

西藏易贡大滑坡成因探讨

吕杰堂^{1,2,3}, 王治华², 周成虎³

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 2000年4月9日, 西藏林芝地区波密县易贡藏布札木弄沟发生了体积超过 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的特大规模滑坡, 这是该沟 100 年(1900—2000 年)来发生的第 2 次大规模滑坡. 在卫星遥感影像分析基础上, 结合地质、气象、地震等资料, 对札木弄沟 100 年内 2 次发生特大规模滑坡的原因进行了分析, 表明这 2 次滑坡是地质构造、地层岩性、新构造运动、水文和气象因素共同作用的结果. 分析结果还显示, 札木弄沟已进入下一个物质与能量积累过程, 在适当的外部条件作用下, 有可能再次发生滑坡.

关键词: 易贡大滑坡; 成因; 预报.

中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2003)01-0107-04

作者简介: 吕杰堂(1968—), 男, 博士, 地质工程专业, 现从事地质环境遥感监测工作.

E-mail: jtlv@btamail.net.cn

2000年4月9日, 西藏林芝地区波密县易贡藏布左岸札木弄沟发生了体积约 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的特大滑坡, 滑坡堆积物堵断了易贡藏布, 由于正值雪融季节, 加上滑坡发生前后连续降水, 易贡湖水位迅速上涨, 虽然采取了“坝体内开渠引流”的工程措施^[1], 但滑坡坝还是于 2000 年 6 月 10 日溃决, 给下游地区造成了严重灾难. 根据卫星遥感影像解译结果, 在坝下游 130 km 的河流两岸诱发坡面破坏 36 处, 洪水影响范围一直延伸到境外^①. 据历史资料, 札木弄沟 1900 年曾发生特大滑坡, 滑坡堆积物也堵断易贡藏布, 8 个月后滑坡坝溃决. 本文在卫星遥感图像分析基础上, 结合地质、地震、气象资料对滑坡成因进行分析, 并预测札木弄沟滑坡未来的发展趋势.

1 易贡滑坡概况

易贡滑坡发生在易贡藏布下游札木弄沟内(图 1, 2), 滑坡中心经纬度为 $30^{\circ}12'3''\text{N}$ 、 $94^{\circ}58'03''\text{E}$, 滑坡后缘高程 5 520 m, 滑坡高程差约 3 330 m, 滑程长

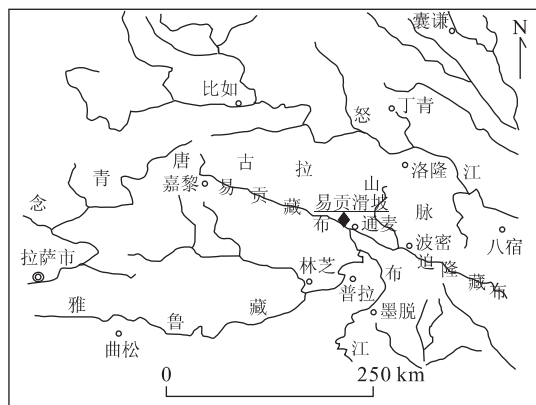


图 1 易贡滑坡位置示意

Fig. 1 Location of Yigong landslide

约 8 000 m, 历时近 10 min, 滑坡体总体积约 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$, 滑坡物质冲出札木弄沟后, 在易贡藏布上形成天然坝, 从卫星影像上可见, 坝体极不规则, 表面形态起伏不平, 堆积的坝体长约 2 500 m, 宽约 2 500 m. 滑坡坝平均高度为 60 m^[2].

2 札木弄沟地质特征

2.1 地形地貌

易贡藏布为雅鲁藏布江二级支流, 是雅鲁藏布

收稿日期: 2002-04-10

基金项目: 国家自然科学基金项目《地理信息系统支持下的暴雨滑坡灾害动态风险评价》(No. 49971066).

①王治华, 吕杰堂.《卫星监测西藏易贡大滑坡成果报告》, 中国国土资源航空物探遥感中心, 2000, 10.

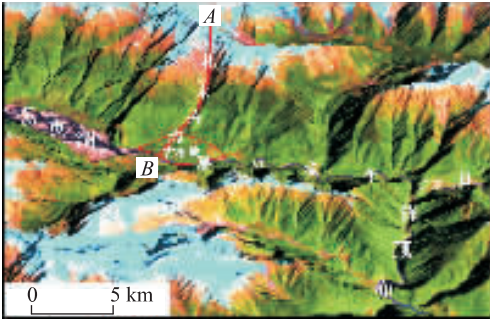


图 2 札木弄沟三维图像
Fig. 2 3-D image of Zhamunong Gully

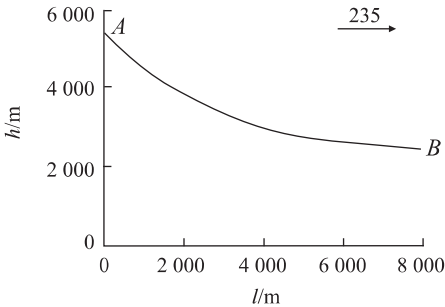


图 3 札木弄沟地形纵剖面
Fig. 3 Terrain straight-cut section of Zhamunong Gully
A、B 点位置见图 2

江一级支流迫隆藏布的最大支流(图 2),发源于念青唐古拉山脉南麓,河长 286 km,流域面积 13 533 km²,占迫隆藏布流域面积的 47.3%^[2,3].

利用数字高程模型和美国陆地资源卫星(Landsat—5),1998 年 11 月 15 日接收的 TM 图像生成札木弄沟及周边地区的三维图像(图 2),可见易贡藏布河两岸 3 500 m 高程以上为积雪覆盖或冰川活动的山岭,高程 4 000 m 以下植被发育较好;易贡藏布两岸滑坡、泥石流沟众多;札木弄沟出口处 1900 年古滑坡的堆积物明显,面积约 3.4 km²;札木弄沟为一沟床切割很深的陡峭山谷,根据数字高程模型绘制札木弄沟纵剖面 AB(图 3),该沟上陡下缓的特征明显.

2.2 地层特征

札木弄沟山体主要为石炭系旁多群地层,以坚硬岩层为主,有软弱夹层,岩性主要为石英岩、大理岩、砂岩和板岩互层及燕山期花岗岩^①.在剖面上,上部以坚硬岩体为主,形成陡峭的谷坡;下部岩性相对软弱,形成缓坡.

2.3 地质构造

札木弄沟位于青藏“歹”字形构造体系的北部弧

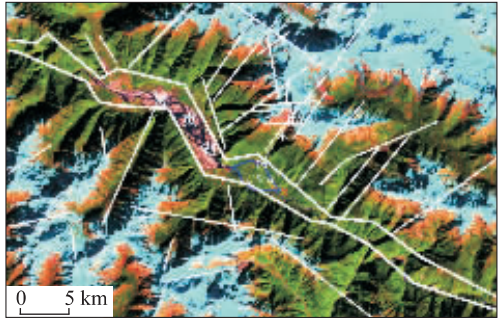


图 4 研究区附近的线性构造影像
Fig. 4 Linear structure image of study area

形构造南缘的当雄—嘉黎断裂带上,受印度板块北东向俯冲的影响,地壳快速抬升,最大速率达 6.4 mm/a^[3].该区为西部地震活动最强烈的地区之一,易贡藏布下游为北东向林芝大断裂,它与当雄—嘉黎断裂交叉的部位是著名的林芝—通麦地震带.札木弄沟位于该带的西侧,强烈的构造作用在札木弄沟及其周围形成了大量的线性构造,根据卫星遥感影像,当雄—嘉黎断裂带在该区呈“之”字形,线性构造主要呈 NE 向,少量呈 SWW 向或 NW 向分布(图 4).

2.4 气象条件

印度洋暖湿气流沿雅鲁藏布江河谷北上,受念青唐古拉山脉的阻隔,在迫隆藏布和易贡藏布流域内形成温湿的气候和丰富的降水.由于札木弄沟附近没有气象站,采用了离它最近的波密气象站资料.据波密气象站 1990—1999 年资料,年均气温 8.8℃,最高月平均气温为 17.2℃,最低月平均气温为-1.7℃,10 年间最高气温为 31℃,最低气温为-13.7℃,平均年降雨量 957.84 mm,每年 5~9 月为雨季,雨量占全年降水量的 74.9%.

3 易贡滑坡成因分析

易贡滑坡的发生是地质、构造、气象因素等共同作用的结果.

3.1 地质构造

本区地壳的强烈上升,形成大量的线性构造(图 4),线性构造的切割作用,使岩体变得极为破碎,从而为滑坡提供了丰富的固体物质.雪线附近冻融风化作用强烈,融水将表层风化的物质搬走,同时使下层基岩裸露而风化作用加强.本区较大的温差引起的冻胀作用使风化作用增强.另一方面,札木弄沟上陡下缓的地形特征,使风化物质容易在缓坡处

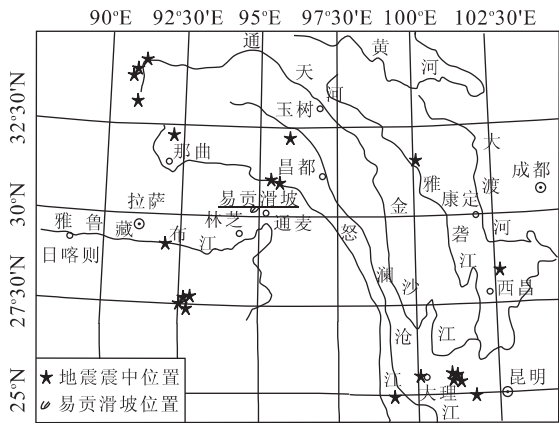


图5 研究区及其周围地区2000年1~3月地震震中分布
Fig. 5 Distribution of earthquakes occurred in study area and around area from Jan. 2000 to Mar. 2000

产生堆积,从而积累了大量的滑坡物质.

3.2 新构造运动

青藏高原地区新构造运动强烈,新构造运动在滑坡形成中的作用可归纳为:(1)活动断裂使岩体破碎,为滑坡提供物质来源;(2)地震作为新构造运动的表现方式之一,可作为外力直接诱发滑坡发生,也可使岩体松散,含水量增加,从而增大了坡体堆积的下滑力并减小抗滑力.

2000年1~3月研究区周边22°~35°N、88°~105°E范围内地震分布情况(图5),研究区及其周围地区基本上可分为3个地震密集带:通天河上游、林芝—通麦、大理—昆明. 札木弄沟位于林芝—通麦地震带的中部偏西,频繁的地震活动对札木弄沟滑坡的发育和发生起了重要作用.

3.3 水文与气象因素

从卫星影像图上可以看出,易贡藏布流域内分布着众多的雪山、冰川(图2,4). 流域内地形相对封闭,积雪和冰川融化的水多汇入易贡藏布. 2000年5月份的雪线较低,大量的积雪使坡体物质饱和,增加了坡体重量;积雪融水降低了滑坡体的抗滑能力;雪崩产生的冲击力触发滑坡发生(图6). 据波密气象站资料,1995年开始,连续几年降雨量偏大,尤其是1995、1996和1998年波密地区降水量较大(1 130.0,1 108.2,1 068.4 mm,图7),是影响滑坡稳定性的一个重要因素. 滑坡发生前,从2000年3月20日气温开始升高,3、4月份平均气温接近年平均气温(图8),气温升高使冰雪融化加剧. 滑坡发生前后,该地区持续降水,2000年4月1日至4月9日,累计降雨量为42.9 mm. 降雨是滑坡发生的一个

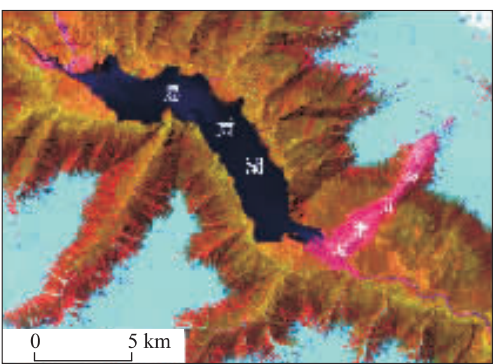


图6 易贡滑坡后的卫星影像(2000-05-04)
Fig. 6 Satellite image of Zhamuneng Gully after landslide

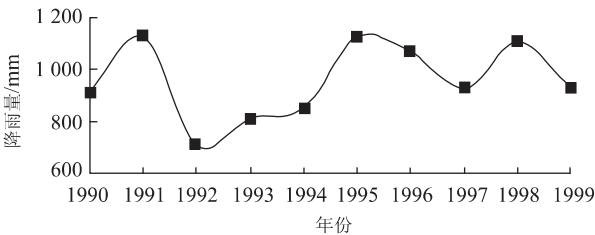


图7 1990—1999年波密地区年降雨量
Fig. 7 Curve of rainfalls of Bomi from 1990 to 2000

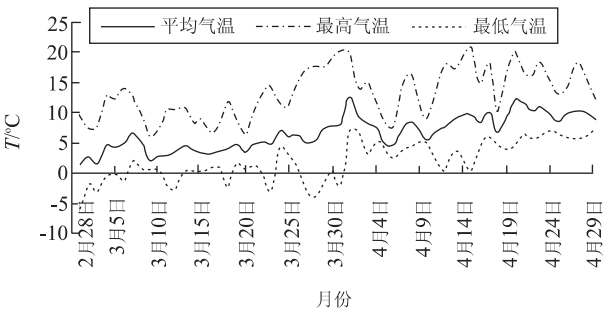


图8 2000年3月和4月气温曲线(波密气象站)
Fig. 8 Curve of temperature (Bomi, Mar. to Apr. , 2000)

重要触发因素.

3.4 滑坡运动过程分析

根据上述分析,推测滑坡发生过程为:气温转暖,积雪大量融化,大量雪水进入滑坡体,加上连续降雨,使滑坡体饱水. 2000年4月9日,冰雪融化,产生雪崩,雪崩的冲击力,使札木弄沟沟头物质失稳下滑,沟内堆积的大量的松散物质在上部滑坡体的推动下,产生运动,由于滑坡体充水,滑动面摩擦系数降低,加上札木弄沟高程差大,坡面上部较陡,使滑坡体启动后迅速加速,在底面形成“气垫效应”,加速运动的滑坡体扫动沟内两侧的堆积物,从而在整个沟谷内形成高速滑坡碎屑流;巨大的高程差使滑

坡物质具有极大的势能,滑坡物质冲出札木弄沟后继续运动,一直冲到河对岸的泥石流堆以上才停止运动,形成天然坝,完全堵断易贡藏布(图 6)。

4 结论

札木弄沟大规模滑坡的原因归纳为:(1)线性构造发育.沿沟有几条较大 NE 向的线性构造,被 NWW 向线性构造切割,使沟内岩体极为破碎;(2)地震活动.本区临近林芝—通麦地震带,地震活动频繁;(3)地形条件.两岸陡峻,纵剖面方向上陡下缓,岩体风化作用强,物质容易在陡缓坡交界堆积,产生物质与能量积累;(4)岩性条件.软硬岩层相间,软弱岩体起了隔水作用,使破碎的坚硬岩体风化与冰胀作用加强;同时,使水压力增大,从而减小抗滑力并增大下滑力;(5)气象.印度洋暖湿气流在易贡藏布流域形成的丰富的降水,加速了风化作用和物质搬运与堆积过程.这些影响因素经过长期作用,在合适的外部诱发条件(如地震、雪崩、暴雨等)作用下,就会产生滑坡,这种大规模的滑坡活动可视为大量积累的滑坡物质与重力能量的释放过程.一次滑坡发生后,上述影响因素继续发挥作用,整个沟谷进入下一个物质与能量积累过程,从而使该沟内滑坡活动反复发生.1900 年和 2000 年的 2 次滑坡就是这一

过程的体现。

根据卫星影像判断(图 6),在滑坡发生后札木弄沟内还有近 10^7 m^3 的固体物质.可以说,2000 年滑坡发生后,札木弄沟已进入了下一个物质与能量的积累过程,经过一定时间的稳定后,在适当的外界因素作用下,可能再次发生滑坡活动。

参考文献:

- [1] 万海斌. 西藏易贡巨型山体滑坡抢险救灾概况[J]. 中国减灾, 2000, 10(4): 28—31.
WAN H B. Disaster reduction of Yigong massive landslide in Tibet [J]. Disaster Reduction in China, 2000, 10(4): 28—31.
- [2] 殷跃平. 西藏波密易贡高速巨型滑坡特征及减灾研究[J]. 水文地质工程地质, 2000, 4: 8—11.
YIN Y P. Characters and hazard reducing measurement of huge Yigong landslide in Bomi, Tibet [J]. Hydro-geology and Engineering Geology, 2000, 4: 8—11.
- [3] 刘国权, 鲁修元, 李扬. 西藏札木弄沟滑坡和泥石流成因分析[J]. 东北水利水电, 2001, 6: 49—50.
LIU G Q, LU X Y, LI Y. Analysis for landslide and mud-rock flow in Zhamunong Gully in Tibet [J]. Water Resource & Hydropower of Northeast, 2001, 6: 49—50.

Discussion on the Occurrence of Yigong Landslide in Tibet

LÜ Jie-tang^{1,2,3}, WANG Zhi-hua², ZHOU Cheng-hu³

(1. Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. China Aero-Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 3. LREIS, Institute of Geographic Science and Resource Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: In April 9, 2000, the huge landslide occurred in Yigong River in pomi in Tibet, the volume of the landslide was over $3 \times 10^8 \text{ m}^3$. It was the second landslide occurred in the same gully during the last 100 years. Based on the analysis of satellite remote sensing images and data of stratum, structure, earthquakes and meteorology, the reasons for the occurrence of landslides were discussed. It has been shown that occurrence of the landslide were controlled by the combination of geological structure, stratum character, neo-tectonism and meteorological conditions. The gully is now in the condition of material and energy accumulation, landslide will probably occur in future.

Key words: Yigong landslide; reason for landslide; prediction.