

# 黄土高原水土保持二期世行贷款项目蓄水保土效益分析\*

祁永新, 刘则荣, 王兴中

(黄河上中游管理局, 西安 710021)

**摘 要:** 结合黄土高原水土保持二期世行贷款项目的蓄水保土监测资料, 在重新确定单项措施蓄水保土指标的基础上, 应用水保法计算黄土高原水土保持二期世行贷款项目的蓄水保土效益, 并对计算结果进行分析评价, 指出黄土高原水土保持世行贷款项目的实施, 使项目区的水土资源得到了合理开发利用, 减少了入黄泥沙, 改善了生态环境。

**关键词:** 效益分析; 蓄水保土; 世行项目; 黄土高原

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)05-0204-04

## Effect Analysis of Soil and Water Conservation from the Loess Plateau Watershed Rehabilitation Project (Phase II)

QI Yong xin, LIU Ze rong, WANG Xing zhong

(Upper-Middle Reaches Bureau, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** This paper integrates the soil and water conservation monitoring data from the Loess Plateau Rehabilitation Project (Phase II) based on the re determination of single soil and water conservation indicators, calculates the benefits in soil and water conservation from the Project by employing the method of soil and water conservation, analyzes and evaluates the effects. The evaluation results indicate that the implementation of the Project has improved utilization of water and land resources, mitigated the sediment into Yellow River and improved the local eco environment in the project area.

**Key words:** effect analysis; soil and water conservation; World Bank project; Loess Plateau

黄土高原是我国水土流失最严重的地区之一, 严重的水土流失导致该地区生态环境退化, 当地群众贫困。为了改变这一现状, 从 1994 年开始, 陕、甘、晋、蒙 4 省(区)相继开展了二期黄土高原水土保持世行贷款项目, 其中二期项目从 1999 年开始, 2004 年结束。分析二期项目的蓄水保土效益, 是项目监测评价的重要内容, 也是评价项目实施效果的重要举措。

### 1 项目简介

黄土高原水土保持二期世行贷款项目区总面积 19 488.7 km<sup>2</sup>, 其中水土流失面积 18 094.0 km<sup>2</sup>, 占总面积的 92.8%, 包括黄河多沙粗沙区渭河、泾河、延河、汾河、鄂河、浑河、乌兰木伦河、西柳沟、壕庆河、大沟、五当沟、偏保片等 12 条重点支流(片), 涉及甘肃、陕西、山西、内蒙古 4 省(区)的 12 个地(盟、市), 37 个县(旗、市、区)。

截止 2004 年底项目结束, 项目区累计完成各项治理面积 446 292 hm<sup>2</sup>, 其中水平梯田 80 832 hm<sup>2</sup>, 坝地 1 647 hm<sup>2</sup>, 水地 5 321 hm<sup>2</sup>, 乔木林 108 935 hm<sup>2</sup>, 灌木林 71 219 hm<sup>2</sup>, 经济林 46 847 hm<sup>2</sup>, 果园 15 987 hm<sup>2</sup>, 人工种草 57 047 hm<sup>2</sup>, 封禁 56 627 hm<sup>2</sup>, 修建治沟骨干工程 67 座, 淤地坝 232 座, 谷坊 1 763 道, 水窖 23 585 个, 沟头防护 375 km。

### 2 水土保持措施蓄水保土量计算

#### 2.1 计算方法

##### 2.1.1 蓄水量计算方法

水土保持措施蓄水量主要包括 2 部分, 即坡面水土保持措施蓄水量, 沟道工程和小型蓄水工程蓄水量。蓄水量用  $W$  表示, 计算公式为

$$W = W_F + W_R \quad (1)$$

式中:  $W_F$ ——坡面水土保持措施蓄水量(m<sup>3</sup>);  $W_R$ ——沟道工程和小型蓄水工程蓄水量(m<sup>3</sup>)。

(1) 坡面水土保持措施蓄水量。主要包括梯田、造林和种草措施蓄水量, 用  $W_F$  表示。计算公式如下:

$$W_F = \sum \Delta M_f \cdot f_i \quad (2)$$

式中:  $f_i$ ——梯田、造林和种草措施的有效面积(hm<sup>2</sup>);  $\Delta M_f$ ——拦水模数(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)。

(2) 沟道工程和小型蓄水工程蓄水量。主要包括淤地坝、水窖、涝池、谷坊、塘坝、引洪漫地和治河造地等措施蓄水量, 用  $W_R$  表示, 计算公式如下:

$$W_R = W_b + W_j + W_t \quad (3)$$

式中:  $W_b$ ——淤地坝蓄水量(m<sup>3</sup>);  $W_j$ ——水窖、涝池蓄水量

\* 收稿日期: 2008 06 24

作者简介: 祁永新(1971-), 男, 陕西扶风人, 高级工程师, 主要从事水土保持外资项目管理及监测工作。E-mail: qyongxin@126.com

( $\text{m}^3$ );  $W_i$ ——谷坊、塘坝蓄水量( $\text{m}^3$ )。

2.1.2 拦沙量计算方法

水土保持措施保土量包括三部分:即水土保持措施减少坡面土壤侵蚀量、沟道工程和小型蓄水保土工程保土量、减轻沟蚀量。保土量用  $S$  表示,计算公式为

$$S = S_F + S_R + S_D \tag{4}$$

式中: $S$ ——各项水土保持措施保土量( $\text{t}$ );  $S_F$ ——水土保持措施减轻坡面土壤侵蚀量( $\text{t}$ );  $S_R$ ——沟道工程和小型蓄水保土工程保土量( $\text{t}$ );  $S_D$ ——减轻沟蚀量( $\text{t}$ )。

(1) 减少坡面土壤侵蚀量。主要包括梯田、造林和种草措施保土量,用  $S_F$  表示。计算公式如下:

$$S_F = \sum \Delta M_s \cdot f_i \tag{5}$$

式中: $f_i$ ——梯田、造林和种草措施的有效面积( $\text{hm}^2$ );  $\Delta M_s$ ——各项措施保土模数( $\text{t}/\text{hm}^2$ )。

(2) 沟道工程和小型蓄水保土工程保土量。主要包括淤地坝、沟头防护、护岸工程、谷坊、塘坝、引洪漫地和治河造地等措施保土量,用  $S_R$  表示,计算公式如下:

$$S_R = S_b + S_g + S_t + S_y \tag{6}$$

式中: $S_b$ ——淤地坝保土量( $\text{t}$ );  $S_g$ ——沟头防护、护岸工程保土量( $\text{t}$ );  $S_t$ ——谷坊、塘坝保土量( $\text{t}$ );  $S_y$ ——引洪漫地、治河造地保土量( $\text{t}$ );

(3) 减轻沟蚀量。减轻沟蚀量  $S_D$  包括以下 4 个方面:即沟头防护工程制止沟头前进;谷坊、淤地坝等制止沟底下切;稳定沟坡制止沟岸扩张;塍面、坡面水不下沟以后的减蚀量。通过用流域输沙模数代替坡面产沙模数之差做近似估算。

2.2 指标及参数的确定

需要确定的相关参数主要包括各项目区天然状态下产流产沙模数  $M_f$ ,  $M_s$ , 林草措施盖度, 各项坡面措施蓄水保土模数  $\Delta M_f$ ,  $\Delta M_s$ , 淤地坝保土量计算参数  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $k$  以及小型工程蓄水保土指标。

2.2.1 产流产沙模数的确定

由于 1970 年以前人类活动影响相对较小, 因此利用 1970 年前的实测水文资料, 初步建立降雨径流泥沙间的数学模型, 然后利用该模型计算项目建设期“天然”产流产沙模数。计算得到的各项目区“天然”状态下的产流产沙模数(表 1、2)。

表 1 各项目区(片)“天然”状态下产流模数 万  $\text{m}^3/\text{km}^2$

项目区	1999	2000	2001	2002	2003	2004
延 河	2.29	2.89	3.98	3.83	4.12	3.46
马莲河	2.19	1.66	2.51	2.36	3.94	2.51
昕水河	4.20	2.77	3.37	4.11	3.37	3.78
蔚汾河	6.93	20.33	8.99	7.34	9.75	11.05
泾 河	6.14	5.47	7.13	8.32	15.28	7.03
葫芦河	4.59	3.58	3.84	3.53	6.79	4.17
鄂 河	2.57	4.94	4.87	3.11	7.67	4.76
汾河上游	3.05	2.31	2.56	3.27	7.22	6.15
汾河中游	1.80	1.55	1.63	1.88	3.24	2.87
河保偏片	0.30	0.54	2.74	2.18	2.56	2.49
浑 河	3.88	3.33	3.23	3.38	4.23	3.77
伊盟片	1.16	1.14	1.94	1.40	3.46	2.73
五当沟	1.89	2.05	9.18	2.36	14.85	3.84

表 2 各项目区(片)“天然”状态下产沙模数 万  $\text{t}/\text{km}^2$

项目区	1999	2000	2001	2002	2003	2004
延 河	0.36	0.47	0.96	0.87	0.93	0.79
马莲河	0.51	0.25	0.48	0.48	1.23	0.61
昕水河	0.57	0.31	0.34	0.42	0.21	0.45
蔚汾河	0.69	4.49	0.82	0.63	0.90	1.70
泾 河	0.18	0.29	0.69	0.48	1.56	0.46
葫芦河	0.69	0.40	0.23	0.25	1.11	0.49
鄂 河	0.19	1.06	1.12	0.29	2.01	1.05
汾河上游	0.04	0.00	0.01	0.05	0.29	0.23
汾河中游	0.05	0.03	0.03	0.05	0.17	0.14
河保偏片	0.08	0.19	0.74	0.53	0.56	0.61
浑 河	0.13	0.11	0.12	0.20	0.18	0.19
伊盟片	0.10	0.04	0.30	0.16	1.20	0.84
五当沟	0.06	0.13	2.06	0.16	10.65	0.60

2.2.2 林草植被盖度的确定

通过对项目区各省(区)林草盖度监测资料的统计分析, 表明林草盖度受降雨、气温、土壤条件、苗木质量、人工抚育管护及初植密度等影响, 各项目区植被盖度略有差异, 但变化趋势基本一致。图 1 为内蒙古包头市五当沟流域石拐项目区沙棘柠条盖度变化情况。

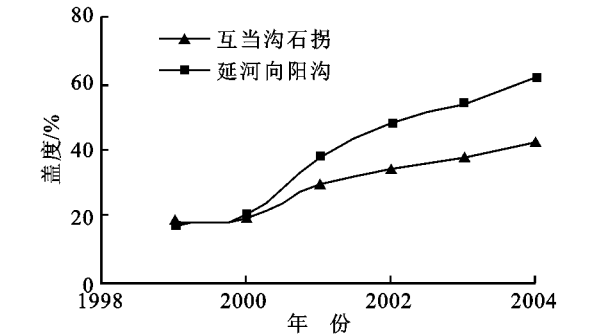


图 2 延安向阳沟与内蒙五当沟项目区乔木林盖度对比的植被盖度。

2.2.3 坡面措施蓄水保土指标  $\Delta M_f$ ,  $\Delta M_s$  的确定

梯田、人工造林和人工种草为主的坡面措施蓄水保土指标根据水利部第二期黄河水沙变化研究基金项目“水土保持

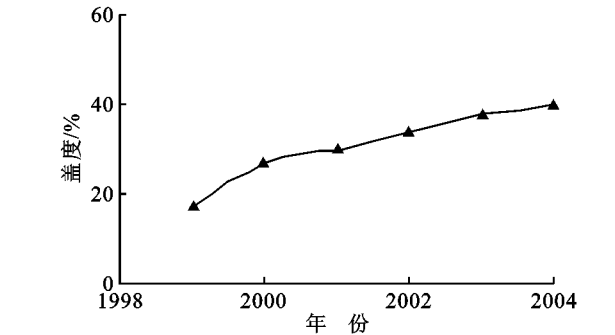


图 1 内蒙古包头市五当沟流域石拐项目区沙棘柠条盖度变化  
根据项目区实际监测数据表明, 从栽植后第 3 年开始, 位于典型草原地带的项目区乔、灌、草盖度约为森林草原地带同龄植被盖度的 70% (图 2)。本项目计算中, 在森林草原地带同龄植被盖度基础上乘系数 0.7, 来确定典型草原地带

坡面措施减洪减沙指标体系研究”中确定的减水减沙指标体系计算。梯田的蓄水保土效益按一级标准计算,果园、经济林蓄水保土效益采用梯田的相对指标进行计算。乔木林和灌木林按整地方式计算蓄水保土效益。

2.2.4 淤地坝蓄水保土指标值的确定

淤地坝保土指标根据项目区典型淤地坝监测资料确定。项目区淤地坝大多数位于黄土丘陵沟壑区Ⅱ副区,少量位于盖沙区、残塬沟壑区、黄土高原沟壑区和黄土丘陵沟壑区Ⅰ副区、Ⅲ副区、Ⅴ副区等。

黄土丘陵沟壑区Ⅱ副区淤地坝保土量用 $S_{II}$ 表示。计算公式为

$$S_{II} = \sum (2.7393 \times f_i^{1.5347} \times 1.35) \tag{7}$$

式中:  $f_i$ ——单坝已淤地面积( $\text{hm}^2$ ); 1.35——泥沙容重( $\text{t}/\text{m}^3$ )。

其它类型区。盖沙区淤地坝保土量用 $S_g$ 表示。计算公式为

$$S_g = \sum (3.0099 \times f_i^{1.1577} \times 1.35) \tag{8}$$

丘陵沟壑区第Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ副区淤地坝保土量用 $S_q$ 表示。计算公式为

$$S_q = \sum (3.583 \times f_i^{1.231} \times 1.35) \tag{9}$$

黄土高原沟壑区、残塬沟壑区淤地坝保土量用 $S_y$ 表示。计算公式为

$$S_y = \sum (5.3793 \times f_i^{1.0817} \times 1.35) \tag{10}$$

淤地坝蓄水量按照淤积情况,分淤平前和淤平后两段计算,淤平前的蓄水量可用水沙比进行反推,淤平后的蓄水量按有埂梯田对待,减水系数 $\eta$ 取1.0。

2.2.5 确定蓄水保土指标  $V_{wi}$ ,  $V_{wg}$ ,  $V_{st}$ ,  $V_{sy}$

项目区实施的小型蓄水保土工程主要有:水窖、涝池、沟头防护、谷坊、塘坝、护岸工程、引洪漫地和治河造地等。

根据世行项目措施设计标准、监测资料及典型调查,并参考世行贷款二期项目环境影响报告和黄河上中游管理局在《建国四十年黄河流域水土保持经济效益分析》中选用的相关指标,确定各类小型蓄水保土工程蓄水保土指标见表3。其中谷坊、塘坝蓄水指标按相应地区水沙比计算。

2.3 计算成果及分析

2.3.1 新增水土保持措施蓄水量计算成果分析

项目建设期新增水土保持措施蓄水量为42190万 $\text{m}^3$ ,年均7032万 $\text{m}^3$ 。其中陕西、内蒙古、山西和甘肃四省(区)水土保持措施蓄水量分别为14575,7468,7697,12450万 $\text{m}^3$ ,分别占总蓄水量的34.5%,17.7%,8.2%,29.5%。

其中淤地坝、梯田、乔木林、灌木林、经果林、人工种草和小型拦蓄工程蓄水量分别为:9470,12662,8361,3484,7614,345,254万 $\text{m}^3$ ,分别占蓄水总量的22.4%,30.0%,19.8%,8.3%,18.0%,0.8%,0.6%。林草措施蓄水量占总蓄水量的28.9%,坡面措施蓄水量占总蓄水量的77.0%。

项目建设期新增措施蓄水量呈增长趋势见图3。泾河流域水土保持措施蓄水量最多,延河、伊盟(片)次之(表4)。项目区新增水土保持措施蓄水效益达7.5%,其中伊盟(片)蓄水效益最高,达30.3%。

表 3 小型蓄水保土工程蓄水保土指标一览表

项目	水窖 $V_{wi}$	涝池 $V_{wi}$	沟头防护 护岸工程 $V_{wg}$	谷坊 $V_g$	塘坝 $V_{st}$	引洪漫地 治河造地 $V_{sy}$
蓄水指标	50 $\text{m}^3/\text{眼}$	200 $\text{m}^3/\text{个}$	—	—	—	—
保土指标	1.5 $\text{t}/\text{眼}$	6 $\text{t}/\text{个}$	2025 $\text{t}/\text{km}$	160 $\text{t}/\text{道}$	10500 $\text{t}/\text{座}$	13500 $\text{t}/\text{hm}^2$

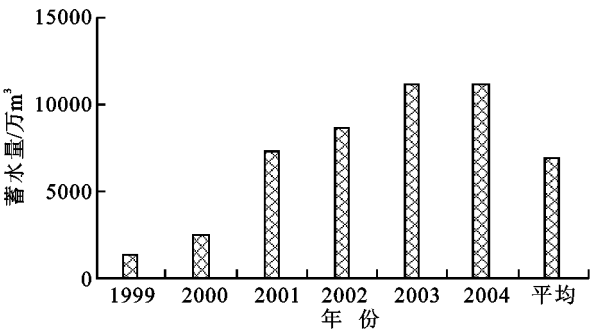


图 3 新增措施蓄水量年度分布情况

表 4 项目区蓄水效益计算成果表

项目区	水保措施蓄水量 /万 t	天然产水量 /万 t	蓄水效益/%
延河	1043	8193	12.7
泾河(陕)	1386	28988	4.8
鄂河	369	6231	5.9
汾河(上)	220	8891	2.5
汾河(中)	292	3437	8.5
偏保片	220	2351	9.3
浑河(山)	181	5177	3.5
马莲河	701	4440	15.8
泾河(甘)	1152	17840	6.5
葫芦河	222	2208	10.1
伊盟片	745	2458	30.3
浑河(蒙)	353	1254	28.1
五当沟	147	1723	8.6
合计	7032	93192	7.5

2.3.2 新增水土保持措施保土量计算成果分析

项目建设期新增水土保持措施保土量为10532万t,年均1755万t。其中:陕西、内蒙古、山西和甘肃4省(区)水土保持措施保土量分别为:4063,2622,1121,2726万t,分别占总保土量的38.6%,24.9%,10.6%,25.9%。

其中淤地坝、梯田、乔木林、灌木林、经果林、人工种草和小型拦蓄工程保土量分别为:4492,2072,764,936,1166,715,387万t,分别占保土总量的42.6%,19.7%,7.3%,8.9%,11.1%,6.8%,3.7%。林草措施保土量占总保土量的22.9%,坡面措施保土量占总保土量的53.7%。2003年新增措施保土量较高,与该年在泾河、葫芦河、鄂河、五当沟等流域降雨较多,产沙模数较高有关(见图4)。项目区新增水土保持措施保土效益达16.1%,其中内蒙古伊盟、浑河及延河项目区保土效益较高,见表5。

2.3.3 新增措施保土能力分析

各项目区(片)产沙模数采用了长系列多年均值,见表6。各项措施保土系数根据黄河上中游管理局在《建国四十年黄

河流域水土保持经济效益分析》中确定的保土系数。其中梯田为 0.85~0.9, 人工造林为 0.7~0.9, 人工种草为 0.4。

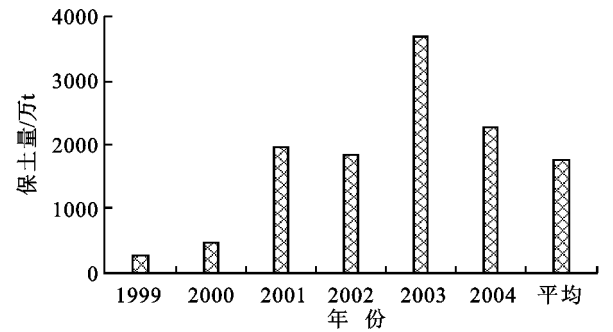


图 4 新增措施保土量年度分布情况

表 5 项目区保土效益计算成果表

项目区	水保措施保水量	天然产沙量	保土效益 / %
	/ 万 t	/ 万 t	
延 河	382	1740	21.9
泾河(陕)	295	2150	13.7
鄂 河	81	1408	5.7
汾河(上)	13	319	4.0
汾河(中)	13	184	7.0
偏保片	56	588	9.6
浑河(山)	24	603	4.0
马莲河	195	1040	18.7
泾河(甘)	224	1323	16.9
葫芦河	35	264	13.3
伊盟片	300	721	41.6
浑河(蒙)	110	146	75.5
五当沟	27	446	6.1
合 计	1755	10934	16.1

二期世行贷款项目区梯田均为机修梯田, 标准较高, 保土率 $\eta$ 为 0.875; 丘陵区果园和经济林折减系数取 0.6, 修正后的保土率为 0.5; 经典型调查分析, 确定林地折减系数取 0.5, 草地折减系数取 0.6, 修正后林地和草地的保土率分别取 0.35 和 0.24。

淤地坝和小型蓄水保土工程拦泥定额, 按实际拥有的拦泥库容和设计淤积年限进行计算, 并考虑坝地间接侵蚀作用。经综合分析计算, 各项目区单项措施保土系数见表 6。各支流(片)保土能力见表 7。

表 6 项目区单项措施保土模数表

项目区	平均输沙模数/ (万 t · km <sup>-2</sup> )	坡面措施保土模数(万 t / km <sup>2</sup> )			
		梯田	人工林	经果林	人工种草
延 河	1.02	0.89	0.36	0.51	0.24
泾 河	0.55	0.48	0.19	0.28	0.13
马莲河	0.94	0.82	0.33	0.47	0.23
葫芦河	0.85	0.74	0.30	0.43	0.20
鄂 河	1.26	1.10	0.44	0.63	0.30
汾河上游	0.36	0.32	0.13	0.18	0.09
汾河中游	0.28	0.25	0.10	0.14	0.07
偏保片	1.01	0.88	0.35	0.50	0.24
浑 河	0.42	0.37	0.15	0.21	0.10
伊盟片	0.54	0.47	0.19	0.27	0.13
五当沟	0.23	0.20	0.08	0.12	0.06

表 7 各支流(片)新增措施保土能力

项目区	保土能力 /	保土量 /	保土量与保土能
	万 t	万 t	力之比 / %
延 河	532	382	71.8
泾河(陕)	359	295	82.2
马莲河	378	195	51.6
泾河(甘)	480	224	46.7
葫芦河	53	35	66.5
鄂 河	121	81	66.8
汾河上游	37	13	35.3
汾河中游	42	13	31.2
偏保(片)	200	56	28.0
浑河(山)	93	24	25.7
浑河(蒙)	173	110	63.4
伊盟(片)	233	300	112.5
五当沟	67	27	40.6
合 计	2817	1755	62.7

3 结 论

(1) 实现了项目规划确定的减沙目标。世行二期项目可行性研究中规划达到的保土能力为 2 647 万 t, 环境影响评价中计算的保土能力为 2 980 万 t, 项目建设期末实际达到的保土能力是 2 817 万 t, 分别是可行性研究规划和环境影响评价计算的 1.06 倍和 0.94 倍。由于计算期来沙偏枯, 计算的新增措施实际保土量占新增措施保土能力的 62.7%。(2) 项目新增水土保持措施拦减了大量泥沙。世行二期项目新增措施年均拦减泥沙为 1 755 万 t, 保土效益为 16.1%, 作为减少入黄泥沙的重要措施取得了明显的成效。但应该看到, 世行二期项目拦减的泥沙仅占同期入黄总沙量的 3.5%, 还处于一个较低的水平, 治理黄河泥沙的形势仍然相当严峻。因此, 必须进一步加大投资力度, 开展世行三期水土保持工程, 以加强黄河中游地区的水土流失治理, 确保持续有效地减少入黄泥沙。(3) 从评价结果来看, 各项水土保持措施在减沙时效性方面具有不同的特点。项目建设期, 淤地坝拦减泥沙占拦沙总量的 42.6%, 林草措施拦沙量占总拦沙量的 22.9%。可以看出, 在项目建设期, 淤地坝等工程措施拦沙比例较高。

参考文献:

[1] 黄土高原水土保持世界银行贷款项目可行性研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.

[2] 黄委会黄河上游管理局. 黄土高原水土保持二期世界银行贷款项目可行性研究[R]. 1999.

[3] 黄土高原水土保持世行贷款项目办公室. 黄土高原水土保持世行贷款项目监测评价技术规程[S]. 1999.

[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] 赵力毅, 白志刚, 柳林旺, 等. 水土保持坡面措施减洪减沙指标体系研究报告[R]. 黄河上中游管理局, 1999.

[6] 延安市水土保持科学研究所. 向阳沟水沙监测工作总结及成果分析报告[R]. 2001.

[7] 王万忠, 焦菊英. 黄土高原水土保持减沙效益预测[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.