

基于 GIS 的小流域水土流失综合治理研究进展

倪含斌¹, 张丽萍^{1, 2}, 倪含辉³

(1. 浙江大学环境与资源学院水土资源与环境研究所, 杭州 310029;

2 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100;

3 中天建设集团, 东阳 322100)

摘 要: 小流域水土流失综合治理是我国水土流失治理的重要经验之一。基于 GIS 的小流域水土流失综合治理研究是目前研究小流域治理的主要方向。从土壤侵蚀遥感制图研究、小流域土壤信息系统研究、小流域水土保持信息系统研究等方面回顾了基于 GIS 的小流域水土流失综合治理研究的发展过程, 并从水土保持动态监测研究、土壤侵蚀模型研究、水土保持规划研究等方面综述了基于 GIS 的小流域水土流失综合治理的研究现状。

关键词: 小流域; 水土流失; 综合治理; GIS

中图分类号: S157; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)02-0066-03

A Research Progress on the Comprehensive Control of Soil and Water Loss in Small Watershed Based on GIS

NI Han-bin¹, ZHANG Li-ping^{1, 2}, NI Han-hui³

(1. Institute of Soil and Water Resource and Environment Sciences, College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

2 State Key Lab of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Zhongtian Construction Group Co Ltd., Dongyang 322100, China)

Abstract: The comprehensive control of soil and water loss in small watershed is one of important experiences of soil and water conservation in China, whose researches based on GIS are the main directions of studies on the small watershed. The research history of the comprehensive control of soil and water loss in small watershed based on GIS from the soil erosion drawing based on remote sensing, soil information systems, to soil and water information systems was reviewed. The research status in this fields from the dynamic monitoring, the soil erosion model, to the programming of soil and water conservation was summarized too.

Key words: small watershed; water and soil loss; comprehensive control; GIS

水土流失问题按研究尺度不同可以分为坡面、小流域和区域研究三个层次。其中小流域是指面积不太大, 土壤侵蚀自成系统, 生态系统便于调控的流域^[1]。小流域水土流失综合治理以小流域为单元研究水土流失规律, 通过合理规划农林牧副各业用地和安排水土保持措施, 达到治理水土流失、改善生态环境的目标。小流域水土流失综合治理研究领域众多, 涉及到大量的数据和信息, 是一项复杂的系统工程。

20 世纪 80 年代, 随着计算机和信息技术的快速发展, 地理信息系统(GIS)被广泛应用于水土保持研究中。GIS 的技术优势在于它的混合数据结构 and 有效的数据集成、独特的地理空间分析能力、快速的空间定位搜索和复杂的查询功能、强大的图形创造和可视化表达手段, 以及地理过程的演化模拟和空间决策支持功能等^[2]。而这些功能正是小流域水土流失综合治理研究所需要的。本文回顾了基于 GIS 的小流域水土流失综合治理研究的发展过程, 并对该领域研究现

状进行了综述。

1 发展过程

我国是世界上较早开展小流域水土流失综合治理的国家之一。早在 20 世纪 50 年代, 我国就开始探讨小流域综合治理模式^[3]。自水利部于 1980 年明确提出水土保持要以小流域为单元进行治理以来, 以黄土高原水土流失区为代表的的小流域水土流失综合治理已取得丰硕的成果。

了解各小流域土壤侵蚀现状是进行小流域水土流失治理的基础, 而这些工作都是通过对大量的数据获取与分析后获得的。遥感可以快速、准确地提供小流域水土流失综合治理研究所需的各种数据与信息。地理信息系统以遥感数据为重要的信息源, 它是在遥感技术和计算机技术的基础上发展起来的。GIS 在小流域水土流失综合治理研究中的应用也是与遥感技术和计算机技术的应用密不可分的。遥感和 GIS,

收稿日期: 2005-05-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40271071); 中国科学院黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-113)

作者简介: 倪含斌(1976-), 男, 浙江金华人, 助理工程师, 浙江大学环资学院研究生, 主要从事水土环境工程研究。

是进行土壤制图、小流域土壤信息系统研究、小流域水土保持信息系统研究的重要技术支持。

1.1 土壤侵蚀遥感制图研究

结合遥感技术的地理信息系统首先应用在土壤遥感制图研究中。20世纪50年代,我国开始应用航片技术进行土壤调查制图^[4]。20世纪70年代,开始应用计算机技术和遥感技术进行地图制图^[5]。1977年诞生了我国第一张由机助制图输出的全要素地图^[6]。20世纪80年代,小流域水土流失治理研究中开始采用GIS技术进行大比例尺土壤制图。中国科学院、水利部西北水土保持研究所利用1987年和1990年两年专门为监测黄土高原综合治理试验示范区综合治理进展而拍摄的红外航片,结合计算机数字化地形模拟和航片扫描处理技术,进行了包括土地类型图、土地利用现状图、综合治理评价图、坡度分级图、土壤侵蚀类型图等大比例尺专题地图集^[7]。武春龙、江忠善等^[8]采用彩色红外航片,结合野外实地调查,编制丁安塞县纸坊沟小流域1:1万的土壤侵蚀类型图。杨平^[9]应用GIS进行榆林市土地资源管理研究,绘制出小流域土壤侵蚀类型分布图,有助于对黄土丘陵区土壤侵蚀类型特征规律的认识。

1.2 小流域土壤信息系统研究

随着我国土壤侵蚀研究方法和手段的不断提高,遥感数据开始应用于土壤侵蚀量分析研究中^[10]。在遥感技术发展的基础上^[11],结合GIS,开始了土壤信息系统研究。土壤信息系统是在GIS基础上发展的专业信息系统。它是在计算机、硬件支持下,将土壤及其相关信息按照空间分布和地理坐标,以一定的编码和格式输入、存储、检索、显示和综合分析的应用与管理技术系统。而小流域土壤信息系统是以小流域为研究区的土壤信息系统。20世纪80年代,我国开始进行小流域土壤数据库的建立、小流域土壤信息系统的研制和应用工作^[12,13]。J. W. Whiteney、陈永宗等主持的中国北方土壤侵蚀管理地理信息系统(SEM GIS),利用GIS,把相关的模型(土壤侵蚀模型、土地生产力模型、经济评价模型、决策支持模型)联接起来,以模拟各种管理措施对土壤侵蚀、土地生产力和经济效益的影响^[14]。中国科学院南京土壤所进行了江西红壤生态试验站土壤信息系统研究^[4]。

1.3 小流域水土保持信息系统研究

为了满足小流域水土流失综合治理开发与管理的需要,通过建立小流域数据库、小流域数字地形模型,具有统计分析、规划预测与动态仿真和编制专题地图等功能的小流域水土保持信息系统是地理信息系统在小流域水土流失综合治理研究中的重要进展。李壁成、李锐等根据国家“七五”科技攻关任务的要求,在陕北安塞县纸坊沟等重点治理小流域进行了小流域水土保持信息系统研究,并获得了重要的研究成果^[15,16]。

2 研究现状

目前GIS在小流域水土流失综合治理研究中主要应用于水土流失动态监测研究、土壤侵蚀模型研究、水土保持规划研究等领域。

2.1 基于GIS的小流域水土流失动态监测研究

小流域水土流失动态监测是小流域水土流失综合治理的基础资料,是现代水土保持工作不可或缺的部分。通过对整个小流域水土流失状况的动态监测(包括水土流失调查和制图等工作),可以了解该流域水土流失发展趋势,为水土保持规划提供基础数据^[17]。

GIS由于具有强大的空间地理数据管理和空间分析等功能而被广泛地用于小流域水土流失动态监测中。张帆等^[18]利用遥感信息和GIS技术,进行了河北省蔚县水土流失动态监测与治理成效评价。赵晓丽等^[19]应用RS和GIS相结合的方法在西藏中部地区进行土壤侵蚀动态监测研究,建立了土壤侵蚀分类系统和强度分析模型。詹小国等^[20]利用遥感和地理信息系统技术进行三峡库区水土流失进行动态监测。利用ARC/INFO中的GRID工具进行各类水土流失因素图的空间分析,估算了各县或小流域的水土流失强度,并计算出相应强度下的水土流失面积。张登荣等^[21]进行了基于RS与GIS的水土流失动态监测体系研究,提出了在GIS支持下,利用土壤背景值和数字地形模型可实现水土流失潜在可能性分析,及利用GIS空间数据处理技术可实现基于像素的地面逐点分析,满足对水土流失逐点定量分析的要求。

2.2 基于GIS的小流域土壤侵蚀模型研究

由于小流域在地质基础、地貌形态、侵蚀方式、产沙输沙过程等方面具有相对一致性,以小流域为单元建立模型是研究小流域水土流失的重要途径。基于GIS的小流域土壤侵蚀模型是进行土壤侵蚀过程定量研究与土壤侵蚀评价研究的有效方法,也是小流域治理规划中有效的决策工具。根据土壤侵蚀模型的建模手段和方法,一般可以将其分为经验统计模型和物理成因模型。基于GIS技术下两类模型在小流域水土流失综合治理中都有所应用。

结合GIS与经验统计模型的研究是目前小流域水土流失综合治理中经验统计模型的热点。江忠善等^[22,23]利用地理信息系统和土壤侵蚀模型相结合的方法进行了土壤侵蚀的空间变化定量研究;游松财等^[24]在GIS支持下,应用USLE估算了江西省泰和县灌溪乡的土壤侵蚀量;蔡崇法等^[25]在地理信息系统DRSTI支持下,根据USLE模型对研究区(三峡库区库首湖北省姊归县王家桥小流域)实测数据库进行运算,预测了小流域一定时期内土壤侵蚀量。倪九派等^[26]依据实地调查资料及相关图形资料,建立了芋子沟小流域地理数据库。在地理信息系统ARC/INFO支持下,应用USLE对数据库实施运算操作,对该流域特定时期的土壤侵蚀量进行预测。徐天蜀等^[27]以珠江上游九溪河小流域为研究区域,采用USLE为评价模型,以地理信息系统软件ARCVIEW 3.2为分析平台,并在ARC/INFO 7.11及VISUALFOXPRO 6.0支持下,进行小流域土壤侵蚀评价。这些都属于经验统计模型与GIS结合在小流域水土流失综合治理中的应用。

由于物理成因模型能够反映侵蚀机制和动态过程,结合GIS的分布型物理成因模型将是小流域水土流失综合治理研究中的发展方向。陈一兵^[28]研究了地理信息系统ARC/INFO与土壤侵蚀模型ANSWERS的结合问题。采用ARC/INFO建立数据库和ANSWERS进行实际操作,加强了该模型在制定水保措施中的应用,并利用研究出的ARCANS模型对四川紫色丘陵区的一个小流域实施了模拟。马修军等^[29]结合地理信息系统PCRASTER和土壤侵蚀模型LISEM对黄土高原小流域次降雨过程进行动态模拟,获得了较理想的结果。李清河等^[30]在GIS支持下,利用DEM提供地形特征的功能,运用水文模型进行流域径流水文分析,结合通用水土流失方程式的侵蚀泥沙模型及其沿程传递模型,建立了分布式小流域土壤侵蚀模拟模型,用它可计算不同时间和空间的土壤侵蚀量。卫海燕等^[31]以黄土

高原丘陵沟壑区为例,利用 GIS 和 SPSS 分析了黄土高原丘陵沟壑区属性均一的基本地块在面积上的统计规律,给出了基本地块选取的合理依据,以促进建立更好的分布式模型。曹瑜等^[32]以 ARC/INFO 为平台,构建黄土高原自然侵蚀因素和人为侵蚀因子数据库,通过对研究区合理的网格单元划分,利用 GIS 空间分析功能,提取各网格单元自然社会侵蚀变量,整合各单元侵蚀因子,建立侵蚀量与侵蚀因子定量模型。利用 GIS 改进已有的分布式模型或者开发新的分布式模型将是模型研究的趋势。

2.3 基于 GIS 的小流域水土保持规划研究

小流域水土保持规划内容主要包括水土保持措施布设、田间工程设计、土地利用结构的调整,涉及到大量的地形、水文、植被等数据。常规的数据管理,由于人为因素等的影响,缺乏有效性和科学性。

GIS 具有规划的功能,可以给规划人员提供决策支持。李锐、杨勤科^[33]利用遥感技术和 GIS 技术建立黄土高原重点治理小流域治理模式库和辅助建模系统。门宝辉^[34]分析了小流域水土保持规划信息系统的结构,利用 GIS 建立水土资源数据库。探讨了在 VB 环境下应用面向对象的程序设计方法、事件驱动编程机制。并着重介绍了“小流域水土保持规划信息系统”的开发模式及开发要点,可供水土保持工作者参考。史志华等^[35]以王家桥小流域为研究区,在地理信息系统 DRISI 支持下,通过 RUSLE 预测不同水土保持措施与土地利用结构调整对土壤侵蚀量的影响,为小流域水土保持规划提供了借鉴。刘高焕等^[36]阐述了在地理信息系统支

参考文献:

- [1] 蔡强国,王贵平,陈永宗,等.黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟[M].北京:科学出版社,1998
- [2] 黄杏元,马劲松,汤勤.地理信息系统概论(修订版)[M].北京:高等教育出版社,2003
- [3] 唐克丽,郑粉莉,史德明.土壤侵蚀研究回顾与展望[J].土壤学报,1989,26(3):226-233
- [4] 赵其国.我国土壤调查及土地分类工作的回顾与展望[J].土壤,1992,24(6):281-284
- [5] 李锦.土壤制图[M].福州:福建地图出版社,1997.169-179
- [6] 周慧珍,JA Shied.100 万土壤-土地数据库及土壤退化信息解译[J].土壤学报,1991,28(4):395-402
- [7] 中国科学院水利部西北水土保持研究所.黄土高原综合治理示范区专题地图集[M].北京:测绘出版社,1991
- [8] 武春龙,江忠善,郑世清.安塞县纸坊沟流域土壤侵蚀类型遥感制图[J].水土保持通报,1990,10(4):6-12
- [9] 中国科学院遥感应用研究所,华东师范大学地理系.黄土高原水土保持林区遥感综合研究[M].北京:中国科学技术出版社,1990.379-386
- [10] 陈永宗.我国土壤侵蚀研究工作的新进展[J].中国水土保持,1989,(9):7-11
- [11] 于东升,史学正.GIS 中土壤信息系统的研究进展[J].土壤学进展,1993,(6):26-31
- [12] 陈光伟,等.黄土高原遥感调查实验研究[M].北京:科学出版社,1988
- [13] 陆兆熊,蔡强国.黄土高原地区土壤侵蚀与土地管理研究进展[J].水土保持学报,1992,6(4):86-95
- [14] 山西省水土保持科学研究所,中国科学院,国家计划委员会地理研究所,加拿大多伦多大学地理系.晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究[M].北京:科学出版社,1992
- [15] 李壁成,李锐,马晓云,等.小流域水土保持信息系统的建立与应用[J].水土保持学报,1989,3(3):26-32
- [16] 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,1995.25-32
- [17] 杨勤科,李锐,李智广,等.区域水土流失快速调查研究初报[J].水土保持通报,1999,19(3):36-39
- [18] 张帆,王利,连飞.应用地理信息系统(GIS)监测河北省蔚县水土流失治理成效[J].中国沙漠,1998,18(2):175-177
- [19] 赵晓丽,张增祥,王长有,等.基于 RS 和 GIS 的西藏中部地区土壤侵蚀动态监测[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(2):44-50
- [20] 詹小国,王平.基于 RS 和 GIS 的三峡库区水土流失动态监测研究[J].长江科学院院刊,2001,18(2):41-44
- [21] 张登荣,朱建丽,徐鹏炜.基于卫星遥感和 GIS 技术的水土流失动态监测体系研究[J].浙江大学学报(理学版),2001,28(5):577-582

持下,地块单元的划分、参数组织、地块属性的确定及信息提取方法。并针对小流域水土保持规划管理、水土流失计算、生产潜力评估、经济与生态效益分析,开发了小流域地块汇流网络模型。进而对典型小流域地块汇流关系进行了模拟计算。杨联安等^[37]利用方正和 MAPINFO 进行小流域规划与管理研究,并对其存在的问题和发展趋势进行了探讨。

3 结 语

小流域水土流失综合治理涉及到水土流失防治、水利工程建设、生态环境质量改善以及流域经济发展等许多因素。其具体内容已从过去单纯的水土流失治理转变到当今的将水土流失治理与小流域农村经济可持续发展紧密结合的综合治理。而 GIS 利用地学模型来分析空间数据,对地理环境与自然资源等信息进行管理,可以为小流域水土流失综合治理研究提供管理、模拟、规划、预测和预报等方面的技术支持。正是由于这些优点,GIS 在小流域水土流失综合治理研究中应用广泛并将在区域水土流失综合治理研究中大显身手。

朱显谟院士指出要在 GIS 技术支持下建立黄土高原小流域水土保持信息系统,该系统应具有生态环境数据库、水土保持管理、土地利用决策、水土保持决策、水土保持规划和水土保持专家系统等方面的功能,实现小流域水土流失综合治理管理现代化和决策科学化的目标。而这也为今后基于 GIS 的小流域水土流失综合治理研究指明了方向。

(下转第 77 页)

表 2 参数综合分析反算成果表

方案	内聚力 kPa	内摩擦角/°	稳定性系数							
			1—1 剖面	2—2 剖面	3—3 剖面	4—4 剖面				
W-1	35	28	0.949	0.975	0.920	0.981	0.947	0.975	0.921	0.968
W-2	35	28.5	0.953	0.980	0.923	0.985	0.948	0.977	0.923	0.972
W-3	36	29	0.957	0.983	0.931	0.993	0.959	0.988	0.931	0.980
W-4	36	29.5	0.962	0.989	0.924	0.988	0.945	0.974	0.933	0.983

备注 为瑞典条分法, 为传递系数法

参考文献:

[1] 马骥 滑坡推力计算中强度指标的反算[A] 第三届土力学及基础工程学术会议论文选集[C] 北京: 中国建筑工业出版社, 1998

[2] 潘家铮 建筑物的抗滑稳定和滑坡分析[M] 北京: 水利出版社, 1980

[3] 祝玉学 边坡可靠性分析[M] 北京: 冶金工业出版社, 1993

(上接第 53 页)

[32] 谢运球 恢复生态学[J] 中国岩溶, 2003, 22(1): 28- 34

[33] 吴祥云 荒漠化防治中的恢复生态学研究热点[J] 沈阳农业大学学报, 2000, 31(3): 290- 294

[34] 章家恩, 徐琪 恢复生态学研究的一些基本问题探讨[J] 应用生态学报, 1999, 10(1): 109- 113

[35] 杜晓军, 高贤明, 马克平 生态系统退化程度诊断: 生态恢复的基础和前提[J] 植物生态学报, 2003, 27(5): 700- 708

[36] 米文宝, 等 宁夏西海固贫困少数民族地区可持续发展研究[M] 西安: 西安地图出版社, 2001. 96- 98

[37] 彭少麟, 陆宏芳 恢复生态学焦点问题[J] 生态学报, 2003, 23(7): 1251

[38] 刘培哲 可持续发展理论与中国 21 世纪议程[M] 北京: 气象出版社, 2001. 31

(上接第 65 页)

的应急治理要做好以下几点: (1) 通过堪察的地质资料和监测资料找准滑坡的原因和滑动带, 然后有针对性的进行制定有效的治理方案; (2) 要根据现场的施工条件进行制定方案; (3) 后缘被拉裂的裂缝一定要进行灌浆处理, 做好排水系统, (4) 前缘进行堵截; (5) 用预应力锚索进行对滑坡体加固处理是科学的; (6) 配合信息化施工, 指导施工设计。

参考文献:

[1] 徐邦栋 滑坡分析与防治[M] 北京: 中国铁道出版社, 2001. 63- 72

[2] 二滩水电开发有限责任公司 岩土工程安全监测手册[S] 北京: 中国水利水电出版社, 1999. 458- 483

(上接第 68 页)

[22] 江忠善, 王志强, 刘志 应用地理信息系统评价黄土丘陵区小流域土壤侵蚀的研究[J] 水土保持研究, 1996, 3(2): 84- 97.

[23] 江忠善, 王志强, 刘志 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J] 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 1- 9

[24] 游松财, 李文卿 GIS 支持下的土壤侵蚀量估算- 以江西省泰和县灌溪乡为例[J] 自然资源学报, 1999, 14(1): 62- 68

[25] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等 应用 USLE 模型与地理信息系统 DRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J] 水土保持学报, 2000, 16(2): 19- 24

[26] 倪九派, 傅涛, 李瑞雪, 等 应用 ARC/INFO 预测芋子沟小流域土壤侵蚀量的研究[J] 水土保持学报, 2001, 15(4): 46- 50

[27] 徐天蜀, 彭世揆, 岳彩荣 基于 GIS 的土壤侵蚀评价研究[J] 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(4): 43- 46

[28] 陈一兵 土壤侵蚀建模中 ANSWERS 及地理信息系统 ARC/INFO 的应用研究[J] 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(2): 1- 13

[29] 马修军, 谢昆青 GIS 环境下流域降雨侵蚀动态模拟研究- 以 PCRaster 和 LISEM 模型为例[J] 环境科学进展, 1999, 7(5): 137- 144

[30] 李清河, 孙宝平, 孙立达 黄土区小流域土壤侵蚀系统模拟的研究[J] 水土保持学报, 2002, 16(3): 1- 4

[31] 卫海燕, 张科利, 王敬义 分布式侵蚀预报模型中网格面积的选定- 以黄土高原丘陵沟壑区为例[J] 地理研究, 2002, 21(5): 578- 584

[32] 曹瑜, 杨志峰, 袁宝印, 等 基于 GIS 黄土高原土壤侵蚀因子的厘定[J] 水土保持学报, 2003, 17(2): 93- 96

[33] 李锐, 杨勤科 空间信息技术在水土保持规划中的应用[J] 水土保持通报, 1999, 16(1): 114- 118

[34] 门宝辉 VB5.0 在初步开发小流域水土保持规划信息体统中的应用[J] 水土保持通报, 1999, 19(6): 36- 38

[35] 史志华, 蔡崇法, 丁树文, 等 基于 GIS 和 RUSLE 的小流域农用地水土保持规划研究[J] 农业工程学报, 2002, 18(4): 172- 175

[36] 刘高焕, 刘俊卫, 朱会义 基于 GIS 的小流域地块单元划分与汇流网络计算[J] 地球科学进展, 2002, 21(2): 139- 145

[37] 杨联安, 杨凯 GIS 软件在小流域规划与管理中的应用初探[J] 西北大学学报(自然科学版), 2002, 32(6): 672- 676

3.2.3 建议参数

对比分析各种分析结果, 边坡的变形发展过程及现状以及当时的降雨特征, 我们认为, 参数反算模型中宜不考虑地下水位。根据这个条件所得到的强度参数为, 内聚力 C 为 35 kPa, 内摩擦角为 28°。

4 结 论

在边坡的稳定性分析中要确定抗剪强度参数, 反算法填补了试验法和经验数据法的缺陷, 成为一种比较有效的方法。