

长江经济带矿产资源开发强度时空演化 特征及影响因素解析

任芳语¹ 陈义华¹ 陈从喜² 李政² 任升莲¹ 李臻¹ 吴章¹¹

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009;

2. 中国自然资源部信息中心, 北京 100036)

【摘要】: 矿产资源开发强度是衡量地区矿业经济的重要指标, 科学识别矿产资源开发强度的时空演化特征与影响因素, 对区域经济可持续发展具有重要意义。综合采矿权、产出规模、开发占地等方面指标测度了2006~2017年长江经济带矿产资源开发强度, 并探讨了长江经济带矿产资源开发强度的时空演化特征与其影响因素。研究发现: (1) 长江经济带矿产资源开发强度总体呈现上升趋势, 且空间分异显著, 呈现出西南高、东北低的空间格局; (2) 长江经济带矿产资源开发强度总体差距不断扩大, 地区内部差异大于地区间差异, 其中上游地区内部差异在各地区内差异中占比最大; (3) 长江经济带矿产资源开发强度呈现显著的空间正相关特性, 且空间相关性不断提升; (4) 矿产资源开发强度受到资源禀赋、生态环境及社会经济等因素的影响, 其中矿产资源储量、生态环境重要程度、人均GDP和劳动投入是影响长江经济带矿产资源开发强度变化的主要因素。

【关键词】: 矿产资源开发强度 时空演化 地理探测器 长江经济带

【中图分类号】: X37 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)02-0305-08

随着国家经济发展进入新常态, 矿产资源在缓解资源环境压力、促进可持续发展中的作用日益凸显。矿产资源开发有效地支撑了社会经济的发展, 但同时也造成了资源枯竭、生态失衡、环境污染和区域发展衰退等问题^[1,2]。长江经济带作为国家资源安全保障的战略核心区域, 长期以来受到高强度开发的影响, 使其面临着经济发展不平衡、开发布局不尽合理以及资源环境压力严峻等问题。党的十九大报告提出了要实施区域协调发展战略, 并以“共抓大保护、不搞大开发”为导向推动长江经济带发展作为重点任务之一。因此, 在区域发展的新形势下, 准确把握长江经济带矿产资源开发强度的时空演化特征, 正确认识矿产资源开发强度的影响因素, 对于矿产资源的有效管理和可持续发展具有重要的现实意义。

矿产资源开发强度是指示矿产资源开发状况和衡量地方矿产资源经济的重要指标, 不仅与矿产资源储量、矿产种类以及矿床富集等资源条件有关, 还受自然环境、生态环境及社会经济等诸多因素影响。目前有关矿产资源开发强度的研究主要集中在开发评价、布局规划、效应研究等方面: (1) 矿产资源开发评价, 主要从开采区域占比^[3,4]、矿业权和开采点数量^[5]、开发环境影响^[6,7,8]等方面进行矿产资源开发状况评价; (2) 矿产资源开发空间布局研究, 主要从功能区划角度出发, 考虑矿产资源开发可行性、规模及强度的影响因素, 对矿产资源开发与保护空间格局优化进行研究^[9,10]; (3) 矿产资源开发效应研究, 主要从经济增长和资源

作者简介: 任芳语(1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为资源与环境 GIS. E-mail: rfy1117@163.com; *陈义华 E-mail: yihuach@163.com

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(18ZDA049); 国家自然科学基金面上项目(72074198); 国家自然资源部部门预算项目(121101000000180044)

环境保护协调发展角度出发^[11,12,13],分析不同开采强度的生态环境影响^[14,15]、资源与经济发展^[16]以及三者之间协调耦合度^[17,18,19]。由已有研究发现,大多研究选择单一指标衡量矿产资源开发程度,且仅从时间序列或空间等单一维度探讨区域矿产资源开发特征,缺乏综合视角考察矿产资源开发状况。即使有少数研究结合时空尺度进行探索^[20,21],但时间序列较短、空间尺度较小,且对其空间异质性及驱动因素缺乏协同研究。因此,本文综合采矿权数量、产出规模及开发占地面积等指标,测算了2006~2017年长江经济带130个城市(包括地级市州及省直辖县级行政区)矿产资源开发强度,在此基础上分析了矿产资源开发强度的时空特征和地区差异来源,并探析了矿产资源开发强度的影响因素,以期为长江经济带矿产资源的合理有序开发、推动矿业绿色高质量发展提供决策参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 泰尔系数

泰尔系数通常用来衡量区域差异,通过对总体差异的分解来探索地区差异来源。本文参考李博等^[22]对于泰尔系数及其结构分解的方法,测度了长江经济带矿产资源开发强度的地区差异,并对其差异结构和来源进行分析,计算公式如下:

$$T = T_B + T_W = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{e_k}{\bar{e}} \ln \frac{e_k}{\bar{e}} \quad (1)$$

$$T_B = \sum_{p=1}^m \frac{n_p}{n} \left(\frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) \ln \left(\frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) \quad (2)$$

$$T_W = \frac{1}{n_p} \left(\sum_{p=1}^m \frac{n_p}{n} \ln \frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) \sum_{p=1}^m \frac{e_{pi}}{\bar{e}_p} \ln \frac{e_{pi}}{\bar{e}_p} \quad (3)$$

式中: m 为地区组别数; n_p/n 表示长江经济带三大地区的城市数量占比; e_k 为长江经济带各城市矿产资源开发强度值; $\bar{e}_p$ 为各地区矿产资源开发强度均值; $\bar{e}$ 为长江经济带矿产资源开发强度均值; e_{pi} 为各地区城市的矿产资源开发强度值; T 为长江经济带矿产资源开发强度差异的泰尔系数; T_B 和 T_W 分别为长江经济带地区间和地区内矿产资源开发强度差异的泰尔系数。

1.1.2 空间自相关分析

空间自相关是对观测值在整个研究区域的空间特征描述。本文采用全局 Moran' sI 指数检验矿产资源开发强度在全局尺度的空间相关程度,其计算公式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4)$$

式中: n 为空间单元数量; x_i 与 y_i 分别表示单元 i 与 j 的矿产资源开发强度值; W 表示空间权重矩阵,本文采用共同边或共同点的邻接规则创建空间权重矩阵。同时利用局部 Moran' sI 指数识别矿产资源开发强度的局部空间相关模式,计算公式如下:

$$I_i = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{S^2} \quad (5)$$

式中： I_i 表示局部 Moran' sI 指数，在显著性检验下，将显著性水平达到阈值的空间单元分为高-高(热点)，低-低(冷点)，低-高和高-低四种类型。

1.1.3 地理探测器

地理探测器是由王劲峰等提出用于研究地理环境因子对疾病发生影响的模型，是探测空间异质性及其成因机理的重要方法^[23]。本文主要采用模型中的因子检测器，其用于检测某种因素对指标的贡献程度，解释力用 q 值来度量，模型定义如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (6)$$

式中： q 为影响因素的探测解释力； L 为因素的分类数； $h=1, 2, \dots, N$ 为研究区域内的样本数量； σ^2 为研究区域整体样本的方差值。 q 取值范围为 $[0, 1]$ ，值越大表明该因素对矿产资源开发强度的差异解释能力越强。

1.2 指标选取与变量界定

本文以长江经济带 11 个省市所辖的 130 个行政区为研究对象(涉及 126 个地级市州和 4 个省直辖县级行政区)，包括长江上游地区(重庆、四川、贵州、云南)的 47 座城市、长江中游地区(安徽、江西、湖北、湖南)的 58 座城市、长江下游地区(上海、江苏、浙江)的 25 座城市。结合长江经济带矿产资源开发情况与数据的可获取性，基于采矿权数量、生产规模、开发占地面积等指标，采用熵值法进行赋权，并运用加权求和获得 130 个城市的矿产资源开发强度指数^[24]。在评价指标中，地区设立的采矿权数量可以体现矿产资源管理的实际效果，生产规模可以反映城市资源产品供应能力，开发占地面积用以表征矿山开发环境。对于矿产资源开发强度的影响因素指标选择，本文参考相关研究成果^[10, 19, 20, 21]，遵循数据可得性原则，从资源禀赋、生态环境及社会经济等方面进行选取。其中资源禀赋因素由重要矿产的查明资源储量(f_1)来反映，主要以煤炭、铁矿、锰矿、铜矿、铅矿、锌矿、钨矿、锡矿、锑矿、铝矿、金矿、镍矿、钒矿、钛矿、稀土、锂矿、磷矿等 17 种重要矿产为研究对象；生态环境因素由生态功能重要性和敏感性两项指标最高得分区域占市域面积的比率来表示，定义为生态环境重要程度(f_2)；社会经济因素选取了路网密度(f_3)、人均 GDP(f_4)、劳动投入(f_5)、资产投入(f_6)、产业结构(f_7)等指标，其中，劳动投入、资产投入和产业结构分别用采矿业从业人数占工业从业人数比重、固定资产投资占区域 GDP 比重、第二产业增加值占工业增加值比重进行表示。

研究用到的矿产资源开发统计数据来源于国土资源部信息中心矿产资源信息管理系统数据库；生态环境数据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/>)；道路数据来源于 OSM 开源地图(<https://www.openstreetmap.org/>)；社会经济统计数据来源于 2007~2018 年《中国城市统计年鉴》^[25]《中国国土资源统计年鉴》^[26]和相关省市统计年鉴等。

2 结果与分析

2.1 长江经济带矿产资源开发强度时序特征

采用熵值法计算得到 2006~2017 年长江经济带矿产资源开发强度指数(图 1)。整体来看,长江经济带矿产资源开发强度总体呈上升态势,其均值由 2006 年的 0.042 增加至 2017 年的 0.096,表明长江经济带矿产资源开发能力不断提升,矿业整体发展基础较好。从地区来看,上、中、下游地区矿产资源开发强度均呈现上升趋势,上游地区矿产资源开发强度保持最高,中、下游地区矿产资源开发强度均低于全区平均水平,其中下游地区开发强度在整个地区中处于最低水平,这反映出“中部崛起”、“西部大开发”“一带一路”倡议等战略政策成效显著,受这些政策红利的有益补充,资源产业向上中游地区转移,并逐渐集聚发展,而下游地区率先进入由经济高速发展向高质量发展转变,以科技创新和绿色发展为主方向,致使矿产资源开发强度处于最低水平。

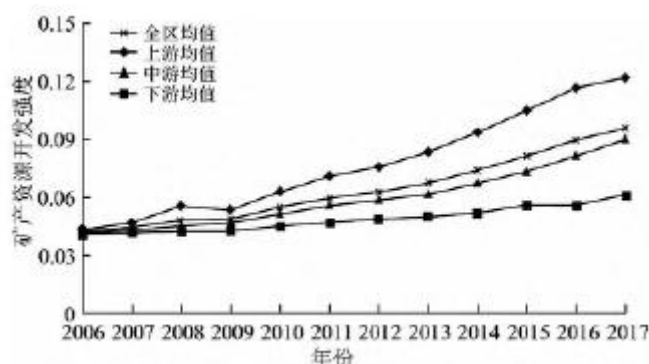


图 1 2006~2017 年长江经济带矿产资源开发强度变化

2.2 长江经济带矿产资源开发强度空间分异特征

为了更直观显示长江经济带矿产资源开发强度空间分异情况,采用自然断点法,将 2006、2009、2013 和 2017 年长江经济带矿产资源开发强度分为低强度、次低强度、次高强度和高强度开发状态(图 2)。由图 2 可知,长江经济带矿产资源开发强度存在显著的空间差异,2006~2009 年大多数城市矿产资源开发强度由低级向高级演变,低强度区由全区广泛分布逐渐集中在长三角地区,次低和次高强度区在上中游地区扩散,高强度区集中分布在云贵高原地区;2013~2017 年次低、次高强度区在上、中游地区进一步扩散,高强度区在云贵高原地区连片集中分布,低强度区仍以长三角地区城市为主。总体来看,长江经济带矿产资源开发强度整体呈现出西南高东北低的空间格局,具有较明显的区域性特征,这与地区资源禀赋、经济发展水平及发展政策等差异有密切关系。

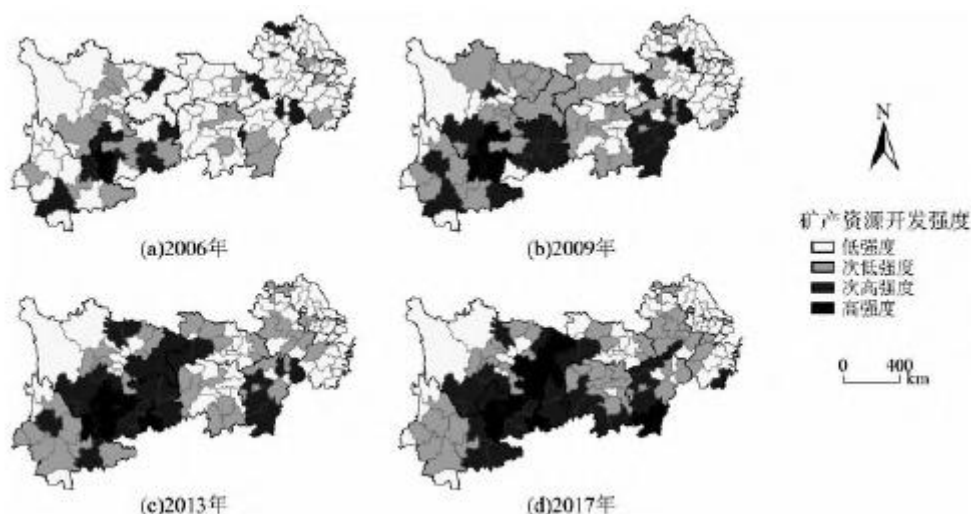


图 2 2006~2017 年长江经济带矿产资源开发强度空间分布

2.3 长江经济带矿产资源开发强度地区差异测度及分解

为揭示长江经济带矿产资源开发强度的空间差异来源,本文采用泰尔系数衡量三大地区系统内的矿产资源开发强度差异。长江经济带矿产资源开发强度泰尔系数呈现上升趋势,总体差异水平在不断扩大。根据地区差异分解发现,地区内差异大于地区间差异,其中上游地区内部的差异在各地区内差异中贡献最大,均值达到 53.49%,可见上游地区内差异在三个地区中成为影响总体差异的主要因素,这可能与各城市矿产资源开发条件及开采的矿种重要性有密切关系。从贡献率变化趋势来看,地区内差异贡献率呈现下降态势,由 2006 年的 89.43%下降至 2017 年的 79.24%,而地区间差异贡献呈现上升趋势,从 2006 年的 10.57%上升到 2017 年的 20.76%。

2.4 长江经济带矿产资源开发强度空间关联分析

根据全局自相关分析显示,2006、2009、2013 和 2017 年全球 Moran' sI 值分别为 0.2111、0.4296、0.5342 和 0.5076,均通过显著性水平检验($p=0.05$)。这说明长江经济带矿产资源开发强度在空间上具有显著的正相关特性,且空间相关性呈现增强趋势。根据局部空间自相关分析,将具有显著空间集聚效应的城市划分为四种类型(图 3)。其中,高-高类型,即矿产资源开发强度高值集聚区,集中分布在云贵高原地区,区域所包含的城市数量呈现增加趋势。该地区矿产资源较丰富,矿业开采活动频繁且规模较大,呈现出明显的空间集聚效应。低-低类型,即矿产资源开发强度低值集聚区,集中分布在长三角地区城市,城市数量呈增加趋势。该地区是矿产资源的主要消费区之一,受产业转移以及空间邻近效应驱动,呈现出低值集聚状态。低-高和高-低集聚区的城市数量较少,其中低-高集聚区发生明显的上游空间跃迁,2017 年区域内未发现低-高或高-低集聚区,表明长江经济带矿产资源开发强度具有显著的局部空间正相关特性。

2.5 长江经济带矿产资源开发强度的影响因素

本文采用自然断点法将资源禀赋与社会经济因素值从低到高划分为 1~5 等级,生态环境因素以 0~0.2、0.2~0.4、0.4~0.6、0.6~0.8 及大于 0.8 进行 1~5 等级量化,利用地理探测器计算 2006、2009、2013 和 2017 年各影响因素对矿产资源开发强度的影响力值。

2.5.1 资源禀赋因素解析

由地理探测结果发现,2006、2009、2013 和 2017 年 4 个时间断面上,矿产资源储量的探测 q 值分别为 0.6221、0.2276、0.3887、0.3136,其影响力均值为 0.388,对矿产资源开发强度的影响最大。长江经济带地层发育齐全,分别跨越了川滇藏造山系、扬子陆块区和华南造山带共 3 大地质构造单元,复杂的地质构造形成多条矿产资源集中储藏带,为矿产资源开采提供了物质基础。矿产资源富集地区,促使生产行业在空间上形成集聚,地区设立采矿权多,进而促进矿产资源开发强度。

2.5.2 生态环境因素解析

生态环境重要程度的探测 q 值分别为 0.0459、0.0812、0.1523、0.1910,对矿产资源开发强度的影响逐渐显著。由于早期矿产资源规划不合理、矿业权管理混乱,造成了在时间上和空间上对生态环境的累积性影响,如资源开采挤占生态空间、开发引发酸雨、土壤侵蚀和盐渍化等一系列生态环境问题。由生态环境分析发现(表 1),生态环境较高等级重要区域的面积占比、城市数量占比和开发强度均高于生态环境低等级重要区域,生态环境重要程度与矿产资源开发强度呈现一致性,说明生态环境是影响矿产资源开发强度不可忽视的重要因素。随着资源节约型、环境友好型城镇化建设的提出,各城市加强矿山生态环境保护,对矿产资源开采活动进行了严格规范和限制,生态环境重要程度对矿产资源开发强度的影响也逐渐显著。

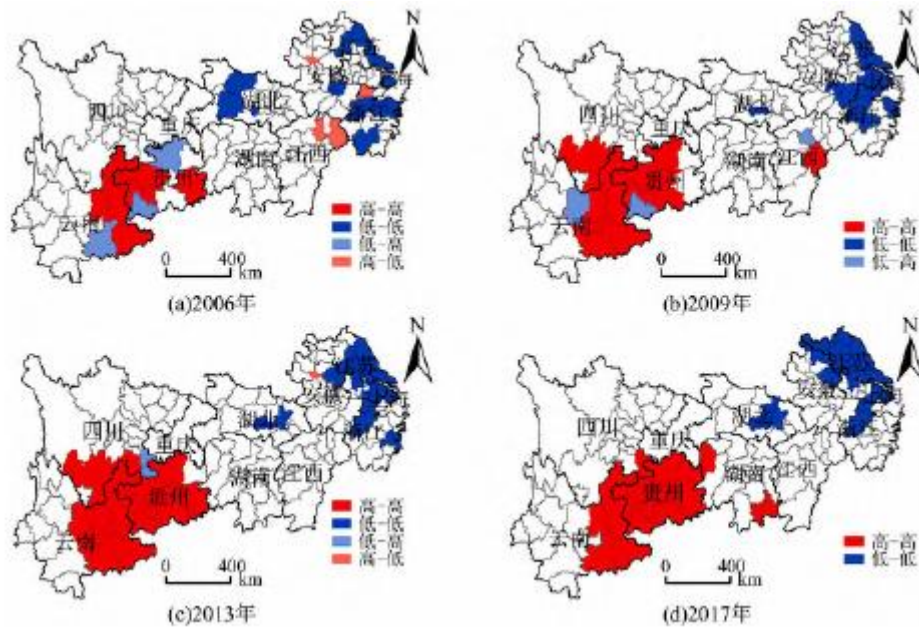


图 3 长江经济带矿产资源开发强度局部空间关联格局演变

表 1 长江经济带生态环境分析结果

生态环境重要等级	面积占比(%)	城市数量(个)	城市数量占比(%)	开发强度
I (<0.2)	0.70	29	22.31	0.051
II (0.2~0.4)	3.24	16	12.31	0.054
III (0.4~0.6)	22.55	27	20.77	0.070
IV (0.6~0.8)	24.72	31	23.85	0.068
VI (>0.8)	24.27	27	20.77	0.072

2.5.3 社会经济因素解析

通过地理探测结果显示,路网密度的探测 q 值分别为 0.0289、0.0533、0.0414、0.0600,人均 GDP 的探测 q 值分别为 0.0406、0.0901、0.1029、0.0974,劳动投入的探测 q 值分别为 0.1175、0.1745、0.1818、0.0669,资产投入的探测 q 值分别为 0.0283、0.0133、0.0979、0.0128,产业结构的探测 q 值分别为 0.0111、0.0305、0.0321、0.0262。总体上,劳动投入对矿产资源开发强度的影响最大,且影响力呈现倒“U”型变化特征。劳动投入可以反映出城市采掘专业化水平,劳动力的空间集聚推动劳动生产率提高和资源开采活动的开展,进而促进矿产资源开发强度。在其他社会经济因素中,人均 GDP 影响力相对较大,经济发展水平的提高促进城市生产要素的空间集聚,促使矿产资源需求持续增长,从而促进矿产资源开发强度。长江经济带资源产业的经济基础规模较大,尤其对于资源密集但工业化相对缓慢的上中游地区,其地区经济发展对矿产资源开发过度依赖。另外,路网密度、资产投入和产业结构对矿产资源开发强度的影响均较弱,这可能与这些因素对矿产资源开发影响具有时滞性和间接性有关。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文综合采矿权数量、生产规模及开发占地面积等指标,在测度矿产资源开发强度的基础上,探讨了2006~2017年长江经济带矿产资源开发强度的时空演变特征与其影响因素,主要结论如下:(1)2006年以来,长江经济带矿产资源开发强度总体呈现上升态势,从地区看,矿产资源开发强度由高到低依次是上游地区、中游地区、下游地区;(2)矿产资源开发强度空间分异明显,整体呈现西南高东北低的空间趋势格局;(3)长江经济带矿产资源开发强度总体差异不断扩大,地区内差异高于地区间差异,其中上游地区内部的差异在各地区内差异中占比最大。地区内差异贡献率趋于下降,而地区间贡献逐步显现;(4)长江经济带矿产资源开发强度呈现出显著的空间正相关特性,其中高-高集聚区集中在云贵高原地区,低-低集聚区集中分布在长三角地区城市,低-高和高-低集聚型的城市数量分布较少,其中低-高集聚区发生明显上游空间跃迁;(5)矿产资源开发强度受资源禀赋、生态环境和社会经济等因素影响。其中矿产资源储量的影响力最大,是影响矿产资源开发强度的物质基础因素。另外,生态环境重要程度、人均GDP和劳动投入是影响长江经济带矿产资源开发强度变化的主要因素。

3.2 讨论

在经济增长向高质量发展转变的背景下,矿业经济发展展现出巨大潜力和增长空间,矿产资源需求持续增长,促进了长江经济带矿产资源开发强度整体提高。但由于区域资源禀赋、生态环境及社会经济发展等多方面因素的综合作用,矿产资源开发强度空间差异明显,经济发达地区矿产资源开发强度呈现低值集聚状态,而发展相对落后的地区矿产资源开发强度以较快速度增加,呈现高值集聚状态。这种空间差异反映了长江经济带生产与消费的空间分离特征,也体现了矿业上中下游地区之间的生产关系。但矿产资源开发在空间上的持续集聚,会加剧城市生产要素的内部集聚效应,促使地区资源掠夺式开发,尤其对于生态功能区较丰富的上中游地区,社会成本加大,不利于实现其自身发展质量效益的最大化。依据上述研究结果和分析,为全面推进矿业绿色高质量发展,政府要根据地区的实际情况采取差异化策略,对于上中游地区矿产资源和生态系统较丰富的区域,特别是西南部的云南、贵州等省市,应坚持生态优先战略,严格执行采矿权设立的准入要求,规范矿产资源开发方式,实施矿产资源开发规模、总量和开采矿种管控,提高地区矿产资源的开发质量,同时完善资源要素结构优化调整,形成有效的产业集聚和劳动分工,构建矿产资源开发的绿色产业链。对于社会经济发展水平较高的下游地区,应积极发展清洁环保产业和高新技术产业,鼓励研发和推广环境保护技术进行矿山生态环境的治理与修复,引导资源产业绿色转型升级,实现地区绿色高质量发展。针对矿产资源开发强度的空间分异性,政府应加强地区间矿产资源高效率 and 高质量开发等方面的交流与合作,提高地区间优势互补能力,挖掘上中游地区的丰富资源和巨大内需潜力来补充下游地区发展的资源支持,发挥下游地区的带动作用弥补上中游地区矿业资金、技术的匮乏,建立全流域协同治理长效管理机制,缓解地区资源、经济、生态方面安全压力,共同推进矿业全产业链绿色发展。

研究能够更长时间序列、更精细和整体的反映长江经济带矿产资源开发强度的空间变化特征,并且利用地理探测器识别了各影响因素的贡献程度。但受限于数据获取,矿产资源开发强度在评价指标的选择上不够全面,未能将矿产资源开发利用相关要素指标囊括在内,未来将进一步调查和研究,以构建更全面的评价体系。另外地理探测器在数据离散化方法和尺度效应上具有不稳定性,而矿产资源开发强度影响因素也具有长期性和复杂性,影响因素的探测未能较好的反映出直接性或间接性的社会经济影响,未来将综合考虑矿产资源的开发特征,并进一步探讨矿产资源开发强度的影响机制。

参考文献:

[1]VINCENT J R.Resource depletion and economic sustainability in Malaysia[J].Environment and Development Economics,1997(2):19-37.

[2]陈军,成金华.中国矿产资源开发利用的环境影响[J].中国人口·资源与环境,2015,25(3):111-119.

-
- [3]范立民. 榆神府区煤炭开采强度与地质灾害研究[J]. 中国煤炭, 2014, 40(5):52-55.
- [4]王海庆, 郝建亭, 李丽, 等. 西藏各行政区矿产开采强度遥感分析[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(1):115-119.
- [5]路云阁, 李春霖, 刘采, 等. 西藏东部地区矿产资源开发状况及其评价[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(3):379-382.
- [6]何芳, 徐友宁, 乔冈, 等. 中国矿山环境地质问题区域分布特征[J]. 中国地质, 2010, 37(5):1520-1529.
- [7]陈建平, 范立民, 李成, 等. 基于模糊综合评判和 GIS 技术的矿山地质环境影响评价[J]. 中国煤炭地质, 2014, 26(2):43-48.
- [8]胡博文, 张发旺, 陈立, 等. 我国矿山地质环境评价方法研究现状及展望[J]. 地球与环境, 2015, 43(3):375-378.
- [9]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, 49.
- [10]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.
- [11]范立民, 向茂西, 彭捷, 等. 西部生态脆弱矿区地下水对高强度采煤的响应[J]. 煤炭学报, 2016, 41(11):2672-2678.
- [12]吴传清, 黄磊. 长江经济带工业绿色发展绩效评估及其协同效应研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2018, 18(3):46-55.
- [13]YUE H, LIN L, YU Y. Do urban agglomerations outperform non-agglomerations? A new perspective on exploring the eco-efficiency of Yangtze River Economic Belt in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 202:1056-1067.
- [14]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.
- [15]肖武, 张文凯, 吕雪娇, 等. 西部生态脆弱区矿山不同开采强度下生态系统服务时空变化——以神府矿区为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1):68-81.
- [16]XU K N, WANG J. An empirical study of a linkage between natural resource abundance and economic development [J]. Economic Research Journal, 2006(1):78-89.
- [17]WANG R, CHENG J H, ZHANG Y L, et al. Evaluation on the coupling coordination of resources and environment carrying capacity in Chinese mining economic zones [J]. Resources Policy, 2017, 53:20-25.
- [18]LIU H B, LIU Y F, WANG H N, et al. Research on the coordinated development of greenization and urbanization based on system dynamics and data envelopment analysis: A case study of Tianjin [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 214:195-208.
- [19]方传棣, 成金华, 赵鹏大. 大保护战略下长江经济带矿产-经济-环境耦合协调度时空演化研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(6):65-73.

[20]BLACHOWSKI J.Spatial analysis of the mining and transport of rock minerals (aggregates) in the context of regional development [J].Environmental Earth Sciences,2014,7(3):1327-1338.

[21]谭力, 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.

[22]李博, 张文忠, 余建辉. 碳排放约束下的中国农业生产效率地区差异分解与影响因素[J]. 经济地理, 2016, 36(9):150-157.

[23]WANG J F,LI X H,CHRISTAKOS G,et al.Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region,China[J].International Journal of Geographical Information Science,2010,24(1):107-127.

[24]CHEN S J,HWANG C L,BECKMANN M J,et al.Fuzzy multiple attribute decision making:Methods and applications [M].Berlin:Springer-Verlag,1992.

[25]国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007-2018.

[26]中华人民共和国自然资源部. 中国国土资源统计年鉴[M]. 地质出版社, 2018.