

# 土壤侵蚀遥感调查 ——以重庆市忠县为例

张忠启<sup>1,2</sup>, 文安邦<sup>1</sup>

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**土壤侵蚀调查是治理水土流失的基础, 仅采用传统的调查和统计方法, 耗时、耗力且数据准确度低。近年来, 遥感(RS)与地理信息系统(GIS)结合来进行土壤侵蚀调查方法得到了广泛应用, 其准确性、时效性及效率高等特点是传统方法难以做到的。以遥感影像为主要信息源, 利用 ERDAS 和 ARC/INFO 等地理信息软件强大的空间分析功能, 结合实地采样对重庆市忠县地区进行了土壤遥感调查, 为忠县地区的水土保持规划提供了科学依据和决策支持, 并对该地区的经济和环境可持续发展起到了积极作用。

**关键词:**遥感; 地理信息系统; 土壤侵蚀; 侵蚀等级; 空间分布; 忠县

**中图分类号:** S157; TP79

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2007)01-0295-03

## Soil Erosion Investigation by Remote Sensing ——A Case Study of Zhongxian Region, Chongqing

ZHANG Zhong-qi<sup>1,2</sup>, WEN An-bang<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

2. Graduate School, CAS, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Investigation of soil erosion is the basal process of soil and water loss control. Traditional investigation and statistic methods is not only time and strength consuming, but also imprecise. In recent years, the using of RS and GIS become widely in soil erosion investigation. Its veracity, velocity, less time consumption and strength-saving are unexampled in traditional methods. Based on the primary information derived from TM image, resorting to the powerful function in spatial analysis of ERDAS and ARC/INFO, and the field survey, the soil erosion remote sensing investigation in Zhongxian county was carried out. The study provides scientific basis and support of policy decision for soil and water conservation in this region, and has a positive effect on the sustainable development of economy and society of this area.

**Key words:** remote sensing; geographical information system; soil erosion; erosion grade; spatial distribution; Zhongxian

重庆市地处长江上游, 是举世瞩目的长江三峡工程的主要库区所在地, 境内山河众多, 由于自然因素和人为活动的影响, 水土流失极为严重, 全市 40 个区、市、县(自治县)中绝大部分属于水土流失重点治理区。为了治理重庆地区严重的水土流失、维护三峡库区的生态环境, 国家和当地政府投入了大量的人力、物力和财力进行水土保持, 实施了退耕还林、封山绿化等一系列恢复性措施, 但这些防治措施效果到底如何? 同时随着西部大开发战略的逐步实施, 工业化、城镇化进程的加快, 三峡工程的开工建设等, 开发建设活动日益频繁, 给该地区的水土保持工作带来的负面影响大到了何等程度? 今后水土保持应如何布局等这些都是政府和社会关注的大事。所有这些, 只有通过及时和准确的监测才能掌握, 才能做出正确的判断和决策。

长江上游地区侵蚀泥沙研究基础薄弱, 技术力量不足, 观测年限短, 资料可信度差。采用传统的径流小区和小流域水文监测的方法来解决重庆地区的侵蚀面积、等级及空间分布等问题, 在很大程度上是不现实的。然而, 第二轮(2000

年)重庆地区的土壤遥感侵蚀调查和水土保持规划的实施已经过去了 5 年时间, 不再适应时代的要求。新一轮的土壤侵蚀调查迫在眉睫。

本研究选取忠县作为研究对象, 其位于三峡库区范围之内, 通过资料分析和实地考察, 此研究区在三峡库区具有较强的代表性。本研究采用 RS、GIS 技术和实地考察相结合的方法对忠县地区的土壤侵蚀面积、等级及空间分布做了彻底的调查, 并与 2000 年数据作对比, 旨在反映近几年水土保持工作的进展情况, 为下一步水保工作的努力方向提供参考和依据。

### 1 研究区概况

忠县位于重庆市东北部、三峡库区腹心地带(图 1)。东北与万州相邻, 西接垫江县, 东南与石柱土家族自治县毗连, 西南与丰都县接壤, 北与梁平县为界。东经 107°32' ~ 108°14', 北纬 30°03' ~ 30°35'。东西宽 66.45 km, 南北长 60.9 km, 幅员面积 2 184 km<sup>2</sup>。境内低山起伏, 溪河纵横交错, 属

\* 收稿日期: 2006-01-20

基金项目: 科技部 973 项目(2003CB415202)

作者简介: 张忠启(1978 - ), 江苏丰县人, 在读硕士, 研究方向: 土壤侵蚀与水土保持。

典型的丘陵地貌。地质岩层以侏罗纪蓬莱组沙页岩为主,部分出露遂宁组岩层,土壤类型以棕紫泥为主。浩荡长江,穿流而过,流经 88 km,汇合溪河 28 条。该县地处暖湿亚热带东南季风区,温热寒凉,四季分明,雨量充沛,日照充足。年降雨量 1 200 mm,年均温 18.2 。

## 2 研究思路和技术路线

本研究选用 2004 年 8 月份的 TM 影像,通过实地考察和相关资料确定解译标志,首先解译出研究区的土地利用类型(包含植被覆盖度信息)并进行实地验证,以保证误差在容许范围内;然后通过对 1:50 000 地形图扫描、数字化,提取

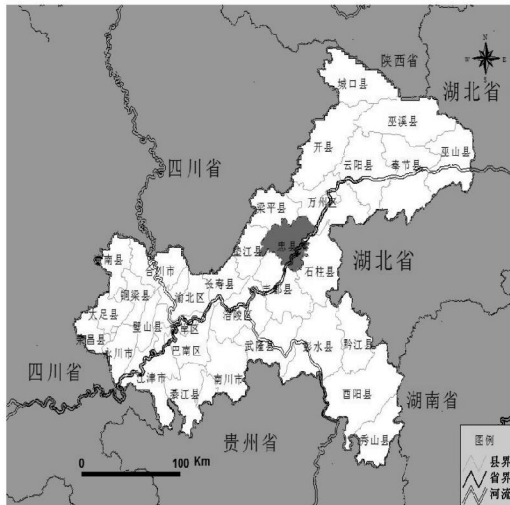


图 1 研究区位置

选用重庆市测绘局 2003 年测量的 1:10 000 的大比例尺地图和 1:50 000 地形图,并收集与土壤侵蚀有关的图件和文字资料,特别是能反映近年变化的各种资料。为提高影像的信息可解译性和保证成果质量,本研究还广泛收集整理了现有的基础研究成果及各种比例尺的地质图、地貌图、植被图、土壤图等资料。

### 3.2 TM 影像的前期处理

作为包含本研究区的一景 TM 影像覆盖范围为 185 km × 185 km,在图像处理软件 ERDAS IMAGINE 8.6 下从影像上选取稍大于研究区的区域并剪切;采用线性拉伸和统计量增强中的分块增强算法,提高所选波段合成后的目视解译性能;在忠县范围内选取了 15 个分布较均匀的控制点,建立了二元二次多项式,用于对分类结果图像进行纠正,纠正精度在 X 和 Y 方向上都小于半个像元,误差在一个像元之内,采用最邻近点进行重采样,所采像元大小为 30 m。需要指出的是,控制点的选择非常重要,本次研究在忠县地形图上选择目标较小、特征明显、易于识别的省道与省道、省道与河流或者河流的干支流交汇处、弯曲处等为控制点,且尽量均匀布设。

### 3.3 土地利用类型划分

#### 3.3.1 分类系统

在拟定实验区土地利用分类方案时,应遵守以下几点原则:(1)分类系统必须反映该地区土地利用的实际情况和特点;(2)分类要有严格的逻辑系统和明确的从属关系,同时要与国家现行的分类系统相衔接;(3)要考虑影像的可解译性<sup>[1]</sup>。根据以上原则,将忠县地区的土地利用划分为 6 大类 18 小类,确定了研究区土地利用分类系统(见表 1)。

#### 3.3.2 确定影像解译标志

解译标志的制定对土地利用类型的划分极为重要,其正

等高线,并生成 DEM,获得坡度信息;把土地利用图层和坡度叠置到 TM 影像上,进行土壤侵蚀等级的划分,通过精度验证后生成了土壤侵蚀等级分布图,并对侵蚀数据进行各种析。具体流程见图 2。

## 3 研究方法和过程

### 3.1 信息源

以 2004 年 8 月 19 日的美国 LANDSAT TM 影像图为主要信息源。因为此时研究区内林地、园地内植物生长旺盛,同类植物所显长势不一,使得图像反差增强。所种水稻大部分也收割完成,易于跟其他植被区分开来。

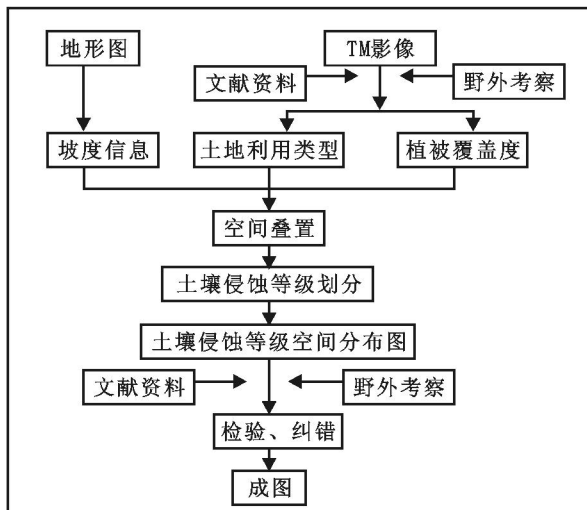


图 2 土壤侵蚀分析技术流程图

确与否直接关系到每个图斑属性的正确性和可信度。本研究选用了 TM 7 个波段中的 4, 3, 2 波段,根据影像特征、研究区物候资料以及现有的土地利用资料建立了研究区的土地利用类型解译标志(见表 1)。

### 3.4 坡度信息提取

用数字高程模型 (DEM) 来获取坡度的信息,对 1:50 000 地形图扫描、数字化,提取等高线,并由等高线生成 DEM,获得坡度信息,然后将坡度信息储存在 ERDAS 的信息层中。

### 3.5 土壤侵蚀图的生成

#### 3.5.1 土壤侵蚀类型和强度的划分

土壤侵蚀类型的划分和侵蚀强度分级是土壤侵蚀图的基础<sup>[2]</sup>。作为反映侵蚀营力的土壤侵蚀类型可分为水力侵蚀、重力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀、工程侵蚀等,但由于纬度位置、地形等因素的影响,重庆地区只有水力侵蚀、重力侵蚀和工程侵蚀。其中,水力侵蚀是最主要的侵蚀类型,故在本研究中对重力侵蚀和工程侵蚀不做强度分级。土壤侵蚀强度按照水利部制定的全国第二次土壤侵蚀遥感调查土壤侵蚀分级标准 (SL 190 - 96) 划分为 6 个等级(见表 2)。

#### 3.5.2 土壤侵蚀遥感影像判读指标

认真研究当地土壤侵蚀特点,并对照遥感影像特征及前人的研究成果,进行典型地段的实地调查研究,建立土壤侵蚀类型与图像特征的对应关系(见表 3)。

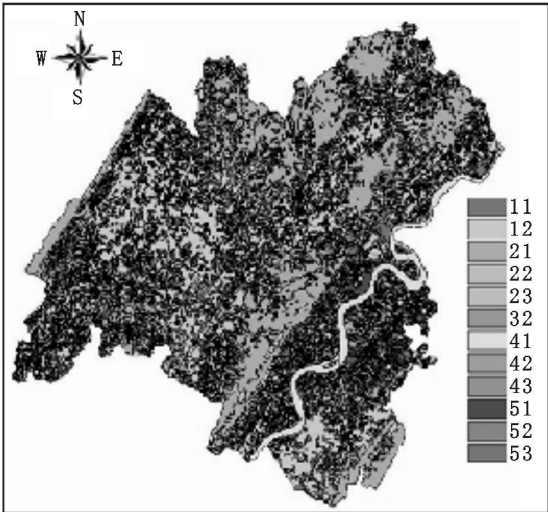
#### 3.5.3 土壤侵蚀等级的人机交互判读

该步骤在 ERDAS 8.6 软件下进行操作。首先,输入 TM 影像的栅格文件 (IMG 格式),作为土壤侵蚀等级勾画的底图;然后导入坡度的栅格文件 (RRD 格式) 和处理过的土地利用矢量层。其中,影像图和坡度图可以根据需要调整叠置次序。

本次操作采取在原数字化的土地利用图层上直接修改图斑和附侵蚀属性,根据判读指标需要增加线条的可以直接勾画,在土地利用属性表里的 EDIT 下的 COLUMN 下增加一列用来输入侵蚀图斑的属性,要保证各图斑的封闭和每个封闭的图斑有唯一的相应属性。完成整副图的侵蚀分级后,将矢量文件在 ARC/INFO 下进行编辑处理,输出草图(1:100 000)。

表 1 忠县 TM 影像解译标志

类型		影 像 特 征	
		含 义	解译标志
耕地 1	水田 11	指有水源保证和灌溉设备,在一般年景能正常灌溉,用以种植水稻、莲藕等水生农作物	几何特征明显、清晰,在丘陵山地呈条带状分布沿等高线分布。成连片的蓝灰色调,少量未收水稻呈深红。结构均在丘陵缓坡地带和平坦的山前台地不同地貌类型区域均有分布
	旱地 12	靠天然降水种植作物:种植正常灌溉的作物	
林地 2	有林地 21	郁闭度 > 30 % 的天然林和人工林	不同地貌均有分布,边界自然、圆滑但不规则。深红,色调均匀
	灌木林地 22	郁闭度 > 40 %,高度 < 2 m 的矮林地和灌丛林地	主要分布在山区阳坡及河谷两侧,边界自然圆滑但不规则,浅红色,色调较均匀
	疏林地 23	指郁闭度为 10 % ~ 20 % 的稀疏林地	各地形均有分布,边界模糊不规则,浅红,色调杂乱
	其他林地 24	未成林造林地、迹地、苗圃及各类园地	各地形均有分布,呈块状、不规则面状。色调多样,园地有格网纹理
草地 3	高覆盖度草地 31	覆盖度 > 50 % 的天然、改良、草地和割草地	山地、丘陵的阳坡地带,面状条带状,边界清晰,深青、暗红色
	中覆盖度草地 32	覆盖度 20 % ~ 50 % 的天然和改良草地	山地、丘陵的阳坡地带;面状条带状,边界清晰,深青、暗红色
	低覆盖度草地 33	覆盖度 5 % ~ 20 % 的天然草地	山地、丘陵的阳坡地带,分布较少;不规则斑块;黄白、灰白
水域 4	河渠 41	天然形成或人工开挖的河流及主干渠及堤岸地	山区沟谷;自然弯曲或局部平直、边界清晰;蓝色、青色,色调均匀
	湖泊 42	天然形成的积水区、常年水位下的土地	山区低洼处;特征明显,形态自然;深蓝、浅蓝,均匀
	水库、坑塘 43	人工修建的蓄水区、常年水位下的土地	山区沟谷;特征明显,有人工塑造痕迹;深蓝、浅蓝,均匀
	滩地 44	河、湖水域平水期与洪水期水位之间的土地	河流、水库、坑塘、湖泊周围;条带状、块状;灰白、绿色
城乡居民点及工矿用地 5	城镇用地 51	县镇以上的城镇用地	山间小平原、山区谷地;特征明显,边界清晰;青灰,色调杂乱;结构粗糙
	农村居民点 52	镇以下的居民点用地	各地貌均有分布;特征明显,边界清晰;灰蓝、灰白,色调不均;结构粗糙
	工交建设用地 53	独立于居民点外的厂矿、油田、盐场、采石厂、交通、机场、码头等	城镇周边及交通沿线;特征明显、边界清晰;灰白、蓝白,色调均匀;结构粗糙
未利用土地 6	裸土地 65	土质覆盖、植被覆盖度 < 5 % 的土地	城镇居民点附近或山体顶部,特征明显、边界清晰,灰白,黄白,均匀
	裸岩 66	表层为岩石或石砾,其覆盖度 > 50 %	山体顶部;特征明显、边界清晰;灰白、深青;粗糙



(图 41、42、43 是水域,在侵蚀等级统计时归入微度侵蚀 II)

图 3 忠县 2005 年土地利用现状图

3.5.4 精度验证

参考侵蚀等级草图,采用典型样区和路线进行验证。共选取 50 个验证区,以验证判读的可靠性。在每一验证区,用 GPS 定位,拍摄景观照片,并参考专家意见实地判断土壤侵

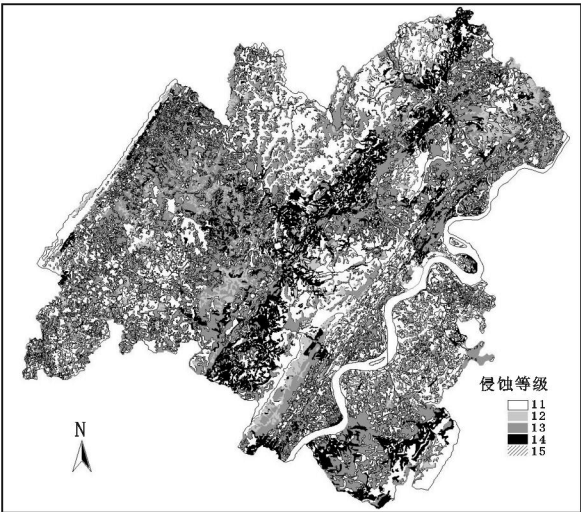


图 4 忠县土壤侵蚀等级分布图

蚀的类型和等级,返回进行矫正,对于室内仍然难以判读或有不同意见的地区,可以再次通过实地考察来确定。

(下转第 300 页)

出现 9,10,11 月水分由内向外依次增多的现象。

2.3.2 梯田土壤水分垂直运动

在半干旱地区,土壤自上而下大致可以分为以下 3 个不同土层:

(A) 活跃层(0~40 cm):直接受气象因素和人为活动的影响,水分含量变化很大。其变化幅度一般在 14.5%~30%(体积含水量)之间。降水时可接近或超过田间最大持水量,久旱时又低于凋萎含水量。

(B) 次活跃层(40~100 cm):此层受人为活动的影响较小,但降水、蒸发以及多数植物根系都能影响此层。因此,土壤水分仍有较大的变化。其变幅一般在 13.4%~28.9%(体积%)之间。

(C) 稳定层(100~200 cm):由曲线走势可得稳定层(受气象因素和根系活动的影响都较微弱,土壤湿度无论季节或年际间的变化都较小。

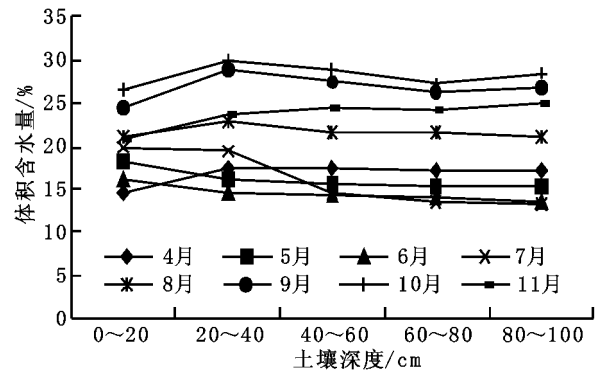


图 2 土壤水分各月垂直变化图

2.3.3 梯田土壤水分季节性变化

从图 2 可以看出::中庄示范区的土壤水分季节变化可  
(下转第 304 页)

(上接第 297 页)

3.5.5 出图、数据统计、分析

将验证和修改过的侵蚀等级分布图进行输出(见图 3),并将处理过的矢量图层在 ARCVIEW 下进行数据统计,输出统计图表,以便于分析。

表 2 土壤侵蚀强度划分标准

分 级	平均侵蚀模数 ( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ )	平均流失厚度 ( $mm \cdot a^{-1}$ )
11 微度侵蚀	< 500	< 0.37
12 轻度侵蚀	500~2500	0.37~1.9
13 中度侵蚀	2500~5000	1.9~3.7
14 强度侵蚀	5000~8000	3.7~5.9
15 极强度侵蚀	8000~15000	5.9~11.1
16 剧烈度侵蚀	> 15000	> 11.1

表 3 土壤侵蚀遥感影像判读指标

侵蚀强度等级	判读指标
11 微度侵蚀	覆盖率>75%的林、灌、草地;坡度<5°的山前平地、水田、水体、河滩、河流阶地等
12 轻度侵蚀	坡度在 5~8°的坡耕地;植被覆盖率 60%~75%且坡度为 5~25°的坡地;覆盖率 45%~60%且坡度 5~15°的坡地;覆盖率 30%~45%且坡度 5~8°的坡地
13 中度侵蚀	坡度 8~15°的坡耕地;植被覆盖率<30%且坡度为 8~15°的坡地;覆盖率 45%~60%且坡度为 15~35°的坡地;覆盖率 60%~75%且坡度为>25°的坡地
14 强度侵蚀	坡度 15~25°的坡耕地;植被覆盖率 45%~60%且坡度>35°的坡地;覆盖率 30%~45%且坡度为 25~35°的坡地;覆盖率<30%且坡度为 15~25°的坡地
15 极强度侵蚀	坡度为 25~35°的坡耕地;植被覆盖率 30%~45%且坡度>35°的坡地;覆盖率<30%且坡度 25~35°的坡地
16 剧烈度侵蚀	坡度为>35°的坡耕地;覆盖率<30%且坡度>35°的地段

4 结果讨论

本次以 RS 和 GIS 为主要手段,结合野外采样的方法对忠县地区 2 184 km<sup>2</sup> 进行了调查研究。通过本次调查结果与 2000 年的调查结果对比分析(见表 4),可以看出近几年忠县地区的植被恢复和水土保持工作取得了显著的成绩。土壤侵蚀强度已由中度侵蚀为主转变微度和轻度为主,微

参考文献:

[1] 巴雅尔,敖登高娃. TM 影像人机交互判读技术的实验研究[J]. 内蒙古师大学报,2000,(9):226-228.  
[2] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[M]. 北京:科学出版社,1995.96.

度和轻度侵蚀面积的比重由 2000 年的 34.76% 增加为 62.07%,中度侵蚀和强度侵蚀这两个侵蚀量较大的侵蚀类型面积都有不同程度的减少,特别是中度侵蚀的减少幅度很大。但强度侵蚀和极强度侵蚀的面积变化不明显,说明一些难治理地区的土壤侵蚀还没得到有效的控制,特别是坡耕地的治理,跟当地的社会和经济发展有着密切的关系。

表 4 2005 年与 2000 年土壤侵蚀各等级的对比 km<sup>2</sup>

年份	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
2000 年	48.61	310.63	1183.47	232.18	7.18	1.94
各类型所占比重:	0.54%	14.22%	54.19%	10.63%	0.33%	0.09%
2005 年	56.89	298.33	610.80	209.05	7.52	0.62
各类型所占比重:	8.41%	13.66%	27.98%	9.58%	0.34%	0.03%
面积增减:	08.28	-12.30	-572.67	-23.13	0.34	-1.32

尽管 RS、GIS 和实地考察相结合的方法对水土流失现状能够作出快速、科学、准确的调查和监测,并有着很广阔的应用前景,但在应用过程中,受 TM 遥感图像的分辨率及制图规范的影响,山区小流域中的坡改梯耕地分散,而且一般面积很小,在图像上不容易判读出来,其治理效果也不能很好的反映出来。同时,坡面上的坡耕地多分布在较缓的坡位,经人为耕作后实际坡度比自然坡度稍缓,但在判读时一般以整个坡面的自然坡度替代实际坡度,提高了坡耕地的侵蚀分级强度,所以在研究过程中只能对坡耕地集中的地区做一些技术处理,适当降低其侵蚀级别,但准确性受到了一定的影响。其次,大规模的工程建设造成的土壤侵蚀大部分呈点、线状分布,在图像上不易判读出来,即使判读出来,也不好表示,这在一定程度上不可避免的忽略了一些比较严重的侵蚀类型。另外,重力侵蚀特别是滑坡、崩塌、泥石流造成的地貌形态因个体小,在图像上难以判读,也很难表示,只能根据实地调查资料作一定的特定符号加以警示。

以上问题都会对土壤侵蚀调查工作造成一定的影响,因此在今后的工作中需要对遥感土壤侵蚀进行理论和技术上的深入研究,更好的促进土壤侵蚀调查和水土保持事业的进步。