

水利水运工程学报

HYDRO-SCIENCE AND ENGINEERING

大渡河流域年径流变化特征及其归因分析

张岚婷, 王文圣, 刘浅奎, 郑芳芳

Variation characteristics of annual runoff and its attribution analysis in Dadu River basin

ZHANG Lanting, WANG Wensheng, LIU Qiankui, ZHENG Fangfang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20200608001>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

海河流域径流变化趋势及其归因分析

Analysis of runoff change trend and its attribution in Haihe River basin

水利水运工程学报. 2017(4): 59 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.04.009>

气候变化下黄河流域未来水资源趋势分析

The future water resources regime of the Yellow River basin in the context of climate change

水利水运工程学报. 2020(2): 1 <https://doi.org/10.12170/20200216001>

渭河干流径流变化趋势及突变分析

Analysis of variation trend and abrupt point of runoff in the mainstream of Weihe River Basin

水利水运工程学报. 2019(2): 33 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.02.005>

基于分形和R/S分析的渭河干流径流变化特征研究

Analysis of runoff variation characteristics in the mainstream of Weihe River based on fractal theory and R/S analysis method

水利水运工程学报. 2019(1): 102 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.01.013>

宁夏清水河流域水沙变化特点分析

Analysis on the characteristics of flow and sediment variation in Qingshuihe River basin of Ningxia

水利水运工程学报. 2020(4): 57 <https://doi.org/10.12170/20200213002>

黄河流域典型流域水文气象变化与径流过程模拟

Typical hydro-meteorological changes and runoff process simulation in Yellow River basin

水利水运工程学报. 2019(5): 36 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.05.005>





扫码进入官网，阅读更多精彩文章

关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20200608001

张岚婷, 王文圣, 刘浅奎, 等. 大渡河流域年径流变化特征及其归因分析 [J]. 水利水运工程学报, 2021(3): 96-102. (ZHANG Lanting, WANG Wensheng, LIU Qiankui, et al. Variation characteristics of annual runoff and its attribution analysis in Dadu River basin[J]. Hydro-Science and Engineering, 2021(3): 96-102. (in Chinese))

大渡河流域年径流变化特征及其归因分析

张岚婷, 王文圣, 刘浅奎, 郑芳芳

(四川大学 水利水电学院, 四川 成都 610065)

摘要: 根据 1951—2012 年大渡河流域内气象站年降水量、年平均气温和铜街子站年径流量资料, 利用 Mann-Kendall 秩次相关检验法识别年径流量变化趋势, 基于小波分析法检验其周期成分, 采用有序聚类法、累积距平法及 Pettitt 法诊断年径流量突变点, 利用累积量斜率变化率比较法揭示气候变化与人类活动对流域年径流量的影响程度。研究表明: 1951—2012 年大渡河流域年径流量整体呈不显著的减少趋势, 其中, 1951—1968 和 1988—2012 年期间呈不显著的减少趋势, 1969—1987 年期间呈不显著的增加趋势; 年径流量存在 7 年、11 年、17 年和 28 年的周期成分; 流域年径流量在 1968 年和 1987 年发生突变; 以 1951—1968 年为基准期, 1969—1987 年期间气候变化和人类活动对大渡河流域径流量减少的贡献率分别为 36.22% 和 63.78%; 在 1988—2012 年期间的贡献率分别为 33.68% 和 66.32%; 人类活动是大渡河流域年径流量变化减小的主导因素, 气候变化是次要因素。

关键词: 大渡河流域; 年径流; 气候变化; 人类活动; 变化特征; 归因分析

中图分类号: TV11; P339

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2021)03-0096-07

流域水资源变化量、水循环过程皆和气候变化及人类活动有着显著关联^[1-3]。确定径流量的变化特征, 量化气候因素和人类活动对径流变化的作用, 既具理论意义又有实用价值。在径流变化特征研究中, 广泛应用了统计方法, 并取得了大量研究成果。对于大渡河流域上的径流变化特征, 国内学者已开展了一些工作, 例如陈媛利用沙坪站 1937—2008 年径流资料, 对大渡河流域径流的变化特征进行了定性识别和定量分析^[4]。定量分析气候变化和人类活动对径流影响的研究方法种类主要有水文模型模拟法类型和以气候弹性系数法、降水-径流双累积曲线法、敏感性分析法等为代表的定量评估法类型^[5-8], 前者具备较好的物理基础, 但参数存在一定的不确定性^[9]; 后者计算简单, 但需要较长的数据序列且序列中的噪声会对评估结果造成干扰^[10]。由王随继等^[3]提出的累积量斜率变化率比较法, 可以有效剔除噪声, 能方便地分离出气候变化和人类活动对径流的影响, 并被广泛应用于黄河流域、松花江流域和黑河流域。

本文收集 1951—2012 年大渡河流域内气象站年降水量、年平均气温和铜街子站年径流量资料, 采用多种方法、多种途径系统分析大渡河流域径流量的变化特征, 同时探讨气候变化和人类活动对流域径流量变化的影响程度。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

大渡河是岷江的最大支流, 干流长 1 062 km, 流域面积 77 400 km² (不含青衣江)。泸定以上为上游, 集

收稿日期: 2020-06-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51679155)

作者简介: 张岚婷 (1995—), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源系统分析工作。

E-mail: 1039395706@qq.com 通信作者: 王文圣 (E-mail: wangws70@scu.edu.cn)

水面积为 58 943 km², 占全流域集水面积的 76.2%; 泸定至铜街子为中游, 集水面积为 17 440 km², 占全流域集水面积的 22.5%; 铜街子以下为下游, 集水面积为 1 017 km², 占全流域集水面积的 1.3%^[1]。铜街子水文站为大渡河流域径流的控制站, 上、中、下游共选了 14 个气象站。水文站及气象站分布见图 1。

分别收集了 1951—2012 年铜街子站的年径流量资料和 14 个气象站年降水量、年平均气温资料。14 个气象站较均匀地分布在流域上, 运用算术平均法计算流域面降水量和流域平均气温。

1.2 研究方法

1.2.1 径流变化特征分析方法 本文基于有序聚类法^[12]、累积距平法及 Pettitt 检验^[13]对铜街子站年径流量序列进行突变点识别, 3 种方法互为验证, 拐点可信度更高; 采用 Mann-Kendall 秩次相关检验法^[12]检验铜街子站年径流量的变化趋势; 利用 Morlet 小波分析法^[14]识别出年径流量的多尺度时间变化和主要的周期成分。限于篇幅, 这里不再赘述相关分析方法。

1.2.2 径流变化归因分析方法 本文应用王随继等提出的累积量斜率变化率比较法(SCRCQ)^[3]定量分析大渡河流域气候因素和人类活动对径流量变化的影响。累积量斜率变化率比较法的基本原理和步骤如下。

先确定突变年份, 以突变年份为拐点, 点绘拐点前、后时段不同累积量与年份的关系曲线, 然后拟合拐点前、后时段相应累积量与年份的线性回归方程, 突变前、后斜率分别计为 K_a 和 K_b 。

对于年径流量, 突变前、后的斜率为 K_{Ra} 和 K_{Rb} , 累积径流量斜率变化率定义为:

$$R_{SR} = (K_{Rb} - K_{Ra}) / K_{Ra} \times 100\%$$

(1)

式中: R_{SR} 为累积径流量斜率变化率。

同理, 对于年降水,

$$R_{SP} = (K_{Pb} - K_{Pa}) / K_{Pa} \times 100\%$$

(2)

式中: R_{SP} 为累积降水量的斜率变化率; K_{Pa} 和 K_{Pb} 分别为突变前、后的斜率。

对于年气温,

$$R_{ST} = (K_{Tb} - K_{Ta}) / K_{Ta} \times 100\%$$

(3)

式中: R_{ST} 为累积气温的斜率变化率; K_{Ta} 和 K_{Tb} 分别为突变前、后的斜率。

降水和气温对径流量的贡献率 C_P 、 C_T 由斜率变化率计算得出,

$$C_P = (R_{SP}) / R_{SR} \times 100\%, C_T = (R_{ST}) / R_{SR} \times 100\%$$

(4)

气候要素对径流量变化的贡献率(C_C)为降水和气温因素贡献率的总和, 即: $C_C = C_P + C_T$ 。

人类活动变化和气候要素共同影响径流量变化, 则人类活动对径流量的贡献率(C_H)为: $C_H = 1 - C_P - C_T$ 。

2 结果与讨论

2.1 年径流量变化特征

2.1.1 年径流量的趋势性 根据年径流量突变点识别中的突变年份把铜街子水文站年径流序列分为 3 段:

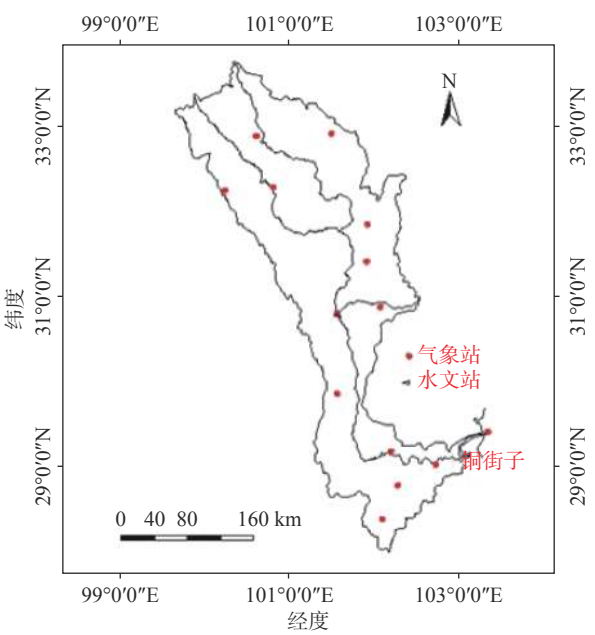


图 1 大渡河流域气象站及水文站位置

Fig. 1 Location of meteorological stations and hydrological stations of the Dadu River basin

1951—1968 年、1969—1987 年和 1988—2012 年。各时段的径流量均值显著不同且呈减少趋势。采用 Mann-Kendall 趋势检验法分别对铜街子站不同时段的年径流量序列变化趋势进行识别,结果见表 1。

由表 1 可知,1951—2012 年期间,铜街子站年径流量序列表现为不显著的减少趋势;1951—1968 年期间和 1988—2012 年期间,年径流量序列存在不显著的减少趋势;1969—1987 年期间,年径流序列表现出不显著的增加趋势。

2.1.2 年径流量的周期性 采用小波分析法识别年径流量的周期成分,图 2 绘制了年径流量序列小波方差,图 3 给出了年径流量序列小波变换系数实部时频分布。由图 3 能够看到年径流量演化过程中明显存在着多时间尺度特征,其中 6~8 年、10~12 年、15~20 年、22~30 年尺度的周期震荡尤为突出;由图 2 可知,年径流量的主要周期成分为 7、11、17、28 年,其中 28 年的时间尺度与最大峰值相对应,为流域年径流量变化的第一主周期,即 28 年左右的周期震荡最强。

表 1 铜街子水文站年径流趋势 Mann-Kendall 检验结果
Tab. 1 Mann-Kendall test results of annual runoff trend at Tongjiezi Station

时段	均值/万 m ³	检验值	$z_{0.05}$	是否显著
1951—1968	55.86	-0.5303	1.96	否
1969—1987	48.38	0.8397	1.96	否
1988—2012	53.03	-0.4905	1.96	否

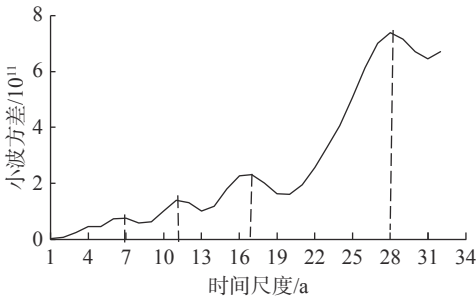


图 2 铜街子站年径流量序列小波方差

Fig. 2 Wavelet variance of annual runoff series at Tongjiezi station

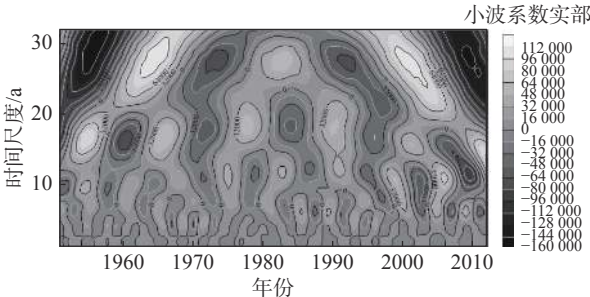


图 3 铜街子站年径流序列小波变换系数实部时频分布

Fig. 3 Real part change process of wavelet analysis for annual runoff series at Tongjiezi Station

2.1.3 年径流量的突变性 本文采用有序聚类法、累积距平法及 Pettitt 检验等 3 种方法,对铜街子水文站 1951—2012 年期间年径流量序列的突变点进行综合判别。

有序聚类法识别成果及累积距平法诊断成果见图 4,识别出的年径流量序列突变年份均为 1968 年。由 Pettitt 检验(给定显著水平 $\alpha=0.05$)表明年径流量序列突变亦发生在 1968 年。3 种检验方法可以推断出大渡河流域年径流量在 1968 年存在显著性突变。

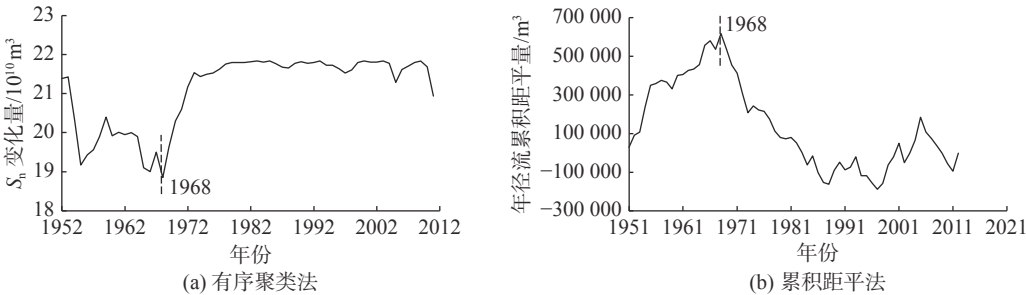


图 4 1951—2012 年径流量序列突变点识别

Fig. 4 Diagnosis of change point based on annual runoff from 1951 to 2012

同样采用 3 种检验方法对铜街子水文站 1969—2012 年期间年径流量序列进行突变点识别。由图 5(a) 的总离差平方和(S_n)变化量可知,有序聚类法无法寻求突变点。从图 5(b) 可以发现,该时期年径流量累积

距平表现出先减少后增加的变化趋势,其突变点为1987年。由Pettitt检验亦得出1969—2012年径流量序列突变年份为1987年,故可推断大渡河流域年径流量在1987年亦发生显著性突变。

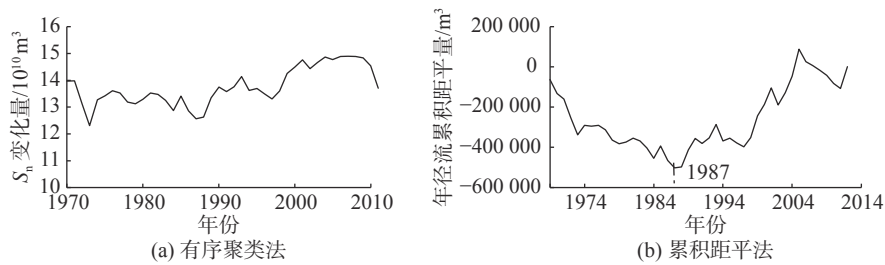


图5 1969—2012年径流量序列突变点识别

Fig. 5 Diagnosis of change point based on annual runoff from 1969 to 2012

2.2 年径流量变化的归因分析

年径流量变化是诸多因素共同作用的结果,大渡河流域年径流量变化主要受气候因素和人类活动影响。气候变化主要通过水、热两方面来呈现影响,因此将气候因子归结为水因素和热因素,分别以降水 and 气温表征。

2.2.1 基准期和影响期下的年径流量、年降水量和年平均气温过程 以大渡河流域年径流量突变年份1968年和1987年为转折点将研究时段分为3个时期:A时段为1951—1968年,B时段为1969—1987年,C时段为1988—2012年。大渡河流域年径流量在A时段主要受气候变化影响,人类活动影响偏弱;B、C时段人类活动增加,径流量受人类活动和气候变化共同作用。因此,将A时段设为基准期,B、C时段为影响期。大渡河流域在基准期及影响期年径流量过程、年降水量过程及年平均气温过程见图6。可见,大渡河流域年径流量多年来总体呈不显著下降趋势,降水总体呈微弱下降趋势,而气温总体呈上升趋势。

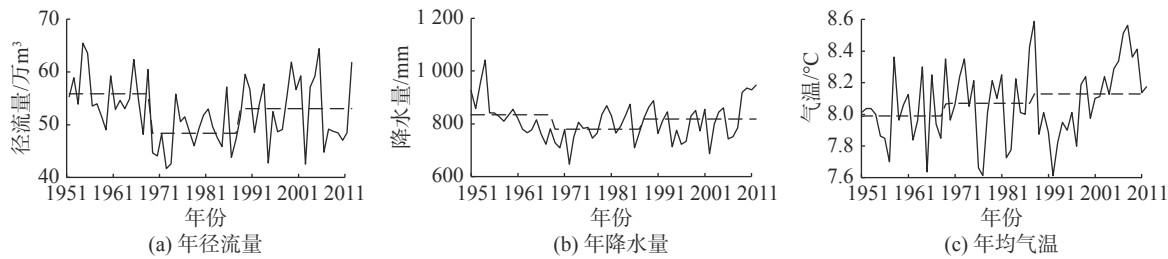


图6 大渡河流域年径流、年降水、年平均气温过程及其均值变化

Fig. 6 Annual series and its average for runoff, precipitation and average temperature in Dadu River basin

2.2.2 不同时期累积年径流、降水量、气温与年份之间的相关关系 分别绘制累积年径流量与年份、累积降水量与年份和累积气温与年份在A、B、C时段的关系曲线,并拟合线性关系,结果见图7。

以上各拟合关系的相关系数均大于0.999,表明年份与累积径流、累积降水量和累积气温的线性关系很好。

2.2.3 气候变化和人类活动对径流量的贡献率分析 表2给出了大渡河流域累积年径流量、累积年降水量和累积年气温关系的斜率及其变化情况。

表2 不同时期年份与各累积量关系的斜率及其变化

Tab. 2 Slope and slope change of relation between year and accumulated quantity in different periods

时段	累积量斜率			斜率改变率		
	降水量/(mm·a ⁻¹)	气温/(mm·a ⁻¹)	径流量/(万m ³ ·a ⁻¹)	降水量/%	气温/%	径流量/%
A: 1951—1968年	824.78	7.993	55.34	—	—	—
B: 1969—1987年	788.46	8.023	49.18	-4.40	0.37	-11.13
C: 1988—2012年	789.28	8.469	53.10	-2.89	1.56	-3.96

由表 2 可知:

(1) 与基准期 A 相比,影响期 B 累积年径流量与年份线性关系的斜率减小了 $6.16 \text{ 万 m}^3/\text{a}$,斜率变化率为 -11.13% ;与基准期 A 相比,影响期 C 的斜率减小了 $2.19 \text{ 万 m}^3/\text{a}$,斜率变化率为 -3.96% 。

(2) 与基准期 A 相比,影响期 B 累积年降水量与年份线性关系的斜率减小了 36.32 mm/a ,变化率为 -4.40% ;与基准期 A 相比,影响期 C 的斜率小了 23.88 mm/a ,变化率为 -2.89% 。斜率变化率为负,表明降水序列有下降趋势,与图 6(b) 是一致的。

(3) 与基准期 A 相比,累积年气温与年份线性关系的斜率增大了 $0.0297 \text{ }^\circ\text{C/a}$,变化率为 0.37% ;与基准期 A 相比,影响期 C 的斜率增大了 $0.1247 \text{ }^\circ\text{C/a}$,变化率为 1.56% 。斜率变化率均为正,且 C 时段比 B 时段变化率更大,表明气温序列呈现持续上升趋势,与图 6(c) 是一致的。

对大渡河流域而言,降水量增加,径流量亦增加,年径流量与年降水量呈正相关;气温升高,径流量减少,年径流量与年平均气温呈负相关。

由计算结果可知:(1) 与基准期 A 相比,影响期 B 的气候变化对年径流量减少的贡献率为 36.22% ,人类活动对年径流量减少的贡献率为 63.78% 。(2) 与基准期 A 相比,影响期 C 的气候变化对年径流量减少的贡献率为 33.68% ,人类活动对年径流量减少的贡献率为 66.32% 。

2.3 讨 论

降水量对年径流量的影响在 C 时段远高于 B 时段,平均气温对年径流量的影响同样在 C 时段远高于 B 时段。综合考虑降水量和平均气温的共同影响,气候变化对径流量变化的贡献率在 B、C 时段分别为 36.22% 、 33.68% ,气候变化的贡献率在 C 时段略低于 B 时段,而人类活动的贡献率反而增大。

平均气温升高导致径流量减少,一是江河湖泊水面蒸发增大致使径流量减少;二是流域内植物蒸腾作用及水分截留过程受到影响,随之改变径流量。

人类活动是大渡河流域径流量变化的主导因素。1970 年代以来,社会经济状况的转好、人口数量的增多使工农业用水量和生活耗水量加大,从而直接导致径流量减少;此外,大渡河流域上丰富的水力资源得到大量开发,诸多水利水电工程的修建与运行皆对径流量的自然变化过程产生影响;同时,工农业开发及房地产业等的快速发展使得土壤利用类型和植被覆盖率也发生了显著变化,进而使地表入渗、汇流及补给等水循环过程改变,间接影响到径流量。因此人类活动对年径流量减少的贡献率很大,且影响逐步加深。

累积量斜率变化率比较法在径流量归因分析的应用,均是处于将气候变化和人类活动视作两大完全独立因素的情景中,本文将降水和气温也当成互不干扰的两个气候因子来分别计算贡献率。实际上,气候变化与人类活动相互影响且关系密切,降水和气温之间也存在着一定的相关关系。寻求新的研究方法,对气候变化和人类活动的影响进行更科学地分离和判定,是归因分析研究需进一步开展的内容。

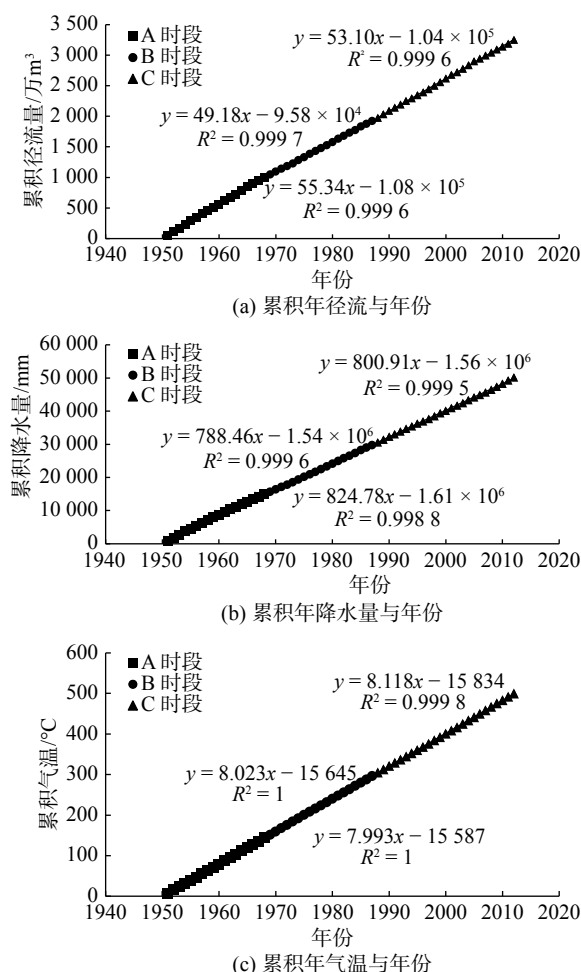


图 7 累积量与年份的关系曲线

Fig. 7 Relationship curves of cumulative quantity and year

3 结 语

利用大渡河流域径流量及气象资料,通过多种方法分析年径流量变化特征,揭示了气候变化与人类活动对流域年径流量的影响,主要结论如下:

(1)大渡河流域年径流量在1951—2012年、1951—1968年和1988—2012年期间呈不显著的减少趋势,1969—1987年期间呈不显著的增加趋势;年径流量变化普遍存在6~8年、10~12年、15~20年、22~30年尺度的周期震荡,主要周期成分为7、11、17、28年;流域年径流量在1968年、1987年发生突变。

(2)以人类活动轻微的A时段(1951—1968年)为基准期,影响期B(1969—1987年)气候变化对年径流量减少的贡献率为36.22%,人类活动对径流减少的贡献率达63.78%;影响期C(1988—2012年)气候变化对年径流量减少的贡献率为33.68%,人类活动的贡献率达66.32%。人类活动是大渡河流域年径流量减少的主导因素,气候变化是次要因素。

(3)揭示了大渡河流域近60年来年径流量的变化趋势及主要影响因素的贡献率,为研究区径流量变化归因分析、水资源合理开发利用、生态环境修复与管理提供了参考。

参 考 文 献:

- [1] 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))
- [2] 张利茹,贺永会,唐跃平,等.海河流域径流变化趋势及其归因分析[J].水利水运工程学报,2017(4):59-66. (ZHANG Liru, HE Yonghui, TANG Yueping, et al. Analysis of runoff change trend and its attribution in Haihe River basin[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(4): 59-66. (in Chinese))
- [3] 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]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(3): 388-397. (in Chinese))
- [4] 陈媛.大渡河流域径流变化特性分析[C]//梯级调度控制研究论丛——2011年学术交流论文集.武汉:长江出版社,2011:213-225. (CHEN Yuan. Analysis of runoff variation characteristics in Dadu River basin[C]//Cascade Scheduling Control Studies: 2011 Academic Exchange Proceedings. Wuhan: Changjiang Publishing House, 2011: 213-225. (in Chinese))
- [5] 胡珊珊,郑红星,刘昌明,等.气候变化和人类活动对白洋淀上游水源区径流的影响[J].地理学报,2012,67(1):62-70. (HU Shanshan, ZHENG Hongxing, LIU Changming, et al. Assessing the impacts of climate variability and human activities on streamflow in the water source area of Baiyangdian Lake[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(1): 62-70. (in Chinese))
- [6] 董磊华,熊立华,于坤霞,等.气候变化与人类活动对水文影响的研究进展[J].水科学进展,2012,23(2):278-285. (DONG Leihua, XIONG Lihua, YU Kunxia, et al. Research advances in effects of climate change and human activities on hydrology[J]. Advances in Water Science, 2012, 23(2): 278-285. (in Chinese))
- [7] 张利平,于松延,段尧彬,等.气候变化和人类活动对永定河流域径流变化影响定量研究[J].气候变化研究进展,2013,9(6):391-397. (ZHANG Liping, YU Songyan, DUAN Yaobin, et al. Quantitative assessment of the effects of climate change and human activities on runoff in the Yongding River Basin[J]. Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis, 2013, 9(6): 391-397. (in Chinese))
- [8] 张永勇,张士锋,翟晓燕,等.气候变化下石羊河流域径流模拟与影响量化[J].资源科学,2013,35(3):601-609. (ZHANG Yongyong, ZHANG Shifeng, ZHAI Xiaoyan, et al. Runoff simulation on the impact of climate change in the Shiyang River Basin[J]. Resources Science, 2013, 35(3): 601-609. (in Chinese))
- [9] LEGESSE D, VALLET-COULOMB C, GASSE F. Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: case study South Central Ethiopia[J]. Journal of Hydrology, 2003, 275(1): 67-85.

- [10] SANKARASUBRAMANIAN A, VOGEL R M, LIMBRUNNER J F. Climate elasticity of streamflow in the United States[J]. *Water Resources Research*, 2001, 37(6): 1771-1781.
- [11] 彭卓越, 张丽丽, 殷峻暹, 等. 基于天文指标法的大渡河流域长期径流预测研究[J]. 中国农村水利水电, 2016(11): 97-100. (PENG Zhuoyue, ZHANG Lili, YIN Junxian, et al. Research on the long-term runoff forecasting of Dadu River Basin based on astronomical index method[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2016(11): 97-100. (in Chinese))
- [12] 王文圣, 丁晶, 金菊良. 随机水文学[M]. 2版. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. (WANG Wensheng, DING Jing, JIN Juliang. *Stochastic hydrology*[M]. 2nd ed. Beijing: China Water Power Press, 1997. (in Chinese))
- [13] 刘茂峰, 高彦春, 甘国靖. 白洋淀流域年径流变化趋势及气象影响因子分析[J]. 资源科学, 2011, 33(8): 1438-1445. (LIU Maofeng, GAO Yanchun, GAN Guojing. Long-term trends in annual runoff and the impact of meteorological factors in the Baiyangdian Watershed[J]. *Resources Science*, 2011, 33(8): 1438-1445. (in Chinese))
- [14] 王文圣, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. (WANG Wensheng, DING Jing, LI Yueqing. *Hydrology wavelet analysis*[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. (in Chinese))

Variation characteristics of annual runoff and its attribution analysis in Dadu River basin

ZHANG Lanting, WANG Wensheng, LIU Qiankui, ZHENG Fangfang

(College of Water Resource and Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: According to the data of annual precipitation, annual average temperature of climatological stations and annual runoff of Tongjiezi Station in the Dadu River basin from 1951 to 2012, the Mann Kendall rank correlation test was used to identify the trend of annual runoff sequence, the periodic component was tested based on the wavelet analysis method, the sequential clustering method, the cumulative anomaly method and the Pettitt method were used to diagnose the change point, and the effect of climate changes and human activities on the annual runoff of the basin was revealed based on the comparison of the slope change rate of the cumulative amount. The results show that in the past 60 years, during 1951—1968, the annual runoff showed an insignificant decrease trend, the period of 1969—1987 showed an insignificant increase trend, the period of 1988—2012 showed an insignificant decrease trend, and the period of 1951—2012 showed an insignificant decrease trend; there were 7, 11, 17 and 28 years cycle components; in the past 60 years, change points of the annual runoff in the Dadu River basin were in 1968 and 1987; using 1951—1968 as the base period, during 1969—1987, the contribution rate of climate change and human beings activities to the reduction of annual runoff in the Dadu River basin was 36.22% and 63.78% respectively; during 1988—2012, the contribution rate of climate change and human activities to the reduction of annual runoff was 33.68% and 66.32% respectively; and in sum, human activities are the main factor and climate change is the secondary factor.

Key words: Dadu River basin; annual runoff; climate change; human activities; variation characteristics; attribution analysis