

黄河河口镇至龙门区间来水来沙变化及其对水利水保措施的响应

穆兴民^{1,2}, 巴桑赤烈³, ZHANG Lu⁴, 高鹏^{1,2}, 王飞^{1,2}, 张晓萍^{1,2}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100;

3. 西藏自治区水文水资源勘测局, 西藏 拉萨 850000; 4. CSIRO Land and Water, GPO Box 1666, Canberra, A. C. T. 2601, Australia)

摘要:采用现代统计学中的变点分析法、历时曲线法和双累积曲线法对黄河中游河口镇到龙门区间 1952 - 2000 年降水、径流和泥沙量进行了综合分析。结果表明:黄河河龙区间多年平均降水量为 434.5mm, 径流量 $53.3 \times 10^8 \text{ m}^3$, 输沙量 $7.2 \times 10^8 \text{ t}$ 。上世纪 50 年代以来, 区间面平均降雨量并未发生显著的趋势性变化, 而径流和输沙量均发生了显著性趋势性减少, 但在这种趋势性减少过程中, 上世纪 90 年代则表现出微弱增加。与前期相比, 在消除降雨量影响后, 区间径流量降低幅度一般在 20% - 30%, 而输沙量在低频率部分(相当于汛期)减小幅度达 40%, 高频部分(相当于非汛期)有所增加。根据建立的区间面平均降雨量与径流量及输沙量关系分析, 黄河河龙区间因人类活动的直接作用使区间径流量年均减少 $18.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 输沙量年均减少 $3.7 \times 10^8 \text{ t}$ 。与前期相比, 区域水土保持措施是区间径流和泥沙减少的主要驱动力。

关键词: 降雨; 径流; 泥沙; 历时曲线; 水土流失; 水土保持; 河龙区间; 黄土高原; 黄河

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 0468-155X(2007)02-0036-06

黄河中游地区的河口镇至龙门区间(简称黄河河龙区间)位于黄河中游的晋陕峡谷段, 是黄河流域水土流失最严重的地区和黄河多沙粗沙集中来源区, 也是黄河流域三大洪水来源区之一^[1], 因此, 该区域也是黄河流域水土保持生态建设重点区。在区域尺度上, 水文泥沙变化对水土保持措施的响应规律只有足够长的时间之后才能表现出来。尽管在 1959 年 3 月 12 日原水电部在陕西省西安市召开的黄河中上游水利化及水土保持效果观测研究协作会议, 已决定在黄河中上游地区开展水利化及水土保持措施对年径流、洪水及泥沙变化影响的观测研究^[2], 但直到上世纪 80 年代以后才有了较多地研究。长期以来, 特别是上世纪 70 年代以来黄河河龙区间的大规模、高强度水土流失治理使黄河河龙区间径流和泥沙量显著减少^[3-6]。黄河水沙的这种变化是偶然性的随机性还是趋势性的, 其变化的驱动力又是什么, 引起了各方面的极大关注^[3,4]。研究表明: 黄河径流和泥沙变化是降雨和人类活动综合作用的结果, 尽管有关径流和输沙总量变化研究较多, 但变化的数量和各因素的作用大小莫衷一是。有关水沙变化规律的研究相对较少。尽管对一些中小尺度流域径流规律有所研究, 但大多数研究将水沙割裂开来, 采用的方法也较单一, 缺乏对水沙变化的综合认识^[2,7-9]。另外, 目前的多数研究应用资料时间到 1989 年, 缺少近十年来径流和泥沙变化的分析。本文采用多种定量分析方法及最新资料, 对黄河河龙区间的降雨、径流和泥沙进行综合分析研究, 认知规律, 为治理黄河提供参考。

1 研究区域概况

黄河河龙区间东以吕梁山为界, 西邻北洛河, 位于由于旱向半干旱半湿润气候的过渡区, 其位置示

收稿日期: 2005-12-08

基金项目: “973”项目 2007CB407203; 中国科学院西部行动 KZCX2-XB2-05; 中澳合作项目(LWR1020020018)及中国科学院“西部之光”项目

作者简介: 穆兴民(1961-), 男, 陕西华阴人, 生态水文学博士/研究员/博导, 发表论文 103 篇, 出版著作 9 部。

E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn

意如图 1。黄河河龙区间,土地面积 86 100km²,干流长 517km,支流水系发育,流域面积在 1 000km² 以上的较大支流有浑河、偏关河、窟野河、无定河、延河等 21 条,占对黄河干流泥沙影响最大、水土流失严重的 30 条支流的 70%。区内黄土层深厚,土质疏松,沟壑纵横,植被稀少,且高强度暴雨集中。各种黄土侵蚀地貌发育典型,黄土斜梁沟壑、黄土梁峁沟壑及黄土阶状丘陵分布广泛,可分为黄土丘陵区、沙砾丘陵区、风沙草原区和基岩山地区等四个地貌单元,其中前两种地貌区面积大、侵蚀产沙最为剧烈。

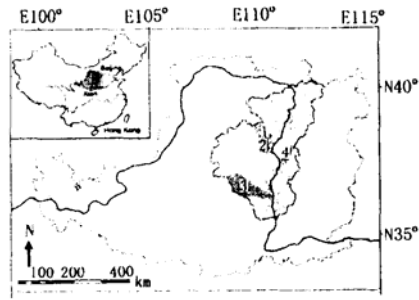


图 1 河口镇至龙门区间位置示意图

Fig.1 Sketch of the reach from Hekou to Longmen in the Yellow River basin

2 资料与方法

2.1 资料情况

资料为 1952 - 2000 年的逐年各月降雨量、径流量和泥沙量,所有资料均采用实测值。研究区水文及泥沙测站为上游的河口镇和下游的龙门站,区间的径流和输沙量用下游与上游的差值来表示。由于其他因素的影响,采用二站差值法时,区间部分月份的径流量出现负值,这种情况在 1971 年以前出现 6 月次,1972 年之后出现了 18 月(次),为便于分析,均将此值剔除。降雨量用气象站和水文站测得的降雨量,本文选择皇甫、龙门、头道拐、吴堡、林家坪、神木、岢岚、偏关、延川、子长、高家堡、高家川、赵石窑、甘谷驿和志丹等 16 个雨量站以及东胜、河曲、横山、离石、绥德、五寨、隰县、兴县、延安、伊金霍洛旗、右玉、榆林等 12 个气象站,共计 28 个站的降雨量资料,河龙区间面平均降雨量采用 28 站的算术平均法求得。

2.2 研究方法

2.2.1 要素的变化趋势及跃变点分析:某一要素如降雨量、径流量或输沙量的时间序列是否存在某种趋势性变化?对此,我们采用 Spearman 秩相关和 Kendall 秩相关分析方法^[2]进行统计分析。

如果存在趋势性变化,那么,在什么时间发生变化?本文采用 Pettitt 在 1979 年提出的一种非参数统计检验方法进行统计检验分析^[1]。其核心是通过统计的方法检验时间序列要素均值变化的确切时间来确定跃变变化的确切时间。该检验使用 Mann-Whitney 的统计量 $U_{i,j}$ 来检验同一个总体的两个样本 x_1, \dots, x_i 和 x_{i+1}, \dots, x_N 的。统计量 $U_{i,j}$ 的公式为

$$U_{i,j} = U_{i-1,j} + \sum_{j=1}^i \text{sgn}(x_i + x_j) \quad (1)$$

式中:如果 $x > 0$,则 $\text{sgn}(x) = 1$;如果 $x = 0$,则 $\text{sgn}(x) = 0$;如果 $x = -1$,则 $\text{sgn}(x) = -1$ 。 j 和 $t = 2, \dots, N$ 。该检验统计第一样本里的数据超过第二样本数据的个数累积值。Pettitt 检验的零假设为没有变化点,就是统计量 K_N 、 K_N 和相关概率的显著性检验的公式分别如下

$$K_N = \text{Max}_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (2)$$

$$p \cong 2 \exp\{-6(K_N)^2 / (N^3 + N^2)\} \quad (3)$$

2.2.2 历时曲线法:历时曲线方法源于分析流域某一给定流量与发生频次关系的流量历时曲线^[2],表示某一流量超过所有历史记录的时间比例,反映了从低流量到洪水的各个流量状态下的径流特征,是一种简单而全面地、图示化地反映整个研究时段流域径流的变化特征的方法。Clemens Herschel 在 1880 年第一次使用流量历时曲线方法来分析流域流量变化特征^[3]。从 20 世纪上半叶开始,特别是随计算机技术的发展和运用,流量历时曲线方法则被广泛的用于水电、水资源供给、灌溉规划、无资料地区径流、水文模型结果的校验、区域水文特征分析。Smakhtin 认为流量历时曲线参数及其曲线的形状受水资源开发和土地利用类型的影响^[4],近年来该方法被用于土地利用变化的水文效应研究。本文将流量历时曲线的方法拓展用于分析区域月平均降雨量、月平均径流量和月平均输沙量的变化。

3 结果分析

3.1 黄河河龙区间径流量和输沙量变化及其驱动力

黄河河龙区间面平均降雨量、径流量和输沙量等要素的时序变化的 Spearman 和 Kendall 秩相关系数如表 1。表明:区间径流量和输沙量的秩相关系数达到 0.01 信度的显著性水平,而降雨量未达到;秩相关系数均为负值,说明:随着时间的推移,区间径流量和输沙量呈趋势性减小特征。

表 1 河龙区间水文三要素年际变化趋势的秩相关分析
Table 1 Order correlation of rainfall, stream flow and sediment in Hekou-Longmen region

项目	降水		区间径流		区间泥沙	
	系数	显著性水平	系数	显著性水平	系数	显著性水平
Spearman	-0.116	—	-0.636	**	-0.455	**
Kendall	-0.085	—	-0.441	**	-0.310	**

- 表示信度低于 0.05 水平; **表示信度达 0.01 水平

黄河河龙区间不同年代三个水文要素特征值如表 2。面平均降水量及其特征值在上世纪 60 年代最大,之后逐渐减小。区间径流量,在 50 年代最大,之后逐渐减小,而 90 年代有所增大;其极值比和变差系数在上世纪 50 年代均为最大。区间输沙量,在 50 年代最大,之后大幅减少,到 90 年代则出现小幅度增加;极值比和变差系数在 60 年代最大,之后递减。

表 2 河龙区间不同年代水文要素特征值
Table 2 Eigenvalues of rainfall, stream flow and sediment in several ten-ages in Hekou-Longmen region

系列	面平均降水/mm			区间径流/ $10^8 m^3$			区间输沙/ $10^8 t$		
	平均	极值化	变差系数	平均	极值化	变差系数	平均	极值化	变差系数
多年平均	438.6	3.0	0.2	53.3	3.6	0.4	7.2	11.2	0.7
50 年代	449.5	1.8	0.2	75.3	1.9	0.3	11.2	4.9	0.6
60 年代	469.7	3.0	0.3	65.6	2.9	0.3	9.5	10.8	0.6
70 年代	424.6	1.9	0.2	51.3	1.9	0.2	7.5	4.5	0.5
80 年代	424.1	1.6	0.1	37.1	1.9	0.2	3.8	4.1	0.5
90 年代	407.3	1.6	0.1	41.4	2.0	0.2	4.7	4.1	0.4

采用 Pettitt 方法分析的区间降雨量、径流量和输沙量发生趋势性跃变的临界年份如图 2 和图 4。可以看出,在 95% 信度水平下,1952 - 2000 年间黄河河龙区间降雨量并未发生趋势性变化;而径流量和输沙量的统计检验指标分别在 1971 年和 1979 年出现最低点并超出临界水平线,说明从此年份开始发生明显变化。

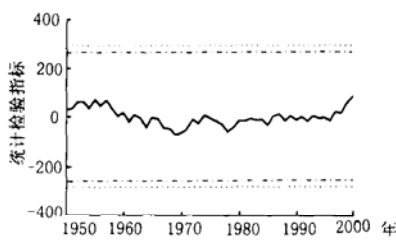


图 2 河龙区间降雨量趋势变化临界年份分析
Fig.2 Analysis of the critical year of rainfall in the Hekou-Longmen region

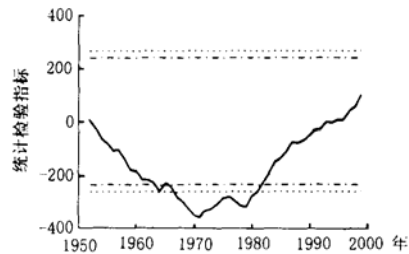


图 3 河龙区间径流量趋势变化临界年份分析
Fig.3 Analysis of the critical year of runoff in the Hekou-Longmen region

根据临界年份,将水文要素系列分为前期(径流量指 1952 - 1970 年,输沙量指 1952 - 1979 年),之后和后期。分析表明:前期的年均降雨量、径流量和输沙量分别为 466.6mm、 $69.0 \times 10^8 m^3$ 和 $10.4 \times 10^8 t$,后期则分别为 420.3mm、 $42.5 \times 10^8 m^3$ 和 $5.1 \times 10^8 t$ 。与前期相比,在年平均降雨量减少 10% 情况下,黄河河龙区间的径流量和输沙量分别减少了 39% 和 51%。降雨和人类活动是径流量和输沙量的基本动力要素,由于降雨量并未表现出明显的趋势性变化,据对黄土高原水沙变化原因的综合分析,区域水利水保工程对区间径流量和输沙量的趋势性减少起着主导作用^{2,6,7,15,17}。

3.2 水文要素变化规律的频率分析

为消除不同时期因降雨量的差异对径流、泥沙量的影响,用每年的月平均降雨量除以径流量或输沙量,并分别称之为标准化后的径流量和标准化输沙量(无量纲量)。由于采用月值,则低频率部分与汛期相对应,高频率部分则与非汛期相对应。

不同时期月降水量及标准化径流量和标准化输沙量的历时频率曲线如图 5(a,b,c)。可以看出:区间治理前、后期的降雨量整体并无明显变化;与前期相比,区间径流量有明显的趋势性降低;与前期相比,输沙量在低于 77% 的频率下,输沙量减少,而大于 77% 频率下输沙量有所增大。即与前期相比,河龙区间汛期输沙量减少,非汛期反而有所增加。

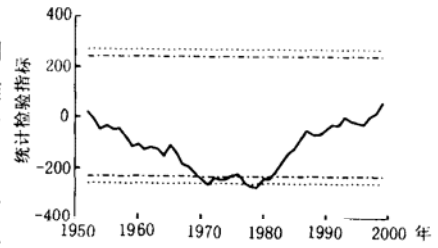


图 4 河龙区间输沙量趋变化临界年份分析
Fig.4 Analysis of the critical year of sediment in the Hekou-Longmen region

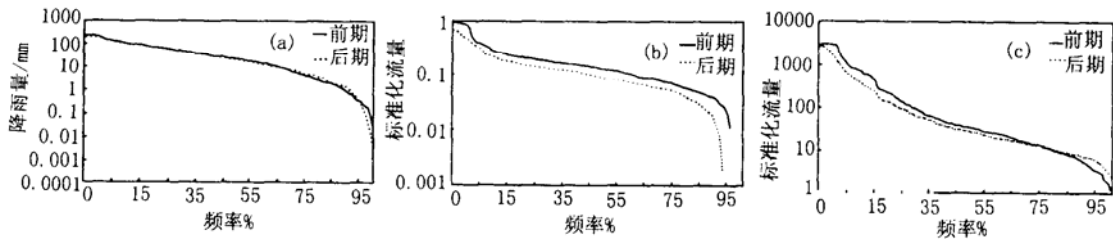


图 5 河龙区间不同时期降雨量(a)及黄河径流量(b)和输沙量(c)历时曲线

Fig.5 The duration curves of rainfall (a) and runoff (b), sediment (c) in the Hekou-Longmen region

不同时期典型频率下标准化径流量和泥沙量及其差值如表 3。与前期相比,径流量较前期明显降低,降低幅度在 20% - 30%;输沙量整体表现减少趋势,但在不同频率下降低程度差异较大,低频率部分输沙量减小幅度大,而在高频部分即频率大于 77% 的非汛期(相当于 1 月和 2 月)输沙量有所增加;从相对变化百分比看,低频率部分(汛期)输沙量减小幅度最大,高频率部分(非汛期)径流量的减少幅度最大。

表 3 前后期不同频率降雨量和标准化径流量和输沙量变化

Table 3 Changes of stream flow and sediment between prior and late periods under several rainfall frequencies in Hekou-Longmen region

频率		5	10	50	70	80	95
标准化径流量	前期值	0.38	0.28	0.13	0.08	0.06	0.03
	后期值	0.31	0.21	0.09	0.06	0.05	0.02
	较前期增减%	-18.8	-25.7	-31.5	-25.3	-21.9	-41.4
标准化输沙量	前期值	1039.85	693.32	34.09	15.94	9.82	3.29
	后期值	582.19	386.61	26.47	15.20	11.24	5.68
	较前期增减%	-44.0	-44.2	-22.4	-4.7	14.5	72.8

3.3 区间降水量对径流量、输沙量的作用规律

按照时序变化的进程对降水量和径流量等随机数据进行累加处理,可以起到对随机过程数列的滤波平滑、削弱随机变化,显现径流量和输沙量变化的趋势过程。采用双累积曲线法^[24](double mass curves)来分析河龙区间降雨量与产流量、降雨量与输沙量关系,如图 6 和图 7 可以看出:累积年降雨量与累积年径流量、累积年降雨量与累积年输沙量关系表现出明显的两个时段特征。本文以 1971 年和 1979 年分别为径流量和输沙量临界年份,建立黄河河龙区间前期的累积径流量($\sum R$)与累积降雨量($\sum P$)以及累积输沙量($\sum S$)与累积降雨量($\sum P$)关系,其回归方程如下

$$\sum R = 0.1144 \sum P \quad (4)$$

$$\sum S = 0.0167 \sum P \quad (5)$$

式中, $\sum R$ 为累积径流量(10^8 m^3)、 $\sum S$ 为累积输沙量(10^4 t)和 $\sum P$ 为累积降雨量(mm)。式(4)的决定系

数(R^2)为 0.9996,式(5)的决定系数为 0.9994,统计检验达到 0.001 信度水平,可用于分析与预测降雨量对径流量和输沙量的影响。

根据式(4)和式(5)可分别预测临界年份之后不同年降雨量时的径流量和输沙量,其值相当于临界年份以前治理水平下区间降雨量所形成的径流量和输沙量。然后,结合预测值和实测径流和输沙量,评价区间水利水保措施对径流量和输沙量的影响。在临界年份以后,图 6 和图 7 中的实线(表示模拟的径流量和输沙量)与虚线(表示实测径流量和输沙量)间的差值的大小表示区间水利水保措施对径流量和输沙量的影响大小。上世纪 70、80 和 90 年代由于区域水利水保工程减少的径流和泥沙量计算成果如表 4。与 50-60 年代相比,黄河河龙区间因水利水保工程等措施使区间径流量年均减少 $18.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,输沙量年均减少 $3.682 \times 10^8 \text{ t}$,各年代中以 80 年代减少量最大。参考水利部水沙基金二期的计算成果^[13],可以看出:水土保持措施的作用占 5 成以上,在相同时段内,水土保持措施的减沙相对比例较减水比例大。根据表 4 资料 and 不同因素影响分析方法^[13,14]可分析黄河河龙区间径流量与输沙量变化的驱动因素。结果表明:与前期平均值相比,后期水土保持措施对径流量的影响占 39%,降雨量影响占 29%,其它人类活动的影响占 32%。对输沙量的影响,水土保持措施的作用占 55%,降雨量影响占 30%,而其他因素的影响占 29%。总体而言,水土保持措施对区间的径流量和输沙量的影响较大。

表 4 河龙区间水利水保工程对径流量和输沙量的影响

Table 4 Impacts of hydrological and conservation works on stream flow and sediment in Hekou-Longmen region

项目	区间径流量/ 10^8 m^3					区间输沙量/ 10^8 t				
	预测	实测	减水量	水保因素 减水量	降雨因素 减水量	预测	实测	减沙量	水保因素 减沙量	降雨因素 减沙量
前期	69.09	69.09			10.35	10.35				
70 年代	62.30	51.29	11.01	8.614	6.782	9.000	7.549	1.452	2.313	1.346
80 年代	62.90	37.12	25.78	9.302	6.188	9.182	3.847	5.334	2.199	1.165
90 年代	61.24	41.38	19.86	10.836	7.843	8.940	4.681	4.259	2.738	1.406

注:1、“预测”为用式(4)和式(5)的模拟值;2、“减水量”和“减沙量”分别为去除降水量影响因素后的值;3、“水保因素减水量”采用了水利部水沙基金二期中水保法计算成果,90 年代值为 1990-1996 年均值

4 结论

本文应用 1952-2000 年期间黄河河口镇至龙门区间的降雨量、径流量和输沙量资料,结合现代统计学分析方法,分析了河口镇至龙门区间径流量及输沙量的变化规律及其影响因素。根据统计学原理,尽管面均降雨量有所减少但区间面平均降雨量并未发生显著的趋势性变化;在此期间径流量和输沙量分别从 1971 年和 1979 年开始出现明显减少趋势。用降雨量除以区间径流和输沙量得到标准化径流量和输沙量(以消除降雨量的影响)。用历时曲线法分析,前期(径流量指 1952-1971 年,输沙量指 1952-1979 年)与后期(径流量系列指 1972-1999 年,输沙量系列指 1980-1999 年)相比,在人类活动的综合作用下,径流量降低幅度一般在 20%-30%,而输沙量在低频率部分(相当于汛期)减小幅度达 40%,高频部分(相当于非汛期)则有所增加。

根据建立的区间面平均降雨量与径流量及输沙量关系分析,相对于前期,黄河河龙区间后期因人类活动的影响使区间年均径流量约减少 $18.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,输沙量约减少 $3.7 \times 10^8 \text{ t}$,以 80 年代的减少量最大。根据水利部水沙基金二期计算的水土保持措施减水减沙成果^[13],与前期平均值相比,后期水土保持措施对径流量的影响占 39%,降雨量影响占 29%,其它人类活动的影响占 32%。对输沙量的影响,水土保持措施的作用占 55%,降雨量作用占 30%,而其他因素的作用占 29%。区间水土保持措施是导致上世纪 70 年代以来黄河径流和泥沙量减少的主要驱动力。

参考文献:

- [1] 叶青超. 黄河流域环境演变与水沙运行规律[M]. 济南: 山东科技出版社, 1994.
- [2] 穆兴民. 黄土高原水土保持对河川径流及土壤水文的影响[D]. 西北农林科技大学, 2002.

- [3] 张学成,王玲,高贵成.黄河泥沙动态分析[J].泥沙研究,2002,(1):43-52.
- [4] 饶素秋,霍世青,等.黄河上中游水沙变化特点分析及未来趋势展望[J].泥沙研究,2001,(2):74-77.
- [5] 穆兴民,陈莽巍,王文龙,徐学选.黄土高原水土保持与黄河断流关系研究[J].水土保持通报,2000,20(7):21-23.
- [6] 穆兴民,徐学选,陈莽巍.黄土高原生态水文研究[M].北京:中国林业出版社,2001.
- [7] 齐璞.黄河中下游水沙变化趋势[J].地理研究,1989,(2):74-81.
- [8] Huang, M. and Lu Zhang. Hydrological responses to conservation practices in a catchment of the Loess Plateau, China[J]. Hydrol. Process, 18: 1885-1898, 2004.
- [9] 穆兴民.黄土高原沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响[J].水利学报,1999,(2):71-75.
- [10] 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.
- [11] Pettitt, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem[J]. Applied statistics, 1979, 28(2): 126-135.
- [12] Vogel, R. M. and N. M. Fennessey. Flow Duration Curves I: A New Interpretation and Confidence Intervals[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 120(4), 1994.
- [13] Foster, H. A. Duration curves[J]. ASCE Trans., 1934(99): 1213-1267.
- [14] Smakhtin, V. U. A concept of pragmatic hydrological time series modeling and its application in South African context[M], Ninth South African National Hydrology Symposium, 29-30 Nov. 1999, 1-11.
- [15] 冉大川,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,2000,124-137.
- [16] 穆兴民,李靖,等.基于水土保持的流域降水——径流统计模型及其应用[J].水利学报,2004,(5):122-128.
- [17] 徐建华,等.水利水保工程对黄河中游多沙粗沙区径流泥沙影响的研究[M].郑州:黄河水利出版社,2000,158-174.

Impact of soil conservation measures on runoff and sediment in Hekou-Longmen region of the Yellow River

MU Xing-min^{1,2}, BASANG Chille³, ZHANG Lu⁴, GAO Peng^{1,2},
WANG Fei^{1,2}, ZHANG Xiao-ping^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi Province, 712100, China;

2. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi Province, 712100, China;

3. The Bureau of Hydrology Tibet, Lhasa, Tibet, 850000, China;

4. CSIRO Land and Water, Christian Laboratory, GPO Box 1666, Canberra, ACT, 2601, Australia)

Abstract: Catchments in the Loess Plateau have been under the influence of human activities for centuries, in which the main influence came from accelerated and intensified soil conservation measures in the last four decades. It is important to evaluate the effects of these measures on the runoff and sediment in order to develop sustainable catchment management plans in the region. This study evaluated changes of the data of precipitation, runoff and sediment from 16 precipitation gauging stations and 2 hydrologic stations under large soil conservation measures. The non-parametric Mann-Kendall test was used to identify trends of annual precipitation, runoff and sediment transportation. The results showed significant downward trends for the runoff and sediment whereas no significant trend for the precipitation during the period of record. The Pettitt's test indicated that a change point occurred in 1971 for runoff and 1979 for sediment transportation. Comparison of monthly flow duration curves for 19 years (1952-1970) and 30 years (1971-2000) showed significant changes in stream-flow regime. Reduction in most percentile flows varied from 20 to 30%. Whereas in sediment transportation, for 27 years (1952-1978) and 22 years (1979-2000), reduction in low flows reached to 40%, and in high flows even higher. The relations among precipitation, runoff, and sediment transportation were established in the study area. The results showed that due to the direct impacts of human activities, the runoff in the study area decreased annually by $18.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, the sediment transportation decreased by $3.7 \times 10^8 \text{ t}$. Compared to former periods, establishment of soil conservation measures in the study area was expected to be the driven factor to the decrease of runoff and sediment transportation.

Key words: precipitation; runoff; sediment; changing point; soil conservation; Hekou-Longmen region; the Yellow River