

近年来青海三江源区河川径流变化特征及趋势分析

孙永寿¹, 段水强¹, 李燕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: 依据三江源区 1956-2012 年 57 年水文监测资料, 采用距平分析, 集中度、集中期、不均匀系数等方法, 分析了自 2005 年青海三江源生态保护工程实施以来, 三江源区河川径流变化特征及趋势。结果表明: 三江源区 2005-2012 年系列径流的空间分布特征是由南向北递减; 2005-2012 年径流距平自东南向西北逐渐增大, 最大为长江源头区, 距平在 80% 以上, 最小为源区东南部地区, 距平在 -10% 左右; 2005-2012 年长江、澜沧江、黄河吉迈以上径流集中度、不均匀系数呈减小趋势, 集中期有所推后, 说明径流的年内分配趋于均匀、最大水量出现时间有所滞后; 2005-2012 年期间源区径流总体呈偏丰状态, 各站径流较多年均值有明显增加; 1956-2012 年期间, 长江源区径流有明显上升趋势, 澜沧江、黄河源区径流无明显上升或下降趋势。

关键词: 河川径流量; 径流变化; 集中度; 集中期; 生态保护; 青海三江源

中图分类号: P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)01-0052-06

Variation characteristics and trend analysis of runoff at the source regions of the three river in Qinghai during recent years

SUN Yongshou¹, DUAN Shuiqiang¹, LI Yan¹, 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, Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: According to hydrological surveying data of 57 years of from 1956 to 2012, this paper used the methods such as distance average analysis, concentration rate, concentration period, coefficient of uniformity to analyze runoff variation feature and trend of the source regions of the three river since the ecological protection project was implemented in 2005. The results showed that space runoff distribution of the source regions of the three river increased from south to north from 2005 to 2012; distance average of runoff decreased from southeast to northwest from 2005 to 2012, the maximum was in source area of the Yangtze River, distance average was more than 80%, the minimum was in source area in southeastern regions, distance average was in about 10%; the runoff concentration rate, coefficient of uniformity presented decreasing trend, and the concentration period was delayed. The source area runoff was in overall wet station from 2005 to 2012. The runoff of each station has significantly increase more than annual average. The runoff has clear upward trend in Yangtze River, and has no significant upward or downward trend in the Lancang River and the Yellow River source region during 1956 to 2012.

Key words: river runoff; runoff variation; concentration rate; concentration period; ecological protection; the source regions of the three river of Qinghai Province

1 研究背景

三江源是长江、黄河、澜沧江的源头汇水区, 是我国重要的水源地及生态功能区, 研究三江源区水资源

变化规律及趋势, 对于合理开发利用水资源, 制定水利规划决策和改善生态环境等都具有十分重要的意义。水资源的自然属性使其具有明显的年代变化特性, 如 20 世纪 90 年代三江源区水资源处于枯水期,

收稿日期: 2014-09-10; 修回日期: 2014-11-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41261004)

作者简介: 孙永寿(1979-), 男, 西宁人, 本科, 工程师, 主要从事水文水资源分析研究。

而以青海湖 2005 年起水位持续上升为标志,全省及三江源区水资源发生了由枯转丰的显著变化,水资源量呈持续上升期,区域生态环境、水资源状况发生了明显的好转。以往对三江源区水资源变化趋势研究的方法主要集中为线性倾向估计法、累积距平以及 Kendall 秩次相关法^[1]、小波周期分析^[2]。本文以三江源区 1956 - 2012 年共 57a 逐月径流资料,通过距平分析,集中度、集中期、不均匀系数等方法,更进一步分析了三江源区径流空间分布,年内、年际间的变化特征,重点分析自 2005 年青海三江源生态保护工程

实施以来源区径流的变化特征及趋势。

2 水文数据来源

选取三江源区沱沱河、直门达、黄河沿、吉迈、玛曲、军功、唐乃亥、香达站 1956 - 2012 年水文资料。资料分析过程中受人类活动对水量影响较大的站点进行了水量的还原计算,其中黄河源区各站均已还原了电站抬高水位对水量的影响。资料系列长 57 年,代表性好、可靠程度高。采用资料水文站点分布情况见图 1。

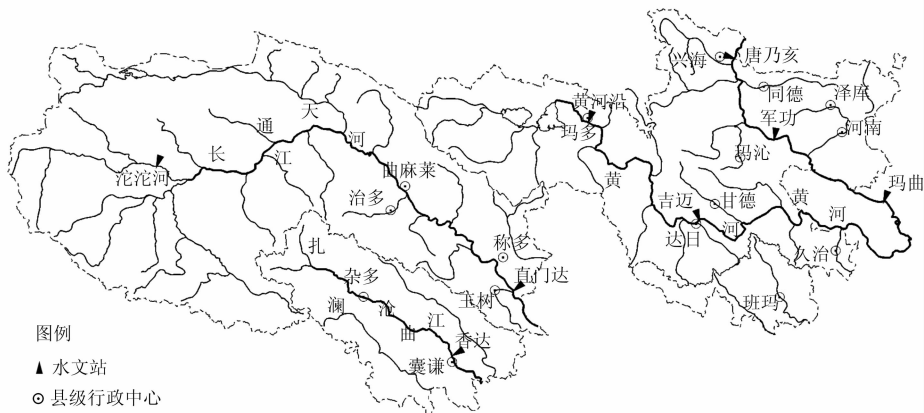


图 1 青海三江源区河流及水文站分布图

3 径流的空间分布特征

从 2005 - 2012 年三江源区径流深等值线看出,三江源区径流深在 50 ~ 450 mm 之间,空间上总体由南向北递减,径流深最高值出现在三江源区南部澜沧江下游,平均径流深在 400 mm 以上,三江源区中部地区、黄河源区南部径流深在 200 ~ 300 mm 之间,最低值出现在三江源区北部一带,径流深在 50 ~ 100 mm 之间,见图 2。

4 2005 - 2012 年径流距平分析

长江源区沱沱河、直门达站 2005 - 2012 年系列均值较多年均值(1956 - 2000 年系列,下同)增加 86.1%、39.3%;黄河源区吉迈站以上是源区主要的产水区,其黄河沿站、黄河沿至吉迈区间 2005 - 2012 年期间水量与多年均值相比,分别偏多 51.5%、31.2%,吉迈至玛曲、玛曲至军功,产水量较少,其 2005 - 2012 年期间水量与多年平均相比,分

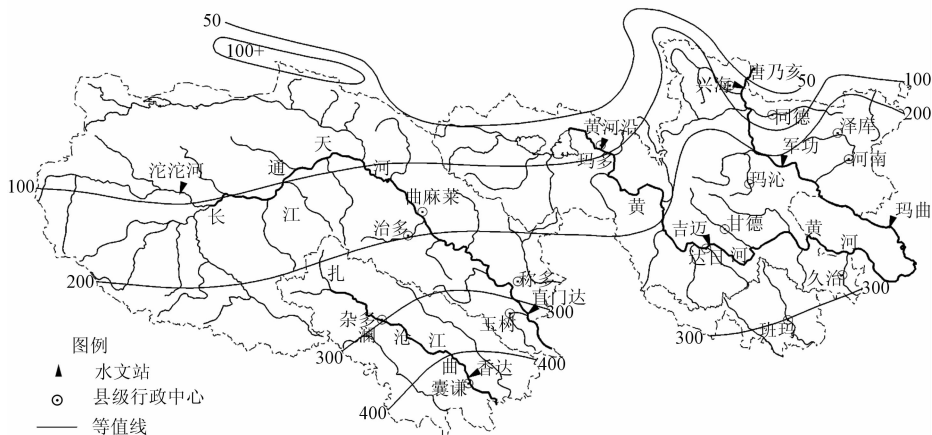


图 2 青海三江源区 2005 - 2012 年平均径流深等值线图

别偏少了9.4%、6.9%，下游军功至唐乃亥，水量又增多，军功至唐乃亥区间2005-2012年系列均值与多年平均相比，增加了35.8%，见表1。

表1 三江源控制站2005-2012年系列与多年平均系列径流量对比分析表

站点(区间)	集水面积/ km ²	径流量/亿m ³		与多年平均 比较/±%
		2005-2012	多年平均	
黄河沿	20930	10.81	7.14	51.5
吉迈	45019	53.87	39.95	34.8
玛曲	86048	149.30	145.30	2.7
军功	98414	181.10	179.50	0.9
唐乃亥	121972	215.20	204.60	5.2
黄河沿至吉迈	24089	43.05	32.81	31.2
吉迈至玛曲	41029	95.41	105.40	-9.4
玛曲至军功	12366	31.83	34.20	-6.9
军功至唐乃亥	23558	34.08	25.10	35.8
沱沱河	15924	14.76	7.929	86.1
直门达	137704	170.00	122.10	39.3
香达	17909	48.96	43.51	12.5

从径流的地区变化特征分析，源区径流距平总的变化特征是由南向北递增，长江源头区径流偏多程度最大，距平达80%以上，三江源区北部地区径流偏多50%以上，中部地区径流偏多10%~40%，

南部地区径流基本与常年持平，距平为0，东南部地区径流距平最小，为-10%左右，见图3。

5 径流的年内分配异变

对径流的年内分配异变^[3]分析，揭示区域水文要素年内情势的变异规律，径流年内分配指标包括径流量的集中度、集中期及不均匀系数。集中度和集中期均用来表示集中程度，集中度是反映集中期径流量占年总径流量的比例，而集中期则近似表示了一年中最大径流量出现的时间；径流年内分配不均匀系数是综合反映河川径流年内分配不均匀性的重要指标，不均匀系数越大表示年内分配愈集中。

5.1 集中度分析

对三江源区径流站1956-2012年系列径流进行集中度分析，从集中度与径流的关系点距上看，2005-2012年沱沱河、直门达、香达、吉迈站在同等径流条件下，集中度呈明显减小的趋势，平均减小了0.06，个别站个别年份集中度略有升高，但升高幅度明显小于降低幅度，玛曲、军功、唐乃亥站集中度变化不明显。从区域分布上看，长江、澜沧江、黄河吉迈以上集中度呈减小趋势。见表2、图4。

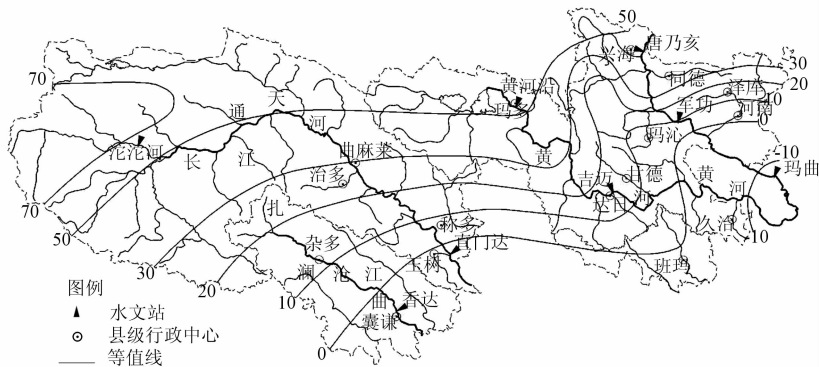


图3 青海三江源区2005-2012年径流距平等值线图

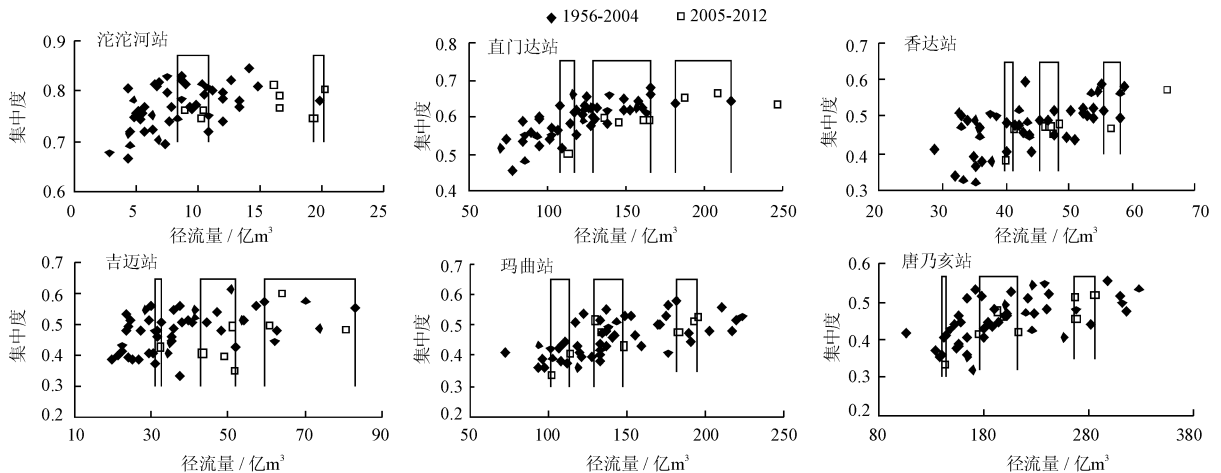


图4 三江源区径流站集中度与径流关系曲线

表 2 三江源区径流站点集中度分析表 亿 m³

站名	径流区间	平均径流		集中度		变化值
		1956 - 2004	2005 - 2012	1956 - 2004	2005 - 2012	
沱沱河	8.3 ~ 10.8	9.63	9.78	0.78	0.76	-0.02
	19.3 ~ 20.2	19.74	19.85	0.78	0.78	0.00
直门达	108.0 ~ 116.8	112.9	112.80	0.60	0.50	-0.10
	129.1 ~ 165.5	146.0	143.70	0.63	0.58	-0.05
香达	182.1 ~ 216.7	199.4	197.90	0.64	0.66	0.02
	39.9 ~ 41.1	40.14	40.51	0.48	0.46	-0.02
黄河沿	45.4 ~ 48.4	46.87	47.16	0.49	0.47	-0.02
	55.6 ~ 58.0	56.82	56.59	0.51	0.47	-0.04
吉迈	2.45 ~ 3.26	2.97	2.92	0.33	0.05	-0.28
	9.86 ~ 17.82	12.39	13.80	0.42	0.43	0.01
玛曲	31.1 ~ 32.7	31.60	31.93	0.46	0.43	-0.03
	43.1 ~ 52.1	48.45	48.53	0.51	0.41	-0.10
军功	59.5 ~ 83.0	68.56	68.30	0.52	0.53	0.01
	102 ~ 113.3	107.5	107.70	0.41	0.37	-0.04
唐乃亥	128.7 ~ 147.5	136.8	136.60	0.46	0.48	0.02
	181.5 ~ 194.6	187.0	189.70	0.50	0.51	0.01
唐乃亥	111.9 ~ 143.6	128.6	127.70	0.37	0.36	-0.01
	153.2 ~ 182.2	166.5	168.40	0.48	0.44	-0.04
唐乃亥	206.3 ~ 228.3	215.3	216.10	0.48	0.48	0.00
	175.4 ~ 212.0	191.2	194.40	0.46	0.44	-0.02
唐乃亥	265.8 ~ 284.9	275.8	272.60	0.46	0.50	0.04

5.2 集中期分析

在对三江源区水文站集中度分析的基础上进行集中期分析,以 1956 - 2012 年的平均集中期为基础数据,分析集中期的变化特征,见图 5,位于直线上方的点的集中期较多年平均集中期偏晚,下方的点的集中期较多年平均集中期偏早。经分析,2005 - 2012 年径流的集中期,沱沱河、直门达、香达、黄河沿站出现集中期偏晚的点居多,说明长江、澜沧江、黄河源头区集中期总体有所滞后,吉迈以下地区集中期变化不明显。

5.3 不均匀系数分析

不均匀系数是衡量水文序列年内分配的不均匀性,不均匀系数越大即表明年内各月水文要素值对于均值的离散程度越大,表现为丰枯月份水文要素值相差越悬殊,年内分配越不均匀。不均匀系数 C_v 的计算公式:

$$C_v = \sigma / \bar{R}, \quad \bar{R} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2} \quad (2)$$

式中: R_i 为年内各月水文要素值 ($i = 1, 2, 3, \dots, 12$); \bar{R} 为年内月平均值; C_v 为不均匀系数。

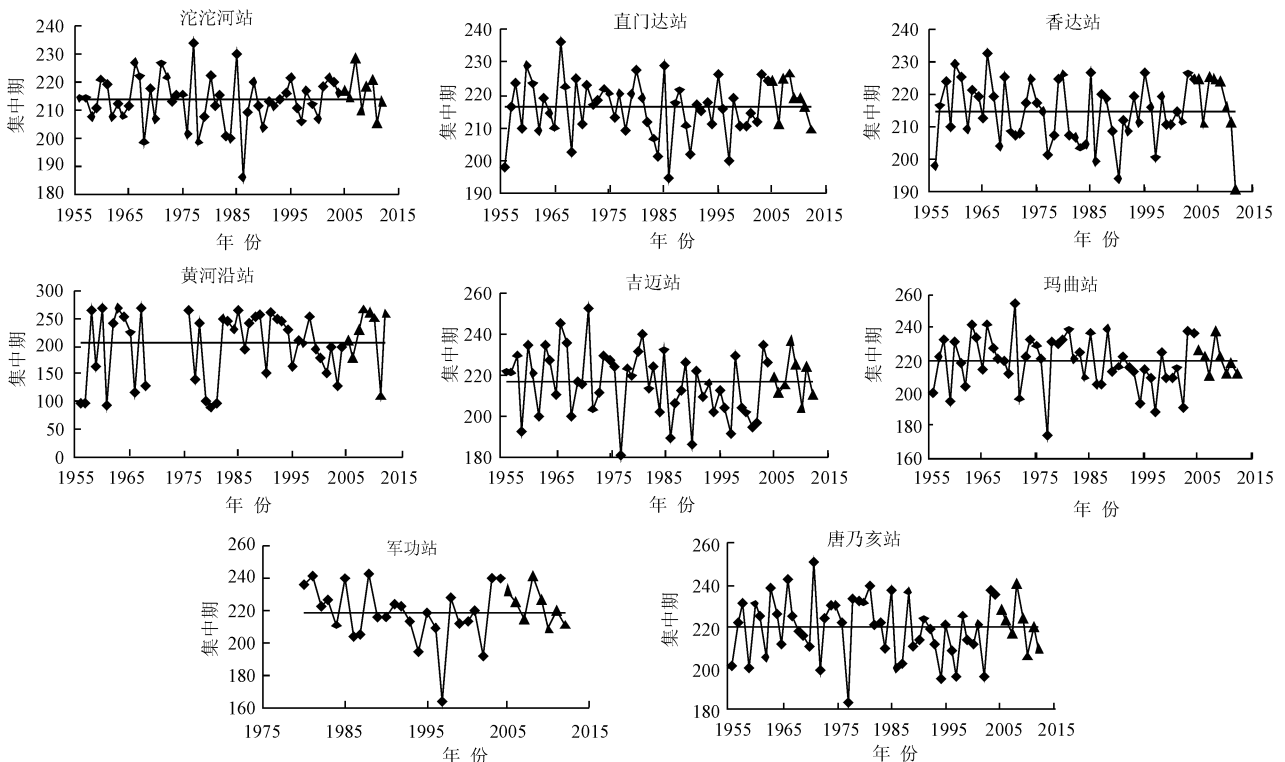


图 5 三江源区径流站径流集中期变化曲线图

对三江源区径流站 1956 - 2012 年系列进行不均匀系数分析,从不均匀系数与径流的关系点距上看,2005 - 2012 年沱沱河、直门达、香达、吉迈站在同等径流条件下,不均匀系数呈明显减小的趋势,平均减小了 0.07,个别站个别年份不均匀系数略有升高,但升高幅度明显小于降低幅度,玛曲、军功、唐乃亥站不均匀系数变化不明显。从区域分布上看,长江、澜沧江、黄河吉迈以上不均匀系数呈减小趋势。见表 3、图 6。

6 径流的年际丰枯变化及趋势

以三江源区各流域控制站年径流过程及五年滑动均值过程线(图 7)看出,年径流年际间丰、枯变化较为明显,长江上游沱沱河站年径流丰枯变化持续时间较长,变幅较大,最长丰枯周期为 1966 - 2012 年,持续时间 47a,1998 - 2012 年期间径流处于丰水期;直门达、香达站丰枯变化较为频繁,最长丰枯周期出现在 1989 - 2012 年,持续时间 23a,1998 年前后径流进入丰水期;黄河沿、玛曲、唐乃亥站丰枯变化基本相似,具有同步性,最长丰枯周期大致出现在 1989 - 2012 年,2005 年前后径流进入丰水期。从总体看,三江源区径流 1989 - 2012 年经历了一个由枯转丰的循环周期,2005 - 2012 年三江源区径流呈偏丰状态,河川径流量较多年平均有明显增加。

对径流站点 1956 - 2012 年资料进行趋势分析,采用 Kendall 秩次、Spearman 秩次、线性趋势回归^[4] 3 种检验方法进行趋势检验(表 4),Kendall 秩次、Spearman 秩次、线性回归 3 种检验中,有两种检验

趋势显著时,则认为存在趋势。经趋势成分检验,在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下,长江源区沱沱河、直门达站径流有明显上升趋势。澜沧江香达站、黄河源区各站径流无明显上升或下降趋势。

表 3 三江源区径流代表站不均匀系数分析表 亿 m^3

站名	径流区间	平均径流		集中度		变化值
		1956 - 2004	2005 - 2012	1956 - 2004	2005 - 2012	
沱沱河	8.3 - 10.8	9.63	9.78	1.35	1.23	-0.12
	19.3 - 20.2	19.74	19.85	1.28	1.25	-0.03
直门达	108.0 - 116.8	112.9	112.8	0.98	0.76	-0.22
	129.1 - 165.5	146.0	143.7	1.01	0.89	-0.12
	182.1 - 216.7	199.4	197.9	0.99	1.07	0.08
香达	39.9 - 41.1	40.14	40.51	0.75	0.70	-0.05
	45.4 - 48.4	46.87	47.16	0.76	0.72	-0.04
	55.6 - 58.0	56.82	56.59	0.79	0.72	-0.07
黄河沿	2.45 - 3.26	2.97	2.92	0.61	0.16	-0.45
	9.86 - 17.82	12.39	13.8	0.69	0.72	0.03
吉迈	31.1 - 32.7	31.60	31.93	0.72	0.67	-0.05
	43.1 - 52.1	48.45	48.53	0.84	0.68	-0.16
	59.5 - 83.0	68.56	68.30	0.81	0.83	0.02
玛曲	102 - 113.3	107.5	107.7	0.63	0.58	-0.05
	128.7 - 147.5	136.8	136.6	0.72	0.79	0.07
	181.5 - 194.6	187.0	189.7	0.79	0.78	-0.01
军功	111.9 - 143.6	128.6	127.7	0.59	0.57	-0.02
	153.2 - 182.2	166.5	168.4	0.75	0.73	-0.02
唐乃亥	206.3 - 228.3	215.3	216.1	0.80	0.72	-0.08
	140.8 - 143.7	142.3	142.1	0.59	0.51	-0.08
	175.4 - 212.0	191.2	194.4	0.73	0.72	-0.01
	265.8 - 284.9	275.8	272.6	0.70	0.77	0.07

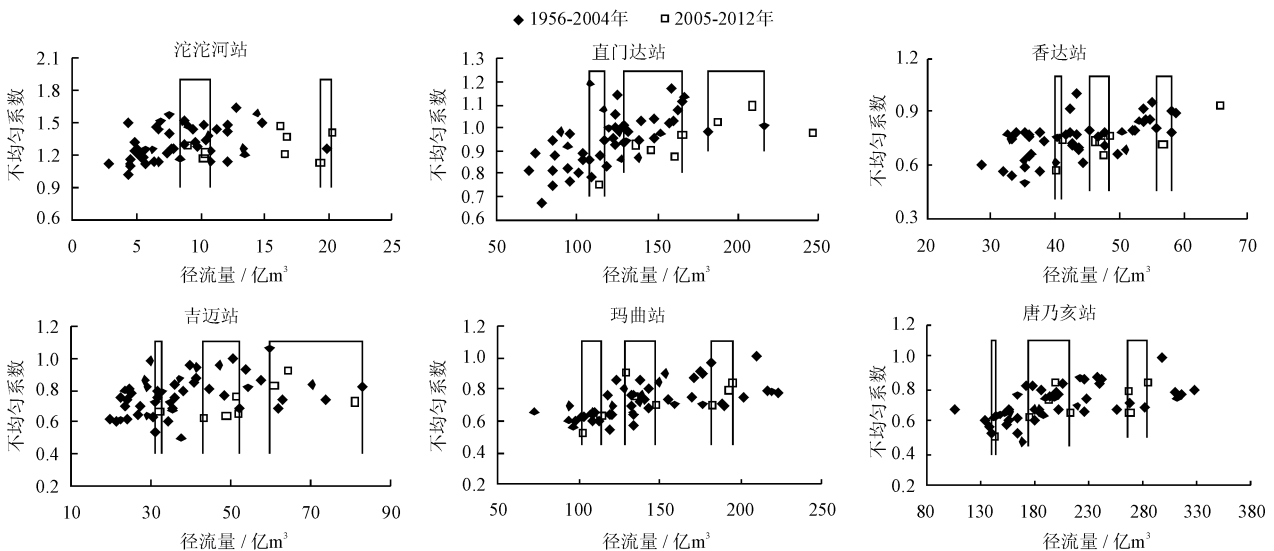


图 6 三江源区径流站不均匀系数与径流关系图

表 4 青海三江源各流域控制站径流趋势检验表

站名	检验方法						检验结果
	Kendall		Spearman		线性回归		
	显著水平 ($\alpha = 0.05$)						
	$U_{\alpha/2} = 1.96$		$t_{\alpha/2} = 2.004$		$t_{\alpha/2} = 2.004$		
沱沱河	2.990	√	3.015	√	3.785	√	有上升趋势
直门达	1.980	√	1.983	-	2.409	√	有上升趋势
香达	1.580	-	1.630	-	1.628	-	无明显趋势变化
黄河沿	0.300	-	0.366	-	0.542	-	无明显趋势变化
玛曲	0.550	-	0.514	-	0.491	-	无明显趋势变化
唐乃亥	0.480	-	0.544	-	0.383	-	无明显趋势变化

注：“-”表示趋势不显著，“√”表示趋势显著。

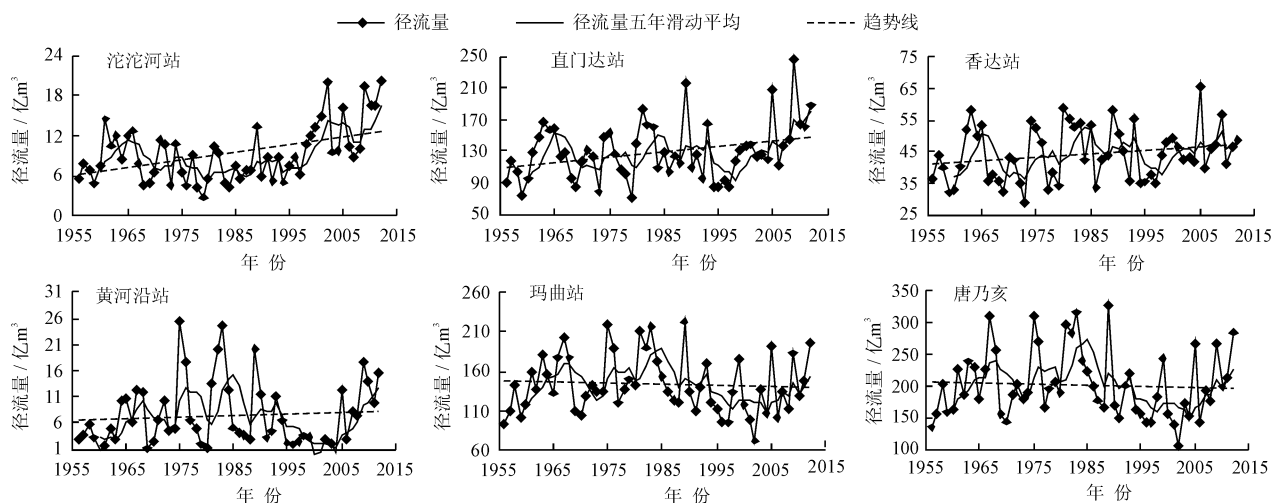


图 7 三江源区径流代表站径流过程线及 5 年滑动趋势线图

7 结 语

(1) 三江源区 2005 - 2012 年平均径流的分布规律是由东南向西北递减, 最高值为澜沧江南部一带, 平均径流深在 400mm 以上, 最低值为三江源区北部一带, 径流深在 50 ~ 100 mm 之间。

(2) 2005 - 2012 年径流距平总的变化特征是由东南向西北递增, 距平最大为长江源头区, 距平在 80% 以上, 最小的为三江源区东南部地区, 距平在 -10% 左右。

(3) 2005 - 2012 年径流年内分配异变分析, 长江源区、澜沧江源区、黄河源区吉迈站以上径流集中度、不均匀系数呈减小趋势, 集中期有所退后, 说明 2005 - 2012 年长江、澜沧江、黄河吉迈以上径流年内分配趋于均匀, 非汛期水量所占比重有所增大, 汛期水量比重有所减小, 年内最大水量出现时间有所滞后。

(4) 三江源区径流 1989 - 2012 年经历了一个由枯转丰的循环周期, 2005 - 2008 年为径流由枯转丰的转折点, 2005 - 2012 年期间径流处于偏丰状态, 河川径流量较多年平均有明显增加。1956 -

2012 年期间, 长江源区径流有明显上升趋势, 澜沧江源区、黄河源区径流无明显上升或下降趋势。

参考文献:

- [1] 周陈超, 贾绍凤, 燕华云, 等. 近 50a 以来青海省水资源变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(3): 432 - 437.
- [2] 王素慧, 贾绍凤, 吕爱锋, 等. 基于小波的三江源年径流变化的周期性分析及趋势预测[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2010, 31(5): 51 - 57.
- [3] 谢平, 许斌, 章树安, 等. 变化环境下区域水资源变异问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 120 - 123.
- [4] 谢平, 陈广才, 雷红富, 等. 变化环境下地下水水资源评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 78 - 80.
- [5] 长江水利委员会. 青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划[R]. 2005.
- [6] 青海省水文水资源勘测局. 青海省水资源评价报告[R]. 2006.
- [7] 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各年度(2005 - 2012)水资源评价报告[R].
- [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]. 2013.