

# 沟壑综合整治对小流域水沙的影响<sup>\*</sup>

陈鹏飞<sup>1</sup>, 陈丽华<sup>1</sup>, 余新晓<sup>1</sup>, 韩鹏<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083,  
2. 内蒙古农业大学 林学院, 呼和浩特 010018)

**摘要:** 该文以甘肃省的桥子东沟、西沟流域为研究对象, 分析其相似度, 确定采用流域对比分析法, 通过对两流域的水文监测资料(1986-2004年)的统计及对比分析, 研究沟壑综合整治对小流域水沙的影响。结果表明: 沟壑综合整治措施改变了小流域水分和泥沙的贮存状况, 在相同降水条件下, 相似流域的径流流量和含沙量过程变化趋势基本一致, 但已治理流域内的产流量和产沙量指标均小于未治理流域的, 且影响程度与降水量的大小相关, 降水量越大, 其减少量绝对值越大, 但减少的相对值反而越小。

**关键词:** 综合整治; 对比流域; 径流调控; 黄土高原

中图分类号: S157; P332

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0104-05

## Influence of Comprehensive Control Gully on Water and Sediment in Small Watershed

CHEN Peng-fei<sup>1</sup>, CHEN Li-hua<sup>1</sup>, YU Xin-xiao<sup>1</sup>, HAN Peng<sup>2</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

**Abstract:** This paper selected Qiaozidong watershed and Qiaozixi watershed in Gansu province as the research object to analyze their similarity, then the analysis method of watersheds comparative was determined. Influence of comprehensive control gully on water and sand in small watershed was studied through statistic and comparative analysis of the hydrological monitoring data of two watersheds (from 1986 to 2004). The results showed that: the situation of storage of water and sediment were changed by the measures of comprehensive control gully in small watershed, under the same precipitation condition, the process and change tendency of sediment concentration and flow rate in runoff were same in the comparative watersheds, but the indexes of the runoff and sediment production in watershed of governance were less than the corresponding indexes in watershed of not governance, and influence degree is correlated with the precipitation, the more precipitation is, the bigger its absolute value of decrement is, the smaller relative value of reduced is instead.

**Key words:** comprehensive control; paired watersheds; runoff regulation; the Loess Plateau

随着我国西部开发战略的实施, 改善黄土高原地区生态环境已成为亟待解决的问题<sup>[1]</sup>。黄土高原地区以严重的水土流失闻名于世, 在 64 万 km<sup>2</sup> 总面积中水土流失面积 45 万 km<sup>2</sup>, 治理前年输入黄河泥沙 16 亿 t, 生态环境日益恶化, 生产水平很低, 群众生活十分贫困<sup>[2]</sup>。黄土高原的水土流失主要是面蚀和沟蚀, 危害都十分严重, 要有效地控制水土流

失, 许多专家都提出必须进行沟壑综合整治, 实现坡沟兼治。但沟壑综合整治对流域的水沙到底有何影响, 有待于科研人员进一步的研究。该文以黄土高原相似小流域径流和侵蚀产沙对比试验, 研究沟壑综合整治对小流域水沙的影响, 以期黄土高原地区流域水文系统演变的研究提供科学依据。

\* 收稿日期: 2009-09-24

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划重大项目(2006BAD09B02-03)

作者简介: 陈鹏飞(1981-), 山西大同人, 在读博士, 主要研究方向: 生态环境建设技术。E-mail: yueyueniaofei@163.com

通信作者: 陈丽华(1957-), 女, 北京市人, 博士, 教授, 主要研究方向: 生态环境, 流域治理, 森林水文等。E-mail: c\_lihua@bjfu.edu.cn

## 1 对比流域概况

### 1.1 自然概况

桥子东沟、西沟流域(合称桥子沟流域)位于甘肃省天水市秦城区北郊(105°43'E, 34°34'N),罗玉沟流域杂色土强度侵蚀区的左岸下游,是藉河左岸支沟罗玉沟内的一对相邻支沟<sup>[3]</sup>。两流域自然条件基本相似,属黄土丘陵沟壑区第三副区,海拔1170~1435 m,相对高差265 m,地貌由残塬、梁峁、斜坡、沟谷组成<sup>[3,4]</sup>。降雨年内分布不均且多以暴雨形式出现,7-9月三个月降水占全年总量的60%以上,水土流失较为严重。

### 1.2 治理概况

桥子东沟为治理沟,桥子西沟为非治理沟。自天水水土保持试验站建站以来,桥子东、西沟即作为对比试验流域,其中西沟一直未进行治理,而东沟间断性的实施了水土保持措施。桥子沟流域沟道侵蚀相当严重,其侵蚀模数与坡面侵蚀模数之比为6:1<sup>[4]</sup>。因此,在桥子东沟流域综合治理中,长期坚持沟壑综合整治,初步形成了层次清楚、结构合理、功能齐全的水土保持综合防护体系,使流域内生态环境明显改善,综合抗灾能力大幅提高。目前,流域沟道内以中型淤地坝和小型淤地坝为主控措施(图1),同时修建谷坊,稳定沟床,拦蓄沟道内洪水和超标洪水,抬高侵蚀基点,防止沟底下切,淤地造田,在坝肩沟床营造杨、柳等沟底防冲林,进行开发利用,坡面坚持修建蓄渗槽、拦水沟埂、水平沟、水平阶、鱼鳞坑等拦蓄工程,工程内营造沙棘、杨槐、杏树等乔灌混合林,采取工程措施与生物措施相结合,拦、蓄、渗相结合的办法,增加坡面糙率,提高郁闭度,层层蓄水拦泥,就地消化<sup>[5]</sup>,形成完整的沟壑综合整治防护体系。

### 1.3 沟道治理工程措施

沟道治理工程主要包括淤地坝、谷坊、小型水库工程、沟头及沟岸防护工程、沟底防冲林带等措施。由于山沟所在流域的地质、地形、气候、土壤、植被等自然条件及人类活动影响的不同,需要根据沟道的类型选用各种治理措施。

(1)淤地坝是沟道内修建的以滞洪拦泥、淤地造田为目的的水土保持工程措施。一般由坝体、泄水洞和溢洪道3部分组成。可以控制沟床下切、沟岸扩张及沟谷的重力侵蚀,能调节径流,拦蓄洪水泥沙,变荒沟为良田,减少下游水库与河床的淤积,为改变广种薄收,促进陡坡退耕还林还草创造条件。具体做法是在黄土高原地区各中等规模的小沟小河内(控制流域面积在20 km<sup>2</sup>以上),选狭窄部位,一般从两面山上取土筑成大坝,把整条沟彻底封锁,主要目的在于拦泥淤地,一般不长期蓄水。根据沟道治理和利用的不同目的可修建不同规模的淤地坝,目前,桥子东沟流域已建设了19座淤地坝,其中中型坝2座,小型坝17座,构成了较完整的小流域坝系。

(2)谷坊是横筑在深丘区、山区及土石山区侵蚀沟内的透水不透沙的土、石坝。坝的高度一般在3 m以下,有干砌石谷坊、柳条谷坊、土谷坊等类型。其主要作用在于防止沟床下切,抬高侵蚀基点,减缓沟道纵坡。桥子东沟在缓坡沟道内,采用梯级谷坊来防止水土流失,通过逐级修筑谷坊,对沟道内泥沙进行层层拦蓄,阻止了侵蚀沟的发育,形成了一定的淤地面积,为下一步采取生物措施提供了基础准备。

(3)沟头及沟岸防护工程,是为了固定沟头及沟岸,防止沟头前进,侧向冲刷和沟岸扩张,在沟道内修筑护岸工程。沟头防护工程分为蓄水式、泄水式两类。蓄水式沟头防护工程是将沟头集水区的径流拦蓄在拦水沟埂或埂墙涝池之中,防止径流从沟头下泄,引起溯源侵蚀。拦蓄的径流还可以用于人畜饮用的需要或灌溉农田、草地及林地。泄水式沟头防护工程是将沟头汇集的径流安全地排入沟道中,避免冲刷,防止沟头前进。桥子东沟流域通过沟头及沟岸防护工程的实施,进行沟坡整地造林,发展果园,种植牧草等,形成了沟坡林草生态经济带。黄河泥沙主要来源于黄土高原的千沟万壑。因此,沟壑的综合整治意义重大。桥子东沟流域采用人工治理与自然恢复相结合的沟壑综合整治防护体系,沟道治理工程不仅与治理沟道的林草措施相结合,而且与山坡防护工程相结合,统一规划,坡沟兼治。以实现综合治理水土流失、改善生态环境和发展区域经济的目标。

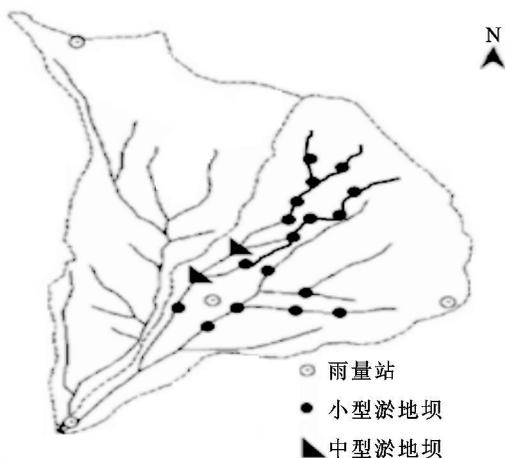


图1 桥子沟流域沟道及坝系平面布置图

## 2 研究方法

### 2.1 流域分析数据获取

研究数据来源于黄河水利委员会甘肃天水水土保持试验站。观测站网是在“相似流域, 平行对比”的指导思想下于 1986 年规划布设的<sup>[6,8]</sup>。试验以桥子沟(东、西沟)流域 1986—2004 年降雨量观测资料、5 个雨量站的降雨观测过程资料和径流泥沙资料等为依托, 通过分析桥子东沟、西沟流域内降雨时间分布规律和在空间上的分布规律, 为流域内沟壑综合整治对流域水沙影响的研究奠定数据基础。

### 2.2 流域相似度分析

研究以 1: 10 000 比例尺的地形图为数据源, 对研究流域进行数字化制图, 建立等高线的矢量图。利用 GIS 软件 ArcGIS 9. 2、Arcview 3. 2 进行分析。通过空间分析模块(Spatial Analyst)建立了桥子东

表 1 桥子东西沟流域主要地形特征

流域名称	面积/km <sup>2</sup>	流域形状	形状系数	流域长度/km	平均宽度/km	沟道比降/%	相对高差/m	沟壑密度/(km·km <sup>-2</sup> )
桥子东沟	1. 36	半扇	0. 34	2. 00	0. 68	8. 0	377	5. 13
桥子西沟	1. 09	羽状	0. 23	2. 18	0. 50	8. 0	377	5. 09

#### 2.2.2 土壤分析

桥子东、西沟流域属罗玉沟流域内的两个嵌套流域, 两流域的土壤质地基本一致, 属罗玉沟流域内的杂色土区。桥子沟流域土壤有 6 种, 以黄土质黑褐土分布最广, 占流域面积 60% 左右, 其次为红色黄土质黑褐土型粗骨土, 占流域面积 16%~22%, 其余土种分布很少。黄土覆盖面积占 33. 07%~73. 09%, 杂色土出露面积占 26. 91%~66. 93%, 坡度中等, 耕垦指数高。土壤侵蚀严重。经统计 1986—2004 年间, 桥子东沟年侵蚀模数 2 310. 4 t/km<sup>2</sup>, 桥子西沟年侵蚀模数 4 270. 6 t/km<sup>2</sup>, 两流域

表 2 桥子东西沟流域年降水量分布

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
降水量/mm	9. 2	10. 5	25. 7	36. 7	56. 5	75. 9	85. 3	82. 8	76. 6	51. 2	14. 0	5. 5	529. 7
比例/%	1. 73	1. 99	4. 86	6. 92	10. 66	14. 32	16. 10	15. 63	14. 46	9. 66	2. 64	1. 04	100. 00

2.2.4 水文分析 桥子东西沟均为季节性干沟, 两个流域内的径流全部发生在汛期。根据桥子东、西沟流域内雨量站的分布情况及各站多年降水量的实测资料, 桥子东、西沟流域 1986—2004 年平均降水量为 529. 7 mm(表 2), 流域 6—9 月降水占全年降水量的 60. 51%, 5—10 月降水量占全年降水量的 83. 5%, 每年 11 月至翌年 2 月是降水最少时期, 其降水量占全年降水量的 7. 4%, 可见其降水年际变幅大, 年内分配不均, 汛期多以暴雨形式出现, 土壤侵蚀严重<sup>[3]</sup>。

沟、西沟流域数字高程模型(DEM)。DEM 是零阶单纯的单项数字地貌模型, 在 DEM 的基础上可派生其它地貌特性, 如坡度、坡向及坡度变化率等。

#### 2.2.1 地形分析

主要通过 GIS 软件来分析, 虽然在 DEM 图上提取的坡度和沟壑密度与实地测量数据存在差异, 但结合实地观察验证, 基本可以反映出实际地形间的异同, 满足分析的需要。由 1: 10 000 的 DEM 对小流域进行对比分析, 桥子东沟流域呈椭圆形, 面积 1. 36 km<sup>2</sup>, 干沟长 2. 04 km, 平均比降 16. 6%; 桥子西沟流域呈羽状, 面积 1. 09 km<sup>2</sup>, 干沟长 2. 12 km, 平均比降 16. 7%。通过 DEM 对流域坡度和坡向进行自动提取<sup>[3]</sup>(附图 5, 附图 6), 其中地面平均坡度东沟的较西沟陡, 都位于黄土高原面蚀与沟蚀的临界侵蚀坡度 5°以上<sup>[7]</sup>, 两个流域地形条件基本相似(表 1)。

汛期输沙量占年输沙总量的 98%<sup>[8]</sup>。

2.2.3 植被分析 桥子东沟为治理流域, 在流域主要沟坡和部分坡面上有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、山杨(*Populus davidiana*)、榆(*Ulmus pumila*)、山杏(*Prunus armeniaca var. ansu*)林地和人工草地, 流域内修有梯田, 种植小麦、玉米、马铃薯等; 西沟为对比试验小流域, 无水土保持措施。桥子东西沟野生草本植物主要有白草(*Bothriochia ischaemum*)、鹅冠草(*Roegneria kanoji*)、坡稷草(*Elymus dahuricus*)、蒿类(*Artemisia*)等<sup>[3,8]</sup>。

通过以上的相似度分析, 可以得出桥子沟流域(东沟、西沟流域)无论从地貌特征、土壤组成还是面积、坡度上都极具相似性, 在黄土高原沟壑区极具代表性和典型性。因此, 本文选择东沟、西沟流域为对比流域进行研究, 是比较科学的。

## 3 对比分析过程及结果

### 3.1 流域产流研究

通过对桥子沟流域 1986—2004 年降雨量和年径流统计分析, 桥子东沟年平均降水量约 496 mm, 径流深 7. 37 mm, 西沟年降水 522. 3 mm, 径流深

17.11 mm。进一步对桥子东、西沟流域 1986–2004 年径流系数随时间的变化进行统计分析<sup>[4]</sup>(图 2)。两流域径流系数与降雨量的变化趋势一致, 1986–2004 年桥子西沟各年径流系数都远大于当年东沟的年径流系数。桥子东沟流域地面平均坡度虽然较西沟流域陡, 但东沟为治理流域, 其平均年径流总量为 1.2 万 m<sup>3</sup>, 径流模数 1.1 万 m<sup>3</sup>/(km<sup>2</sup>·a); 而西沟流域平均年径流量为 2.2 万 m<sup>3</sup>, 径流模数 2.0 万 m<sup>3</sup>/(km<sup>2</sup>·a)。可见沟壑综合整治对流域的径流产流有显著的减少作用。

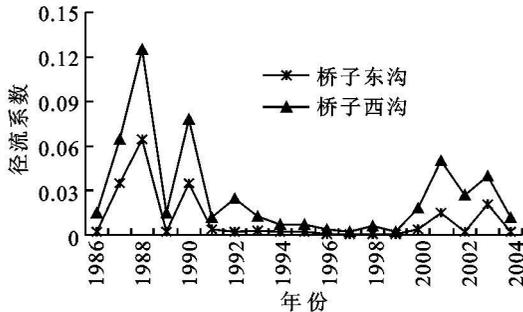


图 2 径流系数年度变化情况

对 1986–2004 年的降水进行频率统计, 可分析不同降雨条件下, 东沟径流系数较西沟减少的程度, 探究流域沟壑综合整治对径流系数的作用与降雨的关系。通过统计得到降水频率为 10%、50%、90% 的丰、平、枯水年降水量, 经研究分析, 在丰水年(降雨量 > 630 mm), 前者的径流系数比后者减少约 50%; 平水年(降雨量 450~630 mm)前者比后者减少约 85%; 枯水年(降雨量 < 450 mm)前者比后者减少约 90%, 但实际枯水年东、西沟的产流都极少。可见, 降雨量越少, 沟壑综合整治对流域产流的影响相对越大。

表 3 桥子沟典型淤地坝输沙量统计表

类型 (坝号)	流域面 积/km <sup>2</sup>	悬移质输沙模数/ (t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	悬移质输沙量/ (t·a <sup>-1</sup> )	推移质输沙量/ (t·a <sup>-1</sup> )	输沙量/ (t·a <sup>-1</sup> )	淤积 年限/a	拦泥库/ 万 m <sup>3</sup>
中型(1号)	2.1	7939	16671.9	3334.38	20006.28	6	9.23
中型(2号)	2.0	7939	15878.0	3175.60	19053.60	6	8.79
小型(12号)	0.26	7939	2064.1	412.83	2476.97	5	0.95
小型(16号)	0.2	7939	1587.8	317.56	1905.36	5	0.73

注: 数据来自黄河水土保持天水治理监督局。

为揭示不同径流条件下, 东沟输沙率较西沟减少的程度, 依据图 2 对 1986–2004 年的径流深及输沙模数进行分段统计<sup>[10]</sup>, 见表 4。经研究分析, 1986–1993 年, 产流较多, 前者的年输沙模数比后者减少约 54%; 1994–1998 年, 产流较少, 前者比后者减少约 88%; 1999–2004 年, 产流一般, 前者比后者减少约 74%。可见, 产流量越少, 沟壑综合整治对流域径流输沙的影响相对越大。而产流量与降雨量又存在明显的正相关关系, 也就是说, 降雨作为气候因

通过以上平行流域对比分析, 可得出, 黄土高原地区沟壑综合整治工程的实施, 可以减少小流域产流, 且影响程度与降水量的大小相关, 降水量越大, 其减少量绝对值越大, 但减少的相对值反而越小。建立的治理体系进一步完善, 尤其淤地坝的建设, 形成了较完整的坝系, 土地利用格局改变的也较为合理等, 完善的坝系工程对流域径流的影响更加突出, 使得径流系数变化相对平缓, 使得对流域的产流减少作用更加明显。

### 3.2 流域产沙研究

1986–2004 年东、西沟流域年均侵蚀模数以桥子西沟较高, 达 4 270.6 t/km<sup>2</sup>, 而桥子东沟经过多年治理, 年均侵蚀模数相对较小, 为 2 310.4 t/km<sup>2</sup>。与降雨的季节分配相一致, 侵蚀产沙主要发生在汛期, 5–10 月输沙量占全年输沙量的 88%~98.64%。1986–2004 年东、西沟流域年输沙率波动趋势与降雨量变化趋势基本一致, 且在桥子东沟汇流面积大于桥子西沟的情况下, 观测年间西沟各年输沙率远大于当年东沟的年输沙率。由统计的桥子东沟已建坝系中 4 个典型淤地坝的输沙量(表 3), 可见桥子东沟建立中小型坝系的拦沙效益。坝系对流域的拦泥减沙作用明显, 淤地坝除拦蓄沟谷地产沙量外, 还可拦蓄坡面 50% 以上的产沙量<sup>[9]</sup>。桥子沟输沙量的年际变化存在明显的阶段性, 由于桥子东沟坝系是在沟壑综合整治后期(1995–2004 年)逐渐建立起来的, 所以桥子东沟流域相比西沟流域在沟壑综合整治后期其减沙的能力大大加强了, 也就是沟壑综合整治工程中, 坝系的建设更加有效的防止了流域的水土流失。

素, 对流域径流输沙有影响效应, 且与沟壑综合整治对流域产流的影响一致, 即同样的降雨条件, 流域沟壑综合整治对径流输沙具有明显的影响, 且随降雨量增大, 这种影响力减弱。降雨量增大弱化了下垫面条件对降雨–输沙关系的影响<sup>[8]</sup>。

进一步比较研究东、西沟流域输沙情况, 为避免极值影响, 以月均输沙量为对象探讨沟壑综合整治对流域输沙的影响。分析桥子东、西沟流域月均输沙量(图 3), 流域月输沙量与降雨量变化趋势基本

一致, 输沙产生于降雨相对集中的 4- 10 月; 由数据分析可得, 东沟较西沟减少约 36% ~ 72%, 其中 5, 9 月减少较其它月显著, 分别为 71%、72%。分析原因, 主要是由于沟壑综合整治中沟道及坡面植被增加的作用<sup>[11-12]</sup>。可认为 5 月农作物还未生长而乔、灌植被是地表的唯一覆盖, 因此植被较好的东沟较植被一般的西沟减沙作用强; 同样 9 月农作物开始收获而乔、灌植被又成流域唯一覆被, 东沟降雨输沙显著小于西沟降雨输沙。可见, 流域沟壑综合整治对径流减沙作用显著, 其中的整治工程内营造沙棘、杨槐、杏树等乔灌混合林的生物措施对流域输沙的影响存在季节性变化<sup>[3, 11]</sup>, 植被条件越好, 对径流减沙能力越强。

表 4 桥子沟流域实测径流深及输沙模数统计表

时段	径流深/mm		输沙模数/(t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	
	桥子东沟	桥子西沟	桥子东沟	桥子西沟
1986- 1993	14. 00	29. 89	43. 91	95. 62
1994- 1998	0. 14	1. 14	0. 56	4. 58
1999- 2004	5. 66	15. 52	15. 39	59. 85

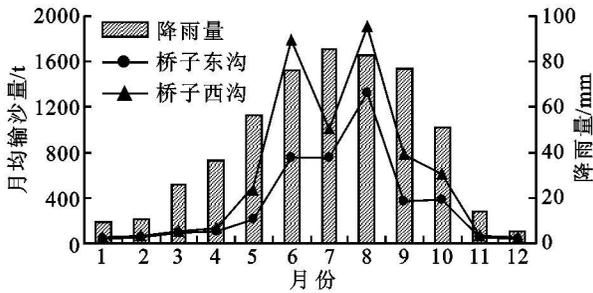


图 3 桥子东西沟多年月均降雨—输沙量变化

## 4 结 论

对甘肃省天水市桥子东沟和桥子西沟两个对比小流域的实测降雨、径流、泥沙资料分析可见, 在相同降水条件下, 其流量和含沙量过程变化趋势基本一致, 但已治理东沟流域内的径流量、产沙量指标均小于未治理西沟流域<sup>[13]</sup>, 说明沟壑综合整治在小流域中充分发挥蓄水、拦泥、防洪、淤地、灌溉作用, 对减少入黄泥沙, 有效控制水土流失, 合理利用水土资源, 构建人与自然和谐相处的生态型社会都起到了重要的作用。

桥子东沟实施沟壑综合整治改变了流域下垫面特性及产汇流条件, 各种沟壑整治措施不同程度地发挥了滞洪拦沙作用。坝系的建设在宏观上对小流域的水沙进行了调控, 淤地坝不但拦泥淤地, 而且对拦蓄径流及减蚀作用非常明显; 沟道及坡面林草措施对水沙有季节性的影响, 植被的增加有效地保护了地表, 防止了雨水对地表的冲刷, 在强化土壤入渗

和延长产汇流时间方面作用十分显著<sup>[14]</sup>, 不但拦蓄了坡上径流泥沙, 并且径流的减少, 减轻了对沟道的冲刷。当然还有沟壑整治过程中修建梯田、水平阶、鱼鳞坑等水保措施, 都不同程度的改变了桥子东沟的土地利用格局、土壤地质、植被条件等<sup>[15]</sup>, 这些因素的综合作用影响了东沟流域水分和泥沙的贮存状况, 从而使桥子东、西沟流域的产流产沙特性产生较大差异。

### 参考文献:

- [1] 王红闪, 黄明斌, 张橹, 等. 黄土高原植被重建对小流域水循环的影响[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 344-350.
- [2] 郑新民. 黄土高原沟壑治理措施及其效果[J]. 中国水土保持, 2005(5): 6-7.
- [3] 张晓明. 黄土高原典型流域土地利用/森林植被演变的水文生态响应与尺度转换研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007: 131-137.
- [4] 王宏, 康学林. 桥子沟流域“1987·4·19”暴雨洪水及土壤侵蚀调查分析[J]. 人民黄河, 1995(10): 25-27, 48.
- [5] 沈鸿涛, 胡生辉. 桥子沟小流域综合治理开发的成功尝试[J]. 甘肃农村科技, 1997(6): 22.
- [6] 张晓明, 余新晓, 武思宏, 等. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用/土地覆被变化水文动态响应[J]. 应用生态学报, 2007, 27(2): 414-423.
- [7] 卢金发, 黄秀花. 土地覆被对黄河中游流域泥沙产生的影响[J]. 地理研究, 2003, 22(5): 571-578.
- [8] 张晓明, 余新晓, 武思宏, 等. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用/土地覆被变化对径流产沙的影响[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(6): 115-122.
- [9] 焦菊英, 王万忠, 李靖, 等. 黄土高原丘陵沟壑区淤地坝的淤地拦沙效益分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 302-306.
- [10] 马金辉. 天水罗裕沟流域土壤侵蚀时空格局模拟研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2007: 57-100.
- [11] 秦富仓, 余新晓, 张满良, 等. 小流域林草植被控制土壤侵蚀机理研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1618-1622.
- [12] 王宏, 秦百顺, 马勇, 等. 渭河流域水土保持措施减水减沙作用分析[J]. 人民黄河, 2001, 23(2): 18-20.
- [13] 王文龙, 王兆印, 李占斌, 等. 神府东胜煤田开发中扰动地面径流泥沙模拟研究[J]. 泥沙研究, 2006(2): 60-64.
- [14] 王瑞芳, 黄成志, 董雨亭. 甘肃天水市对比小流域暴雨洪水侵蚀产沙特性[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 78-81.
- [15] 卢玉东, 张春梅, 谭钦文. 西南土石山区小流域水土保持生态修复监测研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 318-322.