

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.09.015

湖南省有色金属工业场地时空格局及成因分析

冯德坤, 杨雪, 万咏咏, 高宏杰, 杨勇

华中农业大学 资源与环境学院, 武汉 430070

摘要: 改革开放 40 多年来, 我国工业化和城市化的迅速发展导致了工业场地数量和规模大量增加, 因此也带来了环境污染和周边居民的健康问题。本文基于随机森林回归算法, 分别以湖南省有色金属工业场地数量和变化量为因变量, 以地形、区位以及社会经济要素等 11 个因子为自变量, 分析了湖南省有色金属工业场地时空格局及其成因。结果表明: 各类型场地在湖南省大部分地区均有分布, 采选场地在郴州市、衡阳市、湘西自治州等地聚集程度较高, 冶炼场地的空间分布其资源导向型显著, 郴州市、衡阳市大部分区市县、株洲市茶陵县、怀化市沅陵县、岳阳市平江县采选场地数量增长最多, 郴州-衡阳地区和娄底-益阳地区冶炼场地数量增长较多。区位政策、人口密度和经济发展水平是影响有色金属工业场地形成和演变的主要因素, 其中, 区位政策因素是场地形成最重要的因素, 各级政策依托于城市化背景, 对各级工业园区、开发区制定了土地利用规划政策和优惠的土地税收政策, 吸引了大量的企业和工厂入驻。此外, 工业场地选址最重要的就是生产成本, 在拥有开发区的集聚优势下, 劳动力成本便成了选择场地最重要的因素, 廉价且充足的劳动力能够给工业场地的运营带来巨大的优势。经济发展水平也能够间接推动有色金属工业场地的形成, 其能为有色金属工业的进步、升级和发展提供便利和保障, 拓宽我国有色金属工业的发展空间并推动其向纵深发展。

关键词: 有色金属; 随机森林; 空间格局; 工业场地

中图分类号: TG146

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2022)09-0144-12

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of the Spatial and Temporal Patterns and Causes of the Non-ferrous Metals Industry Sites in Hunan Province

FENG Dekun, YANG Xue, WAN Yongyong,
GAO Hongjie, YANG Yong

College of Resources & Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract: In the past 40 years of reform and opening up, the rapid development of industrialization and urbanization in China has led to a large increase in the number and scale of industrial sites, which has also brought environmental pollution and health problems to the surrounding residents. Based on random forest algorithm, this paper analyzes the spatial and temporal patterns and the cause of non-ferrous metal indus-

收稿日期: 2021-04-07

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1800104)。

作者简介: 冯德坤, 硕士研究生, 主要从事地理信息系统应用方面的研究。

通信作者: 杨勇, 博士, 教授。

try sites in Hunan Province by taking the number and the change of non-ferrous metal industry sites in Hunan Province as the dependent variable and 11 factors such as terrain, location and social-economic factors as the independent variable. The results show that all kinds of sites are distributed in most areas of Hunan Province. The mining sites are highly concentrated in Chenzhou, Hengyang and Xiangxi. The spatial distribution of smelting sites is significantly resource-oriented. Most districts and counties of Hengyang City, Chenzhou City, Chaling County of Zhuzhou City, Yuanling County of Huaihua City, Pingjiang County of Yueyang City, have the largest increase in the number of mining sites. The number of smelting sites in Chenzhou-Hengyang area and Loudi-Yiyang area has increased significantly. Location policy, the population density and level of economic development are the major factors affecting the formation of non-ferrous metals industry site, in which the location policy is the most important factor for formation of the site. Based on the urbanization background, policies at all levels have formulated land use planning policies and preferential tax policies for various industrial park and development zone, attracted a large number of companies and factories. In addition, the most important factor for the site selection of industrial sites is the cost of production. With the agglomeration advantage of development zones, labor cost becomes the most important factor for the site selection. Cheap and sufficient labor force can bring huge advantages to the operation of industrial sites. The level of economic development can also indirectly promote the formation of non-ferrous metal industry sites, which provide convenience and guarantee for the progress, upgrade and development of the non-ferrous metal industry, broaden the development space of China's non-ferrous metal industry and promote its in-depth development.

Key words: Non-ferrous Metals; random forest; spatial pattern; industrial site

有色金属工业是制造业的基础产业之一,是实现制造强国的重要支撑^[1]。新世纪以来,我国有色金属工业发展迅速,在满足经济社会发展和国防科技工业建设需要的同时,也带来诸多环境污染和公众健康风险问题。如:部分小品种及小再生冶炼企业生产工艺和管理水平低下,难以实现稳定达标排放;部分大型有色金属冶炼企业随着城市发展已处于城市核心区,污染风险和隐患加大;目前中国有色金属矿山的环境灾害演化速度已经远大于对灾害治理的速度,这种状况与城市长远发展的矛盾日益突出,已严重影响到城市的可持续发展甚至危及到了人类的生存^[2]。

长期以来,国外学者对工业场地分布格局的研究是依托城市工业化进程而不断深入的,最初由坎特龙首次提出原料、运费、距离等因素对工业布局的影响^[3];随后,不同的学者也从各种角度对工业场地分布格局和形成机制的影响因素进行了探讨,影响最深远的是德国的经济学家韦伯提出的景点工业区位论^[4],以及勒施提出的使用利润来确定工业场地的区位^[5]。国内多位学者对城市教育用地、生态用地、旅游用地、开发区用地、工业场地和农村居民点用地等各类用地的利用效率、管控对策和综合评价进行了深入研究^[6-12],而涉及有色金属工业场地的研究大多是对单个或几个场地周边受体(如土壤、地下水、地表水、大气等)的污染评价^[13-16]以及微观上的厂址选择研究,鲜有研究涉及大尺度工业场地空间分布和时空演变格局及其成因分析。而关于政策的影响多以定性分析为主^[17],缺乏对政策的定量分析。党的十八大提出,大力推进生态文明建设,努力建设美丽中国,要求优化产业结构,推动工业化和城镇化的协同发展,并对我国的工业化发展和工业场地布局提出了新的要求。因此,研究有色金属工业场地空间分布格局并探索其影响因素,契合当前国家绿色发展战略,有利于进一步分析有色金属工业场地所带来的污染风险,对未来区域有色金属产业规划与布局有重要的参考意义。

湖南省矿产资源丰富,有色金属工业发展历史悠久,素有“有色金属之乡”的美誉,省内遍布各类有色金属工业场地。本文将有色金属工业场地按功能分为有色金属采选和冶炼两类,将各类场地看作“点”对象,探索其空间分布和时空演变格局,再利用随机森林模型揭示影响各类有色金属场地空间分布和时空演变的因素,为进一步研究污染风险评价、空间优化配置、预测未来有色金属产业时空分布趋势提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域与数据来源

湖南省(东经 $108^{\circ}47' - 114^{\circ}15'$, 北纬 $24^{\circ}39' - 30^{\circ}08'$)地处云贵高原向江南丘陵和南岭山脉向江汉平原过渡的地带,地势呈三面环山、朝北开口的马蹄形地貌,由平原、盆地、丘陵地、山地、河湖构成,地跨长江、珠江两大水系,属亚热带季风气候.本研究将有色金属工业场地按功能分为有色金属采选、冶炼两类场地,收集的数据包括:

- 1) 有色金属工业场地点位数据,来源于百度企业信用和天眼查,其空间分布如图 1 所示;
- 2) 环境数据,包括高程和坡度、坡向数据,来源于中国科学院资源环境科学数据中心;
- 3) 有色金属矿床点数据,来源于地质科学数据出版中心;
- 4) 2005 年和 2018 年社会经济统计数据,包括国内生产总值(GDP)、第二产业产值、城镇人口数和城市总人口数,来源于湖南统计年鉴、湖南省各区市县统计年鉴和各区市县国民经济和社会发展统计公报等;
- 5) 有色金属开发区政策数据,来源于工业和信息化部颁布的开发区政策.

1.2 研究方法

随机森林回归算法是一种集成机器学习算法^[18],它利用 Bootstrap 重采样的方式从原始样本中选取多个样本,构造出多个决策树,通过样本的随机特征来构建最优分割,得到最终的预测结果^[19];再通过平方平均误差(MSE)为不纯度函数构建出最佳的节点树结构^[20];最后将学习生成的模型进行重组提高整体的精度,其运算高效,结果准确^[21],并能有效回避分类树和回归树过拟合的问题.事实上,由于随机森林算法在分类和回归方面有优异的表现,因此在生态环境领域中应用广泛,包括土地利用适宜性评价^[22]、土壤特征分析^[23]、城市用地分类^[24]、资源评价^[25]等,并且随机森林算法在分析城市用地分类和驱动力方面展现出相较于传统方法的巨大优势.例如,赵鹏军等使用此算法结合多源地理大数据对地铁乘客的出行原因进行分析和识别^[26];夏晓圣等使用此算法分析了中国 $PM_{2.5}$ 浓度的影响因素^[27],可见随机森林算法对影响因素分析有显著的优势.鉴于其在有色金属工业场地的格局研究领域的应用还尚属空白,本研究拟使用随机森林算法分析各因素对有色金属工业场地的影响机制,具体步骤如下:

- 1) 因变量和自变量的选择:选取湖南省各区市县的某类场地数量或增量作为因变量.在自变量选择方面,由于地形起伏条件直接影响场地生产运营,故选取坡度、高程、坡向和区域内有色金属矿床个数作为地形因子;社会经济条件对有色金属行业运营将产生影响,故选工业化水平(第二产业产值/GDP)、经济发展水平(GDP/人口数量)、城市化水平(城镇人口数量/人口数量)和工业用地占比作为社会经济因子;有研究表明,区位因素影响场地成本^[28-29],故选取距开发区的距离、距主要公路的距离作为区位因子;国家政策也会宏观调控工业场地的建设与投资,故选取是否有各级有色金属开发区或工业园区作为政策因子.

- 2) 指标预处理:首先,将所有数据统一改为 Krasovsky_1940_Albers 坐标系,并将地形、区位因素栅格数据按区市县单元重采样.其次,从 DEM 中提取高程、坡度和坡向数据,GDP、第二产业产值、人口数量等社会经济数据使用面板数据,工业用地占比通过土地利用数据计算;最后,提取每个区市县的

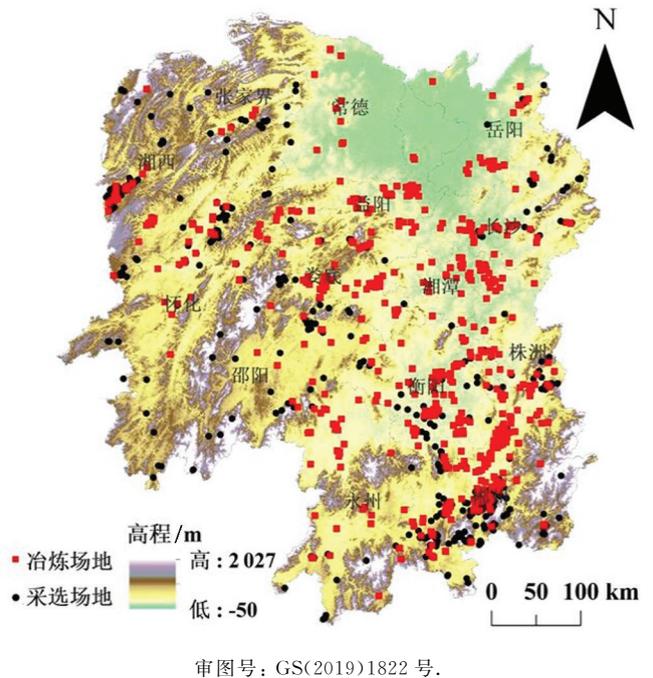
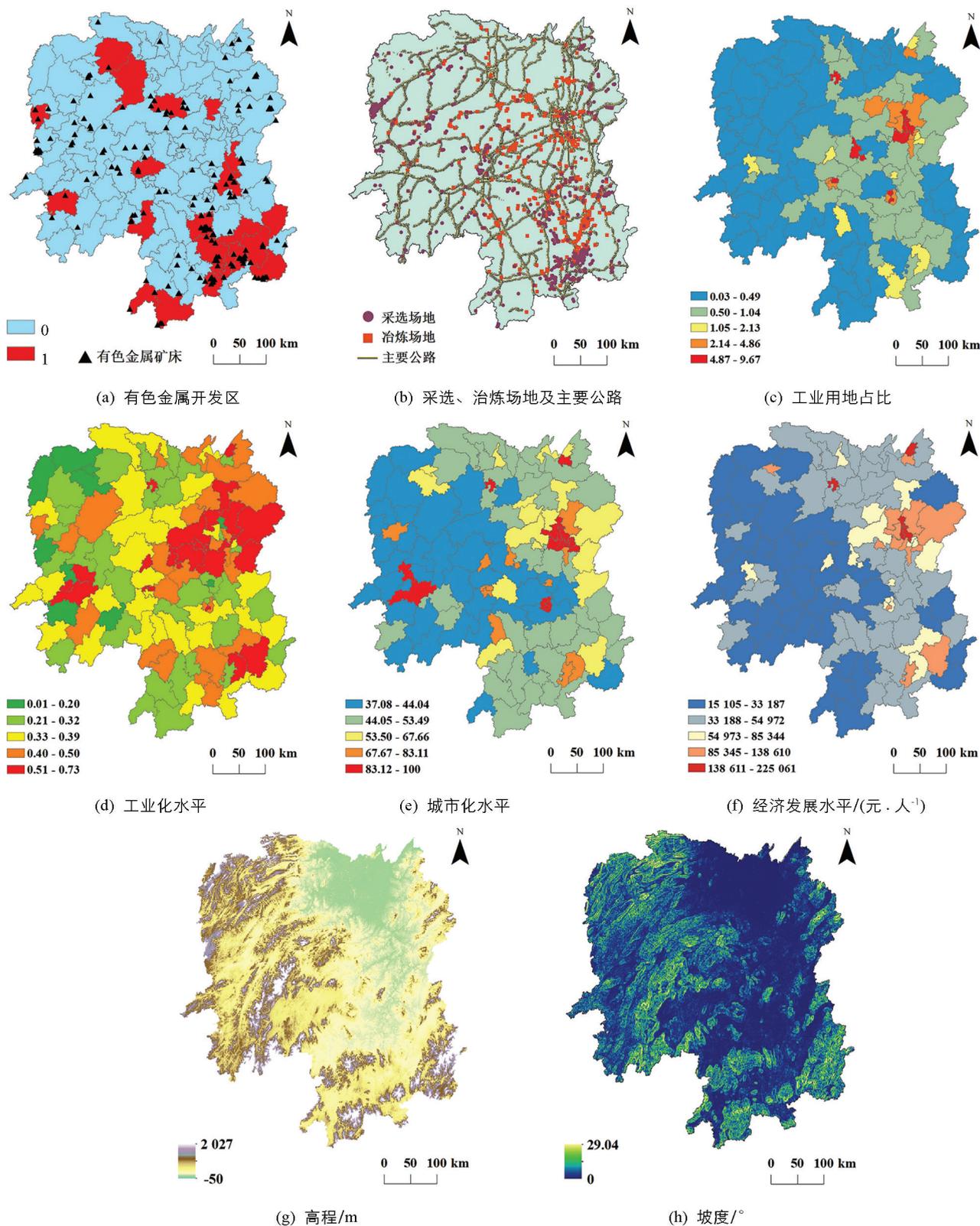


图 1 有色金属工业场地空间分布图

有色金属工业场地数量, 并利用 ArcGIS 中 Extract Multi Values to Points 工具提取各地形因子的像元值和距开发区、主要公路的距离并连接社会经济数据和政策数据, 共计 122 个样本, 部分影响因子进行可视化如图 2 所示。



审图号: GS(2019)1822 号。

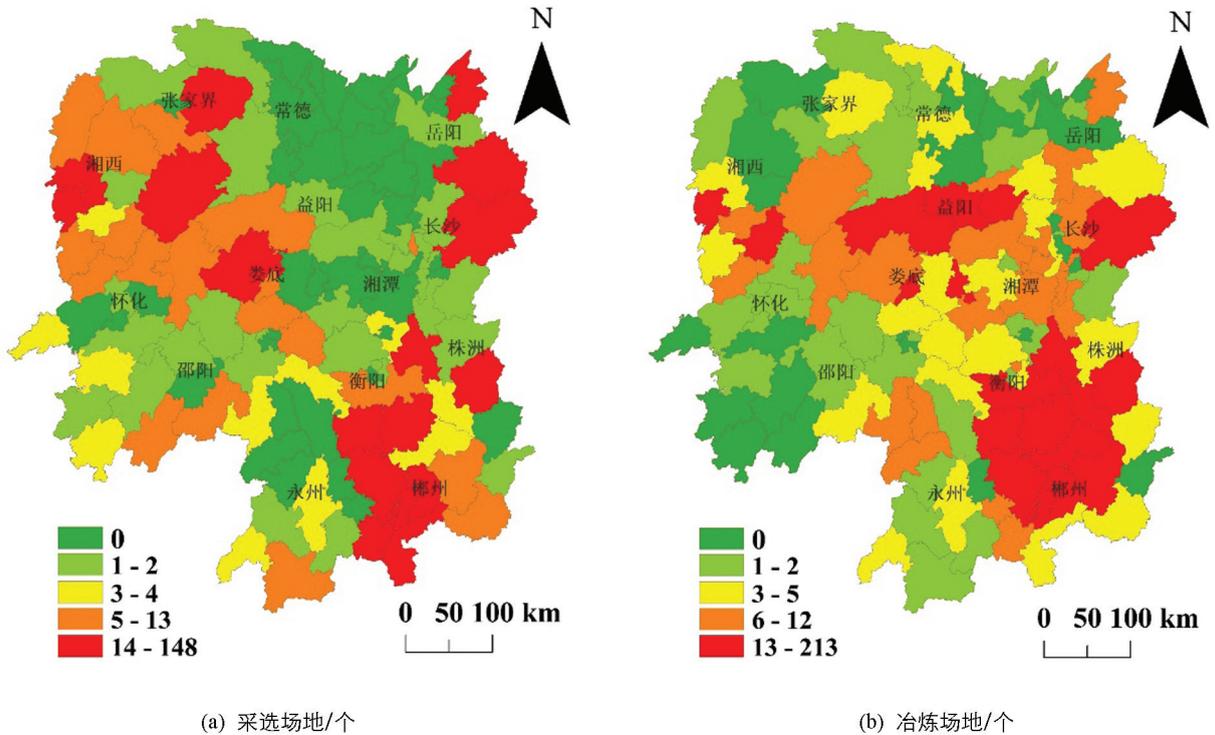
图 2 2018 年部分影响因子空间分布

3) 随机森林计算: 使用 Python 的 Scikit-learn 软件包进行随机森林模型计算, 回归过程中需要对最大特征数、子树的数量、最小叶样本数进行参数调优, 经过比较, 将上述 3 个值分别设置为“None”“800”“2”, 利用剩余袋外数据进行内部误差估计, 从而判断因子的重要性, 对因变量做出合理的解释。

2 结果与分析

2.1 湖南省有色金属工业场地空间分布格局

基于 2018 年湖南省有色金属工业场地数据, 得到各类型场地空间分布图(图 3)。结果表明, 受地理环境差异的影响, 湖南有色金属工业场地的空间分布呈现明显的差异性。



审图号: GS(2019)1822 号.

图 3 2018 年湖南省有色金属采选和冶炼工业场地分布图

采选场地在湖南省大部分地区均有分布, 在郴州市、衡阳市、湘西-怀化-娄底地区和长沙东-岳阳南部地区聚集程度较高, 其中以郴州市苏仙区的场地数量最多, 为 148 个; 湘西自治州的花垣县次之, 为 119 个; 郴州市临武县、桂阳县、北湖区等区市县, 株洲市茶陵县, 湘西自治州保靖县、凤凰县等区市县, 岳阳市平江县和临湘市也有大量采选场地分布。有色金属采选场地受限于有色金属成矿带的分布格局, 与已探明的有色金属矿床的分布类似, 存在以矿床为核心向四周分散化的现象。

冶炼场地主要分布在郴州市、衡阳市、娄底-益阳地区、长沙东部地区, 聚集程度较高, 其中郴州市永兴县的冶炼场地数量最多, 为 213 个, 衡阳市的常宁市次之, 为 63 个。与采选场地的分布类似, 在郴州市永兴县、苏仙区、桂阳县等区市县, 衡阳市衡东县、常宁市、衡南县等区市县, 娄底市的冷水江市、娄星区, 益阳市安化县、桃江县等区市县, 湘西自治州花垣县、泸溪县也有大量的冶炼场地分布, 在其他地区也有零散的分布, 有色金属冶炼场地的空间分布其资源导向型显著, 基本与有色金属采选场地的格局大体一致。

湖南省有色金属矿产多, 分布复杂, 其相关政策为产业布局提供了条件。湘西自治州有色金属资源丰富, 其工业行业结构以有色金属冶炼及压延加工业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属矿采选业为主^[15], 占比超过半数。衡阳市位于南岭山脉多金属成矿带, 有柿竹园多金属矿区和水口山铅锌矿区, 使有

色金属矿业成为支柱产业之一。郴州市政府文件《关于进一步完善全市省级产业园区收费优惠政策的通知》和《建立健全有色金属产业链发展配套机制的实施方案》为郴州市的有色金属工业场地提供优惠政策并完善其产业链,株洲市政府文件《株洲市产业转型升级示范区建设五年行动方案(2017—2021年)》提到进一步加快株洲市有色金属工业园的发展,岳阳市政府规划《岳阳市“十三五”工业发展规划》中提到要做优做强有色金属产业,这些有利政策加速推动了湖南省有色金属工业场地空间分布格局的形成。

2.2 湖南省有色金属工业场地空间格局成因分析

2.2.1 有色金属工业场地各驱动因子的相对重要性

为验证随机森林回归结果的精度、可用性、稳定性和解读性,使用 Python 的 Scikit-learn 软件包中的函数(Random Forest Regressor)分别对两种有色金属工业场地的样本进行回归分析,得到的 R^2 分别为 0.9 和 0.84; MSE 为计算 100 次的平均值,分别为 0.05 和 0.18,精度较高,说明随机森林回归算法能够合理地解释各驱动因子对有色金属工业场地的影响程度。

如图 4 所示,不同场地类型驱动因子的相对重要性也不同。对于采选场地,有色金属矿床个数和距开发区的距离是其主要驱动因子,这表明采选场地形成依托于有色金属矿床数量和距开发区的距离。此外,高程和坡度的相对重要性排名也较高,区市县内是否存在有色金属开发区、坡向和城市化水平重要性相对较低。对于冶炼场地,有色金属矿床个数、距开发区的距离、距主要公路的距离是其形成的主要驱动因子,这说明冶炼场地对区位因素较为敏感。此外,工业用地占比和城市化水平的相对重要性也较高,而高程、坡向和坡度等地形因子的相对重要性较低,这些重要因子与韦伯^[4]、王辑慈^[30]、胡晓玲^[31]等人的研究相同。

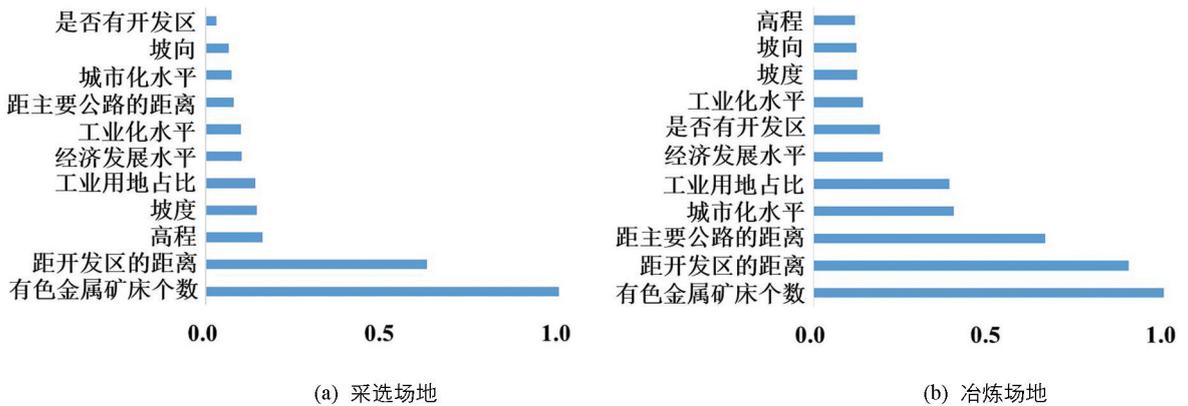


图 4 有色金属采选和冶炼场地驱动因子的相对重要性

2.2.2 有色金属工业场地各驱动因子的部分依赖性

部分依赖图可以用来表示随机森林算法中因变量对各影响因子的边缘依赖性^[32-33]。图 5 显示了 6 种主要驱动因子和两类场地之间的相关性。

如图 5(a)所示,有色金属工业场地分布与区市县内的有色金属矿床数量成正相关,即场地多出现在有色金属矿床较多的区市县,资源导向型显著;结合图 5(b)和 5(c)可知,高程、坡度等地形因素对采选场地的分布影响显著,且均与采选场地数量成正相关,即随着高程和坡度的增加,场地的数量也在增加,在高程约为 700 m 或坡度为 5°时,采选场地的数量最多,形成可能性最大,这与采选场地的施工位置和模式有关。湖南省多为露天采矿场,具有作业安全、成本更低等优势,其施工位置较高,由于其更先进完善的工艺技术,工效和经济效益也不断提高^[34]。冶炼场地则多分布在高程为 100~400 m 间,在 400 m 以上随着高程的增高场地数量逐渐降低,表明冶炼场地多出现在高程较低的位置,有利于原材料供给和降低运输成本。冶炼场地还受经济和安全因素的约束^[35],往往会位于尾矿库的上游,以减少尾矿运输成本和对选矿厂的不利影响。

如图 5(d)和 5(e)所示, 区位因素对有色金属工业场地影响显著. 对于距开发区的距离, 两种类型场地在距开发区小于 30 km 时, 场地数量随着距离的增加逐渐降低, 即场地数量和与开发区的距离成反比, 表明场地更容易出现在离开发区较近的 5 km 范围内, 这与省级开发区的面积和城市土地利用规划政策相呼应. 距主要公路的距离对冶炼场地形成的影响也显著, 场地多出现在与主要公路的距离为 1.5~2.5 km 的区域, 最高值出现在 2 km 处, 表明场地多分布于主要公路旁, 这是由于能够通过减少原矿、精矿等材料和矿产品运输成本来维系场地的运营.

如图 5(f), 不同的城市化水平对两者的影响差异较大. 其中, 在城市化为 50%~60%时对场地的数量分布影响较大, 其相关性呈整体下降趋势, 这是由于随着城市化进程的推动会显著提高区域的经济水平, 地方政府需要通过合理的资源配置促进区域的经济增长, 随着经济水平的提高, 中心城区则不再适合建设污染性工业场地, 有色金属工业场地的土地利用与资源政策由政府多分配至开发区处, 这与图 5(d)相对应, 也和杨继东等^[36]的研究相一致.

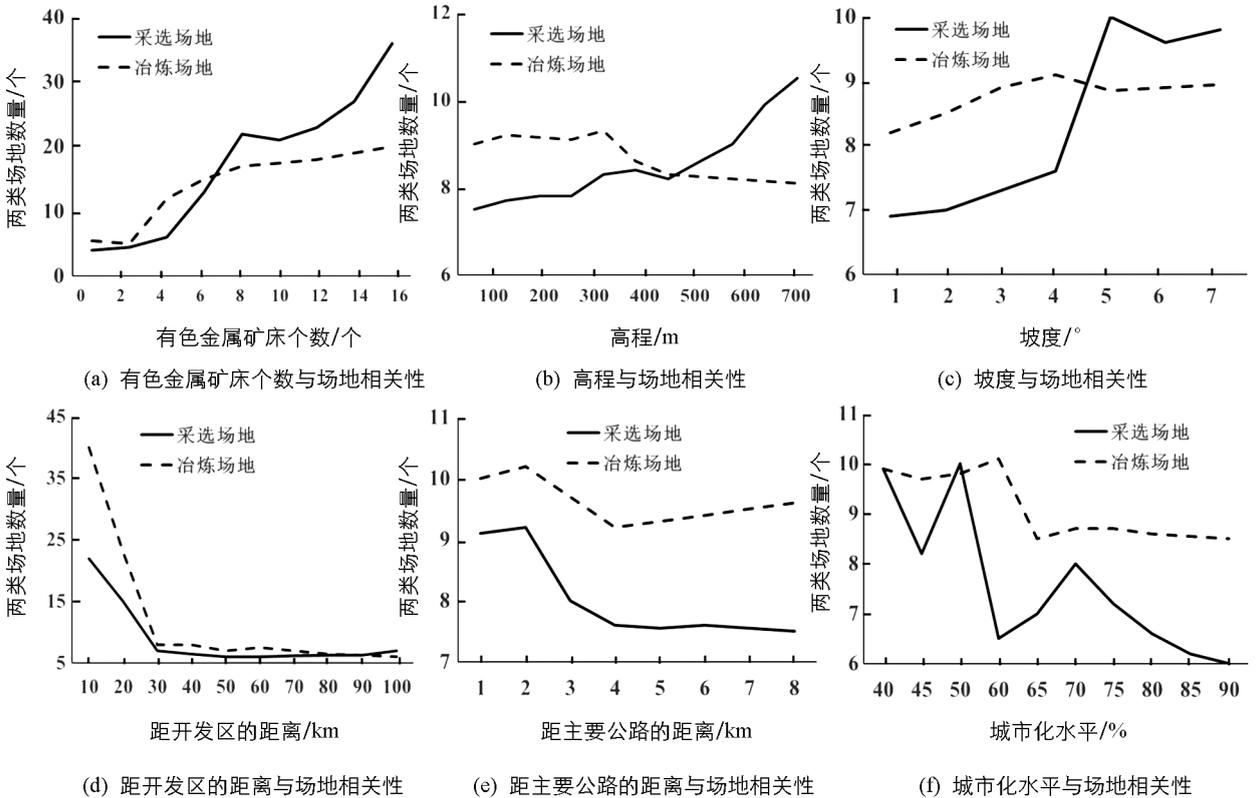


图 5 有色金属工业场地空间分布主要驱动因子的部分依赖性图

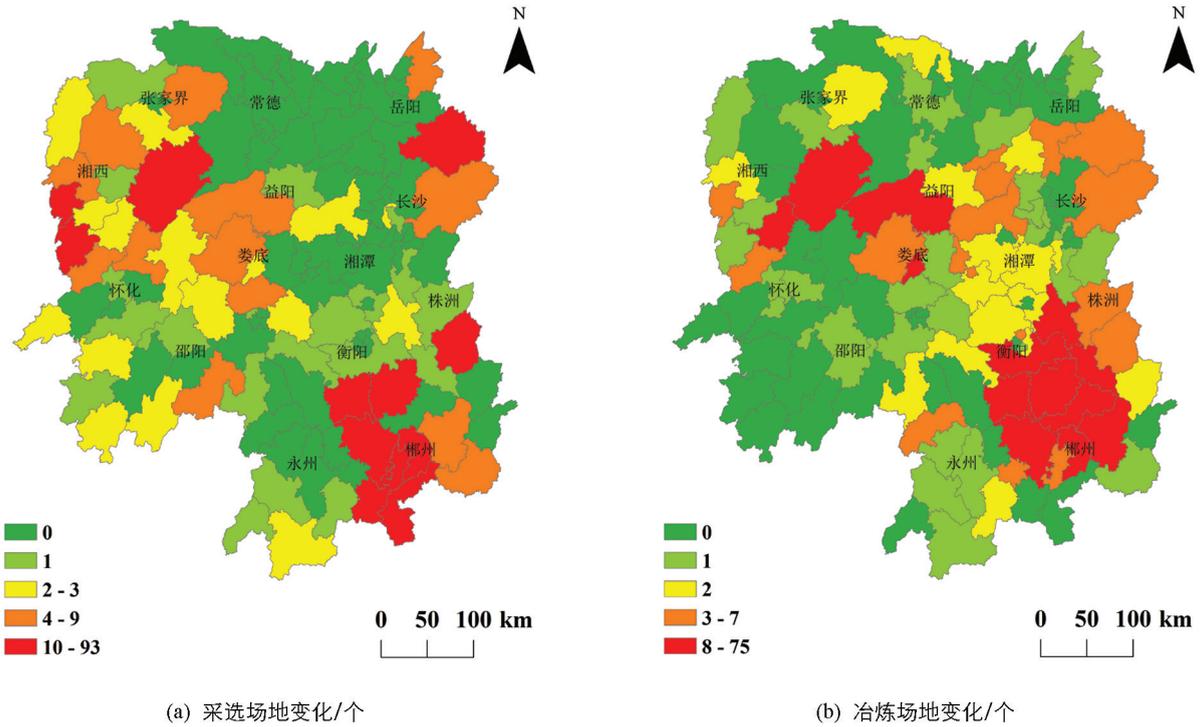
2.3 湖南省有色金属工业场地空间演变格局及分析

基于 2005 年和 2018 年湖南省有色金属工业场地数据, 使用分位数法对其进行分类, 2005—2018 年的场地数量变化如图 6 所示.

受地理环境差异和资源规模的影响, 场地数量变化差异性显著. 其中郴州市、衡阳市大部分区市县、株洲市茶陵县、怀化市沅陵县、岳阳市平江县采选场地数量增长最多, 郴州市资兴市、汝城县, 益阳市安化县, 娄底市新化县和长沙市浏阳市等区市县采选场地数量增长相对均衡, 其他各区市县采选场地增长数量相对较少; 郴州—衡阳地区和娄底—益阳地区冶炼场地数量增长较多, 长沙市浏阳市、株洲市茶陵县、湘西麻阳县等区市县冶炼场地数量增加相对均衡, 其他各区市县冶炼场地增长数量相对较少.

为进一步了解影响湖南省有色金属工业场地空间格局演变的影响因素, 将湖南省各区市县 2005—2018 年有色金属工业场地数量的变化量作为因变量, 选择 2005—2018 年的经济发展水平变化、城市化水平变

化、工业化水平变化、工业用地占比的变化以及各地形因子、区位因子和政策因子等 11 个指标作为自变量, 同样使用随机森林回归算法探索各因子对有色金属工业场地时空演变的影响程度。



审图号: GS(2019)1822 号.

图 6 有色金属采选和冶炼场地数量变化分布图

2.3.1 有色金属工业场地演变驱动因子的相对重要性

图 7 显示了影响有色金属工业场地演变的驱动因子的相对重要性, 有色金属矿床个数、距开发区的距离和经济发展水平变化对采选场地演变过程影响较大, 是其时空演变的主要驱动因子, 这表明采选场地的形成主要依托于有色金属矿床个数、有色金属开发区的分布和区域经济发展水平的提升, 高程和坡度的相对重要性排名也较高, 而城市化水平变化、坡向和工业用地占比变化对其影响较小. 对于冶炼场地, 距开发区的距离、有色金属矿床个数和城市化水平变化是其演变过程的主要驱动因子, 与采选场地类似, 距主要公路的距离、工业用地占比变化、坡度、坡向、工业化水平变化对其也有一定影响, 区市县内是否存在有色金属开发区和高程的相对重要性较小.

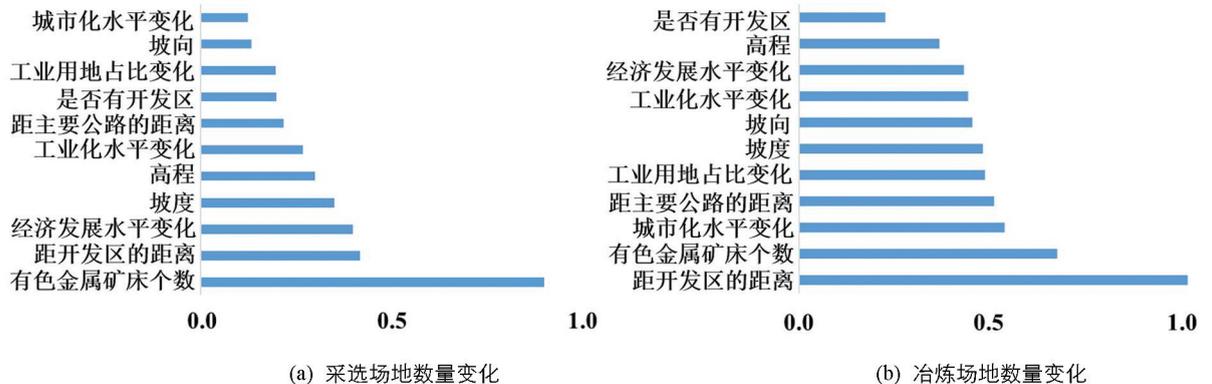


图 7 有色金属采选和冶炼场地数量变化驱动因子的相对重要性

2.3.2 有色金属工业场地时空演变驱动因子的部分依赖性

部分依赖图(图 8)显示了两种类型场地数量变化和部分主要驱动因子的相关性. 与 2018 年有色金属工

业场地空间分布格局驱动力相同,随着区域内有色金属矿床数量的增加,场地数量变化更大,如图 8(a),这表明场地的形成和演变依托于有色金属矿床的数量.结合图 8(b)和图 8(f)可知,区位因素依然是影响其形成和演变的重要驱动力,在更靠近有色金属开发区和与主要公路的距离小于 3 km 时,场地数量增加较多.对于社会经济因子,经济发展水平变化和城市化水平变化对两种类型的场地数量变化影响差异性显著,当区域城市化水平变化在 15%~20%之间,且经济发展水平变化为 1 万元时,采选场地数量增加较多;当区域城市化水平变化在 25%,且经济发展水平变化为 6 万元时,冶炼场地数量增加较多,如图 8(c)和图 8(d).这表明受限于产业结构,中等程度的社会经济发展会促进有色金属工业场地数量的增加.对于地形因子,如图 8(e)所示,采选场地受坡度影响较大,多增加于坡度较大的地方,在坡度为 5°时增加数量最大;冶炼场地受坡度影响较小,在区域坡度范围内差异不大,多增加于坡度相对较小的地方.

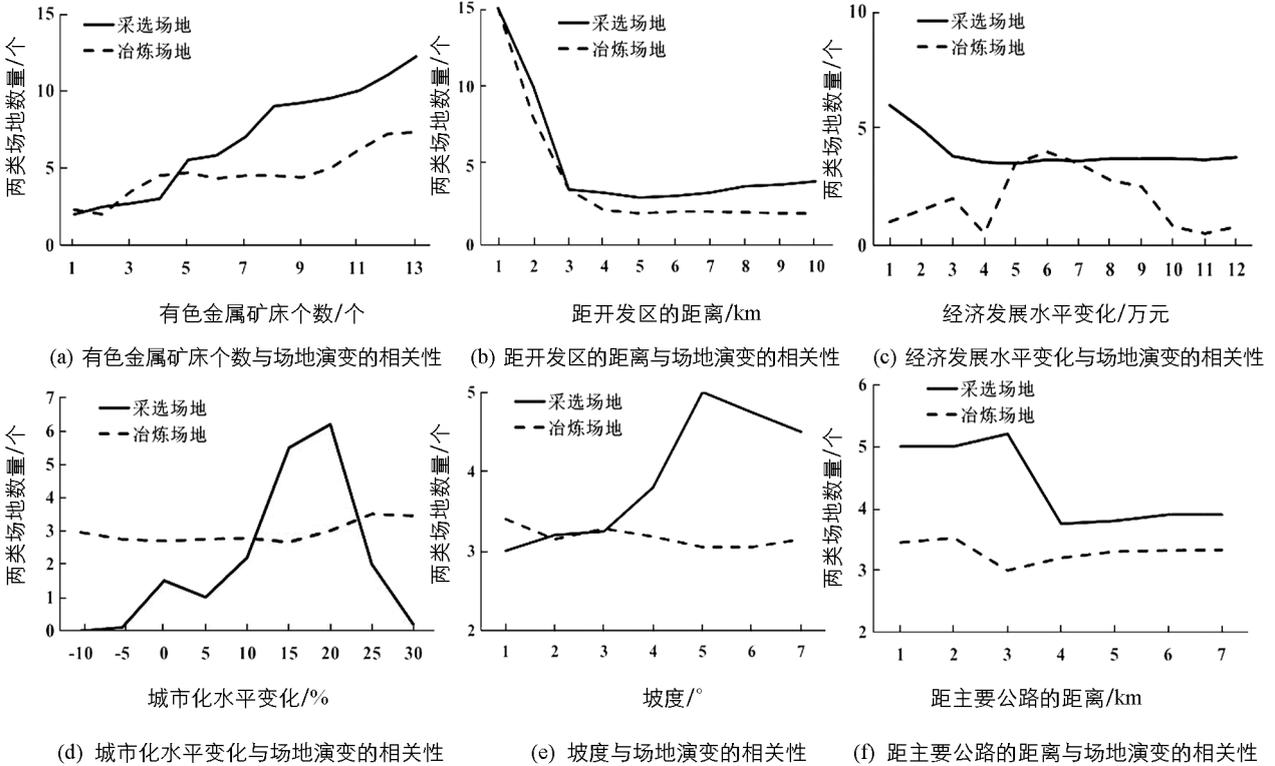


图 8 有色金属工业场地时空演变主要驱动因子的部分依赖性图

2.4 湖南省有色金属工业场地格局成因分析

2.4.1 区位政策导向下的引导

对于企业的区位选择机制通常是得益于集聚经济,集聚经济的概念由 Marshall 于 1890 年提出,即对于同一产业的部门来说,其企业或者工作场所集中在特定区域,能够引发劳动力共享、中间产品市场和知识溢出等效应.《环境功能区划编制技术指南(试行)》和《湖南省环境保护条例》中提到,生态环境主管部门应当根据不同区域功能、经济社会发展需要以及国家或省级标准对行政区域进行区域划分.2018 年版《中国开发区审核公告目录》中提到开发区必须符合国家的产业布局和区域发展战略,以及本地区内的经济和社会发展、主体功能、环境保护等规划,从而在相应的规划区域内提供不同的税收,积极的财政政策能降低生产部门的生产成本^[37-38],这与有色金属工业场地的分布和集聚效应相对应.

随着湖南省有色金属矿的开发与利用,采富弃贫、采厚弃薄等不良现象长期存在,部分本地矿产资源已经出现枯竭危机,如湖南省某年铅矿石的自给率仅为 20.5%,锌矿石的自给率为 22.4%,供给形势十分严峻,现需依靠政策驱动的资源进口来满足经济发展需要,随着逐渐便利的交通条件,资源因素对企业场地选址的影响越来越小.

2.4.2 人力资源成本下的推动

在区位政策因素之外,工业场地选址最重要的就是生产成本,在拥有开发区的集聚优势下,劳动力成本便成了选择场地最重要的因素,廉价且充足的劳动力能够给工业场地的运营带来巨大的优势。

具体来看,由场地驱动因子的相对重要性可知,城市化水平排名较为靠前,这是由有色金属场地的经营方式所决定的。矿山系统包括一个或多个采矿车间,还包括一些辅助车间,大部分矿山还有选矿厂。在各种场地的生产过程中,采选场地的挖掘工作是消耗人力、物力最多的生产环节,而冶炼、加工场地由于其工艺和规模的需求,导致其也需要大量的劳动力。

2.4.3 经济发展推动下的选择

自改革开放以来,我国经济有了飞速的发展,经济发展水平和工业化水平对于工业场地的形成也有一定的驱动作用。工业发展受到城市工业化水平的显著影响,第三产业中的生产性服务业是为工业的进步、升级和发展提供便利和保障的服务业^[39]。其自身的产业集聚特性,拓宽了我国加工工业的发展空间并推动其向纵深发展^[40],湖南省各类型有色金属工业场地的部分依赖图也证实了这点。随着收入水平的提高,生产性服务者的种类增多,有效降低了有色金属工业的生产成本^[41],使得工业企业获得更多超额利润,激发了其进一步投资建设场地的可能性^[40]。同时,经济地理学也强调经济力量对工业区域的正反馈作用^[42],因此在经济基础较好的地方,更容易形成工业场地。

3 总结与展望

3.1 结论

本文定量分析了湖南省有色金属工业场地的时空格局及其成因,结果表明:

1) 各类型场地在湖南省大部分地区均有分布。在郴州市、衡阳市、湘西-怀化-娄底地区和长沙东-岳阳南部地区聚集程度较高,在其他城市也有一定分布。其中以郴州市苏仙区的场地数量最多,为148个,湘西自治州的花垣县次之,为119个。冶炼场地主要分布在郴州市、衡阳市、娄底-益阳地区、长沙东部地区,聚集程度较高,在其他城市也有一定分布。其中郴州市永兴县的冶炼场地数量最多,为213个,有色金属冶炼场地的空间分布其资源导向型显著,基本与有色金属采选场地的格局大体一致。

2) 场地数量变化差异性显著。其中郴州市、衡阳市大部分区市县、株洲市茶陵县、怀化市沅陵县、岳阳市平江县采选场地数量增长最多,郴州市资兴市和汝城县、益阳市安化县、娄底市新化县和长沙市浏阳市等区市县采选场地数量增长相对均衡,其他各区市县采选场地增长数量相对较少;郴州-衡阳地区和娄底-益阳地区冶炼场地数量增长较多,长沙市浏阳市、株洲市茶陵县、湘西麻阳县等区市县冶炼场地数量增加相对均衡,其他各区市县冶炼场地增长数量相对较少,这与产业政策的集聚效应、资源禀赋条件、地形条件等多种条件有关。

3) 区位政策、人力资源成本和社会经济发展水平是影响有色金属工业场地形成的主要因素。其中区位政策因素是对于场地形成最重要的因素,各级政策依托于城市化背景,对各级工业园区、开发区制定了土地利用规划政策和优惠的土地税收政策,吸引了大量的企业和工厂入驻。人力资源成本是工业场地在运营期需要着重考虑的因素之一,有色金属工业场地在运营中需要大量的劳动力和原材料,使得在工作和运输过程中产生巨大的成本。社会经济发展水平从某种程度上促进了工业的发展,对工业区域产生了正反馈作用,经济基础好,资本集聚的地方也催生了工业场地的形成。

3.2 展望

有色金属工业场地的分布格局在短期内难以发生改变,这是由于目前存在的工业场地大多形成于2005年前后,随后各级政策全面修订改善了各有色金属的行业规范和准入条件,提高了行业的准入门槛,对污染超标的相关场地进行了整改,将小型、落后的工业场地进行合并形成大型的具备清洁生产条件的工业场

地,解决了当前有色金属行业最大的环保问题和产能过剩问题,其空间分布格局会持续一段时间。

随着国家供给侧改革的推动,有色金属行业正在进行产业结构调整升级,技术创新、绿色环保、智能化、集聚化是今后发展的重点,区位政策因素依旧是工业场地最重要的驱动因素,人力资源和原材料等生产成本依然是各企业去选择工业场地的重要因素之一,这从某种程度上也助长了企业发展的惰性,竞争力小的企业会长期在行业底层徘徊,所以应当继续实现工业场地集聚化、规模化运营,政府和工业园区进行集中供给,建设具有较强竞争力的有色金属精深加工产业基地,实现有色金属的智能化、现代化绿色发展。

此外,本文是在假设其他因子不变的情况下,侧重考虑区位、地形、社会经济、政策驱动因子而得到的初步结果。值得一提的是,选择完全涵盖有色金属工业场地的各个影响因素是不现实的,也很难操作,只能进行针对性研究。本研究从短期大尺度上探索了有色金属工业场地的空间格局和部分因子的影响能力,并未深入探索小尺度和时间序列上的时空变化机制。不同类型工业场地所产生的污染物不同,所造成的环境影响和经济效益也不同,如何对各类型的场地进行风险评估,以及其产生的土地和经济效益,找到其经济和环境的平衡点从而去制定相应的土地利用政策也是值得去研究的问题。

参考文献:

- [1] 林毅夫,蔡昉,李周. 中国的奇迹:发展战略与经济改革(增订版)[J]. 上海:上海人民出版社,2014.
- [2] 古德生,吴超. 金属矿山科技和环境问题及其思考[J]. 科技导报,2011,29(12): 11.
- [3] CANTILLON R W. Making Business Location Decisions [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1775.
- [4] 阿尔弗雷德·韦伯. 工业区位论 [M]. 李刚剑等译. 北京:商务印书馆,1997.
- [5] 奥古斯特·勒施. 经济空间秩序 [M]. 王守礼译. 北京:商务印书馆,2010.
- [6] 高敏燕,黄贤金,姚丽. 基于遗传投影寻踪模型的交通用地集约利用综合评价 [J]. 中国土地科学,2011,25(2): 34-40.
- [7] 王泽东,张小林,袁源,等. 高等教育用地集约利用的分异特征及其影响因素——基于山东省 124 个高校校区调研数据 [J]. 经济地理,2020,40(10): 164-170.
- [8] 朱红梅,王杰,于闽,等. 湖南省开发区工业用地利用效率行业差异及投入强度不达标率 [J]. 经济地理,2021,41(1): 140-146.
- [9] 刘路云,郑伯红. 基于工业用地扩展的长沙城市空间演变与优化 [J]. 地域研究与开发,2015,34(4): 54-59.
- [10] 刘英. 基于 GIS 的农村居民点用地时空特征及其优化布局研究——以湖南临澧县为例 [J]. 国土与自然资源研究,2008(4): 35-36.
- [11] 李晓丽,曾光明,石林,等. 长沙市城市生态用地的定量分析及优化 [J]. 应用生态学报,2010,21(2): 415-421.
- [12] 张洪,石婷婷,鲍涵. 中国 5A 级旅游景区空间结构特征研究 [J]. 华侨大学学报(哲学社会科学版),2019(4): 80-90.
- [13] 孙德尧,薛忠财,韩兴,等. 冀北山区某矿区周边耕地土壤重金属污染特征及生态风险评价 [J]. 生态与农村环境学报,2020,36(2): 242-249.
- [14] 孙法圣,程品,张博. 基于物理过程的矿区地下水污染风险评价 [J]. 环境科学,2014,35(4): 1285-1289.
- [15] 伍鹏,舒倩,罗小芳,等. 湘西古丈烂泥田锰矿区地表水污染特征及风险评价 [J]. 水土保持通报,2019,39(3): 70-74, 79.
- [16] 文扬,马中,吴语晗,等. 京津冀及周边地区工业大气污染排放因素分解——基于 LMDI 模型分析 [J]. 中国环境科学,2018,38(12): 4730-4736.
- [17] 谭少华,倪绍祥. 区域土地利用变化驱动力的成因分析 [J]. 地理与地理信息科学,2005,21(3): 47-50.
- [18] BREIMAN. Random Forests [J]. Machine Learning, 2001, 45(1): 5-32.
- [19] 方匡南,吴见彬,朱建平,等. 随机森林方法研究综述 [J]. 统计与信息论坛,2011,26(3): 32-38.
- [20] 徐枫,王占岐,张红伟,等. 随机森林算法在农村居民点适宜性评价中的应用 [J]. 资源科学,2018,40(10): 2085-

2098.

- [21] 田绍鸿,张显峰. 采用随机森林法的天绘数据干旱区城市土地覆盖分类 [J]. 国土资源遥感, 2016, 28(1): 43-49.
- [22] 张海龙,郭彦龙,高蓓. 基于生态位理论的多模型秦岭山区建设用地适宜性评价——以商洛市商州区为例 [J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(4): 83-89.
- [23] 蔡晓晔,严力蛟,徐奂. 基于机器学习理论的土壤侵蚀模型构建 [J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(9): 1122-1128.
- [24] 郭玉宝,池天河,彭玲,等. 利用随机森林的高分一号遥感数据进行城市用地分类 [J]. 测绘通报, 2016(5): 73-76.
- [25] 康有,陈元芳,顾圣华,等. 基于随机森林的区域水资源可持续利用评价 [J]. 水电能源科学, 2014, 32(3): 34-38.
- [26] 赵鹏军,曹毓书. 基于多源地理大数据与机器学习的地铁乘客出行目的识别方法 [J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(9): 1753-1765.
- [27] 夏晓圣,陈菁菁,王佳佳,等. 基于随机森林模型的中国 $PM_{2.5}$ 浓度影响因素分析 [J]. 环境科学, 2020, 41(5): 2057-2065.
- [28] ALONSO W. Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1964.
- [29] 常跟应,张文侠,王鹭. 甘肃内陆河流域工业企业区位选择和发展的影响因素 [J]. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1376-1381.
- [30] 王辑慈. 现代工业地理学 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
- [31] 胡晓玲. 企业、城市与区域的演化与机制 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2009.
- [32] FRIEDMAN J H. Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine [J]. The Annals of Statistics, 2001, 29(5): 1189-1232.
- [33] CUTLER D R, JR T C E, BEARD K H, et al. Random Forests for Classification in Ecology [J]. Ecology, 2007, 88(11): 2783-2792.
- [34] 田会,白润才,赵浩. 中国露天采矿的成就及发展趋势 [J]. 露天采矿技术, 2019, 34(1): 1-9.
- [35] 夏既胜,李阳,蒋顺德,等. 基于 AHP 与 ArcGIS 的峡谷区尾矿库选址方法探讨 [J]. 金属矿山, 2011(2): 32-35.
- [36] 杨继东,崔琳,周方伟,等. 经济增长、财政收入与土地资源配置——基于工业用地出让的经验分析 [J]. 经济与管理研究, 2020, 41(8): 29-43.
- [37] 周兵,蒲勇健. 基于财政政策的区域产业集聚实证分析 [J]. 中国软科学, 2004(3): 135-138, 143.
- [38] 杨伟,李晓华,张海珍,等. 基于产业差异的工业企业集约用地效益测度研究——以重庆两江新区工业开发区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(6): 99-106.
- [39] 韩德超. 生产性服务业 FDI 对工业企业效率影响研究 [J]. 统计研究, 2011, 28(2): 65-70.
- [40] 方石玉. 简论生产者服务业国际转移对我国加工工业发展的促进作用 [J]. 当代财经, 2007(6): 81-82, 86.
- [41] ESWARAN M, KOTWAL A. The Role of the Service Sector in the Process of Industrialization [J]. Journal of Development Economics, 2002, 68(2): 401-420.
- [42] 金煜,陈钊,陆铭. 中国的地区工业集聚: 经济地理、新经济地理与经济政策 [J]. 经济研究, 2006, 41(4): 79-89.

责任编辑 汤振金