

水土保持措施对秃尾河径流的影响^{*}

白桦¹, 穆兴民^{1,2}, 王双银¹

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 在黄土高原地区, 水土保持措施是影响流域产汇流的重要因素之一。本文采用双累积曲线、时间序列分析等方法, 分析秃尾河流域降水及河川径流、暴雨洪水特征变化及其对流域水土流失治理的响应。结果表明: 流域多年平均降水量 406.4 mm, 河道多年平均径流量 3.4 亿 m³, 1977 年后年径流量呈显著性减小趋势。与 1977 年之前相比, 在水土保持措施影响下, 汛期径流量占年径流量比例下降, 枯水期径流量比例上升, 季节分配趋于均匀。相似降水条件下, 场次洪水总量、洪峰流量减少, 洪水过程均化。

关键词: 降水; 径流; 水土保持; 双累积曲线; 距平累积曲线; 秃尾河; 黄土高原

中图分类号: S157.2; P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)01-0040-05

Impact of Soil and Water Conservation on River Flow of Tuwei River

BAI Hua¹, MU Xing-min^{1,2}, WANG Shuang-yin¹

(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In view of the factors affecting run-off, it is effective to reflect the soil and water conservation's contribution to the run-off by analysis and comparison of changes in the run-off before and after soil erosion control. Based on the data of rainfall runoff storm and flood, the characters of rainfall runoff storm and flood in the catchment have been comprehensively analyzed through the method of Mann-kendall etc. According to the turning point of rainfall-runoff cumulative curve, the changes in the volume of runoff have been restored caused by the dynamic changes in precipitation and the changes in the run-off elements has been calculated owing to the water and soil conservation. The standard of judging the similar rainfall has been worked out, by which the changes of the flood's elements and progress has been analyzed among different periods. Analysis showed: the turning point of the annual average flow sequence is in 1977. After this turning point, multi-year average runoff depth and proportion of run-off during the flood season decreases. Proportion of run-off during the dry season increases. The degree of inter-annual dramatic changes decline, the flood volume and peak flow has reduced and flood process has been averaged.

Key words: rainfall; run-off; soil and water erosion; soil and water conservation; similar rainfall; Tuwei river; the Loess Plateau

黄河河龙区间是我国水土流失最为严重的地区, 对该区水土保持措施水文效应的评价不仅对指导水土流失治理和防洪减灾工作, 而且对完善水土保持学科都具有理论和实践意义。水土保持措施的减水减沙效应是衡量水土保持生态效益的重要指标, 其研究方法主要有水文模型法、水保法、水文法, 三种方法均认为天然状态下径流序列的选取非常重

要。人们通常采用数理统计或双累计曲线法确定径流序列突变点, 以区分“天然”和“人为”两个阶段^[1]。汪岗等分析了黄河主要支流近 50 a 径流序列突变点、趋势及驱动因素^[2-7], 指出在水土保持措施及降水减少两因素影响下, 径流量已经表现出减少。但仍缺乏两因素水文效应定量评价及比较, 对径流量的分析也未考虑年内降水极端事件的影响。通过计

* 收稿日期: 2009-08-16

基金项目: 中国科学院西部行动项目黄土高原退耕还林(草)环境效应与效益评价(KZCX2-XB2-05-03); “973”项目中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究(2007CB407203)

作者简介: 白桦(1986-), 男, 硕博连读研究生, 研究方向: 生态水文、水土保持工程。E-mail: baihua1985@126.com

通信作者: 穆兴民(1961-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 水土保持、生态水文。E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn

算降水波动引起的径流变化量, 分离出水土保持措施对径流量的影响; 划分相似降水组, 比较组内年径流量突变点前后洪水要素及洪水过程的变化, 以揭示水土保持措施对场次洪水的影响。

1 流域概况

秃尾河发源于陕西省神木县瑶镇乡宫泊海子, 由西北向东南流经神木、榆林、佳县等 3 县 16 个乡镇, 于神木县的万镇河口岔汇入黄河。干流长 139.6 km, 平均比降 3.12‰, 流域面积 3 295 km²。秃尾河流域在 1965 年以前只有高家堡和高家川 2 处水文站, 1966 年以后雨量站陆续增设到 6~10 处。流域多年平均降水量 417.4 mm (1956~2000 年), 主要集中在汛期。植被带为干旱草原与森林草原植被的过渡带。流域可分为 4 个地貌类型区: 草滩区、流动风沙区、盖沙区、黄土丘陵区。流域内水土流失严重, 年均输沙量 0.22×10^8 t, 至 1996 年底, 秃尾河流域水土流失治理面积占整个流域的 35.1%, 且主要以林地措施为主, 其面积占整个流域的 31.4%。流域内经济发展较快, 分布有陕北能源重化工基地, 蕴含煤炭、天然气、石油资源, 出产丰富的农畜林产品, 集中了一批重点企业。

2 研究资料与方法

2.1 研究数据

研究数据为黄河流域水文年鉴中秃尾河流域公草湾、高家堡、高家川站 1956~2003 年水文资料, 包括降水、径流、暴雨、洪水资料, 其中年际变化分析及双累计曲线采用流域 1951~2008 年水文资料。流域面降水量由泰森多边形法求得, 缺少的年份降水依据榆林站延展。洪水资料从洪水过程线分割得到, 对应暴雨资料参照分割出的洪水从降水量摘录表中划分而来。

2.2 研究方法

相似降水的确定标准: 降水是产流的动力, 降水量及其时空分布影响径流量及流量过程。考虑到黄河龙区间降水多为暴雨, 产流方式以超渗产流为主, 相近年份下垫面变化小等原因, 相似降水的确定主要考虑年份、降水量、降水历时、降水强度、最大时段降水量、雨峰历时、雨峰强度这些因素。

秃尾河流域暴雨中心区位于高家堡以上地区时, 即使降水量较大, 所产生的地表径流也很小^[8], 所以次降水要素的计算仅采用高家堡、高家川站降水资料, 距离年径流量突变点一定的时间间隔, 取突变点前后各约 10 a 的暴雨及洪水资料, 分析次暴雨

的降水量、降水历时、降水强度、最大时段降水量、雨峰历时、雨峰强度, 并以两站在黄土丘陵区所占面积比例计算面上均值。根据统计出的降水量排序, 并以各降水要素接近为原则划分相似降水组, 对比分析相似降水组内突变点后洪水总量、洪峰流量及洪水过程相对于突变点前的变化, 定量评价水土保持措施对次洪水的影响。

3 结果与分析

3.1 降水特征分析

对比流域内各站年降水量, 结果表明: 流域上游降水量较中下游小, 高家堡站丰水年和平水年的设计年及汛期降水量较大, 高家川站枯水年的设计年及汛期降水量较大。

3.1.1 降水量年内分配特征 对流域年平均降水量进行频率分析, 得到 25%、50%、75% 频率下秃尾河设计年降水量分别为 480 mm、380 mm 及 300 mm, 见图 1。降水量年内分配不均, 主要集中在 6~9 月。3 种设计年连续最大三个月降水量占年降水量比例分别达 63.9%、67.6%、74.6%, 实测多年平均汛期 (7~9 月) 降水比例为 64%, 各年的月降水量变差系数变化为 1~1.9。

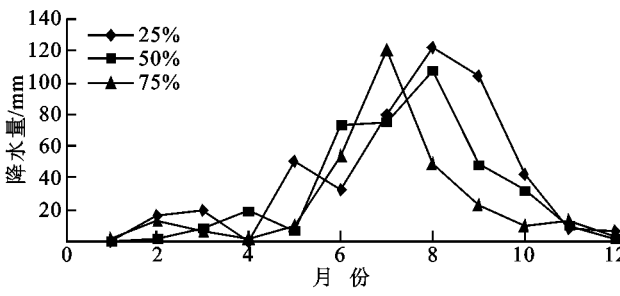


图 1 秃尾河流域不同频率设计降水量年内分配

3.1.2 降水量年际变化特征 由各水文站及流域逐年平均降水量过程线看出: 各站年降水量变化趋势基本一致, 流域最大、最小年降水量分别为 714.4 mm (1967 年)、119.9 mm (1965 年), 极值比是 6.0, 见图 2。流域年平均降水量变差系数为 0.28, 各站汛期 (6~9 月) 降水量极值比在 12.2~16.9 之间变化, 说明流域年平均降水量年际变化大, 汛期降水量年际变化更剧烈。

年降水量具有明显的阶段性变化特征, 采用距平累积曲线方法分析降水量的阶段性变化特征^[9]。年降水量距平累积变化曲线见图 3, 按照曲线至少连续出现 5 a 的变化趋势, 可将整个年降水量序列分为如下时段: 2 个显著的枯水段, 即 1951~1957 年、1971~1999 年。2 个显著的丰水段, 即 1958~1970 年、2000~2004 年。

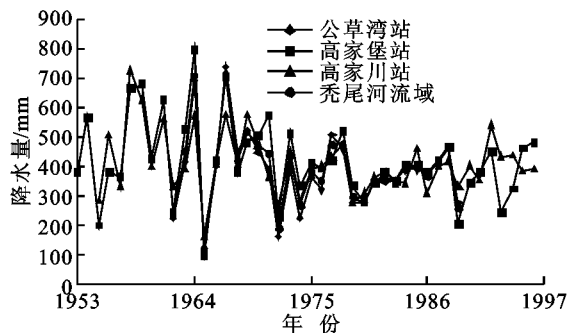


图 2 秃尾河及各测站年降水量过程线

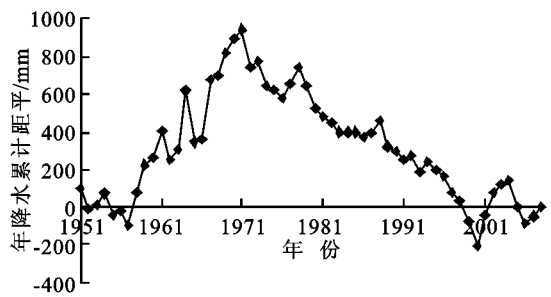


图 3 秃尾河流域年降水距平累计变化

3.2 径流特征分析

3.2.1 径流量年内分配特征 对流域把口站高家川站年平均流量进行频率分析得到 25%、50%、75% 频率的高家川站设计年平均流量分别为 $12.6\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $10.6\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $9.0\text{ m}^3/\text{s}$, 见图 4。径流分配具有双峰型的特点, 峰值分别出现在 3 月和 7 月, 最丰月出现在 7–8 月, 最枯月出现在 1 月和 5 月, 各设计年连续最大 3 个月径流量比例稳定在 0.37 左右。多年平均汛期径流量比例为 0.31, 各年的逐月径流量序列变差系数为 0.15~0.89, 反映出径流量年内分配不均。对比降水和径流, 汛期径流量比例与各年的逐月径流量变差系数均小于降水对应值, 说明虽然径流年内分配不均, 但相对于降水波动较小, 反映了降水年内分配的不均匀性受到了下垫面的调节。

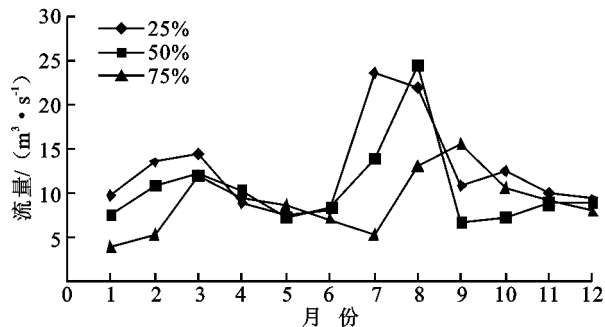


图 4 高家川站不同频率设计径流年内分配变化

差系数均小于降水对应值, 说明径流量年际波动较小, 体现出下垫面的调节作用。降水与径流序列丰枯基本同步, 在 70 年代出现偏差, 是由年内暴雨特性不同及下垫面变化导致。

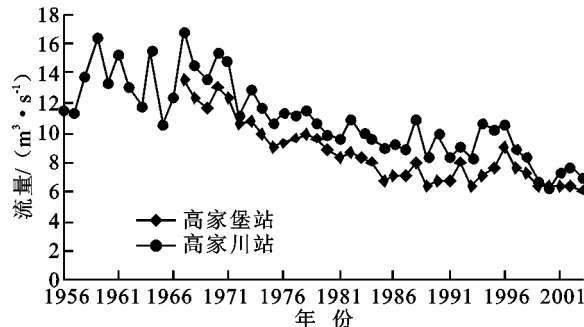


图 5 秃尾河研究水文测站流量过程线

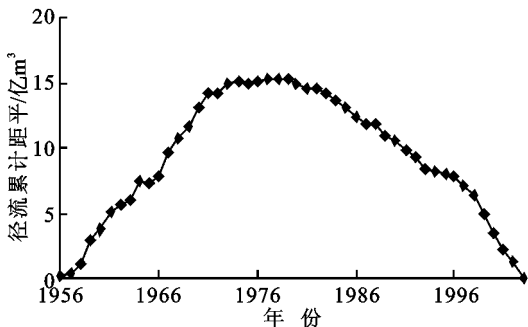


图 6 高家种站径流距平累积图

3.2.2 径流量年际变化 高家堡、高家川站年平均流量过程线表明: 两站年平均流量均呈现明显减小趋势, 最大、最小年平均流量分别为 $13.5\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $6.1\text{ m}^3/\text{s}$; $17.0\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $6.2\text{ m}^3/\text{s}$, 见图 5。两站年径流量变差系数均为 0.24, 年及汛期径流量极值比分别为 2.2, 4.5; 2.7, 6.2。结果表明: 径流量年际变化大, 汛期径流量年际变化更剧烈。M-K 检验证实高家川站不同时段径流序列下降趋势显著。依据高家川站径流距平累积图(见图 6)可将年径流量序列分为以下时段: 1 个明显丰水段为 1956–1972 年, 1 个明显平水段为 1973–1980 年, 1 个明显枯水段为 1981–2003 年。对比降水与径流, 年径流量极值比、变

3.3 水土保持措施对径流的影响

3.3.1 水土保持措施对月、年径流量的影响 影响径流量的因素主要包括气候、地质地貌及人类活动。查阅资料可知秃尾河无大型水利工程, 几十年内地质地貌基本没有变化, 水土保持措施是人类活动中影响径流的主要因素^[7]。根据双累积曲线理论和方法, 从年或汛期降水量与径流量双累计曲线可以得出: 年及汛期降水量分别在 1977 年和 1971 年后出现明显降低, 根据产流系数 α 的定义, $R = P \times \alpha$, 两边求导并以差分形式给出, 即

$$\Delta R = \Delta P \times \alpha + P \times \Delta \alpha$$

式中: $\Delta P \times \alpha$ ——降雨波动引起的径流量变化量;
 $P \times \Delta \alpha$ ——下垫面变化引起的径流量变化量。

由年径流量突变点, 结合相似降水分析期确定原则, 选取 1962– 1976 年和 1977– 1989 年两个研究时段, 对 1977– 1989 年多年平均情况下的年、各月、连续最大四个月(7– 10 月)及枯水期(11 月– 翌年 6 月)径流量利用 $\Delta P \times \alpha$ 进行修正。修正后, 后期多年平均径流深为 124.6 mm, 年径流深序列变差系数为 0.09, 而前期年径流深为 150.1 mm, 径流深序列变差系数为 0.16; 两时段多年平均各月径流量见图 7, 1977 年前后多年平均连续最大 4 个月径流量占年径流量比例由 44% 下降到 40%, 多年平均枯水期径流量比例由 56% 上升到 60%。结果表明: 水土保持措施使多年平均径流量减少, 各月径流量均化, 汛期径流量占年径流量比例减少, 枯水期径流量比例增加, 径流双峰型特征变为多峰型, 径流量年际变化波动幅度减小。

3.3.2 暴雨洪水特性 黄土高原的土壤侵蚀及河流洪水往往是由几场明显的暴雨所产生, 因此, 分析暴雨洪水及其对水土保持措施的响应对指导区域防洪及水土流失治理具有重要意义^[10-11]。统计 1965– 1975 年(缺 1971 年)秃尾河及各测站暴雨洪水资料, 结果表明: 秃尾河流域暴雨次数少、总量小、历时短, 且主要集中在 7– 8 月, 占全年降水量的 55.9%。时程分布不均, 例如高家川站 670820 号洪水对应暴

雨历时 26.5 h, 暴雨量 83.5 mm, 其中 19 日 20:04~4:20 暴雨量为 46.8 mm; 空间分布不均, 650727 号洪水对应公草湾站降水量 0.6 mm, 高家川站降水量 30.4 mm, 高家堡站无降水。最大洪峰流量为 3 101 m³/s, 出现在 660714 号洪水中。大于 1 000 m³/s 洪水 8 场, 洪水历时较短, 洪峰滞时差异大。

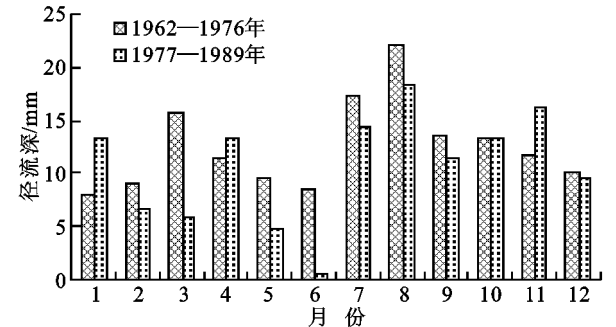


图 7 秃尾河年平均流量序列转折点前后月径流分配变化

3.3.3 水土保持措施对场次洪水的影响 划分相似降水组, 比较 1977 年前后洪水总量、洪峰流量变化, 见表 1。结果表明: 各相似降水组中 1977 年后场次洪水的洪水总量及洪峰流量相对于 1977 年前衰减幅度为 50%~ 97% 和 68%~ 90%, 反映水土保持措施削减洪水总量及洪峰流量。对比分析相似降水组中次洪水过程线, 见图 8– 12, 结果表明水土保持措施使洪水过程均化。

表 1 相似降水组下前后期洪水要素对照表

降雨组	降雨总量/mm	降雨历时/h	降雨强度/(mm·h ⁻¹)	最大时段雨量/mm	雨峰历时/h	雨峰强度/(mm·h ⁻¹)	洪水编号	洪水总量/万 m ³	洪水总量前后期衰减率/%	洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	洪峰流量前后期衰减率/%
1	86.9	23.2	3.7	41.8	5.4	7.7	670820	4449.5		2170	
	97.3	17.6	5.5	57.3	4.3	13.5	890722	818.8	- 81.60	681	- 68.60
2	26.8	4.5	6	24.7	1.4	17.5	680726	351.1		265	
	24.6	2.8	8.7	15.3	0.8	18.7	840730	9.6	- 97.30	47.9	- 81.90
3	26.7	5.9	4.5	19.9	2.8	7.2	680715	940.4		1520	
	23.5	5.5	4.3	15.2	0.8	19.6	850805	457.6	- 51.30	142	- 90.70
4	21.8	6.5	3.4	13.6	1.6	8.5	670801	1335.8		1630	
	21.5	5.4	4	13.8	0.9	14.6	880630	151.8	- 88.60	271	- 83.40
5	18.3	6.3	2.9	15.5	4.6	3.4	660726	511.6		613	
	19.6	4.4	4.4	14.3	7.9	1.8	860729	273.8	- 46.50	155	- 74.70

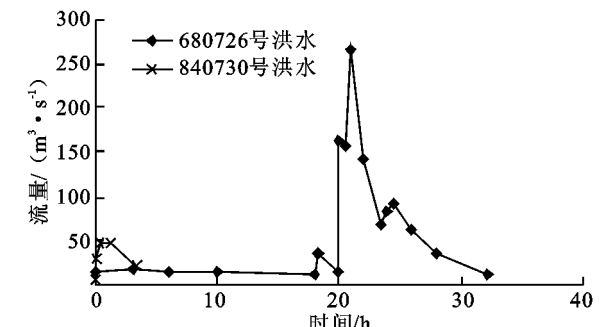
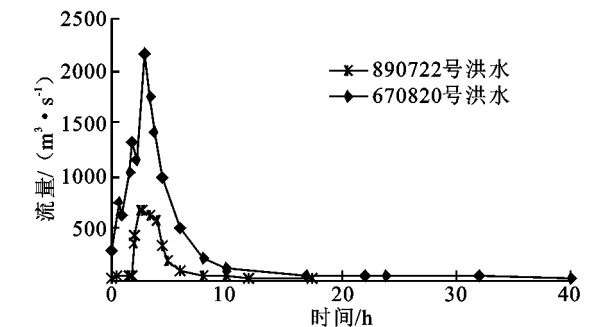


图 8 相似降水下场次洪水对照图(1 组)

图 9 相似降水下场次洪水对照图(2 组)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

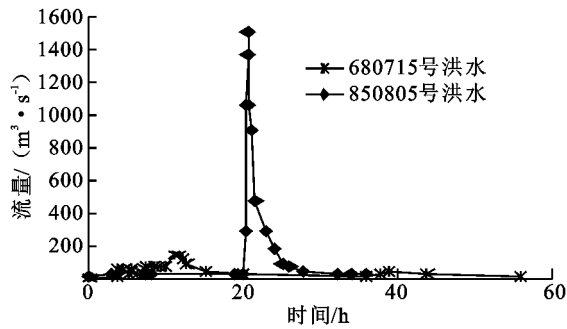


图 10 相似降水下场次洪水对照图(3组)

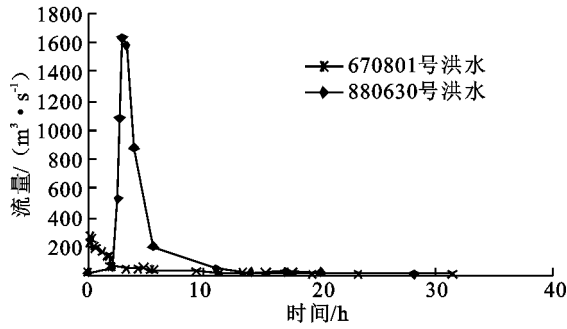


图 11 相似降水下场次洪水对照图(4组)

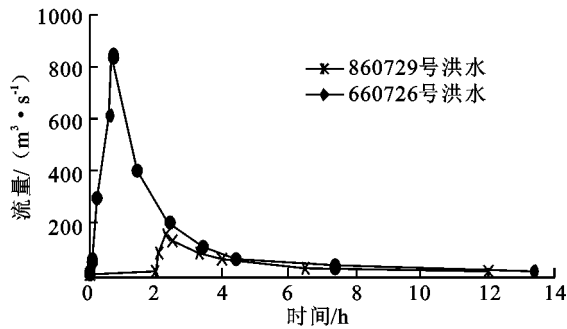


图 12 相似降水下场次洪水对照图(5组)

4 结 论

(1) 流域降水量及河道径流量年际及季节分配不均。流域降水量季节分配不均,主要集中在 6-9 月,年际变化大。河道径流量季节分配不均,且具有双峰型特点,年际变化大,但波动均比降水小,因其受到了下垫面的调节,不同时段径流序列有显著下降趋势。降水径流丰枯时段在 70 年代不同步,是年内暴雨特性不同及下垫面变化导致的。

(2) 水土保持措施使年径流量减小,季节分配均

化,年际波动减弱。年径流量在 1977 年后出现减小趋势。水土保持措施使多年平均情况下年径流量减少,各月经流量均化,汛期径流量占年径流量比例减少,枯水期径流量比例增加,径流季节分配双峰型特征变为多峰型,年径流量序列变差系数减小。

(3) 流域暴雨次数少、总量小、历时短,且主要集中在 7-8 月,时空分布不均。最大洪峰流量为 $3\ 101\ \text{m}^3/\text{s}$,出现在 660714 号洪水中,大于 $1\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 洪水 8 场,洪水历时较短,洪峰滞时差异大。

(4) 水土保持措施削减洪水总量及洪峰流量,并使洪水过程均化。相似降水条件下,年径流量突变点后的洪水总量及洪峰流量相对之前衰减幅度为 50%~97% 和 68%~90%,场次洪水过程相对之前均化。

参考文献:

[1] 朱恒峰,赵文武,康慕宜,等. 水土保持地区人类活动对汛期径流影响的估算[J]. 水科学进展, 2008, 19(3): 400-405.

[2] 汪岗,范昭. 黄河水沙变化研究[M]. (2卷). 郑州: 黄河水利出版社, 2002.

[3] 姚文艺,李占斌,康玲玲. 黄土高原土壤侵蚀治理的生态环境效应[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[4] 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.

[5] 李勇,董雪娜,张晓华,等. 黄河水沙特性变化研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2004.

[6] 许炯心. 黄河中游多沙粗沙区水土保持减沙的近期趋势及其成因[J]. 泥沙研究, 2004(2): 5-10.

[7] 穆兴民. 黄土高原水土保持对河川径流及土壤水文的影响[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2001.

[8] 李占斌,符素华,鲁克新. 秃尾河流域暴雨洪水产沙特性的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 88-91.

[9] 穆兴民,李靖. 黄河天然径流量年际变化过程分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(2): 1-5.

[10] 穆兴民. 黄土高塬沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响[J]. 水利学报, 1999, (2): 71-75.

[11] 穆兴民,陈霁巍,王文龙,等. 水利水保工程对佳芦河流域暴雨洪水的影响分析[J]. 水土保持通报, 2000, 20(7): 24-27.