滇西北地区历史遗留废弃矿山生态修复遥感调查与监测*

胡官兵[1,2]，何思璇[2]，廖志坚[1]，蔡保新[3]，柴正交[3]，贺文[1]

（1.云南省地质技术信息中心， 云南 昆明 650051；
2.昆明理工大学 国土资源工程学院 云南 昆明 650031；
3.云南省地质环境监测院， 云南 昆明 650051）

摘要：常规矿山生态修复调查具有时间长、成本高、难于追溯过去等特点，存在一定的局限性，为快速、直观地获取区域内历史遗留废弃矿山的分布情况和修复进展，以滇西北为研究区，采用多时相遥感数据，总结区内历史遗留废弃矿山分析状态、矿山生态修复模式和具体修复措施等解译标志，进行详细解译分析，结合外业调查验证工作，摸清了区内历史遗留矿山图斑分布和后续矿山生态修复情况。结果表明，区内共有历史遗留矿山图斑3 060个，占损类型以采场和中转场地为主，占总图斑数量的81.8%，涉及矿种以非金属矿为主；矿山修复方面，完成修复治理的矿山图斑765个，面积约1 468 hm^2，修复方式以工程修复为主。调查研究成果可为废弃矿山调查与修复治理提供参考，也可为矿山生态修复规划、政策制定和矿山生态修复治理工作部署等提供重要数据支撑。

关键词：历史遗留废弃矿山；生态修复；遥感监测；时序分析；滇西北

中图分类号：TD167；X171.4　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1005-2763(2025)04-0189-07

Remote Sensing Investigation and Monitoring of Ecological Restoration of Historical Abandoned Mines in Northwest Yunnan

HU Guanbing[1,2], *HE Sixuan*[2], *LIAO Zhijian*[1], *CAI Baoxin*[3], *CHAI Zhengjiao*[3], *HE Wen*[1]

(1.Yunnan Center of Geological and Technical Information, Kunming, Yunnan 650051, China;
2.Faculty of Land and Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650031, China;
3.Yunnan Geological Environment Monitoring Institute, Kunming, Yunnan 650051, China)

Abstract: Conventional ecological restoration surveys in mines have the characteristics of long time, high cost, and difficulty in tracing the past, which have certain limitations. In order to quickly and intuitively obtain the distribution and restoration progress of historical abandoned mines in aimed region, taking northwest Yunnan as the research area, multi temporal remote sensing data was used to summarize the interpretation indicators of distribution in historical abandoned mines, mine ecological restoration models, and specific restoration measures in this area. Through conducting detailed interpretation and analysis and combining with field investigation and verification work, the distribution of historical abandoned mines in this area and the subsequent ecological restoration situation of mines were clarified. The results show that there are a total of 3 060 historical mining spots in this area, with mining and transfer sites as the main types of damage, accounting for 81.8% of the total number of spots. The involved minerals are mainly non-metallic minerals. In terms of mine restoration, 765 mining spots with an area of approximately 1 468 hectares have been repaired and treated, mainly through engineering restoration. The investigation and research results can provide a reference for the investigation and restoration of abandoned mines, as well as important data support for the planning, policy formulation, and deployment of mine ecological restoration and management work.

Key words: Historical abandoned mine, Ecological restoration, Remote sensing monitoring, Time series analysis, Northwest Yunnan

---

* **收稿日期**：2024-05-26

基金项目：云南省自然资源厅“云南省历史遗留矿山核查”项目(530000210000000021243)；自然资源部2024年度部省合作项目(2024ZRBSHZ095)

作者简介：胡官兵(1986—)，男，江西抚州人，硕士，高级工程师，主要研究方向为遥感地质与矿山环境遥感调查。E-mail：huguanbing@126.com

通信作者：何思璇(1992—)，女，四川广安人，硕士研究生，主要研究方向为自然资源GIS应用。E-mail：529905642@qq.com

0 引言

研究区位于云南省西北部迪庆州至丽江市一带,地处青藏高原东南缘和长江上游生态屏障区交汇处,是我国重要的生态安全屏障,地貌上处于青藏高原东南缘横断山脉南段,属高海拔地区,以高山、极高山深切割地貌为主。区内废弃矿山大多为露天开采的建材类非金属矿山,规模小,分布零散,且部分矿山废弃时间较长,道路通达情况差,野外难以到达,以上特殊的地形地貌、自然环境和矿山分布特点等,均给矿山占损与修复野外调查和监管带来很大的不便。因此,快速与直观地获取区内废弃矿山的分布和修复进展情况,为矿山生态修复规划、政策制定和项目工作部署安排等提供重要数据支撑,是矿山生态修复的重要工作内容。

遥感技术手段是由空间探测为主,不受地域、地形、气候等限制,能够全面、快速、客观、多周期地反映矿山环境情况,将该手段应用于矿山生态修复调查与监测领域,可以显著减少对野外地面调查的依赖,从而降低因野外作业可能产生的安全风险和对环境的干扰。此外,通过前期的遥感室内解译,可以预先有针对性地识别和提取关键问题,再进行相应的外业复核验证,可有效地增强工作预见,提高效率。同时利用多期遥感历史存档数据,对监测对象进行长时间序列的解译分析,可客观地反映矿山损毁与修复全过程情况。

随着卫星传感器技术的不断发展,高空间分辨率、高光谱分辨率以及雷达遥感数据等在国土空间生态修复工作中的应用越来越广泛,尤其是在矿山调查与修复监测方面,成效显著[1]。矿山开发占地与矿山环境遥感调查方面,自 2003 年起,有关单位采用不同类型遥感数据对全国矿山开发状况及矿山环境等进行遥感监测,并取得一系列重要成果[2-4]。殷亚秋等[5]利用 2016—2018 年高分辨率遥感影像,获取长江干流及主要支流沿岸一定范围内废弃露天矿山占用损毁土地分布情况。修晓龙[6]利用高分遥感数据获取 2018—2019 年山西省新增矿山开发损毁土地状况。强建华等[7]采用多种遥感数据,对矿山开发占用与损毁土地、矿山地质灾害、矿山环境污染等开展调查。在矿山生态修复遥感监测方面,孙娅琴等[8]总结了湖北省长江经济带废弃露天矿山景观再造模式等 5 种生态修复模式。高俊华等[9]利用多个年度国产高分辨率遥感数据完成了吉林省矿山地质环境及生态修复状况遥感动态监测。周围[10]利用国产资源三号卫星对露天矿山生态修复监测进行应用分析,成效较好。以上研究成果多基于矿山遥感数据对矿山环境破坏及修复开展分析研究,而对于历史遗留矿山的遥感调查与修复监测等尤其是对矿山修复模式、修复措施的细化分析和全过程监测方面的论述则相对较少。

基于以上研究,本文提取了研究区内历史遗留废弃矿山的遥感信息,重点分析了遥感技术手段在矿山生态修复监测中的具体应用,包括自然恢复、工程修复、转型利用等修复模式以及废弃构筑物拆除、废渣清运、土地平整与复绿等具体修复措施的遥感影像特征分析。同时,引入矿山开采与修复全生命周期理念,选取典型矿山,利用长时间序列遥感影像,分析该历史遗留矿山开采损毁的产生、规模扩大、关闭废弃、开展修复、完成修复等全过程的各阶段,以掌握区内历史遗留矿山分布与修复的详细情况,以期为类似的废弃矿山调查、矿山修复治理监测工作提供参考。

1 区域概况与遥感数据

研究区地处云南省西北迪庆州至丽江市一带,包括迪庆州、丽江市、怒江州、大理州等 4 个州市,西侧与西藏和缅甸接壤,东北侧与四川接邻。区内历史遗留矿山以开采砂石料为主,煤矿、金属矿次之,按照开采方式,又以露天开采为主,地下开采或联合开采较少,区域上主要分布于迪庆州香格里拉市、丽江市玉龙县、怒江州兰坪县、大理州洱源县与永平县等地。根据全国和云南省重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035 年),区内主要修复任务为因地制宜选择自然恢复、辅助再生、生态重建等修复方式,强化矿区生态植被保护,修复破碎山体,恢复矿区植被,改善水源涵养能力,提升生态系统质量和稳定性。

本研究选取了研究区范围内多期次空间分辨率优于 2.5 m 的卫星数据,主体以分辨率优于 1.0 m 的数据为主,局部难于获取的区域则采用 2.5 m 分辨率的遥感数据作为补充。影像类型以国产数据为主,包括高分系列(高分一号、高分二号、高分六号、高分七号)、资源卫星系列(资源一号 02D、资源一号 02E)和商业卫星系列(吉林一号、北京二号、北京三号)等。在矿山遥感时序分析中,部分年代较早的影像采用云南天地图提供的数据服务。数据处理包括

常规的正射校正、影像融合、增强处理等,并采用R(B1)、G(B2)、B(B3)波段组合形成真彩色遥感影像作为本次遥感解译与信息提取工作的底数据。

2 遥感信息提取

2.1 历史遗留矿山占损土地提取

2.1.1 废弃矿山遥感识别

按照地物属性,区内废弃矿山地物类型包括采面(采场)、中转场地、固体废弃物、矿山建筑等,在遥感影像上一般可以通过其形状、大小、颜色、纹理、阴影以及与周围环境的对比度等特征进行区分(见图1,颜色标识见电子版,下同)。其中露天采场多沿矿脉延伸方向展布,呈负地形,采面越陡,影像阴影特征就越明显,废弃采面色调呈灰白或灰黄色调,相比新鲜开采面偏暗,有杂乱的植被分布,且废弃时间越长,植被覆盖越多[11]。中转场地为采矿活动所形成的矿石堆、洗选场所,包括堆煤场、其他矿石堆、洗煤场、选矿场、选矿池等。遥感影像上堆煤场为明显的深黑色调,通常堆放整齐,且与道路相通;建筑石材类中转场地及其周边无设备或设备残缺、无作业工程车辆、无成品石料,或有少量的石料堆积等标志,与正在开采的矿山影像特征不同[12]。固体废弃物为各类矿山开采过程中所产生的尾矿或废渣,包括排土场、尾矿库、煤矸石堆、废石堆等。排土场一般分布于采场附近,规模较大,影像特征与矿石堆的影像特征相近,无植被覆盖。尾矿库多与金属矿山选矿相关,一般位于矿区附近的山谷处,形状如水库,但色调同水库相差较大。废石堆多与采场或采坑相伴而生,色调呈浅灰色或深色,形状似圆形或半圆形锥状堆积,植被稀少。矿山建筑一般位于矿区附近,周围有硐口、采面或者中转场地,影像上表现为单幢或有规则排列的建筑区域,建筑结构简单,顶棚覆盖面积大,常呈现工矿企业的影像特征[13]。

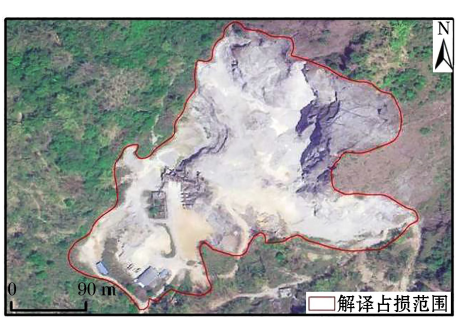


图1 废弃矿山遥感影像特征

Fig.1 Remote sensing image features of abandoned mines

此外,对于开采状态识别,通过对基准年度和监测年度两期影像的矿山开发占地数据进行解译,对比开采面、固体废弃物等图斑的变化,可判定该矿山在监测期内是否发生开采,同时结合采矿权等数据,对该矿山是否废弃等状态信息进行判识[13]。

2.1.2 历史遗留矿山图斑确定

根据全国历史遗留矿山核查要求,历史遗留矿山是指由政府承担治理恢复责任的废弃矿山,包括计划经济时期遗留的废弃矿山、责任人灭失或难以确定的废弃矿山、及因退出保护区或去产能等政策性原因关闭,且在政府作出关闭决定时明确由政府承担治理恢复责任的废弃矿山[14]。按照类型具体包括无法确认治理恢复责任主体的无主废弃矿山和由政府承担治理恢复责任的政策性关闭矿山两类,核查过程中,结合已有的图斑形成工作底数,对待核查图斑进行详细的室内解译与外业调查,确定矿山的废弃情况与修复责任,其中由政府承担责任的废弃矿山,经政府公告后将其认定为历史遗留矿山[15]。

2.2 矿山生态修复遥感监测分析

通过遥感监测,可对矿山不同的修复模式及修复过程中采取的具体修复措施进行详细分析。

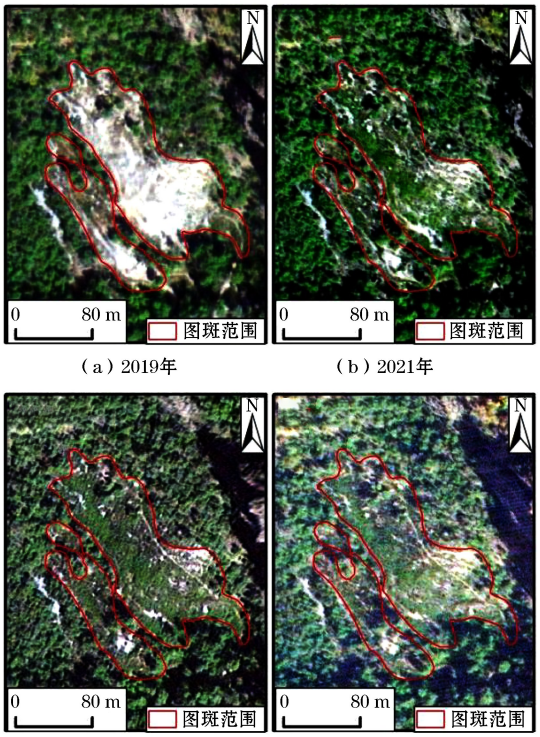
2.2.1 修复模式监测

历史遗留矿山生态修复方式有自然恢复、工程修复、转型利用等3种,各种修复方式的适用条件及人工干预程度不相同,在遥感影像上表现出的特征也不一样。

(1) 工程修复。工程修复是通过实施工程治理措施,使矿山地质环境达到稳定、损毁土地得到复垦利用、生态系统功能得到恢复或改善,包括消除矿山地质环境隐患、进行地貌重塑、土壤重构、植被重建等[16]。利用多期高分辨率遥感影像,在不同修复时期能够识别出相应的工程措施,包括削坡分台、废弃构筑物拆除、废渣清运、土地平整、排水系统修建等。

(2) 自然恢复。自然恢复是通过排除外界干扰,封闭场地、拆除废弃设施、适当补充植被种子等措施,依靠生态系统自我愈合能力,促进植被再生和生物群种恢复[17]。自然恢复多依靠生态系统自身力量进行自我恢复,植被的生长需要一定的水热条件,因此区内自然恢复矿山主要分布于河谷地带等水热条件较好的区域,植被能够较好地生长,修复地类以草地和林地为主。自然恢复是一个长期而复杂的过程,需对长时间的遥感影像进行分析,一般影像

上无工程修复迹象,且随着时间的推移,植被覆盖度逐步增大,直至与周边生态环境相协调(见图 2)。



(a) 2019年 (b) 2021年

(c) 2022年 (d) 2023年

图 2 历史遗留废弃矿山自然恢复遥感监测影像

Fig.2 Remote sensing monitoring images of historical abandoned mines for natural restoration

(3) 转型利用。该修复方式是依据国土空间规划确定的土地用途,将采矿占损土地转为农业用地,或转为城乡建设用地。区内转型利用图斑多为矿山建筑,其影像特征未发生变化,但用途由服务于采矿转向于服务工农业生产或城乡建设等,图斑地类也由采矿用地变更为农用设施用地、工业用地或商业用地等。此外,部分图斑遥感影像表现为由原有损毁转为新建相关建筑物或场地硬化等,无植被覆盖或种植少量的景观植被(见图 3)。



(a) 转型利用前 (b) 转型利用后

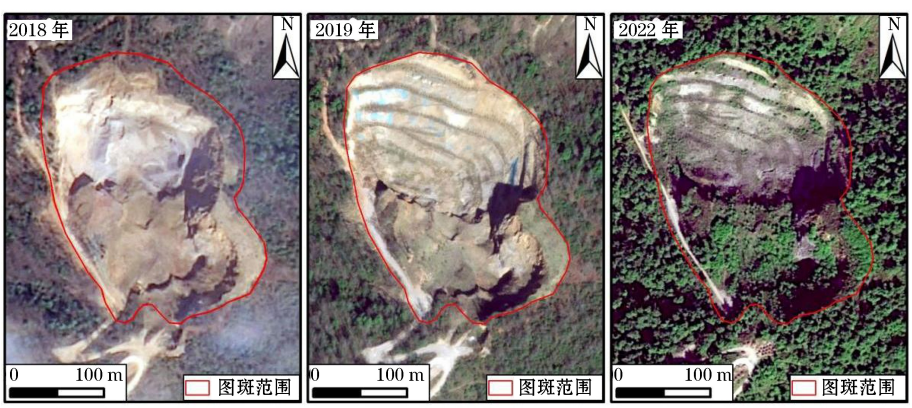
图 3 历史遗留废弃矿山转型利用前后的遥感影像

Fig.3 Remote sensing images of historical abandoned mines before and after transformational utilization

2.2.2 修复措施监测

矿山修复过程中,需根据不同的地质环境问题,采用相应的修复措施,具体包括地形地貌恢复治理、覆土平整、植被复绿及其他配套措施等,各种修复措施在遥感影像上具有各自的特点。

(1) 地形地貌恢复治理。区内历史遗留矿山以山体开挖为主,开采过程中的剥离挖损等行为造成土层、植被与岩石的损毁与破坏,使得原始地形地貌发生较大变动,同时部分矿山因受环境限制、经济效益及技术管理方面等因素的影响,造成开采不合理,如未严格按照分台开采等,导致矿山边坡坡度过大,造成山体岩石松动,易引发落石、垮塌等危害。修复过程中,需通过危岩清理、削坡放阶、挂网支护等措施进行修复。在遥感影像上,未分层开采的露天矿山通常具有较为混乱的地形特征,坡度无规则,没有明显的梯级结构,经采用危岩清理、削坡分台等措施修复后,边界轮廓清晰,边坡更加规则、平缓,表面光滑,部分矿山的平台区域植被恢复较好,但边坡区域难以恢复,使得影像上呈现绿黄相间的色调(见图 4)。

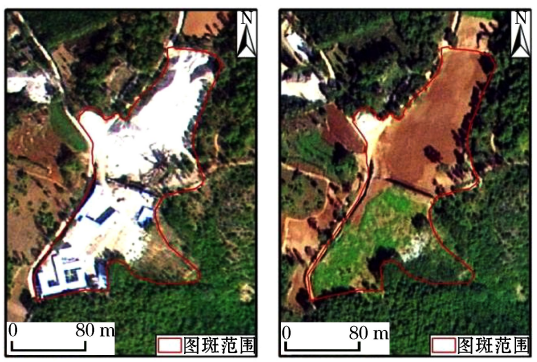


(a) 修复前 (b) 削坡放阶及植被种植后 (c) 植被绿化后

图 4 矿区削坡放阶与植被复绿前后的遥感影像

Fig.4 Remote sensing images of the mining area before and after slope cutting and vegetation re-greening

(2) 废弃构筑物拆除与废渣清运。部分废弃矿山中,场地还遗留有生产设备、临时建筑、成品石料和固体废弃物等,在修复过程中,需要对相关设备和建筑物或构筑物进行拆除,对堆积物进行清运。在遥感影像上,矿山生产设备、建筑物呈现较为规则的轮廓,经拆除和清运后,影像上原区域无相关设施和建筑物或构筑物,特征与周边裸露区域一致,无起伏特征(见图 5)。



(a) 修复前 (b) 修复后

图 5 矿区废弃建构筑物拆除与覆土平整前后的遥感影像

Fig.5 Remote sensing images of the mining area before and after the demolition of abandoned buildings and soil leveling

(3) 覆土平整。矿山开采后,地表因开采、堆积等造成地形起伏,在遥感影像上呈现为地表凹凸不平,部分地势较低区域因积水色调偏深。经过覆土平整后,影像上表现为地形平坦,大的起伏和坡度较少,地表更为平整和规则,同时可见新建截排水沟及调蓄池等。色调上多表现为土质的灰黄色,较为均匀一致,地表纹理会变得更为平滑,不同于修复前矿坑和废弃物堆积造成的粗糙纹理(见图 5)。

(4) 植被复绿。矿山开采中,开采面的挖损以及中转场地和固体废弃物堆积等均对原有植被造成破坏。在遥感影像上,未复绿的地表呈现基岩或裸土的灰白或灰黄色调,纹理较为粗糙。通过对植被修复,矿山修复区域通常呈现出植被的绿色或深绿色,没有明显的裸露土地或废石堆积的粗糙纹理,与周边生态环境相协调(见图 4)。

3 调查与监测结果分析

3.1 历史遗留矿山调查结果

根据历史遗留矿山核查结果,区内共有未治理历史遗留矿山图斑 3 060 个,占损面积约 4 594 hm^2,主要分布于大理州和丽江市等区域(见图 6)。按照矿种,区内历史遗留矿山以非金属矿为主,具体包括建筑石料用灰岩、建筑用砂、砖瓦用页岩等,图斑数量 2 260 个,能源矿与金属矿次之,图斑数量分别为 670 个和 130 个(见表 1)。按照图斑属性分类,又以采场为主,数量 2 002 个,占总图斑的比例为 65.42%。区内地质环境问题主要表现为地形地貌破坏、土地损毁及压占、植被破坏等。

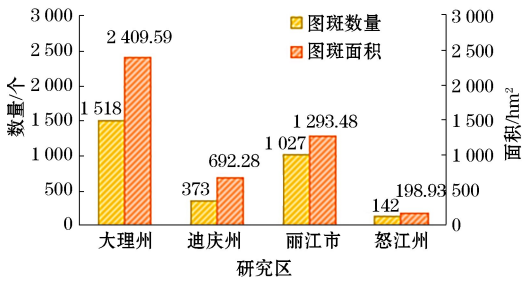


图 6 研究区各州市历史遗留矿山图斑数量和面积

Fig.6 The spot number and area of historical abandoned mines for each state and city in the research area

表 1 不同矿种及占地类型图斑数量统计

Table 1 Statistics of spot quantity by land occupation type and mineral type 个

矿种类型	采场	固体废弃物	矿山建筑	中转场地	其他
非金属矿	1 908	44	125	181	2
金属矿	63	30	16	17	4
能源矿	31	133	124	304	79
合计	2 002	207	265	502	84

3.2 矿山生态修复监测结果

“十四五”前后,区内先后部署了长江经济带废弃露天矿山修复治理工程和青藏高原南缘历史遗留矿山生态修复治理项目,按照国土空间规划要求,因地制宜对历史遗留矿山开展修复。根据历史遗留矿山图斑变更核查结果,截至 2023 年底,区内完成治理的共有 765 个图斑,面积约 1 468 hm^2。按照修复治理方式统计,以工程修复为主,完成修复的图斑有 607 个,面积约 1 325 hm^2,具体修复措施又以边坡危岩清理、覆土整平、植被恢复为主;其次为自然恢复,图斑 142 个,面积约 129 hm^2;完成转型利用的图斑 16 个,面积约 14 hm^2(见表 2)。

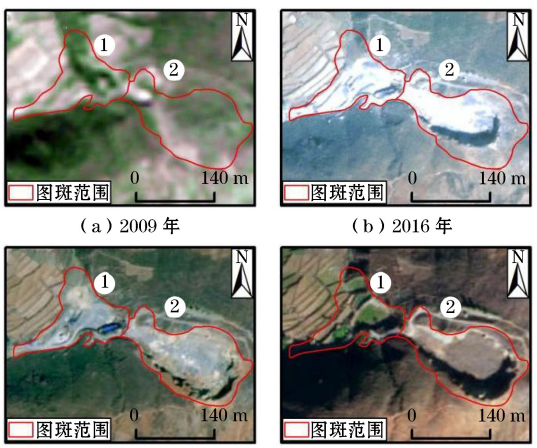
表 2 研究区各州市历史遗留矿山修复图斑数量

Table 2 Stop quantity of repaired historical abandoned mines for each state and city 个

研究区	工程修复	转型利用	自然恢复
大理州	109	15	93
迪庆州	134	0	0
丽江市	321	1	49
怒江州	43	0	0
合计	607	16	142

4 历史遗留矿山修复时序分析

各时期遥感影像可提供全面、连续、客观的矿山动态变化信息,利用长时间序列遥感数据对矿山以往开采及修复情况进行分析,可以揭示矿山开采至关闭修复全过程的现状和历史变化情况。如某露天矿山开采矿种为建筑石料用灰岩,该矿山于 2011 年设立,2018 年关闭并经公告后注销,2021 年核定为历史遗留矿山,在遥感影像上有 2 个图斑,其中 1 号图斑为矿山中转场地和矿山建筑区域,2 号图斑为采场区域。利用 2009 年至 2023 年的遥感影像对该矿山的土地损毁产生、规模扩大、停止开采、开展修复、完成修复等阶段全过程进行监测(见图 7)。



(a) 2009 年 (b) 2016 年

(c) 2018 年 (d) 2022 年

图 7 历史遗留矿山修复不同时期遥感影像

Fig.7 Remote sensing images of a historical abandoned mine in different periods of restoration

2009 年,该矿山尚未开采,遥感影像呈现植被的浅绿色调。2016 年,矿山影像上呈现正在开采状态,采面、中转场地、矿山建筑、固体废弃物等各要素均易识别,遥感解译得出土地占损面积约 2.34 hm^2。2018 年,该矿山占地继续扩大,表现为开采工作面向东南方向扩大以及西北侧的固体废弃物堆场也持续外扩,遥感解译得出土地占损面积约 3.21 hm^2。2019 年,该矿山已停止开采,矿山开发占地相比 2018 年未有变化,但影像上仍可见遗留下来的矿山建筑及场地内的开采设备。2020 年,该矿山开始进行修复治理,影像上可见部分区域已覆土平整。2022 年,该矿山基本完成修复治理,影像上表现为 1 号图斑,即在原中转场地区域,经拆除矿山建筑和硬化场地并客土平整后恢复为耕地;2 号图斑即采场,对危岩及零散石块进行了清理,并覆土整平和复绿,但局部区域呈黄白色调,反映修复效果偏差。根据外业调查和 2022 年度土地变更调查情况,1 号图斑区域已种植农作物,地类由采矿用地变更为耕地,2 号图斑区域种植了合欢、石楠和草本植物等,地类由采矿用地变更为其他林地,但部分陡峭边坡区域植被恢复效果偏差,仍呈现损毁状态(见图 8)。



图 8 历史遗留矿山修复后的外业调查照片

Fig.8 Field investigation photos of a historical abandoned mine after restoration

5 结论

(1) 通过室内遥感解译及外业调查验证,区内共有未治理历史遗留废弃矿山图斑 3 060 个,面积 4 594 hm^2,主要分布于大理州和丽江市,占损类型以非金属矿的采场及中转场地为主,主要地质环境问题包括地貌景观破坏、土地损毁及压占、植被破坏等,调查成果为后续矿山生态修复项目安排部署提供了基础数据。

(2) 利用多时相遥感数据对区内矿山生态修复方式和具体修复措施进行了详细分析,截至 2023 年底,区内共完成 765 座历史遗留矿山的修复治理,修复面积 1 468 hm^2,修复方式以工程修复为主,占历史遗留废弃矿山总数量的 79.35%,具体修复措施包括边坡危岩清理、覆土整平、植被恢复等,监测成果为矿山生态修复监管部门精细化管理提供了依据。

(3) 利用长时间序列遥感影像对矿山开采与修复进行全生命周期分析,可掌握历史遗留矿山开采损毁的产生、规模扩大、关闭废弃、修复、完成修复等全过程的各阶段情况,拓宽矿山生态修复监管思路,为监管部门提供全面、客观、连续的信息。

(4) 在监测过程中,部分已治理矿山在修复成效上尚存在一些问题,包括高陡边坡未治理、治理后因管护不到位或者后续重新损毁造成修复效果欠佳等。建议在现有工作基础上,逐一梳理,明确存在的问题,采取相应的措施并进行整改,以更好地提升区域内生态系统质量。

参考文献(References):

[1] 董元,汪金花,吴兵,等.基于高光谱遥感的露天矿分层识别[J].矿业研究与开发,2020,40(12):164-168.

DONG Yuan, WANG Jinhua, WU Bing, et al. Hierarchical recognition of open-pit mine based on hyperspectral remote sensing[J]. Mining Research and Development, 2020, 40(12):164-168.

[2] 杨金中,秦绪文,聂洪峰,等.全国重点矿区矿山遥感监测综合研究[J].中国地质调查,2015,2(4):24-30.
YANG Jinzhong, QIN Xuwen, NIE Hongfeng, et al. Comprehensive research on remote sensing monitoring of the national concentration zones of the important mine[J]. Geological Survey of China,2015,2(4):24-30.

[3] 杨金中,许文佳,姚维岭,等.全国采矿损毁土地分布与治理状况及存在问题[J].地学前缘,2021,28(4):83-89.
YANG Jinzhong, XU Wenjia, YAO Weiling, et al. Land destroyed by mining in China: damage distribution, rehabilitaion status and existing problems[J]. Earth Science Frontiers,2021,28(4):83-89.

[4] 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.
YANG Jinzhong, NIE Hongfeng, JING Qingqing. Preliminary analysis of mine geologic environment status and existing problems in China[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2017,29(2):1-7.

[5] 殷亚秋,杨金中,汪洁,等.长江经济带废弃矿山占损土地遥感调查与生态修复对策[J].国土资源遥感,2020,32(2):170-176.
YIN Yaqiu, YANG Jinzhong, WANG Jie, et al. Remote sensing survey of land occupied and damaged by abandoned mines along the Yangtze River Economic Belt and research on ecological remediation countermeasures[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2020,32(2):170-176.

[6] 修晓龙.山西省矿山开发新增损毁土地年度监测与分析[J].中国矿业,2022,31(2):59-64.
XIU Xiaolong. Annual monitoring and analysis of newly damaged land in mine development in Shanxi Province[J]. China Mining Magazine,2022,31(2):59-64.

[7] 强建华.遥感技术在新疆南部地区矿山环境调查及生态修复中的应用[J].西北地质,2021,54(3):253-258.
QIANG Jianhua. Application of remote sensing techniques in mine environment investigation and ecological restoration in southern Xinjiang[J]. Northwestern Geology,2021,54(3):253-258.

[8] 孙娅琴,邸宝刚,安娜,等.长江经济带废弃露天矿山生态修复典型模式遥感监测:以湖北省为例[J].中国矿业,2022,31(12):50-57+63.
SUN Yaqin, DI Baogang, AN Na, et al. Remote sensing monitoring of typical ecological restoration models of abandoned open-pit mines in the Yangtze River Economic Belt: a case study of Hubei Province[J]. China Mining Magazine,2022,31(12):50-57+63.

[9] 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 Junhua, ZOU Lianxue, LONG Huan, 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.

[10] 周围.资源三号03卫星在露天矿山生态修复监测中的应用[J].测绘与空间地理信息,2022,45(2):110-114.
ZHOU Wei. Application of ZY3-03 satellitedata in ecological restoration monitoring of open-pit mines[J]. Geomatics & Spatial Information Technology,2022,45(2):110-114.

[11] 魏东伟,谈树成,赵晓燕,等.云南省北部地区矿产资源规划监测研究[J].中国矿业,2018,27(5):19-27.
WEI Dongwei, TAN Shucheng, ZHAO Xiaoyan, et al. Study on the monitoring of the mineral resources planningin northern of Yunnan Province[J]. China Mining Magazine, 2018,27(5):19-27.

[12] 胡官兵,党伟,金梦迪,等.WV-3遥感数据在滇西矿产资源开发与地质灾害调查中的应用[J].地质学刊,2022,46(2):199-206.
HU Guanbing, DANG Wei, JIN Mengdi, et al. Application of WV-3 remote sensing data in mineral resources exploitation and geological disaster investigation in western Yunnan[J]. Journal of Geology,2022,46(2):199-206.

[13] 倪斌,黄照强,李祥强,等.广西贺州市里松-贺县地区矿山开发活动及矿山地质环境遥感监测[J].地质与勘探,2021,57(3):593-602.
NI Bin, HUANG Zhaoqiang, LI Xiangqiang, et al. Remote sensing monitoring of mining activities and mine geological environment in Lisong-Hexianarea, Hezhou City, Guangxi Province[J]. Geology and Exploration,2021,57(3):593-602.

[14] 李海兵,张永忠,梅金华,等.湖南省历史遗留矿山现状及生态修复对策[J].矿业研究与开发,2023,43(12):144-151.
LI Haibing, ZHANG Yongzhong, MEI Jinhua, et al. The status and ecological restoration countermeasures of historical mines in Hunan Province[J]. Mining Research and Development,2023,43(12):144-151.

[15] 杨金中,姚维岭,陈栋,等.历史遗留矿山核查方法研究[J].自然资源遥感,2022,34(3):10-16.
YANG Jinzhong, YAO Weiling, CHEN Dong, et al. A method for determining historically abandoned mines[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2022,34(3):10-16.

[16] 周静.市场化方式推进矿山生态修复的实施路径与思考[J].中国矿业,2022,31(7):61-64.
ZHOU Jing. Thinking and implementation approach of using market-oriented ways to promote the ecological restoration of mines[J].China Mining Magazine,2022,31(7):61-64.

[17] 郝鹏飞,李立军,张文强,等.吉林省历史遗留矿山调查研究及治理措施[J].吉林地质,2023,42(3):84-89.
HAO Pengfei, LI Lijun, ZHANG Wenqiang, et al. Investigation, research and management measures of historical legacy mines in Jilin Province[J]. Jilin Geology, 2023,42(3):84-89.