

近 50 年汾河流域气候变化特征分析

胡彩虹¹, 郭慕平², 任健美³, 翟大彤³, 王金星⁴

(1 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 山西省气象局, 山西 太原 030001;
3. 太原师范学院地理系, 山西 太原 030012; 4. 中华人民共和国水利部水文局, 北京 100053)

摘要 根据汾河流域 8 个气象站的季节和年降水、气温气象资料, 通过线性趋势估计方法分析了汾河流域降水和气温的长期变化趋势, 并利用距平累积曲线和滑动 T 检验方法讨论了气候年代际变化。结果表明 在过去的 50 年里, 汾河流域降水有干旱化趋势, 夏季降水变化最明显, 但没有突变发生; 气温有明显的上升趋势, 暖冬现象比较明显, 夏季和年的气温跃变发生在 1993 年, 冬季气温跃变发生在 1985 年。因此, 气温的上升和降水的减少加剧了汾河流域的干旱化。

关键词 汾河流域; 气候变化趋势; 年代际变化

中图分类号 P463

文献标识码 A

文章编号 1006-7647(2006)S1-0001-06

全球增暖及其对环境、水资源和粮食生产等的影响已是世界科学界日益重视的重要科学问题之一, 它已是各国政府作经济和社会决策时必须认真考虑的重要问题。近百年来全球气温有明显的上升趋势, 在此大背景下, 我国气象学者对全球及中国气候变化已作了许多研究^[1-9], 任国玉^[3]等对全国 1951~1996 年降水趋势的特征指数进行了计算, 结果表明我国东北东部、华北中南部的黄淮海平原和山东半岛、四川盆地及青藏高原年降水变化表现出不同程度的负趋势。而在华北的北部、内蒙古、东北大部 and 西北地区, 1949 年以来的降水量, 特别是夏季雨量变化趋势或者不明显、或者呈现出增加趋势。不少学者的研究表明, 北方特别是华北地区 1949 年以来的降水存在明显的下降趋势^[4-7]。李月洪^[8]对中国干旱半干旱地区近 40 年降水趋势进行分析, 得出中国干旱半干旱地区降水在 20 世纪 50 年代到 60 年代初是增加的, 至 70 年代以后有减少的趋势, 表明近 40 年来我国干旱半干旱地区出现明显的干旱化迹象。黄荣辉等^[9]对我国夏季及华北地区干旱化趋势进行了分析, 指出华北地区从 1965 年后夏季降水明显减少, 干旱化的趋势明显。但是中国各个子区域气温变化趋势近 50 年来与全球趋势并不都是相同的, 而是存在一定地区性差异的。

汾河流域从北纬 38°55' 到 35°35', 横跨近 4 个纬度, 是黄河第二大支流, 为山西省最大的河流。近年

来, 随着流域环境变异、气候转暖、国民经济发展及不合理的人类活动影响, 汾河流域径流逐年减少, 水土流失加剧, 水文情势发生了很大的变化, 给当地的农业、沿河城市的工业发展和流域生态环境建设等方面带来了一定影响, 汾河流域存在的问题也日渐成为人们关注的焦点。本文利用趋势系数、滑动 T 检验及累积距平方法等分析研究了汾河流域近 50 年的降水和气温要素的时空变化特征及变化趋势, 以期为进一步研究该区域的气候变化、合理规划和利用水资源提供依据。

1 研究区域概况和资料

1.1 研究区域概况

汾河流域总面积 39 471 km², 占山西省面积的 25.3%, 地处大陆性季风带, 受极地的大陆气团和副热带海洋气团的影响, 属大陆性季风气候, 为半干旱、半湿润型气候过渡区, 春季短促、少雨干旱多风沙, 夏季高温多暴雨, 秋季温和晴朗, 冬季漫长干寒。山地气候垂直变化十分显著。降雨量自东南向北和西北递减, 全流域多年平均降水量 504.8 mm (1956~2000 年), 大部分地区介于 600~400 mm 之间, 局部高山地区在 650 mm 以上, 降水年际变化较大、年内分配不均, 全年 70% 的降雨量集中在 6~9 月, 多以暴雨形式出现。夏季风带来的暖湿气流是形成降雨的主要水汽来源。1980~2000 年, 汾河流域降水量

基金项目 山西省气象局开放基金项目 (SX042003); 国家自然科学基金资助项目 (NSCF-40572150); 河南省自然科学基金资助项目 (311021600)

作者简介 胡彩虹 (1968—), 女, 山西平遥人, 副教授, 博士, 从事水文学水资源研究。E-mail: whuhch@163.com

水利水电科技进展, 2006, 26(S1) Tel: 025-83786335 E-mail: jz@hhu.edu.cn http://kkb.hhu.edu.cn

• 1 •

相对偏枯,增温现象明显,连续干旱年较多,年际间降水量差别相对较小,降水极大值年份大都出现于1956~1979年期间^[10]。降水量的减少、年内分配不均匀、年际间的变化以及气温增加,给农业生产和生活带来很不利的影响。

1.2 基础资料

本文分析所用资料为汾河流域8个气象站降水量和气温的逐季节和逐年资料。各个站的具体资料情况见表1,它们分布在汾河流域的不同位置(见图1),可以代表汾河流域上下游的气象特征。表2为汾河流域所分析各气象站降水和气温的多年平均、方差、最大值、最小值及发生的年份和极值比等统计特征值,可见,流域上下游不同站点的降水和气温变化特点不一,侯马(1957~2004年)多年平均降水量最大(514.11 mm),而太原(1951~2004年)的多年平均降水量最小(442.41 mm)。多年平均气温最高的是河津,达13.45℃,而静乐最低,仅为7.05℃。

表1 各个站的气象资料

气象站	资料长度	气象站	资料长度
静乐	1957~2004	洪洞	1958~2004
太原	1951~2004	侯马	1957~2004
寿阳	1957~2004	临汾	1954~2004
介休	1954~2004	河津	1958~2004

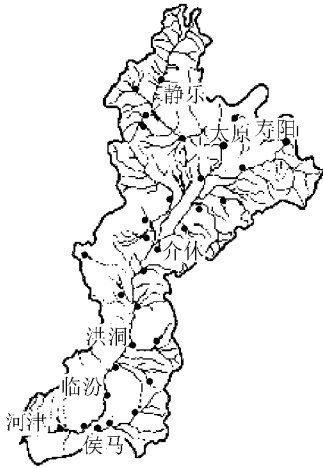


图1 站点分布

1.3 方法

气象要素的长期变化趋势通常用一元线性回归系数来表示。但是,回归系数有单位,在不同的气象要素之间及不同时间、地点的同一要素之间不能互相比较。根据施能^[2,11]介绍的方法,分别计算了气象要素的时间序列与自然数数列之间的倾向系数(也即趋势系数),用来表示和比较气象要素长期变化的大小。该倾向系数就是标准化的一元线性回归系数,它消去了气象要素的均方差对线性回归系数数值大小的影响,从而可以在不同地理位置的不同气象要素之间比较长期趋势变化的大小。

气象要素 y_t 与时间 t 之间一元线性回归:

$$\hat{y}_t = a + bt \tag{1}$$

式中: a 为回归常数; b 为回归系数。当 b 大于(或小于)零时,表示降水或气温存在上升(或下降)趋势。

天气变化过程中普遍存在某种不连续现象,通常表现为相邻气候阶段平均值之间显著的差异,在过去的几十年里,人们相继提出了多种研究时间序列长期趋势变化的参数和非参数方法^[12]。为了形象地刻画汾河流域近50年气候变化的特征,首先利用累积距平方法给出代表站的降水和气温变化距平累积曲线,然后使用滑动T检验方法进一步检验,讨论汾河流域降水和气温的年代际变化,并进行突变分析。

2 气候趋势变化

表3和表4分别给出了汾河流域从上游到下游8个站点的气温和降水的季节及年趋势系数和相关系数。分析结果表明:①汾河流域气温变化较降水变化明显,气温的相关系数均高于降水的相关系数。②从年气温来看,各个站点均是正趋势,气温的变化趋势一致,基本为0.02或0.03,其相关系数也比较大,河津最大为0.722,其次是太原为0.656,静乐最小为0.347,除静乐外均达到了0.01的信度,静乐达到了0.05的信度。③从季节气温来看,冬季气温变

表2 汾河流域各气象站降水要素年平均统计特征值

气象站	降水					气温				
	均值/mm	方差	最大值/mm	最小值/mm	极值比	均值/℃	方差	最大值/℃	最小值/℃	极值比
静乐	457.03	110.79	744.8(1967)	242.1(1972)	3.08	7.05	0.64	8.75(1999)	5.75(1984)	1.52
太原	442.41	114.75	749.1(1969)	216.1(1972)	3.47	9.78	0.68	11.62(1999)	8.54(1956)	1.36
寿阳	490.41	118.33	804.0(1977)	235.1(1972)	3.42	7.57	0.56	9.02(1999)	6.51(1984)	1.39
介休	464.98	116.57	732.4(1964)	263.5(1997)	2.78	10.61	0.57	12.18(1999)	9.56(1956)	1.27
侯马	514.11	125.22	945.7(1958)	277.3(1997)	3.41	12.70	0.47	13.68(2002)	11.59(1984)	1.18
洪洞	475.49	111.92	754.6(1964)	262.2(1997)	2.88	12.31	0.56	13.79(1999)	11.28(1976)	1.22
临汾	488.92	120.86	798.6(1958)	277.9(1965)	2.87	12.50	0.68	14.12(1999)	10.97(1956)	1.29
河津	487.45	134.64	995.9(1958)	230.8(1997)	4.31	13.45	0.70	14.90(2002)	12.35(1963)	1.21

注 括号数字中表示出现的年份。

表 3 汾河流域 8 个气象站年、季气温的倾向系数及相关系数

时间	倾向系数								相关系数							
	静乐	太原	寿阳	介休	洪洞	临汾	侯马	河津	静乐	太原	寿阳	介休	洪洞	临汾	侯马	河津
春	0.02	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.245	0.583	0.334	0.380	0.493	0.419	0.308	0.604
夏	0.01	0.01	0	0	0.02	0.01	-0.01	0	0.201	0.147	0.077	0.057	0.304	0.129	0.134	0.060
秋	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.158	0.432	0.297	0.320	0.343	0.464	0.105	0.559
冬	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04	0.07	0.04	0.08	0.358	0.687	0.442	0.548	0.528	0.729	0.525	0.742
年	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.04	0.347	0.656	0.457	0.504	0.512	0.636	0.363	0.722

注：黑正体数字表示相关系数 r 达到 0.01 的显著性水平，黑斜体数字表示相关系数 r 达到 0.05 的显著性水平。

表 4 汾河流域 8 个气象站年、季降水的倾向系数及相关系数

时间	倾向系数								相关系数							
	静乐	太原	寿阳	介休	洪洞	临汾	侯马	河津	静乐	太原	寿阳	介休	洪洞	临汾	侯马	河津
春	-0.04	-0.05	-0.04	-0.15	-0.180	-0.08	-0.18	-0.17	0.049	0.064	0.035	0.179	0.18	0.087	0.164	0.159
夏	-0.48	-0.12	-0.33	-0.48	-0.63	-0.45	-0.43	-0.43	0.205	0.056	0.14	0.216	0.289	0.196	0.172	0.155
秋	-0.1	-0.19	-0.25	-0.24	-0.25	-0.11	-0.08	-0.11	0.082	0.169	0.216	0.175	0.178	0.085	0.057	0.078
冬	0.01	0.01	-0.01	0	-0.01	0	0.03	-0.01	0.045	0.03	0.039	0.018	0.036	0.034	0.089	0.026
年	-0.54	-0.32	-0.01	-0.83	-0.981	-0.67	-0.67	-0.62	0.199	0.127	0.207	0.291	0.304	0.233	0.212	0.181

注：黑斜体数字表示相关系数 r 达到 0.05 的显著性水平。

化趋势明显高于其他季节。8 个站点的冬季气温平均趋势系数为 0.053，变化趋势最大的河津达 0.08，其次是临汾 0.07，太原 0.06，介休 0.05，其余 3 个站为 0.04，均超过了 0.01 的信度。大城市的气温变化趋势高于小城市，而夏季的变化趋势最不明显，分析的站点中，洪洞的趋势系数最大，为 0.02，有的站点趋势系数为零，均未达到 0.05 信度的检验。④从年降水量来看，汾河流域各气象站的降水量变化为负趋势，表示近 50 年来汾河流域的降水有减少的趋势，但均没有达到 0.05 的信度，因此降水的变化只能认为是一种自然的情况。⑤从季节降水量来看，夏季的降水趋势变化明显，分析的 8 个站点的趋势均为负趋势，变化趋势最大的为洪洞（-0.63），最小为太原站（-0.12），冬季降水变化趋势不明显（在 -0.01 和 0.03 之间变化）。季节降水的相关系数均没有达到 0.05 信度的检验。

图 2、图 3 是太原年气温和年降水距平的时间变化曲线。由线性变化（图中虚线）可以看出，太原气温存在着上升趋势（0.29℃/10 年），降水呈下降趋势（-10.68 mm/10 年）。结合距平变化曲线及趋势线可清楚地看出：太原年平均气温在 20 世纪 80

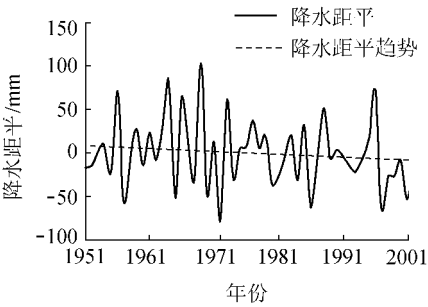


图 3 1951~2001 年太原降水逐年距平变化

年代负距平比较多，距平平均值为 -0.35℃，80 年代后正距平多，距平平均值为 0.42℃，可以认为 70 年代末、80 年代初以前是冷期，以后为暖期，气温呈上升趋势。这个结论与文献[13]指出的全球在 20 世纪 70 年代末、80 年代初存在一次明显的气候跃变基本一致。降水波动表现为降水波动比较大，从 1951 年到 2004 年，降水极值均出现在 20 世纪 80 年代以前，其中 1969 年是降水峰值年，为 54 年之最，达 749.1 mm，1972 年为降水最低值，为 216.1 mm。20 世纪 80 年代前降水量距平的平均值为 21.46 mm，80 年代后降水量的距平平均值为 -24.90 mm，降水量呈减少趋势。

3 气温、降水的年代际变化

3.1 气温、降水的年代气候差异

气温和降水变化不仅有年际变化，而且有年代际的变化。从流域上游到下游选择地理位置具有代表性的 4 个站点分析年代际变化，表 5、表 6 列出了 4 个站点不同季节及年气温和降水的年代气候平均值。从表 5、表 6 可以看到各站气温的年代际变化如下：

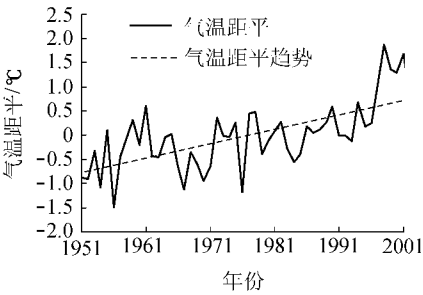


图 2 1951~2001 年太原气温逐年距平变化

表 5 汾河流域代表站不同季节平均气温年代际变化

℃

时间	静乐				太原				介休				临汾			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
1951 ~ 1959 年					10.62	22.37	9.15	- 5.12	11.72	22.78	10.21	- 3.29	13.57	24.99	11.75	- 2.52
1960 ~ 1969 年	8.54	20.13	6.99	- 7.99	10.97	22.50	9.29	- 4.97	11.63	23.08	10.11	- 3.42	13.51	25.64	12.07	- 2.14
1970 ~ 1979 年	8.20	19.88	6.81	- 8.00	11.10	22.15	9.47	- 4.29	11.82	22.64	10.32	- 3.20	13.42	25.04	12.10	- 1.60
1080 ~ 1989 年	7.99	19.57	6.53	- 7.68	11.31	22.10	9.52	- 3.98	11.88	22.45	10.34	- 2.75	13.42	24.63	12.19	- 1.10
1990 ~ 1999 年	8.57	20.33	7.40	- 6.45	11.68	22.74	10.08	- 3.02	11.96	23.02	10.80	- 2.00	13.87	25.56	12.81	- 0.20
1951 ~ 1999 年																
多年平均年	8.48	20.00	7.01	- 7.26	11.30	22.41	9.55	- 4.11	11.95	22.83	10.40	- 2.70	13.73	25.25	12.28	- 1.23

表 6 汾河流域代表站不同季节降水年代际变化

mm

时间	静乐				太原				介休				临汾			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
1951 ~ 1959 年					65.12	271.69	94.01	13.14	78.07	298.27	102.68	16.27	81.17	350.56	85.62	19.95
1960 ~ 1969 年	69.68	300.78	132.74	6.03	79.88	280.47	134.93	8.80	90.92	240.05	149.84	10.13	86.97	255.28	172.73	7.94
1970 ~ 1979 年	50.46	302.03	87.21	11.27	45.7	284.29	94.68	16.92	55.90	322.22	104.59	17.96	83.88	295.68	108.38	18.98
1980 ~ 1989 年	71.91	171.12	171.12	6.95	77.24	240.63	90.36	8.92	82.88	273.07	113.98	9.87	89.48	249.22	111.10	10.87
1990 ~ 1999 年	73.00	279.91	279.91	5.61	82.17	259.32	72.43	8.61	77.16	220.09	79.91	10.18	85.52	249.35	95.11	10.11
1951 ~ 1999 年																
多年平均	64.40	285.78	285.78	8.06	66.49	264.67	99.24	11.81	73.71	263.78	114.76	12.73	82.53	272.26	120.43	13.70

a. 平均气温 20 世纪 90 年代为最高值,而最低值各站各季节均不相同,表现在除 90 年代外各个年代均有。冬季气温从 20 世纪五六十年代到 90 年代有明显的递增趋势,大城市的增温明显高于小城市,太原从 20 世纪 50 年代到 90 年代气温平均增加了 2.1℃,临汾平均增加了 2.32℃,介休和静乐分别增加了 1.29℃和 1.54℃,其他各季节年代际变化不明显;从计算的年平均气温来看,20 世纪 90 年代后平均气温最高,基本表现为从 50 年代、60 年代向 90 年代递增。

b. 平均降水情况夏季变化最明显,其次为秋季,夏季降水有减少的趋势,静乐、太原、介休和临汾的夏季降水最大值均出现在 20 世纪 70 年代,秋季最大值出现在 20 世纪 60 年代,20 世纪 80 年代后减少,均低于多年平均值;从计算的年平均降水量来看,20 世纪 60 年代和 70 年代的降水偏高,70 年代后降水有减少的趋势,通过近 50 年太原、临汾的年平均气温和降水的相关分析,发现两者存在明显的负相关($r = -0.27$,达到了 0.05 的显著性水平),但气温和降水的变化并不同步。

从上述各站点气温和降水的变化趋势可以看到如下特点:汾河流域的气温变化在 20 世纪 90 年代有增加趋势,冬季气温变化明显,有暖冬现象;降水变化 20 世纪 80 年代后的降水低于 60 年代和 70 年代,有干旱化趋势。

3.2 气候变化检验

Yamamoto^[14]指出:20 世纪 50 年代北半球气温发生了一次气候跃变,但是,从汾河流域各个站点的

气温和降水的年代际变化情况来看,20 世纪六七十年代的气温和降水跃变不明显。气候突变是普遍存在于气候系统中的一个重要现象,通常表现为相邻气候阶段平均值之间显著差异。笔者选择汾河流域资料比较长的太原和临汾站的年降水量和夏、冬季及年平均气温资料分析气候变化。

图 4 为太原夏季、冬季、年平均气温距平及累计曲线,图 5 为太原年降水距平及累积曲线。图 4 表明,太原夏季平均气温在 1967 年正距平累积为增加的趋势,1967 年后累积距平减少,到 1993 年距平累积达最小值,以后逐年增加,表明夏季气温在 20 世纪 60 年代末期和 90 年代有明显的转折变化。年平均气温和冬季气温距平累积曲线相似,年平均气温距平累积曲线从 1951 年到 20 世纪 80 年代后期至 90 年代初期逐年减少,1985 年达距平累积最小值,其后逐年增加,1993 年后夏季和年平均气温分别平

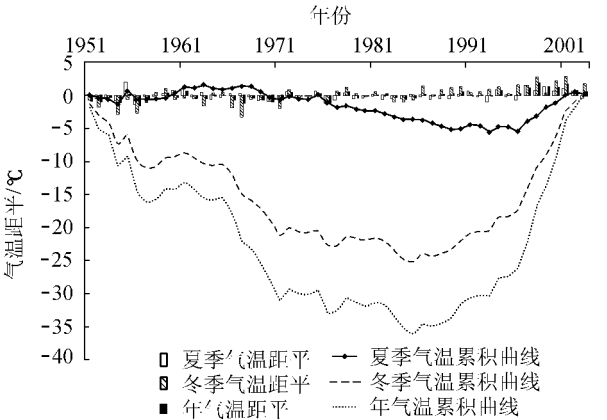


图 4 太原夏季、冬季、年平均气温距平及累积曲线

均上升了 0.6℃和 0.86℃。冬季气温的转折可以认为发生在 20 世纪 70 年代末、80 年代初期,明显转折发生在 1985 年,1985 年以后的平均气温上升了 1.84℃,可见冬季气温变化比较明显。图 5 表明太原年降水没有明显的变化规律,波动比较大,20 世纪六七十年代正距平偏多,降水量偏多,80 年代后降水减少,负距平偏多,年平均降水量距平在 80 年代以前为 21.46 mm/a,80 年代后为 -24.90 mm/a,平均减少了 46.36 mm/a。

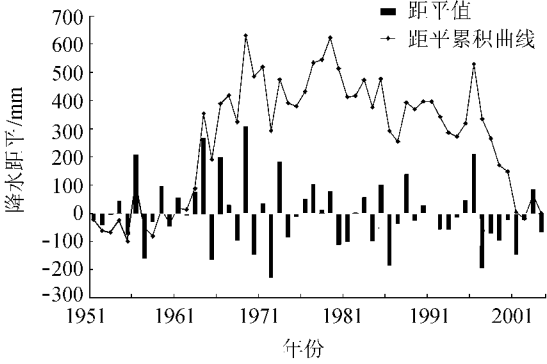


图 5 太原年降水距平及累积曲线

图 6 为临汾夏季、冬季、年平均气温距平及累积曲线,图 7 为临汾年降水距平及累积曲线。可以看出,临汾夏季、冬季、年平均气温和年降水量的变化情况与太原基本相似。夏季气温在 1970 年以前由递增转变为递减,到 1985 年以前累积曲线呈下降趋势,以负距平为主;1985 年到 1993 年之间气温累积曲线有上升的趋势,但不明显,1993 年后累积曲线上升趋势明显,以正距平为主。1993 年以前平均温度的距平为 -0.14℃,1993 年后平均温度的距平为 0.45℃。冬季平均气温累积曲线在 1985 年前一直下降,直到 1985 年后累积曲线才呈现上升趋势,因此,20 世纪 80 年代中期冬季平均气温有明显的转折,年平均气温与冬季气温相似,1985 年以前累积曲线呈下降趋势,以后逐年上升,平均温度上升了 0.88℃。而年降水从开始基本为上升波动变化过

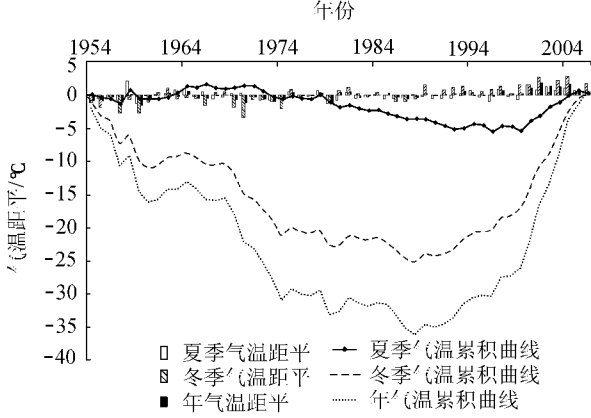


图 6 临汾夏季、冬季、年平均气温距平及累积曲线

程,以正距平为主,到 20 世纪 70 年代末期、80 年代初期开始下降,以负距平为主,因此可以认为在 70 年代末期、80 年代初期有转折。1977 年以前年平均降水量的距平为 38.55 mm,1977 年以后平均降水量的距平为 -34.26 mm,平均减少了 72.81 mm 的降水量。

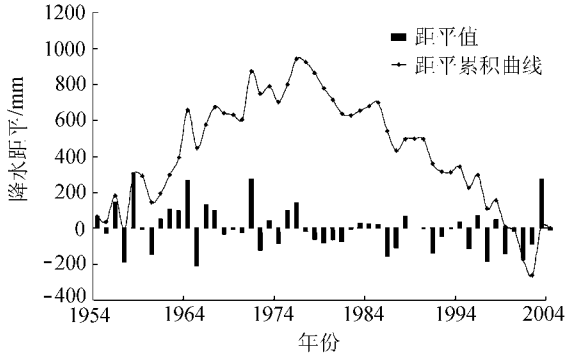


图 7 临汾年降水距平及累积曲线

采用滑动 T 检验对气温和降水作进一步检验,滑动 T 检验通过考察两组样本平均值的差异是否显著来检验突变,其基本思想是检验一气候序列中两段子序列均值有无显著差异,如果两段子序列的均值差异超过了一定的显著水平,则认为均值发生了质变,有突变发生^[1]。相邻时段时间尺度至少在 10 年以上,计算中子序列取大于 10,将反复变动子序列长度进行试验比较,选出其中最大的统计量值,如果达到给定显著水平 α 以上的显著性水平,就认为对应年份发生了突变。

分析发现,近 50 年中太原夏季和年降水量最大统计量值都出现在 1980 年(分别为 1.201 和 1.383,均未达到 0.01 显著性水平),临汾夏季和年降水量最大统计量值分别出现在 1977 年和 1978 年(分别为 1.607 和 2.191,均未达到 0.01 显著性水平)。说明汾河流域降水量的变化没有发生突变,只能认为降水的变化在自然振动范围内变化。

表 7 列出了太原夏季、冬季及年气温第二时段减第一时段样本平均值的统计量 T 检验值。可见,近 50 年太原年和夏季平均气温突变发生在 20 世纪 90 年代初,其中最大统计量 T 值出现在 1993 年(达到 0.01 显著水平),冬季出现在 80 年代中期,统计量 T 值最大出现在 1985 年(达到 0.01 显著水平),因此,太原夏季气温突变年为 1993 年,冬季的突变年为 1985 年。临汾统计量 T 检验中,夏季和年均气温突变均发生在 1993 年,冬季发生在 1985 年,且均达到了 0.01 的显著水平检验,因此,夏季和年气温的突变年为 1993 年,冬季的突变年为 1985 年,与前面分析结果一致。说明汾河流域的夏季和年平均气温的突变年为 1993 年,冬季的突变年为 1985 年。

表 7 1961 ~ 1994 年太原站第二时段减第一时段样本平均值的 T 检验值(气温)

年份	N1	年值	夏季值	冬季值	年份	N1	年值	夏季值	冬季值
1960	10	-2.614	0.162	-2.759	1977	27	-4.537	-0.812	-5.506
1961	11	-2.169	0.626	-2.755	1978	28	-4.238	-0.702	-5.035
1962	12	-2.33	0.517	-2.807	1979	29	-4.523	-0.899	-4.979
1963	13	-2.508	0.722	-3.203	1980	30	-4.621	-1.034	-5.064
1964	14	-2.465	0.457	-2.995	1981	31	-4.619	-1.016	-4.939
1965	15	-2.39	0.355	-2.779	1982	32	-4.487	-1.252	-4.998
1966	16	-2.673	0.446	-3.252	1983	33	-4.746	-1.454	-5.461
1967	17	-3.23	0.574	-4.275	1984	34	-5.237	-1.657	-6.001
1968	18	-3.358	0.522	-4.407	1985	35	-5.662	-1.638	-6.413
1969	19	-3.658	0.192	-4.564	1986	36	-5.631	-1.721	-5.822
1970	20	-4.183	-0.155	-4.833	1987	37	-5.757	-2.006	-5.965
1971	21	-4.558	-0.328	-5.565	1988	38	-5.835	-2.295	-5.756
1972	22	-4.275	-0.116	-5.163	1989	39	-5.808	-2.623	-5.405
1973	23	-4.259	-0.255	-5.279	1990	40	-5.488	-2.63	-5.015
1974	24	-4.264	-0.307	-5.257	1991	41	-5.753	-2.341	-5.058
1975	25	-4.084	-0.038	-5.294	1992	42	-6.067	-2.539	-5.048
1976	26	-4.829	-0.527	-5.797	1993	43	-6.604	-3.273	-4.875

注：黑体字为统计量 T 检验中的最大值。

4 结 语

a. 近 50 年汾河流域年平均气温都是正趋势，均达到了 0.01 的信度标准。在季节气温变化中，平均气温都是正趋势，大城市的气温变化趋势明显高于小城市。冬季平均气温增温最明显，其次为春、秋季。

b. 近 50 年汾河流域年降水量呈下降负趋势，有干旱化趋势，它们都没有达到 0.05 的信度标准。季节降水量变化中，主要反映在夏季降水量的明显减少上，冬季降水变化不明显。

c. 汾河流域气温和降水的年代变化上，气温有明显的年代际变化，年平均气温和夏季气温的跃变发生在 1993 年，冬季平均气温的跃变发生在 1985 年 降水量在 20 世纪 80 年代后低于 20 世纪六七十年代，有干旱化趋势，但降水量的年代际变化只是在一种自然振动变化范围内，没有突变发生。

参考文献：

[1] 王绍武,叶瑾琳.近百年全球气候变暖的分析[J].大气科学,1995,19(5):545-553.

[2] 刘锦绣,顾骏强,施能,等.1948~2003 年全球陆地年降水量变化特征[J].水利水电科技进展,2006,26(3):28-31.

[3] 任国玉,吴虹,陈正洪.我国降水变化趋势的空间特征[J].应用气象学报,2000,11(3):322-330.

[4] 李克让,林贤超.近 40 年来我国降水的长期变化趋势[C]//施雅风,等.中国气候与海平面变化研究进展(二).北京:海洋出版社,1992:44-45.

[5] 王绍武,赵宗慈.未来 50 年中国气候变化趋势的初步研究[J].应用气象学报,1995,6(3):333-342.

[6] 陈隆勋,邵永宁,张清芬,等.近四十年我国气候变化的初步分析[J].应用气象学报,1991,2(2):164-173.

[7] 徐国昌,姚辉,李珊.我国干旱半干旱地区现代降水量和历史干旱频率的变化[J].气象学报,1992,50(3):378-382.

[8] 李月洪.我国干旱半干旱地区降水变异的成因分析[C]//曹鸿兴,等.我国短期气候变化及成因研究.北京:气象出版社,1996:43-48.

[9] 黄荣辉,徐予红,周连童.我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J].高原气象,1999,18(4):465-476.

[10] 李英明,潘军峰.山西河流[M].北京:科学出版社,2004:25-32.

[11] 施能,曹鸿兴.近 42 年我国冬季气温、降水趋势及年代际变化成因分析[C]//曹鸿兴,等.我国短期气候变化及成因研究.北京:气象出版社,1996:49-54.

[12] 魏风英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999.

[13] 林学椿.70 年代末、80 年代初气候跃变及其影响[C]//东亚季风和中国暴雨.北京:气象出版社,1998:240-249.

[14] YAMAMOTO R. An analysis of climatic jump[J].J Meteor Soc Japan,1986,64:273-281.

(收稿日期 2006-06-02 编辑 高建群)

