

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2023.06.019

基于GWR的矿产资源开采时空特征及影响因素探究

任芳语^{1,2}, 陈义华¹, 陈从喜³, 任升莲¹, 李臻¹, 吴章¹

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 吉林省地震局, 吉林 长春 130117; 3. 自然资源部 信息中心, 北京 100036)

摘要:文章基于2011—2017年矿产资源开采数据,分析长江经济带矿产资源开采时空演变特征,并利用地理加权回归(geographically weighted regression, GWR)模型探究矿产资源开采的影响因素及其作用程度。研究表明:2011年以来长江经济带矿产资源开采数量呈增长趋势,且开采以非金属矿产为主;长江经济带矿产资源开采空间差异逐渐增大,主要集聚区分布在上、中游地区,形成以贵州和江西为主要密度核心的连绵状空间分布;研究期内矿产资源开采活动主要在上、中游地区开展,开采重心位于贵州;矿产资源开采受到海拔高度、路网密度、地区生产总值等因素的影响显著,其效应具有明显空间异质性。研究结果可为矿产资源管理与利用提供参考。

关键词:矿产资源开采;时空特征;地理加权回归(GWR);长江经济带

中图分类号:F426.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-5060(2023)06-0842-07

Spatio-temporal characteristics and influencing factors of mineral resources exploitation based on geographically weighted regression

REN Fangyu^{1,2}, CHEN Yihua¹, CHEN Congxi³, REN Shenglian¹, LI Zhen¹, WU Zhang¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Jilin Earthquake Agency, Changchun 130117, China; 3. Information Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100036, China)

Abstract: Based on the mineral resources exploitation data from 2011 to 2017, this paper analyzes the spatial and temporal evolution characteristics of mineral resources exploitation in the Yangtze River Economic Belt, and uses geographically weighted regression (GWR) model to explore the factors influencing mineral resources exploitation and the extent of their effects. The main conclusions are as follows: the number of mineral resources exploitation in the Yangtze River Economic Belt has shown an increasing trend since 2011, and the mining is dominated by non-metallic minerals. The spatial differences of mineral resources exploitation in the Yangtze River Economic Belt are gradually increasing, and the main concentrated areas are distributed in the upstream and midstream areas, forming a contiguous spatial distribution with Guizhou and Jiangxi as the main density cores. During the study period, the mineral resources exploitation activities were mainly carried out in the upstream and midstream areas, and the mining center was located in Guizhou. Mineral resources exploitation is significantly affected by factors such as altitude, road network density and regional GDP, and the effects have obvious spatial heterogeneity. The results of the study can provide reference for mineral resources management and utilization.

Key words: mineral resources exploitation; spatio-temporal characteristic; geographically weighted regression (GWR); Yangtze River Economic Belt

收稿日期:2021-04-27; **修回日期:**2022-10-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(72074198); 自然资源部部门预算资助项目(121101000000180044)

作者简介:任芳语(1996—),女,黑龙江讷河人,合肥工业大学硕士生,吉林省地震局助理工程师;

陈义华(1973—),男,安徽安庆人,博士,合肥工业大学讲师,通信作者, E-mail: yihuach@163.com;

陈从喜(1963—),男,安徽萧县人,博士,自然资源部信息中心研究员;

任升莲(1963—),女,安徽合肥人,博士,合肥工业大学教授,博士生导师。

0 引言

随着城市化和工业化的快速发展,矿产资源的开采和消费加速增长,区域可持续发展受到资源环境和社会经济矛盾的制约。《全国矿产资源规划(2016—2020年)》明确提出要建立安全、稳定、经济的资源保障体系,形成节约高效、环境友好、和谐开采的绿色矿业发展模式^[1]。在推进矿业高质量发展中,科学识别矿产资源开采时空特征及影响因素,对于矿产资源的有效保护与合理勘查开采具有重要指导意义。

目前,对中国矿产资源开采现状及其空间特征的相关研究,主要集中在以下2个方面:①区域资源勘查开采的布局规划研究,如文献[2-5]从矿产资源开采秩序整顿规范、矿产资源开发整合及矿业权设置方案等方面进行讨论,文献[6-11]从矿产资源勘查开发功能类型区划、勘查开采生态环境影响等角度对矿产资源开发空间规划及治理进行分析;②矿产资源的空间特征分析,如文献[12-13]主要从基尼系数和洛伦茨曲线来分析矿产资源分布的不均衡性,文献[14]从违规开采角度分析矿产资源开采点的空间分布及变化特征,文献[12,15-18]从生产、消费、运输等方面将资源与社会经济发展结合讨论。从已有研究来看,有关矿产资源开采空间特征的研究,大多针对特定矿种或某特定空间小尺度地区进行分析,对其影响因素多以定性探讨为主,而基于空间统计学方法定量测度显著影响因素的相关研究很少。本文以长江经济带为例,分析2011—2017年长江经济带矿产资源开采时空特征与其影响因素的空间异质性。研究结果可为矿产资源管理与利用提供参考。

1 研究区概况、研究方法数据来源

1.1 研究区概况

长江经济带覆盖11个省(直辖市),包括110个地级城市、4个省直辖县级城市和16个自治州,总面积约为 $205 \times 10^4 \text{ km}^2$,为全国陆域面积的21%,人口和GDP均超过全国的40%(2017年)。本文以长江经济带130个行政区为研究样本,包括长江上游地区(重庆市、四川省、贵州省、云南省)的47个城市(自治州)、中游地区(安徽省、江西省、湖北省、湖南省)的58个城市(自治州)、下游地区(上海市、江苏省、浙江省)的25个城市。长江经济带地势整体呈现西高东低

特征,有极高山、高山、中山、低山、台地、丘陵及平原等多种地形地貌,地质构造等条件复杂多变。目前长江经济带沿线的多条成矿带中,有重要的成矿带8个,由西南向东北依次为西南三江成矿带、上扬子西缘成矿带、上扬子东缘成矿带、南岭成矿带、江南陆块南缘成矿带、武夷山成矿带、桐柏-大别成矿带、长江中下游成矿带。研究区成矿条件优越,矿产资源开发潜力大,在中国资源供应保障中占重要战略地位。

1.2 研究方法

1.2.1 核密度估计法

核密度估计法能够反映地理现象空间分布中的距离衰减效应^[19]。根据概率理论,设 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 为单元变量 x 独立同分布的 n 个样本,将样本核密度值作为中心点最高并向外不断降低的函数 $f(x)$,计算公式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

其中: $k\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$ 为核函数; h 为带宽, $h > 0$; n 为在带宽范围内的开采点数。较小的距离衰减适用于局部尺度分析,而较大的距离衰减适用于全局尺度分析^[20]。本文采用增量空间自相关得出开采聚类程度最高的距离值,确定2011年与2017年矿产资源开采聚类程度最高的带宽分别为340、316 km。

1.2.2 重心模型

重心轨迹能够直观地表达要素分布特点和变化规律。采用重心模型,定义矿产资源开采重心坐标为:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{l=1}^N M_l S_l X_l}{\sum_{l=1}^N M_l S_l} \quad (2)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{l=1}^N M_l S_l Y_l}{\sum_{l=1}^N M_l S_l} \quad (3)$$

其中: \bar{X} 、 \bar{Y} 分别为矿产开采的重心坐标经度和纬度; X_l 、 Y_l 分别为第 l 个行政单元的几何中心经度和纬度; M_l 为第 l 个行政单元的矿产开采密度; S_l 为第 l 个行政单元面积; N 为行政单元数。

1.2.3 地理加权回归

地理加权回归(geographically weighted regression, GWR)模型是基于局部光滑思想提出的空间回归模型,其在普通最小二乘(ordinary least

square, OLS)法基础上引入空间结构信息,既能有效估计具有空间自相关性的数据,也能反映参数的空间异质性^[21-22]。该模型计算公式为:

$$y_m = \beta_0(u_m, v_m) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_m, v_m) x_{nk} + \varepsilon_m \quad (4)$$

其中: y_m 为第 m 个空间单元的因变量解释值; (u_m, v_m) 为第 m 个空间单元的空间坐标; $\beta_0(u_m, v_m)$ 为截距项; $\beta_k(u_m, v_m)$ 为第 m 个空间单元的第 k 个自变量的回归系数; x_{nk} 为空间单元 m 区域上第 k 个自变量解释值; p 为空间单元 m 内参与回归的变量数; ε_m 为随机误差项。空间内各样本点回归系数的求解公式如下:

$$\hat{\beta}(u_m, v_m) = [X^T W(u_m, v_m) X]^{-1} X^T W(u_m, v_m) Y \quad (5)$$

其中: $\hat{\beta}(u_m, v_m)$ 为模型估计参数; X 为自变量矩阵; Y 为因变量矩阵; $W(u_m, v_m)$ 为模型的空间权重矩阵。采用高斯核函数作为权重函数,计算得出的空间衰减系数作为权重矩阵的对角元素,其表达式为:

$$W_{mj} = \exp[-(d_{mj}/b)^2] \quad (6)$$

其中: d_{mj} 为空间单元 m, j 之间的距离; b 为带宽,表示距离与权重 W_{mj} 之间的衰减参数。本文采用校正的 Akaike 信息准则(Akaike information criterion corrected, AICc),选择 AICc 最小值时对应的带宽为最优带宽。

1.3 数据来源与处理

矿产资源开采数据来源于自然资源部信息中心数据,对其进行整理,以 2011—2017 年矿产资源开采数据为基础数据;地形数据来源于地理空间数据云平台(<https://www.gscloud.cn/>)30 m 分辨率高程数据;路网数据来源于 OpenStreetMap(OSM)地理数据平台(<http://www.openstreetmap.org/>),利用地理信息系统(geographic information system, GIS)空间分析方法计算各区域路网密度;流域数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>),以各区域单位面积的河流长度代表河网密度;生态环境数据包括生态敏感性数据和功能重要性数据,均来源于中国生态系统评估与生态安全格局数据库(<https://www.ecosystem.csdb.cn/>),参考文献[8, 23]研究成果,通过叠加栅格数据提取同一单元中的最大等级值,并计算得出各区域的最高等级单元面积占比,用来表征区域生态环境状况指数;地区生产总值统计数据主要来源于

11 个省(直辖市) 2018 年统计年鉴^[24-34]。

2 矿产资源开采时空特征

2.1 矿产资源开采时序特征

2011—2017 年长江经济带矿产资源开采数量变化如图 1 所示。2011—2017 年长江经济带矿产资源开采数量总体呈现增长趋势,2011 年矿产资源开采数量为 2017 年的 65%,年均增长 9.20%。矿产资源开采主要为非金属矿产,其开采数量最多,且增长趋势明显,年均增长率达 13.00%;能源矿产和金属矿产开采数量均呈现波动减少趋势,年均减少率分别为 5.23%、3.86%;水气矿产开采数量最少,总体波动趋势不明显。

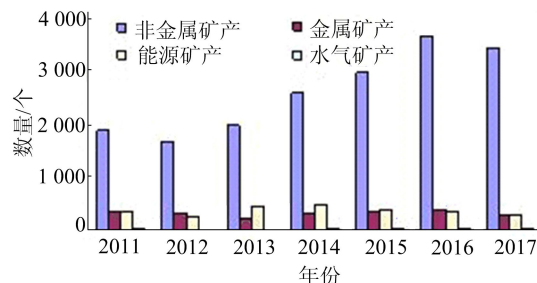


图 1 2011—2017 年长江经济带矿产资源开采数量变化

2.2 矿产资源开采空间格局演变特征

以 2011 年和 2017 年作为时间节点,对长江经济带矿产资源开采点进行核密度分析。

2011 年长江经济带矿产资源开采分布形成显著的密度核心,主要集聚区分布在上中游地区,其中在贵州西北部地区形成密度峰值区;2017 年长江经济带上中游地区开采集聚特征更加明显,在贵州西北部和江西西部地区形成密度峰值区,并向周围地区辐射,形成双核集聚的连绵状空间分布。

整体来看,长江经济带矿产资源开采空间差异逐渐增大,形成以贵州和江西为主要密度核心的连绵状空间分布。另外,长江经济带矿产资源开采分布与重点成矿区耦合明显,其高密度分布区主要位于上扬子西缘、上扬子东缘、江南陆块等重点成矿区。

2.3 矿产资源开采重心转移特征

长江经济带矿产资源总体开采重心位于贵州。利用重心模型分析矿产资源开采移动轨迹,结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出,2011—2014 年整体开采重心向东南方向移动,2011 年重心位于贵州遵义

市,2011 年以后重心转移到铜仁市,开采重心年平均移动距离为 20.82 km,表明该时段矿产资源开采活动主要开展在上游西南部地区。2014 年以后矿产资源开采总体重心位于铜仁市,且整体向东北方向呈“N”型移动,年平均移动距离为 31.43 km,重心移动明显增强,结合集聚特征分析结果可知,矿产资源开采活动主要在上、中游地区开展。

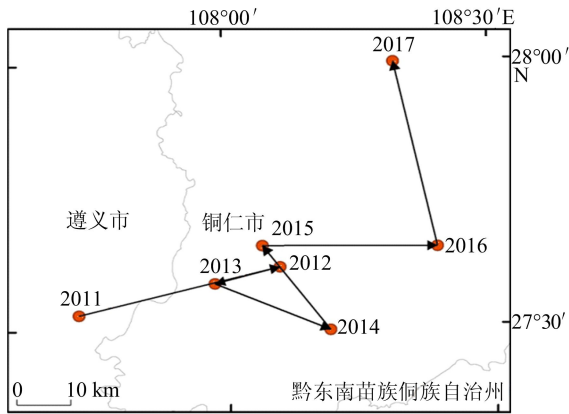


图 2 2011—2017 年长江经济带矿产资源开采重心移动轨迹

3 矿产资源开采影响因素分析

矿产资源开采空间变化受到自然和社会经济等多重因素影响,本文基于数据的可获取性,从自然条件和社会经济发展 2 个方面选取指标,将海拔高度、河网密度、生态环境状况指数、路网密度和地区生产总值等作为自变量,以矿产资源开采密度作为因变量,利用回归模型对影响因素进行定量分析。

表 2 GWR 模型拟合结果

变量	最小值	下四分位数	中位数	上四分位数	最大值	P 值
截距	0.033	0.073	0.103	0.296	0.943	0.007**
海拔高度	-0.836	-0.049	0.181	0.317	0.504	0.015*
河网密度	-0.254	-0.005	0.007	0.020	0.712	0.904
生态环境状况指数	-0.073	-0.007	0.078	0.304	0.523	0.378
路网密度	-4.710	-1.914	-0.443	-0.255	-0.097	0.001**
地区生产总值	-0.162	0.145	0.246	0.970	4.698	0.008**

注: **、* 分别表示在 0.01、0.05 显著性水平下。

海拔高度、路网密度、地区生产总值等显著影响因素的回归系数见表 3 所列。

(1) 海拔高度的影响。海拔高度回归系数波动明显(系数为-0.836~0.504),影响效应的空间差异显著,表现为正向影响和负向影响的城市分别为 95、35 个,整体以正向影响为主。在湖北、

3.1 方法对比分析

OLS 模型和 GWR 模型拟合结果对比见表 1 所列。GWR 模型的 AICc 值与残差平方和均小于 OLS 模型,其中 GWR 模型和 OLS 模型的 AICc 值相差远大于 3,具有较低 AICc 值的 GWR 模型拟合结果更好。通过对比 GWR 模型与 OLS 模型的 R^2 与校正后 R^2 可知,GWR 模型结果相较于 OLS 模型有明显提升,因此 GWR 模型拟合结果比 OLS 模型更为理想。

表 1 OLS 模型和 GWR 模型拟合结果对比

模型	残差平方和	AICc 值	R^2	校正后 R^2
OLS	4.69	-48.01	0.27	0.24
GWR	1.52	-88.13	0.61	0.50

3.2 影响因素空间异质性分析

本研究为判断因变量的空间关系,借助 GeoDA 软件对因变量进行空间自相关性分析,因变量莫兰指数(Moran's I)值为 0.508,表明因变量具有显著空间集聚性。基于 OLS 模型和 GWR 模型对比分析及因变量的空间自相关关系,利用 GWR 模型分析各因素对因变量空间异质性的影响程度。

GWR 模型拟合结果见表 2 所列。从各因素回归系数的正值和负值结果来看,各因素对区域矿产资源开采密度均表现出正负 2 种不同效应,且正负效应所占比例不同,由此可见各因素的影响效应存在空间非平稳性。结合各因素的显著性水平进行分析可知,海拔高度、路网密度和地区生产总值对矿产资源开采的影响效应显著。

湖南、江西、安徽、重庆、贵州等地区正向影响效应最突出,这些地区拥有山地、丘陵、平原等多种地貌类型,自然资源条件优越,为矿产资源产生提供了良好的本底作用,区域内矿产资源开采多位于山地和丘陵。

正向作用强度由中游地区向上、下游地区减

弱,在四川西部和云南地区呈现显著的负向影响, 相对较少,特别是四川西部和云南西南部的自
 这些地区地势落差较大,以高海拔山地为主,开采 自治州。

表 3 3 种显著影响因素的地区影响回归系数范围

显著影响 因素	回归系数范围	影响地区
海拔高度	-0.836~-0.414	云南省除昭通市以外的 15 个城市,四川省凉山彝族自治州
	-0.414~-0.056	云南省昭通市,贵州省毕节市、六盘水市、安顺市、黔西南布依族苗族自治州,四川省成都市、自贡市、攀枝花市、德阳市、内江市、乐山市、眉山市、宜宾市、雅安市、资阳市、阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州
	-0.056~0.158	贵州省贵阳市、黔南布依族苗族自治州,四川省泸州市、绵阳市、广元市、遂宁市、南充市、广安市、巴中市,江苏省盐城市、南通市、无锡市、常州市、苏州市,浙江省 11 个城市,上海市
	0.158~0.301	四川省达州市,贵州省遵义市,重庆市,湖北省恩施土家族苗族自治州、宜昌市、神农架林区、十堰市、襄阳市,江西省抚州市、上饶市、鹰潭市、景德镇市,安徽省 16 个城市
0.301~0.504	贵州省铜仁市、黔东南苗族侗族自治州,湖北省荆门市、随州市、孝感市、天门市、潜江市、仙桃市、荆州市、咸宁市、黄石市、武汉市、鄂州市、黄冈市,湖南省 15 个城市,江西省九江市、南昌市、宜春市、新余市、吉安市、萍乡市、赣州市	
路网密度	-4.710~-3.025	云南省除昭通市以外的 15 个城市
	-3.025~-1.911	四川省阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州、成都市、乐山市、雅安市、潜山市、内江市、宜宾市、泸州市、自贡市,云南省昭通市,贵州省黔南布依族苗族自治州、黔西南布依族苗族自治州、六盘水市、毕节市、贵阳市、安顺市
	-1.911~-1.214	四川省绵阳市、咸宁市、广元市、德阳市、资阳市、广安市、达州市、南充市、巴中市,重庆市,贵州省遵义市、铜仁市、黔东南苗族侗族自治州
	-1.214~-0.371	湖北省十堰市、襄阳市、宜昌市、荆门市、荆州市、神农架林区、恩施土家族苗族自治州、潜江市、天门市,湖南省 14 个城市,江西省萍乡市、吉安市、赣州市、抚州市、新余市、鹰潭市、上饶市,浙江省丽水市、衢州市、温州市
-0.371~-0.097	湖北省随州市、孝感市、武汉市、仙桃市、咸宁市、鄂州市、黄冈市、黄石市,江西省九江市、南昌市、宜春市、景德镇市,安徽省 16 个城市,江苏省 13 个城市,浙江省杭州市、绍兴市、金华市、台州市、宁波市、嘉兴市、湖州市、舟山市,上海市	
地区生产总值	-0.162~0.102	江西省九江市、南昌市、宜春市、新余市、抚州市、吉安市、赣州市、萍乡市,湖南省株洲市、衡阳市、永州市、郴州市,湖北省黄石市
	0.102~0.541	湖北省襄阳市、宜昌市、荆门市、荆州市、随州市、孝感市、武汉市、咸宁市、黄冈市、仙桃市、潜江市、天门市,湖南省张家界市、常德市、岳阳市、长沙市、益阳市、湘潭市、娄底市、邵阳市、怀化市、湘西土家族苗族自治州,安徽省 16 个城市,浙江省 11 个城市,江苏省 13 个城市,上海市
	0.541~1.486	四川省除攀枝花市以外的 20 个城市,贵州省 9 个城市,云南省昭通市,重庆市,湖北省十堰市、恩施土家族苗族自治州
	1.486~2.696	云南省迪庆藏族自治州、怒江傈僳族自治州、大理白族自治州、楚雄彝族自治州、丽江市、昆明市、玉溪市、红河哈尼族彝族自治州、文山壮族苗族自治州,四川省攀枝花市
2.696~4.698	云南省德宏傣族景颇族自治州、保山市、临沧市、普洱市、西双版纳傣族自治州	

(2) 路网密度的影响。路网密度对矿产资源开采全局呈现负向影响(系数为 -4.710~-0.097),其作用强度表现为由上游地区向下游地区逐渐减弱,呈现出西高东低的空间特征。从

绝对值来看,上游地区回归系数绝对值大于中、下游地区,说明上游地区的路网密度对矿产资源开采的影响作用更大,这与上游地区地理区位和整体社会发展水平有关。将路网密度与矿产资源开

采密度分级匹配分析发现,回归系数绝对值较高的上游地区主要表现为路网密度低但开采分布较多,而绝对值较低的下游地区主要表现为路网密度高但矿产资源开采较少。这是由于下游的长江三角洲是长江经济带矿产资源的主要消费区,该地区具有良好的交通运输条件,但矿产开采较少,相比于上、中游地区,路网密度的变化对矿产资源开采的影响作用较小。

(3) 地区生产总值的影响。地区生产总值对矿产资源开采具有显著的正向影响(系数为 $-0.162\sim 4.698$),其作用整体表现为由西南向东北递减。表现为正向影响的城市占全区的95.38%,其中云南西南部地区主要表现为地区生产总值较低,同时矿产资源开采也较少,这些地区社会经济发展水平较低,与矿产资源开采分布的正相关性高于其他地区。除云南外,在湖南、湖北、重庆、四川东部、贵州北部等地区,主要表现为地区生产总值较高,同时矿产资源开采分布较多。另外,地区生产总值的影响作用在4.62%的城市为负向,这在江西西南部地区表现显著,这是由于该地区工业基础薄弱,仅铜矿业企业为主要优势经济企业,再加上早期在西部大开发政策影响下,资金和人才投入西部,造成该地区整体发展缓慢,与长江三角洲地区的社会经济发展水平差距更加明显。

4 结 论

本文基于2011—2017年矿产资源开采数据,分析长江经济带矿产资源开采时空演变特征,利用GWR模型探究矿产资源开采的影响因素及其程度。

(1) 从时序特征变化看,长江经济带矿产资源开采数量总体趋于增长,且以非金属矿产开采为主。

(2) 从空间变化看,长江经济带矿产资源开采空间集聚特征显著,空间差异逐渐增大,主要集聚区分布在上中游地区,且与上扬子西缘、上扬子东缘、江南陆块等重点成矿区耦合明显,在贵州西北部和江西西部地区形成密度峰值区,整体上呈现以贵州和江西为主要密度核心的连绵状空间分布。研究期内矿产资源开采活动主要开展在上中游地区,总体开采重心位于贵州,且由遵义市转移到铜仁市。

(3) 基于GWR模型的研究结果表明,海拔高度、路网密度和地区生产总值等因素具有显著

影响效应。海拔高度对矿产资源开采具有正向影响,其影响在中游地区表现最为显著;路网密度对矿产资源开采全局呈现负向影响,其作用强度由上游向下游逐渐减弱;地区生产总值对矿产资源开采具有显著的正向影响,其作用整体表现由西南向东北逐渐减弱。

当前长江经济带正处于矿业高质量发展阶段,为了有效保护矿产资源,实现矿产资源合理、高效开发,需要科学分析矿产资源开采空间演变规律及其影响因素作用特征;矿产资源开采影响因素错综复杂,自然因素和社会经济因素还不够全面解释其作用机制,矿业企业的发展政策和矿业活动管理政策等也是重要因素,这些问题还有待进一步的调查和研究。

[参 考 文 献]

- [1] 刘晓慧.《全国矿产资源规划(2016—2020年)》发布[N].中国矿业报,2016-11-30(1).
- [2] 孙冲,史登峰,杨再兴.整装勘查区矿业权整合潜力分析[J].中国矿业,2014,23(4):16-19.
- [3] 刘晓玮,杨孟,包从法,等.整装勘查区矿业权设置合理性分析:以云南鹤庆北衙金多金属矿整装勘查区为例[J].中国矿业,2015,24(2):24-29.
- [4] 张博,原振雷.中国矿产资源勘查开采优化布局研究现状[J].矿产保护与利用,2016(6):7-11.
- [5] 易继宁,林燕,郭佳,等. ArcGIS 格网分析法在整装勘查区矿业权布局分析中的应用[J].中国矿业,2017,26(2):45-50.
- [6] 侯华丽,张玉韩.我国矿产资源开发功能区划实证研究[J].中国国土资源经济,2016,29(5):12-17.
- [7] 周璞,侯华丽,吴尚昆.我国矿产资源自然区划研究[J].中国矿业,2019,28(2):29-33.
- [8] 张玉韩,吴尚昆,董延涛.长江经济带矿产资源开发空间格局优化研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(4):839-852.
- [9] 华建伟,王宝军,方强,等. GIS 支持的江苏省矿产资源规划环境影响评价[J].南京大学学报(自然科学版),2011,47(3):339-349.
- [10] 李争,杨俊.华东地区矿产资源开发规模扩张的生态环境响应演化[J].工业技术经济,2015,34(10):45-50.
- [11] 马丽,田华征,康蕾.黄河流域矿产资源开发的生态环境影响与空间管控路径[J].资源科学,2020,42(1):137-149.
- [12] 高天明,沈镭,刘立涛,等.中国煤炭资源不均衡性及流动轨迹[J].自然资源学报,2013,28(1):92-103.
- [13] 侯华丽,吴尚昆,王传君,等.基于基尼系数的中国重要矿产资源分布不均衡性分析[J].资源科学,2015,37(5):915-920.
- [14] 谭日,张志,张高华.湖北省东部矿产资源违规开采点空间转移及成因机制[J].资源科学,2017,39(4):678-686.

- [15] 赵媛,于鹏.我国煤炭重要空间流动的基本格局与流通过道[J].经济地理,2007,27(2):196-200.
- [16] 成升魁,徐增让,沈镭.中国省际煤炭资源流动的时空演变及驱动力[J].地理学报,2008,63(6):603-612.
- [17] 姜磊,季民河.基于空间异质性的中国能源消费强度研究:资源禀赋、产业结构、技术进步和市场调节机制的视角[J].产业经济研究,2011(4):61-70.
- [18] 贾祥英,闫强,邢万里,等.全球大宗矿产资源贸易格局演变及其影响因素分析[J].中国矿业,2019,28(11):15-20.
- [19] 薛冰,肖骁,李京忠,等.基于 POI 大数据的沈阳市住宅与零售业空间关联分析[J].地理科学,2019,39(3):442-449.
- [20] 禹文豪,艾廷华,杨敏,等.利用核密度与空间自相关进行城市设施兴趣点分布热点探测[J].武汉大学学报(信息科学版),2016,41(2):221-227.
- [21] BRUNSDON C, FOTHERINGHAM S, CHARLTON M. Geographically weighted regression: modelling spatial non-stationarity[J]. Journal of the Royal Statistical Society Series D: The Statistician, 1998, 47(3): 431-443.
- [22] 王珂靖,蔡红艳,杨小唤.多元统计回归及地理加权回归方法在多尺度人口空间化研究中的应用[J].地理科学进展,2016,35(12):1494-1505.
- [23] 沈明,沈镭,钟帅,等.基于生态敏感条件的中国资源型城市去产能空间格局优化[J].资源科学,2016,38(10):1962-1974.
- [24] 上海市统计局,国家统计局上海调查总队.上海统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [25] 江苏省统计局,国家统计局江苏调查总队.江苏统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [26] 安徽省统计局,国家统计局安徽调查总队.安徽统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [27] 浙江省统计局,国家统计局浙江调查总队.浙江统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [28] 江西省统计局,国家统计局江西调查总队.江西统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [29] 湖北省统计局,国家统计局湖北调查总队.湖北统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [30] 湖南省统计局,国家统计局湖南调查总队.湖南统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [31] 重庆市统计局,国家统计局重庆调查总队.重庆统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [32] 云南省统计局.云南统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [33] 贵州省统计局,国家统计局贵州调查总队.贵州统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [34] 四川省统计局,国家统计局四川调查总队.四川统计年鉴:2018[M].北京:中国统计出版社,2018.

(责任编辑 张淑艳)

(下转第 827 页)

- [8] 许有俊,孟贞,李志成,等.盾构隧道近距下穿既有地铁车站沉降控制措施研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2018,49(6):1044-1050.
- [9] 王立新,汪珂,李储军,等.黄土地区地铁盾构隧道近距离下穿既有有线影响规律及控制标准研究[J].铁道标准设计,2019,63(10):124-130,158.
- [10] 杨成永,马文辉,彭华,等.地铁双线盾构近距下穿盾构隧道施工沉降控制[J].铁道工程学报,2018,35(7):91-98.
- [11] 马文辉,彭华,杨成永.盾构近距下穿既有地铁盾构隧道施工参数控制[J].西南交通大学学报,2018,53(1):119-127.
- [12] 温克兵,梁玉钊,刘宸岩.盾构超近距离下穿既有地铁风险分析及控制措施[J].现代城市轨道交通,2017(12):35-38.
- [13] 夏金春.地铁盾构正交下穿隧道施工风险控制措施[J].隧道建设,2017,37(增刊1):111-115.
- [14] 钟可,傅鹤林,张加兵.富水砂卵石地层中超近距离盾构下穿既有运营隧道加固方案研究[J].公路工程,2018,43(5):10-16,68.
- [15] 来弘鹏,郑海伟,何秋敏,等.砂土地层盾构隧道小角度斜下穿既有隧道施工参数优化研究[J].中国公路学报,2018,31(10):130-140.

(责任编辑 张 镗)