

# 长江源区径流量变化分析

李 燕, 李其江, 刘希胜, 段水强, 蔡宜晴

(青海省水文水资源勘测局, 青海 西宁 810001)

**摘要:**利用 1960~2012 年长江源区直门达以上流域水文观测数据, 采用 Mann-Kendall 法对径流量数据进行突变检验, 并结合径流过程线共同判断突变年份, 最终确定 2008 年为径流量变化的突变年份。以径流突变年份分割时间序列为 1960~2008 年和 2009~2012 年, 得到累积径流量、累积降水量与年份线性关系式。沱沱河以上降水和非降水因素对径流量增大的贡献率分别为 22.89% 和 77.11%; 直门达以上分别为 67.85% 和 32.15%。研究结果显示长江源区近年来径流量呈增加趋势。

**关键词:**长江源区; 径流量; 降水量; 贡献率; 生态保护和建设

中图分类号: P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2017)01-0092-04

径流是气候和下垫面综合作用的产物。河川径流源于降水、气候条件的变化直接影响到河川径流的丰枯, 人类活动则通过改变流域下垫面而影响产汇流机制, 进而对河川径流产生影响。

目前, 气候变化对径流量改变的定量分析研究方法主要有两种, 一种是根据假定气候方案, 分析径流对气候变化的敏感性<sup>[1-5]</sup>; 一种是利用分布式水文模型、降水-径流双累积曲线等方法分析气候变化和其他因素对径流的影响<sup>[6-7]</sup>。本文首次将累积量斜率变化率的比较方法应用在长江源区, 定量分析降水和非降水因素对长江源区径流量变化的贡献率。

## 1 研究区概况

长江源区直门达水文站以上流域地处青藏高原腹地, 大致范围介于 90°43'~96°45'E, 32°30'~35°35'N 之间, 流域控制面积为 13.77×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>, 多年平均径流量 129.17×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。长江源区是青藏高原上高原湿地主要分布地区之一, 也是江河源区冰川分布最集中的地区, 其冰川面积占整个三江源区的 89% 以上, 冰川融水占长江源区径流的 25% 以上。冰川融水、降水和冻土地下冰融水成为源区地表水资源的主要补给来源, 并影响着地表水资源的年际波动和长期演变趋势, 进而波及广大的中、下游地区, 影响整个长江流域水资源的可持续利用。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源

本文所用到的径流量数据来自水文站, 降水量数据来自水文站和气象站。共采用了 2 处水文站、5 处气象站的观测数据(见图 1)。将长江源直门达以上分为两个区段, 分别是沱沱河以上、直门达以上。统一采用 1960~2012 年系列对降水及径流进行分析。

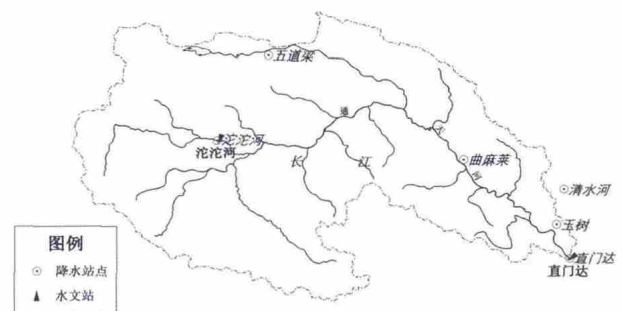


图 1 长江源直门达以上水文、气象站点分布图

Fig.1 Distribution of the hydrology and meteorology stations in the basin above the Zhimenda station in the source region of the Yangtze River

### 2.2 研究方法

首先计算与之相应的降水的流域面平均值。采用 Mann-Kendall 法对长江源地区水文站径流量进行突变检验, 同时选择径流过程线综合判断, 共同识别径

收稿日期: 2016-06-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(41375116)

作者简介: 李燕(1983-), 女, 甘肃张掖人, 硕士研究生, 高级工程师, 从事水文水资源方向研究。E-mail: 94256333@qq.com

流量的突变年份。最后利用累积量斜率变化率比较法计算降水变化对径流量的贡献率。

假设累积径流量-年份线性关系式的斜率在突变点前后 2 个时期分别是  $S_{Ra}$  和  $S_{Rb}$  (单位:  $10^8\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ); 累积降水量-年份线性关系式的斜率在突变点前后 2 个时期分别是  $S_{Pa}$  和  $S_{Pb}$  (单位:  $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ )。则累积径流量斜率变化率  $R_{SR}$  (单位: %) 为:

$$R_{SR} = 100 \times (S_{Rb} - S_{Ra}) / S_{Ra} = 100 \times (S_{Rb} / S_{Ra} - 1) \quad (1)$$

累积降水量斜率变化率算法相同。

式中:  $R_{SR}$ 、 $R_{SP}$  为正数表示斜率增大, 为负数表示斜率减小。降水量变化对径流量变化的贡献率 ( $C_P$ , 单位: %), 可以表示为:

$$C_P = 100 \times R_{SP} / R_{SR} = 100 \times (S_{Pb} / S_{Pa} - 1) / (S_{Rb} / S_{Ra} - 1) \quad (2)$$

非降水因素对径流量变化的贡献率 ( $C_S$ , 单位: %), 可以表示为:

$$C_S = 100 - C_P \quad (3)$$

### 3 结果与分析

#### 3.1 径流量突变年份分析

研究发现, 降水与径流量突变年份并不一致, 本文

是针对径流量的变化, 因此对降水的突变过程不做讨论, 统一将其用径流量突变年份代替, 从而进行径流分割<sup>[8]</sup>。

从图 2 可知, 沱沱河以上采用 Mann-Kendall 法判断突变点年份为 2008 年, 直门达以上的突变点年份为 1965 和 2008 年。绘制径流量过程线(见图 3)进行综合判断, 认为直门达 1960~1965 年与 1966~2008 年之间的径流变化不是很显著, 因此在贡献率分析中, 将直门达站 1965 年这一突变点去掉, 仅取 2008 年进行分析。对水文、气象站的资料初步分析, 突变点前后, 流域的径流量增加, 降水增加, 水面蒸发无显著变化。

绘制长江源沱沱河站和直门达站的径流差积曲线, 分析径流的丰枯周期, 得知沱沱河在 1998 年之后进入丰水期, 直门达站在 2004 年以后进入丰水期, 降水的丰枯周期与径流有较好的对应关系, 可是采用 Mann-Kendall 法判断的突变年份却发生在 2008 年, 对突变原因进行分析。

(1) 气候因素。分析长江流域直门达以上的水文因子, 与 1960~2012 年多年平均值相比, 2009~2012 年

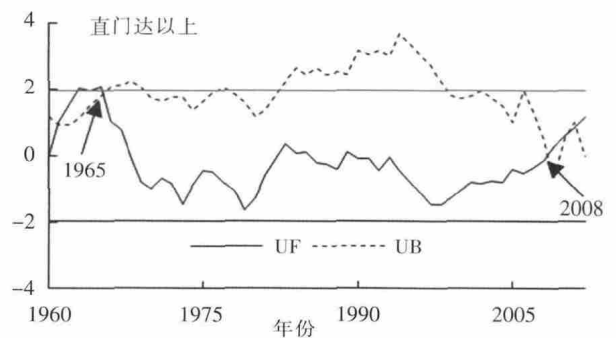
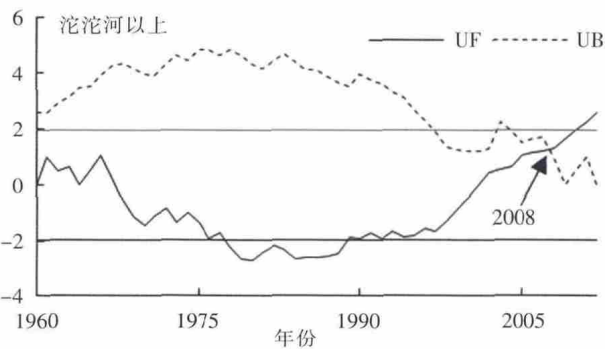


图 2 长江源直门达以上 1960~2012 径流量累积距平及 Mann-Kendall 突变检验

Fig.2 Variation of the cumulative runoff and Mann-Kendall mutation test above the Zhimenda station in the source region of the Yangtze River from 1960 to 2012

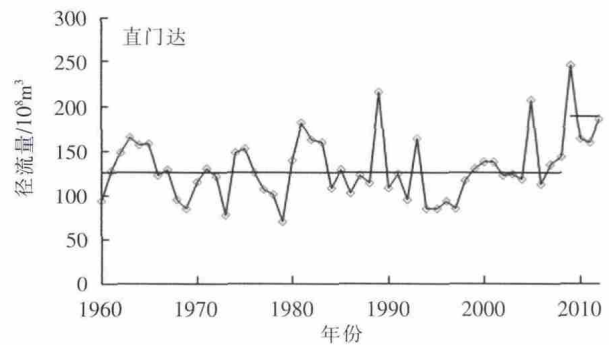
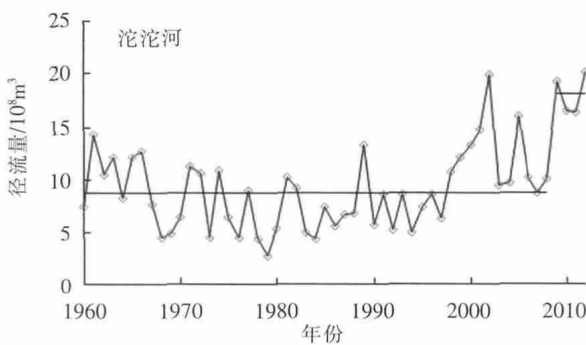


图 3 长江源沱沱河及直门达水文站 1960~2012 年径流量过程线

Fig.3 The runoff at the Tuotuohe station and at Zhimenda station in the source region of the Yangtze River from 1960 to 2012

降水增多 12.6%~37.6%,蒸发量除五道梁略有减小外,其余各站略有增加。这使得径流量出现增加趋势。

(2)人类活动影响。2005年,国务院批准了《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》,三江源区就此投资开展生态保护和建设一期工程。减少人类活动,生态移民、减畜、退耕还林、退牧还草、沙漠化防治等措施,使得长江源西北部 2005~2008年水体扩张 33.61km<sup>2</sup>,部分沙地转变为低覆盖草地,草地面积增加 14.71km<sup>2</sup>,荒漠面积减少 28.89km<sup>2</sup>,载畜量降低 3.11%<sup>[9]</sup>。一系列工程措施使得该区域植被转好,生态系统蓄水能力增强,影响了径流的年际变化,工程实施的效果逐步凸显,这也是影响径流增加的原因之一。

### 3.2 突变年份分割时期的径流量、降水量和年份之间的关系

将沱沱河以上、直门达以上的径流量、降水量系列根据突变年份分为不同时期。

径流突变年份为 2008 年,将其径流量、降水量系

列划分为 1960~2008、2009~2012 年两个不同时期。沱沱河两个时期的年平均径流量分别为  $8.80 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $18.15 \times 10^8 \text{m}^3$ ;直门达两个时期的年平均径流量分别为  $127.0 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $189.70 \times 10^8 \text{m}^3$ ,后一时期较前一时期径流有所增大。不同时期的累积径流量、累积降水量与年份之间的相互关系式(相关系数在 0.998 以上)如图 4 所示。

### 3.3 降水因素和非降水因素对区域径流量变化的贡献率分析

将长江流域径流拐点分割的两个时期 1960~2008、2009~2012 年分别称为  $A_R$ 、 $B_R$  时期。不同时期累积量与年份线性关系式的斜率见表 1。

沱沱河以上  $B_R$  与  $A_R$  时期相比,  $S_R$  增加了  $9.59 \times 10^8 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $R_{SR}$  增加了 119.13%。同期相比,  $S_P$  增加了  $75.58 \text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $R_{SP}$  增加了 27.27%。则由公式 2 可得,降水量增加对径流量增加的贡献率  $C_P$  为 22.89%,影响量为  $2.2 \times 10^8 \text{m}^3$ ;由公式 3 可得,非降水因素对径流增大的贡献率为 77.11%,影响量为  $7.39 \times 10^8 \text{m}^3$ ,如表 2 所示。

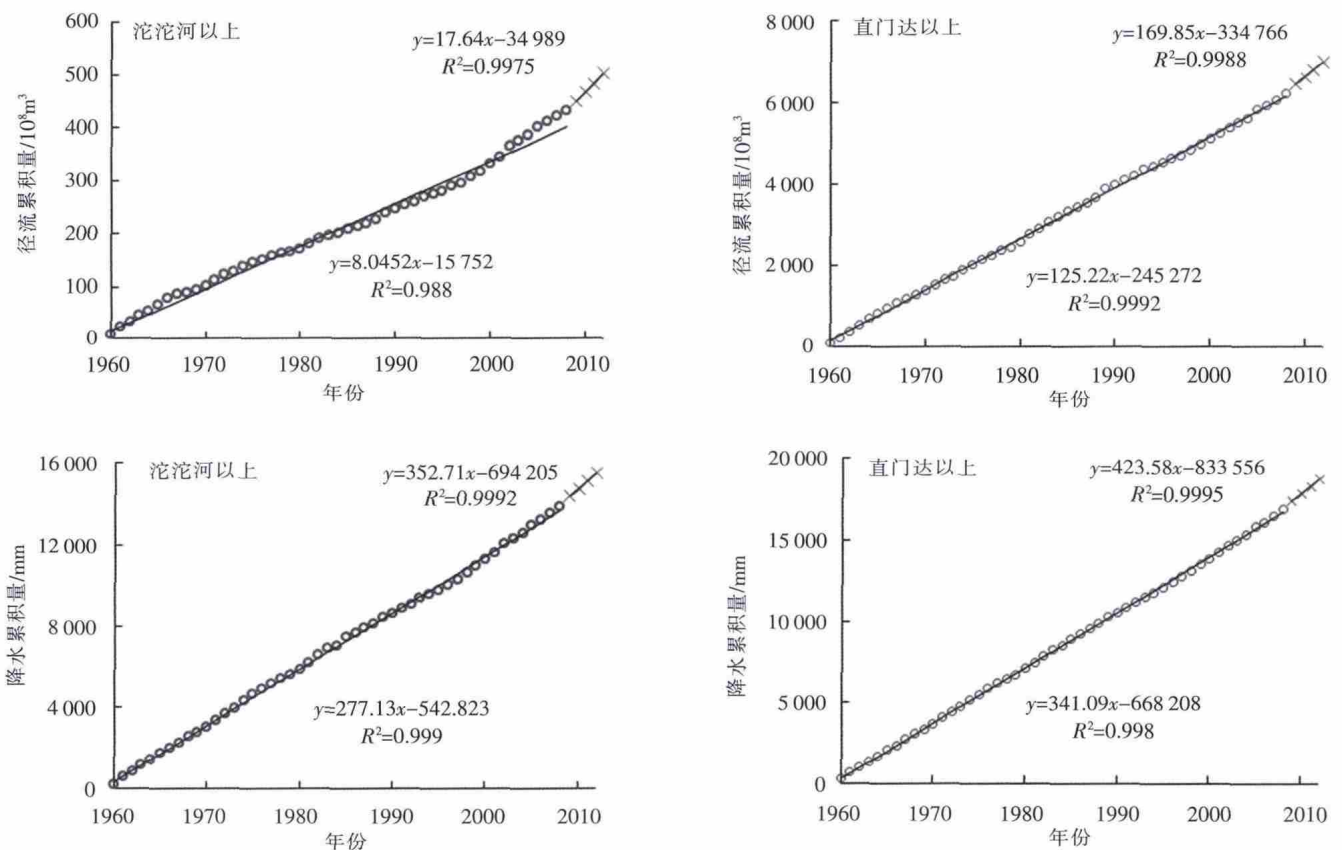


图 4 长江源直门达以上累积径流量、累积降水量与年份之间的关系

Fig.4 The relationship between the accumulative runoff, precipitation and time series in the reach above the Zhimenda station in the source region of the Yangtze River

表1 长江源直门达以上累积量斜率及其变化率

Table1 The slopes of the linear relationship between year and accumulation and their change rate in the reach above the Zhimenda station in the source region of the Yangtze River

流域区段	时期	要素	累积量-年份 线性关系式斜率	斜率与时段 A 比较		
				变化量	变化率/%	
沱沱河以上	$A_R$ :	1960~2008	径流/ $10^8\text{m}^3$	8.05	-	-
	$B_R$ :	2009~2012		17.64	9.59	119.13
	$A_R$ :	1960~2008	降水/mm	277.13	-	-
	$B_R$ :	2009~2012		352.71	75.58	27.27
直门达以上	$A_R$ :	1960~2008	径流/ $10^8\text{m}^3$	125.22	-	-
	$B_R$ :	2009~2012		169.85	44.63	35.64
	$A_R$ :	1960~2008	降水/mm	341.09	-	-
	$B_R$ :	2009~2012		423.58	82.49	24.18

表2 长江源直门达以上降水及非降水因素对径流量变化的贡献率

Table2 The contribution of the precipitation and non-precipitation factors to the runoff change in the reach above the Zhimenda station in the source region of the Yangtze River

流域区段	时段	径流的变化		降水量的贡献		非降水因素的贡献	
		变化率/%	变化量/ $10^8\text{m}^3$	贡献率/%	影响量/ $10^8\text{m}^3$	贡献率/%	影响量/ $10^8\text{m}^3$
沱沱河以上	$B_R$ 与 $A_R$ 时段相比	119.13	9.59	22.89	2.2	77.11	7.39
直门达以上	$B_R$ 与 $A_R$ 时段相比	35.64	44.63	67.85	30.28	32.15	14.35

直门达以上  $B_R$  与  $A_R$  时期相比,  $S_R$  增加了  $44.63 \times 10^8\text{m}^3\text{a}^{-1}$ ,  $R_{SR}$  增加了 35.64%。同期相比,  $S_P$  增加了  $82.49\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $R_{SP}$  增加了 24.18%。则由公式 2 可得, 降水量增加对径流量增加的贡献率  $C_P$  为 67.85%, 影响量为  $30.28 \times 10^8\text{m}^3$ ; 由公式 3 可得, 非降水因素对径流增大的贡献率为 32.15%, 影响量为  $14.35 \times 10^8\text{m}^3$ , 如表 2 所示。

#### 4 结论

(1) 长江源沱沱河以上降水和非降水因素对径流的贡献率分别为 22.89% 和 77.11%, 直门达以上降水和非降水因素对径流的贡献率分别为 67.85% 和 32.15%。

(2) 近 53 年来长江源直门达以上地表水资源在 2008 年以后呈明显的增加趋势。引起突变的原因一是降水增多; 二是 2005 年国务院批准了《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》并实施生态保护和一期工程建设, 减少人类活动, 生态移民、减畜、退耕还林、退牧还草、沙漠化防治等措施的实施使得该区域土地利用强度降低, 植被转好, 生态系统蓄水能力增

强, 提升了产流量。

#### 参考文献:

- [1] 王国庆, 王云璋, 康玲玲. 黄河上中游径流对气候变化的敏感性分析[J]. 应用气象学报, 2002, 13(1): 117-121. (WANG Guoqing, WANG Yunzhang, KANG Lingling. Analysis on the sensitivity of runoff in Yellow River to climate change [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2002, 13(1): 117-121. (in Chinese))
- [2] 李林, 戴升, 申红艳, 等. 长江源区地表水资源对气候变化的响应及趋势预测[J]. 地理学报, 2012, 67(7): 941-950. (LI Lin, DAI Sheng, SHEN Hongyan, et al. Response of water resources to climate change and its future trend in the source region of the Yangtze River [J]. Journal of Geographical Science, 2012, 67(7): 941-950. (in Chinese))
- [3] 张士峰, 华东, 孟秀敬, 等. 三江源气候变化及其对径流的驱动分析[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 13-24. (ZHANG Shifeng, HUA Dong, MENG Xiujing, et al. Climate change and its driving effect on the runoff in the "Three-River Headwaters" region [J]. Journal of Geographical Science, 2011, 66(1): 13-24. (in Chinese))
- [4] 李林, 申红艳, 戴升, 等. 黄河源区径流对气候变化的响应及未来趋势预测[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1261-1269. (LI Lin, SHEN Hongyan, DAI Sheng, et al. Response to climate change and prediction of runoff in the source region of Yellow River [J]. Journal of Geographical Science, 2011, 66(9): 1261-1269. (in Chinese))

(下转第 32 页)



- [24] 李彬焯,赵耀龙,付迎春. 广州城市暴雨内涝时空演变及建设用地扩张的影响 [J]. 地球信息科学学报, 2015,(4):445-450. (LI Binye, ZHAO Yaolong, FU Yingchun. Spatio-temporal characteristics of urban storm waterlogging in Guangzhou and the impact of urban growth [J]. Journal of Geo-information Science, 2015,(4):445-450. (in Chinese))

### Impact of Urbanization on Summer Precipitation Process in Guangzhou

CHEN Xiuhong<sup>1,2</sup>, LIU Bingjun<sup>1,2</sup>, LI Yuan<sup>1,2</sup>, DENG Chengyu<sup>1,2</sup>, CHEN Gang<sup>3</sup>

(1. Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;  
2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Guangzhou 510275, China; 3. Guangzhou Hydrology Bureau of Guangdong Province, Guangzhou 510150, China)

**Abstract:** With the process of urbanization, the special ground constructions and changes of atmosphere layers affect the precipitation process in the related urban regions. The urbanization process of Guangzhou is identified with the method of MODIS land cover. Based on hourly summer precipitation data in upwind of the urban, urban and downwind of the urban during 1984-2015, the possible effects of urbanization on precipitation process were analyzed. The results show that (1) the urbanization made significant impacts on precipitation process of urban and the downwind, but had no obvious effect in upwind; (2) comparing with rainfall in the early period, the precipitation indices, including summer precipitation, precipitation days, precipitation intensity, precipitation duration etc., have obviously changed in the late period, in which urban and its downwind region experienced higher occurrences of short diachronic strong precipitation.

**Key words:** urbanization; summer precipitation; precipitation process; prevailing wind

(上接 95 页)

- [5] 康玲玲,史玉品,王金花,等. 黄河唐乃亥以上地区径流对气候变化的敏感性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2005,16(4):1-4. (KANG Lingling, SHI Yupin, WANG Jinhua, et al. Analysis on the sensitivity of natural runoff in Tangnaihai and its upstream of the Yellow River to climate variation [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2005,16(4):1-4. (in Chinese))
- [6] 陈利群,刘昌明. 黄河源区气候和土地覆被变化对径流的影响[J]. 中国环境科学, 2007,27(4):559-565. (CHEN Liqun, LIU Changming. Influence of climate and Land-cover change on runoff of the source region of Yellow River [J]. China Environmental Science, 2007,27(4):559-565. (in Chinese))
- [7] 王随继,闫云霞,颜明,等. 皇甫川流域降水和人类活动对径流量变化的贡献率分析[J]. 地理学报, 2012,67(3):388-397. (WANG Suiji, YAN Yunxia, YAN Ming, et al. Contribution of precipitation and human activities to the runoff change of the Huangfuchuan drainage basin: application of comparative method of the slope changing ratio of cumulative quantity [J]. Journal of Geographical Science, 2012,67(3):388-397. (in Chinese))
- [8] 何旭强,张勃,孙力炜,等. 气候变化和人类活动对黑河上中游径流量变化的贡献率[J]. 生态学杂志, 2012,31(11):2884-2890. (HE Xuqiang, ZHANG Bo, SUN Liwei, et al. Contribution rates of climate change and human activity on the runoff in upper and middle reaches of Heihe River basin [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012,31(11):2884-2890. (in Chinese))
- [9] 邵全琴,樊江文,刘纪远,等. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估[J]. 地理学报, 2016,71(1):3-20. (SHAO Quanqin, FAN Jiangwen, LIU Jiyuan, et al. Assessment on the effects of the first-stage ecological conservation and restoration project in Sanjiangyuan region[J]. Journal of Geographical Science, 2016,71(1):3-20. (in Chinese))

### Analysis of Runoff Variation in Source Region of Yangtze River

LI Yan, LI Qijiang, LIU Xisheng, DUAN Shuiqiang, CAI Yiqing

(Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Qinghai Province, Xining 810001, China)

**Abstract:** Based on the hydrological data in the source region of the Yangtze River during 1960-2012, the mutation test was made using Mann-Kendall method. The result shows that the mutation point of the runoff is the year 2008. According to the mutation point of the runoff, the time series were divided into the periods of 1960-2008 and 2009-2012, and the relationship between the accumulative runoff, accumulative precipitation and time series were obtained. The contribution rates of precipitation and non-precipitation factors to the increase of runoff are 22.89% and 77.11% in the reach above the Tuotuohe Station. These contribution rates are 67.85% and 32.15% in the reach above the Zhimenda Station. The results of this study shows an increasing trend of the runoff in the source region of the Yangtze River.

**Key words:** source region of the Yangtze River; runoff; precipitation; contribution rate; ecological conservation and restoration