

中国资源型城市精明发展与环境质量的耦合关系及响应机制

周宏浩^{1,2}, 陈晓红¹

(1. 哈尔滨师范大学地理科学学院, 哈尔滨 150025; 2. 东北师范大学地理科学学院, 长春 130024)

摘要: 以2003-2015年的中国资源型地级城市为研究对象, 利用全局主成分分析、耦合协调模型和面板VAR模型对中国不同类型的资源型城市精明发展与环境质量的耦合关系及交互响应机制进行综合测度。研究发现: (1) 资源型城市精明发展水平相对较低, 各地区间差异有所减弱; 环境质量亟待改善, 各地区间差异在波动中有所增加。(2) 二者间的耦合协调关系有待提升, 耦合协调度由高到低排名依次为成长型、衰退型、再生型和成熟型。(3) 不同类型资源型城市的精明发展与环境质量均有自我增强和惯性增长趋势。资源型城市精明发展对环境质量呈现先正后负的作用机制, 成熟型资源城市精明发展提升对环境质量具有正向增强机制, 而衰退型资源城市环境质量对精明发展、再生型资源城市精明发展对环境质量均呈现先负后正的交替作用机制。未来15期, 成熟型和再生型资源城市精明发展将会促进环境质量提升。针对不同类型资源城市提出了差异化的对策与转型发展建议。

关键词: 精明发展; 环境质量; 全局主成分分析; 耦合协调; 面板VAR; 资源型城市

资源型城市在长期发展过程中面临资源依赖困境和转型发展难题, 如产业结构和资源配置不均衡、失业人口多、空间无序扩张、生态环境恶化等^[1], 资源型城市的发展基础受到破坏, 生态补偿体制和机制尚不健全, 资源环境的承载能力遭受严峻考验^[2]。在资源型城市发展的早期阶段, 环境问题容易被忽视, 生态环境保护与治理滞缓^[3]。此外, 在多数资源型城市中还出现了空间低密度蔓延和人口收缩同时存在的悖论现象, 存在着收缩型城市当前普遍面临的共性问题, 即空间发展失控和土地城镇化现象^[4-6]。因此, 资源型城市转型与可持续发展过程中要更加强调经济社会发展活动与生态环境之间的耦合关系和协调程度^[7], 已成为中国资源型城市转型发展和环境质量提升的关键环节。

国内外资源型城市发展研究内容主要涉及经济发展转型^[8]、区域发展政策^[9]、资源诅咒效应^[10]、城市转型阶段与生命周期^[11]以及生态效率^[12]、环境规制^[13]和环境污染研究等^[14], 以恢复力为主要内容的城市社会生态系统相关研究已成为该领域的前沿与热点^[15-16]。国外城市精明发展与环境质量关系的相关研究重点围绕精明发展与热岛效应^[17]、气候保护^[18]、绿色基础设施^[19]、资源环境变化^[20]与温室气体排放^[21]以及土地精明利用与生态保护^[22]等展开; 国内学者则主要关注城市空间与环境的协调关联^[23], 其中包括土地集约与生态利用

收稿日期: 2019-02-21; 修订日期: 2019-05-11

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(LH2019D008); 黑龙江省哲学社会科学研究规划项目(16JBL01); 黑龙江经济社会发展重点研究课题(基地专项)(JD2016014); 黑龙江省新型智库研究项目(18ZK021); 哈尔滨师范大学人文社会科学优秀青年学者支持项目(SYQ2014-06)

作者简介: 周宏浩(1991-), 男, 黑龙江讷河人, 博士研究生, 研究方向为区域经济与可持续发展。

E-mail: zhouhh1208@163.com

通讯作者: 陈晓红(1978-), 女, 山东日照人, 教授, 博士生导师, 研究方向为区域经济与规划。

E-mail: chenxh440@163.com

协同关系、资源环境对城市增长边界划定约束以及城市蔓延的生态环境效应等^[24-26]。

上述研究对精明发展与环境质量之间关系的关注不够,多在规划层面衡量城市空间发展质量以及探讨精明增长对生态和环境的影响;现有研究多局限于从定性视角研究以精明增长与收缩为主要内容的理论发展和规划实践,资源型城市精明发展与环境质量的时空格局演变以及二者之间的耦合关系、交互作用机制分析及其动态演化模拟等研究内容亟待丰富。研究方法上对城市发展中的环境质量研究不足,且交互作用机制方法多为定性与相关分析,对计量模型的使用相对缺乏;研究尺度上缺少多尺度的系统性研究,不利于从宏观层面把握不同类型资源型城市地区的特点。本文以2003-2015年中国地级资源型城市为研究样本,对资源型城市精明发展和环境质量水平进行测度,并揭示二者之间的动态耦合关系及响应机制,为中国资源型城市转型与环境协调发展提供参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 评价指标体系

“精明增长”与“精明收缩”理论分别起源于美国和德国,注重城市空间内部调整以提升经济发展活力,并促进空间集约利用、生态环境改善和地区可持续发展^[27-28]。本文综合“精明增长”和“精明收缩”的内涵、原则与特征,在着眼于资源型城市内部出现的空间匹配失衡、局部地区经济衰退等现象基础上,认为精明发展是以经济社会发展与景观环境建设的协调发展为目标,在空间紧凑利用、合理开发建设基础上,促进城市内部要素高效组织、完善功能服务的一种精明发展模式,系统反映城市发展的综合质量。借鉴已有研究成果^[29-32],从空间集约利用、结构紧凑布局、规模开发强度、经济发展水平、要素高效配置、区域交通联系、基础设施投入、公共功能服务、景观环境建设等方面,建立资源型城市精明发展评价指标体系(表1),采用全局主成分分析法^[33]来计算精明发展程度。

对于环境质量的评价,本文借鉴相关研究^[34-36]的思路,认为环境质量不仅注重城市发展带来的污染物减排,而且强调与城市生产、生活和居民健康息息相关的空气质量提升。因此,环境质量可以采用综合环境污染指标来表示,相关研究中的环境污染多数是指大气污染、水污染和固废污染等方面,但限于数据的可获得性和长时间序列的一致性,本文选取工业废水、二氧化硫、烟尘排放量和PM_{2.5}地表年均浓度这四项指标进行度量,而且为了保证前后测度的一致性,环境质量亦采用全局主成分分析法^[33]来计算。

1.1.2 耦合协调模型

耦合协调度^[37]是测量系统之间耦合协调关系的量化指标,公式如下:

$$C = 2 \times [(SD_i \times EQ_i) / (SD_i + EQ_i)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$T = a \times SD_i + b \times EQ_i \quad (2)$$

$$U = [C \times T]^{1/2} \quad (3)$$

式中: U 为耦合协调度,综合表征精明发展与环境质量两个系统之间的耦合协调程度; C 为耦合度; T 为协调度; SD_i 和 EQ_i 分别为第 i 个城市精明发展和环境质量的标准化值; a 和 b 均取值为0.5,表示两个系统同等重要。

1.1.3 面板VAR模型

面板VAR模型兼具面板数据分析与时间序列模型的优势,以便于控制个体的异质性和动态调整分析,探讨精明发展与环境质量的交互响应机制,建立计量分析模型^[38]如下:

表1 中国资源型城市精明发展的测度指标体系

Table 1 Indicators system for measurements of smart development in Chinese resource-based cities

要素名称	指标名称	指标含义	单位
空间集约利用	地均固定资产投资	固定资产投资/市区面积	万元/km ²
	地均生产总值	地区生产总值/市区面积	万元/km ²
	地均消费品零售总额	社会消费品零售总额/市区面积	万元/km ²
结构紧凑布局	经济密度	地区生产总值/城市建设用地面积	万元/km ²
	人口密度	市区人口/市区面积	人/km ²
	居住密度	居住用地/建成区面积	%
	就业密度	(单位+私营、个体从业人员)/市区面积	人/km ²
	道路密度	年末实有铺装道路面积/市区面积	m ² /km ²
规模开发强度	空间紧缩系数	上一年/当年城市建成区面积	/
	开发利用强度	建成区面积/市区面积	%
	建设集约强度	建设用地面积/建成区面积	%
	土地利用均衡度	土地利用结构熵	/
经济发展水平	人均地区生产总值	地区生产总值/市区人口	元/人
	人均固定资产投资	固定资产投资完成额/市区人口	元/人
	投入产出比	地区生产总值/固定资产投资完成额	/
	第二、三产业比例	第二、三产业增加值/地区生产总值	%
要素高效配置	人均用电量	全社会用电量/市区人口	kW · h/人
	用水普及率	建成区用水人口/建成区人口×100%	%
	燃气普及率	建成区用气人口/建成区人口×100%	%
	从业人口比例	(单位+私营、个体从业人员)/市区人口	%
	人均建设用地面积	城市建设用地面积/市区人口	m ² /人
区域交通联系	公共交通供给	每万人拥有公共汽电车	辆
	公交系统效率	公共汽电车客运数/公共营运汽电车数	万人次/辆
	人均道路面积	建成区道路面积/建成区人口	m ² /人
基础设施投入	城市维护建设	城市维护建设资金/建成区人口	元
	排水管道密度	建成区排水管道长度/建成区面积	km/km ²
	建成区路网密度	建成区道路长度/建成区面积	km/km ²
公共功能服务	教育服务水平	市区中小学师生比	/
	医疗服务水平	市区万人医院卫生院床位数	张
	文化服务水平	每百人公共图书馆藏书量	册
	卫生、社会保障与福利水平	卫生、社会保障与福利业从业人员占比	%
景观环境建设	人均绿地面积	市区绿地面积/市区人口	m ² /人
	建成区绿化覆盖率	建成区绿化覆盖面积/建成区面积×100%	%
	人均道路清扫保洁面积	道路清扫保洁面积/建成区人口	m ² /人
	人均生活垃圾清运量	生活垃圾清运量/建成区人口	t/人
	污水处理率	污水处理总量/污水排放总量×100%	%

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j y_{i,t-j} + \mu_t + \varepsilon_{it}$$

(4)

式中： y_{it} 为包含精明发展和环境质量评价值的列向量； α_i 表示个体效应的列向量； β_0 表示截距项向量； β_j 表示系数向量； μ_t 为时间效应的列向量； ε_{it} 为干扰项； i 代表城市； t 代表

年份; n 表示滞后阶数。

1.2 数据来源与处理

截至2015年底,中国拥有116座资源型地级城市^[39],约占全国地级以上城市总数的三分之一以上。鉴于评价数据的连续性和可获得性,而且考虑到市级行政区划调整,研究区域不包括陇南、毕节、临沧、丽江和云浮市,共有13个成长型、14个再生型、23个衰退型和61个成熟型资源城市^[40]。本文以2003-2015年111个地级资源型城市为研究对象,文中所用数据分别源自《中国城市建设统计年鉴》《中国城市统计年鉴》以及美国哥伦比亚大学社会经济数据与应用中心^[41]。其中,PM_{2.5}地表年均浓度数据由GIS技术处理得到,并利用《中国统计年鉴》中对应的CPI指数和固定资产投资价格指数对涉及价格的指标进行平减。环境污染各项指标均属于负向指标,在进行主成分分析之前,将其正向化处理。另外,为了避免主成分分析结果的负值影响,采用统计学原则将精明发展与环境质量的评价值进行了坐标平移,以便于将各变量引入计量模型和实证分析^[33]。

2 结果分析

2.1 资源型城市精明发展和环境质量的测度与分析

采用全局主成分分析法对资源型城市的精明发展和环境质量水平进行测度,结果表明(表2):2003-2015年资源型城市精明发展得分相对较低,均值具有逐步增大的变化趋势,精明发展程度有所增强;环境质量的均值呈逐渐减小的变化趋势,环境质量亟待改善。多年来,资源型城市精明发展的离散系数由2003年的0.308降至2015年的0.268,说明总体上精明发展各地区间差异有所减弱;而资源型城市环境质量的离散系数先增大后减小,表明总体上环境质量各地区间差异在波动中有所增加。

精明发展按均值排名从大到小依次为再生型、衰退型、成熟型和成长型(图1a~图1c),表明成熟型资源城市由于前期经济发展迅速,资源开发强度大,容易忽视城市空间集约和紧凑利用,阻碍精明发展水平提升。成长型资源城市资源开采秩序不规范,尚在资源开发的上升阶段,易产生空间蔓延现象^[40]。衰退型资源型城市资源面临枯竭,经济发展滞缓,历史遗留问题显著^[40],内部结构难以优化。而再生型资源城市因其对资源的依赖度降低,资源开发活动薄弱,有利于优化调整空间结构,促进城市精明发展。环境质量从均值来看,由大到小排名依次为成长型、衰退型、成熟型和再生型(图1d~图1f),以上结果可以看出,成熟型资源城市资源开发强度大,容易产生环境污染问题,资源开发利用的环境绩效有待提高;衰退型资源城市经济增长放缓,缺乏内生发展动力和资源利用效率^[40],环境成本高;而成长型资源城市资源储量丰富,发展潜力大,资源利用效率高,环境成本低;再生型资源城市虽然在很大程度上减少了资源依赖^[40],但城市早期发展造成的环境污染控制滞后,城市发展的结构与功能有待提高,由此导致其环境质量较低。

表2 中国资源型城市精明发展与环境质量的描述统计

Table 2 Description statistics of smart development and environmental quality in Chinese resource-based cities

精明发展						环境质量					
年份	最大值	最小值	平均值	标准差	离散系数	年份	最大值	最小值	平均值	标准差	离散系数
2003	1.251	0.265	0.644	0.198	0.308	2003	2.810	1.009	1.554	0.425	0.273
2009	1.478	0.365	0.875	0.225	0.257	2009	3.943	0.974	1.539	0.532	0.346
2015	2.497	0.428	1.082	0.29	0.268	2015	2.931	0.991	1.471	0.426	0.290

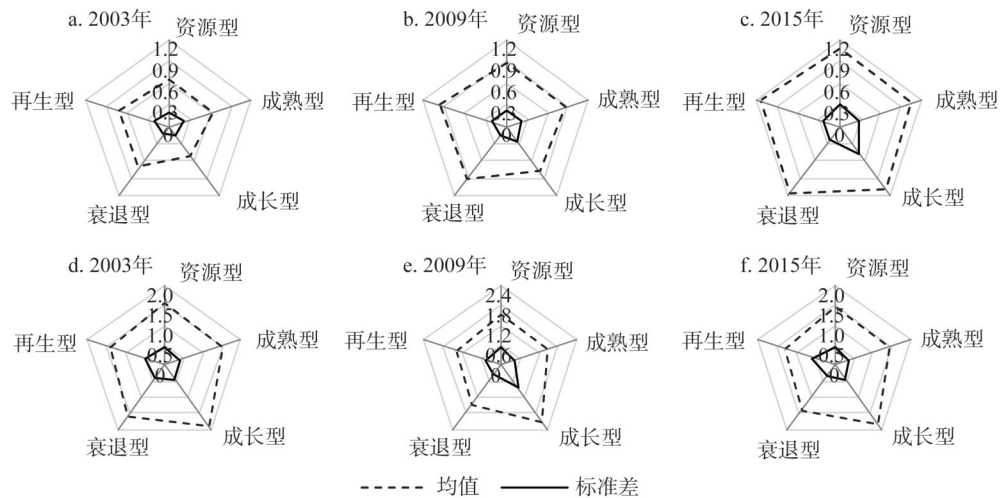


图1 中国资源型城市及其不同类型的精明发展与环境质量的基本统计量

Fig. 1 Basic statistics of smart development and environmental quality in various types of Chinese resource-based cities

2.2 资源型城市精明发展与环境质量的耦合关系

基于资源型城市精明发展与环境质量的耦合协调度的评价值，利用自然间断点方法，从大到小将其划分为优质协调、高级协调、中级协调和低级协调共4种等级类型（表3）。结果表明：资源型城市整体上精明发展与环境质量的耦合协调程度较好，二者之间的耦合协调关系具有减弱趋势，地区间差异有所下降，在不同类型资源城市中耦合协调度排名由高到低依次为成长型、衰退型、再生型和成熟型（图2）。其中，优质协调的资源型城市数量有所增加，只有克拉玛依、包头和乌海市在研究时段内均处于优质协调等级，除了拥有丰富资源以外，空间集约紧凑利用以及良好的功能服务设施，积极提高资源利用效率，严格控制环境污染，探索转型发展的道路，基本形成紧凑集约高效、功能服务良好的精明发展模式。高级协调资源型城市的数量显著减少，而中级协调和低级协调资源型城市的数量有所增加。可见，中国资源型城市精明发展与环境质量的耦合关系亟待提高，但从整体上看，耦合关系的内在响应机制需要进一步探索，进而促使两者之间相互增强和继续优化。

2.3 资源型城市精明发展与环境质量响应机制的实证分析

鉴于面板数据存在单位根可能造成伪回归的问题，依据不同类型单位根检验方法的特征和适用条件，采用HT和IPS方法来检验数据的平稳性，平稳性检验结果表明（表4），精明发展（lnSD）和环境质量（lnEQ）变量均在0.01的水平上显著地拒绝了原假设，即精明发展和环境质量在资源型城市整体及其不同类型的资源型城市中均为平稳序列。

2.3.1 面板VAR模型的GMM估计

针对面板VAR模型的最优滞后阶数，本文依据AIC、BIC和HQIC准则确定^[38]。其中资源型城市与成长型、成熟型、再生型和衰退型资源城市分别为4、3、3、2和4期，而后利用系统GMM方法对模型参数进行估计（表5、表6）。结果表明，精明发展和环境质量的正向增强机制均在不同程度上存在于中国资源型城市总体及不同类型资源型城市之中。具体地说，资源型城市总体的精明发展滞后1、2、3期和环境质量滞后1、2、4期，成长型资源城市的精明发展滞后1、2、3期和环境质量滞后1期，成熟型资源城市的精明

表3 中国资源型城市精明发展与环境质量的耦合协调度

Table 3 Coupling and coordinating degrees of smart development and environmental quality in Chinese resource-based cities

排名	2003年			2009年		2015年	
		城市	耦合协调度	城市	耦合协调度	城市	耦合协调度
前5名	1	克拉玛依市	0.999	克拉玛依市	0.881	鄂尔多斯市	0.903
	2	攀枝花市	0.883	呼伦贝尔市	0.872	克拉玛依市	0.870
	3	乌海市	0.852	庆阳市	0.854	包头市	0.838
	4	三明市	0.835	鄂尔多斯市	0.846	乌海市	0.820
	5	包头市	0.831	包头市	0.835	金昌市	0.819
后5名	107	临沂市	0.592	宜春市	0.589	徐州市	0.610
	108	运城市	0.586	南阳市	0.583	南阳市	0.594
	109	渭南市	0.580	安顺市	0.575	赣州市	0.581
	110	宿州市	0.572	贺州市	0.559	宜春市	0.564
	111	广安市	0.572	广安市	0.546	达州市	0.552
均值			0.718		0.682		0.674
标准差			0.066		0.061		0.059
离散系数			0.092		0.090		0.088
低级协调比例/%			19.82		20.72		27.93
中级协调比例/%			41.44		51.35		44.14
高级协调比例/%			32.43		21.62		18.02
优质协调比例/%			6.31		6.31		9.91

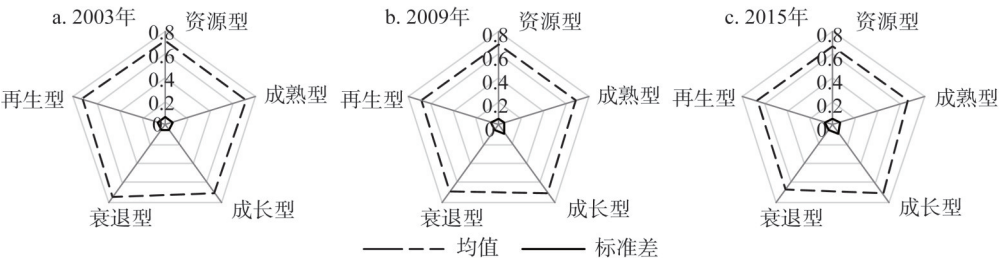


图2 中国资源型城市及其不同类型的精明发展与环境质量耦合协调度的基本统计量

Fig. 2 Basic statistics of coupling and coordinating degree of smart development and environmental quality in various types of Chinese resource-based cities

表4 精明发展和环境质量变量的平稳性检验

Table 4 Test for stationariness of variables of smart development and environmental quality in various types of Chinese resource-based cities

变量	资源型城市		成长型资源城市		成熟型资源城市		再生型资源城市		衰退型资源城市	
	HT 检验	IPS 检验	HT 检验	IPS 检验	HT 检验	IPS 检验	HT 检验	IPS 检验	HT 检验	IPS 检验
lnSD	0.17***	-8.09***	0.04***	-3.72***	0.22***	-4.75***	0.13***	-3.50***	0.18***	-4.53***
lnEQ	0.02***	-11.62***	-0.09***	-4.47***	0.12***	-8.83***	0.06***	-4.15***	0.17***	-4.56***

注：***、**与*分别表示在 1%、5%与 10%的水平下显著，下同；表中数字表示 HT 和 IPS 检验对应的统计量。

发展滞后 1、2、3 期和环境质量滞后 1、3 期，再生型资源城市的精明发展滞后 1 期和环境质量滞后 1 期以及衰退型资源城市精明发展滞后 1、2 期与环境质量滞后 1 期，分别对其自身当期的影响系数显著为正，表明二者均存在自我增强机制，精明发展和环境质量

表5 资源型城市总体、衰退型和再生型资源城市的面板VAR模型估计结果

Table 5 Panel VAR model estimated results of general situation, recession and regeneration types in resource-based cities

资源型城市				衰退型资源城市				再生型资源城市			
lnSD 方程		lnEQ 方程		lnSD 方程		lnEQ 方程		lnSD 方程		lnEQ 方程	
变量	系数	变量	系数	变量	系数	变量	系数	变量	系数	变量	系数
L_1_lnSD	0.44*** (5.89)	L_1_lnSD	0.05 (1.53)	L_1_lnSD	0.46*** (3.62)	L_1_lnSD	0.06 (1.14)	L_1_lnSD	0.75*** (6.72)	L_1_lnSD	0.16*** (2.60)
L_1_lnEQ	0.08 (0.83)	L_1_lnEQ	0.63*** (7.20)	L_1_lnEQ	-0.12 (-0.98)	L_1_lnEQ	0.73*** (6.43)	L_1_lnEQ	0.22 (0.91)	L_1_lnEQ	0.64** (2.26)
L_2_lnSD	0.12*** (2.78)	L_2_lnSD	-0.05* (-1.75)	L_2_lnSD	0.20** (2.46)	L_2_lnSD	0.04 (0.88)	L_2_lnSD	0.10 (1.53)	L_2_lnSD	-0.08* (-1.68)
L_2_lnEQ	0.13 (1.30)	L_2_lnEQ	0.10* (1.92)	L_2_lnEQ	0.20** (2.21)	L_2_lnEQ	-0.03 (-0.38)	L_2_lnEQ	0.03 (0.15)	L_2_lnEQ	0.20 (1.10)
L_3_lnSD	0.08* (1.90)	L_3_lnSD	-0.02 (-1.18)	L_3_lnSD	0.02 (0.29)	L_3_lnSD	-0.07 (-1.31)				
L_3_lnEQ	-0.09 (-0.99)	L_3_lnEQ	0.02 (0.53)	L_3_lnEQ	0.06 (0.71)	L_3_lnEQ	0.06 (1.03)				
L_4_lnSD	0.03 (1.23)	L_4_lnSD	0.03* (1.66)	L_4_lnSD	0.02 (0.19)	L_4_lnSD	-0.03 (-0.64)				
L_4_lnEQ	-0.01 (-0.25)	L_4_lnEQ	0.07** (1.98)	L_4_lnEQ	-0.17* (-1.93)	L_4_lnEQ	-0.02 (-0.39)				

注：括号内数值为对应的统计量， L_t 代表滞后 t 期，下同。

表6 成长型和成熟型资源城市的面板VAR模型估计结果

Table 6 Panel VAR model estimated results of growth and maturity types in resource-based cities

成长型资源城市				成熟型资源城市			
lnSD 方程		lnEQ 方程		lnSD 方程		lnEQ 方程	
变量	系数	变量	系数	变量	系数	变量	系数
L_1_lnSD	0.44*** (3.88)	L_1_lnSD	0.05 (1.10)	L_1_lnSD	0.45*** (4.63)	L_1_lnSD	0.06* (1.66)
L_1_lnEQ	0.32 (1.06)	L_1_lnEQ	0.70*** (3.46)	L_1_lnEQ	0.09 (0.49)	L_1_lnEQ	0.62*** (3.88)
L_2_lnSD	0.15* (1.65)	L_2_lnSD	-0.09 (-1.31)	L_2_lnSD	0.13** (2.06)	L_2_lnSD	-0.02 (-0.86)
L_2_lnEQ	0.02 (0.16)	L_2_lnEQ	-0.05 (-1.03)	L_2_lnEQ	-0.15 (-1.15)	L_2_lnEQ	0.08 (1.16)
L_3_lnSD	0.16** (2.48)	L_3_lnSD	0.02 (0.33)	L_3_lnSD	0.12** (2.39)	L_3_lnSD	0.00 (0.21)
L_3_lnEQ	-0.13 (-1.12)	L_3_lnEQ	0.01 (0.10)	L_3_lnEQ	0.06 (0.66)	L_3_lnEQ	0.14** (2.08)

具有惯性效应和长期渐进发展过程，应采取时间上留有余地和实践上城市精明发展建设与环境质量相协调的切实可行措施。

(1) 从中国资源型地级城市整体来看，精明发展的滞后2和4期对环境质量均产生显著影响，系数分别为-0.05和0.03。表明资源型城市精明发展对环境质量呈现先增强后抑制的作用机制，原因在于精明发展不单单表现在空间上的集约利用，而且要求资源要素在城市范围内集聚，辅之以高效的要素组织以及完善的功能服务，既有效地提高了规模集聚和资源配置效率，又有力地增强了技术进步效率，从而促使环境质量显著提升。但长期来看，盲目追求精明发展将导致环境质量提升基础被破坏，不利于资源环境要素的高效配置和污染治理。

(2) 在成熟型资源城市中，精明发展滞后1期对环境质量的影响系数为0.06，说明精明发展提升对环境质量有正向增强机制。主要是成熟型资源城市早期精明发展模式带动空间集约利用和要素紧凑布局，充分发挥人口、资源等在空间上的集聚效应，加之与

要素供给等经济绩效、公共服务和景观建设等社会绩效相匹配,从而促进环境高质量提升。

(3) 在衰退型资源城市中,环境质量滞后2、4期分别对精明发展产生正向的促进作用和负向的阻碍作用,说明早期的环境质量提高未能产生精明发展效果,反而抑制了精明发展提升,而近期的环境质量提升对精明发展具有显著的正向倒逼作用,且环境倒逼机制存在滞后效果。原因是衰退型资源城市资源面临枯竭,经济增长乏力^[40],考虑提升资源利用效率,着手降低环境代价,进而提高区域环境质量,能够有效推动城市空间的优化和重组,倒逼城市集约紧凑用地,通过土地整治、矿山生态修复与污染综合治理等措施,以期实现城市精明发展。

(4) 在再生型资源城市中,精明发展的滞后1、2期分别对环境质量产生显著的正向增强效应和负向抑制作用。原因在于再生型资源城市发展前期并未摆脱资源依赖效应,经济社会发展过程中若盲目地追求精明发展提升,势必存在导致其环境质量被破坏的风险,但在资源依赖转型后,经济社会发展步入良性正轨^[40],经过加大环境保护力度和提升污染治理能力,有力地规避了环境污染造成的不良后果,从而达到环境质量提升目的。

2.3.2 脉冲响应分析

为了探究给定的随机扰动冲击对精明发展和环境质量的未来各期的动态变化,直观地展示精明发展与环境质量的动态关系和交互响应机制,采用蒙特卡罗模拟方法进行500次抽样,分析了未来15个时期内精明发展与环境质量的脉冲响应函数图。图3中的模拟结果表明:

(1) 在资源型城市整体以及所有不同类型资源城市中,对于自身的脉冲响应冲击,精明发展($\ln SD$)和环境质量($\ln EQ$)均呈现出显著的正向响应,最大值在第1期,随后各期逐渐减弱直至不再显著。精明发展的自我增强机制分别延续至第15、第10、第7、第6和第11期(图3a1、图3b1、图3c1、图3d1、图3e1);而环境质量对自身的正向惯性响应则分别延续至第10、第2、第5、第2和第6期(图3a4、图3b4、图3c4、图3d4、图3e4)。上述结果表明了精明发展和环境质量均不同程度存在着路径依赖的发展特征^[39],但并未被整体上的依赖路径所锁定。

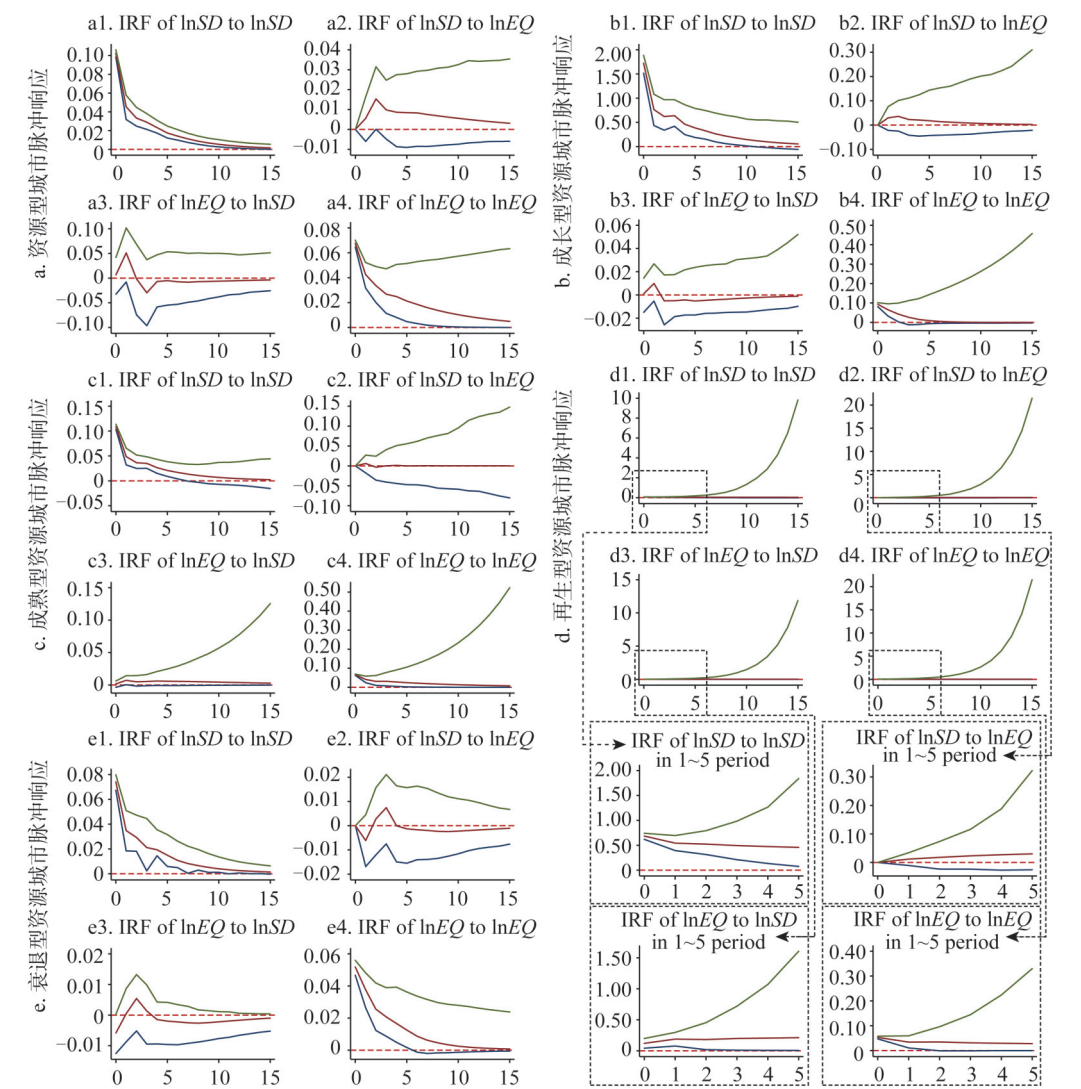
(2) 对于一个标准差的精明发展($\ln SD$)冲击,成熟型和再生型资源城市的环境质量($\ln EQ$)具有显著的正向脉冲响应,与上述GMM的估计结果较为一致。其中,成熟型资源城市仅在第2期表现出显著的正向脉冲响应,再生型资源城市在前3期出现显著的正向脉冲响应。而资源型城市总体、成长型和衰退型资源城市则不显著(图3a3、图3b3、图3c3、图3d3、图3e3)。原因是再生型和成熟型资源城市的产业和城市发展建设相对成熟,通过产业结构转型和发展方式转变^[40],通过经济和社会因素的空间集聚来提高资源配置、科技进步和环境治理能力,有效地提升了整体的环境质量。

(3) 需要说明的是,在资源型城市整体及其他类型资源城市中,对于环境质量($\ln EQ$)的脉冲响应冲击,精明发展($\ln SD$)未有显著响应(图3a2、图3b2、图3c2、图3d2、图3e2)。长期来看,环境质量对精明发展的倒逼机制虽然存在但并不显著,表明资源型城市的环境质量较低,资源配置低效和技术进步不足,导致内部规模集聚效果差,未能促使环境质量对精明发展的产生较为显著且长期的倒逼作用。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文采用全局主成分分析法对资源型城市精明发展与环境质量进行综合测度,并利



注：图中坐标系中的横轴表示期数（年份），纵轴表示脉冲响应程度；红色线为脉冲响应曲线，绿色和蓝色线分别表示显著性区间的上、下限。虚线框内表示再生型资源城市精明发展和环境质量前5期的模拟响应图。

图3 中国资源型城市及其不同类型精明发展与环境质量的脉冲响应分析

Fig. 3 Impulse response analysis of smart development and environmental quality in various types of Chinese resource-based cities

用耦合协调模型和面板 VAR 模型论证了二者的耦合关系与响应机制。基本结论如下：

（1）2003-2015 年资源型城市精明发展程度有所增强，各地区间差异有所减弱；环境质量亟待改善，各地区间差异在波动中有所增加。精明发展排名由高到低依次为再生型、衰退型、成熟型和成长型，环境质量排名由高到低依次为成长型、衰退型、成熟型和再生型。

（2）资源型城市精明发展与环境质量的耦合协调关系逐年减弱，地区间差异有所下降；从等级结构来看，整个研究时段内，只有克拉玛依、包头和乌海市属于优质协调等级，中级协调等级城市占比最大，其次为高级协调、低级协调和优质协调，耦合协调度

排名为成长型>衰退型>再生型>成熟型。

(3) 从GMM估计结果来看,资源型城市整体与成长型、成熟型、衰退型资源城市的精明发展与环境质量均具有惯性发展和自我增强的作用机制。资源型城市精明发展对环境质量呈现先增强后抑制的作用机制;成熟型资源城市精明发展提升对环境质量具有正向增强机制;衰退型资源城市环境质量对精明发展、再生型资源城市精明发展对环境质量均呈现先负后正的交替作用机制。

(4) 从未来15期的脉冲响应分析结果来看,资源型城市整体及其不同类型资源城市的精明发展和环境质量均存在不同程度的路径依赖特征,但整体上并没有被路径锁定。但在今后的发展过程中,只有成熟型和再生型资源城市的精明发展对环境质量存在正向增强机制,而资源型城市总体上精明发展对环境质量的促进作用将不复存在,衰退型资源城市环境质量对精明发展的倒逼机制将会消失。

3.2 讨论

(1) 在国家努力打造生态绿色新发展理念并出台政策支持资源型城市转型发展的宏观政策背景下,资源型城市总体上应该充分重视不同类型地区在历史进程中存在的主要发展特点,针对精明发展与环境质量的耦合关系及响应机制,构建资源型城市精明发展目标体系,着力推进生态保护和环境污染治理能力提升。约束城市开发建设与环境保护行为,采取长期和差异化的政策措施,提升城市系统功能和综合质量。资源型城市整体上,应该破除“盲目增长、收缩等于衰退”等发展观念,提倡“存量优化、精明发展、提质增效”的转型发展方针,从而促进环境质量提升,降低环境污染。

(2) 资源型城市转型过程中的精明发展旨在通过优化调整空间结构,来遏制无序扩张与蔓延,进而促进资源型地区的可持续发展。保持长期经济发展活力和严格控制环境污染则关键在于整体环境质量的提升。成熟型和再生型资源城市宜采用精明发展策略,在提升要素配置效率、完善相关城市功能的基础上,空间紧凑利用,优化经济结构,合理控制开发秩序,促进污染物减排治理和环境质量提升;衰退型资源城市应在优化产业结构前提下,强调经济发展的质量和效率,注重替代产业发展与培育,探索低碳资源与清洁能源的使用,进而提高地区环境质量,探索环境质量对精明发展倒逼作用的长效机制;成长型资源城市应做好资源产业承接创新和新型工业化发展基地,挖掘经济社会发展潜力,严格控制环境污染,继续增进精明发展与环境质量的协调发展。

(3) 本文创新性地采用面板VAR模型论证了精明发展与环境质量的交互响应机制的同时,结合面板数据与VAR模型优势,既有效处理了变量的内生性,又便于控制个体异质性和分析动态调整。资源型城市精明发展政策对环境质量提升效应的可持续性既取决于城市发展建设的空间结构、资源配置和功能服务的优化与提升,也决定于其发展观念的转变、法律环境的改善和高新技术的创新等,本文未对精明发展与环境质量耦合关系产生影响的其他因素进行论证,后续可展开相关研究。

参考文献(References):

- [1] 李汝资,宋玉祥,李雨婷,等.吉林省资源型城市转型阶段识别及其特征成因分析.地理科学,2016,36(1): 90-98. [LI R Z, SONG Y X, LI Y T, et al. The identification of transition stages and causes of resource-based cities in Jilin province. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(1): 90-98.]
- [2] 张文忠,王岱.中国资源型城市的城镇化特征和发展路径选择.中国国土资源经济,2014,(6): 12-17. [ZHANG W Z, WANG D. Discussion on characteristics of urbanization of Chinese resource-based city and the path selection in promoting its development. Natural Resource Economics of China, 2014, (6): 12-17.]

- [3] 方创琳. 加快资源枯竭型城市转型重生再发展. 中国国情国力, 2014, (9): 27-28. [FANG C L. Quickening the transformation and redevelopment in resource-exhausted cities. China National Conditions and Strength, 2014, (9): 27-28.]
- [4] 杨东峰, 龙瀛, 杨文诗, 等. 人口流失与空间扩张: 中国快速城市化进程中的城市收缩悖论. 现代城市研究, 2015, (9): 20-25. [YANG D F, LONG Y, YANG W S, et al. Losing population with expanding space: Paradox of urban shrinkage in China. Modern Urban Research, 2015, (9): 20-25.]
- [5] 陈晓红, 张文忠, 张海峰. 中国城市空间拓展与经济增长关系研究: 以261个地级市为例. 地理科学, 2016, 36(8): 1141-1147. [CHEN X H, ZHANG W Z, ZHANG H F. The relations of urban spatial expansion and economic growth in China: A case study of 261 prefecture-level cities. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(8): 1141-1147.]
- [6] 高舒琦, 龙瀛. 东北地区收缩城市的识别分析及规划应对. 规划师, 2017, 33(1): 26-32. [GAO S Q, LONG Y. Distinguishing and planning shrinking cities in Northeast China. Planners, 2017, 33(1): 26-32.]
- [7] 李汝资, 宋玉祥. 东北地区资源型城市发展路径及其演化机理研究: 基于人地关系视角. 东北师大学报: 自然科学版, 2014, 46(1): 150-156. [LI R Z, SONG Y X. Resource-based cities' development path and evolution mechanism in Northeast China: An man-land relationship perspective. Journal of Northeast Normal University: Natural Science, 2014, 46(1): 150-156.]
- [8] MITCHELL C J A, O'NEILL K. Tracing economic transition in the mine towns of Northern Ontario: An application of the "resource-dependency model". Canadian Geographer, 2016, 60(1): 91-106.
- [9] MARTINUS K. Regional development in a resource production system: Long distance commuting, population growth, and wealth redistribution in the Western Australia Goldfields. Geographical Research, 2016, 54(4): 420-432.
- [10] DOUGLAS S, WALKER A. Coal mining and the resource curse in the Eastern United States. Journal of Regional Science, 2017, 57(4): 568-590.
- [11] 朱爱琴, 曾菊新, 唐承财, 等. 资源型城市生命周期优化调控潜力测评. 人文地理, 2013, 28(5): 69-75. [ZHU A Q, ZENG J X, TANG C C, et al. Measuring the potentiality of regulation on the lifecycle of resource-based city. Human Geography, 2013, 28(5): 69-75.]
- [12] 黄雪琴, 王婷婷. 资源型城市生态效率评价. 科研管理, 2015, 36(7): 70-78. [HUANG X Q, WANG T T. An assessment for the eco-efficiency of resource-based cities. Science Research Management, 2015, 36(7): 70-78.]
- [13] 张娟. 资源型城市环境规制的经济增长效应及其传导机制: 基于创新补偿与产业结构升级的双重视角. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(10): 39-46. [ZHANG J. Study on economic growth effect and transmission mechanism of environmental regulation in resource-based cities: A dual perspective on innovation compensation and industrial structure upgrading. China Population Resources and Environment, 2017, 27(10): 39-46.]
- [14] 魏龙, 潘安. 出口贸易和FDI加剧了资源型城市的环境污染吗? 基于中国285个地级城市面板数据的经验研究. 自然资源学报, 2016, 31(1): 17-27. [WEI L, PAN A. Do export and FDI aggravate environmental pollution in resource-based cities? An empirical analysis based on panel data of 285 prefecture cities in China. Journal of Natural Resources, 2016, 31(1): 17-27.]
- [15] TIDBALL K, STEDMAN R. Positive dependency and virtuous cycles: From resource dependence to resilience in urban social-ecological systems. Ecological Economics, 2013, 86(2): 292-299.
- [16] KOTILAINEN J, EISTO I, VATANEN E. Uncovering mechanisms for resilience: Strategies to counter shrinkage in a peripheral city in Finland. European Planning Studies, 2015, 23(1): 53-68.
- [17] DEILAMI K, KAMRUZZAMAN M. Modelling the urban heat island effect of smart growth policy scenarios in Brisbane. Land Use Policy, 2017, 64: 38-55.
- [18] BARBOUR E, DEAKIN E A. Smart growth planning for climate protection. Journal of the American Planning Association, 2012, 78(1): 70-86.
- [19] ARTMANN M, KOHLER M, MEINEL G, et al. How smart growth and green infrastructure can mutually support each other: A conceptual framework for compact and green cities. Ecological Indicators, 2019, 96: 10-22.
- [20] SANTANA M V, ZHANG Q, NACHABE M H, et al. Could smart growth lower the operational energy of water supply? A scenario analysis in Tampa, Florida, USA. Landscape and Urban Planning, 2017, 164: 99-108.
- [21] STONE B J, MEDNICK A C, HOLLOWAY T, et al. Mobile source CO₂ mitigation through smart growth development and vehicle fleet hybridization. Environmental Science and Technology, 2009, 43(6): 1704-1710.
- [22] UNDERWOOD J G, FRANCIS J, GERBER L R. Incorporating biodiversity conservation and recreational wildlife values into smart growth land use planning. Landscape and Urban Planning, 2011, 100(1): 136-143.
- [23] 魏璐瑶, 陈晓红. 基于精明发展的城市绩效与生态环境耦合研究: 以哈长城市群为例. 地理科学, 2017, 37(7): 1032-1039. [WEI L Y, CHEN X H. Coupling research between urban performance and ecological environment based on smart

- development: A case study of Harbin-Changchun city group. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(7): 1032-1039.]
- [24] 李强, 高楠. 城市蔓延的生态环境效应研究: 基于34个大中城市面板数据的分析. *中国人口科学*, 2016, (6): 58-67. [LI Q, GAO N. A study on the effect of urban sprawl on ecological environment: An empirical study based on 34 cities municipal panel data. *Chinese Journal of Population Science*, 2016, (6): 58-67.]
- [25] 王振波, 张蔷, 张晓瑞, 等. 基于资源环境承载力的合肥市增长边界划定. *地理研究*, 2013, 32(12): 2302-2311. [WANG Z B, ZHANG Q, ZHANG X R, et al. Urban growth boundary delimitation of Hefei city based on the resources and environment carrying capability. *Geographical Research*, 2013, 32(12): 2302-2311.]
- [26] 王振山, 张绍良, 陈浮, 等. 中国城市土地集约与生态利用协同度测度: 以31个省会城市为例. *城市问题*, 2015, (11): 38-44. [WANG Z S, ZHANG S L, CHEN F, et al. Estimation on the coordination between China's urban land intensive use and ecological use: Taking 31 provincial cities for example. *Urban Problems*, 2015, (11): 38-44.]
- [27] HOLLANDER J B, NÉMETH J. The bounds of smart decline: A foundational theory for planning shrinking cities. *Housing Policy Debate*, 2011, 21(3): 349-367.
- [28] 张衔春, 马学广, 单卓然, 等. 精明增长政策下美国城市多中心治理研究. *地理科学*, 2017, 37(5): 672-681. [ZHANG X C, MA X G, SHAN Z R, et al. Poly-centric governance of urban space in America under smart growth policy. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(5): 672-681.]
- [29] INGRAM G K, CARBONELL A, HONG Y H, et al. Smart growth policies: An evaluation of programs and outcomes. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land policy, 2009: 2-20.
- [30] 谭婧, 陶小马, 陈旭. 基于改进熵值法的城市“精明增长”综合测度: 以长江三角洲16市为例. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(2): 129-136. [TAN J, TAO X M, CHEN X. Comprehensive evaluation of urban smart growth based on improved entropy method: A case of 16 cities of the Yangtze River Delta. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(2): 129-136.]
- [31] 李宁, 周勇. 精明增长视野下的传统村落发展路径. *规划师*, 2015, 31(s2): 162-166. [LI N, ZHOU Y. The development path of traditional village in the smart growth view. *Planners*, 2015, 31(s2): 162-166.]
- [32] 黄永斌, 董锁成, 白永平, 等. 中国地级以上城市紧凑度时空演变特征研究. *地理科学*, 2014, 34(5): 531-538. [HUANG Y B, DONG S C, BAI Y P, et al. Spatio-temporal evolvement of urban compactness in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(5): 531-538.]
- [33] 彭冲, 陈乐一, 韩峰. 新型城镇化与土地集约利用的时空演变及关系. *地理研究*, 2014, 33(11): 2005-2020. [PENG C, CHEN L Y, HAN F. The analysis of new-type urbanization and the intensive urban land use: Spatial-temporal evolution and their relationship. *Geographical Research*, 2014, 33(11): 2005-2020.]
- [34] 张乐勤. 基于边际模型的城镇化进程污染效应极限及演化趋势研究. *自然资源学报*, 2016, 31(2): 275-286. [ZHANG L Q. A study on limit and evolutionary trend of pollution effect in process of urbanization based on marginal model: An empirical study of Anhui province. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(2): 275-286.]
- [35] 秦蒙, 刘修岩, 仝怡婷. 蔓延的城市空间是否加重了雾霾污染: 来自中国PM_{2.5}数据的经验分析. *财贸经济*, 2016, (11): 146-160. [QIN M, LIU X Y, TONG Y T. Does urban sprawl exacerbate haze pollution: An empirical study of fine particles (PM_{2.5}) in Chinese cities. *Finance and Trade Economics*, 2016, (11): 146-160.]
- [36] 王镛, 唐茂钢. 土地城市化如何影响生态环境质量? 基于动态最优化和空间自适应半参数模型的分析. *经济研究*, 2019, 54(3): 72-85. [WANG D, TANG M G. How does land urbanization affect ecological environment quality? Analysis based on dynamic optimization and spatially adaptive semi-parametric model. *Economic Research Journal*, 2019, 54(3): 72-85.]
- [37] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析: 兼论三系统耦合公式及其扩展形式. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 788-799. [JIANG L, BAI L, WU Y M. Coupling and coordinating degrees of provincial economy, resources and environment in China. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 788-799.]
- [38] LOVE I, ZICCHINO L. Financial development and dynamic investment behavior: Evidence from panel VAR. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 2006, 46(2): 190-210.
- [39] 苗长虹, 胡志强, 耿凤娟, 等. 中国资源型城市经济演化特征与影响因素: 路径依赖、脆弱性和路径创造的作用. *地理研究*, 2018, 37(7): 1268-1281. [MIAO C H, HU Z Q, GENG F J, et al. Characteristics of economic evolution and the influencing factors of resource-dependent cities in China: The role of path dependence, vulnerability and path creation. *Geographical Research*, 2018, 37(7): 1268-1281.]
- [40] 余建辉, 李佳沅, 张文忠. 中国资源型城市识别与综合类型划分. *地理学报*, 2018, 73(4): 677-687. [YU J H, LI J M, ZHANG W Z. Identification and classification of resource-based cities in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 677-687.]

- [41] DONKELAAR A, MARTIN R V, BRAUER M, et al. Global estimates of fine particulate matter using a combined geo-physical-statistical method with information from satellites, models, and monitors. *Environmental Science and Technology*, 2016, 50(7): 3762-3772.

Coupling relationship and its response mechanism between smart development and environmental quality in Chinese resource-based cities

ZHOU Hong-hao^{1,2}, CHEN Xiao-hong¹

(1. College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, China;

2. School of Geography Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: Taking 111 prefecture-level resource-based cities in China from 2003 to 2015 as objects, this paper employed the dynamic principal components analysis to discuss the measurement of smart development and environmental quality and used coupling coordination model and panel VAR model to measure the coupling relationship and its interactive response mechanism between smart development and environmental quality in different types of Chinese resource-based cities. The results show that: (1) The smart development in Chinese resource-based cities has relatively low level, and the differences in its regional areas have been weakened. The environmental quality needs to be improved and its regional differences has widened in fluctuations. (2) The coupling and coordination relationship between smart development and environmental quality needs to be improved. The order of coordination from high to low is growth type, recession type, regeneration type and maturity type. (3) There are self-enhancement effects and inertial development trends in response mechanism between smart development and environmental quality in different types of Chinese resource-based cities. Besides, the smart development in Chinese resource-based cities has a significant negative effect on the environmental quality after a positive effect. And that, the smart development has a significant positive enhancement effect on the environmental quality in mature type of resource-based cities. However, the environmental quality in recession type of resource-based cities has a significant positive effect on the smart development after a negative effect and the smart development in regeneration type of resource-based cities has a significant positive effect on the environmental quality after a negative effect. In the next 15 years, the smart development in regeneration and maturity types of resource-based cities will improve environmental quality. Finally, this paper proposes different strategies and suggestions for transformation progress in different types of Chinese resource-based cities.

Keywords: smart development; environmental quality; dynamic principal component analysis; coupling coordination; panel VAR; resource-based cities