

西部资源型城市绿色发展效率时空分异与驱动力

窦睿音¹, 焦贝贝², 张文洁^{1,3}, 张鹏飞⁴

(1. 西安外国语大学旅游学院人文地理研究所, 西安 710128; 2. 西安外国语大学经济金融学院, 西安 710128; 3. 康奈尔大学建筑艺术学院, 纽约州 伊萨卡 14850; 4. 西安财经大学经济学院, 西安 710100)

摘要: 绿色发展是资源型城市高质量转型的重要体现。通过构建绿色发展效率评价体系, 基于MinDs模型、泰尔指数、地理探测器等方法, 测算2001—2019年西部资源型城市绿色发展效率时空分异特征, 分析其驱动因素。结论如下: (1) 西部资源型城市绿色发展效率以2015年为界, 呈“先升后降”变化, 西北、广西的资源型城市整体上升, 西南和内蒙古的资源型城市近年呈下降趋势, 成长型城市发展较为稳定, 成熟型和再生型城市2017年后下降明显, 衰退型城市呈上升趋势; (2) 西部资源型城市绿色发展效率表现为极低和极高区间数量少, 中间得分数量多的正态分布特征; (3) 绿色发展效率空间非均衡的问题较为严重, 其中, 西北与西南地区的成熟型城市的变化是导致绿色发展效率差异扩大的主要原因; (4) 经济发展、城市化、城市规模和技术创新能够显著提升西部资源型城市绿色发展效率, 不同空间范围和不同生命周期下的资源型城市绿色发展效率驱动因素各有特点。研究对提升西部各类资源型城市绿色发展效率有实际意义。

关键词: 绿色发展效率; 时空分异; 驱动机制; 西部; 资源型城市

中国特色社会主义进入新时代, “绿水青山就是金山银山”的绿色发展观已深入人心。2020年5月, 中共中央、国务院发布的《关于新时代推进西部大开发形成新格局的指导意见》提出推动西部地区高质量发展, 加快推进西部地区绿色发展。2021年3月, 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确指出推动绿色发展, 促进人与自然和谐共生。可见, 绿色发展成为推进高质量发展的重要导向和有力抓手, 如何提高区域绿色发展效率, 推进绿色导向的高质量发展, 成为国家经济发展战略选择的重要议题。西部地区能源矿产资源十分丰富, 拥有数量众多的资源型城市, 由于早期社会经济发展对于能源和资源的巨大需求, 西部资源型城市多以发展高投入、高消耗、高排放的资源型经济为主, 粗放的发展模式使得区域生态环境破坏严重^[1,2]。随着国家产业结构调整, 国内外能源结构转变, 传统的资源经济已经不能满足城市发展需求, 西部资源型城市的发展动力在逐渐减弱。西部地区作为中国主要生态服务功能供给区, 也是中国生态系统最为脆弱与敏感的区域之一, 如何在保护生态环境的基础上, 探索新的社会经济发展模式, 加快西部资源型城市系统更新, 减轻社会经济活动对于生态系统的影响, 成为推动西部全域高质量发展亟需探究的重要课题。

作为可持续发展的重要理论实践, 绿色发展引起了地理学、经济学、生态学、环境

收稿日期: 2022-01-04; 修订日期: 2022-04-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(42201324); 西安外国语大学校级科研项目(21XWC02)

作者简介: 窦睿音(1989-), 男, 陕西西安人, 博士, 副教授, 主要从事资源型城市转型研究。

E-mail: douruiyin@xisu.edu.cn

通讯作者: 张鹏飞(1989-), 男, 陕西榆林人, 博士, 讲师, 主要从事区域创新研究。

E-mail: zhangpengfei0201@163.com

科学等多学科的广泛关注,体现出多学科交叉融合的研究趋势,其中,绿色发展效率研究成为热点研究问题之一。绿色发展效率弥补了传统的社会经济发展只考虑依赖增加要素投入、不顾及环境成本而追求数量扩张来实现增长的缺陷,是评价社会经济高质量发展的重要参考,逐渐成为全人类可持续发展的共识^[3,4]。目前,绿色发展效率相关的研究主要集中在以下两个方面:(1)绿色发展效率测算。利用全要素对绿色发展效率的测算得到学术界普遍认可,全要素绿色发展效率测算主要有随机前沿分析(Stochastic Frontier Approach, SFA)和数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)两种方法,但由于DEA模型不受生产函数的理论约束,更具科学性和严谨性^[5,6]。刘杨等^[7]基于非期望产出的DEA-SBM模型,从时间和空间维度分析了中国城市群绿色发展效率;赵金凯等^[8]利用四阶段分类DEA剔除外部环境变量的影响,并用Bootstrap-DEA模型剔除随机冲击的影响,测算中国各省区的绿色发展效率;黄杰^[9]采用非径向、投入产出双角度窗口DEA模型测度出中国内地除西藏以外省份的绿色发展效率;郭付友等^[10]采用DEA-Malmquist指数对鲁南经济带城乡绿色发展效率进行研究。(2)绿色发展效率的影响机制。学界普遍认为绿色发展受研究区水热、地形、区位等自然地理因素,GDP、开放程度、人力资本、产业结构、城市化水平等社会经济因素,以及政府支持、环境规制等政策因素^[11-20]的综合影响。周亮等^[17]研究认为人文社会因素对城市绿色发展效率影响程度大于自然本底要素,其中经济水平、产业结构、开放程度呈现积极促进作用;辛龙等^[18]认为东部的绿色经济效率由政府干预、对外开放和技术创新驱动,中部由能源强度、教育和市场化驱动,西部由人力资本、能源强度、城市规模、教育、技术创新和互联网普及率驱动。此外,部分学者发现工业结构绿色化对提高绿色经济效率具有促进作用^[19];财政分权可通过专业化产业集聚促增绿色经济效率^[20]。

综合分析已有文献发现,绿色发展效率在研究视角、对象和方法上已经取得了丰硕的成果,但仍有可进一步拓展之处。一是针对绿色发展问题较为突出的资源型城市专项研究较为缺乏,对其绿色发展效率的驱动因素有待进一步挖掘;二是传统的DEA模型对于投入产出变量松弛性的考虑存在一定不足,会导致非有效决策单元对研究区绿色发展效率产生负面影响。基于此,本文以西部资源型城市为研究对象,采用2001—2019年的面板数据,基于非期望产出的超效率MinDS模型测度西部资源型城市绿色发展效率演化特征,利用泰尔指数揭示其绿色发展效率的空间异质性来源,并选择地理探测器方法分析绿色发展效率驱动因素,探讨不同视角下资源型城市绿色发展效率发展差异的驱动机理,以期提升西部地区各类资源型城市绿色发展水平提供科学决策依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究对象

2013年国务院印发的《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》(简称“《规划》”)确定了262个资源型城市,位于西部的资源型城市共有102个,其中地级行政区(地级市、地区、自治州、盟等)48个。基于数据的可获取性,选择39个地级资源型城市为研究对象,为体现西部资源型城市绿色发展效率的实际发展状况,引入所选资源型城市所在省(自治区)的省会城市作为参照组(表1),对比两类城市绿色发展效率得分差异。为系统研究西部资源型城市绿色发展效率演化规律,将研究对象以不同属性划分为两类,一是从空间视角,根据西部地区标准划分方式,划定为西北(陕西、甘

表1 本研究的研究对象
Table 1 Research objects of this study

研究范围	省（自治区）	资源型城市	省会
西北片区	陕西	宝鸡 ² 、咸阳 ¹ 、铜川 ³ 、渭南 ² 、延安 ¹ 、榆林 ¹	西安
	甘肃	武威 ¹ 、庆阳 ¹ 、平凉 ² 、白银 ³ 、金昌 ² 、张掖 ⁴ 、陇南 ¹	兰州
	宁夏	石嘴山 ³	银川
	新疆	克拉玛依 ²	乌鲁木齐
西南片区	四川	攀枝花 ² 、泸州 ³ 、南充 ¹ 、雅安 ² 、广元 ² 、达州 ² 、自贡 ² 、广安 ²	成都
	云南	昭通 ¹ 、曲靖 ² 、保山 ² 、普洱 ² 、丽江 ⁴ 、临沧 ²	昆明
	贵州	六盘水 ¹ 、安顺 ²	贵阳
内蒙古片区	内蒙古	包头 ⁴ 、乌海 ³ 、赤峰 ² 、鄂尔多斯 ¹ 、呼伦贝尔 ¹	呼和浩特
广西片区	广西	贺州 ¹ 、百色 ² 、河池 ²	南宁
	总计/个	39	9

注：按资源型城市的生命周期发展规律，1为成长型阶段；2为成熟型阶段；3为衰退型阶段；4为再生型阶段。

肃、宁夏、新疆)、西南(四川、云南、贵州)、内蒙古和广西四大片区;二是按照资源型城市的生命周期发展规律,划定为成长型、成熟型、衰退型和再生型四类。

1.2 指标选择与数据来源

基于绿色发展的内涵与模型设定,构建绿色发展效率评价指标体系。模型的评价指标包括投入指标和产出指标。在投入指标方面,基于新经济增长模型,劳动力和资本是最基本的生产要素,考虑到西部资源型城市日益凸显的生态环境约束与能源供给短缺问题,研究同时将资源和能源作为投入要素。产出分为期望产出和非期望产出,期望产出在选择传统单一经济发展指标的基础上,考虑到绿色发展更应注重资源集约和生态保护,加入污染治理能力作为另一期望产出指标;非期望产出选用环境污染表示。对污染治理能力与环境污染的计算借鉴周亮等^[17]的做法,运用熵权法分别对相应指标进行客观赋权,进而构建出相应指数。具体的各指标衡量方式及数据来源详见表2。

1.3 研究方法

1.3.1 MinDS模型

随着对效率问题研究的深入,方向性距离函数(DDF)由于考虑到期望产出和非期望产出,更符合社会经济运行的实际规律^[12]。但该方法没有考虑到松弛变量,因此,Tone^[21]提出了基于非期望产出的SBM模型,在效率评价角度最大程度地解决了变量松弛性测度问题。然而,低效率单元总是希望通过最短路径达到有效期望目标,作为“至前沿面最远距离”的SBM模型不利于整体效率改进。为克服上述问题,参考陈明华等^[22]的研究,本文选择基于共同前沿方法构建非期望产出MinDS模型(Minimum Distance to Strong Efficient Frontier),采用与前沿面最小距离来衡量西部资源型城市的绿色发展效率值。

假设决策单元*k*投入*m*种要素*x_{ik}* (*i*=1, 2, ..., *m*)、生产*q*种期望*y_{rk}* (*r*=1, 2, ..., *q*)及*n*种非期望产出*z_{tk}* (*t*=1, 2, ..., *n*),求解过程如下:

$$\max \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{q} \sum_{r=1}^q \frac{s_r^+}{y_{rk}} - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{s_t^-}{z_{tk}}}$$

(1)

表2 西部资源型城市绿色发展效率评价指标体系

Table 2 Evaluation index system of green development efficiency of resource-based cities in Western China						
目标层	决策层	类型	指标层	衡量方式	单位	数据来源
西部资源型城市绿色发展	投入指标		劳动力	个体从业人员、城镇私营与单位从业人员之和	人	各城市《统计年鉴（2002—2020年）》 《中国城市统计年鉴（2002—2020年）》
			资本	固定资产投资额	万元	
			资源	供水总量	万 t	
			能源	全社会用电量	亿 kW·h	
	产出指标	期望产出	经济发展	城市人均 GDP	元/人	
			污染治理能力	污水处理率、一般固废综合利用率、工业二氧化硫处理率、工业粉尘去除率与生活垃圾无害化处理率赋权所求综合指数	—	
		非期望产出	环境污染	工业废水、工业烟（粉）尘及工业二氧化硫排放量赋权所求综合指数	—	

注：—表示无单位。

$$\text{s.t.} \begin{cases} x_{ik} = \sum_{j \in E} \lambda_j x_{ij} + s_i^- \\ y_{rk} = \sum_{j \in E} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ \\ z_{tk} = \sum_{j \in E} \lambda_j z_{tj} + s_t^- \\ \lambda, s_i^-, s_r^+, s_t^- > 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中： ρ 为绿色发展效率； E 为有效决策单元集合； s_i^- 、 s_r^+ 、 s_t^- 分别为投入、期望产出、非期望产出的松弛变量； λ 为决策单元的线性组合系数； j 表示区域数量（个），具体包括（空间划分视角下的西北、西南、内蒙古和广西，生命周期视角下的成长型、成熟型、衰退型和再生型），即 $j=4$ 。

1.3.2 泰尔指数

泰尔指数被广泛应用于社会经济发展等领域的差异测算^[23,24]。它不仅能够测算总体差异，还能够将总体差异进行分解，分别考察区域内、区域间差异的演变规律，同时能衡量区域内、区域间差异对总差异的影响程度，采用此方法测算西部资源型城市绿色发展效率空间差异。计算方法如下：

$$T = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Y_i}{Y} \ln \left(\frac{Y_i/Y}{N_i/N} \right) \right] \quad (3)$$

$$T_{intra(i)} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Y_{ji}}{Y} \ln \left(\frac{Y_{ji}/Y_j}{N_{ji}/N_j} \right) \right] \quad (4)$$

$$T_{intra} = \sum_{j=1}^4 \frac{Y_j}{Y} T_{intra(i)} \quad (5)$$

$$T_{inter} = \sum_{j=1}^4 \left[\frac{Y_j}{Y} \ln \left(\frac{Y_j/Y}{N_j/N} \right) \right] \quad (6)$$

$$T = T_{intra} + T_{inter} \quad (7)$$

$$\eta_{intra} = \frac{T_{intra}}{T} \quad (8)$$

$$\eta_{inter} = \frac{T_{inter}}{T} \quad (9)$$

$$\eta_{intra(j)} = \frac{Y_j T_{intra(i)}}{\bar{Y} T} \quad (10)$$

式中： T 、 T_{intra} 、 T_{inter} 、 $T_{intra(i)}$ 分别为总体、区域内、区域间、各个子区域内的绿色发展效率得分泰尔指数，分别反映总体、区域内、区域间、子区域内差异； n 表示研究城市数量（个），即 $n=39$ ； Y_i 、 \bar{Y} 和 Y_j 分别表示城市 i 的绿色发展效率、总绿色发展效率（即所有城市绿色发展效率之和）和区域绿色发展效率； N_i 、 N 和 N_j 分别表示选定范围中研究城市的数量（个）、总数量（个）和区域城市数量（个）； η_{intra} 、 η_{inter} 、 $\eta_{intra(j)}$ 分别为区域内贡献率、区域间贡献率、各子区域的贡献率，分别反映区域内差异对总体差异的影响、区域间差异对总体差异的影响、各子区域差异对总体差异的影响。

1.3.3 地理探测器

地理探测器是利用各因素层内方差与全局方差的关系，探究自变量对因变量的驱动力，即某因素 X 在多大程度上影响了 Y 的空间差异。地理探测器能够从异质性视角下探究影响因子的空间分异特征，并能较好地避免自变量和因变量互为因果的内生性问题^[25]。

利用地理探测器所提供的分析工具考察西部资源型城市绿色发展效率的关键驱动因素，计算方法如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (11)$$

式中： $SSW = \sum_{h=1}^L H_h \sigma_h^2$ ， $SST = N \sigma^2$ ； h 表示基于解释变量 X 的分层（strata）； N_h 和 N 分别表示分层 h 和全区的单元数； σ_h^2 和 σ^2 表示分层 h 和全区的 Y 值方差； SSW 和 SST 分别表示层内方差和全区方差之和； q 统计量在 $[0, 1]$ 区间内取值，数值越大表明解释变量 X 对被解释变量 Y 空间分异的解释力越强； L 表示变量 Y 或因子 X 的分层（strata），即分类或分区。

2 结果分析

2.1 绿色发展效率时空分异特征

2.1.1 时序演变分析

基于非期望产出的MinDS模型测算出2001—2019年西部资源型城市与省会城市的绿色发展效率得分（表3）。可以看出，西部资源型城市的绿色发展效率整体得分明显低于西部省会城市，两者差异在2004年达到峰值，省会城市得分高于资源型城市近54%，2005年之后发展差异开始缩小，但自2015年开始，两者差异又一次扩大，说明在新时代下，推动资源型城市的转型与绿色发展已经刻不容缓。分区域来看，西北地区资源型城市与省会城市的发展差异最大，但2012年后资源型城市的绿色发展效率明显提升；西南地区两类城市发展差异较小，但近三年的差异呈扩大趋势；内蒙古资源型城市与其省会呼和浩特的绿色发展趋势重合度较高；广西资源型城市的绿色发展相较于省会南宁差异在不断扩大，在2019年达到峰值，广西资源型城市的绿色发展任务仍然艰巨。

进一步分析西部资源型城市绿色发展效率的变化情况（图1）。总体而言，西部资源

表3 2001—2019年西部资源型城市与其省会城市绿色发展效率得分对比

Table 3 Comparison of green development efficiency scores between resource-based cities in Western China and their provincial capital cities during 2001-2019

年份	总得分		西北		西南		内蒙古		广西	
	省会	资源型	省会	资源型	省会	资源型	省会	资源型	省会	资源型
2001	1.107	0.762	1.390	0.771	0.909	0.733	1.574	0.855	1.209	0.715
2002	1.015	0.768	1.282	0.842	0.774	0.688	1.492	0.840	1.203	0.695
2003	1.150	0.771	1.268	0.816	1.295	0.715	1.492	0.864	1.056	0.694
2004	1.274	0.829	1.813	0.897	0.906	0.781	1.742	0.851	1.027	0.705
2005	1.150	0.823	1.399	0.899	1.127	0.747	1.490	1.005	1.029	0.553
2006	1.075	0.864	1.355	0.908	1.120	0.775	1.370	1.197	0.596	0.568
2007	0.897	0.810	1.095	0.859	0.836	0.732	1.586	1.093	0.495	0.511
2008	1.202	0.857	1.713	0.945	1.105	0.767	1.325	1.076	0.533	0.535
2009	0.960	0.836	1.343	0.916	0.879	0.744	1.095	1.087	0.497	0.513
2010	1.009	0.868	1.425	0.984	0.876	0.765	1.137	1.031	0.621	0.566
2011	1.123	0.890	1.461	0.988	1.148	0.799	1.322	1.066	0.619	0.598
2012	0.962	0.818	1.273	0.966	0.874	0.702	1.242	0.896	0.658	0.567
2013	1.009	0.892	1.253	1.024	0.928	0.796	1.190	0.929	1.105	0.676
2014	1.008	0.921	1.180	1.027	1.026	0.816	1.212	0.930	1.068	0.935
2015	0.949	0.950	1.238	1.036	0.750	0.855	1.207	1.022	1.084	0.903
2016	0.974	0.933	1.254	1.020	0.788	0.822	1.276	0.966	1.088	1.038
2017	1.101	0.897	1.403	0.992	1.077	0.831	1.092	0.988	1.071	0.627
2018	1.078	0.887	1.361	1.022	1.066	0.783	1.085	0.905	1.057	0.736
2019	1.105	0.822	1.368	1.009	1.149	0.682	1.071	0.862	1.056	0.564

型城市绿色发展效率呈“先升后降”变化趋势。第一阶段为2001—2015年的平稳上升期，绿色发展效率由0.762上升至0.921，年均上升率达到1.47%。进入21世纪，中国经济增长进入到以投资为主导的需求拉动阶段，社会经济发展对于西部地区丰富的矿产和能源需求量巨大，资源型城市在此阶段的经济活动繁盛，绿色发展的投入与产出基本处于均衡水平。第二阶段为2016—2019年的缓慢下降期，绿色发展效率由0.933下降到0.822，年下降率达到4.15%。当今世界正在经历百年未有之大变局，全球经济市场对于资源和能源的需求结构开始变化，西部资源型城市传统资源经济发展模式的弊端开始显现，绿色发展效率有所下滑。

综合来看，2001年以来，西部资源城市绿色发展效率整体提升，尤其是2013年《规划》出台后，西部资源型城市在产业结构调整、节能减排、城市更新等方面进行综合改革推动城市转型，绿色发展效率迅速提升，但是西部地区的区位限制以及长期形成的路径依赖和沉淀成本过高对于资源型城市的转型制约明显，绿色发展阻力依然较大。

从不同空间划分的演进过程看：（1）西北资源型城市绿色发展效率整体较高，呈现两个阶段的发展趋势，2001—2012年的低位平稳波动和2013—2019年的高位平稳波动，表明西北资源型城市对于《规划》的响应成效较为显著；（2）西南资源型城市数量多、发展阶段差异较大，研究时段内基本保持在低水平发展，2016年后出现下滑；（3）内蒙古资源型城市在2001—2006年间，绿色发展效率持续上升，显著高于其余三大区域的资

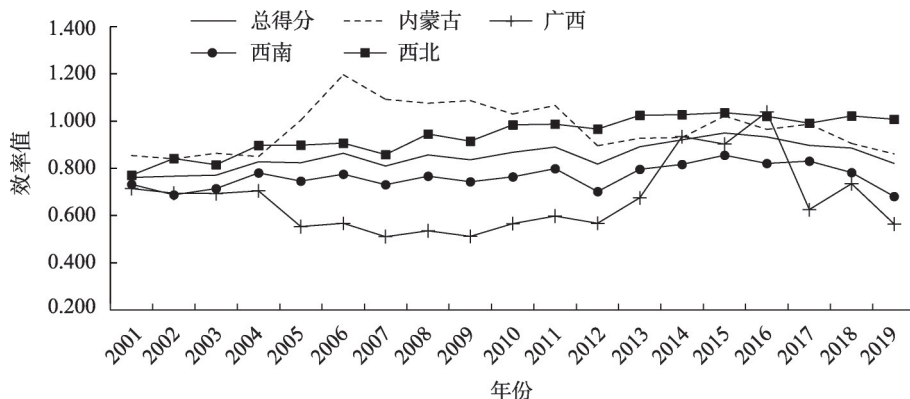


图1 2001—2019年不同空间划分视角下西部资源型城市绿色发展效率

Fig. 1 Green development efficiency of resource-based cities in Western China from the perspective of different spatial divisions during 2001-2019

源型城市，自2007年开始，绿色发展效率持续下降；(4) 广西资源型城市发展基础较为薄弱，绿色发展效率在西部地区相对最低，从动态演进来看，2001—2010年缓慢下降，2011—2015年迅速上升，近两年又出现明显下滑。

从城市生命周期发展规律看，四类城市的绿色发展效率整体波动上升，但自2017年后，均出现不同程度地下降（图2）。(1) 成长型城市处于资源开采初期，环境容量与资源储量相对充裕，资源产业大规模发展带动城市经济快速增长，绿色发展效率较为稳定，2001年的绿色发展效率最低，2006年达到最高值，波动范围基本维持在0.850~0.957之间。(2) 成熟型城市进入到资源大规模开采阶段，城市发展的各个系统对于资源的路径依赖逐渐加强，经济发展与生态环境系统的矛盾日益突出，绿色发展效率整体低于其他类型城市，2013年后，效率值提升明显，但是2015年后再次下降，2015—2019年的年均下降率达到4.87%。(3) 衰退型城市的资源红利已经基本消失，“资源诅咒”现象严重，正处于淘汰落后产能和新兴产业培育的过渡时期，发展大体分为三个阶段，2001—2008年的低位

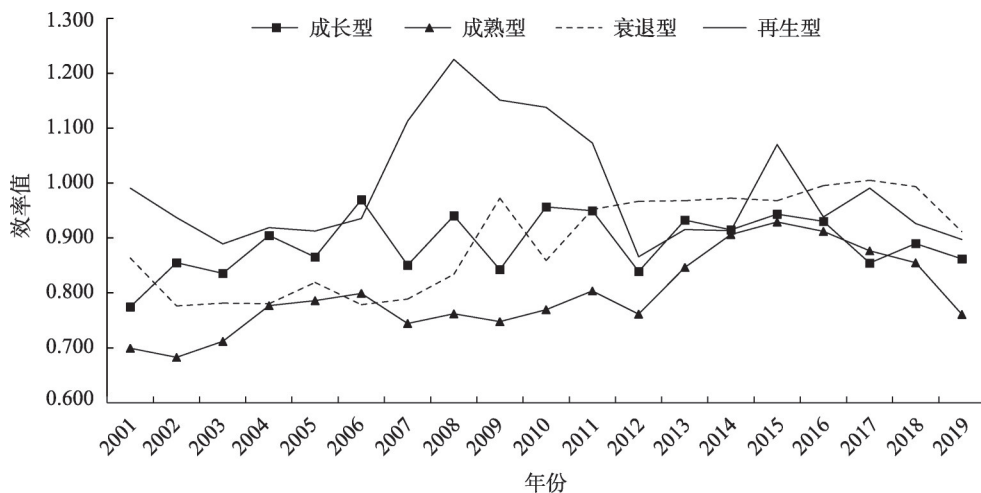


图2 2001—2019年不同城市生命周期划分视角下西部资源型城市绿色发展效率

Fig. 2 Green development efficiency of resource-based cities in Western China from the perspective of different growth stages during 2001-2019

平稳运行, 2008—2009年的跃迁期, 之后平稳波动。(4) 再生型城市的去自然资源化发展效果显著, 绿色发展效率普遍高于其他类型城市, 虽然2008—2012年发生了大幅度下滑, 下滑率达到29.36%, 但是2013年之后, 又明显提升直至2015年, 近年来有小幅下降。

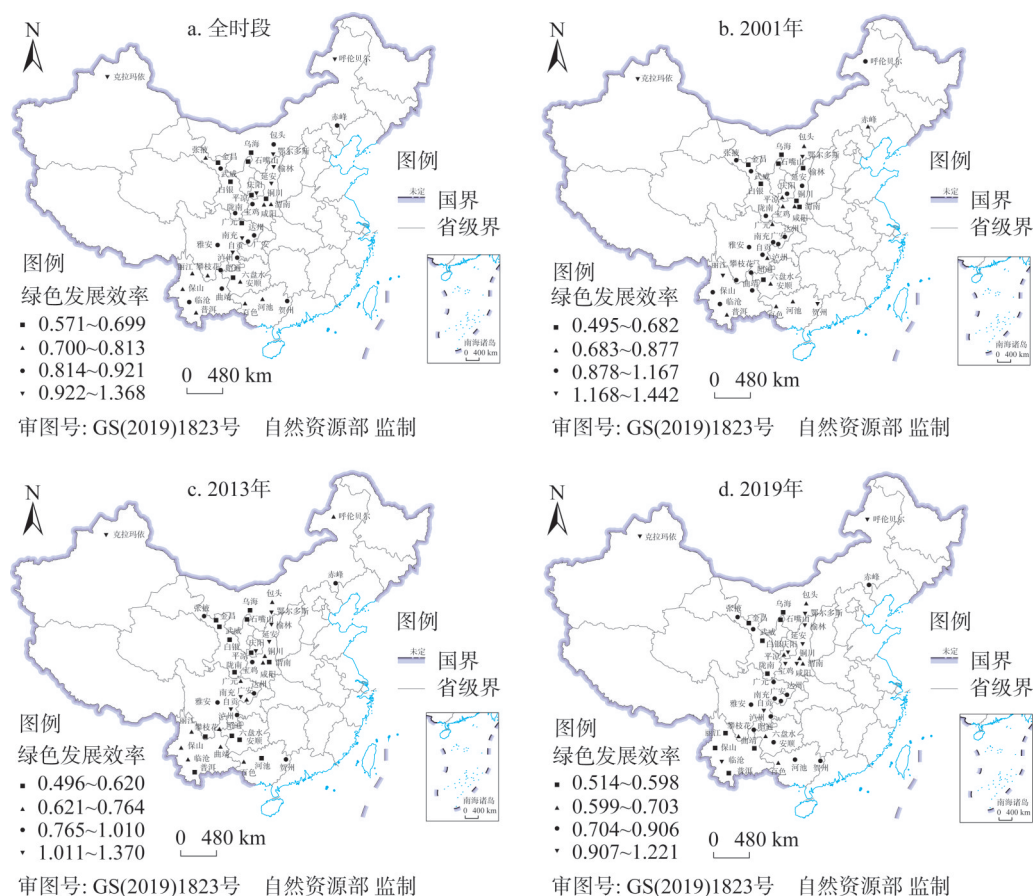
2.1.2 空间演变分析

从全时段发展看, 西部资源型城市绿色发展区域差异明显(图3), 绿色发展效率最高的鄂尔多斯(1.656)与最低的泸州(0.516)相差近3.2倍。综合来看, 西南地区的资源型城市绿色发展效率普遍较低, 得分位列后10位的城市中, 有泸州、攀枝花、南充、达州、曲靖、六盘水共6个城市。从城市生命周期看, 成熟型资源型城市的绿色发展效率相对较低, 排名后10位的攀枝花、宝鸡、百色、达州、赤峰和曲靖均处于成熟阶段。

结合《规划》的规划时段, 选择重点时间节点观察绿色发展效率的空间差异演化。

2001年, 首末位城市发展差异巨大, 首位城市鄂尔多斯(1.781)与末位城市包头(0.362)均在内蒙古, 绿色发展效率相差4.92倍之多, 西北的陕西资源型城市绿色发展效率普遍较低。

2013年, 首末位城市未发生变化, 首位城市鄂尔多斯得分下降至1.632, 末位城市包头上升至0.380, 首末位城市得分差异缩小至4.30倍。西北陕西、西南四川的资源型城市



注: 本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作, 底图无修改。

图3 不同时间节点下西部资源型城市绿色发展效率空间演化

Fig. 3 Spatial evolution of green development efficiency of resource-based cities in Western China at different time nodes

绿色发展效率相较于2001年有明显提升,西北宁夏和新疆、西南贵州和云南的资源型城市基本保持不变,广西的资源型城市绿色发展效率下降明显。

2019年,随着《规划》的深入实施,资源型城市进入到快速转型阶段,前期的转型成效开始显现,首末位城市发展差异缩小至3.93倍。西北地区的新疆、甘肃和宁夏三省区的资源型城市绿色发展效率相对高于陕西资源型城市;西南地区的资源型城市绿色发展效率普遍较低;内蒙古的资源型城市绿色发展效率极不均衡;广西的资源型城市绿色发展效率位于中下游水平。

2.1.3 空间差异分析

西部资源型城市分布广阔,在城市数量、资源禀赋和发展周期等方面存在较大差异,因此在分析西部资源型城市绿色发展效率时应充分考虑空间异质性问题。本文利用泰尔指数测算西部资源型城市绿色发展效率的总体空间差异,并从空间和生命周期两个角度划分,揭示西部资源型城市绿色发展效率差异的大小及来源。

图4a显示了不同空间视角下总体差异、地区内差异和地区间差异的变化趋势。研究时序内,西部资源型城市绿色发展效率总体差异缓慢下降,年均递减率为0.17%,表明近年来西部资源型城市绿色发展效率的差异逐步缩小。从不同时段来看,2007年绿色发展效率差异逐渐扩大达到峰值,2013年《规划》出台之后,各地绿色发展效率差异发展相对平稳,近年来出现较为明显的缩小趋势,但是2017年后,差异进一步回升,西部资源型城市转型成效差异较大,绿色发展效率发展不均衡问题依然突出。总体上无论是指数大小还是演变趋势,绿色发展效率的地区间差异程度与变化幅度都相对较小,表明地区内差异是构成绿色发展效率空间差异的主导因素。

图4b显示了不同空间视角下地区内差异的演化趋势。2012年之前,四大区域对总体差异的贡献度呈现出西北地区最大、西南和内蒙古地区次之、广西最弱的基本格局;2013—2016年间,内蒙古的差异迅速扩大成为主要影响地区;2017年之后,西北与西南资源型城市绿色发展效率的差异进一步扩大,又一次成为主要因素。具体而言,西北地区差异贡献率在2007年之后开始逐步缩小直至2016年,之后又进入差异扩大阶段;西南地区差异贡献率自2014年之后持续扩大,虽然2017年后呈现缩小趋势,但是贡献率仍然超过其他三大区域,表明西南地区的资源型城市绿色发展效率差异显著,不均衡性最强;内蒙古地区在2010—2014年间,绿色发展效率发展差异持续扩大,之后开始缩小;

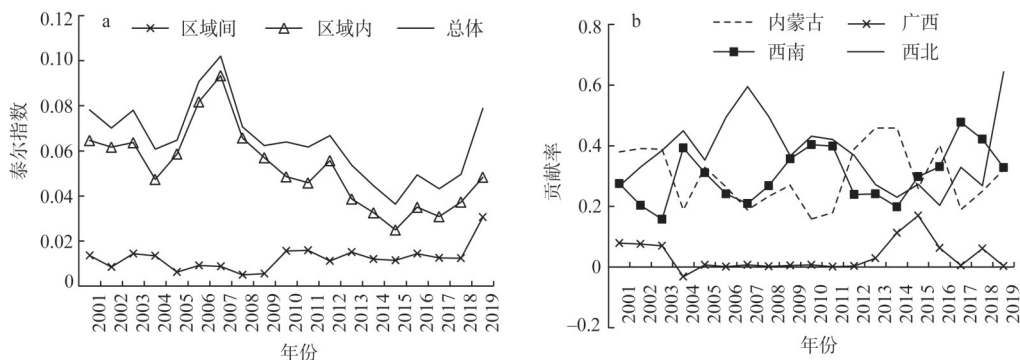


图4 不同空间划分视角下西部资源型城市绿色发展效率的空间差异及各地区贡献率

Fig. 4 Spatial difference of green development efficiency of resource-based cities in Western China and the contribution rate of each region from the perspective of different spatial divisions

广西地区的资源型城市差异相对较小，对西部资源型城市绿色发展效率的差异影响最弱。

图5a显示了不同城市生命周期视角下总体差异、地区内差异和地区间差异的变化趋势。区域内差异同地区总体差异的演化轨迹高度一致，表明地区内差异是构成绿色发展效率空间差异的主导因素。整体来看，衰退型和再生型城市近年来的差异逐渐缩小，对于绿色发展效率的空间差异影响有限，成长型和衰退型是造成其差异变化的主要因素。图5b进一步刻画了成长型、成熟型、衰退型和再生型城市区域内部城市绿色发展效率差异对总体差异的贡献程度，2013年之前，成长型与成熟型城市波动变化对绿色发展效率空间差异造成影响。2013年之后，成熟型城市的贡献率明显增强，其中，自贡、雅安、临沧、平凉的绿色发展效率增幅分别达到3.31%、1.80%、2.50%、3.56%；攀枝花、宝鸡的绿色发展效率基本保持不变；安顺、曲靖的降幅达到2.13%、1.90%，成熟型城市绿色发展效率差异日益扩大，导致其对于西部资源型城市绿色发展效率的空间差异影响更加显著。

2.2 绿色发展效率驱动力分析

不同区位与不同城市发展阶段的资源型城市绿色发展效率演化规律存在明显差异，故从空间范围划分和城市生命周期发展规律两个视角探究西部资源型城市的绿色发展效率产生异质性的主要驱动力。

前人研究发现区域绿色发展效率的主要驱动因素由人类社会经济活动所影响^[17]，本文在选取GDP、对外开放程度、人力资本、城市化水平、金融发展水平、政府政策引导等社会经济因素^[12,17-19]作为考量西部资源型城市绿色发展效率时空分异的主要驱动因素的基础上，进一步突出资源型城市发展受到的资源约束的多维影响特征，参考阎晓等^[26]、王晓楠等^[27]、崔丹等^[28]对资源型城市转型与高质量发展驱动因素的研究，加入资源产业转型、劳动力结构变化、能源消耗、技术创新、城市内外交流等因素，综合研判资源型城市绿色发展的驱动机制。共梳理出经济发展水平 (X_1)、产业转型水平 (X_2)、市场多元化水平 (X_3)、人力资本素质 (X_4)、城市化水平 (X_5)、能源强度 (X_6)、政府支持 (X_7)、城市规模 (X_8)、教育投入 (X_9)、对外开放水平 (X_{10})、技术创新水平 (X_{11})、金融发展水平 (X_{12})、信息基础设施水平 (X_{13}) 等13项探测因子 (表4)，对西部资源型城市绿色发展效率时空分异的驱动力进行定量探索。

2.2.1 空间范围划分视角下驱动因素

通过地理探测器模型测算各探测因子对西部资源型城市绿色发展效率的驱动能力，结果如表5所示。从西部资源型城市全域看，经济发展、城市化、城市规模和技术创新

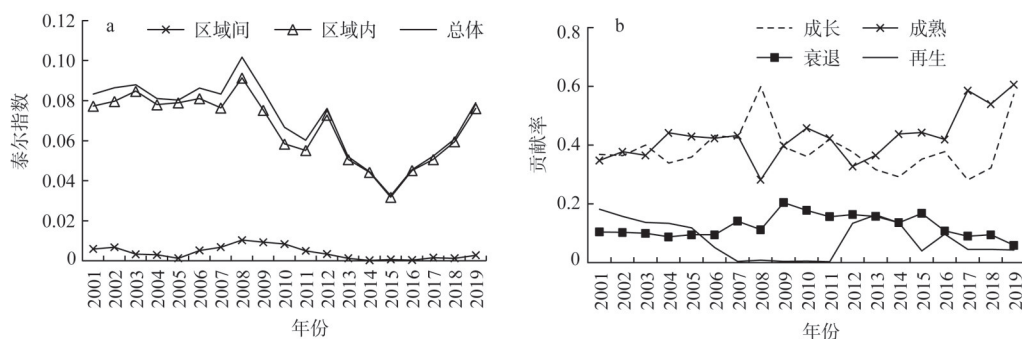


图5 不同城市生命周期划分视角下西部资源型城市绿色发展效率的空间差异及各地区贡献率

Fig. 5 Spatial difference of green development efficiency of resource-based cities in Western China and the contribution rate of each region from the perspective of different growth stages

表4 绿色发展效率驱动力指标

Table 4 Driving force indicators of green development efficiency

代码	探测因子	因子含义
X_1	经济发展水平	人均GDP（以2001年为基期折算后的实际值）
X_2	产业转型水平	第三产业增加值 / 第二产业增加值
X_3	市场多元化水平	第三产业从业人员/社会从业人员
X_4	人力资本素质	每万人在校大学生数
X_5	城市化水平	城市常住人口/总人口
X_6	能源强度	全社会用电量与用水量综合指数
X_7	政府支持	一般性地方财政支出占GDP总值比例
X_8	城市规模	地区年末总人口数
X_9	教育投入	地区财政支出中教育支出占比
X_{10}	对外开放水平	当年直接利用外资金额占GDP比例
X_{11}	技术创新水平	地区财政支出中技术研发支出占比
X_{12}	金融发展水平	金融机构年末存贷款余额占GDP比例
X_{13}	信息基础设施水平	地区邮电业务总量

对绿色发展效率具有较强的影响力。

随着中国经济增长新旧动能转换的不断加速，资源型城市转型进程加快，2013年之后，各要素对于绿色发展效率的驱动能力产生不同程度的影响，其中经济发展、对外开放和信息基础设施对于绿色发展效率的作用力明显增强。值得注意的是，技术创能和金融发展对于绿色发展影响力并未充分发挥，由于目前发展资源经济的阻力较大，各资源部门对于技术研发的资本投入能力减弱，因而造成技术研发与绿色效率相关性不强。此外，资源型城市多为国有企业，产业类型较为单一，此类产业相较于民营企业的发展，对于投融资的需求与渠道不同，导致绿色发展与城市金融水平的关联度不高。对于西部资源型城市而言，经济发展、加快调整产业结构、扩大城市规模、提升基础设施建设能够显著推动绿色发展效率的提升，但仍需加强各个环节的研发能力，提升能源利用率，同时营造良好营商环境，扩大城市对外开放水平。

分区域进一步分析西部资源型城市绿色发展效率的驱动因素：

对于西北地区的资源型城市，市场多元化、城市化和城市规模对于绿色发展效率的影响最为显著。2013年后，经济发展、教育投入、对外开放和信息基础设施的提升能够促增绿色发展效率，但产业转型的影响力在减弱，表明西北资源型城市近年产业转型的成效仍然不足，对于经济的拉动能力有限。此外，由于西北地区人口规模与城市体量较小，人口红利相对较弱，在未来应扩大吸引外资带动产业转型发展，加大科技研发投入力度，同时在环境容量阈值范围内进一步提升城市规模，不断吸引人才落户。

对于西南地区的资源型城市，市场多元化、人力资本素质、政府支持、城市规模和教育投入对其影响较大。近年来，经济发展、人力资本素质和对外开放对于绿色发展效率影响显著，表明西南资源型城市的产业多元化转型和培育人才制度效果良好，人才结构的提升与经济、技术等呈现出相互促进的态势，从而共同促进绿色发展效率的提升。在下一步，政府要持续扩大开放程度，吸引智力和资本投资，增加人口密度和市场规模。

对于内蒙古的资源型城市，经济发展、城市化、城市规模 and 对外开放的扩大对于提升绿色发展效率作用明显。近年来，政府支持、技术创新、信息基础设施也表现出明显的促

表5 不同空间划分视角下绿色发展效率驱动因素

Table 5 Driving factors of green development efficiency from the perspective of different spatial divisions

研究时段/年	影响因素	全域	西北	西南	内蒙古	广西	影响因素	全域	西北	西南	内蒙古	广西
整体	经济发展	0.331	0.244	0.076	0.618	0.385	城市规模	0.565	0.569	0.402	0.828	0.459
2001—2012	水平 X_1	0.243	0.154	0.056	0.478	0.282	X_8	0.535	0.552	0.391	0.741	0.455
2013—2019		0.482	0.399	0.110	0.858	0.560		0.615	0.597	0.421	0.977	0.466
整体	产业转型	0.286	0.251	0.239	0.292	0.364	教育投入	0.360	0.330	0.322	0.352	0.435
2001—2012	水平 X_2	0.276	0.321	0.288	0.181	0.314	X_9	0.373	0.302	0.361	0.390	0.438
2013—2019		0.304	0.130	0.155	0.481	0.451		0.338	0.378	0.256	0.287	0.430
整体	市场多元	0.292	0.301	0.289	0.398	0.180	对外开放	0.271	0.167	0.084	0.591	0.240
2001—2012	化水平 X_3	0.286	0.299	0.231	0.398	0.215	水平 X_{10}	0.227	0.059	0.115	0.608	0.126
2013—2019		0.303	0.306	0.388	0.398	0.119		0.345	0.352	0.032	0.561	0.435
整体	人力资本	0.236	0.261	0.288	0.215	0.180	技术创新	0.376	0.113	0.178	0.382	0.830
2001—2012	素质 X_4	0.223	0.246	0.210	0.222	0.215	水平 X_{11}	0.401	0.171	0.261	0.316	0.855
2013—2019		0.258	0.289	0.421	0.203	0.119		0.333	0.013	0.036	0.495	0.789
整体	城市化水平	0.453	0.428	0.177	0.454	0.752	金融发展	0.257	0.075	0.098	0.320	0.536
2001—2012	X_5	0.517	0.410	0.171	0.543	0.945	水平 X_{12}	0.305	0.070	0.139	0.331	0.681
2013—2019		0.342	0.460	0.188	0.301	0.421		0.175	0.084	0.027	0.302	0.286
整体	能源强度 X_6	0.227	0.099	0.175	0.248	0.387	信息基础	0.224	0.194	0.083	0.218	0.402
2001—2012		0.195	0.095	0.190	0.259	0.235	设施水平	0.180	0.118	0.054	0.214	0.333
2013—2019		0.283	0.107	0.151	0.229	0.647	X_{13}	0.301	0.324	0.131	0.226	0.522
整体	政府支持 X_7	0.322	0.113	0.300	0.367	0.508						
2001—2012		0.305	0.123	0.315	0.298	0.485						
2013—2019		0.350	0.095	0.274	0.485	0.548						

进作用。内蒙古资源型城市经济基础较好，财政收入相对稳定，因而政府对城市转型发展各个环节的引导作用较强。此外，随着信息基础设施的改善，打破了区位限制对城市经济发展的制约瓶颈，也促进了绿色效率的提升。内蒙古资源型城市已经步入产业加速转型阶段，其中技术创新在绿色发展效率的提升过程中表现出积极的推动作用。今后要扩大开放水平，持续推动产业提质增效。同时，加快信息化建设力度，促进各类生产要素有效流动。

对于广西的资源型城市，城市化、政府支持、技术创新和金融发展对促进其绿色发展效率提升效果显著。广西资源型城市的资源产业具有规模小、品类多的特点，资源经济的路径依赖相对较弱，在政府引导下，资源产业的转型升级与非资源型产业的培育快速发展，因而政府支持、金融发展等因素能显著推动城市绿色发展。近年来，经济发展、产业转型、能源强度和对外开放对于绿色发展效率的影响加强，城市化和金融发展的作用有所减弱，表明广西资源型城市的绿色发展与经济发达程度相关性较高，同时城市经济对于资源能源的依赖仍然较强，非资源产业对于城市经济的贡献程度依然有限。此外，科技、教育、创新等生产要素尚未能成为推动城市绿色发展的必要要素。

2.2.2 城市生命周期划分视角下驱动因素

对西部不同成长阶段的资源型城市绿色发展效率的驱动能力进行识别，结果见表6。

对于成长型城市，经济发展、城市规模、教育投入和对外开放程度的提升能够明显促进绿色发展效率的提升。近年来，能源投入强度、政府支持和技术创新对于绿色发展效率的影响加强。成长型城市正处于能源开采的上升期，城市经济发展对于资源和能源

表6 不同城市生命周期划分视角下绿色发展效率驱动因素

Table 6 Driving factors of green development efficiency from the perspective of different growth stages

研究时段/年	影响因素	成长型	成熟型	衰退型	再生型	影响因素	成长型	成熟型	衰退型	再生型
整体	经济发展	0.429	0.333	0.435	0.744	城市规模 X_8	0.493	0.384	0.792	0.751
2001—2012	水平 X_1	0.407	0.267	0.299	0.636		0.463	0.399	0.726	0.657
2013—2019		0.468	0.447	0.669	0.930		0.544	0.357	0.904	0.913
整体	产业转型	0.192	0.221	0.395	0.556	教育投入 X_9	0.499	0.367	0.319	0.482
2001—2012	水平 X_2	0.214	0.211	0.459	0.668		0.419	0.273	0.290	0.370
2013—2019		0.154	0.238	0.285	0.363		0.638	0.527	0.370	0.674
整体	市场多元	0.176	0.232	0.428	0.691	对外开放	0.350	0.069	0.227	0.697
2001—2012	化水平 X_3	0.197	0.177	0.420	0.581	水平 X_{10}	0.338	0.073	0.201	0.590
2013—2019		0.140	0.326	0.443	0.878		0.370	0.062	0.273	0.880
整体	人力资本	0.138	0.229	0.196	0.921	技术创新	0.296	0.157	0.128	0.258
2001—2012	素质 X_4	0.143	0.152	0.207	0.886	水平 X_{11}	0.265	0.242	0.192	0.338
2013—2019		0.130	0.361	0.175	0.980		0.348	0.012	0.017	0.120
整体	城市化水平	0.320	0.430	0.905	0.780	金融发展	0.043	0.045	0.286	0.438
2001—2012	X_5	0.370	0.374	0.915	0.665	水平 X_{12}	0.045	0.038	0.353	0.289
2013—2019		0.235	0.527	0.888	0.978		0.039	0.059	0.173	0.692
整体	能源强度 X_6	0.109	0.093	0.306	0.719	信息基础设	0.219	0.085	0.353	0.691
2001—2012		0.045	0.079	0.327	0.607	施水平 X_{13}	0.231	0.068	0.301	0.581
2013—2019		0.220	0.118	0.270	0.910		0.200	0.113	0.443	0.878
整体	政府支持 X_7	0.189	0.066	0.117	0.579					
2001—2012		0.116	0.073	0.073	0.373					
2013—2019		0.315	0.053	0.191	0.931					

的依赖明显，资源型产业的扩大与经济增长呈现显著的正相关关系。在下一步发展中，政府应加大支持力度，一是鼓励城市创新；二是引导非资源产业与资源产业的协同发展共同促进成长型城市平稳转型，预防“资源诅咒”的发生。

对于成熟型城市，经济发展、城市化、城市规模和教育投入能够显著增强城市绿色发展效率。近年来，经济发展、市场多元化、人力资本素质和信息基础设施对于城市绿色发展效率的作用更加明显。成熟型城市的发展重心要延长产业链，培育第三产业，尤其是加强培育与资源产业相关的第三产业的发展，降低产业转型成本，鼓励资源产业由生产向研发、投资等其他业态转移。此外，加大城市建设力度，提升城市容量，建立完善的高层次人才孵化、引进与扶持机制，加快提升城市人力资本素质，通过现代化、信息化、去自然资源化和规模化的转型提升城市绿色发展效率。

对于衰退型城市，经济发展、产业转型、市场多元化、城市化、城市规模和信息基础设施水平均能显著提升绿色发展效率。近年来，能源强度和政府支持对于绿色发展效率提升显著。表明衰退型城市的经济发展正在经历“钟摆期”，资源产业与非资源产业均不能明显控制城市经济发展走势，但政府在推动城市绿色发展仍然发挥重要作用。值得注意的是，技术创新水平与金融发展水平的影响力在减弱，这并不利于落后产能的提质增效，也将阻碍战略新兴产业的投资与发展。

对于再生型城市，经济发展、人力资本素质、城市化、能源强度和城市规模的扩大都会加快绿色发展效率的提升。近年来，市场多元化、政府支持、对外开放、金融发展和

信息基础设施对于绿色发展效率的作用愈发明显。再生型城市处于城市综合系统更新的关键阶段，在经济、社会、环境和能源等方面进入到转型的加速器，今后发展中，城市更应该扩大对外开放水平，积极培育第三产业，从政策、税收、基础设施建设各方面促进城市高质量发展。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文通过构建绿色发展效率评价体系，采用MinDs模型、泰尔指数、地理探测器等方法，测算2001—2019年西部资源型城市绿色发展效率的演化情况，分析其绿色发展效率的时空分异特征及其驱动因素，主要结论如下：

(1) 西部资源型城市的绿色发展效率整体得分明显低于西部省会城市，转型与绿色发展任务艰巨。从时序演变上看，西部资源型城市绿色发展效率呈“先升后降”变化趋势，2001—2015年处于平稳上升期，2016—2019年进入缓慢下降期。对于不同空间划分的区域，西北绿色发展效率整体较高，平均得分达到0.943；西南保持在低水平发展，平均得分为0.765，且2016年后出现下滑；内蒙古绿色发展效率始终较高，得分在0.840~1.197之间，但是下降趋势在2017年后持续加剧；广西绿色发展效率在西部地区相对最低，仅为0.668。对于不用生命周期划分的城市，再生型城市绿色发展效率达到0.990，普遍高于其他类型资源型城市。

(2) 从空间演变上看，西部资源型城市绿色发展效率整体上表现为极低和极高区间城市数量少、中间得分城市数量多的正态分布特征。西北地区的新疆、甘肃和宁夏的资源型城市绿色发展效率相对较高，除白银外，其余城市均在0.820以上，陕西资源型城市绿色发展效率较低，仅有延安、铜川超过0.741；西南地区的资源型城市绿色发展效率普遍较低，一半以上城市均不超过0.740；内蒙古的资源型城市绿色发展效率极不均衡，鄂尔多斯平均得分是包头的2.6倍；广西的资源型城市位于中下游水平，最高的贺州仅为0.768。

(3) 从空间差异上看，2001—2016年西部资源型城市绿色发展效率的差异逐步缩小，自2017年之后差异开始扩大，绿色发展效率的空间非均衡的问题仍然较为明显。其中，西北与西南地区成熟型城市绿色发展效率的变化是西部资源型城市绿色发展效率总体差异扩大的主要原因所在。

(4) 从西部资源型城市绿色发展效率的驱动因素上看，经济发展、城市化、城市规模和技术创新对绿色发展效率具有较强的影响力。就不同空间划分区域：① 市场多元化、城市化和城市规模对于西北资源型城市的影响最为显著；② 市场多元化、人力资本素质、政府支持、城市规模和教育投入对西南资源型城市影响较大；③ 经济发展、城市化、城市规模和对对外开放的改善对于提升内蒙古资源型城市作用明显；④ 城市化、政府支持、技术创新和金融发展对促进广西资源型城市绿色发展效率提升效果显著。就不同生命周期划分的城市：① 经济发展、城市规模、教育投入和对对外开放程度能够促进成长型城市绿色发展效率的提升；② 经济发展、城市化、城市规模和教育投入能够增强成熟型城市绿色发展效率；③ 经济发展、产业转型、市场多元化、城市化、市场规模和信息基础设施均能够提升衰退型城市绿色发展效率；④ 经济发展、人力资本素质、城市化、能源强度和城市规模能够促进再生型城市绿色发展效率的增长。

3.2 讨论

进入21世纪,伴随着一系列国家战略的深入实施,西部资源型城市的转型发展面临更多机遇和更大挑战。绿色发展作为西部资源型城市实现高质量发展的先决条件与必然要求,仍然存在绿色发展效率下滑及区域不均衡的问题。从总体上,迫切需要建立一套有效的促进西部资源型城市绿色发展的体制机制,促进供给侧结构性改革,淘汰过剩产能,加快创新驱动,推动西部资源型城市产业转型升级。从区域上,优化西部资源型城市产业布局,形成良性互补的竞合发展关系,发挥克拉玛依、金昌、丽江、鄂尔多斯等绿色发展效率高城市的引领带动作用。从类型上,对于不同生命周期发展阶段的城市,实施分类推进,特别是成熟型城市要防止路径依赖形成“资源诅咒”。

本文在分析西部资源型城市绿色效率中,部分统计数据缺失造成研究样本和指标的选择存在一定的局限性。此外,研究仅探讨了宏观和中观两个尺度绿色发展效率的驱动力,并未针对城市个体绿色发展效率进行研究。由于城市发展的异质性,不同城市的绿色发展效率存在其特殊性,因此完善指标设计和识别微观尺度绿色发展效率的驱动因素是今后需要进一步探讨的问题。

参考文献(References):

- [1] 王洪涛. 中国西部地区农村反贫困问题研究. 北京: 中央民族大学, 2013. [WANG H T. Research on rural anti-poverty in Western China. Beijing: Minzu University of China, 2013.]
- [2] 刘纪远, 邓祥征, 刘卫东, 等. 中国西部绿色发展概念框架. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(10): 1-7. [LIU J Y, DENG X Z, LIU W D, et al. Conceptual Framework of green development in Western China. China Population, Resource and Environment, 2013, 23(10): 1-7.]
- [3] 车磊, 白永平, 周亮, 等. 中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析. 地理科学, 2018, 38(11): 1788-1798. [CHE L, BAI Y P, ZHOU L, et al. Spatial pattern and spillover effects of green development efficiency in China. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(11): 1788-1798.]
- [4] 钱争鸣, 刘晓晨. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7): 104-109. [QIAN Z M, LIU X C. Regional differences in China's green economic efficiency and their determinants. China Population, Resource and Environment, 2013, 23(7): 104-109.]
- [5] SILVER R, MAN B W, YOUNG G A. The bootstrap: To smooth or not to smooth?. Biometrika, 1987, 74(3): 469-479.
- [6] 吴延兵. 用DEA方法评测知识生产中的技术效率与技术进步. 数量经济技术经济研究, 2008, 25(7): 67-79. [WU Y B. Evaluating technical efficiency and technical progress of knowledge production by using DEA. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2008, 25(7): 67-79.]
- [7] 刘杨, 杨建梁, 梁媛. 中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征. 经济地理, 2019, 39(2): 110-117. [LIU Y, YANG J L, LIANG Y. The green development efficiency and equilibrium features of urban agglomerations in China. Economic Geography, 2019, 39(2): 110-117.]
- [8] 赵金凯, 杨万平. 中国各地区绿色发展效率测算. 统计与决策, 2017, (24): 115-120. [ZHAO J K, YANG W P. Estimation on green development efficiency of regions in China. Statistics & Decision, 2017, (24): 115-120.]
- [9] 黄杰. 中国绿色发展效率的区域差异及动态演进. 地域研究与开发, 2018, 37(4): 13-18. [HUANG J. Regional difference decomposition and its dynamic evolution of green development efficiency in China. Areal Research and Development, 2018, 37(4): 13-18.]
- [10] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 鲁南经济带城乡绿色发展效率时空分异及驱动因素识别. 自然资源学报, 2020, 35(8): 1972-1985. [GUO F Y, TONG L J, QIU F D, et al. Spatio-temporal pattern and driving factors of urban-rural green development efficiency in Lunan Economic Belt. Journal of Natural Resources, 2020, 35(8): 1972-1985.]
- [11] 林晓, 徐伟, 杨凡, 等. 东北老工业基地绿色经济效率的时空演变及影响机制: 以辽宁省为例. 经济地理, 2017, 37(5): 125-132. [LIN X, XU W, YANG F, et al. Spatio-temporal characteristics and driving forces of green economic efficiency in old industrial base of Northeastern China: A case study of Liaoning province. Economic Geography, 2017, 37(5): 125-132.]
- [12] 吴传清, 宋筱筱. 长江经济带城市绿色发展影响因素及效率评估. 学习与实践, 2018, (4): 8-13. [WU C Q, SONG X

- X. Influencing factors and efficiency evaluation of urban green development in the Yangtze River Economic Belt. *Study and Practice*, 2018, (4): 8-13.]
- [13] 黄建欢, 吕海龙, 王良健. 金融发展影响区域绿色发展的机理: 基于生态效率和空间计量的研究. *地理研究*, 2014, 33(3): 532-545. [HUANG J H, LYU H L, WANG L J. Mechanism of financial development influencing regional green development: Based on eco-efficiency and spatial econometrics. *Geographical Research*, 2014, 33(3): 532-545.]
- [14] 杨志江, 文超祥. 中国绿色发展效率的评价与区域差异. *经济地理*, 2017, 37(3): 10-18. [YANG Z J, WEN C X. Evaluation on China's green development efficiency and regional disparity. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 10-18.]
- [15] 张文博, 邓玲, 尹传斌. “一带一路”主要节点城市的绿色经济效率评价及影响因素分析. *经济问题探索*, 2017, (11): 84-90. [ZHANG W B, DENG L, YIN C B. Main node city's green economic efficiency evaluation and its influencing factors analysis in the Belt and Road Initiative. *Inquiry into Economic Issues*, 2017, (11): 84-90.]
- [16] 朴胜任, 李健. 基于超效率DEA模型的中国区域环境效率时空差异研究. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(4): 1-6. [PIAO S R, LI J. Spatial-temporal differences of regional environmental efficiency in China based on super efficiency DEA model. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(4): 1-6.]
- [17] 周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素. *地理学报*, 2019, 74(10): 2027-2044. [ZHOU L, CHE L, ZHOU C H. Spatiotemporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2027-2044.]
- [18] 辛龙, 孙慧, 王慧, 等. 基于地理探测器的绿色经济效率时空分异及驱动力研究. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(9): 128-138. [XIN L, SUN H, WANG H, et al. Research on the spatial temporal differentiation and driving force of green economic efficiency based on the geographic detector model. *China Population, Resource and Environment*, 2020, 30(9): 128-138.]
- [19] 林志炳, 陈志注. 工业结构绿色化对绿色经济效率的影响研究. *电子科技大学学报: 社科版*, 2021, 23(1): 19-26. [LIN Z B, CHEN Z Z. Study on the influence of the green development of industrial structure on green economy efficiency. *Journal of Electronic and Technology: Social Sciences Edition*, 2021, 23(1): 19-26.]
- [20] 方杏村, 田淑英, 王晓玲. 财政分权、产业集聚与绿色经济效率. *经济问题探索*, 2019, (11): 164-172. [FANG X C, TIAN S Y, WANG X L. Fiscal decentralization industrial agglomeration and green economic efficiency. *Inquiry into Economic Issues*, 2019, (11): 164-172.]
- [21] TONE K. A slacks based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operation Research*, 2001, 3: 498-509.
- [22] 陈明华, 刘文斐, 王山, 等. 长江经济带城市生态效率的时空分异及其驱动因素. *中国人口资源与环境*, 2020, 30(9): 121-127. [CHEN M H, LIU W F, WANG S, et al. Spatial temporal differentiation of urban eco-efficiency in the Yangtze River Economic Belt. *China Population, Resource and Environment*, 2020, 30(9): 121-127.]
- [23] 陈秋星, 陈少晖. 中国城镇基本养老保险支付能力区域差异与影响因素: 基于泰尔指数多指标测度和省际面板数据的实证研究. *湖北经济学院学报*, 2021, 19(3): 39-48, 127. [CHEN Q X, CHEN S H. China's urban basic pension insurance payment capacity: Regional differences and influencing factors. *Journal of Hubei University of Economics*, 2021, 19(3): 39-48, 127.]
- [24] 陈明华, 仲崇阳, 张晓萌. 中国人口老龄化的区域差异与极化趋势: 1995—2014. *数量经济技术经济研究*, 2018, (10): 111-125. [CHEN M H, ZHONG C Y, ZHANG X M. Research on regional difference and polarization trend of population aging from 1995 to 2014 in China. *The Journal of Quantitative Economics*, 2018, (10): 111-125.]
- [25] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134. [WANG J F, XU C D. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [26] 阎晓, 涂建军. 黄河流域资源型城市生态效率时空演变及驱动因素. *自然资源学报*, 2021, 36(1): 223-239. [YAN X, TU J J. The spatiotemporal evolution and driving factors of eco-efficiency of resource-based cities in the Yellow River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(1): 223-239.]
- [27] 王晓楠, 孙威. 黄河流域资源型城市转型效率及其影响因素. *地理科学进展*, 2020, 39(10): 1643-1655. [WANG X N, SUN W. Transformation efficiency of resource-based cities in the Yellow River Basin and its influencing factors. *Progress in Geography*, 2020, 39(10): 1643-1655.]
- [28] 崔丹, 卜晓燕, 徐祯, 等. 中国资源型城市高质量发展综合评估及影响机理. *地理学报*, 2021, 76(10): 2489-2503. [CUI D, BU X Y, XU Z, et al. Comprehensive evaluation and impact mechanism of high-quality development of China's resource-based cities. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(10): 2489-2503.]

Research on spatiotemporal heterogeneity and driving forces of green development efficiency in resource-based cities of Western China

DOU Rui-yin¹, JIAO Bei-bei², ZHANG Wen-jie^{1,3}, ZHANG Peng-fei⁴

(1. School of Tourism & Research Institute of Human Geography, Xi'an International Studies University, Xi'an 710128, China; 2. School of Economics & Finances, Xi'an International Studies University, Xi'an 710128, China; 3. College of Architecture, Art, and Planning, Cornell University, Ithaca NY 14850, USA; 4. School of Economics, Xi'an University of Finances and Economics, Xi'an 710100, China)

Abstract: Green development is an important manifestation of the high-quality transformation of resource-based cities. The study develops a green development efficiency evaluation system, using MinDs model, Theil index, Geodetector and other methods, to measure green development efficiencies in resource-based cities of Western China from 2001 to 2019, and analyzes the spatiotemporal heterogeneity characteristics and associated driving factors. The main conclusions are as follows: (1) The green development efficiency of resource-based cities in the western region is bounded by 2015, showing a trend of "rising first and then falling", the green development efficiency change trends of different types of cities are quite different, resource-based cities in Northwest China and Guangxi have shown an upward trend as a whole, resource-based cities in Southwest China and Inner Mongolia have shown a downward trend in recent years, growing cities have developed relatively stable, mature and regenerating cities have declined significantly after 2017, and declining cities have shown an upward trend. (2) The green development efficiency of resource-based cities in the western region is characterized by a normal distribution with a small number of extremely low and extremely high intervals, and a large number of intermediate scores. (3) The problem of spatial unevenness of green development efficiency is still serious. Changes in the efficiencies of mature cities in northwest and southwest regions are the dominant factors for expanding gaps in the efficiencies of resource-based cities in Western China. (4) Economic development, urbanization, city size expansion and technological innovation can significantly increase the green development efficiency of resource-based cities in the whole study area. Moreover, the driving factors of green development efficiency of resource-based cities in different spatial ranges and different life cycles have their own characteristics. The research has practical significance for improving the green development efficiency of various resource-based cities in the western region of China.

Keywords: green development efficiency; spatiotemporal heterogeneity; driving mechanism; Western China; resource-based cities