

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.02.23

采煤区地质灾害信息快速提取技术

李 军

(山西省地质环境监测中心,山西 太原 030024)

摘要: 本文以山西太原万柏林采煤区为研究区,针对崩塌、滑坡和地面塌陷三种灾害类型,以该区北京一号遥感影像、DEM、矿区范围及采空区分布图、基础地理信息数据为数据源,研究通过 K-means 分类方法提取该区的地质灾害高危区,进而配合研究区三维可视化地貌对灾害高危区采用人机交互的方式解译地质灾害点,最后通过野外核查方式验证、修正成果,快速得到研究区因采煤引起的地质灾害分布信息。结果表明:研究区内采煤地质灾害点 54 处,其中地面塌陷及地裂缝 33 处,滑坡 12 处,崩塌 9 处,解译准确率为 97.43%。地质灾害高危区的确定对于工作区灾害点的提取具有指导意义,可以减少对不可能发生灾害区域的关注,从而提高工作效率。

关键词: 地质灾害;灾害高危区;采煤区;信息提取

中图分类号: P642; O245; TP31

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)02-0132-05

Fast extraction of information about geological hazards in coal mining areas

LI Jun

(Geological Environmental Center of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi 030024, China)

Abstract: The objective of this study is to identify the three typical geological hazards of collapse, landslide and surface subsidence in Wanbailin District, Taiyuan, Shanxi. Firstly, the highly dangerous areas of geological hazards were identified by the K-means unsupervised classification method based on the Beijing-1 small satellite remote sensing image, DEM, the maps of mined-out areas and coal mining area and some basic geographic information data set. Secondly, the geologic-hazard locations were identified by a man-machine interactive method and the three-dimensional visual model. Finally, the identification was verified and further modified according to the field surveys. The result indicated that fifty four geologic-hazard locations were found out including thirty three surface subsidence, twelve landslides and nine collapses. Interpretation accuracy is 97.43%. The remote sensing based method can improve work efficiency and provide a guide for disaster relief & emergency management.

Keywords: geological hazard; highly dangerous area; coal mining area; information extraction

0 引言

山西省是我国煤炭生产的重要基地,含煤地层面积占全省总面积的 40%^[1],因采煤引起的地质灾害在各大矿区频繁发生。其中,地表沉陷、崩塌与滑坡地质灾害尤为突出,如何快速获取采煤地质灾害信息成为防灾减灾领域的一个重要研究方向。卫星遥感技术能够提

供充足的时空上连续的遥感数据,而遥感影像则能很好地记录采矿前土地利用信息以及采矿后的土地利用变化^[2]。这为地质灾害信息获取提供了一种高效的新技术手段。针对遥感影像的信息提取技术,经历了目视解译方法、基于像元的分类方法、基于辅助信息的专题信息提取方法和面向对象的分类方法几个阶段。其它方面的信息提取技术主要体现在:人工神经网络分类算

收稿日期: 2014-09-25; 修订日期: 2015-01-13

作者简介: 李 军(1968-),男,高级工程师,目前主要从事水文地质与环境地质工作。E-mail: sxlijun2014@163.com

法^[3-6];SGA 提取方法^[7];遗传算法及改进的方法^[8]。而利用 DEM 配合正射影像建立区域三维可视化模型对地质灾害信息提取具有直观的帮助作用。

针对采煤区地质灾害遥感影像特征与信息提取,已有部分技术人员进行了研究^[9-14],同时基于多源遥感精准监测技术已成为矿山合理开发与可持续发展的重要组成部分^[15]。针对不同的地貌类型控制着地质灾害的发生类型也有一定的研究成果^[16],同时,在突发地质灾害的应急响应中,物联网技术已被应用进来^[17]。基于这些背景与工作基础,本文以山西太原万柏林采煤区为研究区,选择采煤诱发的崩塌、滑坡和地面塌陷三种地质灾害为提取目标,以计算机自动分类提取灾害发生几率大的地区为高危区,采用人机交互对高危区进行灾害点解译,通过野外核查验证了方法

的正确性。

1 数据与方法

1.1 数据源

目前,遥感影像数据源在尺度上表现为空间分辨率不断提高,可用于采煤地质灾害信息提取的高分辨率遥感数据很多,如 Quick Bird、Geo Eye、IKONOS、SPOT5、资源三号、北京一号、低空无人机影像等。本次工作选择覆盖研究区的北京一号全色影像两景,时相分别为:20081001、20081013,多光谱影像一景,时相为:20080527。经融合、校正、镶嵌、裁剪、正射后得到研究区正射影像如图 1(a)。DEM 数据选择 ASTER_G_DEM 数据,采样精度 30 m,经裁剪后如图 1(b)。

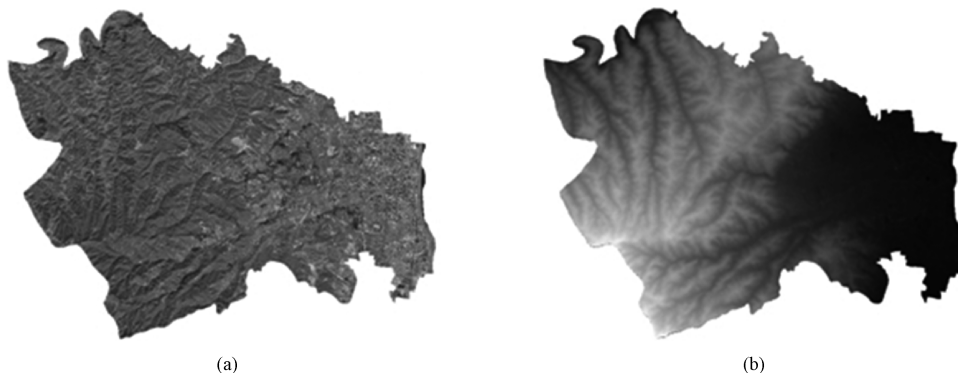


图 1 研究区正射影像与 DEM(A:正射影像;B:DEM)

Fig. 1 Dom and DEM of the study area(A:Dom;B:DEM)

1.2 方法

灾害高危区是对采煤引发地质灾害信息宏观性、综合性的影像表现,它基于相关约束条件对遥感影像进行分类信息提取,提取出在影像上能反映出的可能灾害发生区域的范围信息,这些区域通常大于实际的灾害发生范围。如:矿区内如有采石场,其影像特征与崩塌、滑坡特征非常相似,只有通过目视解译时借助间接标志加以排除。

采煤地质灾害的形成和发展与区域内采煤强度、地质环境、地形地貌有着密切的联系。采煤地质灾害高危区的提出基于在煤炭开采区内地质灾害发生与煤矿采空区有着较高的相关性,煤层采空是地质灾害发生的主要原因^[10]。因此,矿区范围及采空区分布是采煤地质灾害高危区的第一层约束条件。崩塌与滑坡作为地质灾害的重要组成部分,在采煤区因地表塌陷引发坡体不稳而产生崩落或滑移,构成危害。灾害发生后,通常会产生新鲜的地表裸露,这在影像上会表现为

明显的几何与色调特征。如沉陷坑的平面形态多为近长条形,其次为方形、近圆形、椭圆形、马舌形等。而在沉陷区与非沉陷区之间一般会有明显的过渡界线。因此,影像几何与色调特征是采煤地质灾害高危区的第二层约束条件。

总体技术路线图见图 2,具体的技术步骤为:

(1) 获取研究区高分辨率遥感影像、DEM、矿区范围及采空区分布图和基础地理信息数据。

(2) 遥感影像预处理,生成研究区正射影像。

(3) 常用的非监督分类方法有 K-means 算法和 ISODATA 算法,本次研究选择 K-means 算法进行研究区遥感影像的地类信息提取,重点提取裸地分布信息。

(4) 以矿区范围及采空区分布为约束条件,对所获取的研究区分类信息图进行人机交互运算,得到灾害高危区范围(图 3)。其中,矿区范围及采空区分布确定地质灾害的发生以采煤诱发为主控因素。

(5) 叠加正射影像与 DEM 实现研究区三维可视

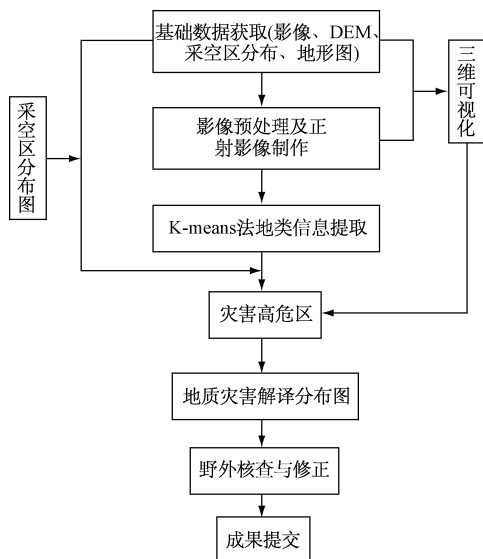


图 2 总体技术路线流程图

Fig. 2 The ouerall technical flowchart

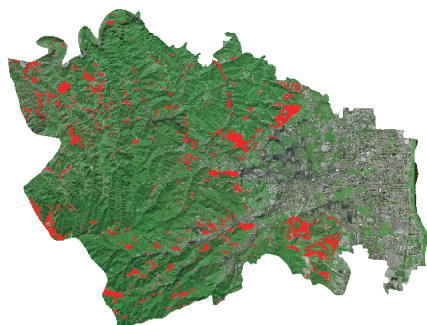


图 3 采煤地质灾害高危区提取图

Fig. 3 Extraction of geological disasters in high-risk coal mining area

化(图 4),辅助目视解译灾害高危区内的地质灾害信息,获得研究区地质灾害解译分布图。



图 4 研究区三维可视化

Fig. 4 The three dimension Visualization in the study area

(6)野外核查,核对解译灾害点是否正确,修正解译成果。

(7)成果提交,完善建立整套工作流程,指导其它采煤区地质灾害信息的快速提取。

2 结果与讨论

2.1 结果

采用前述技术方法,对研究区内采煤地质灾害点进行解译,结果表明:研究区内共解译出采煤地质灾害点 39 处,进而对解译灾害点进行了野外核查,共计核查点位 36 处,含解译灾害点 20 处,另有 16 处为野外确认新增灾害点,并将解译点、核查点与灾害高危区叠加显示如图 5。以核查结果对原有解译成果修正,确定研究区内采煤地质灾害点 54 处,其中:地面塌陷及地裂缝 33 处,滑坡 12 处,崩塌 9 处,共 54 处。原有解译灾害点误判 1 处,经野外核查确认为治理中的边坡,解译准确率达到 97.43%。

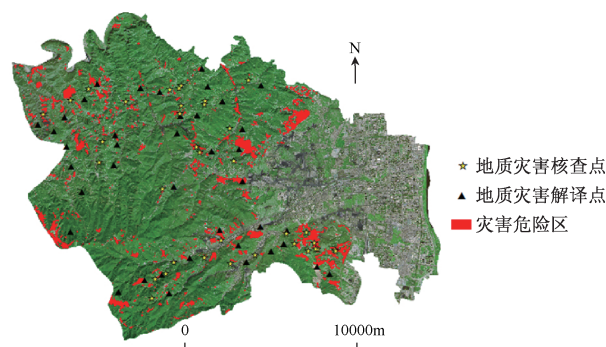


图 5 地质灾害高危区提取及灾害点解译核查对比图

Fig. 5 Contrast diagram high-risk geological disasters area extraction with disaster points interpretation Verification

2.2 讨论

(1)对研究区的 DEM 数据做进一步的分析,以高差为约束因子可得到区内地貌分布状况。其中,研究区中西部为山地,东部为丘陵和平原。从提取的灾害高危区的范围来看主要集中在研究区的山地和丘陵区,沿太原西山山前断裂和区内沟谷密集分布。研究区现有西山煤电集团的杜儿坪煤矿、官地煤矿、白家庄煤矿、西铭煤矿。随着这些矿山大规模的开采,其形成的大面积的采空区若不能得到合理治理,回填工作的实施得不到保障,势必会引发大量的采矿地面塌陷、采矿地裂缝,而在采空沉陷不断的发展过程中,原本稳定的边坡内部开始出现裂隙并不断扩大,最终失稳形成崩塌或滑坡灾害。因此,所提取灾害高危区合理,与崩塌、滑坡形成的背景条件一致。同时,图 5 可以看出研究区南部和西北部一带必然会成为今后一定时期采煤地质灾害潜在多发区。

(2)研究区总面积 297.059 km²,经统计所提取灾害高危区 19.645 km²,仅占研究区的 7%。而研究区

内山地、丘陵区占总面积的 65% 左右。相比较,进行地质灾害解译时采用灾害高危区重点关注可减少将近 90% 的解译工作量,极大提高工作效率。

(3)通过图 5 可以看出,地质灾害解译点与核查点区域对应度很高,但重合点较少,这是因为影像时相为 2008 年,而解译、核查则在 2014 年,期间采煤活动一直在继续,采煤沉陷、地裂缝不断扩展变动,崩塌与滑坡有些被治理,有些仍在活动中。同时,野外核查记录中部分点位因地形原因未到灾体位置定点,而是在其附近观察定点所致。但总体上来看,因采煤诱发的地质灾害出现位置与采用灾害高危区辅助遥感解译成果符合度良好,解译准确率达到了 97.43%,可以用来指导采煤区地质灾害点的快速获取。

(4)研究中对区内的崩塌与滑坡均约束为采煤诱发,但实际上强降雨、公路修建的大规模开挖工程、建房切坡等也会诱发区内黄土边坡的崩塌与滑坡,这在后续研究中应加以区分。本次工作所提取的地质灾害类型只有采煤沉陷、地裂缝、崩塌和滑坡,而未包括不稳定斜坡与泥石流,今后应考虑对不稳定斜坡及泥石流的灾害高危区提取与解译。地形地貌是形成地质灾害的重要因素,不同的地貌类型控制着地质灾害的发生类型^[16],本次工作因 DEM 分辨率太低而未采用地貌因子进行约束划分,在今后的工作中也应加以考虑。

3 结论

研究区内矿产资源丰富,近些年煤炭开采业较为发达,从而引发地面塌陷、地裂缝灾害点发育较多。快速获取采煤地质灾害的分布对掌握研究区灾害情况,合理安排治理工程具有基础意义,如采用野外调查方法则带有一定的盲目性,遥感目视解译也费时费力。本文所提出的灾害高危区对提高目视解译效率具有一定的导向作用,实践表明,该方法可以大幅提高地质灾害点信息提取效率,对保障采煤区可持续发展具有一定的科学意义。但该方法也易将裸露的地表、近期填土、采石场、公路开挖、与其它的人工开挖^[17]误判为灾害高危区,今后的研究工作中应开展其区分技术研究。

参考文献:

- [1] 孔祥生,苗放,刘鸿福. 采用遥感技术监测煤炭开采沉陷灾害的应用及前景展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(增1): 242-244.
- KONG Xiangsheng, MIAO Fang, LIU Hongfu. The application and prospect of monitor in coal mining

- subsidence using remote sensing technology [J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19 (S1): 242-244.
- [2] 卞正富,张燕平. 徐州煤矿区土地利用格局演变分析[J]. 地理学报, 2006, 61(4): 349-358.
- BIAN Zhengfu, ZHANG Yanping. Land use changes in Xuzhou coal mining area [J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(4): 349-358.
- [3] DIANE M. MILLER, EDIT J. KAMINSKY, et al. Neural network classification of remote sensing data [J]. Computers & Geosciences, 1995, 21(3): 377-386.
- [4] 骆剑承,周成虎,杨艳. 人工神经网络遥感影像分类模型及其与知识集成方法研究[J]. 遥感学报, 2001, 5(2): 122-129.
- LUO Jiancheng, ZHOU Chenghu, YANG Yan. ANN remote sensing classification model and its integration approach with geoknowledge [J]. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(2): 122-129.
- [5] 张友水,冯学智,阮仁宗. 基于 GIS 和 BP 神经网络遥感影像分类研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2003, 39(6): 806-813
- ZHANG Youshui, FENG Xuezhi, RUAN Renzong. Application of backpropagation neural network supported by GIS in the classification of remote sensing image [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2003, 39(6): 806-813.
- [6] HU Zhaoling, LI Haiquan, DU Peijun. Case study on the extraction of land cover information from the SAR image of a coal mining area [J]. Mining Science and Technology, 2009(19): 829-834.
- [7] Rick Lawrence, Andrew Bunn, Scott Powell, et al. Classification of remotely sensed imagery using stochastic gradient boosting as a refinement of classification treeanalysis [J]. Remote Sensing of Environment, 2004(90): 331-336.
- [8] Ming-Hseng Tseng, Sheng-Jhe Chen, Gwo-Haur Hwang, et al. A genetic algorithm rule-based approach for land-cover classification [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2008 (63): 202-212.
- [9] 李良军,武彦斌. 开采沉陷遥感监测中多维纹理特征影像分类方法[J]. 煤田地质与勘探, 2008, 36(6): 29-34.
- LI Liangjun, WU Yanbin. Image classification based on multi-dimensions texture features during monitoring mining subsidence [J]. Coal Geology & Exploration,

- 2008, 36(6): 29–34.
- [10] 李成尊, 聂洪峰, 汪劲, 等. 矿山地质灾害特征遥感研究[J]. 国土资源遥感, 2005, 1(1): 45–48.
LI Chengzun, NIE Hongfeng, WANG Jin, et al. A remote sensing study of characteristics of geological disasters in a mine [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2005, 1(1): 45–48.
- [11] 张明媚, 李军, 薛永安. 基于 3S 技术的大同市南郊区采煤地质灾害监测[J]. 煤矿安全, 2012, 43(9): 203–205.
ZHANG Mingmei, LI Jun, XUE Yongan. Mining geological disaster monitoring in south suburb of datong based on 3S technology [J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(9): 203–205.
- [12] 鲁学军, 史振春, 尚伟涛, 等. 滑坡高分辨率遥感多维解译方法及其应用[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(1): 141–149.
LU Xuejun, SHI Zhenchun, SHANG Weitao, et al. The method and application of multi-dimension interpretation for landslides using high resolution remote sensing image [J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(1): 141–149.
- [13] 童立强, 郭兆成. 典型滑坡遥感影像特征研究[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1): 86–92.
TONG Liqiang, GUO Zhaocheng. A study of remote sensing image features of typical landslides [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2013, 25(1): 86–92.
- [14] 马露, 高会军. 陕西省主要煤矿区地面塌陷表现形式及其遥感响应[J]. 中国煤炭地质, 2013, 25(8): 32–37.
MA Lu, GAO Huijun. Surface subsidence expressive patterns and their remote sensing responses in main shaanxi coal mining areas [J]. Coal Geology of China, 2013, 25(8): 32–37.
- [15] 王钦军, 陈玉, 蔺启忠, 等. 矿山地质灾害遥感监测方法及成因分析——以北京房山区史家营煤矿为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(1): 75–79.
WANG Qinjun, CHEN Yu, LIN Qizhong, et al. Geological hazards monitoring method and its formation analysis in mining area [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(1): 75–79.
- [16] 方琼, 段中满. 湖南省地形地貌与地质灾害分布关系分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(2): 83–88.
FANG Qiong, DUAN Zhongman. Distribution analysis of topography and geological hazards in Hunan province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(2): 83–88.
- [17] 石爱军, 马娟, 齐安文, 等. 物联网技术在突发地质灾害应急响应中的应用研究[J]. 水文地质工程地质, 2014, 41(5): 148–152.
SHI Aijun, MA Juan, QI Anwen, et al. Research on application of the Internet of things (IOT) platform of geological disaster emergency response [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2014, 41(5): 148–152.

封面照片说明

黄河上游甘肃永靖县陈家村黄土滑坡

陈家村黄土滑坡位于甘肃省永靖县黑方台陈家村, 滑坡发生于 2015 年 1 月 29 日, 由于监测预警及时未造成人员伤亡, 但造成输电线路和输水管道严重损坏。滑坡体从后缘启动后在裂隙水作用下液化为碎屑流, 前后缘高差 118 m, 滑动距离约 510 m, 主滑方向 SE, 属于冻融和灌溉诱发的黄土滑坡类型, 其中滑坡区宽约 190 m, 长约 90 m, 厚度约 7 m, 体积约 $11 \times 10^4 \text{ m}^3$; 碎屑流区受地形控制, 在运动路径中部分为两支并在前缘汇合, 平均宽约 150 m。

从滑坡直立后壁分析, 该滑坡区有两次明显的滑动过程, 且晚期滑坡破坏了早期滑坡的后壁并向岸坡溯源侵蚀。目前, 滑坡后缘拉裂缝宽约 5~10 cm, 顶部为灌溉农田, 后壁底部仍有大量裂隙水出露, 因此, 该滑坡体不稳定, 仍有进一步下滑的可能, 须加强监测预警和应急防治。

(中国地质环境监测院(应急技术指导中心) 殷志强 供稿)