

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 02. 22

引用格式: 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 Y Q, Yang J Z, Wang J, 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.)

长江经济带废弃矿山占损土地遥感调查与生态修复对策

殷亚秋, 杨金中, 汪洁, 安娜, 姜 赟
(中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 长江经济带是我国的重要矿产资源基地,在矿产资源开发过程中引发的生态环境问题突出。为调查该区域废弃露天矿山占用损毁土地情况和研究生态环境修复对策,以 2016—2018 年国产高空间分辨率遥感影像为主要数据源,利用遥感解译和信息提取技术,获取长江经济带内距长江干流(包括金沙江四川、云南段,四川宜宾至入海口)及主要支流(包含岷江、沱江、赤水河、嘉陵江、乌江、清江、湘江、汉江、赣江)两岸 50 km 范围内废弃露天矿山的分布信息和 10 km 范围内与矿山相关的地质灾害和环境污染信息。调查结果表明,在距长江干流 5 km,10 km,15 km,30 km 和 50 km 范围内,废弃露天矿山占用损毁土地面积分别为 4 655.14 hm²,8 787.57 hm²,12 207.59 hm²,21 040.85 hm² 和 30 034.47 hm²;在距长江主要支流 5 km,10 km,15 km,30 km 和 50 km 范围内废弃露天矿山占用损毁土地面积分别为 5 080.04 hm²,8 644.25 hm²,12 345.53 hm²,21 290.29 hm² 和 33 491.49 hm²。基于遥感调查结果对距长江干流及主要支流两岸各 10 km 范围内的废弃露天矿山环境进行分析,结果表明,长江上游主要问题是露天开采导致的地质灾害;长江中下游金属类、化工原料类矿山引发的环境污染比较严重。结合目前矿山环境修复的先进技术,研究并提出了矿山生态环境修复的对策,即采用降坡削坡、加固稳定的方法消除废弃采场的崩塌隐患,根据坡度大小采用相应的复绿技术来防止水土流失;采用人工隔水层、人工增肥和微生物法进行土壤改良;引进耐受植物、微生物降解土壤中的有毒重金属;构建人工湿地进行水生态修复。调查结果和建议可为当地矿政管理部门开展废弃露天矿山生态环境修复工作提供科学依据和重要参考。

关键词: 长江经济带; 废弃露天矿山; 遥感; 生态修复

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2020)02-0170-07



0 引言

中共中央政治局于 2016 年 3 月 25 日审议通过的《长江经济带发展规划纲要》明确提出,长江经济带覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州 11 个省市,面积约为 205 万 km²,占全国面积的 21%,人口和经济总量超过全国的 40%,是具有全球影响力的内河经济带,是我国东中西互动合作的协调发展带,是沿海沿江沿边全面推进的对内对外开放带,是生态文明建设的先行示范带^[1-4]。2018 年 3 月 5 日,在第十二届全国人民代表大会第五次会议上,李克强总理在《政府工作报告》中指出要推进生态保护和建设,启动长江经济带重大生态修复工程,积累更多生态财富,构筑可持

续发展的绿色长城^[5-10]。

长江经济带是我国的重要矿产资源基地,中上游地区的有色金属、黑金属和非金属矿业在当地经济社会发展中占有较重要的地位,为我国资源保障起到了积极作用^[11]。但是,长江经济带区域生态功能区与矿产资源成矿带在空间上的高度重叠,导致了矿产资源开发过程中生态系统遭到严重破坏,矿山开发导致的重金属污染和矿区的地质灾害风险带来的人居安全问题十分突出。据统计,长江经济带矿区废水排放总量占全国排放量的比例达到 42%,乌江、清水江、岷江、沱江、湘江、洞庭湖等区域水体总磷污染严重,因矿业开发所带来的土地占用破坏面积,近 8 a 来在以近 8% 的速度增长^[6,12-14]。

近年来,遥感技术以其长时间、大范围、多时相覆盖的优势成为矿产资源开发状况监测的重要手

段^[15-16],为我国的矿政管理、绿色发展、生态修复工作提供了有力的技术支撑。国内不少学者采用遥感技术,对矿山的土地占损、环境污染以及生态修复等方面进行了调查和研究。查东平等^[17]利用6个时期的遥感影像研究了德兴铜矿生态环境20 a间的变化,结果表明德兴铜矿区域生态系统质量朝差的方向发展,建议防范矿山资源开发过多侵占耕地、林地和草地,对废弃矿区加大植被恢复力度,加强尾矿库管理,降低地质灾害风险,防止污染物扩散入河流;杨金中等^[18]利用全国土地变更调查遥感数据和重点区高分遥感数据完成了2014年全国矿山环境遥感监测,查明了全国(除港、澳、台、沪)陆域废弃矿山开发占地约98.25万hm²,已恢复治理矿面积约8.69万hm²,全国矿山开发占地面积持续增加,但恢复治理面积较小,废弃矿山的治理力度有待加强;陈书琳等^[19]对遥感技术在微生物复垦中的应用进行了研究,得出利用遥感技术可对复垦后的矿区进行实时、动态监测,2种技术相结合在土地复垦和生态环境修复中有巨大应用潜力。随着国家环境治理资金的加大投入和矿山生态修复技术的不断进步,我国的矿山生态环境修复近年来呈现了较快的发展态势,由被动的恢复型环境治理逐渐向发展型环境保护和开发方向转变。

查清长江经济带亟待修复的矿山数量和面积是进行生态修复的前提。本文以2016—2018年获取的国产高空间分辨率遥感数据为主要数据源,通过数据预处理、建立解译标志、目标解译和人机交互信息提取等步骤,获得长江经济带区域距长江干流及主要支流两岸各5 km,10 km,15 km,30 km和50 km范围内的废弃露天矿山的土地占用损毁情况;针对该区域的露天开采和联合开采的废弃矿山(统称为废弃露天矿山),对其矿山地质环境进行分析,对生态修复治理的对策进行研究,得出最终结论并提出治理建议。

1 研究区及其数据源

长江是中国第一大河流,其干流和主要支流流域是全国重要的水资源补给区和粮食供应地,也是生物多样性的基因库,对长江流域的矿山占地、环境污染情况进行调查和监测具有重要的现实意义。长江经济带呈多级阶梯地形,长江自西向东流经青藏高原、横断山区、云贵高原、四川盆地、武陵山区和长江中下游平原,年平均气温呈东高西低、南高北低的分布趋势,由于地域辽阔、地形复杂,年降水量分布不均。

本文研究区以长江经济带为界,涉及距长江干流(包括金沙江四川、云南段,四川宜宾至入海口)及主要支流(包含岷江、沱江、赤水河、嘉陵江、乌江、清江、湘江、汉江、赣江)两岸各5 km,10 km,15 km,30 km和50 km范围(图1)。

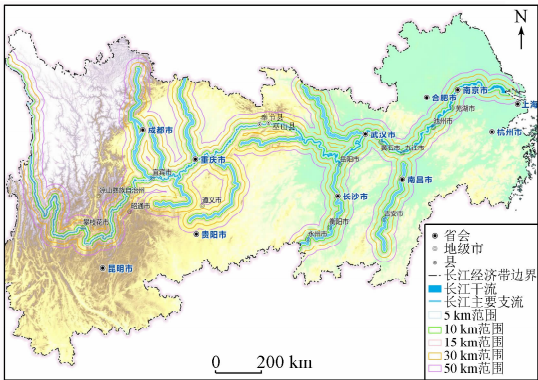


图1 研究区分布
Fig.1 Distribution of the study area

本文使用的遥感数据为2016—2018年全国土地变更遥感调查数据,对空间分辨率低于2.5 m的数据,利用当年的高分一号、高分二号、资源三号等国产高空间分辨率卫星数据进行替换和补充。对遥感数据进行辐射校正、几何纠正、影像融合等预处理,获得研究区的真彩色遥感影像。2017年江西省九江市内一处废弃露天矿山的高分一号真彩色合成影像如图2所示。



图2 废弃露天矿山高分一号真彩色遥感影像
Fig.2 GF-1 true color remote sensing image of the abandoned open-air mine

2 信息提取方法

在收集区域地质、矿产资源背景资料和矿业权、矿产开发规划等资料的基础上,建立废弃露天矿山遥感信息提取的技术流程(图3),进行相关信息提取。将废弃露天矿山占损土地类型分类5类,即采场、中转场地、固体废弃物、矿山建筑和塌陷地。进行野外踏勘,根据不同地物的影像特征建立解译标志;依据建立的解译标志,采用ArcGIS软件平台进行人机

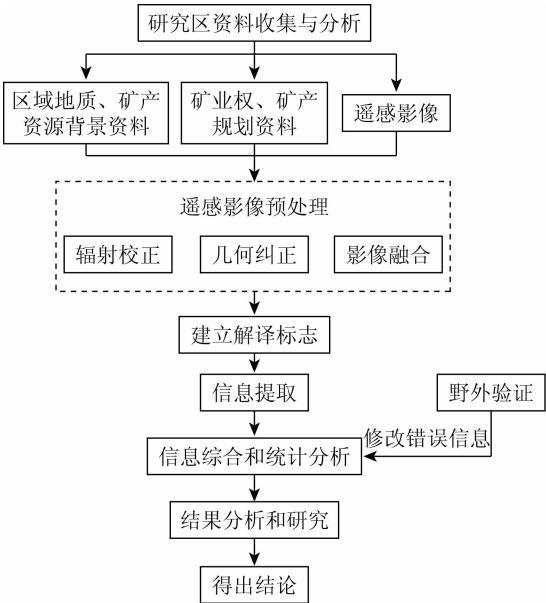


图 3 废弃露天矿山信息提取流程
Fig. 3 Flow chart of extraction for information of abandoned open – pit mines

交互解译,提取距长江干流及其主要支流两岸各 50 km 范围内的废弃露天矿山占损土地图斑和 10 km 范围内与矿山相关的地质灾害、环境污染信息。利用长江经济带内各省的矿权数据,结合 2016—2018 年的遥感影像变化信息,区分在建、生产矿山图斑和废弃矿山图斑;通过野外实地调查对室内解译成果进行验证。

3 废弃露天矿山占损土地情况

3.1 长江干流地区

距长江干流两岸各 5 km,10 km,15 km,30 km 和 50 km 范围内废弃露天矿山占用损毁土地面积分别为 4 655.14 hm²,8 787.57 hm²,12 207.59 hm²,21 040.85 hm² 和 30 034.47 hm²,具体统计数据如表 1 所示。上海和浙江在距干流 50 km 范围内没有废弃露天矿山。

表 1 长江干流废弃露天矿山占损土地统计 Tab.1 Statistics of land occupied and damaged by abandoned open – pit mines in the main stream of the Yangtze River (hm ²)					
地区	5 km 范围	10 km 范围	15 km 范围	30 km 范围	50 km 范围
江苏	291.63	1 187.99	2 338.67	4 177.33	5 191.20
安徽	194.08	731.11	1 306.16	2 536.47	4 132.27
江西	236.24	673.19	772.13	1 190.80	1 574.38
湖北	1 088.19	1 590.39	1 940.11	3 977.35	5 290.30
湖南	98.31	146.08	214.48	563.89	1 318.31
重庆	976.82	1 696.49	2 159.04	3 260.65	4 679.67
四川	893.59	1 283.77	1 526.01	1 966.55	2 281.69
贵州	0	0	0	12.18	18.18
云南	876.28	1 478.55	1 950.99	3 355.63	5 548.47
合计	4 655.14	8 787.57	12 207.59	21 040.85	30 034.47

统计距长江干流两岸各[0,5] km,(5,10] km,(10,15] km,(15,30] km,(30,50] km 范围内的废弃露天矿山占损土地情况,结果如图 4 所示。

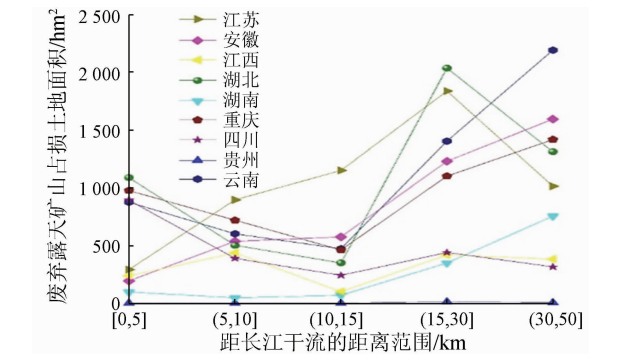


图 4 长江干流废弃露天矿山占用损毁土地分布
Fig. 4 Distribution of land occupied and damaged by abandoned open – pit mines in the main stream of the Yangtze River

从图 4 可以看出,在对长江水环境影响较大的距干流 5 km 范围内,湖北、重庆、四川和云南内废弃露天矿山面积较大(均在 800 hm² 以上)。在距干流(5,15] km 之间,江苏的废弃露天矿山面积较其他省份更为突出。湖北、江苏、云南、安徽和重庆在距干流(15,50] km 范围内废弃露天矿山的占损土地面积明显高于其他省份。湖南、江西和贵州在距干流 50 km 范围内,需要进行生态修复的废弃露天矿山占损面积相对较小。

3.2 长江支流地区

长江主要支流两岸各 5 km,10 km,15 km,30 km 和 50 km 范围内废弃露天矿山占用损毁土地面积分别共计 5 080.04 hm²,8 644.25 hm²,12 345.53 hm²,21 290.29 hm² 和 33 491.49 hm²,具体分省统计数据如表 2 所示。上海、江苏、浙江和安徽 4 省市在 50 km 范围内没有废弃露天矿山。

表 2 长江主要支流废弃露天矿山占损土地统计 Tab.2 Statistics of land occupied and destroyed by abandoned open – pit mines in the main tributaries of the Yangtze River (hm ²)					
地区	5 km 范围	10 km 范围	15 km 范围	30 km 范围	50 km 范围
江西	313.46	925.57	1 472.22	3 128.47	5 142.81
湖北	619.88	895.91	1 386.06	2 434.32	3 815.74
湖南	1 127.91	2 250.97	3 473.37	6 147.63	9 452.11
重庆	638.28	1 057.38	1 409.96	2 430.43	3 724.17
四川	1 855.27	2 474.40	3 053.94	4 236.79	5 543.02
贵州	453.87	860.89	1 186.44	2 287.64	4 881.63
云南	71.37	179.13	363.54	625.01	932.01
合计	5 080.04	8 644.25	12 345.53	21 290.29	33 491.49

统计距长江主要支流两岸各[0,5] km,(5,10] km,(10,15] km,(15,30] km,(30,50] km 范围的废弃

露天矿山占损土地情况,结果如图 5 所示。

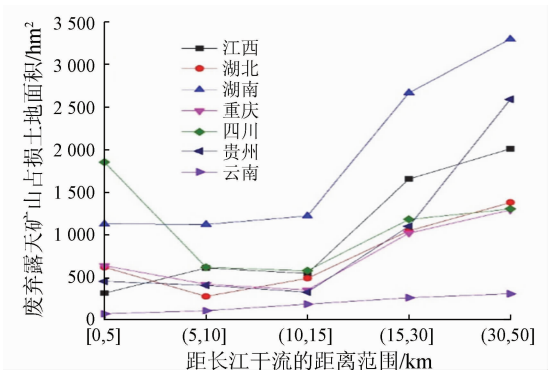


图 5 长江主要支流废弃露天矿山占用损毁土地分布
Fig. 5 Distribution of land occupied and damaged by abandoned open – pit mines in the main tributaries of the Yangtze River

从图 5 可以看出,距长江主要支流两岸 5 km 范围内四川和湖南的废弃露天矿山占损土地面积较大(在 1 000 hm² 以上),其中湖南的废弃露天矿山占损面积在 50 km 内均较为突出,都在 1 000 hm² 以上,四川在 5 km 范围内面积最大,为 1 855.27 hm²。江西、贵州在(15,50] km 范围内废弃露天矿山占损面积相对较高。云南在各个范围内都处于最低值。

4 废弃露天矿山环境影响和修复对策

4.1 废弃矿山环境影响

针对距长江干流及主要支流两岸各 10 km 范围内的影响较大的废弃露天矿山环境进行重点分析。废弃露天矿山的地质环境影响主要包括:①废弃露天矿山开采形成的采坑、采空区极易引发地质灾害,如崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等,对周边居民的生命财产安全构成威胁;②废弃露天矿山以往开采形成的碎石、矿渣、废水未经处理,对地表水、地下水、土壤和大气环境造成不同程度的污染,对生态环境和人体健康造成危害;③废弃露天矿山占用了土地资源,矿山开采对土地造成了扰动,天然植被遭砍伐,生态平衡受到严重破坏,生态系统已无法随着矿山开采活动的停止而自然恢复。

遥感调查表明,在距长江干流及其主要支流两岸各 10 km 范围内,长江上游的云南、重庆、贵州和四川的废弃露天矿山主要以铁、铜、铅等金属矿和建材类矿种为主。其中,云南涉及长江干流金沙江段和赤水河支流,废弃露天矿山主要为铜矿、铁矿、建筑石料用灰岩、石灰岩、建筑用砂和砖瓦用页岩。采空塌陷、泥石流、滑坡、崩塌等开矿引起的地质灾害和矿山环境污染问题多分布于昭通和昆明一带。宜宾是化工原料矿山聚集区,以往露天采矿、洗矿过程

中产生的废水和废渣持续危害环境和人类健康。重庆的矿产资源开发利用比较集中,渝北和渝西分布有煤成矿带,由此引发的采空塌陷存在较大隐患,其中干流的奉节和巫山是煤矿开采引起的采矿塌陷、滑坡和崩塌的灾害集中区,同时也是煤矿开采、洗煤引起的粉尘污染、水体污染严重区。贵州主要涉及乌江和赤水河流域,距江岸 10 km 范围内废弃露天矿山以铝土矿、铁矿、建筑石料用灰岩、石灰岩等为主。铝土矿、铁矿主要集中于遵义,该市联合开采引起的采空塌陷、露天开采引起的滑坡和崩塌较多,土壤污染问题较严重。四川水系众多,主要涉及金沙江、岷江和沱江,距江岸 10 km 范围内废弃露天矿山主要为铁、铜、铅等金属矿种,硫铁矿、磷矿等化工原料矿种,以及砖瓦用页岩、建筑用砂、页岩等建材类矿种。金属类矿山和化工原料矿种多集中于攀枝花和凉山黎族自治州,该区域是四川地质灾害的多发区,也是水体污染、土壤污染、大气污染严重区域。

对于长江中下游区域,江西、湖南分别属于赣江和湘江流域,在距长江干流和支流两岸各 10 km 的范围内,废弃露天矿山主要以煤、石煤能源矿种,锰、铁、铜、稀土等金属矿种,以及砖瓦用粘土、砖瓦用页岩、建筑石料用灰岩等建材类矿种为主。金属矿产开发导致的重金属污染问题多集中于江西的吉安、九江和湖南的永州、衡阳一带。湖南东南部的衡阳和岳阳还发育有煤炭资源,是采煤造成采空塌陷问题的聚集区。湖北省内水系发达,分布有长江、清江、和汉江,在距两岸 10 km 范围内废弃露天矿山的重金属铜矿、电石用灰岩和重晶石等化工原料矿种,以及建材类矿种较为集中。黄石是废弃露天铜矿聚集区,不仅是泥石流的多发区,也是污染严重区。长江下游的安徽在距长江干流和支流两岸各 10 km 范围内以铁、铜等金属废弃矿山和建筑石料用灰岩、砖瓦用粘土等建材废弃露天矿山为主,污染区集中于芜湖和池州。江苏内建筑石料用灰岩和建筑用砂最多,环境污染问题较轻。

4.2 生态修复对策研究

长江上游的云南、重庆、贵州、四川地区的地貌以山地、丘陵和高原为主,广泛发育着喀斯特地貌、河谷地貌和盆地地貌,位于板块交界处,是我国的地质灾害易发区。同时,受大气环流和地形影响,长江上游区域灾害性天气较多,矿业活动会进一步加剧地质灾害发育条件,极易引发崩塌、滑坡、泥石流。该区域的废弃露天矿山治理的重点是消除地灾隐患,防治水土流失,恢复矿区植被。长江中下游的江西、湖南、湖北、安徽、江苏、浙江、上海等 7 个省市地区,西部分布有山地、丘陵和岗地;东部多为平原,

主要由江汉平原、洞庭湖平原、鄱阳湖平原、皖苏沿江平原、里下河平原及长江三角洲平原组成。该区域整体属于亚热带湿润季风气候区,雨量充沛,水资源丰富,是我国重要的粮、油、棉生产基地。矿山开采的污水和废渣造成的长江中游区域的水体污染严重,影响到中下游区域的农田灌溉,进而影响了粮食生产安全,威胁了沿岸居民的身体健康。此外,下游区域大量建材矿山的开采造成的山体、植被破坏问题也较为严重。对于长江中下游区域,废弃露天矿山治理要以废渣治理、土壤改良、水资源修复为主,恢复矿区的生态系统,修复地形地貌景观。

对长江经济带废弃露天矿山的生态修复需要坚持尊重自然、顺应自然、保护自然的原则,根据不同的区域特点进行因地制宜、分类施策。要将消除地灾隐患、保障居民安全放到首位;其次,利用先进技术对废弃露天矿山的土壤、水质和植被 3 个方面进行生态修复;最后,在具备条件的区域,还要兼顾生态景观的建设。具体措施包括以下几个方面:

1) 消除地质灾害隐患。针对存在地灾隐患的采场进行边坡稳定治理,采用降坡削坡、加固稳定的方法消除崩塌隐患;对稳固处理后的边坡采用先进技术进行复绿,以防止水土流失^[20]。对坡度小于 30°的土质、卵砾石边坡或软岩质缓坡,可采用覆土绿化、生态草毯绿化的方法;30°~60°坡度的岩质或土质边坡,适用鱼鳞坑蓄土绿化、挂网喷播绿化和开凿平台绿化;对 60°~90°坡度的岩质边坡,可采用挡墙坡绿化、边坡钻孔绿化、生态袋绿化、开凿平台绿化和植生混凝土绿化方法^[21-22],其中开凿平台绿化适用于稳定性较好的岩质边坡,边坡钻孔法则适用于硬土质或风化程度较高的石质边坡。

2) 土壤修复。土壤退化是废弃露天矿山普遍存在的问题,因此土壤改良是生态修复的重要环节。可采用建设人工隔水层防止有毒元素下渗,异地取土进行土壤复绿。同时,辅助以土壤理化性质改良,可采用人工增肥改良法和微生物改良法。对于重金属污染的土壤,可采取种植重金属耐性植物、引进抗污染微生物菌种的方法来降解土壤中的有毒物质。

3) 水资源修复。对水资源的修复可采取构建人工湿地的方式,种植和引进耐受植物、微生物对水体污染进行去除,增加生物的多样性,实现生物群落的逐步恢复,提高湿地生态系统的生产力和自我维持能力。

研究区废弃露天矿山种类较多,生态环境情况复杂,具体实施中需要因地制宜、多措并举,防止二次污染和破坏,实现矿区生态环境的修复、重建与可持续发展。

5 结论与建议

本文以 2016—2018 年获取的国产高空间分辨率遥感数据为主要数据源,基于预处理后的遥感数据,通过建立解译标志、进行目标解译和人机交互信息提取,获得长江经济带内距长江干流(包括金沙江四川、云南段,四川宜宾至入海口)及主要支流(包含岷江、沱江、赤水河、嘉陵江、乌江、清江、湘江、汉江、赣江)两岸 50 km 范围内废弃露天矿山的分布信息和 10 km 范围内与矿山相关的地质灾害和环境污染信息。

1) 通过对废弃露天矿山占用损毁土地面积进行统计分析,得出在距离长江干流 5 km, 10 km, 15 km, 30 km 和 50 km 范围内,废弃露天矿山占用损毁土地面积分别为 4 655.14 hm², 8 787.57 hm², 12 207.59 hm², 21 040.85 hm² 和 30 034.47 hm²;在距离长江主要支流 5 km, 10 km, 15 km, 30 km 和 50 km 范围内,废弃露天矿山占用损毁的土地面积分别为 5 080.04 hm², 8 644.25 hm², 12 345.53 hm², 21 290.29 hm² 和 33 491.49 hm²。

2) 基于遥感调查结果对距长江干流及主要支流两岸各 10 km 范围内的废弃露天矿山环境进行分析,得出长江上游的云南、贵州、重庆和四川的主要问题是露天开采导致的地质灾害,长江中下游的江西、湖南、湖北和安徽的主要问题是金属类、化工原料类矿山引发的环境污染。因此,长江上游地区极易发生地质灾害,生态修复要把消除地灾隐患放在首位;而长江中下游区域主要解决环境污染问题。

3) 结合目前矿山环境修复的先进技术,提出了矿山生态环境修复的对策:采用降坡削坡、加固稳定的方法消除废弃采场的崩塌隐患,根据坡度大小采用相应的复绿技术来防治水土流失;采用人工隔水层、人工增肥和微生物法进行土壤改良;引进耐受植物、微生物降解土壤中的有毒重金属;构建人工湿地进行水生态修复。

参考文献(References):

- [1] 朱道才,任以胜,徐慧敏,等.长江经济带空间溢出效应时空分异[J].经济地理,2016,36(6):26-33.
Zhu D C, Ren Y S, Xu H M, et al. The spatial-temporal differentiation of spatial spillover effect in Yangtze River Economic Belt [J]. Economic Geography, 2016, 36(6): 26-33.
- [2] 肖庆文.长江经济带生态补偿机制深化研究[J].科学发展, 2019(5):74-85.
Xiao Q W. Deep research on ecological compensation mechanism of the Yangtze River Economic Belt [J]. Scientific Development, 2019

- (5):74-85.
- [3] 樊莉,文学虎,张璇.服务长江经济带绿色协调发展——四川局创新开展地理国情监测工作纪实[J].中国测绘,2018(6):37-40.
- Fan L, Wen X H, Zhang X. Serving the green coordinated development of the Yangtze River Economic Belt: The documentary of Sichuan Bureau's innovation and implementation of geographical situation monitoring[J]. China Surveying and Mapping, 2018(6): 37-40.
- [4] 殷岳,梅深.长江经济带发展上升为国家战略[J].水道港口,2016,37(2):134.
- Yin F, Mei S. The development of the Yangtze River Economic Belt has risen to the national strategy[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2016, 37(2): 134.
- [5] 陈建波.区域经济视角下三峡工程系统服务长江经济带科学发展研究[D].武汉:武汉大学,2017.
- Chen J B. Research on the scientific development of the Yangtze River Economic Belt serving the three gorges project from the perspective of regional economy[D]. Wuhan: Wuhan University, 2017.
- [6] 吴传清,黄磊.长江经济带绿色发展的难点与推进路径研究[J].南开学报(哲学社会科学版),2017(3):50-61.
- Wu C Q, Huang L. The difficulties and approaches of green development in the Yangtze River Economic Belt[J]. Nankai Journal (Philosophy, Literature and Social Science Edition), 2017(3): 50-61.
- [7] 李想,乌日娜,郭志起,等.长江经济带建设与林业发展关系分析[J].林业经济,2016,38(11):30-35.
- Li X, Wu R N, Guo Z Q, et al. Analysis on the relationship between Yangtze River Economic Belt and forestry development[J]. Forestry Economics, 2016(11): 30-35.
- [8] 李干杰.坚持走生态优先、绿色发展之路 扎实推进长江经济带生态环境保护工作[J].环境保护,2016,44(11):7-13.
- Li G J. Adhere to the ecological priority, green development and advance the Yangtze River Economic Belt of the ecological environment protection work[J]. Environmental Protection, 2016, 44(11): 7-13.
- [9] 周飞.湖北长江经济带小城市发展研究[D].武汉:华中师范大学,2014.
- Zhou F. Research on the development of small cities in the Yangtze River Economic Zone of Hubei Province[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2014.
- [10] 王钰,张一诺,张兴国.2017年两会政府工作报告中的林业生态看点[J].宁夏林业,2017(2):8-10.
- Wang Y, Zhang Y N, Zhang X G. Forestry ecology in the report on the work of the government of the two Sessions in 2017[J]. Ningxia Forestry Communication, 2017(2): 8-10.
- [11] 张玉韩,王步清,侯华丽.长江经济带矿业产业协调发展研究[J].中国矿业,2018,25(8):58-63.
- Zhang Y H, Wang B Q, Hou H L. Research on the mining industry coordinated development of the Yangtze River Economic Belt[J]. China Mining Magazine, 2018, 25(8): 58-63.
- [12] 刘立,高俊华,余德清.基于遥感的湖南省矿山占地监测与分析[J].地理空间信息,2019,17(1):41-46,11.
- Liu L, Gao J H, Yu D Q. Monitoring and analysis of mine land occupation in Hunan Province based on remote sensing[J]. Geospatial Information, 2019, 17(1): 41-46, 11.
- [13] 管青春,郝晋珉,王宏亮,等.经济转型视角下矿产资源城市生态敏感性评价[J].农业工程学报,2018,34(21):253-262,311.
- Guan Q C, Hao J M, Wang H L, et al. Evaluation of ecological sensitivity of mineral resources city under economic transformation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(21): 253-262, 311.
- [14] 唐荣彬,付梅臣,陈勇.控制采矿干扰扩散的生态关键地段识别研究——以大冶市为例[J].金属矿山,2018(3):161-167.
- Tang R B, Fu M C, Chen Y. Identification of ecological critical portion by controlling the diffusion of mining disturbance: A case of Daye City[J]. Metal Mine, 2018(3): 161-167.
- [15] 李国政.绿色发展视阈下矿山地质修复模式的升级与重塑[J].中国矿业大学学报(社会科学版),2019,21(3):92-104.
- Li G Z. Upgrading and reshaping of mine geological remediation mode from the perspective of green development[J]. Journal of China University of Mining and Technology (Social Sciences), 2019, 21(3): 92-104.
- [16] 张超,吕雅慧,郎文聚,等.土地整治遥感监测研究进展分析[J].农业机械学报,2019,50(1):1-22.
- Zhang C, Lyu Y H, Yun W J, et al. Analysis on research progress of remote sensing monitoring of land consolidation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2019, 50(1): 1-22.
- [17] 查东平,申展,刘足根,等.基于TM影像的德兴铜矿区生态环境变化[J].国土资源遥感,2015,27(4):109-114. doi:10.6046/gtzyyg.2015.04.17.
- Zha D P, Shen Z, Liu Z G, et al. Changes of ecological environment in the Dexing copper mine based on TM images[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(4): 109-114. doi:10.6046/gtzyyg.2015.04.17.
- [18] 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 analysis of mine geo-environment status and existing problems in China[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(2): 1-7. doi:10.6046/gtzyyg.2017.02.01.
- [19] 陈书琳,毕银丽.遥感技术在微生物复垦中的应用研究[J].国土资源遥感,2014,26(3):16-23. doi:10.6046/gtzyyg.2014.03.03.
- Chen S L, Bi Y L. Application of remote sensing technology to microbial reclamation[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(3): 16-23. doi:10.6046/gtzyyg.2014.03.03.
- [20] 刘海波.地质灾害治理工程施工中边坡稳定问题及滑坡治理方法[J].西部探矿工程,2015(8):5-7,9.
- Liu H B. Slope stability problem and landslide control method in construction of geological hazard control project[J]. West-China Exploration Engineering, 2015(8): 5-7, 9.
- [21] 罗祥明,王路.库区高陡边坡破坏模式机理与模拟研究[J].山西建筑,2018,44(3):78-80.
- Luo X M, Wang L. Along the high and steep slope rock mass mechanism analysis and control measures of the collapse[J]. Shanxi Architecture, 2018, 44(3): 78-80.

chitecture,2018,44(3):78-80.

[22] 付江涛,李光莹,虎啸天,等. 植物固土护坡效应的研究现状及发展趋势[J]. 工程地质学报,2014,22(6):1135-1146.

Fu J T,Li G Y,Hu X T, et al. Research status and development tendency of vegetation effects to soil reinforcement and slope stabilization[J]. Journal of Engineering Geology,2014,22(6):1135-1146.

Remote sensing survey of land occupied and damaged by abandoned mines along the Yangtze River Economic Belt and research on ecological remediation countermeasures

YIN Yaqiu, YANG Jinzhong, WANG Jie, AN Na, JIANG Yun

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The Yangtze River Economic Belt is an important mineral resource base in China. Ecological and environmental problems caused by mineral resources exploitation are outstanding. In order to survey the situation of the land occupied and damaged by abandoned open-pit mines in this area and study the ecological remediation countermeasures, based on the domestic high spatial resolution remote sensing images acquired in 2016—2018 as the main data source, the authors used the techniques of remote sensing interpretation and information extraction to obtain the distribution information of the land occupied and damaged by abandoned open-pit mines in the range 50 km on the both sides of the main channel of the Yangtze River, which included Jinsha River in Sichuan and Yunnan Province and Yangtze River from Yibin to the estuary and the main tributaries which included Minjiang River, Tuojiang River, Chishui River, Jialing River, Wujiang River, Qingjiang River, Xiangjiang River, Hanjiang River and Ganjiang River in the Yangtze River Economic Belt, and the geological hazard and environmental pollution information related to mining in the range of 10 km on the both sides of the river. The results show that in the range of 5 km, 10 km, 30 km, and 50 km from the main stream, the areas of the land occupied and damaged by abandoned open-pit mines are 4 655.14 hm², 8 787.57 hm², 12 207.59 hm², 21 040.85 hm² and 30 034.47 hm² respectively, and that for tributaries are 5 080.04 hm², 8 644.25 hm², 12 345.53 hm², 21 290.29 hm² and 33 491.49 hm² respectively. Based on the results of remote sensing survey, the authors analyzed the environment of the abandoned open-pit mines in the range of 10 km on the both sides of the Yangtze River main channel and main tributaries. The results show that the main problem in the upper reaches of the Yangtze River is that geological disasters caused by open mining and environmental pollution caused by metal and chemical raw material mines in the middle and lower reaches of the Yangtze River are quite serious. Combined with the advanced technology of mine environmental restoration, the authors put forward the countermeasures of mine ecological environmental restoration. Methods of slope reduction, slope cutting and slope reinforcement can be adopted to eliminate the hidden danger of collapse. Different green technologies can be used to prevent soil erosion according to the slope size. Artificial barrier layer, artificial fertilizer and microbial methods can be used for soil improvement. Toxic heavy metals in soil can be degraded by tolerant plants and microorganisms. Constructed wetlands can be built for water ecological restoration. The survey results and suggestions presented in this paper would provide the scientific bases and important references for the local mining administration on the ecological environmental remediation of the abandoned open-pit mines.

Keywords: Yangtze River Economic Belt; abandoned open-pit mine; remote sensing; ecological remediation
(责任编辑: 张 仙)