

# 近 55 年来降水及人类活动对资水流域径流的影响

李 彤<sup>1,2</sup>, 胡国华<sup>1,2</sup>, 顾庆福<sup>3</sup>, 周 慧<sup>3</sup>

(1.长沙理工大学水利工程学院,湖南长沙410114;2.水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室,湖南长沙410114;  
3.湖南省水文水资源勘测局,湖南长沙410007)

**摘 要:**为估算气候变化和人类活动对湖南资水流域径流量变化的相对影响程度,采用累计距平法以及滑动 t 检验法对资水流域近 55 年的降水量、径流量序列进行趋势分析和突变检验;采用累积量斜率变化率比较法和双累积曲线法分别计算降水及人类活动的贡献率。结果表明:资水上游的罗家庙站受人类活动影响较明显;在资水中下游,变异期 (1987~2001 年),降水对流域径流的影响量大于人类活动的贡献率;在变异期 (2002~2014 年),人类活动的贡献率大幅增加并逐步成为径流变化的主要驱动因素。

**关键词:**径流量变化;突变年份;降水量;人类活动;资水

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)06-0054-05

## 1 引言

淡水资源的脆弱与紧缺并可能受到气候变化的严重影响是显而易见的,不仅如此,人类活动和社会发展对淡水资源的可持续利用的影响逐步增大。尤其是近几十年,全球气温不断升高,中国各种极端气候频繁出现,干旱、洪涝、强降水事件频繁发生,由此带来的河川径流量的变化严重影响经济的发展和社会的和谐<sup>[1-2]</sup>。气候变化及人类活动对径流量的影响已经成为水文学及水资源研究领域的几大热点之一<sup>[3-4]</sup>。

近年来,研究者对长江及其各支流的径流量变化规律以及影响因素展开了大量研究,尤其在人类活动对径流影响的贡献率方面逐渐地从以前的定性研究阶段过渡到定量研究阶段<sup>[5-7]</sup>。在气候变化和人类活动的影响下,刘培亮等(2015)研究了湖南湘、资、沅、澧四水流域汛期径流量的年际分配极不均匀,入洞庭湖汛期径流量呈现逐渐减少的趋势。资水流域的径流在汛期内各月之间分配极不均匀,汛期内各月径流量呈现在波动中递减的趋势<sup>[8-9]</sup>。本文基于统计学方法的分段径流的累积量斜率变化率比较法和双累积曲线分析方法,开展降水和人类活动对资水流域径流影响变化的成因分析,对其流域的径流变化机理、极端水文事件的

发生、流域水资源的合理开发利用等具有十分重大的意义。

## 2 研究区概况和数据来源

### 2.1 研究区概况

资水位于湖南中部地区,是洞庭湖水系中第三大支流。发源于湖南城步县北青山,流经邵阳、冷水江、新化、桃江等地后在益阳甘溪港附近汇入洞庭湖。干流全长 653km,流域面积 28 142km<sup>2</sup>。资水流域地貌从上游至下游依次为高山峡谷区、山间盆地区、冲击台地及低矮丘陵区、冲积平原区。流域年平均气温 16.4~17℃;多年平均降水量 1 450mm,其中 4~6 月占年总量的 60%以上,且多为暴雨和大暴雨,年径流量 225×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,水能蕴藏达 224×10<sup>4</sup>kW,可开发量约 148×10<sup>4</sup>kW。

### 2.2 数据来源

本文收集了资水流域干流罗家庙、冷水江、大埠溪及桃江 4 个水文站及 15 个雨量站的 1959~2014 年的实测月径流资料和月降雨资料作为资水流域径流量变化规律分析的基础数据,其中部分缺失资料采用插补法将数据补充完整。四个水文站中罗家庙位于资水干流上游,冷水江、大埠溪位于资水干流中游,桃江位于资水流域下游出口处,如图 1 所示。长序列径流量

收稿日期:2017-09-14

基金项目:国家自然科学基金项目(51579020);湖南省重大水利科技计划项目“气候变化对四水流域陆地水循环与水安全的影响研究”(2013-243-2)

作者简介:李彤(1992-),女,河南周口人,硕士研究生,从事水资源演变规律研究。E-mail:470549070@qq.com

通讯作者:胡国华(1965-),男,湖南永州人,博士,教授,主要从事水资源演变规律与水灾害防治研究工作。E-mail:g.h.hu@163.com

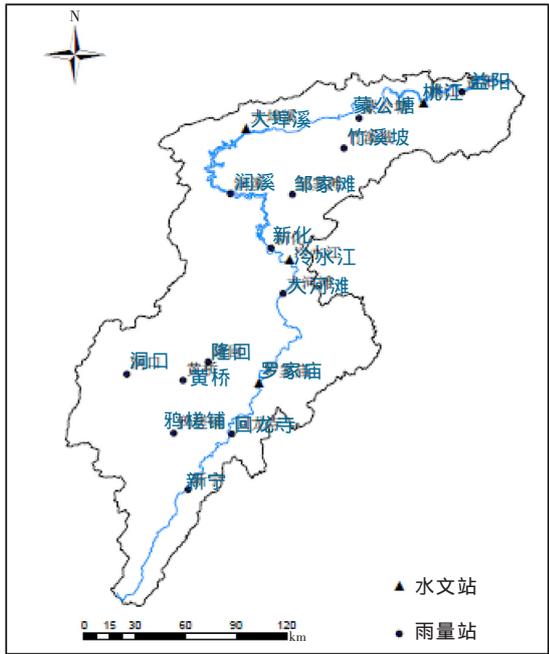


图 1 研究区域及水文站分布图

Fig.1 The study area and hydrometry stations

数据和降雨量数据均来源于湖南省水文水资源勘测局。利用收集到的径流资料,采用非参数检验方法揭示了径流过程的趋势及突变,利用 ArcGIS10.1 泰森多边形(Thiessen)插值方法,得到上述时期不同水文站汇流面积内的面平均降雨量,同时借助线性分析法,将降水与人类活动对资水流域干流的影响进行量化分析。

### 3 研究方法

#### 3.1 水文序列趋势分析方法

首先应用累计距平法、滑动 t 检验方法分析上中下游径流量的变化趋势,并识别径流量时间序列的突变点<sup>[10-12]</sup>。在找出突变年份的基础上结合降水和径流变化特点分析变化时间和变化情况,采用累积量斜率变化率比较法和双累积曲线法将降水和人类活动对径流的影响量区分开来。

#### 3.2 累积量斜率变化率比较法

累积量斜率变化率分析方法的原理有关文献中已有详细介绍<sup>[13-14]</sup>。其核心原理是将所有影响因子的影响量之和定义为 1,根据各影响因子随时间累积的斜率变化率占变量累积斜率变化率的比值来推求影响因子对变量的影响程度。该方法的计算过程和主要公式简述如下。

假定在累积径流量变化的突变年份前后,年份与累积径流量之间线性拟合方程的斜率分别为  $S_{Q2}$  和  $S_{Q1}$

(单位:  $10^8\text{m}^3/\text{a}$ );年份与累积降水量之间线性拟合方程的斜率分别为  $S_{P2}$  和  $S_{P1}$ (单位:  $\text{mm}/\text{a}$ ),则降水对径流量变化的贡献率  $C_P$  表示为:

$$C_P = 100 \times [(S_{P1} - S_{P2}) / |S_{P2}|] / [(S_{Q1} - S_{Q2}) / |S_{Q2}|] \quad (1)$$

由水量平衡原理可得:人类活动对径流变化的贡献率  $C_H$  可表示为:

$$C_H = 100 - C_P \quad (2)$$

#### 3.3 双累积曲线法

双累积曲线(Double Mass Curve,简称 DMS)方法是目前用于分析水文气象要素一致性或者是长序列演变趋势分析的最直观和最广泛的方法<sup>[15-17]</sup>。在直角坐标系绘制同时期内降水的连续累积值与径流的连续累积值,如果水文序列出现突变,则前后的累积关系曲线就会发生偏移。设基准期累积径流深( $\Sigma R$ )与累积降水量( $\Sigma P$ )之间的线性关系如下:

$$\Sigma R = k \Sigma P + b \quad (3)$$

式中: $k$ 、 $b$  为参数。将上述基准期的关系式应用到变化期(包含降水和人类活动的共同影响),用变异期的累积降水量  $\Sigma P$  计算得到变异期的模拟累积径流深  $\Sigma R$ ,此时计算出的模拟径流深  $\Sigma R$  如果与基准期下垫面条件近似相同的,即认为没有人类活动影响的径流,而由模拟径流深和实测径流深的差值来表示径流受人类活动和降水影响的变化量:

$$\Delta Q_{\text{人}} = R_{2 \text{ 实测}} - R_{2 \text{ 计算}} \quad (4)$$

$$\Delta Q_{\text{气}} = R_{2 \text{ 计算}} - R_{1 \text{ 实测}} \quad (5)$$

为了定量其影响程度,采用贡献率表示不同时期人类活动和降水对径流演变的影响,其贡献率可表示为:

$$C_i = \frac{\Delta Q_{\text{人}} \text{ 或 } \Delta Q_{\text{气}}}{R_{\text{阶段差}}} \times 100\% \quad (6)$$

式中: $C_i$  为人类活动和降水对径流演变的贡献率(%); $R_{\text{阶段差}}$  为基准期和变异期实测径流深的差值(mm)。

### 4 结果与分析

#### 4.1 资水干流径流量年际趋势分析及突变点确定

由累积距平曲线(见图 2)显示 4 个水文站的径流量在 1987~2002 年均呈现明显的上升趋势,在 2002~2014 年均呈现明显的下降趋势。运用滑动 t 检验进行验证,4 个水文站的年际径流变化均在 1987 和 2002 年发生突变。以突变年份作为水文序列的分界点,1959~1986 年为基准期,1987~2001 年作为变异期,2002~2014 年作为变异期,则各变异期相对于基准期的变化见表 1。

表1 资水干流各水文站年径流量特征值

Table1 The characteristics of the annual runoff at the stations on the Zishui River

水文站	控制面积 /km <sup>2</sup>	基准期(1959~1986)		变异期 (1987~2001)			变异期 (2002~2014)				
		年平均径流量	年平均降水量	年平均径流量	径流变化量	年平均降水量	降水变化量	年平均径流量	径流变化量	年平均降水量	降水变化量
		/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	/ mm	/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	/ mm	/ mm	/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	/ mm	/ mm
罗家庙	11 657	90.8	1 305.5	106.4	15.6	1 367.0	61.5	80.9	-9.9	1 287.4	-18.1
冷水江	16 236	122.1	1 325.7	137.2	15.1	1 412.5	86.8	114.5	-7.6	1 311.3	-14.4
大埠溪	22 810	178.2	1 419.0	206.6	28.4	1 518.9	99.9	167.6	-10.6	1 415.5	-3.5
桃江	26 704	219.3	1 430.7	248.0	28.7	1 533.8	103.1	211.5	-7.8	1 432.9	2.2

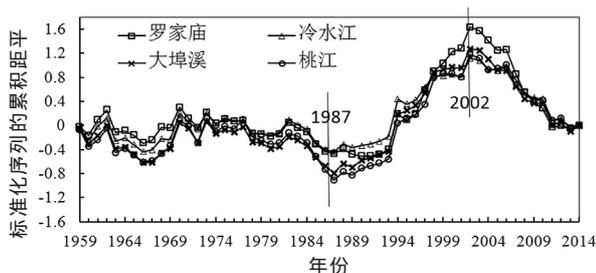


图2 标准化的年径流量累积距平曲线

Fig.2 The standardized annual runoff residual mass curve

表2 累积量斜率变化率法计算结果

Table2 The calculation results of the cumulant slope change rate method

水文站	变异期 (1987~2001)		变异期 (2002~2014)	
	降水贡献率 (C <sub>p</sub> )	人类活动贡献率(C <sub>h</sub> )	降水贡献率 (C <sub>p</sub> )	人类活动贡献率(C <sub>h</sub> )
罗家庙	28.7	71.3	31.3	68.7
冷水江	54.8	45.2	38.5	61.5
大埠溪	50.9	49.1	28.9	71.1
桃江	57.0	43.0	33.8	66.2

4.2 降水与人类活动对流域径流影响的定量分离

以径流量的突变年份为界, 分别对各水文站做年份与累积径流量(见图3)、年份与累积降水量(图略)在变异期、变异期的线性回归分析。所有线性关系式中决定系数 R<sup>2</sup> 均大于 0.99, 表明线性相关性极强且 99% 的部分都可以合理解释, 其误差部分仅为 1%, 该精度对于各影响因素的贡献率计算已经足够。提取各线性相关式中的斜率值并计算, 其计算结果见表 2。由表 2 可见, 除罗家庙站在变异期的人类活动贡献率较变异期有所降低以外, 其余三个站的人类活动贡献率均有大幅度的增加并成为径流变化的主要贡献因子, 影响程度均在 60% 以上。

为验证上述结果的可靠性并进一步分析降水与人

类活动对径流变化的贡献量, 建立 1959~1986 年基准期降水-径流双累积曲线图, 其中罗家庙站基准关系为, 该阶段实测多年平均径流深为 779.3 mm, 计算径流深为 784.4 mm, 绝对误差 4.1 mm, 相对误差 0.54%, 其余三站决定系数 R<sup>2</sup> 均大于 0.99, 表明该方法的拟合精度较高(具体计算结果参见图 4), 可以将变异期的径流还原到基准期的径流状况。将变异期的累积降水量带入到基准期双累积曲线关系式中计算该变异期的径流深, 具体计算结果见表 3。

4.3 结果与讨论

通过累积量斜率变化率和降水-径流双累积曲线两种线性回归方法量化了气候变化和人类活动对径流量的影响, 两种方法都是通过累积量进行定量分

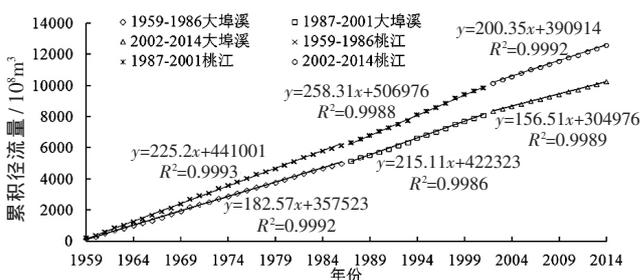
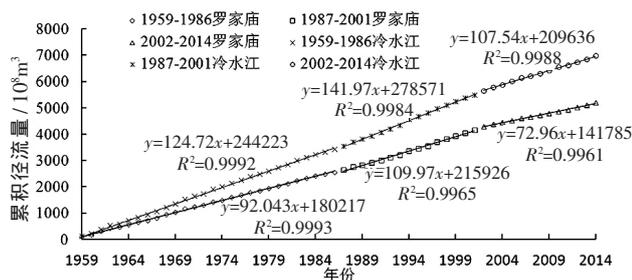


图3 资水干流各水文站年份与累积径流量关系

Fig.3 The relationship between the years and cumulative runoff at the stations on the Zishui River

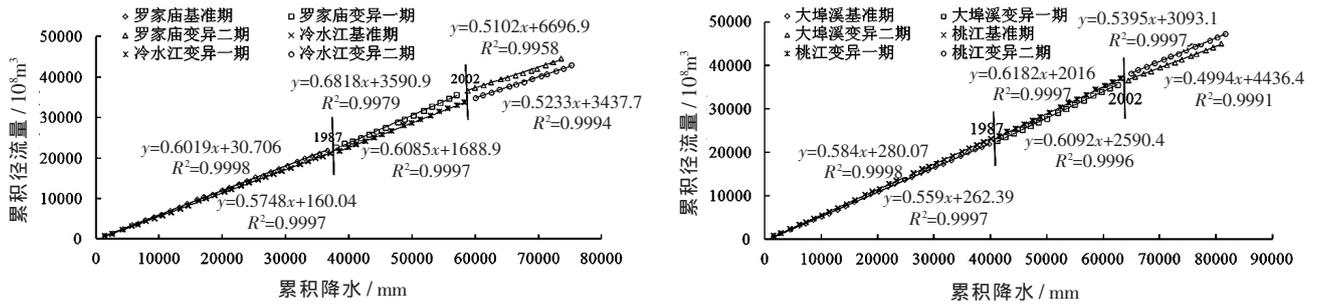


图 4 资水干流各水文站降水和径流深双累积曲线

Fig.4 The double mass curve of the precipitation and runoff at the stations on the Zishui River

表 3 双累积曲线法计算结果

Table3 The calculation results of the double mass curve method

水文站	变异期 (1987~2001)				变异期 (2002~2014)			
	实测径流深 / mm	模拟径流深 / mm	降水影响率 / %	人类活动影响率 / %	实测径流深 / mm	模拟径流深 / mm	降水影响率 / %	人类活动影响率 / %
罗家庙	913.0	821.6	31.6	68.4	693.6	863.1	22.8	77.2
冷水江	845.1	810.8	63.2	36.8	705.2	791.2	38.5	61.5
大埠溪	905.7	849.1	54.5	45.5	734.8	862.1	25.5	74.5
桃江	928.9	895.7	69.2	30.8	792.1	885.5	31.7	68.3

析,可相互验证。

在资水流域上游罗家庙站变异期 中降水的波动对径流的影响在 28.7%~31.6%，人类活动对径流变化的贡献率在 68.4%~71.3%，因罗家庙站位于衡阳-邵阳丘陵盆地,是湖南省三大干旱重灾区之一,从 20 世纪 80 年代初到 90 年代末用水量增加明显,而到 21 世纪后用水量缓慢增加,各部门用水中农业用水在 90 年代末达到顶峰,罗家庙站以上流域用水量绝大部分年份取水均取自于地表水<sup>[18-19]</sup>,所以资水上游在变异期中人类活动就已经成为了主要的贡献因子。

在资水中上游段,变异期 降水对径流变化的影响量为 54.8%~63.2%，人类活动对径流变化的影响量为 36.8%~45.2%；变异期 降水对径流变化的影响量为 38.5%，人类活动对径流变化的影响量为 61.5%。在资水中下游段,变异期 降水对径流变化的贡献率为 50.9%~54.5%，人类活动对径流变化的贡献率为 45.5%~49.1%；变异期 降水对径流变化的影响量 25.5%~28.9%，人类活动对径流变化的影响量为 71.1%~74.5%。资江整个中游段在 1987~2001 年间的气候变化是径流变化的主要影响因素,2002~2014 年间人类活动的影响量增加 20.5%~25.5%，并成为主要影响因素。

在资水下游段,变异期 降水对径流变化的贡献

率为 57%~69.2%，人类活动对径流变化的贡献率为 30.8%~43%；变异期 降水对径流变化的影响量 31.7%~33.8%，人类活动对径流变化的影响量为 66.2%~68.3%。资水下游段在 1987~2001 年间气候变化是径流变化的主要因素,2002~2014 年间人类活动的影响量增加了 34.5%，成为影响径流量变化的主要因素,资水流域下游人类活动影响量增幅最大,这与资水流域下游在益阳市境内修建了柘溪、东坪、株溪口、金塘冲、马迹塘、白竹洲、修山、史家洲等 8 座梯级电站有关。该系列水电站梯级开发密度较大,缓解了益阳市电力供应的压力,促进了社会经济的发展,对资水流域下游段的径流产生了较大的调节作用。

### 5 结论

在资水流域 1959~2014 年的径流实测资料和降水量资料的基础上,采用统计学方法分析了干流 4 个控制水文站的径流和降水变化趋势,并定量估算了主要因素的影响量,主要结论如下:

(1)应用累积距平曲线和滑动 t 检验法分析资水流域干流的降水和径流序列变化趋势:降水和径流有显著的先上升后下降的趋势,各水文站的径流量变化整体呈现减少趋势并且在 1987 年和 2002 年发生明显突变,因此划分为三个不同的阶段。

(2)以第一阶段为基准期,在不考虑蒸散发的情况下,定量评估了各变异期降水和人类活动对径流量变化的影响率;在资水上游,人类活动是径流量变化的主要贡献因素;在资水中游和下游段,变异期,径流量变化的主控因素为降水;但在变异期,人类活动,尤其是干流梯级水库的开发,对径流量变化的影响加大并成为影响径流量变化的主控因素。

(3)资水流域径流量变化的结果是由气候变化和人类活动共同作用导致的,本研究揭示了不同阶段的径流量变化的主导因素,且在气候变化影响中以降水影响为主。

#### 参考文献:

- [1] 王国庆,张建云,刘九夫,等. 气候变化和人类活动对河川径流影响的定量分析[J]. 中国水利, 2008(2):55-58. (WANG Guoqing, ZHANG Jianyun, LIU Jiufu, et al. Quantitative assessment for climate change and human activities impact on river runoff [J]. China Water Resources, 2008,(2):55-58. (in Chinese))
- [2] 刘春葵,占车生,夏军,等. 关于气候变化与人类活动对径流影响研究的评述[J]. 水利学报, 2014,45(4):379-385+393. (LIU Chunzhen, ZHAN Chesheng, XIA Jun, et al. Review on the influences of climate change and human activities on runoff [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014,45(4):379-385 +393. (in Chinese))
- [3] 李峰平,章光新,董李勤. 气候变化对水循环与水资源的影响研究综述[J]. 地理科学, 2013,33(4):457-464. (LI Fengping, ZHANG Guangxin, DONG Liqin. Studies for impact of climate change on hydrology and water resources [J]. Scientia Geographica Sinica, 2013,33(4):457-464. (in Chinese))
- [4] 于赢东,杨志勇,刘永攀,等. 变化环境下海河流域降水演变研究综述[J]. 水文, 2010,30(4):32-35. (YU Yingdong, YANG Zhiyong, LIU Yongpan, et al. Review of study on precipitation of Haihe River basin under changing environment [J]. Journal of China Hydrology, 2010,30(4):32-35. (in Chinese))
- [5] 王彦君,王随继,苏腾. 降水和人类活动对松花江径流量变化的贡献率[J]. 自然资源学报, 2015,30(2):304-314. (WANG Yanjun, WANG Suiji, SU Teng. Contributions of precipitation and human activities to runoff change in the Songhua River basin [J]. Journal of Natural Resources, 2015,30(2):304-314. (in Chinese))
- [6] 邱玲花,彭定志,林荷娟,等. 气候变化与人类活动对太湖西苕溪流域水文水资源影响甄别[J]. 水文, 2015,35(1):45-50. (QIU Linghua, PENG Dingzhi, LIN Hejuan, et al. Quantitative discrimination of climate change and human activities impacting on runoff in Xitiao River basin [J]. Journal of China Hydrology, 2015,35(1):45-50. (in Chinese))
- [7] 刘克岩,张檀,张光辉,等. 人类活动对华北白洋淀流域径流影响的识别研究 [J]. 水文, 2007,27 (6):6-10. (LIU Keyan, ZHANG Lu, ZHANG Guanghui, et al. Recognition of human activities affect the runoff of north China Baiyangdian basin [J]. Journal of China Hydrology, 2007,27(6):6-10. (in Chinese))
- [8] 刘培亮,毛德华,周慧,等. 1990~2013年资水流域汛期径流量变化规律分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2014,(S1):6-13. (LIU Peiliang, MAO Dehua, ZHOU Hui, et al. Analysis on variation law of the flood season's runoff in Zishui River basin during 1990-2013 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014,(S1):6-13. (in Chinese))
- [9] 刘培亮,毛德华,周慧,等. 1990—2013年湖南四水入洞庭湖汛期径流量的变化规律[J]. 水资源保护, 2015,31(4):52-61. (LIU Peiliang, MAO Dehua, ZHOU Hui, et al. Variation law of runoff in flood seasons into Dongting lake from four rivers in Hunan province during 1990-2013 [J]. Water Resources Protection, 2015,31(4):52-61. (in Chinese))
- [10] 雷红富,谢平,陈广才,等. 水文序列变异点检验方法的性能比较分析[J]. 水电能源科学, 2007,25(4):36-40. (LEI Hongfu, XIE Ping, CHENG Guangcai, et al. Comparison and analysis on the performance of hydrological time series change-point testing methods [J]. Water Resources and Power, 2007,25(4):36-40. (in Chinese))
- [11] 周园园,师长兴,范小黎,等. 国内水文序列变异点分析方法及在各流域应用研究进展[J]. 地理科学进展, 2011,30(11):1361-1369. (ZHOU Yuanyuan, SHI Changxing, FAN Xiaoli, et al. Advances in the research methods of abrupt changes of hydrologic sequences and their applications in drainage basins in China [J]. Progress in Geography, 2011,30(11):1361-1369. (in Chinese))
- [12] 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—累积量斜率变化率比较方法的提出及应用[J]. 地理学报, 2012,67(3):388-397. (WANG Suiji, YAN Yunxia, YAN Ming, et al. Contributions 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]. Scientia Geographica Sinica, 2012,67(3):388-397. (in Chinese))
- [13] 王彦君,王随继,苏腾. 1955-2010年松花江流域不同区段径流量变化影响因素定量评估[J]. 地理科学进展, 2014,33(1):65-75. (WANG Yanjun, WANG Suiji, SU Teng. Quantification of impacts of precipitation and human activities on runoff changes in different sections of Songhua River during 1955-2010 [J]. Progress in Geography, 2014,33(1):65-75. (in Chinese))
- [14] 李凌程,张利平,夏军,等. 气候波动和人类活动对南水北调中线工程典型流域径流影响的定量评估[J]. 气候变化研究进展, 2014,10(2):118-126. (LI Lingcheng, ZHANG Liping, XIA Jun, et al. Quantitative assessment of impacts of climate variability and human activities on runoff change in the typical basin of the middle route of the south-to-north water transfer project [J]. Progressus Inquisitiones DE Mutatione Climatis, 2014,10(2):118-126. (in Chinese))
- [15] 胡彩虹,王艺璇,管新建,等. 基于双累积曲线法的径流变化成因分析[J]. 水资源研究, 2012,1(4):204-210. (HU Caihong, WANG Yixuan, GUAN Xinjian, et al. The causes of runoff variation based on double cumulative curve analysis method [J]. Journal of Water Resources Research, 2012,1(4):204-210. (in Chinese))

## 6 结语

在七大江河流域中,松辽河、黄河、海河和黄河径流减少趋势显著;长江、珠江、淮河及太湖流域径流变化趋势不明显,松辽河、海河、黄河在枯季极端枯水发生频率增加。对于我国北方流域,一方面天然来水减少,尤其是黄河、海河流域近10年由于地下水开采、水土保持建设、水利工程建设、流域下垫面变化等因素的综合作用,设计径流衰减趋势明显。下垫面对径流量的定量影响还有较多的不确定性,对径流还原、一致性修正等技术方法尚需进一步的探讨和研究。

### 参考文献:

- [1] 张树磊,杨汉波,雷慧闽. 1960—2010年中国主要流域径流量减小原因探讨分析[J]. 水科学进展, 2015,26(5):605—613. (ZHANG Shulei, YANG Hanbo, LEI Huimin. Analysis of the dominant causes for runoff reduction in five major basins over China during 1960—2010 [J]. Advances in Water Science, 2015,26(5):605—613.(in Chinese))
- [2] 李二辉,穆兴民,赵广举. 1919—2010年黄河上中游区径流量变化分析[J]. 水科学进展, 2014,25(2):155—163. (LI Erhui, MU Xingmin, ZHAO Guangju. Temporal changes in annual runoff and influential factors in the upper and middle reaches of Yellow River from 1919—2010 [J]. Advances in Water Science, 2014,25(2):155—163. (in Chinese))
- [3] 张国宏,王晓丽,郭慕萍,等. 近60a黄河流域地表径流变化特征及其与气候变化的关系[J]. 干旱区资源与环境, 2013,27(7):91—95. (ZHANG Guohong, WANG Xiaoli, GUO Muping, et al. The spatial and temporal structure of runoff variation and the climate background in the Yellow River basin during the past 60 years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013,27(7):91—95. (in Chinese))
- [4] 张洪刚,杨文发,陈华. 气候变化条件下长江水资源演变趋势与对策[J]. 人民长江, 2014,45(7):1—6. (ZHANG Honggang, YANG Wenfa, CHEN Hua. Research on evolution of water resources in Yangtze River Basin under climate change and countermeasures [J]. Yangtze River, 2014,45(7):1—6. (in Chinese))
- [5] 张建云,章四龙,王金星,等. 近50年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007,18(2):230—234. (ZHANG Jianyun, ZHANG Silong, WANG Jinxing, et al. Study on runoff trends of the six large basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2007,18(2):230—234. (in Chinese))

## Analysis and Revision of Design Runoff of Seven Major River Basins in China

YANG Liying, ZHAO Xuemin, LIU Wei

(Institute of Water Resources & Hydropower Planning and Design of MWR, Beijing 100120, China)

**Abstract:** On the basis of the second water resources survey and evaluation in China, this paper analyzed the changes in the runoff series of the 347 hydrology stations and the variation of the low value by comparing the changes of the runoff series of the seven major basins, reflecting the changes in the hydrological situation of the basins in the last 10 years. The natural runoff is generally partial, and the design runoff of the Songliao River, Haihe River and Yellow River have been reduced, and the change trend of the runoff in the Yangtze River, Huaihe River, Taihu Lake and Pearl River are not significant in the last 10 years. After the extension, the representative of the runoff series is better, and the impact of underlying surface on rainfall-runoff relationship has been considered for the Yellow River Basin.

**Key words:** seven major river basins; runoff series; reversion; underlying surface

(上接第58页)

## Impact of Precipitation and Human Activities on Runoff in Zishui River in Recent 55 Years

LI Tong<sup>1,2</sup>, HU Guohua<sup>1,2</sup>, GU Qingfu<sup>3</sup>, ZHOU Hui<sup>3</sup>

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China;

3. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hunan Province, Changsha 410007, China)

**Abstract:** In order to estimate the relative impact of climate change and human activities on the change of runoff in the Zishui River Basin in Hunan Province, the cumulative anomaly curve and sliding t-test were used to analyze the trend and runoff test of precipitation and runoff series in the past 55 years. The comparative method of the slope changing ratio of cumulative quantity and the method of double mass curve were used to calculate the contribution rate of precipitation and human activities. The results show that there is an obvious impact of human activities at the Luojiamiao Station in the upper reaches of the Zishui River. In the variation period I (1987—2001), the effect of precipitation on runoff is larger than that of human activities. In the variation period II (2002—2014), the contribution rate of human activities increased significantly and gradually became the main driving factor of runoff change.

**Key words:** runoff change; mutation year; precipitation; human activity; Zishui River