

遥感在滑坡灾害研究中的应用进展

石菊松, 吴树仁, 石玲

中国地质科学院地质力学研究所;国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室,北京,100081

内容提要:在对常用的光学遥感卫星影像、InSAR, LiDAR等遥感技术方法介绍的基础上,综述了这些方法在滑坡研究中的最新应用进展,从滑坡风险评估中的基础地形数据获取、滑坡编录与制图、监测、滑坡因素制图、承灾体制图等5个方面阐述遥感技术在滑坡风险中的支撑技术作用与应用前景。从遥感影像在滑坡风险评估中的作用、解译能力、影响解译的因素、精度评价和遥感数据源选择等角度阐述了常用遥感技术在滑坡风险评估应用中存在的问题,认为:① 遥感技术在滑坡风险评估中的主要作用为数据、信息的获取与更新;② 滑坡的遥感影像解译能力取决于影像空间分辨率与待识别滑坡大小的相对关系,影像的时间分辨率、滑坡与其周边环境的对比度、立体影像的获取能力是利用遥感影像开展滑坡探测、识别与制图的关键要素;解译方法和解译员的专业素质是滑坡遥感解译的重要影响因素;③ 遥感影像与GIS空间分析、3D可视化的综合可有效增强滑坡识别与制图的效率和精度;④ 对于遥感解译滑坡的精度评价应针对具体影像的可解译性从有效解译,错误解译和遗漏解译三个方面予以客观评价;⑤ 滑坡风险评估应针对具体应用,从成本效益比的角度,本着“够用为止”原则合理选用遥感数据源。

关键词:遥感;滑坡灾害;InSAR;LIDAR;DEM

近年来,利用遥感(Remote sensing)技术开展滑坡灾害制图与风险评估不仅在学术上而且在国家科技规划层面上日益成为研究热点。在学术上, Mantovani等(1996)综述了欧洲利用遥感技术开展滑坡填图、监测和分析与预警研究; Wasowski等(2003)在国际工程地质学报滑坡遥感与监测专辑中认为光学和SAR卫星功能的增强(高分辨率、立体影像和重访问周期缩短)和对地观测数据处理能力的增强促进了遥感技术在滑坡灾害中的应用普及;欧洲空间局资助的SLAM(Service for Landslide Monitoring)项目利用合成孔径雷达差分干涉测量(DInSAR),永久散射体(Permanent Scatterers, PS),干涉点目标分析(IPTA)方法来获取毫米级精度的地表形变运动及传统的光学影像分析,地质分析方法开展滑坡敏感性、危险性制图(Farina et al., 2006; Meisina et al., 2006);国内卓宝熙、王治华、张继贤等分别在遥感工程地质应用、“数字滑坡”、3S技术在滑坡灾害调查、监测和预警方面的应用进行了探索和深入的研究工作(卓宝熙, 2002;王治华, 2007;张继贤, 2005;蒋卫国等, 2006)。在国家科技规划层面上美国地质调查局

(USGS)滑坡灾害5年计划(2006—2010)(LHP)中强调“培养应用现代遥感方法(如根据InSAR和LIDAR分析地形特征等)对滑坡进行探测和填图的滑坡专家”;中国“十一五”国家科技支撑计划重点项目《重大地质灾害监测预警与应急救援关键技术研究》中尤为强调利用遥感、GIS技术开展滑坡灾害早期识别,监测预警和滑坡灾害风险评估与管理研究。随着遥感新技术的发展及新的对地观测系统投入运营,不管是机载,星载或地面传感器都极大地提高了滑坡灾害研究所需的全天候,实时的数据获取能力,而且InSAR、DInSAR、LIDAR等,高分辨率卫星影像(Spot5, IKONOS, Quickbird)等在滑坡灾害研究中得到了广泛的应用,这些技术不仅增强了滑坡研究地形模拟(DEM, DTM等)和可视化能力,而且使滑坡灾害风险探测,识别、监测和预警的手段多样化(石菊松等, 2007)。

目前,遥感技术正朝着多光谱、高分辨率、多时像和商业化服务方面发展。遥感技术在滑坡灾害研究中的应用逐渐从单一的遥感资料向多时相、多数数据源的复合分析,从静态滑坡识别、形态分析向滑坡变形动态监测过渡,从对滑坡的定性调查向计算机

注:国家“十一五”科技支撑计划项目(编号2006BAC04B05),国家自然科学基金资助项目(编号40472153)和地质力学所基本科研业务费项目(编号DZLJK200701)的成果。

收稿日期:2008-02-29;改回日期:2008-05-05;责任编辑:章雨旭。

作者简介:石菊松,男,1977年生。在职博士研究生,助理研究员。主要从事地质灾害调查、评估及GIS、RS在地质灾害中的应用研究工作。电话:010-68486759;Email:shijusong@126.com。

辅助的定量分析过渡。遥感技术在滑坡灾害研究中具有广泛的应用前景,但目前阶段,国内在滑坡遥感的理论和实践中,由于受交叉学科、新技术方法的快速发展、滑坡遥感的从业人员专业背景差异等因素影响,存在一些问题和不足,如遥感在滑坡调查中的作用在被过度夸大的同时其应用潜力和功能没有得到充分发挥;在实际遥感目视解译中过度依赖影像的色彩、纹理、阴影、位置等解译要素,而对滑坡遥感解译的关键要素或问题认识不清;滑坡遥感解译片面追求影像的解译标志,DEM、DTM数据的利用程度低,对DEM、GIS空间分析与影像的复合分析、3D可视化等新的技术方法应用较少;缺少对遥感解译滑坡精度客观的评价方法等。针对上述问题,本文在常用的光学遥感卫星影像、InSAR, LiDAR等遥感技术方法介绍的基础上,综述了这些方法近年来在滑坡灾害研究中的最新应用进展。从滑坡风险评估中基础地形数据获取、滑坡编录与制图、监测、滑坡因素制图、承灾体制图等5个方面论述遥感在风险评估中的支撑技术作用和应用前景。从遥感影像在滑坡研究中的作用、影响解译的因素、解译能力、精度评价和遥感数据源选择等角度阐述了常用遥感技术应用于滑坡研究中存在的问题。

1 常用遥感类型

目前,在国内外滑坡研究中常用的遥感类型主要有航空摄影,可见光—近红外光学卫星影像,最新的技术InSAR/DInSAR与LiDAR技术。其中航空像片从70年代开始应用于滑坡灾害研究,主要依赖于航片的目视解译和判读,形成较为成熟的技术方法体系(卓宝熙,2002)。因此,重点介绍常用可见光—近红外光学卫星影像和最新的InSAR/DInSAR, LiDAR技术。

1.1 可见光—近红外光学卫星影像(Optical)

光学卫星影像主要指利用可见光和红外波段上只反射地物对太阳辐射的反射,根据地物反射率的差异,通过摄影和扫描方式来成像以获得有关目标物的信息。下面按照空间分辨率的不同简介常用的遥感卫星影像,并将其光谱和空间分辨率以图示说明(图1)。

(1) Landsat7 ETM+和ASTER(中等分辨率): Landsat7 ETM+是美国于1999年4月15日发射的Landsat-7上搭载的传感器,主要用于获取地球表层信息,改进了热红外波段的空间分辨率,它有7个波段(包括可见光,近红外,短波红外,热红

外)和1个全色波段,它在波段宽度设计上更具有针对性,对植被和土壤含水量等检测效果较好,是地学研究中应用最为广泛的卫星遥感影像。ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)是Terra卫星上的一种高级光学传感器,包括了从可见光到热红外共14个光谱通道,其传感器分成三个独立的子系统,分别处于可见光/近红外、短波红外、热红外波段,ASTER通过立体像对能够提供15m,30m和90m DEM数据。在冰川、水文、城市扩展、火山预报、蒸散/地表温度、地质等6个方面得到了广泛的应用。ASTER数据在地质上的应用总体上优于ETM+数据,其15m分辨率的可见光和近红外波段相对于ETM+30m优势明显,而且在短波红外方面具有高的光学分辨率,ASTER在波长2.145~2.430 μm 具有5个波段,而ETM+在1.55~2.35 μm 仅有2个波段;更为重要的是ASTER具有立体像对的获取能力,可以生成15m,30m分辨率的DEM数据。

(2) SPOT5和ALOS(高分辨率): SPOT5是法国SPOT系列最先进的卫星,它进一步提高了立体成像能力,采用了新的超级成像模式可将地面分辨率提高到2.5m。ALOS(Advanced Land Observing Satellite)是日本2006/01/26发射的一颗采用先进陆地观测技术的卫星,载有新型可见光和近红外辐射计,相阵型L-波段合成孔径雷达,实现全天候的陆地观测,包括获取3~5m精度的数字高程模型和测绘1:2.5万的地图,为了在灾害发生时进行紧急观测,ALOS卫星具有自由变更观测区域的功能。两颗卫星空间分辨率一致,对应波段光谱范围也大体一样。虽然在地质灾害研究中,SPOT5影像得到了较为广泛的应用,但其昂贵的立体像对在一定程度上影响了其在地质灾害方面的应用普及;ALOS影像的出现,其优异的性能和合成孔径雷达能力必将逐步取代SPOT5在地质灾害中的应用。

(3) IKONOS和Quick Bird(极高分辨率): IKONOS卫星是世界上第一颗提供高分辨率卫星影像的商业遥感卫星。IKONOS卫星不仅实现了提供高清晰度且全色分辨率为1m,彩色多光谱分辨率为4m的卫星影像,开拓了一个新的更快捷,更经济获得最新基础地理信息的途径,更是创立了商业化卫星影像的标准。Quick bird是Worldview1开始服务前世界上商业卫星中分辨率最高、性能较优的一颗卫星,其全色波段分辨率为0.61m,彩色多光

谱分辨率为 2.44m。两颗卫星的波段和光谱范围设置一致,它们提供的卫星影像具有航片效果,被广泛应用于精度相对较高的测绘地图、大型工程选址、勘察以及城市规划方面。在地质灾害调查和研究中的应用中主要取决于二者的适时影像获取能力或存档数据的可用性。

1.2 InSAR 和 DInSAR

合成孔径雷达干涉测量(SAR interferometry, InSAR)是近年来迅速发展起来的一种微波遥感技术,已成为国际遥感界的一个研究热点(李德仁, 2000),它是利用合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)的相位信息提取地表三维信息和高程变化信息的一项技术。目前,InSAR 主要应用除进行地形制图,生成大范围高精度的 DEM 及坡度测量外(单新建, 2001),在干涉雷达基础上发展起来的雷达差分干涉测量(Differential InSAR, 简称 DInSAR)技术其高精度、高空间分辨率及全天候,大范围的数据获取能力使得这种技术在火山监测、地表下陷、山体滑坡监测和地震形变监测等方面具有重要的研究意义(张洁等, 2004)。大量研究表明(Colesanti and Wasowski, in press ; Rott and Nagler, 2006; 范青松等, 2006; 张拴宏等, 2004), InSAR 技术应用在滑坡制图和监测中具有良好的前景和巨大的潜力,但是由于技术本身的局限和受地面植被、湿度和大气条件影响导致的相位失相干或在时间和空间上的延迟等问题,使得它的发展受到相应的制约,为了更好的利用 InSAR 技术,最新的永久散射体(PS)技术和角反射器技术的应用可以有效地减少空气及噪音对干涉图的影响。另外,日本的 ALOS 以及意大利的 COSMO/ SKYMED 卫星系统为更有效地利用这项技术来开展滑坡制图和监测提供了可能性。欧洲空间局资助的 SLAM (Service for Landslide Monitoring)项目利用合成孔径雷达差分干涉测量(DInSAR),永久散射体(PS),干涉点目标分析(IPTA)方法来获取毫米级精度的地表形变运动及传统的光学影像分析,地质分析方法开展滑坡敏感性、危险性制图(Farina et al., 2006; Meisina et al., 2006)。但 InSAR 用于滑坡监测还存在一些不足,如对于大气参数的变化、卫星轨道参数的误差和地表覆盖的变化非常敏感;干涉像对之间空间基线和时间基线的挑选也受到一定的限制;高山地区成像时存在雷达波束遮掩和雷达阴影现象;在滑坡监测时,其存档数据的时间分辨率还满足不了要求等。

1.3 LiDAR

激光雷达(LiDAR, light detection and ranging)技术是现代对地观测的最新技术之一,通过位置、距离、角度等观测数据直接获取对象表面点三维坐标,对地面的探测能力有着强大的优势,具有空间与时间分辨率高、动态探测范围大、能够部分穿越树林遮挡、直接获取真实地表的高精度三维信息等特点,是快速获取高精度地形信息的全新手段(Glenn et al., 2006; Schulz, 2007)。基于航空平台的 LiDAR 技术包括 dGPS, 实时导航系统(INS)和激光扫描仪,通过包含高重复脉冲频率和高速扫描系统的激光发射器获取详细的地表信息,可以获得高精度的 DEM,方便探测高程微小变化和揭示地貌特征。LiDAR 获得的地表数据在水平方向上分辨率为 1m,垂直方向分辨率为 0.15m,因此特别适合用来测量分米到米级的地形变化(Chen et al., 2006)。相对于其它遥感手段,激光雷达遥感技术的最大优势在于可以快速、直接并精确地探测到真实的地表及地面的高程信息,是一种直接获取地形表面模型的有效手段。但是,基于激光雷达数据提取高精度 DEM 往往也受到一些因素的限制,如激光点数据的特点,地面状况及非地面点过滤算法适应性。

2 最新应用进展

随着遥感技术迅速发展,遥感数据大大丰富,近年来,遥感技术在滑坡研究方面得到广泛的应用(表 1)。主要是利用各种遥感数据(基于航天、航空、地面平台)来对滑坡进行调查、编录制图、监测及空间分析和灾害预测。目前遥感技术在滑坡研究中的应用经历着从单一的遥感影像资料向多时相、多数据源的复合分析;从静态的定性制图向动态监测、定量滑坡特征数据、信息获取的发展过程;滑坡相关信息提取的手段从主要依赖于目视解译向计算机辅助与自动获取过渡。从表 1 所列的最新研究应用,可以体现目前遥感技术在滑坡灾害研究中的发展特点,既存在单一的利用航空相片开展滑坡解译,也有利用多时像遥感数据开展变化探测、利用立体像对生成立体模型和将航空相片与卫星影像、DEM、SAR 数据的复合分析等;在卫星影像方面,利用高分辨率(SPOT5、Quick bird、IKONOS)影像乃至立体像对来开展滑坡填图,通过影像的滑坡目视解译、计算机提取有关植被指数(NDVI),土壤湿度指数(NDWI),影像的高级分类获取土地覆盖类型、土地

表 1 遥感技术在滑坡灾害研究应用总结表(2003~2007)

Table 1 List of applications of remote sensing for landslide study (2003~2007)

目的/主要应用	传感器	方法/技术	研究地点	比例尺/分辨率	资料来源
• 滑坡体表面变化,如岩石裸露、新植被等	航空摄影相片	扫描、地理参考、相对辐射校正、通过图像差异和设定阈值进行变化探测	Tessina (意大利)	航摄相片 1:75000 输出成果 1:10000	Hervas et al., 2003
• 滑坡识别 • 土地利用变化	多时相 SPOT 影像,航空相片	图像配准和校正,波段比值,图像差异	台湾中部	20m	Cheng et al., 2004
• 滑坡体积计算	航片	四个不同时期的立体像对,校正,提取三维模型	Alps(瑞士)	1:25000	Schwab et al., 2007
• 滑坡敏感性制图	航空相片 DEM	分析包括岩性,坡度,坡向,高程等数据信息的提取	Pays de Herve (比利时)	1:10000 1:18500 DEM 30m	Demoulin and Chung, 2007
• 滑坡敏感性制图比较	航空相片 SPOT	分别对航空相片和 SPOT 影像处理开展滑坡敏感性制图	Pena Canyon (美国)	1:40000	Weirich and Blesius, 2007
• 滑坡敏感性制图 • 滑坡因素	航空相片 DEM	分别由相片,DEM 提取滑坡影响参数,逻辑回归	Kakuda-Yahiko (日本)	1:20000 DEM 10m	Ayalew and Yamagishi, 2005
• 植被恢复 • 土壤侵蚀预测	SPOT	利用多时相遥感影像,NDVI 指数,土壤侵蚀预测	台湾	20m	Lin et al., 2006
• 滑坡灾害评估 • 滑坡灾害制图	ASTER	图像处理,提取滑坡因素,开展敏感性制图	巫山、巴东 (中国)	可见光/近红外 15m	Fourniadis et al., 2007
• 滑坡探测	Quick Bird 航空相片	图像处理,GPS 监测	Idaho (美国)	0.61m 1:40000	Chadwick et al., 2005
• 范围滑坡灾害评估	IKONOS	图像校正,由立体像对提取 DEM,解译	Lantau Island (香港)	1m	Nichol et al., 2006
• 监测滑坡运动 • 滑坡识别	ERS-1 和 ERS-2	1993 年到 1997 年雷达干涉影像	Alberta (加拿大)	10m	Singhroy and Molch, 2004
• 滑坡速度估算	ERS-1 和 ERS-2	1991 年到 1999 年间 15 幅雷达干涉影像	La Valette (法国)	10m	Squarzone et al., 2003
• 地貌特征 • 地貌变化	JERS 航空相片	干涉测量和航空相片解译	Laion (意大利)		Catani et al., 2005
• 滑坡监测(慢速)	地面平台 SAR	构建 SAR 平台,高程变化探测,监测地面形变	Carnian Alps (意大利)		Noferini et al., 2007
• 地形探测	摄影测量 DEM 机载 LiDAR	比较不同时期的 DEM,计算 DEM 变化量	中国台湾		Chen et al., 2006
• 滑坡变形监测	ERS-1 和 ERS-2 SPOT-5	SAR 图像干涉处理,永久散射体技术	意大利中部	SAR 25m SPOT-5 5m	Farina et al., 2006
• 滑坡探测 • 滑坡敏感性制图	KOMPSAT-1	图像变化检测技术	Gangneung (韩国)	1m	Lee and Lee, 2006
• 地表变形监测	ERS-1 和 ERS-2	永久散射体干涉测量	Lombardia (意大利)		Meisina et al., 2006
• 滑坡灾害评估 • 极慢速滑坡运动	ERS-1 和 ERS-2	差分干涉测量,边坡变形分析	Alps(瑞士、奥地利)		Rott and Nagler, 2006
• 滑坡体积计算	3D Laser scanner	激光扫描,GPS 定位	中国台湾		Du and Teng, 2007
• 滑坡敏感性制图	LIDAR	高精度 DEM, 滑坡制图,历史资料的分析	Seattle (美国)	DEM 1.8m	Schulz, 2007

利用等滑坡相关因素并与 DEM 数据综合利用 GIS 空间分析模型方法来开展滑坡敏感性制图研究是近年来国内外在滑坡调查和评价中的主要技术手段和方法;InSAR/DInSAR 技术高精度 DEM 数据获取能力和对微地形变化的探测能力在基于高精度 DEM 数据的滑坡制图和滑坡监测方面得到了发展和应用;LIDAR 作为新的高精度 DEM 生成技术和

对微地形变的探测能力,在滑坡制图和监测方面其技术前景相当可观。

3 支撑技术作用

滑坡灾害风险评估与管理研究是目前滑坡研究的热点,是滑坡自然属性和社会属性研究的集中体现。空间数据的可获取性、可靠性和时效性是开展

滑坡风险评估的基础,尤其是如何建立完备的滑坡编录数据库及实时更新和维护,如何保持滑坡因素、变形监测数据和承灾体分布等数据的可用性、可靠性和时效性(更新)等方面,是目前普遍存在的难点问题。随着遥感技术的发展,其在滑坡风险评估中的支撑技术作用日益突出,下面从基础地形数据、滑坡编录与制图、滑坡因素制图、滑坡监测和承灾体制图等 5 个方面结合国内外的最新进展阐述遥感技术在风险评估中的应用技术方法及前景。

3.1 基础地形数据

基础地形数据主要指的是数字地形模型(DTM),数字高程模型(DEM)和数字表面模型(DSM),其生成方式除利用数字线化地图的内插值方法外,主要依赖于航空和卫星立体像对,雷达和 LiDAR 技术。遥感技术的发展使基础地形数据的生成手段的多样化和精度的提高,促使其成为获取基础地形数据的关键支撑技术,主要表现在:2001 年的基本覆盖全球的均一的 NASA SRTM 90m 空间分辨率的 DEM,使得地形模拟简易化,其数据的全球免费共享逐步促成 SRTM DEM 数据成为区域滑坡灾害研究的基础数据。ASTER 提供的立体像对可用来生成 15m 空间分辨率的 DEM,可以用来生成全球高质量数字地形,而且其成本费用较低;从高分辨率传感器,如 IKONOS 提供的立体像对生成的 DEM 具有较高的精度和具有对微地形的模拟和刻画能力,而且在大面积上立体卫星影像像对要比航空影像像对更为划算;合成孔径干涉雷达技术(InSAR)作为快速、精确(毫米级)地形数据获取的技术,日益受到重视,很多星载合成孔径干涉雷达已经投入运营(ERS、ENVISAT、RADARSAT),或处于计划和发射执行阶段;配置了高精度差分 GPS 定位系统(dGPS)和实时导航系统(INS)的激光扫描仪,也即 LiDAR 系统可以全天候实时生成高精度数字地面模型(DSM)。所有的这些技术,都不仅可以应用到滑坡风险评估中所需要的基础地形数据、而且可以应用于快速灾难应急制图,如利用合成孔径干涉雷达或激光扫描仪生成的城市地区高精度 DSM,可以用来开展自然灾害如地震,海啸后的建筑损失评估。

3.2 滑坡编录与制图

滑坡编录与制图主要是对某一区域内,每个滑坡的位置、类型、体积、活动性及发生日期的详细目录并进行制图表达。遥感卫星影像大面积的同步观测和对同一地区实现周期性观测,是区域滑坡调查

编录的理想数据源。利用遥感影像开展滑坡编录主要利用滑坡的影像的形态、色调、阴影、纹理等特征和判译标志,也可以利用植被异常或水系变异等综合要素来开展滑坡的空间分布和形态特征的识别和制图,主要包括滑坡边界和影响范围,形态和规模,滑坡分解及主滑动方向的确定等。利用多时相的遥感影像来动态更新数据,通过变化探测和对比研究来开展滑坡识别和探测。目前常用的利用遥感技术开展滑坡编录方法还有基于高精度 DEM 数据的地形地貌的滑坡编录法,主要利用高精度的 InSAR, LiDAR 或高分辨率光学影像立体像对生成的高精度 DEM 数据,在 GIS 平台下整合地质、历史滑坡资料、水文等要素开展滑坡编录图。Schulz 将通过 LiDAR 技术获取的 DEM 和历史资料数据相结合绘制出滑坡编录图(Schulz, 2007)。Nichol 等利用高分辨率的卫星立体影像(IKONOS)来获取 DEM 来评估滑坡灾害,与传统方法数字化等高线数据生成等高距为 2m 的 DEM 相比,认为它更精确,对微小地形特征更敏感,适用于较大区域基于地形地貌的滑坡编录与制图(Nichol et al., 2006)。

3.3 滑坡静态—动态因素制图

滑坡因素是开展滑坡预测和危险性评估的基础,Varnes,1994 年将滑坡因素分为两大类:内在因素或孕灾环境,主要包括地质,地貌,气象水文,植被和覆被等相对静态因素;外在因素或诱发条件,主要包括使边坡应力条件改变和导致岩土体强度改变的因素,主要包括侵蚀、风化、地下水位变动、地震动、水库水位涨落、人类工程活动、土地利用变化和强降雨等相对动态变化因素。遥感技术在区域地质、地貌、植被和覆被等方面等得到了广泛的应用,形成了较为成熟的技术方法体系,是大面积获取这些静态因素数据的关键支撑技术手段。在植被或覆被研究中的 NDVI,NDWI 等指数作为反映覆被或植被类型的指标得到了广泛的应用。在动态因素方面遥感技术是气象预报的主要数据来源,在人类工程活动、如线路工程建设中边坡开挖、回填监测与调查和土地利用调查等方面航空影像和高分辨率卫星影像得到了广泛的应用。随着基于地物波谱特征的影像高级分类方法,如子像元,神经网络等方法日益成熟和基于对象的遥感影像分类软件技术(如 eCognition)的快速发展,遥感技术日益成为快速、高效获取空间地理信息数据的技术手段。越来越多的研究根据遥感波谱特征来探测和分类滑坡的控制或影响因素,开展承灾体制图,例如 SPOT 和 IRS-1C 用来进行

灾害变化探测和危险性制图;高光谱影像可用于详细的矿物,岩石,土和植被的类型光谱识别,如Hyperspectral Mapper (HyMap)成功应用于岩土类型划分和膨胀性黏土的识别;随着遥感技术的进步,遥感影像的分辨率不断提高,如ASTER, SPOT5, ALOS等中等分辨率, IKONOS、Quick Bird等极高分辨率的影像也被大量应用在滑坡因素数据获取。

3.4 滑坡监测

滑坡监测就是监测和获取滑坡随时间变化的滑动特征数据,如滑动位移、滑移速度、表面形态、滑体应力应变等,为准确预测滑动时间或对其危险性做出合理评估提供可靠的数据。近十年来在有关滑坡监测方面,常用的研究方法有应用高分辨率和多波段遥感图像研究滑坡体几何形态及导致的植被、水系破坏和干涉雷达技术、LIDAR技术研究滑坡的变形和运动规律(欧阳祖熙等,2005)。利用多时相遥感影像特征更新信息,实现对滑坡区域的动态监测在近年来重大滑坡事件的调查和监测中发挥了极为重要的作用(王治华,2006,蒋卫国,2006)。蒋卫国等(2006)采用遥感和GIS技术来对西藏帕里河地区滑坡进行动态监测,采用多平台、多时相的卫星遥感数据,对帕里河上游山体滑坡进行连续监测,得到各个时期的积水范围,并结合1:5万比例尺的DEM数据,定量确定各个时期的积水量,为下游防治引发的洪水灾害提供了科学的依据。采用星载(Radarsat、ERS、Envisat ASAR、TerraSAR-X、ALOS、Cosmo/Skymed)或地面平台的合成孔径雷达干涉测量技术(InSAR),也可用来动态解译滑坡和进行长期滑坡灾害评估(Metternicht et al., 2005; Noferini et al., 2007 (Metternicht et al., 2005)。采用新的PS,角反射器增强技术和DInSAR技术提高了滑坡监测的精度,特别是当条件满足(连续性、图像几何校正)InSAR在大规模滑坡制图和监测中十分有效。除SAR技术外,LiDAR技术也可以用于滑坡监测,例如中国台湾和法国学者用其来监测由地震引发的滑坡而造成地形变化(Chen et al., 2006),利用LiDAR可以探测高程微小变化和对大区域的细部地貌特征的能力,结合航空摄影相片和地形图提取高分辨率的DEM,并计算滑坡体积。

3.5 承灾体制图

承灾体是某一地区内受滑坡灾害潜在影响的人口、建筑物、工程设施、经济活动,基础设施和环境

等。承灾体识别的难点在于对静态和动态承灾体识别、制图及数据获取和难以估算由于承灾体损失所导致的间接损失。其中,对静态的工程设施,建筑物、基础设施、环境等相对固定的承灾体来说,遥感技术的优势明显,其快速或实时的数据获取能力,可以实现近年来由于大规模工程建设和城市的快速发展所带来的地物变化,实现地形和地理地图的快速更新;遥感影像,尤其是高分辨率影像对建筑设施,房屋等承灾体的分布更具有直观性;利用高分辨率影像,与适当的调查访问相结合,可以补充无法从影像识别的承灾体信息和社会经济状况。

4 问题与讨论

随着遥感技术在滑坡灾害研究中的日益普及,王治华、张继贤等提出的“数字滑坡技术”,3S技术在滑坡灾害调查、监测与评估中的应用等促进了遥感技术在滑坡灾害研究中的深入,但目前阶段,国内在滑坡遥感的理论和实践中,由于受交叉学科、新技术方法的快速发展、滑坡遥感的从业人员专业背景差异等因素影响,存在一些问题与不足,如遥感在滑坡调查中的作用在被过度夸大的同时其应用潜力和功能没有得到充分发挥;在实际遥感目视解译中过度依赖影像的色彩、纹理、阴影、位置等解译要素,而对滑坡遥感解译的关键要素或问题认识不清;滑坡遥感解译片面追求影像的解译标志,DEM、DTM数据的利用程度低,对DEM、GIS空间分析与影像的复合分析、3D可视化等新的技术的应用较少;缺少对遥感解译滑坡精度客观的评价方法等。结合近年来在遥感技术应用于滑坡风险研究的实践中遇到的问题和国外滑坡遥感技术的新进展,将从遥感影像在滑坡风险评估中的作用、解译能力、影响解译的因素、精度评价和遥感数据源选择等角度阐述常用遥感技术在滑坡风险评估应用中存在的问题。

4.1 角色定位

关于遥感技术在滑坡风险评估中的作用,著名滑坡专家Varns 1984年提出著名的滑坡危险性区划3原则的报告中将遥感技术作为区域滑坡调查和识别的首要的最为重要的技术手段;最新的美国滑坡5年计划和中国国家科技规划等都尤为强调利用遥感技术开展滑坡风险研究,可见遥感技术在滑坡灾害研究中具有重要的地位。但对于遥感技术在滑坡灾害中的作用,不同专业背景的学者具有不同的认识,地质学或滑坡学背景的学者往往把遥感影像

解译滑坡的能力过度夸大,如王治华等认为遥感技术能够实现对滑坡“定性、定量调查和监测,并根据滑坡类型、运动、规模、发育环境条件和成因机制分析和评估滑坡的稳定状况、发展趋势、可能危及范围及可能产生的灾害后果”(王治华,2007),遥感可以实现定量或定性的制图分析,而对于稳定性、发展趋势的评估是基于遥感数据和专业知识的推理结果,而不是遥感技术能够实现的,而且遥感技术在整个过程中的作用仅仅是从表面形态提供数据或信息,是滑坡稳定性、发展趋势评估综合分析所需数据的一个部分,而且还不是最为关键的数据。另一方面在中国地质调查局主持的1:5万地质灾害详细调查中,绝大多数 SPOT5、Quick bird 影像的应用仅仅局限于滑坡形态的圈定,甚至仅作为滑坡图件的修饰性底图,而对于影像所包含的且与滑坡风险相关的植被、土地利用、建筑设施等的更新或变化关注较少,因此遥感影像所包含的大量信息没有得到充分应用,其在滑坡灾害调查中的应用潜力没有得到充分挖掘。遥感技术在滑坡风险评估中不仅可以开展滑坡灾害调查与识别,而且可以实现滑坡要素数据、信息的获取与更新,因此在滑坡风险评估中,遥感技术的角色应定位于数据获取与更新的关键技术手段之一。

4.2 滑坡遥感解译的关键要素

近年来有关滑坡遥感解译的文献较多,大多数的研究主要关注影像预处理(影像校正、融合或增强等处理)(李铁锋等,2007;杨武年等,2005)和滑坡解译标志或方法(李发斌等,2004;唐新建,2002)研究两个方面,而对于影像的物理特征参数(分辨率、对比度、可解译性等)对滑坡解译的影响探讨较少,而在实践中遥感影像的分辨率、对比度、可解译性及立体影像的获取能力是决定其在滑坡目视解译的关键要素。影像的分辨率主要有空间、光学和时间分辨率构成,空间分辨率决定了影像可识别的最小物体的尺寸,分辨率越高其可识别物体的尺寸越小,光学分辨率是影像采集的地物波谱特征和精细程度的度量,时间分辨率是影像的拍摄时间和重访周期的反映;遥感影像对滑坡的解译能力取决于影像空间分辨率与待识别滑坡的大小的相对关系,一般认为某一影像在对比度条件好的情况下目视解译可识别的最小规模滑坡的面积是其空间分辨率的20~25倍,航空影像还受光学条件和影像处理手段影响。对比度是在光学和空间上滑坡与其孕育背景环境有差异,差异越明显解译越容易;影像的滑坡解译能力

主要取决于以下几个方面:① 滑坡失稳时间的长短,时间越长,侵蚀和植被恢复使得滑坡在地表遗留的痕迹模糊,在滑坡发生后较短时间内获取的影像,滑坡区域与其周边环境具有较高的对比度,从而具有清晰的可探测的空间和光谱特征变化;② 滑坡形态要素,如滑坡的平面形态、滑坡壁、滑坡台阶、滑坡舌、滑坡裂缝、滑坡鼓丘、封闭洼地等滑坡解译特征标志的完备性;③ 水系、植被条件及周边环境要素受滑坡破坏的严重程度;立体影像能够获取同步的DEM数据,不仅可以用于影像的正射校正,而且可以用来开展地形地貌形态分析,多时相DEM高程变化探测、3D影像制作和可视化,这些技术或手段的应用能够极大提高影像的滑坡解译能力和精度。解译方法和解译人员的专业素质是滑坡遥感解译的重要影响因素,滑坡解译人员不仅要懂得遥感影像的特征,而且应具有一定的滑坡专业知识,专业的滑坡解译人员不仅从滑坡形态要素等解译标志去解译识别滑坡,还结合大范围的地形地貌形态、植被和水系的异常分析,对滑坡的形成规律进行综合分析判断来提高滑坡解译精度。

4.3 解译方法与手段

在最新研究进展中提及到的目前在滑坡遥感解译的实践和研究中存在单一的利用航空相片或卫星开展滑坡解译,也有利用多时像遥感影像开展变化探测、利用立体像对生成立体模型和将航空相片与卫星影像、DEM、SAR数据的复合分析等,这是遥感技术方法发展趋势的体现,越来越多的研究重视将遥感影像与GIS技术,如地形阴影、DEM数据与影像的叠置分析,能有效增强地形地貌和影像的可视化效果;利用GIS的滑坡敏感性分析结果筛选滑坡解译的目标区域;利用3D影像可视化与虚拟现实技术来提供较为逼真的场景,以此作为滑坡解译的平台,实践证明这些方法和手段能有效增强滑坡识别与制图的效率和精度。

4.4 精度评价

遥感作为地理信息和数据获取手段,其采集数据精度必须进行客观评价,在遥感覆被、土地利用等分类等应用中遥感软件都提供精度评价的方法和精度评价矩阵对分类结果进行客观定量评价。对于滑坡解译,这种较为独立的相对的“点”上要素来说,目前没有见到较为成熟的精度评价方法,而在实践中经常遇到有关滑坡解译精度的讨论或难以客观定量比较的解译精度的差异,甚至出现了滑坡解译精度达90%,甚至更高的不严谨和客观科学的精度评价

结果。首先遥感解译滑坡精度问题,应针对某一特定的影像,不同类型数据和影像解译滑坡的能力不同和对滑坡的解译精度及边界刻画能力具有显著差异,Burns 在美国 2007 滑坡论坛会议中给合 Oregon Portland 山区利用遥感影像数据开展滑坡制图的实践阐述了利用不同数据和影像开展区域滑坡解译的结果(图 2)和同一滑坡利用不同影像解译的边界,认为影像的分辨率越高,解译滑坡的数量和滑坡边界的刻画精度越高,空间分辨率大于 10m,如 TM、ETM、ASTER 等影像对单体滑坡的解译能力非常有限(Burns, 2007),即使 1m LiDAR 数据所解译的滑坡在不考虑滑坡形态刻画是否一致的情况下仅从数量与基于野外调查编录的滑坡数量还具有较大的差异,这也进一步说明了遥感技术仅是滑坡调查和风险评估的一种手段,在没有地面调查和其他相关手段或方法的配合,其结果与实际的滑坡情况还有较大的差距。对于影像解译滑坡的精度评价应针对特定影像,不同影像数据间的滑坡解译精度没有可比性。其次,遥感解译滑坡的精度评价应从有效解译,错误或无效解译和遗漏解译三个方面予以客观评价。可以采用的评价方法定性的定点比较或对照分析,但对于定量的评价方法和手段,目前没有成熟的方法,这里提供一种基于面积统计的精度评价方法供同行商榷和讨论,利用 GIS 叠置分析的 Intersect 功能,可以选取地面调查或以往研究程度较高的地区为对象,将遥感解译的滑坡以区(polygon)的形式表达作为检验对象,将野外调查编录的滑坡以区(polygon)的形式表达作为参考文件,二者的交集(Intersect 计算结果)为有效解译的滑坡面积,则有效解译精度为该值除以总的解译滑坡面积,解译滑坡面积减去二者的交集为错误或无效解译,错误或无效解译精度为该值除以总的解译滑坡面积;对于参考文件则为遗漏解译或未解译的滑坡,该值除以参考文件总的滑坡面积则为遗漏解译精度,遗漏解译精度受影像的可解译性影响大。这种评价方法考虑到了滑坡空间位置、形态、边界、面积等解译要素的准确性,能够给出一个定量的可比较的数据,但只是总体解译精度的一个度量,而不考虑单个滑坡体的解译精度。

4.5 数据源选择

卫星影像数据数目繁多,如何利用有限的资金选取性价比合理的数据,这个问题日益突出。在遥感数据源的选择上,若采用高分辨率影像来了解滑坡的细部特征,对于区域滑坡研究的数据量十分巨

大。因此必须考虑费用和对影像处理及分析的问题,在研究区域滑坡时常常应综合应用高、中分辨率的遥感影像;如何精确地探测和识别滑坡,使用什么数据,用什么方法处理这些数据以达到最佳效果。滑坡研究中应针对具体应用,从成本效益比(cost-effective)的角度,本着“够用为止”原则合理选用遥感数据源。

遥感技术已广泛应用于滑坡灾害研究,在大面积同步观测、快速且周期性地实现对同一地区连续观测的时效性,技术手段的多样性和海量数据经济获取等方面优势明显,无论是研究方法还是研究精度都有了极大的提高,但也存在一些问题,需要在以后的研究中解决。主要包括:① 影像处理、解译的能力和精度,目前计算机自动解译的水平较低,尤其是对滑坡体这种多种地物、地貌形态要素、水系和植被异常的综合体现的目标的自动解译的能力更低等,影像解译精度受解译人员的经验和专业背景知识影响大;② 适时的卫星数据接收,有时由于云层覆盖了有限的自由视角,卫星轨道不允许对某一地区进行拍照从几天到几个星期,有时甚至几个月。较差的天气条件,主要是云层覆盖使某些区域难以获得充分的和适时卫星影像的主要原因;③ 针对不同精度和级别的滑坡风险评估所需求的数据合理选取,针对数目繁多的卫星影像数据,如何利用有限的资金选取性价比合理的数据,这个问题日益突出;④ 即使是高分辨率影像($<1\text{m}$),对于没有明显变形迹象的处于蠕滑变形阶段的滑坡或潜在滑坡的探测能力有限;⑤ 除了技术层面的局限,还存在从事滑坡灾害调查、风险评估人员与遥感技术间的鸿沟,也就是相关人员专业知识的匮乏。

5 结论

目前阶段,遥感技术在滑坡灾害研究中的应用处于从单一的遥感资料,向多时相,多数据源的复合分析,从静态滑坡识别、形态分析向滑坡变动态监测过渡,从对滑坡的定性调查向计算机辅助的定量分析过渡阶段,新的技术方法和手段不断得到应用和逐渐普及;遥感技术在滑坡风险评估中,尤其是区域上的基础地形数据、滑坡编录与制图、滑坡因素制图、滑坡监测和承灾体制图等 5 个方面具有支撑技术作用,是数据、信息获取与更新的主要技术手段和方法;通过对实践中常见问题的讨论,认为遥感在滑坡研究中的角色应定位于数据、信息的获取手段和方法;滑坡的遥感影像解译能力取决于影像空间分

分辨率与待识别滑坡的大小的相对关系,影像的时间分辨率、滑坡与其周边环境的对比度、立体影像的获取能力是利用遥感影像开展滑坡探测、识别与制图的关键要素;解译方法和解译员的专业素质是滑坡遥感解译的重要影响因素;遥感影像与GIS空间分析、3D可视化的综合可有效增强滑坡识别与制图的效率和精度;对于遥感解译滑坡的精度评价应针对具体影像的可解译性从有效解译,错误解译和遗漏解译三个方面予以客观评价;在滑坡灾害应用中应针对具体需求,从成本效益比的角度,本着“够用为止”原则合理选用遥感数据源。

参 考 文 献 / References

- 范青松,汤翠莲,陈于,张晓东. 2006. GPS与InSAR技术在滑坡监测中的应用研究. 测绘科学, 31(5):60~62.
- 蒋卫国,张松梅,李京,李加洪. 2006. 基于遥感与GIS的西藏帕里河滑坡动态监测. 自然灾害学报, 15(4):24~27.
- 李德仁,周月琴,马洪超. 2000. 卫星雷达干涉测量原理与应用. 测绘科学, 25(1):9~12.
- 李发斌,崔鹏,周爱霞. 2004. RS和GIS在滑坡泥石流防灾减灾中的应用. 灾害学, 19(4):18~24.
- 李铁锋,徐岳仁,潘懋,丛威青,温铭生,连建发. 2007. 基于多期SPOT5影像的降雨型浅层滑坡遥感解译研究. 北京大学学报(自然科学版), 43(2):204~210.
- 欧阳祖熙,张宗润,丁凯,师洁珊,陈明金,毛兴明. 2005. 基于3S技术和地面变形观测的三峡库区典型地段滑坡监测系统. 岩石力学与工程学报, 24(18):3203~3210.
- 单新建,宋晓宇,柳穆航. 2001. 星载InSAR技术在不同地形地貌区域的DEM提取及其应用评价. 科学通报, 46(24):2074~2079.
- 石菊松,石玲,吴树仁. 2007. 滑坡风险评估的难点和进展. 地质评论, 53(6):797~806.
- 唐新建,陶洪久,章光,袁从华. 2002. 利用遥感图像对滑坡进行调查和监测分析研究. 岩石力学与工程学报, 21(增2):2515~2520.
- 王治华. 2006. 数字滑坡技术及其在天台乡滑坡调查中的应用. 岩土工程学报, 28(4):516~520.
- 王治华. 2007. 滑坡遥感调查、监测与评估. 国土资源遥感, 1:10~15.
- 杨武年,濮国梁, CAUN EAU F, RANCH IN T, PAR IS J P. 2005. 长江三峡库区地质灾害遥感图像信息处理及其监测和评估. 地质学报, 79(3):423~430.
- 张继贤. 2005. 3S支持下的滑坡地质灾害监测、评估与建模. 测绘工程, 14(2):1~5.
- 张洁,胡光道,罗宁波. 2004. InSAR技术在滑坡监测中的应用研究. 工程地球物理学报, 1(2):147~153.
- 张控宏,纪占胜. 2004. 合成孔径雷达干涉测量(InSAR)在地面形变监测中的应用. 中国地质灾害与防治学报, 15(1):112~117.
- 卓宝熙. 2002. 工程地质遥感判译与应用. 北京:中国铁道出版社.
- Ayalew L, Yamagishi H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1~2): 15~31.
- Burns B. 2007. Comparison of mapping techniques in the Portland hills pilot study area. *Landslide Symposium 2007—New tools and techniques for developing regional hazard maps and future risk management practices*. <http://www.oregongeology.com/sub/landslide/symposium2007/index.htm>.
- Catani F, Farina P, Moretti S, Nico G and Strozzi T. 2005. On the application of SAR interferometry to geomorphological studies: estimation of landform attributes and mass movements. *Geomorphology*, 66(1~4): 119~131.
- Chadwick J, Dorsch S, Glenn N, Thackray G and Shilling K. 2005. Application of multi-temporal high-resolution imagery and GPS in a study of the motion of a canyon rim landslide. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(4): 212~221.
- Chen R F, Chang K J, Angelier J, Chan Y C, Deffontaines B, Lee C T and Lin M L. 2006. Topographical changes revealed by high-resolution airborne LiDAR data: The 1999 Tsaoling landslide induced by the Chi-Chi earthquake. *Engineering Geology*, 88(3~4): 160~172.
- Cheng K S, Wei C and Chang S C. 2004. Locating landslides using multi-temporal satellite images. *Advances in Space Research*, 33(3): 296~301.
- Colesanti C and Wasowski J. In Press. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering Geology*,
- Demoulin A and Chung C. 2007. Mapping landslide susceptibility from small datasets: A case study in the Pays de Herve (E Belgium). *Geomorphology*, 89(3~4): 391~404.
- Du J C and Teng H C. 2007. 3D laser scanning and GPS technology for landslide earthwork volume estimation. *Automation in Construction*, 16(5): 657~663.
- Farina P, Colombo D, Fumagalli A, Marks F and Moretti S. 2006. Permanent Scatterers for landslide investigations: outcomes from the ESA-SLAM project. *Engineering Geology*, 88(3~4): 200~217.
- Fourniadis I G, Liu J G and Mason P J. 2007. Landslide hazard assessment in the Three Gorges area, China, using ASTER imagery: Wushan—Badong. *Geomorphology*, 84(1~2): 126~144.
- Glenn N F, Streutker D R, Chadwick D J, Thackray G D and Dorsch S J. 2006. Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. *Geomorphology*, 73(1~2): 131~148.
- Hervas J, Barredo J I, Rosin P L, Pasuto A, Mantovani F, Silvano, S. 2003. Monitoring landslides from optical remotely sensed imagery: the case history of Tessina landslide, Italy. *Geomorphology*, 54(1~2): 63~75.
- Lee S and Lee M J. 2006. Detecting landslide location using KOMPSAT 1 and its application to landslide—susceptibility mapping at the Gangneung area, Korea. *Advances in Space Research*, 38(10): 2261~2271.
- Lin W T, Chou W C, Lin C Y, Huang P H and Tsai J S. 2005. Vegetation recovery monitoring and assessment at landslides caused by earthquake in Central Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 210(1~3): 55~66.
- Mantovani F, Soeters R and Van Westen C J. 1996. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. *Geomorphology*, 15(3~4): 213~225.
- Meisina C, Zucca F, Fossati D, Ceriani M and Allievi J. 2006. Ground deformation monitoring by using the Permanent Scatterers Technique: The example of the Oltrepo Pavese (Lombardia, Italy). *Engineering Geology*, 88(3~4): 240~

- 259.
- Metternicht G, Hurni L and Gogu R. 2005. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geospatial systems for hazard assessment in mountainous environments. *Remote Sensing of Environment*, 98(2~3): 284~303.
- Nichol J E, Shaker A and Wong M S. 2006. Application of high-resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment. *Geomorphology*, 76(1~2): 68~75.
- Noferini L, Pieraccini M, Mecatti D, Macaluso G, Atzeni C. 2007. Using GB-SAR technique to monitor slow moving landslide. *Engineering Geology*, 95(3~4): 88~98.
- Rott H and Nagler T. 2006. The contribution of radar interferometry to the assessment of landslide hazards. *Advances in Space Research*, 37(4): 710~719.
- Schrott L, Hufschmidt G, Hankammer M, Hoffmann T and Dikau R. 2003. Spatial distribution of sediment storage types and quantification of valley fill deposits in an alpine basin, Reintal, Bavarian Alps, Germany. *Geomorphology*, 55(1~4): 45~63.
- Schulz W H. 2007. Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington. *Engineering Geology*, 89(1~2): 67~87.
- Schwab M, Rieke-Zapp D, Schneider H, Liniger M and Schlunegger F. 2007. Landsliding and sediment flux in the Central Swiss Alps: A photogrammetric study of the Schimbrig landslide, Entlebuch. *Geomorphology*, In Press, Corrected Proof.
- Singhroy V and Molch K. 2004. Characterizing and monitoring rockslides from SAR techniques. *Advances in Space Research*, 33(3): 290~295.
- Squarzoni C, Delacourt C and Allemand P. 2003. Nine years of spatial and temporal evolution of the La Valette landslide observed by SAR interferometry. *Engineering Geology*, 68(1~2): 53~66.
- Varnes D J. 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. , International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes. *Int. Assoc. Eng. Geol.*, UNESCO Natural Hazards Series 3, pp. 63.
- Wasowski J and Singhroy V. 2003. Special issue from the symposium on Remote Sensing and Monitoring of Landslides. *Engineering Geology*, 68(1~2): 1~2.
- Weirich F and Blesius L. 2007. Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps. *Geomorphology*, 87(4): 352~364.

Remote Sensing for Landslide Study: an Overview

SHI Jusong, WU Shuren, SHI Ling

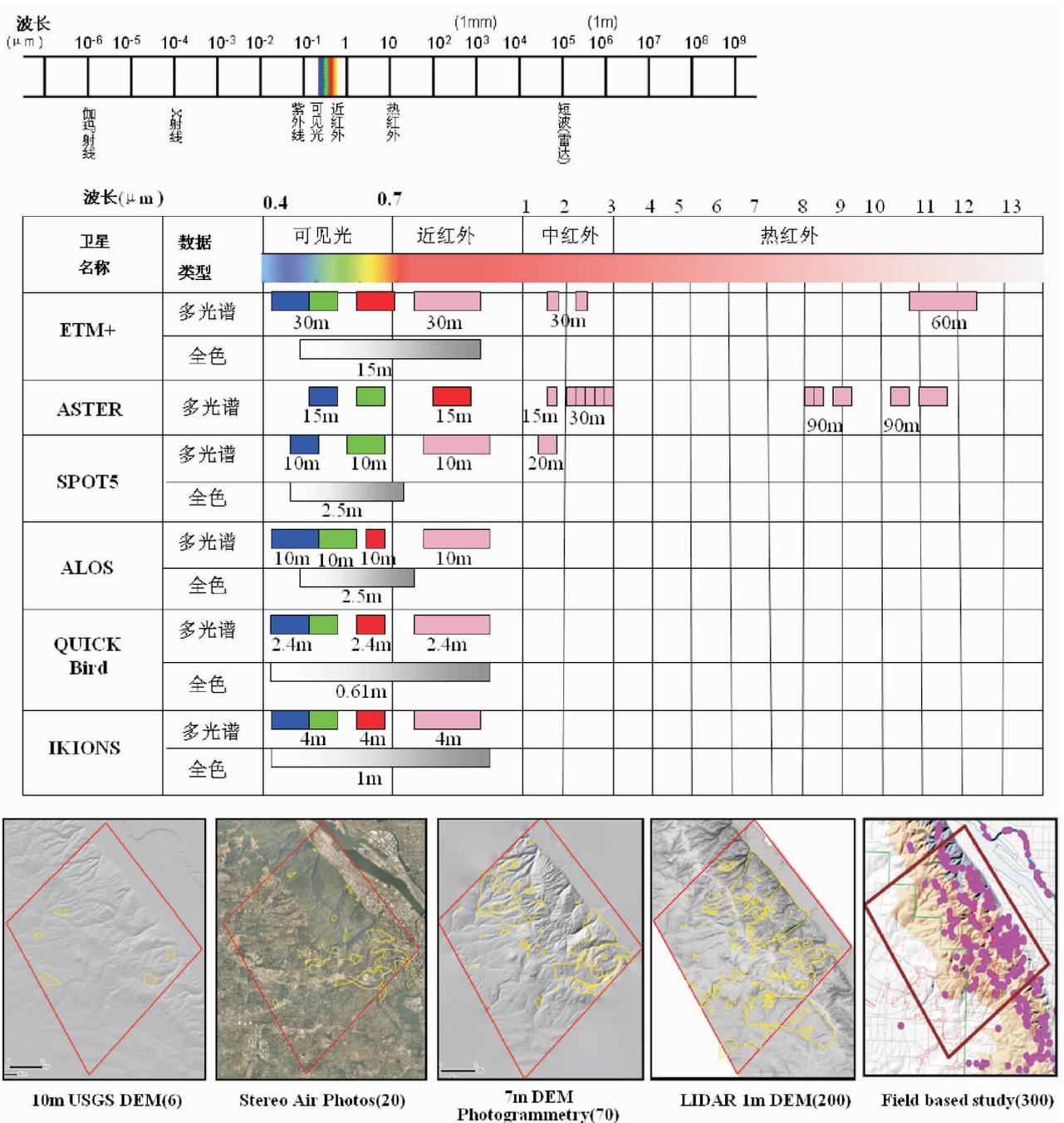
Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences; Ministerial Key Laboratory of Neotectonic Movement and Geological Hazards of Ministry of Land and Resources, Beijing, 100081

Abstract: Based on the introduction of remote sensing techniques and method as normal optical satellite remote sensing imagery, InSAR, LIDAR and etc, this paper reviews the newly application and development of remote sensing for landslide study. From each of the landslide risk assessment 5 phases: basic topographical data acquisition and extraction, landslide inventory and mapping, monitoring and landslide diagnostic factors mapping and element at risk mapping, this paper states the RS techniques offer a solid technique infrastructure, and exploits its potential development for landslide risk assessment. From the role of RS in landslide study, interpretability, causative condition that influence landslide identification, accuracy assessment and RS data source selection, the author states and discuss some questionable and arguable aspects, and as well presents that: ① the mainly use of remote sensing for landslide study is data and information acquisition and update; ② the interpretability of landslides from remote sensing images depends in the first place on the spatial resolution of the images in relation to the size of the features which are characterizing the slope movement and which can be recognized or identified. The following aspects are key features for recognizing landslides from remote sensing images: temporal resolution, the existing contrast between the slope movement and its background, the ability of stereo imagery acquisition and the interpretability is also influenced by the interpretation method, professional experience of the interpreter; ③ the integration of remote sensing imagery, GIS spatial analysis and 3d visualization can enhance the landslide recognition and mapping efficiency and accuracy; ④ the accuracy assessment of landslide interpreted from remote sensing imagery should be objectively assessed from valid, misidentification, omission aspects according to the specific interpretability of the image; ⑤ as for remote sensing data selection for landslide risk assessment, which should follow sufficient is best for the specific application and take cost-effective into account.

Key words: Remote sensing; INSAR; LIDAR; DEM; landslide Risk Assessment

石菊松等:遥感在滑坡灾害研究中的应用进展

图版 I



1. 常用光学卫星影像的光谱与空间分辨率示意图。
 2. 不同类型遥感数据解译滑坡的能力的差异(据 Burns,2007)。
1. Schematic representation of normal Optical satellite remote sensed imagery spectrum and spatial resolution.
 2. The variability of landslide interpretability of different kind of remote sensing data(Burns,2007).

