

# 宏观水土保持监测研究及其进展

许 峰<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 水利部 水土保持监测中心, 北京 100053)

**摘 要:** 宏观水土保持监测是水土保持监测两大重要分支之一, 在水土流失严重威胁区域生态环境的中国具有重要意义。它在监测目的、对象、方法和手段等方面与微观监测都有显著区别。关于宏观水土保持监测的理论问题可以分为关于理论的研究和区域水土保持动态及其环境影响研究, 而且都体现出其研究尺度的明显影响。目前在我国其研究和实践发展很快, 多数研究都应用了遥感和 GIS 方法, 但基本理论研究还很缺乏。随着我国水土保持监测网络的建成和地球信息技术的进步, 宏观水土保持监测研究的地位和作用将继续得到加强。

**关键词:** 宏观水土保持监测; 理论; 进展

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)04-0072-05

中图分类号: S157.1

## Research Progress of Macroscopic Monitoring for Soil and Water Conservation

XU Feng<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Monitoring Center of Soil and Water Conservation, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

**Abstract** As an essential branch of the soil and water conservation monitoring, the macroscopic monitoring for soil conservation is the critical data source in China, which is undertaking the threaten of serious soil erosion. The macroscopic monitoring has significant difference with the microscopic monitoring in their aims, monitoring objects, methods, and technologies. The related research work include 2 fields: research about theory, and regional dynamic and relevant environmental impacts of soil erosion. Research on these theories develops fast in China, and RS & GIS methods have been applied by most research work. However, the study on basic theories still is almost absent. With the national monitoring net for soil and water conservation constructing, and the Geomatics technologies developing, its booming perspective will be displayed.

**Keywords** macroscopic soil conservation monitoring theories progress

### 1 前 言

宏观水土保持监测指对宏观尺度上土壤侵蚀的发生、发展、环境影响及其控制的宏观状况的测定和分析。与水土保持的微观监测一样, 都属水土保持监测的重要领域。但是由于研究尺度的差异, 宏观水土保持监测研究在服务对象、研究内容、研究方法等方面和服务于坡面和小流域的微观监测研究都有较大差异。前者亦可称面层次的监测, 主要目的是了解各种宏观地域(范围可以从大洲一级地理区域到地市级行政区域, 即从以全球环境研究为背景的巨观到以土壤侵蚀过程与机理研究为背景的微观之间——后者在我国由于水土保持治理的管理特点, 通常不超过小流域, 最多不超过县级行政区域)的水土流失的总体情况, 主要监测内容是研究或管理地域内各种土壤侵

蚀类型的面积、强度和程度; 以及相关的植被覆盖、土地利用等地表信息的动态。目前, GIS 技术支持下的遥感监测方法是其基本方法。依据区域水土流失<sup>[1]</sup>的概念, 宏观水土保持监测也可以称为区域水土保持监测。我国各种类型的水土流失都很严重, 在巨大的人口压力下, 对生态环境一直, 而且还将长期造成严重影响。及时了解宏观地域水土流失的发展态势, 分析预测水土流失对生态环境的宏观影响, 都是生态建设和环境保护的重要基础。因此, 宏观水土保持监测将长期是相关管理和研究领域的重要课题。

### 2 宏观水保监测研究主要特点探讨

#### 2.1 尺度问题

尺度问题直接决定宏观水土保持监测及其研究的根本特点和意义。“宏观”, 主要指的(空间)研究尺

收稿日期: 2002-06-21

资助项目: 全国水土保持监测网络与信息系统建设项目(国家计委[2002]1176号)

作者简介: 许峰(1972-), 男(汉族), 工程师, 福建人, 博士后。主要从事水土保持监测、地理信息系统应用研究等工作。E-mail: xufeng@mw.r.

gov.cn

度不仅超过多数水土保持研究所关注的坡面和小流域,而且与地理学之“区域”相当,如大江大河流域,面积大至数省的地域,或黄土高原这样的大型自然地理单元(至于大洲一级的更大地理区域,目前研究还极少涉及,在此暂不论。另外在此尺度及微观尺度之间,还有一些具有交叉特点的研究尺度,在此亦不作分析)。苏理宏等在对遥感尺度问题的研究中指出,不同的研究、观测尺度下研究对象之间关系将具有不同的规律,这种差异有时甚至是十分显著的<sup>[2]</sup>。无论时间或空间尺度,土壤侵蚀和水土保持同样也具有类似的特点。就研究方法而言,这种特点本质上是由相应的知识框架结构性差异所决定的。宏观尺度下土壤侵蚀影响因子及相关因子的空间宏观格局有着密切关系。如大面积成片分布的风蚀地区,风蚀影响范围的扩展与土地利用的关系,就必须从对宏观土地利用覆盖的动态来分析,而不可能从小范围微观尺度上土壤特性和风蚀地貌的发展来分析;研究南方丘陵山区土壤侵蚀的缓解与该地区水体泥沙淤积的关系,就必须分析该地区的整体景观格局、植被状况、气象特点与水情等,而不可能仅从有限的坡面与小流域资料来分析。从时间上看,由土壤侵蚀环境整体变化速率所决定,宏观水土保持监测的尺度也比微观监测长,但与监测的区域有关。因此,多数研究所采用的尺度通常都在年以上。

因此,仅就我国水土保持监测的基础资料条件而言,微观监测不可能取代宏观监测;同时,更重要的是,宏观监测研究的主要对象是大尺度下,整体环境中土壤侵蚀与人为水土保持作用及相关因子之间的作用,这些作用的规律具有不可替代的宏观尺度性。宏观研究尺度决定了宏观水土保持监测的对象主要是反映区域宏观环境中土壤侵蚀的性状因子、影响因子。就研究方法论而言,这些因子的选取,一方面取决于它们是否对宏观环境有显著影响,另一方面,取决于当前的技术手段是否容易获得其数据。宏观水土保持监测及其研究的目的是为全球变化、区域环境动态监测,以及国际、全国、区域性资源环境政策的决策提供支持。

## 2.2 研究内容

从当前多数研究的内容划分,宏观水土保持监测研究大体可以分为区域水土保持动态及其环境效应研究和关于理论的研究。区域水土保持动态及其环境效应研究涉及面很广,目前国内较为集中的研究内容有区域水土保持现状分析、动态分析、区域对比、环境效应等。关于理论的研究又分基本理论、方法和技术的应用理论、管理问题三个层面的研究。所谓基本理

论,主要涉及宏观水土保持监测的根本意义和任务、内容、方法体系、分析与评价基本理论等。方法和技术的应用理论主要涉及宏观监测方法研究,尤其是地球信息科技应用的有关方法问题。监测管理问题主要探讨宏观监测的组织和管理问题。关于基本理论的研究最能反映宏观监测的特点,目前也最为欠缺。

2.2.1 关于理论的研究 虽然宏观水土保持监测研究是一个应用领域的研究方向,但其深入的关于理论的研究仍然涉及宏观资源环境监测的方法论甚至认识论,不过目前该领域的研究处于起步阶段,仅能称为关于理论的研究。在区域环境问题愈来愈成为研究热点的背景下,宏观土壤侵蚀规律及其防治特点的研究需求日趋彰明,宏观水土保持监测基本理论的研究更显欠缺。如何组织和开展区域水土保持动态及其环境效应研究,都需要对宏观水土保持监测与微观监测、资源环境监测以及其它领域的差异,宏观水土保持监测在不同区域的方法体系、监测指标体系,网络化背景下监测信息的管理与监测组织等领域进行深入探讨。

对宏观水土保持监测及其研究的认识决定了其方法和技术的应用理论研究的特点。和土地利用监测、林业资源监测、环境质量监测相比,宏观水土保持监测研究着重考虑影响土壤侵蚀发生、发展和宏观分布的地表因素,同时还重视相关的区域水资源(包括地表水、包气带水)、气候(区域与相邻地区,甚至大洲尺度的气候)、社会经济条件(如水土保持产业化水平等)的格局与动态。在宏观土壤侵蚀与区域环境相互作用研究的基础上,依据不同地区的土壤侵蚀分布特点的关键驱动因子来确定监测内容和指标体系是目前理论研究的重要内容。从监测手段考虑,监测指标和分类体系还应该有利于保证观测资料的精度。研究指出,过细的分类,尤其是土地覆盖十分接近的类型,容易影响基于 TM 影像的区域土地覆盖监测的精度<sup>[3]</sup>。宏观水土保持监测的内容包括空间信息(如土壤侵蚀的面积、位置、地貌特点等)和水土保持属性信息(土壤特性、植被、径流和水资源情况等)两部分,但无论对哪一部分,除了考虑管理上对获取信息的侧重要求外,还因为不同的工作尺度,尤其是 GIS 支持下的监测与数字专题地图的比例尺直接相关,相应的空间信息标准应考虑该比例尺下的物理意义。

目前成熟的土壤侵蚀预测模型基本上都是基于小尺度侵蚀过程分析的,在我国当前的资料条件下,很难通过微观监测资料的尺度转换来获得区域性侵蚀动态的预测分析资料。因此,有必要进行区域土壤侵蚀预测模型的研究,这也是前述宏观监测量化的

核心问题。如前所述,由于宏观尺度决定的土壤侵蚀规律差异,模型因子的选取、参数表达都应符合该尺度分析的要求。鉴于宏观土壤侵蚀规律研究的薄弱现状,初期的模型研究将以随机模型或经验模型为主。

宏观监测管理组织问题的研究除了监测网络的设计和组织的,很重要的一个内容就是微观监测资料与宏观监测信息的整合,尤其是在利用微观监测资料对宏观监测信息进行校正和数据补充等方面。另外,根据宏观监测信息反映的动态,还应对监测网络中微观监测的布局及监测内容进行调整。

2.2.2 区域水土保持动态及其环境效应研究 由研究目的所决定,我国多数区域性研究集中在省级、县级行政区域和西部地区。区域水土保持动态研究的首要内容是土壤侵蚀及其影响因素的整体状况、分布变化的分析,最终目的是对土壤侵蚀动态对区域环境的相互影响作出评价或预测。因此其内容与所使用的信息获取手段与表达方式、服务的研究和决策层次息息相关。在这些研究中,由于缺乏区域土壤侵蚀预测工具,对区域土壤侵蚀与水环境、土壤养分循环、土地资源、气候、农村经济发展的相互影响进行定量研究还很困难,因此相关研究对管理决策的支持还只限于定性或半定性的程度。

### 2.3 研究方法

宏观水土保持监测研究的方法指研究本身的方法,而不是对宏观水土保持监测方法进行的研究。由于宏观水土保持监测研究与全球变化、区域宏观环境政策等研究的密切关系,其方法体现出高度的综合性与强烈的区域性。

无论对宏观土壤侵蚀分布规律,驱动因子还是环境影响评价的研究,都应在区域的背景考虑土地利用、植被覆盖、土壤性状、地貌特点、水资源与气候状况等自然地理要素,这些要素的空间分布及综合反映的景观格局等,所有的要素在此空间尺度上密切相关而且量化指标波动较大,使简化背景的研究几乎成为不可能。同时,宏观动态研究相应要求的时间尺度也较长,则综合性的背景考虑更是不可或缺。研究的要素众多而且复杂,则在研究方法上将体现出统计方法的优势地位;而且区域性的特点也是不可避免的。即使对与全球变化相关的研究,也必须落实到对区域性土壤侵蚀与水土保持动态的分析上。

由于综合性与区域性的特点,宏观水土保持监测研究将较多地使用地理学和生态学方法。同时,由主要宏观监测技术所决定,多数研究将与 RS-GIS 应用有着密切联系。例如,在微观资料的尺度转换中,GIS 支持即不可缺少<sup>[4]</sup>。

## 3 国内研究近期进展简述

由于土壤侵蚀整体程度不及我国,印度等发展中国家,发达国家较少将宏观水土流失监测作为单独领域进行研究,相关的研究分散在土地利用或景观格局动态研究等领域中。宏观水土保持监测研究在国内明显成为一个独立研究方向始于 20 世纪 80 年代,这与 GIS 技术的快速发展是分不开的。我国在同一时期也陆续开展了关于区域土壤侵蚀调查分析和预测的研究。早期的研究尺度一般较小,对土壤侵蚀环境影响的分析还很少。我国于 1985 年、1999 年、2001 年后先后开展了全国第一、二、三次土壤侵蚀遥感调查,近年还开展了荒漠化调查。

依托这些工作,宏观水土保持监测研究发展很快,对宏观监测意义、方法体系、监测资料应用的研究得到全面开展。而我国水土保持监测机构在 1998 年以后陆续成立,目前七大流域机构和 20 个省区市的监测站网已经开始运行,为宏观水土保持监测研究奠定了可靠的数据基础。2001 年中国水土保持学会监测专业委员会成立,标志着水土保持监测研究,包括宏观监测研究已经成为一个比较独立和成熟的研究领域。

中国科学院水土保持研究所在国内最早开始系统地水土保持宏观监测的研究,重点是区域水土流失评价及预报,在宏观尺度上选取适当的水土流失影响因子量化表达方式方面取得了相当进展<sup>[5]</sup>。龙开元等在景观生态破坏评价研究中比较了指标分等方法 and 标准化方法对区域对比的长短<sup>[6]</sup>。郑新奇等在区域生态环境质量评价中突出了因素值的显著作用区间对指标量化的作用<sup>[7]</sup>。近期丛沛桐等在水土流失等级划分中还应用了 BP 人工神经网络技术<sup>[8]</sup>,都可以供区域水土保持评价参考。以遥感影像作为水土流失状况的主要信息源进行解译分析一直是区域水土流失分析的重要内容。由于水土流失影响因素的复杂性,从 80 年代应用 TM 影像监测水土流失现状<sup>[9]</sup>到全国第二次土壤侵蚀遥感调查,国内采用的主要解译手段仍然还是人机交互判读。此外,遥感光谱分析法、参数遥感定量法等应用还有不少局限。杨胜天等发展的智能化土壤侵蚀遥感解译系统系基于专家知识和认知过程的推理-优化机助解译方法<sup>[10]</sup>,是近年该领域的一个突破。鉴于区域土壤侵蚀状况量化的困难,我国三次全国土壤侵蚀遥感调查都采用依主导侵蚀营力分类后根据影响因子对侵蚀分级。

土壤侵蚀的环境效应研究热点之一是土壤侵蚀及其防治通过土地利用、植被状况的改变如何影响土

壤碳循环,如水土流失地区的退耕还林草将有利于提高土壤有机碳储量,减少大气 CO<sub>2</sub> 含量<sup>[11]</sup>。孙枢等指出,模拟与虚拟研究已经成为解决资源与环境问题途径的重要手段<sup>[12]</sup>。邓慧平论及可以应用时间序列分析气候变化显著周期、旱涝与温室效应,并以 GIS-水文模型—土壤侵蚀与泥沙输送模型集成分析气候变化对水土流失的影响<sup>[13]</sup>。Ge Sun et al 将降雨侵蚀力 (USLE 的 R 值) 模型与气候变化预测模型相结合,预测了未来 100 a 内近、中、远 3 个时段气候变化对我国土壤侵蚀的影响。其研究表明,21 世纪内土壤侵蚀仍然是我国环境的巨大挑战<sup>[14]</sup>。为了监测、研究不同尺度土壤侵蚀与全球变化的相互影响,GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystem) 于 1995 年启动作为其核心研究项目的 SEN (Soil Erosion Network) 项目,联合了全世界 10 个国家的 18 套大型监测数据库以及更多的实验数据库<sup>[15]</sup>,是当前有关土壤侵蚀监测领域最大的国际协作项目。该项目研究对热带地区土地利用、土壤有机物质循环、沟道侵蚀和现有土壤侵蚀预测模型的适用性检验尤其重视。在气候—土地利用—土壤—水资源与土壤侵蚀相互作用的研究中,区域土壤侵蚀预报模型是必不可少的。目前除了在区域土壤侵蚀预报模型方面的研究<sup>[1,5]</sup>外,朱启疆等近期提出土壤侵蚀信息熵<sup>[16]</sup>,作为地表可蚀性的指标,代表了另一种以系统有序程度部分替代侵蚀量指标的尝试。但这种方法在土壤侵蚀信息熵模型的因子选取和指标分级方面还需要继续完善。在土壤侵蚀与其环境关系方面,区域性的研究较少。相关领域中,刘希林讨论了区域泥石流风险评价的方法<sup>[17]</sup>,将风险度定义为危险度×易损度,综合了相关的自然与人文因素的影响。董玉祥在对西藏沙漠化驱动力研究<sup>[18]</sup>中发现,人为活动较强的农区,人为活动对沙漠化灾害的驱动作用相对较强,人为活动较弱的牧区气候干旱化的作用较强。这些研究对分析区域土壤侵蚀的环境危害及自然—人为环境对土壤侵蚀的影响都很有意义。为更好地研究这些问题,针对区域特色建立水土保持监测技术体系的研究也已经开始<sup>[19]</sup>。

在研究尺度方面,杨存建等讨论了土地利用数据的尺度转化精度损失,是宏观水土保持监测中经常遇到的问题。基于 GIS 的网格化分析,必须考虑研究尺度所对应的数据尺度<sup>[20]</sup>。

宏观监测的成果将直接为区域资源环境决策提供支持,目前国内此方面研究已经有较好的起步,如应用遥感监测资料为云南省退耕还林草决策提供了初步分析,是在宏观尺度下应用监测成果的尝试<sup>[21]</sup>。

越来越多的研究开始利用宏观模型讨论区域水土流失的影响<sup>[1]</sup>。不过对决策支持的相关研究,还需要尽可能在区域人文—自然背景下考虑更多的影响因素,以及水土流失对环境各要素的综合影响。我国的自然资源与环境条件特点、人口压力和发展需求都决定了水土保持在资源可持续利用和环境保护中具有独特的重要地位。随着中国水土保持监测网络的建成完善和地球信息技术的进步,我国宏观水土保持监测研究将在区域环境研究与管理决策中起到越来越重要的作用。全球土壤变化已经成为土壤学研究的战略重点<sup>[22]</sup>,宏观水土保持监测的研究同时将为全球土壤水和相关环境因子时空演替的研究提供有力支持。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 胡良军,李锐,杨勤科.基于 GIS 的区域水土流失评价研究[J].土壤学报,2001,38(2): 167-175.
- [2] 苏理宏,李小文,黄裕霞.遥感尺度问题研究进展[J].地球科学进展,2001,16(4): 544-548.
- [3] Zhu Zhiliang, Yang Limin, Stephen V. Steman et al. Accuracy assessment for the U. S. Geological survey regional land-cover mapping program: New York and new Jersey Region[J]. Photogrammetric engineering & remote sensing, 2000, 66(12): 1425-1435.
- [4] Godert W J van Lynden, Stephan Mantel. The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping—some user experiences and expectations[J]. JAG, 2001, 3(1): 61-68.
- [5] 杨勤科,李锐,王占礼等.中国水土流失宏观动态评价与趋势预测研究[M].见:李锐,杨勤科主编.区域水土流失快速调查与管理信息系统研究.郑州:黄河水利出版社,2000. 14-18.
- [6] 龙开元,谢炳庚,谢光辉.景观生态破坏评价指标体系的建立方法和应用[J].山地学报,2001,19(1): 64-68.
- [7] 郑新奇,王爱萍.基于 RS 与 GIS 的区域生态环境质量综合评价研究——以山东省为例[J].环境科学学报,2000,20(4): 489-493.
- [8] 丛沛桐,阎秀峰,张玉红,等.应用 BP 神经网络技术划分水土流失等级[J].水土保持学报,2000,14(4): 43-46.
- [9] 曾开泉.应用 TM 热红外图像和相关比值处理监测水土流失现状[J].水土保持学报,1989,3(1): 10-19.
- [10] 杨胜天,朱启疆,李智广.智能化土壤侵蚀遥感译解系统[J].水土保持学报,2002,16(1): 54-57.
- [11] 李锐,杨勤科,温仲明,等.区域土地利用变化环境效应研究综述[J].水土保持通报,2002,22(2): 65-70.
- [12] 孙枢,李晓波.我国资源与环境科学近期发展战略刍议[J].地球科学进展,2001,16(5): 726-733.
- [13] 邓慧平.气候与土地利用变化对水文水资源的影响研究[J].地球科学进展,2001,16(3): 436-441.

- [14] Ge Sun, Steven G. McNulty, Jennifer Moore et al. Potential impacts of climate on rainfall erosivity and water availability in China in the next 100 years [C]. In: Proceedings of the 12th international soil conservation organization conference (Volume 2). Beijing: Tsinghua university press. 2002. 244- 250.
- [15] Boardman C, Valentin J, Favis-Mortlock D. Ingram et al. The GCTE soil erosion network [C]. In: Proceedings of the 12th international soil conservation organization conference (Volume 2). Beijing: Tsinghua university press. 2002. 299- 305.
- [16] 朱启疆, 帅艳民, 陈雪, 等. 土壤侵蚀信息熵: 单元地表可蚀性的综合度量指标 [J]. 水土保持学报. 2000, 16(3): 50- 53.
- [17] 刘希林. 区域泥石流风险评价研究 [J]. 自然灾害学报, 2000, 9(1): 54- 61.
- [18] 董玉祥. 西藏沙漠化灾害现状及其驱动力研究 [J]. 自然灾害学报, 2001, 10(2): 96- 102.
- [19] 胡建民, 左长清. 关于江西省水土流失动态监测的构想 [J]. 水土保持通报, 2002, 22(1): 51- 53.
- [20] 杨存建, 刘纪远, 张增祥, 等. 土地利用数据尺度转换的精度损失分析 [J]. 山地学报. 2001, 19(3): 258- 264.
- [21] 杨存建, 刘纪远, 张增祥, 等. 遥感和 GIS 支持下的云南省退耕还林还草决策分析 [J]. 地理学报. 2001, 56(2): 181- 188.
- [22] 赵其国. 21 世纪土壤科学展望 [J]. 地球科学进展, 2001, 16(5): 704- 709.

## 《水土保持通报》第四届 (2001—2004) 编委会成员名单

### 编委会主任

田均良 中国科学院水利部水土保持研究所研究员 博士生导师

### 编委会副主任

邵明安 中国科学院水利部水土保持研究所副所长 研究员 博士生导师

刘震 水利部水土保持司副司长 高级工程师

王修 《水土保持通报》专职主编 副编审

### 特邀编委 (按姓氏笔划排序)

山仑 王鑫 朱显谟 刘昌明 安芷生 赵其国 唐克丽 景可  
程国栋 D. E. Walling(英国)

### 编委成员 (按姓氏笔划排序)

卜崇德 于振江 马为民 马志尊 王彦成 王海宁 王建林 王修  
王丽槐 田均良 史学正 冯明汉 刘宝元 刘国彬 刘震 李锐  
李占斌 李相玺 李靖 李日生 李定强 李胜利 邵明安 吴发启  
吴普特 张效武 张信宝 张建华 张殿发 陈循谦 赵光耀 周伏建  
周万龙 范允安 章明奎 崔中兴

Chi-hua Huang(美国) D. A. Lobb(加拿大) Robert Horton(美国) T. A. Quine(英

国)