

## “3S”技术在黄土高原水土保持动态监测中的研究与实践

喻权刚, 马安利, 赵帮元

(黄河水土保持生态环境监测中心, 西安 710021)

**摘 要:** 黄土高原水土流失乃世界之最, 在黄土高原严重水土流失区, 利用“3S”技术进行水土保持动态监测的应用研究, 具有非常重要的意义。通过研究认为, 对于较大区域的水土保持监测, 应采用宏观、中观和微观相结合, 卫星遥感、航空遥感和 GPS 相结合的方法。在宏观监测方面, 采用中分辨率卫星遥感影像, 监测水土流失的强度、面积、分布和发展趋势; 在中尺度监测方面, 利用航空遥感影像或高分辨率卫星影像, 进行水土流失和水土保持措施的动态监测; 在微观监测方面, 利用 GPS 技术监测微地貌的变化如沟头前进、沟底下切、沟岸扩张的速度等指标来监测土壤侵蚀情况。

**关键词:** 3S 技术; 水土保持; 动态监测; 黄土高原

**中图分类号:** S157; TP79

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2004)02-0033-03

## Research and Practice of “3S” Techniques in Dynamic Monitoring of Soil and Water Conservation in the Loess Plateau

YU Quan-gang, MA An-li, ZHAO Bang-yuan

(The Center for Soil and Water Conservation Eco-environment Monitoring of the Yellow River, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** The severity of soil and water loss in the Loess Plateau is on the top in the world. It has an important significance to apply “3S” techniques in the practice and research of dynamic monitoring of soil and water conservation in the Loess Plateau. The research shows that soil and water conservation monitoring on a relatively larger area should be implemented in macro, micro and in-between scale, and a combination of satellite remote sensing, plane remote sensing and GPS should be adopted. In the aspect of macro monitoring, it is recommended to adopt middle resolution to monitor the intensity, area and developing tendency of soil and water losses. With regards to the dynamic monitoring of soil and water loss and the soil and water conservation measures, plane remote sensing or satellite image with high resolution is recommended on in-between scale. The monitoring on the change of geomorphology, such as the advance of the heads of the gullies, the gully's expanding vertically and horizontally, should be implemented on micro scale by applying GPS technique to get information of soil erosion.

**Key words:** 3S techniques; soil and water conservation; dynamic monitoring; the Loess Plateau

水土流失已成为我国最大的生态环境问题, 要尽快治理水土流失, 改善生态环境, 必须对水土流失的发生、发展、流失量、流失速度等进行监测, 及时采取相应的治理措施。本文以黄土高原严重流失区的四条入黄一级支流为试区, 研究利用“3S”技术进行水土保持动态监测的技术和方法。在宏观监测方面, 采用 TM 卫星影像或 SPOT 卫星影像为信息源, 利用遥感技术, 监测水土流失的强度、面积、分布和发展趋势; 在中尺度监测方面, 利用航空遥感影像或高分辨率卫星影像为信息源, 在建立 GPS 控制网的基础上, 采集、提取、分析水土流失和水土保持措施信息的动态变化; 在微观监测方面, 利用 GPS 技术监测沟头前进、沟底下切、沟岸扩张的速度, 监测典型样点的水土流失量(流失厚度); 在人为新增水土流失监测方面, 利用 GPS 定期监测开挖面、堆积面以及挖填方量, 尤其是弃土弃渣量的变化情况。这项研究对黄河流域水

土保持监测网络建设和“数字黄河”工程建设具有重要意义。

### 1 项目区基本情况

在黄土高原选择水土流失最为严重, 位于神府东胜矿区的窟野河、秃尾河、孤山川和清水川流域为宏观监测区域, 区域面积 1.42 万 km<sup>2</sup>; 选择陕蒙接壤区的活鸡兔流域为典型监测小流域, 面积 317 km<sup>2</sup>。在活鸡兔流域中选择两个 1 km<sup>2</sup> 的小流域, 作为微观监测小流域。

项目区地处鄂尔多斯高原和黄土高原的过度地区, 海拔 1 000~1 200 m, 风沙滩地和丘陵沟壑为基本地貌类型, 其中丘陵地貌又分为沙质丘陵、砾质(含砂岩)丘陵和黄土丘陵三个亚地貌类型。风沙区沙丘密布, 间有滩地, 丘陵区支毛沟发育, 地形破碎, 大于 3 km<sup>2</sup> 以上的大小沟道有 1 500 多条。

项目区土质疏松, 降水集中且强度大, 加之植被稀少, 地面

收稿日期: 2004-02-10

作者简介: 喻权刚(1965-), 男, 陕西省商洛市人, 硕士, 高级工程师, 黄河水土保持生态环境监测中心副主任, 主要从事水土保持监测、“3S”在水土保持上的应用研究等方面的工作, 发表论文 28 篇。

坡度大, 极易形成水土流失; 经济及生产经营方式落后, 陡坡开荒, 过度放牧等对生态的破坏极其严重; 该区土壤侵蚀以水蚀为主, 水蚀与风蚀交错发生, 丘陵沟壑区的重力侵蚀也异常活跃。4 条流域 76.08% 的面积为强度以上的侵蚀面积, 极强度侵蚀面积比例达到 41.82%, 平均土壤侵蚀模数为 1.35~2.2 万  $t/(km^2 \cdot a)$ , 局部地区高达 4 万  $t/(km^2 \cdot a)$ 。近年来, 随着煤炭、石油、天然气资源的开发及基础设施建设规模的不断扩大, 扰动地表、破坏植被、弃土弃渣等, 增加了人为新的水土流失。

## 2 采用的信息源及监测内容

### 2.1 采用的信息源

要满足不同尺度(宏观尺度、中尺度和微观尺度)监测要求, 必须采用不同类型、不同时相、不同比例尺的信息源, 还要使用一定的外业测量仪器。主要信息源包括卫星遥感数据、航摄像片、地形图、专题图件、观测资料、统计资料和研究文献资料等。

(1) 卫星遥感数据: 主要用于宏观尺度监测, 像素精度在 30 m 左右, 信息源选用美国的 LANDSAT 卫星 1988 年和 1998 年夏态两个时相的 TM 数据, 监测周期为 10 年(1988 年~1998 年)。

(2) 航空像片: 主要用于典型小流域监测, 信息源以航空遥感信息(也可采用高分辨率卫星影像)为主, 像素精度在 1~2 m。本次试验采用了 1987 年 1:5 万彩红外航片和 2001 年 1:3.5 万彩红外航片。监测周期根据信息源的情况确定为 14 年(1987~2001 年)。

(3) 地形图: 区域 1:25 万数字地图、1:10 万地形图, 重点区 1:5 万、1:1 万地形图。

(4) 专题图件: 1:10 万土地利用现状图以及区域植被图、土壤图、地貌图、土壤侵蚀图、水土保持治理措施图等。

(5) 其它资料: 气象资料, 水文泥沙资料, 水土流失观测资料, 淤地坝的泥沙淤积资料等。

### 2.2 监测的主要内容

宏观尺度主要监测土壤侵蚀的强度、面积、分布情况, 植被变化情况, 水土流失的发展趋势和可能造成的危害。

中尺度监测的内容除监测项目区土壤侵蚀的强度、范围、分布以及地面坡度、植被等分布情况外, 还要监测区域土地利用及水土保持措施(梯田、坝地、水地、川滩地、乔木林、灌木林、经济林、草地、淤地坝工程等)的动态变化, 以及开发建设项目固体废弃物的排放与新增水土流失动态变化情况。

微观尺度主要监测微观区域地形地貌的变化情况, 如沟沿线及沟头前进、沟底下切、坡面侵蚀以及沟道淤地坝淤积量等反映土壤侵蚀的指标。

## 3 技术路线

综合运用“3S”技术, 形成了一个完整的技术体系。在这个体系中, 将遥感技术和全球定位技术作为快速获取和更新地理信息的手段, 将地理信息系统作为存储、管理和分析空间信息及数据的平台, 共同组成一个整体的、动态的分析和应用系统。利用计算机人机交互解译, 定量评价水土流失强度, 同时, 利用全数字摄影测量系统获取典型区域数字高程模型(DEM)、土地利用及水土保持措施信息。在 GIS 环境下建立动态监测系统。

宏观监测的技术路线: 以 TM 卫星影像为主要信息源,

以 1:10 万地形图和 1:25 万数字化地图为基本工作底图, 与现有的各种专业图件(如地质图、地貌图、植被图、土壤图、1:10 万土地利用图等)及水文气象资料和其它统计资料相结合, 以专业化遥感图像处理、计算机辅助人机交互解译、GIS 空间分析等为技术手段, 结合野外典型样方调查, 利用野外建立的解译标志, 确定各因素相对均质的土壤侵蚀图斑, 赋 6 位属性编码(依次是侵蚀类型、侵蚀等级、水保分区、地表组成、植被盖度、坡度), 然后进行图形编辑、图幅接边、面积量算、分类统计出各因子的结果。

中尺度监测的技术路线: 分析区域水土流失过程及其影响因子, 拟定监测指标体系和土地利用及水土保持措施分类系统; 试验区航空摄影获取信息源, 与以前的信息源构成不同时期; 建立 GPS 控制网, 完成航片像控点测量, 利用航测遥感软件进行图像处理和信息采集, 建立不同尺度的水土流失基础数据库, 包括侵蚀环境背景数据、水土流失调查数据、水土保持治理数据、观测研究数据, 以同样方法建立动态变化数据库; 在 GIS 和水土流失模型集成环境下进行区域水土流失评价与统计分析, 为水土流失治理、生态环境建设提供决策依据。

微观尺度监测技术路线: 在 GPS 测制网的基础上, 利用 GPS 的快速动态技术, 跟踪区域内的沟沿线、沟底线、沟头、沟道淤积面, 对区域进行网格化, 跟踪每个特征点, 在 GPS 后处理软件下建立微观区域 DEM。以同样的方法每年观测一次, 利用计算机基于 GIS 进行水土流失定量监测。

## 4 监测成果及其分析

### 4.1 宏观监测成果

包括项目区 1988 年和 1998 年分行政区(省、地、县)、分类型区、分流域的土壤侵蚀强度、植被覆盖度、坡度数据。两个年代土壤侵蚀监测对比结果见表 1。经分析, 可以看出:

(1) 水土流失面积呈减小趋势。1998 年水土流失面积为 13 116.48  $km^2$ , 占总面积的 92.44%; 1988 年水土流失面积为 12 904.92  $km^2$ , 占总面积的 90.95%; 1998 年比 1988 年减少水土流域面积 211.56  $km^2$ 。其中水蚀区 1988 年水土流失面积 7 834  $km^2$ , 1998 年水土流失面积 7 708.53  $km^2$ , 减少水土流失面积 125.47  $km^2$ ; 风蚀区 1988 年水土流失面积 5 282.48  $km^2$ , 1998 年水土流失面积 5 196.39  $km^2$ , 减少水土流失面积 86.09  $km^2$ 。

(2) 从水土流失分级强度来看, 微度、轻度、中度土壤侵蚀面积增加, 强度、极强度、剧烈土壤侵蚀面积减少。

### 4.2 中尺度监测成果

成果包括: 1987 年和 2001 年活鸡兔流域水土保持措施、土地利用、植被盖度、水土流失、开发建设项目弃土弃渣等两个年度的成果数据。土地利用监测成果对照见表 2。部分水土保持措施监测成果对照见表 3。从表中可以看出, 2001 年与 1987 年土地利用变化情况。农地、林地、草地、居民地及工矿用地、交通用地面积增加较大, 水域、未利用地面积减少。水土保持措施面积增加, 尤其造林面积增加较大。

通过对开发建设项目的监测, 活鸡兔流域从 50 年代开始开矿, 到 1987 年为止, 共有 4 个煤矿, 3 个为平硐, 1 个为斜井; 到 2001 年, 共有 18 个煤矿, 其中内蒙 7 个, 陕西 11 个。全流域共有露天矿 3 个, 11 个斜井, 4 个平硐; 开挖占地面积 18.0  $km^2$ 。1987 年露天矿占地 26.45  $hm^2$ , 2001 年占地 68.72  $hm^2$ 。

表 1 宏观尺度土壤侵蚀监测结果分析表

流域名称	监测年	总面积/km <sup>2</sup>	水土流失		水力侵蚀			风力侵蚀		
			面积/km <sup>2</sup>	面积比/%	总面积/km <sup>2</sup>	水土流失		总面积/km <sup>2</sup>	水土流失	
						面积/km <sup>2</sup>	面积比/%		面积/km <sup>2</sup>	面积比/%
孤山川	1988		1197.96	93.82	1265.42	1186.54	93.77	11.42	11.42	100.00
	1998	1276.84	1185.66	92.86	1266.29	1175.10	92.80	10.56	10.56	10.00
	差值		-12.30		0.86	-11.44		-0.86	-0.86	
窟野河	1988		8198.61	93.70	5146.65	4908.69	95.38	3603.56	3289.92	91.30
	1998	8750.20	8076.38	92.30	5146.25	4839.70	94.04	3603.95	3236.68	89.81
	差值		-122.23		-0.40	-69.00		0.40	-53.24	
清水川	1988		756.88	85.73	882.88	756.88	85.73			
	1998	882.88	721.44	81.71	882.88	721.44	81.71			
	差值		-35.44		0.00	-35.44				
秃尾河	1988		2963.03	90.36	1059.11	981.90	92.71	2219.95	1981.14	89.24
	1998	3279.07	2921.44	89.09	1059.07	972.29	91.81	2220.00	1949.15	87.80
	差值		-41.59		-0.05	-9.60		0.05	-31.98	
合 计	1988		13116.48	92.44	8354.07	7834.00	93.77	5834.93	5282.48	90.53
	1998	14189.00	12904.92	90.95	8354.48	7708.53	92.27	5834.51	5196.39	89.06
	差值		-211.56		0.41	-125.47		-0.42	-86.09	

表 2 土地利用监测成果表

名称	1987 年	2001 年	差值
农地	3466.78	4619.86	1153.08
林地	6855.57	11122.52	4266.96
草地	5951.98	7280.15	1328.17
水域	1223.74	1043.10	-180.64
居民地及工矿用地	175.34	290.13	114.79
交通用地	17.02	40.57	23.55
未利用地	13987.29	7281.38	-6705.91

表 3 水土保持措施监测成果表 hm<sup>2</sup>; 片(座)

分 类		1987 年		2001 年		变化值	
		数量	面积	数量	面积	数量	面积
基本	梯田	3	10.38	19	43.50	16	33.12
	坝地			5	15.72	5	15.72
农田	川台地	259	715.68	407	1003.83	148	288.15
	小计	262	726.06	431	1063.05	169	336.99
林地	乔木林	640	1121.92	779	1665.62	139	543.70
	灌木林	353	4692.54	699	7779.37	346	3086.83
	疏林地	187	1041.11	262	1677.53	75	636.42
	小计	1180	6855.57	1740	11122.52	560	4266.96
草地	草地	403	5951.98	710	7280.15	307	1328.17
	水库	10	25.83	17	14.45	7	-11.38
工程	坑塘	2	0.35	11	3.57	9	3.22
	小计	12	26.18	28	18.02	16	-8.16

4.3 微观尺度监测成果

利用 GPS 连续两年秋天到现场观测, 得到了大量数据, 但是由于观测次数有限, 只能分析初步结果, 还不能得到量化的数据。经初步对比分析, 经过一个夏季的暴雨冲刷, 沟底、沟头、沟岸都有不同程度的下切和扩张。并且扩张的速度因地貌的不同部位而有差异。这项工作有待进一步研究。图 1 为利用观测数据生成的微观区域 DEM 成果图。

4.4 动态监测 GIS 系统成果

基于 GIS 开发了典型小流域水土保持动态监测信息系统。该系统能够连接图形、属性及影像等数据, 实现了图属一体化查询功能。同时实现了与多媒体系统、办公自动化系统的有效结合。利用 RS 和 GIS 相结合的技术, 实现了图形和属性的叠加分析, 有效地管理了土壤侵蚀数据、1:25 万数字地图、土地利用单元图及影像等数据。另外, 利用该系统可以对比分析不同年代水土保持措施、土壤侵蚀等信息的变化情况, 并进行统计, 以电子表格或统计图的形式输出。

4.5 其它成果

- (1) 探讨了在严重水土流失区开展水土保持监测的技术和方法。
- (2) 建立了项目区水土保持监测数据库系统。包括: 图形

库、图像库、属性库。

(3) 完成了系列图件: 包括清水川、孤山川、窟野河、秃尾河 4 条流域两个时相 TM 卫星影像图(1988 年、1998 年)、土壤侵蚀图、土壤侵蚀动态变化图; 活鸡兔流域 1987 年及 2001 年土地利用与水土保持措施图、土壤侵蚀图、水土保持措施动态变化图、土壤侵蚀动态变化图; 微观监测小流域 DEM 图、数字地形图等。

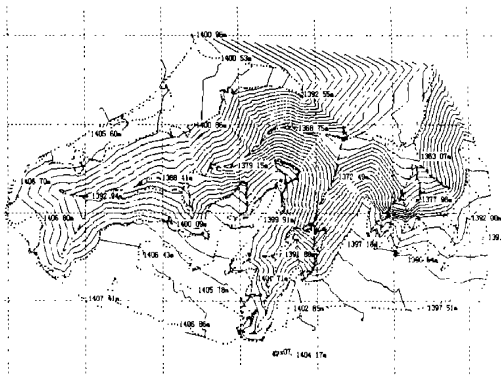


图 1 小流域微观监测 DEM 成果图

(4) 建立了典型流域三维可视化浏览查询系统。除可以进行三维景观浏览外, 还可以进行土壤侵蚀、水土保持措施等属性的交互式查询。

4.6 成果精度

所使用的 TM 卫星影像的精纠正、航空照片扫描、外业测量等工作精度都在规范要求之内, 解译精度在 95% 以上, 接边误差在 1mm 以内, 面积平差限差 0.5%。经专家审查认为, 成果精度满足技术规范要求, 可以作为水土保持动态监测的成果数据。

5 结 论

监测结果表明, 项目区经过 10 多年的综合治理, 水土保持措施总量在增加, 水土流失面积在减少, 土壤侵蚀强度降低。但是, 有些地方水土流失在加剧, 也有破坏植被, 扰动地表, 造成新的水土流失的情况, 应引起有关部门的高度重视。

经过实践证明, 在黄土高原严重水土流失区, 利用“3S”综合技术, 开展水土保持监测是可行的, 可以发挥出“3S”技术所具有的快速、高效、准确、经济的优势。同时, 监测结果将为今后该区域的水土保持规划、预防监督、流域治理以及领导的宏观决策提供科学依据。