

长江源区近年水沙变化趋势及成因分析

孙永寿, 段水强

(青海省水文水资源勘测局, 青海 西宁 810001)

摘要:依据长江源区1956~2012年水文、气象数据,采用距平分析、集中度、集中期、不均匀系数等方法,分析了该地区近年降水、径流、泥沙变化趋势及其原因。结果显示:2005~2012年期间,长江源区降水量、降雨日数增加,降雨强度亦增强,降水集中度、不均匀系数略有减小;源区径流量明显增加,径流集中度、不均匀系数明显减小,集中期有所推后,枯季径流占全年径流的比例明显提高;河流泥沙年内趋于均匀,含沙量、输沙量呈明显减小趋势。上述径流变化以及下垫面生态植被覆盖条件好转是泥沙变化的主要原因。研究成果为长江源区流域规划和生态保护提供了有益参考。

关键词:降水;径流;泥沙;变化趋势;长江源区

中图法分类号:TV145.3

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.09.005

1 研究区域基本情况

长江源区位于青藏高原腹地、青海省西南部,长江在此区域流经青海省格尔木市的唐古拉山乡及玉树州的治多、曲麻莱、称多、玉树等县,至玉树县的赛拉附近进入四川、西藏境内,地理位置在北纬 $32^{\circ}26'$ ~ $35^{\circ}42'$ 、东经 $90^{\circ}33'$ ~ $95^{\circ}20'$ 之间。长江源区地势高峻、气候干寒、空气稀薄,常年温度很低,是我国气候最寒冷的地区之一,具有特殊的高原自然地理环境。长江源区是青藏高原现代冰川分布较集中的地区之一。20世纪70年代以后,由于气候急剧变暖,各冰川均表现出明显的退缩。冰川年均融水对长江源区河流的补给量占河川径流量的10%以上,对于河川径流的调节作用明显。近年来,随着气候的变化和三江源生态保护工程的实施,源区水资源发生了由枯转丰的显著变化,区域生态环境有了明显好转。以往众多学者对长江源区水沙变化进行了研究,谢昌卫等对长江-黄河源寒区径流时空变化特征进行了研究分析^[1],吴豪等对受气候影响的水沙丰枯周期进行了分析研究^[2],刘宪锋等分别对黄土高原、长江流域降水集中度和集中期特

征进行了分析^[3-4],许继军等对长江流域降水量和径流量长期变化趋势进行了检验分析^[5]。本文主要基于长江源区1956~2012年降水、径流、泥沙资料,采用年内异变分析、年际距平分析,研究了长江源区降水、径流、泥沙之间的关系,其中重点研究了2005年以来降水、径流变化对区域生态环境及泥沙的影响。

2 资料使用及研究方法

长江源区地处藏区,区内人口稀少,人类活动对水沙变化的影响轻微。直门达水文站位于青海省界处,控制87%青海省长江流域面积,其水沙资料基本反映了长江源区水沙特征。径流、泥沙资料主要采用直门达水文站实测值,降水采用长江源区沱沱河、五道梁、曲麻莱气象站以及直门达水文站降水资料。主要分析方法包括集中度、集中期、不均匀系数法^[6]、趋势分析及距平分析法。

计算集中度和集中期是把1a内各月水文要素作为向量,各要素的大小为向量的长度,所处的月份为向量的方向。将1~12月每月所占的角度划分为 $(0^{\circ}, 30^{\circ})$, $(30^{\circ}, 60^{\circ})$, ..., $(300^{\circ}, 330^{\circ})$ 和 $(330^{\circ}, 360^{\circ})$,即假设每个月(不管是28d还是30d或31d)都占据了

30°的空间,则每月中方位角 θ_i 可以设定为 15°,45°,75°,⋯,345°。然后把每个月的水文要素分解为 x 和 y 两个方向上的分量,再把 x 和 y 两个方向上的各月要素分量进行合成。计算公式为

$$\begin{cases} R_x = \sum_{i=1}^{12} R_i \cos\theta_i \\ R_y = \sum_{i=1}^{12} R_i \sin\theta_i \\ R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \end{cases} \quad (1)$$

定义集中度 C_D 和集中期 D 为

$$\begin{cases} C_D = R / \sum_{i=1}^{12} R_i \\ D = \arctan(R_y/R_x) \end{cases} \quad (2)$$

由上式看出,集中期 D 是向量合成后重心所指示的角度,一般表示 1 a 中最大月要素出现的时间;而集中度 C_D 则反映了集中期要素值占年总值的比例。

用水文序列年内分配不均匀系数 C_v 来衡量各序列年内分配的不均匀性

$$C_v = \sigma / \bar{R} \quad (3)$$

式中, \bar{R} 为年内月平均值, $\bar{R} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i$, R_i 为年内各月水文要素值 ($i = 1, 2, 3, \dots, 12$); C_v 值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

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

3 降水量分析

3.1 降水量年内分配异变

3.1.1 集中度与集中期分析

对长江源区降水代表站 1956 ~ 2012 年系列降水集中度进行分析,在相同降水条件下,对比 1956 ~ 2004 年与 2005 ~ 2012 年系列的集中度。从图 1 分析得出,与 1956 ~ 2012 年相比,2005 ~ 2012 年集中度总体上变化不大,曲麻莱、直门达站有略微减小,见图 1。

分析不同降水范围内 2005 ~ 2012 年与 1956 ~ 2004 年的降水量及降水集中度变化情况,在相同降水条件下,曲麻莱降水在 388 ~ 402,489 ~ 522 mm 之间时,集中度分别减小了 0.03,0.02,直门达降水在 518 ~ 560,609 ~ 612 mm 之间时,集中度分别减小 0.08,0.04,其余降水区间集中度略有增加,但增幅小于减幅,详见表 1。

在集中度分析的基础上进行集中期分析(见图 2),以 1956 ~ 2012 年平均集中期为基础数据,位于直

线上方点的集中期较多年平均集中期偏晚,下方点的集中期较多年平均集中期偏早。分析 2005 ~ 2012 年年降水集中期,沱沱河站出现偏早的年份居多,曲麻莱出现偏晚的年份居多,其他站不明显。由于集中期年际间有上下波动的规律,2005 ~ 2012 年期间降水集中期总体变化不明显。

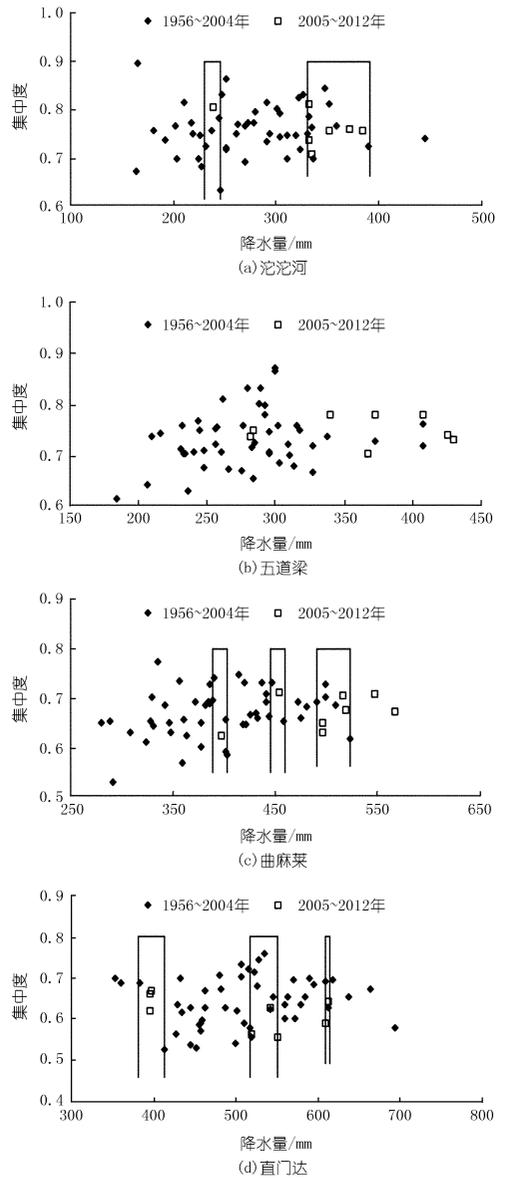


图 1 降水量与降水集中度关系

表 1 降水集中度分析

站名	降水区间/ mm	P 平均/mm		集中度		ΔC_D
		1956 ~ 2004 年	2005 ~ 2012 年	1956 ~ 2004 年	2005 ~ 2012 年	
曲麻莱气象站	388 ~ 402	396.0	396.6	0.655	0.625	-0.03
	455 ~ 458	451.5	452.8	0.693	0.713	0.02
	489 ~ 522	503.2	505.6	0.686	0.666	-0.02
直门达水文站	382 ~ 413	393.3	395.2	0.632	0.650	0.02
	518 ~ 560	536.9	537.1	0.663	0.581	-0.08
	609 ~ 612	610.4	610.1	0.659	0.615	-0.04

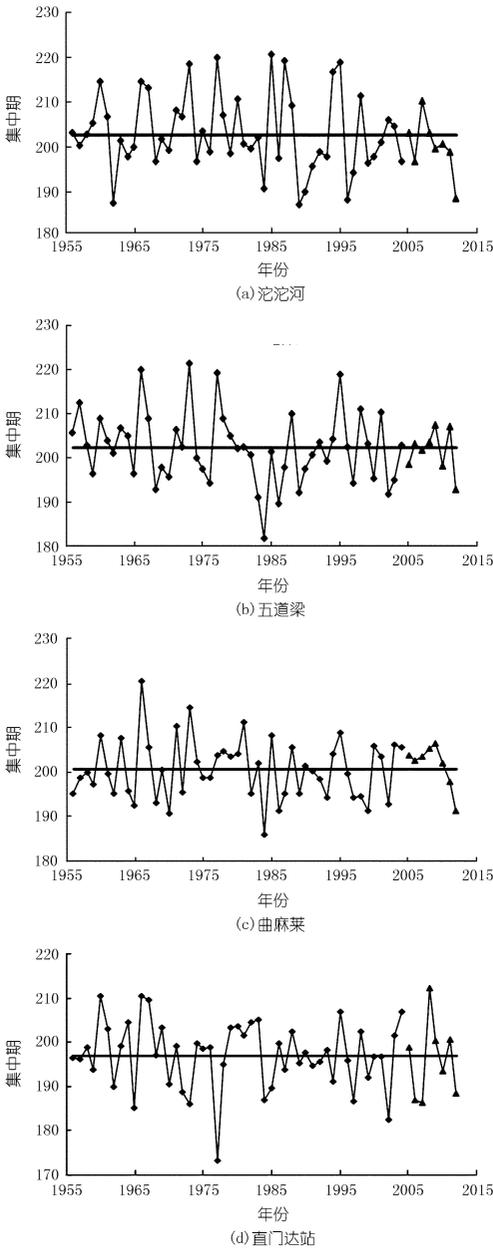


图 2 降水集中期变化曲线

3.1.2 不均匀系数

对降水代表站降水不均匀系数散点图进行分析,在相同降雨条件下,2005 ~ 2012 年沱沱河、曲麻莱、直门达站降水不均匀系数均有不同程度的减小,五道梁站变化不明显,见图 3。

取不同降水范围内 1956 ~ 2004 年与 2005 ~ 2012 年的降水及不均匀系数的均值,对比相同降水条件下的不均匀系数,沱沱河降水在 330 ~ 389 mm 之间时,不均匀系数减小了 0.11;曲麻莱站降水在 388 ~ 402 mm 之间时,不均匀系数降低了 0.07;直门达站降水在 382 ~ 413,518 ~ 560 mm 和 609 ~ 612 mm 之间时,不均匀系数平均降低了 0.05,0.11 和 0.12。其余降水区

间集中度略有增加,但增加幅度小于减小幅度,见表 2。总体上长江源区降水不均匀系数有略微减小。

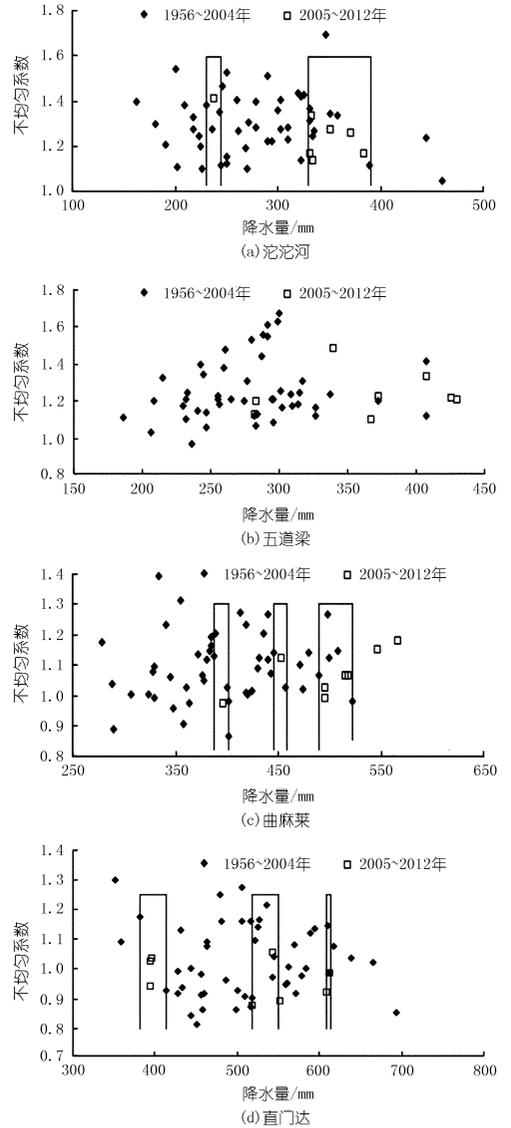


图 3 降水量与降水不均匀系数关系

表 2 降水不均匀系数分析

站名	降水区间/ mm	平均降水量/mm		不均匀系数		ΔC_p
		1956 ~ 2004 年	2005 ~ 2012 年	1956 ~ 2004 年	2005 ~ 2012 年	
沱沱河气象站	230 ~ 243	236.9	237.5	1.34	1.42	0.08
	330 ~ 389	349.2	350.2	1.34	1.23	-0.11
曲麻莱气象站	388 ~ 402	396.0	396.6	1.04	0.98	-0.07
	455 ~ 458	451.5	452.8	1.09	1.13	0.04
	489 ~ 522	503.2	505.6	1.12	1.04	-0.08
直门达水文站	352 ~ 428	393.3	395.2	1.07	1.00	-0.07
	518 ~ 560	536.9	537.1	1.05	0.94	-0.11
	609 ~ 612	610.4	610.1	1.07	0.95	-0.12

3.2 降水量年际变化

3.2.1 降水丰枯分析

以年代为单元,将 1956 ~ 2012 年系列划分为 5 个

时间段,分析比较不同年代降水量与1956~2012年平均降水量的相对增减幅度。与1956~2012年相比,沱沱河站20世纪60~90年代降水量偏少,2000~2012年降水量偏多幅度较大;五道梁站60~80年代降水量偏少,90年代、2000~2012年降水量偏多;曲麻莱站60~70、90年代降水量偏少,80年代、2000~2012年降水量偏多;直门达站60、80年代降水量偏多,70、90年代、2000~2012年降水量偏少。2005~2012年期间,除直门达站降水偏少1.4%外,其余各站降水均偏多20%以上,偏丰幅度较大,见表3。

表3 不同年代降水量分析

时段	沱沱河		五道梁		曲麻莱		直门达	
	降水量/mm	距平	降水量/mm	距平	降水量/mm	距平	降水量/mm	距平
60年代	277.3	-4.0	265.8	-7.9	389.2	-5.4	528.8	3.8
70年代	284.7	-1.4	259.8	-10.0	403.7	-1.9	499.9	-1.9
80年代	284.5	-1.5	271.3	-6.0	444.0	7.9	546.3	7.2
90年代	248.7	-13.9	291.0	0.8	378.8	-8.0	481.3	-5.5
2000~2012年	345.5	19.6	343.3	18.9	456.7	11.0	500.3	-1.8
2005~2012年	355.2	22.9	363.2	25.8	498.0	21.0	502.1	-1.4
1956~2012年	288.9		288.7		411.6		509.5	

3.2.2 降水变化趋势分析

对长江源区降水代表站1956~2012年资料进行趋势分析,采用Kendall秩次检验法、Spearman秩次检验法、线性趋势回归检验法^[7],在取显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下,长江上游沱沱河、五道梁、曲麻莱站降水均存在明显上升趋势,下游直门达站趋势不明显,总体上降水年际间呈上升趋势,检验结果见表4。

表4 代表站降水趋势检验

站名	Kendall 检验	Spearman 检验	线性趋势回归检验
沱沱河	2.01 *	2.005 *	2.091 *
五道梁	3.40 *	3.503 *	4.144 *
曲麻莱	2.59 *	2.600 *	3.045 *
直门达	0.73	0.684	0.881

注:“*”表示 $\alpha = 0.05$ 的趋势显著。

3.3 降雨天数与降雨强度

选取近年来降水量变化趋势不明显的直门达站进行降雨天数和降雨强度统计分析,受资料条件限制,降雨天数统计年限为1981~2012年,降雨强度统计年限为1988~2012年。经分析,直门达站2005~2012年平均降雨天数较1981~2012年增加了4d,2005~2012年直门达站最大1,3,6,12h和1d降水强度较1981~2012年长系列均有明显增大,见表5。说明长江源区近年来呈现降雨天数增加,降雨强度增强的特点。

表5 直门达站不同时段降雨强度统计

时段	平均降雨量/mm		变化率/%
	1988~2012年	2005~2012年	
最大1h	12.7	17.5	37.8
最大3h	16.3	19.7	20.5
最大6h	19.3	22.8	17.9
最大12h	23.1	26.1	13.0
最大1d	24.8	27.0	8.9

4 径流量分析

4.1 径流年内分配异变

对直门达站1956~2012年系列年径流量进行集中度、不均匀系数计算,分析其变化规律,方法同降水部分。经分析,在相同径流条件下,2005~2012年径流集中度、不均匀系数较1956~2004年集中度均有所减小。直门达站径流在108亿~117亿 m^3 和129亿~166亿 m^3 之间,集中度平均降低了0.10,0.05,不均匀系数平均降低了0.22,0.12。其他径流区间集中度、不均匀系数有所增加,但增加幅度明显小于降低幅度,见表6。说明径流年内集中程度有所降低,径流年内分配趋于均匀。

表6 直门达站径流集中度、不均匀系数分析

径流区间/ 亿 m^3	平均径流量/亿 m^3		集中度		ΔC_D	不均匀系数		ΔC_v
	1956~ 2004年	2005~ 2012年	1956~ 2004年	2005~ 2012年		1956~ 2004年	2005~ 2012年	
108~117	112.9	112.8	0.60	0.50	-0.10	0.98	0.76	-0.22
129~166	146.0	143.7	0.63	0.58	-0.05	1.01	0.89	-0.12
182~217	199.4	197.9	0.64	0.66	0.02	0.99	1.07	0.08

在集中度分析的基础上,进行径流集中期分析,以1956~2012年平均集中期为基础数据,经分析,2005~2012年直门达站出现集中期偏晚的点居多,说明集中期有所推后,最大径流出现时间有所滞后。

由于枯季降水量比较少,一般不会对地下水产生明显的补给作用,流域蓄水量成为枯季径流主要的补给来源。因此,分析枯季径流的变化趋势,对研究流域下垫面条件的改变对径流的调节功能具有重要意义。

对直门达站1956~2012年天然径流系列10月至翌年3月占全年径流的百分比变化进行分析,在同等径流条件下,2005~2012年直门达站枯季径流占全年径流的百分比增大比较明显,枯季径流均呈上升趋势,见表7。这说明长江源区2005~2012年期间生态系统径流调节功能较1956~2004年期间均有所提高。

表 7 直门达站枯季径流分析

径流区间/ 亿 m ³	平均径流量/亿 m ³		枯季径流占全年的百分比/%		
	1956 ~ 2004 年	2005 ~ 2012 年	1956 ~ 2004 年	2005 ~ 2012 年	变化值
109.2 ~ 116.4	113.3	112.8	18.7	22.9	4.2
135.6 ~ 166.2	153.0	151.5	17.1	21.2	4.1
182.1 ~ 216.7	199.4	197.8	15.8	16.4	0.6

4.2 径流年际变化特征

4.2.1 径流丰枯分析

以年代为单元,将 1956 ~ 2012 年系列划分为 5 个时间段,分析比较不同年代径流量与 1956 ~ 2012 年径流量的相对增减幅度。与 1956 ~ 2012 年相比,直门达站 20 世纪 70、90 年代径流量偏少,80 年代、2000 ~ 2012 年径流量偏多,60 年代径流基本与多年平均持平。2005 ~ 2012 年径流较多年平均偏多 31.6%,偏多幅度较大。

4.2.2 径流变化趋势分析

选取直门达站 1956 ~ 2012 年天然径流系列,采用 Kendall 秩次、Spearman 秩次、线性趋势回归检验法对其进行趋势分析检验,3 种检验中,有两种检验趋势显著时,则认为存在趋势。经检验,在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下,直门达站 1956 ~ 2012 年径流系列存在明显上升趋势。

5 泥沙分析

5.1 泥沙年内分配异变

对直门达站 1956 ~ 2012 年系列输沙量进行集中度、集中期、不均匀系数分析,输沙量集中度、不均匀系数与输沙量关系见图 4。与 1956 ~ 2004 年相比,2005 ~ 2012 年输沙量集中度点距分布较散乱,偏离规律不明显,不均匀系数点据略有偏下,其值略有减小。

在集中度分析的基础上进行集中期分析,以直门达 1956 ~ 2012 年的平均集中期为基准数据,分析集中期变化特征。经分析,2005 ~ 2012 年直门达站输沙量集中期偏晚的点居多,说明集中期有所推后,最大输沙出现时间有所滞后。

5.2 泥沙年际变化

输沙量年际变化通常跟径流年际变化一致,径流年际变化大的河流,输沙量年际变化也大;反之,径流年际变化小的河流,年输沙量变化也小。绘制直门达站 1956 ~ 2012 年径流量与含沙量、输沙量关系图,见图 5。依据散点图分析,2005 ~ 2012 年含沙量、输沙量关系点据位于 1956 ~ 2004 年点据的下方,说明在同等径流条件下,2005 ~ 2012 年含沙量、输沙量均有所减

小,而且减小趋势较明显。

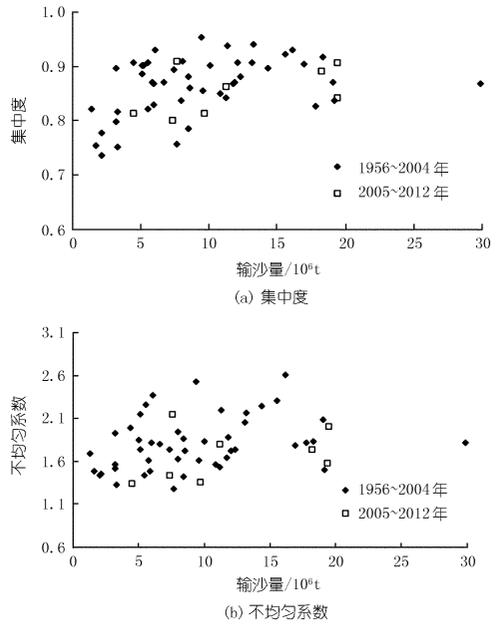


图 4 直门达站输沙量与集中度、不均匀系数关系

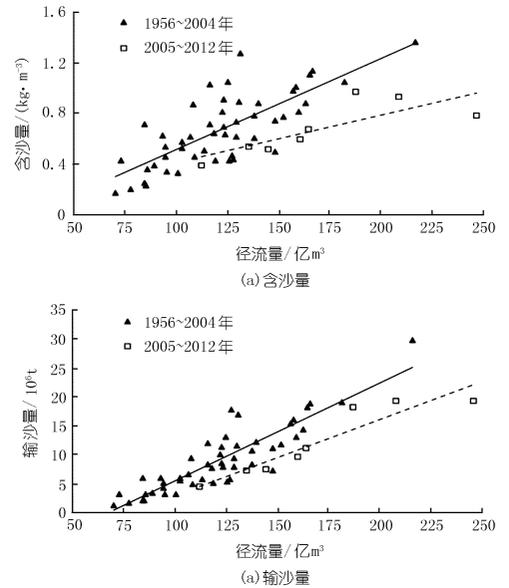


图 5 直门达站年径流量与含沙、输沙量关系

5.3 泥沙变化原因

河流泥沙大小与径流大小、降雨强度、流域下垫面条件存在密切关系。降水、径流分析结果显示:长江源区降水量、降水日数增加,降雨强度增强,降水年内的集中度、不均匀系数有所降低;径流量呈明显增加状态,径流集中度、不均匀系数减小,集中期有所推后,枯季径流占全年径流的比例有所增加,而相应的河流含沙量、输沙量反而减小。其原因主要与来水量增加,降水、径流的年内分配集中度降低,下垫面生态植被覆盖条件好转有关。

以直门达站 2009, 1989 年径流量及含沙量关系

分析:2009 年与 1989 年径流量相差不大,但相应含沙量却相差很大,2 a 的洪水过程线见图 6,1989 年河流洪峰较高,峰值出现时间早,最大洪峰主要集中在 6 月前后,处于汛期。此时土壤干燥易蚀,植被生长较差,造成冲刷严重,导致河流含沙量增大。2009 年年径流量虽比 1989 年大,但洪峰出现时间较晚,最大洪峰主要集中在 7 月前后,且洪峰较 1989 年平坦,此时植被覆盖密度增加,土壤抗侵蚀能力增强,相应的含沙量减小。因此,泥沙变化除去受植被覆盖影响外,降水、径流年内分配集中度、集中期、不均匀系数变化对泥沙变化的影响程度亦较大。

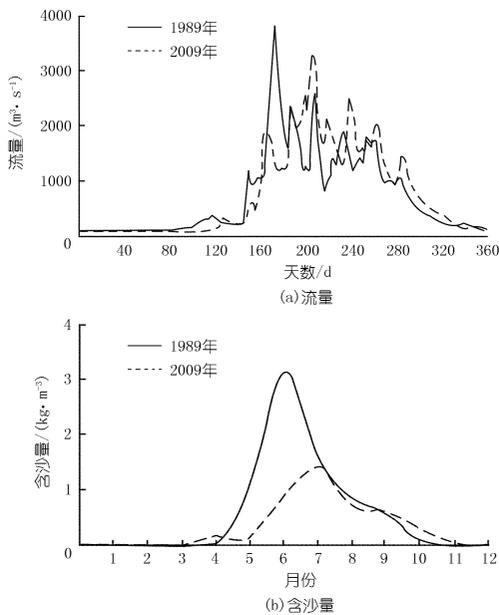


图 6 直门达站洪水过程与泥沙过程

6 结论

(1) 2005 ~ 2012 年期间,长江源区呈现降水量、

降雨日数增加的趋势,降雨强度亦增强,而降水年内分配集中度、不均匀系数有所降低,降水量较多年均值偏多程度较大;1956 ~ 2012 年系列降水量有明显上升趋势。

(2) 2005 ~ 2012 年期间,长江源区径流集中度、不均匀系数呈明显减小趋势,集中期有所推后,枯季径流比例有所提高,径流量较多年均值偏多程度较大,1956 ~ 2012 年系列径流年内间呈明显上升趋势。

(3) 2005 ~ 2012 年期间,长江源区河流输沙量年内分配趋于均匀,含沙量、输沙量有明显减小的趋势。

(4) 分析泥沙变化的原因,主要与长江源区来水量增加,降水、径流集中度、不均匀系数的降低,径流集中期的推后,枯季径流比例的提高以及下垫面生态植被覆盖条件好转有关。

参考文献:

- [1] 谢昌卫,丁永建,刘时银,等. 长江 - 黄河源寒区径流时空变化特征对比[J]. 冰川冻土,2003,25(4):414 - 422.
- [2] 吴豪,虞孝感. 近四十年来长江源区河流水沙量的变化[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(2):75 - 78.
- [3] 刘宪锋,任志远,张翀,等. 1959 - 2008 年黄土高原地区年内降水集中度和集中期时空变化特征[J]. 地理科学进展,2012,31(9):1157 - 1163.
- [4] 张录军,钱永甫. 我国长江流域汛期降水集中度和集中期的特征分析[C]// 首届长三角气象科技论坛论文集. 杭州:浙江省气象学会,2004.
- [5] 许继军,杨大文,雷志栋,等. 长江流域降水量和径流量长期变化趋势检验[J]. 人民长江,2006,37(9):63 - 67.
- [6] 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.
- [7] 谢平,陈广才. 变化环境下地表水资源评价方法[M]. 北京:科学出版社,2009.

(编辑:李慧)

Runoff and sediment variation trend in source region of Yangtze River in recent years and cause analysis

SUN Yongshou, DUAN Shuiqiang

(Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Qinghai Province, Xi'ning 810001, China)

Abstract: On the basis of the hydrological and meteorological data in the source region of Yangtze River from 1956 to 2012, the distance average analysis, concentration degree, concentration period, non - uniform coefficient method are adopted to analyze the variation trends of precipitation, runoff, sediment in recent years and the variation causes are studied as well. The results show that from 2005 to 2012, the precipitation, rainy days and the rainfall intensity increases; the precipitation concentration degree and the non - uniform coefficient decreases slightly; the runoff increases obviously, and the runoff concentration degree and non - uniform coefficient decreases; the concentration period is delayed, the proportion of dry season runoff in the annual runoff increases. The sediment tends to be uniform within a year, the sediment concentration and discharge shows a significant decreasing trend. The causes for the sediment variation include the above - mentioned variation of runoff and the improvement of vegetation cover conditions.

Key words: precipitation; runoff; sediment; variation trends; source region of Yangtze River