

技术方法

* 山东省重点地段矿山环境地质遥感监测方法研究

吕庆元¹, 刘振南¹, 王凤华², 李国庭²

(1. 安徽省地质测绘技术院, 安徽 合肥 230022; 2. 山东省地质测绘院, 山东 济南 250002)

摘要:充分利用遥感技术具有波段多、视域广、信息丰富、现势性强、同一地区可重复成像的特点,以达到快速、准确地对矿山环境地质问题进行监测的目的。该次研究通过对多时相的 TM, ETM, SPOT5、航片数据的分析,利用先进的遥感数字图像处理技术,总结出各类矿山环境地质遥感监测的方法。为山东省下一步开展矿山环境地质监测工作奠定基础,为以后作此类项目提供了技术方法支撑。

关键词: 矿山; 环境地质; 遥感; 监测; 山东省

中图分类号: X87

文献标识码: B

0 引言

随着卫星遥感技术的不断发展,同一地区获取的多光谱、多时相遥感数据越来越多,为矿山环境地质监测及研究工作提供了丰富的信息源。目前,遥感数据源种类较多,各种数据的光谱分辨率、空间分辨率和价格差距都非常大。究竟选用哪种类型的遥感数据进行监测才能取得快捷、经济、有效的成果,是该次研究的重点。

该次研究工作依据山东省地质勘查项目委托书(鲁勘字[2007]68号)文要求,对山东省铁路与高速公路两线可视范围矿山环境地质现状进行遥感动态监测方法研究。由于矿山环境地质的突发性与多发性的特点,充分利用遥感技术波段多、视域广、信息丰富、现势性强的优势,通过综合分析研究确定符合山东省实际情况的监测方法,为类似监测工作提供相关的技术方法支撑。

长期以来,矿山地质灾害一直采用群众举报、实地调查和逐级统计上报的模式,不仅速度慢,标准难以统一,受空间视野的限制,很难对大范围的地质灾害作全面了解和掌握,更难进行矿山地质灾害的预测预报及动态变化研究^[1]。为充分发挥遥感技术的优势,达到快速、准确地对矿山环境地质问题进行

监测的目的,监测范围选在肥城、兖州、济南东部、莱芜、胶东金城、济青南线6个典型矿山环境地质分布区,面积约1300 km²。在工作中主要采用航天与航空,中分辨率与高分辨率,多时相和多源数据相结合,计算机信息自动提取与人机交互式解译相结合,室内遥感解译与野外实地检查验证相结合的方法,获取了丰富的成果资料。

1 监测区遥感数据概况

该次收集的资料有 TM, ETM, SPOT5、航片等,成像时间为1996年、2002年、2006年。共涉及14景数据,其中 TM, ETM 数据9景, SPOT5 数据5景, 1:2000的航片数据37幅。其数据轨道号、具体成像时间及质量详见表1。

以上所采用多为春季或冬季成像的遥感影像数据,云量少,受大气噪音和地表干扰因素相对较少,能够较好地反映该区的地形地貌、地质构造、地表废弃堆积物、植被覆盖、矿山开发、交通、人文活动等矿山环境要素。

2 遥感图像处理

2.1 遥感图像几何校正、融合、增强处理

遥感图像几何校正处理是保证遥感地质监测成

* 收稿日期:2010-04-06;修订日期:2010-07-05;编辑:曹丽丽

作者简介:吕庆元(1962—),女,浙江新昌人,测绘工程师,主要从事测绘及技术管理工作;E-mail:kongqin.1220@yahoo.com.cn。

果精度的基础,该次全部采用1:5万地形图采集几何校正控制点,进行多项式双线性重采样校正。融合方法主要采用IHS法^[2]。增强方法主要采用对比度、线性、滤波^[3],从而增加了解译成果的可靠性。

表1 矿山环境地质遥感动态监测区所采用的数据源

监测区名称	遥感数据源类型						
	LandsatTM		LandsatETM +		法国 SPOT5		航片
	成像时间	轨道号	成像时间	轨道号	成像时间	轨道号	成像时间
肥城	1996.10	122-34	2002.10	122-34	2006.05	283277	—
	2006.05				2002.10	283277	
胶西北金城一带	1996.10	120-34	2002.10	120-34	2005.04	289275	—
	2006.05				2005.04	290275	
济南南部一带	1996.10	122-34	2002.10	122-34	2006.05	2853277	2006.05
	2006.05				2006.05	2853277	
莱芜	1996.10	122-34	2002.10	122-34	2006.10	285277	—
	2006.05				2002.10	283277	
济南东部一带	1996.10	22-34	2002.10	122-34	2006.10	285277	—
	2006.05				2002.10	283277	
兖州	1996.10	122-35	2002.10	122-35	—	—	—
	2006.05				—	—	

注:“—”为数据缺失。

2.2 矿山环境地质信息提取

由于采空塌陷、岩溶塌陷、煤矸石堆、采石场、尾矿库、植被等,在影像上的光谱特征、形状特征、空间关系特征均显示较为直观、清晰,对其解译采用了计算机自动提取。由于矿山环境地质的复杂性,卫星遥感数据的多样性,单一的遥感分类方法满足不了遥感调查工作的需要,该次信息提取综合运用了差值/比值法、图像复合分类法、分类后比较法(主成分分析法、人工神经网络法^[4,5])。

3 遥感动态监测方法

通过对6个重点调查区矿山环境地质遥感监测成果进行对比分析研究,发现不同的地质灾害类型其规模大小、影响范围和所处环境地质等方面有很大差异,它们在遥感图像上的光谱特征也千差万别,采用的遥感动态监测方法也各不相同。

3.1 采空塌陷遥感监测方法

采空塌陷是矿山最突出的一种地质环境问题,它的发生、发展,挤占、毁坏了大量农田,影响农业生产,对房屋建筑、道路、水利工程以及矿山自身安全都存在严重的威胁^[6]。通过对肥城、兖州、济南东

部、莱芜、胶东金城一带的煤矿、铁矿、金矿采空塌陷进行遥感调查,不同地区不同矿种的采空塌陷对地表的破坏程度反映不一,在遥感图像上会产生明显差异。实地观察发现,多数塌陷坑的坑壁陡直,无法耕种,随着时间推移坑壁坍塌变缓,底部生长杂草,较大的塌陷坑经过改造后种上庄稼。在TM图像上塌陷坑呈独立的环形或椭圆形斑点、斑块状,呈独立个体成群分布,色调明暗不同。由于塌陷坑是有一定深度的负地形,在阴影作用下,立体效果明显。与正地形(如坟墓、独立树冠)相比,形成的立体效果正好相反。塌陷坑的阴影出现在环形图斑内侧的下半部分,而土堆形成的阴影出现在环形图斑内侧的上半部分,这是塌陷坑判断正确与否的重要标志。有的塌陷坑虽已填平,但从隐约可见的浅色环状还能看出塌陷坑的轮廓。有的虽未形成塌陷坑,但周围地物已发生明显的色异常变化。如肥城、兖州煤矿、莱芜铁矿采空塌陷范围大,塌陷坑多积水,未积水区已造成土壤结构和水分含量的变化已经显现出塌陷坑的轮廓。在TM,ETM影像上较易识别。由于B4反映水体较好,B5信息量最为丰富,不同地类之间反差较大,B1水体的亮度值较高,所以采用TM451波段组合最能反映塌陷区的变化。由于矿区大气污染较为严重,对图像进行了对比度拉伸、滤波等处理。这种类型的采空塌陷区与周围地物反差大,采用阈值法进行塌陷地信息提取,然后对提取结果采用3波段差值彩色合成法,能够直观地反映塌陷区近十年间的动态变化。如莱芜、济南一带的煤矿、胶东金城一带采空塌陷规模较小,其危害表现为农田浇灌时漏水,地面裂缝,房屋开裂,部分搬迁等。经实地验证,大部分塌陷坑被当地百姓随即掩埋。对这种类型的塌陷能否从图像上识别,主要取决于遥感信息空间分辨率的大小。在中分辨率TM,ETM+影像上能隐约分辨出塌陷造成的房屋搬迁,不易监测动态变化。采用高分辨的SPOT213波段与全色波段进行IHS方法融合后的图像,进行2%的线性增强,从居民地的纹理特征、色调的变化可以提取塌陷信息。对于塌陷坑规模较小,又无积水,建议使用更高分辨率的遥感图像如Quickbird,IKONOS等进行监测,效果会更好一些。

3.2 岩溶塌陷遥感监测方法

莱芜岩溶塌陷主要是由于矿山抽排地下水造成的,规模较小。岩土体洞隙在空间分辨率为30 m ×

30 m 的 TM 影像上,充其量也只反映为像元级的小图斑,是很难直接目视辨别的。该区岩溶塌陷波谱异常信息主要通过面状彩色区域或者图斑形式反映^[7]。而彩色增强对显示反映面状影像特征最有效,故对 TM 影像处理主要采用彩色增强处理方法,为获得最佳合成效果,共试验了 12 种假彩色合成方案,其中 4 种(214, 215, 351, 354)对反映塌陷波谱异常效果显著,用于地质解译效果较好。通过不同数据源对岩溶塌陷形成的外部环境作了可解性对比分析(表 2),可以看出 TM 对地层、构造、岩性识别较好,可局部采用 TM 图像配合多时相高分辨的 SPOT5 图像进行岩溶塌陷遥感监测,效果较佳。

表 2 岩溶塌陷外部环境在不同遥感影像中的可解性对比

外部环境	TM 影像特征分析	SPOT 影像特征分析
第四系岩性	对第四系冲洪积、残坡积物显示清晰	对岩性反映不明显
断裂	呈断续的色带异常特征,显示清晰	波谱信息显示微弱
高水位分布区	明显不同于周围背景的颜色异常区域	形状不规则,明显不同于周围背景的颜色异常区域
人类活动情况	有显示	明显显示
已知岩溶塌陷	粗略显示其轮廓	边界清晰,与周围地物反差大,呈明显的暗色调

3.3 崩塌、滑坡、泥石流遥感监测方法

崩塌、滑坡、泥石流等斜坡地质灾害的分布发育主要受地形、地貌、地层岩性、地质构造、新构造活动、气象以及人为活动等多种因素的制约^[8]。由于崩塌、滑坡、泥石流多发生在山区,图像几何变形相对大,校正时需加密控制点,且要均匀分布。

3.3.1 崩塌

该次主要研究由露天采石采矿、道路开挖等引起的崩塌,其多发生在节理裂隙发育的陡崖上,岩石破碎,上陡下缓,破损面坎坷不平,具粗糙感,无植被。在遥感影像上崩塌体后缘发育有直线形或弧形陡峭山崖与绝壁。在遥感影像上阳坡为浅色调区块、阴坡呈浓重的阴影区带。崩塌体多呈“片帮式”沿陡壁连续分布,有的在壁脚形成堆积裙坡。古崩塌体影像粗糙,微地貌起伏不平,地表植被覆盖往往呈丛状。现代崩塌体呈浅色调不规则斑块影像。且常常成群、成带出现。

为了突出崩塌发育的环境,便于更好识别崩塌,对 TM,ETM 图像采用 453,741 波段组合,进行了线性(2%)增强处理,使得岩性、植被覆盖、山体完整

性显示较清晰。对 SPOT5 图像在校正时要加密控制点,采用几何多项式进行 3 次卷积重采样法变换,以确保图像精度。对 SPOT213 波段组合的图像采用 HSV 法融合、直方图调整增强处理后,地形地貌显示很清晰,目视效果较好。对局部的航片数据作了对比度拉伸,使山体细节更为突出。

通过不同片种的遥感解译,发现 TM,ETM 图像对崩塌发生的宏观地质背景反映好,对崩塌的形态特征显示较为模糊。一般的崩塌形态要素在 SPOT5、航片上显示较清楚,崩塌的轮廓线明显,崩塌壁多呈浅色调,接近灰白;有时在航片上可见到崩塌体上部张节理形成的裂缝影像。

3.3.2 滑坡

滑坡是一种较难识别的斜坡变形现象,在济南南部张夏一带时有发生,滑坡多发育在山地、丘陵地区的斜坡地带。滑动面是以页岩、薄层灰岩为主的岩体,滑体为厚层灰岩,植被不发育。其遥感影像特征沿滑坡体的边缘常由于含水性的增强而色调相对较暗并沿滑坡的后缘分布一连串的洼地、水塘等,滑坡体两侧的自然沟切割较深。滑坡体后缘发育有弧形异常影像,包括陡坎、地形变异线、色调异常线等;前缘边坡向谷地凸出,常有地形微突起及小型崩滑堆积影像。新滑坡体显示较均匀的灰白色,老滑坡体显示较均匀的深绿色调。

3.3.3 泥石流

泥石流是山区特有的一种地质灾害。经实地调查,泥石流的物源主要来自于人工的采石采矿活动产生的废石、矿渣,堆积在山坡或沟谷中,地形地貌、降水等动力因素易引发泥石流。泥石流的形态在遥感图像上易识别,堆积区形态呈扇形,流域边界清楚,新堆积区为灰白色,老堆积区为浅绿,新区无植被,老区为耕地。

对 TM,ETM 图像采用 741,453 波段组合,进行对比度、彩色增强处理,对泥石流隐患区的植被盖度、坡面裸露松散物、岩石类别与构造、山体坡度和沟床坡降、汇水区大不小、流域平面形状、人为活动都能有所显示,泥石流堆积区与环境背景的光谱差异(ΔDN)提高了很多。对 SPOT5 213 波段组合的图像进行线性增强后,对泥石流的影响因素反映十分清晰。

3.4 废石堆、采石场、破损山体的遥感监测方法

煤矿、铁矿及非金属矿露天开采及道路开挖会

造成基岩裸露、植被破坏。产生的固体废弃物占压大量土地,往往会诱发重力地质灾害。这一类地物在遥感图像上最容易识别,无论是在中分辨率的 TM, ETM, 还是在高分辨率的图像上,其都有显示。对 TM, ETM453, 741 波段组合的图像作了对比度拉伸处理后,开采面、堆积轮廓线清晰可辨; SPOT213 波段自融合的图像作了直方图调整,开采面的纹理细节更加清晰。

通过实地调查,新的固体废弃物堆表现为表面新鲜,堆积范围集中,呈锥形,与周围植被边界明显;旧的固体废弃物由于常年风化剥蚀,实地表现为爪状冲沟明显,在山坡上堆积的固体废弃物受雨水冲刷及重力作用顺山坡滑落,沿沟谷堆积^[9]。肥城、兖州等地的矿渣主要堆放在平地中,胶东金城一带的矿渣堆放在沟谷和低洼地中。在遥感影像上,其开采面、废弃物轮廓清晰可见。如在 ETM741 波段与 PAN 波段融合图像上,呈浅蓝色、暗褐红色等混合色调,总体以冷色调为主。在 SPOT 彩色融合图像上色调较亮,为白色、浅蓝紫色、紫色等杂色,斑杂状影纹图案,新鲜的开采面色调较浅,为亮白色;而早期工作面常常为浅蓝紫色;矿渣顺坡堆放,在没有挡土墙时,矿渣流失到下游沟中。

由于胶东金城一带、济南东部调查区固体废弃物、采石场分布较为广泛,人机交互式解译工作量太大,所以采用了以人工神经网络法信息提取为主。首先对3个时相的原始图像作了主成分分析中正向 PC 变换后,采用人工神经网络法对采石场、矿渣堆、尾矿库进行分类,将分类结果转成矢量文件叠加到地形地质底图上,进行伪信息的剔除,最后把3个年代的结果叠加分析求出变化。

4 监测效果分析

通过多时相、多片种的遥感解译,基本查明了该研究区各类矿山环境地质的现状、分布范围、展布规律及发展趋势(表3)。采空塌陷、岩溶塌陷、矿山污染、矿山开发引起的一系列崩塌、滑坡、泥石流隐患,发展速度较快,遥感图像反映较为直观、清晰。

5 结论

(1)对大面积的采空塌陷区、大规模的固体废

弃物选取多时相的 ETM 数据进行动态监测,完全可以满足工作需要。

表3 1996—2006年矿山环境地质现状及变化情况

矿山环境地质类型	1996年现状面积(km ²)	2002年现状面积(km ²)	2006年现状面积(km ²)	1996—2002年间变化面积(km ²)	2002—2006年间变化面积(km ²)
采空塌陷	10.74	15.79	25.67	5.05	9.88
岩溶塌陷	0.29	0.30	0.31	0.01	0.01
崩塌、滑坡、泥石流	34处	35处	42处	1处	7处
采石采矿坑	2.2	2.92	4.93	0.72	2.01
固体废弃物	2.25	3.49	4.03	1.24	0.54

(2)对中、小规模采空塌陷、固体废弃物、岩溶塌陷、粉尘污染、崩塌、滑坡、泥石流、破损山体等采用多时相 SPOT5 数据进行遥感监测可满足工作需要。

(3)对小规模的矿山环境地质问题,如金矿采空塌陷、破损山体等最好选用更高分辨的遥感图像(QUICKBIRD、IKONOS、航片等)。

(4)通过多时相遥感资料研究、对比和分析,能直观显示矿山环境地质的动态变化,准确预测其大致发展趋势,可为政府部门制订科学、合理的环境治理方案提供依据,从而达到长期防治的效果。

参考文献:

- [1] 李成尊, 聂洪峰. 矿山地质灾害特征遥感研究[J]. 国土资源遥感, 2005, (1): 45-48.
- [2] 张生, 赵春三, 杨桃, 等. 多光谱与高分辨图像融合方法比较研究[J]. 遥感信息, 2007, (5): 56-57.
- [3] 陈述. 遥感技术与遥感数字图像分析与处理方法, 解译制图及其综合应用实务全书[M]. 北京: 宁夏大地音像出版社, 2005.
- [4] 邓良基. 遥感基础与应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [5] 毛建旭, 王耀南. 基于神经网络的遥感图像分类[J]. 测控技术, 2001, (5): 30-32.
- [6] 黄江华, 王晓明. 安徽省矿山地质环境现状与发展趋势分析[J]. 安徽地质, 2004, (4): 286-287.
- [7] 吴虹. 桂林市西城区岩溶塌陷遥感影像特征、模式识别与预测[J]. 桂林工学院学报, 2000, (2): 95-97.
- [8] 熊盛青, 聂洪峰. 遥感技术在地质灾害调查与监测中的应用[J]. 遥感技术, 2003, (4): 50-53.
- [9] 王晓红, 聂洪峰. 矿产资源开发状况遥感动态监测技术流程的建立[A]//全国国土资源与环境遥感技术应用交流会议论文集[C]. 北京: 2004: 36-39.

Study on Remote Sensing Method in Monitoring Geological Environment of Mines in Key Sections in Shandong Province

LV Qingyuan¹, YANG Zhennan¹, WANG Fenghua², LI Guoting²

(1. Anhui Technical Institute of Geological Mapping, Shandong Jinan 230022, China; 2. Shandong Geological Mapping Institute, Shandong Jinan 250002, China)

Abstract: By fully using the characteristics of remote sensing technology, such as multiply bands, wide view, abundance information, advanced trends, and repeatable imaging features in the same areas, geological environmental problems in mines can be monitored accurately and rapidly. Through the study and the analysis on multi-phase TM, ETM, SPOT5 and aerial photos, by using advanced remote sensing digital image processing technology, various types of remote sensing methods for monitoring geological environmental problems in mines are summarized. It will provide basis for carrying out environmental and geological monitoring of mines in Shandong province.

Key words: Mines; environmental geology; remote sensing; monitoring; Shandong province