

近年来青海省黄河流域泥沙变化趋势及成因分析

孙永寿¹, 段水强¹, 刘希胜¹, 曹广超²

(1. 青海省水文水资源勘测局, 青海 西宁 810001;

2. 青海师范大学 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 青海 西宁 810008)

摘要: 依据青海省黄河流域1956-2012年57年实测泥沙资料,采用Kendall秩次检验法、Spearman秩次检验法、线性趋势回归检验法进行泥沙变化趋势检验分析。结果表明:除黄河上游玛曲、唐乃亥站泥沙没有明显增减趋势外,其他各站含沙量、输沙量均呈明显减小趋势,总体上河流泥沙从20世纪80年代至2012年呈明显减小趋势。其泥沙变化的突变年份黄河干流主要出现在1987年、2000年、2005年,湟水出现在1980年、2002年,突变年份河流含沙量、输沙量呈跳跃式减小,近期2000-2012年含沙量、输沙量最小。分析其泥沙减小的原因,水库拦沙对黄河干流来沙量减小起主导作用。水土保持、退耕还林还草等工程实施,以及流域天然来水量增加,使流域生态植被覆盖条件好转,对流域来沙量减小起了重要作用。

关键词: 泥沙; 泥沙变化趋势; 成因分析; 青海省黄河流域

中图分类号: P333.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)03-0169-06

Analysis on trend and reason of sediment change in the Yellow river basin of Qinghai in recent years

SUN Yongshou¹, DUAN Shuiqiang¹, LIU Xisheng¹, CAO Guangchao²

(1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Qinghai Province, Xining 810001, China; 2. Qinghai Province Key Laboratory of Physical Geography And Environmental Process, Qing Hai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: According to the measured sediment data of the Yellow River in Qinghai in 1956-2012, the paper used adopted Mann-Kendall, Spearman, linear trend regression of testing method to analyze sediment change tendency. The results showed that in addition to that there was no obvious trend of increase and decrease of sediment in the upper reaches of the Yellow River in Maqu, Tangnaihui, the sediment concentration, sediment volume at other stations showed a significant decreasing trend. The sediment showed a significant decrease trend from 1980s to 2012. The mutation year points of sediment change in the Yellow River occurred mainly in 1987, 2000, 2005. That of Huangshui appeared in 1980 and 2002. The river sediment concentration, sediment discharge in mutation years decreases with leaping. The river sediment concentration and load is a minimum in 2000 and 2012. The analysis of reasons of sediment decrease showed that reservoir storage plays a dominant role in reducing the amount of sediment of Yellow River. The improvement of vegetation cover conditions because of implemented projection of soil and water conservation, grain-for-green, as well as increase of natural runoff plays an important role for the decrease of sediment in the basin.

Key words: sediment; sediment variation trend; analysis of cause; Yellow River Basin in Qinghai

河流泥沙不仅反映河流水土流失的状况,还是河川径流质量的一个重要标志,影响着下游水资源的开发和利用。青海省黄河流域是黄河的发源地,也是黄河重要的产水区,其自产水量占全流域水量

的29%,每年向下游输送优质的水资源。黄河被誉为中华民族的“母亲河”,但是一直以来,黄河泥沙泛滥,泥沙问题已引起了社会的普遍关注。对黄河流域水沙变化的原因不少学者从不同角度进行了研

究,史红玲等^[1]对黄河流域水沙变化原因探讨,认为降水减少和两岸引水量增多是影响实测径流减小的原因,从而引起沙量减小,此外,黄河中游水土保持措施及水库建设拦沙对来沙量减小起主导作用。侯素珍等^[2]认为天然径流量大幅度减小和水库调节是影响水沙变化的重要原因。本文主要利用1956-2012年青海省黄河流域主要水文站实测泥沙资料,分析了青海省黄河流域泥沙变化趋势及探讨泥沙变化主要原因,对下游水资源利用及泥沙管理提供科学依据。

1 泥沙资料来源

本文主要采用黄河干流黄河沿、吉迈、玛曲、军功、唐乃亥、贵德、循化站及支流隆务河同仁站、湟水民和站、大通河享堂站实测资料50 a以上的泥沙站点,分析河流泥沙的变化特征。泥沙资料为水文部门整编、审查、汇编的资料,可靠性较高。泥沙资料统计分析用实测资料进行,为保证资料系列的同步

性,提高泥沙样本代表性,将资料系列统一延长至1956-2012年,对缺测年份,采用相关方法进行了插补延长。泥沙站点分布见图1,资料基本情况及泥沙特征值见表1。

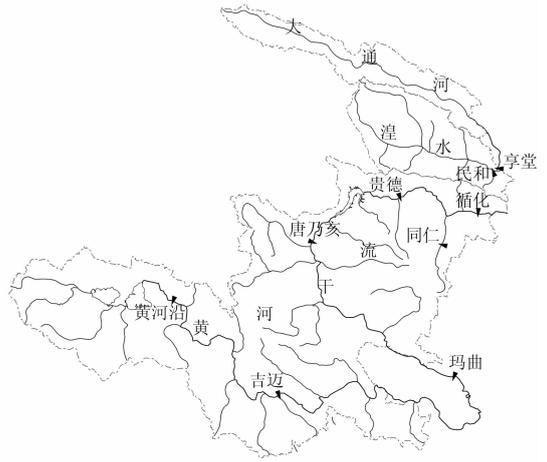


图1 青海省黄河流域主要泥沙站点分布图

表1 泥沙站点基本情况及特征值表

河流	测站名称	控制面积/km ²	实测时段	实测时间/a	1956-2012年平均	
					含沙量/(kg·m ⁻³)	输沙量/万t
黄河干流	黄河沿	20930	1956-01-1968-12 1976-01-2012-12	50	0.103	7.05
	吉迈	45019	1958-01-2012-12	55	0.221	89.4
	玛曲	86048	1959-01-2012-12	54	0.293	417
	唐乃亥	121972	1956-01-2012-12	57	0.594	1194
	贵德	133650	1956-01-2012-12	57	0.745	1512
	循化	145459	1956-01-2012-12	57	1.352	2845
隆务河	同仁	2832	1956-01-2012-12	57	1.315	58.8
湟水	民和	15342	1956-01-2012-12	57	8.634	1371
大通河	享堂	15126	1956-01-2012-12	57	0.957	267

2 检验方法

对水文序列趋势十分明显的情况,常采用过程线、滑动平均等方法进行直观的判断,但对于判断较为困难或不够可靠的,可以借助统计检验的方法,本文采用过程线、滑动平均法对趋势进行判断,并通过统计检验法对其进行趋势检验分析。方法^[3]如下:

2.1 Kendall 秩次检验法

在序列 x_1, x_2, \dots, x_n 中,计算检验的统计量

$$U = \frac{\tau}{[V_{ar}(\tau)]^{1/2}}, \quad \tau = \frac{4p}{n(n-1)} - 1$$

$$V_{ar}(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)} \quad (1)$$

式中: p 为序列所有的对偶观测值($x_i, x_j, i < j$)中 x_i

$< x_j$ 出现的次数; n 为序列长度; τ 为kendall秩相关系数; V 为自变量。原假设为序列无趋势,当给定显著水平 α 后,在正态分布表中查出临界值 $U_{\alpha/2}$,当 $|U| < U_{\alpha/2}$ 时,接受原假设,即趋势不显著;当 $|U| > U_{\alpha/2}$ 时,拒绝原假设,即趋势显著。

2.2 Spearman 秩次检验法

分析序列 x_1, x_2, \dots, x_i 与时序 i 的相关关系,在运算时 x_i 用其秩次 R_i 代表,秩次相关系数为:

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (2)$$

式中: n 为序列长度; $d_i = R_i - i$ 。如果秩次 R_i 与时序 i 相近,则 d_i 较小,秩次相关系数较大,趋势性显著。

相关系数 r 是否异于零,可采用 t 检验法。统计

量 T 服从自由度为 $(n - 2)$ 的 t 分布。

$$T = r \sqrt{(n - 4)/(1 - r^2)} \quad (3)$$

原假设为序列无趋势。检验时,给定显著水平 α 后,在 t 分布表中查出临界值 $t_{\alpha/2}$,当 $|T| > t_{\alpha/2}$ 时,拒绝原假设,说明序列随时间有相依关系,从而推断序列趋势显著;当 $|T| < t_{\alpha/2}$ 时,接受原假设,即趋势不显著。

2.3 线性趋势回归检验法

在水文序列中,计算 x_t 与时序 t 的线性相关系数。该系数可表示 x 长期趋势变化的方向和长度,它为 n 个时刻的 x_n 与自然数列 $1, 2, 3, \dots, n$ 的相关系数:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (4)$$

式中: n 为年份序号; x_i 为第 i 年的泥沙量; \bar{x} 为其样本均值, $\bar{t} = (n + 1)/2$,显然,这个值为正(负)时,表示泥沙在所计算的时段内有线性增加(减少)的趋势。

相关系数 r 表示变量 x 与时间 t 之间线性相关的密切程度。 $|r|$ 越接近于 0, x 与 t 之间的线性相关就越小。反之, $|r|$ 越大, x 与 t 之间的线性相关就越密切。

判断变化趋势的程度是否显著,必须对相关系数进行显著性检验,多应用最简便的 t 检验法。统计量 T 服从自由度为 $(n - 2)$ 的 t 分布。

$$T = r \sqrt{(n - 2)/(1 - r^2)} \quad (5)$$

原假设为序列无趋势。检验时,给定显著水平 α 后,在 t 分布表中查出临界值 $t_{\alpha/2}$,当 $|T| > t_{\alpha/2}$ 时,拒绝原假设,说明序列随时间有相依关系,从而推断序列趋势显著;当 $|T| < t_{\alpha/2}$ 时,接受原假设,即趋势不显著。

3 含沙量年内、年际变化及趋势检验

3.1 含沙量年内分配

从各站含沙量年内分配过程线看出,最大月平均含沙量主要集中在洪水期 7、8 月份,平均含沙量在 $0.2 \sim 2.67 \text{ kg/m}^3$ 之间,最小月平均含沙量出现在枯季 12、1 月份,平均含沙量在 0.1 kg/m^3 以下,极值比在 9 ~ 239 之间。贵德、循化、民和站近年来受水利工程拦沙影响,洪水期平均含沙量明显减小,贵德站 1987 - 2012 年、循化站 2005 - 2012 年、民和站 2002 - 2012 年平均含沙量较先前时段分别减小了 89%、93%、84%,见图 2。

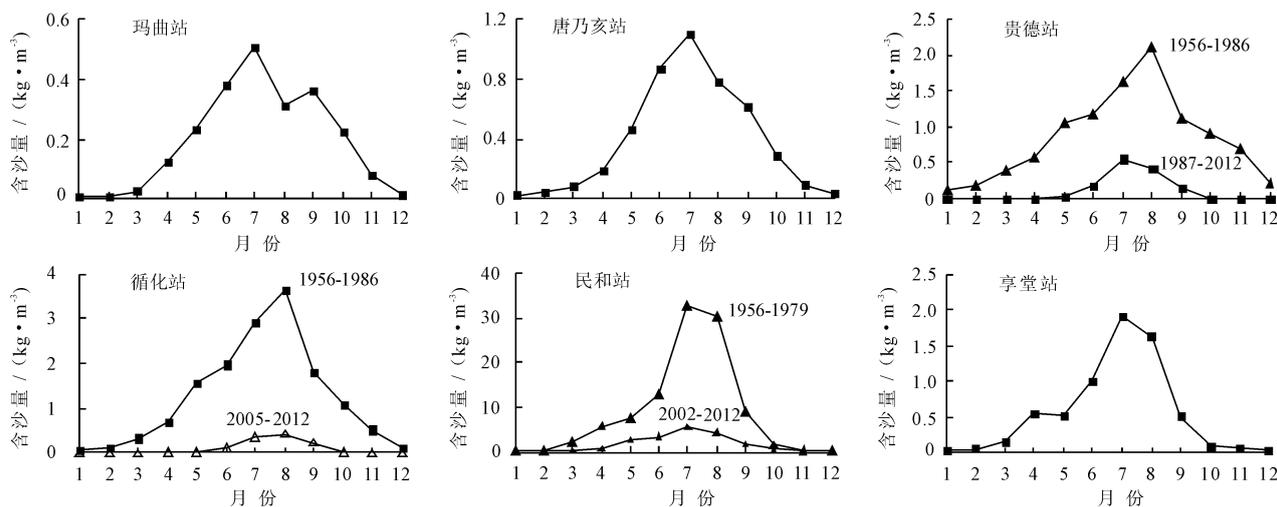


图 2 泥沙代表站多年平均含沙量年内分配过程线

3.2 含沙量年际变化及趋势检验

按年代分析含沙量的年际变化,黄河干流玛曲、唐乃亥站最大平均含沙量出现在 20 世纪 80 年代,贵德、循化、民和、享堂站最大平均含沙量出现 70 年代,随着年代推移,80 年代、90 年代含沙量逐渐减小,至 2000 - 2012 年各站年代平均含沙量均出现最小值,见表 2。说明各站含沙量总体上从 70、80 年代至 2012 年呈明显减小的趋势。

以泥沙代表站 1956 - 2012 年平均含沙量绘制含沙量过程线、5 a 滑动趋势线,采用 Kendall 秩次、Spearman 秩次、线性趋势回归 3 种方法对代表站含沙量过程进行趋势成分检验,在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下,除玛曲、唐乃亥站含沙量年际间变化不明显外,其余各站含沙量均呈明显较小的趋势,检验结果见表 3。贵德站 1987 年出现突变点,循化站 1987、2000、2005 年出现突变点,民和站 1980、2002 年出

现突变点,各突变年份含沙量呈跳跃式减小。见图3所示。

表2 不同年代含沙量对比分析 kg/m^3

测站名称	1956 - 1969年	1970 - 1979年	1980 - 1989年	1990 - 1999年	2000 - 2012年	系列均值
玛曲	0.267	0.309	0.398	0.253	0.236	0.293
唐乃亥	0.485	0.598	0.822	0.618	0.474	0.594
贵德	1.069	1.296	1.015	0.105	0.092	0.745
循化	1.775	1.977	1.718	0.939	0.226	1.352
民和	11.64	14.98	6.268	7.650	2.484	8.634
享堂	1.058	1.342	1.105	0.713	0.586	0.957

表3 青海省黄河流域泥沙代表站含沙量趋势检验表

站名	Kendall 检验 Spearman 检验 线性趋势回归检验		
	U	T	T
玛曲	1.04	1.106	0.641
唐乃亥	0.30	0.285	0.254
贵德	5.29*	7.286*	8.764*
循化	5.44*	6.262*	7.355*
民和	5.36*	6.544*	5.049*
享堂	3.26*	3.471*	3.524*

注：“*”表示 $\alpha=0.05$ 趋势显著。

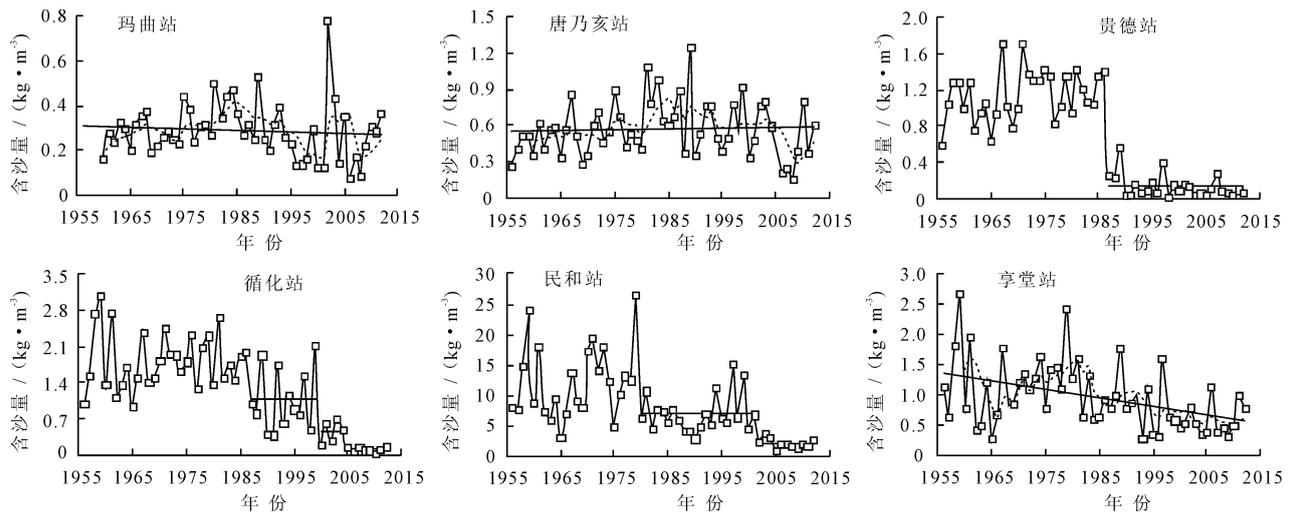


图3 泥沙代表站含沙量趋势线

表4 泥沙代表站不同年代输沙量对比表 万t

测站名称	1956 - 1969年	1970 - 1979年	1980 - 1989年	1990 - 1999年	2000 - 2012年	系列均值
玛曲	380	448	671	324	310	417
唐乃亥	974	1220	1982	1088	889	1194
贵德	2246	2717	2344	189	172	1512
循化	4060	4292	3966	1720	431	2845
民和	2140	2191	1107	1055	357	1371
享堂	305	363	352	189	149	267

以泥沙站 1956 - 2012 年输沙量绘制输沙量过

4 输沙量年内、年际变化及趋势检验

4.1 输沙量年内变化

由于受降水与径流的制约,河流输沙量与含沙量年内变化基本一致,河流最大月平均输沙量主要集中在7、8月,最大月输沙量占全年输沙量的22.5~41.1%;最小月平均输沙量出现在1、2月,月输沙量仅占全年输沙量的0~1.4%;连续最大4个月输沙量主要集中在6-9月,输沙量占全年输沙量的69.9~97.0%。贵德、循化站近年来月输沙量变化较为明显,各月输沙量明显减小,但汛期输沙量占全年的比重显著上升。输沙量年内分配过程线见图4。

4.2 输沙量年际变化及趋势分析

以黄河干流玛曲、唐乃亥、贵德、循化站,湟水民和、大通河享堂站1956-2012年平均输沙量分析其年际变化,输沙量除受径流影响因素外,其变化规律与含沙量基本一致,按年代分析,玛曲、唐乃亥站80年代平均输沙量最大,贵德、循化、民和、享堂站70年平均输沙量最大,2000-2012年平均输沙量仍出现最小值。详见表4。

程线、5年滑动趋势线(图5),采用Kendall秩次、Spearman秩次、线性趋势回归3种方法对代表站输沙量过程进行趋势成分检验,在显著性水平 $\alpha=0.05$ 下,除玛曲、唐乃亥站含沙量年际间变化不明显外,其余各站含沙量均呈明显较小的趋势,与含沙量检验结果基本一致,检验结果见表5。贵德站1987年出现突变点,循化站1987、2000、2005年出现突变点,民和站1980、2002年出现突变点,出现时间与含沙量一致。

5 泥沙变化的成因分析

青海省黄河流域泥沙分布地区差异较大,根据流域控制站输沙模数分析,黄河唐乃亥以上及大通河产沙较小,唐乃亥站多年平均输沙模数为 98 t/km²,享堂站输沙模数为 177 t/km²;黄河贵德以下至省界、湟水地区产沙能力较大,贵德至循化区间输沙模数为 1 129 t/km²、民和站输沙模数为 894 t/km²,为青海省黄河流域主要的产沙区^[4]。

以黄河干流主要产沙区唐乃亥、贵德、循化、民和站年径流及年输沙量建立关系,分析径流与泥沙

的变化关系,见图 6。

表 5 青海省黄河流域泥沙代表站输沙量趋势检验表

站名	Kendall 检验	Spearman 检验	线性趋势回归检验
	<i>U</i>	<i>T</i>	<i>T</i>
玛 曲	1.61	1.686	1.473
唐乃亥	0.30	0.345	0.014
贵 德	4.98 *	6.977 *	6.444 *
循 化	5.75 *	7.436 *	6.568 *
民 和	5.38 *	6.208 *	5.209 *
享 堂	2.89 *	3.009 *	2.858 *

注:“*”表示 $\alpha = 0.05$ 趋势显著。

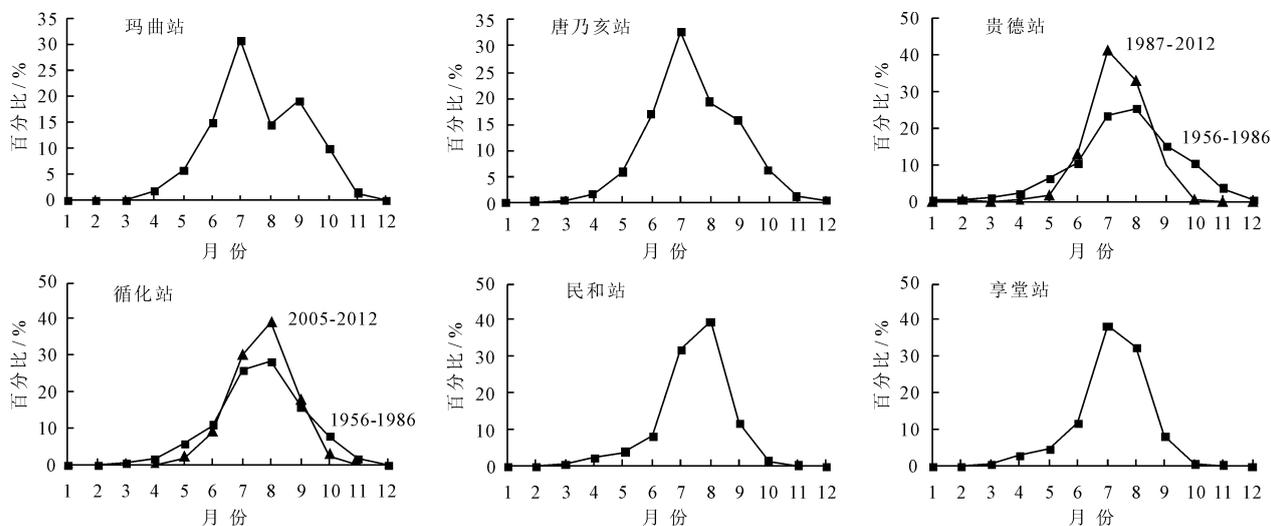


图 4 泥沙代表站多年平均输沙量年内分配过程线

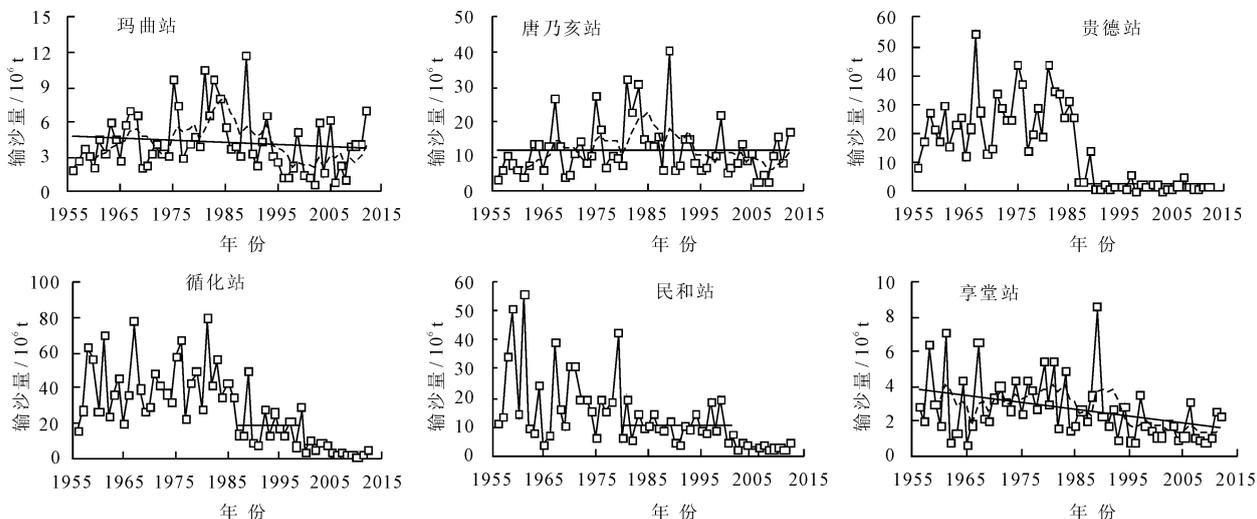


图 5 泥沙代表站输沙量趋势线

由图 6 看出,各站径流在 2000 年左右出现转折,2000 年后径流呈现明显上升趋势,而相应的河流输沙量呈明显减小趋势。分析其原因:黄河干流先后建成 9 座电站水库,其中河流泥沙影响较大的

龙羊峡、李家峡、公伯峡水库分别建成于 1986、1999、2004 年,与主要产沙区贵德、循化站泥沙减小趋势及其发生突变的年份一致,水库拦沙是导致河流泥沙突变减小的主要原因;其次,近年来随着三江

源生态保护工程的实施,三江源区乃至整个黄河流域水土保持工作力度加大,流域生态环境有了明显好转,据统计,截止2010年湟水流域完成退耕还林还草面积达14.7万 hm^2 ,各种淤地坝、水土保持、生态修复工程取得了显著的成效,流域水土流失得到有效遏制^[5],水土保持工程的实施对黄河泥沙减小

起了重要的作用^[6-7];另一方面,近年来随着三江源生态保护工程的实施,三江源区呈现降水量、降水日数增加,降雨强度的增强,河川径流量有明显增加,而相应的河流来沙量反而减小^[8],其主要原因与流域来水量增加、径流的集中程度降低、生态植被覆盖条件好转有关。

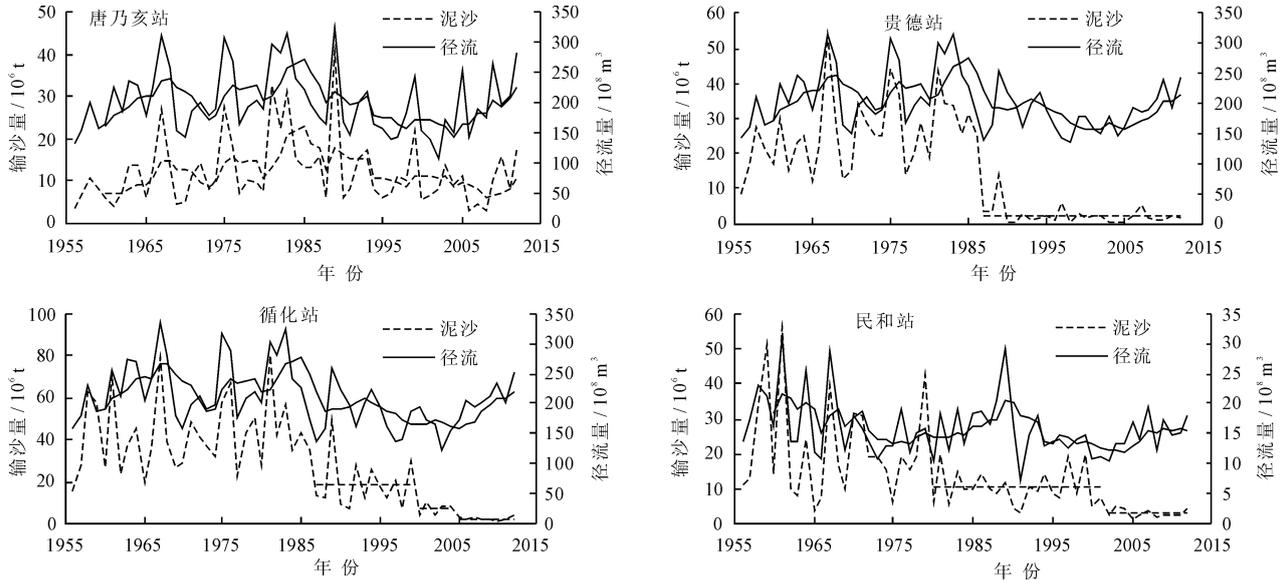


图6 代表站实测年径流量与实测输沙量5年滑动均值关系线

6 结语

(1)采用 Kendall 秩次检验法、Spearman 秩次检验法、线性趋势回归检验法对黄河流域泥沙代表站1956-2012年含沙量、输沙量进行趋势检验分析,结果表明:除黄河上游玛曲、唐乃亥站泥沙没有明显增减趋势外,其他各站含沙量、输沙量均呈明显减小趋势,总体上黄河流域泥沙从20世纪80年代至2012年呈明显减小趋势。

(2)通过各站含沙量、输沙量均值过程线看,黄河干流贵德1987年出现突变点、循化站1987、2000、2005年出现突变点,湟水民和站1980、2002年出现突变点,突变年份河流含沙量、输沙量呈跳跃式减小,近期2000-2012年含沙量、输沙量最小。

(3)分析青海省黄河流域泥沙减小的原因,水库拦沙对黄河干流来沙量减小起主导作用,另一方面,水土保持、退耕还林还草等工程实施,以及流域天然来水量增加,使流域生态植被覆盖条件好转,对流域来沙减小起了重要作用。

参考文献:

- [1] 史红玲,胡春宏,王延贵,等. 黄河流域水沙变化趋势分析及原因探讨[J]. 人民黄河,2014,36(4):1-5.
- [2] 侯素珍,王平,楚卫斌. 黄河上游水沙变化及成因分析[J]. 泥沙研究,2012(4):46-52.
- [3] 谢平,陈广才,雷红富,等. 变化环境下地下水资源评价方法[M]. 北京:科学出版社,2009:78-80.
- [4] 青海省水文水资源勘测局. 青海省水资源评价报告[R]. 2006.
- [5] 王秀莲,蔡宜晴,唐洪波. 从乐都水文站水沙变化看湟水流域生态建设成效[J]. 中国水土保持,2012(8):26-28.
- [6] 王晓燕,杨涛,冯杰. 黄河中游水沙过程对水土保持治理的响应研究[J]. 水电能源科学,2011,29(11):145-148+216.
- [7] 刘昌明,张学成. 黄河干流实际来水量不断减少的成因分析[J]. 地理学报,2004,59(3):323-330.
- [8] 青海省水文水资源勘测局. 青海三江源生态保护和建设工程生态监测项目2005-2012年水资源监测专题成效评估报告[R].