

新疆苇湖梁煤矿塌陷区的动态监测分析

杜茜诗慧^{1,2}, 于浩³, 孙卫东³, 周可法¹, 王金林¹, 刘盈娣^{1,2}

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆矿产资源研究中心, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局信息中心, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 由于采煤塌陷常常会带来环境恶化、土地沉降等问题, 这成为了制约城市快速发展的瓶颈。以新疆苇湖梁煤矿塌陷区作为研究区, 通过 2002 年、2006 年、2009 年和 2013 年 4 期预处理后的高分遥感影像为基础, 采用人机交互的解译方法对塌陷区的相关信息提取, 并结合空间格局和动态度的方法对地面塌陷信息进行定性研究与定量分析。结果表明, 苇湖梁煤矿塌陷区逐渐向东扩展, 塌陷区内的地质灾害数量呈持续上升趋势, 尤其是 2006—2009 年地质灾害增速最快; 2002—2013 年塌陷回填区面积增加了 92.45 hm², 空间上 3 个相互独立的塌陷回填区已有汇合的趋势, 说明塌陷区的恢复治理速度明显加快。

关键词: 遥感; 塌陷区; 动态监测; 苇湖梁煤矿

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0323-04

Dynamic Monitoring of Coal Mining Subsidence Area in Weihuliang, Xinjiang

DU Xishihui^{1,2}, YU Hao³, SUN Weidong³, ZHOU Kefa¹, WANG Jinlin¹, LIU Yingdi^{1,2}

(1. Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese

Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049,

China; 3. Information Center of Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang, Urumqi 830000, China)

Abstract: Coal mining subsidence always causes environmental deterioration and surface subsidence, which restricts the rapid development of cities nearby. We took coal mining subsidence area of Xinjiang Weihuliang as the research area to extract the subsidence area information by using the high resolution remote sensing images in 2002, 2006, 2009 and 2013. By using the method of spatial pattern and dynamic degree to monitor the information of the subsidence area dynamically, we compared and analyzed the evolution trend and the characteristics of temporal and spatial variation of the subsidence area. The result showed that the subsidence area had an eastward trend and the events of geological hazards had been increasing. In particular, the growth of geological hazards was the fastest in the period from 2006 to 2009. Meanwhile, the area of back-fillings increased to 92.45 hm² in 2013. Besides, three independent backfillings had the trend of merging together. Consequently, the speed of controlling the geological environment had accelerated significantly.

Keywords: remote sensing; subsidence area; dynamic monitoring; Weihuliang coal mine

煤矿开采为国家经济建设做出巨大贡献的同时, 也常常造成矿区地表的大面积塌陷, 尤其是半干旱风沙地带的煤矿, 更容易因采煤塌陷而出现严重的矿区地质环境问题, 这严重地制约了城市的可持续发展^[1-5]。乌鲁木齐市苇湖梁煤矿已有 50 多年的开采历史, 长期的煤炭地下开采形成了大面积的地面塌陷区, 严重破坏了原始的地形地貌, 降低了土地利用率。

近年来, 随着乌鲁木齐市的快速发展, 城区规模不断地扩大, 原本位于近郊工矿区的苇湖梁煤矿现已处于城市中心区边缘, 但已形成的塌陷区成为了制约乌鲁木齐城市建设的瓶颈, 对城市的经济建设和社会发展产生了不可忽视的影响^[6]。因此, 对苇湖梁煤矿塌陷区进行快速有效的监测已迫在眉睫。

传统的塌陷区监测常采用实地测量的方法, 但因

工作量大、成本高、时效性低等因素,难以达到快速动态监测的目的^[7-8]。遥感技术具有时效性高、成本低、速度快、可重复观测、监测范围广等特点^[9],不仅可以节省人力、财力、物力和时间,而且能够快速准确的获取地面塌陷信息。遥感技术在塌陷区的识别与监测方面具有明显优势,已成为地面塌陷信息提取与动态监测的重要手段。我国学者通过遥感手段分别对淮南矿区、兖济滕矿区、开滦矿区等地^[10-14]进行了地面塌陷的研究和监测,结果表明遥感和 GIS 手段可以有效地圈定出地面塌陷的位置和范围等信息,对后续地面塌陷的预测与防治工作具有重要的指导意义。

本文选取 2002 年、2005 年、2009 年和 2013 年 4 期高分辨率遥感影像,采用遥感和 GIS 技术对新疆苇湖梁煤矿开采形成的塌陷区进行动态监测,对塌陷区的动态变化过程、空间演变趋势、变化速率以及时空分布特征进行统计和分析,为进一步的矿区环境恢复治理与防灾减灾工作提供理论支持和客观依据。

1 研究区概况

研究区位于乌鲁木齐市水磨沟区苇湖梁煤矿区,位于 87°38′30″—87°41′30″E,43°51′00″—43°52′30″N,坐落于准噶尔南缘煤田东南部及天山北麓,总面积约 672 hm²。地层主要为中生界侏罗系砂、泥岩层及新生界第四系的松散沉积物层。侏罗系地层有下统的三工河组,中统的西山窑组、头屯河组,其中西山窑组是井田含煤地层,且地层产状比较稳定。褶皱主要有八道湾向斜和七道湾背斜南翼,两翼地层有相同层序^[15-16]。苇湖梁井田位于六道湾井田与碱沟井田之间,与水磨沟河东岸相邻,地势平坦,总体地势南高北低。井田含煤 33 层,全部属于急倾斜煤层群,开采形成的采空区顶板易破裂、坍塌^[17-18]。

2 研究方法

2.1 数据源

本文选取 4 期不同时相的 IKONOS 影像为主要数据,该数据全色波段空间分辨率为 1 m,多光谱影像空间分辨率为 4 m。同时利用野外实测 GPS 控制点与 1:10 000 数字地形图对不同时相进行正射校正,从而使各影像之间具有可比性。

2.2 信息提取

综合遥感影像特征、塌陷区的特点以及野外地质资料等信息,建立相应的遥感解译标志,采用人机交互的解译方法,从阴影、纹理、色调、形状以及地貌等多方面进行综合解译,提取出塌陷坑、地裂缝的位置、形态、范围及界限等相关信息,以便对研究区做出进

一步的定量分析与定性判别。

2.3 塌陷区变化分析

根据研究区不同时相的影像所提取的数据,利用 ArcGIS 软件对 4 个不同时相的地面塌陷信息进行空间叠加分析,分析塌陷区的时空分布格局、变化趋势、变化速率以及空间演变形态。

3 结果与分析

3.1 塌陷区空间变化分析

苇湖梁煤矿始建于 1958 年,经过 50 a 的开采,采煤塌陷日益严重,形成了大面积采空区,采空深度在 50 m 以下。由于塌陷区范围无法被准确圈定,故分别从地裂缝、塌陷坑和塌陷回填区 3 个角度对塌陷区的空间变化进行描述分析。为了使不同时相间的遥感解译结果具有可比性,本文以 2013 年非塌陷回填区范围为基准,并以塌陷坑和塌陷回填区规模分级标准(表 1)为参考,分别对地裂缝、塌陷坑和塌陷回填区进行时空特征分析,可以直观地反映出 10 a 来塌陷区的变化程度。

表 1 塌陷坑和塌陷回填区的塌陷分级标准

级别	塌陷、变形面积/hm ²
巨型	>10
大型	1~10
中型	0.1~1
小型	<0.1

表 2 地裂缝、塌陷坑及塌陷回填区的数量变化

类型	2002—2006 年	2006—2009 年	2009—2013 年
地裂缝增长 长度/km	0.73	0.91	0.63
塌陷坑增长 面积/hm ²	0.4	0.63	0.49
塌陷回填区 增长面积/hm ²	9.19	17.84	65.42

3.1.1 地裂缝空间变化 苇湖梁煤矿塌陷区的地裂缝主要分布在采空区和塌陷坑边缘,延伸方向与煤层走向一致。在研究区内发现两类地裂缝:第一类发育规模较大,呈梯形或“V”形分布;第二类发育规模较小,具有不定向性,多出露在塌陷坑和规模较大的地裂缝附近。根据不同时相遥感影像解译结果,对第一类地裂缝进行统计分析。2002 年,矿区内发现 38 条地裂缝,多以成组的方式出现,长度约为 30~300 m,地裂缝的总长度达 4.87 km;2006 年,地裂缝增加到 47 条,总长度增加了 0.91 km;到 2009 年和 2013 年,地裂缝分别约为 57 条和 64 条,总长度分别是 6.84 km 和 7.78 km。

2002—2013年间,地裂缝数量与总体长度均逐步增多,新增的地裂缝多平行于开采工作面。随着苇湖梁煤矿开采工作的推进,地裂缝也不断向前发展,两侧地形的高差也产生了明显变化,高差在0.2~2 m。

3.1.2 塌陷坑空间变化 苇湖梁煤矿塌陷区的地面塌陷类型主要是深槽型不连续塌陷区,总体特征是呈现为串珠状或带状分布的塌陷坑,其次是周边的开裂型不连续塌陷区。2002年矿区内的塌陷区已形成一定规模,塌陷严重地段的塌陷坑已连为一体,塌陷坑80处,其中大型塌陷坑1处,中型塌陷坑15处,小型塌陷坑64处,塌陷坑直径约15~45 m,塌陷坑总面积达7.86 hm²;到2006年塌陷区内的南北方向的塌陷带呈明显的“槽”型,南大槽塌陷带宽度为30~40 m,北大槽塌陷带宽度40~50 m,矿区内约有小型塌陷坑70处,中型塌陷坑18处,大型塌陷坑1处,主要分布在塌陷槽内及两侧,总面积约为8.26 hm²,相比2002年增加0.4 hm²;至2009年,塌陷坑个数增加至94处,其中大型塌陷坑有2处,中型塌陷坑有19处,小型塌陷坑有73处,总面积随之增加0.63 hm²;2013年,大型塌陷坑为2处,中型塌陷坑增至24处,小型塌陷坑减至68处,总面积相比2009年增加了0.49 hm²。

根据上述分析,2002—2013年间,塌陷坑面积逐步增大,在2006—2009年增速最大,从2009—2013年增速放缓,但增长面积还是大于2002—2006年的增长面积。随着地下煤层开采的延续以及开采强度的变化,苇湖梁煤矿地面塌陷区域是在不断发展的,有新塌陷坑的生成,有小规模塌陷坑合并成大规模塌陷坑,并且塌陷坑总面积在不断增大。

3.1.3 塌陷回填区空间变化 苇湖梁塌陷回填区始于2006年,存在1处位于南塌陷槽的大型塌陷回填区,面积约为9.19 hm²;至2009年,南塌陷槽的塌陷回填区域面积逐渐向东扩展,形成1处巨型的塌陷回填区,面积约为27.03 hm²;2013年,回填区域面积的扩张异常迅速,不断向北塌陷槽扩展,使南北塌陷槽回填成1处巨型塌陷回填区域,面积约为79.34 hm²,同时在塌陷区东侧形成1处大型塌陷回填区和1处中型塌陷回填区不断向西扩展,并且这3处塌陷回填区有汇合的趋势,相比2009年塌陷回填区面积增加了65.42 hm²。塌陷回填区面积增加趋势异常明显,特别是2009—2013年的这4 a间面积增速较快,但是苇湖梁煤矿区的采煤塌陷形势仍旧非常严峻,采煤塌陷的治理刻不容缓。

经过野外实地验证,苇湖梁煤矿采用静态注浆和建筑垃圾回填的方法对塌陷区进行充填,目前一部分的塌陷坑和塌陷槽已经填平,已填成高出地表20~25

m的垃圾山。由此可见,10 a间苇湖梁煤矿塌陷区回填面积扩大趋势明显,但矿山复绿仍需进一步跟进。

3.2 塌陷区空间格局演化

塌陷坑作为塌陷区地面塌陷的重要表现形式,其空间格局演化反映了特定时期塌陷区的形态以及塌陷区的发展变迁。为了准确分析出空间演化过程,本文选取2006年做参照,通过对比4个时间点上空间格局分布状况,来分析空间格局演化特征。

采用ArcGIS软件,借助度量空间分布工具中的均值中心(Mean Center)分析工具,对2002年、2006年、2009年和2013年塌陷坑空间分布均值中心进行标注,对比分析出塌陷坑的空间演化方向与趋势。从附图15可以看出,在空间发展上,塌陷坑呈现2个扩展方向,2002—2006年和2009—2013年塌陷坑的均值中心出现北偏东的发展方向,2006—2009年均值中心出现东偏南的发展方向;在空间形态上,随着时间的推移,塌陷坑整体上由西向东扩展。由此可以推测出,2002—2013年间苇湖梁煤矿逐步向东进行深部开采,塌陷区的范围逐渐向东扩大,加上急倾斜煤层采动的影响,整个区域处在活动状态,这与野外实地验证结果一致。

3.3 动态度分析

动态度是用于衡量塌陷区的变化率,它代表了塌陷区改变内在期间矿区塌陷区的动态表达一些变化,即

$$L = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

上式中: L ——多年塌陷区或塌陷回填区的动态度; U_a, U_b ——该研究时段初期和末期塌陷区或塌陷回填区的面积; T ——两段时期的间隔步长。令当 U_a 等于0, L 为100。

采用动态度分析苇湖梁煤矿塌陷区的动态变化,可以真实地反映煤矿塌陷区的变化程度。从图1可以看出,在2002—2013年,地裂缝、塌陷坑以及塌陷回填区的动态度均为正值,表示煤矿区的地裂缝总长度、塌陷坑总面积和塌陷回填区面积在这10 a中呈持续上升趋势。2006—2009年地裂缝动态度最大为6.43,相当于2002—2006年动态度的1.5倍,2009—2013年动态度的2.1倍,说明地裂缝总长度在2006—2009年增速最快;2006—2009年期间塌陷坑的动态度为2.54,相当于2002—2006年和2009—2013年动态度的2倍左右,说明塌陷坑总面积从2006—2009年期间发生了极大的变化,且在这段时间内塌陷坑总面积增长的速度最快;塌陷回填区动态度2002—2006年为100,2006—2009年为64.71,2009—2013年为60.51,表示塌陷回填区面积的增长

速度逐年下降,但是塌陷回填区的增长面积仍呈逐年上升趋势,说明2002—2013年苇湖梁煤矿塌陷区的恢复治理速度明显加快。

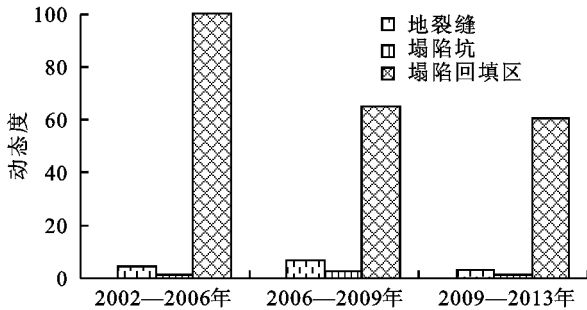


图1 苇湖梁煤矿地裂缝、塌陷坑和塌陷回填区的年平均动态度

4 结论

(1) 2002—2013年间,苇湖梁煤矿塌陷区地质灾害数量呈不断上升的状态,地裂缝总长度由4.87 km增至7.78 km,塌陷坑总面积由7.86 hm²增至9.38 hm²,增幅分别为1.6倍和1.19倍,尤其是在2006—2009年间地质灾害灾情恶化速度明显加快。

(2) 苇湖梁煤矿加大了塌陷区的恢复治理力度。从2006年开始,苇湖梁煤矿开始对塌陷区用建筑垃圾回填,到2013年已形成3个独立的塌陷回填区,总面积达92.45 hm²,且这3个塌陷回填区存在合并的趋势。

(3) 在2002—2013年间,塌陷坑总体上由西向东逐渐扩张,由此推测出这10 a来苇湖梁煤矿逐渐向东进行地下开采。

(4) 建议对未回填的地面塌陷,采用黏土、砾石混合料对地面塌陷进行分层回填,逐层夯实;对仍继续进行地下深部开采的已回填地面塌陷,采取夯实表层回填垃圾,以防地面塌陷进一步的扩展和蔓延,做到“在开发中保护,在保护中开发”。

参考文献:

[1] 张鑫,武志德,潘恺.煤矿采空区地表塌陷危害程度分级标准研究及应用[J].地质灾害与环境保护,2012,23(3):73-75,79.

[2] 赵国平,李晖,李旭祥,等.神府煤田风沙区采煤塌陷地

表环境动态变化的综合评价[J].西安交通大学学报,2012,46(5):137-142.

[3] 刘飞,陆林.采煤塌陷区的生态恢复研究进展[J].自然资源学报,2009,24(4):612-620.

[4] 武文一,刘瑛,杨晓晖.基于GIS和RS的煤矿区土地利用景观格局梯度变化研究[J].水土保持研究,2011,18(6):177-189.

[5] 谢元贵,车家骧,孙文博,等.煤矿矿区不同采煤塌陷年限土壤物理性质对比研究[J].水土保持研究,2012,19(4):26-29.

[6] 陈平,付尔登,余琳,等.乌鲁木齐市水磨沟区生态环境现状及对策[J].新疆环境保护,2001,23(3):26-28.

[7] 杨圣军,赵燕,吴泉源,等.高分辨率遥感图像中采矿塌陷地的提取:以龙口矿区为例[J].地域研究与开发,2006,25(4):120-124.

[8] 范忻,汪云甲,王行风,等.改进P-WSVM的矿区积水塌陷地信息提取[J].测绘科学,2012,37(4):82-84.

[9] 梅安新,彭望录,秦其明,等.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2001.

[10] 彭苏萍,王磊,孟召平,等.遥感技术在煤矿区积水塌陷动态监测中的应用:以淮南矿区为例[J].煤炭学报,2002,27(4):374-378.

[11] 王行风,杜培军,孙久运.充济滕矿区地表塌陷遥感信息解译研究[J].水土保持研究,2007,14(5):259-262.

[12] 汪宝存,苗放,晏明星,等.基于遥感技术的开滦煤矿地面塌陷积水动态监测[J].国土资源遥感,2007,19(3):94-97.

[13] 许长辉,高井祥,王坚,等.多源多时相遥感数据融合在煤矿塌陷地中应用研究[J].水土保持研究,2008,15(1):92-95.

[14] 王钦军,陈玉,蔺启忠.矿山地面塌陷的高分辨率遥感识别与边界提取[J].国土资源遥感,2011,23(3):113-116.

[15] 蒋新军.苇湖梁煤矿急倾斜综采放煤工艺研究[D].西安:西安科技大学,2007.

[16] 王超,于浩,孙晓玲,等.乌鲁木齐苇湖梁煤矿沉陷区遥感地质灾害调查研究[J].西部探矿工程,2014,26(7):104-106.

[17] 陈健,张崇德.乌鲁木齐地区采煤塌陷特点、危害与治理研究[J].西部探矿工程,2004,16(10):82-84.

[18] 来兴平,王宁波,胥海东,等.复杂环境下急倾斜特厚煤层安全开采[J].北京科技大学学报,2009,31(3):277-280.