

美国水土流失预测预报与动态监测

——赴美水土保持新技术考察报告摘录

李 锐

徐传早

(中国科学院水土保持研究所 陕西杨陵 712100) (水利部水保司 北京)

摘 要 依据近期对美国水土保持新技术考察,介绍了美国水土流失预测预报和动态监测最新进展。美国目前正在研究和应用的水土流失预测预报模型主要包括,一类是以通用土壤流失方程式修订版(RUSLE)为代表的基于经验和统计的回归模型;一类是以水力侵蚀预报项目研究成果(WEPP)为代表的着重过程研究的模型。前者主要用于估算一定区域的土壤侵蚀量,后者用于研究土壤侵蚀随时间和空间变化的规律。模型所需水土流失动态数据的采集、传输、分析、处理以及发布主要依靠由高新技术支持的全国数据网络系统。

关键词 水土保持 预测预报 动态监测 模型

Soil and Water Loss Prediction and Monitoring in USA

—Extracts from 《Investigation Report of New-tech on Soil and Water Conservation in USA》

Li Rui

(Institute of Soil and Water Conservation Shuanxi Yangling 712100)

Xu Chuanzao

(Department of Soil and Water Conservation MWR Beijing)

Abstract A brief introduction of current progress on soil and water loss prediction and monitoring in USA is presented based on the investigation early this year. There are 2 main types of soil and water loss prediction model to be used in USA. One such as RUSLE, is based on experimental and statistical data and used for evaluation of amount of soil loss from a region, Another one is represented by WEPP (Water Erosion Prediction Project), which is used to deal with the process of soil erosion by water. Soil and water loss data collection, transmission, processing, analyzing and releasing are supported by the national data-net work of high-tech.

Key words soil and water conservation prediction monitoring model

1997年7月以来,党和国家领导人对治理水土流失、建设生态农业先后作出了重要的批示

和指示。国务院在陕北召开了全国治理水土流失建设生态农业现场会议,对水土保持工作作出明确、细致和具体的布置和要求。为了贯彻落实中央领导指示精神,全面完成我国“九五”期间水土保持规划、计划任务,学习和引进国外水土保持方面新的科技成果、先进经验,为今后水土保持工作能有一个较大力度的发展,水利部水保司组织了水土保持新技术赴美考察团。

考察团由来自全国的水土保持科研、教学及管理部门 11 人组成,1998 年 1 月 3 日离京赴美,21 日回国,历时 19d。在美期间,先后访问了国家研究中心、重点实验室、大学、野外试验和监测台站、流域管理机构及政府有关部门。在华盛顿州和爱达荷州洛基山北部山区,考察了坡耕地水土流失治理,水保耕作机械,山区道路建设对林区水土流失的影响。参观了山区冻融侵蚀监测站;在密西西比州考察了漫岗丘陵坡面土壤侵蚀与控制试验区、末级小流域侵蚀监测与控制、免耕法与传统耕作法对比试验示范区等。同美国科学家召开学术交流座谈会 10 余次,拍摄了大量的照片,了解到目前美国水土保持科技研究的动态,野外土壤侵蚀监测数据的采集,自动处理的先进仪器设备情况等,达到了预期的考察目标,为中国水土保持新高潮作好技术准备,意义重大。现将与水土流失动态监测和预测预报有关内容介绍如下。

1 美国水土流失预测预报模型研究与应用

如何对水土流失进行科学的预测预报一直是水土保持界普遍关注的热点问题,也是决策部门迫切需要解决的问题。美国土壤侵蚀预测预报模型研究与应用一直居于世界前列。根据本次考察了解,目前美国正在研究和应用的水土流失预测预报模型主要是评估水蚀的模型,大致可分成两大类:一类是以通用土壤流失方程式(USLE, Universal Soil Loss Equation)为代表的基于经验、统计的回归模型,主要用以估算某一区域、一定时期内的平均侵蚀量;另一类是以水蚀预报项目研究成果(WEPP—Water Erosion Prediction Project)为代表的过程研究模型,主要反映土壤侵蚀随时间和空间变化的规律(表 1)。

表 1 美国两类土壤侵蚀预测预报模型比较		
模型特性	经验统计模型	面向过程模型
代表模型	USLE 和 RUSLE	WEPP
开发难度	比较容易	难度大
精确度	小区要求精度较高	小区不必太细
推广应用	难以直接应用	比较容易应用
开发过程	①测侵蚀量	①数字模型拟引起侵蚀的过程
	②观测小区和气候	②进行试验确定模型中的参数
	③建立条件与侵蚀之间的回归关系	
目的	预测大范围平均侵蚀量	过程描述

1.1 美国土壤侵蚀预报模型研究发展历史

以通用土壤流失方程式为代表的美国土壤侵蚀预报模型研究已有 50 多年历史,经过了形成、建立和修改发展两个大的阶段。

1.1.1 形成与建立阶段(1965 年以前) 这一阶段,以《土壤水蚀预报》(1961 年)和《洛基山以东农作物地水蚀预报》(1995 年,美国农业部农业手册 282 号)等研究成果为代表。Cook(1936)提出了采用土壤、降雨径流和植被覆盖等三种因子计算某一坡面土壤侵蚀量的方法,可称为通用水土流失方程式最初形式。Zingq(1940 年)正式提出了侵蚀预报方程式的概念,并考虑了坡长和坡度的影响,同期 Smith 又加进了轮作与耕作措施因子,并在美国中北部建立了土壤流失量限定

指标等重要参数。这些研究结果为通用土壤流失方程式的形成与建立提供了科学基础。

20 世纪 40 年代,特别是二次世界大战结束以后,Smith 和 Whitt(1946 年)依据在密苏里州的研究结果明确提出了土壤侵蚀评估方程式, $A=Q \cdot S \cdot L \cdot K \cdot P$,定义了各个因子的具体内涵,并且在当地开始应用。这些成果引起了美国政府的重视,50 年代初期,正式成立了相应的研究机构——国家径流与土壤侵蚀数据中心,负责全美的水土流失数据管理与分析,在全国各个典型区建立了相应的试验小区,进一步研究了方程中 6 大因子的定义,提出了全国主要侵蚀因子的计算基本参数、方法和图件,经过 10 年的研究,1965 年正式提出了通用土壤流失方程式(USLE),以美国农业部的农业手册(272 号)的形式发至全国应用。

1.1.2 修改与发展阶段(1965~1997 年) 这一时段的研究成果代表是通用土壤流失方程式的更新版(即 RUSLE),也是美国当前应用的主要模型。

农业部农业研究局和土壤保持局针对 USLE 在应用过程中出现的问题,组织科学家对 USLE 进行了修改,其中,1987 年版本在农作物地和建筑区域土壤可蚀性评价、不规则坡地地形因子、林草覆盖因子、水土保持措施与管理因子,以及美国西部和夏威夷地区侵蚀指标估算等方面较 1965 年版都有新的补充和修改。1989 年出了《水蚀预报手册》,1997 年又出版的《农业手册 703 号》,称之为 RUSLE。RUSLE 扩大了作物管理因子的内涵,如前期土地利用状况、作物冠层及地面糙度等;扩大了西部地区可蚀性评价,并包括季节性变化评价;增加冻融侵蚀的评价,地形因子考虑了细沟和细沟间侵蚀比率,并附有计算机程序。总之,RUSLE 是较 USLE 更为完善的模型。

在实际应用中,遇到诸如泥沙在搬运全过程中的沉积与侵蚀随时间和空间变化等难以回答的问题,而且随着计算机和信息技术的开发应用,对土壤侵蚀机理的研究也进一步深入。这就为建立新一代数字化的土壤侵蚀预测预报模型奠定了基础,美国的 WEPP 模型也就随之产生,美国政府投入了非常可观的资金,组织科研部门进行联合攻关。目前已提供了三种版本,即坡面、流域和网络。

1.2 美国目前应用的主要模型简介

1.2.1 通用土壤流失方程 该模型开发历史早,推广应用范围较大。称为“通用”是指在美国东部和中部通用,70 年代以来,在世界上开始推广应用,特别是适用于大雨、暴雨在新生土壤上产生的侵蚀计算。但应用时有 3 个条件或限制:①必须有当地田间试验研究数据;②只能计算坡地土壤侵蚀,不能反映泥沙输移过程中的沉积状况;③不适用于对热带地区土壤、低强度降雨条件或融雪侵蚀的计算。

目前该模型是美国自然资源保护局专家们制定农场水土保持规划的主要方法,美国大多数州都研究出了应用通用土壤流失方程式所需的当地各种因子指标。

新版通用土壤流失方程,1992 年开始应用,是以计算机为平台的模型,又完善了地形、土壤可蚀性、水土保持耕作等子模型,另外人机界面也进行了大的改进,目前大多数州已采用。1992 年全美土壤侵蚀调查也是应用这个模型计算的。

1.2.2 WEPP 模型 WEPP 即水蚀预测项目(Water Erosion Prediction Project),这是美国农业部农业研究局、自然资源保护局、森林局、土地管理局等部门组织有关单位的重大科研项目,1985 年正式立项先后经过了如下过程:

①确定总体结构;②需求分析报告;③农地和荒草地试验,初版完成;④模型修改和编码;⑤模型验证等阶段,历时 10 多年。

WEPP 是一个基于侵蚀过程研究的计算机模型,可以预报每天或每次的降雨、入渗、地面径流过程产生的侵蚀和泥沙运移状况,还可以计算的日、月、年平均径流,泥沙运移状况等等。其优点:一是可以模拟出引起水土流失的重要自然过程,如气候、入渗、植物蒸腾、土壤蒸发、土壤结构变化,泥沙沉积等;二是可模拟非规则形的陡坡、土壤、耕作、作物及管理措施;三是可以计算土壤侵蚀随时间和空间变化;四是可预测泥沙在坡地和流域中运移状态。

WEPP 主要子模型包括:

气候模拟(CLIGEN)、地表水文、亚地表水文、水分平衡、土壤条件、植物生长、残茬管理、地表水流、细沟侵蚀和细沟间侵蚀、沟底水流过程、沟蚀、汇流、积水条件等。

WEPP 模型可以输出各种表格,也可输出各种图形。目前坡地版开始应用,模拟结果与实际较为接近,流域版仍局限于较末级的集水区,多级流域的组合尚在进行研究。在数据采集与管理、用户界面等方面有待改进。据洛基山研究站莫斯科森林科学试验室项目负责人 Bill Elliot 博士介绍,目前他们正在寻求 WEPP 模型与 GIS 之间的联系界面,以减少数据采集工作量,使不同地区不同项目的 WEPP 应用参数更易于确定,从而使 WEPP 的应用更广泛,更易于向世界各国推广采用。

2 美国水土流失动态监测与信息管理

美国的水土保持工作,包括水蚀、风蚀和冻融侵蚀的防治工作,根据土地所有者的不同,分别由不同机构与部门管理。过去农业部下设土壤保护局主管全国水土保持工作,后改为农业部资源保护局主管全国私有土地的土壤侵蚀防治、自然资源保护工作。美国有 73% 土地归私人所有,因此,怎样对私有土地土壤侵蚀动态监测,成为该局主要任务之一。美国全国土地资源清查(NRI)就是其中一个主要监测项目。

2.1 监测方法

美国全国有一套相对完善的土壤侵蚀数据网络。每 5 年进行一次的全局范围资源清查,包括土地利用、土壤侵蚀、农地、湿地及其它自然资源的资料,形成全国性的数据收集、处理、发布及决策的数据网络系统。这个系统由州级、县级、区级土壤侵蚀管理部门及分布于全国土壤侵蚀、河流泥沙、生态环境和林业的科学研究部门组成的联网支持,获得了良好运行效果。另外,地区性的航空、卫星遥感普查,气象、土壤及植被地理信息系统及各科研部门形成各种不同的数据模型,都对全国的土壤侵蚀动态监测提供了良好的管理手段。

2.2 数据来源

美国的土壤侵蚀监测数据网络,数据来源主要有 3 个部分:一是分布于全国各地的泥沙及资源保护研究所、试验站、观测站所取得大量科研与观测数据,包括室内试验数据和室外试验数据。二是布设于全国各地的 80 多万个样区,每个样区为 $24.3 \sim 72.9 \text{ hm}^2$ 。调查数据的项目为:土地利用(农地及其它用地面积)情况,防护林情况,宽度大于 0.19 km 的沟道或控制面积大于 16.2 hm^2 的沟道,土壤类型、农作物种类轮作情况,灌溉类型、侵蚀数据(水蚀及风蚀)、湿地类型、地下水位情况,水土保持设施情况等项目。三是卫星遥感及航空摄影,监测各种地类变化情况。

2.3 数据处理

这次考察密西西比州立大学及国家泥沙实验室,先进的野外土壤侵蚀观测手段及计算机处理技术,很值得我们借鉴。例如他们对沟道边岸冲刷、泥沙沉积就有一套完整的数字模拟模型系统。能对沟道的形成、发育、变迁、稳定等各个阶段进行数字模拟,对一些简单沟道进行一维模拟,

而对一些复杂沟段如转变处、沟道防护工程、以及对水流、泥沙的影响、修桥等进行二维甚至是三维模拟。由于全国已建立了气候、土壤、地形等数据库,为各种模型提供了所需数据资料,因模拟结果已十分逼真,能真正对各种工程技术设计和制定各种治理措施起到相当好的作用。

2.4 数据传输技术

美国是一个信息十分发达的社会,对信息的时效性特别重视。这次接触的野外观测,如径流小区观测、沟道泥沙观测、冻融及雪融侵蚀观测、小流域土壤侵蚀及泥沙沉积观测、森林水文观测、道路产沙观测等大都采用自动化测试技术,很少有人工观测。如沟蚀冲刷两岸动态监测,在沟坡两侧设置大量传感器,由传感器对泥沙坍塌量进行记录,通过电缆传输到数字自动记录储存站,再定期取回或由无线电发射回数字处理中心进行计算机处理。整个信息传输迅速有效。美国各种侵蚀方程、模型各种版本不断更新与信息传输迅速有很大关系,使各种模型不断有最新的数据。美国有严格的法律及人们对公共设施极高的保护意识,使这些观测设施得以正常运行。

2.5 网络技术

接触美国工程技术人员印象较深是,几乎每一位技术人员或行政管理人员都有自己的INTERNET网址。计算机网络技术几乎成为每一个科研人员必须掌握的技术,这样大大保证了信息的高速交流。每个相关学科的科研成果都可以方便在网络上查询,美国上百年的气象资料、地形资料都可以在网上查询、应用,一些流域的水文状况可以迅速在自己的计算机上获得。同时你也可以把自己甚至是国外的一些标准观测资料远程输送到有关计算中心进行数字模拟计算,然后把结果反馈回来,从而达到规划设计目的。

3 体会和建议

3.1 重视和加强水土保持监测工作

美国把水土保持监测作为水土保持工作最为重要的一项工作来抓,监测机构健全,全国布设了80万个水土保持监测站点,由国家和州水土保持部门统一领导,及时汇总分析监测数据,全国每5年普查发布一次监测结果。而我国的水土保持监测布设的网点少,分布不尽合理,观测的数据资料没有统一指标体系,不能综合分析。全国水土流失的普查仅在80年代搞过一次,而且是临时组织,没有常设的机构。因此,我们要尽快按照《水土保持法》的要求,加强水土保持监测工作,增加和合理布设水土保持监测站点,建立中国水土保持管理信息系统,在全国实行统一的指标体系、监测方法和技术要求,使全国水土保持监测网络运转起来,定期公报监测结果。

3.2 组织研究和建立中国水土流失预测预报模型

中国水土流失严重性和水土保持的成就在世界上是居于前列的,在水土流失规律和预测预报模型研究方面取得的进展也引起世界同行的密切关注。但是,由于种种原因,没有建立起一个能反映全国水土流失特征的水土流失预测预报模型。目前建立中国水土流失预测预报模型的基本条件已经具备:已有一批研究成果、观测数据、水土保持科技队伍。建议列专项统一组织研究力量和经费,尽快开发中国水土流失预测预报模型。

3.3 学习引进美国水土保持监测的先进技术和仪器设备,提高我国水土保持监测技术水平

美国建立了降雨、土壤、植被、坡面形态、土地利用方式与水土流失量之间数量关系的定量评价指标、计算方法,对坡面、沟道的侵蚀进行分析,同时对小流域和河道侵蚀也进行了深入的研究,野外工作和实验室工作都达到比较先进的水平,提高了预报的精度,节省了人力、物力、时间。为了建立我国不同区域土壤流失量和沟道产沙量预报的经验统计数学模型和多沙中小河道产沙预报模型,尽快引进一些野外数据自动采集、传输和处理软、硬件设备。

致谢:参加考察报告编写的还有王永炎、解明曙、安景生、王文颖等同志。