高分遥感影像在露天矿山越界开采动态监测中的研究*

李立[1],刘健康[1,2],刘慧林[3],匡文龙[2],刘丙秋[1]

(1.中化地质矿山总局湖南地质勘查院, 湖南 长沙 410018;
2.湖南科技大学 地球科学与空间信息工程学院, 湖南 湘潭市 411201;
3.湖南省自然资源事务中心, 湖南 长沙 410004)

摘要:矿产资源是人类赖以生存和发展的重要物质基础。为加强对露天矿山越界开采的监管,提出了基于高分辨率遥感技术的露天矿山越界开采动态监测,选用3期高分辨率遥感影像,提取湘潭市内省、市级发证在采露天矿山的越界开采图斑变化信息,开展露天矿山越界开采的遥感动态监测研究。建立了研究区露天矿山开发的遥感解译标志库;探索出了一套较为完善的露天矿山越界开采动态监测技术方法;疑似越界开采图斑与矿山开发占地图斑精度验证正确率为100%和90.3%;湘潭市2016—2020年省、市级发证的在采露天矿山的越界开采矿山数、图斑数和总面积总体呈减少趋势。研究结果表明,高分遥感技术在露天矿山越界开采动态监测中实用性强、精度高,能实现对越界开采动态变化的有效监测,研究结果可为湘潭市露天矿山越界开采动态监测提供技术支持。

关键词:高分遥感;越界开采;动态监测;露天矿山;湘潭

中图分类号:TD167 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2763(2025)05-0214-09

Study on Dynamic Monitoring of Cross-Border Mining in Open-Pit Mines Based on High-Resolution Remote Sensing Images

LI Li[1], *LIU Jiankang*[1,2], *LIU Huilin*[3], *KUANG Wenlong*[2], *LIU Bingqiu*[1]

(1.Hunan Geological Exploration Institute of CCGMB, Changsha, Hunan 410018, China;
2.School of Earth Science and Spatail Information Engineering,
Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China;
3.Hunan Natural Resources Affairs Center, Changsha, Hunan 410004, China)

Abstract: Mineral resources are an important material foundation for human survival and development. To strengthen the research on regulatory technology for cross-border mining in open-pit mines, high-resolution remote sensing technology was proposed for dynamic monitoring of cross-border mining activities. Three periods of high-resolution remote sensing images were selected, the change information of cross-border mining patterns in open-pit mines with provincial and municipal certification in Xiangtan City was extracted, and remote sensing dynamic monitoring research was conducted on cross-border mining in open-pit mines. A remote sensing interpretation marker library was established for the development of open-pit mines in the research area, a relatively complete set of dynamic monitoring technology methods was explored for cross-border mining in open-pit mines. The accuracy of suspected cross-border mining and mining development of the map spot accounts for 100% and 90.3%, respectively. It is found that, from 2016 to 2020, the number, map spots, and total area of cross-border open-pit mines with provincial and municipal certification in Xiangtan City show an overall decreasing trend. The research results indicate that high-resolution remote sensing technology has a strong practicality and high accuracy in the dynamic monitoring of cross-border mining in open-pit mines, and can effectively monitor the dynamic changes of cross-border mining. The research results can provide a technical support for the dynamic monitoring of cross-border mining in open-pit mines in Xiangtan City.

Key words: High-resolution remote sensing, Cross-border mining, Dynamic monitoring, Open-pit mine, Xiangtan city

---

* **收稿日期**:2024-12-04

基金项目:湖南省自然资源科技计划项目(2022-23);湖南省自然科学基金(部门联合基金项目)(2023JJ60189)

作者简介:李立(1981—),男,湖南长沙人,高级工程师,主要从事地质灾害防治、地质调查与矿产勘查研究。E-mail:564646619@qq.com

通信作者:刘健康(1997—),男,湖南湘潭人,硕士,助理工程师,主要从事地质灾害防治、地质调查与矿产勘查研究。E-mail:1666824931@qq.com

0 引言

矿产资源在国家经济发展和社会进步中具有基础性的地位和作用,对矿产资源进行有效保护意义重大[1-2]。随着中国工业化进程的不断加快,矿产资源的需求量持续增加,许多矿产资源的消耗增长超过了产量和储备增长,矿业形势不容乐观[3]。我国矿产资源的开发多为粗放式开采,造成了大量资源浪费以及矿山生态环境破坏,越界开采、无证开采等违法行为频发,给国家和人民带来了巨大的损失[4]。选择一种高效的监测方法对露天矿山越界开采进行动态监测,规范矿山开采,是当前我国矿产资源开发与管理工作中亟待解决的问题。高分遥感影像这种覆盖面大,分辨率高,针对性强且具有快速性、周期性、经济性的非接触式监测手段能很好地满足对露天矿山越界开采进行动态监测的需求。因此,研究高分遥感技术对露天矿山越界开采的动态监测具有重要意义。

最早使用遥感手段对矿山进行监测的国家是美国,19 世纪 60 年代,Slaveeki 与 Knuth 利用航空热红外影像数据进行了矿产资源遥感监测[5]。1996 年,Mularz 利用 TM(Thematic Mapper)和 SPOT-5 卫星遥感图像结合航空遥感相片,对华沙西南露天煤矿的植被覆盖及土地利用情况进行了长期监测[6]。我国的矿山遥感监测起步较晚,但许多学者也针对矿山开发开展了大量遥感监测研究[7]。王晓红等[8]首次对江西崇义钨矿等矿山进行动态监测,对比分析了 SPOT、TM 和 QuickBird 数据进行矿山监测的优劣性。曹洪松等[9]以苍山范围内的矿山为研究对象,利用 SPOT、QuickBird 卫星数据得到高清晰度的正射遥感影像,通过解译、踏勘并运用 GIS(Geographic Information System,地理信息系统)技术,对研究区矿山开采属性等在数据库平台上进行分类统计分析,提高了基层矿产资源执法监督效果。夏乐[10]对郴州柿竹园矿区的 ETM(Enhanced Thematic Mapper)、TM 等中低分辨率遥感影像做了处理和增强,进行开采类型的信息提取,结合矿区资料,确定了越界开采的位置和范围。岳建伟等[11]使用 HIS(Hue、Intensity、Saturation,色调、饱和度、亮度)彩色变化结合遥感数据提取矿区变化范围,将其与土地利用现状及采矿权矢量相叠加,利用 GIS 的叠加分析功能,完成了非法采矿信息的自动提取。康高峰等[12]利用不同分辨率的遥感数据,对我国中部某煤炭开采密集区的开采状况进行遥感解译,使用 GIS 技术对采矿权数据、规划数据图层、遥感专题数据进行叠加分析,识别非法开采矿山。赵玉灵等[13]以单一矿权为例,提出运用 GIS 与遥感技术相结合的方法判断油气矿山越界开采行为。

湖南省是著名的“有色金属和非金属矿之乡”,矿种齐全,矿产储量巨大,但省内的露天矿山越界开采现象较为严重[14]。湘潭市是湖南省重要的矿产地之一,本文以湘潭市为研究区,以区内省、市级发证的在采露天矿山为研究对象,开展高分遥感影像在露天矿山越界开采动态监测中的应用研究[15]。通过获取研究区多源、多时相的高分遥感影像,建立露天矿山开发解译标志,对越界开采图斑进行信息提取,实现对露天矿山越界开采的有效动态监测,以期为湘潭市露天矿山越界开采遥感动态监测提供技术支持。

1 研究背景

1.1 研究区概况

1.1.1 自然地理概况

湘潭市位于湖南省中东部,是长株潭城市群城市之一,矿业较为发达。区内地表水系发育,地貌以岗地、平原为主,其次为丘陵和山地,海拔 30.7~793 m,地势北、西、南部较高,中、东部低平,面积 5 015 km^2,属中亚热带季风型气候区,季节性气候特征明显,总体上降水较为丰富,年平均降水量达 1 425 mm,年均气温为 17.5 ℃。

湘潭市处于江南地轴南缘的华南褶皱带上、湘东-湘东北燕山块断带北部,地层除志留系外,自上元古界至第四系均有出露,以第四系分布最广,白垩系、中元古界次之,其余地层零星分布。主要发育有 NNE、NE 及 NW 向构造,地层走向与构造线方向一致。发育少量酸性、中酸性岩浆岩,呈 NE 向分布,有利于成矿作用。

1.1.2 矿产与矿权概况

湘潭市已发现矿种 46 种,占湖南省已发现矿种的 32.6%,探明储量矿种 29 种,占湖南省的 27.7%,大、中、小型矿床各有 7,11,26 处[16]。湘潭市有省级发证矿山 13 个、市级发证矿山 30 个、县级发证矿山 71 个,省、市级发证矿山占比 37.7%。在 2016—

2020年存在开采行为的省、市级发证露天矿山有9个,2022年仍在开采的有4个,分别为湘潭钢铁集团有限公司湘乡白云石矿(A矿)、湖南韶峰南方水泥有限公司万罗山石灰石矿(B矿)、湘潭磷矿有限责任公司(C矿)、湖南新明工贸有限公司石灰岩矿(D矿),C矿和D矿变更过采矿权范围。

1.2 越界开采

矿产资源越界开采,是指超越自然资源部门批准的矿区范围开采矿产资源的行为。判断越界开采的第一步是要认清"界","界"为采矿权许可证规定的矿区范围,属行政划定性质。矿区范围,是指经登记管理机关依法划定的可供开采矿产资源的范围、井巷工程设施分布范围或者露天剥离范围的立体空间区域[16]。

越界开采行为包括超越平面上批准的范围越界开采和超越标高上批准的范围越界开采两种。本文探索的露天矿山越界开采行为是超越平面上批准范围的越界开采。

2 越界开采的监测方法

本文利用高分遥感技术对2022年湘潭市省、市级发证在采的4个露天矿山开展越界开采动态监测研究,监测时间段为2016—2020年。采矿设施、矿石渣堆积、道路修建、植被破坏等地物的形状及空间分布特征都可作为矿山开采活动的判读标识。其中,现场是否有运输设备的斑点、中转场地面积是否拉大、房屋建筑是否增建以及道路颜色的新旧程度等都可作为矿山是否在采和越界开采的判别标识。

2.1 技术路线

设计的技术路线如图1所示,包括:进行研究区基础资料与遥感数据收集,选择最优高分遥感数据;对原始遥感图像进行辐射校正、几何校正、镶嵌与裁剪及图像融合等预处理工作;在野外初步勘察的基础上,建立研究区露天矿山越界开采遥感解译标志;确定信息提取方法,发现并提取矿山越界开采动态变化信息;结合野外验证与资料验证,整理与完善数据,形成完整的露天矿山越界开采动态监测成果数据;对成果数据进行综合分析与评价,形成基于高分遥感影像的露天矿山越界开采动态监测研究工作的结论。

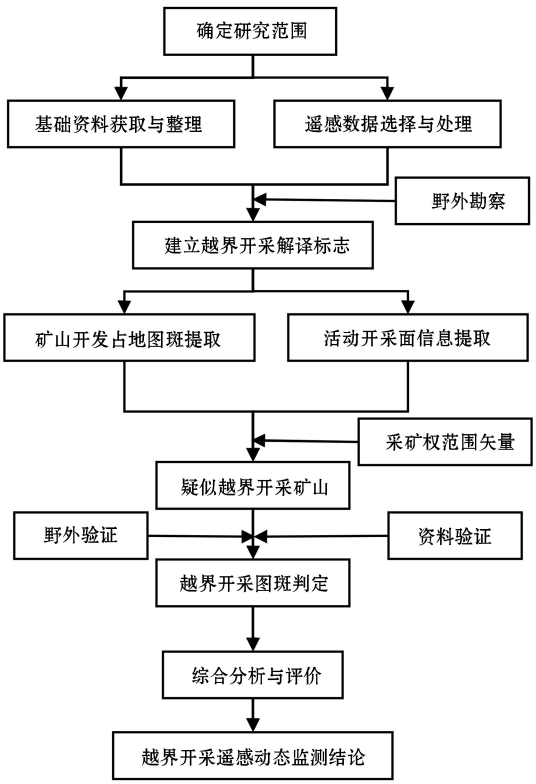


图1 技术路线

Fig.1 Technical road

2.2 工作方法

2.2.1 资料收集与数据预处理

收集研究区最新时相的高分遥感数据、自然地理、气候水文、基础地质、人文、经济、交通、矿产资源规划等资料,重点收集探矿权与采矿权数据。

亚米级高分遥感影像的分辨率小于1 m,可以显示出小规模的矿山开采活动。根据影像可判定废石堆、排土场等固体废弃物堆放、崩塌和滑坡等地质灾害、环境恢复治理区以及选矿厂等,还可对地物边界进行准确界定,结合矿权界线可判定露天开采矿山是否存在越界开采及其范围大小[17-18]。本文选用的3期卫星拍摄数据,见表1。

表1 湘潭市研究区遥感影像

Table 1 Remote sensing image of the study area in Xiangtan

监测年份	影像类型	数据时相	融合后分辨率/m
2016	GF-2	10月	1.0
2018	WorldView-2	8月	0.5
2020	WorldView-2	9月	0.5

遥感影像数据统一采用西安80平面坐标系及1985国家高程基准,投影方式为高斯-克吕格投影,中央经线为114。使用直方图法进行大气校正。以地

形图为基准,选取 30 个地面控制点,使用 1∶10 000 尺度下的 DEM,采用有理函数模型,用双线性内插法进行重采样,间隔为 1 m,完成图像的几何校正。以湘潭市行政区划矢量图为基准,完成图像镶嵌与裁剪;采用 HIS 变换法进行图像融合[19]。处理后图像的噪声、模糊、扭曲与形变都得到了改善,解译特征明显增强。

2.2.2 建立遥感解译标志

建立矿山越界开采遥感解译标志即根据预处理后的遥感图像建立图像特征与各类矿山地物之间的对应关系,用以直接反映和判别实地信息[20-21]。露天矿山开发常用解译标志有以下 4 类:开采场地,主要为露天采场;固体废弃物,主要包括排土场、尾矿库和废石堆;中转场地,主要包括选矿厂和矿石堆;矿山其他地物,主要包括矿山建筑、矿山道路和环境恢复治理区。

2.2.3 动态变化信息提取

结合遥感解译标志,分析研究区矿业活动的痕迹及特征,追踪其变化,提取出各类矿山开发占地图斑及开采区域的位置、范围、形状、边界等信息。将形成的处理结果数据与矿权数据相叠加,统计出疑似压矿权线和在矿权界外的露天开采面图斑及未知属性图斑,分析后得出疑似越界开采图斑。

基于 ArcGIS 平台,通过空间分析法与人机交互解译法提取变化信息[22],具体步骤包括:

(1) 对预处理过的 2016 年研究区遥感影像上的矿山开发占地图斑分类进行圈定,赋予属性数据;

(2) 将 2016 年的矿权信息叠加至分类过的 2016 年影像上,对比分析开采面与矿权边界,提取出疑似越界开采图斑和未知属性图斑;

(3) 在 2016 年解译成果的基础上编辑修改提取后两期图像上的矿山开发占地信息,将对应年度的矿权信息叠加至影像上,提取出后两个年度的疑似越界开采图斑与未知属性图斑;

(4) 将 3 期信息提取结果进行叠加运算,得出 2016—2020 年研究矿山内的疑似越界开采图斑和未知属性图斑变化信息;

(5) 通过野外验证对有疑问的图斑进行确认,补充遗漏图斑、修改解译错误图斑。

2.2.4 野外验证

对研究矿山的开发状况、开采活动范围以及对初步解译出的疑似越界开采图斑、未知属性图斑和不完全符合实地情况的解译结果进行野外验证[23]。对露天矿山疑似越界开采图斑的位置、范围和面积等进行野外验证的方法为:先用定位系统定位至图斑的中心坐标处,判断该点所处位置是否与在遥感影像上的位置一致;再根据图斑边界的复杂程度在每个图斑的边界处按顺时针方向均匀选取 4～8 个点进行定位,判断这些点是否位于矿山开采边界上;最后,对开采面内的矿山作业机械进行定位,将作业机械的坐标投影至遥感影像上,判断其是否超出采矿权范围。

3 越界开采信息提取

3.1 露天矿山开采解译标志建立

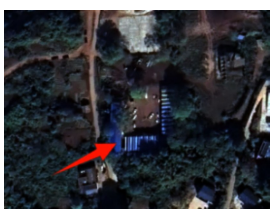
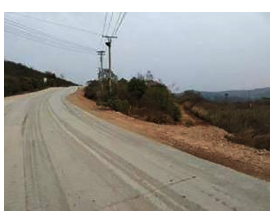
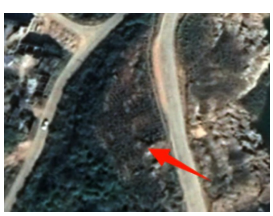
基于 ArcGIS 平台,建立了研究区露天矿山开发的遥感解译标志库,见表 2。

表 2 研究区露天矿山开发遥感解译标志

Table 2 Remote sensing interpretation marks for open-pit mines development in the study area

要素名称	遥感图像	野外照片	描述
露天采场			总体多呈浅白色、灰色、土黄色或褐色等色调,表现为密集的阶梯状弧形纹理,边界清晰,采场内可见作业机械与车辆,道路呈亮色调,多沿等高线分布。
排土场			多呈暗黄色、浅灰色或深褐色等,一般位于采场附近,以圆锥状、梯形状为主,与道路相接,可见运输车辆,开采面新鲜,无植被发育,周围常见环境恢复治理区。

续表

要素名称	遥感图像	野外照片	描述
废石堆			一般表现为浅灰色,在影像上呈现为圆锥形或半圆形斑块,分布于选矿厂附近或道路两侧。
尾矿库			常位于山谷,形状似水库,在图像上呈现积水或镜面影纹特征,色彩鲜艳,可见库坝,与周围地物界线明显。
选矿厂			色调偏亮,具有工矿企业的特征,在遥感影像中呈现为规则状蓝(红等)顶厂棚建筑,周围分布矿石堆,有道路相连。
矿石堆			多呈浅灰色、灰白色,或因为有苫布盖于表面而呈绿色,在影像上表现为圆锥形或半圆形斑块,常分布于选矿厂周边。
矿山建筑			轮阔规整,多为矩形,顶部色彩较明亮,多呈蓝色或灰白色。大型矿山建筑分布集中,排列较为整齐,小型矿山建筑分散。
矿山道路			在影像上色调较亮,颜色呈白色或灰色,沿山谷或等高线蜿蜒,分布于矿区各个位置,可见车辆行驶。
环境恢复治理区			轮廓呈不规则多边形,在影像上表现为棋盘状、网格状或方块状,人工种植痕迹明显,成片分布于采场内或排土场周围。

3.2 信息提取

3.2.1 矿山开发占地信息提取

参考建立的遥感解译标志,对研究矿山内的各类矿山开发占地进行圈定,得出各类矿山开发占地的图斑数与范围情况(见表 3)。

表 3 矿山开发活动图斑数统计

Table 3 Mine development activity map spot count statistics 个

年份	露天开采面	排土场	中转场地	尾矿库	环境恢复治理区	未知图斑	总数
2016	5	7	6	1	1	0	20
2018	4	8	7	1	3	0	23
2020	4	8	7	1	3	2	25

从表 3 可知,2018 年较 2016 年开采面减少 1 个,排土场和中转场地各增加 1 个,环境恢复治理区增加 2 个,图斑总数增加 3 个;2020 年较 2018 年增加 2 个未知属性图斑,图斑总数增加 2 个。综合可知,2016—2020 年研究区省、市级发证的 4 个在采露天矿山与矿山开发活动相关的图斑共有 31 个,提取出露天矿山开采面 5 个,未知属性图斑 2 个。

3.2.2 疑似越界开采信息提取

将矿山开采面与采矿权矢量相叠加,采用人机交互解译法进行信息分析与提取。重点分析矿权边界线及附近的开发占地现象和新增加、扩张的图斑。

初步得到了 2016—2020 年研究区省、市级发证在采露天矿山的问题图斑(疑似越界开采图斑与未知属性图斑)信息(见图 2)。

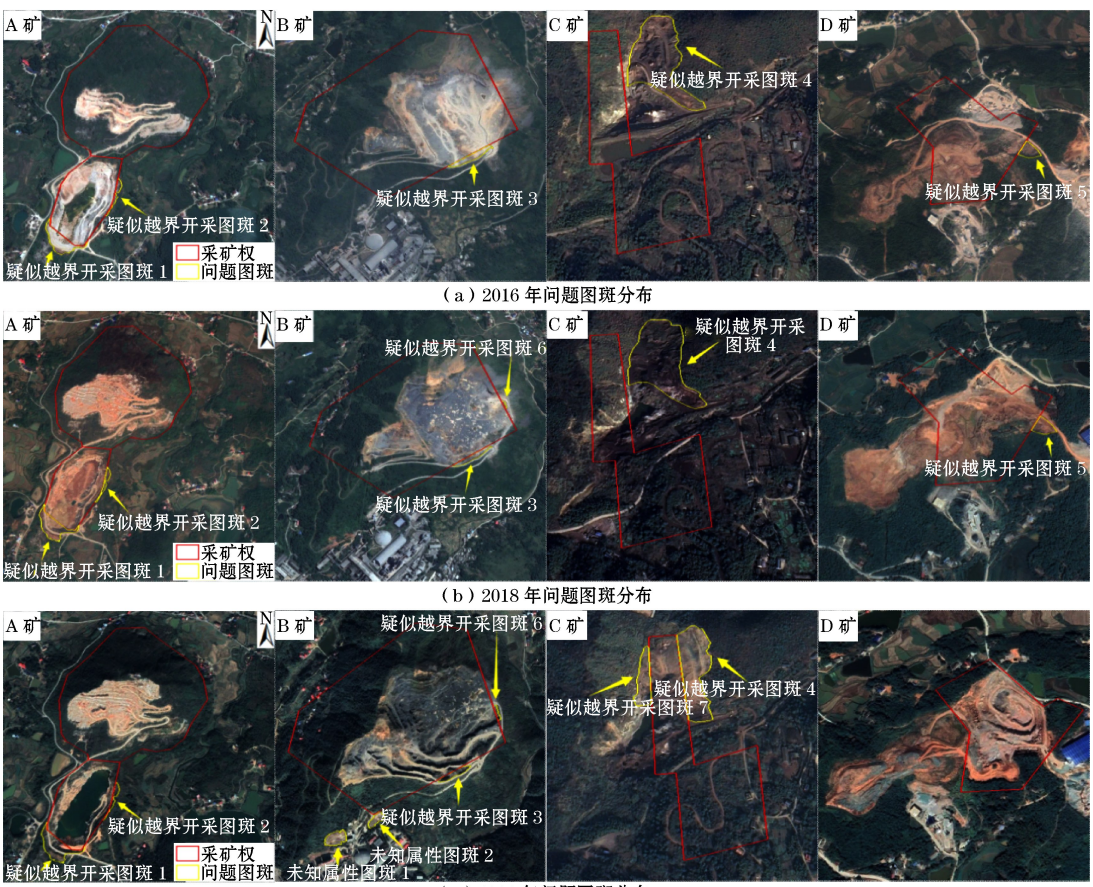


图 2 问题图斑分布

Fig.2 Distribution of problem map spots

根据是否存在矿山开采阶梯、图斑轮廓与内部形态的变化情况以及图斑内部是否存在正在作业的机械与运输车辆等,结合收集到的背景资料综合判断问题图斑是否属于疑似越界开采图斑。

2016 年该研究区省、市级发证在采的 4 个露天矿山共有 5 个问题图斑,均可见矿山开采阶梯,开采面较新鲜。疑似越界开采图斑 1 和图斑 2 内无矿山作业机械与车辆,判断其越界开采行为已停止;疑似越界开采图斑 3 和图斑 4 内可见矿山作业机械与车辆,可知其仍在进行越界开采;疑似越界开采图斑 5 内无作业机械与车辆,且根据背景资料可知,该矿山直到 2019 年才正式开采,判断其为整合前矿权的部

分开采面。确定 2016 年及之前的疑似越界开采图斑共有 4 个,分别为疑似越界开采图斑 1,2,3 和 4。

2018 年共有 6 个问题图斑,其中有 5 个与 2016 年位置一致,新增 1 个疑似越界开采图斑。较 2016 年,疑似越界开采图斑 1 可见轮廓扩张与内部形态变化,未见作业机械与车辆,结合背景资料,可知其为环境恢复治理引起的地物变化;疑似越界开采图斑 2 和 5 的外部轮廓与内部形态无变化;疑似越界开采图斑 3 和 4 可见轮廓扩张与内部形态变化,且有作业机械与车辆停放,存在越界开采行为;疑似越界开采图斑 6 可见矿山开采阶梯,为新增疑似越界开采图斑。确定 2016—2018 年间的疑似越界开采图斑有 3 个,分别为疑似越界开采图斑 3,4 和 6。

2020 年共有 8 个问题图斑,其中有 4 个与 2018 年位置一致,有 2 个由 2018 年的某一疑似越界开采图斑分裂而来,新增 2 个未知属性图斑。较 2018 年,疑似越界开采图斑 1 和 2 的外部轮廓与内部形态未发生变化;疑似越界开采图斑 3,4 及 6 可见轮廓扩张与内部形态变化,且有矿山作业机械与车辆停放;疑似越界开采图斑 7 内有大量矿山机械与车辆作业,正进行越界开采;未知属性图斑 8 与 9 虽不能判断其属性,也无后期遥感影像,但其内部未见矿山开采阶梯与作业机械、车辆,不属于越界开采图斑。确定 2018—2020 年的疑似越界开采图斑有 4 个,分别为疑似越界开采图斑 3,4,6 和 7。

2016—2020 年研究区省、市级发证的 4 个在采露天矿山内共初步提取出 7 个疑似越界开采图斑,2 个未知属性图斑。经过综合分析,最终确定这 9 个问题图斑中的 6 个为疑似越界开采图斑,其中有 4 个图斑在 2016—2020 年间存在越界开采行为,有 2 个图斑的越界开采行为发生在 2016 年及之前。

3.3 信息提取结果野外验证

对解译出的各类图斑进行 100%的野外核查。得出存在越界开采行为的图斑有 6 个,且各图斑的中心坐标、边界范围、面积大小与信息提取结果相比,误差极小,可忽略不计。验证图斑的总正确率约为 92.1%,疑似越界开采图斑的判对率为 100%,矿山开发占地相关图斑的判对率约为 90.3%。

3.4 越界开采遥感动态监测成果与分析

2016 年有 A 矿、B 矿和 C 矿 3 个矿山存在越界开采,有 A1、A2、B1 和 C1 等 4 个越界开采图斑;2018 年有 B 矿和 C 矿 2 个矿山存在越界开采,有 B1、B2 和 C1 等 3 个越界开采图斑;2020 年有 B 矿和 C 矿 2 个矿山存在越界开采,有 B1、B2、C1 和 C2 等 4 个越界开采图斑。

2016—2020 年间持续存在越界开采的图斑有 3 个,为图斑 B1、C1 和 C2;2018—2020 年间存在越界开采的图斑有 4 个,为图斑 B1、B2、C1 和 C2;在 2016 年及之前存在越界开采的图斑有 2 个,为图斑 A1 和 A2。形成了 2016—2020 年研究区省、市级发证的在采露天矿山越界开采遥感动态监测成果(见表 4)。

表 4 越界开采遥感动态监测成果

Table 4 Results of remote sensing dynamic monitoring of cross-border mining

年份	越界开采图斑编号	对应图斑序号	所属矿山	面积/m^2	图斑总数	总面积/m^2	越界开采矿山数
2016	A1-1	1	A	12 775	4	44 250	3
	A2-1	2	A	2 870			
	B1-1	3	B	6 182			
	C1-1	4	C	22 423			
2018	B1-2	3	B	6 182	3	32 999	2
	C1-2	4	C	26 132			
	B2-2	6	B	685			
2020	B1-3	3	B	5 096	4	24 028	2
	C1-3	4	C	13 525			
	B2-3	6	B	1 497			
	C2-3	7	C	3 910			

由表 4 可知,2016 年越界开采图斑数有 4 个,图斑总面积 44 250 m^2;2018 年越界开采图斑有 3 个,总面积 32 999 m^2;2020 年越界开采图斑有 4 个,总面积 24 028 m^2。野外验证可知,所有图斑在 2022 年均已无越界开采行为,4 个矿山内均无新增越界开采区域。

在 2016—2022 年期间,湘潭市省、市级发证的在采露天矿山内存在越界开采行为的图斑个数呈波浪式下降,越界开采图斑总面积持续减少(如图 3 所示)。目前在采的省、市级发证露天矿山都在有效矿界内作业,预计未来仍有可能出现少量越界开采。

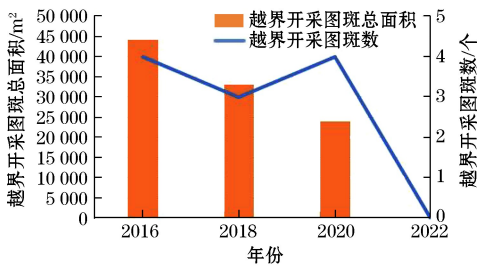


图 3 越界开采图斑数与总面积变化趋势

Fig.3 Change trend of map spot number and total area of cross-border mining

4 结论

以湘潭市研究区内4个省、市级发证在采露天矿山为研究对象,运用RS与GIS技术进行了露天矿山越界开采遥感动态监测研究。通过人机交互解译法提取了越界开采变化信息,对2016—2020年的越界开采图斑进行对比分析,得出越界开采的现状及趋势,构建了适合湖南地区露天矿山越界开采遥感动态监测的技术方案,为有关部门进行矿产资源管理提供一定依据。主要结论包括如下3个方面。

(1) 通过采用多源、多时相的高分辨率遥感影像数据,结合湘潭市矿产资源现状及规划数据,采取室内判读与野外验证相结合的方法,建立了基于高分遥感影像的研究区露天矿山开发的遥感解译标志库,用于判别影像上的露天开采矿山是否存在越界开采,探索出了一套较为完善的露天矿山越界开采动态监测技术方法与路线,为今后同类地区露天矿山越界开采监测工作提供参考。

(2) 采用人机交互解译法提取了湘潭市省、市级发证在采露天矿山2016年、2018年及2020年3期遥感影像上的越界开采动态变化信息。疑似越界开采图斑野外验证正确率为100%,矿山开发占地相关图斑野外验证正确率为90.3%,总正确率92.1%。

(3) 湘潭市2016—2020年4个省、市级发证在采露天矿山越界开采动态监测成果为:2016年存在越界开采行为的矿山有3个,具有越界开采图斑4个,图斑总面积44 250 m^2;2018年存在越界开采的矿山有2个,具有越界开采图斑3个,总面积32 999 m^2;2020年存在越界开采的矿山有2个,具有越界开采图斑4个,总面积24 028 m^2;根据实地调查,2022年已不存在越界开采。2016—2022年间越界开采矿山数、图斑数和总面积总体呈减少趋势。

参考文献(References):

[1] 郭娟,崔荣国,周起忠,等.2023年中国矿产资源形势回顾与展望[J].中国矿业,2024,33(1):12-19.
GUO Juan, CUI Rongguo, ZHOU Qizhong, et al. Outlook and overview of mineral resources situation of China in 2023 [J]. China Mining Magazine, 2024, 33(1): 12-19.

[2] 郭娟,崔荣国,周起忠,等.2022年中国矿产资源形势回顾与展望[J].中国矿业,2023,32(1):1-6.
GUO Juan, CUI Rongguo, ZHOU Qizhong, et al. Outlook and overview of mineral resources situation of China in 2022 [J]. China Mining Magazine, 2023, 32(1): 1-6.

[3] 方瑞瑞,刘贵洲,窦立荣,等.中国绿色能源矿产资源保供的隐忧与应对措施[J].天然气与石油,2024,42(5):127-133.
FANG Ruirui, LIU Guizhou, DOU Lirong, et al. Concerns and management measures for assuring the supply ofgreen energy mineral resources in China[J]. Natural Gas and Oil, 2024, 42(5): 127-133.

[4] 谢君洋,简季,许犇.基于无人机影像的矿山动态监测方法[J].矿业研究与开发,2022,42(2):158-163.
XIE Junyang, JIAN Ji, XU Ben. Mine dynamic monitoring method based on UAV image [J]. Mining Research and Development, 2022, 42(2): 158-163.

[5] CLOUTIS E A. Review article hyperspectral geological remote sensing: evaluation of analytical techniques [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(12): 2215-2242.

[6] BOERNER R E, DEMERS M N, SIMPSON J W, et al. Markov models of inertia and dynamism on two contiguous ohio landscapes [J]. Geographical Analysis, 1996, 28(1): 23-27.

[7] 蒋梦楚.遥感技术在矿山地质环境监测中的应用实践[J].世界有色金属,2024(19):187-189.
JIANG Mengchu. Application practice of remote sensing technology in mining geological environment monitoring[J]. World Nonferrous Metals, 2024(19): 187-189.

[8] 王晓红,聂洪峰,杨清华,等.高分辨率卫星数据在矿山开发状况及环境监测中的应用效果比较[J].国土资源遥感,2004(1):15-18+80-81.
WANG Xiaohong, NIE Hongfeng, YANG Qinghua, et al. Comparison of application effects of high-resolution satellite data in mining development status and environmental monitoring[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2004(1): 15-18+80-81.

[9] 曹洪松,宋宝国,陈玉成,等.遥感与GIS技术在苍山矿山开采动态监测中的应用研究[J].山东国土资源,2007(增刊1):43-47.
CAO Hongsong, SONG Baoguo, CHEN Yucheng, et al. Study on application of remote sensing and GIS technologies in dynamic monitoring in Cangshan mine exploration [J]. Shandong Land and Resources, 2007 (Suppl.1): 43-47.

[10] 夏乐.遥感技术在矿山开发监测中的应用[D].北京:中国地质大学(北京),2008.
XIA Le. Application of RS in mine exploration and monitor [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2008.

[11] 岳建伟,林爱华,梅涂术,等.矿产违法开采信息的快速提取[J].计算机工程,2008(9):263-264.
YUE Jianwei, LIN Aihua, MEI Tushu, et al. Rapid extraction of lawless mining information [J]. Computer Engineering, 2008(9): 263-264.

[12] 康高峰,卢中正,李社,等.遥感技术在煤炭资源开发状况监督管理中的应用研究[J].中国煤炭地质,2008(1):13-16.
KANG Gaofeng, LU Zhongzheng, LI She, et al. Application of remote sensing technology in coal resource exploitation monitoring and management[J].Coal Geology of China,2008(1):13-16.

[13] 赵玉灵,杨金中,孙娅琴,等.油气矿山越界开采遥感监测方法探索[J].自然资源遥感,2022,34(2):30-36.
ZHAO Yuling, YANG Jinzhong, SUN Yaqin, et al. Remote sensing method for judging the cross-border mining of oil and gas mines[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2022,34(2):30-36.

[14] 刘立,李长安,高俊华,等.多源卫星遥感的湖南矿山违法开采时空变化[J].遥感学报,2022,26(3):528-540.
LIU Li, LI Chang'an, GAO Junhua, et al. Spatiotemporal changes of illegal mining in Hunan mines based on multi-source satellite remote sensing[J].National Remote Sensing Bulletin,2022,26(3):528-540.

[15] 刘健康.基于高分遥感影像的露天矿山越界开采动态监测[D]湘潭:湖南科技大学,2023.
LIU Jiankang. Dynamic monitoring of cross-border mining in open-pit mines based on high-resolution remote sensing images[D]. Xiangtan: Hunan University of Science and Technology,2023.

[16] 昝昕,孔宁,郭丽娜,等.煤矿超层越界监督管理研究[J].中国矿业,2019,28(5):29-32.
ZAN Xin, KONG Ning, GUO Lina, et al. Analysis of the supervision and management of mining beyond specified coal seams[J].China Mining Magazine,2019,28(5):29-32.

[17] ELSHORA M. Producing Worldview-2 fused images of superior quality by the novel ELSHORA fusion technique [J].Applied Geomatics,2022,14(3):527-543.

[18] 李永平,赵晓燕,谈树成.基于高分卫星影像的矿山开发环境遥感监测[J].内江师范学院学报,2021,36(2):68-72.
LI Yongping, ZHAO Xiaoyan, TAN Shucheng, et al. Remote sensing monitoring of mine development environment based on high-resolution satellite images[J]. Journal of Neijiang Normal University,2021,36(2):68-72.

[19] 田青林,余长发,潘蔚,等.面向地质应用的高分二号卫星影像融合方法评价[J].科学技术与工程,2019,19(29):207-212.
TIAN Qinglin, YU Changfa, PAN Wei, et al. Evaluation on fusion method for GF-2 satellite images in geological application[J]. Science Technology and Engineering,2019,19(29):207-212.

[20] 韩学林,王秀芬,郭宝奎,等.山东省砂石资源遥感解译成果及应用[J].山东国土资源,2023,39(11):59-68.
HAN Xuelin, WANG Xiufen, GUO Baokui, et al. Remote sensing interpretation achievements and applications of sandstone resources in Shandong Province [J]. Shandong Land and Resources,2023,39(11):59-68.

[21] 王燕波,罗伟,李名勇,等.基于高分辨率遥感影像的矿山开发监测研究[J].热带地理,2011,31(4):377-382.
WANG Yanbo, LUO Wei, LI Mingyong, et al. Mine development monitoring based on high-resolution remote sensing images[J]. Tropical Geography, 2011, 31(4): 377-382.

[22] 李鸿卫,闫文超.基于 ArcGIS 的三维地质模型自动构建方法[J].世界有色金属,2024(7):25-27.
LI Hongwei, YAN Wenchao. Automatic construction method of 3D geological model based on ArcGIS[J].World Nonferrous Metals,2024(7):25-27.

[23] 刘一,马灿璇,湛龙,等.基于无人机技术的露天矿山越界开采监测与评估方法[J].中国矿业,2024,33(1):105-113.
LIU Yi, MA Canxuan, ZHAN Long, et al. Monitoring and evaluation method for cross border mining in open-pit mines based on drone technology[J]. China Mining Magazine, 2024,33(1):105-113.