

# 我国主要土壤侵蚀产沙模型研究评述

唐政洪, 蔡强国

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 近年来, 我国在土壤侵蚀产沙模型方面进行了大量研究, 建立大量的坡面、流域及区域侵蚀产沙模型。由于我国人多地少、地貌条件复杂多样, 使得我国的侵蚀产沙有不同于欧美的特点, 因此我国的侵蚀产沙模型研究有明显不同于国外土壤侵蚀模型的特点。本文对我国近年来主要的土壤侵蚀经验性模型、理论性模型进行了评述, 并讨论了新理论、新技术以及国外一些土壤侵蚀产沙模型在我国土壤侵蚀模型研究中的应用; 本文指出了我国土壤侵蚀产沙模型今后研究的发展趋势。

**关键词:** 土壤侵蚀模型; 应用; 评述

中图分类号: S157

文献标识码: A

## 1 引言

对于土壤侵蚀产沙模型的研究, 中国与欧美各国研究的侧重点有着很大不同。欧美各国人少地多, 开发利用的大都是缓坡地, 对陡坡地有着严格的保护, 因而研究的基本为缓坡地模型; 而我国的人多地少的国情, 加之我国以黄土高原等地为代表的复杂的地貌特征, 使得我国对于陡坡地的侵蚀产沙规律有着独到的研究, 并总结出大量的坡面及流域侵蚀产沙模型。我国以黄土高原为代表的陡坡地侵蚀产沙模型, 充分考虑了黄土高原沟壑纵横、切割严重的地貌特征, 并存在重力侵蚀和高含沙水流的侵蚀产沙特点, 这些陡坡地模型深化了土壤侵蚀产沙规律, 是对国际土壤侵蚀产沙模型的重要发展。

许多学者分析了坡面或流域侵蚀产沙机制, 提出了众多的坡面及流域侵蚀产沙计算方法, 它们大体分为两类:

一类是按经验统计的途径用多元回归方法建立流域产沙模型, 即侵蚀产沙经验公式。

另一类是按成因分析建立的概念性流域产沙数学模型, 即侵蚀产沙的理论模型, 它能较好地反映侵蚀产沙机理, 考虑因素较为全面、合理。下面将分别进行阐述。

## 2 我国近年来主要的侵蚀产沙经验模型研究

### 2.1 我国不同区域自建立侵蚀产沙经验模型

侵蚀产沙经验公式主要从侵蚀产沙因子角度入手, 建立径流、产沙与降雨、植被、土壤、土地利用、耕作方式、水土保持等之间的多元回归因子关系式。经验公式结构简单, 计算方便, 在制定公式使用资料范围内具有可靠的精度, 但模型被移植使用时以及向设计条件外延时, 模型精度难以控制, 模型的实用性受到影响。这类侵蚀产沙模型以坡面模型和小流域侵蚀产沙模型为代表, 同时也包括部分区域性的侵蚀产沙预报模型, 这些通常不考虑侵蚀产沙过程, 称之为“黑箱”或“灰箱”模型, 在模型形式上主要是采用侵蚀产沙因子的多元回归方程式。现介绍我国目前主要的侵蚀产沙经验模型。

1. 文康(1982)建立了陕北岔巴沟产流模型<sup>[1]</sup>, 模型的主要参数有时段雨量、降雨历时、土壤前期含水量、流域最大下渗率、土壤含水量消退系数及抛物线指数。并在  $0.18\text{km}^2$  的团山沟进行了径流模拟, 得到了较好的效果; 同时采用按自记雨量站划分产流计算单元, 对  $187\text{km}^2$  的整个岔巴沟流域进行了计算, 将计算值与实测值比较表明, 模型的加权平均误差精度仅为 58.8%, 这主要是因为现有自记雨量站

收稿日期: 2001-12-17; 改回日期: 2002-03。

基金项目: 中科院地理科学与资源研究所知识创新工程项目(CXI0G-A00-05-02)、国家自然科学基金资助项目(49871053)、中国科学院西部行动项目(KZCX1-10-04)资助。

作者简介: 唐政洪(1974-), 男, 汉族, 湖南东安人, 中国科学院地理科学与资源研究所博士研究生, 主要从事流域土壤侵蚀、流域管理信息系

统方面的研究。E-mail: tangzh@igsnr.ac.cn

©1994-2011 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

往往不能控制流域内的降雨分布, 以及模型中缺乏对汇流过程的描述。此模型的研究结果也表明, 大流域侵蚀产沙量并非小流域侵蚀产沙结果的简单累加。

2. 牟金泽(1983)在陕北绥德辛店沟小流域建立了坡面土壤侵蚀预报模型<sup>[3]</sup>, 此模型面向陕北部分中小流域的土壤侵蚀预报模型, 是一个基于次暴雨的侵蚀产沙模型, 并在模型中考虑了土壤前期含水量的作用, 能够较好地反映次降雨的侵蚀产沙状况。但建模所运用的资料从小区到  $187\text{km}^2$  不等, 缺少相应的修正体系, 模型中对于地形因子欠考虑。

3. 范瑞瑜(1985)建立了黄河中游地区小流域土壤侵蚀预报模型<sup>[3]</sup>, 此模型采用降雨侵蚀力因子、土壤可蚀性因子、植被影响侵蚀系数、工程措施影响侵蚀系数等建立回归方程来进行计算, 并用流域平均坡度来反映流域地形起伏度; 模型结构简单明了, 实用性强。但此模型在以下三个方面存在不足: 在针对黄河中游地区小流域土壤侵蚀预报计算中, 采用平均雨强及降雨年侵蚀力的方法概化了黄河中游地区高强度短历时暴雨在年侵蚀产沙中的重要作用, 在实际预测中精度会受到影响。采用流域平均坡度作为地形因子的测算依据, 在黄土高原复杂的地貌条件下仍存在较多问题, 不能很好反映流域的沟壑密度, 这一点将直接影响模型的预测效果。

4. 孙立达(1988)在宁夏西吉建立了小流域土壤侵蚀预报模型<sup>[4]</sup>, 此模型适用于流域面积  $50\text{km}^2$  的小流域年侵蚀产沙预报, 流域面积、年降雨侵蚀力、年降雨复合参数、流域平均坡度、流域长度、流域形状、林草面积、水土保持措施等, 模型参数考虑较为全面, 测算方法较为简化。但模型参数均采用加权平均的方法以及面积百分比的方法, 使得模型的预测精度和推广受到局限。

5. 尹国康(1989)建立了黄土高原流域特性指数体系以及产沙统计模型<sup>[5]</sup>, 采用流域高差比、流域狭长度、地面崎岖度、流域地面沟壑密度、地面沟壑切割深度、流域植被度与治理度、地面岩土抗蚀性因素来表征流域地表状况, 并通过流域地表综合性指数与年径流模数来推算出年产沙模数, 以此计算宏观的流域产沙量。模型较好地表述了流域下垫面的地形指标、土地利用及土壤指标, 能较好地反映黄土丘陵区的流域地表特征, 适合在大中游域应用; 但模型的应用同样受到尺度及数据精度的影响。

6. 马蔼乃(1989)建立的黄土高原小流域土壤侵

蚀预报模型<sup>[6]</sup>, 此模型针对黄土高原的复杂地貌条件, 从影像及地形图中提取流域下垫面参数参与模型的计算, 并在模型中考虑到泥沙的输移作用, 选取了颗粒直径及沙的密度等因子参与计算。此模型的关键问题是研究区域大小的界定、流域下垫面参数提取的精度。

7. 金争平(1991)在内蒙古皇甫川小流域建立了土壤侵蚀预报模型<sup>[7]</sup>, 此模型针对侵蚀剧烈的黄河中游的皇甫川流域进行区域性侵蚀产沙的预报, 模型强调对流域下垫面的考虑, 模型以纳林川水文站的资料作为整个模型参数修正的依据, 优选出沟壑密度、流域平均坡度、批砂岩面积与流域面积的比值、植被覆盖度等因子来测算小流域的侵蚀产沙量。模型的特点是较好地考虑了该区域不同流域间下垫面差异, 大部分数据可以从图上获取。但模型在不同比例尺条件下, 模型中沟壑密度、流域平均坡度等图上读取精度会受到较大影响, 模型缺少对参数适用条件的描述。

8. 陆中臣(1993)建立了晋陕蒙接壤区北片的侵蚀产沙模型<sup>[8]</sup>, 用于中小流域及区域性侵蚀产沙的预报, 模型中对侵蚀产沙与地层特征进行了量化, 我国北方包括砒沙岩在内的侵蚀产沙规律进行了探讨, 但仅从沟壑密度、地面平均坡度、多年平均日最大降雨量很难准确反映出流域的侵蚀产沙状况。对于区域性侵蚀产沙的预报, 尺度问题成为参数可获取性以及数据精度大小的重要影响因素。

9. 蒋定生(1994)采用正态整体模拟的方法<sup>[9]</sup>, 采用人工模拟降雨实验的方法, 得到了小流域水沙调控的正态模型, 本研究试图通过按按一定比例尺缩小的正态模型, 在实验尺度上, 对整个流域侵蚀产沙进行模拟和评价, 但由于模拟实验最大长度仅  $4.2\text{m}$ , 因此如此更准确地反映正态模拟与实际侵蚀产沙过程的关系仍有待进一步阐明。

10. 吴礼福(1996)建立的模型分别包括面蚀和沟蚀两个部分<sup>[10]</sup>, 在面蚀子模型中, 主要考虑了降雨因素、地形因子、植被因子、土地利用、土壤、水土保持措施等; 在沟谷侵蚀子模型中, 主要考虑了沟谷径流深、沟谷密度、沟谷长度。在计算时首先求出各因子的格网数据, 即形成格网数据面, 包括最大  $30\text{min}$  雨量数据面、多年平均径流数据面、坡度数据面、沟谷密度数据面、沟谷径流数据面、坡耕地数据面、粒径数据面、植被覆盖图数据面, 最小图斑数据面, 再将各数据面相叠加, 即可得到大区域的侵蚀产沙量。

事实上,这种方法于栅格大小的选择是模型计算的关键。

11. 江忠善(1996)采用 GIS 支持下建立空间信息数据库和土壤侵蚀建模相结合的办法,在确定浅沟侵蚀系数和植被影响系数基础上,建立沟间地模型;在确定沟蚀系数的基础上,建立沟谷地侵蚀模型,最后完成流域侵蚀量的计算,该模型的模型结构符合黄土丘陵区地貌特点,在小流域数据库支持下,模型从数据库中读取各像元的参数,实现了模型与 GIS 松散结合,并在试验区域取得较高的计算精度<sup>[11]</sup>。由于模型模拟流域面积较小,因此在模型的推广应用时,需要一系列参数体系的修正,才能保证模型在外延时的正确性。

12. 吴发启(1998)分析了黄土高原南部部分径流小区资料,建立了坡耕地土壤侵蚀预报的基本方程<sup>[12]</sup>,这是一个考虑了降雨侵蚀力因子、坡度、坡长与坡耕地土壤侵蚀量的经验关系式;并根据理论推导出径流量方程式,建立了坡面侵蚀能量方程,它包括坡面径流能量与降雨雨滴能量两部分。此模型仍属于坡面经验模型,在模型的应用需要进行修正。

13. 景可(1998)建立的黄河中游地区侵蚀模型<sup>[13]</sup>,模型中主要考虑了植被覆盖、地表组成物、沟谷密度、切割深度、汛期降水量、 $> 15^\circ$  坡耕地占土地面积的百分数。对于此类大尺度模型的应用,数据来源的比例尺大小决定着数据精度,从而决定着模型预测的效果,目前这些方面还有许多有待解决的问题。

14. 毕华兴(1998)从森林水文的角度,以较大尺度流域综合试验为出发点,在晋西黄土区小流域分类的基础上,选择了具有代表性的典型小流域 11 个,对这些小流域进行了 3 a~8 a 的定位观测,获取了 91 场暴雨产流产沙资料,建立了场暴雨输沙模数与前期影响雨量、场暴雨降雨总量、场暴雨平均强度、流域形状系数、森林覆盖率的关系式<sup>[14]</sup>。此模型较好地考虑了前期雨量对于场次侵蚀产沙的影响,模型适用于对黄土高原植被覆盖较好的小流域的侵蚀产沙预测以及水土流失效益的评价。但模型中对于流域下垫面的表述不足,采用流域形状系数不足以概括黄土丘陵区的复杂地貌特点。

15. 杨武德(1999)建立了红壤坡地土壤侵蚀预报模型<sup>[15]</sup>,模型中运用不同种植的试验小区分别建立了不同地类的多元回归方程,此模型可以运用在

对南方红壤坡地不同土地利用方式条件下的土壤侵蚀进行预报,分别建立了雷竹园、茶园、板栗园的侵蚀产沙经验关系式,由于模型建立的经验关系,使得模型在其它区域推广受到限制。

16. 李钜章(1999)在黄河中游流域选取了 155 个“闷葫芦”淤地坝资料,建立了植被覆盖度、降雨量、沟谷密度、切割深度、地表组成物质、 $> 15^\circ$  的坡耕地面积比以及年降水雨与年输沙量之间的关系式<sup>[16]</sup>。此外,在对于地形因子指标的选择中,涉及到研究区域比例尺的问题,对于沟壑密度、沟谷切割深度的提取结果对模型预测影响非常大。模型初步探讨了宏观尺度上的侵蚀预测,还存在参数选取、数据来源等许多有待解决的问题。

17. 周佩华(2000)根据全国各地区的自然和社会经济条件,将全国划分为七个大的类型区;在各类型区内,选取有代表性的河流和测站,根据该测站及其所控制流域内的有关资料,确定该流域内影响水土流失的各主要因子,建立起河流年输沙量与各影响水土流失的各主要因子,建立起河流年输沙量与各影响因子之间的相关模型<sup>[17]</sup>;进行各分区水土流失的趋势,最后根据各分区的预测结果,分析水土流失发展趋势预测,最后根据各分区的预测结果,分析全国的水土流失发展趋势。此模型是对建立全国性土壤侵蚀模型的有益尝试,但由于我国自然地理条件复杂多样,侵蚀类型丰富,因此要建立全国性或大区域的侵蚀产沙模型,还有许多问题有待进一步研究。

18. 黄明斌(2001)借助流域网格划分的模型计算方法<sup>[18]</sup>,试图在流域尺度内将水土保持工程措施和生物农业工程措施在减少地表径流中的作用分割开来,将  $6.3\text{km}^2$  的流域划分为 706 个面积不等的小方格,每一方格视为子单元,再利用径流小区资料进行降雨产流的分析;事实上此方法并不能将工程措施与水保工程措施的作用分开,由于在一个流域尺度内,侵蚀产沙过程是一个完整的自然系统,各种因子之间的相互作用很难进行准确的量化估算。

19. 蒋定生(2001)用进行了宏观尺度的侵蚀产沙预报研究,主要是采用所谓的“加权重叠排序方法”,对黄土高原腹地的 106 个县(旗)市进行侵蚀产沙的预报<sup>[17]</sup>,其做法是对研究区域进行分析和评价,建立一系指标体系,研究所涉及的侵蚀因子主要有:降雨侵蚀力、土壤侵蚀模数、坡耕地面积、未治理的水土流失面积、沙尘暴天数、植被覆盖度和土壤抗

冲性; 通过对决定各县水土流失危险程度的综合因素进行动态排序, 从而得到区域性侵蚀产沙的预报结果。对于宏观尺度的侵蚀产沙预报, 模型参数的选取以及数据的精度是关键因素。

20. 胡良军(2001)将黄土高原其中的 40 万 km<sup>2</sup>, 划分为 3 380 个水土流失的评价单元, 各单元的面积大致为 80 km<sup>2</sup> ~ 150 km<sup>2</sup>, 选取气候—汛期降雨量, 土壤—>0.25 mm 风干土水稳性团粒含量, 地形—沟壑密度, 植被—植被盖度, 人为影响—坡耕地面积比。建立了黄土高原地区侵蚀产沙的区域性预测模型<sup>[19]</sup>。这一模型粗略地建立了黄土高原大区域侵蚀产沙预测的框架, 是区域性侵蚀产沙预报的有益尝试, 但这其中涉及到参数获取、数据精度、泥沙输移等问题都有待深入研究。

概括起来看, 这些区域型的经验模型研究中存在以下主要问题有待解决:

- 1. 模型参数的选取及数据来源的可获取性及精度。即如何选取能反映研究区域侵蚀产沙影响的关键因子, 获取模型计算的相关数据, 并能保证数据精度, 这是经验性模型在实际预测中的重要方面;
- 2. 新技术的应用; 基于 GIS、RS 的侵蚀产沙模型已成为当前国际侵蚀产沙模型研究的发展趋势, 如何将 GIS、RS 信息源引入到模型的计算当中, 实现模型与 GIS、RS 深层次结合, 这是今后研究的重要方向;
- 3. 模型的空间尺度。不同尺度流域之间土壤侵蚀和输移究竟有什么样的内在联系, 小流域所获得的研究成果是否能推广应用到大中流域, 成为迫切需要解决的重要科学问题;
- 4. 模型的检验和应用。易于推广应用是土壤侵蚀模型的生命力所在, 因此, 模型应具有较强的灵活性和较好的区域适应能力。

2.2 USLE 在我国的应用

USLE 一经提出, 迅速为美国许多地区及世界各国采用, 它是土壤侵蚀研究的重大进展。USLE 模型结构简洁, 参数物量意义明确, 计算简单, 具有很强的实用性, 具有强大的综合能力, 应用相当广泛。USLE 在我国得到了大量应用, 这些应用包括以下两个部分: 1. USLE 中侵蚀因子在我国的修正; 2. 采用 USLE 在我国进行侵蚀产沙的预测。一方面, USLE 在我国许多地区得到了应用, 另一方面, 在应用中也出现不少问题, 一些应用超过了 USLE 最初设立的边界条件。现将 USLE 中我国不同地区的利用情况

进行介绍如下<sup>[20~29]</sup>:

研究者	时间	应用区域
李建牢	1989	甘肃天水罗玉沟流域
马志尊	1989	海河流域太行山区
金争平	1991	黄河皇甫川流域
张宪奎	1992	黑龙江省
陈法扬	1992	广东南方山区
周伏建	1995	福建省坡耕地
林素兰	1997	辽宁北部低山丘陵区坡耕地
杨子生	1999	云南东北山区坡耕地
游松财	1999	江西省泰和县灌溪乡
蔡崇法	2000	湖北三峡库区

通过 USLE 在我国的应用情况可以看出, USLE 在我国得到了广泛的应用, 在应用中修正和完善了 USLE。但是, 这些应用中也出现了超过 USLE 应用边界条件或没有对其参数进行合理修正就使用的情况, 这些情况都会导致模型的误用。这是由于 USLE 的特点决定的: 首先, USLE 是一个缓坡地模型, 从其数据源来看, USLE 主要是针对平原地区和缓坡地形区, 它不适用于地貌类型复杂多样的地区; 其次, USLE 是一个基于年降雨侵蚀力的侵蚀产沙模型, 这对于我国北方干旱半旱区高强度次降雨居于主导地位的情况下, 必须进行模型参数的修正; 再次, USLE 的各侵蚀因子的测算, 有严格的实验条件, 目前对于降雨侵蚀力的研究, 在我国取得了较为一致的计算方法; 但对于  $K$  值的计算, 存在很大争议, 这是制约 USLE 推广的一个限制因子; 对于  $LS$  因子, 主要适用于  $9^\circ$  以下的的地块, 但如何将其计算方法扩大到中国的山区和黄土高原, 是 USLE 在中国应用的关键; 对于  $C/P$  值, 如何定义符合我国国情的测算标准, 到目前还没有统一的看法。鉴于以上情况, 张科利、刘宝元等对 USLE 在我国的规范应用进行了大量研究, 以正确推广 USLE, 改善 USLE 在我国的使用效果。同时, 刘宝元在 2001 年 7 月水利部的我国侵蚀产沙模型研讨会上, 提出了中国土壤流失模型的原型即 CSLE (Chinese Soil Loss Equation), 此模型确立了一个中国土壤侵蚀预报模型的基本形式, 形式简单实用。中国土壤侵蚀预报模型的基本形式为

$$A=RKLSEBT$$

式中  $A$  是坡面上多年平均年土壤流失量;  $R$  是降雨侵蚀力;  $K$  是土壤可蚀性;  $L$  是地形的坡长因子;  $S$  是地形的坡度因子;  $B$  是水土保持的生物措施因

子;  $E$  是水土保持的工程措施因子;  $T$  是水土保持的耕作措施因子。

CSLE 采用了 USLE 的基本形式, 但对模型参数在我国的修正, 有一套规范的修正体系。因此, 对于全国性 CSLE 模型建立和应用, 关键在于以下 4 个方面:

1. 资料标准的统一、修正;
2. 不同区域各因子的修正体系的确立;
3. 模型在不同区域流域内的验证;
4. 新技术 RS、GIS 在实际预测中的应用。

### 3 我国侵蚀产沙的理论性模型

由于国外的模型大都是缓坡地模型, 并不完全适用于我国地形地貌的复杂地区, 因此我国学者建立了大量的适合我国实际情况的陡坡地模型。侵蚀产沙的理论模型注重从土壤侵蚀产沙的机理上研究侵蚀产沙关系, 根据其侧重点的不同, 主要包括以下方面:

1. 侵蚀产沙过程模型, 这类模型注重从机理上阐明侵蚀产沙规律;
2. 侵蚀产沙动力学模型, 这类模型注重从动力学的角度揭示侵蚀产沙规律;
3. 近年来一些新的理论新的方法的应用, 如 BP 神经网络模型及国外部分理论模型在我国的应用。

#### 3.1 侵蚀产沙过程模型及侵蚀产沙动力学模型

1. 谢树楠(1993)从泥沙运动力学基本理论出发<sup>[30]</sup>, 基于 9 个基本假定: 暴雨产生的径流按坡面一维流动考虑、压强按静水压强分布、流动中的动量系数按常量考虑、坡面角度不变、坡面土层的组成是均匀的、泥沙不考虑粘性、在计算时段内降雨强度和渗透率不变、沟道泥沙的输移比为 1、不考虑前期含水量的影响。模型中主要考虑了地表裸露率、流域地表的泥沙中粒径、径流系数、降雨强度、流域坡面的平均长度、流域坡面的平均比降、流域总面积等。在计算时将流域划分为一个或若干个由典型雨量站控制的小流域, 采用逐次暴雨的方法来计算产流过程, 再得到累积的年产沙量及产流量。为了验证模型的适用性, 先用了黄河中游 3 个流域进行计算, 计算结果表明, 在偏关河流域计算误差较大, 分析其主要原因有: 采用 1 个雨量站的降雨资料, 无法很好地反映大流域内的侵蚀产沙的空间变异; 采用从大尺度的航片中读取裸露地面积参数、流域坡面坡长参

数, 均难以实现; 此外, 模型在大流域计算时没有考虑泥沙的输移过程。

2. 沈冰(1993)认为以运动波为基础的数学模型是模拟坡面降雨漫流的有效工具<sup>[31]</sup>。模拟的关键问题之一是流速的计算, 因为侵蚀细沟的形成和泥沙的输移都与流速有关。动力波理论模拟地表径流和土壤侵蚀过程, 强调了渗过程的描述; 但该模型对于复杂地表的动力学过程描述较为困难。

3. 王根绪(1994)基于灰域预测原理与双向差分建模方法, 提出了长期径流预报的灰色双向差分模型<sup>[32]</sup>, 将水文现象所存在的不确定性与周期变化特征统一在径流预报决策中, 用该模型预测的步骤可分为两步: 一是依双向差分模型原理, 建立预报模型, 预测出径流在某一时刻的径流值; 二是将预测值作为径流变化灰系统的一个白化值, 用灰域预测理论来预测不来某时刻径流量真实值可能出现的区间, 使预测更具现实性, 实例应用结果表明, 无论预测月均流量还是年均流量, 该预测方法均能得到可靠的径流量变化趋势及预测结束果, 由于能给出十分的准确的未来径流可能出现的区间, 因此就用此预测结果更具实效性。

4. 包为民(1994)根据中黄河中游、北方干旱地区流域的超渗产流水文特征和冬季积雪的累积及融化机制, 提出了大流域水沙耦合模拟物理概念模型<sup>[33]</sup>, 分为产流、汇流、产沙和汇流四个部分; 该模型较好地处理了北方干旱地区中大流域用下渗曲线计算地面径流中存在的观测资料缺乏、数据处理量太大两大难题, 考虑了大流域气候、下垫面因素空间的不均匀性和雨洪径流产沙与融雪径流产沙间的差异, 实测资料的模拟表明模型的计算结果结好。

5. 李怀恩(1994)采用逆高斯的方法对流域的汇流过程进行了模拟, 它将水流在流域中的汇集过程化为在多级河流网的汇集, 理论基础为逆高斯分布的密度函数, 瞬时单位线(概率密度曲线)模型<sup>[34]</sup>, 用于地面径流的汇流计算和总净雨汇流计算。如何用定量的方法以及可视化的方法描述地表径流路径以及汇流过程是流域侵蚀产沙模拟中的重要方面。

6. 沈晓东(1995)建立了基于栅格数据的流域降雨径流模型<sup>[35]</sup>, 主要考虑了时段总降雨量、邻近栅格地表入流量、本栅格地表出流量、近栅格地下入流量、时段土壤总蒸发量、地表下渗率、深层下渗率、地表蓄水、地下水层含水量。在流量演算方程中, 采用地表蓄量系数即水流通过一个栅格地表所需时间、

地下蓄泻系数、时段地表栅格总输入、时段栅格地下总输入来计算; 对于下渗率的计算采用 Holtan 方程; 对于时段土壤总蒸发量的计算, 采用最下下渗率、作物生长指数以及由土地利用确定的植被指数来确定土壤蒸发率和水面蒸发率, 最后通过栅格地表出口单宽流量、栅格边长、栅格坡度、栅格出口下断面水深、雷诺数、运动粘滞系数、栅格出口下断面流域、栅格出口断面流速来确定。此研究将 GIS 栅格技术与水文过程较好地结合起合, 可以实现对地表三维水流过程的定量描述。

7. 曹文洪(1995)采用成因方析方法, 建立了黄土地区小流一次暴雨产流、产沙及泥沙输移公式<sup>[36]</sup>。为了计算大流域的产沙, 将大流域划分为若干小流域, 由河道将小流域相联, 河道冲淤计算采用水文水动力学模型计算, 将流域模型与河道模型连接与来, 形成了较为完整的由降雨预报流域产沙的数学模型, 并在流域面积为 1185 km<sup>2</sup> 的十里河流域进行了验证。

8. 蔡强国(1996)建立了一个有一定物理基础的能表示侵蚀—输移—产沙过程的小流域次降雨侵蚀产沙模型<sup>[37]</sup>; 它由三个子模型构成: 坡面子模型, 沟坡子模型; 沟道子模型; 模型考虑了降雨入渗、径流分散、重力侵蚀、洞穴侵蚀及泥沙输移等侵蚀过程, 从侵蚀机理上对影响侵蚀过程的因子进行定量分析, 从而建立了黄土丘陵区侵蚀产沙过程模型<sup>[10, 6]</sup>; 这是利用 GIS 的空间分析功能对侵蚀产沙的过程进行量化研究的较为成功的尝试。由于这是一个侵蚀产沙的过程模型, 旨在从理论上阐明小流域侵蚀产沙规律, 因此模型结构尤其是坡面子模型较为复杂, 在推广应用时受到模型参数的限制。

9. 汤立群(1996)从流域水沙产生、输移、沉积过程的基本原理出发, 根据黄土地区地形地貌和侵蚀产沙的垂直分带性规律, 将流域划分为梁峁坡下部及沟谷坡三个典型的地貌单元, 分别进行水沙演算<sup>[38]</sup>。模型包括径流模型和泥沙模型两部分, 径流模型中采用超渗采流模型, 用 Horton 下渗曲线确定入渗量, 沟道中径流运动用一维圣维南方程进行计算。泥沙模型是在计算供沙量的基础上, 通过现有全沙挟沙力公式计算径流挟沙力, 经较供沙量与径流挟沙力, 输沙率为其中较小者。此模型充分借鉴了国外已有的研究成果, 模型结构简单, 并考虑到黄土区的垂直分带性。

10. 蒋业放(1999)在分析河水与地下水相互作

用规律的基础上, 提出了河流—含水层相互作用水力耦合模型的建模思路、数值解法及应用实例<sup>[39]</sup>。河流模型采用忽略河槽调蓄作用的圣维南连续方程, 含水层模型为潜水二维渗流方程, 二者通过动态水量交换机制实现耦合; 模型的水量交换机制可以分别模拟含水层顶托排泄、河流压力渗漏和淋滤渗漏等不同方式的水量转换过程。河水模型和地下水模型分别用欧拉法和三角网格差分法来求解。实际应用表明耦合模型能较准确地模拟河流—地下水系统的水量平衡与动态变化过程, 能有效避免地表水和地下水水量的重复计算, 可作为河水与地下水相互作用地区水资源评价、规划与管理以及地表水、地下水联合调度的模拟计算工具。通过耦合模型的运转可以较准确地模拟计算出不同时间段各个河流断面的流量, 地下水水位分布, 河水与地下水的交换量以及水量交换方式的演变过程, 可有效地避免地表水和地下水量的重复计算, 适于在流域水资源评价、规划和管理中应用。建立耦合模型需要投入更多的气水文观测和地下水勘察等方面的工作去获取有关河流与含水层的信息, 特别是反映水量转换机制的信息, 如河床结构、河床介质的渗透性、垂向水流运动的规律和河宽与流量的关系等。此外, 模型的识别涉及到二子系统模型的耦合问题, 因此模型的校正难度较大。

11. 敖汝庄(2000)坡面产流是土壤本身特性与外界影响因素相互作用的结果, 它们之间具有明显的非线性输入输出关系, 通过分析坡面产流和神经网络模型的相似性, 依据径流站观测资料, 建立了小流域坡面产流量的三层向前网络模型(BP 算法)<sup>[40]</sup>; 考虑了流域面积、平均比降、长度、河网密度、形状系数等流域单元特性参数以及降雨量和降雨强度参数, 取得了较好的模拟预测效果。但此方法预测的流域面积不到 1km<sup>2</sup>, 在模型外延和推广上都需要进一步修正。

12. 苑宝忠(2000)采用新安三水源模型对吉林伊通水文站的部分控制流域(流域面积为 482.5 km<sup>2</sup>)进行了洪水预报<sup>[41]</sup>。模型的产流部分是针对湿润区的蓄满产流状况而开发的, 单元面积上的直接径流的汇流用单位经计算, 地下径流用线性水库计算, 各单元面积的出流都经过马斯京根法河道连续演算到流域出口。模型可以应用于长江、淮河流域及其它湿润地区。它的缺点是未点地面径流与壤中流区分开来。新安江流域水文模型是国内应

用较为广泛的水文模型。此模型主要用于流域汇流的计算。

13. 白清俊(2000)建立的黄土坡面细沟侵蚀带产沙模型,由坡面产流、汇流、细沟流侵蚀产沙3个部分组合而成,是一较为完整的细沟侵蚀带产沙模型<sup>[42]</sup>;模型概念清楚,参数较少,过程明确,物理成因性强,易于求算。通过对宁夏西吉县径流侵蚀径流实验小区数据的验证,表明该模型具有较高的实用性。黄土坡耕地的水蚀方式多数以细沟为主(侵蚀强的也有浅沟),本模型为黄土坡耕地的侵蚀预报提供了一种适用性较强的工具。

14. 王秀英(2001)基于流域下垫面因子空间分布的不均匀特点,采用 Matlab 语言开发出一个基于场次暴雨的分布式流域产流数学模型,将流域划分为一系列网格单元,采用连续方程计算每一网格单元的反映<sup>[43]</sup>。模型可与 GIS 连结,以获取网格单元的地理信息,可显示和分析各单元格的基本情况以及对降雨径流的关系。此模型的理论基础是有效降雨过程及连续方程的模拟,它包括截流、填洼、入渗以及泥沙的输移过程。此模型计算的关键是流域网格的划分。

我国侵蚀产沙理论模型今后发展的重要趋势是:向能阐明一定的物理成因机制、反映动态变化的基于物理过程的分布式模型发展。具体体现在以下方面:

1. 从模型的内涵看,模型内涵的深化体现在加强了土壤侵蚀机制的研讨,注重对土壤侵蚀过程的量化描述,近期发展的土壤侵蚀模型对降雨击溅、径流冲刷、径流搬运和沉积等土壤侵蚀过程进行了深入的描述,建立了一系列能反映产汇流和产输沙不同演进阶段的连续模型;

2. 从研究手段上看,注重高新技术尤其是现代信息技术的应用,在当前的土壤侵蚀模型中,大量采用遥感(RS)手段及地理信息系统(GIS)技术,强调对 RS、GIS 数据源的分析利用,强调模型与 GIS、RS 的深层结合;

3. 从研究的目标看,强调在应用中校准、检验和完善土壤侵蚀模型,从传统的注重建模到强调模型的应用和推广。

### 3.2 BP 神经网络模型及国外部分理论模型在我国的应用

#### 3.2.1 BP 神经网络模型我国侵蚀产沙预报中的应用

近年来,一种新的理论 BP 神经网络模型在我国侵蚀产沙预报中得到应用,以下将主要介绍当前 BP 神经网络模型在我国侵蚀预报中的应用情况:

1. 张科利(1995)通过实体模型的计算及结果分析表明,作为一种方法,神经网络理论用来估算预报土壤流失是可行的,而且只要已有的资料准确,估算结果比模糊数学估算结果的精度要高<sup>[44]</sup>。

2. 尚金成(1995)讨论了多层神经网络能以任意精度逼近任意非线性模型的能力以及其自适应特性,对水文系统的径流预报进行了探讨,提出了一种基于多层神经网络的自适应径流预报模型结构<sup>[45]</sup>,这种基于多层神经网络的自适应径流预报模型具有可变的结构和大量可调参数,与传统预报方法相比,具有较好的,贴近实际的能力。它主要适合于非线性水文系统的预测。

3. 张小峰(2001)运用 BP 神经网络模型的基本原理,以流域降水条件为基本因子,建立了流域产流产沙 BP 网络预报模型<sup>[46]</sup>,该模型能用于定量分析流域人类活动对产流产沙的影响,西汉水、大通江、香溪河流域资料验证表明,模型基本合理、可靠。但是 BP 网络预报模型的训练精度和工作时间易受网格结构的影响;此外在大流域内应用 BP 模型,由于各区域土壤特性各不相同,降水对流域各区域产流产沙的影响各不相同,流域各区降水条件的代表性直接影响模型的训练和预报精度,因此在今后的研究中需加强对大流域的研究。

4. 苑希民(1999)将流域概化为若干子流域的方法,进行模拟;认为坡面产流是土壤特性与外界因素相互作用的结果,它们具有明显的非线性关系<sup>[47]</sup>;神经网络能有效模拟非线性输入输出关系,利用径流资料建立了以三层网络模型对坡面产流量进行模拟及预测,显示了较好模拟预测效果。模型参数考虑到了流域面积、平均比降、长度、河网密度、形状系数等,考虑了降雨强度、降雨量、前期降雨量、蒸发量、径流量等。它具备以下几个突出优点:对洪水演进机制的仿真,精度相对较高;实施容易,神经网络模型不需要大量地形和工程资料,利用现有水情观测资料;模型运行速度快,由于神经网络信息处理的并行性,能够对大量信息进行快速处理,大大节约预报时间,利于防洪决策方案的制订和实施;误差实时修正较为方便;操作简单,运行灵活,若有沿程水位站观测资料,可应用于预报河道沿程洪水水位过程。



人工神经网络是模拟人脑思维与记忆的智能化数学模型及算法系统, 主要功能是自学习, 通过对信息的学习反映信息之间复杂的相关关系。针对侵蚀产沙预报而言, 可依据多年的反映着区域侵蚀产沙演进规律的侵蚀产沙监测资料, 建立人工神经网络模型, 通过对历史资料的学习, 识别复杂的侵蚀产沙演进机制, 实现演进的计算机仿真, 它不是一个经验计算公式, 而是对侵蚀产沙复杂运行机制的综合体现。一旦形成了具有记忆功能的智能模型, 则可以用于中长期的预报。但是由于侵蚀产沙过程的复杂性和不确定性, BP 人工神经网络模型在实用中还用到资料或数据不足、模型校准困难等问题有待进一步解决。

### 3.2.2 国外部分理论模型在我国的应用

由于国外侵蚀产沙模型主要是基于过程的分布式模型, 模型开发的背景主要针对欧美缓坡农田的流失情况以及模型参数的难获取性等问题, 使得国外的侵蚀产沙模型在我国的应用受到许多局限, 现对国外部分理论模型在我国的应用情况进行评述:

1. 陈一兵等(1997)采用 ARC/INFO 软件建立流域数据库, 根据 ANSWERS 模型的要求确定所需参数, 并建立两者的连结, 对 ANSWER 模型进行了修正<sup>[48]</sup>, 从而得出能预报次降雨流失量的土壤侵蚀方程, 但是对于 ANSWERS 模型在我国尤其是山区的应用还有许多尚未解决的问题, 对于一些模型参数的获取也较为困难。

2. 马修军(1998)采用 LISEM 模型对黄土高原小流域次降雨过程进行动态模拟<sup>[49]</sup>, 依托 1:1 万的 DEM, 对 150min 的降雨过程进行了模拟, 实验结果表明模型计算的总径流量和总土壤流失量具有较高精度, 模拟的径流过程线符合黄土高原超渗产流的实际情况。但 LISEM 模型也存在许多有待改进的地方: 对数据的需求量巨大。以 10m×10m 像元, 模拟一个 0.45km<sup>2</sup> 的集水区, 要求对 4 500 个像元提取 30 多个参数, 其中的一些参数要在流域尺度上获取还相当困难, 如土壤团粒及移动特性、土壤导水率参数等。同时模型对于径流及侵蚀的一些过程没有考虑, 如土壤水的侧向流动、细沟网络、水流在坡地下部的重新入渗等, 以及降雨过程中参数的变化过程都没有进行考虑。

3. 牛志明(2001)将 ANSWER 模型应用于三峡库区小流侵蚀产沙、地表径流以及不同土地利用类型不少分布状况的模拟中。通过两个不同小流域模

拟结果的对比, 采用误差百分比、线性回归及 Nash—Sutcliffe 效率三种方法, 分析和评价了模型的模拟效果<sup>[50]</sup>; 结果表明: 模型在应用于我国三峡库区小流域土壤侵蚀模拟时, 其模拟结果与实测结果具有较高的吻合度, 模拟结果表明模型对于长序列过程的模拟时, 模拟水平优于短序列模拟水平; 模型对于雨季土壤过程的模拟误差明显低雨枯雨季节的模拟误差, 但对于一些陡坡林地等地类, 模型的模拟误差较大, 其模拟精度还有待进一步提高。国外侵蚀产沙模型在我国的应用将主要面临参数的修正、数据的可获取性、模型的校准等主要问题。

## 4 我国侵蚀产沙模型研究的发展方向

经验模型由于结构简单、使用方便, 同时也能够保证一定精度, 因此经验模型今后一段时期内仍将是指导水土保持实践的重要工具。近年来, 我国学者也参照通用流失方程, 提出了一些区域性预报模型, 但是在模型的建立过程中, 出现许多混乱, 其结果不仅影响了研究成果的可比性, 而且很容易产生使用上的混乱。土壤侵蚀经验模型仍然是今后相当长一段时间内水土保持规划的主要工具, 目前的物理模型或过程模型还不能代替经验模型。所以, 尽快开发我国土壤侵蚀经验模型, 对土地资源管理和环境规划都具有重要意义。我国经验性模型今后的研究重点在于:

1. 加快资料的整理、规范, 依据区域特点, 确立全国性的土壤侵蚀指标体系及推广应用的技术规范;

2. 加快从坡面模型到流域模型、区域模型的研究, 加强现有模型的检验, 集成从筛选出适合我国不同区域的侵蚀产沙模型;

3. 模型的检验和应用;

4. 充分依托 GIS、RS 等高新技术作为土壤侵蚀模型研究的技术平台。

在理论模型方面, 将进一步注重理论分析, 尤其是正在从以侵蚀因子为基础的侵蚀预报转向侵蚀过程的量化研究和理论完善。主要包括以下几个方面的研究:

1. 侵蚀过程的细分土壤微形态、气候等侵蚀因子交互作用对侵蚀过程的影响研究以及泥沙在复杂坡面的分散和沉积能力以及输移过程;

2. 陡坡侵蚀产沙及重力侵蚀发生机制研究;

3. 水沙运移及汇流过程的计算机模拟计算;



4. 注重了土壤侵蚀产沙模型外延的拓展, 具体体现在将侵蚀产沙模型逐步与非点源污染、侵蚀对土地生产力影响、全球气候变化及碳循环结合起来考虑。

## 参考文献:

- [1] 文康, 顾文燕, 李琪. 西北干旱地区——陕北岔巴沟产流模型的研究[J]. 水文, 1982, (4): 24~28.
- [2] 牟金泽, 孟庆枚. 陕北部分中小流域输沙量计算[J]. 人民黄河, 1983 (4): 35~37.
- [3] 范瑞瑜. 黄河中游地区小流域土壤流失量计算方程的研究[J]. 中国水土保持, 1985, (2): 12~18.
- [4] 孙立达, 孙保平, 等. 西吉县黄土丘陵沟壑区小流域土壤流失量预报方程, 自然资源学报[J], 1988, 3(2): 141~153.
- [5] 尹国康. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因分析[J]. 地理学报, 1998 53(2).
- [6] 马雪乃. 土壤侵蚀因子提取及建模应用[J]. 中国水土保持, 1990 (3): 33~36.
- [7] 金争平, 赵焕勋, 等. 皇甫川小流域土壤侵蚀量预报方程研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(1): 8~18.
- [8] 陆中臣. 晋陕蒙接壤区北片的侵蚀产沙模型, 黄土高原(重点产沙区)信息系统研究(续集)[M]. 北京: 测绘出版社, 1993 153~178.
- [9] 蒋定生, 周清, 范兴科, 等. 小流域水沙调控正态整体模型模拟实验[J]. 水土保持学报, 1994, 8(2): 25~30.
- [10] 吴礼福. 黄土高原土壤侵蚀模型及应用[J]. 水土保持通报, 1996 16(5): 29~35.
- [11] 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, 1(2): 1~9.
- [12] 吴发启, 赵晓光, 刘秉正. 黄土高原南部坡耕地土壤侵蚀预报[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 72~76.
- [13] 景可, 李钜章, 李凤新. 黄河中游侵蚀量及趋势预测[J]. 地理学报, 1998, 53(增刊).
- [14] 毕华兴, 朱金兆, 张学培. 晋西黄土区小流域场暴雨径流泥沙模型研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 14~19.
- [15] 杨武德, 王兆骞, 等. 红壤坡地不同利用方式下土壤侵蚀模型研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1): 52~58.
- [16] 李钜章, 景可, 等. 黄土高原多沙粗沙区侵蚀模型探讨, 地理科学进展[J], 1999, 18(1): 46~53.
- [17] 胡良军, 邵明安. 区域水土流失研究综述[J]. 山地学报, 2001, 19(1): 69~74.
- [18] 黄明斌, 郑世清, 李玉山. 流域尺度不同水保措施减水效益分割[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 1~7.
- [19] 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.
- [20] 李建军, 刘世德. 罗玉沟流域坡面土壤侵蚀量的计算[J]. 中国水土保持, 1989, (3): 28~31.
- [21] 马志尊. 应用卫星影像估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨[J]. 中国水土保持, 1989, (3): 24~27.
- [22] 金争平, 史培军, 等. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[M]. 北京: 海洋出版社, 1992. 45~98.
- [23] 张宪奎, 许靖华, 等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992 12(4): 1~9.
- [24] 陈法扬, 王志明. 通用土壤流失方程在小良水土保持试验站的应用[J]. 水土保持通报, 1992, 12(1): 23~41.
- [25] 周伏建, 陈明华, 等. 福建省土壤流失预报研究[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 25~30, 36.
- [26] 林素兰, 黄毅, 等. 辽北低山丘陵区坡耕地土壤流失方程的建立[J]. 土壤通报, 1997, 28(6): 251~253.
- [27] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(1): 1~9.
- [28] 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]. 自然资学报, 1999, 14(1): 62~68.
- [29] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 2000, 14(1): 19~24.
- [30] 谢树楠, 张仁, 王孟毅. 黄河中游黄土丘陵沟壑区暴雨产沙模型研究[A]. 黄河水沙变化研究论文集[C]. 第五卷, 黄河水沙变化基金会, 1993 238~274.
- [31] 沈冰, 王文焰. 植被影响下黄土坡地降雨漫流数学模型[J]. 水土保持学报, 1993 7(1) 23~28.
- [32] 王根绪. 长期径流预报的灰色双向差分模型[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1994 30(2): 117~121.
- [33] 包为民, 陈耀庭. 中大流域水沙耦合模拟物理概念模型[J]. 水科学进展, 1994 5(4): 287~292.
- [34] 李怀恩, 樊尔兰, 沈冰. 流域汇流计算的逆高斯分布模型[J]. 水利水运科学研究, 1994, (1, 2): 147~151.
- [35] 沈晓东, 王腊春, 谢顺平. 基于栅格数据的流域降雨径流模型[J]. 地理学报, 1995, 50(3).
- [36] 曹文洪, 张启舜, 马喜祥. 水文水动力学数学模型的沿革及新近发展[N]. 见: 中国水利学会泥沙专业委员会, 第二届全国泥沙基本理论研究学术论文集[C], 中国建材工业出版社, 365~370.
- [37] 蔡强国, 陆兆熊. 黄土丘陵沟壑区典型小流域侵蚀产沙过程模型[J]. 地理学报, 1996, 51(2): 108~117.
- [38] 汤立群. 流域产沙模型研究[J]. 水科学进展, 1996, 7(1): 47~53.
- [39] 蒋业放, 张兴有. 河流与含水层水力耦合模型及其应用[J]. 地理学报, 1999 54(6).
- [30] 敖汝庄, 王协康, 黄尔. 坡面产流模式的神经网络模拟[J]. 泥沙研究, 2000 (4) 55~58.
- [41] 苑宝忠, 李英士. 伊通水文站流域模型与应用[J]. 东北水利水电, 2000, 18(9): 24~27.
- [42] 白清俊. 黄土坡面细沟侵蚀带产流产沙模型研究[J]. 水土保持学报, 2000 14(1): 93~96.
- [43] 秀英, 曹文洪, 付玲燕, 等. 分布式流域产流数学模型的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3), 40.
- [44] 张科利, 曹其新, 细山田健三, 等. 神经网络模型在土壤侵蚀预报中应用的探讨[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995, 1(1): 58~63.
- [45] 尚金成, 刘鑫卿, 张勇传, 等. 基于多层神经网络的随机自适应径流预报模型[J]. 水电能源科学, 1995, 13(1).
- [46] 张小峰, 许全喜, 裴莹. 流域产流产沙 BP 网络预报模型的初步研究[J]. 水科学进展, 2001, 12(1): 17~22.
- [47] 苑希民, 刘树坤, 陈浩. 基于人工神经网络的多泥沙洪水预报

[ J] . 水科学进展, 1999, 10(4).

[ 48] 陈一兵, K. O. Trouwborst. 土壤侵蚀建模中 ANSWERS 及地理信息系统的研究[J] . 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(2): 1 ~ 13.

[ 49] 马修军, 谢昆青. GIS 环境下流域降雨侵蚀动态模拟研究——以 PC Raster 系统和 LISEM 模型为例[J] . 环境科学进展, 1998, 7(5): 137 ~ 144.

[ 50] 牛志明, 解明曙, 孙阁, 等. ANSWER2000 在小流域土壤侵蚀过程模拟中的应用研究[J] . 水土保持学报, 2001, 15(3): 56 ~ 60.

# Review on the Studies of Chinese Main Soil Erosion and Sediment Yield Models

TANG Zheng-hong, CAI Qiang-guo

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101 China)

**Abstract:** There are a lot of studies on soil erosion models in China in the recent years, and many hillslope models, watershed models and regional models have been built up. Since our current situations are too many people with limited land, as well as with complex and varied physiognomies in China, which make the characteristics of soil erosion different with European and America, so there are great distinctions between the characteristics of soil erosion models in China and the models of overseas. The paper reviewed the empirical soil erosion models and theoretic models, and discussed the applications of new theories, new techniques and some international erosion models. The paper pointed out future trends of the studies on soil erosion models.

**Key words:** soil erosion models; application; review