

遥感技术在地质灾害调查、监测和防治中的应用

王治华

(地矿部地质遥感中心)

1991年9月10日收稿

摘 要

遥感在地质灾害(滑坡、泥石流)识别方面,较常规方法有明显的优势,并能快速提供大面积地区的位置、分布、范围、规模、类型、发育环境等数据和图片。本文通过多时相、多平台遥感图像解译,了解它们的动态变化及发展趋势,这些信息为工程灾害评价及滑坡、泥石流防治工作提供了全面可靠的依据。

遥感技术在滑坡、泥石流灾害领域中的应用除遥感技术水平外还依赖于滑坡、泥石流信息机制、应用模型的研究及信息系统的支持。

关键词 滑坡 泥石流 遥感图像解译

引 言

滑坡和泥石流是公路、铁路、航道、矿山和水利水电等在地工程建设和运行过程中所经常发生或遭遇的灾害,它们常常被称为工程灾害。

80年代以来,配合工程建设,我国进行了多次大规模遥感灾害调查,如在二滩、三峡、龙滩、龙羊峡等大型水电工程,宝成、宝天、成昆铁路、大瑶山隧道,以及重庆、攀枝花、西昌等山区城市,遥感技术在滑坡、泥石流调查、监测和防治工作中获得广泛应用,取得显著的社会、经济和环境效益。

一、遥感技术在滑坡、泥石流调查中的应用

滑坡、泥石流遥感调查可分为识别、微地貌结构调查、发育环境调查三大部分,据此为工程提供滑坡、泥石流分布位置、边界、范围、土方量、类型、运动方式、活动性、产生条件等,以评价对工程的影响。

1. 滑坡、泥石流识别

根据滑坡、泥石流的特殊地貌形态,如后壁、滑坡堆积体、泥石流形成区、流通区和堆积扇等来识别它们。识别是最基本的遥感调查工作。在上述大型水利水电工程和铁路等遥感调查中都成功地进行了沿岸、沿线的滑坡、泥石流识别,并利用立体像对及相应地形图确定它们的位置、边界范围、土方量,在较常规工作少得多的经费及时间条件下,较准确地编出了大面积范围的滑坡、泥石流分布图。如1981年,由1:1.5万和1:5万彩色红外

航片解译得出二滩库区沿岸有 >10 万方的滑坡、崩塌 140 余处,经地面验证,准确率达 90% 以上^[1],以前的地面工作在该范围只发现崩塌滑坡 8 处。由于高山峡谷、地形特别复杂,库区主要滑坡基本上都由遥感方法发现。

地面工作程度很高的三峡库区,航片解译有崩塌、滑坡 178 处,地面调查为 156 处,遥感新发现 40 处,否定 18 处。成昆铁道 3000 余平方公里的遥感调查中确定泥石流沟 73 条,地面调查仅 36 条,新确定 37 条,其中一些是在 1984、1986 年发生的泥石流,从而验证了遥感识别的准确性。宝天铁路,通过解译共发现涉及铁路的滑坡 61 处、崩塌 94 处,而过去工务部门已经登记在册的滑坡与崩塌分别为 15 处和 34 处^[2]。

这些实例说明我国遥感滑坡、泥石流识别已是一项比较成熟的技术,识别方法仍以目视解译为主。对于 <100 cm² 和 >0.2 cm² 的滑坡、泥石流图斑,一般不易遗漏,所用资料以全色和彩色红外航片为主,卫片只适于特大型滑坡、泥石流解译。相应的确定位置、范围、土方量等也都已成为遥感滑坡、泥石流识别的常规工作。

2. 微地貌结构调查

微地貌结构调查为进一步确定滑坡、泥石流类型及活动性,活动方式、速度等提供依据,以了解哪些将危害工程。

上述大规模遥感调查都进行过详细的微地貌结构调查。如二滩遥感工作中调查提出了四处可能危害工程的滑坡。离坝址约 80 km 的大坪子滑坡,覆盖面积达 2.2×2.4 平方公里,滑坡堆积体土方量近 4 亿吨是一个地面上难以识别,却在航片上发现的滑坡,经微地貌结构解译后,分析判断该滑坡滑动方式为堆移式,有一个统一的滑动面。在堆积体前缘及剪出口位置用立体像对估算前缘堆积体高度约 100 米,并认为滑坡整体目前虽稳定,但由于航片显示对岸有盐塘滑坡群不断活动,将江水向该岸进逼,使该岸前缘遭受强烈冲刷、掏蚀,故滑坡有整体快速下滑危险,下滑时将会有短期堵江,冲浪将可能影响坝址。见图版 I 图 1。

霸王山滑坡,堆积体约 1800 万方,以往认为该滑坡离大坝仅 6 公里,对大坝有较大影响。遥感微地貌结构调查认为,这是一个顺层基岩滑坡,滑动时释放能量较充分,整体已经稳定,对工程将无大影响^[3]。进一步的勘探工作证明了上述推断是正确的,大坪子前缘钻探在 110 米处发现了滑动面,与遥感解译推测比较接近。

滑坡、泥石流微地貌调查一般使用大比例尺(1:1 万左右)航片解译,并与地面工作密切配合。

3. 发育环境调查

发育环境调查指用遥感技术调查与滑坡、泥石流发育有关的环境因素,如构造部位、地层岩性、断裂、含水带、植物覆盖、土地利用等,从而推测滑坡、泥石流发育环境及产生条件;进行区域危险性分区及预测。我国近年的遥感灾害调查中更加重视环境因素。该项调查较多使用卫星资料进行。

遥感技术迅速获取的大量与滑坡、泥石流有关的环境数据,大大丰富了滑坡、泥石流信息,也促进了它们与环境信息的综合分析利用。如三峡滑坡遥感调查中,选择滑坡较发育的万县地区周围 500 平方公里为试验区,用航片解译的滑坡及地层、构造、斜坡地形等影响滑坡发育的基本环境因子数据,进行统计分析,求得试验区内各处斜坡对滑坡发育的

敏感程度^[3]。

又如在成昆铁路泥石流沟航空遥感调查中,将影响泥石流沟形成、发展的环境因素归纳为 10 个因子:岩石组合类型、构造特征、坡度、主沟床平均纵比降、泥石流扇形地发育情况、植被覆盖度、人类不合理活动程度、水土流失状况、物质补给方式、单位面积松散物质储量,由遥感解译并判别其发育程度分为三等,分别赋予 10、7、5 分。最后,10 个因子的总分相加。总分为 80—100 者,属泥石流活动危险性大,对铁路有严重威胁的泥石流沟;70—80 分者属中等;50—70 分为轻微^[4]。

二、遥感技术在滑坡、泥石流监测中的应用

我国的遥感滑坡、泥石流监测主要有灾害快速观测及多时相动态观测两种。

1. 灾害快速观测

灾害快速观测就是对工程有较大影响的滑坡、泥石流发生后,立即进行大比例尺航空摄影,尽早捕捉灾害信息,以了解灾害特征、活动性、灾情及继续危害的可能性及程度。甘肃省东乡撒拉山滑坡、成昆铁路利子依达泥石流、长江新滩滑坡发生后都进行过这种观测。兹举新滩滑坡为例。

1985 年 6 月 12 日凌晨 3:45 分,长江西陵峡左岸发生了 3000 万方大滑坡,高速下滑的土石摧毁了新滩镇,占据了 1/3 的长江航道。经紧张准备,6 月 26 日,地矿部遥感中心对滑坡区进行了 1:1.5 万彩色红外、天然彩色航空摄影和热红外扫描遥感飞行,利用这些资料准确圈定了滑坡活动范围,解译了形态特征,确定了运动方式、滑动方向和物质来源。认为该滑坡经过这次大滑动整体已经稳定,局部可能有一些小的调整性活动。并使用航片资料制作了最新的 1:5000 滑坡地形图,为地面监测工作提供监测部位及工作底图。

2. 多时相动态观测

利用不同时相的遥感资料观测滑坡、泥石流,了解其动态变化,作出预测是目前使用较多的监测方法。

首先以二滩水库的冉坪子滑坡为例,见图版 I 图 2、图 3,是一活动滑坡,为冉坪子泥石流沟提供物质来源。据 1955 年及 1981 年所摄航片求出滑坡堆积体减少了 555 万方,这些物质直接由冲沟带人泥石流沟。而由 1955 年和 1981 年航片求出的泥石流堆积体覆盖面积基本相同,见图 4。说明该泥石流扇的堆积与侵蚀基本平衡,亦即在 26 年内,滑坡物质下滑后由泥石流搬运至沟口堆积的物质与输入雅砻江的物质大体相当。这样,便可估算该泥石流平均每年的入江物质为 $555 \text{ 万方} / 26 \text{ 年} = 21.3 \text{ 万方}$ 。与 102 亿方的二滩库容相比,该条泥石流沟不致造成大的影响。

从图版 I 图 2 航片上还可以看到冉坪子滑坡东坡 26 年变化很小基本稳定,西部坡体呈活动性,上部已被拉裂破坏,由其上的马刀树、醉汉林分布特征推断该部分正在向下滑动,同样用表面积与平均滑体厚度乘积的方法估算出分水岭以下的滑体约为 240 万方。在气候及其它地质地貌、人为活动不发生突变的情况下,今后该部分滑体将仍然与以前相似的速度向下滑动,并由泥石流向雅砻江输送松散固体物质。同时,滑坡不断向后发展。大约

用十几 (240 万方/21.3 万方) 年时间, 该部分坡体将全部下滑, 由泥石流输送到江中。

预测在十几年以后, 滑坡后壁将逐渐越过分水岭, 滑坡规模逐渐变小; 滑动速度降低, 向雅砻江输送的物质也逐年减少, 滑坡活动渐渐停止, 坡体趋于稳定, 泥石流活动也趋于停止。这样用, 遥感多时相解译估算的泥石流储备物质总量、可能入江总量, 年平均入江量及滑坡、泥石流活动预测, 为对二滩水库影响评价提供了基本资料。

第二, 再以利子依达沟为例, 该沟系我国成昆铁路线上的一条灾害性泥石流沟。1981 年 7 月, 该沟发生大型粘性泥石流, 冲毁桥梁造成列车颠覆事故, 中断行车 370 小时, 死伤 300 余人, 直接经济损失数千万元。通过 1965 及 1981 年两个时相航片解译, 进行泥石流流域环境对比动态分析, 认为 1981 年泥石流暴发是由于 10 多年来在 24.49 平方公里流域内林木面积减少 1.55 平方公里, 荒地及耕地面积增加 5.31 和 1.13 平方公里, 崩塌、滑坡急骤发育了 27 处^[2]。

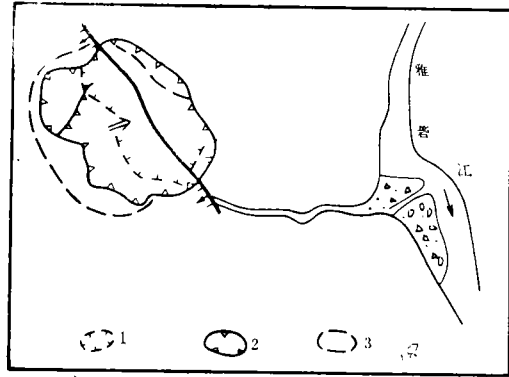


图 4 冉坪子滑坡、泥石流解译图

1——1955 年滑坡边界, 2——1981 年滑坡边界, 3——滑坡裂缝

Fig. 4 Interpretation of landslide and debris flow from airborne image.

三、遥感技术在滑坡、泥石流治理中的应用

利用遥感技术进行滑坡、泥石流调查, 特别是动态监测, 在全面了解滑坡、泥石流现状、产生条件及发展趋势的基础上制定防治规划, 使防治工作建立在全面、扎实的基础之上, 减少了盲目性, 提高了治理效果, 取得明显效益。

以成昆铁路遥感调查为例, 通过遥感图像解译、验证确定的泥石流沟, 建立了包括灾害工点名称、路基形式、边坡坡度、地质、地下水、植被、灾害产生原因、现有灾害治理措施评价等内容的灾害工点卡片。对其中 36 条泥石流沟提出了治理建议。基层工程单位认为遥感提出的成果对铁路有计划地进行泥石流整治有现实的指导意义, 并采纳了建议。有的泥石流沟改涵为桥、有的在雨季派员监守, 某些安装了无线报警装置, 有效地避免了一些泥石流灾害。如活脚沟, 原来地面调查认为是清水沟, 但通过 1965 和 1987 年两个时相的遥感图像对比解译, 发现 22 年间耕地增长了 11.52%, 流通区新增加了 2 处滑坡, 近期主沟床下切强烈, 并逼至左岸, 导致该岸坡面失稳, 不断向沟床提供松散固体物质。经综合分析, 认为有暴发泥石流的可能, 建议尽快采取工程整治措施, 建议被采纳后, 作了扩大桥下净空、加大沟床纵坡等处理工程。次年, 该沟果然暴发了一次泥石流。由于事前的工程措施, 使泥石流物质顺利从桥下通过, 避免了一次灾难性事故^[2]。

西昌城市泥石流防治规划是应用遥感技术又一成功实例。我国西南山区重镇西昌市深受泥石流危害, 由于城市上游地质地形复杂, 交通闭塞, 无法了解泥石流的全貌, 只好在

城区部位消极防御,防洪工程效益很差,经济损失和人员伤亡惨重。1986年,利用1955和1981年两个时相的航片,配合1:20万MSS卫片图像对全流域425平方公里进行了遥感调查,查明了城市上游约280平方公里范围为泥石流形成区,该区新构造运动强烈,植被破坏严重,共分布滑坡、崩塌等松散固体物质6.7亿方,为西昌泥石流提供了丰富的物质,这是西昌泥石流频频暴发的主要因素;中游流通区短而狭窄,沟纵比降大,泥石流直奔下游城区,迅速沉积,势必成灾。根据这些调查,制定了全流域的泥石流防治规划。上游以生物措施为主,以植树种草减少水土流失,提高水源涵养;工程措施为辅,选择有效部位设置三处泥石流拦挡工程,拦淤部分大颗粒物质。利用中游承上启下的地理位置,监测上游滑坡泥石流活动状况,预报灾害到达下游的时间和规模。下游以工程措施为主,生物措施为辅。设置停淤工程,对下游城区河道设计防护工程及沿河建筑改建,以保护城市安全^[1]。这说明遥感调查为制定根本防治西昌泥石流的规划提供了全面、可靠的资料。

四、结 语

综上所述,遥感技术已成为我国区域性滑坡、泥石流调查的主要手段。遥感技术的应用促进了滑坡、泥石流发育环境及活动机制的研究,为我国大型工程可行性论证、项目设计及工程安全施工、运行,提供了前所未有的丰富、全面和可靠的灾害及环境信息,取得了显著的工程、社会、经济及环境效益。

但是,遥感作为一种先进技术在我国滑坡、泥石流领域的应用尚处于初级阶段,还有许多不足之处。如:遥感滑坡、泥石流信息以目视解译为主,信息处理方法比较落后。此外,由于飞行费用昂贵,我国尚未能做到滑坡、泥石流灾害的实时监测预报,灾害动态变化的遥感资料大多不成系列,动态监测工作比较粗糙,难以准确预报。卫星资料空间分辨率低,难以满足监测的需要等等。

目前,遥感技术在滑坡、泥石流领域的应用水平的提高有待于下列课题研究:

1. 滑坡、泥石流信息成像机制研究。
2. 滑坡、泥石流信息系统的研究与建立,包括数据库及一系列应用模型的研究与建立,如滑坡、泥石流识别模式、发育模型、对工程影响评价模型、救灾模型等。
3. 滑坡、泥石流图像处理及专题制图研究。其中的一些课题如滑坡机助制图、滑坡、泥石流稳定性评价模型等已在科研部门进行研究,离工程应用尚有相当距离还要作进一步工作。

参 考 文 献

- [1] 王治华,遥感技术在滑坡调查中的应用——以二滩遥感试验为例,亚太经地质遥感应用讨论会文集,342—352,1984年。
- [2] 卓宝熙,遥感技术在铁路勘测和灾害防治中的作用,中国空间应用的回顾与展望,中国科学技术出版社,54—58,1987。
- [3] 王治华,三峡库区地层和构造对滑坡发育的影响,中日滑坡讨论会文集,1989,139—142,1989。
- [4] 姚一江,航空遥感确定泥石流沟危险度及发育程度分区研究,国土资源遥感,11—17,1990,3。
- [5] 王治华,攀西地区环境工程地质文集,海洋出版社,300—338,1990。

APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUES TO THE STUDY OF GEOLOGICAL DISASTER

Wang Zhihua

(Center for Remote Sensing in Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Remote Sensing is superior in landslide and debris flow recognition to the conventional method, it yet can gain data and maps of the distribution, scope, type, growing environment etc of landslide and debris flow efficiently in a large scope of area. Through the interpretation of multi-temporal and multi-platform remote sensing images the dynamic characters and developing tendency of landslide and debris flow can also be grasped. Therefore remote sensing can provide overall and reliable basis for landslide and debris flow assesment and prevention.

Despite of these great successes, the application of remote sensing in the field of landslide and debris flow in China is still in a primary stage, and there is great potentialities be brought in to play.

Apart from the technology of remote sensing itself, the advance of the application level is depend on the study of the mechanism and applying model of landslide and debris flow, and on the support of the disaster information system.

Key words Landslide Debris flow nterpretation of remote sensing image



图 1 大坪子和盐塘滑坡



图 2 冉坪子滑坡、泥石流图像



图 3 冉坪子滑坡、泥石流实景