

# 黄土高原小流域综合治理 减沙效益的计算问题探讨

周佩华 武春龙

(中国科学院西北水土保持研究所 陕西杨陵)  
(水利部)

## 提 要

小流域综合治理的减沙效益,目前还没有比较理想的计算方法,一般都是根据治理前后输沙模数的差异进行推算。本文指出:输沙模数不单纯因为经过综合治理而减小,同时还受降雨情况的影响,因而变化幅度很大。并且输沙模数与降雨量等特征值的相关性不好,故给减沙效益计算带来许多困难。作者经过统计分析发现,输沙模数与径流量之间密切相关。因此可以根据径流量的变化情况,推算出降雨情况对输沙模数的影响,从而可以比较准确地计算减沙效益。

关键词:综合治理 输沙模数 小流域

## An Approach to Calculation of Sediment Reduction Benefit in Comprehensive Control of Small Watershed in Loess Plateau

Zhou Peihua Wn Chunlong

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation,  
Academia Sinica and Ministry of Water Conservancy)

### Abstract

A satisfied method for calculating sediment reduction benefit in comprehensive control of small watershed is not available at present. The difference of sediment delivery modulus before and after control is usually used to estimate the benefit. This paper pointed out that the sediment delivery modulus had a great variance as it's not reduced by synthetic control but by precipitation, and there was no significant interrelation between sediment delivery modulus and characteristic value of precipitation etc, which brought about difficulty of benefit estimating. The author found that there was a closed relationship between Sediment delivery modulus and runoff rate, and the effect of precipitation on sediment modulus could be estimated by runoff rate, so that the sediment reduction benefit might be calculated accurately.

**key words:** comprehensive control sediment delivery modulus  
small watershed

“七五”期间,在黄土高原不同类型区设立了安塞、固原、离石、准旗、米脂、定西、西吉、淳化、乾县、长武、河曲等11个综合治理定位试验示范区,开展综合治理攻关研究,为“八五”及今后大规模全面治理黄土高原制定决策提供依据。五年来,经过各承担单位的努力攻关,在提高土地生产潜力、控制水土流失、建立良性生态环境、促进农林牧副全面发展等多方面,都取得了突破性的进展。

1990年7~8月,受国家计委、国家科委和财政部的委托,由中国科学院主持,会同各主持单位并邀请部分专家组成验收组,对11个试区进行验收,笔者参加了验收工作。通过验收认为在小流域综合治理减沙效益的计算方面,还有许多问题值得进一步深入研究。

## 一、小流域综合治理减沙效益的计算问题探讨

小流域综合治理减沙效益计算是一项很重要的工作。根据小流域综合治理减沙效益方面的数据,结合黄河干、支流水文观测资料的分析,可以预测未来黄河干、支流河流泥沙变化趋势,为流域开发治理提供依据,同时还关系到根治黄河的重大决策问题。但各试区仅有短短5年的时间,观测数据太少,要准确计算出综合治理减沙效益,确实是一个难题。各试区一般根据治理前后输沙模数的差异,估算减沙效益。由于受年降雨情况的影响,小流域输沙模数变化幅度很大。简单对比治理前后输沙模数的差异,并据此确定减沙效益,有较大误差。有的试区利用治理前后的年雨量、或汛期雨量、或产流降雨侵蚀力进行修正。有的试区用水保法(或建立通用流失方程式)计算综合治理减沙效益。本文不准备对各试区的计算方法和结果进行评价,只是想探讨一下小流域综合治理减沙效益计算中的问题,以及解决这些问题的方法和途径。

土壤侵蚀是一个很复杂的过程,与许多自然因素和人为活动因素密切相关。对一个固定的小流域来说,不同年份的输沙模数变化很大,其主要原因是受综合治理情况和年降雨情况两个因素的影响。在这两个因素当中,只要知道其中一个因素对输沙模数的影响,第二个因素的作用便很容易被计算出来。我们首先研究降雨情况对输沙模数的影响。以山西离石王家沟内羊道沟小流域的观测资料\*为例,进行分析计算如下:

羊道沟是王家沟的一条小支沟,流域面积 $0.206\text{km}^2$ ,在1956~1970年的观测年份内,是完全未经治理的对比沟(与治理沟插财主沟对比),因此,该小流域不受综合治理的影响。并且可以假定该小流域的地形、地貌、土壤和土地利用情况等,在观测年份内是基本一致的。由于不同年份降雨情况不同,输沙模数相差悬殊。见表1。

根据表1,1969年输沙模数高达 $62\ 812\text{t}/\text{km}^2$ ,而1965年只有 $136\text{t}/\text{km}^2$ ,两者相差462倍。由表1看出,年降雨量与输沙模数之间的相关性并不好。如1961年年降雨量为 $625.8\text{mm}$ ,输沙模数为 $365\text{t}/\text{km}^2$ ;1969年年降雨量与1961年相近,为 $637.8\text{mm}$ 。而1969年的输沙模数却高达 $62\ 812\text{t}/\text{km}^2$ ,为1961年的172倍。又如1964年的输沙模数为 $12\ 324\text{t}/\text{km}^2$ ,与1970年的 $13\ 728\text{t}/\text{km}^2$ 接近,而1964年的年降雨量比1970年高1倍多。

此外,作者还分析了汛期雨量、产流降雨的雨滴动能等降雨特征值与输沙模数之间的相关关系,结果都不够理想。

黄土的渗透性很好。黄土高原多年平均径流系数只有0.21,也就是说大约有80%的降雨渗到土壤里去了,一般的小雨不会发生地表径流,也就不可能引起土壤侵蚀。根据对各水保站观测资料的统计,每年能产生径流的降雨次数,只占总降雨次数的7%~11%。但黄土比较疏松,以 $0.05\sim 0.01\text{mm}$ 的粉砂含量最多,约占45%~60%,因此黄土一遇到水,很快就被分散,一旦有

表1 羊道沟小流域历年降雨、输沙模数测验成果表

年 份	年雨量 (mm)	输沙模数 (t/km <sup>2</sup> )
1956年	569.3	6 936
1957年	367.5	3 674
1958年	590.0	27 937
1959年	643.0	47 248
1960年	464.8	4 076
1961年	625.8	365
1962年	564.7	21 468
1963年	732.7	31 562
1964年	756.3	12 324
1965年	243.3	136
1966年	665.3	57 893
1967年	492.8	18 730
1968年	437.1	3 276
1969年	637.8	62 812
1970年	371.8	13 728

※羊道沟小流域的观测资料摘自《1955至1981年径流测验资料》，山西省水土保持科学研究所，1982年5月。

径流发生，就会引起严重的水土流失。黄土高原严重的土壤侵蚀，主要是由少数几次暴雨所产生的径流所引起，大部分降雨不产生径流，这可能是输沙模数与年降雨量等降雨特征值相关性不好的主要原因。据此推测，流域产沙量可能与径流量关系密切。因此，我们又进一步分析小流域输沙模数与径流量之间的关系，仍以羊道沟小流域的观测资料为例，见表2。

表2 羊道沟小流域历年单位径流深冲刷量计算表

年 份	输沙模数 (t/Km <sup>2</sup> )	清水径流深 (mm)	单位径流深冲刷量 (t/mm)
1956年	6 936	13.5	513.8
1957年	3 674	7.3	503.3
1958年	27 937	40.1	699.7
1959年	47 248	77.7	608.1
1960年	4 076	6.9	590.8
1961年	365	0.7	521.3
1962年	21 468	22.9	937.5
1963年	31 562	35.6	886.6
1964年	12 324	16.1	765.4
1965年	136	0.2	681.0
1966年	57 893	68.2	848.9
1967年	18 730	21.6	867.1
1968年	3 276	7.9	414.6
1969年	62 812	94.5	664.7
1970年	13 728	17.9	766.9

从表2可以看出：输沙模数与清水径流深之间的相关性很好。如果把输沙模数换算成每毫米径流深的冲刷量，则年际变化幅度大大减小。经过统计分析，得出羊道沟小流域年输沙模数与年径流深之间的相关方程为

$$y = 582.735x^{1.062}$$

式中：y为年输沙模数，(t/km<sup>2</sup>)；x为年清水径流深，(mm)；相关系数为0.992。

由于径流量与输沙模数之间的相关性很好，我们可以根据年径流量的变化情况，推算出降雨因素对输沙模数的影响，进而再计算综合治理减沙效益。

特别值得注意的是逐次径流与输沙模数之间的相关性仍然很好。根据羊道沟小流域逐次径流与输沙模数观测资料的统计分析，得出二者之间的相关方程为

$$y = 565.375x^{1.062}$$

式中：y为输沙模数，(t/km<sup>2</sup>)；x为清水径流深，(mm)；相关系数为0.858。

如果根据逐次径流与输沙模数观测资料，建立二者之间的相关方程(二者相关仍高度显著)，并根据此相关方程计算综合治理减沙效益，计算精度可能有所降低。但这样一年当中可以取得许多组观测数据，可以很快建立起径流与输沙模数之间的相关方程。大大缩短了观测时间。在目前迫切需要可靠的减沙效益数据的情况下，实为一种较好的方法。

为了证实这一方法的可靠性，我们还分析了南小河沟内董庄沟小流域的观测资料\*。董庄沟作为未治理的黄土高原沟壑区的典型小流域，与治理沟杨家沟进行对比。董庄沟流域面积1.15km<sup>2</sup>，1964~1965年、1976~1977年共有4年观测资料，我们根据这4年当中逐次径流和泥沙观测资料进行统计分析，得出二者之间的相关方程为

$$y = 0.0378x^{1.276}$$

式中：y为单位面积输沙量，(t/km<sup>2</sup>)；x为单位面积清水径流量，(m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>)；相关系数为0.9115。

上述结果进一步证实黄土高原的小流域存在着较好的水沙关系。同时也说明我们所提的计算方法是比较可靠的。

## 二、小流域综合治理减沙效益计算的具体步骤

1. 建立小流域把口站，观测并计算逐次径流量与输沙量。

2. 根据综合治理以前的径流、泥沙观测数据，建立小流域水沙相关方程。为了保证计算有足够的精度，最好有10组以上的径流和泥沙观测数据，并且其中应有较大暴雨所产生的径流和泥沙观测数值。一般有1~2年的观测时间就够了。在这1~2年当中，应保持小流域的现状不变(不进行新的治理)。

3. 按计划进行小流域综合治理。观测并计算经过治理后小流域的年径流量和年输沙量。

4. 把治理后的年内逐次径流量代入治理以前的水沙相关方程，即可计算出如果不进行治理可能产生的年输沙量。与治理后的年输沙量观测值之差，即经过综合治理后减少的泥沙量。

作者曾承担安塞试区综合治理减沙效益计算的部分任务。现以安塞试区纸坊沟小流域为例，进行减沙效益计算如下：

\* 董庄沟小流域的观测资料摘自《1954至1980年黄河中游水土保持径流泥沙测验资料》(西峰水土保持科学试验站)，水电部黄委会刊印，1983年10月。

纸坊沟1985年共观测到20次径流、泥沙资料,如表3。经过统计分析,求出综合治理前(或代表1985年治理水平)的水沙相关方程

$$y = 0.00000181x^{1.867} \quad (1)$$

式中:  $y$  为输沙模数, ( $t/km^2$ );  $x$  为径流量(浑水), ( $m^3$ ); 相关系数为0.918, 经过1986~1989年的综合治理, 1989年共观测到4次径流泥沙资料。见表4。

表3 1985年纸坊沟径流泥沙实测资料

次	序	径流量(浑水) ( $m^3$ )	输沙模数 ( $t/km^2$ )
		2 754.9	1.8
2		17 077.6	285.0
3		1 425.9	3.0
4		2 083.9	2.8
5		1 389.8	0.6
6		19 554.7	446.5
7		5 866.0	12.7
8		750.5	0.3
9		3 804.7	47.1
10		177 296.1	9 150.0
11		13 446.5	383.9
12		1 373.3	0.3
13		37 597.1	1 146.0
14		2 214.4	35.8
15		15 496.3	19.9
16		4 105.8	12.8
17		14 698.0	55.6
18		69 888.8	574.5
19		4 785.9	5.8
20		3 432.0	1.4

表4 1989年纸坊沟径流、泥沙实测资料

次	序	径流量(浑水) ( $m^3$ )	输沙模数 ( $t/km^2$ )
	1	2 623.1	15.84
	2	3 473.3	2.11
	3	362 590.0	16 666.00
	4	7 130.0	99.00
总	计	375 816.4	16 782.95

(下转第27页)

亩，不仅使跑水跑肥跑土的“三跑田”变成了保水保土保肥的“三保田”，减少了水土的流失，而且使粮食单产平均增加了17%<sup>[16]</sup>。

3. 坡改梯。将坡耕地改造成水平梯田，蓄水保肥，防止水土流失，以达到增产的目的。

### 参 考 文 献

1. 黎青宁. 论地质灾害, 《水文地质工程地质》, 1990年2期
2. 袁可林. 我国水土流失严重, 《中国地质报》, 1989年9月22日
3. 颜春起等. 试论农业自然资源开发利用中的几个基本理论问题, 《国土与自然资源研究》, 1989年3期
4. 何乃维. 长江上游水土保持和营造防护林体系关系到中下游长治久安, 《水土保持通报》, 1988年2期
5. 焦然等. 长江中上游防护林工程全面展开, 《人民日报》, 1990年5月8日
6. 王少英. 防止新的水土流失已刻不容缓, 《灾害学》, 1989年1期
7. 白建国. 关于山西省开发利用水资源的环境效应及其对策研究, 《国土与自然资源研究》, 1990年1期
8. 刘经世. 四川地质灾害损失惊人, 《中国地质报》, 1989年7月3日
9. 张国宁等. 陕西省农业自然灾害及其防治对策, 《灾害学》, 1989年1期
10. 赵永国. 黄土高原的土壤侵蚀灾害及其防治对策, 《灾害学》, 1989年1期
11. 倪焱. 灰色系统理论在水土流失因素分析中的应用, 《水土保持通报》, 1986年2期
12. 牛占. 应用卫星象片修订黄河中游自然地理分区图, 《水文》, 1981年4期.
13. 李英伦. 一种小汇水区水土流失观测研究方法, 《中国水土保持》, 1989年8期
14. 董平祥. 试述黄土丘陵沟壑区种草养畜与保持水土, 《国土与自然资源研究》, 1989年4年期
15. 张健民. 森林与蓄水保水, 《人民日报》, 1990年5月8日
16. 青远枢. 我省试验成功聚土免耕法, 《四川日报》, 1990年4月28日

(上接第22页)

把1989年的逐次径流观测数据代入式(1), 计算出如果未经治理, 遇到1989年的4次洪水可能产生的输沙模数为38 053t/km<sup>2</sup>。

经过4年综合治理之后, 1989年实测输沙模数为16 783t/km<sup>2</sup>。

$$\text{综合治理减沙效益} = \frac{38053 - 16783}{38053} \times 100\% = 55.9\%。$$

本计算方法比较简单, 不需要面上降雨情况的详细计算, 只要在沟口设站(如果经费困难, 可以不搞建筑物), 坚持观测数年, 即可计算综合治理减沙效益。由于方法简单, 可以布置多点观测, 以便大量收集资料进行分析对比。同时也有利于对一些专题进行试验研究, 如治坡与治沟之间的相互关系、定量分析评价生物措施和工程措施的效益等等。

但是这个方法也有一些问题, 首先是如何准确地确定治理前水沙相关方程, 如果遇到早年, 可能施的时间较长。在计算减沙效益时, 如果遇到降雨情况特殊的年分, 计算误差可能较大。

本计算方法适用于小流域。当流域面积较大时, 因流域内降雨不均匀而影响计算精度。但随着流域面积的增大, 计算精度的变化情况如何? 以及本方法的适用范围等, 还需要进一步研究确定。