

抚顺市市区地质灾害遥感调查研究

马小计^{1,2} 杨自安² 邹林² 张普斌² 张建国²

(1.北京林业大学,北京 100083;2.有色金属矿产地质调查中心,北京 100012)

摘要:抚顺市是中国重要的大型煤炭工业基地之一。由于长期的采掘施工,其采矿场和采矿坑不断扩大加深,导致了矿区及其周边地带地面不稳定性的不断加剧,且已发生了局部的地面沉降等地质灾害,给人们的生产和生活带来了直接的威胁,并严重地影响着该地区社会经济的可持续发展。本研究采用遥感技术手段,快速地查明该地区现有的地质灾害类型、数量及其表现形式,以及地质灾害与断裂构造的相互关系,从而为在该地区进行地质灾害防治工作提供准确可靠的依据,取得了良好的应用效果。

关键词:遥感技术;地质灾害;影像特征;抚顺市

中图分类号:P694;TP75 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)05-1167-07

随着人类城市化建设的快速发展,城市环境地质研究已成为水工环地质研究领域的一个重要组成部分。解决城市环境地质问题的关键是对地下空间地层岩性及构造条件的研究,通过这些基础条件研究分析城市地质环境和地下水资源问题^[1]。城市是以人类社会为主体的生态系统,是城市社会(人口、劳动、智力)与城市空间(地质、资源、环境)对立统一的系统。区域地壳稳定是城市建设的基本条件^[2]。以滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、地裂缝等为主的地质灾害的发生均与地质环境相关。而构成地质环境的地质结构、地形地貌、气候水文条件、人文活动等是控制地质灾害时空分布和强度的基本因素^[3]。

辽宁省抚顺煤矿自新中国成立以来,一直以露天开采为主,结合半地下和地下采掘,已经形成了西舍场、西露天坑、东露天坑和东舍场等多个采煤区。在长期的采掘施工过程中,随着采矿场和采矿坑的不断扩大加深,导致了矿区及其周边地带地面不稳定性的不断加剧,且已经发生了局部的地面沉降、崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝等地质灾害,给当地居民的生产、生活和生命财产安全造成了严重的危害,也阻碍了该地区社会经济的可持续发展。

地质灾害是在自然因素和人为因素共同作用下形成的一种复杂的综合体,受时间、空间等因素的制约。在现阶段,这些制约因素的作用还难以用精确的数字表达^[4]。因此,本次

工作利用多时相、多平台遥感数据(SPOT_5、ETM),通过多种图像处理方法的对比实验,提取出反映地质环境综合特征的遥感因子^[5],并参考非遥感因子特征,对抚顺市市区及其周边地区的地质灾害进行遥感特征分析与调查评价,快速准确地查明该地区现有或潜在的地质灾害类型、数量及其表现形式,以及地质灾害与断裂构造的相互关系。通过本次遥感技术应用研究,不仅能对抚顺市地质灾害现状有宏观的了解,而且可为抚顺市的地质灾害防治工作提供科学依据。

1 概述

研究区范围包括抚顺市区及其周边地区,总面积约 300 km² (图 1)。北部至西部地区全部为低山丘陵区,海拔多在 100 m 左右,地势低缓,植被覆盖茂密;中部主要有抚顺市老城区和新城区,总体呈东西向展布,浑河穿过市区,是区内唯一的主干河流;南部主要为抚顺煤矿的露天采场,地形开阔平缓,间或低山丘陵、工矿建筑和小部分农田。

本区处于北东向浑河断裂与郯—庐巨型断裂带相交的构造锐角区部位,多组不同性质的断裂褶皱构造发育交汇,岩石变质程度相对较高。浑河断裂为本区重要的断裂构造,控制着震旦系两侧沉积建造的差异分布以及古近—新近纪抚顺煤田的形成。新构造运动时期,本区处于中等幅度断块差异升降区,为伸展构造变形机制,但第四系以来,本区仅发

收稿日期:2006-05-06;改回日期:2006-08-02

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(TDDC2004-01-03)资助。

作者简介:马小计,男,1956年生,教授级高级工程师,现主要从事测绘和“3S”研究;E-mail:13803221855@sina.com。



图 1 抚顺市遥感影像三维立体图

Fig.1 3D remote sensing image of Fushun City

生整体性升降运动,先期断裂系统没有发生明显的活动。从目前城区发生的地面沉降现象来看,与煤田开采有着直接的关系,而与区域性断裂构造关系不明显。

本区尽管是中国重要的老煤炭工业基地,但以往对地质灾害方面的调查工作却投入极少。近年来,当地地质部门进行过“沈阳—清原一带 1:10 万的区域地质调查”和“抚顺市活动断裂及采空区地质灾害勘查(1:25 000)”等工作。可见,在本区内对于大比例尺的全面系统地调查地质灾害类型及其分布现状,则还未开展。为此,本次研究工作利用 SPOT-5 高分辨遥感数据,通过波段融合或与 ETM 数据融合处理、图像对比分析及地质灾害体信息提取等,并结合抚顺市 1:25 000 地质灾害勘查成果,在该区开展 1:10 000 地质灾害遥感调查,主要调查对象包括崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷(变形)、地裂缝等 5 种类型。

2 遥感信息源的选择与处理

众所周知,不同种类的遥感信息源适用于不同比例尺的遥感调查工作。例如,美国陆地卫星 Landsat-5、7 号的 TM、ETM 数据,以及中巴陆地资源卫星二号的 CBERS-2 数据等,适用于中等比例尺的资源与环境调查;法国的 SPOT-5 和美国的 IKONOS、Quickbird 等数据适用于大比例尺的环境调查与监测。ETM 假彩色合成图像有着丰富的多光谱色彩信息,而 SPOT-5 高分辨率图像表现出清晰的纹理特征,因此,本研究工作即采用 ETM 和 SPOT-5 数据作为遥感信息源,通过数据波段的融合处理、增强处理及多时相图像对比分析等,从而提取出地质灾害体信息。

3 地质灾害体的遥感影像特征分析

3.1 崩塌的遥感影像特征

崩塌主要发生在地形较陡、岩石坚硬、节理发育的地

区,其中以山区公路和林区简易公路两侧居多。崩塌以小规模常见,有的地段成群出现,顺河谷方向或河流两侧的陡崖下呈串珠或倒石锥群分布。在 SPOT-5 融合图像上,崩塌主要表现为陡峻的基岩后壁及壁下不规则的崩塌堆积物。新发生崩塌的陡崖影像色调浅,老的色调深;陡崖下方有锥状地形,显浅色调,较大的堆积体呈花瓣状的锥形。水系特征复杂,有放射状水系、半向心状水系、钳状水系等,与周围水系特征有所不同。崩塌壁的影像特征则与岩体有关,在硬质岩层中表现为参差不齐,斜坡地貌上陡崖呈条带状,而平面呈锯齿状,其下方有杂乱的松散堆积,个别粗大的崩塌物甚至没有植被生长;在软质岩层中发生崩塌,影像上多呈撒落状不甚明显,崩塌物结构疏松,多数较老的崩塌体,植被茂盛,影纹结构较平滑细腻,呈浅色调,可明显看出由陡壁向倒石堆斜坡的地貌突变特征(图 2)。

3.2 滑坡的遥感影像特征

产生滑坡的基本地质环境要素有:①产生滑动面及滑坡堆积的物质;②使部分斜坡与山体分离的软弱结构面或带;③使部分斜坡可能向前运动的临空面。就滑坡的遥感解译而言,滑坡体和滑坡后壁为必要的最基本要素,其他要素视工作比例尺及遥感图像的空间分辨率而定。所以,本次滑坡遥感调查主要包括地层、岩体或堆积体的岩性及风化程度、堆积特征,断裂、节理裂隙、层面和第四系中的分界面,以及斜坡的坡度、坡向、形态及高程等。

滑坡是重力作用下形成的地质地貌现象,它具有明显的地貌特征。在 SPOT-5 融合图像上,一般显示为簸箕形、舌形、弧形、不规则形等。规模较大的滑坡能见到明显的滑坡壁、滑坡台阶、封闭洼地以及滑坡裂隙,因地面高差产生的垅状影纹等。老滑坡上冲沟发育,发育在河岸边的滑坡体常使所在斜坡呈弧形外突,造成河床淤堵变窄。新滑坡体显示较均匀的土黄色带白色色彩,老滑坡体显示较均匀的土棕色色彩,这种色调特征均反映地表的裸露程度较低。由于发生滑

坡后又生长有一些植物,老滑坡体上面呈土棕色又带有浅绿色色彩,但这种色彩的饱和度与未发生滑坡的地段相比明显变浅(图 3)。

3.3 地面塌陷(变形)的遥感影像特征

地面塌陷是指地表岩土体在自然或人为因素作用下向下陷落,并在地面形成塌陷坑(洞)的一种动力地质现象。其分布特征与煤矿采矿区的位置、范围等有关,由于采矿而形成大面积的采空区,在地震、人工振动、降雨、融雪水的侵

作用下,使上方岩土体失去支撑或支撑力减弱,导致地表岩土向下陷落(垂直位移),形成地面塌陷;煤矿区开采程度高,形成的采空区的范围就大,造成地面塌陷的几率就大。反之,煤矿开采程度低,形成采空区范围较小,造成地面塌陷的几率也就比较小;煤矿区地面塌陷的直接诱发因素是人为采煤所致,地下煤层采空使地层结构发生变化,当这种变化达到并超过临界稳定平衡时,地面塌陷灾害现象就会发生。在 SPOT-5 融合图像上,地面塌陷主要表现为形态不规则的负



图 2 崩塌遥感影像特征
Fig.2 Remote sensing image feature of collapse



图 3 滑坡遥感影像特征
Fig.3 Remote sensing image feature of landslide

地形。由于塌陷后在塌陷区内又生长有绿色植物,但这种绿色色彩较其周边的绿色色彩明显变浅,多呈草绿色(图 4)。地面塌陷的另一种影像特征是具有边部陷落壁,呈垂直状,陷落壁的宽度即是塌陷的深度。

地面变形与地面塌陷为同一灾害类型,其形成条件与地面塌陷的形成条件相同,均是在外动力作用下地表出现的形态变化。如果说两者的表现特征有区别的话,地面塌陷的地表变化是出现明显的负地形,而地面变形的地表特征则是出现局部的挤压、凸起、扭裂等。在建筑物分布区使建筑物倾斜、开裂,甚至倒塌等现象。

3.4 泥石流的遥感影像特征

泥石流是一种严重的洪流作用下形成的地质灾害,其形

成有 3 个基本条件:①松散物发育;②河谷纵坡坡降 5%~30%;③一定的水动力条件。决定因素是形成水动力条件的降雨临界值。在具备大量的石质和泥质物质条件下,可沿沟谷缓慢向下流动,也可能在季节性洪水冲击下快速倾泻向下,其能量大、破坏性强、危害大。泥石流发育的地段常是崩塌、滑坡发育的地段。在 SPOT-5 融合图像上,泥石流沟显示灰白色色彩,沟口的扇状冲积锥显示较清晰(图 5)。抚顺市悬殊的温差、强烈的风化,使山地的松散物较为发育,山地与平原相间分布,纵谷坡降一般都在 5%~30%,因此,一旦降雨量达到泥石流形成的临界值,即有可能发生泥石流灾害现象。

3.5 地裂缝的遥感影像特征

地裂缝是一种地面开裂的灾害类型,可以与地面塌陷



图 4 地面塌陷影像特征
Fig.4 Image feature of ground subsidence



图 5 泥石流影像特征
Fig.5 Image feature of mudflow



图 6 地裂缝影像特征

Fig.6 Image feature of ground cracks



图 7 地裂缝影像特征

Fig.7 Image feature of ground cracks

(地面变形)伴生出现,也可以独立的形式出现。地裂缝的形成主要是在地震、人工振动、降水等动力作用下,使矿山采空区边部甚至邻近地区的地表失稳,应力集中,出现开裂。

地裂缝与断裂构造的区别主要在于两者在地表出现的规模差异较大。地裂缝由于形成的动力源局限性较大,一般规模较小。如本次解译出的 3 条地裂缝中,最长的 700 m,最短的只有 300 m。而断裂构造的动力源规模很大,其形成多与造山运动有密切的成因联系,在一个大的构造旋回内形成大量的规模不等的断裂构造,规模较大的断裂延伸可达数千千米,宽度可达数百千米。

在 SPOT-5 融合图像上,地裂缝呈现为细条状形态、灰黑色色彩,与边部农田呈现的鲜绿色、道路呈现的弯曲状灰白略带土黄的浅色调差异较大(图 6~7)。这种灰黑色的色彩很可能与地裂缝发生以后,又被地下裂缝水渗透而形成。

4 地质灾害分布规律

根据以上 5 类地质灾害的遥感影像特征,以及多时相图像的对比分析,并结合以往地质灾害勘查成果资料,在本研究区内共提取出崩塌 30 个、滑坡 26 个、泥石流 1 个、地面塌陷或变形 5 个、地裂缝 3 条。根据地质灾害的遥感解译及信息提

取结果,分析认为本区地质灾害具有以下基本分布规律:

(1)地质灾害体分布密集。在研究区 300 m² 范围内,煤矿露天采场约 50 km²,居民住房等建筑物约 130 km²,农田、水塘及河流总面积约 60 km²,山地丘陵区约 60 km²。此次信息提取的 65 个地质灾害体中,只有 3 条地裂缝出现在建筑物和农田分布区,其余 62 个则出露在低山丘陵区,其密度为 1.03 个/km²,说明研究区内的地质灾害体分布密集。

(2)地质灾害类型以崩塌和滑坡两种灾害为主。所提取的 65 个地质灾害体中,崩塌 30 个,占灾害体总数的 46.15%,滑坡 26 个,占总数的 40%,其余灾害体均较少。可见,本区内的地质灾害类型以崩塌和滑坡两种灾害占主导,其他 3 种类型居次要地位。

(3)崩塌、滑坡灾害体主要出露在区域性大断裂和次级断裂的断裂带内或其边部。在提取的 56 个崩塌、滑坡灾害体中,有 48 个灾害体出露在区域性大断裂带内,或与次级断裂的交汇、斜截处的边部,3 个分布在露天采场的边部,另 5 个出露在丘陵山区。可见区内的崩塌、滑坡灾害的发生,主要与岩层遭受断裂和人工采掘、机械振动后产生破裂、松动,一遇暴雨则在适宜的地形条件下极易发生崩塌和滑坡灾害。

(4)地面塌陷(变形)和地裂缝灾害体主要出露在露天采矿场的边缘及区域性大断裂的临近区。在提取的 5 个地面塌陷(变形)灾害体中,有 3 个出现在区域大断裂的北侧,2 个出露于西露天矿采场的南、北边缘。可见,区内的地面塌陷(变形)灾害的发生主要与区域性大断裂和露天矿的人工采掘、灌水等外力作用有直接的关系。

在推测提取的 3 条地裂缝中,有 2 条位于西露天矿采场的北侧,同时又处于地面变形区的北边缘,另 1 条位于东露天大采坑的北部。由此可见,地裂缝灾害的发生,主要与煤矿的人工采掘而使采场周边的地应力失去平衡,局部应力集中,造成地表开裂所致。

5 地质灾害的调查评价

根据对城区及临近低山丘陵区部分地质灾害的调查可知,此次遥感解译及信息提取的准确率很高,且发现大多数灾害现象均主要由人为因素所引起。

(1)崩塌、滑坡多发生在北部和南部低山丘陵区地形切割较大、坡脚开挖、软弱土区或砂土可液化区等部位,且多沿断裂破碎带及其附近分布,例如尖山、马蹄山、起重机厂北、夜海沟东等地区。据已有资料表明,促使区内崩塌、滑坡发生的因素还有地震和气象因素。另外随着煤矿露天采场的不断加深及人类不合理的工程经济活动的进行,这些人为因素导致的崩塌、滑坡现象也日渐增多,如沈抚公路两侧、露天采场附近所发生的崩塌、滑坡即是如此。

(2)地面塌陷(变形)和地裂缝灾害体主要分布在露天采矿场的边缘,如龙凤矿舍场、东露天矿、西露天矿等,尤以西露天矿北侧最为显著。主要由于采矿形成大面积的采空区,

在地震、人工振动、降雨、融雪水的浸渗作用下,上方岩土体失去支撑或支撑力减弱,地层结构发生变化且超过临界稳定平衡,从而导致地表出现开裂或岩土沉降陷落而产生。

(3)泥石流的形成主要是自然和人为两个因素综合作用的结果。地质地貌条件是泥石流发育的主要控制因素,而充沛的水动力条件和人类工程经济活动的增强,则是促进和激发因素。如发生在杨柏人工河北侧的一处泥石流,处于古城河与杨柏人工河交汇的东北部,其地貌形态呈葫芦瓢形,且千台山为软弱土区,加上人类工程经济活动的破坏,为泥石流的形成提供了有利的地形、物源和水源条件。

6 结 语

随着抚顺市市区的不断开发,以及人类生活和生产活动的进一步加强,地质灾害会进一步加剧。如何有效地预防和监测地质灾害,已成为当地政府和地质工作者面对的新课题。为此,根据本次遥感调查结果,结合有关文献资料分析,提出以下 3 点建议:

①继续加强地质灾害形成与演化规律的调查研究,这是地质灾害预防的基础。

②加强地质灾害的遥感调查与动态监测工作,掌握地质灾害的分布规律,及时预测和预报灾害的活动情况。

③合理开发、预防为主、全面规划与重点防治相结合。地质灾害的发生发展与人类活动有直接的关系,合理开发和利用自然资源,保护生态环境,实际上也是减少地质灾害发生的有效措施之一。要取得良好的减灾效果,首先要做好防治规划,从总体上指导地质灾害防治工作。实践证明,适时采取预测措施是防止灾害破坏、减少灾害损失的最有效途径。

参考文献(References):

- [1] 娄华君,王宏,夏军,等.地质信息可视化的应用——城市环境地质研究之发展方向[J].中国地质,2002,30(3):330~334.
Lou Huajun,Wang Hong,Xia Jun,et al.Application of geological information visualization—Direction in development of the study of urban environmental geology[J].Geology in China,2002,30(3):330~334(in Chinese with English abstract).
- [2] 林军.海峡西岸城市群地质环境特征研究[J].中国地质,2006,33(2):444~450.
Lin Jun.Geo-environmental characteristics in cities of southern Fujian at the west coast of the Taiwan Strait [J].Geology in China,2006,33(2):444~450(in Chinese with English abstract).
- [3] 温守钦,李仁锋,任群智,等. GIS 技术在地质灾害区划中的应用[J].中国地质,2005,32(3):512~517.
Wen Shouqin, Li Renfeng, Ren Qunzhi, et al. Application of GIS technology in the regionalization of geological hazards [J]. Geology in China, 2005,32(3):512~517(in Chinese with English abstract).
- [4] 辜寄蓉,范晓,彭东.九寨沟地质灾害预测的空间分析模型 [J].中国地质,2002,29(1):109~112.

- Gu Jirong, Fan Xiao, Peng Dong. Spatial analysis model for the forecast of geological disasters in Jiuzhaigou [J]. *Geology in China*, 2002,29(1):109~112(in Chinese with English abstract).
- [5] 孙延贵, 张国伟, 王冬青, 等. 青海省生态环境分区的遥感应用研究[J]. *中国地质*, 2003,30(2):214~219.

Sun Yangui, Zhang Guowei, Wang Dongqing, et al. Applications of the remote sensing technique in eco-environmental division in Qinghai Province [J]. *Geology in China*, 2003,30 (2):214~219(in Chinese with English abstract).

Remote sensing survey of geological hazards in the urban district of Fushun City

MA Xiao-ji^{1,2}, YANG Zi-an², ZOU Lin², ZHANG Pu-bin², ZHANG Jian-guo²

(1. *Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*;

2. *China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China*)

Abstract: Fushun City is one of the important and large coal industry bases in China. With long-term excavation operations, the stopes and pits are continuously enlarged and deepened, the ground instability of the mining area and its peripheral areas is aggravated and geological hazards such as localized ground subsidence have already occurred. This brings direct threat to production and living of the local people and seriously influences sustainable social and economic development. In this study the types, quantity and manifestations of existing geologic hazards in the urban study area and the interrelations between geologic hazards and faults were ascertained rapidly by using the remote sensing technique, thus offering an accurate and reliable basis for the prevention and control of geological hazards in the area. The application of the remote sensing technique yielded good results.

Key words: remote sensing technique; geologic hazard; image feature; Fushun City

About the first author: MA Xiao-ji, male, born in 1956, senior engineer, engages in mapping and “3D” research; E-mail: 13803221855@sina.com.