

# 延河流域主要水文要素时变过程分析

巴桑赤烈<sup>1</sup>, 穆兴民<sup>2,3</sup>, 王双银<sup>3</sup>, 高鹏<sup>2,3</sup>, 王炜<sup>2,3</sup>

(1. 西藏自治区水文水资源勘测局, 西藏 拉萨 850000; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100  
3. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 对延河流域降水、径流和泥沙等水文要素从 20 世纪中叶到 21 世纪初的年内分配及年际变化进行了时变过程分析。以探求区域植被重建对流域水文过程的影响情况。结果表明,三个水文基本要素都有不同程度的年内分布趋于均匀和年际变化趋缓的趋势。20 世纪 70—90 年代比 60 年代流域平均面雨量分别减少了 10.5%、11.7% 和 14.0%, 年径流量分别减少了 19.0%、12.9% 和 22.6%, 年输沙量分别减少了 21.1%、46.2% 和 41.7%。

**关键词:** 延河流域; 时变; 主要水文要素

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)01-0011-04

中图分类号: P331

## Temporal Change Analysis of Hydrological Factors in the Yanhe River Basin

Basang Chilie<sup>1</sup>, MU Xing-min<sup>2,3</sup>, WANG Shuang-yin<sup>3</sup>, GAO Peng<sup>2,3</sup>, WANG Wei<sup>2,3</sup>

(1. The Tibet Bureau of Hydrology, Lhasa 850000, the Tibet Autonomous Region, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling District 712100, Shaanxi Province, China;

3. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling District 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** The main hydrology factors in one river includes precipitation, runoff and sediment discharge. These three hydrology factors are impacted largely by regional land use/ land cover change. The Yanhe River Basin with the area of 7 725 km<sup>2</sup> and in middle of the Loess Plateau, is one of the hot-spots for regional afforestation and soil & water conservation in China. So studying on the temporal change of the main hydrology factors in the Yanhe River Basin is very essential for providing the basic information and supporting the decision of local government. We collected the precipitation data and worked out the regional tendency from the 6 wide-spreaded rain gauge stations from the middle of 20<sup>th</sup> century to 21<sup>st</sup> century. We also got the runoff and sedimentation discharge data from 2 hydrology stations in the same period. It's founded: (1) The monthly distribution of each of those three main hydrology factors tended to be uniform, and the annual change was prone to be tempered. (2) Compared to the average in 1960s, the annual precipitation in the 1970s, 1980s and 1990s in the basin, has respectively reduced by 10.5%, 11.7% and 14.0%. (3) The annual water yield in the basin has separately reduced by sediment discharge, reduced by 14.1%, 13.1% and 21.4%. (4) The annual sediment discharge reduced by 21.1%, 46.2% and 41.7%.

**Keywords:** the Yanhe River Basin; temporal change; the main hydrology factors

延河流域位于黄土高原水土流失较严重的区域, 长期以来由于土地利用不合理, 滥垦、滥伐、滥牧, 导致水土流失加剧, 农业自然资源遭到严重破坏, 以至造成生态经济系统失调, 水旱灾害频发, 给当地群众生产生活带来严重威胁。随着区域水土保持治理措施的加强, 流域下垫面条件发生了系统性变化, 而流域水文规律主要决定于气候气象条件及下垫面条件。

下垫面条件的改变能显著改变水量平衡各要素的对比关系<sup>[1]</sup>。因而针对流域生态水文方面的研究近来也变得越发重要和急需。本文所进行的水文要素时变过程分析, 正好迎合了这一研究潮流, 通过探究各要素自 20 世纪中叶至 21 世纪初的变化趋势分析, 力求能够对区域水文响应过程及状况的分析提供专业支持。

收稿日期: 2004-07-14

资助项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-421); Regional impacts of re-vegetation on water resources of the Loess Plateau, China and the Middle and Upper Murrumbidgee Catchment, Australia

作者简介: 巴桑赤烈 (1976—), 男 (藏族), 西藏日喀则, 助工, 从事水文水资源, “中国科学院人才援藏计划培养”学者。电话 (0891) 6554828  
Email: bscl52168@163.com。通信作者: 穆兴民, 电话 (029) 87012875, E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn。

## 1 流域概况

延河是黄河右岸、中游区上段的河口镇至龙门段的一级支流,位于东经  $108^{\circ}45' - 110^{\circ}28'$ , 北纬  $36^{\circ}23' - 37^{\circ}17'$  之间,发源于陕西省靖边县东南天赐湾乡周山,由西北向东南流经志丹、安塞、宝塔、延长等四县区,在延长县南河沟乡凉水岸附近汇入黄河。延河干流总长 286.9 km,流域面积  $7\,725\text{ km}^2$ ,平均坡度为 4.3‰,河网密度约为  $4.7\text{ km/km}^2$ ,主要支流有杏子河、西川、蟠龙川和南川等<sup>[2]</sup>。流域多年平均降水量为 495.6 mm,年平均气温  $9^{\circ}\text{C}$ ,主要灾害类型为旱灾、霜冻、冰雹及暴雨。流域内黄土丘陵沟壑面积占全流域的 90%,其中延长以上为黄土梁峁状丘陵沟谷区,安塞—延长之间沿河一带为河阶地,延长以下为黄土宽梁残塬沟谷区,流域出口处为黄土覆盖石质丘陵沟谷区<sup>[2]</sup>。

流域内设有 20 多处分布比较均匀的雨量站,水文站有上游杏子河流域的杏子河站 ( $379\text{ km}^2$ )、延河流域延安站 ( $3\,208\text{ km}^2$ ) 及下游控制断面甘谷驿站 ( $6\,150\text{ km}^2$  (1957—1964 年)、 $5\,898\text{ km}^2$  (1965—1970 年)、 $5\,891\text{ km}^2$  (1971—1989 年)),等 3 个。

## 2 降雨径流量年内分配

### 2.1 资料与方法

降水分析采用了蟠龙 (1956—1989 年)、招安 (1957—1989 年)、化子平 (1953—1989 年)、甘谷驿 (1952—2000 年)、安塞 (1956—2001 年) 和邻近周河流域志丹 (1952—1987 年) 等 6 个系列较长的雨量站实测资料;流量分析采用了流域出口控制站甘谷驿站 1957—2003 年的实测资料;泥沙分析采用了甘谷驿站 1952—2000 年的实测含沙量和输沙量资料。并利用降水—径流、站—站相关等方法,对相应缺测资料进行了适当插补。

降水、径流年内分配分析采用了不均匀系数  $C_L$  法,即用大于年平均流量的累积值 (以  $\sum_{i=1}^n Q_i$  计) 与超过年平均流量的天数乘年平均流量值 (以  $nQ_0$  计) 之差与一年的总流量的比值。 $C_L$  值越大,说明降水、径流年内也越集中,年内分配越不均匀。由于此法计算过程繁琐,为简化起见,可用月平均流量值代替日平均流量<sup>[3]</sup>。其公式为:

$$C_L = \left( \sum_{m=1}^m P_m - KP_0 \right) / 12 P_0$$

$$\text{或 } C_L = \left( \sum_{m=1}^m Q_m - KQ_0 \right) / 12 Q_0$$

式中:  $C_L$ ——降水、径流年内不均匀系数;  $P_m$ ,  $Q_m$ ——大于月均值的各月降水、径流量;  $P_0$ ,  $Q_0$ ——月平均降水径流量;  $K$ ——月降水、径流量大于月平均降水、径流量的个数。

### 2.2 年内分配

延河流域各水文要素的年内分配很不均匀 (图 1),其中多年平均降水量年内分配主要集中在夏季,尤其汛期 3 个月 (7—9 月份) 占年降水量 60.6%,7—8 月份最大,12 月和 1 月份最小;径流的年内分配情况与降水略有不同,除了汛期所占比例达到 56.9% 外,3 月份的径流量相对枯季其它月份的大一些,出现了小的汛情 (春汛情况),这与少量冰雪融水补给有关;而含沙量的年内分配和季节变化与暴雨洪水分布有密切关系,且比降雨、径流量更集中。最大月平均含沙量出现在 7 或 8 月,约占年含沙量的 90%,连续最大 4 个月 (6—9 月) 含沙量占全年的 95%~99%,除 5 月份有少量泥沙外,其余月份几乎没有河流泥沙情况。从长系列年内分配变化情况及不同年代分配变化过程看 (表 1、表 2 及图 2),降水量多年平均  $C_L$  0.43,最大的 0.55,最小的 0.31。

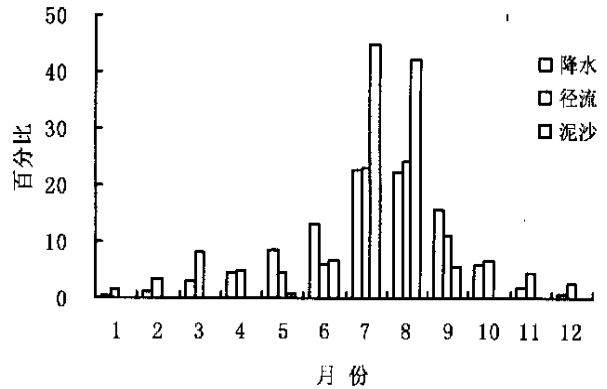


图1 延河流域水文要素分配

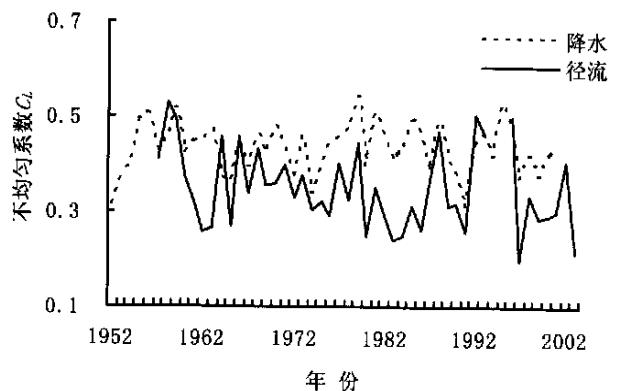


图2 延河流域降水、径流不均匀系数

可见降水量  $C_L$  的年际变化不大,总体上略有下降的趋势,和超过机率略有分散的趋势,说明降水分布略趋匀。超过月均值的月份也主要集中在 5—10 月,其中 7 月份年年超过了均值,8 月次之,而 12—翌年 2 月历来没有超过均值;径流量多年平均  $C_L$  为 0.37,最大的 0.53,最小的 0.20,与降水相比变幅更大且在上下波动中也有逐步变小的趋势,超过机率分布

情况也出现了分散趋势,说明年内分配趋于缓和。超过均值的月份主要集中在 7—10 月,而并没有出现年年都超过平均值的现象,其中 7 月和 8 月超过的机率最高,3 月份和 6,9,10 月份差不多,平均有 40% 的超过均值机率,12 月和 1 月一直小于均值;泥沙的分配情况也随径流的变化和暴雨洪水的分布变化而变化,且 7,8 月占比例明显趋平了。

表 1 延河流域水文要素不同年代年内分配统计

项目	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
降水/ mm	多年平均	2.6	5.2	13.2	29.7	38.9	55.5	113.1	119.7	49.7	29.7	10.6	4.3
	50 年代	2.8	4.2	15.4	34.6	46.7	50.9	123.1	103.2	109.4	46.3	18.0	1.3
	60 年代	3.4	7.6	9.9	24.6	32.6	54.1	120.2	113.2	81.9	27.8	11.6	4.7
	70 年代	2.8	3.7	14.0	21.1	44.0	71.3	100.9	99.5	76.6	30.3	8.5	2.5
	80 年代	3.8	4.4	17.6	28.7	35.0	52.4	103.7	117.1	59.3	37.2	12.8	1.9
	90 年代	3.1	5.0	14.2	27.2	39.3	56.7	111.8	110.4	75.8	34.6	12.4	2.8
径流/ $10^8 \text{ m}^3$	多年平均	0.040	0.078	0.161	0.102	0.096	0.129	0.461	0.488	0.214	0.128	0.091	0.057
	60 年代	0.027	0.066	0.189	0.116	0.109	0.123	0.626	0.640	0.243	0.163	0.106	0.056
	70 年代	0.037	0.083	0.162	0.090	0.061	0.102	0.457	0.451	0.238	0.124	0.086	0.054
	80 年代	0.045	0.073	0.176	0.124	0.109	0.174	0.381	0.429	0.273	0.136	0.106	0.060
	90 年代	0.049	0.089	0.125	0.083	0.101	0.121	0.367	0.416	0.129	0.091	0.068	0.057
泥沙/ ( $\text{kg m}^{-3}$ )	多年平均	0.007	1.032	4.31	31.11	150.4	1140	7610	6580	1070	22.30	0.620	0.045
	60 年代	0.020	2.809	11.74	26.13	168.3	1440	9730	9140	1180	19.36	0.926	0.121
	70 年代	0.000	0.000	0.00	0.00	31.7	912	9810	5780	982	25.04	0.000	0.000
	80 年代	0.000	0.000	0.00	75.20	248.6	1210	4860	4500	1080	26.70	1.370	0.000
	90 年代	0.000	0.000	0.00	27.45	139.6	822	4450	5340	804	20.61	0.000	0.000

表 2 延河流域降水和径流不同年代超过平均月值的机率统计

项目	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$C_L$
降水	50 年代	0.0	0.0	0.0	25.0	50.0	75.0	100.0	100.0	37.5	37.5	0.0	0.0	0.44
	60 年代	0.0	0.0	0.0	20.0	50.0	40.0	100.0	100.0	100.0	40.0	10.0	0.0	0.43
	70 年代	0.0	0.0	0.0	20.0	30.0	80.0	100.0	90.0	90.0	20.0	10.0	0.0	0.44
	80 年代	0.0	0.0	0.0	10.0	50.0	90.0	100.0	100.0	80.0	30.0	0.0	0.0	0.45
	90 年代	0.0	0.0	8.3	16.7	25.0	58.3	100.0	100.0	66.7	33.3	0.0	0.0	0.42
	平均	0.0	0.0	2.0	18.0	40.0	68.0	100.0	98.0	76.0	32.0	4.0	0.0	0.43
径流	50 年代	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.48
	60 年代	0.0	0.0	50.0	10.0	20.0	20.0	100.0	90.0	50.0	30.0	20.0	0.0	0.35
	70 年代	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	10.0	90.0	100.0	60.0	30.0	0.0	0.0	0.36
	80 年代	0.0	0.0	50.0	10.0	10.0	40.0	90.0	80.0	50.0	20.0	0.0	0.0	0.31
	90 年代	0.0	9.1	27.3	0.0	27.3	18.2	90.9	100.0	36.4	27.3	0.0	0.0	0.34
	平均	0.0	2.3	40.9	4.5	13.6	20.5	93.2	93.2	47.7	25.0	4.5	0.0	0.37

### 3 年际变化

分析年际变化时,降水量考虑到延河流域面积相对小、雨量站分布基本均匀而且站点密度较高的特点,直接采用了算术平均法求出流域面雨量;径流分析中,考虑到流域控制站资料系列的单位统一和站点迁移所带来的面积因素影响,采用径流深代替了径流量;各要素频率分析采用了 P 型频率分析软件进行

适线和频率计算<sup>[4]</sup>。

#### 3.1 年值分析

延河流域多年平均面雨量为 495.6 mm,流域最大雨量为 840 mm(1964 年),最小雨量为 267.5 mm(1997 年)。1952—2001 年的变差系数  $C_v = 0.245$ ,  $C_s = 2 C_v$ , 1952—1969 年的  $C_v = 0.254$ ,  $C_s = 2.5 C_v$ ,

1970—2001 年  $C_v = 0.236$ ,  $C_s = 2 C_v$ , 呈逐步减小趋势。流域面雨量历年时变过程和不同年代变化也呈弱减小趋势(图 3 和表 3); 流域径流量的年际变化总的趋势是逐渐减少, 1957—2003 年  $C_v = 0.378$ ,  $C_s = 3 C_v$ , 1957—1969 年  $C_v = 0.472$ ,  $C_s = 3.5 C_v$ , 1970—1989 年  $C_v = 0.394$ ,  $C_s = 2.5 C_v$ , 1990—2003 年  $C_v = 0.348$ ,  $C_s = 3 C_v$ , 随着年代向后的推移, 流域不同年代平均径流量、极值比和变差系数等特征值都出现了减少趋势; 从年输沙量过程线中可以看出延河流域输沙量年际变化很大, 除了 1977 年, 其余年份自 20 世纪 70 年代以来有明显减小的趋势。1953—2000 年  $C_v = 0.828$ ,  $C_s = 2 C_v$ , 1953—1969 年  $C_v = 0.816$ ,  $C_s = 2 C_v$ , 1970—1979 年  $C_v = 0.943$ ,  $C_s = 2 C_v$ , 1980—1989 年  $C_v = 0.838$ ,  $C_s = 3.5 C_v$ , 1990—2000 年  $C_v = 0.842$ ,  $C_s = 2 C_v$ , 随着年代的推进, 流域不同年

代平均输沙量、极值比和变差系数等特征值也都出现了明显减少的趋势(表 3)。

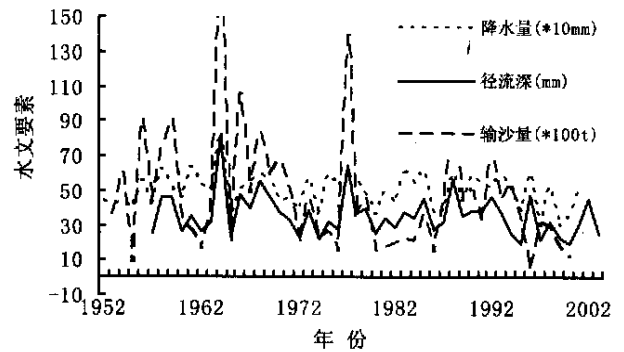


图 3 延河流域水文要素时变过程

表 3 延河流域水文要素时变特征统计

项目	平均	50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代
降水量/mm	495.6	475.1	550.7	492.9	486.0	473.5
较均值/ %	—	- 4.1	11.1	- 0.5	- 1.9	- 4.5
极值比	3.1	1.6	2.6	1.7	1.7	2.3
径流量/ $10^8 m^3$	2.6	2.9	3.1	2.4	2.6	2.4
较均值/ %	—	11.3	16.4	- 6.7	0.3	- 9.6
极值比	4.2	1.8	3.6	2.1	2.3	2.4
输沙量/t	4 540	5 750	6 070	4 680	3 190	3 460
较均值/ %	—	26.7	33.7	3.1	- 29.7	- 23.8
极值比	43.8	11.6	11.6	9.2	5.9	18.3

### 3.2 暴雨分析

分析了延河流域 1952—1989 年间的降雨资料, 结果发现该流域最大 1 d 降水量出现在 1983 年 8 月 14 日为 170.1 mm, 从 1952—1989 年暴雨频率分析 ( $C_v = 0.386$ ,  $C_s = 2 C_v$ ) 中可见, 此次暴雨已接近 100 a 一遇的强度, 而 1977 年在招安站出现的 165.9 mm 为次最大值, 也超过了 50 a 一遇的强度。频率小于 25 % 的特大暴雨在 70 年代之前没有出现, 而 70 年代出现了 1 次, 80 年代 2 次。从 1952 年以来, 尽管面雨量有逐渐减少趋势, 但最大 1 d 降水量次数则有增加的情况, 说明暴雨分布的不确定性很大。

### 3.3 洪水分析

延河流域出口控制站的洪峰流量在实测资料 (1957—1989) 中特大值出现在 1977 年 7 月 6 日, 为  $9 050 m^3/s$ , 超过了该站实测资料频率分析 ( $C_v = 0.755$ ,  $C_s = 2 C_v$ ) 结果的 1000 a 一遇洪量。从不同年代最大洪峰流量分析, 70 年代前后的洪量大小有明显差异, 超过  $2 000 m^3/s$  的 20 世纪 60 年代有 3 次, 而 70—80 年代各只有 1 次, 说明流域下垫面条件的改变

对流域降水产流机制所产生的影响很大, 对流域暴雨洪水一定的削峰和滞洪作用。

### 3.4 径流系数分析<sup>[6]</sup>

径流系数是指流域出口断面径流量与相应集水区降水量的比值。通过分析径流系数可以在消除集水面积影响下能够衡量单位降水在流域内产水量的大小及变化情况(图 4)。

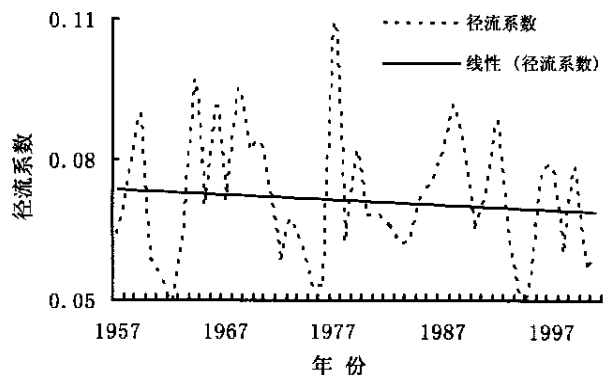


图 4 流域径流系数变化过程

(下转第 36 页)

变化规律,为各地制定森林采伐作业规程和监测采伐活动的合理性提供依据。

(4) 没有水道和水体周围缓冲区受保护程度的信息。很多林地与水道、水体相关联,设置水道和水体缓冲区有利于防治水土流失、保护河岸、保持水质清洁、维持水生生态系统的生产力和质量。《森林采伐更新管理办法》对大江、大河、水库和湖泊周围缓冲区的设置做出了规定,但是有多少水道和水体缓冲区得到了完全的保护还不清楚。为此,可以通过专题调查,并且以地理信息系统为工具来查明该项资源。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] ITTO. Criteria and Indicators for Sustainable Management of Natural Tropical Forests[S]. ITTO Policy Development Series No. 7. ITTO, Yokohama, Japan, 1998.
- [2] 庄作峰. 我国热带林资源现状与发展[J]. 世界林业研究, 2000, 13(6): 38—45.
- [3] 洪菊生, 陈永富, 黄清麟, 等. 森林可持续经营研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [4] ITTO. Reporting Formats for ITTO Criteria and Indicator for Sustainable Management of Natural Tropical Forests at the Forest Management Level[R]. Yokohama, Japan, 2001.
- [5] Castaneda F. Criteria and Indicator for Sustainable Forest Management: International Processes, Current Status and the Way Ahead. *Unasylva*, 2000, 51(203): 34—40.
- [6] The Montreal Process. Criteria and Indicators for the Conservation and Sustainable Management of Temperate and Boreal Forests[R]. The Montreal Process, Canada, 1999.
- [7] 陆文明. 森林可持续经营的标准和指标体系及其国际进展[J]. 中国林业, 1999, 5.
- [8] 蒋有绪. 森林可持续经营与林业的可持续发展[J]. 世界林业研究, 2001, 14(2): 1—8.
- [9] Castaneda F, Palmberg-Lerche C, Vuorinen P. Criteria and indicators for sustainable forest management: A compendium, Forest Management Working Paper FM/ 5[R]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization, Forest Resources Development Service, Forest Resource Division. 2001.
- [10] 国家林业局. 中国森林可持续经营标准与指标[M]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [11] 陈雪峰, 谢守鑫, 杜纪山, 武来成. 亚太地区森林采伐作业规程对我国森林采伐工作的启示[J]. 林业资源管理, 1999(6): 27—30.

(上接第 14 页)

流域径流系数有逐年减小的趋势,即单位降水量所产生的径流量在逐步减少,说明流域生态治理增强了下垫面的降雨入渗能力,增大了流域植被的下渗量和截留量,从而影响了流域产汇流机制的通常状况,对出口控制站的洪峰流量起到了缓解和削峰的作用。

## 4 结 论

经过对延河流域自 20 世纪 50 年代初以来的降水、径流及泥沙实测资料进行时变过程分析,可以判断出,区域水土流失治理措施对流域水文响应的程度,其中对降水量变化的影响相对小些,而对径流尤其是对河流泥沙的影响很明显。降水量的年内分配变化不大,不均匀系数变幅也很小,面雨量的年际变化也不大,变差系数随年代在缓慢变小;径流量的年内分配变化比降水要大,不均匀系数在波动中逐步变小,年径流量的年际变化比降水剧烈,变差系数也比降水量大,而且逐步在减小;河流泥沙情况,随降水、径流的变化而变化,尤其是受流域暴雨洪水的分布和变化的影响更大。含沙量年内分配的变化情况,主要是最大两个月间逐步趋向平均,年输沙量的年际

变化比径流的变化还大,变差系数也大,并随着流域治理程度的逐步加大,年输沙量在显著变小。

各水文要素总体从 20 世纪 70 年代以来开始呈现明显的减少趋势。20 世纪 70—90 年代流域面雨量,较 60 年代分别减少了 10.5%, 11.7% 和 14.0%; 年径流量分别减少了 19.0%, 12.9% 和 22.6%; 年输沙量分别减少了 21.1%, 46.2% 和 41.7%。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 穆兴民. 黄土高原水土保持对河川径流及土壤水文的响应[D]. 杨凌: 中国科学院水利部水土保持研究所, 2002.
- [2] 张孝中, 张经济, 冀文慧, 等. 无定河延河流域水沙变化现状、成因及发展趋势的研究[R]. 陕西省水土保持勘测规划研究所, 1998.
- [3] 汤奇成, 李秀云. 径流年内分配不均匀系数的计算和讨论[J]. 自然资源学报, 1982(3): 59—65.
- [4] 中华龙—水文频率分析 CAD 系统[Z]. <http://www.wiseperson.com>.
- [5] 水利水电工程设计洪水计算规范[S]. 44—93
- [6] 黄锡荃, 李惠明, 金伯欣, 等. 水文学[M]. 高等教育出版社, 1998.