

doi: 10.6046/zrzyyg.2021278

引用格式: 高俊华, 邹联学, 龙欢, 等. 基于遥感动态监测的吉林省矿山地质环境及生态修复变化特征分析[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(3): 240–248. (Gao J H, Zou L X, Long H, et al. Analysis on characteristics of mine geological environment and ecological restoration changes in Jilin Province based on dynamic remote sensing monitoring[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(3): 240–248.)

基于遥感动态监测的吉林省矿山地质环境及生态修复变化特征分析

高俊华^{1,2}, 邹联学¹, 龙欢¹, 楚水滔¹

(1. 湖南省自然资源事务中心, 长沙 410004; 2. 洞庭湖区生态环境遥感监测湖南省重点实验室, 长沙 410004)

摘要: 为开展吉林省矿山地质环境变化趋势分析和矿山生态修复前景研究, 利用 2015—2019 年获取的国产高分辨率卫星遥感数据和多源信息资料, 采取自动化信息提取和人机交互解译相结合、室内综合研究与实地调查验证相结合的方法, 对吉林省矿山地质环境及生态修复状况开展了遥感动态监测。通过对监测结果进行矿山地质环境及生态修复变化特征分析, 基本掌握了该省矿山开发压占土地资源、损毁土地资源、矿山地质灾害、矿山环境污染和矿山生态修复的现状及其变化趋势。分析成果比较客观、准确, 取得了较好的卫星遥感监测应用效果, 可为该省深入推进山水林田湖草沙生态保护修复工程提供参考依据。

关键词: 遥感; 矿山开发; 矿山地质环境; 生态修复; 动态监测

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097–034X(2022)03–0240–09

0 引言

吉林省矿产资源丰富, 开采年代久远, 为当地国民经济发展和人民生活水平提高做出了很大贡献。但历史上的粗放型资源开发对矿山地质环境产生了相当严重的破坏, 在一定程度上制约了该省生态文明建设的决策部署。

中国地质调查局于 2002 年部署开展了典型矿山地质环境调查与评估, 查明了吉林省部分矿山的地质环境背景和环境地质问题。文献[1–4]采用常规方法开展吉林省矿山地质环境地面调查和研究, 阐述了主要环境地质问题及影响因素, 但缺少较全面和详细的数据支撑。遥感技术方法已广泛应用到矿山监测领域, 中国地质调查局自 2014 年开始在全国陆域范围内部署开展了矿山地质环境现状、矿山环境恢复治理现状遥感调查与动态监测工作, 也摸索出一套成熟的遥感监测技术方法体系。文献[5–9]分别研究了我国各地的矿山地质环境遥感调查方法

理论与实践; 文献[10–12]分析了山东、广东和四川省矿山环境恢复治理典型特征; 文献[13–16]研究了基于遥感调查的区域矿山地质环境评价方法。但吉林省至今尚未见基于全面和翔实动态变化监测数据的省域矿山地质环境相关研究与分析。

笔者近年来承担了吉林省矿山地质环境和生态修复遥感动态监测任务, 利用 2015—2019 年国产高分辨率卫星数据, 辅以地面调查, 基本查明吉林省各年度矿山开发占损土地、矿山地质灾害、矿山环境污染、矿山生态修复等情况。本文拟在上述调查监测基础上, 开展吉林省矿山地质环境变化趋势分析和矿山生态修复前景研究, 并提出相关建议, 为吉林省矿政管理和生态文明建设工作提供决策依据。

1 研究区概况

1.1 矿产资源分布

吉林省地处东北腹地, 纵跨古亚洲和滨太平洋成矿域, 成矿条件好。松辽盆地为国家主要含油气

收稿日期: 2021–09–03; 修订日期: 2021–11–11

基金项目: 中国地质调查局项目“全国矿山开发状况遥感地质调查与监测”(编号: 202012000000180606)和“全国矿山环境恢复治理状况遥感地质调查与监测”(编号: 202012000000180007)共同资助。

第一作者: 高俊华(1982–), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事遥感地质、环境地质、土地调查及国土测绘等方面的研究。Email: 105964561@qq.com。

盆地之一,辽东—吉南成矿带是全国重点成矿区带之一^[17]。目前已发现 158 种矿产,有 115 种矿产已查明储量,储量排名全国首位的有 12 种,包括矿泉水、油页岩、钼矿、炼镁用白云岩、水泥用灰岩、硅灰石、硅藻土、浮石、火山渣、陶粒页岩、耐酸碱用安山岩、耐火黏土等。石油、天然气、油页岩等能源矿产主要分布在松辽盆地;煤主要分布在延边、白山、长春、吉林、通化等山前地带和山间盆地;铁矿、金矿等金属矿产和硅藻土、硅灰石等非金属矿产以及地热和优质饮用天然矿泉水等主要分布在吉林省东北部山区^[18]。

1.2 矿山开发状况

截至 2014 年底,吉林省共设置探矿权 1 210 个,采矿权 2 459 个,全省 9 个市州均有分布。据原中国国土资源航空物探遥感中心监测成果显示(1.3 和 1.4 节同),2014 年全省调查出界内开采矿山 1 325 座,疑似违法开采矿山 124 座;疑似违法开采矿种以金属和建材类非金属为主;疑似违法开采矿山主要分布在吉林、四平、延边、白山和长春等地。在调查面积约 27 000 km² 的重点矿集区内,发现界内开采矿山 441 座,疑似违法开采矿山 101 座,关闭或废弃矿山 97 座;疑似违法矿种以建材类非金属为主,疑似违法类型多为无证开采和越界开采。

1.3 矿山环境问题

2014 年全省矿山开发压占损毁土地资源总面积约 20 634.28 hm²,其中采场 11 462.25 hm²,中转场地 4 552.66 hm²,固体废弃物 2 758.41 hm²,矿山建筑 912.54 hm²,采空塌陷(坑)948.42 hm²。主要分布在吉林、延边和长春三地,面积分别为 3 885.59 hm², 3 225.73 hm² 和 2 921.62 hm²,三地面积之和约占全省压占损毁总面积的 48.62%。正在利用矿山压占损毁面积约 12 787.17 hm²,关闭或废弃矿山面积约 6 898.68 hm²。开采矿种以建材及其他非金属压占损毁面积最大,为 13 267.34 hm²,其次是能源矿产 3 220.91 hm²,分别占压占损毁总面积的 64.30% 和 15.61%。压占损毁原地类以林地为主,另有少量耕地和草地等。调查未发现矿山环境污染问题。调查出因矿山开发引发的地质灾害(隐患)57 处,均为煤矿采空塌陷(坑),包括中型规模 2 处和小型规模 55 处,分布在珲春、桦甸、蛟河、九台、龙潭、舒兰、梅河口等地,由于地下开采煤矿形成的大面积采空区上部各种岩层从顶板开始向下依次脱离、弯曲,向采空区位移而成。

1.4 矿山生态修复

2014 年全省共有 12 座矿山进行了生态复垦和植

被复绿等生态修复工程,共修复面积约 1 336.74 hm²,约占全省矿业活动总面积的 6.08%,主要分布在蛟河、九台、桦甸、辽源和珲春等地。生态修复区域主要包含因地下开采煤矿而造成的塌陷区和露天开采造成的表土破坏区,主要的治理措施有复垦为湿地公园、复种农作物、改造成鱼塘和植被复绿等。可见,吉林省矿山生态修复整体情况不佳,治理程度较低,尤其是大量关闭废弃矿山和采空塌陷(坑)亟需治理。

2 研究方法

本文基于具有时间序列的多源正射遥感数据,结合已收集的基础地理、地质信息资料,统一其坐标系、投影方式和高程基准;在预处理基础上,采用自动化信息提取和人机交互解译相结合、室内综合研究与实地调查验证相结合的方法,对吉林省矿山地质环境和生态修复状况进行动态监测,获取矿山地质物现状及变化数据;进而开展矿山地质环境变化趋势分析和矿山生态修复前景研究。工作流程见图 1。

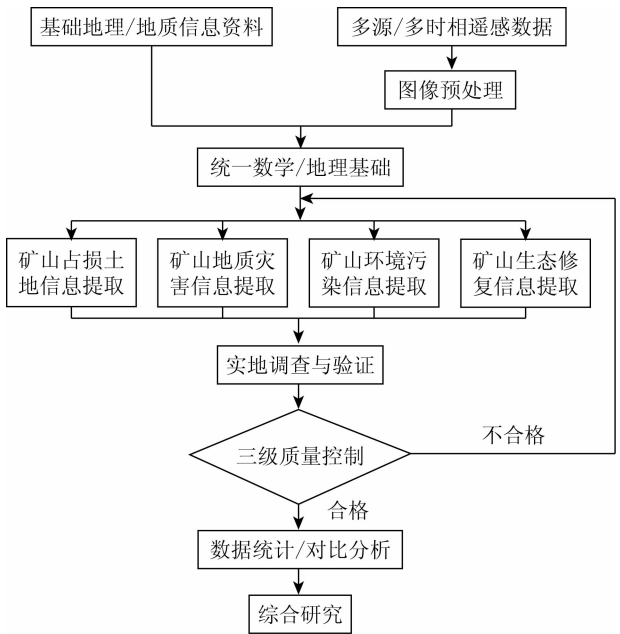


图 1 工作流程图
Fig.1 Work flow chart

2.1 遥感数据源及图像处理

2.1.1 遥感数据源

吉林省历年使用的卫星遥感数据以国产卫星为主,地面分辨率主要为米级和亚米级。其中,0.5 m 分辨率有 GJ1 和 YG26,1 m 分辨率有 BJ2, GF2, DE2, YG5, YG14 和 YG24,2 m 分辨率有 02C, GF1, TH1, ZY3 和 SJ9,5 m 分辨率有 YG8 和 CB04 等。2015—2019 年获取的国产卫星遥感数据源见图 2。

其中,2 m 级数据覆盖了省内大部分区域,而 0.5 m 和 1 m 级数据一般分布在中心城区或重点矿区。

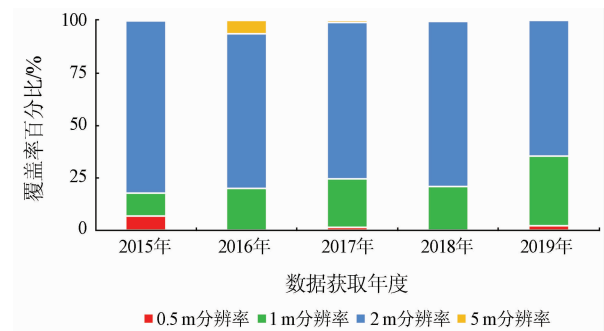


图 2 吉林省 2015—2019 年国产卫星遥感数据源统计柱状图

Fig. 2 Statistical histogram of domestic satellite remote sensing data sources in Jilin Province during 2015 to 2019

2.1.2 图像预处理

遥感图像预处理包括:①辐射校正,通过滤波修正霾(薄云)区影像像元值,增加影像对比度,降低影像亮度,使其趋于正常;②图像融合,增强图像地面分辨率,选择主成分融合法,反差扩展应用于图像校色,使图像具有更好的亮度和饱和度,矿山地物信息更加容易识别;③图像镶嵌,对待拼接的数据统一布置控制点,采用一次多项式校正法,对影像的接边区域进行校正,同时合理运用拼接线实现无缝拼接。

2.2 信息提取与实地调查验证

2.2.1 遥感解译标志建立

通过野外踏勘,建立矿山地物信息遥感解译标志见表 1。

表 1 矿山地物遥感影像特征和解译标志

Tab. 1 Remote sensing image features and interpretation marks of mine features

类别	地物和影像特征	解译标志
矿山开发损毁土地资源	露天采场	影像上纹理、色调与周边地物差异显著,区别于一般的裸露土地,一般低于周围地形,采场边坡呈阶梯弧形、环形纹理(见图 3)
	井口(硐口)	在高分辨率影像上可被明显识别,井口上方有井架及井架阴影,周边矿石堆常以放射状分布,呈扇形或圆形;硐口出口处常有矿石输送巷道或铁轨,周边矿石堆常于硐口正前方呈锥型分布
	塌陷坑(地裂缝)	影像上塌陷坑呈独立的环形或椭圆形斑点、斑块状,呈独立个体成群分布,色调明暗不同,有一定深度的负地形,坑内植被呈微红色。地裂缝呈线状(直线、断续或交叉)、条带状影像特征,裂缝内有植被呈暗红色

		(续表)
类别	地物和影像特征	解译标志
矿山地质灾害	崩塌	影像上陡崖色调较浅,陡坡有粗糙感或花瓣状锥状地形
	滑坡	多在峡谷中缓坡、分水岭阴坡、主沟与支沟交会处,呈簸箕型、舌型、弧形和不规则型,局部平缓斜坡明显界限与周围分割
矿山环境污染	粉尘污染	污染源周围植被稀疏,影像不清晰,昏暗、轮廓暗淡,色调上呈现不均匀浑黄褐色、褐红色
	水体污染	影像上从污染源向外扩散呈弧扇状、条状或块状分布,蓝色中带有不均匀的黑色调
矿山开发压占土地资源	矿山建筑	基础设施建设的场地和生活办公用地,在影像上特征明显,且比较整齐规则
	固体废弃物	排土场高于周边地形,边缘多呈裙状,颗粒状纹理,色调较亮;尾矿库位于沟谷内,前有坝体,后部沿沟展布,多呈树枝状,纹理细致,色调较亮;煤矸石堆一般高于周边地形,多呈锥型,色调较暗,多为灰黑色(见图 4)
矿山生态修复	中转场地	用来堆放矿石等相关产品的场所,一般与采场(井口、硐口)距离较近,选矿厂多数和尾矿库相连接
	耕地	灌溉、湿度大、生长着的色调较暗,反之较浅。具有规则几何形状,纹理平滑细腻,良地多为均匀平滑的绿色,其边界多有路、渠
	园地	位于地势较高排水通畅处,规则颗粒状,光谱特征与林地相似,株距较大。果树颗粒状,成行成列,规则分布、一般规模化的果园色彩、纹理都比较均一
	林地	分布在山区,不规则颗粒状,色彩较浓。自然林地不规则,人工林地区别于果园,株距更小、植株更密集,颗粒状不如园地明显
	草地	草地植被生物量小,颜色较浅,但内部均一度较高,纹理细腻。人工草地颜色较天然草地深(见图 4)

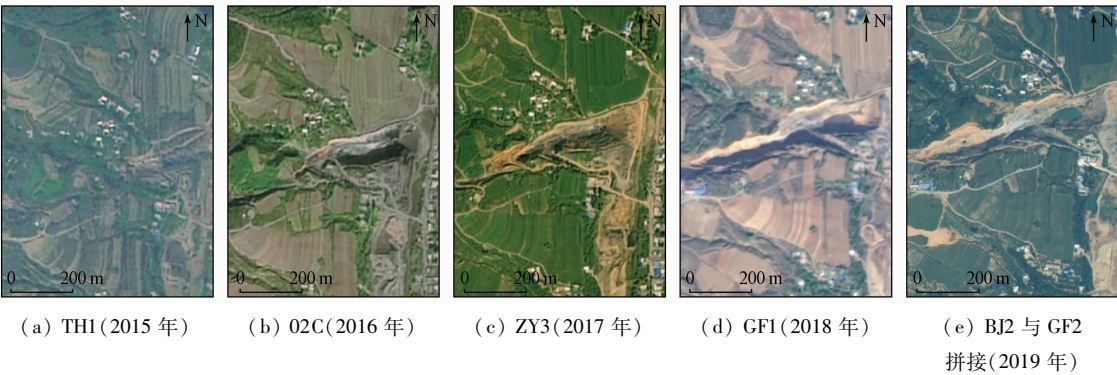


图3 露天采场遥感影像特征变化

Fig.3 Change of remote sensing image characteristics of open pit

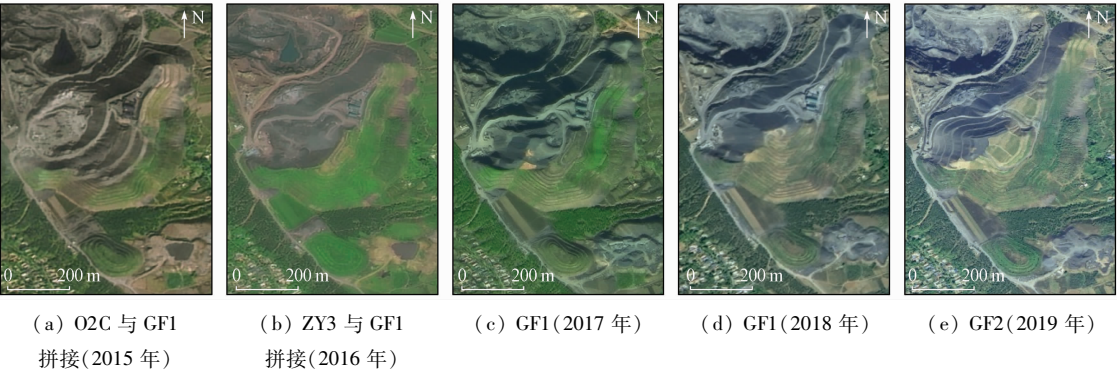


图4 固体废弃物和矿山生态修复遥感影像特征变化

Fig.4 Change of remote sensing image characteristics of solid waste and mine ecological restoration

2.2.2 信息提取

利用经过预处理的2015—2019年卫星图像数据,根据本文建立的遥感解译标志,采用计算机自动化信息提取和人机交互解译相结合的方法,分别查明各年度矿山的位置、开采方式、开采状态、地物信息、矿业活动界线和矿山管理状况,查明各年度之间各压占土地、损毁土地、地质灾害、环境污染和生态修复类型图斑的新增、扩大、减小、灭失或未发生变化情况。

2.2.3 实地调查验证

通过实地调查验证信息提取的可靠性,核查有疑问信息、补充遗漏信息、修改误提信息。制作野外路线和不同类型实地点分布图,验证图斑需涵盖所有地物类型,对疑问图斑和重要图斑则需100%调查验证。

3 矿山地质环境监测结果与特征分析

3.1 矿山开发压占土地资源变化

2015—2019年,吉林省矿山开发压占土地资源面积整体呈增长趋势,在2019年达19 574.21 hm²,比2015年增加了7 810.49 hm²,年均增长率约16.60%。

3.1.1 不同地物类型变化

2015—2019年,中转场地面积分别为6 099.75 hm², 7 524.63 hm², 8 604.30 hm², 10 054.24 hm²和10 481.45 hm²,呈逐年增长趋势;固体废弃物面积分别为4 569.26 hm², 3 797.97 hm², 3 419.66 hm², 3 085.87 hm²和4 140.66 hm²,前4 a逐年下降后在2019年又出现反弹;矿山建筑面积分别为1 094.71 hm², 1 138.88 hm², 2 732.50 hm², 3 138.87 hm²和4 952.10 hm²,呈明显增长趋势。

3.1.2 不同行政区变化

2019年吉林和延边压占土地资源面积较大,分别达到4 722.13 hm²和4 116.73 hm²;白城、辽源和松原压占土地资源面积较小,分别为999.42 hm², 893.6 hm²和672.66 hm²。从2015—2019年各市州压占面积增长速度看,辽源、延边、长春、吉林和通化年均增长率均超过了10%,分别为30.86%, 30.38%, 24.60%, 22.64%和18.31%;松原5 a间压占面积有所减少,年均减少率为3.62%;四平、白城和白山增长较慢,分别为2.32%, 5.82%和6.22%。

3.1.3 不同矿种变化

2019年建材及其他非金属压占土地资源面积最大,达11 128.08 hm²;其余依次为能源3 486.25 hm²、黑色金属2 130.30 hm²、贵金属1 130.21 hm²、有

色金属 1 071.43 hm²、水气 251.84 hm²、特种非金属 183.67 hm²、冶金辅助原料非金属 147.72 hm²；化工原料非金属压占土地面积最小，为 44.68 hm²。2015—2019 年，各类矿种压占土地资源面积年均增长率由高到低依次为：水气 100.74%、特种非金属 72.20%、黑色金属 21.40%、有色金属 16.03%、贵金属 15.83%、能源 15.76%、建材及其他非金属 15.68%、化工原料非金属 9.74%、冶金辅助原料非金属 -2.64%。

3.1.4 不同开采状态变化

2015—2019 年，界内开采矿山压占土地资源面积相对平稳，分别为 6 178.75 hm²、5 310.66 hm²、5 344.64 hm²、6 578.24 hm² 和 6 508.34 hm²，年均增长率约 1.33%。暂停开采矿山面积增长较快，2019 年达 1 424.63 hm²，比 2015 年增加了 1 090.43 hm²，年均增长率约 81.57%。疑似违法开采矿山面积呈逐年下降趋势，2019 年降为 429.61 hm²，比 2015 年减少了 1 299.88 hm²，年均减少率约 18.79%。废弃矿山面积呈逐年增长趋势，2019 年达到 11 211.63 hm²，比 2015 年增加了 7 690.35 hm²，年均增长率约 54.60%。

3.2 矿山开发损毁土地资源变化

2015—2019 年，吉林省矿山开发损毁土地资源面积整体呈增长趋势，在 2019 年达 22 218.50 hm²，比 2015 年增加了 10 132.64 hm²，年均增长率约 20.96%。

3.2.1 不同地物类型变化

2015—2019 年采场面积呈逐年增长趋势，分别为 11 208.31 hm²、15 186.83 hm²、17 165.38 hm²、20 920.20 hm² 和 21 007.77 hm²，年增长率约 11.66%；采空塌陷(坑)面积也呈逐年增长趋势，分别为 877.55 hm²、993.22 hm²、1 089.06 hm²、1 153.08 hm² 和 1 210.73 hm²，年增长率约 6.88%。

3.2.2 不同行政区变化

2019 年，延边、吉林、长春损毁土地资源面积较大，分别达到 5 048.61 hm²、3 675.79 hm² 和 3 280.89 hm²；辽源和松原损毁土地资源面积较小，分别为 936.60 hm² 和 772.39 hm²。从 2015—2019 年各市州损毁面积增长速度看，四平最快，年均增长率达到了 34.48%；延边、辽源、吉林、长春、通化和白山均超过了 10%，分别为 27.42%、25.93%、23.11%、22.06%、20.15% 和 15.52%；白城和松原增长较慢，分别为 7.30% 和 5.63%。

3.2.3 不同矿种变化

2019 年建材及其他非金属损毁土地资源面积最大，达 18 805.74 hm²，其余依次为能源 1 619.00 hm²（其中采空塌陷(坑) 1 210.73 hm²，均为能源矿引

起）、黑色金属 710.76 hm²、贵金属 293.59 hm²、有色金属 289.39 hm²、特种非金属 238.73 hm²、化工原料非金属 141.90 hm²、冶金辅助原料非金属 111.99 hm²，水气最小为 7.40 hm²。2015—2019 年损毁土地资源面积增加的有：特种金属、建材及其他非金属、有色金属、能源和贵金属，年均增长率分别为 48.43%、26.74%、7.96%、5.57% 和 2.34%；损毁土地资源面积减少的有：水气、冶金辅助原料非金属、化工原料非金属、黑色金属，年均减少率分别为 13.83%、9.33%、6.29% 和 0.35%。

3.2.4 不同开采状态变化

2015—2019 年界内开采矿山和疑似违法开采矿山损毁土地资源面积均呈下降趋势，2019 年界内开采矿山面积为 4 516.25 hm²，比 2015 年减少了 1 831.70 hm²，年均减少率为 7.21%；2019 年疑似违法开采矿山面积 890.62 hm²，比 2015 年减少了 886.24 hm²，年均减少率为 12.47%。暂停开采和废弃矿山损毁土地资源面积呈增长趋势，2019 年暂停开采矿山面积 890.02 hm²，比 2015 年增加了 546.67 hm²，年均增长率为 39.80%；2019 年废弃矿山面积 15 921.61 hm²，比 2015 年增加了 12 303.91 hm²，年均增长率为 85.03%。

3.3 矿山地质灾害变化

2015—2019 年调查出的矿山地质灾害以煤矿采空塌陷(坑)为主，另有少量采石场崩塌和滑坡灾害，灾害规模多为小型。因新增和核销数量动态变化，各年度调查出的矿山地质灾害变化呈波动增长趋势。

3.3.1 不同灾害类型变化

采空塌陷(坑)数量近年来有所增加，新增塌陷坑增多，2015—2019 年塌陷坑数量分别为 23 处、25 处、48 处、86 处和 83 处。2015 和 2019 年未发现矿山崩塌现象，2016 年、2017 年和 2018 年分别有 2 处、5 处和 1 处。滑坡灾害只在 2019 年调查出 3 处。

3.3.2 不同行政区变化

矿山地质灾害主要发生在吉林、延边、长春、通化和辽源等市州，多为采空塌陷(坑)，2015—2019 年分别有 92 处、58 处、47 处、30 处和 28 处。其中延边、通化、吉林数量增幅比较大，分别年均增长 3 处、1.25 处和 4.25 处，年均增长率分别为 50.00%、41.70% 和 35.40%。其余地区矿山地质灾害数量变化相对平稳。

3.4 矿山环境污染变化

2015—2019 年调查出的矿山环境污染类型主要是粉尘污染和水体污染，各年度矿山环境污染源调查数量基本持平，污染区总面积整体呈下降趋势。

3.4.1 不同污染类型变化

2015—2019 年粉尘污染源数量分别为 16 处、16 处、15 处、14 处和 17 处,呈波动变化;受污染区面积分别为 246.36 hm²、259.78 hm²、260.16 hm²、271.70 hm² 和 322.89 hm²,呈较缓增长趋势,年均增长率约 7.77%。水体污染源数量分别为 6 处、7 处、8 处、8 处、6 处,呈波动变化;受污染区面积分别为 388.58 hm²、223.89 hm²、201.91 hm²、154.32 hm² 和 113.72 hm²,呈减少趋势,年均减少率约 17.68%。

3.4.2 不同行政区变化

2015—2019 年,延边和吉林调查出的污染源数量较多,年均均有 7.8 处和 8.8 处;且受污染区面积较大,年均 329.20 hm² 和 131.78 hm²;四平、通化和长春少数矿山受到环境污染,年均 1.8 处(6.30 hm²)、2.4 处(14.14 hm²)和 1.8 处(7.24 hm²)。四平、长春和延边受污染区面积呈增长趋势,年均增长率分别为 278.25%、94.08% 和 1.94%;吉林和通化污染面积 5 a 间呈减少趋势,年均减少率分别为 20.94% 和 14.17%。

3.4.3 不同矿种变化

金属矿是吉林省主要污染矿种,污染物多为尾矿废渣废水,污染对象为村庄、农田和水域。2019 年受污染区面积 413.86 hm²,比 2015 年减少 179.73 hm²,年均减少率约 7.57%。能源矿和非金属矿以粉尘污染居多,污染对象为村庄和农田。能源矿 2019 年受污染区面积 13.73 hm²,比 2015 年增加 13.73 hm²,受污染区面积呈增加趋势,年均增长率约 89.40%;非金属矿 2019 年受污染区面积 9.02 hm²,比 2015 年减少 32.33 hm²,年均减少率约 19.55%。

4 矿山生态修复监测结果与特征分析

2015—2019 年,吉林省矿山生态修复总面积呈逐年增加趋势,分别为 2 570.05 hm²、3 681.24 hm²、4 461.00 hm²、6 637.51 hm² 和 7 264.93 hm²,年均增长率约 45.67%。

4.1 不同行政区面积变化

2015—2019 年全省 9 个市州均实现了矿山生态修复面积的持续正增长。2019 年各市州矿山生态修复面积从大到小依次为:长春 1 437.45 hm²、松原 1 312.87 hm²、白城 1 280.41 hm²、延边 1 110.67 hm²、吉林 1 048.42 hm²、四平 423.55 hm²、通化 341.70 hm²、白山 251.80 hm² 和 辽源 58.06 hm²。相比于 2015 年,长春、松原和白城矿山生态修复面积增幅最大,分别为 944.15 hm²、830.46 hm² 和 820.98 hm²,其余修复面积增幅依次为延边 766.65 hm²、吉林 463.08 hm²、四平 373.0 hm²、通化 263.29 hm²、白山 195.25 hm² 和 辽源 37.42 hm²;四平、白山和通化修复面积年均增长率最快,分别为 186.99%、86.32% 和 83.95%,其余依次为延边 55.71%、长春 47.85%、辽源 45.32%、白城 44.67%、松原 43.04% 和 吉林 19.78%。

4.2 不同行政区面积比率变化

2015—2019 年吉林省矿山生态修复面积占矿业活动面积的比率分别为 9.73%、11.39%、11.90%、15.02% 和 14.81%,总体呈上升趋势,2019 年比 2018 年略有下降;各市州矿山生态修复面积比率均呈波动上升趋势(图 5)。

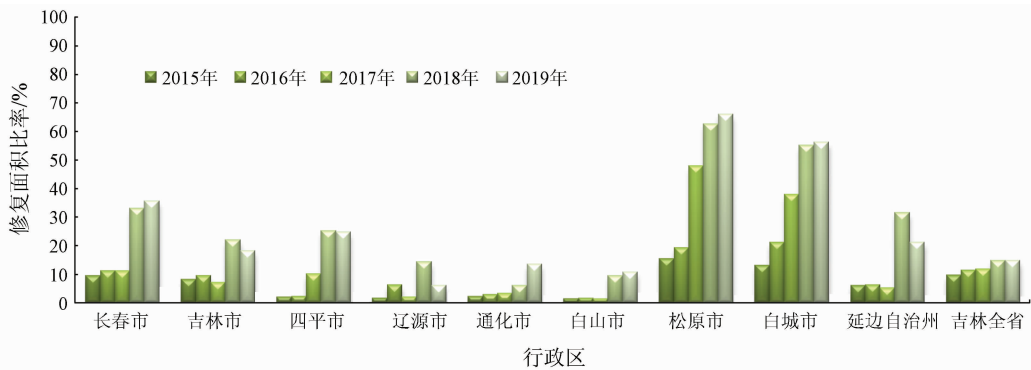


图 5 吉林省 2015—2019 年矿山生态修复面积比率变化统计柱状图

Fig. 5 Statistical histogram of changes in the ratio of mine ecological restoration area in Jilin Province during 2015 to 2019

从图 5 可以看出,5 a 间,松原、白城、长春的矿山生态修复面积比率较高,2019 年分别达到了 66.12%、56.16% 和 35.55%,在 2018 年和 2019 年这 2 a 中,长春、吉林、四平、松原、白城和延边的增长速度较快。这在一定程度上反映了各地方矿山生

态修复进展状况。

4.3 修复后不同地类面积变化

吉林省矿山生态修复后的地类以草地、耕地、林地和水利水域用地为主,2019 年其面积分别为 2 889.27 hm²、1 927.96 hm²、1 317.18 hm² 和

946.38 hm², 分别占生态修复总面积的 39.77%, 26.54%, 18.13% 和 13.13%, 其余地类依次为: 其他用地 128.32 hm²、园地 29.71 hm² 和公共设用地 26.09 hm², 分别占生态修复总面积的 1.77%, 0.41% 和 0.40%。2015—2019 年, 生态修复后面积增幅较大的地类为草地、耕地、林地和水利水域用地, 增幅分别为 1 907.61 hm², 1 141.24 hm², 975.48 hm² 和 565.04 hm²; 面积增长较快的地类为林地、公共设用地和草地, 年均增长率分别为 71.37%, 65.35% 和 48.58%。

5 结论与建议

5.1 结论

1) 利用 2015—2019 年国产高分辨率卫星遥感数据和多源信息资料对吉林省矿山地质环境及生态修复状况开展了遥感动态监测, 基本掌握了该省矿山开发压占土地资源、损毁土地资源、矿山地质灾害、矿山环境污染和矿山生态修复的现状及其变化趋势, 成果比较客观、准确, 取得了较好的卫星遥感监测应用效果, 可为该省深入推进山水林田湖草沙生态保护修复工程提供参考依据。

2) 监测年度内全省矿山开发压占土地资源面积逐年增加, 2019 年达 19 574.21 hm², 年均增长率约 16.60%; 主要开采矿种为建材及其他非金属、能源和黑色金属矿产, 占地类型以中转场地、固体废弃物为主, 矿山状态以废弃和界内开采居多, 压占面积最大地区是吉林和延边。全省矿山开发损毁土地资源面积也是逐年增加, 2019 年达 22 218.50 hm², 年均增长率约 20.96%; 主要开采矿种为建材及其他非金属和能源矿产, 占地类型以采场为主, 矿山状态以废弃居多, 压占面积最大的地区分布在延边、吉林和长春。

3) 监测年度内调查出的矿山地质灾害数量呈波动增长趋势, 以煤矿采空塌陷(坑)为主, 另有少量采石场崩塌和滑坡灾害, 灾害规模多为小型, 主要分布在吉林、延边、长春、通化和辽源。调查出的矿山环境污染源数量变化基本平稳, 污染区总面积整体呈下降趋势; 污染类型主要是粉尘和水体, 粉尘污染区面积呈较缓增长, 水体污染区面积逐年减少; 污染源集中在吉林和延边, 且延边污染区面积还在增长; 主要污染矿种为金属矿, 但近年来金属矿污染区面积有所减少, 能源矿污染区面积正在增加。

4) 监测年度内矿山生态修复面积逐年增加, 2019 年达 7 264.93 hm², 年均增长率约 45.67%。

全省 9 个市州均实现矿山生态修复面积的持续正增长, 长春、松原和白城修复面积增幅较大, 四平、白山和通化修复面积年均增长速度较快。修复后地类以草地、耕地、林地和水利水域用地为主, 近年来面积增幅也较大, 又以林地、公共设用地和草地增长速度最快。全省及各市州矿山生态修复面积占矿业活动总面积的比率均不太高, 2019 年全省比率为 14.81%, 只有松原和白城比率超过了 50%, 分别为 66.12% 和 56.16%, 辽源最低仅为 6.10%, 长春、吉林、四平、松原、白城和延边近 2 a 间修复面积比率增长较快。

5.2 存在问题及建议

1) 监测年度内全省矿山开发压占损毁土地资源总面积(压占面积 + 损毁面积)保持持续增长态势, 反映了当地政府在矿山地质环境监管保护力度上还有待进一步加强。损毁面积相对于压占面积的比例较大, 将给后续生态修复增加技术难度, 投入资金额度也会相应加大。

2) 矿山开发过程中产生了不少矿山地质灾害和矿山环境污染问题, 当地政府应加大对非法开采、乱采滥挖现象和环境污染破坏现象的执法力度, 加快推进绿色矿山建设, 实施科学、有序、合理开采, 实现矿山开发的环境生态化、开采科学化、资源利用高效化、管理信息化和矿区和谐化。

3) 矿山生态修复程度普遍比较低, 修复手段比较单一, 修复后生物结构多样性相对不高。当地政府应以山水林田湖草沙生态保护修复工程试点为契机, 将矿山生态修复与地质灾害防治、土地复垦、乡村振兴、城乡建设用地增减挂钩、全域综合整治等有机结合, 实现废弃、关闭矿山限期全部修复, 在建、生产矿山“边开采、边修复”的目标。

4) 加强多源多平台遥感技术的综合应用。充分利用高分辨率光学卫星数据, 必要时辅以无人机航摄, 以进一步提高矿山遥感监测数据精度, 获取矿区更为精确且详实的调查成果。适当运用雷达遥感技术, 加强采空塌陷、滑坡等矿山地质灾害(隐患)识别, 做好矿区防灾减灾工作。加大遥感监测频次, 对矿山环境肆意破坏现象实行“早发现、早处置、早修复”, 加快构建生态安全屏障, 深入推进生态文明建设。

参考文献(References):

[1] 王国才. 吉林省矿山生态环境问题防治对策研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2004: 5 - 15.
Wang G C. Countermeasures for prevention and control of mining ecological environment problems in Jilin Province [D]. Chang-

chun: Northeast Normal University,2004;5-15.

[2] 胡明忠,王小雨. 吉林省矿山生态环境防治对策研究[J]. 环境科学与管理,2006,31(3):132-134.

Hu R Z,Wang X Y. Study on prevention and control countermeasures of mine ecological environment in Jilin Province[J]. Environmental Science and Management,2006,31(3):132-134.

[3] 刘传深. 吉林省矿山地质环境综合研究[D]. 长春:吉林大学,2006:18-38.

Liu C S. Comprehensive study on the geological environment of mines in Jilin Province[D]. Changchun:Jilin University,2006:18-38.

[4] 陈力,赵彦宁,姚维斌. 吉林省不同类型矿山地质环境问题及恢复治理对策初探[J]. 地质与资源,2010,19(2):115-118.

Chen L,Zhao Y N,Yao W B. Geological environment problems of different types of mines in Jilin Province and countermeasures for restoration and treatment[J]. Geology and Resources,2010,19(2):115-118.

[5] 张志,杨金中,张高华,等. 生态文明视角下的湖北省东部矿山地质环境遥感调查与分析[J]. 中国地质调查,2016,3(5):21-27.

Zhang Z,Yang J Z,Zhang G H,et al. Remote sensing survey and analysis of mine geological environment in eastern Hubei Province from the perspective of ecological civilization[J]. China Geological Survey,2016,3(5):21-27.

[6] 杨金中,聂洪峰,荆青青. 初论全国矿山地质环境现状与存在问题[J]. 国土资源遥感. 2017,29(2):1-7. doi:10.6046/gtzyyg. 2017.02.01.

Yang J Z,Nie H F,Jing Q Q. Preliminary discussion on the current situation and existing problems of mining geological environment in China[J]. Remote Sensing for Land and Resources. 2017,29(2):1-7. doi:10.6046/gtzyyg. 2017.02.01.

[7] 王海庆,李丽,许文佳,等. 西藏生产矿山在用土地面积遥感调查与分析[J]. 矿产保护与利用,2019(5):146-150.

Wang H Q,Li L,Xu W J,et al. Remote sensing survey and analysis of land area in use of production mines in Tibet[J]. Mineral Protection and Utilization,2019(5):146-150.

[8] 高俊华,刘立,杨金中,等. 在建和生产矿山环境遥感监测图制作初探[J]. 地理空间信息,2020,18(6):70-72,7.

Gao J H,Liu L,Yang J Z,et al. Preliminary study on the method of making remote sensing monitoring map of mine environment under construction and production[J]. Geospatial Information,2020,18(6):70-72,7.

[9] 汪洁,殷亚秋,于航,等. 基于RS和GIS的浙江省矿山地质环境遥感监测[J]. 国土资源遥感,2020,32(1):232-236. doi:10.6046/gtzyyg. 2020.01.31.

Wang J,Yin Y Q,Yu H,et al. Remote sensing monitoring of mine geological environment in Zhejiang Province based on RS and GIS[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2020,32(1):232-236. doi:10.6046/gtzyyg. 2020.01.31.

[10] 姚维岭,荆青青,周英杰,等. 基于遥感动态监测的山东省矿山地质环境恢复治理典型模式分析[J]. 矿产勘查,2015,6(5):627-634.

Yao W L,Jing Q Q,Zhou Y J,et al. Analysis on typical model of mine geological environment restoration and management in Shandong Province based on remote sensing dynamic monitoring[J]. Mineral Exploration,2015,6(5):627-634.

[11] 王耿明,朱俊凤,朱鑫,等. 基于国产卫星的广东省矿山地质环境恢复治理遥感监测[J]. 地矿测绘,2017,33(2):4-7.

Wang G M,Zhu J F,Zhu X,et al. Remote sensing monitoring of mine geological environment restoration in Guangdong Province based on domestic satellite[J]. Geological and Mineral Mapping,2017,33(2):4-7.

[12] 耿娇娇,赵志芳,牛磊,等. 矿山生态恢复治理与矿山开发关系分析——以X省域为例[J]. 中国高科技,2020(15):156-158.

Geng J J,Zhao Z F,Niu L,et al. Analysis of the relationship between mine ecological restoration and mining development: Taking X Province as an example[J]. China High Technology,2020(15):156-158.

[13] 马世斌,李生辉,安萍,等. 青海省聚乎更煤矿区矿山地质环境遥感监测及质量评价[J]. 国土资源遥感,2015,27(2):139-145. doi:10.6046/gtzyyg. 2015.02.22.

Ma S B,Li S H,An P,et al. Remote sensing monitoring and quality evaluation of mine geological environment in Juhugeng coal mine area, Qinghai Province[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2015,27(2):139-145. doi:10.6046/gtzyyg. 2015.02.22.

[14] 高永志,郑卫政,初禹. 基于RS与GIS的黑龙江市矿山地质环境评价研究[J]. 地质与资源,2016,25(2):171-175.

Gao Y Z,Zheng W Z,Chu Y. Evaluation of mine geological environment in Heilongjiang Province based on RS and GIS[J]. Geology and Resources,2016,25(2):171-175.

[15] 赵玉灵. 基于层次分析法的矿山环境评价方法研究——以海南岛为例[J]. 国土资源遥感,2020,32(1):148-153. doi:10.6046/gtzyyg. 2020.01.20.

Zhao Y L. Research on mine environmental assessment method based on analytic hierarchy process: A case study of Hainan Island[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2020,32(1):148-153. doi:10.6046/gtzyyg. 2020.01.20.

[16] 高俊华,刘莎莎,杨金中,等. 基于遥感的露天煤矿集中区地质环境灰关联评价——以准格尔煤田为例[J]. 国土资源遥感,2021,33(1):183-190. doi:10.6046/gtzyyg. 2020006.

Gao J H,Liu S S,Yang J Z,et al. Remote sensing based grey correlation evaluation of geological environment in open pit coal mine concentration area: A case study of Zhungeer coalfield[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2021,33(1):183-190. doi:10.6046/gtzyyg. 2020006.

[17] 贾汝颖,薄桂秋. 吉林省矿产资源概况[J]. 中国地质,1987(9):25-26,28.

Jia R Y,Bo G Q. General situation of mineral resources in Jilin Province[J]. Geology of China,1987(9):25-26,28.

[18] 杨继红,王冬艳. 浅谈吉林省矿产资源利用与可持续发展[J]. 吉林地质,2010,29(2):161-164.

Yang J H,Wang D Y. Discussion on the utilization and sustainable development of mineral resources in Jilin Province[J]. Jilin Geology,2010,29(2):161-164.

Analysis on characteristics of mine geological environment and ecological restoration changes in Jilin Province based on dynamic remote sensing monitoring

GAO Junhua^{1,2}, ZOU Lianxue¹, LONG Huan¹, CHU Shuitao¹

(1. *Hunan Center of Natural Resources Affairs, Changsha 410004, China*; 2. *Hunan Key Laboratory of Remote Sensing of Ecological Environment in Dongting Lake Area, Changsha 410004, China*)

Abstract: This study aims to understand the variation trend of the geological environment and the ecological restoration prospect of mines in Jilin Province. Using the 2015—2019 high – resolution remote sensing data from a domestic satellite and other multi – source information, this study carried out the remote sensing – based dynamic monitoring of the geological environment and ecological restoration of mines in Jilin Province by means of automatic information extraction, human – machine interactive interpretation, in – door comprehensive research, and field surveys and verification. The analysis of the changes in the geological environment and ecological restoration of the mines based on the monitoring results allowed for basically ascertaining the current situations and variation trend of the occupation of land resources by mines, damage to land resources by mines, and the geological disasters, environmental pollution, and ecological restoration of mines in Jilin Province. The analysis results are objective and accurate, indicating good application results of remote sensing – based monitoring. The results of this study can provide references and bases for further promoting the ecological protection and restoration engineering of mountains, rivers, forests, lakes, grass, and sand in Jilin Province.

Keywords: remote sensing; mine development; mine geological environment; ecological restoration; dynamic monitoring

(责任编辑: 张 仙)