

黄土高原沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响<sup>X</sup>

穆兴民 王文龙 徐学选

(中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵, 712100)

摘 要 水土保持对径流的作用是水土流失治理中一个亟待回答的实际问题。本文用小流域平行对比观测法, 分析了黄土高原沟壑区水土保持对小流域地表径流的数量及其时间分布特征的影响, 表明在黄土高原沟壑区, 水土保持能使小流域产洪次数减少、地表径流模数和径流系数减小; 使小流域地表径流模数的年际变率增大; 在洪水产流过程中, 水土保持使流域产流起始时间滞后, 径流持续时间缩短, 瞬时流量及洪峰流量降低以至消失。

关键词 黄土高原沟壑区, 水土保持, 小流域径流。

中图分类号 S157

黄土高原沟壑区位于黄土高原的南部, 是水土流失严重地区之一。水土保持是黄土高原生态农业建设, 实现山川秀美的核心。而水土保持对流域径流的影响及其方向是水土流失治理中一个亟待回答的理论与实际问题。从径流形成及其与土壤侵蚀的关系看, 水土保持的实质是要将降雨截留于坡地, 以减小因地表径流对土壤的冲刷而造成的土壤流失, 并期望使地表径流变为地下径流。长期以来, 人们较为系统的研究了黄土高原区水土保持对产沙及输沙的影响, 而对径流影响的研究不够, 仅有的少数研究则集中于单项措施的径流小区的产流分析, 而水土保持对完整小流域径流研究甚少。随着黄河断流及长江洪水问题的出现, 水土保持对径流的数量及其时空分布特征的影响愈来愈成为一个重要问题, 并引起社会各界的关注<sup>[1]~[3]</sup>。本文采用小流域平行对比观测法, 研究黄土高原沟壑区小流域高度治理对流域地表径流的作用和影响, 为区域水土流失综合治理提供水文生态依据。

## 1 小流域地貌特征及水土流失治理概况

111 甘肃西峰杨家沟和董庄沟 杨家沟和董庄沟为甘肃西峰市南小河流中相互毗邻的两条小支流。1954 年设定杨家沟为治理沟, 董庄沟为对比沟, 以研究水土保持对流域径流及泥沙的作用。杨家沟与董庄沟治理前的地形、地貌、土壤和植被基本相似。流域面积分别为 0187km<sup>2</sup> 和 1115km<sup>2</sup>, 主沟长分别为 1500m 和 1600m, 沟道比降分别为 8146‰ 和 8193‰。杨家沟自 1954 年开始治理以来, 对不同类型土地采取以林为主的多项措施相结合的水土流失综合治理。至 1958 年, 共修各类地埂 4758m, 水窖 8 个和涝池 2 个, 淤地坝 6 座, 水平梯田 512hm<sup>2</sup>, 水平沟 24715m, 各类谷坊 218 道, 植树 1617 余 hm<sup>2</sup>, 沟底及路旁植树 4 万余根。1959~1980 年修地埂 0167 余 hm<sup>2</sup>, 沟边埂 1100m, 沟坡造林 45107hm<sup>2</sup>, 种草 1313hm<sup>2</sup>, 挖鱼鳞坑 213hm<sup>2</sup>, 柳谷坊 100 道, 水平条田 2513hm<sup>2</sup>, 水窖 5 个和涝池 3 个。治理度 80~90%, 林草覆盖率 70~90% 左右。

112 陕西耀县官庄沟与袁古庄沟 官庄沟与袁古庄沟位于陕西耀县, 属于北洛河的两条毗邻小支流, 流域面积分别为 3139km<sup>2</sup> 和 2152km<sup>2</sup>。1959 年开始设站观测, 同年冬对官庄沟进行全面集中治理, 治理面积 2154km<sup>2</sup>, 治理度 75%。陕西省耀县年平均降水量 5481.2mm, 汛期 (7-10 月) 降水量 2841mm (占年 52%)。最高年 6961.1mm (1979), 最低年 3541.2mm (1977), 二者之比为 1197。

X 本文于 1998 年 7 月 14 日收到, 是国家九五攻关 / 区域水土流失防治与农业可持续发展中重大共性关键问题研究 0 专题的一部分。承蒙我所王万中、贾恒义和蒋定生研究员的指导或审阅, 黄委会西峰水保站冉大川及刘斌工程师给予帮助, 特致谢意。

## 2 结果分析

211 小流域地表径流与降水、流域地貌关系 黄土高原产流特点是超渗产流. 通过 120 年次小流域洪水径流分析, 次洪水径流模数及径流深与次降水量关系密切 (相关系数为  $r = 0.1670$ ), 而受降水历时及平均降水强度影响较小 (相关系数分别为  $r = 0.1161$  和  $r = 0.1094$ ). 经黄土高原 85 (站) 年资料分析, 小流域 (面积  $< 100\text{km}^2$ ) 年地表径流模数或径流深与年降水量相关系数为  $r = 0.1759$ , 而与流域面积、主沟长、沟壑密度及流域比降相关系数分别为  $r = 0.1180$ 、 $r = 0.1103$ 、 $r = -0.1060$  和  $r = -0.1140$ . 表明, 小流域年地表径流模数或径流深相对独立于流域面积、沟长等地形地貌因素, 是一个反映不同降水条件下流域地表径流强度的因子.

### 212 水土保持的蓄水作用

21211 不同年型下流域蓄水效益 黄土高原沟壑区杨家沟 (治理沟) 与董庄沟 (对比沟) 降水径流特征如表 1. 两个小流域年径流模数及年降水量的年际变化如图 1. 图 1 及表 1 表明, 与董庄沟 (对比沟) 相比, 杨家沟 (治理沟) 流域:

表 1 不同年型下杨家沟与董庄沟的径流特征

项目	产洪次数 (次)			产洪雨量/mm			径流模数/ ( $\text{m}^3/\text{km}^2$ )			年径流系数 (%)		
	枯水年	平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年	枯水年	平水年	丰水年
杨家沟	713	1018	1810	1861.7	2801.0	5191.4	2910	6016	13197	01.69	11.08	11.74
董庄沟	918	1412	2017	2111.7	3051.6	4481.4	6519	1150	21367	11.53	21.06	21.84

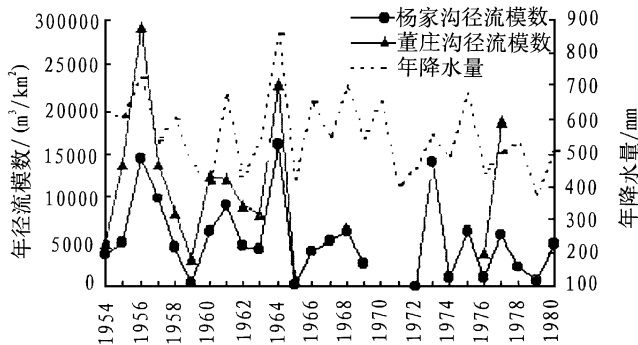


图 1 杨家沟与董庄沟年降水量与径流模数年际变化

(1) 产洪雨量略有减少. 杨家沟平均年产洪雨量 280mm, 董庄沟为 3051.6mm, 减小 2515mm, 丰水年相差 71mm.

(2) 产洪次数明显减少. 杨家沟平均年产洪 1018 次, 董庄沟为 1412 次, 年产洪次数减少 22%. 特别是在治理中期 (1958~1966 年), 平均产洪次数减少 28%. 不同降水年型下, 枯水年减少 26%, 丰水年减少 13%.

(3) 地表径流模数降低, 流域蓄水量增加. 治理后的杨家沟年平均径流深 610mm, 径流模数  $6016\text{m}^3/\text{km}^2$ , 而董庄沟年平均径流深 1115mm, 径流模数为  $11503\text{m}^3/\text{km}^2$ , 流域蓄水增加 515mm, 提高近 4718%; 枯水年份流域蓄水增加 60% 左右, 丰水年蓄水增加 38%. 年平均径流系数, 杨家沟为 11.08, 董庄沟为 21.06; 枯水年份两个沟分别为 01.69 和 11.53; 丰水年分别为 11.74 和 21.84. 若以产洪雨量计算, 则杨家沟的洪水径流系数为 21.15, 董庄沟为 31.76, 相差 11.61.

(4) 治理后, 流域产洪雨量、产洪次数及径流模数年际变年化增大. 杨家沟与董庄沟降水径流的年际变率如表 2. 与董庄沟相比, 杨家沟流域洪水雨量及径流模数较小, 产洪雨量、产洪次数及径流

模数年际差异大。水土保持的作用使枯水年份径流减少最显著，丰水年减少较小，从而导致径流年际变化范围增大，径流年际变差系数增大。这与 A. A. 索科洛夫<sup>[4]</sup>的结论一致的。

表 2 杨家沟、董庄沟降水及地表径流的年际变化特征

流域	项目	年降雨量 /mm	洪水次数 次	洪水雨量 /mm	年径流模数 / (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	年径流 深/mm	径流系数	
							年 (%)	洪水 (%)
杨家沟	平均	55815	101.8	2801.0	6016	6102	11.08	21.15
	C. V.	0.123	0.150	0.158	0.180	0.180	0.160	0.178
董庄沟	平均	55815	141.2	3051.6	11503	1115	21.06	31.76
	C. V.	0.123	0.143	0.139	0.169	0.169	0.156	0.164

表 3 为官庄沟和袁古庄沟的径流特征。治理前的 1959 年，除产流次数外（两条沟均为 5 次），官庄沟的径流模数、径流系数及年最大径流模数等均比袁古庄沟大。经 1959 年冬的强化治理，1960 年尽管两条沟产流次数都为 3 次，但其余各项径流特征指标值均显著减小，汛期径流系数相差 35 倍，年径流模数相差 31 倍。

表 3 官庄沟与袁古庄沟年地表径流特征

项目单位/年	洪水雨量 /mm		年径流模数 / (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )		年径流深 /mm		最大径流模数 / (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )		洪水径流系数 / (%)		汛期径流系数 / (%)	
	1959	1960	1959	1960	1959	1960	1959	1960	1959	1960	1959	1960
	官庄沟	1161.0	791.4	5848	75	51.8	01.08	2329	57	5100	01.10	21.04
袁古庄	851.9	751.8	1489	2348	11.5	21.30	946	1678	1175	31.03	01.53	01.72

上述分析表明，流域水土保持能保蓄地表径流，减少洪水次数，在枯水年份效果尤为显著。同时，水土保持使流域地表径流年际变化范围加大。

21.21.2 水土保持措施拦蓄典型暴雨径流的效益 杨家沟和董庄沟流域 11 次典型降水过程洪水径流特征如表 4。结果表明：治理流域拦蓄暴雨的能力提高。与自然流域相比，经高度治理的小流域蓄暴效益提高 45~ 98%，平均为 77%。水保措施对不同暴雨的拦蓄作用不同，暴雨强度愈小，降水量愈少，拦蓄作用愈显著，径流模数愈小。当平均雨强小于 4mm/h，径流量减少 40~ 50%，平均雨强为 4~ 10mm/h，径流量减少 45~ 55%。

表 4 典型降水过程小流域洪水径流特征

时 间 年 月 日	次降雨量 mm/次	平均雨强 (/mm/h)	杨家沟		董庄沟		蓄暴效益 %
			径流模数	径流系数	径流模数	径流系数	
			/ (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	%	/ (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	%	
1957.7.24	271.0	515	2862	101.60	5180	191.19	45
1958.7.14	301.6	412	187	01.61	1157	31.78	84
1958.7.26	131.8	810	51	01.37	2758	191.99	98
1959.9.20	591.9	414	167	01.28	1743	21.91	90
1959.9.29	111.8	2215	69	01.59	449	31.82	85
1960.8.01	981.9	510	2423	21.45	7065	71.14	66
1962.9.25	691.2	112	231	01.33	1695	21.45	86
1964.7.20	331.7	3318	695	21.06	3257	91.66	79
1964.8.23	81.7	212	119	11.37	649	71.46	82
1976.8.22	1321.8	115	590	01.44	3099	21.33	81
1977.8.09	361.0	510	1283	31.56	2962	81.23	57
平均	471.5	815	789	21.06	2729	71.91	77
C1 V1	01.83	1121	11.26	11.47	01.73	01.80	01.20

从径流系数看, 经高度治理的小流域杨家沟, 平均径流系数为董庄沟流域的 1/4, 平均能拦蓄典型次降水量的 98% (变化于 90~ 9917%), 而董庄沟流域仅拦蓄 92% (变化于 80~ 98%)。

在相同降水条件下, 杨家沟次径流量变率明显大于董庄沟。杨家沟次径流模数的变异系数 1126, 比董庄沟 (变异系数 0173) 高 73%。最大与最小比, 杨家沟为 56, 董庄沟为 16。治理使次地表径流变化剧烈。

### 213 水土保持对流域洪水的影响

21311 水土保持对流域洪水过程的影响 不同流域次洪水过程如图 2 (A, B) 及图 3 (A, B)。与未治理的董庄沟相比, 相似降水条件下治理的杨家沟, 其径流过程线较治理前明显变平缓 (图 2)。董庄沟与杨家沟流域次径流过程单位面积洪峰流量之比为 217, 治理后 (1954 年) 二者之比为 1110。官庄沟 (治理沟) 瞬时流域单位面积产流量较袁古庄沟 (对比沟) 显著降低 (图 3), 治理沟与对比沟单位面积洪峰流量之比, 治理前 (1959 年) 为 216, 治理后 (1960 年) 为 77。

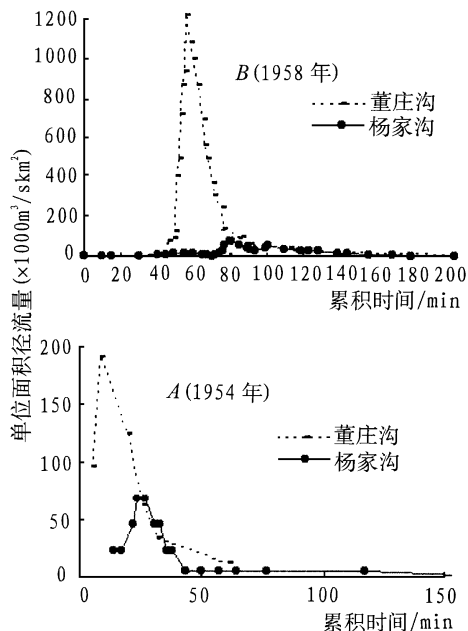


图 2 杨家沟与董庄沟坝洪水径流过程

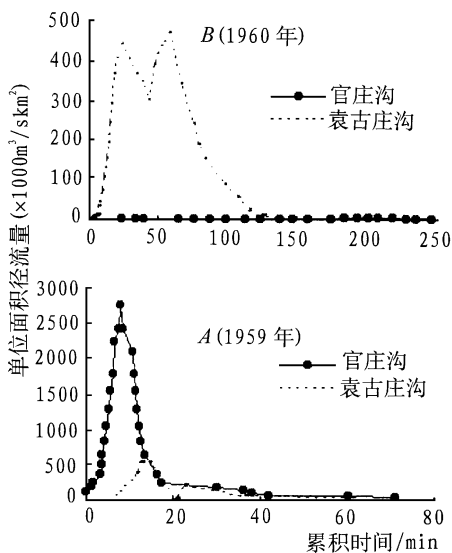


图 3 袁古庄沟与官庄沟次洪水径流过程

21312 水土保持缩短洪水历时 水土流失治理使流域产洪开始时间滞后。以杨家沟和董庄沟为例, 治理初期, 产洪开始时间杨家沟比董庄沟早 3min 到 2h, 治理后杨家沟产洪开始的时间发生逆转, 即出现滞后, 因降水类型的不同, 滞后 10min 到 2h。水土流失治理使产洪历时缩短, 如 1957 年~ 1980 年 11 次洪水统计, 杨家沟 (治理沟) 平均洪水历时 3618h, 董庄沟 (对比沟) 为 5711h。官庄沟 (治理沟) 与袁古庄沟 (对比沟) 在治理前 (1959 年), 平均洪水历时分别为 3159h 和 1181h, 前者长 1178h, 治理后 (1960 年), 平均洪水历时分别为 4158h 和 4118h, 前者长 0140h。

21313 水土保持滞后洪峰时间 各项水土保持措施的实施使流域洪峰出现的时间滞后。治理初, 杨家沟比董庄沟洪峰出现的时间迟 10~ 20min, 治理后洪峰出现的时间迟 25~ 35min, 与治理前相比, 水土保持使洪峰滞后 15min 左右。对官庄沟和袁古庄沟, 治理前 (1959 年) 官庄沟比袁古庄沟洪峰早 5~ 10min, 经高度治理, 官庄沟已经没有明显的洪峰。

21314 水土保持能降低洪峰流量 为了表明产流面积对洪峰流量的影响, 本文提出单位面积洪峰流量比指标, 即对比沟与治理沟单位面积洪峰流量之比。单位面积洪峰流量指次洪水最大流量比流域汇流面积。一般而言, 在其它条件相似的情况下, 单位面积洪峰流量比愈大, 则流域治理度相对愈度, 治理的削洪作用愈显著。董庄沟与杨家沟治理初期 (1954~ 1955 年) 单位面积洪峰流量比值较小, 其值为 2~ 4; 治理后单位面积洪峰流量比提高到 10~ 18。袁古庄沟与官庄沟的单位面积洪峰流量比在治理前 (1959 年) 为 119, 治理后 (1960 年) 提高到 28。表明, 水土保持措施能有效的削洪减洪,

### 3 小结

小流域综合治理对地表径流有显著的影响. 对黄土高原沟壑区, 与未治理的小流域相比, 综合治理使小流域产洪次数减少, 地表径流模数和径流系数减小, 尤其以少雨年最显著. 刘昌明等<sup>[5]</sup>分析黄土高原森林与年径流关系, 指出林区流域的降水量大但径流量少, 径流系数小. 水土流失治理对地表径流具有调节作用. 综合治理使小流域地表径流模数的年际变率增大; 使瞬时流量及洪峰流量降低以致消失, 从而能减少洪水流量, 减小洪水危害并防止土壤的侵蚀; 在黄土高原沟壑区, 水土保持使小流域产流开始时间滞后, 径流持续时间缩短.

### 参 考 文 献

- 1 李玉山(千里黄河缘何断流)) 黄土高原过度开发不可忽视 I 中国科学报, 1997, 第4版.
- 2 赵连庆报导. 135位院士呼吁)) 拯救黄河 I 中国科学报, 1997年1月7日第一版.
- 3 刘昌明. 人与自然要协调)) 黄河断流小议. 中国科学报, 1998年3月2日第一版.
- 4 A A 索科洛夫. 人类经济活动对河川径流的影响. 载水利电力出版社编, 人类活动对径流的影响. 北京: 水利电力出版社. 1958.
- 5 刘昌明, 钟骏襄 I 黄土高原森林对年径流影响的初步分析. 地理学报, 1978, 33 (2): 112~ 127.

## The influence of the soil and water conservation on the surface runoff in the watersheds in the gully plateau region of Loess Plateau

Mu Xingmin Wang Wenlong Xu Xuexuan

( Soil and Water Conservation Institute, Chinese Academy of Sciences and MWR)

**Abstract** In this paper the influence of the soil and water conservation on runoff quantity and its processes in typical small watersheds have been analyzed by using the parallel observation in two comparable watersheds in gully plateau region of Loess Plateau. The integral control of soil and water loss in the region can result in the decreases of flooding time, runoff modulus and runoff coefficient in the watershed. The yearly variation of the runoff modulus will be intensified due to the control of watershed.

**Key words** gully plateau region, Loess Plateau, soil and water conservation, watershed runoff.