

大理河流域 1970—2002 年水保措施减洪 减沙效益深化分析

冉大川^{1,3}, 张志萍², 罗全华², 寇权²

(1. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 郑州 450003; 2. 黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站, 甘肃 西峰 745000;
3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:根据实测水文资料,采用“水文法”和“水保法”两种方法,对大理河流域 1970—2002 年的水沙变化和水土保持综合治理减洪减沙效益进行了比较全面的计算和分析。大理河流域 20 世纪 70,80,90 年代降雨量、径流量和输沙量呈递减趋势,其中 80 年代减幅最大,70,90 年代减幅接近。2000—2002 年年降水量和汛期降水量分别比基准期增大了 8.0% 和 9.3%,但径流、泥沙依然递减。“水文法”计算结果表明,1970—2002 年大理河流域共计减少洪水 10.114 5 亿 m³,年均减少洪水 3 065 万 m³,其中水土保持综合治理年均减少洪水 2 370 万 m³,占减少洪水总量的 77.2%,年均减少洪水效益 25.2%;共计减沙 8.448 亿 t,年均减沙 2 560 万 t,其中水土保持综合治理年均减沙 1 940 万 t,占总减沙量的 75.8%,年均减沙效益 37.6%。“水保法”计算结果表明,1970—2002 年大理河流域水土保持措施共计减少洪水 7.524 亿 m³,年均减少洪水 2 280 万 m³,年均减少洪水效益 24.5%;水土保持措施共计减沙 6.138 亿 t,年均减沙 1 860 万 t,年均减沙效益 36.6%。近期流域水土保持综合治理减洪减沙效益显著,水保措施减水减沙比依时序呈下降趋势。

关键词:水沙变化; 减洪减沙; 效益; 大理河流域

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)01-0017-07

More Comprehensive Analysis on Benefits of Flood & Sediment Reduction of Soil and Water Conservation Measures During 1970—2002 in Dali River Basin

RAN Da-chuan^{1,3}, ZHANG Zhi-ping², LUO Quan-hua², KOU Quan²

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China;
2. Xifeng Soil and Water Conservation Experimental Station, Yellow River Conservancy Commission, Qingyang, Gansu 745000, China; 3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: According to hydrological data, using ‘Hydrology method’ and ‘soil and water conservation method’ made a more comprehensive calculation and analysis on Benefits of Flood & Sediment Reduction of Soil and Water Conservation Measures during 1970—2002 in Dali River Basin. Dali River Basin in the 20th century 70, 80, 90 era of rainfall, runoff and sediment discharge decreased gradually, maximum reduction was in 1980s, and 1970s, 1990s close. 2000—2002 precipitation and flood season precipitation compared with the base period increased 8.0% and 9.3%, but runoff, sediment is still decreasing. The results of ‘Hydrology method’ show that 1970—2002 Dali River Basin totally reduce 1.01145×10^9 m³ flood, an average annual reduction of flood was 3.065×10^7 m³, soil and water conservation average annual reduction of flood 2.37×10^7 m³, accounting for 77.2% of the total flood reduction, accounting for 25.2% of average annual flood reduction; total of sediment reduction 8.448×10^8 t, annual sediment reduction 2.56×10^7 t, including soil and water conservation annual sediment reduction 1.94×10^7 t, of the total sediment reduction of 75.8%, 37.6% of annual sediment reduction benefit. The results of ‘soil and water conservation method’ show that 1970—

收稿日期: 2010-06-23

修回日期: 2010-11-30

资助项目: 黄河水利委员会“十五”重大治黄科技项目(2002SZ08); “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAB06B01-04)

作者简介: 冉大川(1964—), 男, 甘肃省镇原县人, 高级工程师, 客座研究员, 主要从事黄河中游水沙变化和水土保持科学研究。E-mail: xfrdc@sohu.com

2002 Dali River Basin totally reduce $7.524 \times 10^8 \text{ m}^3$ flood, an average annual reduction of flood was $2.28 \times 10^7 \text{ m}^3$, accounting for 24.5% of average annual flood reduction; total of soil and water conservation sediment reduction $6.138 \times 10^8 \text{ t}$, annual sediment reduction $1.86 \times 10^8 \text{ t}$, accounting for 36.6% of annual sediment reduction benefit. Recent soil and water conservation flood and sediment reduction benefits are remarkable, and flood and sediment reduction in chronological decline.

Key words: variations of runoff and sediment; flood and sediment reduction; effectiveness; Dali River Basin

黄土高原地区水土保持生态工程建设,是有效地保护和合理开发利用水资源、减轻黄河下游河道淤积的一项基础工程和治本之举。开展黄河中游典型支流水土保持生态工程建设的减洪减沙作用研究,分析黄土高原地区实施水土保持生态工程建设后的减沙效果,对构建黄河水沙调控体系、制定黄河下游减淤措施,实现“河床不抬高”的总体目标至关重要;对提升业已开展多年的黄河水沙变化研究的科技水平,也具有重要的促进作用。

大理河是无定河的最大支流,水土保持措施比较齐全,坝库系统相对比较完善,共有淤地坝约 3 100 余座,是黄河中游开展水土保持生态工程建设减沙作用研究比较合适的流域。为此,水利部黄河水利委员会于 2001 年底通过引入竞争机制,设立了“十五”重大治黄科技项目——“大理河流域水土保持生态工程建设的减沙作用研究”,从典型支流着手开展研究。本文在该项目研究的基础上,通过补充收集基准期水文资料和对基准期洪水量进行重新摘录,建立了新的降雨产流产沙经验模型,据此进行了大理河流域 1970—2002 年水保措施减洪减沙效益的深化分析,主要体现在新的降雨产流产沙经验模型的建立与应用、流域水土保持措施减洪减沙效益变化过程分析和水保措施减水减沙比分析等 3 个方面。

1 流域概况

大理河流域位于白于山东侧、毛乌素沙漠南缘,自西向东流经陕西省靖边、横山、安塞、子长、子洲 5 县,至绥德县城附近注入无定河,是无定河最大的一级支流。干流全长 170 km,河床比降为 3.16‰,流域面积为 $3\,906 \text{ km}^2$ 。大理河流域有两个不同的地貌类型区,即黄土梁塬河源丘陵沟壑区(简称河源区)和黄土梁峁丘陵沟壑区(简称丘陵区)。河源区位于干流上游,涉及靖边县、安塞县和横山县的部分地区,面积 662 km^2 ,占流域面积的 16.9%。丘陵区位于流域中下游地段,包括子洲、子长、绥德三县的全部,横山县的大部分和靖边县的一小部分,面积 $3\,244 \text{ km}^2$,占流域总面积的 83.1%。流域地形破碎,植被稀疏,水土流失严重,多年平均土壤侵蚀模数在 12 000

$\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上,是黄河流域粗泥沙的主要来源区之一。

2 水沙变化

流域的水沙变化通过流域实测水文资料来反映。大理河流域共设有青阳岔(干流上游)、李家河(小理河)、曹坪(岔巴沟)和绥德(流域出口)4 个水文站。流域出口水文站为绥德水文站,集水面积 $3\,893 \text{ km}^2$,占全流域面积的 99.7%,从 1960 年起至今均有实测径流泥沙资料。截至 2002 年,全流域共有雨量站 29 处。降雨资料普遍存在 20 世纪 70 年代以前雨量站少且分布不均,缺测、漏测较多的问题,1970 年以后雨量站相继增加较多且资料系列较完整。因此,20 世纪 60 年代实测降水资料的代表性普遍较差,而这一时期正是流域内基本未实施水土保持措施的“天然”时期,其降水资料的代表性至关重要,直接影响后期流域水土保持措施减洪减沙作用分析研究的精度。因此,针对流域降雨资料中存在的诸多问题,对降水资料全部进行了插补展延和系列化处理^[1]。大理河流域 1960—2002 年实测降水、径流、泥沙资料统计及计算结果见表 1。

2.1 降水量变化

根据实测降水资料统计,大理河流域降水量年内分配很不均匀。最大年降水量 683.0 mm (1964 年)是最小年降水量 233.2 mm (1965 年)的 2.9 倍。由表 1 可知,流域多年平均(1960—2002 年)年降水量 439.5 mm ,汛期(5—9 月)降水量 355.0 mm ,占年降水量的 80.8%。以 1970 年作为流域治理前后的分界年,治理期(1970—2002 年)与基准期(1960—1969 年)相比,流域年降水量减少了 10.5%,汛期降水量减少了 7.1%。各年代的具体变化是:20 世纪 70, 80, 90 年代年降水量与基准期相比分别减小了 12.0%、13.5%、11.8%;汛期降水量与基准期相比分别减小了 8.6%、7.4%、10.4%。进入 21 世纪初降水量明显增大,2000—2002 年年降水量和汛期降水量分别比基准期增大了 8.0%和 9.3%。

2.2 径流量变化

根据绥德水文站实测径流资料统计,大理河流域

最大年径流量为 25 240 万 m³(1964 年),是最小径流量 8 690 万 m³(1975 年)的 2.9 倍。流域多年平均年径流量为 14 530 万 m³,汛期径流量为 8 830 万 m³,占年径流量的 60.8%。流域实测径流量依时序呈递减趋势。各年代径流量的具体变化情况是:基准期径流量最大,20 世纪 70、80、90 年代年径流量与基准期相比分别减小了 15.9%、30.2%和 21.8%;汛期径流

量分别减小了 18.1%、40.3%、19.9%。2000—2002 年在降水量比基准期明显增大的情况下,年径流量与汛期径流量仍然分别减小了 23.9%和 18.8%。降水增大,径流依然减少,说明流域水土保持生态工程建设开始发挥作用。治理期的 1970—2002 年与基准期相比,年径流量和汛期径流量分别减小了 22.7%和 25.4%。

表 1 大理河流域各时期降水、径流、输沙量统计成果

统计时段	指标	降水量			径流量			输沙量		
		均值/ mm	与基准期相比		均值/ 万 m ³	与基准期相比		均值/ 万 t	与基准期相比	
			/mm	/%		/万 m ³	/%		/万 t	/%
1960—1969	汛期 年	375.6	—	—	10970	—	—	5690	—	—
		478.2	—	—	17600	—	—	5800	—	—
1970—1979	汛期 年	343.4	32.2	8.6	8980	1990	18.1	3810	1880	33.0
		420.9	57.3	12.0	14800	2800	15.9	3850	1950	33.6
1980—1989	汛期 年	347.9	27.7	7.4	6550	4420	40.3	1951	3775	66.3
		413.8	64.4	13.5	12290	5310	30.2	1980	3820	65.9
1990—1999	汛期 年	336.7	38.9	10.4	8790	2180	19.9	3600	2090	36.7
		421.9	56.3	11.8	13770	3830	21.8	3660	2140	36.9
2000—2002	汛期 年	410.5	—34.9	—9.3	8900	2070	18.8	3810	1880	33.1
		516.5	—38.3	—8.0	13390	4210	23.9	3810	1990	34.4
1960—2002	汛期 年	355.0	20.6	5.5	8830	2140	19.5	3770	1920	33.8
		439.5	38.7	8.1	14530	3070	17.4	3820	1980	34.1
1970—2002	汛期 年	348.8	26.8	7.1	8180	2790	25.4	3183	2507	44.0
		427.8	50.4	10.5	13600	4000	22.7	3223	2577	44.4

2.3 输沙量变化

根据绥德水文站实测泥沙资料统计,大理河流域最大年输沙量 9 780 万 t(1966 年)是最小输沙量 724 万 t(1965 年)的 13.5 倍。流域多年平均年输沙量为 3 820 万 t,汛期输沙量为 3 770 万 t,占年沙量的 98.7%。流域实测输沙量依时序的递减幅度明显大于径流。各年代输沙量的具体变化情况是:基准期输沙量最大,70、80、90 年代逐年递减,80 年代减幅最大。70 年代年输沙量和汛期输沙量与基准期相比分别减小了 33.6%和 33.0%;80 年代分别减小了 65.9%和 66.3%,接近 70%;90 年代分别减小了 36.9%和 36.7%,减幅基本持平;2000—2002 年分别减小了 34.4%和 33.1%。治理期的 1970—2002 年与基准期相比,年输沙量和汛期输沙量分别减小了 44.4%和 44.0%。

3 计算方法

采用“水文法”和“水保法”对大理河流域 1970—2002 年水土保持措施减洪减沙效益进行了分析和计算。其中“水文法”计算采用的 3 种方法分别是:①不同系列对比法;②单位毫米有效降雨产洪产沙量对比法;③经验公式法。

“不同系列对比法”是将各时期的实测值相对于基准期的变化量作为减洪减沙效益,反映的是人类活动和降雨变化的共同影响。

“单位毫米有效降雨产洪产沙量对比法”是根据流域治理前后单位毫米有效降雨产洪产沙量的变化推求流域治理后的减洪减沙效益,反映的是人类活动的影响^[2]。计算公式为

$$W_{\text{计}}=m \cdot P_Y \tag{1}$$

$$\Delta W=W_{\text{计}}-W_{\text{实}} \tag{2}$$

$$\eta=\Delta W/W_{\text{计}} \times 100 \% \tag{3}$$

式中:W_计——计算的产洪(产沙)量[万 m³/mm(万 t/mm)];W_实——同期实测的洪水(洪沙)量[万 m³(万 t)];η——流域减洪(减沙)效益(%);m——产洪量(万 m³/mm)或产沙量(万 t/mm)。

“经验公式法”是基于数理统计学原理,通过主导因子筛选和逐步回归分析,建立流域在非治理状态下(基准期)的“天然”降雨产流产沙经验模型;将治理后的降雨资料代入基准期的“天然”降雨产流产沙经验模型中,求得治理后的“天然”产洪产沙量,与同期实测值相比,即得流域综合治理的减洪减沙效益,反映的是流域综合治理的影响^[3]。将“不同系列对比法”

和“经验公式法”这两种方法的计算结果相结合,即可分离出降雨因素对流域减洪减沙量的影响,完成“水文法”计算的主要任务。其中,根据基准期降雨产洪产沙经验模型计算的产洪产沙量和同期实测洪水洪沙量之差,即为流域综合治理影响的减洪减沙量;基准期实测洪水洪沙量和计算的产洪产沙量之差,即为降雨影响的减洪减沙量。

在以往研究的基础上^[2],通过补充基准期的水文资料,对基准期的洪水量进行了重新摘录。由此建立的大理河流域基准期新的降雨产流产沙经验模型分别为

$$W_H=0.0368P_N^{2.152}P_X^{1.153}P_Y^{-1.326} \tag{4}$$

$$W_{HS}=0.0077P_N^{0.6529}P_X^{2.3325}P_Y^{-0.766} \tag{5}$$

式中: W_H ——洪水径流量(万 m³); W_{HS} ——洪水输沙量(万 t); P_N ——年降水量(mm); P_X ——汛期降水量(mm); P_Y ——有效降雨量(mm)。

以上两式的复相关系数分别为 0.825 和 0.828。

“水保法”计算方法采用“以洪算沙法”^[2]。通过建立黄河中游小区水土保持坡面措施减洪指标体系,根据降雨量同频率对应的原则转化为大理河流域水

土保持坡面措施减洪指标体系,进而计算流域水土保持坡面措施减洪量;通过“以洪算沙”统计模型计算流域水土保持坡面措施减沙量(需进行迭代计算)。淤地坝减洪减沙量计算方法同参考文献[2],不再赘述。

4 减洪减沙效益分析

4.1 “水文法”减洪减沙效益分析

“水文法”计算结果中“不同系列对比法”计算结果见表 2;“单位毫米有效降雨产洪产沙量对比法”计算结果见表 3;“经验公式法”计算结果见表 4。

4.1.1 减洪效益分析 “不同系列对比法”计算结果(表 2)表明,在降雨因素和综合治理因素的共同影响下,大理河流域 20 世纪 70,80,90 年代实测洪水量比基准期分别减少了 1 861 万 m³、4 752 万 m³ 和 2 747 万 m³;减洪效益分别为 18.4%、47.1% 和 27.2%。2000—2002 年在年降水量比基准期增大 8.0%、汛期降水量比基准期增大 9.3%的情况下,年均减少洪水 2 516 万 m³,减洪效益 24.9%。1970—2002 年的治理期,流域年均减少洪水 3 065 万 m³,减洪效益 30.4%。

表 2 不同系列对比法减洪减沙效益计算成果

年份	年降水量/ mm	减少量/ mm	百分比/ %	实测洪 水量/万 m ³	减洪量/ 万 m ³	减洪效益/ %	实测洪 沙量/万 t	减沙量/ 万 t	减沙效益/ %
1960—1969	478.2	—	—	10096	—	—	5779	—	—
1970—1979	420.9	57.3	12.0	8235	1861	18.4	3846	1933	33.4
1980—1989	413.8	64.4	13.5	5344	4752	47.1	1975	3804	65.8
1990—1999	421.9	56.3	11.8	7349	2747	27.2	3664	2115	36.6
2000—2002	516.5	—38.3	—8.0	7580	2516	24.9	3774	2005	34.7
1970—2002	427.8	50.4	10.5	7031	3065	30.4	3217	2562	44.3

“单位毫米有效降雨产洪产沙量对比法”计算结果(表 3)表明,在综合治理因素的影响下,20 世纪 70,80,90 年代和 2000—2002 年大理河流域年均分别减洪 273 万 m³、3 398 万 m³、1 025 万 m³ 和 2 968 万

m³,减洪效益分别为 3.2%、38.9%、12.2% 和 28.1%;80 年代减洪效益最大,2000—2002 年其次,90 年代第三,70 年代最小。1970—2002 年大理河流域年均减少洪水 1 690 万 m³,减洪效益 19.4%。

表 3 单位毫米有效降雨产洪产沙量对比法计算结果

年份	实测值 $W_{实}$			产洪量/ (万 m ³ · mm ⁻¹)	产沙量/ (万 t· mm ⁻¹)	计算值 $W_{计}$		减洪量		减沙量	
	P_Y/mm	$W_H/$	$W_{HS}/$			$W_H/$	$W_{HS}/$	$W_H/$	效益/	$W_{HS}/$	效益/
		万 m ³	万 t			万 m ³	万 t	万 m ³	%	万 t	%
1960—1969	302.4	10096	5779	33.39	19.11	—	—	—	—	—	—
1970—1979	254.8	8235	3846	32.32	15.09	8508	4869	273	3.2	1023	21.0
1980—1989	261.8	5344	1975	20.41	7.54	8742	5003	3398	38.9	3028	60.5
1990—1999	250.8	7349	3664	29.30	14.61	8374	4793	1025	12.2	1129	23.6
2000—2002	315.9	7580	3774	23.99	11.95	10548	6037	2968	28.1	2263	37.5
1970—2002	261.3	7031	3217	26.91	12.31	8725	4994	1694	19.4	1776	35.6

“经验公式法”计算结果(表 4)表明,1970—2002 年的 33 a 间,大理河流域因水土保持综合治理等人类活动,年均减少洪水 2 367 万 m³,占不同系列对比年均总减洪量 3 065 万 m³ 的 77.2%,年均减洪效益 25.2%;因降雨影响流域年均减少洪水 698 万 m³,占

总减洪量的 22.8%;人类活动与降雨影响之比约为 8:2。

各年代具体变化情况为:20 世纪 70 年代年均减少洪水 1 861 万 m³,其中流域综合治理年均减少洪水 1 127 万 m³,占总减少量的 60.6%,年均减洪效益

12.0%;降雨影响年均减少洪水 734 万 m³, 占总减少量的 39.4%;人类活动与降雨影响之比为 6:4。80 年代年均减少洪水 4 752 万 m³, 其中流域综合治理年均减少洪水 3 158 万 m³, 占总减少量的 66.4%, 减洪效益 37.1%;降雨影响年均减少洪水 1 595 万 m³, 占总减少量的 33.6%;人类活动与降雨影响之比为 6.6:3.4。90 年代年均减少洪水 2 747 万 m³, 其中流域

综合治理年均减少洪水 18 08 万 m³, 占总减少量的 65.8%, 减洪效益 19.7%;降雨影响年均减少洪水 939 万 m³, 占总减少量的 34.2%;人类活动与降雨影响之比仍为 6.6:3.4, 与 80 年代一致, 人类活动的影响比 70 年代有所增大。2000—2002 年的 3 a 间由于降雨明显增加, 降雨影响增加洪水也非常明显, 流域综合治理的减洪效应更为突出。

表 4 经验公式法减洪减沙效益计算成果表

年份	洪水量/万 m ³						洪水输沙量/万 t						减洪 效益/ %	减沙 效益/ %
	实测值	计算值	综合治理减洪		降雨影响减洪		实测值	计算值	综合治理减沙		降雨影响减沙			
			减少量/ 万 m ³	百分 比/%	减少量/ 万 m ³	百分 比/%			减少量/ 万 t	百分 比/%	减少量/ 万 t	百分 比/%		
1960—1969	10096	—	—	—	—	—	5779	—	—	—	—	—	—	—
1970—1979	8235	9362	1127	60.6	734	39.4	3846	5162	1316	68.1	617	31.9	12.0	25.5
1980—1989	5344	8501	3157	66.4	1595	33.6	1975	4877	2902	76.3	901	23.7	37.1	59.5
1990—1999	7349	9157	1808	65.8	939	34.2	3664	4770	1107	52.3	1009	47.7	19.7	23.2
2000—2002	7580	13311	5731	227.8	—3215	—127.8	3774	7370	3596	179.3	—1591	—79.3	43.1	48.8
1970—2002	7031	9398	2367	77.2	698	22.8	3217	5158	1941	75.8	621	24.2	25.2	37.6

4.1.2 减沙效益分析 “不同系列对比法”计算结果(表 2)表明,在降雨因素和综合治理因素的共同影响下,大理河流域 20 世纪 70,80,90 年代实测洪水输沙量分别比基准期减少了 1 933 万 t、3 804 万 t 和 2 115 万 t,减沙效益分别为 33.4%、65.8%和 36.6%;2000—2002 年年均减沙 2 005 万 t,减沙效益 34.7%。1970—2002 年流域年均减少洪水泥沙 2 562 万 t,减沙效益 44.3%。

“单位毫米有效降雨产洪产沙量对比法”计算结果(表 3)表明,在综合治理因素的影响下,20 世纪 70,80,90 年代和 2000—2002 年大理河流域年均分别减沙 1 023 万 t、3 028 万 t、1 129 万 t 和 2 263 万 t,减沙效益分别为 21.0%、60.5%、23.6%和 37.5%。显然,与减洪效益一样,80 年代减沙效益最为显著,其余年代依时序呈递增趋势。1970—2002 年流域年均减沙 1 776 万 t,减沙效益 35.6%。

“经验公式法”计算结果(表 4)表明,1970—2002 年的 33 a 间,大理河流域因水土保持综合治理等人类活动年均减沙 1 940 万 t,占不同系列对比年均总减沙量 2 562 万 t 的 75.8%,年均减沙效益 37.6%;因降雨影响流域年均减沙 621 万 t,占总减沙量的 24.2%;人类活动与降雨影响之比为 7.6:2.4,略小于人类活动与降雨对径流的影响之比。

各年代具体变化情况为:20 世纪 70 年代年均减少洪水输沙量 1 933 万 t,其中流域综合治理年均减沙量为 1 316 万 t,占总减少量的 68.1%,减沙效益 25.5%;降雨影响年均减沙量为 617 万 t,占总减少量的 31.9%;人类活动与降雨影响之比为 6:4。80 年

代年均减少洪水输沙量 3 803 万 t,其中流域综合治理年均减沙量为 2 902 万 t,占总减少量的 76.3%,减沙效益 59.5%;降雨影响年均减沙量为 901 万 t,占总减少量的 23.7%;人类活动与降雨影响之比为 7.6:2.4。90 年代年均减少洪水输沙量 2 116 万 t,其中流域综合治理年均减沙量为 1 107 万 t,占总减少量的 52.3%,减沙效益 23.2%;降雨影响年均减沙量为 1 009 万 t,占总减少量的 47.7%;人类活动与降雨影响之比为 5.2:4.8。人类活动对减沙的影响与 70,80 年代相比呈下降趋势,这与人类活动对径流的影响明显不同。但 2000—2002 年的 3 a 间由于降雨明显增加,降雨影响增加洪水输沙量同样也非常明显,流域综合治理的减沙效应也更为突出。

根据“经验公式法”计算的大理河流域 1970 年以来历年水土保持综合治理等人类活动减洪减沙效益变化过程线见图 1。由此可见,在流域发生特大暴雨之年,减洪减沙效益均为负值,如 1972 年、1977 年和 1994 年。此外,1970—2002 年流域减洪减沙效益的波动性变化非常明显;1997 年以来流域减洪减沙效益呈增大(上升)趋势。

4.2 “水保法”减洪减沙效益分析

“水保法”计算结果^[2]表明,大理河流域 1970—2002 年 4 大水保措施(梯田、林地、草地、坝地)年均减少洪水 2 280 万 m³,减洪效益 24.5%;年均减少洪水输沙量 1 860 万 t,减沙效益 36.6%。从各年代计算结果看,20 世纪 70,80,90 年代 4 大水保措施年均分别减少洪水 1 820 万 m³、1 555 万 m³ 和 2 960 万 m³,减洪效益分别为 18.1%、22.5%和 28.7%;4 大水保

措施年均分别减少洪水输沙量 1 360 万 t、1 230 万 t 和 2 450 万 t,减少洪沙效益分别为 26.2%、38.4%和 40.1%。2000—2002 年 4 大水保措施年均减少洪水 3 970 万 m³,年均减少洪水输沙量 3 640 万 t,减洪效益 34.4%,减沙效益 49.1%,减洪减沙效益均居各年代之首。虽然 3 a 的系列太短,但 2000—2002 年由于降雨有明显增加,由此说明大理河流域近期水土保持生态工程建设的减沙作用比较显著。根据“水保法”计算的大理河流域 1970 年以来历年水保措施减洪减沙效益变化过程线见图 2。可以直观看出,流域水土保持措施减洪减沙效益依年代递增,自 2000 年以来水土保持生态工程建设的减洪减沙作用开始凸现。

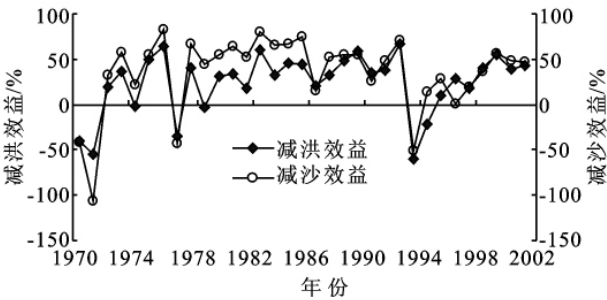


图 1 大理河流域综合治理减洪减沙效益变化过程线

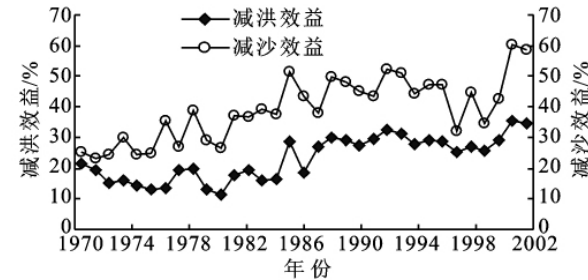


图 2 大理河流域水保措施减洪减沙效益变化过程线

从水保措施减水减沙比(水保措施减洪量/水保措施减沙量)的变化过程看(图 3),20 世纪 70,80,90 年代和 2000—2002 年大理河流域水保措施减水减沙比分别为 1.34,1.26,1.21,1.09 m³/t,依时序呈下降趋势,说明减少相同沙量所需减少的水量呈减少趋势。如果把水保措施减水减沙比理解为减少 1 t 泥沙需要同时付出的减水代价即减沙水代价^[4],则近期减水减沙比最小的变化趋势,一方面表明大理河流域近期来水来沙集中程度增大,减水减沙的有效性也在增大,对流域水资源的开发利用比较有利;另一方面亦说明流域近期洪水含沙量有明显增大。由表 1 可知,对应以上各年代的流域汛期平均含沙量(汛期输沙量/汛期径流量)分别为 424,298,410,428 kg/m³,近期汛期含沙量确为最大。

从不同年代水保单项措施减水减沙比变化过程看(图 4),坡面措施(梯田、林地、草地)减水减沙比变

化趋势一致,都是自 20 世纪 60 年代开始增大,80 年代达到最大,而后又开始减小,2000—2002 年最小;80 年代以后变幅较以前增大。而坝地的减水减沙比则呈现出波动增大的趋势,但不同年代之间变幅不大。由于近期坡面措施减水减沙比最小,坝地减水减沙比最大,说明坡面措施与沟道措施的减水减沙作用存在耦合关系,二者的减水减沙比变化具有明显的互补性。近期坝地减水减沙比达到最大也同时说明流域沟道来沙量减小,淤地坝淤积缓慢,这与外业调查结果一致。

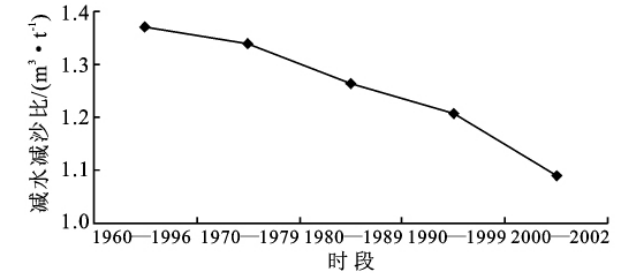


图 3 大理河流域水保措施减水减沙比变化过程线

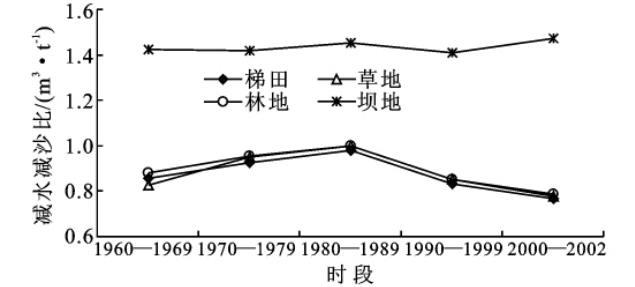


图 4 大理河流域单项水保措施减水减沙比变化过程线

4.3 “水文法”与“水保法”计算结果对比分析

从计算原理看,“水文法”是以流域出口处的实测水文资料计算减洪减沙量,其减少量包括流域内的所有下垫面因素,因此,“水文法”总体计算结果一般应大于“水保法”。大理河流域“水文法”与“水保法”年均减洪减沙量计算结果(取整)对比见表 5。由此可知,1970—2002 年“水保法”减洪减沙计算结果小于“水文法”。“水文法”和“水保法”减洪量计算结果相对误差为 3.8%,减沙量计算结果相对误差为 4.1%,均在 5%以内,说明计算结果基本合理。

表 5 “水保法”与“水文法”年均减洪减沙量计算结果对比

时间	“水文法”减洪/万 m ³	“水保法”减洪/万 m ³	“水文法”减沙/万 t	“水保法”减沙/万 t
	洪/万 m ³	洪/万 m ³	减沙/万 t	减沙/万 t
1970—1979	1130	1820	1320	1360
1980—1989	3160	1555	2900	1230
1990—1999	1810	2960	1110	2450
2000—2002	5730	3970	3600	3640
1970—2002	2370	2280	1940	1860

由于本次“水保法”研究只考虑了流域水土保持生态工程建设减洪减沙作用的正效应,没有计算水利

措施减洪减沙量,导致计算结果偏小;又未扣除人为新增水土流失量(负效应),导致计算结果偏大。根据最新调查和估算,这两项偏大偏小量属同一数量级,基本相抵,因此,本次“水保法”研究成果总体上接近实际。

5 结论

(1)大理河流域治理期(1970—2002年)与基准期(1960—1969年)相比,流域年降水量减少了10.5%,汛期降水量减少了7.1%。进入21世纪初降水量明显增大,2000—2002年年降水量和汛期降水量分别比基准期增大了8.0%和9.3%。流域实测径流量、输沙量均依时序递减。治理期与基准期相比,年径流量和汛期径流量分别减小了22.7%和25.4%;年输沙量和汛期输沙量分别减小了44.4%和44.0%。20世纪70,80,90年代和2000—2002年等4个时段年径流量与基准期相比分别减小了15.9%、30.2%、21.8%和23.9%;年输沙量与基准期相比分别减小了33.6%、65.9%、36.9%和34.4%。

(2)“水文法”计算结果表明,1970—2002年大理河流域因水土保持综合治理等人类活动年均减少洪水2370万 m^3 ,占不同系列对比年均总减洪量3065万 m^3 的77.2%,年均减洪效益25.2%;因降雨影响流域年均减少洪水698万 m^3 ,占总减洪量的22.8%;

人类活动与降雨影响之比约为8:2。1970—2002年大理河流域因水土保持综合治理等人类活动年均减沙1940万t,占不同系列对比年均总减沙量2560万t的75.8%,年均减沙效益37.6%;因降雨影响流域年均减沙621万t,占总减沙量的24.2%;人类活动与降雨影响之比为7.6:2.4。

(3)“水保法”计算结果表明,1970—2002年大理河流域4大水保措施(梯田、林地、草地、坝地)年均减少洪水2280万 m^3 ,减洪效益24.5%;年均减少洪水输沙量1860万t,减沙效益36.6%。水土保持综合治理减洪减沙效益依年代呈现稳定递增的趋势;近期流域水土保持综合治理减洪减沙效益十分显著。水保措施减水减沙比依时序呈下降趋势。

参考文献:

- [1] 张志萍,冉大川,慕志龙.大理河流域降水资料插补方法探讨[J].人民黄河,2006,28(12):26-27.
- [2] 冉大川,李占斌,李鹏,等.大理河流域水土保持生态工程建设的减沙作用研究[M].郑州:黄河水利出版社,2008.
- [3] 张胜利,于一鸣,姚文艺.水土保持减水减沙效益计算方法[M].北京:中国环境科学出版社,1994.
- [4] 王飞,穆兴民,李锐,等.河口镇到龙门区间水土保持措施减沙水代价分析[J].水土保持通报,2005,25(6):28-32.

(上接第16页)

(3)经济发展水平是影响土地综合承载力的一个重要因素,但不能直接代表土地综合承载力水平高低;也不能简单的说是成正比例关系还是反比例关系。因为虽然苏州、无锡、南京等发达地区的土地综合承载力水平在2008年相对较低,盐城、淮安等经济相对欠发达地区相对较高,但是宿迁、连云港等经济相对欠发达地区的土地综合承载力水平也处于中等。

(4)本文由于数据收集等方面原因,对个别使用较多的土地综合承载力评价指标做了改动,另外在其他指标的选取上还不尽完善,如何建立一套规范、有效的指标评价体系还有待进一步探索研究。

参考文献:

- [1] 陈百明.国外土地资源承载能力研究评述[J].自然资源译丛,1987,4(2):23-26.
- [2] 申元村.土地人口承载力研究理论与方法探讨[J].自然资源,1990,12(1):21-26.
- [3] 王书华,曹静.土地综合承载力评判指标体系的构建及

应用[J].河北师范大学学报:自然科学版,2001,25(1):129-133.

- [4] 王书华,毛汉英,赵明华.略论土地综合承载力评价指标体系的设计思路:我国沿海地区案例分析[J].人文地理,2001,16(4):57-61.
- [5] 熊伟.湖南省土地综合承载力评价及对策研究[J].湖南有色金属,2008,24(4):41-45.
- [6] 王书华,毛汉英.土地综合承载力指标体系设计及评价:中国东部沿海地区案例研究[J].自然资源学报,2001,16(3):248-254.
- [7] 李吉英,张小虎.区域土地资源承载力评价方法研究:以黑龙江省为例[J].边疆经济与文化,2008,50(2):1-4.
- [8] 张富刚,郝晋眠,李运生,等.基于因子分析法的县域土地利用程度时空变异分析:以河北省曲周县为例[J].地理科学进展,2005,24(3):58-68.
- [9] 曹海霞.山西土地资源人口承载力动态研究[J].中国农业资源与区划,2008,29(2):21-25.
- [10] 卞兴云,冉瑞平,贾燕兵.山东省城市土地集约利用时空差异[J].地理科学进展,2009,28(4):617-621.