

近 55 年来降水及人类活动对沅水流域径流的影响

臧荣强^{1,2}, 胡国华^{1,2}, 顾庆福³, 邵全喜^{1,4}, 盛丰^{1,2}, 周慧³

(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; 4. 澳大利亚国家数据研究所, 澳大利亚 佛意特 WA6014)

摘要: [目的] 开展降水和人类活动对沅水流域径流影响的定量研究及其成因分析, 为该流域水资源开发利用提供科学依据。[方法] 采用累计距平法以及滑动 t 检验法对沅水流域近 55 a 的降水量、径流量序列进行趋势分析和突变检验, 采用双累积曲线法分别计算降水及人类活动对沅水流域径流量变化的贡献率。[结果] 除安江站受人类活动影响较明显, 其贡献率为 60% 外, 在变异期 I (1989—2003 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 II (2004—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。[结论] 近 55 a 来, 人类活动因素对沅水流域径流量的影响不断增加, 沅水流域下游受人类活动的影响贡献率的增幅最大。

关键词: 径流量变化; 气候变化; 降水量; 人类活动; 沅水流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)04-0097-05

中图分类号: P333, TV121.1

文献参数: 臧荣强, 胡国华, 顾庆福, 等. 近 55 年来降水及人类活动对沅水流域径流的影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4): 97-101. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.04.015; Zang Rongqiang, Hu Guohua, Gu Qingfu, et al. Impact of precipitation and human activities on runoff in Yuanshui River basin in recent 55 years[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(4): 97-101.

Impact of Precipitation and Human Activities on Runoff in Yuanshui River Basin in Recent 55 Years

Zang Rongqiang^{1,2}, Hu Guohua^{1,2}, Gu Qingfu³, Shao Quanxi^{1,4}, Sheng Feng^{1,2}, Zhou Hui³

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hu'nan 410114, China; 2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hu'nan Province, Changsha, Hu'nan 410114, China; 3. Hu'nan Province Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Changsha, Hu'nan 410007, China; 4. CSIRO Mathematical and Information Sciences, Leeuwin Centre, WA6014 Floreat Park, Australia)

Abstract: [Objective] The impacts of precipitation and human activities on runoff in Yuanshui River Basin and its cause were studied in order to provide scientific basis for the water utilization of Yuanshui River basin. [Methods] By using cumulative anomaly method and sliding t test, the trend and mutation test of precipitation and runoff series in recent 55 years in Yuanshui basin were carried out. The contribution rate of precipitation and human activities to runoff change in Yuanshui River basin was calculated by double cumulative curve method. [Results] In addition to Anjiang Station, which was obviously influenced by human activities, its contribution was 60%. In the period of variation I (1989—2003), precipitation had greater impact on runoff than the contribution rate of human activities. In the period of variation II (2004—2014), the contribution rate of human activities increased significantly and gradually became the main driving factor of runoff change. [Conclusion] In recent 55 years, the influence of human activities on runoff in the Yuanshui River basin had been increasing. The contribution rate of human activities in the lower reaches of the Yuan River basin had increased the most.

Keywords: runoff change; climate change; precipitation; human activities; Yuanshui River basin

收稿日期: 2019-01-03

修回日期: 2019-02-22

资助项目: 国家自然科学基金项目“再生水灌溉条件下农田土壤优先流的演化过程与驱动机理研究”(51579020); 国家自然科学基金青年项目“区域非一致性水文频率分析方法研究与应用”(51809018); 湖南省重大水利科技计划项目(2013-243-2)

第一作者: 臧荣强(1994—), 男(汉族), 河南省义马市人, 硕士研究生, 研究区方向为水资源演变规律。E-mail: 253136430@qq.com。

通讯作者: 胡国华(1965—), 男(汉族), 湖南省新田县人, 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。

19 世纪 80 年代以来,随着温室效应影响,全球气候环境波动,气温持续升高,中国极端天气发生的频率升高。河川径流量等水文要素也随之受到了极大地影响,同时也影响着我国社会和谐稳定以及社会经济发展进程。人类活动及气候突变两方面都对流域水循环径流过程演变造成了不同程度的影响,河川径流的变化直接影响着水文系统的演变,也对整个流域水循环和水安全产生巨大的影响^[1-5]。近年来,有学者对不同流域径流变化的各类影响因素作了大量的研究,逐渐开始定量研究人类活动和气候变化等不同因素对径流变化影响的贡献率^[6-8]。罗平玖^[9],王顺强^[10],吴作平^[11]等学者对沅水流域的径流演变规律进行了研究,探讨了沅水中上游流域径流的丰枯演变规律,对流域三个干流水文站径流时序趋势进行了分析,提出了搜寻径流系列近似周期及径流周期检验方法,并分析了沅水流域近年来径流资料的周期规律;刘培亮^[12]等根据湖南“湘资沅澧”4 水的流域控制站近 24 a 实测的月径流量数据,运用 Mann-Kendall 趋势检验法、灰色关联分析法和绝对变化幅度和相对变化幅度等方法,分别对四水流域汛期径流量的年际变化趋势及特征和年内分配情况进行了分析,将汛期内径流量分配指标与湖南省水旱灾害现实情况进行关联度的分析。本文运用双累积曲线分析法,以沅水流域为研究区域,定量分析了降水和人类活动对流域径流变化的贡献率,希望为沅水流域水资源开发规划提供科学依据。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

沅水是湖南省入洞庭湖的第二大河流,存在南北两个发源地,发源于贵州云雾山的龙头江与启自麻江县源头的河流汇合成为清水江,流入湖南境内的芷江,芷江与渠水汇合后被称为沅水;沅水有辰水、舞水、溆水和酉水等众多支流,流经贵州和湖南的 21 个县市后最终流入洞庭湖。沅水河长 1 033 km,其中在湖南境内 568 km,流域面积 $8.92 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中在湖南境内 $5.11 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。沅水流域为云贵高原到洞庭湖平原的过度区域,上中游地区原为高原,后来受到流水、风力等外力长期侵蚀分割而形成侵蚀山。下游地区多为低矮丘陵区、冲积平原区。

1.2 数据来源

本文研究对象为沅水干流桃源水文站以上流域,水文数据收集了 1959—2014 年沅水干流上 3 个水文站的实测径流资料以及沅水流域及其附近 23 个雨量站的实测降水资料(表 1),对于部分难以收集的资

料,本研究将采用序列插补法进行完善。3 个水文站中安江站位于干流中游偏上,浦市站位于干流中游偏下,桃源站则为流域的出口控制站。长时间序列径流量数据和降雨量数据来源于湖南省水文水资源勘测局及中国气象局。

表 1 沅水流域部分雨量及气象站地理位置及其数据时段

站点	东经(°)	北纬(°)	数据时段
安江	110.14	27.32	1959—2014 年
河溪	109.83	28.22	1959—2014 年
吉首	109.74	28.32	1959—2014 年
浦市	110.12	28.10	1959—2014 年
黔城	109.82	27.18	1959—2014 年
山溪桥	110.55	27.77	1959—2014 年
桃源	111.50	28.91	1959—2014 年
通道	109.63	26.32	1959—2014 年
五强溪	111.00	28.79	1959—2014 年
岩头	109.76	26.84	1959—2014 年
永顺	109.85	29.00	1959—2014 年
凤凰	109.60	27.95	1959—2014 年
辰溪	110.17	28.01	1959—2014 年
禾滩	109.23	27.28	1959—2014 年
红岩溪	109.63	29.28	1959—2014 年
凯里	107.59	26.36	1959—2014 年
来风	109.25	29.31	1959—2014 年
三穗	108.40	26.58	1959—2014 年
思南	108.15	27.57	1959—2014 年
铜仁	109.11	27.43	1959—2014 年
武冈	110.38	26.44	1959—2014 年
沅陵	110.24	28.28	1959—2014 年
芷江	109.41	27.27	1959—2014 年

2 研究方法

本研究采用累计距平法等对沅水流域的径流、降水等序列的趋势进行分析,再结合滑动 t 检验对沅水流域水文要素的序列突变情况进行探讨;根据水文序列的突变点,结合双累积曲线法来分离降水和人类活动要素对径流的影响^[13-17]。

2.1 滑动 t 检验

对已知的样本序列 X_1, X_2, \dots, X_n , 选定其中 1 a, 分别取其前后相邻的连续 n_1 和 n_2 年的样本值计算统计量 T 值。

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

式中: $\bar{x}_1, \bar{x}_2, S_1, S_2$ ——前后 n_1 和 n_2 年的均值和标准差。

2.2 双累积曲线法

双累积曲线^[18]方法是水文领域目前在水文气象

要素的一致性分析中最为常用的方法^[15-17],同时它能够分析水文气象要素的演变趋势及其规律;其方法是以同期的降水和径流连续累积值作为坐标系的两轴,当水文序列发生突变,在突变点前后的曲线会发生较明显的斜率变化。在基准期中,累积径流深($\sum R$)与累积降水量($\sum P$)存在以下关系:

$$\sum R = k \sum P = b \quad (1)$$

两变量之间为线性关系。式中: k, b 为参数。

将变异期的累积降水量作为变量 $\sum P$,可以计算出该关系式模拟出的变异期累积径流深 $\sum R$,在变异期与基准期有相似的下垫面时,可以忽略模拟径流深 $\sum R$ 值的人类活动影响,模拟和实测径流深的差值则为径流受降水和人类活动影响产生的变化量:

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

$$\Delta Q_{气} = R_{2\text{计算}} - R_{1\text{实测}} \quad (3)$$

为了分离气候变化和人类活动的影响,将不同因素对径流改变的数值用贡献率百分比代替,采用以下公式:

$$C_i = \frac{\Delta Q_{人} \text{ 或 } \Delta Q_{气}}{R_{\text{阶段差}}} \times 100\% \quad (4)$$

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

3 结果与分析

3.1 沅水干流径流量年际趋势分析及突变点确定

沅水干流 3 个水文站安江、浦市和桃源的年际径流变化过程如图 1,运用线性回归法分析安江、浦市和桃源 3 个水文站年径流量可知:桃源站的年径流量在波动中呈现下降的趋势,下降的速率为 $21.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$;浦市站和安江站的年径流量呈现上升趋势,上升速率为 $36.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $0.84 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

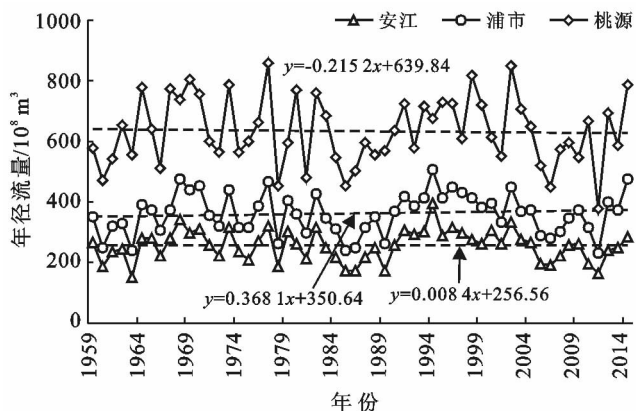


图 1 沅水干流各水文站径流量年际变化和总体趋势

由沅水干流标准化的年径流量累积距平曲线(图 2)可知,浦市、安江以及桃源 3 个水文站的径流量在 1989 年到 2004 年均呈现明显的上升趋势,在 2004 年到 2014 年均呈现出明显的下降趋势。运用滑动 t 检验对累积距平图极值处的年份进行突变分析,得到结果:安江站在 1989 年和 2004 年径流突变检验为显著,其他年份突变检验不显著;同理,对桃源及浦市站累积距平极值的年份进行滑动 t 检验得出:浦市和桃源站的径流值均在 1989 年和 2004 年有显著的突变,详见表 2,以发生突变的年份作为本研究水文序列的分界点,选取 1959—1988 年作为本流域径流趋势分析的基准期,将 1989—2003 年作为变异期 I,2004—2014 年作为变异期 II,各时期干流水文站的径流特征值见表 3。

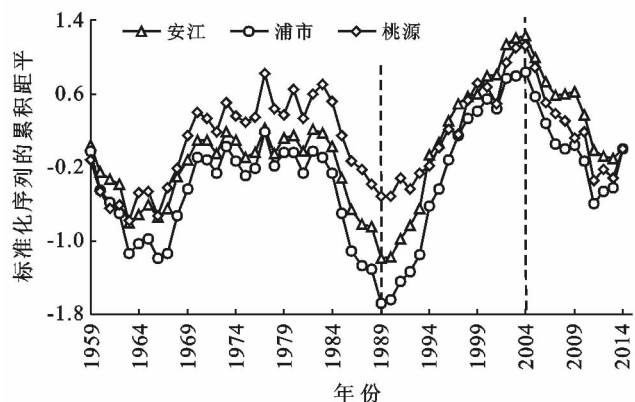


图 2 标准化的年径流量累积距平曲线

表 2 沅水干流各水文站年际径流的滑动 t 检验结果

年份	站点	t 检验	显著性
1989 年	安江	-3.42	显著
1989 年	浦市	-4.12	显著
1989 年	桃源	-2.47	显著
2004 年	安江	4.46	显著
2004 年	浦市	2.97	显著
2004 年	桃源	2.66	显著

3.2 降水与人类活动对流域径流变化贡献率的分离

将径流量序列的突变年份作为该序列分界线,绘制 1959—1989 年基准期降水—径流双累积曲线图(图 3),安江站,浦市站和桃源站的双累积曲线决定系数 R^2 均大于 0.99,表明该方法的拟合精度较高。因此,通过降水—径流双累积曲线的原理,将变异期径流还原为基准期径流,再利用基准期的双累积曲线关系式,将变异期的累积降水量带入关系式中,计算该变异期的径流深,计算结果详见表 4。

表 3 沅水干流各水文站年径流量特征值

水文站	控制面积/ km ²	基准期(1959—1988年)			变异期 I (1989—2003年)			变异期 II (2004—2014年)		
		年平均 径流量/ 10 ⁸ m ³	年平均 径流深/ mm	年平均 降水量/ mm	年平均 径流量/ 10 ⁸ m ³	年平均 径流深/ mm	年平均 降水量/ mm	年平均 径流量/ 10 ⁸ m ³	年平均 径流深/ mm	年平均 降水量/ mm
桃源	85 223	627.6	736.5	1 313.6	680.8	798.8	1 369.7	586.1	687.7	1 273.3
浦市	54 144	349.0	644.6	1 248.5	399.8	738.5	1 313.4	341.4	630.5	1 204.6
安江	40 305	249.9	619.9	1 221.3	290.3	720.3	1 276.2	230.1	570.8	1 167.1

表 4 双累积曲线法定量分析降水与人类活动对沅水流域径流变化的影响

水文站	变异期 I (1989—2003年)				变异期 II (2004—2014年)			
	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/%
桃源	798.8	782.8	74.3	25.7	687.7	741.1	52.0	48.0
浦市	738.5	694.5	53.2	46.8	630.5	691.0	44.0	56.0
安江	720.3	660.2	40.0	60.0	570.8	671.3	32.8	67.2

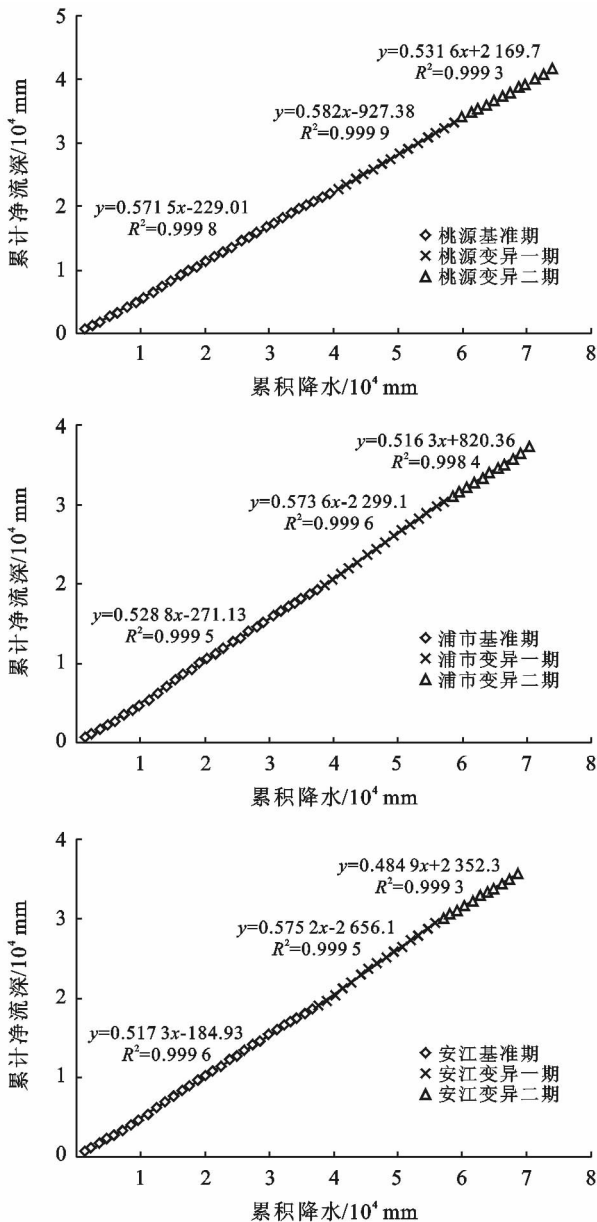


图 3 沅水干流各水文站降水和径流深双累积曲线

3.3 结果讨论

沅水流域安江站以上:在变异期 I 中,径流改变受降水变化的影响比例为 40%,受人类活动影响比例为 60%,主要原因为安江站以上流域年平均降水量低,贵州铜仁地区和湖南邵阳地区干旱严重,在 20 世纪 80 年代初到 90 年代末,该区用水量明显增加,到 21 世纪初期,用水量缓慢增加,趋势趋于稳定。安江站以上的流域,干旱程度严重,大多数年份中当地生产生活取水来源均为地表水。由此可知,在变异 I 期中,沅水流域安江站以上的流域径流变化主要受人类活动因素影响;在变异期 II 中,降水因子对径流变化的贡献占比为 32.8%,而人类活动因子的贡献率为 67.2%。

沅水浦市站以上:变异期 I 中,降水因子影响量为 53.2%,人类活动因子影响量为 46.8%;而在变异期 II,降水因子影响量为 44.0%,人类活动因子影响量为 56.0%。由此可以得出结论,1989—2003 年期间,对沅水浦市站以上流域区段来说气候变化对域内径流变化做出了主要贡献;但在 2004—2014 年间,人类活动因子的影响量增加了 9.2%,并成为该段流域内径流变化的主要影响因素。

沅水下游段(桃源站):在变异期 I,降水对径流变化的贡献率为 74.3%,人类活动因子贡献比例为 25.7%;在变异期 II 中,降水因子影响量为 52.0%,人类活动因子影响量为 48.0%。对沅水下游段来说,1989—2003 年期间径流变化主要受到气候因子的影响,2004—2014 年期间人类活动因子影响量上涨了 22.3%,成为这一时期径流量变化的主要贡献因子。在研究划分的 3 个子流域段中,沅水流域下游人类活动因子影响量增幅最大。变异期 II 中,沅水流域整体人类活动影响量增幅到研究序列中的最大值,

这与三板溪、洪江、碗米坡、凤滩、高滩等5座梯级水电站有关,这5座水电站皆在2004年前后投产发电,提高了沅水流域水资源的利用率,大大舒缓了沅水流域各乡镇在电力供应上的压力,同时也调节了径流,减小了部分水旱灾害的影响,使得流域内的社会经济持续健康发展。

4 结论

(1) 采用累计距平法等对沅水流域的径流、降水等序列的趋势进行分析,结合滑动 t 检验探讨了沅水流域水文要素的序列突变情况,发现桃源站的年径流量在波动中呈现下降的趋势,而浦市站和安江站的年径流量呈现上升趋势;3个水文站径流量均在1989和2004年发生显著突变,并据此将序列划分为基准期和变异期。

(2) 以1959—1988年作为基准期,以不考虑蒸散发为研究前提,对径流量变化在变异期受降水以及人类活动的影响程度进行定量评估。在变异期Ⅰ,沅水安江站上游,人类活动对径流量变化做出了主要贡献,其贡献率为60%;在沅水下游段流域内,径流量变化主要受降水因子的影响,其贡献率为74.3%;在变异期Ⅱ,沅水流域人类活动对径流量变化的影响都有不同程度的增加,流域下游受人类活动的影响贡献率的增幅最大。

[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.
 [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.
 [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.
 [4] 文广超,王文科,段磊,等.青海柴达木盆地巴音河上游

径流量对气候变化和人类活动的响应[J].冰川冻土,2018,40(1):136-144.

- [5] 冯畅,毛德华,周慧,等.气候与土地利用变化对涟水流域径流的影响[J].冰川冻土,2017,39(2):395-406.
 [6] 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.
 [7] 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.
 [8] 刘克岩,张轸,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.
 [9] 罗平玖.沅水干流安江水文站年径流变化特征及趋势分析[J].湖南水利水电,2015(1):76-78.
 [10] 王顺强,胡国华.沅水流域径流演变规律研究[J].湖南水利水电,2010(1):23-26.
 [11] 吴作平.沅水流域径流周期性规律分析[J].水电能源科学,2009,27(4):16-18.
 [12] 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.
 [13] 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.
 [14] 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.
 [15] 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.
 [16] 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.
 [17] 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.
 [18] 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.

(上接第21页)

[16] 颜明,王彩侠,王随继,等.1958—2007年黄土高原沙尘暴和降雨的时空变化研究[J].中国沙漠,2013,33(3):850-856.
 [17] 钱正安,宋敏红,李万元.近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J].中国沙漠,2002,22(2):106-111.
 [18] 王春学,秦宇生.中国北方春季沙尘暴周期变化特征及其对最大风速的响应[J].水土保持研究,2018,25(3):

133-141.

- [19] 王式功,董光荣,杨德保,等.中国北方地区沙尘暴变化趋势初探[J].自然灾害学报,1996,5(2):86-94.
 [20] 郭慧,王式功,李栋梁,等.甘肃春季沙尘暴环流特征及其时间尺度诊断分析[J].中国沙漠,2004,24(5):593-598.
 [21] 郭晓宁,杨延华,马元仓,等.柴达木盆地春季沙尘暴变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2018,32(8):107-113.