

文章编号: 1009-6248(2007)03-0092-06

遥感技术在黄土高原区地质灾害详细调查中的应用

张茂省, 雷学武, 校培喜, 聂浩刚, 黄玉华, 武文英, 丁辉

(西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要: 黄土高原区地质灾害频发, 危害严重, 在延安市宝塔区地质灾害详细调查试点中, 选用高分辨率的 Spot 5 和快鸟卫星 (QuickBird) 数据, 进行了地质灾害解译与信息提取, 获取了丰富的地质环境条件和地质灾害以及载体信息, 为开展地质灾害野外调查提供了基础资料, 发挥了遥感技术的先导作用。笔者从遥感调查的内容、数据选择和处理、解译技术方法、地质灾害信息提取、解译及解译效果等方面论述了遥感技术在宝塔区地质灾害详细调查中的应用, 认为该技术方法和本次所取得的经验可以在黄土高原区地质灾害详细调查中推广和应用。

关键词: 遥感技术; 地质灾害调查; 数据融合; 解译

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

黄土高原地区是我国生态环境最为脆弱的地区之一, 特殊的自然地理和地质环境, 导致该地区存在或发育独特环境地质问题与地质灾害。区内黄土堆积厚度大, 结构疏松, 地表水系发育, 水土流失严重, 沟壑纵横, 地形破碎, 滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害频发, 严重威胁人民群众的生命和财产安全, 灾害损失触目惊心, 阻碍区域经济的发展。近年来, 随着人类工程活动的加剧, 地质灾害呈现加重的趋势。因此, 开展黄土高原区地质灾害详细调查对减灾防灾和促进国民经济发展具有重要的现实意义。

为快速、准确、高效开展黄土高原地区地质灾害详细调查, 选择位于陕北黄土高原中部的延安市宝塔区, 以遥感技术为主要手段, 开展地质灾害详

细调查试点。在本次试点调查中, 选用高分辨率的 Spot 5 和快鸟卫星 (QuickBird) 数据, 进行了地质灾害解译与信息提取, 获取了丰富的地质环境条件和地质灾害以及载体信息, 为开展地质灾害野外调查提供了基础资料, 发挥了遥感技术的先导作用。本文以宝塔区地质灾害详细调查为依据, 从遥感调查的内容、数据选择和处理、解译技术方法、地质灾害信息提取、解译及解译效果等方面论述了遥感技术在宝塔区地质灾害详细调查中的应用, 认为该技术方法和本次试点调查所取得的经验可以在黄土高原区地质灾害详细调查中推广和应用。

2 地质灾害遥感调查的内容

遥感调查是以遥感数据和地面控制为信息源, 获取地质灾害及其发育环境要素信息, 确定滑坡、崩

收稿日期: 2007-02-18; 修回日期: 2007-06-12

基金项目: 国土资源大调查项目 (121010541106-3), 陕西延安市宝塔区地质灾害详细调查 (1212010541106-3)

作者简介: 张茂省 (1962-), 男, 陕西乾县人, 研究员, 长期从事水工环地质调查研究。通讯地址: 710054, 西安市友谊东路 438 号, 西安地质矿产研究所; 电话: 029-87821980; E-mail: zhangmaosheng@cgs.gov.cn。

塌、泥石流类型、规模及空间分布特征，分析地质灾害形成和发育的环境地质背景条件。前人在这一领域做了大量的探索和研究工作（单新建等，2001；冯东霞，2002；朱博勤等，2001）。本次地质灾害遥感调查的内容主要包括地质灾害发育环境背景条件、地质灾害体及承灾体三个方面。

地质环境条件调查：主要调查与滑坡、崩塌、泥石流等发育有关的地貌类型、地质构造、岩（土）体类型、水文地质现象和地表覆盖等内容。

地质灾害体调查：主要包括识别地质灾害体，确定灾害体的空间分布特征，解译地质灾害体的类型、边界、规模、形态特征，分析其位移特征、活动状态、发展趋势、并评价其危害范围和程度，分析地

质灾害的成因及发育规律，编制地质灾害遥感解译图。

地质灾害载体调查：主要包括建筑物、工程设施、基础设施、运输工具及人类经济活动等的类型、分布、规模、经济价值及其易损性等。

3 遥感数据的选择

随着遥感技术的发展，用于地质灾害调查的遥感数据越来越多，目前国内使用的星载多光谱遥感技术系统见表 1。

传感器系统空间分辨率的选择，一般应小于被

表 1 目前常用的星载遥感技术系统

Tab. 1 Currently in common use system of remote sensing technology

系 统	Landsat4、5 (TM)	Landsat7 (ETM ⁺)	Spot (多光谱)	Spot (全色)	快鸟卫星 (QuickBird)	CBERS-1
光谱覆盖范围 /nm	450~2 350, 1 050~12 500	450~2 350, 520~900	500~890	510~730	450~900	450~730, 630~890, 500~12 500
波段数	7	8	3	1	4	11
地面覆盖范围 /km	185	170	60	60	16.5	113, 890, 120
空间分辨率/m	30, 120	30, 15, 60	10	2.5	0.61, 2.44	19.5, 256, 77.8~156
覆盖周期/d	16	16	5~9	5~9	1~6	26

探测目标最小值的 1/2（赵英时等，2003）。由于受分辨率的限制，在 TM/ETM⁺影像上很难解译出来一般的地质灾害（姜青香等，2004），只能宏观地解译地质灾害形成的地质环境条件和特大型地质灾害。法国 Spot 5 数据多光谱空间分辨率为 10 m，全色空间分辨率为 2.5 m，幅宽为 60 km，将其用于地质灾害方面则可以清晰的解译出一般的地质灾害。快鸟卫星（QuickBird）是目前世界上商业卫星中分辨率最高、性能较优的一颗卫星。其多光谱空间分辨率为 2.44 m，全色波段分辨率为 0.61 m，幅宽为 16.5 km，可应用于地质灾害危害严重的区段。

针对宝塔区地质灾害规模多为中、小型及详细调查精度的要求，选用 Spot 5 和快鸟卫星（QuickBird）两类数据。整个调查区采用 Spot 5 数据，延安市区采用快鸟卫星（QuickBird）数据。

4 遥感数据的处理

数据处理内容包括控制点选取、遥感数据正射纠正、融合、镶嵌，标准 DOM 数字正射影像图分幅和整饰等，处理结果用于地质灾害解译，将结果提供野外验证。

4.1 控制点选取与正射校正

在 1：5 万地形图采集控制点对 Spot 5 数据进行校正；在 1：1 万地形图上采集控制点对快鸟卫星（QuickBird）数据进行校正，利用控制点与 DEM 数据对遥感数据进行正射校正，累积控制点误差的标准方差在 1~2 个像元之内，山区放宽至 3 个像元。

4.2 数据融合

针对遥感数据不同的分辨率、不同光谱特征，选取最佳波段组合的多光谱影像，与高分辨率全色波段影像融合，形成兼有高分辨率空间信息和多光谱

彩色信息的融合影像。通过融合处理突出反映各类地质体和灾害现象及其变化的空间信息和光谱信息,便于解译和分析。

Spot 5 数据采用多通道影像四则运算和自然彩色融合算法。对全色影像先做正态化处理,再利用计算公式对多通道的图像进行彩色变换。

快鸟卫星(QuickBird)数据处理综合利用小波分解、PCA 主成分分析、HIS 变换等。首先利用小波分解、PCA 主成分分析获取全色波段第一主成分,再对多光谱图像进 IHS 变换,对全色波段的第一主成分分量和多光谱 I 分量进行小波分解,利用代表快鸟卫星(QuickBird)全色波段图像纹理特征的第一主成分的高频图像和快鸟卫星(QuickBird)多光谱的 I 分量的低频图像进行小波逆变换,得到新的 I 分量图像。将新的 I 分量和多光谱的 H 与 S 分量,进行 IHS 逆变换,得到融合图像。

4.3 图像镶嵌

研究区跨多景遥感影像,需要对遥感影像镶嵌处理,主要经过重叠区确定、色调调整、镶嵌等,色调调整主要采取直方图法。镶嵌结果色调和谐,几何精度高。

4.4 标准分幅

按 1:5 万(Spot 5)和 1:1 万(Quick Bird)标准图幅对数字正射影像进行分幅,分幅要求覆盖完整行政区,当分幅影像不满幅时,按不满幅分幅、满幅整饰。为保证相邻图幅之间的接边,切割范围应适当向外扩 20 个像素。

4.5 格式转换与地形图叠加

将标准分幅图像(*TIF)转换成 MAPGIS 软件内部格式(*MSI),便于人机交互解译;将图像与相应的地形图进行叠加显示,便于解译野外调查和复核。

5 地质灾害遥感信息提取与解译

5.1 植被覆盖度信息提取

利用 Spot 5 数据,进行归一化差值计算,求取植被指数 NDVI(Normalization Difference Vegetation Index)。计算公式:

$$I_{NDVI} = \frac{R_{IR} - R}{R_{IR} + R}$$

式中, R_{IR} 为近红外波段地表反射率, R 为可见

光红波段地表反射率。

根据植被指数换算植被覆盖率,计算结果见图 1。调查区南部植被覆盖率明显高于北部,梁崙高于河谷。北部植被覆盖率一般小于 0.3,大多数区域小于 0.6;南部植被覆盖率一般大于 0.6,局部大于 0.8。

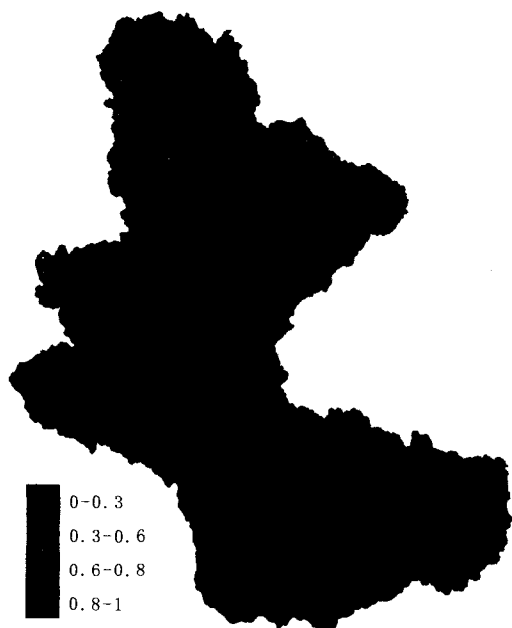


图 1 植被覆盖度分布图

Fig. 1 Map of vegetation coverage

调查区南部植被覆盖率明显高于北部,梁崙高于河谷。北部植被覆盖率一般小于 0.3,大多数区域小于 0.6;南部植被覆盖率一般大于 0.6,局部大于 0.8。

5.2 地质灾害解译

解译主要采用目视解译和人机交互解译,利用总体观察、对比分析、综合分析等方法,解译地质灾害点 918 处(图 2)。

5.2.1 滑坡解译

区内滑坡多为黄土滑坡,滑坡形态典型,在 Spot 5 和快鸟卫星(QuickBird)遥感影像上易于识别(图 2~图 5)。滑坡周界呈弧形、圈椅形、马蹄形、新月形、梨形、漏斗形、葫芦形、舌形等;阴坡标志较阳坡明显,常表现为连续的地貌形态突然被破坏,由陡坡和缓坡两种地貌单元组成,坡体下方由于土体挤压,有时可见到高低不平的地貌,缓坡部分深冲沟发育,地形破碎;滑坡整体以淡绿—



图2 地质灾害遥感解译图

Fig. 2 The interpretation map of geological hazard

浅绿色为主,滑坡后壁土体裸露、色调较浅,滑体色调不均匀,滑体前缘一般呈浅色调,后缘封闭洼地由于经常积水,呈深色调;滑体上呈浅色调夹深色斑块和条带,影纹粗糙,常有斑点状出现。

古老滑坡后壁较高,细小冲沟发育;坡面较为平整;滑坡两侧自然沟谷较深,多出现“双沟同源”,滑坡舌多远离河道,有的滑坡舌外有河漫滩阶地;滑坡体上多辟为耕地,有较大树木和居民点分布。如冯庄乡南沟塌古老滑坡(图3)、桥尔沟镇夏咀古老滑坡(图4)。

新滑坡滑体影像色杂乱(图5中淡绿色和灰白色),后壁影像色多为白色,高度较低,土体裸露,地形破碎,地形起伏不平,滑体坡度较大,地面裂缝发育,冲沟不发育;滑坡无冲沟发育和植被覆盖。如青化砭镇散岔新滑坡(图5)、柳林镇虎头峁新滑坡(图6)。

5.2.2 不稳定斜坡解译

不稳定斜坡在Spot 5和快鸟卫星(QuickBird)遥感影像较为清楚,多为弧型块状结构,影纹粗糙;为淡绿—浅绿色,色调不均匀,坡面较陡,斜坡后缘具有直线型或圆弧型陡坎,坡面地形破碎;坡面植被稀少,无冲沟或少冲沟。如延安市市区礼堂沟口不稳定斜坡(图7)、延中沟不稳定边坡(图8)等。

5.2.3 崩塌解译

基岩崩塌和黄土崩塌在工作区均有发育,但以后者为主,因崩塌规模一般较小,在遥感图像上难以识别,难以建立解译标志。

遥感解译和野外调查验证表明,地质灾害密集区植被覆盖程度明显低于稀疏区;灾害点主要分布在延河流域,在汾川河流域仅有零星分布;延河支流,特别是支流上游的冲沟和干沟两侧,形成多个黄土滑坡密集区(五羊川、蟠龙川、牡丹川、丰富川、碾庄沟等);灾害点整体呈带状展布。分析其主要原因是延河支流的发育程度为滑坡、崩塌、泥石流的形成提供临空条件;黄土地质条件导致坡体变形失稳;受地形限制,工程和基础设施一般都修建在沟谷两岸,当地居民也沿沟谷两岸斩坡、筑窑建房为地质灾害的发生创造了有利条件。崩塌由于规模较小,不利于解译,但野外调查显示其在延河、汾川河河谷密集。特殊的地形地貌和岩土地质条件,限制了滑坡、崩塌等灾害的特征,控制了滑坡、崩塌等灾害的分布规律。

6 地质灾害解译效果评价及结论

利用高分辨率遥感数据对宝塔区地质灾害进行了详细解译,全区共解译滑坡910处,不稳定斜坡8处,进行解译核查565个,核查点占解译点总数的62%;解译结果显示,在解译程度很好的地区(延河流域阴坡地段),不良地质体可识别率达到100%,准确率达95%以上;在解译程度较好地区(延河流域阳坡地段),不良地质现象识别率达90%以上,准确率85%;解译程度一般地区(汾川河流域),仅为65%左右,解译精度达地质灾害详细调查的要求。

综上所述,可以得出如下结论。

(1)延安市宝塔区地质灾害调查结果表明,黄土高原地区植被覆盖度低,地质灾害形态典型,在高空间分辨率卫星影像特征清楚,遥感解译准确率高,满足地质灾害详细调查的精度要求。因此遥感技术可作为黄土高原地区地质灾害详细调查前期的主要手段。

(2)宝塔区滑坡、崩塌、泥石流具有数量多、密度高、变形模数大,规模以中、小型为主的特点。利用高分辨率的遥感数据进行灾体和承灾体解译,指



图 3 冯庄乡南沟塌古老滑坡遥感影像特征
(Spot 5 遥感图像)

Fig. 3 Characteristic of RS image for ancient landslide of Nangouta, Fengzhuang Town

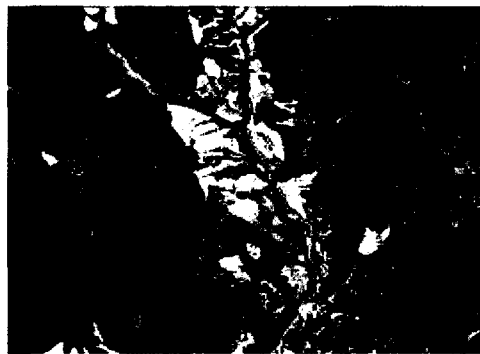


图 4 桥尔沟镇夏咀古老滑坡遥感影像特征
(QuickBird 遥感图像)

Fig. 4 Characteristic of RS image for ancient landslide of Xiazui, Fengzhuang Town

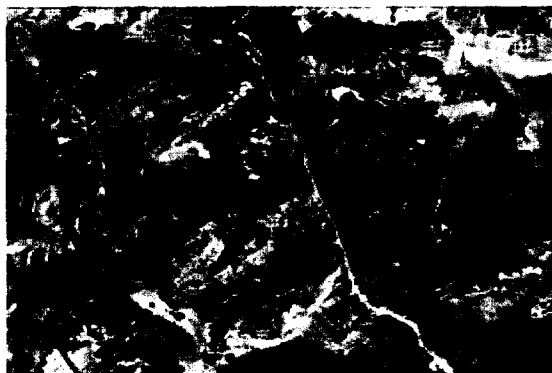


图 5 青化砭镇散岔新滑坡遥感影像特征
(Spot 5 遥感图像)

Fig. 5 Characteristic of RS image for new landslide of Sancha, Qinghuabian Town

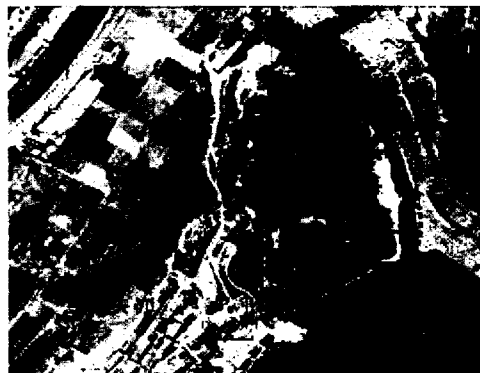


图 6 柳林镇虎头峁新滑坡遥感影像特征
(QuickBird 遥感图像)

Fig. 6 Characteristic of RS image for new landslide of Htoumao, Liulin Town



图 7 市区礼堂沟口不稳定斜坡遥感影像特征
(QuickBird 遥感图像)

Fig. 5 Characteristic of RS image for unsteady slope of Litanggou, Baota Town



图 8 市区延中沟不稳定斜坡遥感影像特征
(QuickBird 遥感图像)

Fig. 8 Characteristic of RS image for unsteady slope of Yanzhonggou, Baota Town

导野外详细调查,可以缩短工作时间,起到快速和事半功倍的作用,并查明了地质灾害及其隐患的分布与特征。

(3) 黄土高原区地质灾害可解译程度受遥感数据源、环境地质背景、灾害类型及地表覆盖情况等影响。但总体上讲,快鸟卫星(Quick Bird)数据解译识别率和准确率高于 Spot 5 数据。在 1:1 万工程地质测绘区可采用快鸟卫星 Quick Bird 数据,在 1:5 万调查和测绘区可采用 Spot 5 数据。

(4) 详细调查解译中,Spot 5 和快鸟卫星(Quick Bird)数据中滑坡解译效果很好,不稳定斜坡次之,崩塌除了大型崩塌外,一般很难识别。

参考文献 (References):

- 单新建、叶洪,等. 遥感、GIS 结合与区域天然滑坡调查[J]. 地质论评,2001,11(6):649-652.
- 冯东霞. 地质灾害遥感调查的应用前景[J]. 湖南地质,2002,12(4):315-318.
- 朱博勤,聂跃平. 易贡巨型高速滑坡卫星遥感动态监测[J]. 自然灾害学报,2001(3):104-107.
- 赵英时,等. 遥感应用分析原理与技术方法[M]. 北京:科学出版社,2003:37.
- 姜青香,刘慧平. 利用纹理分析方法提取 TM 图像信息[J]. 遥感学报,2004,8(5):458-464.
- 张茂省,校培喜,魏兴丽,等. 延安市宝塔区崩滑地质灾害发育特征与分布规律初探[J]. 水文地质工程地质,2006,11(6):72-74.
- 中国地质调查局. 滑坡崩塌泥石流灾害详细调查规范(1:50000). 2006.
- FENG Dongxia. Application foregroune researching of remote sensing technology about geologic disaster[J]. Hunan Geology,2002,12(4):315-318.
- JIANG Qingxiang, LIU Huiping. Extracting TM image information using texture analysis [J]. Journal of Remote Sensing,2004,8(5):458-464.
- SHAN Xinjian, YE Hong, et al. Integration of RS and GIS and its application to the investigation of regional natural landslides[J]. Geological Review,2001,11(6):649-652.
- ZHU Boqin, NIE Yueping. Using satellite remotely sensed data to monitor Yigong tremendous high-speed landslide[J]. Journal of Natural Disasters,2001,(3):104-107.
- ZHANG Maosheng, XIAO Peixi, et al. A preliminary discussion of the occurrence of landslide in the Baota district of Yan'an City [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006, 11(6):72-74.

Application of Remote Sensing in Detailed Survey of Geological Hazards in Loess Plateau

ZHANG Mao-sheng, LEI Xue-wu, XIAO Pei-xi, NIE Hao-gang,
HUANG Yu-hua, WU Wen-ying, DING Hui

(Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China)

Abstract: Geological hazards are frequent and dangerous in loess plateau regions. During the detailed survey of geological hazards in the Baota district of Yan'an City, high-resolution data sets of Spot-5 and QuickBird were selected to extract the necessary information for further interpretation. Abundant information on geological environment and hazards was obtained, which provides basic data for field investigation with full advantage of remote sensing as a first screening tool. In this paper, we discuss the application of remote sensing in the detailed survey of geological hazards in the Baota district from several aspects, including contents of the survey; data selection, processing and interpretation; extraction of useful information from existing data; and effectiveness and usefulness of the methodology. The technical approach and insights gained from this study can be extended to other loess plateau regions with frequent geological hazards.

Key words: remote sensing; geological hazard survey; data fusion and interpretation