

# 降水偏小对河龙区间晋西北片各支流 综合治理减沙量的影响分析

王存荣<sup>1</sup>, 冉大川<sup>1,2</sup>, 刘斌<sup>1</sup>, 罗全华<sup>1</sup>, 张志萍<sup>1</sup>

(1. 黄委会西峰水土保持科学试验站, 甘肃 西峰 745000; 2. 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室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 根据实测资料, 对河龙区间晋西北片降雨产洪沙规律、降雨变化影响减沙所占比例等问题进行了分析, 重点探讨了如何建立降雨产洪沙模型, 并改进降雨影响减沙量计算方法, 对降水量偏小对综合治理减沙量的影响进行了分析。研究成果为晋西北片各支流的综合治理提供了科学依据, 可供黄河中游地区水沙变化深化研究时参考。

**关键词:** 晋西北; 降水; 产沙量; 影响分析

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2003)05-0006-05

**中图分类号:** S157.1

## Impact of Less-than-Normal Precipitation on Sediment Reduction Caused by Comprehensive Harnessing in Tributaries in Section of Northwestern Shanxi Province of Hekouzhen-Longmen Reaches of Yellow River

WANG Cun-rong<sup>1</sup>, RAN Da-chuan<sup>1,2</sup>, LIU Bin<sup>1</sup>, LUO Quan-hua<sup>1</sup>, ZHANG Zhi-ping<sup>1</sup>

(1. *Xifeng Soil and Water Conservation Experimental Station of Water Resources, Committee of Yellow River, Xifeng 745000, Gansu Province, China*; 2. *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 712100, Shaanxi Province, China*)

**Abstract:** According to observed data, the laws of runoff and sediment yield and the impact of precipitation variation on the sediment-reducing rate of comprehensive sediment capture in tributaries, in northwestern Shanxi province, of the Hekouzhen-Longmen reaches of the Yellow river are analyzed. The two main problems, including the establishment of a runoff and sediment yield model and the improvement of the calculating method for sediment reduction due to precipitation variation, are emphatically discussed. The impact of less-than-normal precipitation on the sediment reduction caused by comprehensive sediment capture is analyzed too. The results may provide a scientific basis for the compressive sediment capture in the tributaries of the Yellow river in northwestern Shanxi province, and can be used as an important reference for further research on water and sediment variation in middle reaches of the Yellow river.

**Keyword:** Northwestern Shanxi province; precipitation; sediment yield; impact

### 1 研究区域概况

晋西北片各支流系指山西省境内三川河流域以北、浑河(浑河流域大部分属内蒙古自治区)以南的主要入黄支流, 即浑河、偏关河、县川河、朱家川、岚漪河、蔚汾河、湫水河、三川河等 8 条支流。流域覆盖面积主要包括山西省朔州市、忻州市和离石市 3 个市及

内蒙古自治区乌兰察布盟的凉城、和林格尔、清水河等 3 个县, 累计面积  $2.17 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

晋西北片地貌类型主要为黄土丘陵沟壑区, 所占面积最大, 土壤侵蚀及水土流失严重, 是黄河中游粗泥沙的主要来源区之一。此外, 晋西北片还有部分土石山区和缓坡风沙区, 其中缓坡风沙区所占面积较小, 主要分布在岢岚、五寨、神池、右玉等县, 地形较平

收稿日期: 2003-05-16 修回日期: 2003-08-25

资助项目: 国家“八五”重点科技攻关项目“多沙粗沙区水沙变化原因分析及发展趋势预测”(85-926-03-01); 水利部第二期黄河水沙变化研究基金项目“河龙区间水土保持措施减水减沙作用分析”

作者简介: 王存荣(1964-), 男(汉族), 甘肃庆阳人, 工程师 主要从事水土保持科学研究和水土保持监理工作。

缓,土质疏松,气候干旱,植被稀少,风沙较大,风蚀,水蚀严重,风蚀模数可达 $11\,000\sim 12\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ,水蚀模数为 $4\,000\sim 5\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。

土石山区主要分布在吕梁山及其余脉地区,山势高,气候寒冷,植被好,雨量较多,石厚土薄,土少而肥,耕地治理较好,洪水时有泥石流危害,侵蚀模数在 $2\,000\sim 3\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。

黄土丘陵沟壑区丘陵起伏,地形破碎,植被稀少,气候干旱,水土流失剧烈,侵蚀模数可达 $10\,000\sim 20\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ,是晋西北片粗泥沙的主要来源区,也是主要产沙区。尽管风沙侵蚀也很严重,但因其占流域面积比例较小,影响十分微弱。晋西北片属大陆性干旱半干旱性季风气候,大部分支流年平均降水量在 $400\sim 600\text{ mm}$ 之间。降水量在地区上的分布及时间上的分配都存在着巨大的差异,降水年际变化大,年内分配不均,汛期(5—9月)降雨量占年降水量的70%以上,而非汛期降水量占年降水量的百分比不足30%。

该区地处黄上高原,沟壑纵横,植被覆盖率低,汛期暴雨频繁,水蚀严重,河流含沙量大。如偏关河1960年出现了最大含沙量达 $1\,460\text{ kg}/\text{m}^3$ 的洪水,在8条支流水文资料系列内为一极值。8条支流1969年以前累积平均每年向黄河输送泥沙 $1.88\times 10^8\text{ t}$ ,1970—1996年平均每年输沙 $7.78\times 10^7\text{ t}$ ,分别占黄河中游河口镇至龙门区间(简称河龙区间)同期实测年均输沙量的18.9%和14.4%<sup>[1]</sup>,是减少入黄泥沙的重点治理地区之一。

## 2 降雨指标及产沙量的时段变化

将统计的水文资料按年代划分为4个时段,以1969年以前作为对比的基准期,以此来分析20世纪70—80年代及90年代(1990—1996年)降雨和产沙量的变化。

### 2.1 不同时段降雨指标的变化

2.1.1 年降水量的变化 由表1各时段实测降水资料统计结果可知,晋西北片8条支流20世纪70—80年代及90年代(1990—1996年)年均降水量 $P_N$ 较基准期的1969年以前有明显减少,80年代尤为突出,是3个统计时段内降水量最少的10a,平均年降水量仅 $425.2\text{ mm}$ ,较晋西北片年降水量多年平均值 $454.9\text{ mm}$ 偏少6.5%,比多雨的基准期偏少11.9%。而70年代比基准期减少7.1%,90年代比基准期仅减少2.3%,减少量最小。1970—1996年平均年降水量较基准期减少了7.7%。

表1 晋西北片各支流降雨指标时段变化统计

时段	类型	均值/ mm	与1969年以前相差	
			$\Delta P$	%
1969年以前	$P_{7d}$	100.5	—	—
	$P_N$	288.2	—	—
	$P_1$	392.6	—	—
	$P_N$	482.9	—	—
1970—1979	$P_{7d}$	90.6	9.9	9.9
	$P_N$	265.5	22.7	7.9
	$P_1$	368.5	24.1	6.1
1980—1989	$P_N$	448.4	34.5	7.1
	$P_{7d}$	90.3	10.2	10.1
	$P_N$	250.1	38.1	13.2
1990—1996	$P_1$	357.2	35.4	9.0
	$P_N$	425.2	57.7	11.9
	$P_{7d}$	93.9	6.6	6.6
1996	$P_N$	316.9	-28.7	-10.0
	$P_1$	387.9	4.7	1.2
	$P_N$	471.6	11.3	2.3
1970—1996	$P_{7d}$	91.4	9.1	9.1
	$P_N$	273.1	15.1	5.2
	$P_1$	369.4	23.2	5.9
	$P_N$	445.8	37.1	7.7

注:各降雨指标为8条支流的平均值。

2.1.2 其它降雨指标的变化 (1) 统计8条主要支流各年代最大7d降雨量 $P_{7d}$ 及汛期降雨量 $P_1$ 可知,20世纪70,80及90年代(1990—1996年)这2个指标都呈减少趋势。相对于基准期而言, $P_{7d}$ 及 $P_1$ 70年代分别减少了9.9%和6.1%;80年代分别减少了10.1%和9.0%;90年代分别减少了6.6%和1.2%。80年代减少百分比仍为最大,90年代最小。

(2) 统计汛期有效降雨量(日雨量 $\geq 10\text{ mm}$ 的降雨量之和) $P_N$ ,会发现同样的减少趋势。70及80年代较基准期分别减少了7.9%和13.2%;90年代汛期有效降雨量明显增大,较基准期增大了10.0%。

### 2.2 不同时段输沙量的变化

2.2.1 洪水输沙量的变化 晋西北片8条支流大部分地处黄土丘陵沟壑区,河道泥沙主要是因暴雨洪水引起,并以高含沙水流形式输移。洪水输沙量占年输沙量的95%以上,基本上反映了流域的年产沙水平。各时段洪水输沙量统计结果见表2。20世纪70—80及90年代(1990—1996年)洪水输沙量较1969年以前有明显的减少趋势。70年代相对于基准期减少了38.8%,80年代减少的百分比高达71.0%,90年代为62.4%;1970—1996年平均较基准期减少了56.8%。以朱家川流域为例,4个时段的洪水输沙量

分别为  $2.61 \times 10^7 \text{ t}$ ,  $8.73 \times 10^6 \text{ t}$ ,  $3.57 \times 10^6 \text{ t}$  及  $6.42 \times 10^6 \text{ t}$ , 较基准期分别减少了 66.6%, 86.3% 和 75.4%, 洪水输沙量呈锐减变化趋势。

表 2 晋西北片各支流输沙量时段变化统计表

时 段	均值/ 洪沙量 $S_H$ 变化			均值/ 年输沙量 $S_A$ 变化		
	10 <sup>4</sup> t	$\Delta S_H$	$S_H$ %	10 <sup>4</sup> t	$\Delta S_A$	$S_A$ %
1969 年前	17 540	-	-	18 810	-	-
1970-1979	10 730	6 810	38.8	11 050	7 760	11.2
1980-1989	5 090	12 450	71.0	5 300	13 510	71.8
1990-1996	6 600	10 940	62.4	6 640	12 170	61.7
1970-1996	7 570	9 970	56.8	7 780	11 030	58.6

注: 1 洪水输沙量及年输沙量为 8 条支流时段平均累加值; 2 洪水输沙量  $S_H$ 、年输沙量  $S_A$  变化均以 1969 年前为基准。

2.2.2 年输沙量的变化 年输沙量时段变化情况跟洪水输沙量变化具有相同趋势。20 世纪 70 年代相对于基准期减少了 41.2%, 80 年减少了 71.8%, 90 年代(1990-1996 年)减少百分比为 64.7%, 有所下降。1970-1996 年年均输沙量相对于基准期平均减少 58.6%, 减幅接近 60%。

由以上统计结果可以看出, 1970-1996 年晋西北片 8 条支流的来沙量较基准期明显减少, 在年降水量减少 8% 左右的情况下, 年输沙量及洪水输沙量减幅接近 60%, 其根本原因在于 20 世纪 70-80 年代大雨及暴雨相对于基准期减少很多。暴雨是流域产沙最主要的动力, 没有暴雨就产不了沙, 因而输沙量自然锐减。

通过对晋西北片各支流不同时段大雨(日降雨量  $\geq 25 \text{ mm}$ )及暴雨(日雨量  $\geq 50 \text{ mm}$ )的统计, 20 世纪 70-80 年代无论从大暴雨日次还是次降雨量都较基准期有明显减少。

以三川河流域为例, 暴雨雨量基准期及 20 世纪 70, 80 年代 3 个阶段值分别为 212.5 mm, 184.9 mm 和 129.3 mm, 70 年代及 80 年代分别比基准期减少了 13.0% 和 19.2%。降雨尤其是大雨及暴雨的显著减少, 必然导致晋西北地区径流泥沙的锐减。进入 20 世纪 90 年代后, 晋西北片大雨及暴雨有明显增加。仍以三川河流域为例, 根据统计结果, 20 世纪 90 年代(1990-1996 年)暴雨雨量为 160.3 mm, 比 80 年代增大了 24%, 洪水输沙量由此比 80 年代增大了 11.9%<sup>[2]</sup>。这是一个值得注意的迹象。

### 3 降雨减少对产沙量的影响分析

#### 3.1 降雨产洪沙模型

利用各支流治理前(1969 年以前)的降雨洪沙资

料, 通过逐步回归分析, 即可建立相应的降雨产洪沙模型, 此方程反映流域天然状态下降雨与洪沙的关系, 公式形如

$$S_H = aP_1^b \cdot P_2^c \cdot P_3^d \quad (1)$$

式中:  $S_H$ ——流域产洪沙量( $10^4 \text{ t}$ );  $P_1, P_2, P_3$ ——降雨指标, 由相关分析筛选;  $a$ ——反映流域产洪沙的综合系数;  $b, c, d$ ——反映降雨指标对洪沙量影响的指数。

各支流在建立降雨产洪沙模型时, 既考虑降雨分配对产沙的影响, 又考虑模拟精度及公式结构。总的要求是: 考虑因素周全、模拟精度高且公式形式比较简单。晋西北片降雨—产洪沙模型可以归纳为以下几种类型。

(1) 以汛期有效降雨  $P_V$  及汛期降雨  $P_L$  为指标而建立的模型, 如浑河:

$$S_H = 0.061 P_V^{2.2725} / P_L^{0.367} \quad (R = 0.89) \quad (2)$$

(2) 以 7-8 月降雨之和  $P_{7-8}$  与年最大 7 d 降雨量  $P_{7d}$  为指标而建立的模型, 如偏关河:

$$S_H = 1.72 \times 10^{-4} P_{7-8}^{1.9943} \cdot P_{7d}^{1.1017} \quad (R = 0.94) \quad (3)$$

(3) 多指标共同建立的模型, 如湫水河:

$$S_H = 0.395 P_{7-8}^{1.657} \cdot (P_{7-8} / P_L)^{0.838} \quad (R = 0.93) \quad (4)$$

从以上列举的代表性降雨产洪沙模型可以看出, 模型形式虽然比较简单, 但是相关系数都比较高, 表明降雨指标( $P_V, P_L, P_{7-8}, P_{7d}$ 等)决定或影响着流域的产沙, 这是流域产沙的主要动力因素。经过运用, 所建立的模型在晋西北片各支流减洪沙效益计算中均取得了满意的效果。因此, 所建立的模型基本上反映了各支流的降雨产沙规律。晋西北片各支流降雨产洪沙模型详见表 3。

#### 3.2 治理前的洪沙关系

流域治理前的洪水泥沙关系是表征流域水沙特征最重要的关系式, 是流域下垫面为原始状况或准原始状况下产洪产沙的综合反映。晋西北片各支流治理前的洪水泥沙关系仍见表 3。

由此可以看出, 晋西北片各支流治理前的洪水—洪沙关系普遍较好, 相关系数均在 0.94 以上; 部分支流治理前洪沙关系式中的指数在 1.00 左右, 如湫水河、朱家川和偏关河等, 表明这 3 条支流洪水期都接近高含沙水流。

由洪沙关系式的物理意义不难得出这 3 条支流洪水期的平均含沙量分别为  $370 \text{ kg/m}^3$ ,  $512 \text{ kg/m}^3$  和  $402 \text{ kg/m}^3$ , 均大于  $350 \text{ kg/m}^3$ 。

表 3 晋西北片各支流降雨产洪沙模型及治理前洪沙关系

流域	降雨产洪沙模型		治理前洪沙关系	
	降雨 $P$ —洪沙 $S_H$	相关系数 $R$	洪水 $W_H$ —洪沙 $S_H$	相关系数 $R$
浑河	$S_H = 0.061 P_y^{2.2725} / P_N^{0.367}$	0.89	$S_H = 0.015 W_H^{1.226}$	0.95
偏关河	$S_H = 1.72 \times 10^{-4} P_{7+8}^{1.9993} \cdot P_{7d}^{1.1047}$	0.94	$S_H = 0.402 W_H^{1.024}$	0.98
县川河	$S_H = 1928 P_y^{3.972} / P_N^{3.712}$	0.95	$S_H = 0.06 W_H^{1.263}$	0.97
朱家川	$S_H = 8.722 \times 10^{-3} P_{7+8}^{4.3454} / P_N^{2.0}$	0.90	$S_H = 0.512 W_H^{1.007}$	0.99
岚漪河	$S_H = 0.023 P_{7+8}^{2.743} / P_y^{0.7942}$	0.93	$S_H = 0.104 W_H^{1.084}$	0.97
蔚汾河	$S_H = 5.21 \times 10^{-3} P_{7+8}^{2.295}$	0.94	$S_H = 0.113 W_H^{1.091}$	0.97
湫水河	$S_H = 0.395 P_{7+8}^{1.657} (P_{7+8} / P_x)^{0.838}$	0.93	$S_H = 0.370 W_H^{0.998}$	0.95
三川河	$S_H = 0.0248 P_{7+8}^{2.978} / P_N^{0.7595}$	0.92	$S_H = 0.7255 W_H^{0.9115}$	0.97

3.3 降雨减少对实测输沙量的影响分析

晋西北片 8 条支流 1969 年以前平均年降水量为 482.9 mm, 年均输沙量合计值为  $1.88 \times 10^8$  t, 若沟道泥沙输移比为 1, 则治理前 1 mm 降雨所产生的泥沙量为  $3.90 \times 10^5$  t。进入 20 世纪 70 年代后, 由于降雨减小, 产沙量也明显减少: 70 年代 1 mm 降雨所产生的泥沙量为  $2.46 \times 10^5$  t, 80 年代锐减为  $1.25 \times 10^5$  t, 90 年代(1990—1996 年) 1 mm 降雨所产生的泥沙量比 80 年代有所增加, 为  $1.41 \times 10^5$  t。因此, 各时段单位(mm)降雨所产生的泥沙量呈减少趋势, 依时序递减, 80 年代为最小值。

3.4 降雨减少对计算产沙量的影响

各支流降雨产洪沙模型中所涉及的主要降雨指标, 自 1970—1996 年比基准期都有不同程度的减小, 因此, 导致根据模型计算的产洪沙量也呈减小趋势。虽然降雨产洪沙模型中个别指标有负指数存在, 如县川河流域降雨产洪沙模型  $S_H = 1928 P_y^{3.972} / P_N^{3.712} = 1928 P_y^{3.972} \cdot P_N^{-3.712}$ , 其中  $P_N$  为负指数, 表面上看好像随着  $P_N$  的减小,  $S_H$  应该是增大, 但将上式做一个简单的数学变换有:

$$S_H = 1928 (P_y / P_N)^{3.712} P_y^{0.260}$$

由此式看出,  $S_H$  的变化除了与  $P_y$  有关外, 还与  $(P_y / P_N)$  这个比值有关, 因此, 随着治理后各年代降雨指标的减小, 流域计算产沙量同样也是减小的。

4 降雨减少对综合治理减沙量的影响

在黄河中游水土保持措施减洪减沙效益计算中, “水文法”分析计算的主要任务是区分降雨和水利水土保持综合治理措施对流域水沙变化的影响程度。降雨影响如何计算? 传统的做法是根据 1970 年(黄河中游地区公认的治理与非治理的分界年)以前的(前期)实测降雨径流泥沙资料, 建立降雨产流产沙模型, 再将综合治理措施实施后(后期)的降雨指标代入模型

中, 计算出产流产沙量, 然后与前期实测值相比, 即得降雨影响减洪减沙量。此做法的前提是前期降雨径流泥沙模型验算时计算值与实测值相等, 但事实并非如此。在实际工作中, 虽然我们对降雨产流产沙模型进行了验证, 但仍存在着偏大或偏小的可能; 一些特殊点偏离关系线, 有的分居关系线两侧误差互相抵销, 虽然我们可以剔除偏离关系线较大的特殊点而使验算误差为 0 或在 1% 以内, 但这种模型由于剔除了特殊点, 未必能反映降雨产流产沙的真实规律。在水文分析中, 特殊点十分重要, 轻易剔除明显不妥。由于治理前根据降雨产流产沙模型的计算值与其实测值并不一定相等, 因此, 传统的降雨影响减洪减沙量计算方法有待改进。

4.1 传统的降雨影响计算方法

传统的降雨影响减洪沙量计算公式为

$$\Delta R_{雨1} = R_{前实} - R_{后计} \quad (5)$$

式中:  $\Delta R_{雨1}$ ——降雨影响减少的洪沙量;  $R_{前实}$ ——前期实测洪沙量;  $R_{后计}$ ——根据降雨产洪沙模型, 将后期降雨代入计算的后产洪沙量。

由于总减洪沙量:

$$\Delta R = \Delta R_{雨1} + \Delta R_{人} = R_{前实} - R_{后实} \quad (6)$$

故人类活动综合治理影响的减洪沙量  $\Delta R_{人1}$

$$\Delta R_{人1} = \Delta R - \Delta R_{雨1} = R_{后计} - R_{后实} \quad (7)$$

4.2 改进的降雨影响计算方法<sup>[3]</sup>

改进的降雨影响计算公式为:

$$\Delta R_{雨2} = R_{前计} - R_{后计} \quad (8)$$

则:  $R_{人2} = \Delta R - \Delta R_{雨2} = R_{前实} - R_{后实} + R_{后计} - R_{前计} \quad (9)$

式中:  $R_{前计}$ ——前期降雨产洪沙量计算值。

改进的降雨影响计算方法的优点在于: 由于降雨影响是由前、后期的计算值推算出来的, 其偏差倾向是一致的, 即要偏大(或偏小)则前、后期的计算值都偏大(或偏小), 因而其相对差变化较小。在  $R_{前实} \neq R_{前计}$  的情况下, 用这种方法推算尤为恰当。

### 4.3 晋西北片 8 条支流降雨影响计算

根据传统及改进的降雨影响计算公式(5)及(8),晋西北片 8 条支流降雨影响减洪沙量计算成果见表 4。由表 4 可见,根据传统计算方法,晋西北片 8 条支流 1970—1996 年降雨影响年均减洪沙量占总减洪沙量的 46%(实际为 45.8%);改进计算方法后,降雨影响则上升为 53%(实际为 53.2%),增加了 7%。因

此,改进计算方法后,降雨影响较之传统计算方法,其结果呈上升趋势;人类活动即综合治理影响减洪沙量所占比重则下降了 7%。由此可见,尽管各支流降雨产洪沙模型相关性较好,相关系数均在 0.90 以上,但由于多沙粗沙区降雨产沙关系的复杂性,使得各支流均存在  $R_{前实} \neq R_{前计}$  的问题,降雨影响计算结果因此发生变化。

表 4 晋西北片 8 条支流降雨影响减洪沙量计算成果

10<sup>4</sup> t

时段	模型计算法		$\Delta S$	$\Delta S_{雨}(\text{传统})$		$\Delta S_{雨}(\text{改进})$		$\Delta S_{人}(\text{传统})$		$\Delta S_{人}(\text{改进})$	
	$S_{实}$	$S_{计}$		绝对值	比例/%	绝对值	比例/%	绝对值	比例/%	绝对值	比例/%
1969 年以前	17 540	18 280									
1970—1979	10 730	14 000	6 810	3 510	52.0	4 280	62.8	3 270	48.0	2 530	37.2
1980—1989	5 090	9 200	12 450	8 340	67.0	9 080	72.9	4 110	33.0	3 370	27.1
1990—1996	6 600	16 910	10 940	630	5.8	1 370	12.5	10 310	94.2	9 570	87.5
1970—1996	7 570	12 980	9 970	4 560	45.7	5 300	53.2	5 410	54.3	4 670	46.8

注:  $S$  代表洪沙量;  $\Delta S$  代表减少量。

### 4.4 讨论

2 种方法计算降雨影响,孰大孰小,讨论如下:

据(5)–(8)有

$$\Delta R_{雨1} - \Delta R_{雨2} = R_{前实} - R_{前计} \quad (10)$$

(1) 若  $R_{前实} = R_{前计}$ , 则  $\Delta R_{雨1} = \Delta R_{雨2}$ , 这 2 种计算方法结果一致;

(2) 若  $R_{前实} > R_{前计}$ , 则  $\Delta R_{雨1} > \Delta R_{雨2}$ , 传统方法计算的降雨影响结果大于改进方法计算结果;

(3) 若  $R_{前实} < R_{前计}$ , 则  $\Delta R_{雨1} < \Delta R_{雨2}$ , 传统方法计算结果小于改进方法计算结果。晋西北片八条支流就是这种情况。

显然,  $R_{前实}$  与  $R_{前计}$  相差越大, 计算结果变化也就越大。从河龙区间 21 条有控支流降雨影响计算结果看, 采用传统计算方法, 1970—1996 年因降雨减少影响的减洪沙量占总减洪沙量的 22.6%, 水土保持综合治理减洪沙量占总减洪沙量的 77.4%; 采用改进的降雨影响计算方法, 降雨影响占比上升为 35.6%, 综合治理占比下降为 64.4%。降雨影响占比上升了 13.0%<sup>[3]</sup>。经采用其它计算方法验证, 改进的降雨影响计算结果比传统计算结果更符合实际。

## 5 结 语

(1) 与基准期相比, 晋西北片 8 条支流特征降雨指标自 1970 年至 1996 年均有所减少。8 条支流 20 世纪 70—80 及 90 年代(1990—1996 年)年均降水量分别比基准期减少了 7.1%, 11.9% 和 2.3%。

(2) 对应于特征降雨指标的变化, 与基准期相比, 晋西北片 8 条支流治理后各年代的实测洪水输沙量亦呈减少趋势。8 条支流合计, 20 世纪 70—80 及

90 年代(1990—1996 年)实测洪水输沙量较基准期分别减少了 38.8%, 71.0% 和 62.4%。80 年代的减沙幅度明显高于 70 年代及 90 年代。

(3) 在年降水量和其它降雨指标减少幅度较小的情况下, 晋西北片洪水输沙量大幅度减少, 其主要原因是暴雨减少所致。80 年代的沙量锐减, 是“和风细雨”的结果。

(4) 从改进的降雨影响计算结果看, 20 世纪 70 年代是晋西北片人类活动综合治理初见成效时期, 综合治理影响减沙量占比 63%, 居主导地位, 降雨影响只占 37%; 进入 80 年代后各降雨指标不但较基准期有明显减少, 同时也较 70 年代有所减少。80 年代晋西北片综合治理影响减沙量仅占总减沙量的 27.0%, 略大于 1/4; 降雨减少影响减沙量占总减沙量的 73.0%, 接近 3/4。90 年代是晋西北片综合治理大见成效的时期, 水利水土保持措施数量大幅增加, 质量明显提高, 三川河流域综合治理成绩斐然<sup>[2]</sup>, 因而该时段综合治理影响减沙量占绝对主导地位, 降雨减少影响减沙量只占 12.5%。因此, 水土保持综合治理是实现晋西北地区“山川秀美”的治本之举, 是减少入黄泥沙的根本措施。

### [参 考 文 献]

- [1] 王玲, 徐建华, 李雪梅. 黄河流域的来沙及其水利水保减沙效益[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 138—140.
- [2] 王存荣, 冉大川. 三川河流域水沙变化水文分析[J]. 水土保持通报, 2002, 22(6): 15—19.
- [3] 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.