验，中西部地区自身也应该努力充分利用资源环境优势，精准定位，大胆培育新的增长点，提高经济绿色增长水平，改善区域绿色发展的不平衡状态。

(2) 趋利避害，优质发展。追求经济发展质量和效益的统一，继续积极发扬优势因素，克服和改善消极影响因素。(1) 加大科技创新投入和创新人才培养，为技术创新与突破提供优质的政策环境和人力资源，推动建设以生态创新为重点的技术支撑体系，加速科技成果转化扩散。(2) 继续推动对外开放，鼓励企业“走出去”参与国际市场竞争，把握对外开放新趋势，提升对外贸易的绿色含量；注重企业“引进来”先进技术设备，发挥绿色进口贸易对技术进步、效率提升和节能减排的正向影响。(3) 建立经济与环境协调发展的激励相容机制，制定县级政府生态文明建设目标评价考核体系，加大环境保护投入力度。(4) 增殖生态资本，支持绿色信贷、绿色投资证券化发展，增强绿色信息披露，将绿色金融手段渗透到生态经济体系全过程。(5) 合理优化人口空间布局，扩大劳动力就业水平与提升劳动力质量并举，减少由劳动力集聚所造成的人员闲置。

(3) 因县而异，重点发展。生态效率的影响因素存在明显的空间异质性，需要因地制宜、因县而异地采取针对性措施提高生态效率。(1) 湖州市区、长兴县、安吉县、临安市和淳安县等省际边界地带应该率先聚焦科教领域，把握区位优势，打造“科技+生态”双轮驱动的战略战略性新兴产业高地；(2) 以杭州为核心的北部区域所面临的财政压力相对较小，但财政分权的阻碍程度更高，要切实落实地方政府环保责任，避免“小富重污”；(3) 温台地区亟须为“温台模式”注入绿色创新活力，通过绿色金融

---

制度创新,积极引导民间资本投入循环经济和低碳经济发展,发挥金融杠杆作用,鼓励技术创新,转变经济发展方式,提高对外开放质量;(4)西南边陲地区应该加强基础设施建设,科学甄别和发展有利于清洁循环生产的项目。

需要指出的是,本研究在生态效率核算评价体系构建中还存在一些不足之处:限于数据暂不可获性,未将水资源纳入投入指标层,环境污染指标有待丰富;其次,遥感数据的空间分辨率有待提高,进而提高生态效率测度结果的精准性。在后续的研究中,将尝试纳入更多的卫星遥感数据种类,逐步丰富和完善县域生态效率评价指标体系。

#### 参考文献:

- [1]张广胜,陈晨.产业集聚与城市生态效率动态关系研究[J].科技进步与对策,2019,36(13):48-57.
- [2]雷玉桃,游立素.区域差异视角下环境规制对产业生态化效率的影响[J].产经评论,2018,9(6):140-150.
- [3]马勇,童昀,任洁.多源遥感数据支持下的县域尺度生态效率测算及稳健性检验——以长江中游城市群为例[J].自然资源学报,2019,34(6):1196-1208.
- [4]任宇飞,方创琳.京津冀城市群县域尺度生态效率评价及空间格局分析[J].地理科学进展,2017,36(1):87-98.
- [5]SEPPÄLÄ J, MELANEN M, MÄENPÄÄ I, et al. How can the Eco-efficiency of a Region be Measured and Monitored?[J]. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(9):117-130.
- [6]CHEN L L, ZHANG X D, HE F, et al. Regional Green Development Level and Its Spatial Relationship Under the Constraints of Haze in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 210(2):376-387.
- [7]罗能生,田梦迪,杨钧,等.高铁网络对城市生态效率的影响——基于中国277个地级市的空间计量研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(11):1-10.
- [8]刘阳,秦曼.中国东部沿海四大城市群绿色效率的综合测度与比较[J].中国人口·资源与环境,2019,29(3):11-20.
- [9]杨斌.2000-2006年中国区域生态效率研究——基于DEA方法的实证分析[J].经济地理,2009,29(7):1197-1202.
- [10]韩永辉,黄亮雄,王贤彬.产业结构优化升级改进生态效率了吗?[J].数量经济技术经济研究,2016,33(4):40-59.
- [11]LOZANO S, GUTIERREZ E. Slacks-based Measure of Efficiency of Airports with Airplanes Delays as Undesirable Outputs[J]. Computers & Operations Research, 2011, 38(1):131-139.
- [12]胡彪,王锋,李健毅,等.基于非期望产出SBM的城市生态文明建设效率评价实证研究——以天津市为例[J].干旱区资源与环境,2015,29(4):13-18.
- [13]李健,马晓芳.京津冀城市绿色创新效率时空差异及影响因素分析[J].系统工程,2019,37(5):51-61.
- [14]付丽娜,陈晓红,冷智花.基于超效率DEA模型的城市群生态效率研究——以长株潭“3+5”城市群为例[J].中国人口·资源与环境,2013,23(4):169-175.

- 
- [15]汪克亮,刘悦,杨宝臣.京津冀城市群大气环境效率的地区差异、动态演进与影响机制[J].地域研究与开发,2019,38(3):135-140.
- [16]张新林,仇方道,王长建,等.长三角城市群工业生态效率空间溢出效应及其影响因素[J].长江流域资源与环境,2019,28(8):1791-1800.
- [17]郭付友,佟连军,刘志刚,等.山东省产业生态化时空分异特征与影响因素——基于 17 地市时空面板数据[J].地理研究,2019,38(9):2226-2238.
- [18]ANSELIN L, BERA A. Spatial Dependence in Linear Regression Models with an Introduction to Spatial Econometrics[J]. Statistics Textbooks and Monographs, 1998, 155(1):237-290.
- [19]王兆峰,刘庆芳.长江经济带旅游生态效率时空演变及其影响因素[J].长江流域资源与环境,2019,28(10):2289-2298.
- [20]卢燕群,袁鹏.中国省域工业生态效率及影响因素的空间计量分析[J].资源科学,2017,39(7):1326-1337.
- [21]侯孟阳,姚顺波.中国城市生态效率测定及其时空动态演变[J].中国人口·资源与环境,2018,28(3):13-21.
- [22]TONE K. A Slacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1):32-41.
- [23]林光平,龙志和,吴梅.中国地区经济  $\sigma$ -收敛的空间计量实证分析[J].数量经济技术经济研究,2006(4):14-21, 69.
- [24]钟成林,周峰,胡雪萍.土地生态利益分配制度对城市建设用地碳排放生态效率的影响研究——基于直接效应和间接效应的分解[J].经济问题探索,2019(7):52-63.
- [25]ANTWEILER W. Nested Random Effects Estimation in Unbalanced Panel Data[J]. Journal of Econometrics, 2001, 101(2):295-313.
- [26]罗能生,王玉泽.财政分权、环境规制与区域生态效率[J].中国人口·资源与环境,2017,27(4):110-118.
- [27]庞庆华,李铭珍,李涵.长江经济带金融集聚、区域创新与生态效率的空间耦合协调发展研究[J].工业技术经济,2019,38(2):68-76.