

渭河中游气候变化及其对水文要素的影响

刘引鸽, 郑润禾, 龙 颜, 胡浩楠, 黄 雪

(宝鸡文理学院 地理与环境学院 灾害监测与机理模拟陕西省重点实验室, 陕西 宝鸡 721013)

摘 要:为了探究渭河中游气候变化及其对水文要素的影响,基于渭河中游 1970—2017 年气候与水文要素资料,运用线性回归、Mann-Kandall 检验、小波分析等方法分析了 50 年来气候及水文要素的时空变化趋势、周期及突变特征。采用双累积曲线法判定径流量突变点,累积量斜率变化率法探讨了气候变化与人类活动对径流量变化的影响程度。结果表明:渭河中游年均气温、气压、水汽压和潜在蒸发量分别呈 $0.349^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.96\text{ hPa}/10\text{ a}$ 、 $0.11\text{ hPa}/10\text{ a}$ 、 $2.66\text{ mm}/10\text{ a}$ 的上升趋势;风速与大气相对湿度每 10 a 呈 -0.16 m/s 、 -0.65% 的下降趋势,各气候要素冬春季的变化幅度更大;除水汽压外各气候要素均存在明显的周期变化;气温、水汽压及大气相对湿度分别在 1996 年、1983 年和 2003 年发生显著突变。水文要素中径流量与降水量呈显著下降趋势。气候要素与水文要素的变化有较强相关性。人类活动对径流量减少的贡献率大于气候变化的贡献率,但气候变化的贡献率近年来有增长趋势。

关键词:气候变化;水文影响;渭河中游

中图分类号:P467; P333

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)02-0108-10

Climate Change and Its Effect on Hydrological Elements in the Middle Reaches of Weihe River

LIU Yingge, ZHENG Runhe, LONG Yan, HU Haonan, HUANG Xue

(Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating in Shaanxi Province, College of Geography and Environment, Baoji University of Art and Science, Baoji, Shaanxi 721013, China)

Abstract:In order to explore the climate change in the middle reaches of Weihe River and its influence on hydrological elements, based on the climatic and hydrological data of the middle reaches of Weihe River from 1970 to 2017, the temporal and spatial variation trend, period and abrupt change characteristics of climatic and hydrological elements in the past 50 years were analyzed by using linear regression, Mann-Kandall test and wavelet analysis. The double cumulative curve method was used to determine the abrupt transition point of runoff, and the cumulative slope change rate method was used to investigate the influence of climate change and human activities on runoff change. The results show that the average annual air temperature, air pressure, vapor pressure and potential evaporation of the middle reaches of Weihe River were $0.349^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, $0.96\text{ hPa}/\text{decade}$, $0.11\text{ hPa}/\text{decade}$ and $2.66\text{ mm}/\text{decade}$, respectively; wind speed and atmospheric relative humidity showed a decreasing trend of -0.16 m/s and -0.65% per decade, and the variation range of each climate element was larger in winter and spring; except water vapor pressure, all climatic factors had obvious periodic change; the temperature, vapor pressure and atmospheric relative humidity changed significantly in 1996, 1983 and 2003, respectively; the runoff and precipitation in hydrological elements showed a significant downward trend; there was a strong correlation between climatic factors and hydrological factors; the contribution of human activities to the reduction of runoff was greater than that of climate change, but the contribution of climate change has shown an increasing trend in recent years.

Keywords:climate change; changes of hydrological elements; middle reaches of the Weihe River

全球气候变化影响区域气候要素与水文要素的变化,对区域及流域内人类生产生活以及社会经济发展有重要作用。20 世纪中叶以来,气候变化速度加快,同时也加速了水文循环。气候气象要素变化的不稳定性加剧,以气候变暖为主的气候变化已成为当前世界最重要的环境问题之一^[1-5]。气候变化对水循环及水资源影响的研究越来越引起国内学者的高度关注和重视,国内学者有从不同角度针对黄河、淮河和长江流域进行土地利用、人类活动及气候变化对径流的影响研究^[6-9];对渭河流域的研究主要表现在气候要素变化趋势研究,这些研究取得了比较好的成果,但对渭河中游进行多要素的气候变化及其水文效应的研究较少。

研究气候变化背景下的水文水资源变化对制定更有效的水资源管理措施以及水资源的开发规划有重要的促进作用。渭河作为黄河的重要支流,且渭河中游地处陕西经济的黄金地带,为陕西供给人民生活及经济发展所必须的水资源,一直以来对渭河流域的相关研究从未停止。因此,本文对渭河中游多气候要素的变化及其对水文要素的影响展开研究,采用渭河中游气温、降水、潜在蒸发量、水汽压、大气相对湿度、风速等气象资料,林家村、益门、千河和鸛鸽 4 站的径流量资料,采用气候诊断方法分析该区域气候要素变化特征及其对水文要素的影响,并探讨自然气候变化及人类活动对渭河中游径流量的影响及其变化规律。这些研究对区域水资源开发利用及管理有重要意义。

1 研究区概况

渭河是黄河第一大支流。渭河流域属暖温带半干旱气候区,受季风气候影响显著,降水及径流量季节变化明显,多年平均降水量 572 mm,径流量 75.7 亿 m³,且时空分布不均。渭河发源于甘肃省定西市渭源县,流经甘肃天水、陕西宝鸡、咸阳、西安与渭南等地,于渭南市潼关汇入黄河。渭河中游介于 107°36′—108°62′E, 33°76′—35°12′N,以陕西宝鸡境内林家村为起点,陕西咸阳渭河铁路桥为终点,渭河中游有千河、石头河、清姜河等重要支流。截至 2018 年底,渭河中游总人口 2 448.16 万人,占全省人口的 63.35%。平均人口密度为 331 人/km²。城镇人口 1 246.38 万人,城市化率 58.13%,流域人口分布以渭河两侧关中平原最为密集。渭河中游是陕西关中人口聚居区,是全省主要的工业、农业主产区^[10-18]。

本文采用渭河中游 7 个气象站 1970—2017 年的逐日降水量、气温、气压、水汽压、大气相对湿度、风速

及潜在蒸发量资料,以及林家村、益门、千河和鸛鸽 4 个水文站的逐日径流量资料,各气象站与水文站的位置分布见图 1,气象站与水文站的基本信息见表 1—2。将日资料转化为月资料,在此基础上计算季节以及年数据。其中四季定义为 3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12 月—翌年 2 月为冬季,分别从年尺度和季节尺度进行气候趋势变化特征分析。

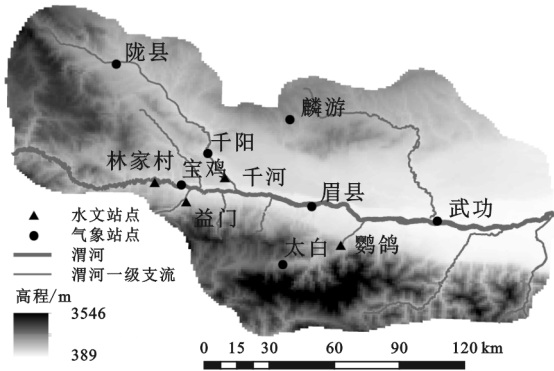


图 1 渭河中游区域示意图

表 1 渭河中游水文站基本情况

水系	河名	站名	东经	北纬	集水 面积/km ²	水文 年份
渭河	渭河	林家村	107°03′	34°23′	30661	1959—2015
渭河	清姜河	益门	107°10′	34°31′	688	1964—2017
渭河	千河	千河	107°08′	34°38′	2935	1957—2010
渭河	石头河	鸛鸽	107°74′	34°13′	673	1974—2015

表 2 渭河中游气象站基本情况

站名	东经	北纬
宝鸡	107°08′	34°21′
陇县	106°78′	34°90′
千阳	107°13′	34°65′
麟游	107°78′	34°68′
武功	108°21′	34°25′
眉县	107°73′	34°26′
太白	107°31′	34°03′

2 研究方法

采用线性回归法对渭河中游 50 a 的气候及水文要素进行趋势分析,利用 Mann-Kendall 非参数统计检验方法(以下简称 M-K 检验)进行气候突变检验,采用小波分析进行气候要素周期分析。

累积距平法是由曲线直观地判断离散数据点变化趋势的一种非线性统计方法,采用累积量斜率变化率比较法计算气候变化(降水和潜在蒸发)和人类活动对径流变化量的贡献率。相比于多元回归法,累积量斜率变化率比较法引入了年份与累积量,有效地避免了多元回归法的不足,因此具有更大的适应性^[19-21]。

累积量斜率变化率比较法描述如下:设累积径流

量与年份线性关系式的斜率在拐点前后 2 个时期的径流量分别为 S_{Rb} 和 S_{Ra} ($10^8\text{ m}^3/\text{a}$), 累积降水量与年份线性关系式的斜率在拐点前后 2 个时期的降水量分别为 S_{Pb} 和 S_{Pa} (mm/a), 则累积径流量斜率变化率为 $(S_{Ra}-S_{Rb})/|S_{Rb}|$, 同样, 累积降水量斜率变化率为 $(S_{Pa}-S_{Pb})/|S_{Pb}|$, 那么降水量对径流量变化的贡献率 $C_P(\%)$ 为:

$$C_P=[(S_{Pa}-S_{Pb})/|S_{Pb}|]/[(S_{Ra}-S_{Rb})/|S_{Rb}|]\times 100\%$$

(1)

同理, 也可计算潜在蒸发对径流量变化的贡献率, 从而进一步求出气候变化对径流量减少的贡献率。设累积潜在蒸发量与年份线性关系式的斜率在拐点前后 2 个时期的潜在蒸发量分别为 S_{Eb} 和 S_{Ea} , 则累积潜在蒸发量对径流的贡献率表示为:

$$C_E=-[(S_{Ea}-S_{Eb})/|S_{Eb}|]/[(S_{Ra}-S_{Rb})/|S_{Rb}|]\times 100\%$$

(2)

在此基础上可计算出人类活动对径流量变化的贡献率 $C_H(\%)$ 为:

$$C_H=1-C_P-C_E$$

(3)

3 结果与分析

3.1 气候要素时间变化特征

由图 2、表 3 可以看出, 渭河中游多年平均气温、气压、水汽压、风速和大气相对湿度的趋势率分别为 $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.96\text{ hPa}/10\text{ a}$, $0.11\text{ hPa}/10\text{ a}$, $-0.16\text{ m}/(\text{s}\cdot 10\text{ a})$, $-0.65\%/10\text{ a}$ 。季节变化中, 气温四季都处于显著上升趋势, 其中春季气温上升最快, 达到 $0.49^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 说明渭河中游暖春现象明显; 气压和水汽压呈微弱上升趋势, 四季变化幅度不大; 风速四季都呈下降趋势, 其中春季下降幅度最大, 达 $-0.19\text{ m}/\text{s}$; 大气相对湿度除秋季上升外其余季节都为下降趋势, 冬春两季下降明显, 分别为 -0.71% , -1.58% 。总体来看, 渭河中游气候有趋于暖干化的特征, 冬春季节变化幅度较大。

表 3 渭河中游气候要素变化趋势及特征值					
项目	气温/ ℃	气压/ hPa	水汽压/ hPa	风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	大气相对 湿度/%
全年	0.35	0.96	0.11	-0.16	-0.65
春季	0.49	0.98	0.02	-0.19	-1.58
夏季	0.25	1.00	0.15	-0.16	-0.42
秋季	0.31	0.79	0.23	-0.14	0.13
冬季	0.36	1.08	0.06	-0.16	-0.71
平均值	11.44	920.91	10.96	1.63	70.06
极大值/年份	12.94/2013	922.60/2004	10.91/1998	2.21/1970	76.44/1989
极小值/年份	10.24/1984	917.13/1974	10.25/1986	1.24/2011	63.60/1995

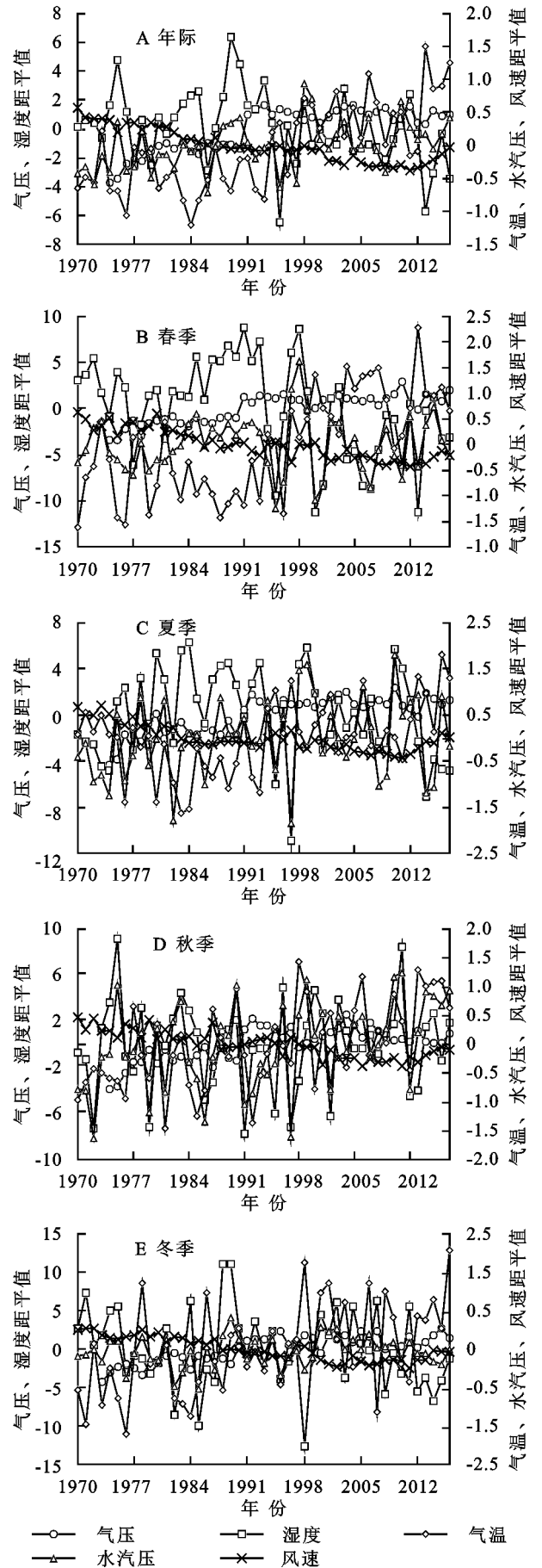


图 2 渭河中游气候要素年际与季节变化趋势

3.2 气候要素空间变化特征

渭河中游气象要素倾向率空间变化特征见图3。可以看出,整个区域年平均气温呈上升趋势,但上升幅度区域有差异,其中,渭河宝鸡段及千河下游地区气温上升速度较快,最高达到了 $0.41^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,而千河上游及渭河武功段气温上升速度相对较为缓慢,升温速率为 $0.30^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其他地区趋势率为 $0.33\sim 0.36^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。气压变化表现为宝鸡与太白周边气压下降,幅度为 $-0.30\sim 0.54\text{ hPa}/10\text{ a}$,北部山区及东部地区气压呈上升趋势,气压空间变化整体上差异较小。年平均风速整体呈轻微下降趋势,平均下降幅度为 0.16 m/s 。其中,千阳地区、渭河中游南部地区下降幅度最大,为 0.4 m/s ,但在渭河中游西部地区风速有小幅上升,上升幅度在 0.1 m/s 左右。平均相对湿度整体呈下降趋势,平均下降幅度为 $0.65\%/10\text{ a}$,下降趋势不十分明显。水汽压呈微弱上升趋势,平均趋势为 $0.1\text{ hPa}/10\text{ a}$,其中宝鸡市区及周边有微弱的下降趋势。

3.3 气候要素周期变化与突变

运用小波变换法对渭河中游气候要素的周期变化进行分析。图4为渭河中游气候气象要素小波变化实部。从图4中可以看出,渭河中游年平均气温主要存在 $3\sim 7\text{ a}$ 和 $26\sim 32\text{ a}$ 的周期。在 $26\sim 32\text{ a}$ 时间尺度上,周期震荡显著。气压的变化存在一个 25 a 的周期,水汽压的变化没有发现明显的周期特征,湿度与风速变化也同样存在一个 25 a 的周期。由Mann-Kendall检验突变可以看出(图5),气温突变点在1996年,水汽压的突变点在1983年,湿度的突变点在2003年,气压与风速无突变发生,其中气温和水汽压都为突变上升,湿度为突变下降。

3.4 气候要素变化对水文要素的影响

3.4.1 径流、降水及蒸发量变化 由图6可知,渭河中游各站的径流量与降水量均呈减少趋势,其中,林家村站的径流量与千河站的降水量变化最大,分别以 $0.48\text{ 亿 m}^3/\text{a}$ 及 2.04 mm/a 的趋势减少。蒸发量则表现出波动变化,1980—1997年蒸发量为轻微增加趋势,1998—2017年蒸发量为显著减少趋势。蒸发量近年来显著减小的原因可能是由于风速减小造成的,加之渭河中游城市化进程不断加快,人类活动影响使得太阳辐射量减弱,导致蒸发量的下降。由于蒸发量在1995年,1997年出现两个较大值,整体上蒸发为增加趋势为 2.66 mm/a 。

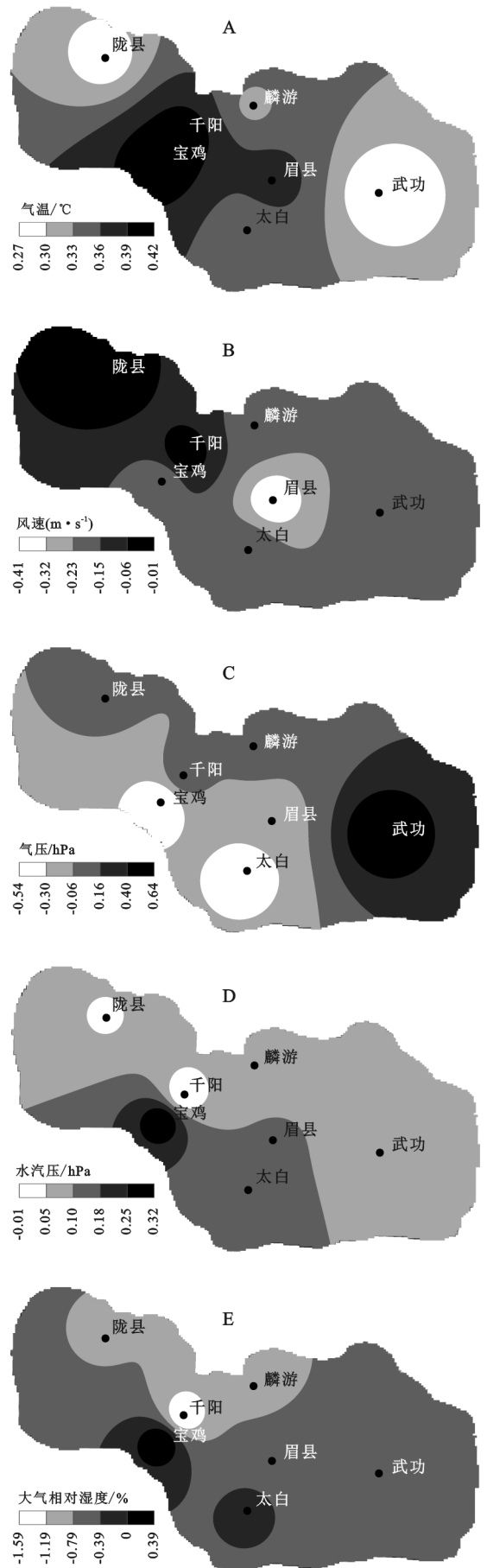


图3 渭河中游气候要素倾向率空间变化特征

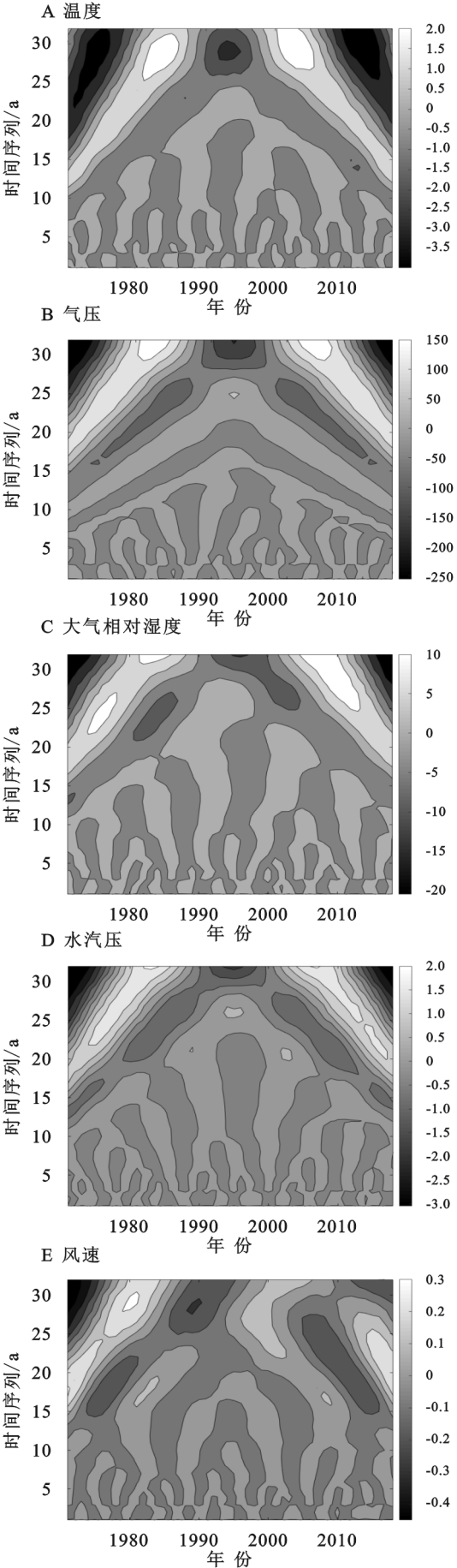


图 4 渭河中游气候要素小波分析实部

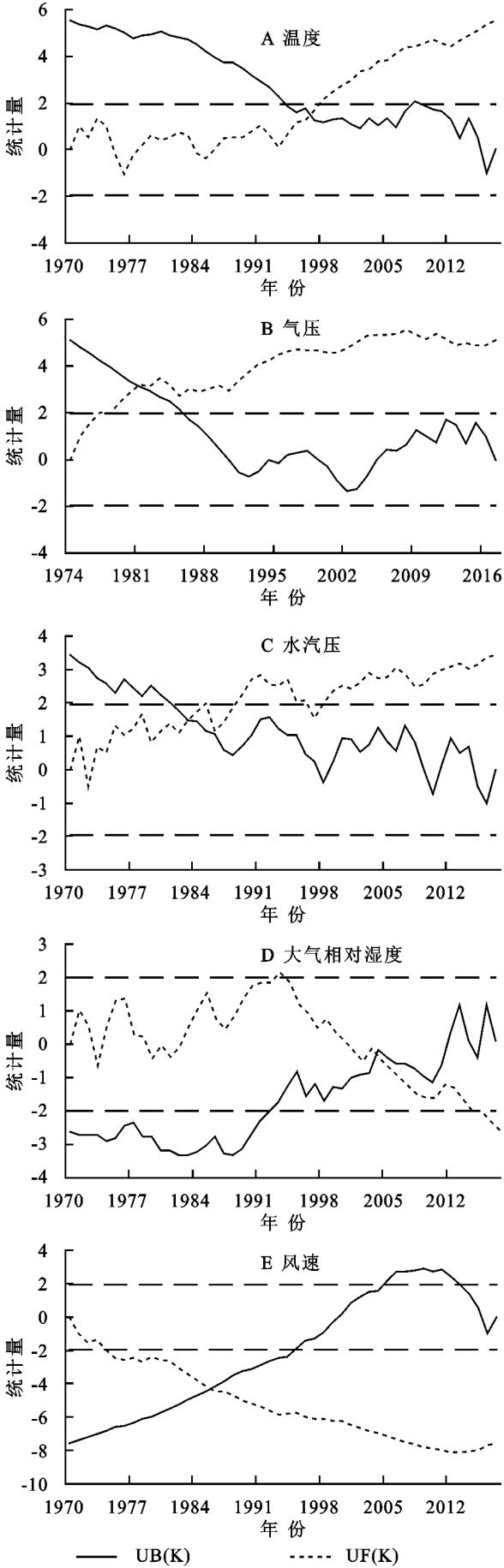


图 5 渭河中游气候要素突变分析

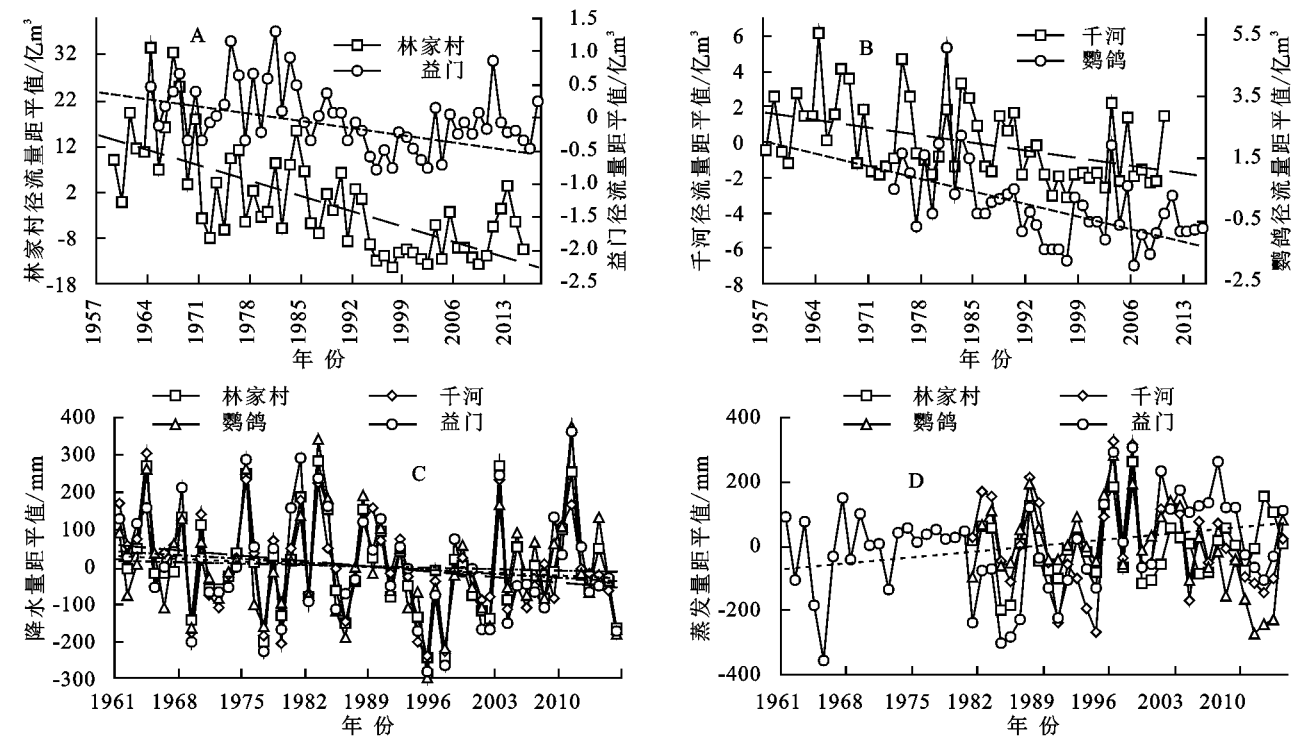


图 6 渭河中游径流量、降水量与蒸发量年际变化

表 4 给出了渭河中游各水文站径流及降水年际变化特征的统计结果,从变差系数 C_v 值来看,径流量的年际变化幅度较大,最大值为林家村($C_v=0.72$),降水量的年际变化幅度次之,最小值为千河站($C_v=0.20$),蒸发量变化幅度最小,最小为林家村站($C_v=0.09$)。从极值比来看,径流量的极值比最大,为林家村站,比值为 58.12,降水量的极值比次之,最小值为千河站,比值为 2.44,蒸发量极值比最小,最小为林家村站,比值为 1.51。径流序列的波动程度要远大于降水量序列的波动幅度,其中林家村站的径流序列波动程度最大,千河站的降水序列波动幅度最小。从表 5 可以看出,各站的径流量在 1990 年后减少最为剧烈,其中处于渭河干流的林家村站径流量 2000 年后相对于 20 世纪 60 年代减少 78.78%,降水量在 20 世纪 90 年代减少最为剧烈,其中千河站 20 世纪 90 年代的降水量相对于 20 世纪 60 年代减少了 18.36%。整体上来看,渭河中游径流量的减少趋势大于降水量的减少趋势,蒸发量的变化趋势不明显。

表 4 渭河中游径流量、降水量及蒸发量年际变化特征值

站点	项目	均值	C_v	极大值			极小值			极值比
				年份	极值	与平均值比	年份	极值	与平均值比	
林家村	径流量/亿 m^3	15.30	0.72	1964	48.80	3.20	1997	0.84	0.05	58.10
	降水量/mm	612.00	0.26	1983	893.00	1.46	1995	349.00	0.57	2.56
	蒸发量/mm	1120.00	0.09	1997	1384.00	1.24	1983	920.00	0.82	1.51
千河	径流量/亿 m^3	3.62	0.59	1964	9.80	2.71	1997	0.46	0.13	21.30
	降水量/mm	621.00	0.20	1964	924.00	1.49	1995	379.00	0.61	2.44
	蒸发量/mm	1295.00	0.11	1995	1622.00	1.25	1993	1026.00	0.79	1.58
鸛鸽	径流量/亿 m^3	2.93	1.10	1981	8.01	2.73	2006	1.02	0.35	7.85
	降水量/mm	591.00	0.23	2011	964.00	1.63	1995	290.00	0.49	3.32
	蒸发量/mm	1258.00	0.10	1995	1538.00	1.22	2010	987.00	0.78	1.56
益门	径流量/亿 m^3	1.16	0.41	1981	2.47	2.13	1995	0.38	0.33	6.50
	降水量/mm	661.00	0.22	2011	1026.00	1.55	1995	378.00	0.57	2.71
	蒸发量/mm	1375.00	0.11	1997	1680.00	1.22	1961	1017.00	0.74	1.65

3.4.2 气候要素与水文要素的相关性 气候要素是影响水文要素变化的主要原因之一,为了进一步讨论各水文要素与气候要素之间的关系,求出气候要素与水文要素之间的相关系数见表 6。可以看出,渭河中游径流

量与气温、气压和蒸发量呈现显著的负相关关系,与降水量和湿度呈现显著的正相关关系,与水汽压的相关关系较弱。蒸发量与气温和气压呈现显著的正相关关系,与湿度、水汽压和降水量有显著的负相关关系,与风速的负相关关系不显著(主要是由于 20 世纪 90 年代蒸发量突增所致,其余年代应为显著正相关)。

表 5 渭河中游径流、降水及蒸发量代际变化率

站点	代际变化	径流量		降水量		蒸发量	
		相对变化量/亿 m ³	相对变化率/%	相对变化量/mm	相对变化率/%	相对变化量/mm	相对变化率/%
林家村	1970s	−14.07	−45.50	−41.50	−6.33		
	1980s	−14.17	−43.97	−12.15	−1.88		
	1990s	−23.96	−74.36	−97.61	−15.07		
	2000 年后	−25.39	−78.78	42.82	−6.61		
千河	1970s	−2.12	−38.42	−75.79	−11.05		
	1980s	−1.35	−24.46	−13.53	−1.97		
	1990s	−3.35	−60.70	−125.90	−18.36		
	2000 年后	−3.20	−57.98	−87.98	−12.83		
鸛鸽	1970s	—	—	−42.44	−6.89		
	1980s	0.48	13.36	19.17	3.20		
	1990s	−1.35	−37.57	−90.16	−14.64		
	2000 年后	−1.22	−33.95	−18.16	−2.95		
益门	1970s	0.08	6.17	−63.91	−9.05	47.13	3.51
	1980s	0.21	16.21	23.75	3.36	−66.81	−4.97
	1990s	−0.50	−38.59	−107.60	−15.23	63.69	4.74
	2000 年后	−0.42	−32.41	−61.78	−8.74	120.89	8.99

注:本表数据相对于 20 世纪 60 年代;鸛鸽站建站时间为 1974 年,无 1960s 径流量监测数据;“—”代表未发现。

表 6 渭河中游水文要素与气象要素的相关系数

项目	气温	气压	湿度	水汽压	风速	蒸发量	降水量
径流量	−0.61 *	−0.60 *	0.38 *	−0.08	0.50 *	−0.53 *	0.54 *
蒸发量	0.52 *	0.28 *	−0.74 *	−0.48 *	−0.01		−0.76 *
降水量	−0.33 *	−0.19	0.58 *	0.44 *	−0.01		

注: * 表示该相关系数在 0.05 水平上显著。

3.4.3 气候变化和人类活动对渭河中游径流的贡献率 为了进一步探究不同年代气候变化与人类活动对渭河中游径流量的影响程度的差异性,采用双累积曲线法对渭河中游的径流序列进行变异点诊断,结果见图 7。可以看出,各站的径流和降水双累积曲线的斜率在 1970 年、1993 年前后都发生了明显的变化。为更好印证这一判断,通过各站径流量累积曲线(图 8)也可看出,在 1970 年与 1993 年前后径流量的累积距平值为先增大后减小,因此可以判定 1970 年与 1993 年为径流发生变异的年份。由此可将径流序列划分为 1960—1970 年、1971—1993 年及 1994—2015 年 3 个时段。

由图 9 可以看出,在 1970 年和 1993 年各站径流、降水和蒸发量的累积曲线斜率都发生了明显的变化,并且在各分段内累积径流、累积降水和蒸发的线性相关程度都在 0.99 以上,通过显著性检验。以

1960—1970 年为基准期,计算相对于基准期的变化率见表 7,可以看出,林家村和千河两站 1971—1993 年累积径流量斜率相对于基准期分别减少,益门站小幅增加,1994—2015 年相对于基准期减少,各站径流量从 20 世纪 70 年代以来呈现出减少趋势,20 世纪 90 年代后减少趋势更为显著,其中渭河林家村站减少最为明显。

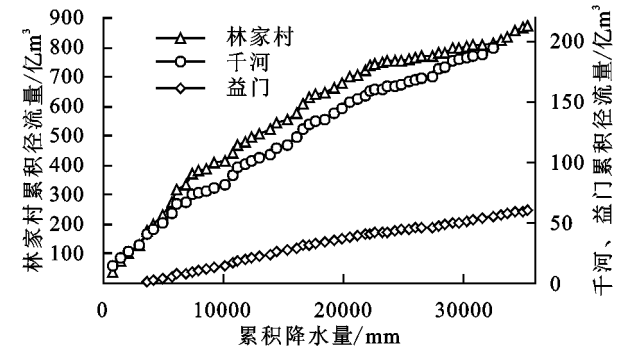


图 7 渭河中游降水量与各站径流量双累积曲线 1971—1993 年各站降水量—年份线性关系式的斜

率比基准期分别减少 38,39,1 mm/a,减少率分别为 5.81%,5.73%,0.14%;1994—2015 年各站降水量比基准期减少 67,88,64 mm/a,减少率分别为 10.24%,12.92%,9.16%,各站降水量在 20 世纪 90 年代后呈显著减少的

趋势。潜在蒸散发量一年份线性关系式的斜率 1971—1993 年比基准期减少 36 mm/a,减少率为 2.70%,1994—2015 年潜在蒸散发一年份的线性关系式斜率比基准期增加 144 mm/a,增加率为 10.81%。

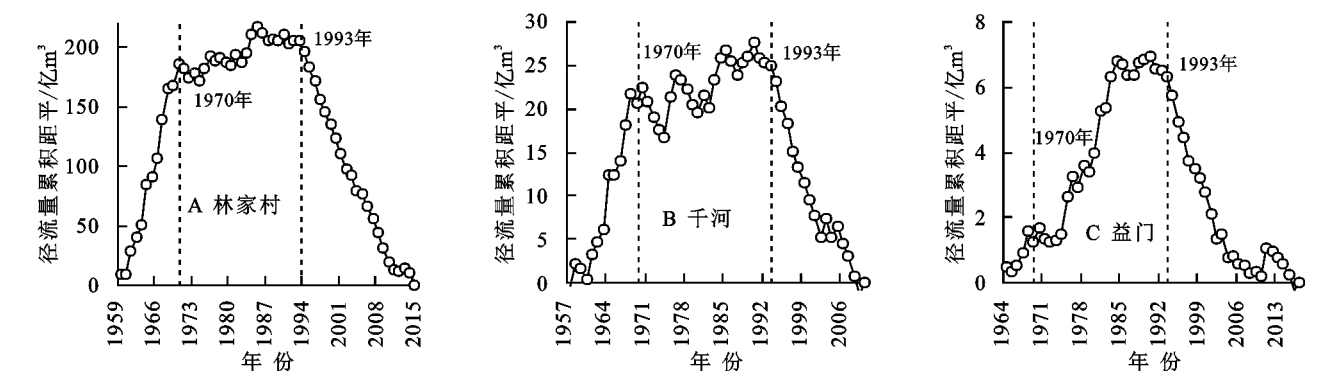


图 8 渭河中游各站年径流量累积距平

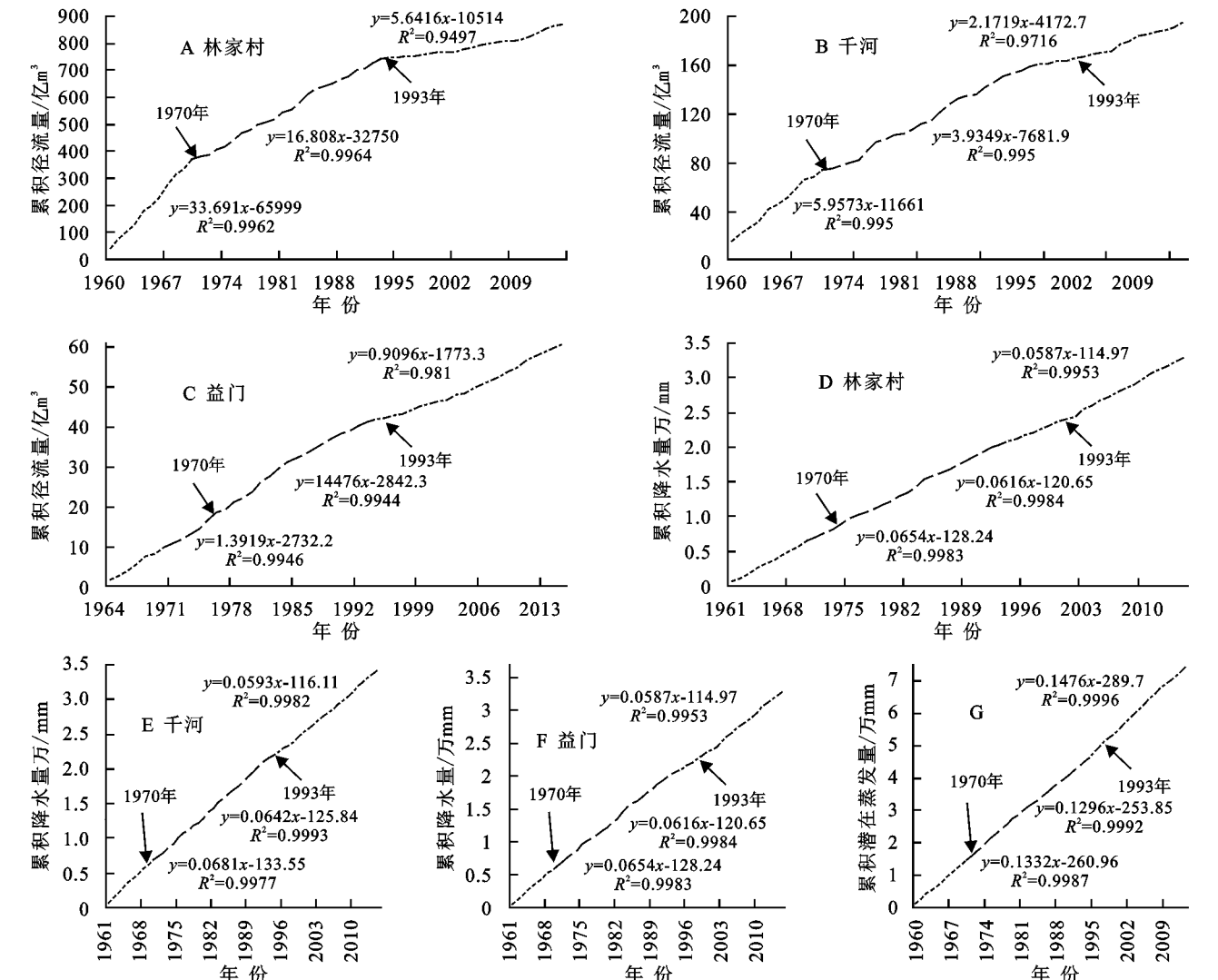


图 9 渭河中游累积径流量、累积潜在蒸发量、累积降水量与年份的线性关系

为了进一步讨论人类活动与气候变化对各时期径流量变化的影响程度,采用累积量斜率变化率比较法计算降水和人类活动对径流量的影响。设降水对径流减少的贡献率为 C_P ,潜在蒸发对径流减

少的贡献率为 C_E ,即气候变化对径流减少的贡献率为 C_E+C_P ,人类活动对径流减少的贡献率为 C_H ,见表 8。可以看出进入 1970s 以来人类活动成为影响渭河中游地区径流量减少的主要因素,即 20 世

纪 70 年代前为受人类活动影响径流较少时期,后两时期为受气候变化和人类活动影响较大的时期。20 世纪 70 年代以来,渭河中游人类活动对径流量

的影响不断增大。而 20 世纪 90 年代后,渭河中游气温发生了突变性上升,降水持续减少,对径流量产生较大影响。

表 7 渭河中游累积径流量、降水量及蒸发量斜率及其变化率

站点	时段	径流量			降水量			潜在蒸散发量		
		$S_R/$ (亿 $m^3 \cdot a^{-1}$)	变化量/ (亿 $m^3 \cdot a^{-1}$)	变化率/ %	$S_P/$ (mm $\cdot a^{-1}$)	变化量/ (mm $\cdot a^{-1}$)	变化率/ %	$S_E/$ (mm $\cdot a^{-1}$)	变化量/ (mm $\cdot a^{-1}$)	变化率/ %
林家村	1960—1970	33.69			654			1332		
	1971—1993	16.81	−16.88	−50.10	616	−38	−5.81	1296	−36	−2.70
	1994—2015	5.64	−28.05	−83.26	587	−67	−10.24	1476	144	10.81
千河	1960—1970	5.96			681			1332		
	1971—1993	3.93	−2.03	−34.06	642	−39	−5.73	1296	−36	−2.70
	1994—2015	2.17	−3.79	−63.59	593	−88	−12.92	1476	144	10.81
益门	1960—1970	1.39			699			1332		
	1971—1993	1.45	0.06	4.32	698	−1	−0.14	1296	−36	−2.70
	1994—2015	0.91	−0.48	−34.53	635	−64	−9.16	1476	144	10.81

表 8 气候变化和人类活动对渭河中游径流量变化的贡献率

站点	时段	径流量/ 亿 m^3	降水量/ mm	潜在蒸发量/ mm	$C_E/$ %	$C_P/$ %	$(C_E+C_P)/$ %	$C_H/$ %
林家村	1960—1970	31.42	655.01	1347.78				
	1971—1993	16.11	625.48	1313.82	−5.39	11.60	6.21	93.79
	1994—2015	5.93	585.86	1466.96	12.98	12.30	25.28	74.72
千河	1960—1970	5.51	693.19	1347.78				
	1971—1993	3.73	636.25	1313.82	−7.93	16.82	8.89	91.11
	1993—2015	2.14	579.46	1466.96	17.00	20.32	37.32	62.68
益门	1960—1970	1.40	704.36	1347.78				
	1971—1993	1.36	687.32	1313.82	62.50	−3.24	59.26	30.74
	1994—2015	0.88	622.63	1466.96	31.52	26.52	58.04	31.96

林家村站与千河站 1971—1993 年气候变化对径流减少的贡献率为分别为 6.21%,8.89%,人类活动对径流减少的贡献率分别为 93.79%,91.11%。可以看出渭河干流和支流千河径流量变化受人类影响较大,都在 90%以上。1994—2015 年人类活动仍然是影响径流减少的主要因素,贡献率分别为 74.72%,62.68%,相对于 1971—1993 年的影响有所下降,1993 年前自然气候对这两站径流减少的贡献率仅为 10%以下,之后贡献率增加到 25%以上。这可能是由于 20 世纪 70 年代以来渭河中游开始修建众多大型的水利水保工程,如冯家山水库、王家崖水库、宝鸡峡水利枢纽等,人为拦蓄成为径流量减少的主要因素,而 20 世纪 90 年代来气温的突变性上升,使潜在蒸散发量增加,使其对径流量减少的贡献率增加,从而导致气候变化对径流量减少的贡献率上升。同时,近些年来渭河中游大型水利水保工程规模趋于饱和,使得人类活动对径流量的影响程度趋于稳定,影响力

显著下降。益门站所在清姜河流域径流量则受气候变化影响较大且较为稳定,这主要是由于清姜河流域主要位于秦岭山区,人类活动较少,因此这一区域人类活动对径流量变化的贡献率较小。

4 结 论

(1) 渭河中游年均气温呈明显上升趋势,冬春季节上升趋势显著。气压整体上呈微弱上升趋势;水汽压呈微弱上升趋势,风速呈微弱下降趋势,但变化特征并不明显。湿度整体上呈下降趋势。气候要素存在周期及突变特征,其中气温的周期变化及突变较为显著。气候要素年代空间变化存在明显差异。

(2) 水文要素变化为径流量与降水量呈显著下降趋势,1990s 后径流量下降趋势增强,降水量减少趋势放缓。蒸发量变化具有阶段性,1997 年前为轻微增加,之后为显著减少趋势。径流量与气温、气压和蒸发量呈现显著的负相关关系,与降水量和湿度呈现显著的正相关

关系。蒸发量与气温和气压呈现显著的正相关关系,与湿度、水汽压和降水量有显著的负相关关系。降水量与气温呈现显著负相关关系,与湿度呈现显著的正相关关系,与气压的负相关关系不显著。

(3) 自然气候对径流影响表现为,人类活动对径流量减少的贡献率大于气候变化对径流量的贡献率,且渭河干流径流量受人类活动的影响更大,但气候变化的贡献率近年来有增长趋势,1994年前自然气候对径流的减少的贡献率仅为10%以下,之后贡献率增加到25%以上,这些表明减少人类活动对径流的影响是实现水文循环的重要途径。

参考文献:

- [1] 张利平,陈小凤,赵志鹏,等.气候变化对水文水资源影响的研究进展[J].地理科学进展,2008,27(3):60-67.
- [2] 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.
- [3] Chiew F H S, Teng J, Vaze J, et al. Influence of global climate model selection on runoff impact assessment[J]. Journal of Hydrology, 2009, 379(1):172-180.
- [4] Liu Y G, Guo Z M, Zhou Q, et al. The climate characteristics of the first date of $\leq 0^{\circ}\text{C}$ temperature in East China[J]. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2015, 47(2):83-93.
- [5] Liu Y G, Wang S X, Wang Y, et al. Evaluation of potential evapotranspiration in the Weihe River Basin base on statistical downscaling[J]. Earth and Environmental Science, 2018, 191(1):1-7.
- [6] 刘永婷,徐光来,高超,等.淮河上游径流演变规律及其对气候驱动因子的响应[J].水土保持通报,2018,38(3):8-13.
- [7] 王振海,李传哲,于福亮,等.气候变化和人类活动对径流影响的贡献分解[J].济南大学学报:自然科学版,2014,28(4):295-299.
- [8] 王随继,李玲,颜明,气候和人类活动对黄河中游区间产流量变化的贡献率[J].地理研究,2013,32(3):395-402.
- [9] 胡浩楠,刘引鸽,马凯.渭河流域百年尺度水旱特征及其影响因素[J].水土保持通报,2020,40(2):255-262.
- [10] 涂新军,陈晓宏,张强,等.东江径流年内分配特征及影响因素贡献分解[J].水科学进展,2012,23(4):493-501.
- [11] 占车生,乔晨,徐宗学,等.渭河流域近50年来气候变化趋势及突变分析[J].北京师范大学学报:自然科学版,2012,4(4):399-405.
- [12] 刘引鸽,胡浩楠,周欢欢,等.近200年来渭河流域干旱洪涝事件特征[J].水土保持研究,2019,26(4):217-223.
- [13] 冯星,郭建青,孙东永,等.近55 a渭河流域气候变化[J].干旱区地理,2018,41(4):718-725.
- [14] 董晴晴,王会肖.60年来渭河关中地区气温与降水变化及其原因[J].南水北调与水利科技,2016,14(6):33-38,49.
- [15] 姚玉璧,张秀云,段志勇,等.渭河源区气候变化及其对水资源的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):247-252.
- [16] 郭爱军,畅建霞,黄强,等.渭河流域气候变化与人类活动对径流影响的定量分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2014,42(8):212-220.
- [17] 雷江群,黄强,畅建霞,等.渭河流域气候要素演变特性分析[J].水资源与水工程学报,2014,25(5):2-5.
- [18] 何毅,王飞,穆兴民,等.60年来渭河关中地区气温与降水变化及其原因[J].水土保持通报,2012,32(4):103-105.
- [19] 蒋冲,王飞,穆兴民,等.近52年渭河流域气候变化及极端干湿事件演变特征分析[J].灌溉排水学报,2012,31(4):32-36.
- [20] 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.
- [21] Wang S J, Yan M, Yan Y S, et al. Contributions of climate change and human activities to the changes in runoff increment in different sections of the Yellow River[J]. Quaternary International, 2012, 282:66-77.