引用格式: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. [Tan L, Zhang Z, Zhang G H. Spatial transference and formation mechanism of illegal mining sites in eastern Hubei[J]. Resources Science, 2017, 39(4): 678-686.] DOI: 10.18402/resci.2017.04.09

湖北省东部矿产资源违规开采点空间转移及成因机制

谭力, 张志, 张高华

(中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074)

摘要:矿业在国民经济发展中起着重要的作用,分析湖北省东部矿产资源违规开采点的空间分布特征,探讨成因机制,对遏制违法开采行为、有效保护和合理利用矿产资源具有重要意义。利用遥感影像解译结合野外调查获取的2011-2014年矿产资源违规开采点数据,采用空间插值、核密度分析、缓冲区分析和重心模型等方法,从全部矿产资源、主要违规矿种的违规开采点密度分布特征和违规开采点重心转移两个层次、三个方面揭示矿产违规开采点空间转移特征。结果表明:研究期内违规开采点集中分布在大冶市和阳新县,具有向大冶市与铁山区结合部转移的特点,但金属矿产违规重心几乎不变,建筑石料用灰岩逐年向阳新县转移,主要受矿产资源禀赋特征、交通便捷程度、不同行政单元结合部和经济发展刚性需求等因素的影响;违规开采点重心呈“Z”型转移,迁移轨迹与监管疏漏导致的不同区域违规开采数量变化和重要矿种分布情况有关。

关键词:矿产资源;违规开采点;空间转移;成因机制;湖北省东部

DOI: 10.18402/resci.2017.04.09

1 引言

矿产资源是社会经济发展的重要物质基础,中国92%的一次能源、80%以上的工业原料、30%的工业用水和城乡居民用水(属于矿产资源范畴的地下水)皆来自矿产资源。长期以来,中国矿产资源开发利用与管理形式较为粗放,部分矿区开采秩序混乱,无证开采、越界开采和乱采滥挖等违法行为时有发生,不仅造成资源的严重浪费,同时还引发一系列环境问题,甚至损害人民的生命财产,在一些地区已经成为制约经济和社会发展的的重要因素^[1]。2016年底,国土资源部会同国家发改委、工业和信息化部、财政部、环保和商务部共同发布《全国矿产资源规划(2016-2020年)》,明确“十三五”时期,中国矿产资源管理与矿业发展目标及未来工作重点,规划提出,到2020年基本建立安全、稳定、经济的资源保障体系,基本形成节约高效、环境友好、矿地和谐的绿色矿业发展模式,基本建成统一开放、竞争有序、富

有活力的现代矿业市场体系,显著提升矿业发展的质量和效益,塑造资源安全与矿业发展新格局^[2]。

目前,已有许多学者对中国矿产资源开采现状所产生的主要问题进行研究分析,张博等通过整理总结矿产资源勘查开采整顿规范、矿产资源开发整合、矿业权设置方案制度实施等方面的研究进展,提出中国矿产资源勘查开采布局优化研究工作的研究方向^[3],程晓娜等总结出中国砂石土矿开采存在布局不合理、部分地区违规开采、矿山环境破坏、综合利用水平低等主要问题,并提出对策建议^[4]。陈喜峰通过多方面系统分析,指出中国铝土矿勘查开发存在的问题,并提出了可持续发展建议^[5]。有关矿产资源违规开采现象的研究,大多文献是凭借法律和政策手段,提供打击与整治违规开采行为的管理方法,仅有朱俊凤等利用简单的数量统计分析2010-2014年广东省稀土矿违规开采点的图斑数量在时间和空间上的变化情况^[6]。对于矿产资源分布

收稿日期:2016-07-20;修订日期:2016-11-10

基金项目:中国地质调查“全国矿产资源开发环境遥感监测”项目(121201203000160009)。

作者简介:谭力,男,湖北武汉人,硕士生,主要研究方向为资源与环境遥感。E-mail:280368711@qq.com

通讯作者:张志,E-mail:171560655@qq.com

2017年4月

特征的分析多是根据矿床分布特征进行定性描述,仅有的量化测度如高天明等应用基尼系数和洛伦茨曲线分析了煤炭、油气资源分布不均衡性及其与经济社会发展的空间关系^[7]。候华丽等通过构建矿产资源空间分布的基尼系数和洛伦兹曲线,指出中国矿产资源分布的不均衡性^[8]。从已有研究来看,在矿产资源开采点的空间分布研究工作中,无论是合法开采还是违规开采,都缺乏一定的数学统计方法定量的、深层次的来进行分析,使其在分析结果上较欠说服力,在提出矿业活动管理对策上没有一定的针对性。

本文以湖北省东部矿产资源违规开采点的空间分布数据为基础,借助GIS软件,采用空间插值、核密度分析、缓冲区分析和重心模型计算等方法,分析矿产资源违规开采点的空间分布和空间转移特征,深度揭示其成因机制,为国土资源相关部门开展执法监管、整顿和规范矿产资源开采秩序等提供依据。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

研究范围为湖北省东部53个县级市和3个省直辖行政区。该区具有可供开发利用的铁、铜、金、银、钨、钼等金属矿产、能源矿产煤及膨润土、水泥用灰岩、熔剂用灰岩等非金属矿产,矿种多,配套齐全。金属矿产资源属长江中下游成矿带的一部分,与岩浆岩有关的矿床占90%,主要沿“六大侵入体”接触带和小岩体出露区分布,地理位置上相对集中于鄂州市程潮、黄石市铁山、铜绿山、金山店、灵乡、铜山口、鸡笼山、丰山等地。与二叠系、三叠系有关的矿床、矿点占10%,以非金属矿产和能源矿产为主,分散于黄石市各地,相对集中于黄荆山、韦源口、龙港、洋港、三溪口等地。黄冈市主要为装饰用花岗岩非金属矿产资源和超贫磁铁矿等。荆州市的松滋市地层齐全,成矿条件较好,煤、重晶石等资源丰富,其他地区则为砖瓦用粘土。

据国土资源部信息中心2014年提供的矿权信息统计,涉及矿种数67,包括煤、地热2种能源矿产,铁矿、铜矿、金矿等11种金属矿产,石灰岩、建筑石料用灰岩等52种非金属矿产,矿泉水、地下水2种水气矿产。

2.2 数据来源

2011-2014年度矿产资源违规开采点数据是通过遥感影像预处理和增强处理、违规图斑室内综合解译及野外实地验证修正解译结果等获得。2011-2014年各年度影像数据、行政区划底图、地图要素、采矿权均来源于国土资源部中国地质调查“全国矿产资源开发环境遥感监测”项目。2011-2014年为该项目湖北分项的起止年限,是当前所能获取的最新数据。

2.3 研究方法

以2011-2014年各年度矿产资源违规开采点的数据为基础,基于ArcGIS软件,将地下违规开采点和露天违规开采面合并统一作为违规开采点,运用克里金法、核密度分析和重心模型计算的方法进行违规开采点GIS空间可视化,分析其时空分布与重心转移的特征,再运用交通网密度计算、缓冲区分析和社会学原理等方法深层次揭示分布规律的成因。

核密度分析是研究空间分布特征及扩散规律的一种重要方法。刘锐等利用GIS空间分析中的核密度估计方法并结合各个方位道路密度,分析广佛都市区的路网时空演变^[9]。朱鹤等采用基尼系数、空间插值、核密度分析、地理探测器等方法,对北京城市RBD的时空分布特征和成因进行分析^[10]。Ren Yang等分析不同地貌形态下中国农村居民点的空间分布特征^[11]。沃克(Walker)首次将重心理论引入社会问题的研究中,此后广泛应用于不同领域,特别是人口分布^[12-14]、经济重心迁移特征^[15,16]、产业重心变动^[17,18]、土地利用变化^[19-21]及能源重心迁移路径^[22,23]。

2.3.1 克里金法(Kriging)

Kriging法是建立在变异函数空间分析基础上,对有限区域内的区域化变量取值进行无偏最优估计的一种方法^[24]。用它进行插值不仅可获得预测结果,而且能够获得预测误差,这样有利于评估预测结果的不确定性^[25]。由于研究区内各年度违规开采点的选取有限,采用Kriging法可以假定恒定且未知的平均值,发挥其优势。Kriging法分为普通Kriging法和泛Kriging法,依据研究区矿产资源违规开采点分布特征,选取普通Kriging法进行插值,即:

$$Z(x_0) = \sum_i^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

式中 $Z(x_0)$ 为未知点 x_0 处的时空位置估计值; $Z(x_i)$ 为未知点周围的已知违规开采点; λ_i 为第 i 个已知样本点的加权系数; n 为已知样本点的个数, 利用拉格朗日极小化原理, 可推导出权重值和半方差之间的公式。

2.3.2 核密度估算

核密度估算(Kernel Density Estimation, KDE)采用核函数通过对搜索区内点赋以不同权重而使违规开采点密度分布曲面的光滑程度更为平滑, 通过密度估算可以获得未知区域违规开采点的密度属性。核密度估算的表达式为^[26]:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left[\frac{1}{h}(x - x_i)\right] \quad (2)$$

式中 $K\left[\frac{1}{h}(x - x_i)\right]$ 为核密度函数; h 为带宽; n 为在带宽范围内的违规开采点的数目; d 为数据的维度。由于核密度估计方法不利用有关数据分布的先验知识, 对数据分布不附加任何假定, 是一种从数据样本本身出发研究数据分布特征的方法, 因而, 在统计学理论和应用领域均受到高度重视^[27]。

2.3.3 交通网密度

交通网密度是指一定区域内道路总长度与该地区面积之比^[28], 是评价某一地区的交通状况的常用指标之一^[29]。交通便捷度是影响地区发展的重要因子, 引入交通网密度计算可以分析出各区域的交通区位优势, 有效揭示湖北省东部矿产资源违规开采点的空间转移特征。一般认为, 交通网密度越大, 交通联系越便捷^[30]。公式为:

$$D_i = \frac{L_i}{A_i} \quad i \in (1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

式中 D_i 为区域 i 的交通网密度 (km/km^2); L_i 为区域 i 的主要交通干线长度; A_i 为区域 i 的用地总面积。

2.3.4 重心模型

假设一个大区域由若干个小区域构成, 第 i 个小区域的中心坐标为 (X_i, Y_i) , M_i 为该小区域的某种属性值, 则该属性意义下的区域重心坐标为^[31]:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n M_i X_i / \sum_{i=1}^n M_i, \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^n M_i Y_i / \sum_{i=1}^n M_i \quad (4)$$

式中 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 分别表示违规开采点的重心点坐标值; (X_i, Y_i) 为研究区各行政单元中心坐标; M_i 为违规矿种类型重要程度的属性值, 并将其分为三个等级: 国土资源部重点关注矿种, 如煤、金矿、铁矿、铜矿等, 设为 I 级; 建筑石料用灰岩是研究区较为突出的违规开采现象, 所以将建筑石料用灰岩和其他金属矿产设为 II 级; 其他非金属矿产设为 III 级。

3 矿产资源违规开采点时空特征

3.1 违规开采点时空分布特征半定量分析

3.1.1 违规开采点时空分布及转移总体特征

采用 Kriging 方法分别得到 2011-2014 年矿产资源违规开采点密度分布如图 1 所示 (见 682 页), 利用核密度分析方法分析其特征。其中, 2011 年在黄石市大冶市、黄石市阳新县和鄂州市华容区出现较高密度的分布 (图 1a); 2012 年, 密度高值聚集在黄石市大冶市与黄石市阳新县结合部, 空间结构上呈单核聚集, 在孝感市孝昌县与武汉市黄陂区结合部、武汉市蔡甸区与孝感市汉川市结合部和黄冈市蕲春县、鄂州市梁子湖区有部分辐射 (图 1b); 2013 年, 密度高值聚集在黄石市大冶市-黄石市阳新县-鄂州市鄂城区-鄂州市梁子湖区结合部和荆州市松滋市西端, 在黄冈市麻城市和咸宁市通城县有部分辐射, 空间结构形成三个最高值中心, 并逐步向黄石市大冶市以北聚集 (图 1c); 2014 年违规开采点密度高值在黄石市大冶市与黄石市铁山区结合部聚集明显, 其余地区逐步扩散, 空间结构上形成了单核聚集的网状结构 (图 1d)。与 2011 年相比, 原有的网状结构逐步聚集, 空间结构呈现向黄石市大冶市与黄石市铁山区结合部转移的趋势。

3.1.2 主要违规矿种空间转移特征

金属矿产和建筑石料用灰岩违规开采点数量均逐年增加。2011 年金属矿产违规点主要分布在黄石市大冶市, 其余分布在咸宁市嘉鱼县、黄冈市蕲春县和黄石市阳新县; 2012 年和 2013 年均集中在黄石市大冶市和黄石市阳新县, 在鄂州市鄂城区、黄石市铁山区、黄石市下陆区、黄冈市蕲春县和咸宁市嘉鱼县地区有部分违规分布; 2014 年, 黄石市阳新县有所减少, 违规点主要聚集在黄石市大冶市, 少量分布在鄂州市鄂城区、黄石市下陆区、黄冈市蕲春县、咸宁市嘉鱼县和黄冈市黄梅县。空间转

2017年4月

移上,金属矿产的违规重心几乎不变,主要集中在黄石市的大冶市、阳新县、铁山区、下陆区和鄂州市的鄂城区(图1)。

2011年建筑石料用灰岩违规点在武汉市江夏区、黄石市大冶市、黄冈市蕲春县、孝感市孝昌县和荆州市松滋市有所分布,空间上较为分散;2012年,违规点除分布在武汉市江夏区、黄石市阳新县、孝感市孝昌县和孝感市大悟县外,少量分布在咸宁市赤壁市和黄冈市黄梅县;2013年与2014年,鄂东北已没有违规开采现象,均集中在鄂东南地区,与2012年相比,逐步向阳新县聚集,至2014年,集中在黄石市阳新县的比例高达46.7%。建筑石料用灰岩的空间分布总体呈现向阳新县转移的特征(图1)。

3.1.3 分布特征与成因分析

(1)与矿产资源禀赋间关系。“有此未必然,无此必不然”,没有矿产资源不可能产生违规开采。黄石市、鄂州市属长江中下游成矿带,分布有铜、铁、金、银、铅、锌、煤和建材非金属等矿产。区域矿产资源的赋存条件好,资源量丰富,设置的采矿权多,高于其他区域,开采方式多元化,地表、地下均涵盖,不同性质的企业集中在此开采,矿产资源开发强度大,丰富的资源带来了众多合法开采企业,同时也为违规开采创造了条件,存在的问题也较多。截止2014年,黄石市的金属采矿权占湖北省东部的63.9%,阳新县、大冶市、赤壁市和通城县的建筑石料用灰岩采矿权占31.5%,开采作业多集中在该区域的晚三叠世大冶组地层中。

(2)向交通便捷度高的区位转移。生产与消费的空间分离是现代经济活动的一个重要特征,交通设施类型及网络是人类改造并利用自然环境的重要产物,改变了各区位的空间属性并塑造了其各种优势,支撑着各种功能区域的形成与发展^[32]。矿业经济活动追求利润最大化,从交通运输经济学角度看,交通运输过程中产生的运费成本以及交通便捷程度都成为影响区域选择的重要因素^[33]。选取采矿权聚集较多的鄂东南地区,根据公式(3),计算出鄂东南地区交通网密度,如图2显示,英山县、浠水县、蕲春县和通城县网络密度处于较低水平,处于 $(0.011\sim 0.030)\text{km}/\text{km}^2$;铁山区、下陆区、黄石港区和西塞山区密度较高,处于 $(0.201\sim 0.500)\text{km}/\text{km}^2$;其

余有5个县处于 $(0.101\sim 0.200)\text{km}/\text{km}^2$,4个县处于 $(0.041\sim 0.100)\text{km}/\text{km}^2$,4个县处于 $(0.031\sim 0.040)\text{km}/\text{km}^2$ 。其中,铁山区交通网密度最高,为 $0.5\text{km}/\text{km}^2$ 。分析表明,交通网密度分布特征与违规开采点密度分布特征基本吻合,违规开采点呈现向交通便捷度高的区域转移,此区域包含国道316线和106线、铁路运输网的武九线和长江航道,矿产品外运条件好,运输方式的选择范围广。

黄石市的金属矿产资源丰富,省内自给率较高,开采加工和运输路径通常较短,贸易往来频繁,大部分金属矿产违规开采点都分布在铁路附近,与公路相比,铁路运输成本低、运行速度快、运输能力大且受气候和自然条件影像较小,使这些地方具有相应的交通区位优势。

阳新县属于灰岩资源富集型欠发达地区,本地需求量较小,矿产资源无序开采、环境破坏严重。因为阳新县靠近长江黄金水道,交通地理区位优势明显,拥有棋盘洲港区、富池港两大港口和其他数十个小港口,水运适合远途运输且运行成本较低,同时,周边地区生态环境保护意识强,多禁止开采石灰岩,大量的建筑石料用灰岩可直接外运至武汉和长三角发达地区。

(3)相邻行政单元结合部相对集中。行政单元结合部是一种特殊的地理区域,是国家统治力量的薄弱环节^[34],各市县间存在一定的“边缘效应”,社会问题牵涉不同区域利益主体,责任不明确,管理难度较大,历史上也成为许多矛盾的“多发地”。在各行行政单元过渡区矿业经济活动摩擦频繁,空间协调难度较大,各边界地区往来存在严重的地区封锁和行政壁垒,相关部门的应对政策存在严重的滞后性^[35]。选取2014年违规开采点密度分布最高的梁子湖区、鄂城区、大冶市、铁山区和下陆区,设置县级行政界线1km的缓冲区,如图3。此区域共有违规开采点28处,包含在缓冲区内的违规开采数量为14处,距行政边界1km以内的违规开采比例高达50%,且其他区域在行政单元结合部出现违规开采行为的现象也较为明显。从社会学角度看两市县结合部,当地政府管理不易协调,导致存在“三不管”的情况,该区域一定程度上是监管盲区,表现为行政单元结合部开采秩序较为混乱、执法力度较弱的“边缘效

图1 2011–2014年湖北省东部矿产资源违规开采点密度分布

Figure 1 Density distribution of illegal mining sites in eastern Hubei Province from 2011 to 2014

图2 2014年湖北省东南地区交通网密度

Figure 2 Traffic networks density in the southeast of Hubei Province in 2014

图3 2014年湖北省东部矿产资源违规开采点与行政单元结合部空间关系

Figure 3 Spatial relations between the illegal mining sites and the fringe of administrative units in eastern Hubei Province in 2014

2017年4月

应”。

(4)市场刚性需求促进违规开采点增长。对于资源型区域而言,矿业开发的特殊性和地区经济发展对资源产业的过度依赖,形成了有别于其他地区的独特资源型经济空间特征^[36]。湖北省金属矿产资源产业的经济基础规模较大,拥有地理、环境、交通、市场等多方面的区位优势^[37],石灰岩资源是黄石市的优势矿产资源,经初步调查,石灰岩资源基础储量为726.79亿t^[38],且石灰岩加工后产业链长,有广泛的社会需求,伴随着工业化和城市化的进程,造成原材料的大量消耗,再加上房地产业已成为国家经济新的增长点,建筑业和建材业得到迅速发展,使得金属矿产和建筑石料用灰岩的需求逐步扩大。同时,矿业经济的发展可以有效地带动当地GDP,有关部门监管不严和相关企业受经济利益驱使,使得这些地区的违规开采规模、数量迅速增加。

3.2 违规开采点重心转移定量分析

3.2.1 违规点重心迁移轨迹

利用ArcGIS的重心模型,根据公式(4),计算出2011-2014年湖北省东部违规开采点重心,如图4。根据计算所得,2011-2014年湖北省东部违规开采点重心主要分布在114°E以东,30°N以北的区域,位于梁子湖区和大冶市附近,4年来违规重心迁移轨迹和移动距离见图5和表1。2011-2012年,违规重心先是向东南方向移动了20.12km,2012-2013年改为向西南方向移动了25.55km,2013-2014年又呈现出向东南方向移动的趋势,移动了16.07km。4年来违规点重心总体向东南方向移动了24.41km。

3.2.2 迁移轨迹特征分析

2011-2012年违规开采点重心移动的主要影响因素来自于荆州市、天门市和潜江市的违规数量明显减少,且湖北省东南地区的建筑石料用灰岩和国土资源部关注的煤、铁、铜等矿种违规数量较2011年有所增加,导致其重心点向东南方向偏移。

2012-2013年由于松滋市、天门市、赤壁市以及通城县的监管力度较弱,导致其违规数量大幅增加,同时,嘉鱼县新增金矿违规开采点,促进了违规重心西移,导致了出现了较为明显的移动方向逆转的特征。

2013-2014年,松滋市等地的违规开采现象得

到了有关部门的治理,包含煤矿在内的多数违规点已被查处,违规数量明显减少,同时,孝感市的违规数量大幅增加,黄冈市地区新增4处铁矿违规开采点,大冶市和阳新县建筑石料用灰岩的违规数量大幅增加,且向阳新县聚集,导致重心点回归到向东南方向移动。

总体上,2011-2014年违规开采点的重心呈现“Z”型转移。这与监管部门执法疏漏存在一定的关

图4 2011-2014年湖北省东部矿产资源违规开采点重心分布

Figure 4 Distribution of Gravity centers of illegal mining sites in eastern Hubei Province from 2011 to 2014

图5 2011-2014年湖北省东部矿产资源违规开采点重心迁移轨迹

Figure 5 The gravity movement of illegal mining sites in eastern Hubei Province from 2011 to 2014

表1 2011-2014年间湖北省东部矿产资源违规开采点重心移动距离

Table 1 The transfer distance of gravity centers of illegal mining sites in eastern Hubei Province from 2011 to 2014			
	2011-2012年	2012-2013年	2013-2014年
距离/km	20.12	25.55	16.07

系。根据2011年违规点的重心区域,有关部门加强当地的监管力度,违规开采企业则选择在其他监管较弱的地区进行开采,政府执法重点也随之转移,原有的重心地段次年监管趋弱,使得违规开采点在空间上形成躲避监管的“Z”型转移。

4 结论与讨论

(1)利用Kriging法预测未知违规点分布的优势,进行空间插值,采用核密度分析的方法对违规开采点的密度分布进行统计分析,同时,引入重心模型计算违规开采点的重心分布,在模型中考量不同违规矿种类型重要程度的权重,进行违规开采点GIS空间可视化,具有一定的先进性。

(2)2011-2014年湖北省东部矿产资源违规开采点集中在大冶市和阳新县,4年密度分布呈现向大冶市与铁山区结合部转移的特征。与矿产资源禀赋特征、交通便捷程度、不同行政单元结合部和经济发展刚性需求等因素具有相关性。

(3)金属矿产和建筑石料用灰岩为主要违规矿种,违规开采现象均呈现逐年增加的趋势。金属矿产的违规重心几乎不变,主要集中在阳新县、大冶市、铁山区和下陆区,建筑石料用灰岩具有向阳新县转移的特征。迁移特征受交通区位优势以及企业追求经济利润最大化的影响

(4)2011-2014年间,违规开采点呈现此消彼长的态势,导致违规开采点重心空间上为“Z”型转移,迁移轨迹与有关部门的监管力度存在一定关系。

将违规开采点空间分布与转移研究应用到矿产资源开发利用的管理中,使有关部门能直观地了解违规开采点形成的规律特征,从技术层面对维护中国矿产资源有序开采具有借鉴意义。但限于篇幅,各时期的政策调控因素未能引入影响因素之中,也没有提出相对应的管理对策,有待今后进一步从社会学、交通经济学以及生态文明建设与资源开发间关系等方面进行完善。

参考文献(References):

[1] 杨金中,秦绪文,聂洪峰,等. 中国矿山遥感监测[M]. 北京:测绘出版社,2014. [Yang J Z, Qin X W, Nie H F, et al. Remote Sensing Monitoring of Mine in China[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2014.]

[2] 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). [Liu X H. Release the “National Mineral Resources Plan (2016-2020)”[N]. *China Mining News*. 2016-11-30(1).]

[3] 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. [Zhang B, Yuan Z L. The current research status of optimal layout of mineral resources exploration and exploitation in China[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2016(6): 7-11.]

[4] 程晓娜,张博,董晓方,等. 中国砂石土矿开采现状及对策研究[J]. 中国矿业, 2015, 24(5): 23-26. [Cheng X N, Zhang B, Dong X F, et al. Study on the exploiting status and countermeasures of sand, stone and clay resources in China[J]. *China Mining Magazine*, 2015, 24(5): 23-26.]

[5] 陈喜峰. 中国铝土矿资源勘查开发现状及可持续发展建议[J]. 资源与产业, 2016, 18(3): 16-22. [Chen X F. Exploration and sustainable development suggestions for China's bauxite resources[J]. *Resources & Industries*, 2016, 18(3): 16-22.]

[6] 朱俊凤,王耿明,李文胜. 广东省稀土矿违法开采遥感动态监测研究[J]. 上海国土资源, 2015, 36(4): 83-88. [Zhu J F, Wang G M, Li W S. Remote sensing investigation and monitoring of illegal exploitation of rare earth in Guangdong Province[J]. *Shanghai Land & Resources*, 2015, 36(4): 83-88.]

[7] 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. [Gao T M, Shen L, Liu L T, et al. The inequality of China's coal resources and its flow paths[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(1): 92-103.]

[8] 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. [Hou H L, Wu S K, Wang C J, et al. Uneven spatial distribution analysis of important Chinese mineral resources based on Gini coefficients[J]. *Resources Science*, 2015, 37(5): 915-920.]

[9] 刘锐,胡伟平,王红亮,等. 基于核密度估计的广佛都市区路网演变分析[J]. 地理科学, 2011, 31(1): 81-86. [Liu R, Hu W P, Wang H L, et al. The road network evolution of Guangzhou-Foshan metropolitan area based on kernel density estimation[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(1): 81-86.]

[10] 朱鹤,刘家明,陶慧,等. 北京城市休闲商务区的时空分布特征与成因[J]. 地理学报, 2015, 70(8): 1215-1228. [Zhu H, Liu J M, Tao H, et al. Temporal-spatial pattern and contribution factors of urban RBDs in Beijing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(8): 1215-1228.]

[11] Ren Y, Qian X, Hua L L. Spatial distribution characteristics and optimized reconstruction analysis of China's rural settlements during the process of rapid urbanization[J]. *Journal of Rural Studies*, 2016, 47: 413-424.

2017年4月

- [12] 秦贤宏,段学军,李慧,等. 中国人口文化素质的空间格局、演变及其影响[J]. 经济地理, 2008, 28(5): 779-783. [Qin X H, Duan X J, Li H, et al. The spatial structure of the population's education quality and its evolution and affect on economic development in China[J]. *Economic Geography*, 2008, 28(5): 779-783.]
- [13] 王桂新,徐丽. 中国改革开放以来省际人口迁移重心演化考探[J]. 中国人口科学, 2010(3): 23-34. [Wang G X, Xu L. Urbanization as an engine for expanding domestic demand and sustaining economic growth[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2010, (3): 23-34.]
- [14] 刘娟. 福建省人口重心移动路径及其影响因素的人口学分析[J]. 人口学刊, 2007(1): 16-21. [Liu J. Demography analysis on the dynamic evolvments of population gravity center of Fujian Province[J]. *Population Journal*, 2007, (1): 16-21.]
- [15] 叶明确. 1978-2008年中国经济重心迁移的特征与影响因素[J]. 经济地理, 2012, 32(4): 12-18. [Ye M Q. Characteristics and influence factors analysis of gravity movement for China's economy from 1978 to 2008[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(4): 12-18.]
- [16] 张纫兰,王少军,刘鹏飞. 基于GIS重心模型的黄石市经济迁移分析[J]. 企业经济, 2014(2): 169-174. [Zhang R L, Wang S J, Liu P F. Analysis of the economic movement in Huangshi city based on gravity center model of GIS[J]. *Enterprise Economy*, 2014, (2): 169-174.]
- [17] 尹为,胡啸兵,李育林. 中国高技术产业重心与经济重心变动轨迹比较[J]. 经济地理, 2012, 32(1): 90-95. [Yin W, Hu X B, Li Y L. Comparative study on growth gravity evolution curves of Chinese economy and high-tech industry[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(1): 90-95.]
- [18] 黄娉婷,张晓平. 大都市区工业重心时空变动轨迹分析:以天津市为例[J]. 经济地理, 2013, 32(3): 89-95. [Huang P T, Zhang X P. Analysis of temporal and spatial movement of the gravity center of city industry: A case study of Tianjin[J]. *Economic Geography*, 2013, 32(3): 89-95.]
- [19] 张兴榆,黄贤金,赵雲泰,等. 近10年江苏省土地利用重心与经济重心迁移轨迹对比分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(1): 14-20. [Zhang X Y, Huang X J, Zhao Y T, et al. Shift route and comparative analysis of land use gravity and economy gravity center in recent ten years in Jiangsu Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(1): 14-20.]
- [20] 何艳芬,张柏,马超群. 吉林省耕地动态变化及其对粮食生产的影响[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 119-125. [He Y F, Zhang B, Ma C Q. Dynamic change of cultivated land and its impact on grain-production in Jilin Province[J]. *Resources Science*, 2004, 26(4): 119-125.]
- [21] Gao A X, Feng Z, Ge J. Analysis of landscape security pattern in Western Mountains of Shijiazhuang[J]. *Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering*, 2008, 7145: 71451P-71451P-8.
- [22] Zhang Y, Zhang J Y, Yang Z F, et al. Analysis of the distribution and evolution of energy supply and demand centers of gravity in China[J]. *Energy Policy*, 2012, 49(1): 695-706.
- [23] 张露,龚承柱,李兰兰,等. 中国天然气供需重心迁移路径及贡献度分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(12): 90-97. [Zhang L, Gong C Z, Li L L, et al. Gravity center evolution paths and contribution decomposition of natural gas supply and demand in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(12): 90-97.]
- [24] 侯景儒,黄竞先. 地质统计学的理论与方法[M]. 北京:地质出版社, 1990. [Hou J R, Huang J X. Theories and Methods of Geostatistics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.]
- [25] 弓小平,杨毅恒. 普通Krijing法在空间插值中的运用[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2008, 38(6): 878-882. [Gong X P, Yang Y H. Ordinary Krijing algorithm applied for interpolation[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2008, 38(6): 878-882.]
- [26] 张康聪. 地理信息系统导论[M]. 北京:科学出版社, 2010. [Zhang K C. Introduction to Geographic Information Systems [M]. Beijing: Science Press, 2010.]
- [27] 李存华,孙志挥,陈耿,等. 核密度估计及其在聚类算法构造中的应用[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(10): 1712-1719. [Li C H, Sun Z H, Chen G, et al. Kernel Density estimation and its application to clustering algorithm construction[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2004, 41(10): 1712-1719.]
- [28] 沈建武,吴瑞麟. 城市道路与交通[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2006. [Shen J W, Wu R L. Urban Road and Traffic[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2006.]
- [29] Chou Y H. Exploring spatial analysis in Geographic Information Systems[M]. USA: On Word Press, 1997.
- [30] 范科红,李阳兵,冯永丽. 基于GIS的重庆市道路密度的空间分异[J]. 地理科学, 2011, 31(3): 365-371. [Fan K H, Li Y B, Feng Y L. Spatial distribution of road density in Chongqing Based on GIS[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(3): 365-371.]
- [31] 徐建华,余庆余. 人类生态系统[M]. 兰州:兰州大学出版社, 1993. [Xu J H, Yu Q Y. Human Ecological System[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1993.]
- [32] 王成金,张岸. 基于交通优势度的建设用地适宜性评价与实证-以玉树地震灾区为例[J]. 资源科学, 2012, 34(9): 1688-1697. [Wang C J, Zhang A. Evaluation of transport dominance and delimitation of land suitability for construction in the Yushu earthquake region[J]. *Resources Science*, 2012, 34(9): 1688-

- 1697.]
- [33] 李小建, 李国平, 曾刚, 等. 经济地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008. [Li X J, Li G P, Zeng G, et al. Economic Geography [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008.]
- [34] 郭福亮, 许宪隆. 论省际结合部的社会管理[J]. 西北民族大学学报(哲学社会科学版), 2012, (1): 164-168. [Guo F L, Xu X L. Discussion on the social management of provincial fringe[J]. Northwest University for Nationalities (Philosophy and Social Science), 2012, (1): 164-168.]
- [35] 曾冰. 边界效应与省际边界区经济发展[J]. 财经科学, 2015, (9): 87-97. [Zeng B. Border effect and economic development of the provincial border region- from the prospective of new economic geography[J]. Finance & Economics, 2015, (9): 87-97.]
- [36] 杨贺, 刘金平, 蔡利平. 资源型区域经济空间分异解析-以中原经济区为例[J]. 资源科学, 2016, 38(6): 1109-1117. [Yang H, Liu J P, Cai L P. Resource-based economic spatial differentiation in the central plains of China[J]. Resources Science, 2016, 38(6): 1109-1117.]
- [37] 王波. 湖北省金属矿产资源产业可持续发展研究[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(4): 327-331. [Wang B. Strategies for exploitation of metallic ore resources in Hubei Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2003, 12(4): 327-331.]
- [38] 罗志兵, 杨建, 王球胜. 黄石市石灰岩资源评价及利用分析[J]. 中国国土资源经济, 2016, 29(7): 43-46. [Luo Z B, Yang J, Wang Q S. Analysis of the evaluation and unitization of limestone resources in the city of Huangshi[J]. Natural Resources Economic of China, 2016, 29(7): 43-46.]

Spatial transference and formation mechanism of illegal mining sites in eastern Hubei

TAN Li, ZHANG Zhi, ZHANG Gaohua

(School of Public Administration, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: As the mining industry plays a vital role in the development of the national economy in China, it is of great importance to analyze spatial distribution characteristics of illegal mining sites of mineral resources and formation mechanisms in eastern Hubei to restrain illegal activities and realize effective protection and rational utilization. By using map delineation data spanning 2011 to 2014 on illegal mining sites obtained via integration of remote sensing image interpretation, field investigation and adopting methods like spatial interpolation, kernel density analysis, buffer area analysis and gravity center model, spatial transfer characteristics of illegal mining sites are revealed from two levels and three aspects, namely the density distribution of illegal mining sites of all mineral resources, main illegal minerals and the gravity movement of illegal mining sites. It was found that in the study area, illegal mining sites have been concentrated in Daye city and Yangxin county, following a trend of shifting to the fringe of Daye city and Tieshan district. But the illegal focus of metal minerals remains almost constant and limestone for building is being transferred to Yangxin county year by year. These patterns are influenced mainly by the inherent characteristics of mineral resources, traffic conditions, the fringe of different administrative units and rigid demands of economic development. The gravity centers of illegal mining sites present Z type transfer and the gravity movement is related to changes of illegal mining quantity in different regions and the distribution of important minerals caused by regulatory oversight.

Key words: mineral resources; illegal mining sites; spatial transference; formation mechanism; eastern Hubei