

# 数字遥感技术在地质灾害调查中的应用

## ——以三峡库区地质灾害遥感调查为例

杨日红 杨金中

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国科学院东北地理与农牧生态研究所, 长春 130012)

**摘 要:** 基于高分辨率遥感数据源, 特别是三峡库区 139 水位以前的航空摄影图像为基础数据, 采用数字遥感技术, 制作了整个库区 1:5 万正射影像图, 其中重点城镇和地重点灾害区为 1:1 万的正射影像图。并以此为基础数据源, 应用数字滑坡技术, 在重点城镇和地重点灾害区开展了高精度地质灾害遥感调查。初步查明了库区首段(大坝-万州段)以崩滑流为主的地质灾害分布的规律及其发育环境特征, 为库区地质灾害的管理与防治工作提供科学决策依据。

**关键词:** 高分辨率遥感数据源; 数字遥感技术; 地质灾害; 三峡库区

### 1 前言

三峡库区地质条件复杂, 且处于暴雨频繁的亚热带气候区, 地质灾害具有点多、面广、突发性强、危害性大等特点, 是我国地质灾害最严重的地区之一(图1)<sup>[1]</sup>。据不完全统计, 在 1982-2001 年之间, 库区两岸共发生滑坡、崩塌或泥石流多达 70 余处, 其中规模较大的也有 40 余处, 致死 400 余人, 损失严重<sup>[2]</sup>。另一方面, 由于三峡库区近年来实施的大量移民迁建工程不同程度地改变了库岸岩土体边坡条件, 加之自 2003 年 6 月水库蓄水至 139 m 后形成的新的绵长库岸必定还要经历一个库岸改造—再造过程等, 这些都将可能引发新的地质灾害。仅 2003 年三峡库区就发生了约 500 起地质灾害, 但多为小滑坡或古滑坡局部活动。因此, 利用数字遥感技术, 结合地质学、灾害学和空间信息科学等学科, 积极探索库区地质灾害发生机制、深入研究库区崩滑灾害形成与空间分布的规律、密切监视崩滑作用在自然与人类活动交互影响下的发生发展趋势、主动注意防治和减轻库区规划建设中诱导的崩滑灾害、加强突发事件的监测预警等工作已经成为三峡库区地质灾害管理与防治的一件大事<sup>[3]</sup>。

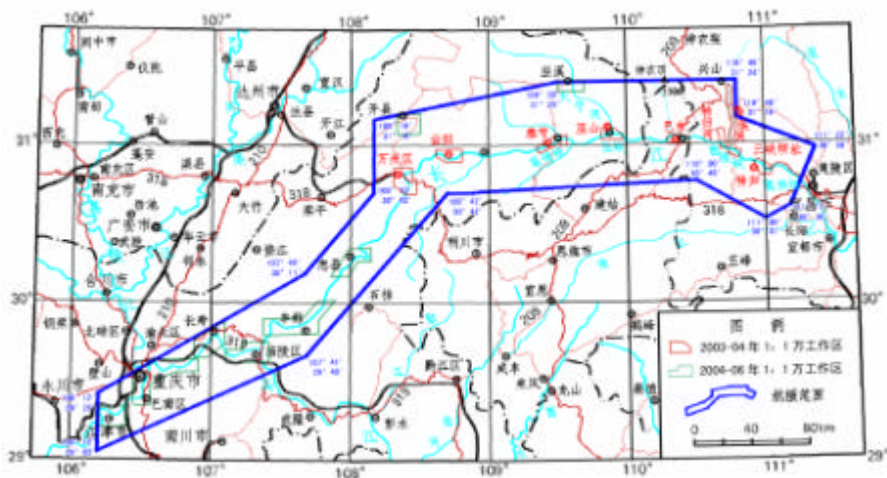


图1 遥感调查区范围示意图

2 库区地质灾害概况

库区地质灾害的主要类型有滑坡、崩塌和泥石流。其中库区的滑坡按岩石类型又划分为松散堆积层滑坡和岩质滑坡两大类,岩质滑坡按滑面形态可进一步分为顺层滑坡和切层滑坡2个亚类,诱发滑坡的主要因素是降雨和库水位的涨落作用等,人类工程活动如边坡开挖和加载也是诱发滑坡的重要因素之一;库区内的崩塌主要为岩崩,按其变形破坏方式又可分为倾倒式崩塌、滑移式崩塌、臃胀式崩塌、拉裂式崩塌、错断式崩塌和陷落挤出式崩塌等,其中以倾倒式崩塌和滑移式崩塌为主,诱发崩塌的主要因素为冲蚀、人工开挖、采矿、降雨和库水位等;库区的泥石流按产出可分为坡面型泥石流和沟谷型泥石流,库区内发育的泥石流以沟谷型泥石流为主,按其成因可分为自然型泥石流和人工弃渣堵塞型泥石流,诱发泥石流的主要因素为暴雨、崩滑堆积失稳、人工弃渣堵沟等多种因素的叠加。

据库区20个县(市、区)政府在2001年10月前三次上报的辖区内地质灾害基本情况的汇总统计,在库区范围(指淹没影响区和移民迁建区,面积约1.5万km<sup>2</sup>)内,共发现地质灾害点2548个<sup>[1]</sup>。经过近几年深入调查与研究,共上报6415处地质灾害,其中,4000余处经过实地调查与验证,2000多处已纳入前三期规划治理,累计治理费用超过100个亿。

三峡库区地质灾害的主要致灾因子包括: 内因。由于在第四纪的快速隆升,使得三峡库区不但具有复杂的地形地貌条件,而且存在着一系列活跃的动力地质作用; 外因。三峡库区蓄水、修建高等级公路和铁路、矿山开采、移民城镇迁建、码头港口建设、毁林垦殖、人工爆破等人类工程活动已经成为一种改变地质环境的能量巨大的地质外营力。相对而言,动力地质作用影响地质灾害的过程较为缓慢,而人类的工程活动则有可能在较短的时间内引发地质灾害。库区80%以上的地质灾害主要由人类的工程活动而引起,人类工程活动已经成为一种能够改变地质环境的巨大的地质外营力。

3 数字遥感技术方法

3.1 数据源

对三峡库区地质灾害的研究我们主要采用了2种数据源:遥感数据和地理控制数据源,其中遥感数据采用了5个时相的数据(如表1所示),地理数据源有2种:研究区1980年测绘的1:5万;重点区1:1万地形图。

表1 三峡库区地质灾害遥感调查所采用的数据源

数据类型	光谱特征	空间分辨率	接收时间	主要用途
ETM	可见光至中红外 7 个波段 全色 1 个波段	可见光 30m,中红外 60m, 全色 15m	2000 年左右	覆盖整个库区 区域构造地质
ASTER	可见光/近红外 3 个波段 短波红外 6 个波段 热红外 5 个波段	可见光/近红外 15m 短波红外 30m 热红外 90m	2003 年	局部重点灾害区 获取 DEM
航片	彩红外	1:5 万	1984 年 8 月 2003 年 3 月	覆盖整个库区 滑坡信息提取
QUICKBIRD	可见光至近红外 4 个波段 全色 1 个波段	多光谱 2.4m 全色 0.61m	2003 年 11 月 2006 年 3 月	局部重点灾害区 滑坡信息提取
地形图	-	1:5 万	1980 年	覆盖整个库区 基础地理控制
	-	1:1 万	1980 年	局部重点灾害区 基础地理控制

### 3.2 图像处理方法

基于整个库区 1:5 万地形图和重点区 1:1 万地形图数据,利用 PCI、ENVI 和 Photoshop 等图像处理软件,通过几何校正、DEM 配准、调色、镶嵌等图像处理技术处理成图像清晰、过渡自然、高程比例协调并能反映实际地物的正射图像<sup>[4-7]</sup>。

ETM 和 ASTER 卫星数据制作成 1:5 万正射影像图,主要用于地质灾害发育地质背景(区域地质构造)信息提取;航片和 QUICKBIRD 数据制作成 1:1 万的正射影像图,用于滑坡要素信息提取;同时,制作出整个调查区 1:5 万 DEM 和重点区 1:1 万 DEM 数据,用于斜坡特征,如坡度与坡向的调查,建立库区高精度三维地形模型。

### 3.3 地质灾害信息提取方法

在充分收集已有地质环境与灾害资料的基础上,建立地质灾害及其发育环境的遥感解译标志,利用数字滑坡技术<sup>[8-13]</sup>,以人机交互解译为主要手段获取相关信息,即利用 ERDAS、POTOSHOP、MAPGIS 等软件平台上,在已处理好的数字影像上进行,在屏幕上随时对地质、地表环境、灾害的全貌、局部及周围进行观察和分析,确定目的物后,将其分布范围用上述软件直接圈出来,并用 MAPGIS 软件相应分析模块进行自动分析处理,求得其面积、分布位置等属性要素(图 2)。主要获取基础地质环境和地质灾害两类信息。

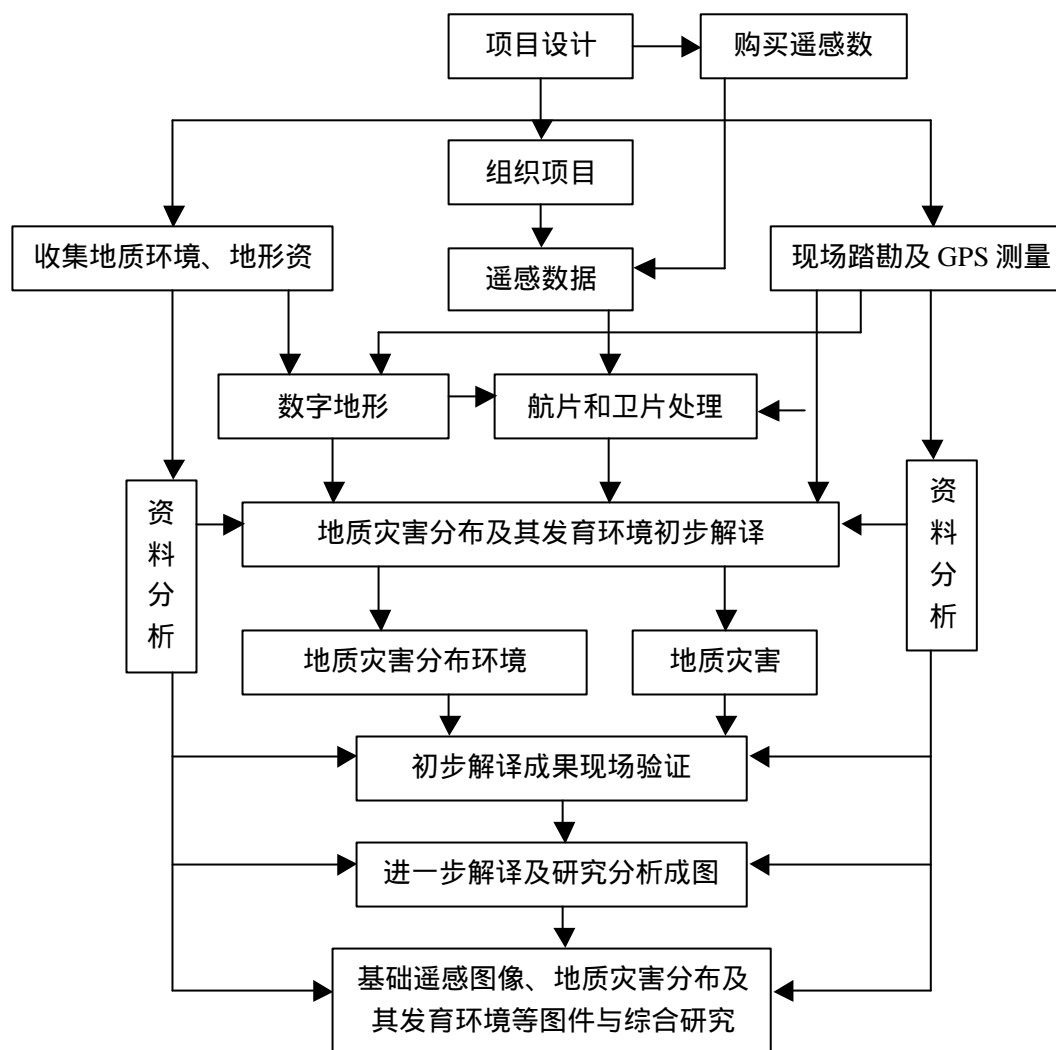


图 2 地质灾害遥感调查工作技术流程图

库区基础地质环境解译

在图像处理工作完成后形成库区各重点区正射彩色图像(1:1万)及1:5万标准分幅正射影像图，参考库区已有基础地质环境与滑坡勘查资料，在正射影像图基础上解译出地层岩性(特别是第四纪)、断层、微地貌、阶地等的性质、范围和分布，形成整个库区的基础地质环境遥感解译图。

库区地质灾害解译

在正射彩色图像基础上解译库区的滑坡、崩塌、泥石流和崩岸地质灾害的分布、边界、灾害要素、地表水文等，形成库区重点城镇区1:1万及整个库区的滑坡、崩塌、泥石流和崩岸的地质灾害分布图。

4 库区地质灾害遥感解译

通过影像初步判释和实地踏勘验证，我们为区域地质灾害建立了如下遥感解译标志。崩塌是斜坡的一部分土石在重力作用下突然向下倾倒或崩落的地质现象，在图像上常有明显的后壁及崩塌堆积，较易识别。由于调查区范围所限，仅为距江岸较短的地方，所以无法解译泥石流沟的物源区及全部流通区，所以只根据沟口的扇形堆积，参考沟内情况，解译出泥石流堆积区。下面主要从滑坡灾害遥感调查入手进行论述。滑坡的解译标志有：斜坡上部分坡体较周围地形平缓，但其可与侵蚀平台、阶地等区分；部分缓坡后及两侧有陡壁及侧壁，大部分没有；局部平缓斜坡有明显的界线与周围分割，这些界线可以是沟谷、陡坡下的突变缓坡等；缓坡后部，后壁下，常有凹陷地带，有时有积水，或成为湖；局部平缓斜坡上没有深沟；局部平缓斜坡上没有明显的坚硬基岩形态（与稳定斜坡处的基岩对比）。

地质灾害解译分析主要步骤为：根据相应解译标志确定地质灾害体，在 Photoshop 软件平台显示的基础图像上圈出灾害体边界范围，根据地形线确定滑坡的滑动方向（垂直等高线），获取最初解译结果；在最初解译结果中选取有疑问的、重要的、交通可能到达的部分地质灾害体进行现场验证；现场验证后再作进一步分析解译、修改，形成初步解译成果；在 Mapgis 软件中将该初步解译成果矢量化；在调查区数字地理底图中定位，并与地质解译矢量化成果配准；求取各滑坡位置坐标、前后缘高程、投影面积；分析发育地质环境；编码，并相应赋属性。

表 2 库区首段遥感解译地质灾害统计表（处）

重点区	工作区面积(km <sup>2</sup> )	滑 坡 (处)	崩 塌 (处)	泥石流 (处)	合 计 (处)	备 注
大坝 - 秭归	160	32	-	-	32	
香溪河	260	220	-	-	220	
秭归河	64	29	-	-	29	
巴 东	126	77	4	7	88	
巫 山	134	131	5	4	140	
奉 节	145	109	4	16	129	
云 阳	60	101	-	-	101	
万 州	163	127	28		155	
总 计	1112				883	

在地质灾害体解译的过程中，我们基本采用二维与三维相结合进行解译，由于已获取 DEM，这样可以利用三维浏览软件（如 ERDAS、ARCGIS 等软件），在三维地形模型上叠加影像图纹理，制作出三维立体浏览模型。项目工作主要运用与北京四维远见信息技术有限公司合作开发的三维信息管理系统，建立可动态漫游的三维立体模型，同时可以叠加矢量线，这样我们就可以从不同的角度、不同的高度对灾害体进行观察，更好的对灾害体的微地形地貌进行解译，通过双显示器对比二维与三维图像进行同时观察与分析，直接在二维平面图上进行解译画线，使得解译出的成果更加可靠，精度更高。

根据上述地质灾害解译标志与解译技术流程，结合野外调查，我们在库区首段（大坝至万州八个 1：1 万工作区）共解译出各类地质灾害 883 处。其中，滑坡 815 处，崩塌 41 处，泥石流 27 处（表 2）。

## 5 结论与讨论

在对三峡库区地质灾害遥感调查过程中，采用数字遥感技术，制作出了库区高精度正射遥感影像图，而且，运用数字滑坡技术，利用三维数字模型，调查出重点区地质灾害发育现状。结合地质学、灾害学和空间信息科学等学科，综合分析库区地质灾害分布规律及其发育环境，初步认识如下：

**大坝 - 秭归县：**大坝附近地区，岩性以花岗闪长岩为主，滑坡发育较少，以浅层风化碎屑堆积为主的小滑坡。

**兴山县和秭归县：**地质灾害主要表现为沿岸集镇滑坡、库岸变形和公路交通要道沿线的滑坡和崩塌，由于该区段距大坝较近，135m 蓄水时沿岸水位增高值达 70 余 m，水库蓄水对岸坡稳定性带来的影响较为突出，如千将坪滑坡、树坪滑坡和卡子湾滑坡等。

**巴东县：**新城区一期迁建中选址不慎，遇到黄土坡滑坡问题，后来向西扩展仍有不少滑坡存在，给搬迁用地带来困难；沿江地形高陡，岩体松动，斜坡稳定性状况较差，数处滑坡规模较大，如谭家坪滑坡、赵树岭滑坡和西壤坡滑坡。

**巫山县：**新城区岸坡多为强风化松动岩体，岩体稳定性较差；部分新区建于老滑坡或强风化松散岩体的变形体上；由于用地紧张，高切坡和高挡墙密集，一些高层建筑建于用高挡墙支挡的高陡边坡临坡部位，存在高边坡稳定性隐患，巫山新城区共发育 20 余处滑坡，而且多为大型滑坡，如巫山中学滑坡、残联滑坡、上西坪滑坡和玉皇阁滑坡等。

**奉节县：**岸坡多为强风化松动岩体，部分新区建于老滑坡或松动变形岩体斜坡上，地基变形与稳定性条件存在潜在问题；强风化松散岩体区高陡边坡较密集，局部存在多级高挡墙支挡结构，高边坡稳定性亦存在隐患。

**万州区、云阳县：**以近水平的岩质古滑坡和堆积层滑坡为主，缓倾角岩质高陡边坡的崩塌与危岩体也较发育，云阳地区存在较陡倾角的顺层滑坡。该两区地层产状大多小于  $10^{\circ}$ ，由于其基岩为侏罗系蓬莱镇组和上下沙溪庙组长石砂岩和粉砂岩，表层残积土亦具有一定膨胀性，多处见缓坡地带较大面积浅层变形，如万州区五宝镇开发区、桑树坪 - 玉皇观 - 枇杷坪一带滑坡。

总体看来，三峡库区滑坡形成条件比较复杂，多为非典型滑坡，根据三峡库区滑坡特征，建立了库区地质灾害遥感解译的标志，同时，结合遥感数据源特点，针对不同的数据源，应用于不同的解译内容，并建立高分辨率数据源的地质灾害遥感调查技术流程。尽管在地质灾害遥感调查的过程中取得了一定的成果，但是，以滑坡为主的地质灾害是斜坡变形现象中最复杂的一种，自然界中的斜坡变形千多万态，特别是经历长期变形的斜坡，往往是多种变形

现象的综合体，这就给古滑坡的解译带来了困难，尤其是巨型的古滑坡，其特有的形态特征破坏殆尽，更增加了解译的难度。因此，在解译过程中应用具体问题具体对待，在解译滑坡之前，首先应对滑坡的形成规律进行研究，以避免解译时的盲目性，使解译工作更容易开展，但对大部分滑坡来说，根据其独特的滑坡地貌，是比较容易辨认的；而对于非典型滑坡，利用直接标志进行遥感解译有一定难度，在解译过程中，我们只能通过间接解译标志与实地调查相结合开展工作。

## 参考文献

- [1] 吴彩燕,乔建平,兰立波. 基于GIS的三峡库区滑坡坡形研究[J]. 自然灾害学报, 2005 V14(3):34~37
- [2] 许江,鲜学福,王维忠等.三峡库区地质灾害防治工作中的几个关键问题[J]. 重庆大学学报, 2004, V27(10):121~124
- [3] 国土资源部. 长江三峡库区地质灾害防治总体规划[Z]. 2001
- [4] 美国RSI公司. ENVI 遥感影像处理专题与实践[M]. 内部培训资料, 2005
- [5] 加拿大PCI公司. 探索PCI Geomatica 世界之蓝宝石-OrthoEngine 攻略[M]. 内部培训资料, 2005
- [6] 王建,白世彪,陈晔.Surfer8 地理信息制图[M].北京:中国地图出版社, 2004
- [7] 党安荣. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法 [M]. 北京:清华大学出版社, 2003
- [8] Franco Mantovani,Robert Soeters,C.J.Van Westen. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. Geomorphology,1996 15: 213~225
- [9] M.Polemio,O.Petrucci. Hydrogeological Monitoring and Image Analysis of a Mudslide in Southern Italy. Phys. Chem Earth 2001 26(9): 689~395
- [10] 吕杰堂,王治华,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
- [11] Junko Iwahashia, Shiaki Watanabeb, Takahiko Furuya. Landform analysis of slope movements using DEM in Higashikubiki area, Japan.Computers & Geosciences 2001 27:851~865
- [12] 王治华. 数字滑坡技术及其应用[J]. 现代地质, 2005 19(2):157~164
- [13] 王治华,杨日红. 三峡水库区千将坪滑坡活动性质及运动特征[J].中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 5~11