

沂河流域水沙变化趋势及成因分析

贾运岗

(山东省临沂市水利勘测设计院, 山东 临沂 276000)

摘要:为了揭示变化环境下沂河流域径流量和输沙量减少的原因,选取反映该流域水沙变化趋势的代表水文站——临沂站,利用 50 余年来的实测年径流量及年输沙量资料,采用滑动平均法、Mann-Kendall 非参数秩次相关检验法,对该流域水沙变化趋势进行了研究。结果表明:在一定显著性水平下,沂河流域径流量与输沙量在多年变化中均呈明显下降趋势。最后,针对影响水沙变化的降水与人类活动因素,应用不同时段雨—水—沙关系,定量计算了不同时段的水沙衰减量以及由于雨水衰减影响和水土保持影响的减沙量所占比重。针对临沂的实际情况,应继续加强水土保持工作,实施流域综合治理。

关键词:水沙年际变化;趋势检验;成因分析;沂河流域

中图分类号:P332.4;P332.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)02-0142-04

Analysis of Variation Trends and Cause of Runoff and Sediment in Yihe River Basin

JIA Yungang

(Linyi Institute of Water Conservancy Survey & Design, Linyi, Shandong 276000, China)

Abstract: In order to reveal the cause for reduction of runoff and sediment in the changing environment, bases on the observed data in the past 50 years at Linyi hydrologic station that reflects the hydrological variation trends of runoff and sediment in the Yihe River Basin, through several non-parameter statistical methods such as the moving average check and the Mann-Kendall test, we analyzed the trends of runoff and sediment in the river basin. The results showed that the runoff evolvement and sediment transport at the Linyi Hydrologic station presented the significant decrease trend. In view of the major factors correlated with the runoff and sediment transport changes such as the rainfall, soil conservation, the sediment descending proportions caused by the reduction of rainfall and soil conservation were valuated based on the relationships between rainfall, water and sediment. According to the actual situation of Linyi City, the work of soil conservation and implement comprehensive management in the river basin should be continued to strengthen.

Keywords: inter-annual variability of runoff and sediment; trends test; cause analysis; Yihe River Basin

沂河是淮河流域沂沭泗水系中较大的河流。近年来,由于气候变化和人类活动的影响,沂河流域径流量和输沙量呈减少趋势,为了揭示变化环境下沂河流域径流量和输沙量减少的原因,不少学者从水沙和径流等方面开展了研究。史红玲等利用 50 余年来的实测年径流量及年输沙量资料,提出淮河支流及沂、沭、泗水系各站年径流量减小趋势明显;淮河流域来沙量呈现显著减少的趋势^[1]。陆建宇等通过 43 a 的天然月径流资料提出沂河临沂站天然年径流量、汛期径流量存在显著的减少趋势^[2]。宋晓猛等以沂河临沂站以上流域为研究对象,对 1951—2002 年的水文时间序列资料进行分析,研究流域径流演变特征及其驱动力因子。结果表明,降雨量变化不明显,多年平

均径流量变化很大,呈下降趋势^[3]。陆建宇等以沂沭河流域为研究区,根据流域内 7 个代表性雨量站进行分析,得出结论:各站年、汛期、非汛期降水多呈不同程度的减少趋势^[4]。薛丽芳等以沂河流域为研究区,运用水文特征参数时间序列法,通过临沂站 50 a 来天然径流过程的回归模拟及其与实测径流的比较,定量分析气候变化和人类活动对径流的影响。结果表明:近 50 a 来沂河流域年径流量和各月径流量显著减少^[5]。巩灿娟通过土地利用/覆被数据和近 50 a 气候、水文资料运用 SWAT 模型分析沂河流域地区的土地类型变化引起的水文效应,得出人类活动方面,流域径流变化主要与水土保持、水利工程建设、工农业及生活用水量变化、土地利用/覆被变化四个方

面有关的结论^[6]。这些研究虽对沂河水沙及沂河径流做了一些研究,但是没有对沂河流域水沙变化趋势及成因分析进行专门研究。本文对沂河流域降水量、径流量和输沙量进行分析研究,初步估算水土保持(水利工程)措施对径流量和输沙量的影响,为进一步提高沂河流域水土保持减沙的有效性和持续性提供决策依据。

1 沂河流域概况

沂河是临沂市最大的山洪河道,属于淮河水系,沂河发源于沂蒙山的鲁山南麓,南流经山东省的沂源、沂水、沂南、兰山、河东、罗庄、兰陵、郯城8县区,在郯城县吴道口入江苏省,至新沂苗圩入骆马湖;1953年在江苏省开挖新沂河后,沂、沭河洪水经骆马湖入新沂河,东流在燕尾港入黄海。沂河全长333 km,控制流域面积11 820 km²。下游由于开辟新沂河、“分沂入沭”等河道整治工程,流域界限破坏,本研究区为临沂站以上相对完整的流域。沂河临沂站以上河道长223 km,集水面积10 315 km²,占全流域面积的87.3%。河流域属温带季风区大陆性气候,雨热同期,四季变化明显。沂河属雨源性山洪河道,径流在时间上的变化特点与降雨相似,年内、年际变化大,枯季流量较小,洪水主要集中在主汛期,源短流急,一次洪水过程一般1~4 d。河床组成为中砂及细砂。沂河属多泥沙推移质造床为主的山洪河道,流域内山岚起伏,沟壑纵横,支流河短,坡陡流急,加上流域内植被较差,降雨汇流时间较短,河水暴涨暴落。

2 数据资料与研究方法

2.1 资料选取

临沂水文站是沂河主要控制站,也是分析沂河河川径流演变规律的重要源头站点。沂河临沂站的实测水沙系列资料较齐全,代表性强。因此,为反映沂河流域水沙总体变化,以临沂水文站的水沙量代表沂河流域来水来沙量。统计了临沂站1954—2007年的年径流量和年输沙量连续资料。其中1954—2001年的数据由临沂市水文局提供,2002—2007年的数据摘自《中国河流泥沙公报》^[7]。

2.2 水沙趋势研究方法

对于统计分析法中的Mann-Kendall法、线性趋势回归检验、Spearman秩次相关检验和累加滤波器法,Mann-Kendall等方法在水沙态势变化分析过程中简单有效,使用较为普遍^[8-10]。

Mann-Kendall(M-K)秩相关检验法是一种非参数统计检验方法,常用来评估有关气候要素的时间序

列趋势,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量,以适用范围广、人为性少、定量化程度高而著称。基于上述优点,同时沂河流域临沂站水沙资料系列较齐全,故选用Mann-Kendall(M-K)秩相关检验法来分析流域水沙变化趋势^[11]。

方法为:对序列 $X_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$,其趋势检验的统计量为

$$U(d_i) = \frac{[d_i - E(d_i)]}{[\text{var}(d_i)]^{1/2}} \quad (1)$$

式中:

$$d_i = \sum_{j=1}^i \sum_{i=1}^{j-1} a_{ij} \quad a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当 } i < j, x_i < x_j \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$E(d_i) = \frac{l(l-1)}{4} \quad (3)$$

$$\text{var}(d) = \frac{l(l-1)(2l+5)}{72} \quad (4)$$

式中: $U(d_i) = 0$; $E(d_i)$, $\text{Var}(d_i)$ 分别是累计数 d_i 的均值和方差。

当 n 增加时, $U(d_i)$ 很快收敛于标准化正态分布,在给定显著性水平 α 下,在正态分布表中查得临界值 $U_{\alpha/2}$,当 $|U(d)| < U_{\alpha/2}$ 时,接受原假设,即趋势不显著;若 $|U(d)| > U_{\alpha/2}$,则拒绝原假设,即认为趋势显著。当统计量 $U(d_i)$ 为正值,说明序列有上升趋势; $U(d)$ 为负值,则表示有下降趋势。对于显著水平 $\alpha = 0.05$, $U(d)$ 的临界检验值为 ± 1.96 。

2.3 水沙变化影响因素分析方法

影响流域产流产沙的主要因素包括降雨、流域下垫面条件以及人类活动等3大方面,另外,沂河流域面积大,水沙量也大。就同一流域而言,由于地质地貌条件相对稳定,年际间流域面积也相对稳定,故水产沙量的多少主要取决于降水和人类活动影响。流域降水是地表产沙的动力条件,其时空(包括时间、落区、强度、历时等)分布,对流域水产沙有直接影响;而水土保持、雨水集蓄、土地利用等人类活动改变了流域下垫面,使产流机制发生了变化^[12]。因此,水土保持和降雨的变化是导致水沙量变化的根本和直接原因。为了消除降雨的影响,令

$$E = W_s / P \quad (5)$$

令相邻时段的平均值分别为 W_{s1}, W_{s2}, P_1, P_2 及 E_1, E_2 。对 $W_s = E \cdot P$ 取全微分,并以差分形式表示为

$$\Delta W_s = W_{s1} - W_{s2} = \frac{P_1 + P_2}{2} (E_1 - E_2) + \frac{(E_1 + E_2)}{2} (P_1 - P_2) = \bar{P} \cdot \Delta E + \bar{E} \cdot \Delta P \quad (6)$$

若 P 不变, 则 $\Delta W_s = \bar{P} \cdot \Delta E$ 计为水土保持影响; 若 E 不变, 则 $\Delta W_s = \bar{E} \cdot \Delta P$ 计为雨量影响。

同理, 令 $D=W/P$

则 $W=D \cdot P$ 。令相邻时段的平均值各为 W_1, W_2, P_1, P_2 及 D_1, D_2 。对 $W=D \cdot P$ 取全微分, 并以差分形式表示为

$$\Delta W=W_1-W_2=\frac{P_1+P_2}{2}(D_1-D_2)+\frac{D_1+D_2}{2}(P_1-P_2)=\bar{P} \cdot \Delta D+\bar{D} \cdot \Delta P \quad (7)$$

若 P 不变, 则 $\Delta W=\bar{P} \cdot \Delta D$ 计为水土保持影响; 若 D 不变, 则 $\Delta W=\bar{D} \cdot \Delta P$ 计为雨量影响。

式中: D 表示径流率; W 表示径流量; P 表示降雨量; E 称为侵蚀率(或产沙系数)(t/mm); ΔW_s 为输沙量。

3 沂河流域水沙变化趋势初步分析

3.1 滑动平均法检验

对于临沂站的径流量和输沙量取 5 a 进行滑动平均, 使序列高频震荡(水沙特别年份)对水沙变化趋势分析的影响得以弱化, 结果见图 1。可以看出临沂站水沙变化过程基本对应, 二者均呈明显的下降趋势。

3.2 Mann-Kendall (M-K) 趋势分析检验

采用 Mann-Kendall(M-K)趋势分析检验方法对沂河临沂站 1954—2007 年的径流量资料进行统计分析发现, 沂河年径流量在 20 世纪 50 年代中期—60 年代中期为丰水期时段, 从 70 年代末开始, 沂河河径

流量呈明显减小趋势。根据 Mann-Kendall 检验, $Z_s=-6.506$, 其绝对值大于 $U_{\alpha/2}$, 表明流域径流量呈显著减小趋势。20 世纪 90 年代以来, 平均流量只有 $16.01 \text{ 亿 m}^3/s$, 较多年平均流量减少 32.4% 。

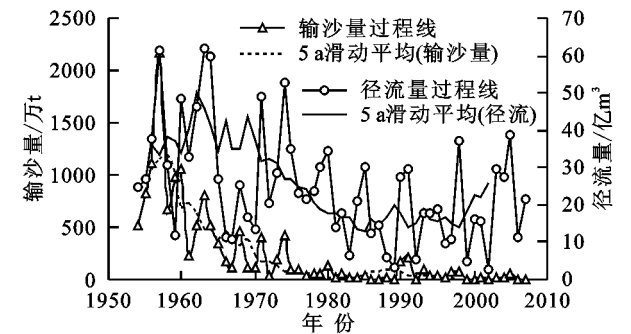


图 1 临沂水文站年径流和输沙量

沂河流域地处多沙粗沙区, 输沙量的多少很大程度上取决于降水量、降雨强度及其变化特性。根据 Mann-Kendall 检验, $Z_s=-2.689$, 其绝对值大于 $U_{\alpha/2}$, 表明输沙量呈显著减小趋势。

因此, 在一定显著性水平下, 沂河流域径流量与输沙量在多年变化中均呈明显下降趋势。

4 沂河流域水沙变化原因分析

应用式(6), (7) 对不同阶段的各项变化量计算结果见表 1 和表 2。由表 1, 2 可知, 流域 1954—2007 年水沙变化过程中, 各时段的影响因素也有异同。表现为:

表 1 沂河流域泥沙衰减分析

项目	1954—1962 年	1963—1978 年	1979—1996 年	1997—2007 年
输沙量/万 t	901.3	308.3	60.6	23.7
雨量/mm	925.3	849.8	841.4	832.8
$E=W_s/P/(t \cdot mm^{-1})$	1.0	0.4	0.1	0.03
$\Delta W_s/\text{万 t}$	593.0	247.7	36.8	
$\Delta P/\text{mm}$	75.5	8.4	8.6	
$\Delta E/(t \cdot mm^{-1})$	0.6	0.3	0.07	
$E \cdot \Delta P/\text{万 t}$	75.5	3.5	0.6	
$P \cdot \Delta E/\text{万 t}$	355.8	294.3	36.4	
$\Delta W_s=P \cdot \Delta E+E \cdot \Delta P/\text{万 t}$	431.3	297.8	37.0	

表 2 沂河流域径流衰减分析

项目	1954—1962 年	1963—1978 年	1979—1996 年	1997—2007 年
径流量/万 m^3	348576.1	265756.3	196968.9	172592.8
雨量/mm	925.3	849.8	841.4	832.8
$D=W_s/P/(t \cdot mm^{-1})$	376.7	312.7	234.1	207.3
$\Delta W/\text{万 m}^3$	82819.8	68787.3	24376.1	
$\Delta P/\text{mm}$	75.5	8.4	8.6	
$\Delta D/\text{万 m}^3$	64.0	78.6	26.8	
$D \cdot \Delta P/\text{万 m}^3$	26032.4	2301.7	1903.1	
$P \cdot \Delta D/\text{万 m}^3$	56787.5	66485.6	22473.1	
$\Delta W_s=P \cdot \Delta D+D \cdot \Delta P/\text{万 m}^3$	82819.8	68787.3	24376.1	

(1) 1954—1962年至下1963—1978年:此时段内输沙量的降雨影响为75.5万t、水土保持影响为355.8万t,二者之和为431.3万t,降雨影响和水土保持影响各占17.5%和82.5%。而对于此时段内的径流,降雨影响为26 032.4万 m^3 ,水土保持影响为56 787.5万 m^3 ,二者之和为82 819.8万 m^3 ,降雨影响和水土保持影响分别占31.4%和68.6%。

可以看出,在70年代以前,由于沂河流域开发利用率低,受人类活动影响较弱,故流域此时段内水沙的变化受降雨影响和水土保持影响相差不是很大。

(2) 1963—1978—1979—1996年:对于输沙量,此时段内降雨影响明显减弱,仅为3.5万t,而水土保持影响则高达294.3万t,二者所占比例分别为1.2%和98.8%。而对于同时期的径流量,降雨影响也明显减弱,仅为2 301.7万 m^3 ,而水土保持影响则高达68 787.3万 m^3 ,二者所占比例分别为3.3%和96.7%。

这充分说明在这一阶段中,水土保持(包括水利工程)发挥了很大的减水拦沙作用。经调查流域水利工程建设情况可知,临沂站以上流域自1964年至今,共建有大中型水库12座,其中大型水库5座(跋山水库、岸堤水库、田庄水库、许家崖水库、唐村水库)、中型水库22座(高湖水库、黄仁水库、黄土山水库等),以及一系列水土保持工程的实施,产生了明显的效益,发挥了很大的作用。

(3) 1979—1996年,1996—2007年,此时段对于输沙量,水土保持影响高达36.4万t,降水影响为0.6万t,二者所占比例分别为98.3%,1.7%,对于径流量,水土保持影响高达24 376.1万 m^3 ,降水影响为1 903.1万 m^3 ,二者所占比例分别为92.2%和7.8%,相比上一阶段水土保持对水沙影响程度有所下降。这一方面肯定了近年来的水土保持工作的成效,但同时也说明随着时间的推移,原有水保措施已不能满足新的要求,必须结合新的形势,实施流域综合治理。

5 结论

(1) 沂河流域多年平均降水量863.9 mm;多年平均径流量23.7亿 m^3 ;多年平均输沙量246.5万t。沂河

流域径流量与输沙量近50 a来均呈下降趋势。

(2) 对临沂水文系列应用Mann-Kendall非参数秩次相关检验法表明,在一定显著性水平下,临沂流域径流量与输沙量在多年变化中均呈明显下降趋势。

(3) 针对影响流域水沙变化的降水和人类活动两大因素,应用不同时段雨—水—沙关系,定量计算了4个时段的水沙衰减量以及由于降水衰减影响和水土保持(水利工程)影响的减沙量所占比重,分析了不同时段水沙变化的原因,结果表明,近年来水土保持(水利工程)是水沙衰减的主要原因。针对临沂的实际情况,应继续加强水土保持工作,实施流域综合治理。

参考文献:

- [1] 史红玲,胡春宏,王延贵,等.淮河流域水沙变化趋势及其成因分析[J].水利学报,2012,43(5):571-579.
- [2] 陆建宇,陆宝宏,朱从飞,等.沂河流域天然径流变化规律分析[J].中国农村水利水电,2014(7):67-71.
- [3] 宋晓猛,孔凡哲.沂河流域径流演变特征及动因分析[J].安徽农业科学,2010,38(16):8563-8565.
- [4] 陆建宇,周政辉,朱夏阳,等.1954—2010年沂沭河流域降水序列变化特征[J].南水北调与水利科技,2015,13(6):1060-1064.
- [5] 薛丽芳,谭海樵.沂河流域水文特征变化及其驱动因素[J].地理科学进展,2011(11):1354-1360.
- [6] 巩灿灿.沂河流域中上游地区土地利用/覆被变化水文效应的分析与模拟[D].济南:山东师范大学,2014.
- [7] 中华人民共和国水利部.中国河流泥沙公报[M].北京:中国水利水电出版社,2002—2007.
- [8] 许全喜,石国钰,陈泽方.长江上游近期水沙变化特点及其趋势分析[J].水科学进展,2004,15(14):420-426.
- [9] 徐宗学,和宛琳.黄河流域近40年蒸发皿蒸发量变化趋势分析[J].水文,2005(6):6-11.
- [10] 王延贵,刘茜,史红玲.江河水沙变化趋势分析方法与比较[J].中国水利水电科学研究院学报,2014(2):190-195.
- [11] 王小军,蔡焕杰,张鑫,等.皇甫川流域水沙变化特点及其趋势分析[J].水土保持研究,2009,16(1):222-226.
- [12] 陈小红,刘美南,胡荣轩.黄河中游区水沙时空分布及衰减分析[J].水文,1997(1):19-23.