

# 滑坡图像自动识别浅议

王治华

(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:** 识别滑坡须先了解什么是滑坡, 广义滑坡包括崩塌、滑坡、碎屑流、泥石流等所有斜坡重力侵蚀现象; 狭义滑坡指部分斜坡沿着斜坡内的一个或数个面在重力的作用下作剪切运动的现象。各类滑坡有自己特殊的地表形态特征, 发育的基本地质环境条件和触发因素, 据这些特征识别滑坡。利用数字滑坡技术进行滑坡识别大致分为2步: (1) 通过RS和GIS技术将不同时间的调查区地物现场以不同分辨率展现在数字图像上, 并与地理控制及地质环境信息配准、组合, 建立解译基础; (2) 在滑坡地质理论指导下, 通过人机交互方式进行解译和时空分析, 获取减灾防灾需要的信息。该方法尚未达到遥感自动识别滑坡的程度, 但建立解译基础的过程已可由计算机通过多种程序软件完成, 故认为滑坡模式识别的前2个步骤: 数字化及预处理已由计算机实现。现需探索的是用计算机实现基于滑坡地质理论知识, 以人机交互方式进行的滑坡识别及分析过程。就狭义滑坡而言, 基于DEM的滑坡地形识别已可由计算机实现。如能确定地面滑坡壁及滑体与地下滑面、滑床的关系, 了解它们的光谱特征并建立计算模型, 便可构建遥感技术的滑坡模式识别。

**关键词:** 滑坡; 模式识别; 数字滑坡技术; 解译基础; 滑坡地面与地下要素

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2013.00726

## 1 引言

高速发展的空间信息技术为滑坡调查和研究提供了不断创新的, 强有力的支持, 特别是数字摄影测量技术、高分辨率卫星数据和GIS技术问世以来, 国内外滑坡学者在滑坡识别、区域滑坡调查、编目、制图、滑坡危险性评价或预测、灾情评估、滑坡分析、预警模型研究等诸方面取得一系列成果<sup>[1-14]</sup>。一些学者, 特别是年轻学者并不满足于遥感和GIS技术在滑坡研究领域已取得的进展, 提出“可否实现滑坡自动识别?”, 并进行了一些探索。也见一些介绍通过多种图像处理和一些算法实现‘自动识别滑坡’的文章。概括起来, 其大致做法是: 收集研究区的已知滑坡资料(或取一训练区根据已知滑坡进行图像目视解译)和遥感图像数据, 建立研究区的DTM, 将图像数据进行预处理(多光谱合成, 几何校正, 不同类型遥感数据融合等); 对预处理的图像数据再进行多种图像处理或数字计算(如不同时相图像的植被指数, 光谱角向量变化, 主成份分析, 小波变换、神经网络、支持向量机...等), 形成“自动识别模型”; 将模型计算结果的图像的某类特征与收集

的研究区已知滑坡分布或者与训练区的目视解译结果进行对比, 看重合多少, 如有85%或90%重合, 则认为该类方法识别滑坡的精度可达到85%或90%, 或更高。

笔者认为这样的“自动识别模型”不够科学严谨, 难以实用。其主要的不足之处在于: (1) 没有明确识别是什么滑坡; (2) 没有指出识别方法(或模型)的物理(地学)依据; (3) 采用的多种数学方法未与滑坡特征联系; (4) 未见有说服力的推广应用实例, 同一研究区, 从已知到已知的验证方法, 不符合科学论证原则, 难以说明成果的可信程度。本文主要探讨什么是滑坡? 何种地质环境可能发生滑坡? 目前识别滑坡的主要方法, 以及模式识别滑坡前景预测等问题。

## 2 滑坡及其发育环境

### 2.1 识别滑坡的目的意义

识别滑坡的目的是为了评估其危害, 规划防治措施、研究滑坡, 在其他地区(或相似地质环境区域)推广新方法。以2008.5.12地震活动诱发的滑坡

收稿日期: 2013-05-20; 修回日期: 2013-08-01.

作者简介: 王治华(1942-), 女, 研究员, 主要从事地质灾害遥感和数字滑坡等方面的研究。E-mail: 577027159@qq.com

灾害为例。5.12汶川大地震后,第2日航空遥感快速覆盖了灾区现场,多种类型的卫星数据也陆续覆盖,大约在获取遥感数据的8小时之内,应急遥感解译迅速圈定了地震灾区分布范围,获取了地震影响范围内毁房、毁路、堵江和被破坏基础设施的位置、规模等灾情信息;迅速识别了地震触发地质灾害类型(崩塌、崩滑、滑坡、碎屑流、泥石流等)、分布及规模信息,为打通生命通道,抢救生命和估算灾情提供了基本依据;基于已识别滑坡的进一步推测,当年(2008年)的汛期和未来几年内可能有137处大规模滑坡、泥石流发生,修复交通设施,制定重建和发展规划时不但应避免让目前分布的大型灾害,还应充分考虑潜在大型灾害体<sup>[6]</sup>。如果不了解识别的是什么滑坡,识别便没有实际意义。

## 2.2 滑坡基本概念

滑坡有广义和狭义2种定义,国内外大多数滑坡工作者认可的广义滑坡定义为:构成斜坡的物质—岩石、土、人工填土或这些物质的结合体向下和向外移动的现象,均称为滑坡(landslide)。广义滑坡包括崩塌、滑坡、碎屑流、泥石流、滑塌、土溜等所有斜坡重力侵蚀现象。

狭义滑坡定义:部分斜坡沿着斜坡内的一个或数个面在重力的作用下作剪切运动的现象,称为滑坡。狭义滑坡定义包含了滑坡的5个基本特征:(1)滑坡发生在斜坡上(无论是基岩、土石堆积还是土构成的斜坡);(2)滑坡是一种整体运动;(3)重力是滑坡活动的主要驱动力;(4)滑体与滑床之间存在着一个或数个不连续面—滑动面(带);(5)滑体沿之作剪切运动。

各类滑坡有自己特殊的地表形态特征,目前,最常用的是根据斜坡重力侵蚀运动方式进行的分类,即将广义滑坡分为崩塌、滑坡(狭义)、碎屑流和泥石流4大类。

## 2.3 滑坡的基本形成条件与触发因素

识别了各类滑坡形态特征并不等于就能确定某一类滑坡,还需确定该区域是否具备发育该类滑坡的地质环境条件及触发因素。

### (1) 滑坡

滑坡发育的基本地质环境条件有3个:①具备发育滑坡面(带)的物质(地层、岩体、堆积);②能使部分斜坡与山体分离的软弱结构面(带);③与山

体分离的部分斜坡可能向前运动的临空面。简言之,斜坡物质、软弱结构面、临空面条件是滑坡发育的基本地质环境条件。滑坡,实质上是具备3项基本地质环境条件的斜坡,在地貌演变过程中的一种现象。

具备滑坡基本地质环境条件的斜坡也不一定发生滑坡,滑坡的发生发展还须有触发因素作用。触发滑坡发生的主要自然因素有流水侵蚀河、湖岸坡脚,地下水活动,地震活动,暴雨与融水,斜坡地表水渗入坡体等。人类不合理的经济活动是滑坡的重要触发因素,所以,必须了解滑坡或潜在滑坡周围人类活动,如开矿、筑路开挖、堆坡及不合理排水等状况。

### (2) 崩塌

大型崩塌发育的基本地质环境条件有3个:①由坚硬或软硬相间地层或岩体组成的斜坡;②使部分斜坡与山体分离的软弱结构面(带);③与山体分离的部分斜坡可能发生坠落或倾倒运动的临空面。同样,斜坡物质、软弱结构面、临空面是发育崩塌的基本地质环境条件。崩塌的触发因素同样可分为自然与人类不合理活动2部分。触发崩塌发生的人类不合理经济活动,主要有不合理削坡和地下采矿2类。

### (3) 碎屑流

碎屑流是滑坡、崩塌或斜坡碎裂石堆积的后续运动,但不是每一处滑坡、崩塌或斜坡碎裂石堆积都会形成碎屑流,所以,除了滑坡及崩塌的形成条件外,还有形成碎屑流的独特的岩性、构造和地形条件。无论是滑坡碎屑流、崩塌碎屑流还是碎裂石碎屑流,大多发育在由坚硬厚层—巨厚层岩浆岩、变质岩或碳酸岩组成的斜坡,有的由厚层坚硬岩石组成斜坡上部,下部则为较薄的泥岩、页岩或煤系地层。碎屑流大多发育在挽近地壳构造活跃的地区。滑坡或崩塌后续的碎屑流活动大多形成在高落差、纵坡降较大(陡)、狭窄、有一定长度的沟谷或陡峭斜坡。特大规模的碎屑流较少由人为因素触发,大部为强烈的自然力所为,特别是地球内动力,与位于挽近地壳构造强烈活跃地区的活动断裂带有关,如5.12汶川大地震沿着龙门山大断裂触发了数以万计的坡面碎屑流及沟谷碎屑流。规模较小的碎屑流,如重庆武隆灰岩滑坡—碎屑流,总方量700万 $\text{m}^3$ ,其发育与长期地下采矿有密切关系<sup>[15]</sup>。降水也是重要的触发因素,特别要说明的是,降雨并不是直接触发碎屑流活动,而是触发滑坡或崩塌

活动,而后遇合适地形条件时再发生碎屑流。

#### (4) 泥石流

丰富的松散固体物质、陡峭的地形和充足的水源是形成泥石流必要的环境条件,三者缺一不可。突发的强降水、雪融和冰川融水、各类溃决水等是泥石流发生的触发因素,了解各类滑坡特征及其发育环境后,需将其特征与图像的光谱特征联系起来,即,遥感图像是以光谱特征来表征滑坡及其活动现象信息的载体,而后,通过一定的技术方法以遥感图像为基础识别滑坡。

### 3 遥感识别滑坡的方法

目前,国内外大多数采用的“3S”识别滑坡的方法,是基于滑坡地质理论(或专家知识),采用遥感与GIS技术以人机交互目视解释的方法。数字滑坡技术是该类方法的代表。

#### 3.1 数字滑坡技术

“数字滑坡”就是信息化滑坡,由与滑坡相关的多元多维信息组成,多元就是与滑坡有关的微地貌、岩土物质、斜坡结构、区域地质环境等因素;多维就是三维空间和一或多维时间(多时相)。这些信息是数字形式的,有自己的空间位置和属性。

“数字滑坡”技术是在滑坡地质理论指导下,以遥感和空间定位(GCPs或GPS)方法为主,结合其他调查手段识别滑坡,获取数字形式的与地理坐标配准的滑坡基本信息(滑坡各要素:位置、形态、土地覆盖、变形和位移、地质构成…等);利用GIS技术存贮和管理这些数字信息,并对滑坡及其发育环境信息进行空间分析,服务于滑坡调查、监测、研究、灾害评价、危险预测、灾情评估、减灾和防治措施等。

#### 3.2 解译基础

建立解译基础是数字滑坡技术基本内容之一。在我国滑坡遥感早期(1980-1999年),滑坡科技人员通过在立体镜下目视航片立体像对或直接目视遥感影像来识别滑坡及其发育地质环境。由于航片是中心投影,各部分呈非线性变形,高分辨率卫星数据尚未出现在市场,遥感解译会有较大误差。解译基础就是为克服该方法缺陷而产生的。

解译基础用于识别滑坡,能定位、定量获取滑

坡及其发育环境信息,是由多层图像、图形构成的组合。它由遥感、地理控制及地质环境信息源组成,经建立调查区DTM/DEM、遥感图像预处理(多波段合成、几何校正、波段融合等)、非遥感资料数字化、各图层配准等图像处理及GIS技术步骤整合形成。它将调查区与识别滑坡相关的遥感与非遥感信息源整合成一个数字的、精确几何校正的,相关信息在同一地理坐标控制下配准的数据集合。该数据集合包含了调查区各地质体(包括滑坡)的地貌形态、位置、地形、地质环境、土地覆盖等数字信息。

#### 3.3 各类滑坡识别

##### 3.3.1 识别各类滑坡前须了解是否具有滑坡发育地质环境条件

建立解译基础后,通过人机交互目视分析,根据解译基础图像上各类滑坡灾害体的主要形态特征识别它们。但是,具备某种灾害体形态,并不一定是那种灾害体,还须通过地质环境解译,了解识别对象是否具备上述的各类灾害体发育的基本地质条件及触发因素,然后才能识别灾害体。上述2个步骤有时可以互换,即先解译调查区的地质环境,确定具备灾害体发育基本地质条件的区域,再根据各灾害体的形态特征识别。

##### 3.3.2 滑坡识别

目前,滑坡遥感采用人机交互目视识别滑坡。通常是先整体,后局部,即首先识别滑坡整体形态,再分析辨认各滑坡地形要素。遥感图像上,滑坡整体常表现为圈椅、双沟同源、椭圆、长条、矩形、不规则多边形等显示滑坡特殊地貌的平面形态,如图1是分别位于岷江上游(图1(a))和金沙江下游图1(b),具典型滑坡地貌形态的滑坡。

自然界的滑坡大多是不典型的,多种形态的滑坡形成于不同地区、不同岩类用构造、不同斜坡结构、不同发育阶段。它们常常不具备(或者在遥感图像上难以识别)图1那么齐全的滑坡地形要素,而是只有其中的一部分。即使是刚发生时具有典型滑坡形态的滑坡,经长年侵蚀与填埋,也可能使其局部特征减少或不明显。所以,并不是自然界的所有滑坡都可以识别出所有的滑坡地形要素,但是滑坡后壁、滑坡体、滑动面、滑动带、滑坡床和滑坡边界是所有滑坡都具备的基本要素。遥感图像解译时,由于不能直接见到滑坡的地下部分,只有滑坡壁、滑坡体和滑坡边界3项地形要素,所以,就遥感



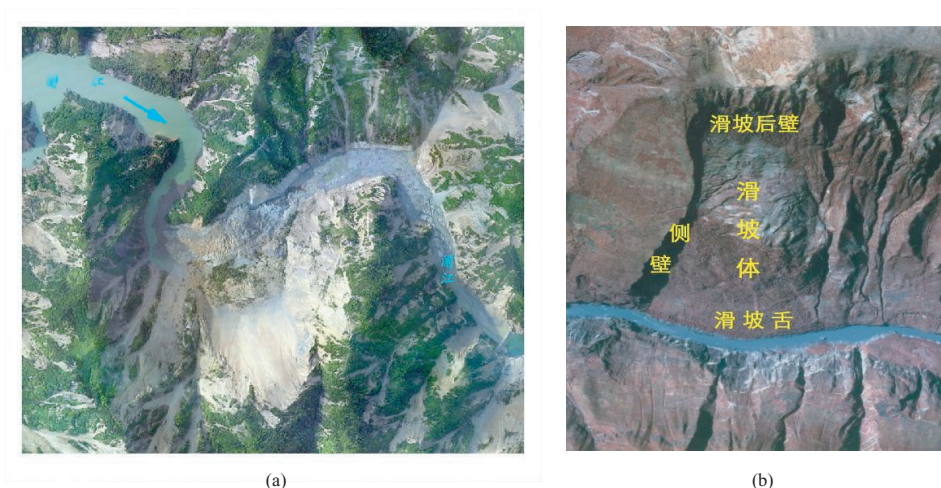


图1 (a)5.12地震触发的唐家山变质岩滑坡;(b)金沙江下游恩子坪灰岩页岩互层滑坡

Fig.1 (a) Tangjiashan metamorphic rock landslide triggered by the 5.12 Earthquake; (b) Enziping limestone-shale interbedded landslide located in the downstream of the Jinshajing River

方法而言称该3要素为滑坡基本地形(形态)要素。

### 3.3.3 崩塌识别

部分斜坡沿软弱结构面(层理、节理、片理或断层面等)与坡体分离并突然坠(崩)落或倾倒的现象称为崩塌(如图2)。崩塌发生后,有2个最基本的地形特征:崩塌壁和崩塌堆积。在遥感影像上,这2个特征一般都有明显的反映:崩塌后壁通常表现为强反射的浅色;崩塌堆积表现为松散的堆积状,如图3。

### 3.3.4 碎屑流的识别

碎屑流是指土石碎屑在重力作用下呈流态在坡面或沟谷流动并堆积的现象。其形态特征为:(1)碎屑流首先是由碎屑组成的,不具整体性,在遥感影像上与岩石斜坡有明显区别;(2)碎屑呈流态

在坡面或沟谷堆积,成为固体碎屑的坡面流或沟谷流,与滑坡、崩塌堆积形态有明显的区别;(3)碎屑流在流动过程中可随斜坡地形或沟谷拐弯而改变方向,如图4所示。

### 3.3.5 沟谷泥石流的识别

沟谷泥石流解译首先沿江(河)岸看各支流沟口的堆积扇,泥石流堆积扇与一般河流冲洪积扇的主要区别是:(1)泥石流堆积扇的范围较大;(2)堆积扇纵坡较陡,一般在 $5^{\circ}$ ~ $9^{\circ}$ 之间,部分达 $9^{\circ}$ ~ $12^{\circ}$ ;(3)堆积颗粒较粗,经常有巨大的漂砾,如图5。在现场验证时,观察泥石流堆积物的剖面可分出由不同粗细堆积物组成的旋回层次,每一个旋回层代表一场泥石流活动的堆积,层中还可见泥石流结构。

理论上,根据滑坡、崩塌、泥石流的特殊地形及

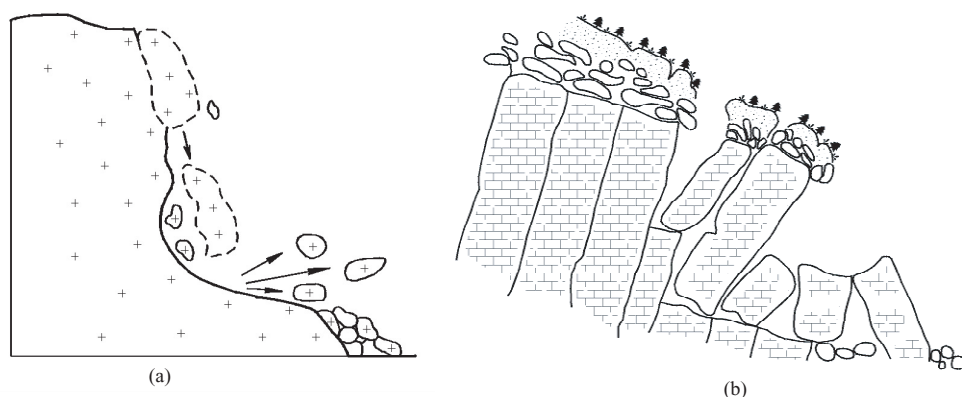


图2 坠落(a)与倾倒(b)

Fig.2 Fall (a) and topple down (b)

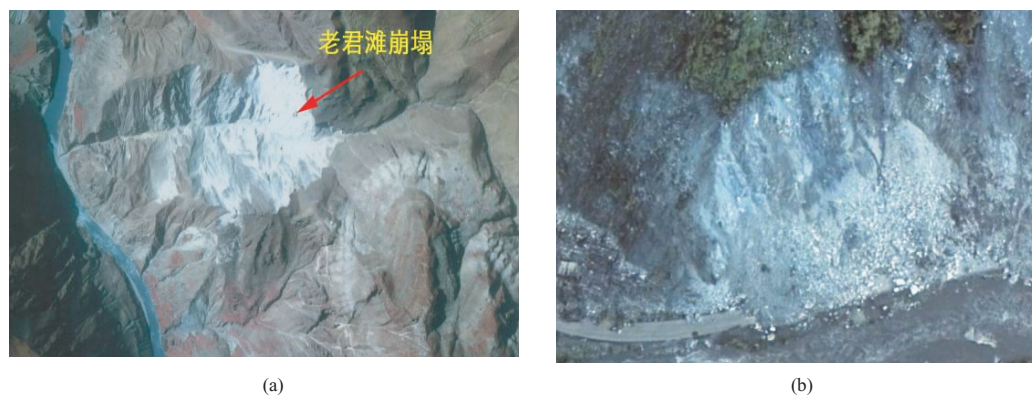


图3 (a)金沙江下游老君滩变质岩崩塌;(b)岷江上游变质岩崩塌

Fig.3 (a) Laojuntan metamorphic rock collapse in the downstream of the Jinshajiang River; (b) metamorphic rock collapse in the upper reaches of the Minjiang River



图4 (a) 5.12地震岷江上游滑坡-坡面碎屑流;(b)5.12地震岷江上游支流崩塌-沟谷碎屑流

Fig.4 (a)Landslide-slope debris flow in the upper reaches of the Minjiang River triggered by the 5.12 Earthquake; (b) collapse - gully debris flow in the tributaries of the upper reaches of the Minjiang River triggered by the 5.12 Earthquake

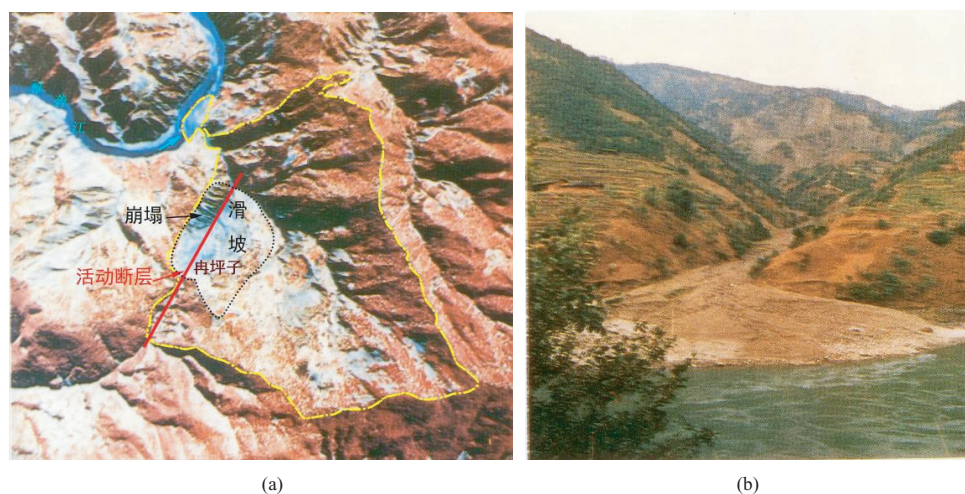


图5 雅砻江下游下荒田泥石流沟遥感影像(a)及现场验证照片(b)

Fig.5 The remote sensing image of the Xiahuangtian debris flow gully in the downstream of the Yalongjiang River (a) and the on-site validation photo (b)



所在位置的地质环境特征,即分析是否具备形成这些灾害体的地质条件,便能识别这些灾害体,但实际上还有相当的难度。崩塌和沟谷泥石流相对容易识别。

## 4 滑坡模式识别前景预测

目前,国内外采用以数字滑坡技术为代表的遥感与GIS识别滑坡的方法大致分为2步:(1)通过RS与GIS技术将不同时间的研究区地物现场以不同分辨率展现在数字图像上,并与地理控制及地质环境信息配准、组合,建立解译基础;(2)在滑坡地学理论指导下,通过人机交互方式进行解译和时空分析,获取需要的信息,服务于减灾防灾事业。该方法尚未达到自动识别滑坡的程度。

正如“滑坡遥感”一书的前言所说:“遥感技术在滑坡领域的应用与在其他领域的应用是不同的,其主要不同在于:具普通科学知识的人难以仅凭遥感图像的色彩、色调、纹理和阴影特征准确地识别滑坡;遥感专业技术人员也不能(至少目前不能)只通过分类,模式识别等图像处理方法自动识别滑坡。从事滑坡遥感调查须掌握基本的滑坡地学知识,一定的遥感技术方法和综合分析能力,否则难以取得实际效果。”<sup>[1]</sup>

### 4.1 滑坡自动识别的关键点

所谓的“滑坡自动识别”应理解为“滑坡模式识别”。目前,应用数字滑坡技术识别滑坡方法中,建立解译基础这一步可视为已实现模式识别,因为整个过程均可由计算机通过各种模式计算(程序操作)完成,并实现了各像元的定位,消除了图像畸变。需要努力的是后一步,如何用计算机实现滑坡地学理论知识及专家经验,以人机交互方式进行的滑坡识别及分析的过程。

建立解译基础过程相当于模式识别方法中的决策理论方法中的数字化和预处理步骤<sup>[16]</sup>。用计算机实现人机交互识别、分析滑坡的过程即为模式识别决策理论方法中的特征抽取及决策过程,即如何将图像空间映射到滑坡特征空间,再将滑坡特征空间映射到决策空间,最终确定其类型。

### 4.2 滑坡模式识别方法预测

基于目前的工作及现代信息技术发展,预测未

来滑坡模式识别方法如下。建立解译基础后,滑坡模式识别方法又可分为2部分:滑坡发育地质环境模式识别及滑坡体模式识别。

#### 4.2.1 滑坡发育地质环境模式识别

根据滑坡基本形成条件,地质环境模式识别可分为3大类:岩土(地层、岩体、土体)类型(以下简称岩土类型)识别,地质构造识别及地貌形态识别。

对于各类岩石矿物(包括土壤、植被、冰雪等地物)的光谱特征,以及如何利用遥感图像数据识别各类岩石矿物进行地质填图的方法技术,国内外学者已经过数十年的研究实验,应用高光谱分辨率成像光谱遥感进行地质矿物识别填图的技术方法已基本成熟<sup>[17]</sup>。甚至已经实现了ETM数据的光谱角制图法利用遥感图像进行矿床信息的提取<sup>[18]</sup>。可以说遥感方法的岩土类型模式识别已基本实现。

对于地质构造模式识别,迄今采用的是目视遥感图像方法识别线性或其他几何特征的地质构造类型,尚未见各类地质构造光谱特征的研究成果。由于地质构造具几何形态特征,利用解译基础的地形、地势图层结合图像中某种光谱特征的线性或其他几何形态变化,不久即可实现地质构造的模式识别。

对于地貌形态模式识别,与滑坡发育相关的地貌形态主要指山地的谷坡、水系形态、高程和高程差等,均可由DEM计算获取,故认为已基本实现模式识别。

虽然用模式识别方法可了解、识别调查区是否存在滑坡发育地质环境,但是,在实际工作中,在可预见的将来都不大可能采用这样的方法,因为相对数字滑坡技术,该方法更加复杂。世界各地都有不同比例尺的地质图,甚至数字地质图。结合这些图利用遥感目视解译分析识别滑坡发育地质环境将更加容易。

#### 4.2.2 滑坡模式识别

就狭义滑坡识别而言,可将其分为两类特征要素(以下简称要素),一类是滑坡地面要素,二是滑坡地下要素。地下要素是滑坡发育、发生、运动的物质及场所,地面是滑坡活动结果表现。两类缺一不可,因为地面要素可能与山间盆地、侵蚀台地、洼地,阶地等混淆,地下要素可能与层间错动,断层面等混淆,只有同时具备该两类特征的地质体才可能被确定为滑坡。

地面要素又可分为地形要素和地物要素,滑坡

基本地形要素可分为滑坡(后、侧)壁(也称主滑壁)、滑坡堆积体和滑坡边界。这3类地形要素均可由DEM计算求取不同部位的坡度、坡向、地形突变处等获取。地物要素可分为滑坡壁和滑坡体的物质(岩、土)类型、结构和形态。目前暂还不能直接识别这些滑坡地物要素,有待于研究这些地物的光谱特征。滑坡地下要素指滑床、滑面(滑带)。如果可能了解滑坡地下要素,对于识别滑坡而言,地物要素是辅助特征,并非必须的。本文讨论的模式识别是基于遥感技术,难以探测地面以下的滑坡要素问题。

如能设法建立滑坡地下要素与地面要素的关系,以地面地物要素揭示地下要素,则可能是实现遥感滑坡模式识别的关键技术。该技术的理论根据如下:滑坡发生,即部分斜坡在重力的作用下,沿滑面向下作剪切运动,滑动停止运动后,所产生的后壁为原地下滑面的一部分,其上应残留有滑面物质,即粘土矿物,在了解其光谱特征后,可能基于光谱图像以一定的模式识别,结合调查区岩土类型,可确定滑面物质;由后壁形态,结合调查区岩土构造(构造类型、岩层产状等)可推测滑面形态。滑坡堆积体的岩土物质成份应与原始地面一致或相似,故也可能实现光谱图像的模式识别;滑坡堆积体的形态较滑前有明显差别,可由滑坡前后的DEM计算获取。

在解译基础上,由计算机获取这些基本的滑坡特征要素后便可识别滑坡,如图6所示。

图6表示的只是在完成解译基础后,可能通过计算机识别滑坡的基本结构。仍需解决的关键技术是建立滑坡壁、滑体与地下滑面、滑床的关系模式,它们的光谱特征及计算模型。

其他滑坡类型,如崩塌、碎屑流、泥石流各有自己的识别要素及结构,不赘述。

## 5 结语

(1)识别滑坡的目的是为了评估其危害,规划防治措施、研究滑坡,如果不了解识别的是什么滑坡,识别便没有实际意义。

(2)广义滑坡包括崩塌、滑坡、碎屑流、泥石流、滑塌、土溜等所有斜坡重力侵蚀现象;狭义滑坡指部分斜坡沿着斜坡内的一个或数个面在重力的作用下作剪切运动的现象。各类滑坡有各自独特的形态特征及发育的基本地质环境条件。

(3)目前,数字滑坡技术识别滑坡的方法可概括为:在滑坡地学理论指导下,采用图像处理及GIS技术,将遥感、地理控制和地质环境信息源构成解译基础,以人机交互目视解译,识别滑坡。进一步定性、定位、定量获取滑坡及其发育环境特征信息,进行时空分析服务于减灾防灾事业。这是一种半自动的方法,还未做到自动识别滑坡。

(4)“滑坡自动识别”应理解为“滑坡模式识别”,即通过一定的模式,用计算机识别滑坡。数字滑坡技术建立解译基础过程均由计算机通过各种程序计算完成,故认为滑坡模式识别的前2个步骤—数字化及预处理已由计算机处理实现。现需探索的是用计算机实现基于滑坡地学理论知识,以人机交互方式进行的滑坡识别及分析过程。如能建立滑坡壁及滑体与地下滑面、滑床的关系模式,它们的光谱特征及计算模型,则可实现遥感技术的滑坡模式识别。

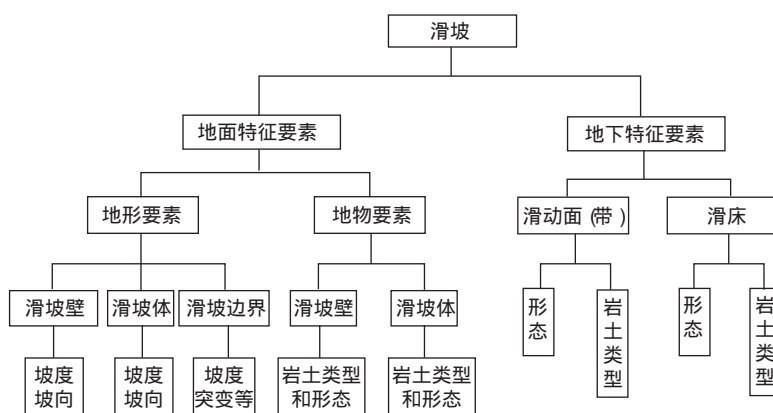


图6 模式识别要素结构示意图

Fig.6 Structure schematic of key elements of pattern recognition for landslide

## 参考文献:

- [1] 王治华. 滑坡遥感[M]. 北京: 科学出版社, 2012, 104-105.
- [2] 王猛, 王军, 江煜, 等. 汶川地震地质灾害遥感调查与空间特征分析[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(4): 480-486.
- [3] 黄润秋等. 汶川地震地质灾害研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009, 171-198.
- [4] 张茂省, 雷学武, 校培喜, 等. 遥感技术在黄土高原区地质灾害详细调查中的应用[J]. 西北地质, 2007, 40(3): 92-97.
- [5] 马瑛, 田望学. 高分辨遥感图像在黄土高原滑坡解译中的应用[J]. 资源环境与工程, 2007, 21(2): 167-169.
- [6] 王治华, 徐起德, 徐斌, 等. 5.12 汶川地震航空遥感应急调查[J]. 中国科学 E 辑, 2009, 39(7): 1304-1311.
- [7] 王治华. 青藏公路和铁路沿线的滑坡研究[J]. 现代地质, 2003, 17(4): 355-362.
- [8] Mondini A C, Guzzetti F, Reichenbach P, Rossia M, et al. Semi-automatic recognition and mapping of rainfall induced shallow landslides using optical satellite images[J]. Remote Sensing of Environment, 2011(115): 1743-1757.
- [9] Nichol J, and Wong M S. Satellite remote sensing for detailed landslide inventories using change detection and image fusion[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(9): 1913-1926.
- [10] Keefer D, Larsen M. Assessing landslide hazards[J]. Science, 2007(316): 1136-1138.
- [11] Chung C F, Fabbri A G. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS), 1999, 65(12): 1388-1399.
- [12] 单新建, 叶洪, 李焯芬, 等. 基于 GIS 的区域滑坡危险性预测方法与初步应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1507-1514.
- [13] 兰恒星, 王苓涓, 周成虎. 地理信息系统支持下的滑坡灾害分析模型研究[J]. 工程地质学报, 2002, 10(4): 421-427.
- [14] 王治华, 郭兆成, 杜明亮, 等. 基于数字滑坡技术的暴雨滑坡、泥石流预警预测模型研究[J]. 地学前缘, 2011, 18(5): 303-309.
- [15] 冯振, 殷跃平, 李滨, 等. 重庆武隆鸡尾山滑坡视向机制分析[J]. 岩土力学, 2012(9): 2704-2712.
- [16] 西奥多里德斯等著, 李晶皎等译. 模式识别[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [17] 王润生, 杨苏明, 阎柏琨. 成像光谱矿物识别方法与识别模型评述[J]. 国土资源遥感, 2007(1): 1-9.
- [18] 姚佛军, 杨建民, 张玉君, 等. 光谱角制图法与谱线平行分类法若干问题的探讨——以 ETM 数据为例[J]. 遥感信息, 2009(1): 20-26.

## A Preliminary Discussion on Landslide Pattern Recognition

WANG Zhihua\*

(Key Laboratory of Resources and Environment Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

**Abstract:** Identification of landslide should first understand what it is. Broad sense of landslide means all the slope gravitational erosion phenomena including rock fall, landslide, clastic flow and debris flow and so on; narrow sense of landslide means the phenomenon that parts of slope move searing along one or several surfaces internal the slope under the function of the gravitation. Each type of landslide has own special morphological characteristics on the ground and basic geological environmental conditions and trigger factors for growing. According to the special characteristics the landslide can be identified. Digital Landslide Technique suggested based on the research and practice of RS+GIS for landslide at home and abroad identification of the landslide can be divided into 2 steps roughly. First, with RS+GIS technique, ground features at different time were showed on digital images with different solutions. Through registration and combination with geological structure and geographic information, the base for remote sensing interpretation is established. Second, under the guide of theory of landslide, by means of men-PC interactive mode, the remote sensing interpretation and time-space analysis are carried out and the key elements information of landslide for disaster prevention then are obtained. That methods

(下转第 782 页)



the natural attributes of soil, and also the combined effect of human and natural factors. This paper takes Mary Oasis, Turkmenistan, as the study area to establish a land use degree index model. We used two remote sensing images which are in the same phase and SVM method for land use classification, and gave the corresponding properties of each type of land use. Sampling in the study area based on regular hexagonal grids, area land use degree index in each grid cell is calculated by GIS. We made the index interpolation and the land use degree forecast for the entire study area using Kriging Method, divided the whole area into five levels, and analyzed the land use degree of Mary Oasis. It concluded: (1) grassland, arable land and abandoned land are the main available land use types in the study area, and they account for about 50%, but have a decreasing trend totally; (2) the zonal distribution of land use degree of the study area is from the center to the periphery, and the contour 0.5 of land use degree is about the boundary of oasis and desert of the study area; (3) the area of middle and higher land use degree of the study area reduce at the rate of 0.079% per annum, the area ratio of main oasis and desert also reduced from 45.14:54.86 in 2001 to 42.06:57.94 in 2010, indicating that the ecological environment of the study area has a trend of deterioration; (4) the self-transfer rates of low, moderate and high land use degree are all greater than 80%, while the self-transfer rates of slightly low and middle land use degree are around 50%. We got the spatial distribution and inter-annual change of the land use degree of Mary Oasis. And this work has a guiding significance for social development and the protection of the ecological environment of the study area, and has a certain referential significance for the future relevant research on the technical processes and methods.

**Key words:** remote sensing; regular hexagonal grid; Mary Oasis; land use degree

**\*Corresponding author:** TASHPOLAT Tiyp, E-mail: tash@xju.edu.cn



(上接第 733 页)

has not been reached automatic identification of landslide, but the process of establishing the base for remote sensing interpretation has been accomplished with several soft program procedure by PC, so it is considered that the first two steps, digitalization and preprocess for landslide pattern recognition have already realized by PC. Now we should explore the methods of landslide recognition and analysis procedure with computer calculation instead of men-PC interactive mode. For the narrow landslide sense, the landslide topography recognition has already been conducted by computer based on DEM. If the relation between landslide scarp, deposit body on the ground and landslide surface, bed under the ground could be found, their spectral property could be determined and the calculating mode could be established, the landslide pattern recognition based on the remote sensing technique then could be realized.

**Key words:** landslide; pattern recognition; digital landslide technique; the base for remote sensing interpretation; ground and under ground essential factor of landslide

**\*Corresponding author:** WANG Zhihua, E-mail: 577027159@qq.com