

文章编号: 1007-4619 (2001) 04-0312-05

从卫星图像上认识西藏易贡滑坡

王治华¹ 吕杰堂²

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 介绍易贡大滑坡发生的第4天至滑坡坝溃决前卫星遥感监测滑坡环境的状况。西藏易贡大滑坡发生后, 收集了滑坡发生前后不同卫星的多个时相的数据, 经数字图像处理及与地形图精确配准形成彩色正射图像, 对这些卫星图像进行解译后认为易贡大滑坡是喜马拉雅造山运动地貌演变过程中的一次大规模重力侵蚀活动, 活动性质为高速碎屑流滑坡。碎屑流发生后堆积物整体基本稳定, 但札木弄沟后端伴随着雪崩还有一定规模的活动, 在41d内碎屑流覆盖面积在12.9—11.4至12.4—10.0km²范围变化。滑坡堵江后4—41d, 易贡湖面积变化为19.9—43.6km²。由于正处积雪融化季节, 湖水上涨的速度很快, 而坝体脆弱, 预测随时有溃决的危险。2000-06-10, 滑坡坝溃决, 与卫星遥感解译推测的结果相符。

关键词: 卫星图像, 易贡大滑坡, 坝体溃决

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 易贡大滑坡的区域地质环境

易贡大滑坡位于西藏东部雅鲁藏布江的支流易贡藏布下游北岸, 离帕隆藏布约19km; 滑坡下游约59km, 在著名的大拐弯处汇入雅鲁藏布江, 如图1。滑坡中心点的经纬度为E94°58'03", N30°12'11"。

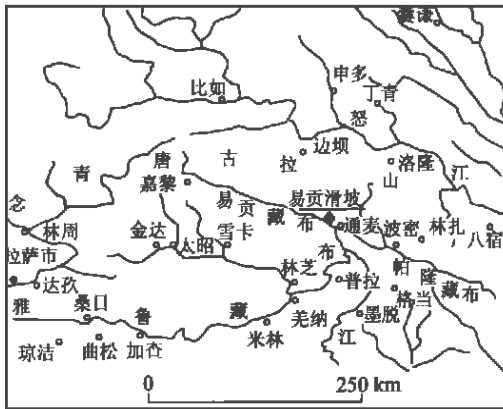


图1 易贡滑坡位置示意图

Fig. 1 Location of Yigong Landslide

易贡藏布大滑坡区域地质环境处于西藏东部念青唐古拉山南麓山原区的易贡藏布深切极高山地貌区。其构造体系属青藏歹字型体系, 位于西藏北部弧形构造南缘的当雄-嘉黎断裂带, 图2, 该处地形

严格受断裂带控制, 易贡藏布200 km长的河谷沿断裂带发育^[1]。当雄-嘉黎断裂带与北东向的林芝断裂交叉, 构成人字型活动断裂带, 形成著名的通麦-林芝地震带, 历史上曾多次发生强地震, 据历史地震记录, 1938—1967年的29 a中, 该带发生 ≥ 6 级的地震8次^[2], 该带的地震活动对区内的滑坡、泥石流的形成发育和活动有重要影响。易贡大滑坡便发生在两断裂带交叉部位附近。

滑坡周围主要为一系列以坚硬岩层为主, 间有软弱夹层的地层, 如石炭系旁多群(C_{pn}), 由灰绿色生物碎屑灰岩、钙质砂泥岩、中粗粒砂岩、粉砂岩、石英砂岩组成; 另有二迭系的片麻岩、石英岩、大理岩、混合岩及喜山期花岗岩^[2]。

2 遥感解译的数据源

本研究采用的数据源有3类: 卫星数据、地面控制数据及区域地质环境资料。

研究共使用了滑坡前后不同类型, 5个时相(大滑坡前算1个时期)的卫星数据, 其类型、光谱特性、地面分辨率及接收日期如表1。

本项目使用1:10万地形图作为卫星图像的大地坐标控制, 进行图像几何精校正。工作区共涉及4幅1:10万地形图, 易贡、通麦、鲁郎乡和加热萨区幅。

收稿日期: 2000-08-16; 修订日期: 2000-12-01

©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 王治华(1942—), 女, 中国国土资源航空物探遥感中心教授须高工, 从事泥石流及遥感应用研究, 已发表论文40余篇。

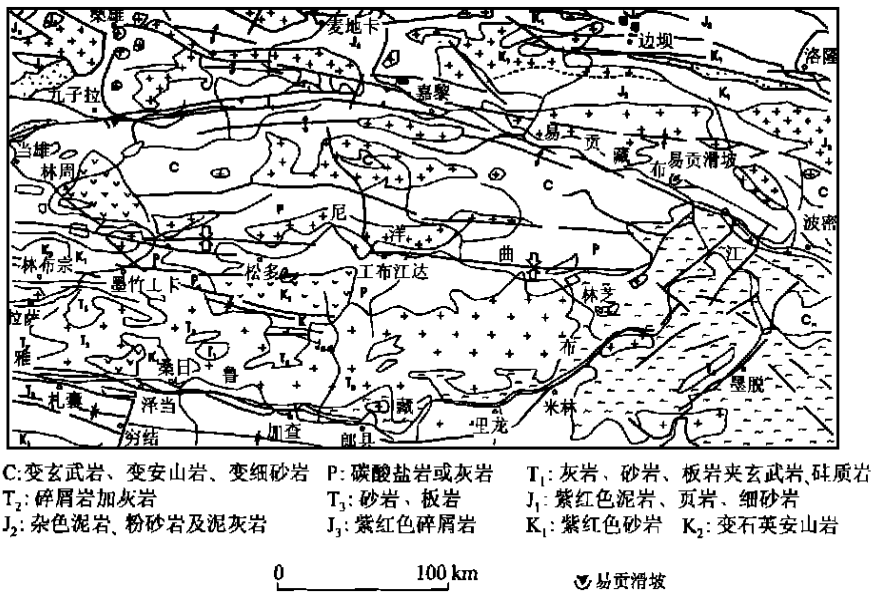


图2 易贡大滑坡区域地质构造示意图(据1:100万拉萨幅构造体系图改编)

Fig. 2 The tectonic map of Yigong landslide

本区区域地质工作程度较低,主要参考资料为1:100万拉萨幅地质图及说明书。

表1 本研究使用的卫星数据

Table 1 Satellite data used for the study of Yigong landslide

卫星类型	光谱特性	地面分辨率/m	接收日期
美国 TM5	多光谱	30	1998-11-15
美国 TM5	多光谱	30	1998-12-17
中巴卫星 CBERS-1	多光谱	20	2000-04-13
法国 SPOT4	多光谱	20	2000-05-04
中巴卫星 CBERS-1,	多光谱	20	2000-05-09
美国 IKONOS	多光谱	4	
美国 TM7	多光谱	30, 15	2000-05-20

3 卫星图像处理与解译

3.1 图像几何精校正及配准

从卫星遥感地面站和图像公司购买的卫星数据已经过针对卫星运行过程中产生的各种几何畸变进行的几何粗校正,对于滑坡灾害监测而言,这是不够的,我们需用大地坐标控制点对图像进行几何精校正。几何精校正综合考虑了所有因素造成的几何畸变,可获得高精度的供定量分析的数字图像。针对本研究区缺乏大地坐标控制点的实际情况,该项图像处理分以下两个步骤完成。

地形图校正 本研究图像几何精校正及配准的依据是地形图,而纸质地形图本身可能有各种误差(形变),为了将这些误差减为最小,在图像精校正前先校正地形图。具体步骤是:(1)高精度扫描,形成数字图像;(2)在 ENVI 软件平台中,在高斯-克里格投影空间 16°带,对数字地形图进行几何校正及配准;(3)将校正好的各幅地形图镶嵌成一幅,至此完成地形图的校正,获得地面控制坐标值。

图像合成及精校正 对于已获取的卫星数据,分别研究各波段数据的图像,根据所需要的信息特征,在上述软件平台上合成彩红外或仿自然彩色图像;在 ENVI 软件平台,在已校正、镶嵌好的地形图上选取合适的点作为地表控制点,采用三次褶积法对图像进行重采样,转换几何位置,确定亮度值,至此,图像几何精校正完成。

每景图像选取约 20 个控制点,这些点均匀分布在图像的各个部位,要求校正结果的均方差均小于一个像元。校正后的图像便成为与 1:10 万地形图精确配准的数字彩色卫星图像,供地质解译用。

为了方便对比及提高精度,我们将除 IKONOS 数据以外的所有图像重采样成为统一空间分辨率的图像。

为了更好地认识易贡滑坡及其发育环境,在滑坡周围约 1000km² 的范围建立了数字地形模型(DTM),该模型与精校正的图像结合形成易贡地区的三维地形地貌,如图版 I 图 3,供地质解译用。

3.2 人机交互解译

人机交互解译就是在 ENVI、PCI 等软件平台上,以精校正的数字卫星图像为基础,一面进行增强滑坡及其发育环境信息的各种图像处理,一面进行目视解译,一旦解译确定,便在该计算机平台上定性、定位,构划边界,计算面积,制作图形等。人机交互解译获取的是数字成果。

获取遥感解译的初步结果后,再综合其它环境资料进行分析、比较及修改。

4 解译结果

4.1 滑坡前易贡河下游的地貌环境

美国 TM5 号陆地资源卫星于 1998-11-15, 1998-12-17 接收的 TM 图像(图版 I 图 3)显示了大滑坡前约一年半易贡河下游的地貌和土地覆盖环境。易贡藏布及其支流在西藏雪域高原上以冰川和流水的方式在漫长的岁月中切割侵蚀形成极高山峡谷地貌,切割深度约 2000—4000 m。3500—6255 m 高程为积雪覆盖及冰川活动的山岭,4000 m 以下大部分为森林覆盖,冲积扇上有农作物及居民点分布。位于本区峡谷底部的易贡湖盆地不完全充满湖水,多条水流呈网状分布,湖的进出口高程分别为 2230m 及 2190m,盆地总面积约 26km²,湖水面积仅约 9.8km²。

塑造易贡区域地貌的不仅是冰川和流水,还有滑坡和泥石流活动。区内,特别是易贡湖下游两岸有多处大规模滑坡、泥石流沟分布。这次发生大滑坡的扎木龙沟为一沟床切割很深的泥石流沟,其流域面积约 28.8km²,沟头及中上游左岸为 40°至几近直立的陡壁,沟头附近有大量裂缝、楔口、滑坡及崩塌发育,明显为危岩区。下游至沟口一喇叭形堆积扇,面积约 3.4km²,由此推测历史上扎木龙沟曾多次暴发泥石流,从堆积扇上有植被分布及沟床深切的情况看,该沟至少在 1998 年 12 月底前处于泥石流活动的停歇期。

扎木龙沟东面与之相邻的是一个大规模顺层古滑坡,我们暂定名为甲中滑坡,估算滑坡体体积约 10 亿 m³。影像显示该滑坡的运动方式为推移式,后期至少曾有 4 次次级活动,显示为 4 级滑坡平台及台阶相间地形,目前整体稳定,仅前缘局部可能小规模复活。

扎木龙沟对面是一个大规模树枝状水系的泥石流沟相龙弄巴,流域面积约 65.5km²,中上游有冰川滑坡及支沟泥石流发育。卫星影像上显示,泥石流活动

在该沟口形成了约 6km² 的堆积扇,将易贡河推向对岸,推测该条泥石流沟活动较频繁,是历史上造成易贡河堵塞的主要灾害。

周围还有多处冰川滑坡、泥石流分布,见图版 I 图 3。

4.2 滑坡第 4 天的地表情况

中巴卫星 EBERS-14 月 13 日接收数据处理成的彩红外图像见图版 I 图 4,显示易贡滑坡发生第 4 天的地表情况,在原扎木龙沟位置出现了流体形态的易贡大滑坡,滑体出露总面积约 12.9km²,其中跨越易贡湖口的天然坝约 2.8km²。滑体上不同的色调和形态反映了不同特性的滑体部位:①被积雪覆盖的滑体,②滑体上含水较多,部分,③滑体较厚含水减少部分,④沟岸被高速滑体运动时剥蚀裸露部分。

由于滑坡将易贡河堵塞,湖水上涨,滑坡前水流呈网状分布的易贡盆地在滑坡发生的第 4 天已充满半盆湖水,湖水面积约为 19.9km²。

4.3 滑坡第 26 天的地表情况

法国 SPOT 卫星 5 月 4 日仿自然彩色图像见图版 I 图 5,表现易贡大滑坡发生第 26 天的情景,滑坡边界清楚,整体形态与图版 I 图 4 表现基本一致,但滑体北端变化较大,滑体出露面积减少到约 11.4km²,分析这是由于北端雪崩仍在进行,部分滑体被积雪覆盖的缘故。此时的易贡湖盆已完全充满,湖水面积猛增至 33.7km²。

4.4 滑坡第 30 天的地表情况

5 月 9 日的中巴卫星彩红外图像(图版 I 图 6),显示滑坡发生第 30 天的面貌,滑体基本形态仍然未变,但北端还是有变化,显示北端滑坡还有活动。滑体出露面积约为 12.4km²。湖水继续上涨,易贡湖面积已增至 37.3km²,5d 之内湖面扩大约 3.6km²,可见湖水上涨的速度是非常快的。图版 I 图 6 图像还显示,滑坡坝下游的易贡河水呈与滑坡体相似的色调,说明易贡湖水通过坝体向下游渗漏,将泥沙带入易贡河下游。

为了了解易贡湖溃坝前滑坡对下游的影响,我们专门订购了高几何分辨率的美国 IKONOS 数据。5 月 9 日迫龙藏布河口的 IKONOS 图像表明滑坡下游 50—70km 处(雅鲁藏布江大拐弯)的河道基本正常,但河水水位较 1998 年 12 月高许多,见图版 I 图 7。

4.5 滑坡发生第41天地表情况

滑坡发生后的第41天,在TM7号卫星图像上(图版I图8),易贡地区积雪和云层仍然覆盖着山岭及大部分山坡,仅河谷显露地表,由于积雪溶化,上游来水量大,易贡湖水面进一步扩大,湖面已经没过部分滑坡坝,整个湖面达到 43.6km^2 ,坝体有一触即溃之势。

由于上游沟头部分被云层遮盖,下游滑坡坝局部被淹,滑坡堆积出露面积仅为 10.0km^2 。在滑坡坝下游,虽局部有新鲜的泥沙堆积,易贡河水基本呈蓝色正常水流,在下游河口及迫龙藏布、雅鲁藏布江河道仍然基本正常。

5 对易贡大滑坡的初步认识

通过以上5个时相不同类型的卫星影像解译分析,笔者对易贡滑坡有以下认识:

(1) 据易贡大滑坡位于通麦-林芝地震带附近,扎木龙沟口有多期老泥石流堆积扇,附近大规模滑坡、泥石流密集分布,处于极高山峡谷等分析,认为易贡大滑坡是喜马拉雅造山运动地貌演变过程中的一次大规模重力侵蚀活动,由雪崩触发,活动性质为高速滑坡碎屑流。

(2) 滑坡活动过程为:扎木龙沟的沟头由雪崩触发大规模崩滑,并引发部分危岩区(图版I图3)的滑坡及崩塌活动,崩滑物质飞速冲向沟谷,在陡峻深切的沟谷中形成高速碎屑流,沿沟谷冲击约 8km 后堵断易贡河,此时滑体速度减小,在原易贡河河床及对岸的相龙弄巴泥石流堆积扇上又滑移了约 2km 后停下,形成约近 3km 宽的天然坝,将易贡河堵塞。

(3) 易贡滑坡碎屑流可分为4个区段:①滑坡及崩塌区,位于原沟头危岩区(图版I图3)部分,是生成碎屑流物质的地区;②碎屑流的拥堵、流通和加速区段,该段沟谷紧邻东侧甲中滑坡后壁部位,是扎木龙沟谷坡岩性最坚硬、坡壁最陡,沟谷最窄最陡最深的部分,碎屑流在此蓄积后再向下作加速运动,影像上该段是碎屑流的腰部(图版I图4-6,8);③碎屑流的主运动区段,②以下部位,获得加速度的碎屑流在该

段沟床中猛烈向下冲击并向两边扩展,高速运动的碎屑流使更大范围的岸坡表层剥离;④碎屑流堆积区,沟口至易贡湖对岸的天然坝。

(4) 从易贡滑坡发生后41d以内的卫星图像分析,易贡滑坡碎屑流整体基本稳定,滑体前端及中部无明显变化,但滑体后端位置有明显变化(表2),说明后端滑体伴随着雪崩还有一定规模的活动,后缘向东(X值增大)向北(Y值增大)退后。

表2 易贡滑坡北端位置的变化

Table 2 The change of northern end of Yigong landslide

滑坡前扎木龙沟分水岭北端	$X = * * * * 2280, Y = * * * * 780$
4月13日滑坡北端位置	$X = * * * * 2680, Y = * * * * 584$
5月4日滑坡北端位置	$X = * * * * 2877, Y = * * * * 639$
5月9日滑坡北端位置	$X = * * * * 3019, Y = * * * * 780$

由于原主沟道比降较大,且还有较厚的碎屑物质拥堵在②区,所以在该部位今后可能还会有一定规模的活动。

(5) 滑坡堵断易贡河后使易贡湖成为一个40余平方公里湖面的大湖。湖水一直在通过天然坝体向下游渗透。滑坡后西藏易贡滑坡灾害前线指挥部采取开挖坝体逐步释放湖水的方法减灾,但由于正处积雪融化季节,图像表明今年的雪线特别低,故溶雪量大,补给量大,湖水上涨的速度很快,而坝体脆弱,据此我们于5月底预测,易贡湖随时有溃决的危险,并将给下游造成严重灾难,给易贡藏布江及雅鲁藏布江流域的生态造成严重影响。6月10日,滑坡坝溃决,与卫星遥感解译推测的结果相符。

参考文献 (References)

- [1] Comprehensive Survey Team of Xizang Geology Bureau. Lasa H-46 Geology Map of The People's Republic of China [M]. Beijing: Geologic Publishing House, 1981. [西藏地质局综合普查大队. 中华人民共和国地质图拉萨幅 H-46 及说明书[M]. 北京:地质出版社, 1981.]
- [2] Chengdu Hydro-Civil Geologic Team of Sichuan Geology Bureau. Survey Report for Geologic disaster along Chuan-Zang Road [R]. 1989. [四川省地质矿产局成都水文地质工程地质队. 川藏公路沿线地质灾害工程地质调查报告[R]. 1989.]

Understand Yigong Landslide in Tibet Based on the Satellite Image

WANG Zhi-hua, LU Jie-tang

(*China Aero-Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China*)

Abstract: This paper describes environmental conditions of Yigong landslide before it occurrence and from the 4th to the 41st days during the landslide occurring. With multi-temporal different satellite data, through digital image processing and precise registration with the topographic map for the landslide region, the color ortho-images are formed. Based on the interpretation of these images, it is understood that the occurrence of Yigong landslide is a large scale gravity erosion activity in the process of Xi-Ma-La-Ya Orogenic movement, and its activity style is “high speed debris-flow landslide”. The entire debris-flow body has been basically stable since the disaster happened, but the back end of the Zhanalong gully is still moving with the snow avalanche. The exposed area of the landslide has been varied in the limitation of 12.9—11.4 to 12.4—10.0 km² and the Yigong lake varied from 19.9 to 43.6 km² during the 4th—41st days since landslide occurred. Owing to snow melting, the lake area became larger and larger quickly but the landslide dam was weak, it was thus deduced that the dam could burst at any time. It was bursted on Jun. 10, that conforms with the deducing result.

Key words: satellite image; Yigong landslide; dam bursting



图3 易贡大滑坡前研究区三维图像



图4 滑坡第4天的中巴卫星图像



图5 滑坡第26天的 SPOT 卫星图像

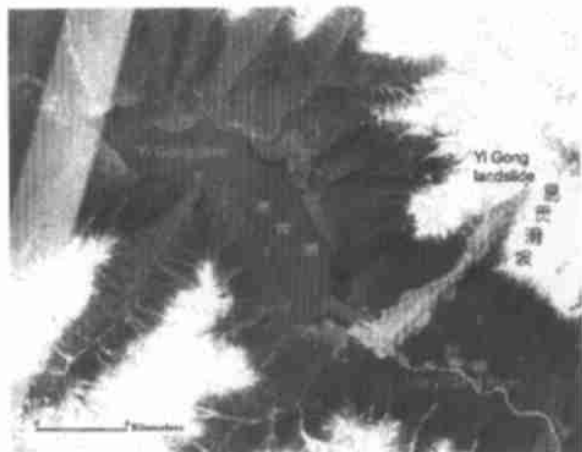


图6 滑坡第30天的中巴卫星图像



图7 滑坡第30天 KONOS 卫星图像显示的帕龙藏布河口及雅鲁藏布江大拐弯河道



图8 滑坡第41天的 TM 卫星图像