

淤地坝对水沙的影响*

叶爱中¹ 夏 军^{1,2} 乔云峰² 王纲胜²

(1. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室 武汉 430072; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室 北京 100101)

摘 要 本文分析了淤地坝对流域水沙的影响。给出单个淤地坝的水沙调蓄计算模型; 结合分布式水文模型、分布式侵蚀模型, 建立了淤地坝群的联合调蓄模型。该模型由于结合了分布式水文模型优点, 能够模拟出淤地坝的运行情况, 给淤地坝的维护与建设提供参考。通过实测数据分析与模型模拟, 发现淤地坝对流域的水沙影响非常大。减水 50% 左右, 减沙 68% 左右, 减沙比减水效果显著。但由于淤地坝库容有限, 其减水减沙百分比随洪水增大而减小。

关键词 淤地坝 减水 减沙 水文模型

1 引言

淤地坝是指在水土流失地区各级沟道中, 以拦泥淤地为目的而修建的坝工建筑物, 其拦泥淤成的地叫坝地。在流域沟道中, 用于淤地生产的坝叫淤地坝或生产坝^[1]。淤地坝的存在可以防洪、治沙, 还带来大量的农田^[2], 同时水毁后又会增加泥沙、冲毁农田^[3]。修建淤地坝是有利有弊的。修建的淤地坝并不是一次性修好后可以永远地利用下去的, 即使是大型的骨干坝也有一定的使用年限。可见淤地坝的治沙作用也仅仅是为泥沙问题赢得时间, 是治标不治本的。所以必须加强对淤地坝进行研究, 充分发挥淤地坝的优点而降低其带来的问题。

对淤地坝的研究主要在以下几个方面: ①淤地坝在降雨产流过程中对流域产流的影响; ②淤地坝对流域的侵蚀产沙的影响; ③淤地坝的使用年限以及修建与运行的合理性。

淤地坝是我国治沙的特色工程, 国内对淤地坝的研究已经很多, 但大都是对单个淤地坝的影响研究, 如单个淤地坝的淤积^[4]和坝高的设计^[5]等。还有很多研究是从淤地坝已经淤积的角度来研究, 如冉大川等人就用 1970~1996 年淤地坝淤积的资料分析了黄河中游地区淤地坝减洪减沙及减蚀作用^[6]。另外, 很多用集总统计模型分析了典型流域的淤地坝拦水拦沙的效果^[7-9]。前人的研究表明, 淤地坝在减水减沙方面的确有很大的作用, 但由于以前的研究都建立在集总水文模型与统计侵蚀产沙模型基础之上, 所以给出的定量的影响分析并不是很准确。这也是不同研究结论各异的原因。由于近几年来, 分布式水文模型与分布式侵蚀产沙模型的随着 3S 技术发展得到了很好的发展。本文通过分析实测资料以及前人研究, 尝试建立基于分布式水文模型与分布式侵蚀产沙模型的淤地坝群对产水产沙的影响模型。

2 淤地坝简介

2.1 淤地坝功能

淤地坝是黄土高原地区在沟道修建的拦蓄洪水泥沙、淤地造田的水土保持工程。在黄土高原地区各级沟道中修建的淤地坝工程, 用以拦蓄径流泥沙、控制沟蚀, 充分利用水沙资源, 改变农业生产基本条件, 是该地区人民群众首创的一项独特的水土保持措施; 也是黄河中游多沙粗沙区在沟道内建设高产稳产基本农田, 确保退耕还林成果的一条重要途径。淤地坝对于抬高沟道侵蚀基准面、防治水土流失、减少人黄泥沙、改善当地生产生活条件、建设高产稳产的基本农田、促进当地群众实现小康目标具有重要作用。

2.2 淤地坝的构造

按照库容大小, 淤地坝通常分为大、中、小三类。库容在 50 万 m³ 以下的称为中小型淤地坝, 主要是拦

* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 50239050), 高等学校博士点基金项目 (20040486038)。

第一作者简介: 叶爱中 (1978—), 男, 汉族, 安徽安庆人, 博士研究生, 研究方向分布式水文模型。E-mail: AizhongYe@etang.com or azye@163.com

淤地；库容在 50 万 m^3 以上的大型淤地坝称为骨干坝（即治沟骨干工程），作用是“上拦下保”，即拦截上游洪水，保护中小淤地坝安全，提高小流域沟道坝系工程防洪标准，是小流域综合治理中的一项重要措施。

每座淤地坝有两大件，即大坝与泄水洞，部分坝还修有溢洪道。

表 1 淤地坝等级划分和设计标准

分 类	库容 (万 m^3)	设计洪水 标准 (年)	校核洪水 标准 (年)	坝高 (m)	单坝淤地 面积 (亩)	设计淤积 年限 (年)
大型骨干坝	100 ~ 500	20 ~ 30	200 ~ 300	>30	>150	20 ~ 30
中型淤地坝	10 ~ 100	10 ~ 20	100 ~ 200	30 ~ 15	30 ~ 150	10 ~ 20
小型淤地坝	<10	<10	50 ~ 100	<15	<30	<10

3 对产水的影响

3.1 资料分析

对于数以万计的淤地坝，现在的普遍认识是减水的。但具体的减水多少却很难说清，因为由于淤地坝的存在使得地表水显著减少，降雨产流基本都被蓄在了淤地坝的水库中。这部分水一部分被蒸发了，但很大部分还是下渗转换为土壤水或地下水。前人研究表明，水保工程，尤其是淤地坝减小地表水同时增加了地下水与土壤水。土壤水与地下水的增加也就增加了非雨期流量，即增加了基流。

大理河是黄河上无定河内部的一条支流，其出口控制站为绥德水文站。

表 2 20 世纪大理河绥德站多年平均与流量表

项 目	降 雨 (mm)				流 量 (m^3/s)			
	1960 ~ 1969 年	1970 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1999 年	1960 ~ 1969 年	1970 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1999 年
1	16.83	11.47	9.08	9.16	0.96	1.44	1.55	1.41
2	25.56	31.15	13.74	12.95	2.20	2.51	2.53	2.58
3	98.48	46.07	45.00	64.00	5.08	4.46	4.59	4.27
4	259.06	100.11	59.48	87.68	3.28	2.17	2.30	2.24
5	364.88	262.12	398.29	342.60	2.48	1.32	1.65	1.17
6	341.80	390.09	775.74	475.51	2.32	1.64	2.87	3.17
7	917.46	940.22	829.52	913.87	9.12	7.92	5.76	6.99
8	939.36	1136.50	754.76	959.83	12.89	13.11	6.14	11.80
9	881.52	541.37	614.29	424.42	6.16	4.73	4.20	4.03
10	342.82	235.26	239.82	203.11	3.66	2.97	2.77	2.09
11	118.18	38.44	24.73	36.56	2.41	2.45	2.66	2.17
12	6.83	17.70	7.12	5.78	1.37	1.95	1.82	1.53
平均	359.40	312.54	314.30	294.62	4.33	3.89	3.24	3.62

从图 1 和表 2 中可以看出，20 世纪从 60 ~ 90 年代，枯水期（1 ~ 2 月、12 月）降雨是减小的趋势，可流量却是增大的趋势，说明 20 世纪的水保工程尤其是淤地坝大量的修筑导致了地下水与土壤水的增加，枯水季节流量增加。在雨期，由于降雨的减小和水保工程的修建，流量是减小的。总体来说流量也是减小的。

绥德站的实测资料说明淤地坝的大量修建可以增加枯水期的流量，减小雨期的流量，对整个流域的地表

水资源是减小的。

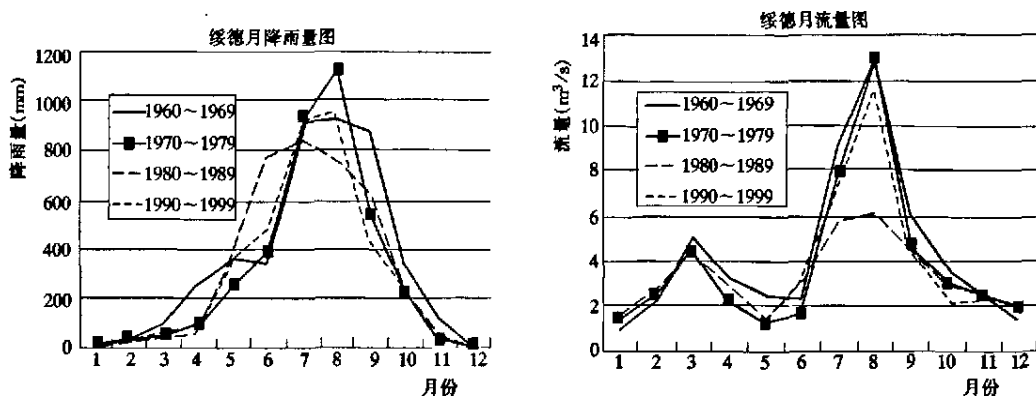


图1 绥德多年平均降雨与流量过程图

岔巴沟流域是大理河上的一条支流。岔巴沟流域由于曾经多次对淤地坝进行过详细的普查（1977年、1978年、1993年与2001年），所以对其库容及变化有非常详细的了解。普查的结果是：1977年已经建成的淤地坝超过450座，其中骨干坝（库容大于100万m³）3座，中型坝（10万~100万m³）57座，如图所示。其主要分布于每个支沟中，控制流域面积160.7km²，占岔巴沟曹坪站以上流域面积187km²的85.9%。从图2中可以看出淤地坝已经基本控制了整个流域，只有干流与个别的支流中没有修建淤地坝。后来，每年都有很多的淤地坝淤满、水毁，同时又对部分坝体进行了加高与重修，淤地坝的存在是个动态的过程。

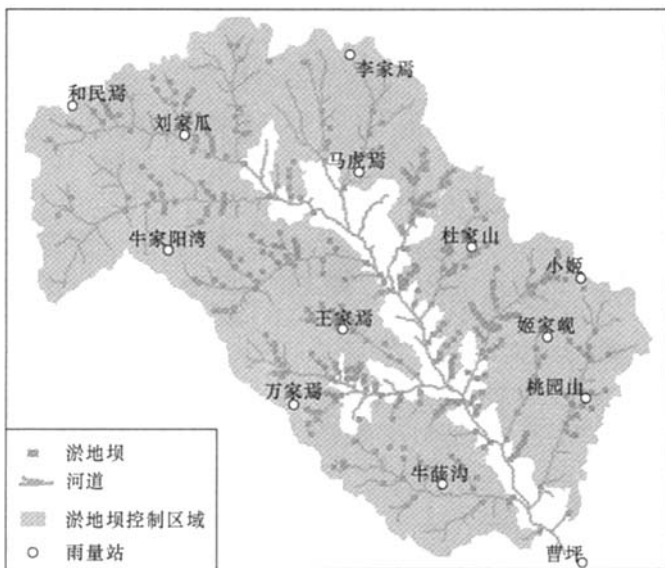


图2 淤地坝控制区域图

从普查的结果可知：1977年后，淤地坝的总库容是逐年增加的，但每年的泥沙淤积量也在增加，导致净库容反而在减少。已淤的面积是逐年提高的，这当地带来了大量的良田。1977年如果要填满净库容需要110mm的净雨，而岔巴沟流域年降水量也仅仅400mm左右，净雨量是远远小于100mm的，所以淤地坝的运行是采取的蓄清排浑的方式。

3.2 建模计算

以下就利用水文模型建模的形式对岔巴沟流域的淤地坝对减水的影响进行模拟。降雨产流模型采用的是分布式时变增益水文模型^[11-14]。以下主要介绍淤地坝对产流的影响的建模。

表3 岔巴沟淤地坝统计表

时 间	总库容 (万 m ³)	已淤库容 (万 m ³)	净库容 (万 m ³)	填满库容所需净雨 (mm)	已淤面积 (万 m ²)
1977 年汛前	2719	667	2052	110	173
1977 年汛后	2779	1007	1772	95	228
1978 年汛后	2732	1352	1380	74	298
1993 年汛前	2865	1469	1396	75	—
2001 年汛前	3561	2551	1010	54	376

3.2.1 入库水量计算

通过河网的提取，很容易得到淤地坝的控制区域、面积以及其所在的子流域。显然每个淤地坝仅仅对其控制的区域产生影响，这样对淤地坝入库流量的计算可以放在河网的汇流中计算。河网汇流是从上游逐级向下游计算流量的，在划分的子流域很小的情况忽略单个子流域的产流影响的，认为每个子流域的出口流量即是在这个子流域内的淤地坝水库的入库流量。通过淤地坝的调蓄后，修正这个子流域的出口流量到下一个子流域，这样即可确定出所有淤地坝的入库流量。

3.2.2 出库流量计算

淤地坝中都修有泄水洞，有的坝还修有溢洪道。因为淤地坝都是在坝体内逐级地修建的泄水洞，并且这些泄水洞与溢洪道是自动运行的，受人工的影响很小，所以在计算淤地坝的蓄泄过程时，可假设出库流量与蓄水量相关。

$$Q_0 = kV \tag{1}$$

式中： Q_0 为淤地坝出库流量，m³/s； V 为淤地坝中蓄水量，万 m³； k 为参数。

这样计算必须加几个限制条件，水库中的蓄水量不可以是负数，最多也就是全部排空，即 $Q_0 = \min(kV, \frac{V}{dt})$ ， dt 为计算时段长；当水库蓄满后，多余的入库水量将全部下泄。

3.2.3 淤地坝的蓄水计算

淤地坝的蓄水量变化就是入库与出库的水量差：

$$\Delta V = (Q_i - Q_0) dt \tag{2}$$

式中： Q_0 为淤地坝出库流量，m³/s； Q_i 为淤地坝入库流量，m³/s； ΔV 为淤地坝中蓄水量变化量，万 m³； dt 为时段长。

3.2.4 淤地坝对流域的减水量计算

淤地坝的减水量计算是通过是否考虑淤地坝进行模拟，计算流域出口站流量变化得来。没有淤地坝的情况下，流域中的产流量显然是大于有淤地坝时的产流量，淤地坝的减水量即是没有淤地坝时的产流减去有淤地坝时的产流。

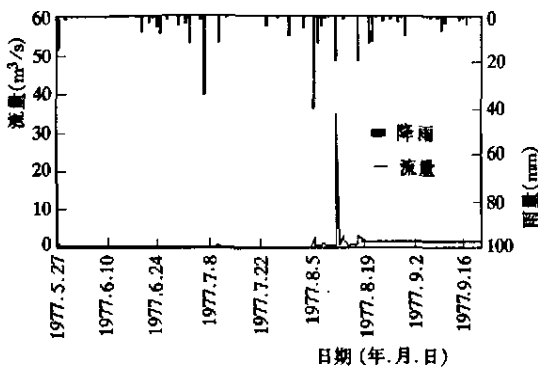


图3 1977年岔巴沟实测降雨径流过程图

由于岔巴沟流域淤地坝普查资料是1977年开始，并且大量的淤地坝也是在1977年前修建的，所以采取1977年为典型年进行模型模拟计算。

1977年5~9月间共降水330mm，两次大的降雨过程分别发生在7月上旬与8月上旬，降雨量分别为71mm与101mm，从流量过程线可以看出，7月上旬的降雨基本没有产流，主要原因是土壤干燥与淤地坝的库容为空，降雨主要都补充到土壤湿度与淤地坝的水库中。8月上旬的降雨由于土壤相对较湿，淤地坝中的水库已经淤了一定的泥沙并有水存在，所以产流较大，尤其是8月11日的暴雨，产生洪峰达到了113m³/s（图3中是12h平均流量）。

可见淤地坝在降雨产流过程中,对洪水有很强的调蓄功能。

由于1977年降雨产流过程实际发生在8月上旬,以前的降雨基本被淤地坝与土壤吸收,故模型模拟从8月4日开始计算,分为考虑淤地坝与不考虑淤地坝两种情况进行模拟,模拟结果如下(时段步长取2h)。

考虑淤地坝后模拟的效率系数0.82、相关系数0.91、水量平衡0.99,模拟效果较好。忽略淤地坝的影响后模拟产流量是考虑淤地坝产流量的1.99倍。实测产水量是283万 m^3 ,如果没有淤地坝模拟产水量为563万 m^3 。可见淤地坝在降雨产流过程中减水的作用非常明显,尤其在雨季的前段,淤地坝的水库基本是空的、土壤也非常干燥,降雨的水量基本都被淤地坝水库蓄水,在水库蓄水后,后期的降水才开始产流。见图4和图5。

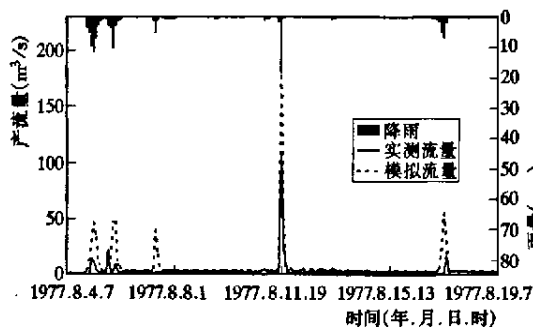


图4 不考虑淤地坝影响降雨径流过程图

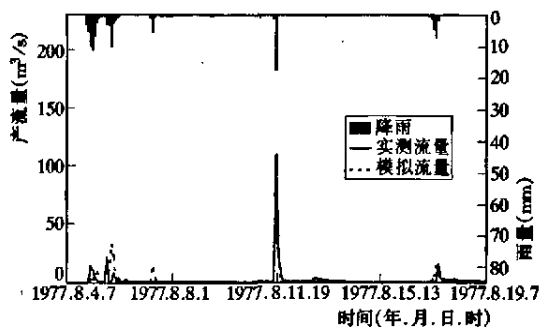


图5 考虑淤地坝影响降雨径流过程图

4 对产沙的影响

淤地坝的建设是每年有淤积同时又会加高的,库容每年都是变化的。小型的淤地坝一般建在支沟中,库容小,比较容易被冲毁与淤满。骨干坝库容大,校核标准高,在防洪治沙方面有重要的作用。

淤地坝的治沙功能主要是淤地坝的水库能够蓄住从山坡与支沟中的高含沙水流,降低了水流的流速,让水流中的沙在淤地坝水库中淤积,同时放出部分低含沙水流。可见淤地坝的淤沙功能是通过蓄水实现的,所以在计算淤沙前要先计算出进入淤地坝水库中的水量以及含沙量。淤地坝的产水量计算上面已经介绍,入库的含沙量此处采用上游河段的出流的含沙量,通过分布式侵蚀模型可以计算得到。经过水库的调蓄后出库的水量与含沙量都减少。当水库蓄满或淤满后将失去淤沙功能,按照正常河道输沙计算。

此处仍用1977年岔巴沟资料进行计算。在考虑了淤地坝影响后计算的产沙量实测与模拟对比效率系数为0.71,相关系数为0.88,平衡系数为0.94。假设没有淤地坝后流域产沙量增加了3.16倍。实测产沙量为124万t,假设没有淤地坝的情况下则产沙量为391万t,减少产沙量为267万t,见图6和图7。

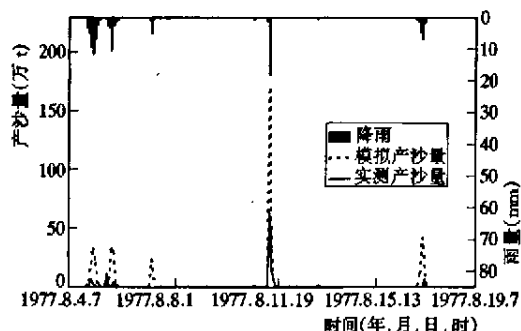


图6 不考虑淤地坝产沙量过程图

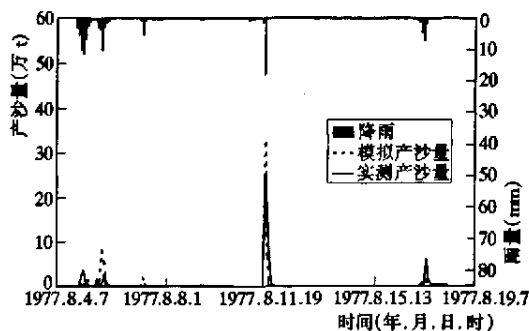


图7 考虑淤地坝产沙量过程图

5 结论

通过实测资料以及建模分析了淤地坝对流域产水产沙的影响。淤地坝对流域的产水与产沙影响都非常的大,对流域的产沙的影响要大于截水的影响。原因是淤地坝有蓄浑排清的功能。淤地坝作为黄土高原水保工

程的一个亮点工程,是值得大量推广使用的。因为其不仅拦住了大量的泥沙,同时还造就了大量的良田。但淤地坝是治标不治本的工程,因为淤地坝总会被淤满的。另外淤地坝还需在合理的规划设计下建造,以免水毁后造成更大的危害。

本文基于分布式时变增益水文模型与分布式侵蚀产沙模型,建立了一淤地坝群对产水产沙的影响模型。该模型将流域划分成多个水文单元,不仅能模拟单个淤地坝的淤积过程,还能模拟整个流域的淤地坝运行情况,可以为淤地坝的建设提供参考。

参 考 文 献

- 1 王礼先. 水土保持学. 北京: 中国林业出版社, 2000
- 2 许源. 淤地坝——黄土高原群众致富增收的关键——对陕北淤地坝建设情况的调查. 水利发展研究, 2005, 39-42
- 3 冯国安. 治黄的关键是加快多沙粗沙区淤地坝建设. 科技导报, 2000 (7)
- 4 魏霞. 淤地坝淤积信息与流域降雨产流产沙关系研究. 西安: 西安理工大学出版社, 2005
- 5 辛全才, 刘力, 史文兵. 淤地坝最优坝高设计. 水土保持研究, 2004, 11 (4): 154-156
- 6 冉大川, 罗全华等. 黄河中游地区淤地坝减洪减沙及减蚀作用研究. 水利学报, 2004 (5)
- 7 田永宏, 郑宝明, 王煜等. 黄河中游韭园沟流域坝系发展过程及拦沙作用分析. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5 (6): 24-28
- 8 焦菊英, 王万忠, 李靖等. 黄土高原丘陵沟壑区淤地坝的减水减沙效益分析. 干旱区资源与环境, 2001, 15 (1): 78-83
- 9 方学敏, 万兆惠, 匡尚富. 黄河中游淤地坝拦沙机理及作用. 水利学报, 1998 (10)
- 10 张养安. 陕西北部淤地坝建设现状、问题与对策. 陕西农业科学, 2005 (3): 101-103
- 11 夏军, 叶爱中, 王纲胜. 黄河流域时变增益分布式水文模型——模型的原理与结构. 武汉大学学报 (工学版), 2005, 38 (6): 10-15
- 12 夏军, 王纲胜, 吕爱锋等. 分布式时变增益流域水循环模拟. 地理学报, 2003, 58 (5): 196-789
- 13 XIA Jun, WANG Gangsheng, TAN Ge, YE Aizhong & G. H. Huang. Development of distributed time-variant gain model for nonlinear hydrological systems. SCIENCE IN CHINA SERIES D; EARTH SCIENCES, 2005 Vol. 48 No. 6 713-723
- 14 叶爱中, 夏军, 王纲胜. 基于动力网络的分布式运动波汇流模型. 人民黄河, 2006, 2 (4): 26-28

淤地坝对水沙的影响

作者: [叶爱中](#), [夏军](#), [乔云峰](#), [王纲胜](#)

作者单位: [叶爱中\(武汉大学, 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉, 430072\)](#), [夏军\(武汉大学, 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉, 430072; 中国科学院, 地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京, 100101\)](#), [乔云峰, 王纲胜\(中国科学院, 地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京, 100101\)](#)

引用本文格式: [叶爱中](#), [夏军](#), [乔云峰](#), [王纲胜](#) 淤地坝对水沙的影响[会议论文] 2006