

## 水土保持综合治理的水沙响应研究方法改进探讨

张攀<sup>1,2</sup>, 姚文艺<sup>2</sup>, 冉大川<sup>2</sup>

(1. 河海大学, 南京 210098; 2. 黄河水利委员会 黄河水利科学研究院, 郑州 450003)

**摘要:**介绍了国内外水土保持研究的发展概况及水土保持措施减水减沙效益计算方法,着重分析了研究及计算方法中存在的问题,并提出了今后的努力方向:①在利用“水文法”计算减洪减沙效益时,应针对不同的土壤侵蚀类型区分别建立降雨产洪产沙模型;②在利用“水保法”计算减洪减沙效益时,应加强坡面治理对沟道侵蚀的影响研究;③进一步研究淤地坝的减蚀作用;④继续改进水保措施减洪减沙效益计算方法。

**关键词:**水土保持;产洪产沙;减洪减沙效益;水沙变化;黄河

**中图分类号:** S157

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2008)02-0173-04

## Research Methods Improvment and Discussion of the Soil and Water Conservation Comprehensive Treatment to Water and Sediment Responds

ZHANG Pan<sup>1,2</sup>, YAO Wen-yi<sup>2</sup>, RAN Da-chuan<sup>2</sup>

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** The paper introduced the development survey of soil and water conservation research and calculation methods of water and sediment reduction benefits by soil and water conservation measure, emphatically analyzed the questions existed in the research and calculation methods, and proposed the next diligently direction, those are: ① When using ‘Hydrology method’ calculate water and sediment reduction benefits, we should aim at the different soil erosion types to build Rainfall—flood and Sediment yield models; ② When using ‘soil and water conservation method’ calculate water and sediment reduction benefits, we should strengthen the slope government to the trench influence research; ③ Further studies the erosion reduction of check dam; ④ Continue to improve the calculation methods of water and sediment reduction benefits by soil and water conservation measures.

**Key words:** soil and water conservation; flood and sediment yield; water and sediment reduction benefits; runoff and sediment variety; Yellow River

### 1 引言

水土流失是我国当前面临的主要环境问题之一。严重的水土流失,极大地破坏了农业生产条件,恶化生态环境,加剧洪涝和干旱灾害,严重影响交通、电力、水利等基础设施的运行安全,不仅是群众脱贫致富的重要障碍,也严重制约着国家经济社会的可持续发展。

流域产水产沙主要是由两方面的因素所致,一是降水条件,二是下垫面条件。降水条件中降水量和降水强度是两个主要的影响参数;下垫面条件中涉及的因素则较多,主要与流域地形的几何特征、地表岩性和物质、植被及其覆盖度等有关。在上述诸因素中,人们试图改变其中的若干因素以达到防治水土流失的目的,水土保持措施是其中最重要的手段<sup>[1]</sup>。实施水土保持措施综合治理后,流域的水沙特性必然会发生变化,这对水利水电工程的兴建、河道规划整治、防

洪、后期水土保持措施规划等都将产生较大影响。所以,正确计算流域水土保持措施的减洪减沙效益,预测水土保持措施实施后流域的水沙变化趋势意义重大<sup>[2]</sup>。

水土保持措施所具有的减水减沙作用是通过计算其减水减沙效益加以量化和评价的。水土保持措施的减水减沙效益是指由于水保措施的实施所减少的径流和侵蚀产沙量相对于“计算值”的百分数(或比例)。水土保持措施效益定量计算的最终目的是为水土保持规划、水土流失定量预报及各种水土保持措施减洪减沙作用的横向比较提供依据。因此水土保持减水减沙效益计算是黄河水沙变化研究的一个重要方面,关系到黄河开发治理、工程规划设计、中游治理、下游防洪减淤、水资源综合利用以及促进工农业建设、改善生态环境、发展当地经济等一系列问题,是做好长期水土保持规划和流域治理规划的重要基础支撑,对流域综合治理具

收稿日期:2007-9-26

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重点项目第一课题第四专题(2006BAB06B01-04)

作者简介:张攀(1982-),女,河南洛阳人,硕士研究生,主要从事水土保持措施蓄水减沙效益及流域水沙响应研究。E-mail: zhangpan7788520@163.com

有指导意义。研究水土保持措施的减洪减沙作用已成为泥沙研究和水土保持研究的一项极为重要的基础研究课题。

## 2 国内外研究发展概况及发展趋势

### 2.1 国内研究进展

为研究黄土高原侵蚀产沙规律及治理措施,我国1942年在甘肃天水建立了第一个水土保持试验站,修建了天然径流小区,对人工种草、沟垄耕作等水土保持措施的减水减沙作用首次进行了观测研究,取得了可贵的成果。1951年后黄河水利委员会设立的天水、西峰及绥德3个水土保持科学试验站,逐渐形成较为完善的试验研究规模,为黄河流域水土保持径流泥沙研究工作起了奠基和导向作用<sup>[3]</sup>。此后,天然径流小区的定位观测作为一种基本研究手段被广泛应用。早期对水土保持措施的减水减沙效益研究主要集中在小尺度上,如坡面小区水保治理对产流产沙的影响等。随着研究的不断深入,水土保持措施的减沙效应研究逐渐从径流小区的研究向小流域及大中流域推进。20世纪80年代以前,研究重点基本上是根据水土保持试验区的观测资料,对影响土壤侵蚀的主导因子进行研究,揭示不同地形地貌、土壤特征、林草植被、水文气象条件下土壤侵蚀规律及单项水土保持治理措施的减水减沙效益等。80年代中期以来,加强了对重点治理流域的研究。长江水利委员会结合三峡工程泥沙研究的需要,对三峡水库来水来沙条件作了深入分析研究,并对长江宜昌以上未来的来水来沙趋势作了初步预测,90年代后期又进行了“长治”工程减沙效益研究。1988—2003年先后开展的水利部第一期水沙基金、黄河流域水保基金、国家自然科学基金、“八五”国家重点科技攻关项目(85-926-03-01)、黄委会黄河上中游管理局“八五”重点课题、水利部第二期水沙基金等,都对黄河中游水沙变化进行了较为系统的研究,取得了许多宝贵的研究成果<sup>[4]</sup>。

### 2.2 国外研究进展

19世纪下半叶,在土壤学、地貌学、林学等领域开始了最初的水土流失问题研究,德国土壤学家沃伦在1877—1895年完成了世界上第一个水土保持科学试验(小区观测植被和地被覆盖物对侵蚀的影响)。

1882年在奥地利维也纳农业大学林业系设立了具有欧洲山区特点的荒漠治理专业,形成了一套完整的荒漠治理森林与工程措施体系,包括工程措施、森林生物措施、规划经营措施及法律性预防措施。

1886年,日本以关东山洪泥石流灾害为契机,在原有的治山治水传统思想的基础上,吸收了欧洲荒漠治理学的科学体系,最后由诸户北朗博士在1928年创立了日本的砂防工程学。

在美国,20世纪30年代由于肆意垦殖大面积原始草原和森林,在这个仅开发百余年的移民国家引起了严重的水土流失,被迫采取各种措施进行防治,并由贝纳特(Bennet)创立的以耕作土壤为主的“土壤保持学”(开垦农田引起的土壤侵蚀问题的大规模研究)。

20世纪40年代以前,苏联学者以景观、农业、土壤学相结合建立了农林改良土壤学和水利改良土壤学<sup>[5]</sup>。

在20世纪40年代R. W. 津格、D. D. 史密斯和G. W. 马斯格雷夫等早期研究基础上,1960年初美国W. H. 维希迈耶和D. D. 史密斯通过系统整理分析美国10 000余个小区试验资料,建立了著名的通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE)<sup>[6]</sup>。

20世纪80年代以来,随着科学技术的发展,土壤侵蚀模型与计算机和信息技术融合,土壤侵蚀预测工具从传统的图表发展到计算机软件。目前土壤侵蚀预测模型的研究已经由统计模型发展到具有一定物理意义的过程模型,由坡面模型发展到流域模型,由集总式模型发展到分布式模型,由只能预测年侵蚀量发展到可以预测不同降雨、不同时段侵蚀量以及土壤侵蚀的连续过程。除传统的USLE以外, RUSLE、WEPP、AGNPS、EUROSEM、LISM等新的土壤侵蚀模型不断出现。

WEPP(Water Erosion Prediction Project)模型是美国农业部农业研究局于1985年主持开发的一个土壤侵蚀模型,是迄今为止较为成熟和先进的土壤侵蚀过程模型之一。WEPP模型已经引入我国,在东北及南方丘陵地区有过应用<sup>[7]</sup>。WEPP模型不仅给我国进行土壤侵蚀监测和水土保持治理提供了新的技术工具,其建模思路也给我国进行土壤侵蚀科学研究提供了很多借鉴。

### 2.3 借鉴意义

20世纪30年代以来,西方国家对于水土流失和水土资源保护进行了大量的研究,取得了一系列成果,对我国的水土保持及其研究具有借鉴意义。主要表现为以下4个方面:

(1)土壤侵蚀预报模型的开发和应用。作为水土保持规划工具和宏观水土保持决策工具的土壤侵蚀预报得到了迅速发展并取得了巨大成功。在美国、英国、比利时、荷兰等国家和地区,先后开发了USLE、RUSLE、WEPP、EUROSEM、LISEM等模型。在此基础上,开发了土壤生产力评价模型(EPIC)、非点源污染模型(AGNPS和ANSWERS)、水土资源评价模型(SWAT)等。

(2)土壤侵蚀监测的统一性和规范性。美国从20世纪20年代开始在全美建立的土壤侵蚀试验观测站,由于其试验设计、观测方法、资料处理上的高度一致性和规范化,为后来美国土壤侵蚀重大创新性成果的产生(如USLE、RUSLE、WEPP等)提供了创新基地。

(3)空间信息等高新技术应用。美国等发达国家利用先进完善的对地观测技术、计算机网络技术和强大的海量数据处理能力,开展了全球尺度的水土流失及其与全球变化关系的研究。同时将水土流失视为限制当今人类生存与发展的全球性环境灾害,在全球性重大研究计划中,都将区域和全球尺度的土壤侵蚀列为重要研究内容。

(4)水土保持耕作技术开发与应用。在美国最有特色的是水土保持耕作法和小流域治理。实施水土保持耕作法,包括免耕、少耕、秸秆、残茬覆盖和小流域治理;小流域治理则将耕作措施、生物措施和工程措施结合,综合规划,将洪水控制、流域资源保护、农业用水管理、休养旅游、城市和工业用水、发展渔业以及野生动物资源保护等内容相结合,同时注

重将水保效益与土地所有者的利益相结合。横坡耕作和等高植物篱技术,尤其是农林复合经营技术(Agroforestry)在热带亚热带地区被成功地应用<sup>[8]</sup>。

### 3 水土保持减水减沙效益计算方法

20世纪50年代以来,黄河中游的水保科研机构相继开展了水土保持减水减沙作用的研究。从目前的研究情况来看,水土保持减水减沙效益计算方法可分为“水文法”和“水保法”2种。

“水文法”是从水文统计方面分析计算河流水沙变化的一种方法。它通过对流域治理前实测水沙资料的统计分析,建立对应的降雨径流、降雨输沙关系式,即降雨产流产沙模型;将流域治理后的降雨资料代入模型,求得在相当于未治理情况下可能的产水产沙量,即“天然”产水产沙量,再与治理后同期实测径流泥沙量相比,其差值就是水利水保措施的减水减沙量<sup>[9]</sup>。

水土保持分析法,简称“水保法”,也叫成因分析法。它是根据特定条件下水土保持各单项措施的减水减沙对比观测资料,经过综合分析后求出各类措施的拦蓄效益指标,然后将各措施量乘以相应的拦蓄效益指标后再逐项相加,即得流域治理拦蓄效益<sup>[10]</sup>。“水保法”计算精度的关键是各单项水保措施减洪减沙指标的确定和水保治理措施数量、质量以及分布的调查落实。在利用“水保法”计算时,把水土保持措施分为坡面措施和沟道措施两大类,坡面措施包括梯田、林地、草地等3项,沟道措施主要是指淤地坝。

### 4 存在的问题

#### 4.1 减水减沙研究中存在的问题

20世纪80年代以来,水土保持措施减水减沙研究取得了可喜的成绩,但存在的问题还很多。主要表现在:①水土保持重点治理区往往缺乏水沙观测资料,给分析研究工作增添了困难。②从降雨侵蚀产沙的角度来看,对实验资料和小流域情况分析比较多,模型在实际应用中适应性欠缺,检验不够,大多模型只经过一个流域的检验。③虽然分析水土保持措施减水减沙效益的方法很多,但没有较成熟的水文统计模型,由于影响水沙变化的因子较多,难以全面考虑,且水沙关系非线性,因此,资料的长短及其代表性显得尤为重要。而产沙输沙的水文概念性物理模型起步较晚,还不能象降雨径流模型那样方便地应用。④黄河中游主要是坝库减沙,淤地坝的减水减沙作用是非常明显的,但却是在中游暴雨较少和20世纪70年代修建的坝库过量淤积条件下形成的,一旦遇到大暴雨,这种效益就很难维持。以往研究很少涉及大暴雨条件下淤地坝减水减沙作用。⑤坡沟侵蚀关系源于小流域泥沙来源问题的研究,已经引起了广泛的关注。但以往的研究多限于水沙关系的探讨,很少注重减沙减蚀机理的研究,尤其是淤地坝的减水减沙机理研究。另外,淤地坝减沙减蚀量之间的定量关系还少有研究。

#### 4.2 计算方法中存在的问题

##### 4.2.1 “水文法”存在的问题

①存在的突出问题是,只考虑了降雨因素,而未考虑下

垫面条件中单项措施的影响,因此,各类单项水保措施在减水减沙总量中所占的比例难以确定。

②由于基准期流域雨量观测站点不足,降雨强度观测也很粗放,难以根据记录判别出产流降雨和不产流降雨,降雨产流产沙模型中使用的有效降雨量和有效降雨强度很难说是准确的。

③所求结果是水利水保措施及人类活动综合作用的结果,很难精确地将水利水保措施的减水减沙量从结果中分离出来。

④一个大的流域通常包括很多的侵蚀类型区。侵蚀类型区不同,各次降雨的时空分布不同,产流产沙量也不同;在相同的流域面平均降雨量情况下,不同侵蚀类型区不会产生相同的水量和沙量。因而,公式计算的数值和实际产流产沙量有一定的差距<sup>[11]</sup>。

⑤降雨是有周期性的,在不同阶段暴雨的多少和强度的大小是不同的,因而产沙量也是不同的。暴雨多,强度大,产沙多;暴雨少,强度小,产沙少。由于降雨产沙模型是用暴雨多、强度大的20世纪50—60年代(称为基准期)雨沙资料建立起来的,系数、指数偏大。

⑥建立的模型虽有多种,但主要是降雨产沙模型。流域产沙虽主要与降雨有关,但也与河道流量及含沙量有关。流量和含沙量的大小不同,河道或产生冲刷或产生淤积,模型中未考虑这方面因素<sup>[3]</sup>。

##### 4.2.2 “水保法”存在的问题

由于水土保持措施减洪减沙指标的选择不仅受措施本身状况(包括措施数量、质量、管理以及分布等)的影响,同时还受水文、气象边界条件以及时间尺度的影响,减洪减沙指标的正确选取相当困难。目前研究中,水保措施面积和影响参数都带有很大的不确定性。主要包括以下几个方面:

①计算过程中,虽然水保措施的类型和数量在方法中能直接被反映,但水保措施的质量差别、配置部位差别、降雨特征差别等不能得以体现,而这些因素对产流产沙有着显著的影响。

②水保措施数量、种类、质量、面积的统计确定,受到许多人为因素的干扰。例如,在几十万平方公里的广大面积上,各项措施治理面积的统计,只能通过抽样调查落实,这其中带有很大的任意性<sup>[12]</sup>。

③蓄水减沙指标的确定是径流小区观测资料加以折减移用到大面积上的,在“小区推大区”过程中折减系数的确定还缺乏科学的方法。

④应用小区单项措施减洪减沙指标“小区推大区”后的简单叠加不能正确反映各项措施的综合效益,即存在“单项推综合”的问题。例如在考虑坡面措施的减水作用时,计算比较孤立,没有考虑到因坡面减水后由于水不下沟对沟道的减蚀作用。类似于这样的问题还有上游减洪减沙对下游侵蚀的影响<sup>[13]</sup>。

⑤坡面和沟道水保措施拦蓄的地表径流量,除农田和林草地蒸散发外,其余部分将转化为土壤水,最后将以地下径流形式回归河道,而现用的水保法很难计算各部分回归水,

从而影响了计算精度。

⑥没有考虑降雨特性的差别对产流产沙的影响。任何一项水土保持措施的减洪减沙效益都不是一个常量,它是随降雨条件的改变而改变的,尤其像黄河中游这种以暴雨为产流产沙主要外营力的地区,降雨特性对水土保持措施的影响非常大,从而很难将某场或某期间特定降雨条件下所测定的减洪减沙效益作为代表值。离开降雨来确定某项水土保持措施的减洪减沙效益指标是不能反映实际情况的<sup>[1]</sup>。

## 5 今后的努力方向

(1)用“水文法”计算减洪减沙效益时,对不同的土壤侵蚀类型区应分别建立降雨产洪产沙模型。一个流域通常包括多种土壤侵蚀类型区,不同类型区的降雨情况虽然有可能相同,但产沙量差别很大。如果用同一个产洪产沙模型计算,则因不能体现不同类型区的特征而产生较大误差。在此情况下,每个流域应分类型区建立降雨产洪产沙模型,以保证计算结果的精度。

(2)加强坡面治理对沟道侵蚀的影响研究。沟道侵蚀与坡面径流有十分密切的关系,坡面措施不仅可以减少坡面径流侵蚀产沙,同时可使沟道侵蚀量明显减少<sup>[14]</sup>。以往的研究多将坡面与沟道作为两个独立的侵蚀产沙单元研究;从流域系统的观点出发,将坡面—沟道的侵蚀产沙过程作为一种耦合关系研究还远远不够。但在传统的“水保法”计算中,利用坡面产沙模数计算坡面措施减沙量,没有考虑坡面径流量对沟道侵蚀的影响,因而使坡面措施减沙量偏小。国家“八五”重点科技攻关项目(85-926-03-01)研究提出的“以洪算沙”法从一定程度上克服了传统“水保法”对各种措施孤立计算的缺陷,但“以洪算沙”法对减沙量的推算建立在治理前洪水泥沙关系近似为线性关系的基础上,因此该方法仍然未考虑治理对洪水泥沙关系的影响,这仍有待进一步完善。在今后的研究中,还需从基本资料、基础理论方面入手,通过实测资料,分析水沙规律,注重对产水产沙机理的研究,使计算方法建立在一定的理论基础之上,这样计算出来的结果才会更加符合实际情况。

(3)进一步研究淤地坝的减蚀作用。淤地坝建成后,由于控制了沟谷侵蚀基点,并随着淤泥量的增加,抬高了侵蚀基准面,减缓了沟道比降,降低了沟道水流的行进流速,原来下切侵蚀沟床及沟谷两岸的拓宽侵蚀基本停止,从而减轻了沟谷的土壤侵蚀。其数量包括坝内泥沙淤积物覆盖下的原沟谷侵蚀量及影响到淤泥面以上沟道侵蚀的减少量,其中后一部分很难定量计算。现行减蚀量计算方法通常是在计算出前一部分后乘扩大系数,计算比较粗略,在今后的研究中,应加强对淤地坝减蚀作用的机理及其对流域侵蚀环境系统影响的研究,使淤地坝减蚀量的计算逐步做到精确化。

(4)继续改进水利水保措施减水减沙效益计算方法。“水文法”是脱离了具体的水利水保措施来计算效益的,这就使得效益的“主体”模糊不清,即它无法计算单项措施在水保

效益中所占的比重;“水保法”则是将措施近期拦蓄效益指标孤立于产水产沙环境之外,缺乏理论依据,使得计算出的效益存在较大误差。因此,在今后的研究中,应该探索出一种建立在产水产沙机理之上的,并能充分体现水土保持措施配置影响的计算方法。它可以用下列模型表示:

$$F_{\text{水}}(\text{或 } F_{\text{水保}}) = f(P, C, K)$$

式中: $P$ ——降水条件; $C$ ——水保措施,并能反映措施类型、数量、质量、分布等变化; $K$ ——其它条件<sup>[1]</sup>。

目前,在我国建立的产流产沙模型中,有的只考虑了 $P$ ,有的考虑了 $P$ 和 $K$ ,但同时考虑 $P$ 、 $K$ 、 $C$ 的尚未见到,这是今后需要进一步研究的问题。

## 参考文献:

- [1] 骆向新,徐新华.关于水土保持减水减沙效益分析方法的探讨[J].人民黄河,1995(11):34-36.
- [2] 张明波,郭海晋.水土保持措施减水减沙研究概述[J].人民长江,1999,30(3):47-49.
- [3] 孟庆枚.黄土高原水土保持[M].郑州:黄河水利出版社,1999.
- [4] 冉大川,柳林旺,赵力仪,等.黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化[M].郑州:黄河水利出版社,2000:2-11.
- [5] 李凤,吴长文.水土保持学的发展[J].南昌水专学报,1995,14(1):71-72.
- [6] W. H. Wischmeier, D. D. Smith. Predicting rainfall-erosion losses-a guide to conservation planning, USDA, ARS[S]. Agricultural Handbook 537, Washington D C, 1978.
- [7] J. M. Laflen, G. R. Foster. WEPP—A new generation of erosion prediction technology[J]. J. Soil and Water Conservation, 1991, 46(1):34-38.
- [8] 王礼先,张有实,李锐,等.关于我国水土保持科学技术的重点研究领域[J].中国水土保持科学,2005,3(1):2-3.
- [9] 张胜利,于一鸣,姚文艺.水土保持减水减沙效益计算方法[M].北京:中国环境科学出版社,1994:50-73.
- [10] 姚文艺,李占斌,康玲玲.黄土高原土壤侵蚀治理的生态环境效应[M].北京:科学出版社,2005:212-214.
- [11] 常丹东,王礼先.水土保持对黄河年径流量影响研究[J].水利规划与设计,2005(2):37-61.
- [12] 徐明权,杨小庆.浅谈黄河水沙变化研究成果[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998(3):21-23.
- [13] 冉大川,刘斌,王宏,等.黄河中游典型支流水土保持措施减洪减沙作用研究[M].郑州:黄河水利出版社,2006.
- [14] 姚文艺,汤立群.水力侵蚀产沙过程及模拟[M].郑州:黄河水利出版社,2001:143-148.