
研究
简报

四川省泸定县磨西台地地质灾害遥感监测研究

张景华, 李宗亮, 张建龙, 刘小霞, 欧阳渊

(国土资源部 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要: 利用多时相, 多平台卫星遥感数据, 对四川省泸定县磨西台地的地质灾害开展了遥感监测。研究了地质灾害的发展演化趋势, 判定了地质灾害的稳定性, 为磨西台地的地质灾害防治提供了科学依据。遥感监测显示, 自 2006 年 1 月 2 日至 2009 年 12 月 21 日的近 4 a, 磨西台地内无新发生泥石流和崩塌灾害, 原已发生的泥石流和崩塌也未见明显复发, 泥石流处于停歇期, 崩塌处于稳定状态。大部分滑坡处于稳定状态, 只有 1 处新发生的滑坡还在发展之中, 处于不稳定状态, 存在进一步发展的可能, 需进一步加强监测。磨西台地岸坡的冲蚀滑塌和浅层流滑则一直在持续发展, 对磨西台地岸坡的稳定构成威胁, 并造成磨西台地面积的缩小, 需要及时治理。

关键词: 磨西台地; 地质灾害; 遥感监测

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0104-05

中图分类号: P407.8

Remote Sensing Monitoring of Geological Hazards on Moxi Platform in Luding County of Sichuan Province

ZHANG Jing-hua, LI Zong-liang, ZHANG Jian-long, LIU Xiao-xia, OUYANG Yuan

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: The remote sensing monitoring of geological hazards on the Moxi Platform in Luding County, Sichuan Province, China, was carried out using remote sensing data from the multi-temporal and multi-platform satellite. Evolution trends and stability of geological hazards were obtained, and a scientific basis for prevention of geological hazards was provided. Results from the remote sensing monitoring reveal that during the period of nearly four years from January 2, 2006 to December 21, 2009, new debris flows and avalanches did not occur at the platform, which means that there were no recurrence of debris flows and avalanches, debris flow were intermittent, and avalanches and most of landslides were in a steady state. There was only one new landslide still in developing and precarious state, which is subject to further development and needs to be monitored. Slides and collapses induced by river erosion and shallow debris flow on margins of the Moxi Platform are always developed continuously, which will threaten the stability of bank and reduce the area of the platform and hence needs handling at early date.

Keywords: Moxi Platform; geological hazard; remote sensing monitoring

2005 年 8 月 11 日, 海螺沟风景区发生特大泥石流灾害, 是建国以来海螺沟风景区所遭受的最大一次泥石流灾害^[1], 作为外界通往海螺沟风景区的必经之路和旅游接待基地的磨西台地, 在此次泥石流灾害中遭受了严重的损失。地质灾害广泛分布、暴发频繁, 对磨西台地居民和游客的生命财产安全、旅游设施、农田水利设施等构成严重威胁, 已经严重影响到了当地经济社会的可持续发展。遥感技术已经成为地质灾害调查研究的一种重要手段, 遥感影像可以真实地反映地质灾害发生时的具体情况, 运用多期遥感影像可以监测地质灾害的发展演化趋势^[2-4]。

本文利用多时相, 多平台卫星遥感数据, 对磨西台地的地质灾害进行了遥感监测, 研究“050811 特大泥石流灾害”发生后 4 a 内磨西台地地质灾害的时空分布规律, 分析地质灾害的发展演化趋势, 判定地质灾害的稳定性, 从而为磨西台地地质灾害的防治提供一定的科学依据。

1 研究区概况

本次遥感监测的研究区包括磨西台地及其周围的部分地区, 面积约 100 km², 行政区划隶属于四川省甘孜藏族自治州泸定县磨西镇和新兴乡。研究区

收稿日期: 2012-06-29

修回日期: 2012-07-17

资助项目: 中国地质调查局项目“典型泥石流防治关键技术及示范”(1212010814038)

作者简介: 张景华(1978—), 男(汉族), 湖南省资兴市人, 学士, 工程师, 主要从事遥感地质工作。E-mail: zjinghua@cgs.cn。

内有一条主沟(即雅家埂河)由西北向东南方向贯穿研究区,在主沟的西侧有发源于现代冰川的 4 条较大支沟——南门关沟、燕子沟、磨子沟、海螺沟与主沟连通,所有水系在磨西台地的尖端处汇流成为磨西河,最后流入大渡河。南门关沟沟口以南的主沟内堆积了松散—半胶结的厚 80~300 m,宽 100~1 500 m 的第四纪冰川冰碛物,就是泛指的磨西台地,郑本兴^[5]研究认为磨西台地的主体是由倒数第 2 次冰期的冰水堆积物构成。研究区交通较为便利,省道 211 线从研究区东侧经过,磨榆公路从研究区穿过。

研究区位于贡嘎山东侧,地势总体呈东西两侧和北面高,中部和东南部低,峡谷深切而陡峻,相对高差一般 1 000~1 450 m。该区属于大陆性季风高原型气候,主要受东南季风和来自四川盆地的暖湿气流的影响,年温差较大、日温差较小,雨量较充沛,年平均雨量 897.8 mm,降水主要集中于 6—9 月,湿度较大。

区内出露的地层由老至新分别为泥盆系中统中段(D₂², 结晶白云岩夹千枚岩、片岩)、二叠系下统中段(P₁², 灰岩、白云岩、石英片岩)、二叠系下统上段(P₁³, 大理岩夹云母石英片岩)、二叠系上统(P₂, 绿片岩、石英岩夹板岩、大理岩)、三叠系上统须家河组(T_{3x}, 砾岩、砂岩、碳质页岩夹煤层)和第四系崩坡积物、残坡积物、冲洪积物和冰碛物等。区内出露的岩浆岩主要为斜长花岗岩、闪长岩、石英闪长岩和超基性岩。该区处于鲜水河断裂带的南延部分,断裂性质为左旋走滑,属全新世活动断裂。

2 遥感监测思路

首先,选用时间间隔为 2 a 左右的 3 期卫星遥感数据,通过遥感数字图像处理,制作具有统一的波段合成方式、投影方式和坐标系统的 3 期遥感影像图,作为地质灾害遥感解译的底图,然后建立研究区地质灾害的遥感解译标志,根据解译标志对 3 期遥感图像分别开展地质灾害遥感解译,并进行野外调查和验证,对解译结果进行补充和修改,以确保遥感解译结果的准确和可靠(见图 1)。

对遥感解译结果进行综合分析和对比研究,通过对第 2 期和第 3 期遥感影像上新解译的地质灾害数量进行统计分析,并结合单个地质灾害体在 3 期遥感影像上影像特征的变化,来监测磨西台地在 2006 年 1 月 2 日—2009 年 12 月 21 日的近 4 a 时间里地质灾害发育程度的变化规律,研究地质灾害的发展演化趋势。

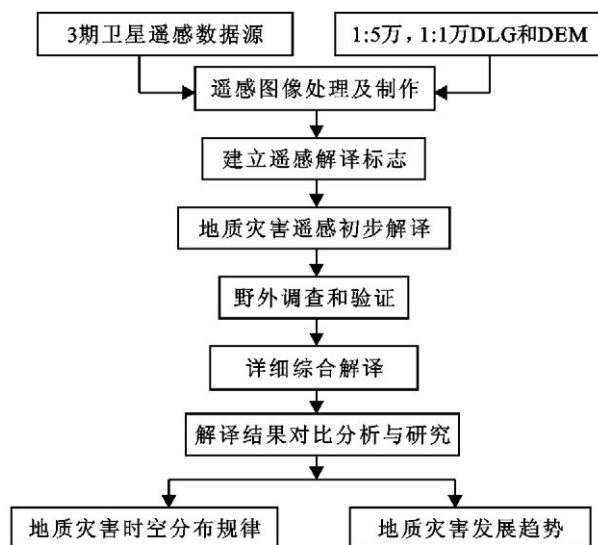


图 1 磨西台地地质灾害遥感监测工作流程

3 遥感数据选择和图像处理

本次研究一共收集了 3 期卫星遥感数据作为地质灾害遥感监测研究的数据源,其中 2 期为 SPOT 5 卫星遥感数据,另 1 期为 Quickbird 高分辨率卫星遥感数据(表 1)。3 期遥感数据每相邻两期的时间间隔都为 2 a 左右,成像季节都为冬季,影像质量均较好,云量和雪量均较少。另外还收集有 1:5 万,1:1 万 DLG 和 DEM,分别用于 SPOT 5 和 Quickbird 卫星影像的正射校正。

本次工作的遥感图像处理主要包括彩色合成、正射校正、图像融合、图像增强等步骤。

3 期卫星影像均采用自然彩色合成,有利于目视解译。由于 SPOT 5 影像缺乏蓝色波段,严格来说,无法实现真正意义上的自然彩色合成,但是通过波段变化和运算,还是可以生成类似于自然彩色的显示,具体的做法:红色 XS₂、绿色(XS₁+XS₂+XS₃)/3、蓝色 XS₁,其中 XS₁, XS₂, XS₃ 分别对应 SPOT 5 的 1, 2, 3 波段(即绿、红和近红外)。Quickbird 卫星影像采用红色 XS₃、绿色 XS₂、蓝色 XS₁,其中 XS₁, XS₂, XS₃ 分别对应 Quickbird 的 1, 2, 3 波段(即蓝、绿和红)。

SPOT 5 卫星影像为 DIMAP 产品,带有卫星轨道的物理模型,在 PCI 遥感图像处理软件中以 SPOT 5 卫星影像+DEM(digital elevation model)+GCP(ground control point)+物理模型的方法对影像进行正射校正。

表 1 3 期卫星影像简况

序号	卫星	空间分辨率	成像日期	备注
1	SPOT 5	多光谱 10 m, 全色 5 m	2006 年 1 月 2 日	HRG
2	SPOT 5	多光谱 10 m, 全色 5 m	2008 年 1 月 5 日	HRG
3	Quickbird	多光谱 2.44 m, 全色 0.61 m	2009 年 12 月 21 日	Ortho Ready Standard

Quickbird 卫星影像为预正射产品(ortho ready standard),带有 RPC 参数(rational ploynomial coeficient,有理多项式系数)。采用有理函数模型(rational function)来对 Quickbird 影像进行正射校正,即在 PCI 遥感图像处理软件中采用 Quickbird 单景影像+RPC+DEM+GCP 的模式,对 Quickbird 影像进行正射校正^[6]。校正后的 3 期遥感影像具有相同的投影方式和坐标系统。经增强处理后的影像

层次丰富、清晰易读,色调均匀,反差适中。

4 地质灾害遥感解译

四川省泸定县磨西台地地质灾害比较发育,其地质灾害类型除了崩塌、滑坡、泥石流以外,还有磨西台地东西两侧岸坡地质灾害,根据成因和形态,磨西台地岸坡地质灾害可分为 2 种类型:冲蚀滑塌和浅层流滑^[7]。分别对 3 期影像开展地质灾害遥感解译(图 2)。

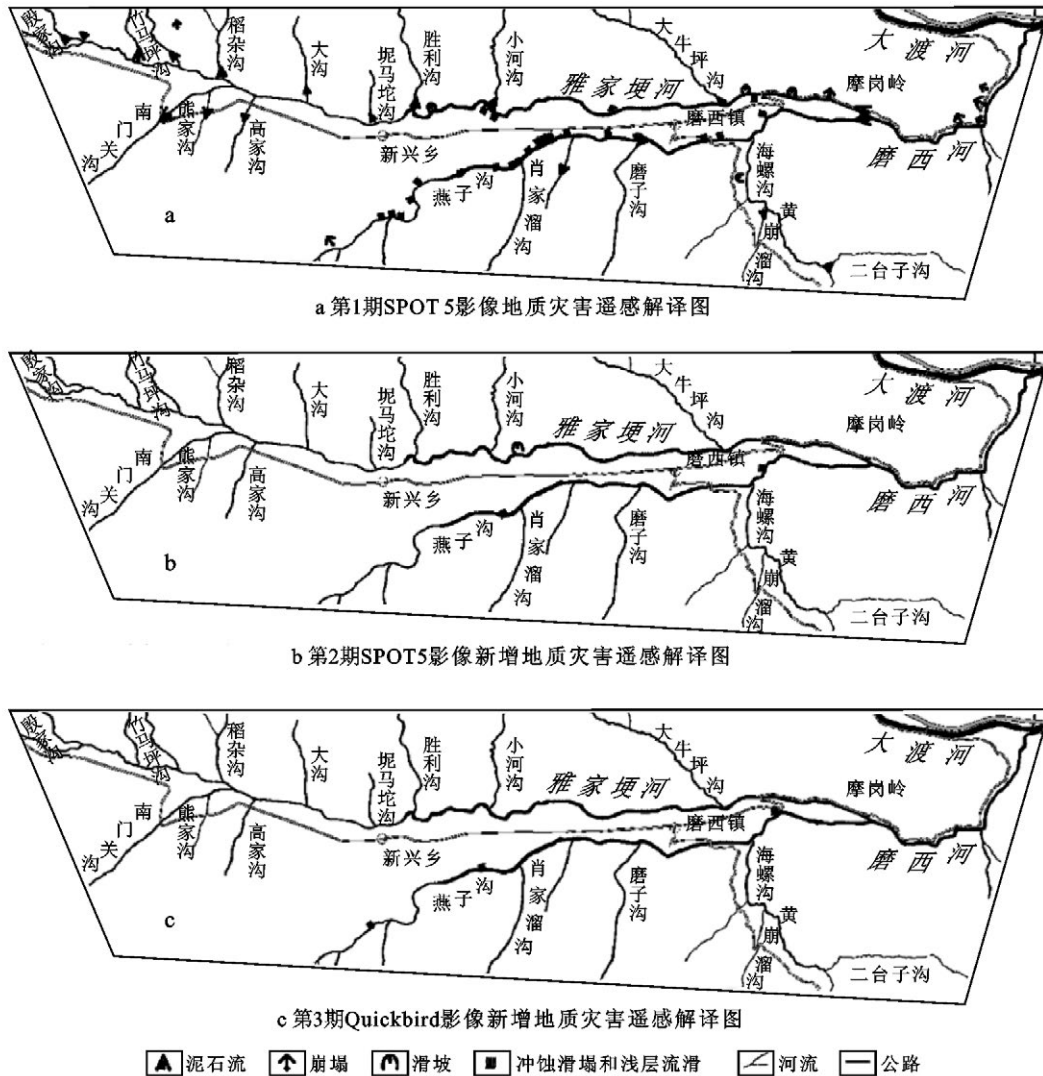


图 2 3 期地质灾害遥感解译图

(1) 通过对第 1 期 SPOT 5 影像(成像日期为 2006 年 1 月 2 日)进行遥感解译,2006 年 1 月 2 日之前发生的地质灾害类型有崩塌、滑坡、泥石流和磨西台地东西两侧岸坡冲蚀滑塌、浅层流滑,一共解译地质灾害 53 处,其中泥石流 19 处,滑坡 4 处,崩塌 8 处,冲蚀滑塌和浅层流滑 22 处(图 2a)。

(2) 通过对第 2 期 SPOT 5 影像(成像日期为 2008 年 1 月 5 日)进行遥感解译,2006 年 1 月 2 日—2008 年 1 月 5 日发生的地质灾害类型有滑坡和磨西

台地东西两侧岸坡冲蚀滑塌、浅层流滑,无新发泥石流和崩塌灾害,一共新解译地质灾害 3 处,其中滑坡 1 处、冲蚀滑塌和浅层流滑 2 处(图 2b)。

(3) 通过对第 3 期 Quickbird 影像(成像日期为 2009 年 12 月 21 日)进行遥感解译,2008 年 1 月 5 日—2009 年 12 月 21 日发生的地质灾害为磨西台地东西两侧岸坡冲蚀滑塌、浅层流滑,无新发泥石流、滑坡和崩塌灾害,一共新解译地质灾害 3 处,全部为冲蚀滑塌和浅层流滑(图 2c)。

5 地质灾害时空分布规律

3期遥感影像共解译地质灾害59处,但在时空分布上有明显的差异。

5.1 地质灾害空间分布规律

在空间分布上,绝大多数泥石流分布于雅家埂河左岸支沟和燕子沟右岸支沟处,泥石流堆积体位于支沟沟口;滑坡主要分布于雅家埂河左岸山坡地带;崩塌主要分布于雅家埂河和磨西河的左岸山坡地带;冲蚀滑塌和浅层流滑则全部分布于磨西台地东西两侧岸坡地带,多处于河流凹岸处,绝大多数冲蚀滑塌和浅层流滑分布于磨西台地西侧岸坡地带,少数分布于磨西台地东侧岸坡地带。

新增地质灾害类型主要为冲蚀滑塌和浅层流滑,主要集中分布于磨西台地西侧的岸坡地带,无新增泥石流和崩塌灾害发生,仅新增1处滑坡灾害。

5.2 地质灾害时间分布规律

在时间分布上,研究区内占总数89.84%的地质灾害发生于2006年1月2日之前,尤其泥石流和崩塌全部发生在2006年1月2日之前,分析其中原因,该区在2005年8月11日晚上7点至次日早上9点,发生了100a一遇的特大规模的群发性泥石流,研究区内的泥石流和崩塌大多是那时集中爆发的;2006年1月2日至2008年1月5日发生地质灾害3处,只占解译总数的5.08%,其中滑坡1处,冲蚀滑塌和

浅层流滑2处;2008年1月5日—2009年12月21日发生地质灾害3处,占解译总数的5.08%,全部为冲蚀滑塌和浅层流滑。

从地质灾害发生的时间分布来看,从2006年1月起,研究区内地质灾害的发生数量趋于减少,表明4a来区内地质灾害的发育强度有所减弱,新增地质灾害类型以冲蚀滑塌和浅层流滑为主,新发生的地质灾害类型趋于单一。

6 地质灾害发展趋势遥感监测

通过分析研究区内地质灾害在不同时间段内的发生数量,并结合单个地质灾害体在3期遥感影像上影像特征的变化,来研究磨西台地地质灾害的发展趋势。

6.1 泥石流发展趋势

通过遥感监测表明,研究区内的泥石流都发生在2006年1月2日之前,2006年1月2日—2009年12月21日近4a时间,研究区内未新发生泥石流灾害;通过3期遥感影像对比分析,原已发生的泥石流堆积体上未见有新的泥石流堆积物覆盖,多数泥石流堆积体上已长出植被或复垦,表明近4a来,研究区内的泥石流沟均未明显复发,泥石流基本处于停歇期。

例如高家沟和熊家沟泥石流(图3a,3b),通过对比高家沟和熊家沟泥石流的3期遥感影像发现,被泥石流冲毁的公路已经修复,被掩埋的耕地也已经复垦(图3c,3d),表明近4a来,这2条泥石流沟没有复发。

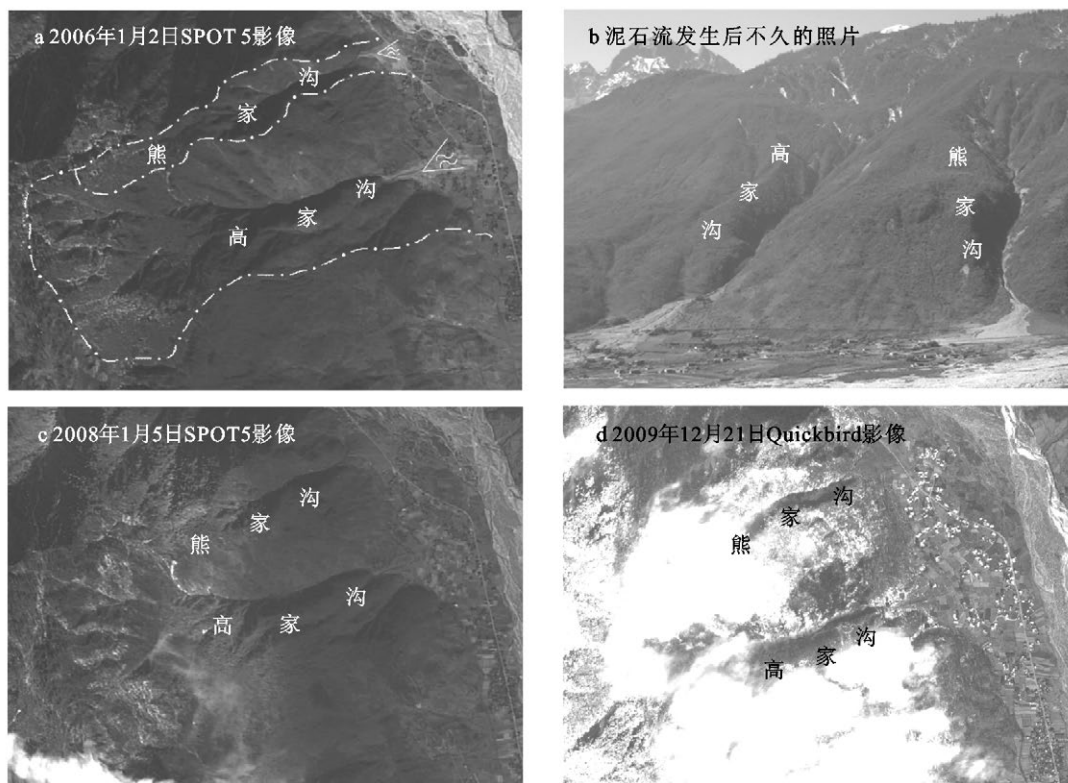


图3 高家沟和熊家沟泥石流3期影像和照片

6.2 崩塌发展趋势

遥感监测也表明,研究区内的崩塌也都发生在 2006 年 1 月 2 日之前,2006 年 1 月 2 日—2009 年 12 月 21 日近 4 a 时间,研究区内未新发生崩塌灾害。通过 3 期遥感影像对比分析,原有的崩塌也基本未见明显复发,表明近 4 a 来研究区内的崩塌基本处于稳定状态。

6.3 滑坡发展趋势

遥感监测表明,研究区内有 4 处滑坡发生在 2006 年 1 月 2 日之前,只有 1 处滑坡(康乐村滑坡,发生时间为 2007 年夏季)发生于 2006 年 1 月 2 日—2008 年 1 月 5 日,2008 年 1 月 5 日—2009 年 12 月 21 日未新增滑坡灾害。通过对 3 期遥感影像进行对比分析,2006 年 1 月 2 日之前发生的 4 处滑坡在 3 期遥感影

像上的形态特征没有明显变化,表明这 4 处滑坡处于基本稳定状态,近 4 a 来未进一步发展。通过对 3 期遥感影像进行对比分析发现,在 2006 年 1 月 2 日的 SPOT 5 影像上,康乐村滑坡还没有发生(图 4a);在 2008 年 1 月 5 日的 SPOT 5 影像上,滑坡已经发生,但滑坡边界呈参差状,滑坡壁较陡峻且凹凸不平,滑坡后缘还留有一个三角形土石体(图 4b,4d);在 2009 年 12 月 21 日的 Quickbird 影像上,滑坡边界已变圆滑,滑坡后缘的滑坡壁变缓且平滑,三角形土石体已垮塌滑落(图 4c)。通过 3 期遥感影像的对比分析,康乐村滑坡的发生、发展近乎完美地呈现出来,推测康乐村滑坡目前处于不稳定状态,未来还存在进一步发展的可能。

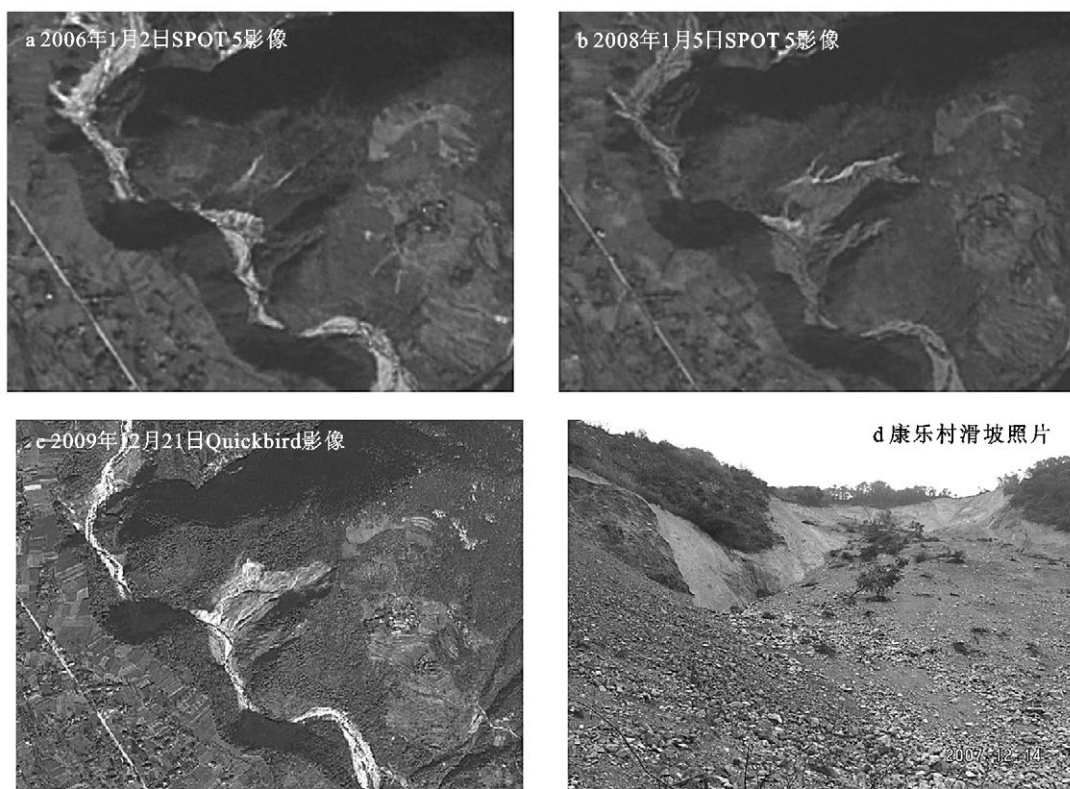


图 4 康乐村滑坡三期影像和照片

6.4 冲蚀滑塌和浅层流滑发展趋势

磨西台地岸坡有 22 处冲蚀滑塌和浅层流滑发生在 2006 年 1 月 2 日之前,2006 年 1 月 2 日至 2008 年 1 月 5 日新增冲蚀滑塌和浅层流滑 2 处,2008 年 1 月 5 日至 2009 年 12 月 21 日新增冲蚀滑塌和浅层流滑 3 处。遥感监测表明,2006 年 1 月 2 日至 2009 年 12 月 21 日近 4 a 时间,磨西台地岸坡的冲蚀滑塌和浅层流滑处在一个持续发展的过程中。新增冲蚀滑塌和浅层流滑都位于河流的凹岸位置,说明河流对由第四系冰水堆积地层构成的磨西台地的冲刷侵蚀可能是造成磨西台地岸坡冲蚀滑塌和浅层流滑持续发生的主要原因。

7 结论

(1) 利用多时相卫星遥感数据对一定区域内的地质灾害开展遥感监测,可以有效地查明区域内地质灾害的种类、数量和时空分布规律,分析地质灾害的发展演化趋势,判定地质灾害的稳定性。

(2) 遥感监测表明,2006 年 1 月 2 日至 2009 年 12 月 21 日近 4 a 时间,研究区内地质灾害的发育程度有所减弱,新发地质灾害类型趋于单一,以台地岸坡的冲蚀滑塌和浅层流滑为主。

(下转第 264 页)

势。而耕地、未利用地、水域呈现负向变化速率,表明其面积减少。土地利用年变化速率顺序依次为林地>耕地>园地>未利用地>交通用地>草地>居民点及工矿用地>水域。

(4) 张家口市的土地利用结构信息熵和均衡度总体上均呈上升趋势,优势度则呈现与信息熵与均衡度相反的变化趋势,表明张家口市土地利用结构由有序向无序方向发展,土地利用结构均衡性增强,土地利用优势度减小。

(5) 张家口市土地利用结构的多样化指数在增加,集中化指数在减小,表明研究期内张家口市土地利用方式趋向多样性,土地利用类型集中化程度在降低。

(6) 张家口市土地利用结构及其变化特征与其地形地貌、社会经济发展、经济效益驱动以及国家相关生态工程项目的实施等自然、社会、经济因素密切相关。

[参 考 文 献]

- [1] 郭旭东,陈利顶,傅佰杰. 土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响[J]. 环境科学进展, 1999, 7(6): 66-75.
- [2] 索俊峰. 千岛湖镇土地利用变化的生态环境效应研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(2): 267-272.
- [3] 赵锐锋,姜朋辉,陈亚宁,等. 塔里木河干流区土地利用/覆被变化及其生态环境效应[J]. 地理科学, 2012, 32(2): 244-250.
- [4] 张军岩,于格,于潇萌. 1980年至2000年胶州湾地区土地利用变化及其对区域可持续发展的影响[J]. 资源科

学, 2009, 31(9): 1607-1611.

- [5] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.
- [6] 许月卿,罗鼎,冯艳,等. 西南喀斯特山区土地利用/覆被变化研究:以贵州省猫跳河流域为例[J]. 资源科学, 2010, 32(9): 1752-1760.
- [7] 万远,李霖,应申,等. 土地利用变化分析与决策系统的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 313-318.
- [8] 李秀彬. 全球环境变化的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-557.
- [9] 史培军,陈晋,潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55(2): 151-160.
- [10] 许月卿,彭建. 贵州省猫跳河流域土地利用变化及其对土壤侵蚀的影响[J]. 资源科学, 2008, 30(8): 1218-1225.
- [11] 彭建,王仰麟,张源,等. 滇西北生态脆弱区土地利用变化及其生态效应[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 629-638.
- [12] 贾科利,张俊华,马正亮,等. 生态脆弱区土地利用变化与沙漠化响应研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 98-103.
- [13] 姜广辉,张凤荣,吴建寨. 北京山区建设用地扩展及其耕地变化关系研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 88-93.
- [14] 朱会义,李秀斌,何书金,等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 253-260.
- [15] 林珍铭,夏斌,董武娟. 基于信息熵的广东省土地利用结构时空变化分析[J]. 热带地理, 2011, 31(3): 266-271.
- [16] 何淑勤,郑子成,陈华峰. 重庆市北碚区土地利用结构变化特征研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 84-88.

(上接第 108 页)

(3) 2006年1月2日至2009年12月21日近4a时间,研究区内未新发生泥石流和崩塌灾害,原有的泥石流和崩塌也均未见明显复发,近4a来研究区内的泥石流基本处于停歇期,崩塌处于基本稳定状态,说明近4a来研究区内的泥石流和崩塌灾害已趋于缓和。

(4) 研究区内有4处滑坡在2006年1月2日至2009年12月21日近4a时间处于基本稳定状态,另有1处康乐村滑坡近4a一直持续发展,目前处于不稳定状态,还存在进一步发展的可能,建议加强监测。

(5) 磨西台地岸坡的冲蚀滑塌和浅层流滑近4a来一直持续发展,河流冲刷侵蚀可能是造成磨西台地岸坡冲蚀滑塌和浅层流滑持续发生的主要原因。磨西台地岸坡冲蚀滑塌和浅层流滑的持续发生、发展对磨西台地岸坡的稳定构成威胁,并将造成磨西台地面积的缩小,建议及早治理。

致谢:本文在写作过程中得到了国土资源部成都

地质矿产研究所陈智梁研究员的悉心指导和热情帮助,特此感谢!

[参 考 文 献]

- [1] 陈晓清,崔鹏,陈斌如,等. 海螺沟 050811 特大泥石流灾害及减灾对策[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 122-126.
- [2] 王治华. 滑坡、泥石流遥感回顾与新技术展望[J]. 国土资源遥感, 1999, 11(3): 10-15.
- [3] 吕杰堂,王志华,周成虎. 西藏易贡滑坡堰塞湖的卫星遥感监测方法初探[J]. 地球学报, 2002, 23(4): 363-368.
- [4] 王志华,徐起德. 西藏帕里河 2004-06-22 滑坡卫星监测[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 281-287.
- [5] 郑本兴. 贡嘎山东麓第四纪冰川作用与磨西台地成因探讨[J]. 冰川冻土, 2001, 23(3): 283-291.
- [6] 关元秀,程晓阳. 高分辨率卫星影像处理指南[M]. 北京:科学出版社, 2008: 111-121.
- [7] 姚鑫,张永双,李宗亮,等. 四川泸定磨西台地第四纪冰水台地边坡地质灾害易发性研究[J]. 工程地质学报, 2009, 17(5): 597-605.