

近 54 年渭干河流域径流变化特征及影响因素分析

秦鹏^{1,2}, 赵成义², 盛钰², 董义阳^{2,3}

(1.新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830052;

2.中国科学院新疆生态与地理研究所,新疆 乌鲁木齐 830011;3.中国科学院大学研究生院,北京 100049)

摘要:基于 1960~2013 年渭干河流域逐月径流量观测资料及逐日气象数据,采用 Kruskal-Wallis 阶段转换检验、R/S 分析、集合模态分解分析(EEMD)等方法研究了近 54 年渭干河流域径流量的年内、年际变化特征及其影响因素。结果表明:(1)近 54 年渭干河流域 C_v 、 C_s 较大,径流量年内分配不均衡,径流量夏季>秋季>春季>冬季,未来这种趋势会更加明显。(2)径流年际变化特征可分为三个阶段,1960~1976 年的枯水期、1976~1993 年的平水期和 1994~2013 年的丰水期。(3)径流量总体呈现增加趋势,其中夏季增长最为显著,其次是春秋两季,冬季径流量有轻微减少。未来近期内,渭干河径流量还会继续保持增加。(4)流域气温和降水量亦呈增加趋势,突变点在 1970s 末和 1990s 初,与径流变化特征吻合,两者呈正相关关系。其中夏季径流量变化主要受降水影响,秋冬季径流量变化主要受气温影响。

关键词:渭干河;径流变化;集合模态分解分析(EEMD)

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)02-0085-07

河川径流是气候和下垫面综合作用的产物,其时空演化规律是水文水资源学研究的重要内容^[1],尤其是西北干旱区,水资源更是区域生态环境与社会经济发展的主要限制因素和重要保障。随着近年来全球气候的不断变化,我国西北干旱区降水和气温变化异常,河流极端水文灾害频发,使得干旱区河川径流产生巨大影响^[2],主要表现在水资源时空上的重新分配和区域水资源总量的改变^[3]。已有研究表明:受气候变化影响,我国河流径流变化出现差异性。海流兔河流域、潮河和白河流域径流量呈现下降趋势^[4-5];大通河流域和漓江流域径流量变化不大^[6-7];而新疆河流水资源总量都发生了显著的增加,如克里雅河流域、阿克苏河流域、开都河流域、玛纳斯河流域等^[8-12]。

渭干河流域位于新疆塔里木盆地,是新疆天山南麓在渭干河河水滋润下开发形成的典型农业绿洲。它不但是我区重要的棉花生产基地,也是西北生态环境脆弱区。由于渭干河绿洲独特的气候、生态景观的影响,其人文社会经济发展受到水资源的严格限制。本文基于 1960~2013 年渭干河流域实测径流数据和同期

气象资料,分析渭干河流域近 54 年的径流量演变特征及其影响因素,以期能为流域气候变化下的水文演变、水资源合理配置以及流域生态保护提供科学依据。

1 研究区概况

渭干河位于新疆塔里木盆地中北部,发源于汗腾格里峰东侧卡拉库勒冰川的木扎提河从西端进入拜城盆地,汇集卡普斯浪河、台勒维丘克河、喀拉苏河与黑孜河流出拜城盆地后称渭干河。渭干河干流全长 452 km,年平均流量约 $26.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,汛期为 6~9 月。河流冲出口后呈辐射状分布,在南部形成扇形的冲积平原,发育成东西长约 64 km,南北宽约 160 km 包含新和、沙雅、库车三县的大扇裙绿洲—渭干河绿洲 ($80^\circ 37' \sim 83^\circ 59' \text{ E}$, $41^\circ 06' \sim 42^\circ 40' \text{ N}$),南缘与塔里木河冲积平原相接。渭干河流域总面积 $8\,346.5 \text{ km}^2$,流域地势北高南低,平均海拔 920~1 100 m,年平均气温 $10 \sim 11^\circ \text{C}$,年平均降水 70~90 mm,温带大陆性气候。流域内以农业为主,主要种植棉花,是新疆重要的长绒

收稿日期:2015-02-03

基金项目:国家科技支撑项目(2013BAC10B01);新疆维吾尔自治区青年科技创新人才培养工程项目(2013731029);中国科学院“西部之光”人才计划西部博士专项(XBBS201208)

作者简介:秦鹏(1992-),男,新疆呼图壁人,硕士研究生,主要从事水土资源高效利用研究。E-mail: qinpeng6523@foxmail.com

通讯作者:赵成义(1966-),男,新疆玛纳斯人,研究员,主要从事干旱区生态水文学、干旱区水资源高效利用研究。E-mail: zcy@ms.xjb.ac

棉生产区,渭干河是渭干河流域的主要水源^[13]。

2 资料来源和研究方法

2.1 资料来源

本文主要引用了年鉴和历史文献资料,收集整理了国家气候数据共享平台提供的渭干河流域内沙雅、库车、新和气象站 1960~2013 年的逐日气象数据和渭干河克孜尔水库黑孜水文站的逐月径流数据。为保证数据的利用率和可靠性,对资料中个别缺测值用线性插值法替换保证了标准的统一。

2.2 研究方法

本文首先采用线性回归分析、数理统计分析和累计距平分析来研究渭干河流域年内、54 年年际径流量变化基本特征,然后运用 R/S 分析预测了渭干河未来径流量的变化趋势。为进一步验证径流量变化趋势,又进行了集合经验模态分解分析(Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD)。最后运用了 M-K 检验找到了气温、降水的突变点,并用 Person 相关性分析研究了气温、降水和径流量之间的关系。

3 结果与分析

3.1 渭干河流域径流的年内变化特征

渭干河年内径流量分配变化如图 1a 所示。渭干河径流量在夏季远远大于其他季节,呈现夏季(6~8 月)>秋季(9~11 月)>春季(3~5 月)>冬季(12~2 月),其中 6~9 月径流量占全年的 56%,尤其是 7 月最大,为 $4.69 \times 10^8 \text{ m}^3$,而 1 月最小,仅为 $1.10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。径流不均匀系数和完全调节系数可反映径流年内分配的丰枯差

别变化幅度。渭干河径流年内分配不均匀系数和完全调节系数如图 1b 所示。渭干河研究年内分配不均匀系数 C_v 均值为 0.6,完全调节系数 C_r 均值为 2.9,符合典型冰川融雪性干旱区河流特点,二者波动具有良好的一致性,均呈现波动增加趋势,说明渭干河流域径流量年内分配不均匀,且未来不均匀性会更加显著。

在研究渭干河径流量的季节变化情况时,将 54 年渭干河径流量时间序列按照春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)冬(12~2 月)四个时段进行分解,并计算每个时段的多年平均值(见图 2)。在近 54 年里,渭干河四季径流量总体呈现增加趋势,且在 20 世纪 90 年代开始尤为突出。其中,夏季增加最为明显,增幅达到 $1.2 \times 10^8 \text{ m}^3/10\text{a}$,其次为春秋两季,增幅为 $0.8 \times 10^8 \text{ m}^3/10\text{a}$ 。冬季出现了缓慢减少趋势,但这种减少十分微弱。

3.2 渭干河流域径流的年际变化特征

1960~2013 年渭干河流域年均径流量情况变化如图 3 所示。多年平均径流量为 $25.94 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中最大径流为 2002 年的 $40.05 \times 10^8 \text{ m}^3$,最小径流为 1975 年的 $20.81 \times 10^8 \text{ m}^3$,年际变异系数 0.415,表明渭干河近 54 年径流年际变化较大,从趋势线可看出:径流量呈明显增加趋势,平均增速为 $1.8 \times 10^8 \text{ m}^3/10\text{a}$ 。

河流径流量的丰枯变化常用径流量累计距平过程线来表示,当河流处于枯水期时,累计距平曲线向下波动;河流进入平水年,径流量在多年平均流量上下波动,径流量累计距平过程线呈现水平;当径流量高于多年平均水平,进入丰水期,径流量累计距平过程线上升。渭干河 1960~2013 年径流量大致可以为三个阶段(见图 3),1960~1976 年渭干河年际径流量只

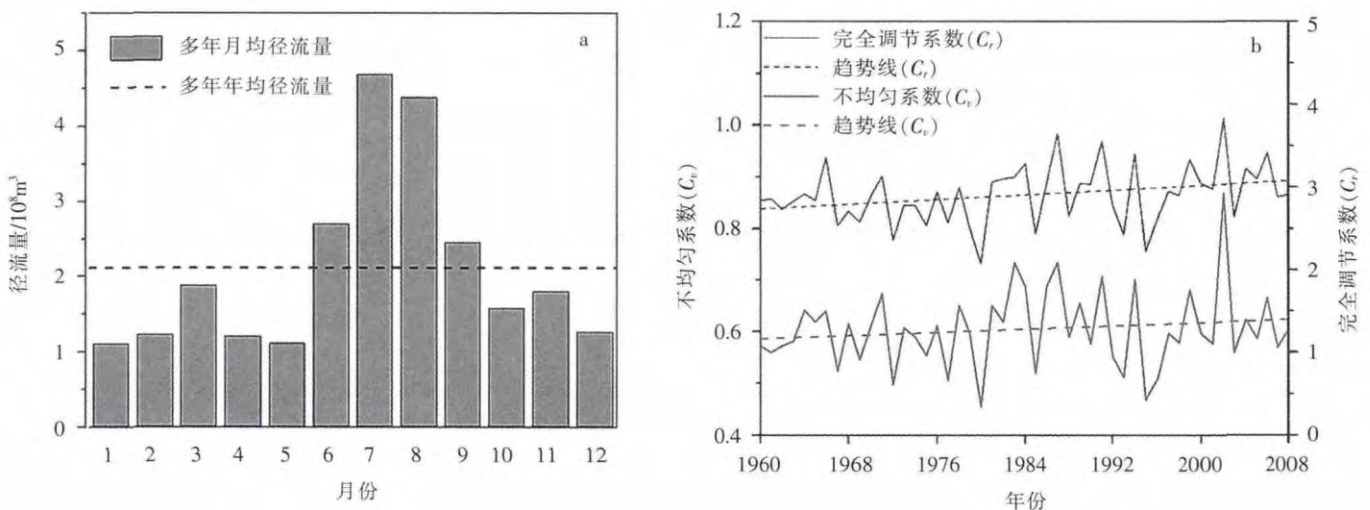


图 1 渭干河年内径流特征与 C_v 、 C_r 变化

Fig.1 The monthly distribution of the multi-year average runoff (a) and change of C_v and C_r (b) in the Weiganhe River basin

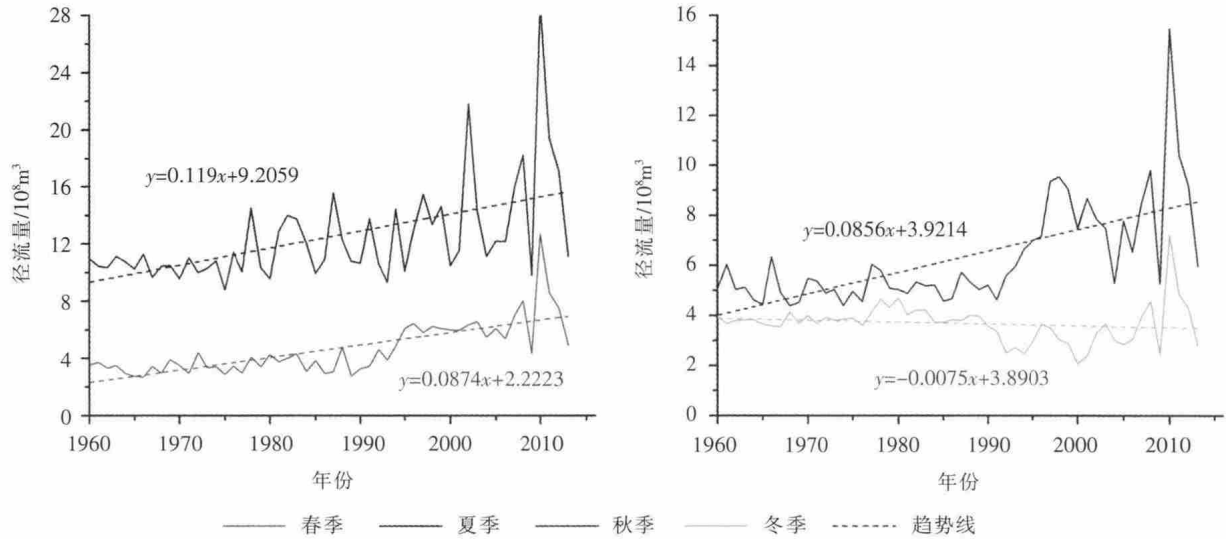


图 2 渭干河 1960~2013 年不同季节平均径流量变化

Fig.2 The variation of the mean runoff in the Weiganhe River basin in different season during 1960~2013

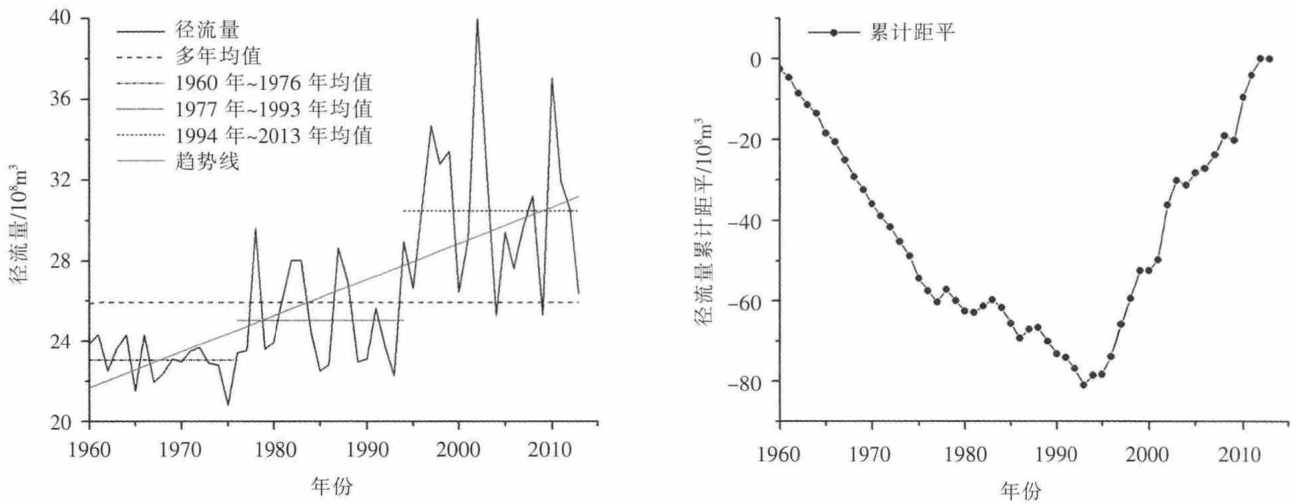


图 3 1960~2013 年渭干河年平均径流量的年际变化

Fig.3 The variation of the average annual runoff and cumulative anomalies of the Weiganhe River basin during 1960~2013

有 $23.05 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右,径流量总体情况表现为负距平,出现明显的枯水期;1977~1993 年间渭干河径流量有所增加,累积距平出现三次震荡性波动,径流量维持 $25.05 \times 10^8 \text{ m}^3$ 上下,1978 年首次超过了多年年际径流平均水平,正、负距平值均匀出现,表现出丰枯转换颇为平衡的平水期。1994 年以后渭干河流域径流量有了显著增加,与 1960~1976 年相比增长幅度达 32.8%,正距平占主导地位,累积距平明显上升,径流量增加,表现出明显的丰水期。渭干河流域径流的年际变化具有明显的年代特征。

利用 Kruskal-Wallis 阶段转换检验对渭干河流域

1960~1976 年、1977~1993 年、1994~2013 年三个阶段的径流量做检验分析(见表 1),以检测三个阶段的差异性。其结果拒绝原假设(检验统计量 $H_c=33.343 > H_{0.01}=9.21$),突变趋势达到极显著水平,而每个阶段内无明显差异。说明这三个时间段内渭干河流域径流量情况的确存在极显著的变化,而在每个阶段内渭干河流域径流量情况无显著变化,和前文分析结果一致,把渭干河流域 1960~2013 年径流量的时间序列按照 1960~1976 年、1977~1993 年、1994~2013 年分成三个阶段研究是科学合理的。

R/S 分析最早是 HURST 在研究尼罗河的水库流

量与水库储存能力的关系时提出的。它可以根据变量的历史时间序列变化对未来变量的变化趋势做出预测性分析^[14]。分析得出的 Hurst 指数可以判断该时间序列变化趋势表现为持续性,还是反持续性。对近 54 年渭干河流域径流量时间序列进行 R/S 分析(见图 4)。结果显示赫斯特指数为 1.27,远远大于 0.5,表明渭干河流域径流量在未来的径流量变化有着很强的持续性,,可以预测出未来一段时间内,渭干河的径流量将还会持续增加。

为进一步探究渭干河流域年平均径流量的时间变化特征,采用集合模态分解(EEMD)方法对时间序列的渭干河流域年均径流量距平进行了逐步分解,得到 4 个固有模态函数(IMF1-IMF4)和 1 个趋势项(RES)序列。IMF 各分量都呈现出围绕零均值振荡状态,考察各 IMF 分量对于原序列的影响程度时,可以根据各分量振荡的振幅(振幅的平方)大小进行分析,用方差贡献表现各分量对原序列的重要性^[15]。从表 2 可以看出,各分量与原始序列都呈密切的相关性(达到 0.01 显著性检验),但是方差贡献率则差距较大。IMF1、IMF2 和 RES 方差贡献之和远远大于 IMF3、IMF4 和 IMF5 之和。因此,渭干河径流量的变化主要是由 IMF1、IMF2 和 RES 所决定的。从图 5 可以看出,渭干河流域年均

径流量距平包含多个时间尺度特征。IMF1 和 IMF2 与原始降水序列具有较高的一致性,且振幅变化规律类似,都是由小逐渐增大,其中 1960~1975 年振幅较小,1975~1998 年开始振幅变大,在 1998~2013 年振幅变化达到最大水平。结合 IMF3、IMF4 和 IMF5 可以看出,渭干河径流量在 1970s 后半期、1990s 和 2000s 后半期都呈增加趋势,在 1960s 呈减少趋势。RES 总体上表征了过去 54 年径流量持续增加的趋势,这与前文中的趋势分析法分析结果一致。

3.3 影响径流量的因素分析

降水和气温是影响河流径流的两个重要气象因素。降水直接影响内陆河流径流量,而气温则是通过影响河流上游源流区冰川和积雪的消融从而间接影响河流径流量。1960~2013 年,渭干河流域气温和降水整体均呈显著上升趋势,年际间波动变化明显(见图 6),多年平均气温 10.26℃,增温率为 0.271℃/10a($R^2=0.47$)。渭干河流域过去 50 年年平均降水量为 85.4mm 最小降水量出现在 1965 年,年均降水量不足 42mm,最大降水量出现在 2003 年,年均降水量可达 150mm 以上,线性增加率为 8.11mm/10a。

根据气温和降水在研究年里的距平可以看出,气温和降水在研究年内大致可以分成三个阶段,这和径

表1 近54年渭干河径流量序列(1960~2013年)Kruskal-Wallis 阶段转换检验

Table1 The Kruskal-Wallis test results of the annual runoff series for the Weiganhe River during 1960-2013

时间序列	平均径流量	线性趋势	变异系数	k	H ₀
1960~1976	23.05	$Y=0.0691X+23.673$	0.04	33.343	拒绝
1977~1993	25.05	$Y=0.1455X+26.354$	0.09		
1994~2013	30.59	$Y=0.0459X+23.673$	0.12		

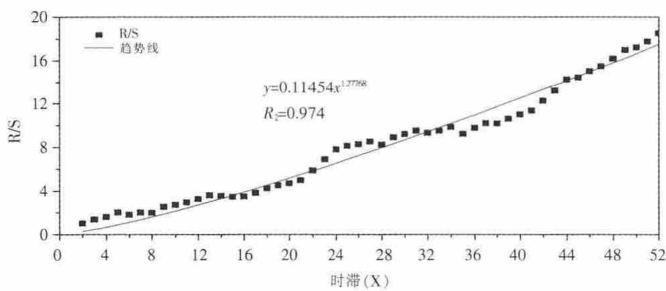


图4 渭干河流域年径流量时间序列(1960~2013)的 R/S 分析
Fig.4 The R/S analysis of the annual runoff series of the Weiganhe River during 1960-2013

表2 年平均径流序列的 IMF 分量的方差贡献率以及与原序列的相关系数

Table2 The variance contribution rates of the IMFs decomposed from the annual average runoff anomalies and their correlation coefficients with the annual average runoff anomalies

IMF 分量	IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	IMF5	RES
方差贡献率/%	27.5	16.6	4.1	2.1	3.4	32.1
与原序列的相关系数	0.45**	0.52**	0.60**	0.37**	0.41**	0.67**

注:* 表示显著相关($P<0.05$);** 表示极显著相关($P<0.01$)

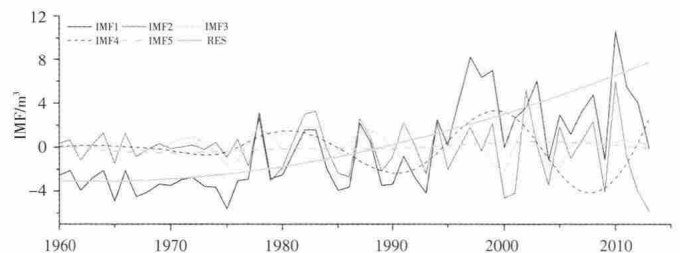


图5 1960~2013 年渭干河年平均流量距平序列的 IMF 分量和趋势项
Fig.5 The IMFs and trend component of the annual runoff anomalies in the Weiganhe River basin during 1960-2013

流量的变化情况基本一致。在 1960~1976 年间,渭干河流域的年均降水量和平均气温基本上均处于负距平,气候比较干旱寒冷。1976 年之后,流域内年均降水量在波动中有显著增加,呈偏多态势,气温也有一定程度的增加,气候较原来明显温暖湿润。在 1976~1993 年间,降水量和气温均正、负距平值均匀出现,表现为降水量和气温的平稳期。而 1993 年以后降水量和气温几乎都是正距平,表现出明显的高温多雨期,所以年降水序列具有明显的跳跃式变化,其跳跃点分别在 1976 年和 1993 年两个时间点。通过 Mann-Kendal 检验法分别对渭干河流域年平均降水量和气温的年际变化进行突变点检验(见图 7),结果表明渭干河流域年平均降水量在 1974~1976 年有突变点,降水量不断增大,到 20 世纪 80 年代末增加至显著水平($P<0.05$)。而气温在 1960~2013 年只有一个突变点,在

1993 年左右,气温发生了由低到高的变化。这和径流变化情况相吻合。

径流量和气象因素之间在年内往往存在着密切的关系。对春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)冬(12~2 月)四个时段的降水量、气温与同时段的径流量分别进行了 Pearson 相关性分析。结果表明,夏季径流量和降水量之间的相关性最好,相关系数为 0.495,达极显著水平($P<0.01$)。但是径流量与温度之间相关性不显著,而与降水量之间呈极显著相关,降水量多少直接影响径流量的大小。这与干旱区内陆河夏季径流量与气温有着密切关系结论不一致,这种情况正是由于气候变化使得新疆夏季源流山区降水量增加,暴雨等强降水天气出现频率增高所致。春季径流量与降水量和气温之间都显著相关,相关系数为 0.320、0.296 ($P<0.05$),春季气温影响了渭干河上游源流区冰川和

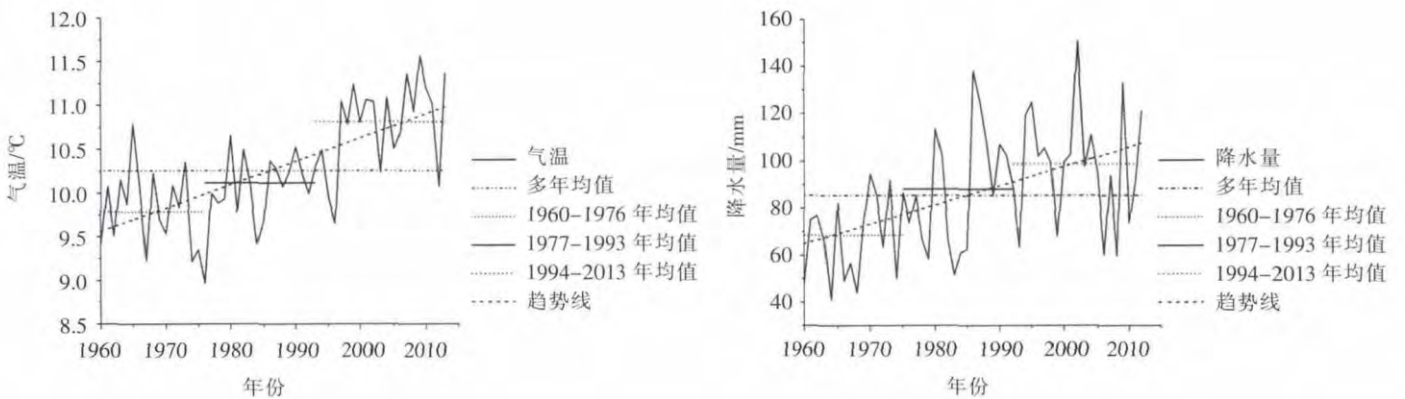


图 6 1960~2013 年渭干河流域气温和降水量的年际变化

Fig.6 The variation of the annual air temperature and precipitation in the Weiganhe River basin during 1960-2013

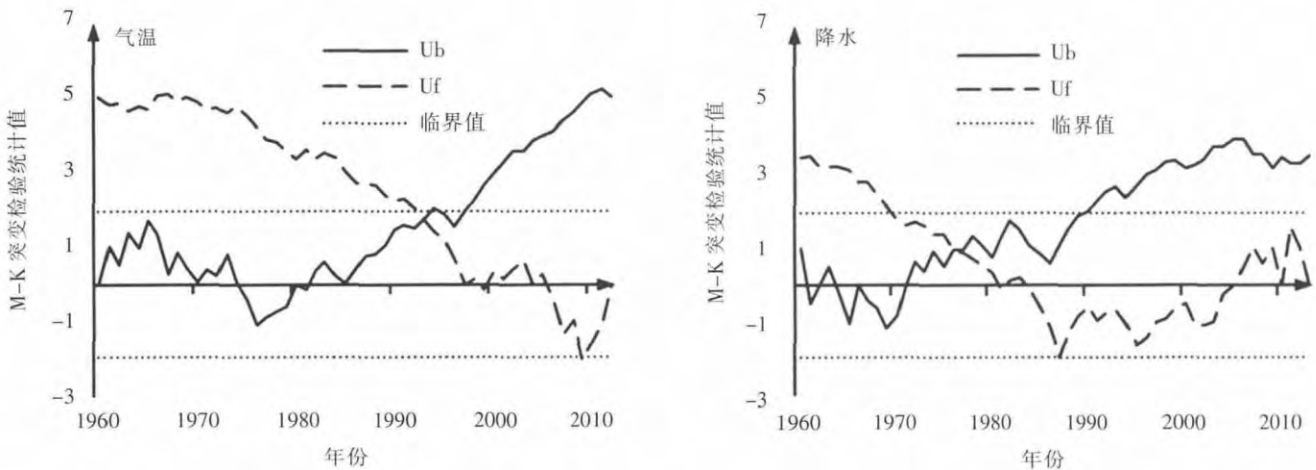


图 7 1960~2013 年渭干河流域气温和降水量 M-K 突变检验

Fig.7 The M-K test results of the air temperature and precipitation in the Weiganhe River basin during 1960-2013

积雪的消融,从而影响了径流变化。在秋季和冬季,降水量对径流量影响不大,而径流量和气温之间的相关性很好,相关系数分别为0.435和0.438,达极显著水平($P<0.01$)。之所以冬季气温和径流量呈现出极显著的负相关,可能是因为冬季径流量大小主要受到蒸发和冰川融雪量决定。

4 结论

渭干河是典型干旱区绿洲河流,研究渭干河流域径流变化规律及其影响因素为流域气候变化下的水文演变、水资源合理配置以及流域生态保护提供科学依据。根据对渭干河流域近54年逐月径流观测数据和绿洲三个气象站观测资料分析得出以下结论:

(1)近54年来渭干河流域 C_v 、 C_r 较大,径流量年内分配不均衡,呈现夏季>秋季>春季>冬季,且在 C_v 、 C_r 有继续增大趋势,未来径流量年内分配会更加不均衡。

(2)径流年际变化特征可分为三个阶段,1960~1976年的枯水期、1976~1993年的平水期和1994~2013年的丰水期。平均径流量分别为 $23.05\times 10^8\text{m}^3$ 、 $25.05\times 10^8\text{m}^3$ 、 $30.50\times 10^8\text{m}^3$ 。

(3)径流量总体呈现增加趋势,增加幅度为 $1.8\times 10^8\text{m}^3/10\text{a}$,其中夏季增长最为显著,增加幅度可达 $1.2\times 10^8\text{m}^3/10\text{a}$,其次是春秋季节,冬季径流量有轻微减少。未来近期内,渭干河径流量还会继续保持增加的趋势。

(4)流域气温和降水量亦呈增加趋势,突变点在1970s末和1990s初,与径流变化特征吻合,两者呈显著正相关关系。其中,夏季径流量变化主要受降水影响,秋冬季径流量变化主要受气温影响。

本文研究均基于过去54年水文与气象历史数据展开,得出未来渭干河径流量将继续增加的结论,但不能简单理解为可加大水资源开发利用强度。渭干河是典型的冰川融雪补给型的干旱区内陆河流,渭干河近54年径流量的迅速增长,主要是由于新疆近年来气温明显升高,降水量明显增加所致。气温升高使得冰川迅速消亡并产生大量径流和降水^[16]。有关研究已经报道,近些年来,由于气候变化的影响,南疆的冰川物质平衡已经被打破,出现显著的物质亏损,且亏损总体呈现加剧趋势,河川径流量增加的四分之三以上源于冰川退缩的贡献^[17]。对于主要补给方式为冰川融水的渭干河来说,冰川的大量快速消融呈现出河流径流量增加或许只是表象,随着冰川面积的不断减少,河流径流量必然会逐步达到峰值后迅速下降。

参考文献:

- [1] 李鸿雁,田琪,王小军,等. 嫩江流域径流时空演化规律分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014,44(4):1282-1289. (LI Hongyan, TIAN Qi, WANG Xiaojun, et al. Analysis of temporal and spatial evolution of runoff in Nenjiang river basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Sciences), 2014,44(4):1282-1289. (in Chinese))
- [2] 陈亚宁,李稚,范煜婷,等. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014,69(9):1295-1304. (CHEN Yaning, LI Zhi, FAN Yuting, et al. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of northwest China [J]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(9):1295-1304. (in Chinese))
- [3] 张建云,宋晓猛,王国庆,等. 变化环境下城市水文学的发展与挑战——I. 城市水文效应 [J]. 水科学进展, 2014,25 (4):594-605. (ZHANG Jianyun, SONG Xiaomeng, WANG Guoqing, et al. Development and challenges of urban hydrology in a changing environment: I: hydrological response to urbanization [J]. Advances in Water Science, 2014,25(4):594-605. (in Chinese))
- [4] 张丹蓉,郭勉辰,夏冬梅,等. 海流兔河径流量年内分配及变化趋势分析[J]. 水文, 2013,33(3):85-90. (ZHANG Danrong, GUO Mianchen, XIA Dongmei, et al. Runoff distribution of Hailiutu river and its change trend [J]. Journal of China Hydrology, 2013,33(3):85-90. (in Chinese))
- [5] 钟永华,鲁帆,易忠,等. 密云水库以上流域年径流变化趋势及周期分析[J]. 水文, 2013,33(6):81-84. (ZHONG Yonghua, LU Fan, YI Zhong, et al. Change trend and period of annual runoff in upstream watershed of Miyun reservoir [J]. Journal of China Hydrology, 2013,33(6):81-84. (in Chinese))
- [6] 张晓晓,张钰,徐浩杰,等. 1950~2005年大通河流域径流变化特征及影响因素[J]. 水文, 2013,33(6):90-96. (ZHANG Xiaoxiao, ZHANG Yu, XU Haojie, et al. Variation characteristics of runoff and its driving forces in Datong river basin from 1950 to 2005 [J]. Journal of China Hydrology, 2013,33(6):90-96. (in Chinese))
- [7] 段文军,王金叶,张立杰,等. 1960~2010年漓江流域降水变化特征研究[J]. 水文, 2014,34(5):88-93. (DUAN Wenjun, WANG Jinye, ZHANG Lijie, et al. Characteristics of precipitation in Lijiang river basin during 1960-2010 [J]. Journal of China Hydrology, 2014,34(5):88-93. (in Chinese))
- [8] Zhang X, Yang D, Xiang X, et al. Impact of agricultural development on variation in surface runoff in arid regions: a case of the Aksu river basin [J]. Journal of Arid Land, 2012,4(4):399-410.
- [9] Ling H, Zhang Q, Shi W. Runoff variation law and its response to climate change in the headstream area of the Keriya river basin, Xinjiang [J]. Journal of Earth Science, 2011,22(6):780-791.
- [10] Huaijun W, Yaning C, Weihong L, et al. Runoff responses to climate change in arid region of northwestern China during 1960 - 2010 [J]. China Geography Science, 2013,23(3):286-300.
- [11] 王维霞,王秀君,姜逢清,等. 近30a来开都河上游径流量变化的气候响应 [J]. 干旱区研究, 2013,30 (4):743-748. (WANG Weixia, WANG Xiujun, JIANG Fengqing, et al. Response of runoff

- volume to climate change in the Kaidu river basin in recent 30 years[J]. *Arid Zone Research*, 2013,30(4):743–748. (in Chinese))
- [12] Dai S S, Li L H, Xu H G, et al. A system dynamics approach for water resources policy analysis in arid land a model for Manas river basin [J]. *Journal of Arid Land*, 2013,5(1):118–131.
- [13] 王生霞,叶柏生,周兆叶,等. 基于 NDVI 分析渭干河流域绿洲耗水对地表径流的影响[J]. *草业科学*, 2013,30(4):487–494. (WANG Shengxia, YE Baisheng, ZHOU Zhaoye, et al. Impact of oasis water consumption on surface runoff of the Weigan river basin based on NDVI [J]. *Pratacultural Science*, 2013,30(4):487–494. (in Chinese))
- [14] 凌红波,徐海量,张青青,等. 新疆玛纳斯河年径流时序特征分析[J]. *中国沙漠*, 2011,31(6):1639–1946. (LING Hongbo, XU Hailiang, ZHANG Qingqing, et al. Analysis on characteristics of runoff time series in Manas river, Xinjiang province [J]. *Journal of Desert Research*, 2011,31(6):1639–1946. (in Chinese))
- [15] 薛春芳,侯威,赵俊虎,等. 集合经验模态分解在区域降水变化多尺度分析及气候变化响应研究中的应用 [J]. *物理学报*, 2013,62(10):504–511. (XUE Chunfang, HOU Wei, ZHAO Junhu, et al. The application of ensemble empirical mode decomposition method in multiscale analysis of region precipitation and its response to the climate change [J]. *ActaPhys. Sin.*, 2013,62(10):504–511 (in Chinese))
- [16] 秦大河,周波涛,效存德. 冰冻圈变化及其对中国气候的影响[J]. *气象学报*, 2014,72 (5):869–879. (QIN Dahe, ZHOU Botao, XIAO Cunde. Progress in studies of cryospheric changes and their impacts on climate of China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2014,72(5):869–879. (in Chinese))
- [17] 高鑫,叶柏生,张世强,等. 1961~2006 年塔里木河流域冰川融水变化及其对径流的影响 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2010,5:654–665. (GAO Xin, YE Baisheng, ZHANG Shiqiang, et al. Glacier runoff variation and its influence on river runoff during 1961 - 2006 in the Tarim river basin, China [J]. *Sci China Earth Sci*, 2010,5: 654–665. (in Chinese))

Runoff Change Characteristics of Weiganhe River in Recent 54 Years and Their Influencing Factors Analyzing

QIN Peng^{1,2}, ZHAO Chengyi², SHENG Yu², DONG Yiyang^{2,3}

(1.College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2.Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the monthly runoff data and meteorological data of the Weigan River Basin during 1960–2013, the intra-annual and inter-annual runoff change characteristics of the Weiganhe River Basin in recent 54 years were analyzed by using Kruskal–Wallis test, R/S analysis, ensemble empirical mode decomposition (EEMD). The results show that (1) In the basin in recent 54 years, there were larger C_r and C_i of runoff, uneven distribution of inter-annual runoff, the runoff in summer > that in autumn > that in spring > that in winter, and this trend would be more obvious in the future; (2) There were 3 significant stages of intra-annual runoff change characteristics, i.e. wet season from 1960 to 1976, normal season from 1976 to 1993 and drought season from 1994 to 2013; (3) The runoff presented a growth trend in the whole period, especially in summer, however experienced a slight drop in winter, and the runoff would keep going up in near future; (4) The temperature and precipitation increased in the last 54 years, the fluctuation points appeared in the late 1970s and early 1990s, which are consistent with variation characteristics of runoff. The runoff is effected by precipitation in summer and by temperature in autumn and winter.

Key words: Weiganhe River; variation of runoff; ensemble empirical mode decomposition (EEMD)