

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2025.01.011

# 长江经济带砂石土类矿产采矿权时空变化特征分析

谢治国<sup>1</sup>, 陈从喜<sup>1,2</sup>, 任升莲<sup>1</sup>, 陈义华<sup>1</sup>, 李英明<sup>1</sup>, 王博韬<sup>1</sup>

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 自然资源部信息中心, 北京 100036)

**摘要:**文章基于2007—2019年长江经济带砂石土类矿产采矿权数据,采用核密度估计、标准差椭圆和空间自相关分析,对长江经济带砂石土类矿产采矿权时空格局演变进行分析,在此基础上运用自组织特征映射模型(self-organizing feature map, SOFM)划分了砂石土类矿产资源开发基地。结果表明:长江经济带砂石土类矿产采矿权在空间上具有明显的区域性集聚特征,集聚程度随时间不断增强;长江经济带砂石土类矿产采矿权分布总体呈现“西南—东北”格局,整体呈收缩集聚态势,砂石土类矿产资源勘查开发重心呈现向西南的迁移趋势;长江经济带砂石土类矿产采矿权分布存在显著的空间正相关,高值集聚区集中在贵州、云南等省的部分地区,低值集聚区主要分布于湖北北部和长三角的部分地区。该研究结果可为优化长江经济带砂石土类矿产开发空间布局提供依据和参考。

**关键词:**长江经济带;砂石土;采矿权;时空变化

中图分类号:F407.1 文献标志码:A 文章编号:1003-5060(2025)01-0069-09

## Analysis on spatial-temporal changes of mining rights of sand, stone and clay minerals in the Yangtze River Economic Belt

XIE Zhiguo<sup>1</sup>, CHEN Congxi<sup>1,2</sup>, REN Shenglian<sup>1</sup>,  
CHEN Yihua<sup>1</sup>, LI Yingming<sup>1</sup>, WANG Botao<sup>1</sup>

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

**Abstract:** Based on the mining rights data of sand, stone and clay minerals in the Yangtze River Economic Belt from 2007 to 2019, this paper analyzed the spatial and temporal evolution characteristics of mining rights of sand, stone and clay minerals in the Yangtze River Economic Belt by using kernel density estimation, standard deviation ellipse and spatial autocorrelation analysis. On this basis, self-organizing feature map (SOFM) was used to divide sand, stone and clay mineral resource development bases. The results showed that the mining rights of sand, stone and clay minerals in the Yangtze River Economic Belt had obvious regional agglomeration characteristics in space, and the degree of agglomeration was increasing with time. The distribution of mining rights of sand, stone and clay minerals in the Yangtze River Economic Belt generally presented a “southwest to northeast” pattern, and showed a trend of shrinkage and agglomeration. The center of exploration and development of sand, stone and clay minerals showed a trend of migration to the southwest. There was a significant positive spatial autocorrelation in the distribution of mining rights of sand, stone and clay minerals in the Yangtze River Economic Belt. The high-high areas were concentrated in some areas of Guizhou, Yunnan

收稿日期:2022-11-10;修回日期:2023-02-02

基金项目:中国矿产地质志资助项目(DD20190379);自然资源部预算资助项目(2019-57-0114-01)

作者简介:谢治国(1998—),男,安徽合肥人,合肥工业大学硕士生;

陈从喜(1963—),男,安徽萧县人,博士,自然资源部信息中心研究员,硕士生导师,通信作者, E-mail: cxchen@infomail.mnr.gov.cn;

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。

while the low-low areas were mainly distributed in parts of northern Hubei and the Yangtze River Delta. The research results can provide a basis and reference for optimizing the spatial distribution of sand, stone and clay mineral development in the Yangtze River Economic Belt.

**Key words:** Yangtze River Economic Belt; sand, stone and clay; mining rights; spatial-temporal change

近年来,砂石土类矿产资源已成为影响国民经济发展不可或缺的关键原材料,成为事关经济社会发展的焦点甚至一种新的战略性矿产,与人类的生活和生产息息相关。砂石土类矿产被认为是天然骨料的主要来源,是除石油和固体矿产的第三类矿产,是全球城市化和基础设施建设的重要组成部分。2015年10月,美国把砂石及其相关矿产列为关键战略资源。2018年底,国家统计局把砂石土类矿产列为国家战略新兴资源。社会经济的发展对砂石土资源的需求仍呈较快增长态势,而天然砂石由于多年开采和环保政策高压等原因在迅速减少,可供机制砂生产的砂石土类矿产资源却较为丰富。

国外学者对砂石土矿的研究主要集中在两方面。一是对砂石资源数量进行预测和评估。通过利用计算机开发基于地理信息系统的方法,对收集到的栅格和矢量数据进行综合处理和分析,对一个地区的砂石资源量进行估计<sup>[1]</sup>;或者利用遥感和三维摄影测量对砂石土矿进行资源综合评估,包括砂石资源的空间分布、埋藏深度、岩性等<sup>[2]</sup>。二是进行砂石矿的选址。在充分考虑岩性、土地利用、海拔和高度等环境、社会、经济因素的基础上,利用加权叠加的地理信息系统(geographic information system, GIS)分析方法,把采石的合理选址划分为合适、适度、不合适3类<sup>[3]</sup>。目前国内对砂石土矿的研究集中在概念和分类、开发利用现状、相关社会政策、资源规划和管理等方面<sup>[4-8]</sup>,偏重于定性分析。

目前关于采矿权的研究多从全国尺度<sup>[9-10]</sup>或某特定矿种展开<sup>[11-12]</sup>,以长江经济带区域尺度为研究单元和以砂石土类矿产采矿权为研究对象的研究较少。鉴于此,本文以长江经济带砂石土类矿产采矿权为研究对象,基于2007—2019年长江经济带砂石土类矿产采矿权数据,从时空视角拓展了砂石土类矿产采矿权的相关研究。通过对长江经济带砂石土类矿产采矿权时空演变特征和空间关联特征进行分析,总结长江经济带砂石土类矿产采矿权的时空分布规律,以为优化长江经济带砂石土类矿产开发空间布局提供参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

长江经济带由东向西覆盖全国11个省市,按地理位置和社会经济发展水平将其划分为上游(渝、川、滇、黔)、中游(赣、鄂、湘)、下游(沪、苏、浙、皖)3个部分,总面积约205万平方公里。该区域横跨东部、中部、西部地势阶梯,成矿地质条件较好,是各种矿产资源的密集带,分布了丰富的砂石土类矿产资源,主要包括建筑石料用灰岩、砖瓦用黏土、砖瓦用页岩、建筑用砂等20个矿种。

砂石土类矿产是长江经济带建设过程中的主要原材料,在长江经济带的发展中具有举足轻重的作用。长江作为贯穿中国东西唯一的“黄金水道”,为砂石土类矿产的运输提供了便利条件。长江经济带国家战略的实施以及新型城镇化的推动,对砂石土类矿产资源的需求仍将维持在高位。以长江经济带为研究区域探讨砂石土类矿产采矿权的时空变化特征,具有典型性和代表性。

### 1.2 数据来源

本文数据主要包括基础地理信息数据、采矿权数据。基础地理信息数据来源于国家基础地理信息数据库,主要是长江经济带省、市和县级行政区划图。砂石土类矿产采矿权数据来源于自然资源部信息中心,主要包括矿种、发证机关、有效期限、采矿权范围拐点坐标、矿区面积和设计生产规模等字段,对其进行人工筛查,坐标转换后导入ArcGIS软件中。

## 2 研究方法

### 2.1 核密度估计法

核密度估计法基本思想是地理事件在点密度高的区域发生的概率较高,在点密度低的区域发生的概率较低。核密度值的高低表示地理对象在空间分布的集聚程度<sup>[13]</sup>,适用于分析点状地理要素空间聚集特征,能直观地表现地理要素在空间上的分布概率<sup>[14]</sup>,在地学统计中应用较广泛。核密度估计值计算公式如下:

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

其中:  $P(x)$  为核密度估计值;  $n$  为数据个数;  $h$  为搜索半径;  $K(x)$  为核密度函数;  $x - x_i$  为估计点  $x$  到事件  $x_i$  的距离。

## 2.2 标准差椭圆法

标准差椭圆法以中心点、面积、长轴、短轴和方位角为基本参数定量揭示事物的空间分布态势和演变趋势,被广泛应用于地理学、地质学、生态学和社会学等领域的空间发展格局研究<sup>[15]</sup>。一般椭圆方程为:

$$\frac{X}{\sigma_X} + \frac{Y}{\sigma_Y} = S \quad (2)$$

其中:  $S$  为置信度的值;  $\sigma_X$ 、 $\sigma_Y$  分别为椭圆在  $X$  轴和  $Y$  轴的标准差。

## 2.3 空间自相关分析

空间自相关分析的基本思想源于地理学第一定律,认为地理事物在空间上存在潜在的依赖关系<sup>[16]</sup>,包括全局空间自相关和局部空间自相关。

全局空间自相关是对地理对象属性值在整个区域空间分布特征的描述,常用 Global Moran's I 来度量,计算公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (3)$$

其中:  $n$  为空间单元的数量;  $x_i$  为变量  $x$  在空间单元  $i$  上的属性值,表示市域采矿权数量;  $\bar{x}$  为变量  $x$  的均值;  $W_{ij}$  为空间权重矩阵元素;  $S^2$  为  $x_i$  的离散方差。

局部空间自相关反映某一空间单元属性值与其邻近单元属性值的相关程度,常用 Local Moran's I 来度量,计算公式如下:

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

## 2.4 SOFM 聚类分析法

利用自组织特征映射模型 (self-organizing feature map, SOFM) 划定砂石土类矿产资源开发基地,该模型最早由芬兰科学家提出,是一种非监督型、无导师的网络模型,具有自适应、自学习等特性,能够有效识别样本的内在联系和本质属性,被广泛应用在聚类或分区研究中<sup>[17]</sup>。

# 3 结果与分析

## 3.1 采矿权时序演化特征

2007—2019 年间处于有效期内的砂石土类矿产采矿权数量呈现先增长后下降的趋势,如

图 1 所示。由图 1 可知,2007—2018 年砂石土类有效期内采矿权数量快速增长,从 2007 年 948 个增至 2018 年 10 336 个,增长趋势显著。从侧面反映出砂石土类矿产需求不断增长的态势。有效期内采矿权数量从 2019 年开始下降,采矿权数量的减少可能是因为新出让的采矿权的减少和原有采矿权的到期,新出让的砂石采矿权减少主要是由于生态文明建设的需要,对砂石土类矿产采矿权的投放要求更加严格。

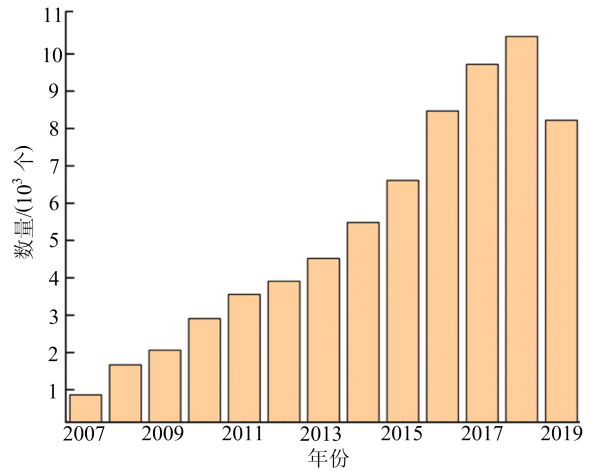


图 1 2007—2019 年长江经济带砂石土类矿产采矿权数量变化

## 3.2 采矿权空间集聚特征

为更好地揭示砂石土类采矿权的空间格局和演变特征,利用 ArcGIS 10.2 的核密度估计工具,得到 2007、2011、2015、2019 年长江经济带砂石土类矿产采矿权核密度分析结果见表 1 所列。

从表 1 可以看出,长江经济带砂石土类矿产采矿权分布呈明显的空间集聚特征,空间演变总体呈现多中心集聚到连片发展的格局,存在向西部继续扩张的态势,尤其是四川和重庆地区。

2007—2019 年,砂石土类矿产采矿权分布广泛,在长江经济带 11 个省市均有分布,但空间分异特征明显,与资源分布情况紧密联系,高密度集聚区主要位于上、中游地区。2007 年大体上出现 3 个明显的空间分布集聚中心,分别位于贵州、江西、云南,各集聚中心呈孤立的圈层分布。2011 年砂石土类矿产采矿权集聚加强,出现区域内连片的高密度分布,且形成了新的集聚中心。从具体省域来看,各省的分布密度都有所增加,在贵州形成带状集聚,在四川、湖南出现了明显的集聚中心。2015 年,砂石土类矿产采矿权连片程度和分布密度进一步增加,特别是在云南呈现片状扩散,在江西出现明显集聚中心。2019 年贵州、

湖南、江西、四川等地砂石土类矿产采矿权集聚程度明显增强,湖北等地出现集聚中心。砂石土矿采矿权空间分布广泛且连片发展趋势明显,这种集聚更多地依赖于自然资源的地域分布,具有明显的资源指向性。

矿业权集聚是自然资源配置的一种手段<sup>[18]</sup>,资源禀赋对采矿权的总体分布有重要影响。云贵川地区砂石矿资源相对丰富,尤其是水泥用灰岩和饰面用灰岩。2006年,国务院加强地质工作,继续

实施国土资源大调查,加大西部地区矿产资源评价力度。“西部大开发”工程和城市化进程的推进催生了砂石资源的市场需求,对采矿权的设立和增加起到了强烈的拉动作用。同时2008年汶川大地震以来大规模灾后重建是四川省砂石土采矿权数量增加的重要原因。重庆地区长期以来使用的是天然特细砂,但近年来天然砂石无法满足需求,于是转而开采建筑用砂岩等其他砂石土类矿产,因此重庆地区采矿权持续增加并较为集中。

表 1 砂石土类矿产采矿权核密度分析结果

年份	核密度等级	区域
2007	低密度区	成都市、自贡市、攀枝花市、泸州市、绵阳市、广元市、遂宁市、内江市、乐山市、南充市、宜宾市、广安市、资阳市、眉山市、巴中市、雅安市、阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州、重庆市、玉溪市、红河哈尼族彝族自治州、文山壮族苗族自治州、普洱市、西双版纳傣族自治州、楚雄彝族自治州、大理白族自治州、保山市、德宏傣族景颇族自治州、丽江市、怒江傈僳族自治州、迪庆藏族自治州、临沧市、六盘水市、遵义市、黔东南苗族侗族自治州、黔西南布依族苗族自治州、武汉市、黄石市、十堰市、荆州市、宜昌市、襄阳市、荆门市、孝感市、咸宁市、恩施土家族苗族自治州、随州市、仙桃市、天门市、潜江市、神农架林区、湘潭市、衡阳市、邵阳市、常德市、张家界市、益阳市、永州市、郴州市、娄底市、怀化市、湘西土家族苗族自治州、南昌市、九江市、鹰潭市、赣州市、抚州市、宣城市、宿州市、滁州市、池州市、阜阳市、六安市、合肥市、蚌埠市、淮南市、铜陵市、马鞍山市、淮北市、芜湖市、安庆市、黄山市、亳州市、无锡市、徐州市、常州市、苏州市、南通市、连云港市、淮安市、盐城市、扬州市、泰州市、宿迁市、杭州市、嘉兴市、湖州市、舟山市、金华市、绍兴市、温州市、台州市、丽水市、衢州市、宁波市、上海市
	中密度区	德阳市、达州市、昭通市、贵阳市、黔南布依族苗族自治州、毕节市、铜仁市、鄂州市、黄冈市、岳阳市、景德镇市、上饶市、吉安市、南京市、镇江市
	高密度区	昆明市、曲靖市、安顺市、长沙市、株洲市、萍乡市、新余市、宜春市
2011	低密度区	自贡市、攀枝花市、泸州市、遂宁市、内江市、南充市、宜宾市、资阳市、雅安市、阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州、玉溪市、文山壮族苗族自治州、普洱市、西双版纳傣族自治州、楚雄彝族自治州、大理白族自治州、怒江傈僳族自治州、迪庆藏族自治州、临沧市、遵义市、黔东南布依族苗族自治州、武汉市、荆州市、襄阳市、鄂州市、荆门市、孝感市、咸宁市、随州市、仙桃市、天门市、潜江市、神农架林区、湘潭市、邵阳市、岳阳市、常德市、张家界市、郴州市、娄底市、怀化市、湘西土家族苗族自治州、宣城市、宿州市、滁州市、池州市、阜阳市、六安市、合肥市、蚌埠市、淮南市、铜陵市、淮北市、芜湖市、安庆市、黄山市、亳州市、无锡市、徐州市、常州市、苏州市、南通市、连云港市、淮安市、盐城市、扬州市、泰州市、宿迁市、杭州市、嘉兴市、湖州市、舟山市、绍兴市、温州市、台州市、丽水市、衢州市、宁波市、上海市
	中密度区	成都市、广元市、乐山市、广安市、达州市、眉山市、巴中市、重庆市、保山市、红河哈尼族彝族自治州、德宏傣族景颇族自治州、丽江市、恩施土家族苗族自治州、黄石市、十堰市、宜昌市、黄冈市、长沙市、株洲市、永州市、南昌市、景德镇市、萍乡市、九江市、赣州市、马鞍山市、镇江市、金华市
	高密度区	德阳市、绵阳市、昆明市、昭通市、曲靖市、贵阳市、六盘水市、安顺市、黔南布依族苗族自治州、黔东南苗族侗族自治州、毕节市、铜仁市、衡阳市、益阳市、新余市、鹰潭市、宜春市、上饶市、吉安市、抚州市、南京市
2015	低密度区	自贡市、遂宁市、南充市、雅安市、阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州、普洱市、西双版纳傣族自治州、德宏傣族景颇族自治州、怒江傈僳族自治州、迪庆藏族自治州、临沧市、武汉市、荆州市、襄阳市、孝感市、咸宁市、随州市、仙桃市、天门市、潜江市、神农架林区、株洲市、湘潭市、岳阳市、常德市、张家界市、娄底市、怀化市、宣城市、宿州市、滁州市、池州市、阜阳市、六安市、合肥市、蚌埠市、淮南市、铜陵市、马鞍山市、淮北市、芜湖市、安庆市、黄山市、亳州市、南京市、无锡市、徐州市、常州市、苏州市、南通市、连云港市、淮安市、扬州市、镇江市、泰州市、宿迁市、杭州市、嘉兴市、湖州市、绍兴市、丽水市、上海市

续表

年份	核密度等级	区域
2015	中密度区	成都市、攀枝花市、泸州市、广元市、乐山市、广安市、达州市、重庆市、红河哈尼族彝族自治州、文山壮族苗族自治州、大理白族自治州、保山市、丽江市、遵义市、黔西南布依族苗族自治州、毕节市、十堰市、宜昌市、鄂州市、荆门市、恩施土家族苗族自治州、邵阳市、永州市、郴州市、湘西土家族苗族自治州、南昌市、景德镇市、九江市、鹰潭市、上饶市、盐城市、舟山市、温州市、台州市、衢州市、宁波市
	高密度区	德阳市、绵阳市、内江市、宜宾市、眉山市、资阳市、巴中市、昆明市、昭通市、曲靖市、玉溪市、楚雄彝族自治州、贵阳市、六盘水市、安顺市、黔南布依族苗族自治州、黔东南苗族侗族自治州、铜仁市、黄石市、黄冈市、长沙市、衡阳市、益阳市、萍乡市、新余市、赣州市、宜春市、吉安市、抚州市、金华市
	低密度区	资阳市、阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州、德宏傣族景颇族自治州、丽江市、怒江傈僳族自治州、迪庆藏族自治州、临沧市、武汉市、十堰市、荆州市、襄阳市、鄂州市、孝感市、随州市、仙桃市、天门市、潜江市、神农架林区、湘潭市、岳阳市、南昌市、鹰潭市、宿州市、滁州市、池州市、六安市、蚌埠市、淮南市、马鞍山市、淮北市、安庆市、黄山市、亳州市、杭州市、嘉兴市、绍兴市、丽水市、南京市、无锡市、徐州市、常州市、苏州市、南通市、连云港市、淮安市、盐城市、扬州市、镇江市、泰州市、宿迁市、上海市
2019	中密度区	成都市、泸州市、自贡市、广元市、遂宁市、南充市、广安市、巴中市、雅安市、凉山彝族自治州、重庆市、红河哈尼族彝族自治州、文山壮族苗族自治州、普洱市、西双版纳傣族自治州、保山市、黔西南布依族苗族自治州、荆门市、黄石市、黄冈市、咸宁市、长沙市、株洲市、常德市、益阳市、怀化市、湘西土家族苗族自治州、景德镇市、九江市、抚州市、宣城市、合肥市、铜陵市、芜湖市、湖州市、舟山市、金华市、温州市、台州市、宁波市
	高密度区	攀枝花市、德阳市、绵阳市、内江市、乐山市、宜宾市、达州市、眉山市、昆明市、昭通市、曲靖市、玉溪市、楚雄彝族自治州、大理白族自治州、贵阳市、六盘水市、遵义市、安顺市、黔南布依族苗族自治州、黔东南苗族侗族自治州、毕节市、铜仁市、宜昌市、恩施土家族苗族自治州、衡阳市、邵阳市、张家界市、永州市、郴州市、娄底市、萍乡市、新余市、赣州市、宜春市、上饶市、吉安市、阜阳市、衢州市

### 3.3 采矿权空间演化特征

为了进一步分析砂石土类矿产采矿权空间分布特征,利用 ArcGIS 空间分析中的方向分布对 2007、2011、2015、2019 年长江经济带砂石土类矿产采矿权数据进行标准差椭圆分析,标准差椭圆的长半轴、短半轴、面积、旋转角等相关参数见表 2 所列。

由表 2 可知,2007—2019 年长江经济带砂石土类矿产采矿权分布重心在东经  $108.71^{\circ} \sim 109.33^{\circ}$ 、北纬  $27.85^{\circ} \sim 28.24^{\circ}$  之间变动,均位于贵州省,这说明砂石土类矿产采矿权在长江经济带上游地区分布更多,且长江经济带砂石土类矿产采矿权数量地域分布不均衡,在东西方向上更突出。

采矿权的数量可以间接反映区域矿产资源的勘探和开发工作程度<sup>[19]</sup>。从重心的移动轨迹和移动速度来看,研究期内采矿权分布重心轨迹呈现“东北—西南—西南”方向走势,整体呈现向西南迁移的趋势。2007—2011 年,重心以年均移动速度 6.02 km 向东北方向移动了 24.08 km; 2011—2015 年,重心以年均移动速度 10.43 km 向西南方向移动了 41.72 km; 2015—2019 年重心继续以年均移动速度 9.32 km 向西南方向移动了 37.28 km。上游地区本身砂石土类矿产资

源丰富,同时伴随西部大开发,城市基础设施建设的拉动效应比较明显,砂石土资源的需求进一步加大,对重心向西南方向移动起到了推动作用;同时,中游地区的江西、湖南采矿权数量的增多、空间的集聚拉动了重心向西南移动,与核密度估计结果相印证;下游地区由于产业结构、环境规制、矿山综合整治等原因,采矿权数量大幅减小,对标准差椭圆的控制小于上游地区的影响。

标准差椭圆的长短半轴的差值反映了采矿权分布的方向性趋势,所选取时间节点的标准差椭圆长轴始终大于短轴且差值较大,说明了采矿权的空间分布具有明显的方向性。标准差椭圆覆盖的主体区域位于长江经济带上、中游地区,始终呈现“西南—东北”方向的空间分布格局,与长江的流向大致相符。

椭圆面积在时序上先增大后减小,表明采矿权分布在地理空间上呈现先扩张后收缩的趋势。2011 年较 2007 年,标准差椭圆长半轴、短半轴均变长,椭圆面积增加,说明采矿权在“西南—东北”方向上呈分散扩张态势。采矿权数量的增多在一定程度上驱动了长江经济带砂石土类矿产采矿权空间上的扩张。2015 年较 2011 年,标准差椭圆长半轴变长、短半轴变短,且椭圆面积减小,结合重心

移动方向可知,此阶段采矿权分布向西南地区发展且更为集中。2019 年较 2015 年,椭圆长半轴、短半轴均变短,说明采矿权分布集中度有所增加,在“西南—东北”方向上呈收缩集聚态势,主要是由于开采结束、年限到期、资源整合和自然保护区内的采矿权退出,空间扩散效应降低。

方位角即正北方向顺时针旋转到椭圆长轴的夹角,也可以反映砂石土类矿产采矿权分布的主要发展方向。研究期内,方位角在  $75.79^{\circ} \sim 79.54^{\circ}$  之间变动,也说明了采矿权分布呈现“西南—东北”格局,该格局随时间变化经历了强化、弱化、强化 3 个阶段。

表 2 长江经济带砂石土类采矿权标准差椭圆参数表

年份	中心经度	中心纬度	椭圆面积/km <sup>2</sup>	长半轴/km	短半轴/km	方位角/(°)
2007	109.30°E	28.03°N	836 417	824.82	322.83	75.79
2011	109.33°E	28.24°N	886 857	835.17	338.05	79.54
2015	109.92°E	27.93°N	859 910	838.82	326.36	77.27
2019	108.71°E	27.85°N	768 039	761.65	321.02	78.14

### 3.4 采矿权空间关联特征

#### 3.4.1 全局空间自相关分析结果

借助 GeoDa 软件,以长江经济带 130 个市级行政单位为基本空间尺度,以各市的采矿权数量作为指标,创建基于距离创建空间权重矩阵,计算得到全局 Moran's I 指数,见表 3 所列。

表 3 全局 Moran's I 指数与检验值

年份	Moran's I	P	Z
2007	0.111	0.001	4.001
2008	0.196	0.001	6.372
2009	0.247	0.001	7.764
2010	0.234	0.001	7.172
2011	0.256	0.001	7.778
2012	0.284	0.001	8.790
2013	0.299	0.001	9.503
2014	0.287	0.001	9.396
2015	0.310	0.001	10.046
2016	0.305	0.001	9.466
2017	0.307	0.001	9.263
2018	0.322	0.001	9.732
2019	0.401	0.001	12.279

从长江经济带 2007—2019 年砂石土类矿产

采矿权分布数量全局 Moran's I 指数值来看,其均为正值,且通过了 1% 水平的显著性检验,表明长江经济带砂石土类矿产采矿权分布在市级层面上存在显著的正相关性,采矿权数量接近的区域在空间上趋于集聚。

从全局 Moran's I 指数的变化趋势来看,与起始时间 2007 年全局 Moran's I 指数 0.111 相比,2007—2019 年采矿权分布数量的全局 Moran's I 指数大幅度上升,表明长江经济带砂石土类矿产采矿权的空间自相关性呈现增强趋势,集聚效应越来越显著。从空间溢出效应的角度来看,各研究单元的采矿权分布数量不仅与该区域的资源禀赋、经济水平、矿业发展水平等要素相关,还与邻域单元的分布数量有关。

#### 3.4.2 局部空间自相关分析结果

为了更直观地分析长江经济带砂石土类矿产采矿权的时空布局情况,揭示研究单元与其周围单元的局部空间差异特征,将通过 5% 显著水平检验的空间单元集聚类型划分为高-高、高-低、低-高、低-低 4 类,局部空间自相关分析结果见表 4 所列。

表 4 2007—2019 年长江经济带 LISA 聚集情况

年份	空间单元集聚类型	区域
2007	低-低类型区域	襄阳市、宜昌市、常德市、宣城市、宿州市、滁州市、六安市、合肥市、蚌埠市、马鞍山市、淮北市、亳州市、无锡市、徐州市、常州市、苏州市、南通市、连云港市、盐城市、扬州市、泰州市、宿迁市、嘉兴市、湖州市、舟山市、绍兴市、宁波市、上海市
	高-高类型区域	昭通市、曲靖市、玉溪市、文山壮族苗族自治州、贵阳市、六盘水市、遵义市、安顺市、黔东南苗族侗族自治州、赣州市、宜春市、抚州市
	低-高类型区域	攀枝花市、红河哈尼族彝族自治州、毕节市、黔西南布依族苗族自治州
	高-低类型区域	黄冈市、南京市、淮安市、镇江市

续表

年份	空间单元集聚类型	区域
2011	低-低类型区域	武汉市、黄石市、荆州市、鄂州市、荆门市、孝感市、咸宁市、随州市、天门市、潜江市、常德市、宣城市、宿州市、滁州市、阜阳市、六安市、合肥市、蚌埠市、淮南市、铜陵市、马鞍山市、淮北市、芜湖市、安庆市、亳州市、无锡市、徐州市、常州市、苏州市、南通市、连云港市、淮安市、盐城市、扬州市、镇江市、泰州市、宿迁市、嘉兴市、湖州市、舟山市、绍兴市、宁波市、上海市
	高-高类型区域	昆明市、昭通市、曲靖市、文山壮族苗族自治州、六盘水市、遵义市、安顺市、黔南布依族苗族自治州、黔东南苗族侗族自治州、毕节市、铜仁市、抚州市
	低-高类型区域	攀枝花市、贵阳市、黔西南布依族苗族自治州、新余市
	高-低类型区域	黄冈市、杭州市、南京市
2015	低-低类型区域	黄石市、荆州市、襄阳市、鄂州市、荆门市、孝感市、咸宁市、随州市、天门市、潜江市、宣城市、宿州市、滁州市、池州市、阜阳市、六安市、合肥市、蚌埠市、淮南市、铜陵市、马鞍山市、淮北市、芜湖市、安庆市、黄山市、亳州市、南京市、无锡市、徐州市、常州市、苏州市、南通市、连云港市、淮安市、盐城市、扬州市、镇江市、泰州市、宿迁市、杭州市、嘉兴市、湖州市、舟山市、绍兴市、宁波市、上海市
	高-高类型区域	昆明市、昭通市、曲靖市、红河哈尼族彝族自治州、文山壮族苗族自治州、楚雄彝族自治州、六盘水市、遵义市、安顺市、黔南布依族苗族自治州、黔东南苗族侗族自治州、毕节市、铜仁市、黔西南布依族苗族自治州、湘西土家族苗族自治州、抚州市
	低-高类型区域	攀枝花市、玉溪市、贵阳市、株洲市、萍乡市
	高-低类型区域	黄冈市、金华市
2019	低-低类型区域	武汉市、黄石市、荆州市、襄阳市、鄂州市、荆门市、孝感市、黄冈市、咸宁市、随州市、天门市、潜江市、宣城市、宿州市、滁州市、池州市、六安市、合肥市、蚌埠市、淮南市、铜陵市、马鞍山市、淮北市、芜湖市、安庆市、黄山市、亳州市、景德镇市、南京市、无锡市、徐州市、常州市、苏州市、南通市、连云港市、淮安市、盐城市、扬州市、镇江市、泰州市、宿迁市、杭州市、嘉兴市、湖州市、舟山市、金华市、绍兴市、台州市、衢州市、宁波市、上海市
	高-高类型区域	泸州市、宜宾市、昆明市、昭通市、曲靖市、玉溪市、红河哈尼族彝族自治州、文山壮族苗族自治州、六盘水市、遵义市、安顺市、黔南布依族苗族自治州、黔东南苗族侗族自治州、毕节市、铜仁市、黔西南布依族苗族自治州、郴州市、怀化市、湘西土家族苗族自治州
	低-高类型区域	自贡市、攀枝花市、贵阳市、株洲市
	高-低类型区域	阜阳市、九江市、上饶市

一定程度上采矿权数量与资源禀赋高空间关联。其中“高-高”类型为采矿权数量高值集聚区,即自身及邻接单元采矿权数量均较高,主要分布于江西、云南、贵州等地区。这些区域成矿地质条件较好,砂石土类矿产资源丰富,分布广泛,种类齐全,资源禀赋优势明显。采矿权集聚有利于推动矿产资源开发,并且产生显著的空间溢出效应。随着时间推移,处于云南、贵州的集聚区范围在扩大,呈连绵带状分布,处于江西的集聚区逐渐减少至无。“低-低”类型即自身及邻接单元采矿权数量均较低,该类型集聚区空间分布格局较稳定,空间单元数量上有所增加,主要分布于湖北北部和长三角部分地区。这些地区砂石土类矿产资源相对匮乏,一定程度上制约了采矿权的设置和投放。上海等地区主要发展第三产业且环境规制约束强,严格管控矿产资源开采,市域内全面禁止砂石

资源的开采,采矿权大都已退出。“高-低”和“低-高”类型集聚区数量较少,在图中表现不明显。

### 3.5 砂石土类矿产资源基地划定

一般认为,矿产资源基地应该是矿产资源供应的集中区以及具有规模以上产能的集中生产地,能够为区域长期稳定供应矿产资源<sup>[20]</sup>。砂石土类矿产资源开发基地对于提高长江经济带砂石土资源供给能力,优化开发布局,合理配置资源具有重要意义。砂石土类矿产采矿权所表现的地域分异性,表明其空间分布上的不平衡性。核密度分析、标准差椭圆表明采矿权在空间分布上有显著的集聚性特征,空间自相关结果表明不同单元采矿权数量存在明显的空间关联特征。采矿权的上述特征,为砂石土类矿产资源开发基地的划定提供了基础和依据。

基地的选取需要考虑到资源赋存、产能需求

等多重因素<sup>[21]</sup>,以县级行政单元作为矿产资源基地划定的基本空间单元,以资源储量、设计生产规模和大中型矿山数目因子作为指标<sup>[22]</sup>,利用 SOFM 聚类分析方法识别砂石土类矿产资源集中开发区,进而划定砂石土类矿产资源开发基地。

利用 ArcGIS 将指标数据进行汇总到县级行政单元后导入 MATLAB,运行其神经工具箱构建 SOFM 神经网络进行分类,将结果分为 4 类:第 1 类地区表现为资源储量大、设计生产规模高、大中型矿山数量也较多;第 2 类地区表现为资源储量较大、设计生产规模较高、大中型矿山数量中等;第 3 类地区表现为有一定资源储量、设计生产规模较低、大中型矿山极少;第 4 类地区表现为资源储量极少、开采规模极低、没有大中型矿山。选择其中的第 1 类和第 2 类划分单元作为长江经济带砂石土类矿产资源基地的参考单元。考虑空间

连续性以及生态功能重要性,归并调整后的结果见表 5 所列。对长江经济带砂石土类矿产资源开发基地的各项指标进行统计,15 个基地的资源储量占长江经济带总资源储量的 64.5%,设计生产规模占长江经济带总设计规模的 61.0%,大中型矿山数目占长江经济带总量的 69.0%,能够为长江经济带砂石土资源的供给提供保障。

针对基地中的县域空间单元,有序投放砂石土类矿产采矿权,对区域内采矿权进行整顿整合,建设砂石生产加工基地,促进产业集聚。在进行绿色矿山建设的新要求下,加强大中型矿山建设,引导各类要素向基地倾斜,布局一批超大型企业参与砂石项目的投资、生产和经营。另外由于砂石土资源不同于其他矿产资源,存在一定的运输半径,同时各地对砂石土资源的需求不同,结合实际可以将部分地区设为后备基地。

表 5 长江经济带砂石土类矿产资源开发基地及包含区域

基地	包含区域
皖苏基地	萧县、杜集区、埇桥区、铜山区、贾汪区
皖中南基地	肥东县、全椒县、南谯区、巢湖市、含山县、和县、庐江县、枞阳县、贵池区、青阳县、繁昌县、南陵县、弋江区、郊区
浙东南基地	平阳县、瑞安市、龙湾区、洞头区、永嘉县、乐清市、玉环市、温岭市、路桥区、临海市、三门县、象山县、奉化区、海曙区、鄞州区、定海区、岱山县
鄂北基地	南漳县、当阳市、东宝区、宜城市、钟祥市、京山市
赣南基地	新干县、永丰县、泰和县、兴国县、于都县、瑞金市、会昌县、信丰县、南康区
鄂湘基地	松滋市、石门县、慈利县、桃源县、临澧县、鼎城区、安化县、宁乡市、涟源市、新邵县、双峰县、邵阳县、东安县、祁阳县
川渝基地	忠县、石柱土家族自治县、丰都县、涪陵区、彭水苗族土家族自治县、巴南区、江津区、大渡口区、九龙坡区、长寿区、邻水县、合川区、前锋区、大竹县、华蓥市
滇南基地	澜沧拉祜族自治县、思茅区、景洪市、宁洱哈尼族彝族自治县、墨江哈尼族自治县
鄂赣基地	大冶市、西塞山区、蕲春县、武穴市、瑞昌市、德安县、湖口县、彭泽县
苏西基地	江宁区、句容市、溧水区、金坛区、溧阳市
浙西基地	临安区、富阳区、桐庐县、萧山区、诸暨市、建德市、兰溪市、衢江区、常山县、江山市、长兴县、吴兴区、德清县
湘赣基地	浏阳市、荷塘区、上栗县、万载县、袁州区、上高县、分宜县
黔中基地	七星关区、大方县、修文县、瓮安县、福泉市、平坝区、龙里县、长顺县、惠水县、贵定县、平塘县、都匀市、独山县、三都水族自治县、荔波县、黔西县、织金县、普定县、西秀区、紫云苗族布依族自治县
滇中基地	楚雄市、禄丰县、易门县、安宁市、峨山彝族自治县、红塔区、通海县、华宁县、澄江市、宜良县、石林彝族自治县、嵩明县、西山区、五华区、富民县、禄劝彝族苗族自治县
川北基地	北川羌族自治县、江油市、青川县、朝天区、旺苍县、南江县、通江县、万源市

## 4 结 论

基于 2007—2019 年长江经济带砂石土类矿产采矿权数据,采用核密度估计、标准差椭圆、空间自相关和 SOFM 模型,运用 ArcGIS、GeoDa 等

技术平台对长江经济带砂石土类矿产采矿权的时空格局进行研究,并在此基础上进行长江经济带砂石土类矿产资源基地的划定,结论如下:

1) 从地域分布来看,2007—2019 年长江经济带砂石土类矿产采矿权分布不均衡,空间上呈

现“西密东疏”的分布格局;从空间分布集聚性看,砂石土类矿产采矿权具有空间集聚特征,且地理集聚态势不断增强,形成了“多核集聚及团带状发展”空间格局。

2) 从空间结构来看,砂石土类矿产采矿权空间分布格局呈“西南—东北”走向,空间分布范围在时序上表现为由扩张到收缩的态势,矿产资源勘察开发重心集中分布在西部,且呈现向西南偏移的趋势。

3) 从空间关联来看,采矿权数量在空间上存在显著的空间正相关特征,且趋势有所加强,高-高集聚区聚集于云南和贵州等省,低-低集聚区分布于长三角及湖北北部区域。

4) 选取资源储量、设计生产规模和大中型矿山数目作为聚类指标,采用 SOFM 进行聚类分析,划定了长江经济带砂石土矿资源开发基地。

作为砂石资源供应链的主要合法来源,砂石采矿权在维持砂石资源供需方面发挥着重要作用。对砂石土类矿产采矿权的时空特征进行分析,得到砂石土类矿产采矿权具有显著的空间集聚性和空间关联性的结论。基于上述性质,利用聚类分析以县域行政单元作为基本空间单元初步划分了砂石土类矿产资源开发基地,对砂石土资源格局优化有一定的参考意义。

### [参 考 文 献]

- [1] SUTPHIN D, MDREW L, JFOWLER B K. Estimated sand and gravel resources of the South Merrimack, Hills Borough County, New Hampshire, 7. 5-minute Quadrangle[J]. Natural Resources Research, 2006, 15(3): 183-203.
- [2] MIAO X D, STOHR C J, HANSON P R, et al. Remote sensing and three-dimensional photogrammetric analysis of glaciofluvial sand and gravel deposits for aggregate resource assessment in McHenry County, Illinois, USA [J]. Engineering Geology, 2020, 274: 105695.
- [3] BARAKAT A, OUARGAF Z, TOUHAMI F. Identification of potential areas hosting aggregate resources using GIS method: a case study of Tadla-Azilal Region, Morocco[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(9): 1-16.
- [4] 孙婧, 史登峰. 我国砂石资源开发利用分析及管理对策[J]. 中国国土资源经济, 2014, 27(10): 45-48.
- [5] 程晓娜, 张博, 董晓方, 等. 我国砂石土矿开采现状及对策研究[J]. 中国矿业, 2015, 24(5): 23-26.
- [6] 吴琪, 陈从喜, 葛振华, 等. 我国普通建材用砂石土类矿产开发利用若干问题的探讨[J]. 矿产勘查, 2018, 9(5): 998-1004.
- [7] 史雪莹, 赵连荣, 吴琪. 我国砂石土类矿产开发利用现状及建议[J]. 矿产保护与利用, 2017(6): 14-19.
- [8] 杨再兴, 曾凌云. 全国砂石土矿山开采管理现状研究[J]. 中国国土资源经济, 2020, 33(5): 44-50.
- [9] 路玉林, 谭永杰, 王永志, 等. 全国矿业权分布规律研究[J]. 中国矿业, 2011, 20(7): 29-34.
- [10] 杜雪明. 中国矿业权空间布局研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2015.
- [11] 张衡, 王文强, 林燕, 等. 全国煤炭矿业权时空变化特征分析[J]. 中国煤炭地质, 2021, 33(增刊 1): 31-35, 55.
- [12] 殷腾飞, 王永志, 谭永杰. 全国煤炭矿业权分布规律研究[J]. 中国煤炭, 2015, 41(2): 16-19.
- [13] 陈雨昂, 唐荣, 方建, 等. 2014—2018 年中国城市路面塌陷时空规律与原因分析[J]. 水利水电技术, 2020, 51(7): 108-116.
- [14] 熊熙, 张仕超, 梁靖茹, 等. 丘陵山区家庭农场时空拓展特征及驱动力分析: 以重庆市江津区为例[J]. 山地学报, 2021, 39(1): 71-87.
- [15] 谢文全, 张兴国, 潘晓芳. 1995—2015 年中国耕地时空演变特征研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2021, 143(2): 242-247.
- [16] 刘笑杰, 王丽丽, 何博汶, 等. 长江经济带 PM<sub>2.5</sub> 时空演变及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(7): 647-658.
- [17] 张学儒, 张懿铨, 刘林山, 等. 基于 SOFM 神经网络模型的土地类型分区尝试: 以青藏高原东部样带为例[J]. 地理研究, 2013, 32(5): 839-847.
- [18] 王忠. 矿业权集聚、经济增长与区域贫困减缓[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(2): 117-125.
- [19] 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.
- [20] 朱晓强. 矿产资源基地划界与综合评价研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2020.
- [21] 王登红, 王瑞江, 付小方, 等. 对能源金属矿产资源基地调查评价基本问题的探讨: 以四川甲基卡大型锂矿基地为例[J]. 地球学报, 2016, 37(4): 471-480.
- [22] 马吉宇. 基于聚类分析的我国铁矿资源勘查开发基地划分研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2015.

(责任编辑 吴 亮)