

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.02.005

王小杰,姜仁贵,解建仓,等.渭河干流径流变化趋势及突变分析[J].水利水运工程学报,2019(2):33-40.(WANG Xiaojie,JIANG Rengui,XIE Jiancang,et al. Analysis of variation trend and abrupt point of runoff in the mainstream of Weihe River Basin[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(2): 33-40. (in Chinese))

渭河干流径流变化趋势及突变分析

王小杰¹,姜仁贵¹,解建仓¹,朱记伟¹,汪雅梅²

(1. 西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室,陕西 西安 710048; 2. 陕西省江河水库管理局, 陕西 西安 710018)

摘要:流域水资源量的减少对区域水资源的利用、人类生存环境和经济社会发展等存在着重大影响,通过分析渭河干流径流量变化趋势和突变情况,为渭河流域水量调度和水资源管理提供科学支撑。采用 Mann-Kendall 非参数检验、累积距平、有序聚类、滑动 t 检验和 R/S 等方法分析渭河干流 6 个典型水文站 1956—2015 年径流量的历史演变规律、突变点和未来变化趋势。结果表明:渭河干流各站点的年和季节径流量均呈减少趋势。各站点的春、夏季节减少趋势的幅度大于秋、冬季节;从上游到下游,减少趋势的幅度越来越小。上游各站点呈现增加—平稳—减小的变化过程,且存在 1970 和 1993 年 2 个突变点,中游和下游各站点呈现增加—波动—平稳—减小的变化过程,且存在 1968 和 1993 年 2 个突变点。渭河干流各站点年和季节径流量 Hurst 指数均大于 0.5,即未来变化趋势与历史演变规律呈正相关性,表明渭河干流各站点径流量具有持续下降的趋势,相应部门应高度重视这一现象,制定合理的流域水资源管理对策。

关键词:渭河干流;变化特征;非参数检验;R/S 分析;径流演变

中图分类号: TV121 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2019)02-0033-08

渭河是黄河的第一大支流,也是我国重要的粮棉油产区和工业基地之一,在陕西及西北经济社会发展中占有十分重要的地位。陕西作为“一带一路”的起点,是丝绸之路经济带的核心区。受全球气候变化和人类活动的影响,渭河流域水资源结构和特征发生了较大变化。研究表明:近几十年来,渭河流域水资源量呈减少趋势^[1-4]。流域水资源量的减少对水资源的开发利用、人类生存环境和经济社会发展等产生重大影响。因此,在气候变化和人类活动共同影响的背景下,研究渭河流域水资源的历史演变规律和未来潜在变化趋势具有重要的意义。

近些年来,诸多学者围绕渭河径流变化特征开展研究,取得了一系列有益成果。例如,孙悦等^[5]研究了 1975—2011 年渭河上游径流演变规律及对气候驱动因子的响应,研究发现渭河上游径流总体呈下降趋势,气候增暖导致潜在蒸散量的加剧对径流变化的贡献绝对值高于降水量。李斌等^[6]研究了渭河中下游年径流量变化趋势及突变分析,结果表明:渭河流域径流呈减少趋势,径流突变点发生在 20 世纪 70 年代初和 90 年代初。黄生志等^[7]研究了渭河径流年内分配变化特征及其影响因子贡献率分解,发现渭河径流年内分配特征值的年变化过程呈上升趋势,人类活动是其变化的主要驱动力。当前研究所采用的径流时间序列长度存在局限性,且站点较少,考虑到近年来环境变化的影响和站点的完整性,本文重点研究渭河干流 6 个典型水文站 1956—2015 年径流量变化特征。

收稿日期: 2018-06-22

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0401409); 国家自然科学基金资助项目(51509201, 51679188, 41471451); 陕西省自然科学基金基础研究基金资助项目(2018JM5031)

作者简介: 王小杰(1995—),女,陕西西安人,硕士研究生,主要从事径流变化特征分析。E-mail: 1044095993@qq.com

通信作者: 姜仁贵(E-mail: jrengui@163.com)

本文以渭河干流 1956—2015 年径流量为研究对象,采用 Mann-Kendall 非参数检验法^[8-9]分析径流量变化趋势,采用累积距平法^[10-11]分析径流量变化过程,采用有序聚类和滑动 t 检验法分析径流量的突变点,采用 R/S 分析法对径流时间序列的长程记忆性进行分析,分析各站点径流量未来变化趋势;揭示渭河流域 60 年来径流量演变规律以及未来变化趋势,为渭河流域水量调度和水资源管理提供科学支撑。

1 资料与方法

1.1 研究区域

渭河是黄河第一大支流,位于东经 103°5′~110°5′,北纬 33°5′~37°5′之间。渭河全长 818 km,流域总面积 13.48 万 km²,渭河干流在陕西省境内流长 502.4 km,流域面积 67 108 km²,占陕西省境内黄河流域总面积的 50%。渭河发源于中国甘肃省渭源县的鸟鼠山,由陕西省潼关汇入黄河。渭河干流从天水出甘肃省,东流至天水与宝鸡接壤,经宝鸡市的陈仓、渭滨、金台、岐山、眉县、扶风,咸阳市的杨陵、武功、兴平、秦都、渭城,西安市的周至、户县、长安、未央、灞桥、高陵、临潼,渭南市的临渭、大荔、华县、华阴等 22 个县(市、区),至潼关的港口汇入黄河。渭河多年平均径流量 75.7 亿 m³,陕西境内为 53.8 亿 m³。渭河按河流形态可分为 3 段,宝鸡峡大坝以上为上游,河长 430 km,河道狭窄;宝鸡峡至咸阳铁路桥段为中游,河长 180 km,河道较宽;咸阳至入黄口为下游,河长 208 km,比降较小,水流较缓。渭河流域及典型水文站地理位置如图 1 所示。

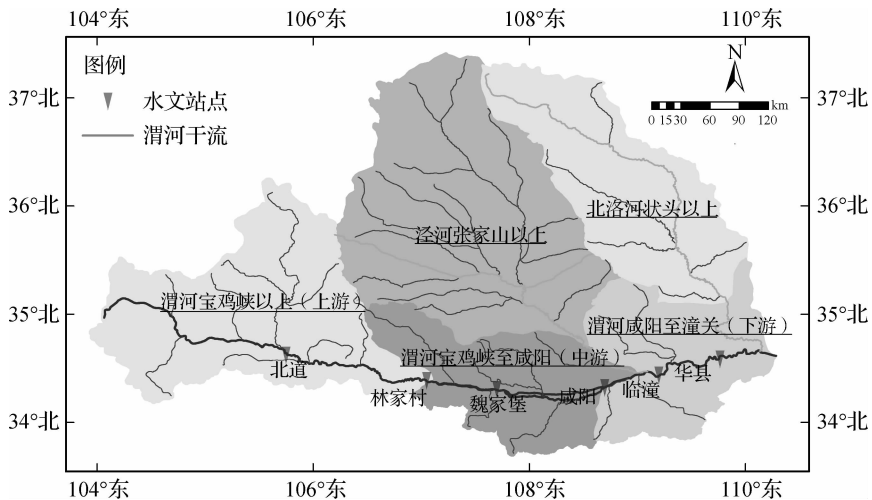


图 1 渭河流域及水文站空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of WRB (Weihe River Basin) and hydrological stations

1.2 数据来源

综合考虑水文站点在流域内的代表性以及资料的可靠性与完整性,本文选取渭河干流北道、林家村、魏家堡、咸阳、临潼和华县 6 个典型水文站 1956—2015 年共 60 年径流量进行分析,研究渭河干流径流量变化特征。考虑到上述部分水文站存在数据缺失状况,采用相关分析法(相关系数大于 0.95)、面积比和径流深修正法对魏家堡站和临潼站的缺失数据进行插补。径流数据来源于中华人民共和国水文年鉴黄河流域水文资料,陕西省江河水库管理局统计整理数据及历年陕西省水资源公报等整编资料。

1.3 研究方法

1.3.1 径流量突变分析方法

(1) 有序聚类 有序聚类分析法寻找水文时间序列可能的显著干扰点 τ ,其实质上就是推求最优分割点,使同类时间序列之间离差平方和最小,类与类之间的离差平方和相对较大^[12]。

设可能分割点为 τ , 则分割前后样本离差平方和及总离差平方和表示为:

$$V_{\tau} = \sum (x_i - \bar{x}_{\tau})^2 \quad (1)$$

$$V_{n-\tau} = \sum (x_i - \bar{x}_{n-\tau})^2 \quad (2)$$

$$S_n(\tau) = V_{\tau} + V_{n-\tau} \quad (3)$$

当 $S_n(\tau) = \min[S_n(\tau)]$ ($2 \leq \tau \leq n-1$), 认为 τ 为突变点^[13]。

(2) 滑动 t 检验 滑动 t 检验是通过考察两组样本平均值的差异是否显著来检验突变的一种统计方法。对某一时间序列的两段子序列, 如果它们的均值差(用统计量 t 来度量)超过了一定的显著性水平 α , 则可以认为两均值发生突变。对于一个序列 x , 设定一个基准点, 基准点前后两段子序列 x_1, x_2 的样本数分别为 n_1, n_2 (一般取 $n_1 = n_2$), 两段子序列平均值为 \bar{x}_1 和 \bar{x}_2 , 方差为 s_1^2 和 s_2^2 ^[14]。定义统计量为:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (4)$$

则 t 服从自由度为 $n_1 + n_2 - 2$ 的 t 分布。给定置信水平 α , 若 $|t_i| > t_{\alpha/2}$, 则认为在该点发生突变^[15]。

1.3.2 R/S 分析法 R/S 分析法(重标极差分析法)是由著名的水文学家 Hurst 在 1995 年首先提出, 该方法主要采用 Hurst 指数衡量和描述非线性时间序列的持续性或反持续性^[16]。

Hurst 指数的 H 一般处于 $0 \sim 1$ 之间; 当 $H > 0.5$ 时, 全部或部分数据之间满足正相关性或长记忆性, 意味着时间序列未来的趋势与过去一致, 即这个过程具有持续性, H 值越接近 1, 长记忆性就越强; 当 $H = 0.5$ 时, 表示序列中各个数据都是独立的, 互不关联, 完全随机的, 前一段时间的变化趋势不会对后面产生影响; 当 $H < 0.5$ 时, 表明全部或部分数据之间满足负相关性或反记忆性, 意味着未来的总体趋势将与过去相反, 即过程具有反持续性, H 值越接近 0, 反记忆性就越强^[17]。

2 结果与分析

2.1 径流年际变化特征

根据流域划分原则(图 1), 将北道和林家村站, 魏家堡和咸阳站, 临潼和华县站分别划分为渭河干流的上、中、下游站点。图 2(a) 为渭河干流典型水文站径流量 Mann-Kendall 趋势检验。取显著性水平 $\alpha = 0.05$, 则 $Z_{\alpha/2} = \pm 1.96$ 。由图可知, 各站点的年和季节径流量均呈减少趋势, 且除了下游站点(临潼、华县站)冬季径流量减少趋势不显著外, 其余站点均为显著性减少; 林家村年际减少趋势最为显著, 临潼冬季减少趋势最弱。上游和中游站点的秋季减少趋势最弱; 下游站点的冬季减少趋势最弱。上游站点减幅大于中游, 下游站点减幅最小; 各站点的春、夏季节减幅大于秋、冬季节。

图 2(b) 为渭河干流 6 个典型水文站径流量累积距平图。可见: 1968 年以前, 各站的年径流量均呈增加趋势; 1985—1993 年, 各站的年径流量均呈平稳趋势; 1993 年以后, 各站的年径流量均呈减少趋势。上游北道和林家村站在 1985 年以前径流量呈增加趋势, 1985 至 1993 年径流量呈平稳趋势, 1993 年以后径流量呈减少趋势。中游和下游各站点在 1968 年以前径流量呈增加趋势, 1968 至 1985 年径流量呈波动趋势; 1985—1993 年径流量呈平稳趋势, 1993 年以后径流量呈减少趋势。上游各站点明显存在 2 个拐点, 3 个不同的变化阶段, 即增加—平稳—减小的变化; 中游和下游各站点存在 3 个拐点, 4 个不同的变化阶段, 即增加—波动—平稳—减小的变化。

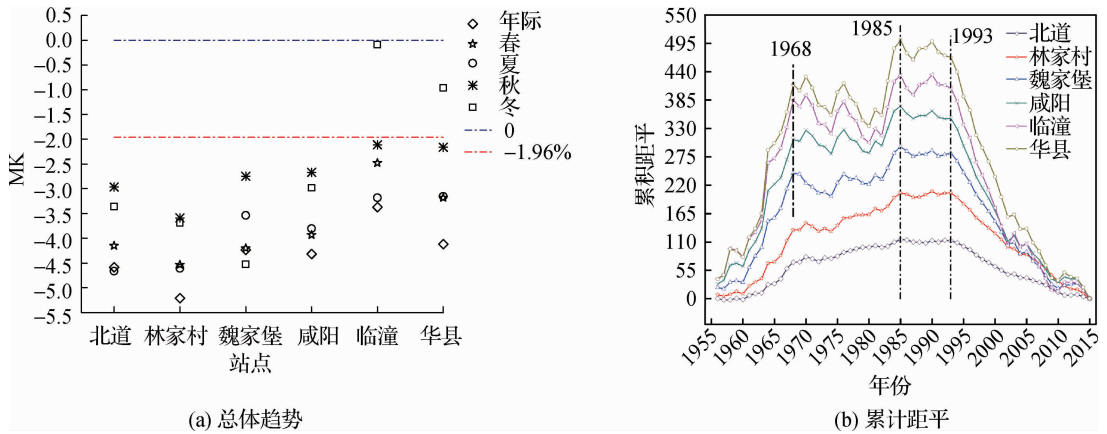


图2 渭河干流径流量

Fig.2 Runoff in mainstream of WRB

2.2 径流年代变化特征

图3为各站点年代径流量 Boxplot 图,图中小方块代表径流量数据的平均值,中部水平线表示中值。由图可知,渭河干流从上游到下游,各水文站点径流量依次增加。除北道站 1970s 外,其余各站点各年代的平均数均大于中位数,即各站点的年代 C_s 值大于 0,说明各站点的年代径流量大多集中在小于均值的部分。

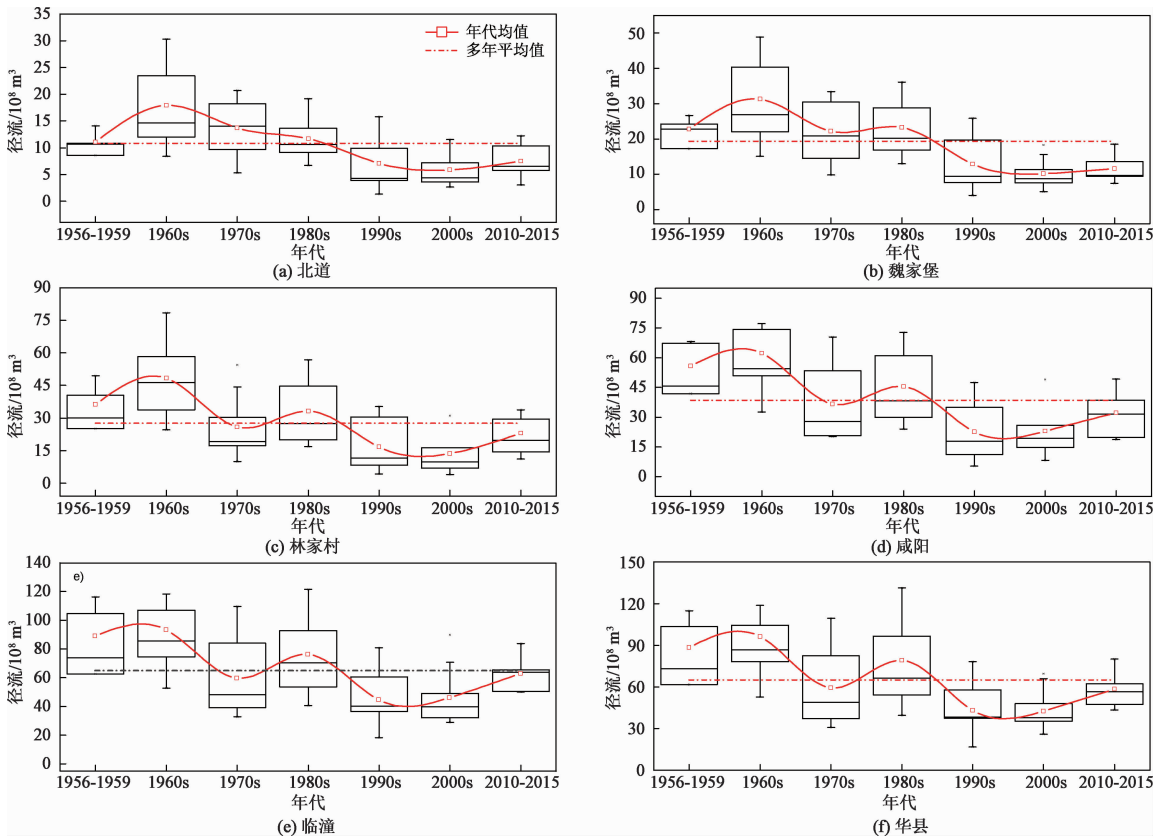


图3 渭河干流径流量年代变化趋势

Fig.3 Trend of runoff in mainstream of WRB

渭河干流各站点的径流量 1960s 最大,为平均值的 1.42 倍以上;除咸阳和临潼站为 1990s,其余均为 2000s 最小,为平均值的 68% 以下,年代最大径流是最小径流的 2.09 倍以上,可以看出各站点径流量的年代变化较大,丰枯悬殊。各站点在 1990s 到 2010s 的径流量均小于平均值,即各站点在 1990s 到 2010s 为枯水年。除 1970s—1980s 和 1990s—2000s 各站点年代径流量变化趋势有所不同外,其余年代各站点变化趋势均相同;即各站点均在 1950s—1960s 和 2000s—2010s 呈增加趋势,1960s—1970s 和 1980s—1990s 呈减少趋势,且上游站点在 1980s—1990s 减少最多,中游和下游站点在 1960s 到 1970s 减少最多。

2.3 径流突变分析

采用有序聚类和 5 年滑动 t 检验法对渭河干流各站点年径流量进行突变分析。采用 5 年滑动 t 检验法时, $n_1 = n_2 = 5$, 取显著性水平 $\alpha = 0.05$, 按照 t 的分布自由度, $n = n_1 + n_2 - 2 = 8$, $t_{0.05/2} = \pm 2.31$, 突变分析结果见图 4。

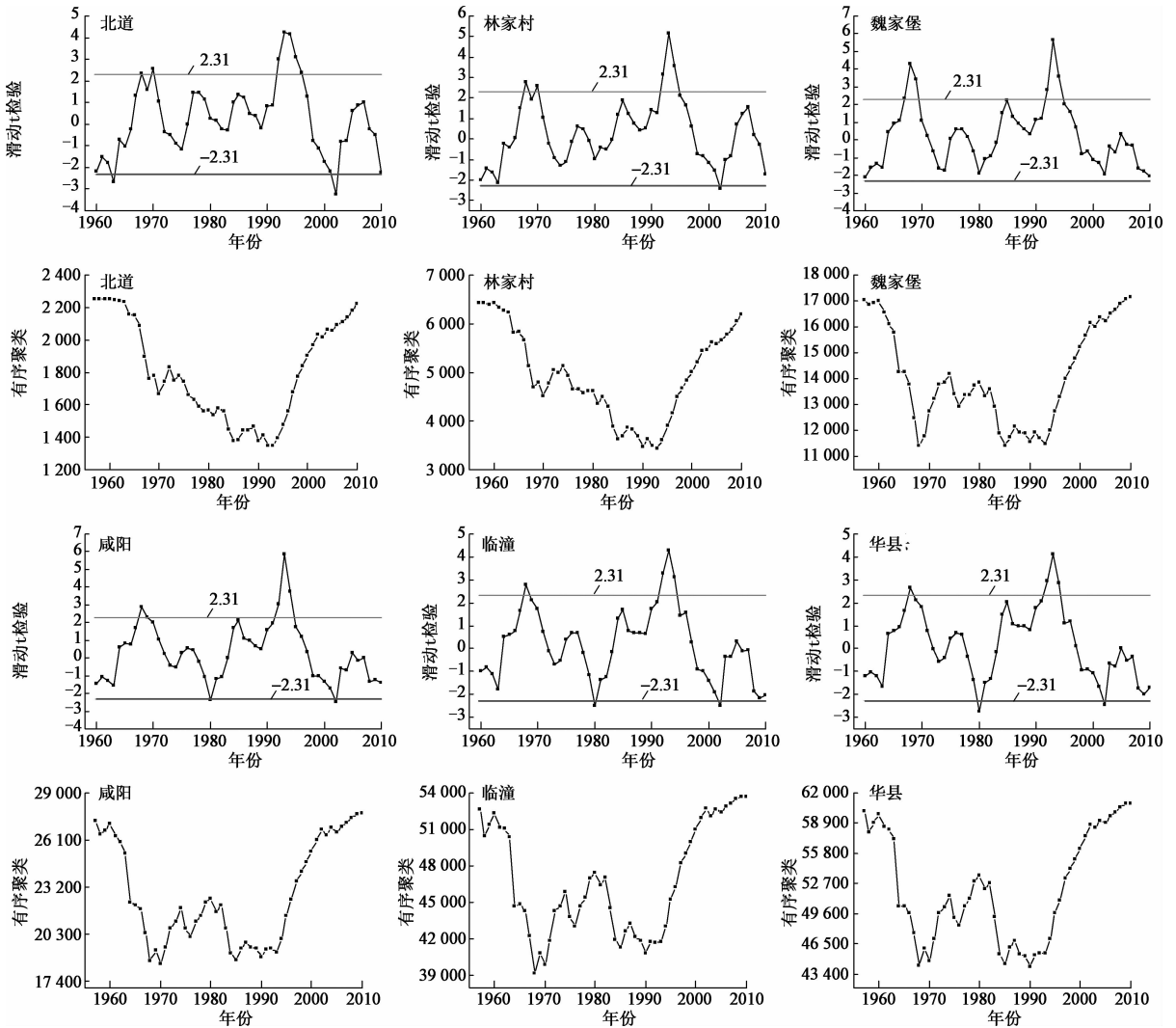


图4 渭河干流径流量突变分析

Fig. 4 Analysis of runoff abrupt point of mainstream of WRB

由图 4 可知,采用滑动 t 检验法进行突变分析,北道站点所得突变点为 1963,1968,1970,1992—1994,2002 年;林家村站点为 1968,1970,1992—1994,2002 年;魏家堡站点为 1968—1969,1992—1994 年;咸阳、临潼和华县站点均为 1968,1980,1992—1994,2002 年。采用有序聚类法进行突变分析,北道和林家村站点所

得突变点均为1970,1985,1993年;魏家堡站点为1968,1985,1993年;咸阳站点为1968,1970,1985,1990,1993年;临潼和华县站点均为1968,1985,1990,1993年。各站点采用5年滑动t检验所得突变点均含有1968年和1992—1994年,采用有序聚类所得突变点均含有1985年和1993年。将各站点采用有序聚类和5年滑动t检验法所得突变点进行分析可知,渭河干流1956—2015年上游各站点径流量突变点为1970年和1993年,中游和下游各站点径流量突变点为1968年和1993年。

2.4 径流 R/S 分析

采用 R/S 分析预测未来一段时间内渭河干流径流量变化趋势。图 5(a) 为北道站年际 R/S 分析结果图。由图可知:北道站年际分析结果具有良好的线性关系, Hurst 效应较为显著。渭河干流各站点的年和季节径流量 R/S 分析 ($\ln(R/S) - \ln \tau$) 的相关系数均在 0.92 以上, 整体趋势表现出了良好的线性关系, 表明各站点的 Hurst 效应较为显著。

图 5(b) 为渭河流域干流各水文站点径流量 Hurst 指数, 结果表明: 各站点的季节和年径流量 Hurst 指数均大于 0.5, 皆表现出与过去历史呈正相关性(或持续性), 即各站点的年和季节径流量具有持续下降的趋势。在渭河干流中, 除魏家堡站点外, 其余各站点的夏季 Hurst 指数最小, 呈现出较弱的持续性, 表明未来夏季径流量持续性减少的趋势最小。除华县站点外, 其余各站点的春、冬季节 Hurst 指数均大于夏、秋季节, 当 $H > 0.5$ 时, H 值越接近 1, 长记忆性就越强, 表明未来春、冬季节的径流量持续性减少的趋势要大于夏、秋季节。汛期为 6—11 月(夏、秋季节), 非汛期为 12—5 月(冬、春季节), 即未来汛期径流量持续性减少的趋势要小于非汛期。

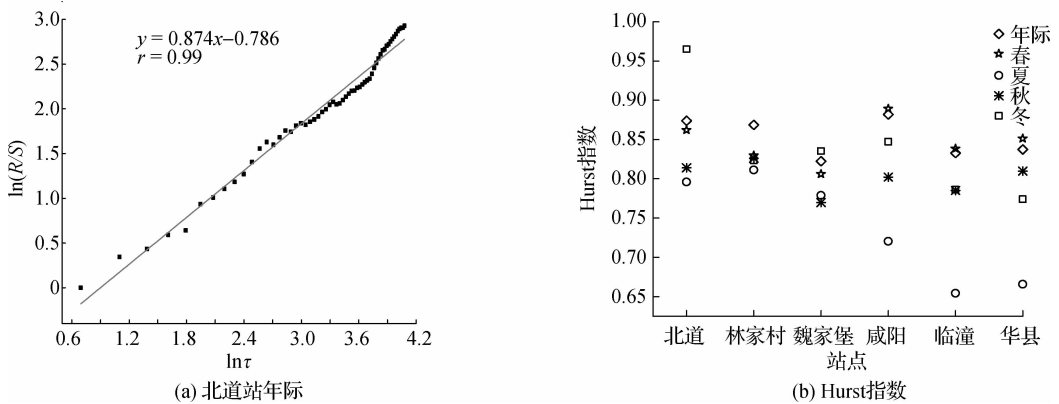


图5 渭河干流径流量 R/S 分析

Fig.5 Variation of runoff in mainstream of WRB

3 结 语

(1) 渭河干流从上游到下游, 各水文站点径流量依次增加, 各站点的年代径流量大多集中在小于均值的部分。上游站点在 1980s 到 1990s 减少最多, 中游和下游站点在 1960s 到 1970s 减少最多。1968 年以前, 渭河干流各站点的年径流量均为增加趋势; 1993 年以后, 各站点的年径流量均为减少趋势。渭河干流 1956—2015 年上游各站点径流量突变点为 1970 年和 1993 年, 中游和下游各站点径流量突变点为 1968 年和 1993 年。

(2) 渭河干流各站点的季节和年径流量均为减少趋势。从上游到下游, 减少趋势越来越弱; 各站的春、夏季节减幅大于秋、冬季节。各站点的季节和年径流量 Hurst 指数均大于 0.5, 皆表现出与过去历史呈正相关性(或持续性), 表明渭河干流各站点年和季节径流量具有持续下降的趋势。

(3) 渭河干流各站点在 1968 年和 1970 年发生突变的主要原因是 20 世纪 60—70 年代渭河流域多处水

利工程相继建设并投入使用,在1993年发生突变的主要原因是受气候作用的影响。渭河流域径流量减少是由气候变化和人类活动共同作用引起,气候变化对径流的影响主要为降水减少和潜在蒸散量的增加。因此,应高度重视这一现象,通过制定科学的流域水资源管理对策,为渭河流域水量调度和合理利用提供科学支撑。

参 考 文 献:

- [1] CHANG J X, WANG Y M, ISTANBULLUOGLU E, et al. Impact of climate change and human activities on runoff in the Weihe River Basin, China[J]. *Quaternary International*, 2015, 380/381: 169-179.
- [2] 魏红义,李靖,王江,等. 渭河流域径流变化趋势及其影响因素分析[J]. *水土保持通报*, 2008, 28(1): 76-80. (WEI Hongyi, LI Jing, WANG Jiang, et al. Analysis on runoff trend and influence factors in Weihe River Basin[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(1): 76-80. (in Chinese))
- [3] HUANG S Z, LIU D F, HUANG Q, et al. Contributions of climate variability and human activities to the variation of runoff in the Wei River Basin, China[J]. *Hydrological Sciences Journal*, 2016, 61(6): 1026-1039.
- [4] 侯钦磊,白红英,任园园,等. 50年来渭河干流径流变化及其驱动力分析[J]. *资源科学*, 2011, 33(8): 1505-1512. (HOU Qinlei, BAI Hongying, REN Yuanyuan, et al. Analysis of variation in runoff of the main stream of the Weihe River and related driving forces over the last 50 years[J]. *Resources Science*, 2011, 33(8): 1505-1512. (in Chinese))
- [5] 孙悦,李栋梁. 1975-2011年渭河上游径流演变规律及对气候驱动因子的响应[J]. *冰川冻土*, 2014, 36(2): 413-423. (SUN Yue, LI Dongliang. Features and response to climate-driven factors of the runoff in the upper reaches of the Weihe River during 1975-2011[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(2): 413-423. (in Chinese))
- [6] 李斌,解建仓,胡彦华,等. 渭河中下游年径流量变化趋势及突变分析[J]. *水利水电工程学报*, 2016(3): 61-69. (LI Bin, XIE Jiancang, HU Yanhua, et al. Analysis of variation and abruptness of annual runoff in middle and lower Weihe River [J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2016(3): 61-69. (in Chinese))
- [7] 黄生志,黄强,王义民,等. 渭河径流年内分配变化特征及其影响因子贡献率分解[J]. *地理科学进展*, 2014, 33(8): 1101-1108. (HUANG Shengzhi, HUANG Qiang, WANG Yimin, et al. Change in runoff seasonal distribution and the decomposition of contribution rate of impacting factors in the Wei River[J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(8): 1101-1108. (in Chinese))
- [8] 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]. *水利水电工程学报*, 2017(4): 59-66. (ZHANG Liru, HE Yonghui, TANG Yueping, et al. Analysis of the trend of runoff in Haihe River Basin and its attribution[J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2017(4): 59-66. (in Chinese))
- [9] SONG X, ZHANG J, AGHAKOUCHAK A, et al. Rapid urbanization and changes in spatiotemporal characteristics of precipitation in Beijing metropolitan area[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2014, 119(19): 11250-11271.
- [10] 刘艺,雷晓云,马红刚,等. 巴音沟河近60年出山口年径流量演变规律[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(2): 139-142. (LIU Yi, LEI Xiaoyun, MA Honggang, et al. Characteristics of runoff from mountainous watershed of Bayingou River basin in recent 60 Years[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(2): 139-142. (in Chinese))
- [11] 郑培龙,李云霞,寇馨月,等. 黄土高原藉河流域径流对气候和土地利用变化的响应[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(2): 250-253. (ZHENG Peilong, LI Yunxia, KOU Xinyue, et al. Effects of climate variation and land use change on runoff in Jiehe watershed of Loess Plateau[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2016, 36(2): 250-253. (in Chinese))
- [12] 冉大川,姚文艺,焦鹏,等. 黄河上游头道拐站年径流输沙系列突变点识别与综合诊断[J]. *干旱区研究*, 2014, 31(5): 928-936. (RAN Dachuan, YAO Wenyi, JIAO Peng, et al. Identification and comprehensive diagnosis of sharp change of annual runoff volume and silt discharge series at Toudaoguai hydrometric station in the upper reaches of the Yellow River[J]. *Arid Zone Research*, 2014, 31(5): 928-936. (in Chinese))
- [13] 叶长青,甘淑,王文玲,等. 元江-红河干流径流时序特性及突变分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(6): 886-891. (YE Changqing, GAN Shu, WANG Wenling, et al. Analysis on the runoff distribution and the variability in the downstream of Honghe River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(6): 886-891. (in Chinese))

- [14] 王宁, 臧淑英, 张丽娟. 近50年来黑龙江省冻土厚度的时空变化特征[J]. 地理研究, 2018, 37(3): 622-634. (WANG Ning, ZANG Shuying, ZHANG Lijuan. Spatial and temporal variations of permafrost thickness in Heilongjiang province in recent years[J]. Geographical Research, 2018, 37(3): 622-634. (in Chinese))
- [15] XIAO Z W, SHI P, JIANG P, et al. The spatiotemporal variations of runoff in the Yangtze River basin under climate change [J]. Advances in Meteorology, 2018(1): 1-14.
- [16] 马宗伟, 许有鹏, 钟善锦. 水系分形特征对流域径流特性的影响—以赣江中上游流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 163-169. (MA Zongwei, XU Youpeng, ZHONG Shanjin. Influence of river network fractal characteristics on runoff—Case study in the basin of upper and middle courses of Gan River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(2): 163-169. (in Chinese))
- [17] 凌红波, 徐海量, 张青青, 等. 新疆塔里木河三源流径流量变化趋势分析[J]. 地理科学, 2011, 31(6): 728-733. (LING Hongbo, XU Hailiang, ZHANG Qingqing, et al. The annual runoff variation trends in the three headstreams of Tarim River[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(6): 728-733. (in Chinese))

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

WANG Xiaojie¹, JIANG Rengui¹, XIE Jiancang¹, ZHU Jiwei¹, WANG Yamei²

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;
2. Rivers and Reservoirs Administration Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710018, China)

Abstract: The reduction of water resources in the river basin has significant impact on the utilization of regional water resources, human living environment and economic and social development. The change characteristics and the abrupt point of runoff in the mainstream of the Weihe River Basin (WRB) were investigated to provide scientific support for water dispatching and water resources management in the WRB. The Mann-Kendall non-parametric test, cumulative anomaly, ordered clustering, moving t-test and R/S method were used to analyze the historical variation trend, abrupt point and future trend of runoff between 1956 and 2015 for six typical hydrological stations in the mainstream of WRB. Results indicate that: the annual and seasonal runoff at each station in the mainstream of WRB showed decreasing trends. The decreasing change magnitudes of runoff in the spring and summer seasons were greater than those in autumn and winter seasons at each station. From upstream to downstream, the magnitudes of decreasing trend got smaller and smaller. The upstream sites exhibited a process of increase-stationary-decrease, and there were 2 abrupt points in 1970 and 1993. The midstream and downstream stations exhibited a process of increase-stationary-decrease, and there were 2 abrupt points in 1968 and 1993. The annual and seasonal runoff Hurst index was more than 0.5 at each station in the mainstream of WRB, indicating that the future change characteristics of runoff were positively correlated with the historical change characteristics. The study shows that the runoff of each station in the mainstream of the WRB has a continuous decline trend. The administrative department of WRB should pay more attention to this issue and establish reasonable water resources management strategies for the WEB.

Key words: mainstream of WRB; change characteristics; non-parametric test; R/S analysis; runoff evolution