

浙江省主要河流水沙特征及变化趋势分析

许红燕

(浙江省水文局,浙江 杭州 310009)

摘 要:以浙江省主要河流为研究对象,选取 11 个水文控制站 1956~2013 年的水沙序列资料,对径流、悬移质泥沙输沙量进行年内变化、年际变化、代际变化的特征分析。运用改进的 M-K 趋势检验及线性滑动回归分析等方法,系统分析了 6 大主要河流水沙变化趋势。研究表明:水沙年内、年际变化有一定的相关性,泥沙的变化幅度大于径流的变化幅度,径流变化趋势不显著,但 73%的水文控制站的输沙量呈显著下降趋势。

关键词:水文控制站;水沙特征;变化趋势;浙江省主要河流

中图分类号:TV143.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)03-0084-08

1 综述

在气候变化和人类活动的影响下,河川泥沙发生了显著的时空变化,直接对流域的水资源合理配置及河流生态系统的健康造成了影响。因此,研究径流量输沙量变化规律及影响因素,可帮助人类更好地了解流域水文过程的发展。同时,也能为流域水利工程的规划、水资源合理配置以及水土保持提供重要的科学依据。人类活动对浙江省主要流域水沙的影响主要有两方面,一是通过引水工程直接提取河川径流,或是通过兴建水利工程对流域的水沙进行调蓄,从而改变了天然径流泥沙过程,而河道大量采砂也导致了流域水沙过程发生变化。二是大规模的水土保持措施的实施和封山育林及人们生活方式的改变引起植被的改善。本文以浙江省主要河流苕溪、钱塘江、椒江、甌江、飞云江、鳌江为研究对象,选取苕溪港口站,钱塘江干流衢州站、兰溪站,钱塘江支流浦阳江诸暨站、曹娥江嵊州站,椒江干流柏枝岙站和支流始丰溪沙段站,甌江支流黄渡站及永嘉石柱站,飞云江岙口站,鳌江埭头站共 11 个水文代表站 1956~2013 年径流量和输沙量资料,对浙江省主要河流径流量、输沙量序列的年内分配、年际变化、代际变化进行特征分析;运用改进的 M-K 趋势检验及线性滑动回归分析等方法,系统分析了 6 大

主要河流 11 个水文控制站水沙变化趋势。

2 水沙特征分析

采用时间序列分析、统计分析的方法和累积离均系数过程线等方法,从年内分配、年际变化、代际变化 3 个方面对各河流控制站的水沙变化特征进行分析。

2.1 径流量、输沙量的年内变化

1956~2013 年各主要河流 11 个水文控制站多年平均径流量和输沙量年内分配见图 1 系列。各站径流量输沙量年内分配不均,径流量主要集中在 3~9 月份,占全年径流 76.2%~85.0%;输沙量主要集中在 3~9 月份的有苕溪港口站、钱塘江干支流的衢州站、兰溪站、诸暨站、嵊州站及甌江的黄渡站,占全年输沙量 90.7%~98.5%,其余站多年平均输沙量主要集中在 4~10 月份,占全年输沙量 82.4%~94.1%。最大月径流量和最大月输沙量分别占全年 12.9%~21.4%和 15.1%~36.1%,最大月径流出现时间:除港口站出现在 7 月份和埭头站出现在 8 月份,其余站均出现在 6 月份;最大月输沙量出现时间:苕溪港口站、钱塘江干支流 4 个代表站衢州站、兰溪站、诸暨站和嵊州站均出现在 6 月份,椒江沙段站出现在 9 月份,其余站均出现在 8 月份;钱塘江水系及鳌江水系水沙年内变化较一致,月最大出现月份一致;钱塘江干流代表站径流

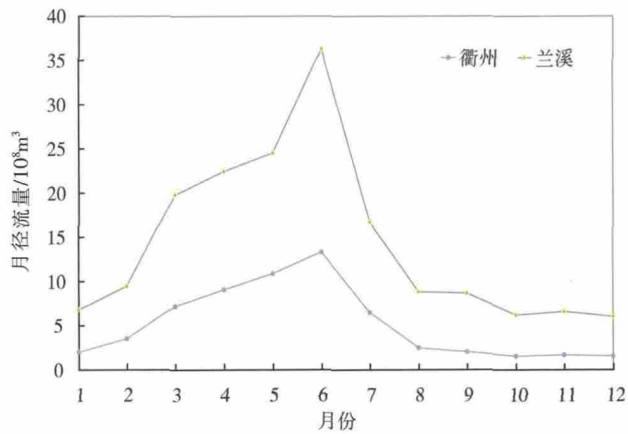


图1-1 多年平均月径流量年内分配过程线

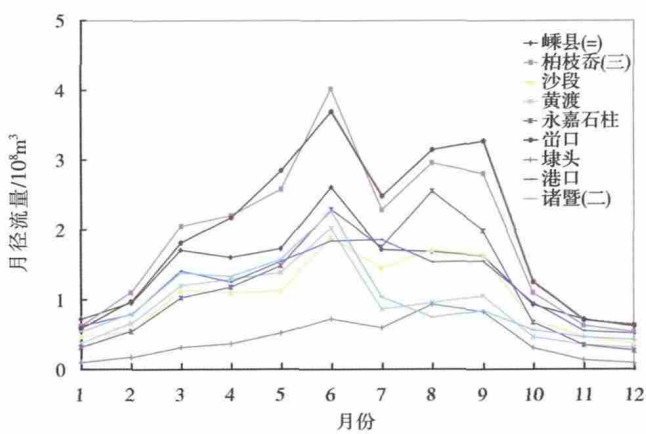


图1-2 多年平均月径流量年内分配过程线

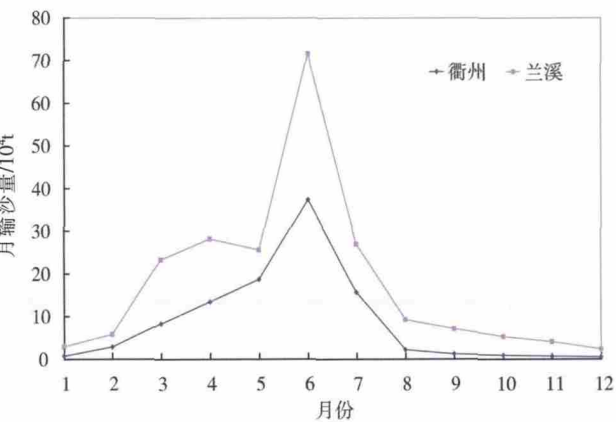


图1-3 多年平均月输沙量年内分配过程线

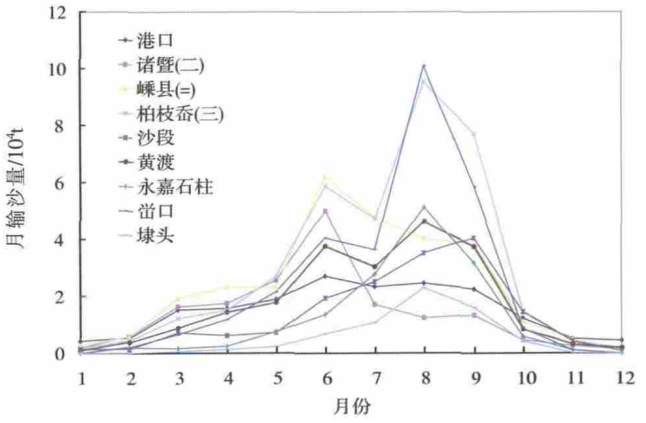


图1-4 多年平均月输沙量年内分配过程线

图 1 多年平均月径流量及输沙量年内分配过程线

Fig.1 Distribution of the mean monthly runoff and sediment discharge for many years

量和输沙量均为单峰型,主要为梅雨期洪水造成;永嘉石柱站、柏枝岙站、沙段站、埭头站、黄渡站径流量为明显的双峰型,钱塘江支流及苕溪港口站双峰型不明显。柏枝岙站、岔口站、黄渡站输沙量呈6月和8月双峰型,主峰在8月份的台汛期;其它基本为单峰型。双峰型表现为梅汛期、台汛期各有一个峰。

2.2 径流量、输沙量的年际变化

为了描述径流量、输沙量的年际变化,应用累积离均系数过程线法^[1]对干支流 11 个控制站逐年径流量、输沙量的年际变化进行统计分析。即:

$$K_i = \frac{X_i - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} = \frac{X_i}{\bar{X}_n} - 1 \tag{1}$$

式中: K_i 为年径流量或输沙量离均系数; X_i 为逐年径流量或输沙量; $\bar{X}_n$ 为多年平均年径流量或输沙量。

点绘累积离均系数 K_i 过程线,分析径流量、输沙量的年际变化情况如图 2 所示。离均系数过程线的上

升期为丰水期或丰沙期,即年值大于多年平均值;下降期为少水期或少沙期,年值小于多年平均值;过程线起伏呈波浪,并且其变幅不大,表示平水期或平沙期,平水、平沙期的均值接近多年平均值。从图 2 看出,大部分站径流量及输沙量的年际变化较大,径流量常出现连续的少水年或连续丰水年,输沙量常出现连续的少沙年或连续丰沙年,年输沙量的累积离均系数变化幅度远高于年径流量累积离均系数,亦即输沙量年际变化幅度高于径流量。另一方面,水沙丰枯均交替出现,出现周期长短不一,丰水、丰沙或枯水、枯沙出现年份并不一定同步。

从图 2 可看出输沙量累积曲线可归纳为三种类型:第一种是前期小幅丰枯交替、中后期为 v 字型的急剧下降和急剧上升型。此类型有港口站、兰溪站;第二种是单峰型,此类型有诸暨站、嵊州站、永嘉石柱站,其他站属于双峰型或多峰型,黄渡站和岔口站为双峰型,衢州站和柏枝岙站为多峰型。而径流量累

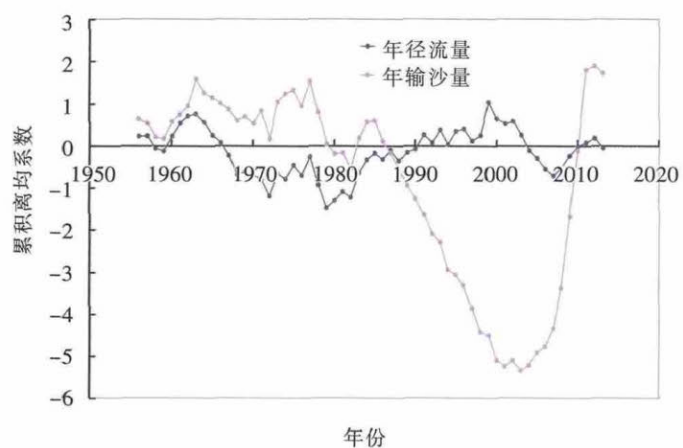


图 2-1 苕溪港口站

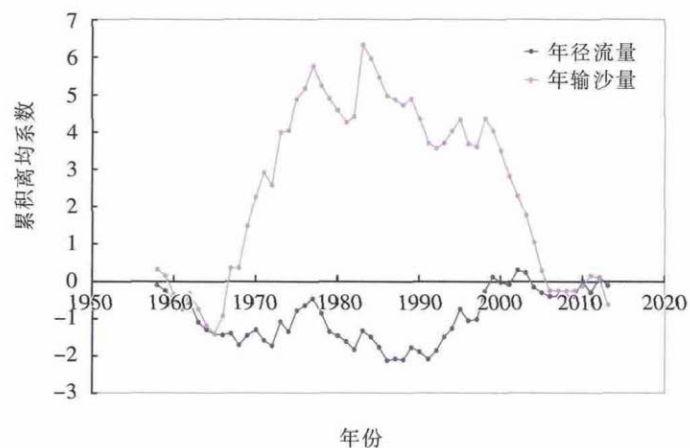


图 2-2 衢江衢州站

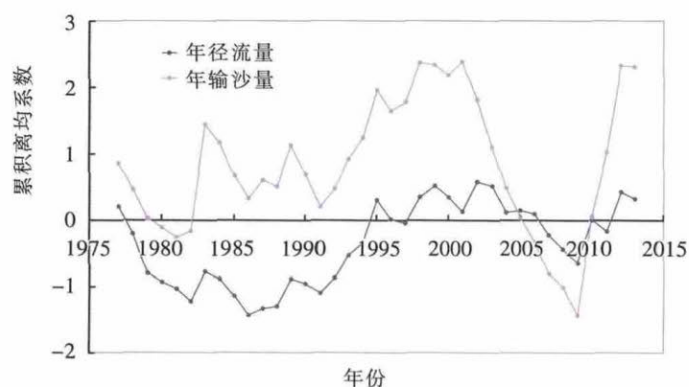


图 2-3 兰江兰溪站

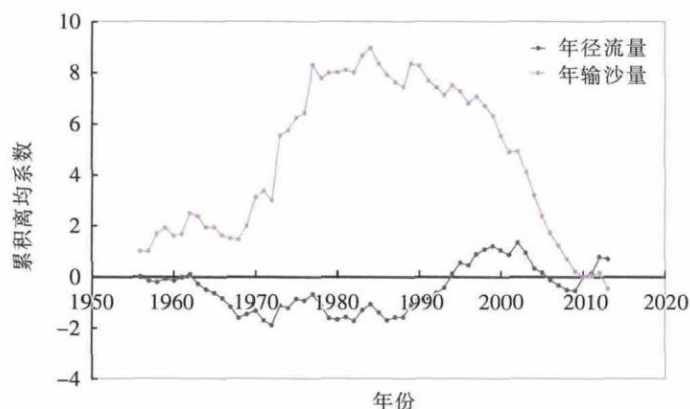


图 2-4 浦阳江诸暨站

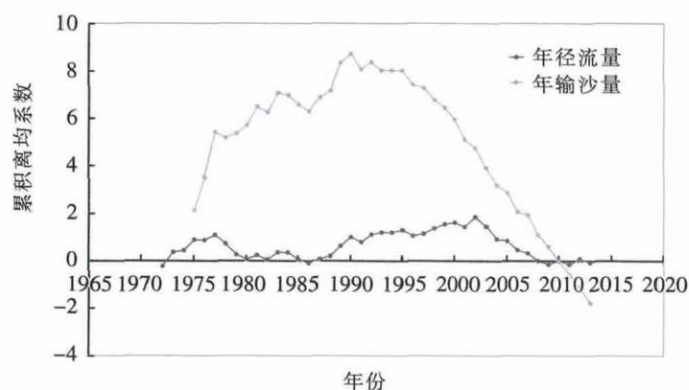


图 2-5 曹娥江嵊州站

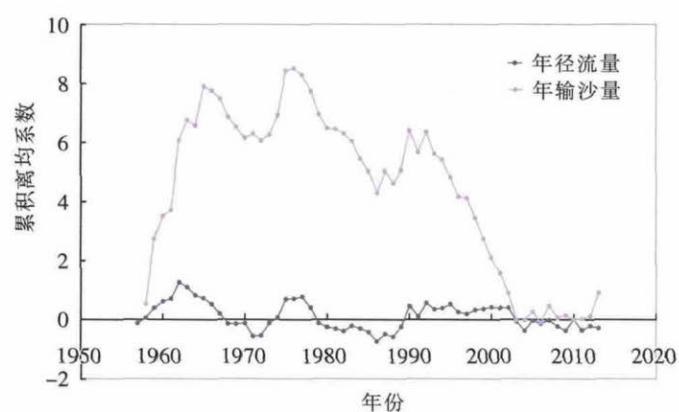


图 2-6 椒江柏枝岙站

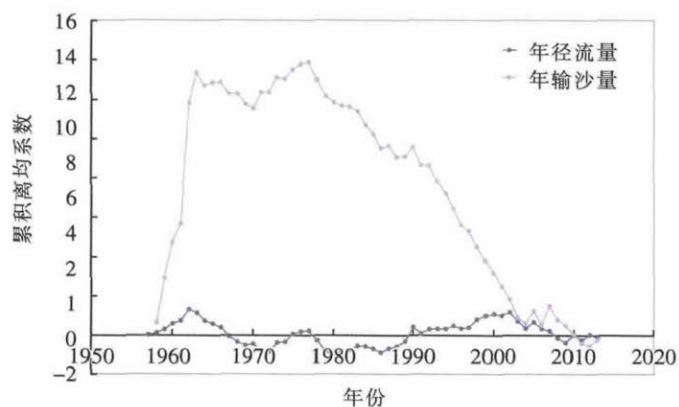


图 2-7 椒江沙段站

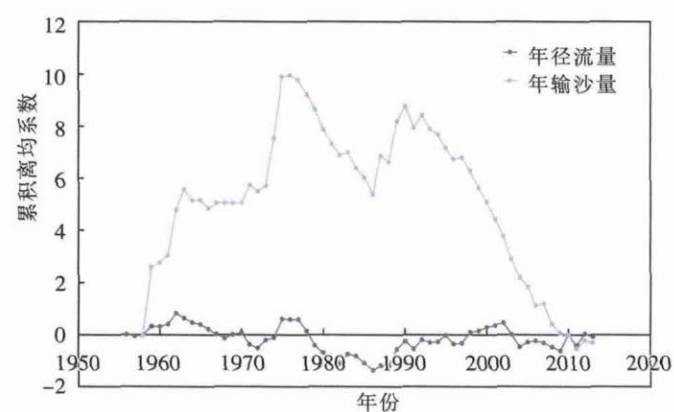


图 2-8 瓯江黄渡站

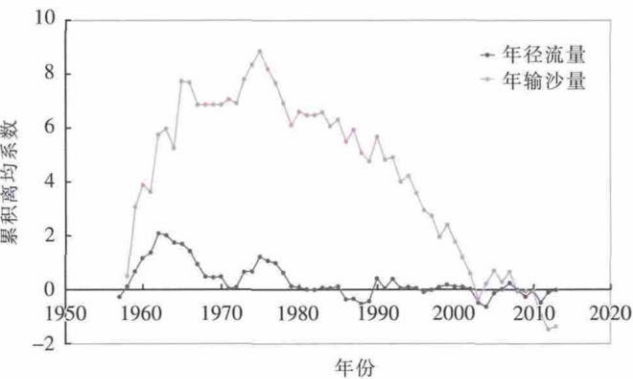


图 2-9 瓯江永嘉石柱站

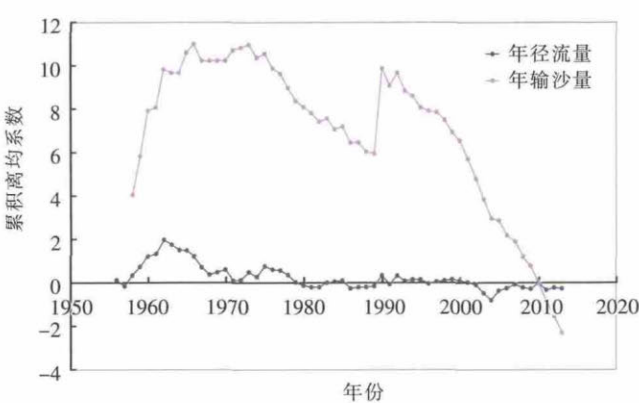


图 2-10 飞云江岩口站

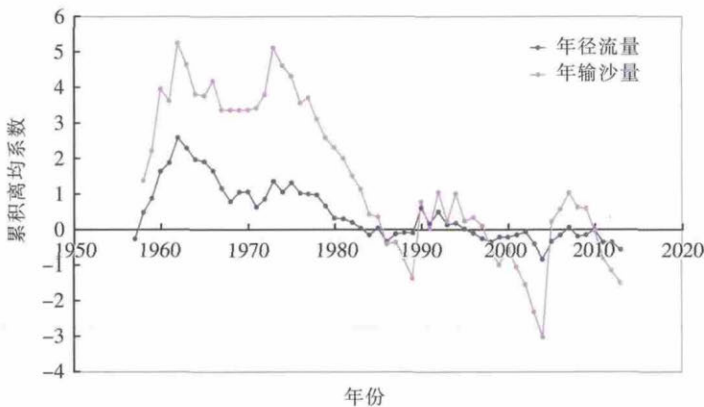


图 2-11 鳌江埭头站

图 2 年径流量和年输沙量累积离均系数过程线

Fig.2 The hydrograph of the cumulative coefficients of deviation from the mean annual runoff and sediment discharge

积曲线丰枯交替,变动幅度相对输沙量要小,径流与输沙量相关性最好的站为兰溪站,水沙下降及上升基本同步。

对 6 大水系干支流 11 个控制站年径流量、年输沙量进行统计分析见表 1。年径流量最大年与最小年的极值比为 3.3~5.4,最大为港口站,最小值为嵊州站,出现年径流量最大年份最多的是 1990 年,出现最小年年份最多的是 1979 年;年输沙量最大年与最小年的极值比为 9.0~119,最大为飞云江岩口站(21 世纪初上游已建大型水库,库区占该站集水面积 70%以上,泥沙库区拦蓄,引起输沙量大幅减少),最小值为钱塘江干流兰溪站;出现年输沙量最大年份最多的是 1959 年及 1983 年,出现最小年年份最多的是 2003 年,从表 1 可看出各站年输沙量的极值比均高于年径流量的极值比,从另一方面论证了年输沙量的年际变化幅度高于年径流量变化幅度。年径流量与年输沙量最大年或最小年出现年份除曹娥江诸暨站完全一致外,其它 10 站出现年份均不一致。

2.3 径流量、输沙量的代际分析

从表 2 可看出,20 世纪 50 年代有 3 站径流偏小 2.1%~12.8%,有 6 站偏大 0.1%~29.4%;输沙量所有站均偏大 4.2%~292%。60 年代径流除埭头站偏大 9.7%外,其余 8 站偏小 0.1%~12.0%;输沙量所有站均偏大 0.6%~88.6%。70 年代有 7 站径流偏小 3.2%~26.8%,有 3 站偏大 1.0%~24.3%,1 站为均值;输沙量有 4 站偏小 6.4%~20.8%,有 7 站偏大 0.9%~106.8%。80 年代有 5 站径流偏小 0.9%~7.6%,有 5 站偏大 1.5%~13.2%,有一站为均值;输沙量有 6 站偏小 9.7%~39.6%,有 4 站偏大 0.8%~29.8%,有一站为均值。90 年代除埭头站径流偏小 1.2%外,其余 10 站偏大 0.1%~22.7%;输沙量有 8 站偏小 8.7%~52.7%,有 3 站偏大 3.9%~12.1%。21 世纪 00 年代除埭头站径流偏大 0.6%外,其余 10 站偏小 0.1%~17.3%;输沙量除港口站和埭头站分别偏大 28.4%、15.9%外,其余 9 站偏小 25.9%~61.6%。21 世纪 10 年代径流除埭头站偏小 10.4%,柏枝岙等于均值,其余 9 站偏大 2.0%~13.6;输沙量有 8

站偏小 9.3%~77.1%,有 3 站偏大 19.5%~93.4%。

总之,除个别站外径流量 20 世纪 50 年代基本高于 60 年代、70 年代,80 年代开始至 21 世纪 10 年代径流进入枯、丰交替期,20 世纪 80 年代基本为少水年组,90 年代为丰水年组,21 世纪 00 年代又为少水年组,21 世纪 10 年代又进入丰水年组;输沙量 20 世纪 50 年代属高输沙量年代,变化率最大为岙口站 292%,输沙量除个别站外 50 年代高于 60 年代,70 年代基本高于 80 年代,90 年代基本高于 21 世纪 00 年代,从 20 世纪 50 年代至 21 世纪 10 年代,除苕溪港口站及钱塘江干流兰溪站外,其他 9 站输沙量代际总趋势均下降。

3 径流量、输沙量的变化趋势分析

运用改进的 M-K 趋势检验^[2]及线性滑动回归分析等方法,系统分析了 6 大主要河流 11 个水文控制站水沙变化趋势。

M-K 法是用来评估水文气候要素时间序列趋势的检验方法,其检验统计量公式是:

$$S=\sum_{i=2}^n\sum_{j=1}^{i-1}\text{sign}(X_i-X_j)$$

式中:sign()为符号函数,当 X_i-X_j 小于、等于或大于零时,sign(X_i-X_j)分别为-1、0 和 1;S 大于、等于、小于零

表1 浙江省主要河流控制站水沙年际变化统计特征值
Table 1 The statistical characteristics of the interannual runoff and sediment variation at the control stations on the major rivers in Zhejiang province

流域	水系	站名	年径流量/10 ⁸ m ³						年输沙量/10 ⁴ t					
			多年 平均值	最大年	年份	最小年	年份	极值比	多年 平均值	最大年	年份	最小年	年份	极值比
太湖	苕溪	港口	14.27	25.56	1999	4.732	1978	5.4	17.5	50.9	2011	4.16	1979	12.2
		衢州	61.94	108.4	1998	30.07	1963	3.6	105	306	1983	26.3	2005	11.6
钱塘江	钱塘江	兰溪	164.5	272.3	2010	66.8	1979	4.1	198	517	1983	57.5	2003	9.0
		诸暨	11.60	20.57	1973	4.435	2004	4.6	17.1	60.5	1973	1.26	2004	48.0
		嵊州	16.70	26.51	1973	8.042	2004	3.3	29.4	91.4	1975	4.63	2008	19.7
椒江	椒江	柏枝岙	23.06	38.99	1990	10.8	1979	3.6	35.4	119	1961	3.21	2003	37.1
		沙段	12.32	21.13	1990	5.191	1979	4.1	25.8	185	1962	2.00	1991	92.4
瓯江	瓯江	黄渡	11.02	18.94	1975	4.73	1979	4.0	21.4	77.5	1959	2.64	2003	29.4
		永嘉石柱	14.49	26.79	1990	7.31	1979	3.7	15.2	54.1	1959	0.92	1993	58.7
飞云江	飞云江	岙口	23.70	38.84	1962	11.86	1967	3.3	30.7	156	1956	1.31	2003	119
鳌江	鳌江	埭头	5.176	9.124	1960	2.644	1967	3.5	6.97	29.6	2005	1.24	1964	23.9

表2 浙江省主要河流控制站水沙代际变化率(与多年平均值相比) (%)
Table 2 The runoff and sediment decade change rate at the control stations on the major rivers in Zhejiang province (%)

年份	类别	站名										
		港口	衢州	兰溪	诸暨	嵊州	柏枝岙	沙段	黄渡	永嘉石柱	岙口	埭头
1956~1959	径流量	-3.3	-12.8		-2.1		0.1	9.8	7.7	22.9	18.7	29.4
1960~1969		-4.8	-12.0		-13.9		-0.1	-8.2	-3.2	-2.2	-2.5	9.7
1970~1979		-8.7	1.0	-26.8	24.3	3.1	0.0	-3.4	-4.3	-3.2	-4.6	-4.0
1980~1989		13.2	-4.2	-0.9	5.3	3.7	0.0	5.6	1.5	-5.7	-1.8	-7.6
1990~1999		12.0	19.0	14.0	22.7	6.9	0.1	13.0	4.4	6.1	3.1	-1.2
2000~2010		-12.8	-7.5	-11.7	-17.3	-16.9	-0.1	-13.8	-7.8	-4.4	-4.3	0.6
2010~2013		4.7	7.1	24.3	30.3	2.0	0.0	7.3	13.6	6.3	0.3	-10.4
1956~1959	输沙量	4.2	7.3		47.4		136.7	144.4	128.5	154.1	292.0	110.9
1960~1969		5.6	13.1		0.6		38.2	88.6	30.7	47.6	62.9	40.7
1970~1979		-6.4	34.3	0.9	60.2	106.8	4.5	4.2	40.0	-8.2	-20.8	-8.6
1980~1989		-9.7	0.0	11.0	3.5	29.8	-18.5	-31.1	0.8	-13.4	-26.7	-39.6
1990~1999		-35.4	-8.7	12.1	-20.5	-39.8	-23.0	-52.7	-34.7	-23.6	9.8	3.9
2000~2010		28.4	-61.1	-37.7	-61.3	-58.5	-25.9	-33.0	-55.6	-27.3	-61.6	15.9
2010~2013		85.7	-9.3	93.4	-16.5	-59.4	19.5	-18.3	-9.4	-43.2	-77.1	-52.4

注:表中均值为 1956~2010 年或设站年至 2010 年均值。

时分别有:

$$Z=\begin{cases} (S-1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S>0 \\ 0 & S=0 \\ (S+1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S<0 \end{cases}$$

Z 为正值表示增加趋势,负值表示减少趋势。 Z 的绝对值在大于等于 1.96 时通过了置信度 95% 的显著检验,检验结果列于表 3。从表 3 可看出,各主要河流 11 个控制站年径流量上升、递减趋势均不显著;而年输沙量除了苕溪港口站、兰江兰溪站、鳌江埭头站趋势不显著外,其他 8 个代表站(衢州站、诸暨站、嵊州站、柏枝岙站、沙段站、黄渡站、永嘉石柱站、岙口站)为置信度 95% 显著递减。

利用 11 个水文控制站 1956 年~2013 年 (或设站后~2013 年)的年径流量和年输沙量绘制历年径流量、输沙量变化过程及趋势(见图 3),线性趋势的斜率值表明的是年径流量、输沙量的年变化率。从图 3 可以看出,径流的年变化率相对要小些,而年输沙量变化率相对较大,最大的站是衢州站下降率 $1.2657\times 10^4\text{t/a}$,其次是嵊州站,这 2 站均为钱塘江干支流,飞云江岙口站变化率也较大,这几个站上、下游均有水库或电站,这充分说明了大规模的水利工程蓄水对输沙量减少的影响。

4 结论

利用水沙时间序列统计的方法,对浙江省主要河流苕溪、钱塘江、椒江、瓯江、飞云江、鳌江 6 大水系 11 个水文控制站 1956~2013 年的水沙序列资料进行年

内变化、年际变化、代际变化的水沙特征分析;运用改进的 M-K 趋势及线性滑动回归分析方法,系统分析了 6 大主要河流 11 个水文控制站水沙变化趋势。主要结论如下:

(1)径流量、输沙量的年内分配为单峰型或双峰型,水沙单峰型主要由梅雨期洪水形成,主要河流为钱塘江干支流和苕溪的代表站,双峰型由梅雨洪水和台风期洪水形成,主要为椒江、瓯江、飞云江、鳌江水系的代表站。

(2)径流量、输沙量的年际变化:径流量常出现连续的少水年或连续丰水年,输沙量常出现连续的少沙年或连续的丰沙年,丰枯交替出现,丰水、丰沙或枯水、枯沙有一定的相关性,但出现年份并不一定同步,年输沙量的变化幅度远高于年径流量变化幅度。

(3)径流量、输沙量的代际变化:除个别站外径流量 20 世纪 50 年代基本高于 60 年代、70 年代,80 年代开始至 21 世纪 10 年代径流进入枯、丰交替期,80 年代基本为少水年组,90 年代为丰水年组,21 世纪 00 年代又为少水年组,21 世纪 10 年代又进入丰水年组;输沙量 20 世纪 50 年代属高输沙量年代,变化率最大为岙口站 292%,输沙量除个别站外 50 年代高于 60 年代,70 年代基本高于 80 年代,90 年代基本高于 21 世纪 00 年代,从 20 世纪 50 年代至 21 世纪 10 年代,除苕溪港口站及钱塘江干流兰溪站外,其他 9 站输沙量代际总趋势均下降。

(4)径流量、输沙量的变化趋势:各主要河流 11 个控制站年径流量上升、递减趋势均不显著;而年输沙量除了港口站、兰溪站、埭头站 3 站为趋势不显著

表3 趋势检验结果
Table 3 The trend test results

流域	水系	站名	年径流量			年输沙量		
			Z	与 $Z_{0.02}=1.96$ 比较	判别结果	Z	与 $Z_{0.02}=1.96$ 比较	判别结果
太湖	苕溪	港口	-0.1	<	递减不显著	0.2	<	上升不显著
		衢州	1.3	<	上升不显著	-2.7	>	显著递减
钱塘江	钱塘江	兰溪	0.6	<	上升不显著	0.07	<	上升不显著
		诸暨	1.0	<	上升不显著	-3.9	>	显著递减
		嵊州	-0.9	<	递减不显著	-4.8	>	显著递减
椒江	椒江	柏枝岙	-0.3	<	递减不显著	-2.0	>	显著递减
		沙段	-0.04	<	递减不显著	-3.3	>	显著递减
瓯江	瓯江	黄渡	0.1	<	上升不显著	-3.3	>	显著递减
		永嘉石柱	0.3	<	上升不显著	-2.0	>	显著递减
飞云江	飞云江	岙口	-0.3	<	递减不显著	-4.3	>	显著递减
鳌江	鳌江	埭头	-0.4	<	递减不显著	-1.3	<	递减不显著

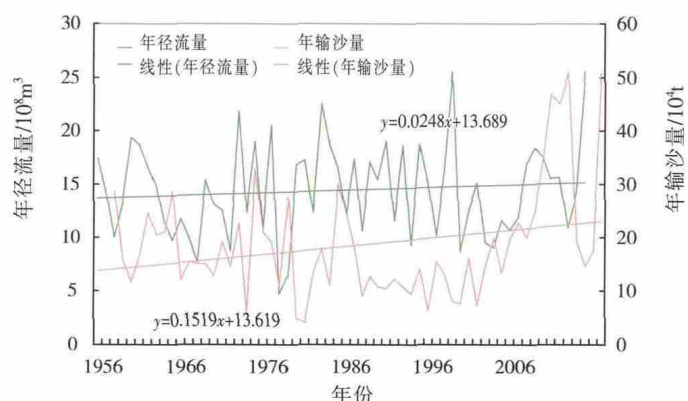


图 3-1 荻溪港口站

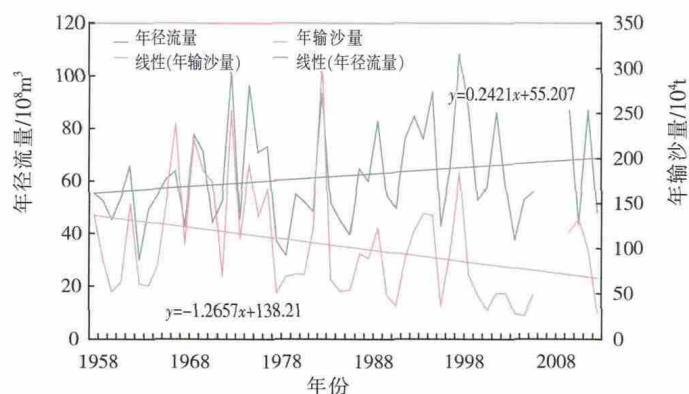


图 3-2 衢江衢州站

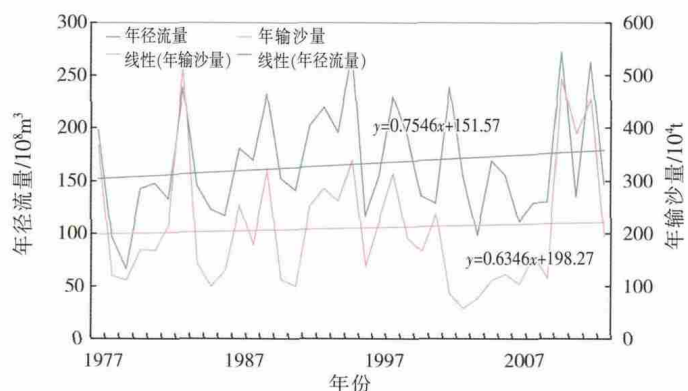


图 3-3 兰江兰溪站

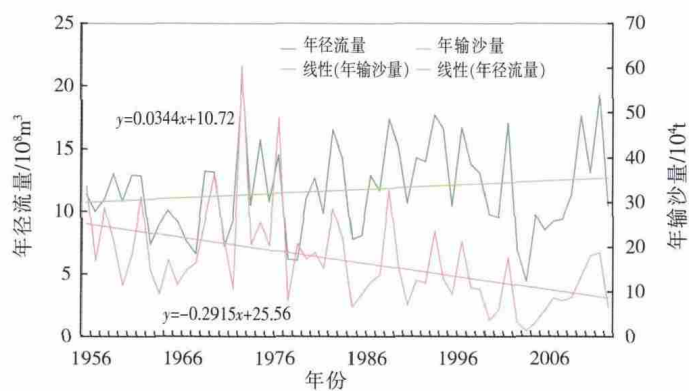


图 3-4 浦阳江诸暨站

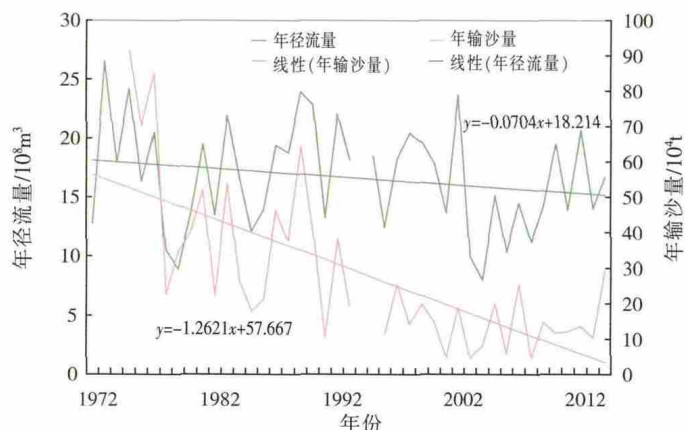


图 3-5 曹娥江嵊州站

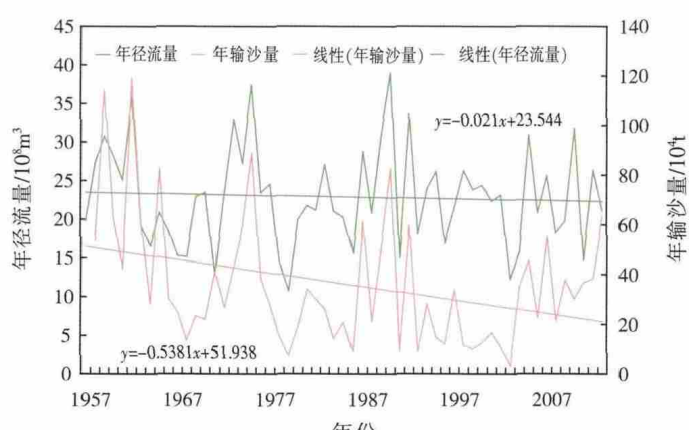


图 3-6 椒江柏枝岙站

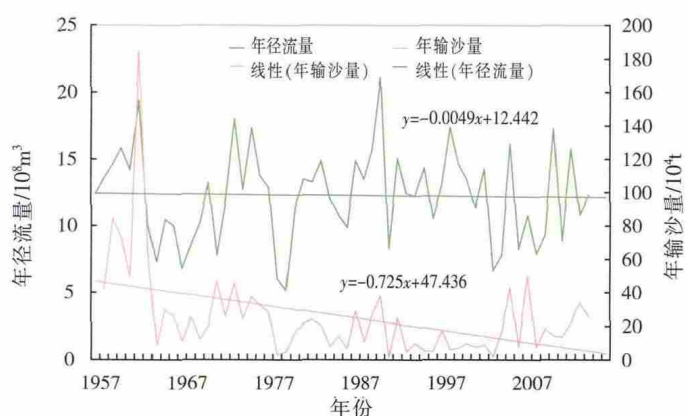


图 3-7 椒江沙段站

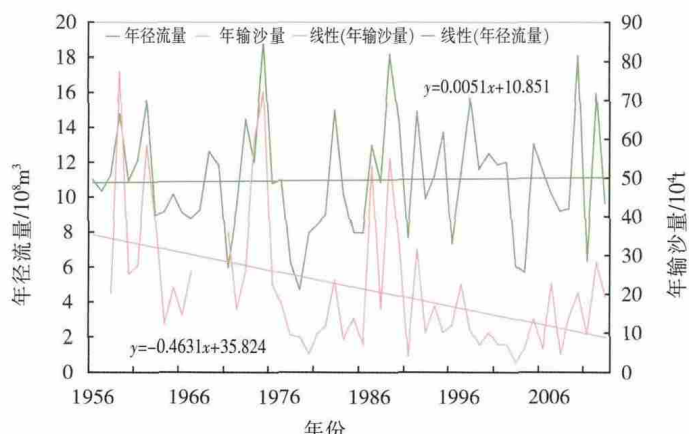


图 3-8 瓯江黄渡站

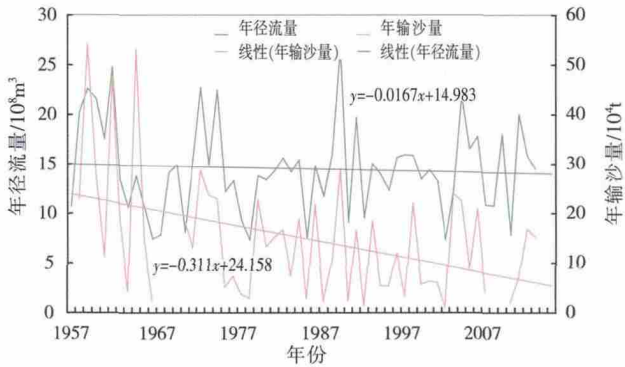


图 3-9 瓯江永嘉石柱站

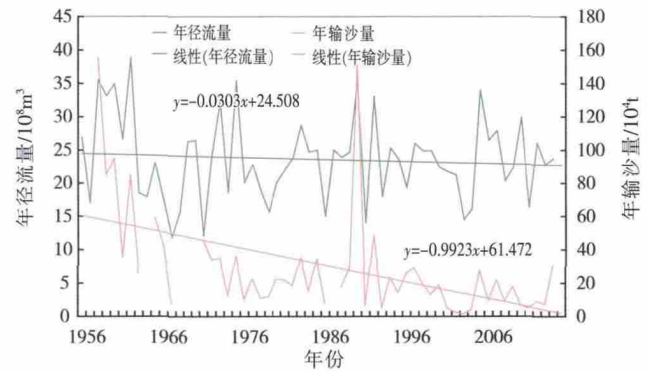


图 3-10 飞云江岔口站

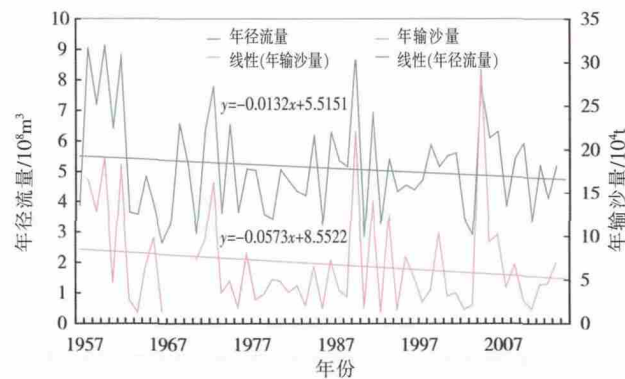


图 3-11 鳌江埭头站

图 3 历年径流量和年输沙量变化过程及趋势线

Fig.3 The change process and trend of the annual runoff and sediment discharge

外,其它 8 个代表站衢州站、诸暨站、嵊州站、柏枝岙站、沙段站、黄渡站、永嘉石柱站、岔口站为置信度 95%显著递减,显著递减的站占总站数的 73%。径流的年变化率小于年输沙量变化率,输沙量下降率最大的站是衢州站。造成输沙量大幅度减小的原因是大规模的水利工程蓄水对输沙量减少的影响、人们生活方式的改变引起植被的改善及水土保持工作的加强等,局部时段泥沙增大是水量增加和河道大量采砂、冲矿洗

砂等人类活动引起。

参考文献:

- [1] 浙江省水文局. 舟山市水资源调查评价[R]. 2007. (Hydrology Bureau of Zhejiang Province. Water resources investigation and assessment for Zhoushan city [R]. 2007. (in Chinese))
- [2] 王文圣,丁晶,金菊良. 随机水文学(第二版)[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008. (WANG Wensheng, DING Jing, JIN Juliang. Stochastic Hydrology (2nd edition) [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2008. (in Chinese))

Change Trend of Runoff and Sediment Characteristics of Important Rivers in Zhejiang Province

XU Hongyan

(Hydrology Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China)

Abstract: Taking the important rivers in Zhejiang Province as the research object, water and sediment series data from 1956 to 2013 of 11 the hydrology stations were chosen to analyze the characteristics of the intraannual, interannual, and decade variations of the runoff and suspended sediment discharge. The methods such as the improved Mann - Kendall (M - K) trend test and linear sliding regression method were used to systematically analyze the runoff and sediment variation of the 6 major rivers. The results show that the intraannual and interannual variations of the runoff and sediment have certain correlation; the change amplitude of sediment is greater than that of the runoff; the trend of runoff variation is not significant, however, the sediment discharge of seventy-three percent of the hydrological stations decreased significantly.

Key words: hydrological stations; water and sediment characteristics; change trend; the main rivers in zhejiang province