

# 区域水土流失快速调查研究初报

杨勤科 李 锐 李智广 张晓萍

(中国科学院水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

**摘 要** 现代空间技术和基于 GIS 的土壤侵蚀定量评价预报技术,使区域水土流失快速调查成为可能。建立水土流失基础数据库,利用遥感技术快速调查和定期更新评价因子,开发空间型土壤流失评价模型系统,在 GIS 环境下进行土壤侵蚀的评价与统计分析,是土壤侵蚀快速调查的基本方法。对土壤侵蚀分类分区系统,土壤侵蚀评价因子选择,区域土壤侵蚀基础数据库建立,中国水土流失评价模型系统等是区域水土流失快速调查中的几个重要问题。

**关键词:** 水土流失 水土保持 遥感调查 快速调查

文献标识码: B 文章编号: 1000-288X(1999)03-0036-04 中图分类号: TP79

## Primary Study on Rapid Survey of Regional Soil Erosion

YANG Qin-ke LI Rui LI Zhi-guang ZHANG Xiao-ping

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling District, Shaanxi Province, 712100, PRC)

**Abstract** The topic of rapid survey of regional soil erosion has been identified based on the analysis of sciences of soil erosion, spatial information technologies and the demand of soil conservation. The necessary and possibility of the survey have been analyzed focussing on the processes, the spatial characters of regional soil erosion and the theory and techniques of spatial informatics. Some important issues, including the classification and regionalization, the parameterization of the evaluation, the modelling of the erosion and the database building of the evaluation, and so on, have been discussed.

**Keywords** soil erosion; soil conservation; remote sensing survey; rapid survey

我国是世界上水土流失最严重的国家之一,政府投入大量的人力和财力开展水土保持工作,取得了举世瞩目的成就。但从总体上看,水土流失仍未得到有效控制,全国水土流失面积由建国初的  $1.53 \times 10^6 \text{ km}^2$  增加到 80 年代的  $3.67 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,目前仍呈增长趋势。水土流失已成为我国社会经济发展中不可忽视的限制因素。及时准确地将水土流失类型、强度、分布的最新数据提供给各级政府和水土保持主管部门,是制定水土保持规划和决策的基本依据。

80 年代以来,遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 和全球定位系统 (GPS) 技术得到迅速发展并趋向一体化 (3S 一体化) 和实用化。遥感技术为区域性、大范围的环境调查和监测提供了时间和空间上连续覆盖的信息源, GIS 技术为空间数据的管理和分析提供了强有力的工具。同时,在土壤流失定量预报和模拟方面,已经由坡面研究走向了流域和区域研究,将模型与 GIS 集成运用,开发了新一代空间型模型,并给予研究尺度的转换以新的关注<sup>[1]</sup>。在 3S 技术的基础上,集成水土流失的空间模型,为区域水土流失的快速调查提供了技术保证<sup>[2]</sup>。

区域水土流失快速调查,将直接为正在开展的全国第 2 次水土流失遥感调查以及建立定期调查和动态监测制度提供技术支持,加速水土保持信息化的进程。并促进水土保持决策的科学化和民主化,进而加速水土流失的治理进度,同时将进一步促进水土保持遥感技术和区域水土保持学的发展和成熟。

## 1 区域水土流失快速调查的理论基础

分析区域水土流失综合过程的特点及其各种影响因子,进而用一组量化指标描述该过程,是水土流失快速调查的理论基础。

水土流失是一个十分复杂的现象和过程,受多种因素的作用和影响,其中地貌、土壤、植被、气候、人为活动是其主要影响因素。50 年代以来,中外土壤侵蚀定量研究<sup>[3-6]</sup>,首先揭示了坡面水土流失与其影响因子的关系。USLE 利用土壤质地、土壤有机质、土壤渗透特性、降雨强度、地面坡度、地面坡长、水土保持措施、植被盖度、作物高度等一系列观测和测试指标计算降雨侵蚀力、坡度坡长、土壤可蚀性、植被覆盖、水保措施 5 个因子值<sup>[7]</sup>。基于 GIS 的土壤流失预报模型 LISEM 则在揭示土壤侵蚀机理的同时,进一步分析了土壤侵蚀的空间差异,及其径流和泥沙在空间上的传输与汇集<sup>[10-12]</sup>。黄土高原的研究中利用了降雨、植被盖度、沟壑密度、相对高差等指标分析评价土壤侵蚀强度<sup>[13]</sup>。WEEP 模型用气候、地形、植物与田间管理、土壤等方面的参数研究径流的产生、汇流与泥沙的搬运与堆积<sup>[8,9]</sup>。中国 21 世纪水土流失趋势预测采用了年径流量、日最大洪水量、水土保持治理面积或水土流失面积作为评价参数<sup>[14]</sup>。

土壤侵蚀区划研究表明<sup>[15-17]</sup>,水土流失过程及其影响因子,均具有地域上的差异,可以对区域水土流失进行多级别区域类型的划分研究。根据不同的任务和目的,可以对水土流失进行不同精度(比例尺)的调查研究。建国以来,为了水土保持工作的需要,在全国<sup>[18]</sup>、区域<sup>[13-19]</sup>、小流域<sup>[20]</sup>等空间层次上分别进行了水土流失调查与制图研究,揭示了水土流失的区域差异性,为相关尺度的水土保持规划提供了基础数据支持。这种多尺度的研究表明,可以根据调查任务需要,选择适当比例尺,快速完成水土流失调查。

水土保持工作是一项社会公益事业,也是一项建设和治理生态环境的社会实践活动。水保资金的筹措,水保工作的组织实施,以及监督执法等均通过各级水土保持管理部门来实现,是一种多级别的组织管理方式,而这种级别恰好与多种尺度的空间区域相联系。国家、省(市、自治区)和地方水土保持工作中,对水土流失数据的详细程度和精度要求不同。国家水土保持决策要求宏观数据,而地方水土保持规划与决策则要求比较详细的数据。

## 2 区域水土流失快速调查的技术支持

### 2.1 遥感技术支持数据快速更新

遥感技术可以连续不断地提供具有 4 维(3 维空间和时间)特征的数字图像,为水土流失快速、准确、动态调查提供了可靠的信息源保证(如 TM 数据覆盖周期 18 d,空间分辨率 30 m)。传统的点线状、静态研究被推广为面上的和动态的研究,从而使调查研究的时空精度得以极大提高。通过遥感图像(结合数字地形图)可以准确、快速、连续地提取植被盖度、土地利用与覆盖、地形等方面的指标,用于水土流失的定量评价。

### 2.2 GIS 支持间数据高效管理

由于水土保持规划与研究对水土流失的时空特征特别关注<sup>[1,12]</sup>,GIS 的发展成熟以及大量数字地图产品的积累与商品化,GIS 技术被应用于水土流失及其要素(如径流)的模拟研究并将土壤侵蚀模型的开发与研究推向了一个新阶段<sup>[11,12]</sup>,即集成管理多源数据(多种比例尺、多种时相、多种专题、多种部门),开发和建立空间型水土流失评价、预报模型。

## 2.3 快速调查方法和技术流程

(1) 分析区域水土流失过程及其影响因子,拟订评价指标体系;(2) 建立区域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、观测研究数据等;(3) 基于 GIS 环境,开发水土流失评价模型;(4) 利用遥感技术快速定期更新有关参数;(5) 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。调查工作流程如图 1 所示。

## 3 区域水土流失快速调查中的几个问题

水土流失过程的综合性、空间性和水土保持组织实施的特殊性,使多种空间尺度区域水土流失的量化描述成为可能,现代空间技术和基于 GIS 的土壤侵蚀定量评价预报技术,为区域水土流失调查的快速连续进行创造了条件。

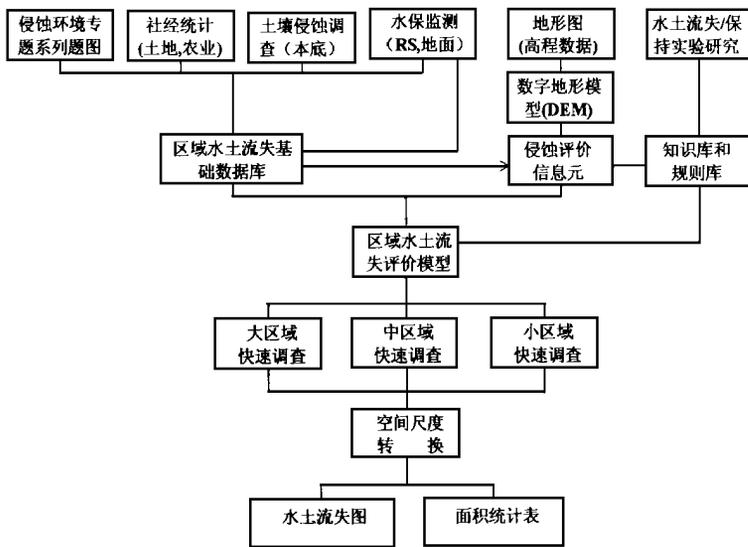


图 1 中国土壤侵蚀快速调查技术路线框图

### 3.1 水土流失分类与分区系统

运用于水土流失调查的分类系统,其实是一种制图单元系统或者工作分类系统,与土壤侵蚀学意义上的分类<sup>[21]</sup>不同。从地理制图学角度看,土壤侵蚀的分类更多地强调土壤侵蚀的发生、过程及微观机理,而制图单元系统则首先要强调其可操作性,强调卫星影像的可解译性(因而被称为遥感分类系统),强调区域组合和空间分布,强调在生产中的实用性。

服务于国家级水土流失调查的侵蚀分类、分区系统各有 3 级<sup>[17]</sup>。各级分类系统分别表示侵蚀营力类型、侵蚀强度类型和侵蚀环境要素组合类型。同时为了制图方便,划分出不明显侵蚀(包括常态侵蚀和堆积)类型。分区系统包括:(1) 侵蚀大区,表示占主导作用的地表侵蚀营力类型;(2) 土壤侵蚀地区,是一组在地质地貌和水热条件组合上大致相似的地区。在东部地区表现为具有一个或数个“侵蚀-堆积地域组合”的单元,在西部地区和青藏高原反映了地表景观条件和外营力作用强度的不同。(3) 水土流失类型区,是侵蚀影响因素、侵蚀类型与侵蚀强度相对一致的区域。

### 3.2 区域水土流失评价因子

水土流失影响因子有多种,这里的评价因子(表 1)指基于区域水土流失过程或者基于统计学分析的对水土流失影响因子的具体量化。不同空间尺度、不同任务的调查中,选

表 1 区域水土流失评价因子

调查类型	主要数据项目
地块/流域	坡度、坡长、土壤质地、植被盖度、土壤渗透性、作物高度
流域	降水、地面物质、植被覆盖度、沟壑密度、相对高差、土地利用类型
区域	降水、地面物质、植被覆盖度、起伏度、土地利用结构
全国	降水量、径流量、治理面积率、土地利用结构

择评价因子的方法不同。根据有关研究,选择适应于土壤流失定量评价因子的原则如下:(1)表示为一个数;(2)用实测的气候、土壤等数据推求;(3)脱离地理坐标系;(4)与区域尺度和调查精度相适应:较小尺度区域反映地面的实际状况,较大尺度区域利用地表统计特征值(以评价单元面积为准)。

### 3.3 基础数据库的建立

建立国家和地区水土保持基础数据库,是实现区域水土流失快速调查的基本保证之一。

(1) 数据库的组成。完整的水土流失基础数据库包括:侵蚀环境背景数据库、区域水土流失调查数据库(本底值)、评价参数库、土壤侵蚀与水土保持知识库<sup>[22]</sup>。

(2) 基本信息元。类似与遥感图像的像元、社会经济数据统计的行政单元等,是空间数据记录的基本单位,也是计算机评价制图的基本图斑单元<sup>[23]</sup>。合理构建基本信息元,是数据集成和高效管理,进行多源数据的多码查询、检索和统计分析的基础。

(3) 数据标准。指数据库中数据指标的项目、数据记录和交换方式、相应的地理坐标系等。

### 3.4 中国水土流失评价模型系统

根据国内外土壤侵蚀定量评价研究的经验,立足于中国土壤侵蚀环境的基本特征、研究成果与资料基础,应尽早组织和开发中国土壤侵蚀定量评价模型系统<sup>[6]</sup>。

(1) 多层次模型。在坡面、小流域、区域和国家等空间层次上分别建立适用于中国具体情况的土壤侵蚀定量评价模型。同时建立模型之间的尺度转换关系,使之构成一个完整的系统。

(2) 多种类模型。根据用途和目的,至少需要开发土壤流失评价和土壤保持效益评价 2 种类型模型,前者主要用于土壤流失评价和预报,后者用于水土保持治理综合效益的评价。

### 3.5 水土流失调查中的空间尺度转换

不同空间尺度的调查,利用的评价指标、模型不尽相同,但是调查结果应该,也必须建立协调的关系。区域研究必须取得坡面研究和小区域研究的支持,小流域治理经验和研究成果必须科学地推广到较大的区域。所有这些都归结为一个问题,即空间尺度的转换。分析和建立土壤侵蚀评价中同一类型的评价参数在不同比例尺间的关系(如平均坡度与坡度的关系等),或者利用空间叠加方法,分析建立小比例尺图像(或图形)的像元(或图斑)与较大比例尺图像(或图形)的像元(或图斑)间的关系,将是比例尺转换的基本途径。

#### 参 考 文 献

- 1 Kirkby M J, Imeson A G, Bergkamp G, et al. Scaling up processes and models from the field plot to the watershed and regional areas. *J. Soil and Water Cons.*, 1996, 51(4): 391- 396
- 2 李锐,杨勤科,等. 现代空间技术在中国水土保持中的应用. *水土保持通报*, 1998(5): 1- 5
- 3 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及因素. *水土保持通报*, 1981(3): 1- 9; 1981(4): 13- 18; 1982(1): 25- 30; 1982(3): 40- 44
- 4 Lane L J, Renard K G, Foster G R et al. Development and application of modern soil erosion prediction technology: The USDA experience. *Aust. J. Soil Res.* 1992, 30: 93- 912
- 5 刘建善. 天水水土保持测验的初步分析. *科学通报*, 1953(12): 59- 65
- 6 杨勤科,李锐. 中国水土流失和水土保持的定量评价研究进展. *水土保持通报*, 1998, 18(5): 13- 18
- 7 Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RU SLE). In: *USDA Agriculture Handbook*, No. 703, 1997.
- 8 Laflen J M, Lane L J, Foster G R. WEPP: A new generation of erosion prediction technology. *J. Soil and Water Cons.*, 1991, 46(1): 34- 38

果评价水土流失综合治理效益,为水土保持规划提供决策支持。

## 2.2 4D技术在流域管理中的具体应用

2.2.1 提供地表状况的基底信息 由从 DEM, DOQ, DRG中提取的地表信息(如土壤侵蚀状况、土地利用状况等)以及 DLG/DTI和各种统计资料构建的 4D环境本底数据库,提供水分、光照、地形、土壤及社会经济、人文状况等信息,可以用于流域治理规划、农业生产布局、土地生产力分析评价及水土流失监测等生产实践。DOQ提供直观易读的、反映地面事实的影像信息,而且经过高精度纠正的遥感影像可解决人们所重视的精度问题

2.2.2 长度、面积、体积的量算 4D产品支持下的长度、面积、体积量算及数据管理、分析功能强大的 GIS基础平台将使水土流失综合治理效益评价更为准确

2.2.3 提供土壤侵蚀变化、土地利用变化的动态信息 RS、GPS及时或周期性地提供地表信息,生成 DOQ并更新 DRG,DLG,使我们能及时发现土壤侵蚀变化、土地利用变化等,为土壤侵蚀预测、流域治理决策提供实时性强、精确度高的科学依据。

### 参 考 文 献

- 1 林宗坚. 4D技术及其应用. 测绘工程, 1997(9): 1- 5
  - 2 李紫薇,等. 基于 4D技术的洪灾预报与评估运行服务系统. 遥感信息, 1998(3): 5- 8
  - 3 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测. 北京: 科学出版社, 1995
  - 4 刘文熙. 对 3S集成技术的一些认识. 四川测绘, 1996(3): 99- 103
  - 5 王晓栋,崔伟宏. 3S技术在土地利用与覆被动态监测中的作用. 国土与自然资源研究, 1998(3): 27- 31
  - 6 Joachim Hohle. 数字正射像片的生产经验. 测绘通报, 1997(11): 38- 40
  - 7 柯正谊,何建邦,池天河. 数字地面模型. 北京: 中国科学出版社, 1993
  - 8 何伟,李壁成. 小流域 DTM的建立及其在水土保持遥感动态监测中的应用. 水土保持研究, 1998, 4(2): 141- 147
- 
- (上接第 39页)
- 9 刘宝元,史培军. WEPP水蚀预报流域模型. 水土保持通报, 1998, 18(5): 6- 12
  - 10 De Roo A P J, Wesseling C G, Ritsema C J. LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins I Theory: input and output. Hydrological Processes, 1996, 10: 1107- 1118
  - 11 De Roo A P J, Wesseling C G, Ritsema C J. LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins II sensitivity analysis, validation and application. Hydrological Processes, 1996, 10: 1107- 1118
  - 12 杨勤科,李锐. LISEM: 一个基于 GIS的流域土壤流失预报模型. 水土保持通报, 1998, 18(3): 82- 89
  - 13 卢金发,等. 黄土高原地区资源与环境遥感系列制图研究. 北京: 地震出版社, 1996. 71- 113
  - 14 周佩华. 2000年中国水土流失趋势预测与防治对策. 中国科学院水土保持研究所集刊, 1988, 7: 57- 71
  - 15 朱显谟. 有关黄河中游土壤侵蚀区划问题. 土壤通报, 1956(1): 1- 6
  - 16 黄秉维. 编制黄河中游流域土壤侵蚀分区图的经验教训. 科学通报, 1955(12): 15- 21
  - 17 杨勤科,王斌科. 中国土壤侵蚀的主要类型与区域特征. 见: 现代土壤研究, 北京: 农业出版社, 1994
  - 18 朱显谟. 1: 1500万中国土壤侵蚀图(1965年). 中华人民共和国自然地图集, 北京: 科学出版社, 1965
  - 19 罗来兴,朱震达. 编制黄土高原水土流失与水土保持图的说明与体会. 见: 中国地理学会地貌专业委员会编. 中国地理学会一九六五年地貌学术讨论会文集. 北京: 科学出版社, 1965. 126- 134
  - 20 中国科学院水利部水土保持研究所编. 黄土高原试验示范区综合治理地图集. 北京: 测绘出版社, 1992.
  - 21 朱显谟. 黄土区土壤侵蚀的分类. 土壤学报, 1956, 4(2): 99- 116
  - 22 张晓萍,杨勤科. 中国土壤侵蚀环境背景数据库的设计与建立. 水土保持通报, 1998, 18(5): 35- 39
  - 23 杨勤科,李锐. 论矢量地理信息系统的基本信息元. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 4(1): 66- 70