

doi: 10.6046/zrzyyg.2021429

引用格式: 刘小杨,汪洁,东启亮,等. 基于 3S 的安徽省煤矿采空塌陷区现状与治理对策研究[J]. 自然资源遥感,2023,35(1): 155-160. (Liu X Y, Wang J, Dong Q L, et al. A 3S-based study on the current status and countermeasures for the collapse of mined-out areas in Anhui Province[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(1): 155-160.)

基于 3S 的安徽省煤矿采空塌陷区现状与治理对策研究

刘小杨¹, 汪洁¹, 东启亮^{2,3}, 周英杰¹, 李丽¹, 于航¹

(1. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 河北省水文工程地质勘察院, 石家庄 050021; 3. 河北省遥感中心, 石家庄 050021)

摘要: 伴随着煤矿资源的大规模开发利用, 煤矿地质环境问题日趋严重, 现已成为经济社会发展的制约因素。为了查明安徽省煤矿采空塌陷区灾害现状、分析塌陷区变化趋势、总结安徽省采煤塌陷区的治理对策和方法, 主要以 2016—2017 年获取的安徽省国产高分卫星遥感影像数据为信息源, 采用 3S 技术手段开展遥感影像数据处理、解译、分析及野外调查等各项工作。研究得出如下结论: ①安徽省 2017 年矿山采空塌陷区总面积为 396.62 km², 占安徽省国土面积的 0.28%; ②矿山塌陷区面积及数量的增长速度相较往年有所减缓; ③提出了 1 套治理对策及 4 种治理方法。结果表明, 采用 3S 技术对安徽省开展矿山环境遥感监测获得的数据成果质量良好, 能够宏观、高效、准确地提取相关数据信息, 从而大大提高了矿山地质灾害治理的工作效率, 为今后煤矿塌陷区的恢复治理及可持续发展提供技术支持。

关键词: 遥感; 煤矿; 采空塌陷区

中图法分类号: 文献标志码: A 文章编号: 2097-035X(2023)01-0155-06

0 引言

安徽省是长三角的重要组成部分, 处于全国经济发展的战略要冲和国内几大经济板块的对接地带, 省内煤炭资源丰富, 含煤总面积达 1.8 万 km², 占省域面积的 12.9%^[1-2], 近年来, 安徽省利用煤炭资源优势更加融入长三角经济发展, 为承接东西经济对流, 推动经济快速发展, 做出巨大贡献。同时, 煤矿开采利用导致的地面塌陷, 破坏了大量的耕地、建筑、水系和道路, 部分区域甚至整座村庄被迫迁移, 当地居民苦不堪言, 严重影响了人民生活 and 周边环境^[3-5]。目前, 对煤矿采空塌陷区的治理是一个世界性难题, 各国积极开展研究和应用, 美、德、英等国起步较早, 现已有较为成熟的采煤塌陷区综合治理技术和研究经验^[6-9]。我国关于煤矿采空塌陷区治理研究始于 20 世纪 80 年代, 虽然积累了一定的技术成果和研究经验, 但由于地区差异、技术方法、经济效益、政策制度等诸多因素, 采煤塌陷问题一直没有得到有效控制, 且耗费了大量的人力物

力^[10-14]。

本文基于 3S 技术, 利用国产高分辨率遥感影像数据, 开展数据处理、遥感解译、成果分析及野外调查等工作, 查明安徽省采煤塌陷区灾害现状, 对塌陷区变化趋势进行分析和研究, 探寻一条高效绿色的采煤塌陷区综合治理途径, 对安徽省煤矿塌陷区综合治理具有重要的推动和参考意义。

1 工作区概况与数据源

1.1 工作区概况

安徽省位于中国东南部, 地处长江下游, 东邻沿海, 西接中原, 是我国南北之间和东西之间地区的过渡地带。地理范围介于 E114°54' ~ 119°37', N29°41' ~ 34°38' 之间, 辖境面积 14.01 万 km², 土地面积 13.94 万 km²。安徽省地处华北板块、扬子板块和大别造山带 3 个 I 级构造单元的接合部位, 各时代地层发育完整, 岩浆活动频繁, 多期次、多方向断裂发育, 区域变质作用和混合岩化作用范围广泛, 地质活动历史长, 地质作用复杂多样, 因此, 省内矿产资

收稿日期: 2021-12-13; 修订日期: 2022-08-02

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“全国矿产资源开发环境遥感监测”(编号: DD20160075)和“全国矿山环境恢复治理状况遥感地质调查与监测”(编号: DD20190705)共同资助。

第一作者: 刘小杨(1984-), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事矿山环境遥感监测及遥感地质应用方面的研究。Email: lxyhoney_73@163.com。

源非常丰富。现已探明储量的矿产有 67 种,煤、铁、铜、硫、磷、明矾、石灰岩等 38 种矿产储量居全国前 10 位,已探明煤炭储量 351 亿 t。

1.2 数据源

安徽省矿山地质环境状况信息解译和提取工作,使用 2016 年、2017 年度土地变更调查与监测遥感数据作为数据源,利用 BJ-2,GF-1,GF-2,SPOT6,SPOT7 及 ZY-3 等多源国产高分辨率卫星遥感影像开展矿山环境动态监测,主要数据详见表 1 所示。

表 1 遥感数据源参数表

Tab.1 Parameter table of remote sensing data source parameter

序号	主要数据类型	空间分辨率/m	覆盖面积比例/%
1	BJ-2	1	46.23
2	GF-1	2	1.26
3	GF-2	1	7.90
4	SPOT6	2	38.22
5	SPOT7	2	1.25
6	ZY-3	2	5.14

1.3 技术方法

本次工作基于 ArcGIS 平台,利用经正射影像纠正后的 2016—2017 年遥感数据,建立遥感解译标志,采用人机交互的方式开展矿山全要素遥感解译,通过全球定位系统(global positioning system, GPS)进行野外实地调查,验证解译成果,获取安徽省煤矿采空塌陷现状信息,分析塌陷区变化趋势,研究整理塌陷区综合治理对策及方法。

2 塌陷区现状

根据 2016—2017 年获取的安徽省国产卫星遥感影像数据,解译调查安徽省煤矿采空塌陷区 156 处,个别塌陷区跨越多个区县,涉及面积 396.62 km²,具体分布见图 1。安徽省塌陷区主要发生在煤矿开集中区,均由地下开采所致,集中分布于安徽省淮南市与淮北市。国营矿山与集(个)体矿山采矿方法的差异对地质灾害发育程度有很大关系,国营矿山

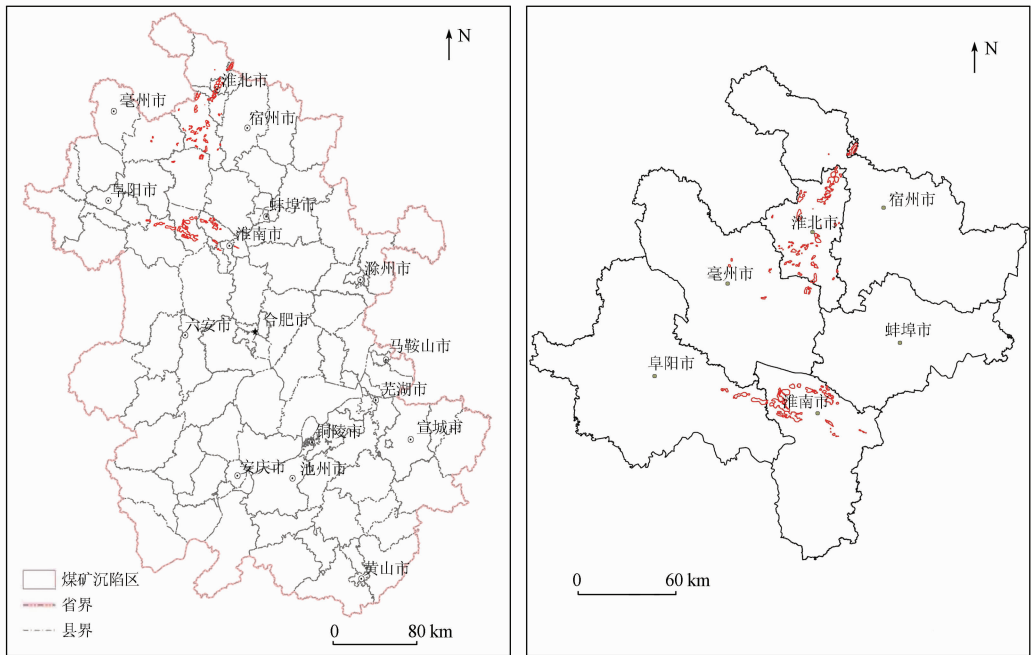


图 1 安徽省煤矿塌陷区分布图

Fig.1 Distribution map of coal mine subsidence areas in Anhui Province

所致塌陷多数均匀沉降、预见性强,村庄可提前搬迁,而集(个)体矿山所致塌陷多为波浪型或漏斗型,且塌陷规模不一,预见性差。塌陷区具有渐变影响持久、突发性、隐蔽性和多发性,造成的人员伤亡较多,经济损失巨大,且在矿山地质灾害中占有突出地位。

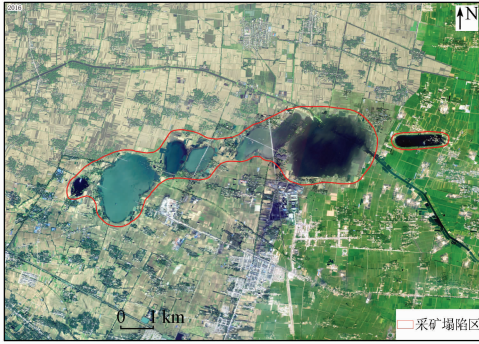
安徽省 2017 年存在 156 处采空塌陷区,主要分布于淮南市、淮北市,均为煤矿长期地下开采所致。省内塌陷区总面积达 396.62 km²,主要为塌陷群,

且塌陷区内伴有大量的积水塌陷坑,部分区域存在持续加剧塌陷的情况。采空塌陷危害特征上表现为:煤矿开采引发的大面积采空塌陷问题严重,尤其是人口密集地区的采空塌陷影响范围大、危害严重,往往对采空区上方的人民生活 and 工农业生产造成了巨大的影响,其中淮南市和淮北市均存在危害非常严重的地区,使得建筑损毁、迫使居民整体搬迁、造成了大量的土地荒废。

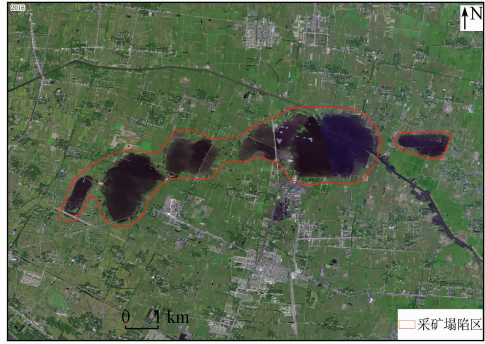
图 2 为阜阳市颍上县安徽国投新集刘庄矿业有

限公司附近的塌陷区遥感影像及野外照片。实地野外调查通往采空区的道路坑洼注受损严重,调查时可以看到塌陷积水区浸泡在水中受损的房屋、电

线杆等民用设施,积水较深的区域,当地部门已经设立了警示标志;塌陷区范围较大,周边有多个村庄已经整体迁移。



(a) 2016 年煤矿塌陷区遥感监测图



(b) 2017 年煤矿塌陷区遥感监测图



(c) 2017 年煤矿塌陷区野外实拍图 1



(d) 2017 年煤矿塌陷区野外实拍图 2

图 2 颍上县安徽国投新集刘庄矿业有限公司煤矿塌陷遥感监测及野外实拍图

Fig.2 Remote sensing monitoring and field photo of coal mine collapse of Anhui Guotou Xinji Liuzhuang Mining Co., Ltd. in Yingshang County

3 塌陷区变化趋势

安徽省特定的地质环境条件决定了地质灾害呈长期高发态势,加上矿业开采活动破坏了地表植被,造成水土流失,导致山区地质环境脆弱,以及长期的采矿活动遗留的大量采空区,形成了大量地质灾害隐患,采矿活动引发的采空塌陷在矿区普遍存在。

1) 矿山开发引起的地面塌陷、土地占用、植被破坏进一步加剧。省内采空塌陷主要是煤矿地下长期开采导致,国有大中型煤矿引起的采空塌陷规模多为大型的,塌陷面积多在 0.01 km² 以上;乡镇小煤矿多数开采国有大中型煤矿遗留的残次煤层,引起的采空塌陷规模多数为小型的。利用 2016—2017 年土地变更数据监测期间发现塌陷区面积仍在不断扩大,伴随着新的塌陷坑产生;而且矿山开发引起的土地占用、植被破坏进一步加剧,工作区内由矿业活动诱发的地面塌陷隐患进一步显现。

2) 由矿业活动诱发的采空塌陷增长速度有所缓解。在遥感信息提取及外业调查工作中发现:2015—2016 年安徽省塌陷区面积增长 24.35 km²,2016—2017 年省内矿山塌陷区面积增长 6.75 km²。

相较 2016 年增长情况,安徽省 2017 年塌陷区面积及数量有所减少,即采空塌陷增长速度与往年比相对减慢,分析其原因与国家近些年不断加强对矿山开发监管力度有密切关系。因此,在今后的矿业开发过程中,加大监管力度至关重要。塌陷区情况详见表 2。

表 2 安徽省 2015—2017 年采空塌陷情况统计表
Tab.2 Statistical table of gob collapse in Anhui Province from 2015 to 2017 (hm²)

地级市	县名	2017 年	2016 年	2015 年
蚌埠市	怀远县	—	6.84	—
	固镇县	68.61	93.76	73.10
	大通区	106.36	105.00	100.64
淮南市	谢家集区	647.89	801.36	796.90
	八公山区	882.99	584.24	586.39
	潘集区	4 828.13	4 886.21	4 507.84
淮北市	凤台县	10 752.87	10 661.05	10 321.95
	杜集区	5 150.24	4 657.99	4 450.60
	相山区	527.98	820.61	688.02
	烈山区	1 498.82	1 398.75	1 360.81
阜阳市	濉溪县	5 938.85	5 972.41	5 077.67
	颍东区	316.84	257.62	203.66
宿州市	颍上县	3 406.48	3 296.49	3 116.93
	埇桥区	4 447.51	4 201.72	4 094.05
亳州市	萧县	17.23	89.14	94.70
	涡阳县	306.09	306.09	296.70
	蒙城县	764.62	847.27	781.25
合计		39 661.51	38 986.55	36 551.21

4 治理对策和方法

安徽省煤矿塌陷主要是由于采空区的扩展,顶板冒落随时形成,顶板破坏传递到地表,形成地面塌陷,采空区的不断扩展,使塌陷的范围和程度也不断扩大、增强。受气候变化、地形地貌、岩土体类型及采矿活动的影响,矿区地面塌陷灾害点多、频次高发、分布广、面积大,对土地造成较为严重的破坏。因此,需要结合区域内地质构造特征及气候变化条件等多学科角度,研究矿山采空塌陷区综合治理对策,寻求区域减灾有效措施。

4.1 治理对策

坚持以人为本,预防为主,可持续发展的原则^[15]。从实际出发按照煤矿开采区分布情况及采矿权范围或地下开采范围,基于获取的最新遥感影像,结合野外实地调查情况,根据沉陷程度划分不同治理区域,使预防和治理进行不同侧重。对于人为因素诱发的地质灾害,在进行防治时,按照“谁诱发谁治理”的原则;对于自然因素诱发的地质灾害,按照“谁受威胁,谁出资治理”的原则^[16-18]。在治理过程中,需遵循可持续发展的原则,以保证当地经济发展和生态环境修复相一致。

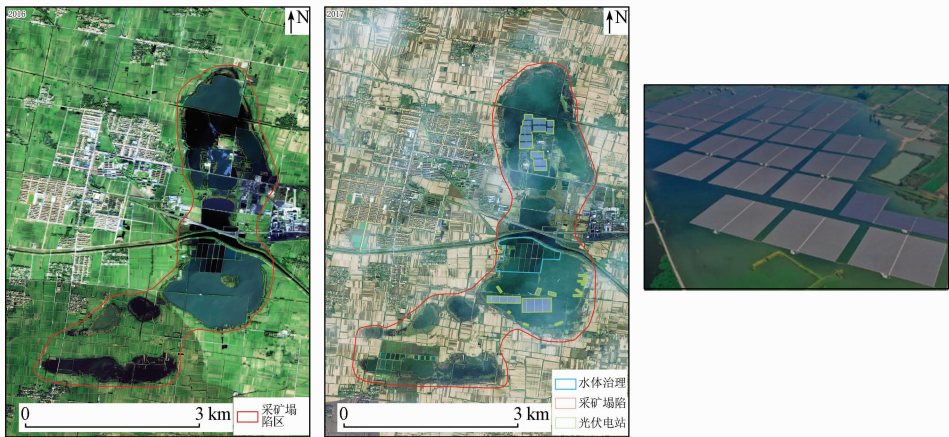
4.2 治理方法

1) 中浅部采空塌陷区采取回填方式。通过对

矿区地下采空塌陷程度相对较低,地表未积水的区域,采取回填压实的方式开展灾害治理,利用泥土和废石填充塌陷区,使地表基本恢复原形,消除安全隐患,成为可种植的耕地或林地。回填过程中,铲车在开展回填作业前应先平整道路,铲去活动矸石;施工过程中,须有工作人员指挥看管,并仔细观察塌陷区周边情况,避免由于大面积塌陷导致人员、车辆滑落进塌陷区内造成伤亡;同时,在回填过程中需考虑地下水对施工条件的影响。

2) 矿区井硐封堵。在野外实地调查中发现,一些废弃采煤矿山内仍有部分井硐未及时进行封堵,致使当地的居民或私有小型企业擅自开采国有大中型煤矿遗留的残次浅煤层,由于此举未经任何安全风险评估和论证,因此,存在较大安全隐患并可能诱发严重的采空塌陷,需及时对废弃矿区井硐进行封堵,并在封闭井硐口 1.5 ~ 2 m 处设置围栏及警示牌,防止车辆或其他重型机械碾压^[19],出现安全事故。

3) 深层塌陷积水区治理。由于回填成本过高,考虑到现实治理难度及治理后的应用效果,对于地面大范围塌陷后积水严重,以及经多次反复治理后依然严重塌陷的区域,可通过水面建光伏电站,水下进行人工水产养殖的方式,实现绿色能源发展、水体治理及当地经济发展等多效并进的综合治理目标,如图 3。



(a) 2016 年煤矿塌陷区遥感监测 (b) 2017 年煤矿塌陷区遥感监测 (c) 实地查验光伏电站

图 3 煤矿塌陷区治理对比图

Fig. 3 Comparison diagram of coal mine subsidence area treatment

4) 矿山灾害易发区重点监测。在安全合理的监测区布设监测设备,利用科学的监测方法,对灾害易发区地面形变进行重点监测,针对附近人口密集区域和对人民生命财产安全威胁较大的塌陷区进行长期稳定性监测。

5 结论

对煤矿塌陷区恢复治理的研究是一个涉及多学科门类的地质问题,本文利用 2016—2017 年获取的国产高分卫星数据对安徽省开展煤矿沉陷区遥感监

测,查明矿山采空沉陷区现状,通过对沉陷区危害特征及变化趋势分析,总结出安徽省采煤沉陷区的治理对策及方法,为今后煤矿沉陷区的恢复治理及可持续发展提供参考和科学依据。具体结论如下:

1)安徽省煤矿采空沉陷问题严重,2017 年全省矿山采空沉陷区总面积达 396.62 km²,占安徽省国土面积的 0.28%。

2)安徽省内矿区总体塌陷面积仍在不断扩大,但对比近年省内采煤塌陷区增长速度,2017 年安徽省矿山塌陷区面积及数量相对减缓,主要原因与国家近年不断加强对矿山开发监管力度有密切关系。

3)安徽省煤矿开采引发的大面积采空塌陷问题严重,尤其是人口密集地区的采空塌陷影响范围大、危害严重,甚至迫使有些村庄整体迁移。其中淮南市和淮北市均存在危害非常严重的地区,使得建筑损毁、迫使居民搬迁、造成了大量土地荒废。

4)通过对安徽省煤矿采空塌陷区灾害现状及发展趋势分析,提出遵循煤矿灾害区实际塌陷程度,针对性地研究制定综合治理对策和方法,并在治理过程中表明注意事项,为今后采空塌陷区的综合治理提供依据和参考。

5)本文基于多期遥感影像,采用 3S 技术手段,对安徽省开展矿山环境遥感监测。通过 GPS 野外实地查验,证明对采空塌陷区的识别比较准确,能够宏观、高效、准确地提取相关信息^[20],从而大大提高了矿山地质灾害治理工作效率,为今后开展矿山地质灾害分析预测及矿山环境恢复治理提供技术保障和决策支撑。

参考文献 (References):

- [1] 类磊. 煤矿采空区沉陷引发的地质灾害综合治理——以孝义采煤沉陷区为例[J]. 华北自然资源,2020(4):80-81.
Lei L. Comprehensive treatment of geological disasters caused by subsidence of goaf in coal mine; Taking Xiaoyi coal mining subsidence area as an example[J]. Huabei Natural Resources,2020(4):80-81.
- [2] 马艳有. 煤矿采空区塌陷地系统分类与开发利用模式匹配[D]. 保定:河北农业大学,2020.
Ma Y Y. Systematic classification and development and utilization pattern matching of subsidence land in coal mine goaf[D]. Baoding: Hebei Agricultural University,2020.
- [3] 毕卫华,钱锴珺,王辉,等. 基于 RSEI 的采煤塌陷积水对生态环境的影响研究[J]. 中国矿业,2021(12):38-44.
Bi W H, Qian Z J, Wang H, et al. Study on the impact of coal mining subsidence ponding on ecological environment based on RSEI [J]. China Mining Magazine,2021,30(12):38-44.
- [4] 朱兴沛,张亮,朱乾坤,等. 采煤塌陷新生湿地生态保护与修复措施研究——以沛县安国湖国家湿地公园为例[J]. 通化师范学院学报,2022(4):6-14.

- Zhu X P, Zhang L, Zhu Q K, et al. Study on ecological protection and restoration measures of coal mining subsidence nascent wetland – Taking Anguo Lake national wetland park in Peixian County as an example [J]. Journal of Tonghua Normal University,2020(4):6-14.
- [5] 海如拉·热合曼. 煤矿采空区地表塌陷的预测分析[J]. 华北自然资源,2021(4):112-113.
Hairula R H M. Prediction and analysis of surface collapse in goaf [J]. Huabei Natural Resources,2021(4):112-113.
- [6] 田雅璠. 煤矿塌陷区对生态环境的影响及综合治理措施[J]. 建设标准化,2021(10):20-22.
Tian Y F. Influence of coal mine subsidence area on ecological environment and comprehensive control measures [J]. Construction Standardization,2021(10):20-22.
- [7] 刘朝华. 治理煤矿塌陷区,发展生态农业[J]. 农业开发与装备,2021(9):32-33.
Liu C H. Harnessing coal mine subsidence areas and developing ecological agriculture [J]. Agricultural Development and Equipment,2021(9):32-33.
- [8] Nishant K, Lal C, R. E. Reclamation of overburden and lowland in coal mining area with fly ash and selective plantation: A sustainable ecological approach [J]. Ecological Engineering,2014(71):479-489.
- [9] Jay S, Gregory S A. Optimal hardwood tree planting and forest reclamation policy on reclaimed surface mine lands in the appalachian coal region [J]. Resources Policy,2013(38):1-7.
- [10] 诸葛雷,王其雷,宋宗超. 山东省采煤塌陷地综合治理模式研究[J]. 山东煤炭科技,2015(4):166-167,169.
Zhu G L, Wang Q L, Song Z C. Study on comprehensive control mode of coal mining subsidence in Shandong Province [J]. Shandong Coal Technology,2015(4):166-167,169.
- [11] 张磊. 安徽:煤炭资源优势转化为经济优势. [EB/OL] (2013-10-08) <https://www.china5e.com/news/news-847945-1.html>.
Zhang L. AnHui: Transformation of coal resource advantages into economic advantages. [EB/OL] (2013-10-08) <https://www.china5e.com/news/news-847945-1.html>.
- [12] 朱省峰. 安徽省淮北市煤矿采空塌陷现状与治理对策分析[J]. 安徽地质,2009,3(1):74-77.
ZHU X F. Current situation and treatment measure analysis of mining collapses in coal mines in Huaibei City, Anhui Province [J]. Anhui Geology, 2009,3(1):74-77.
- [13] 边海清. 煤矿区地质灾害风险评价及防治对策研究——以榆神矿区为例[D]. 西安:西安科技大学,2017.
Bian H Q. Study on risk assessment and control measures of geological hazards – A case study taking Yushen mining area [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology,2017.
- [14] 杨显华,黄洁,田里,等. 矿山遥感监测在采空区稳定性分析中的应用[J]. 国土资源遥感,2018,30(3):143-150. doi:10.6046/gtzyyg.2018.03.20.
Yang X H, Huang J, Tian L, et al. Application of mine remote sensing monitoring to analysis of mine goaf stability [J]. Remote Sensing for Land and Resources,2018,30(3):143-150. doi:10.6046/gtzyyg.2018.03.20.
- [15] 尹伶俐,张芹芹. 煤矿塌陷区的治理对策分析[J]. 绿色科技,

- 2011(1):93-94.
- Yin L L, Zhang Q Q. Analysis of countermeasures of coal mine collapse areas[J]. Journal of Green Science and Technology, 2011(1):93-94.
- [16] 张复明. 矿产开发负效应与资源生态环境补偿机制研究[J]. 中国工业经济, 2009(12):5-15.
- Zhang F M. Study on the negative effects of mineral exploitation and the compensation mechanism of resources and ecological environment[J]. China's Industrial Economy, 2009(12):5-15.
- [17] 宋晓慧. 采煤塌陷区综合治理模式研究—以菏泽市为例[D]. 济南:山东财经大学, 2017.
- Song X H. The research on comprehensive management mode of coal mining subsidence area: A case study of Heze City[D]. Jinan: Shandong University of Finance and Economics, 2017.
- [18] 祝国军. 淮北平原煤矿塌陷区的综合开发[J]. 国土与自然资源研究, 1993, 2(2):10-13.
- Zhu G J. Comprehensive development of coal mine subsidence area in Huaibei plain[J]. Land and Natural Resources Research, 1993, 2(2):10-13.
- [19] 王志强. 煤矿采空塌陷易发性分析及其防范——以广德县长广煤矿为例[J]. 西部探矿工程, 2020(9):4-6.
- Wang Z Q. Analysis and prevention of coal mine goaf collapse—Take the Changguang coal mine in Guangde County[J]. Western Prospecting Project, 2020(9):4-6.
- [20] 王海庆, 杨金中, 陈玲, 等. 采煤沉陷区恢复治理状况遥感调查[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(3):156-162. doi:10.6046/gtzyyg. 2017.03.23.
- Wang H Q, Yang J Z, Chen L, et al. Remote sensing investigation of restoration and management situation in coal mine subsidence areas[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(3):156-162. doi:10.6046/gtzyyg. 2017.03.23.

A 3S – based study on the current status and countermeasures for the collapse of mined – out areas in Anhui Province

LIU Xiaoyang¹, WANG Jie¹, DONG Qilang^{2,3}, ZHOU Yingjie¹, LI Li¹, YU Hang¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China; 2. Hebei Hydrological Engineering Geological Survey Institute, Shijiazhuang 050021, China; 3. Hebei Remote Sensing Center, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: With the large – scale exploitation and utilization of coal resources, the geological environmental problems of coal mines have been increasingly severe, thus restricting social and economic development. This study aims to ascertain the disaster status of the collapse of the mined – out areas in Anhui Province, analyze the changing trend of the collapse areas, and summarize the countermeasures and methods for the collapse areas. With 2016—2017 remote sensing images of Anhui Province obtained from domestic GF satellites as an information source, this study conducted the processing, interpretation, and analysis of the remote sensing images and field surveys using the 3S technology (the collective term of remote sensing, global position system, and geographical information system). The results are as follows: ① The total area of the collapse areas in 2017 was 396.62 km², accounting for 0.28% of the land area of the province; ② The growth rate of the area and quantity of collapse areas decreased compared with those in previous years; ③ A set of countermeasures and four treatment methods were proposed. As revealed by the results, the 3S technology – based remote sensing monitoring of the mine environment in Anhui Province can be used to produce high – quality data and extract relevant data information macroscopically, efficiently, and accurately, thus greatly improving the treatment efficiency of mine geological disasters. This study will provide technical support for the restoration, treatment, and sustainable development of the collapse areas of coal mines in the future.

Keywords: remote sensing; coal mine; mined – out subsidence area

(责任编辑: 李瑜)