

遥感技术在地质灾害调查与监测中的应用

熊盛青 聂洪峰 杨金中

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京, 100083)

[摘要] 遥感技术已成为区域地质灾害及其发育环境宏观调查的不可缺少的先进技术之一, 在地震(活动性断裂)、滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降和土地荒漠化等地质灾害的调查、监测和研究工作中已发挥了重要的作用。本文简要介绍近年来利用遥感技术进行地质灾害调查与监测的成果, 并展望其发展趋势。

[关键词] 地质灾害 遥感 影像 解译 综述

地质灾害是指在地球的发展演变过程中, 由各种自然地质作用和人类活动所形成的灾害性地质事件(潘懋等, 2002)。地质灾害包括突发性的, 如火山、地震、崩塌、滑坡、泥石流、岩溶塌陷等, 也包括渐进性的, 如水土流失、地面沉降和土地荒漠化等。现代航天技术和遥感技术的飞速发展不仅为地球资源与环境监测研究开辟了广阔的前景, 而且为地质灾害的调查和研究提供了崭新的手段。长期以来, 遥感技术已经成为对区域地质灾害及其发育环境宏观调查的不可缺少的先进技术, 在地震(活动性断裂)、滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降和土地荒漠化等地质灾害的调查、监测和研究工作中发挥了重要的作用, 为山区大型工程建设的环境灾害调查及防灾减灾工作做出了重要贡献。

1 在斜坡地质灾害调查工作中的应用

1.1 斜坡地质灾害发育环境遥感调查

崩塌、滑坡、泥石流等斜坡地质灾害的分布发育主要受地形、地貌、地层岩性、地质构造、新构造活动、气象以及人为活动等多种因素的制约。要了解崩塌、滑坡、泥石流等斜坡地质灾害的区域分布规律, 必须首先了解这些因素的空间分布特征。因此地质灾害发育环境的调查。常常是斜坡地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流等)遥感调查的重要内容之一。

以滑坡为例。在遥感影像上, 滑坡常常沿着地球应力形变的形迹——线性构造分布, 并多产在不稳定物质覆盖的地区。期望通过遥感预测每一次滑坡的发生相当困难, 但通过对不同时期遥感资料的对比分析, 就可以对地表线性构造和不稳定物质覆盖区进行解译和判断,

从而预测、圈定滑坡地质灾害易发区，对已发生的滑坡地质灾害进行调查。

在 20 世纪 80 年代初期，主要利用 TM 遥感影像，通过分析滑坡发育的地质环境、自然环境条件和社会经济环境条件等因素的影响、作用，间接研究、推断区域内滑坡发育的可能性；同时利用重点区域的 1：1 万~1：5 万航空遥感影像，识别典型滑坡体，检验滑坡发育环境研究的正确性。

以三峡库区为例，原地质矿产部地质遥感中心（现中国国土资源航空物探遥感中心，以下简称航遥中心）先后开展了“长江三峡工程库区被淹城镇选址方案的遥感地质稳定性评价”¹、“长江三峡工程前期论证阶段库岸稳定性研究”²、“长江三峡地区遥感信息的断裂构造解译及对坝区稳定性初步评价”³等工作，初步揭示了库区主要地质灾害（崩塌、滑坡、泥石流）与地质环境发育的关系。荟萃 1985 年航摄的 1:6 万彩红外航片解译及地面摄影，结合工程地质勘查和试验资料编辑而成的《长江三峡滑坡崩塌》图集，精选了 220 余幅长江三峡地区大型滑坡、崩塌及变形体照片，以简要文字阐述了其所处的自然地质环境、形态结构特征和形成机制，并对稳定性做出了评价。研究认为，区域滑坡地质灾害的发生，多是老崩滑体受暴雨诱发或加载诱发两种类型复活的结果。2003 年 7 月 13 日发生的湖北省秭归县干将坪滑坡，即是老滑坡体上的数个滑体为持续强降雨诱发复活的结果，其运动方式为高速厚层推移式滑动，滑距大于 200m，（王治华等，2003）。

1.2 斜坡地质灾害的遥感判译

在遥感影像上，通过人机交互解译的方式，进行斜坡地质灾害影像光谱、纹理、地形、地貌、覆盖植被等的分析，确定灾害体的分布位置、面积、产出的地质背景等属性，是斜坡地质灾害遥感调查的重要内容。长期以来，我国遥感工作者在崩塌、滑坡、泥石流的遥感解译方面积累了丰富的经验。航空立体像对（黑白、标准彩色、彩红外）已经广泛用于识别滑坡、崩塌、泥石流等灾害体和易发灾害的地带；卫星、雷达和侧向扫描测距系统更扩展了这些方面的能力。在目前的调查研究工作中，多采用航片、卫片相结合使用的方法，即采用不同时相的航片资料对滑坡、崩塌、泥石流个体进行室内解译和野外验证，采用卫片对其发生的地质背景进行解译。

以滑坡灾害的遥感解译为例。我国的滑坡解译技术是在近 20 年为山区大型工程服务中逐渐发展起来的，已经探索出一套较为合理的工作方法，即在充分收集和分析前人资料的基

¹地矿部地质遥感中心，“长江三峡工程库区被淹城镇选址方案的遥感地质稳定性评价”研究报告，1986

²地矿部地质遥感中心，“长江三峡工程前期论证阶段库岸稳定性研究”研究报告，1986

³地矿部地质遥感中心，“长江三峡地区遥感信息的断裂构造解译及对坝区稳定性初步评价”研究报告，1986

基础上,采用以彩红外航片为主的遥感资料,通过室内解译与野外实地验证相结合的技术路线,进行滑坡灾害的调查与综合分析。以目视解译为主、计算机图像处理为辅,根据滑坡的形态特征(滑坡体、后壁、侧壁、滑坡台坎、滑舌等)在航空和卫星图像上判译、识别滑坡,制作滑坡等地质灾害分布图;根据滑坡发育的微地貌类型,判别滑坡的活动性。

1986年开展的“新滩滑坡遥感地质调查”⁴工作通过对新滩地区不同时相、不同方法遥感图像(包括彩色航空影像、热红外扫描影像和机载侧视雷达图像)的判译,确定了滑坡发生前的影像先兆,详细划分了滑坡体的内部结构和岩性分区,并对滑坡发生时不同地段的位移矢量、运动方式等进行了详细研究、预测,从而为利用遥感技术进行滑坡研究提供了范例。利用2003年3月三峡库区135m高程水位临蓄水前的航摄图像,对秭归千将坪地区进行的滑坡遥感解译工作表明,千将坪滑坡为一覆盖投影面积约 0.46km^2 、总体呈簸箕形的老滑坡。由于滑坡活动释放能量比较充分,目前整体趋于稳定,但千将坪滑坡东面斜坡上的老滑坡体,如果条件合适有可能复活(王治华等,2003),从而为区域滑坡预测指明了方向。

由于中国大型滑坡主要分布在强烈切割的中、高山区,例如岷江、大渡河、金沙江等高陡的深切河谷地带,地形高差变化较大,利用一般的卫星遥感影像进行遥感解译,必然存在因卫星投影性质形成的投影差。正射遥感影像地图是对遥感数字图像进行几何校正和投影差改正,并与数字化的简化地形图复合的一种新型遥感影像资料。近年来,航遥中心先后在金沙江、进藏公路铁路沿线、长江三峡库区,利用具有地形要素的正射遥感影像地图,开展中等比例尺(1:5万~1:20万)的地质灾害(以滑坡、泥石流为主)遥感调查工作,不仅基本查明了上述区域的滑坡、泥石流分布现状,而且提高了图像的解译精度和解译结果的正确性。滑坡、泥石流的遥感解译识别准确率在90%以上。

2003年3月,航遥中心在三峡库区成功获取了135m高程水位临蓄水前的航摄资料,制作了三峡库区(宜昌—江津)1:5万航空遥感图像,目前正制作三峡库区1:5万及重点城镇1:1万正射遥感影像地图。这项工作的开展,不仅为库区灾害遥感调查提供有准确地理坐标、反映库区135m水位临蓄水前状况的图像;而且,通过对比以前获得的和即将获得的航空遥感影像,进行蓄水前后的库区地质灾害状况遥感动态调查,将为三峡库区灾害评价与灾害防治提供灾害与地质环境基础数据。

2 在土地荒漠化调查与监测中的应用

⁴地矿部地质遥感中心,“新滩滑坡遥感地质调查”研究报告,1986

土地是人类赖以生存的根本。但由于人类对土地资源的过度开发利用,天然植被减少以及某些自然因素的作用,土地荒漠化现象不断加剧。目前,我国荒漠化土地面积为 $262.2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 每年因荒漠化而造成的经济损失达 541 亿元;与此同时,我国沙质荒漠化土地仍以 $2460 \text{ km}^2/\text{a}$ 的速度扩展(潘懋等, 2002)。进行土地荒漠化的动态监测、及时采取防治措施,已经成为当前一项紧迫的任务。

遥感技术具有信息量大、观测范围广、精度高和速度快的特点,其强实时性和动态性更是传统的资源环境监测和预报方法所难以比拟的。近 20 年来,在中国北方荒漠化的形成机制、发展过程、分布规律和演变趋势和西南岩溶石山地区的石漠化调查与监测等研究工作中,遥感技术发挥了重要作用(潘懋等, 2002);利用反映植被覆盖度和生长状况差异的比值植被指数(RVI)方法,通过石漠化面积占研究区总面积百分比、石漠化年均变化面积占研究区总面积百分比、地表植被覆盖度等的调查,航遥中心在广西、贵州的一些石漠化监测区进行了卓有成效的工作。以贵州普定县蒙铺河监测区为例⁵,在蒙铺河监测区 45.62 km^2 的土地上,石漠化面积达 26.19 km^2 , 占总面积的 58%。其中,重度石漠化面积 12.87 km^2 , 中度石漠化面积 7.14 km^2 , 轻度石漠化面积 6.18 km^2 , 而无石漠化面积仅为 2.22 km^2 。随着地形坡度的增大,石漠化面积有增大的趋势;而且当坡度大于 15° 时,这一趋势尤为显著(表 1)。

不同坡度类型石漠化分布面积一览表 单位: km^2

| 坡度类型 | 监测面积 | 石漠化面积 | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 重度石漠化 | 中度石漠化 | 轻度石漠化 | 合计 |
| 0~6° | 5.96 | 1.10 | 0.62 | 0.59 | 2.31 |
| 6~15° | 7.84 | 2.09 | 0.87 | 0.72 | 3.68 |
| 15~25° | 14.57 | 4.56 | 2.12 | 1.66 | 8.34 |
| >25° | 17.25 | 5.12 | 3.53 | 3.21 | 11.86 |
| 合计 | 45.62 | 12.87 | 7.14 | 6.18 | 26.19 |

3 在地震研究(活动性断裂)中的应用

20 世纪 70 年代以来,遥感技术在地震地质、区域构造稳定性及工程地震、现代构造应力场及地震形成机制和震害调查等方面得到了广泛的应用。国家地震局先后主编的《中国卫星影像地震构造判读图》(1:400 万)、《中国活动构造典型卫星影像集》、《遥感地震地质文

⁵ 中国国土资源航空物探遥感中心,“西南岩溶石山重点地区遥感动态监测”研究报告,2004

集》、《中国主要活动断裂带卫星图像集》等一系列资料即是明证。

以活动性断裂的调查为例。地震是地壳内部应力积累和突然释放，地壳破裂活动的一种表现形式。地质灾害通常是地壳内部应力聚散时影响地壳表层的反映。而地表活动性构造则是地球应力形变的形迹，是深部的、隐伏的活动构造在浅表部位的显示。查明区域活动性构造的分布，常常是区域地质灾害调查工作中的首要内容。

一般而言，在遥感影像上，活动性线性构造常常具有如下解译标志：(王瑞雪，1997；杨金中等，2003)

- 1) 差异性影像色调、影像结构单元的界线、色带异常；
- 2) 山脉、河谷、山间平原甚至海沟的错位、扭曲和变形；
- 3) 现代河流水系直线状、格状展布；地下水的局部异常，泉水成串出现，地表土壤含水异常；河流的急转弯、同步拐点；河流改道、断流；河流陡缓、曲直剧变；湖泊的线状排布延伸及其扭曲；
- 3) 现代沉积盆地线状排布延伸及其扭曲；近代沉积中心的线状展布、线状边界；
- 4) 新生代火山口成串展布；
- 5) 差异性地貌单元、水系类型的急剧变化异常带、线状延伸的陡崖、断层三角面等构造地貌；洪积扇(裙)的线状排布及其复合叠加，现代沉积物(层)的再破裂、位错及褶皱；
- 7) 现代地震活动带及地震地貌线状展布带。近年来，在公路和铁路的勘测设计、核电站选址、水电工程建设等的前期工作中，利用遥感技术进行活动断裂的解译，已经成为工程近场区烈度复核、地震危险性判定、地震小区划和现代构造应力场研究中必不可少的内容。

4 在突发性地质灾害监测与评估中的应用

地质灾害作用过程属于一种自然地质现象，它不仅给人类生命安全带来威胁，而且对财产、环境、资源等具有破坏性。我国是世界上地质灾害最严重的国家之一，灾种类型多、发生频率高、分布地域广、灾害损失大。以滑坡为例，在过去的 20 多年里，我国相继发生了一系列重大滑坡事件，如重庆市云阳县鸡扒子滑坡、湖北盐池河磷矿岩崩、甘肃洒勒山滑坡、湖北新滩滑坡、重庆溪口滑坡、西藏易贡滑坡、重庆千将坪滑坡等，这些滑坡灾害事件均造成了重大的人员伤亡或经济损失，并造成严重的环境影响。就我国地质灾害发生的区域性和多发性特点以及我国国民经济总体水平不高的状况而言，我国不可能有足够的经济力量和技术力量对有潜在危险的地质灾害点进行全面的工程治理。因此，作为地质灾害综合防治的一

条有效途径,就是开展地质灾害预测预报和风险区划,为国土规划、减灾救灾、灾害管理与决策提供可靠依据;对危害性严重的地质灾害点加强监测预报,避免重大地质灾害事件的发生。遥感技术无疑会在这一工作中发挥重要作用。

2000 年 4 月 9 日,西藏自治区林芝地区波密县易贡藏布下游左岸札木弄沟发生特大型山体滑坡,滑坡堆积体截断了易贡藏布,使原先呈网状的易贡湖面积迅速扩大。王治华等(2000,2001)利用多时相、多平台的卫星遥感数据和数字高程模型,对易贡湖的变化情况进行了监测,快速获取了各时相的湖水面积、水位和水量,并对洪水的溃绝时间进行了预测。研究结果与现场调查结果基本一致,显示了利用遥感数据进行地质灾害定量监测的可行性。

2003 年 2 月 24 日上午 10 时 03 分,新疆维吾尔自治区巴楚、伽师地区发生 6.8 级强烈地震,人民的生命财产遭受严重损失。为落实国务院关于做好巴楚、伽师地震灾区损失评估工作要求,航遥中心于 2003 年 2 月 28 日至 3 月 10 日完成了巴楚、伽师地区彩色航空遥感摄影工作,制作了地震灾区航空遥感正射影像图,为地震灾区损失评估工作提供了基础资料。

5 地质灾害遥感技术的发展趋势

(1) 航空遥感技术的发展将为地质灾害调查与监测提供有力的技术支撑。近年来,航空遥感技术得到了飞速发展,高精度航空定位定向系统(简称 POS 系统)、机载激光扫描系统和数字航空摄影等技术将在地质灾害调查与监测工作中发挥重要作用。POS 系统集成差分 GPS 技术和惯导技术于一体,在航空遥感影像获取的同时,同步记录传感器的三维空间信息及三轴姿态信息,即影像数据的外方位元素,从而能够大大地减少,乃至无需地面控制就能直接进行航空影像的空间地理定位,为航空影像的进一步应用提供了十分快速、便捷的技术手段。尤其是在崇山峻岭、戈壁荒漠、沼泽、滩涂、灾害频发区等难以通行区和边境等难以抵达的地区,采用 POS 系统进行直接空间地理定位将是唯一行之有效的方法。机载激光扫描系统是一种采用激光测距技术直接从飞机平台上获取地物空间位置信息的精密设备。系统主要由 GPS+IMU、激光扫描仪、电视摄像机组成。系统通过发射激光束,对目标地物进行扫描,并接收地物的回波信息。对扫描回波信息用专门的软件处理后即可获得地表的 DEM、DTM 及地表面模型。这些模型数据可广泛应用于林业资源调查、矿业、灾害、城市 3D 重建等领域。综合利用 POS 系统和机载激光扫描系统,可以迅速获取地质灾害发生区的航空影像资料,制作正射影像图和三维仿真影像,为地质灾害的监测和灾情评估工作提供基础资料。

(2) 随着高分辨率遥感技术的商业化,对滑坡体等地质灾害的动态监测将成为国土资

源大调查地质灾害预测预警工程中的重要研究内容。在以前的研究中,关于滑坡体大比例尺(1:5000~1:2000)遥感解译工作和不同时相下某一滑坡体的变化情况的研究几乎处于空白状态。高分辨率遥感技术的商业化将地质灾害遥感预测预警工作带入一个新的时代。通过不同时相高分辨率遥感影像资料的对比分析,我们将可以对一些重点地质灾害体进行监测,通过变化信息的提取,及时进行地质灾害的预测预警工作。

(3)随着干涉雷达技术的日益成熟,滑坡体的地表细微变化将得到有效监测。干涉雷达是近几年发展起来的用于探测地表细微变化的遥感新技术。该技术利用电磁波的相干原理,在一定时间间隔内对同一地物进行两次平行观测,获取其复图像对。如果目标物与天线的几何关系发生变化,则会在复图像对产生相位差,形成干涉图像。通过理论计算,可以精确地测出图像上每一点的三维位置,提取变化信息。该技术的测量精度达到cm级,将在地质灾害监测、地壳形变探测等方面发挥重要作用。

(4)地质灾害的经济危险性评估将成为滑坡发育环境遥感调查的重要内容。在以往的研究工作中,地质灾害发育环境遥感调查多侧重于地质灾害与线性构造、岩性、水文地质条件等关系的研究,对场区人文条件变化与滑坡关系等方面研究偏少。随着可持续发展战略的实施,人与环境的协调发展成为当代中国经济和社会建设的主旋律。对地质灾害发育区进行地质灾害经济危险性评估,将成为地质灾害发育环境遥感调查的重点。

(5)“数字滑坡”等地质灾害研究新技术将得到迅速发展。利用3S(RS、GIS、GPS)技术,快速获取基础资料,并结合地质、地形、钻探、物探等地面、地下调查资料,形成滑坡等地质灾害的三维空间表达,并依此为基础进行地质灾害的相关分析,将成为今后一段时间内地质灾害遥感技术的重要研究内容。

参考文献

1. 潘懋,李铁峰. 灾害地质学. 北京:北京大学出版社,2002
2. 熊盛青. 国土资源遥感技术应用现状与发展趋势. 国土资源遥感,2002,(1):1~5
3. 杨金中,聂洪峰,李景华. 遥感技术在浙江东部穿山半岛地区活动断裂调查中的应用. 2003,(4):50~53
4. 韩宗珊主编. 长江三峡滑坡崩塌. 地质出版社,1988
5. 王治华. 金沙江下游的滑坡和泥石流. 地理学报,1999,54(2):142~149
6. 王治华. 面向新世纪的滑坡、泥石流遥感技术. 地球信息科学,1999,(2):71~74
7. 吕杰堂,王治华. 西藏易贡滑坡堰塞湖卫星遥感监测方法初探. 地球学报,2002,23(4):363~368
8. 袁崇桓,聂洪峰. 湖北巴东县三峡库区环境遥感调查. 张雍主编,航空航天遥感技术地学应用研究,北京:地质出版社,1993

- 9 . 张振德,何宇华. 遥感技术在长江三峡库区大型地质灾害调查中的应用. 国土资源遥感, 2003,(2): 11~14
- 10 . 王治华,杨日红,王毅. 秭归沙镇溪镇干将坪滑坡航空遥感调查. 国土资源遥感, 2003,(3): 6~9
- 11 . 王治华. 青藏公路和铁路沿线的滑坡研究. 现代地质, 2003, 17(4): 355~362