

黑河洪峰变化及其对全球气候变暖的响应

曹 玲^{1,2}, 董安祥¹, 窦永祥³, 牛金龙³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省武威市气象局, 甘肃 武威 733000; 3. 甘肃省张掖市气象局, 甘肃 张掖 734000)

摘 要: 利用黑河洪峰及黑河上、中游降水和气温资料, 采用线性倾向方法、功率谱分析方法、滑动 t -检验法、累计距平法、Cramer's 法以及相关统计方法等, 分析了黑河年最大洪峰流量及其出现时间的演变特征及其原因。结果表明: 黑河年最大洪峰出现时间变化呈现波动性, 并且与上游气温变化趋势基本一致, 其突变年在 1983 年前后, 突变前年最大洪峰时间是推迟的, 突变后则明显提前, 黑河年最大洪峰出现时间与气候变暖关系密切, 随着全球气候变暖, 黑河年最大洪峰出现时间存在提前的趋势。黑河年最大洪峰流量的时间演变以波动形式为主, 存在准 3 年和准 11 年的变化周期, 其突变在 1973 年前后; 黑河年最大洪峰流量与洪峰出现日前三天黑河上游的降水多少有关; 黑河年最大洪峰与年平均流量的历史演变趋势也具有很好的相似性。

关键词: 黑河; 最大洪峰; 变化特征; 气候变暖

中图分类号: P331.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0230-05

黑河是我国第二大内陆河, 流经青海、甘肃、内蒙古三省(自治区)。它是河西走廊绿洲的支柱, 北部沙漠的命脉。近年来, 随着气候变化和人为因素的影响, 供需水矛盾日趋加剧。有限的水资源既要保证上中游工农业生产的正常需求, 又要确保向下游输水, 恢复下游生态环境。因此多年来关于黑河流量水资源及生态的研究就成为比较热门的话题^[1~6]。随着黑河流域气候变暖, 黑河流量也发生了相应的变化, 对此已有不少成功的研究。本文则侧重分析黑河洪峰的历年演变规律及其与气候变化的关系, 旨在为地方政府科学地调整农作物种植结构、防汛调度以及合理利用水资源提供依据。

1 资料的选取与分析方法

1.1 资料的选取

洪峰资料选取黑河上游莺落峡水文站 1944~2000 年年最大洪峰资料。莺落峡水文站是黑河干流出口控制站, 控制流域面积 10 009 km²^[7], 设立于 1943 年。其流量资料年代长, 代表性好, 能够反映黑河来水量的真实变化。

气候资料选取位于黑河上游的祁连站和黑河中游的张掖站的降水、气温资料。这两个站建站较早, 地理位置典型, 可以完全代表黑河流域上、中游的气候状况。作者曾在对黑河流域降水空间分布的客观

分区中^[8]已证实了这一点。

1.2 主要分析方法

首先对黑河年最大洪峰出现日期资料进行标准化处理; 应用功率谱法分析最大洪峰流量变化的周期性, 滑动 t -检验、累积距平、Cramer's 等方法分析黑河年最大洪峰流量及其出现时间的突变性, 线性倾向估计分析黑河年最大洪峰流量及其出现时间的演变趋势, 找出它们的变化特征; 应用相关法分析年最大洪峰流量及其出现时间与黑河流域降水和气温之间的关系^[9,10], 以期确定洪峰演变对气候变化的响应程度。

2 最大洪峰流量的变化趋势特征

2.1 气候倾向率及周期分析

最大洪峰流量的气候倾向率为每 10 a 增加 2.4 m³/s, 表明最大洪峰流量随时间呈弱的上升趋势(图略)。也即意味着最大洪峰流量的序列随时间演变不平稳, 存在一定的波动性。利用功率谱法提取该序列的周期(样本长度为 57, 最大滞后长度 m 取为 19), 计算时首先对最大洪峰流量的序列做 5 a 滑动平均处理。计算标准谱的显著性水平 α 取为 0.05, 计算得 $R(1)=0.650$, $R_C=0.220$, $R(1)>R_C$, 所以可将序列近似看成红色噪音过程。

收稿日期: 2006-07-18
基金项目: 国家自然科学基金项目“典型内陆河流域河西走廊地区降水规律的研究”(40475031); “西部开发科技行动”重大项目“祁连山空中水资源开发利用研究”(2004BA901A16); 科技部科研院所社会公益研究专项“西北农作物对气候变化的响应及其评价方法”(2005DIB31100)
作者简介: 曹玲(1963—), 女, 甘肃临泽人, 高级工程师, 从事天气预报与研究工作。E-mail: zycaoling88@163.com。

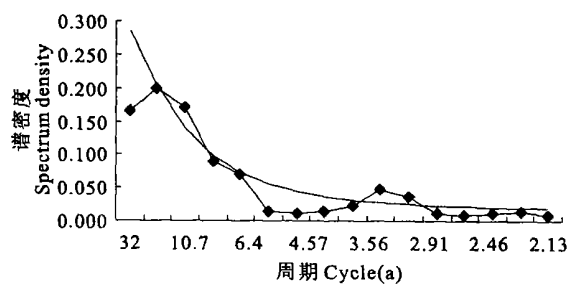


图 1 黑河最大洪峰流量的功率谱

(光滑曲线为 $\alpha=0.05$ 的红色噪音标准谱)

Fig.1 The power spectrum of Heihe River's flow of maximum flood peak(The smooth curve is standard spectrum of red noise of $\alpha=0.05$)

由图 1 可以清楚地看出,在周期长度为 3.2 a 和 2.91 a 处功率谱估计值超过标准谱,因此可以确定最大洪峰流量的时间演变存在准 3 a 的周期震荡;另外在 10.67 a 处还有一峰值,谱估计也超过标准谱,可见黑河年最大洪峰流量还存在准 11 a 另一显著周期。

2.2 突变检验

应用累计距平方方法和滑动 t -检验方法(图 2)对黑河最大洪峰流量进行突变检验。为了提取信度高的突变点, t 检验时,取 $n=10$,给定显著水平 $\alpha=$

0.02,对应 $t_{0.02}=2.55$ 。根据 t 统计量曲线上的点是否超过 t_α 值来判断序列是否出现过突变,并提取突变点。

由图 2 可见,自 1944 年以来,滑动 t 统计量只有一处超过 0.02 显著性水平,出现在 1973 年,也就是说黑河最大洪峰流量突变在 1973 年。在其前的 1960 年和其后的 1983 年也各是一个转折点,但只通过 0.05 显著性水平检验。1950 年代、1970 年代初至 1980 年代前期黑河年最大洪峰流量在增加,1960 年代初至 1970 年代前期、1980 年代前期到 1990 年代末黑河年最大洪峰流量在减少。

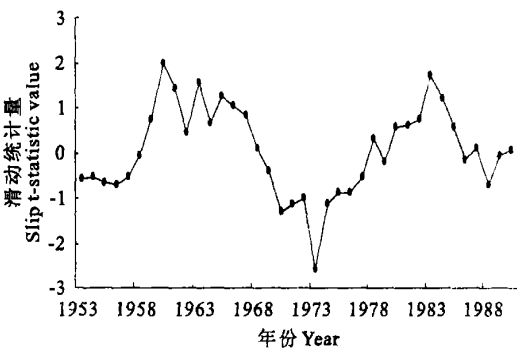


图 2 黑河最大洪峰流量滑动 t 统计量曲线

Fig.2 The slip t -statistic curve of flow of maximum flood peak in Heihe River

表 1 黑河最大洪峰流量突变前后的变化

Table 1 The change before and after sudden change of Heihe River's flow of maximum flood peak

突变年 Sudden change year	t 统计值 t value	起止年 From first year to final year	平均值 Average	突变前后差值 Range
1960	1.98	1944~1960	491.2	—
1973	-2.57	1961~1973	434.8	-56.4
1983	1.73	1974~1983	590.6	155.8
		1984~2000	512.8	-77.8

应用累积距平方方法分析的结果与滑动 t 检验方法基本一致,突变年也是 1973 年(图略)。

2.3 最大洪峰与年平均流量的关系

为了分析黑河年最大洪峰流量与年平均流量的演变趋势是否存在一致性,由下式计算这两个序列的相似系数,式中, i, j 为样本点, k 为序列单元数目, n 为序列长度,本文中 $n=57$ 。当相似系数 r 等于 1 时为完全相同, r 为 -1 时为完全相反,为 0 时表示完全不相似^[11]。

$$r = 1/n \sum_{i=1}^n \frac{\min(X_{ik}, X_{jk})}{\max(X_{ik}, X_{jk})}$$

计算得到,黑河年最大洪峰与年平均流量之间

的相似系数为 0.3789,通过 0.01 的显著性水平检验,表明二者的时间序列演变趋势基本相似。

从图 3 累积距平曲线也可以看出两序列变化的一致性,均呈现波动变化。而且波动的峰谷位置大致相同,只是洪峰变化的波动更加强烈一些,流量变化的波动平缓一些。50 年代初至 60 年代初、70 年代中期至 90 年代中期二者均为增加阶段,40 年代中期至 50 年代初、60 年代初至 70 年代中期二者均为减少阶段。

3 最大洪峰流量与降水的关系

将祁连站作为黑河上游代表站,统计其逐年最

大洪峰出现日前三天的降水量之和,分析降水量与最大洪峰流量之间的相关关系。由于祁连站降水资料始于 1961 年,故此分析的资料长度为 1961~2000 年。分析结果表明,最大洪峰流量与上游洪峰日前三天的降水量之间相关关系较好,相关系数为 0.3025,超过了 90%的置信度。从图 4 二者的时间序列演变曲线也可以看出,最大洪峰流量与祁连降水量的相位变化基本一致。说明黑河年最大洪峰流量的大小与黑河上游洪峰日前三日的降水量关系比较密切。

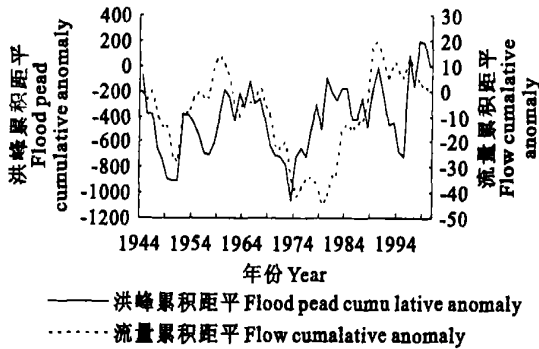


图 3 黑河年最大洪峰与年平均流量累积距平
Fig.3 Annual maximum flood peak and cumulative anomaly of annual average flow in Heihe River

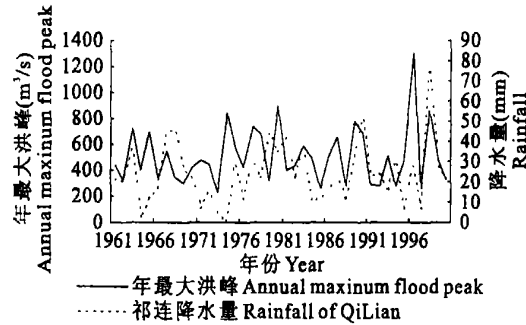


图 4 黑河年最大洪峰与上游洪峰日前三天降水量时间序列
Fig.4 The time array of the annual maximum flood peak and the precipitation three days ago of flood peak in Heihe's upside in Heihe River

4 最大洪峰出现时间变化特征

对经过标准化处理后的最大洪峰出现时间序列进行线性倾向估计分析,其 $b = -0.0176$, $r = 0.1480$,其线性变化不明显,呈微弱推迟趋势。利用 Cramer's 法进行突变检验(图 5)。为提高计算结果的可靠性,经过反复调试子序列长度,最后确定子序列长度 $n = 8$ 。分析结果表明突变年发生在 1983 年,其统计值为 -3.04 ,通过了 0.01 的显著性检验。

在 1983 年前,年最大洪峰出现日期呈推后趋势,其出现日期平均推后 3.8 d/a,而在 1983 年后出现日期平均提前 7.9 d/a,突变后出现日期提前速度明显快于突变前推后的速度。

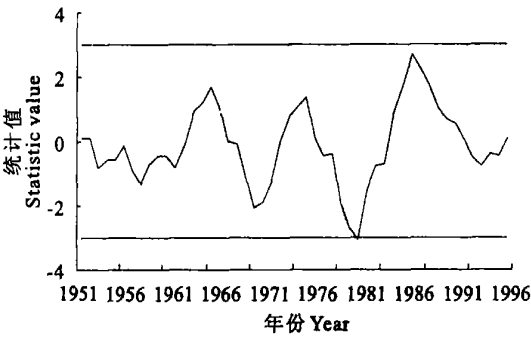


图 5 黑河年最大洪峰出现日期的 Cramer 曲线
Fig.5 Cramer curve of date appears in the annual maximum flood peak of Heihe River

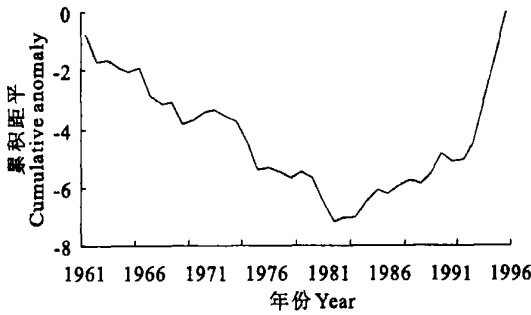


图 6 黑河上游年平均气温累积距平
Fig.6 Cumulative anomaly of annual average temperature of Heihe River's upside

从图 6 累积距平曲线可以非常直观地看出黑河上游气温近 40 年来的波动情况。从 60 年代初至 80 年代初中期(1984 年),黑河上游气温呈下降趋势,之后开始上升,上升趋势至今未减。因此,可以认为黑河上游的气温突变发生在 1984 年。也就是说黑河年最大洪峰出现日期与黑河上游气温的突变期基本上是同时发生的。全球增温始于 80 年代初,中国增温始于 80 年代中期^[12,13]。黑河年最大洪峰出现日期受黑河上游气候变暖的影响,其提前始期略早于中国平均增温始期(早 2 年)。说明黑河年最大洪峰出现时间与气候变暖有密切的关系。

将最大洪峰出现时间和祁连年平均气温计算距平值,以此分析洪峰出现时间与黑河上游气温的关系。从图 7 可以看出,1961~2000 年黑河最大洪峰出现时间与祁连年平均气温的变化趋势基本一致,其相关系数为 0.364 7,达到 98%的置信水平。这

表明,黑河上游气温较高时,黑河年最大洪峰出现时间较早;而气温较低时,黑河年最大洪峰出现时间相对较晚。这一结果很好地反映了黑河年最大洪峰对气候变暖的响应程度。

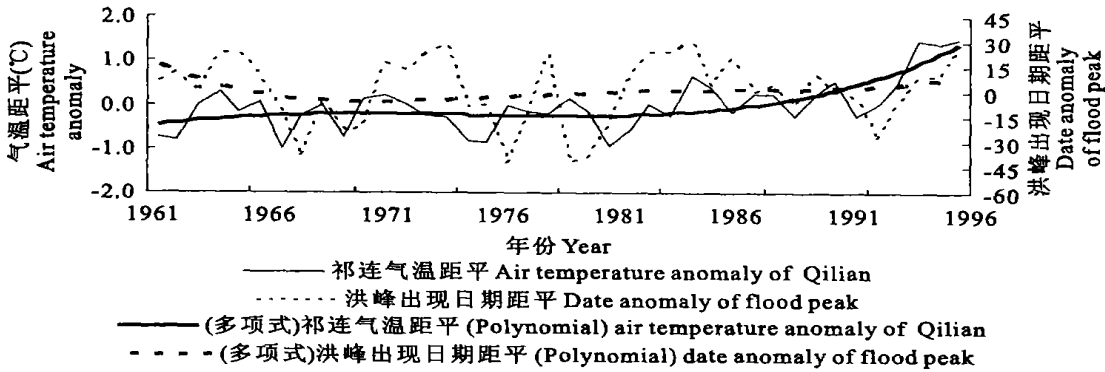


图 7 黑河年最大洪峰与上游气温的变化
Fig. 7 The change of annual maximum flood peak of Heihe River and temperature of its upside

5 小 结

从上面的资料分析中可以初步得到以下结论:

1) 黑河年最大洪峰出现时间的变化呈现波动性,其突变年在 1983 年前后,突变前年最大洪峰时间是推迟的,突变后则明显提前。突变时间比全球增温始期略迟,比中国增温始期早 2 a,说明黑河年最大洪峰出现时间与气候变暖关系密切,随着全球气候变暖,黑河年最大洪峰出现时间存在提前的趋势。

2) 黑河年最大洪峰出现时间与黑河上游年平均气温的变化趋势比较一致。黑河上游年平均气温越高,则对应年最大洪峰出现时间较早;反之亦然。

3) 黑河年最大洪峰流量的线性趋势变化不显著,其时间演变呈现波动性,存在准 3 年和准 11 年的变化周期,其突变在 1973 年前后。

4) 黑河年最大洪峰流量与洪峰出现日前三天黑河上游的降水多少有十分密切的关系。这三天的降水多,相应洪峰流量也大。

5) 黑河年最大洪峰流量与年平均流量的历史演变趋势具有很好的相似性。

参 考 文 献:

[1] 李栋梁,冯建英,陈 雷,等.黑河流量和祁连山气候的年代际变化[J].高原气象,2003,22(2):104—110.

[2] 付有智,曹 玲.黑河流域气候特征及降雨量分析[J].甘肃气象,2002,20(1):8—10.

[3] 李栋梁,刘洪兰.黑河流量对祁连山气候年代际变化的影响[J].中国沙漠,2004,24(4):385—391.

[4] 丁永建,叶伯生,周文娟.黑河流域过去 40 年来降水分布特征[J].冰川冻土,1999,21(3):43—48.

[5] 张济世,康尔泗,姚进忠,等.黑河流域水资源生态环境安全问题研究[J].中国沙漠,2004,24(4):425—430.

[6] 肖生春,宋耀选.2000 年来黑河中下游水土资源利用与下游环境演变[J].中国沙漠,2004,24(4):405—408.

[7] 赵资乐,陈得源.黑河莺落峡站年径流特征及丰、枯划分初探[J].甘肃水利水电技术,2003,39(3):190—192.

[8] 曹 玲,窦永祥.黑河流域降水的时空特征及预报方法[J].干旱气象,2005,23(2):35—38.

[9] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].北京:气象出版社,1999.42—106.

[10] 宋连春,张存杰.20 世纪西北地区降水量变化特征[J].冰川冻土,2003,25(2):143—148.

[11] 陶向新,李秀芳,王洪岩,等.应用灰色关联度法划定冬麦北移气候区[J].沈阳农业大学学报,1999,29(6):591—594.

[12] 林 纾,陆登荣.近 40 年来甘肃省降水的变化特征[J].高原气象,2004,23(6):898—903.

[13] 曹 玲,张德玉,窦永祥.气候变化对黑河流域生态环境的影响[J].干旱气象,2003,21(4):45—49.

Flood peak change of Heihe river and its response to global climate warming

CAO Ling^{1,2}, DONG An-xiang¹, DOU Yong-xiang³, NIU Jin-long³

(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorological, China Meteorological Administration; Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster in Gansu Province; Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction in CMA, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Wuwei Meteorological Bureau, Wuwei, Gansu 733000, China; 3. Zhangye Meteorological Bureau, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: Based on the data of Heihe River's annual maximum flood peak, precipitation and temperature in upper and middle side of Heihe, using linear tendency estimation, power spectrum, slip t-examine, Cramer's

and relevant statistics, Heihe River's annual maximum flood peak flow, its appear time characteristic, and causes were analyzed. The result shows that the time evolution of annual maximum flood peak flow of Heihe is not stable, its sudden change year is in 1983. The change is in accordance with the temperature change of Heihe upper reach. The appearing time of annual maximum flood peak flow is postponed before the sudden change, and obviously ahead after the sudden change. The relation of the appearing time of Heihe's annual maximum flood peak and climate warming is close. Along with global climate warming, Heihe's annual maximum flood peak tends to appear ahead. The time evolution of Heihe's annual maximum flood peak flow is characterized by undulation with about a 3 years and 11 years period, its sudden change is around 1973. The maximum flood peak flow is correlated with the precipitation of Heihe's upside 3 days before flood peak appearing. The development tendency of annual maximum flood peak and annual average flow is similar.

Keywords: Heihe; maximum flood peak; change characteristic; climate changes warm

(上接第 229 页)

[5] 陈亚宁,徐宗学.全球气候变化对新疆塔里木河流域水资源的可能性影响[J].中国科学D辑地球科学,2004,34(11):1047—1053.

[6] 郭志梅,缪启龙,李雄.中国北方地区近50年来气温变化特征及其突变性[J].干旱区地理,2005,28(2):176—182.

[7] Xu Z X, Chen Y N, Li J Y. Impact of climate change on water resources in the Tarim River basin[J]. Water Resources Management, 2004, 18(5): 439—458.

[8] 马金珠,朱中华,于保静.石羊河流域水环境演化与水资源可持续利用[M].兰州:兰州大学出版社,2005.

[9] Ma J Z, Wang X S, Edmunds W M. The characteristics of groundwater resources and their changes under the impacts of human activity in the arid northwest China—a case study of the Shiyang River Basin[J]. Journal of Arid Environment, 2005, 61: 277—295.

Analysis on variation characteristics of temperature in Minqin during recent 50 years

ZHANG Bao-jun¹, MA Jin-zhu², ZHAO Xin¹, HUANG Tian-ming¹

(1. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Based on the temperature data in Minqin from 1956 to 2000, this paper analyses the inter-annual temperature variation trend for 45 years and their seasonal differences using non-parametrical method. The results indicate: (1) the annual average temperature in Minqin has been ascending since 1960s. The minimum of annual average temperature which was 6.5℃ emerged in 1967, and then the temperature went up unevenly. The temperature in 1990s was 1.2℃ higher than that in 1960s. (2) There were seasonal differences on variation of temperature. The temperature in Spring, Autumn and Winter was ascending and their temperature increases were significant at 0.05 level. The temperature contribution was large in winter, and then followed by autumn and spring. The contribution of summer to annual average temperature was the minimum; the reason was probably that the ascending temperature was counteracted by the much rainfall; more reasons were still to be discussed in the future. In addition, we also briefly analyze the reason of air temperature change in Minqin.

Keywords: air temperature change; method of mann-kendall; Minqin