

水利水保措施对延河流域侵蚀、泥沙输移和沉积的影响^{*}

朱恒峰, 康慕谊, 赵文武, 郭雯雯

(北京师范大学 资源学院, 北京师范大学中国生态资产评估研究中心,
环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘 要: 以黄土丘陵沟壑区的延河流域为例, 研究水利水保措施对流域侵蚀、泥沙输移、沉积过程的影响。水利水保措施能改变流域的侵蚀、泥沙输移和沉积过程, 影响流域的泥沙收支平衡。分析表明: (1) 20 世纪 70 年代以来开展的大规模水土保持建设工程, 使得延河流域的泥沙输移比显著下降, 最小值为 0.26; 到 80 年代末, 泥沙输移比有所回升, 介于 0.50~ 0.71 之间; (2) 泥沙输移比变化的主要原因, 系流域内淤地坝、水库等沟道工程措施的拦沙作用所致, 其波动变化主要受库坝质量及拦蓄库容变化的影响; (3) 沟道措施的拦沙作用远大于坡面措施的减蚀作用, 前者约相当于后者的 1.68~ 16.98 倍, 因而坡面治理及相应措施尚有待加强。

关键词: 水利水保措施; 泥沙输移比; 沟道措施; 坡面措施; 延河流域

中图分类号: S157; P333.4 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007)04-0001-04

Effects of Soil and Water Conservation Measures on Erosion, Sediment Delivery and Deposition in Yanhe River Basin

ZHU Heng-feng, KANG Mu-yi, ZHAO Wen-wu, GUO Wen-wen
(China Ecological Capital Assessment Research Center, Key Laboratory of Environmental Change
and Natural Disaster, Ministry of Education, College of Resources Science and Technology,
Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on a case study conducted in Yanhe River basin, a typical hilly-gully watershed located in the Loess Plateau, the decadal effects of soil and water conservation measures implemented in the basin on soil erosion, sediment transport, deposition process are analyzed. Soil and water conservation measures in the watershed have great influences on erosion, sediment transport and deposition processes, as well as the watershed sediment balance. The preliminary results show: (1) The sediment delivery ratio (SDR) has evidently declined due to the decadal large-scale erosion control measures implemented in the whole drainage area, reaching its minimum at 0.26 in 1970s and subsequently climbing up to 0.50~ 0.71 at the end of 1980s. (2) The dramatic decline of the SDR was caused by the ditch measures, i. e., sediment-trapping check-dams and reservoirs, while the fluctuation of the SDR was apparently influenced by the quality and capacity of reservoirs and check dams. (3) The sediment interception effect of those ditch measures is 1.68 ~ 16.98 times as high as that of the sediment reduction with the slope measures, i. e. land terracing, tree-planting and grass-planting, indicating that those direct slope measures still to be improved.

Key words: soil and water conservation measures; sediment delivery ratio; ditch measures; slope measures; Yanhe River basin

^{*} 收稿日期: 2007-04-12 修稿日期: 2007-06-28
基金项目: 国家自然科学基金项目(40501002)资助
作者简介: 朱恒峰(1977-), 男, 博士研究生, 主要从事水土保持与土地资源管理方面的研究。
通讯作者: 康慕谊

1 引言

黄土高原地区近几十年开展的大规模水土保持治理工程,显著地改变了流域的下垫面条件,也改变了流域系统的水沙过程。水利水保措施具有明显的减沙作用,然而其对流域系统泥沙输移及侵蚀和沉积规律的影响,目前尚缺乏深入的定量研究。本文应用泥沙输移比的概念,根据延河流域水利水保及水文测验资料,采用时间序列研究方法,探讨水利水保措施对流域系统侵蚀、泥沙输移和沉积的影响,以期为该地区水土保持治理决策服务。

泥沙输移比(sediment delivery ratio, SDR),是指在一定时段内通过沟道或河流某一断面的实测输沙量与该断面以上流域总侵蚀量的比值^[1~3]。在流域侵蚀-产沙-输沙系统中,泥沙输移是研究流域侵蚀与产沙关系的关键^[4]。在下游输沙量可以监测的情况下,如果知道流域泥沙输移比,就可以预报上游的侵蚀量,从而满足流域综合治理规划和水土保持建设的需求。

如果将整个流域看作一个系统,流域泥沙收支平衡方程可以用下式概括:

$$E_s = T_s + R_s + \Delta e \tag{1}$$

即特定时段内流域某一断面以上的侵蚀量(E_s)等于流域该出口断面输沙量(T_s)、水利水保措施减沙量(R_s)与河道冲淤变化量(Δe)之和。

水利水保措施按其分布的地貌部位及对流域地貌过程的影响机制,可分为坡面措施和沟道措施两类:梯田、造林、种草等坡面措施通过改变流域下垫面特征,从而改变产流、侵蚀和产沙过程,使产沙量减少;坝地、水库等沟道措施则通过抬高流域内局地侵蚀基准面,改变泥沙输移条件,使侵蚀产生的泥沙在流域中沉积下来。因此,这里 R_s 可以视为各坡面措施减蚀量($\sum R_{sl}$)与沟道措施拦沙量($\sum R_{di}$)之和,见式(2)。

$$R_s = \sum R_{sl} + \sum R_{di} \tag{2}$$

根据方程式(1),(2)以及泥沙输移比的定义,泥沙输移比(SDR)可以表达为:

$$SDR = \frac{T_s}{E_s} = \frac{T_s}{T_s + \sum R_{sl} + \sum R_{di} + \Delta e} \tag{3}$$

由式(3)可知,随着流域大规模水土保持工作的开展,水利水保措施的减沙效应将导致泥沙输移比的变化,本文也将从上述概念出发进行分析。

2 数据资料与研究方法

2.1 研究区概况和数据资料来源

延河是黄河中游区上段河口镇-龙门段的一级

支流,流域面积 7 725 km²。流域内黄土丘陵沟壑地貌类型占全流域面积的 90%,水土流失严重。治理前全流域入黄泥沙年平均为 4.591 07 t(甘谷驿站),是黄河泥沙的重要源区之一。自 20 世纪 60 年代以来,国家在延河流域展开了水土流失治理工作,截至 1998 年,全流域累计治理面积 2 534 km²,占全流域水土流失面积的 33.88%。有关延河流域水利水保措施的减沙效益,以往学者已进行了许多深入研究^[5,6],积累了丰富的资料。本研究所依据的降水和水文数据来自延河流域的相关水文测站,水利水保措施减沙数据则来自文献[5]。

2.2 研究方法

2.2.1 输沙量变化分析方法

流域出口断面输沙量的变化受到流域下垫面条件和气候因素的双重影响。在分析下垫面条件(水利水保措施)变化对输沙量的影响时,需排除或减弱气候因素的干扰。本文引入 RUSLE 方程中,降雨侵蚀力(R)的概念,以年 T_s/R 值(年输沙量/年流域面平均降雨侵蚀力)时变序列作为分析水利水保措施对延河流域输沙量影响的基础数据序列。其中,年输沙量来自于流域出口控制站(甘谷驿站)观测数据,年流域面平均降雨侵蚀力则通过雨量站雨量资料 and 降雨侵蚀力计算公式求得。

延河流域(甘谷驿以上)各雨量站月降雨侵蚀力计算公式^[7]为:

$$R = 8.3462 \text{rain}_9^{1.2570} \tag{4}$$

式中: R ——降雨侵蚀力值; rain_9 ——每月中日降雨量大于 9 mm 的降雨量之和。根据公式(4)和各雨量站的雨量资料,可以计算各个雨量站点的月降雨侵蚀力。汇总年内各月降雨侵蚀力即为各站点年降雨侵蚀力值,并以其算术平均数作为年流域面平均降雨侵蚀力值(R)。

2.2.2 水利水保措施减沙效益计算方法

(1)坡面措施减蚀量计算。通过实地踏勘、访问调查及不同时期的航片解译对比,统计各时期全流域梯田、种草和造林的实际情况。根据实测径流小区试验数据,确定不同类型区坡耕地和荒坡地平均产沙模数。对梯田、林地、草地按其质量划分等级(梯田按田面宽度和坡度;林地、草地按覆盖度和坡度),统计和确定不同质量等级措施的面积及减蚀百分比系数。为了分析不同降水水平的影响,通过降水频率分析划分丰水、平水、枯水年,再按水、沙指标间的经验统计关系,确定不同水平年的减蚀效益修正系数。最终,即可求出历年全流域不同坡面措施的减蚀量。

(2) 沟道措施拦沙量计算。灌溉引沙量由历年灌溉毛用水量乘以灌溉水含沙量求算。对于淤地坝各时段拦沙量统计, 没有采用惯用的“面积—指标”法, 而是采用拦沙总量按流域淤地坝控制面积、产沙降雨指标权系数进行分配的方法。对于水库的淤积量, 也以历年的产沙降雨指标作为权系数将离散的水库淤积量统计数据在各年之间进行分配。

2.2.3 河道冲淤量计算

延河干流上只布设了延安、甘谷驿两个水文测验断面, 河道冲淤量可根据两个断面 1956~1989 年的实测大断面资料估算, 由断面面积变化量乘以代表河段长度, 即可推算出各断面控制区段及全河长的河道冲淤量。

以上有关水利水保措施减沙量及河道冲淤量的计算过程详见文献[5]。

3 结果与分析

3.1 减蚀量和拦沙量的变化

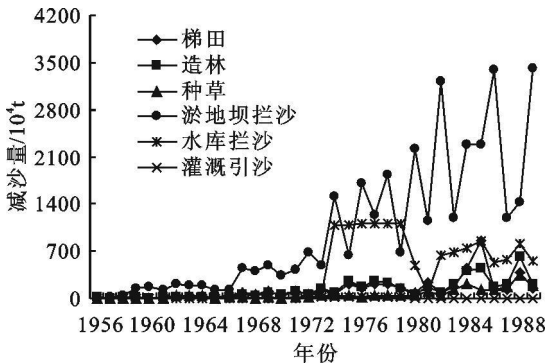


图 1 延河流域减蚀量与减沙量随时间的变化

将历年各项坡面措施减蚀量与沟道措施拦沙量点绘于图 1, 可以看出, 自 1970 年始, 各项措施减沙量呈显著增加趋势。如果以 1970 年为界将两个时段减沙量作以比较, 则坡面措施多年平均减蚀量由 $66.17 \times 10^4 \text{ t/a}$ 增加为 $498.03 \times 10^4 \text{ t/a}$, 沟道措施多年平均拦沙量也由 $202.54 \times 10^4 \text{ t/a}$ 增加到 $2212.15 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。

坡面措施减蚀量与沟道措施拦沙量相比较, 二者比值随时间变化见图 2。由于 1970 年以前, 水利水保措施减沙效益尚不明显, 坡面措施减蚀与沟道措施拦沙量均不大, 其比值的意义也不大, 故以不同的图形区别 1970 年之前和之后的比值。1970 年以后, 此比值均大于 1.68, 变化为 1.68~16.98, 即拦沙量相当于减蚀量的 1.68~16.98 倍。由此可见, 沟道措施拦沙的作用是延河流域输沙量减少的主要因素, 坡面措施所起的作用相对较小。其中, 尤

以淤地坝的拦沙作用最显著, 其多年平均拦沙量占水利水保措施减沙总量的 61.12%。这意味着延河流域在巩固已经取得的减沙效益成果基础上, 应着重改变坡面措施, 尤其是坡面生物措施严重滞后的局面, 推进退耕还林(草)工程建设。

库坝的拦沙过程与林草措施不同, 林草措施随着时间的推移减蚀作用越来越大, 而库坝随时间的推移作用越来越小。新建库坝的拦沙作用是很大的, 只要有足够的库容, 来多少洪水泥沙就可以拦多少洪水泥沙; 但随着库容的淤积, 如果不能新建或加高加固已有的库坝, 使其继续保持或增加库容, 拦沙效益将大大降低。从图 2 可以看到, 用抛物线拟合出的曲线表现出拦沙量与减蚀量的比值有先增大后减小的趋势。这是由于 60~70 年代兴修的库坝, 到 80 年代初期库容已经很小, 而后续库坝建设又未能及时跟上, 故二者比值有所减小。这表明, 应该不断进行库坝建设, 才能持续保证较高的拦沙率和较低的输移比。

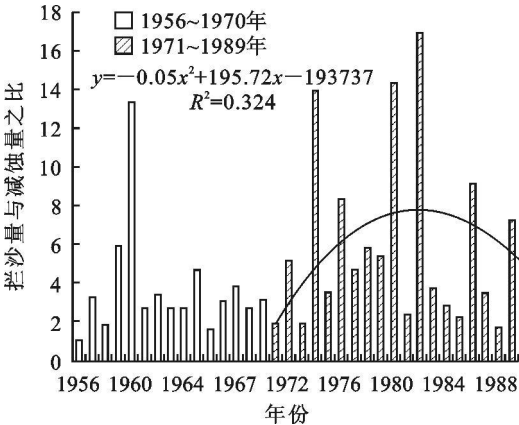


图 2 延河流域拦沙量与减蚀量比值随时间的变化

3.2 输沙量的变化

不同的降雨形成不同的水沙, 但水沙是降雨通过下垫面形成的, 不同的下垫面具有不同的产、汇流过程以及不同的减蚀、拦沙能力, 因而相同的降雨过程在不同的下垫面将产生不同的水沙过程。人类通过修建大型水利工程和采取水土保持措施, 显著地改变了流域下垫面条件。受人类活动影响, 坡面措施使来自于坡面的泥沙有所减少, 与此同时水库、淤地坝等沟道措施可拦截来自上游的侵蚀泥沙, 使流域出口断面的输沙量大幅度减少。

以延河流域出口控制站甘谷驿输沙量代表全流域输沙量, 从年 T_s/R 值随时间变化可以看出(图 3), 1970 年以后(除 1977 年特大洪水年), 年 T_s/R 值有明显的减小趋势, 与同期水利水保措施减沙量的变化对比明显。因此, 可以认为这种趋势主要是

由流域内水利水保措施的减沙效应所导致。

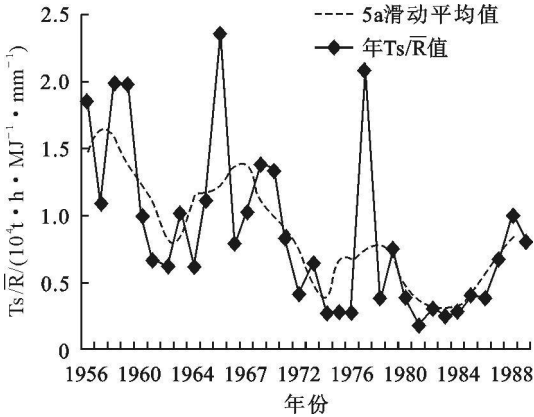


图 3 延河流域年 T_s/R 值及其 5 a 滑动平均值变化曲线

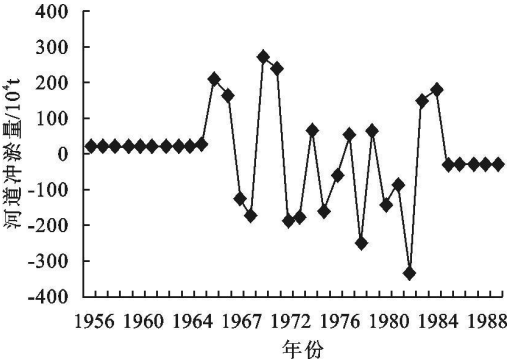


图 4 延河河道冲淤量的变化

3.3 河道冲淤量的变化

1956~ 1965 年与 1985~ 1989 年两个时段, 延河河道冲淤变化量很小(正值表示淤积, 负值表示河道下切冲蚀), 基本处于冲淤平衡状态, 河道主要“扮演”泥沙输送通道的“角色”(图 4)。从 1966~ 1984 年, 河道时冲时淤, 冲多淤少, 一定程度上增加了出口断面的输沙量, 这一时段的河道净冲刷量为 2.76×10^6 t, 相当于同时段多年平均输沙量和水利水保措施减沙量的 6.00% 和 14.21%。而个别年份(如 1982 年), 河道下切侵蚀, 冲刷量相当于年度输沙量和水利水保措施减沙量的 17.50% 和 140.40%, 对输沙量的影响较大。因此, 从总体上来说, 延河河道尚处于侵蚀发育阶段, 不具备泥沙沉积条件, 河道冲积物在一定程度上增加了流域出口断面的输沙量。

3.4 泥沙输移比的变化

根据公式 (3), 计算延河流域年泥沙输移比, 并将其与同期水利水保措施减沙量进行对比。由图 5 可知, 泥沙输移比随水利水保措施减沙量的变化表现出先减小后增大的趋势。1970 年以前, 泥沙输移比在 0.84~ 0.99 之间, 波动幅度很小; 1970 年以后, 泥沙输移比显著减小, 处于 0.26~ 0.87 之间, 波动幅度增大; 80 年代末, 泥沙输移比有所回升, 介于 0.50~ 0.71 之间。通过前面的分析可以认为, 这种变化主要是沟道措施拦沙所致, 尤以淤地坝的拦沙

作用影响最大。

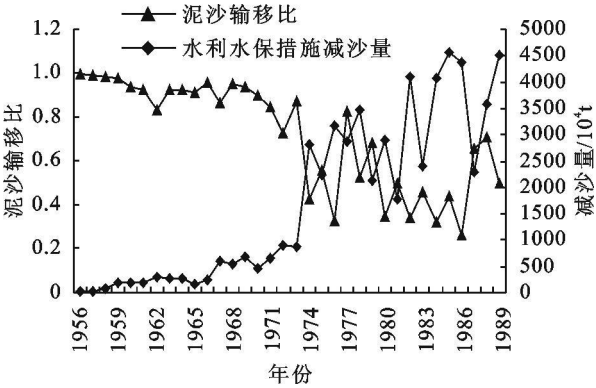


图 5 延河流域历年泥沙输移比和减沙量的变化

4 结 论

(1) 延河流域水利水保措施显著改变了流域的侵蚀、泥沙输移和沉积过程, 从而改变了流域的泥沙收支平衡关系。自 20 世纪 70 年代后流域大规模水土保持治理工作开展以来, 泥沙输移比随水利水保措施减沙量的变化表现出先减小后增大的趋势。到 80 年代末, SDR 值介于 0.50~ 0.71 之间。

(2) 泥沙输移比的变化, 主要是由于流域中沟道措施拦沙所致。其中淤地坝的拦沙作用最显著, 导致泥沙输移比大幅度减小。 SDR 值的波动变化主要受到库坝质量及拦蓄库容变化的影响。

(3) 梯田、造林、种草等坡面措施的减蚀作用对于流域泥沙输移比的减小也有一定的影响。但在目前状况下, 沟道措施拦沙作用相当于坡面措施减蚀作用的 1.68~ 16.98 倍, 表明坡面治理措施的有效性尚有待提高, 亟待当前的生态与环境建设中予以加强。

(4) 从总体上来说, 延河河道尚处于侵蚀发育阶段, 不具备泥沙沉积条件, 河道冲积物在一定程度上增加了流域出口断面的输沙量。

参考文献:

[1] 蔡强国, 范昊明. 泥沙输移比影响因子及其关系模型研究现状与评述[J]. 地理科学进展, 2004, 23(5): 1- 9.

[2] 赵晓光, 石辉. 黄土源区坡面及小集水区泥沙输移比变化特征[J]. 山地学报, 2002, 2(6): 718- 722.

[3] 牟金泽, 孟庆枚. 流域产沙量计算中的泥沙输移比[J]. 泥沙研究, 1982, (1): 60- 65.

[4] 张凤洲. 谈泥沙输移比[J]. 中国水土保持, 1993, (10): 17- 18.

[5] 汪岗, 范昭. 黄河水沙变化研究(第一卷)[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002. 717- 736.

[6] 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. 138- 202.

[7] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 用降雨量估算月降雨侵蚀力的简易算法研究- 以陕北黄土丘陵沟壑区为例[M]. 土地变化科学与生态建设. 北京: 商务印书馆, 2004. 82- 89.