



水土保持 减水减沙效益 计算方法



序

人类活动对河川径流、泥沙的影响，一直是人们关注的重要课题，尤其是受人类活动严重影响的黄河，此项研究更显重要。长期以来，黄河水利委员会等单位，对这项研究极为重视，早在 40 年代初期，就在水及关中建立了水土保持实验区。新中国建立以后，黄河中游水土保持科学试验站（所）、有关省（区）和大专院校在水土流失规律和水土保持效益研究方面取得了大量资料和科研成果。近年来开展的黄河流域水沙变化研究，在暴雨产流产沙规律及水利水保措施减水减沙效益研究方面也取得了一批新成果。在此基础上，作者经过多年的潜心研究，归纳总结撰写了这本专著。本书的出版，无疑对促进这一工作的深入开展起到积极的作用，确实是一件可喜可贺的事情。

黄河水沙变化研究，历来是一项非常重要的工作，同时也是一项非常复杂而且争论很大的问题。过去曾对这项研究的复杂性和长期性认识不足，对水利水保措施的减水减沙作用估计过于乐观，从而导致失误。目前，由于降雨过程的多变性，水利水保措施的多样性，以及地面物质形态的复杂性，加之观测资料不足，计算方法不够完善，对水土保持减水减沙作用的认识还存在很大分歧，很多问题还需要深入研究。

尽管存在许多困难，但这项研究却是治黄事业的迫切需要，我们的态度应该是一不要回避，二要认真研究。我相信，只要踏实工作，依靠现代科学技术，加强观测研究，在弄清实际情况的基础上，攻克这一难题也是不难办到的。

我毫矣无能为矣。愿同志们继续努力，团结协作，探索前进，为治黄事业做出更大贡献。

吴以敦

1994.8

前 言

黄河流域严重的水土流失，对国民经济建设造成巨大危害。为了根治水土流失，在各级党和人民政府领导下，从新中国建立初期开始，即在全流域开展了大规模水土保持工作，40年来，取得了很大成绩，初步治理程度已达30%以上。为估算和评价水土保持的减水减沙作用，1988年在黄河流域水土保持科研工作协调小组的安排下，黄河流域水土保持科研基金第四攻关课题对黄河中游多沙粗沙区水土保持措施减水减沙效益及水沙变化趋势进行了研究，迄今，研究工作已经结束。由于各单位的积极支持和参加研究工作的科技人员的辛勤努力，研究工作取得了很大进展。本书是在此次研究基础上对水土保持减水减沙效益计算方法进行系统研究的总结。

我国水土保持减水减沙效益研究，始于40年代初期。当时天水水土保持试验站在水南市梁家坪的坡地上，设置了径流小区，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。此后，随着水土保持工作的开展和治黄规划工作的需要，黄河水利委员会和有关单位，曾多次组织人力进行黄河流域水土保持减水减沙效益的研究工作。每次研究，都对计算方法进行了探讨。在本次减水减沙效益研究中，我们对以往这一领域中的计算方法进行了系统的整理和分析，在实践中进行了检验和改进，同时，通过不同的途径，对新的方法进行了探索。本书汇集了前人和我们自己在这方面的研究成果。

本书共分六章。姚文艺撰写了第一章及附录，于一鸣撰写了第三章及第六章，张胜利、姚文艺撰写了第二章，张胜利撰写了第四章及第五章，并最后进行了统稿。

本书承水土保持界老前辈吴以敦先生作序，胡志扬同志给予了大量的帮助和支持，谨致谢意。

由于影响水沙变化的因素极为复杂，再加上我们的水平所限，不足之处，在所难免，竭诚欢迎指正。

作 者

1994.8

目 录

序	吴以敦 (I)
前言	(II)
第一章 土壤侵蚀、产沙及输移规律	(1)
1.1 土壤侵蚀与产沙的基本概念	(2)
1.1.1 土壤侵蚀的概念	(2)
1.1.2 土壤侵蚀与产沙的区别及联系	(4)
1.2 土壤水力侵蚀与产沙的基本规律	(6)
1.2.1 坡面侵蚀与产沙规律	(6)
1.2.2 沟道侵蚀与产沙规律	(26)
1.2.3 河道侵蚀	(28)
1.2.4 泥石流	(30)
1.2.5 高含沙洪水	(33)
1.3 泥沙输移规律	(40)
1.3.1 泥沙输移比的定义及研究概况	(40)
1.3.2 人类活动对泥沙输移比的影响	(43)
1.3.3 泥沙输移比的计算	(45)
第二章 水土保持减水减沙效益计算方法——水文法 ..	(49)
2.1 统计模型	(51)
2.1.1 产流经验关系	(51)
2.1.2 产沙经验关系	(60)
2.1.3 统计模型的应用及评价	(72)
2.2 概念性模型	(74)
2.2.1 陈国祥等建立的黄土丘陵沟壑区小流域	

产沙过程模型·····	(76)
2.2.2 谢树楠等建立的黄土丘陵沟壑区暴雨产沙模型·····	(82)
2.2.3 艾南山等建立的人类活动对土壤流失影响数学模型·····	(90)
2.2.4 讨论·····	(92)
2.3 利用填洼概念分析水土保持措施减水减沙效益方法·····	(94)
2.3.1 水保措施拦蓄径流的计算·····	(94)
2.3.2 水保治沟措施的拦沙计算·····	(99)
2.4 双累积曲线相关分析法·····	(103)
第三章 水土保持减水减沙效益计算方法——水保法 ·····	(106)
3.1 单项水保措施减水减沙效益·····	(107)
3.1.1 水土保持耕作法减水减沙效益·····	(107)
3.1.2 人工草地减水减沙效益·····	(108)
3.1.3 人工林地减水减沙效益·····	(112)
3.1.4 水平梯田减水减沙效益·····	(116)
3.1.5 淤地坝减水减沙效益·····	(118)
3.2 水利水土保持措施减水减沙效益计算方法·····	(122)
3.2.1 计算分区和治理措施的调查落实·····	(122)
3.2.2 水利水土保持措施减水减沙效益计算方法·····	(127)
3.2.3 对水保法的评价·····	(144)
第四章 人类活动新增水土流失计算方法 ·····	(146)
4.1 黄河中游大型煤田开发对侵蚀和产沙影响的估算方法·····	(147)

4.1.1	概述	(147)
4.1.2	煤田开发对土壤侵蚀和产沙影响的估算 方法	(149)
4.2	人为加速侵蚀与产沙的估算	(159)
4.2.1	自然侵蚀和人为加速侵蚀速率的比较 ...	(161)
4.2.2	人为开荒对加速侵蚀影响的估算方法 ...	(162)
第五章	水沙变化发展趋势预测方法	(167)
5.1	水利水土保持措施对河川径流、泥沙影响的 趋势分析	(167)
5.2	水沙变化趋势预测方法	(170)
5.2.1	预测条件分析	(170)
5.2.2	预测方法	(171)
第六章	计算结果的误差分析与检查验算	(179)
6.1	计算结果的误差分析	(179)
6.1.1	水文法的误差分析	(179)
6.1.2	水保法的误差分析	(181)
6.2	检查验算方法	(183)
6.2.1	天然产沙量对比验算法	(183)
6.2.2	最大可能产沙量验算法	(185)
附录 I	经验公式的确定方法	(189)
附录 II	常用计算单位及换算	(212)

Contents

Foreword	Wu Yixue(I)
Preface	(II)
Chapter 1 Laws of Soil Erosion, Sediment Yield and Sediment Delivery	(1)
1. 1 Concepts of Soil Erosion and Sediment Yield	(2)
1. 1. 1 Concepts of Soil Erosion	(2)
1. 1. 2 Difference and Relation in Soncept Between Soil Erosion and Sediment Yield	(4)
1. 2 Basic Law of Water Erosion	(6)
1. 2. 2 Laws of Gully Erosion and Sediment Yield	(26)
1. 2. 3 Channel Erosion	(28)
1. 2. 4 Debris Flow	(30)
1. 2. 5 Hyperconcentrated Flood	(33)
1. 3 Basic Laws of Sediment Delivery	(40)
1. 3. 1 Definition and Research Status of the Sediment Delivery Ratio	(40)
1. 3. 2 Impact of Mankind Activities on Sediment De - livery	(43)
1. 3. 3 Calculation of Sediment Delivery Ratio	(45)
Chapter 2 Hydrologic Calculation Method of Benefits on Reduction of Water and Sediment Runoff Through Soil Conservation Measrues	

.....	(49)
2.1 Statistical Methods of Runoff and Sediment ...	(51)
2.1.1 Empirical Formulas for Calculating Runoff Yield	(51)
2.1.2 Empirical Formulas for Calculating Sediment Yield	(60)
2.1.3 Discussions on Statistical Models and Theirs Application	(72)
2.2 Conceptualize Models	(74)
2.2.1 The Mathematical Model Established by Chen Guoxiang et al. for Sediment Yield of Small Watershed in Gullied Rolling Loess Region ...	(76)
2.2.2 The Model Founded by Xie Shunan et al. for Sediment Yields Caused by a Storm in loess Zone	(82)
2.2.3 The Mathematical Model Developed by Ai Nanshan of Effects of Human Activities on Soil Erosion in the Loess Plateau	(90)
2.2.4 Discussion	(92)
2.3 Analysis of Benefits on Reduction of Water and Sediment Yield Through Soil Conservation Measures by the Concept of Fill Hollow	(94)
2.3.1 Benefits of Soil Conservation Measures for In- tercepting Rain Water and Regulating Runoff	(94)

2.3.2	Benefits of Sediment Reducing of Gully Improvement	(99)
2.4	Analitil Method of Double—Cumulative Relativety Curve	(103)
Chapter 3 Conservation—Method of Estimating Benefits on Reduction of Water and Sediment Yield Though Soil Conservation Measure		
		(106)
3.1	Benefits on Reduction of Water and Sediment Yield for Individual Measure	(107)
3.1.1	Benefits on Reduction of Water and Sediment Yield for Conservation Farming	(107)
3.1.2	Benefits on Reduction of Water and Sediment Yield for Planting Grasses	(108)
3.1.3	Benefits on Reduction of Water and Sediment Yield for Afforestation	(112)
3.1.4	Benefits on Reduction of Water and Sediment Yield for Terraced Field	(116)
3.1.5	Benefits on Reduction of Water and Sediment Yield for Desilting Dam	(118)
3.2	Estimation Method of Benefits on Reduction of Water and Sediment Yield for Soil Conservation	(122)
3.2.1	Area Classification for Calculation and Investigation of Conservation Measures	(122)
3.2.2	Estimation Methods	(127)

3.2.3	Comments on Conservation—method	(144)
Chapter 4 Estimation Method of Soil Loss Caused		
	by Human Activities	(146)
4.1	Analysis Method of Influence of Major Coalfield Development on Soil Erosion and Sediment Yield in Middle Reaches of the Yellow River	(147)
4.1.1	Introduction	(147)
4.1.2	Analysis Method of Influence of Coalfield Development on Soil Loss and Sediment Yield	(149)
4.2	Estimation of Accelerated Erosion and Sediment Yield Caused by Human Activities	(159)
4.2.1	Comparison of Natural Erosion with Accelerated Erosion	(161)
4.2.2	Estimation Method of Influence of Opening up Wasteland on Accelerated Erosion	(162)
Chapter 5 Forecast Method of Variation Tendency		
	of Water and Sediment	(167)
5.1	Tendency Analysis of Effect of Soil Conservation Measures on Runoff and Sediment in Channel	(167)
5.2	Forecast Method of Variation Tendency of Water and Sediment	(170)
5.2.1	Analysis of Forecast Conditions	(170)

5.2.2	Methods of Forecast	(171)
Chapter 6 Error Analysis and Checking of Calculating		
	Results	(179)
6.1	Error Analysis of Calculating Results	(179)
6.1.1	Error Analysis of Hydrologic Calculation Method	(179)
6.1.2	Error Analysis of Conservation—Method ...	(181)
6.2	Methods of Checking Computation	(183)
6.2.1	Checking Method of Comparison of Natural Sediment Yield	(183)
6.2.2	Checking Method of Maximam Possible Sediment Yield	(185)
Appendix I Establishment of Empirical Formula ...		 (189)
Appendix I Common Computation Units and Their Conversion		(212)

第一章 土壤侵蚀、产沙及输移规律

土壤侵蚀与产沙不但是一个严重的农业问题，而且还直接涉及到水利工程、生态环境及防洪问题。从 19 世纪后期，已有人开始研究土壤侵蚀的问题。随着土地资源的开发、利用，由此所造成的土壤侵蚀日益加剧，也逐渐引起了人们对土壤侵蚀及水土流失问题的高度重视，例如，在 20 世纪 20 年代后期，美国专门成立了土壤保持局，在开展土壤保持工作的同时，并集中于土壤侵蚀的研究。在 40 年代初，我国首次在甘肃省天水建立了水土保持试验区，此后它作为一种基本研究手段被广泛应用。新中国建立以后，黄河流域水土保持科学试验站（所）、有关省（区）和大专院校在水土流失规律和治理措施拦蓄效益研究方面取得了大量资料和科研成果；“七五”期间开展的黄河流域水沙变化研究，在暴雨产流产沙规律及水利水保措施减水减沙效益的研究方面也取得了一批新成果。

土壤侵蚀与产沙是一种十分复杂的自然现象，由于不同类型区的侵蚀产沙方式、侵蚀强度以及治理措施所产生的效益差异较大，因此，为了分析计算水利水土保持措施减水减沙效益及水沙变化发展趋势，应首先研究流域土壤侵蚀、产沙及泥沙输移的基本规律，并以此作为分析计算的基础。

1.1 土壤侵蚀与产沙的基本概念

1.1.1 土壤侵蚀的概念

任一闭合系统内的物质运动总是处于一种相对平衡状态，一旦有外界能量输入或内部能量输出，这种平衡状态就有可能遭到破坏。土壤侵蚀是地表物质系统在侵蚀营力的能量输入或输出时所引起的一种失衡现象，是地表物质（包括成土母质）在侵蚀营力作用下所发生的分散及相对初始位置的移动。侵蚀营力包括诸如地质构造力、重力，以及影响侵蚀的各种自然力和人为活动等内外营力。内营力对侵蚀的影响表现在两方面：一是直接作用；二是间接作用，前者如地震，后者如地形势能^[1]。外营力主要是指降水或风。降水的主要作用是击溅和分散土壤颗粒，径流和风除了可以直接分散和剥蚀地表物质外，主要的作用是输移被分散的土壤及成土母质。侵蚀物质的分散和移动既包括物理过程，也包括化学过程。有的学者把侵蚀视为土壤及岩石的破坏和地表形态塑造的整个过程，认为侵蚀不仅包括侵蚀物质的分散和移动，还应包括堆积。

地表物质系统，在与外界没有（或有一定限度）能量交换条件下，其侵蚀过程进行的极其缓慢，这样的侵蚀称之为自然侵蚀，也称正常侵蚀或地质侵蚀，其过程没有人类活动的参与。另一种侵蚀过程是加速侵蚀，又称为人类活动影响的侵蚀，是指在自然侵蚀的基础上，叠加了人为作用后的侵蚀。人类的活动并非必然引起加速侵蚀，在天然条件下，即

使没有人类活动的干预和影响,同样也可能出现加速侵蚀,如随着侵蚀的发展,当侵蚀临空面超过一定悬空程度后,其下部由于失去支撑,在重力作用下,也会引起土体势能的输出,造成滑塌等,其侵蚀量迅速增大。一般来说,不合理利用土地资源的人类活动,是直接造成土壤加速侵蚀的一个主要方面。近年来,随着工农业及交通运输业的迅速发展,人为造成的侵蚀现象日趋严重,如开矿、修路等严重破坏地表形态,在沟边河岸随意弃土堆碴等,都加速了土壤的侵蚀。为了同其它营力造成的侵蚀加以区分和便于分类,本书把因人类活动直接增加的土壤侵蚀通称为人为加速侵蚀。人为加速侵蚀往往侵蚀量大,产沙强度高,在短期内就可使河流含沙量急剧增加。例如,研究表明^[2],内蒙古准格尔煤田第一期工程开发后,其土壤侵蚀量较开矿前约增1.3~12.7倍,平均每年增加入黄泥沙900~1400万t。对无定河流域进行调查的结果表明^[3],筑路造成的人为加速侵蚀也很严重,其增沙量占人类活动总增沙量的50%左右。因此,在分析水土保持减水减沙效益时,必须考虑人为加速侵蚀的影响。

土壤侵蚀量常用侵蚀模数或侵蚀深表示。土壤侵蚀模数 M_e 是指在单位时间内单位流域面积上遭受侵蚀的土壤数量,表达式如下:

$$M_e = \frac{W_e}{F \cdot T} \quad (1.1.1)$$

式中, M_e 为土壤侵蚀模数 [$t/(km^2 \cdot a)$]; W_e 为在 T 年内遭受侵蚀土壤数量(t); F 为发生侵蚀的流域面积(km^2)。侵蚀深是指流域面积上平均土壤侵蚀深度,一般以mm或cm计。若已知土壤侵蚀数量 $W_e(t)$,土壤容重 $\gamma_s(t/m^3)$ 及流域面

积 F (km^2), 则侵蚀深 h_e (mm) 为

$$h_e = \frac{W_e}{F \cdot \gamma_s} \times 10^{-3} \quad (1.1.2)$$

1.1.2 土壤侵蚀与产沙的区别和联系

土壤侵蚀是产沙的必要条件, 产沙是遭受侵蚀的物质向流域或集水区外输移的一种过程。虽然从广义的泥沙概念而言, 土壤侵蚀与产沙是同义词, 但两者涵义是不一致的, 产沙往往滞后于侵蚀。从一些概念性模型来看(见表 1.1.1), 产沙的概念应该理解为某一集水区内的侵蚀物质向其出口断面有效输移的一种运动过程, 其移动到出口断面的数量即为产沙量。这里关键是“有效输移”, 而不包括诸如雨滴使土壤颗粒朝坡上方的击溅和分散等等。也就是说, 有侵蚀发生, 不一定就伴有产沙。但是流域产沙归根结底来自于流域内的土壤侵蚀, 所以, 有产沙, 必伴有侵蚀, 产沙是以侵蚀为前提的。在其它条件相同的情况下, 侵蚀量越大, 产沙量越多。

在流域水文过程中, 侵蚀和产沙是两个子过程。由于产沙过程中包含着沉积, 所以并不是全部土壤侵蚀量都能汇集到集水区出口断面。因此, 一般情况下, 侵蚀量与产沙量是不相等的, 产沙量只是侵蚀物质的一部分。这一部分占侵蚀量的比例可大可小, 两者之间的比例关系一般取决于侵蚀环境和泥沙的输移环境。但无论如何, 产沙量绝对不会大于同时段的侵蚀量。只有当泥沙输移比为 1 时, 产沙量才可能等于侵蚀量。

流域产沙量, 在河道中经过水流多次搬运之后, 在测流断面观测到的泥沙数量又称为输沙量。如果将该测流断面作