

(12) 20-22

●应用气象

气候变化对黄河上游水文的影响

王国庆¹, 史忠海²

(1. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230009; 2. 郑州市环境保护局, 河南 郑州 450005)

摘 要: 利用月水量平衡模型, 采取假定的气候方案, 分析了黄河上游水文对气候变化的响应。结果表明: 降水变化对上游水文影响较大, 气温影响相对较小, 在气温不变、降水减少 10% 的情况下, 年径流量和土壤含水量分别减少 12% 和 6.9%, 若降水不变、气温升高 1℃ 时, 则二者将分别减少 4.3% 和 5.1% 左右; 汛期径流量和土壤含水量对气候变化的响应较非汛期强烈。

关键词: 黄河上游; 气候变化; 径流量; 土壤含水量

中图分类号: P467; P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-6372(2000)04-0020-03

大气中不断增加的温室气体将引起全球性的气候变化, 进而加剧某些地区的洪涝和干旱灾害, 对水文循环等方面产生重要影响, 气候变暖问题愈来愈引起人们的关注。研究水文对气候变化的响应, 对水资源的长远开发利用、缓解水资源的供需矛盾及促进区域经济发展等方面具有重要意义。目前常利用气候模型与流域水文模型相耦合的途径来评价气候变化对流域水文的影响^[1]。本文应用月水量平衡模型, 采用假定的气候方案, 分析了黄河上游水文对气候变化的响应。

1 流域水文、气候概况

黄河上游地处青藏高原, 南界巴颜喀拉山脉, 北临柴达木盆地, 西界昆仑山脉, 东依黄土高原, 属高寒草原地貌; 兰州站

以上全长 2119 km, 集水面积约 22 万 km², 不到黄河流域面积的 30%; 平均海拔高度 4000 m 以上, 多年平均气温 -2.5℃。由于地势高、气温低, 因此流域内积雪时间较长, 并且部分地区常年积雪, 冰川地貌发育。

受印度洋暖湿气流影响, 兰州以上降水量相对较大, 平均年降水量约 500 mm, 是黄河流域较湿的地区, 其中汛期降水量约占年总量的 60%; 流域径流源于降水, 由于气候相对湿润, 加上植被条件较好, 区域径流充沛, 年径流深 140 mm 以上, 平均年径流系数为 0.32, 是黄河流域较大的地区; 兰州站平均年径流量为 336 亿 m³, 占黄河流域总径流量的 50% 以上, 是黄河水量的主要来源区; 冬春季节降水多以降雪形式出现, 气温升高对冰雪融水影响显著, 年内融雪径流占年径流量相当大的比重, 约为 20%。

2 月水量平衡模型

针对黄河上游的产流特点, 根据水平衡原理, 建立了月水量平衡模型。模型中考虑了地面径流、地下径流和融雪径

收稿日期: 2000-05-23

基金项目: 国家重点研究项目 (G1999043400) 和黄河防汛基金项目 (98H03)

作者简介: 王国庆 (1971-), 男, 山东菏泽人, 在读硕士, 工程师, 研究方向为气候异常对水文及水资源的影响

全省气温的变化存在着准周期性振动, 2~3 年和 6~8 年的周期最明显且最普遍。

参考文献:

[1] 程炳岩. 河南气候概论 [M]. 北京: 气象出版社, 1995. 24-31.

[2] 吴忠祥, 张季梅. 郑州温度序列的延长及规律分析 [J]. 气象, 1995, 11(6): 19-21.

[3] 刘军臣, 程炳岩. 河南暖冬气候特征及其影响评估 [J]. 河南气象, 1998, (1): 26-27.

[4] 陈建铭, 苗冬. 冷暖等级划分指标 [J]. 河南气象, 1997, (4): 26.

Diagnosis on Different Air Temperature in HENAN during the Recent 50 Years

CHEN Hui, LI Jian-shan

(Henan Climate Centre, Zhengzhou Henan 450003)

Abstract: Making use of the Regression and Difference Correction methods, temperature series are lengthened on Xuchang, Shangqiu and so on. The different level of air temperature is diagnosed and classified. The periodicity of air temperature variations is analyzed by using the Maximum Entropy Spectrum analysis.

Key words: Climate; Different Air Temperature; Diagnosis

流3种水源。与众多的水文模型相比,该模型具有结构简单、参数少易于率定、适用气象条件范围广等优点;模型要求输入流域逐月降水量、蒸发能力和气温资料,可输出计算径流量和土壤含水量过程。其控制方程^[2,3]为:

$$S_t = S_{t-1} + P_t - E_t - R_t$$

$$R_t = R_S + R_{SN} + R_{Gt}$$

$$E_t = E_w \cdot (S_{t-1} / S_{\max})$$

$$R_S = k_s \cdot (S_{t-1} / S_{\max}) P_t$$

$$R_{SN} = k_{sn} \cdot e^{(t-4)^2} SN_t$$

$$R_{Gt} = k_g \cdot S_{t-1}$$

式中, S_t 、 S_{t-1} 分别为本月和上月土壤蓄水量; P_t 、 E_t 和 R_t 分别为月降水量、蒸发量和计算径流量; R_S 、 R_{Gt} 和 R_{SN} 分别为地面径流、地下径流和融雪径流; E_w 为蒸发能力, 常以 E_{60} 蒸发皿观测值代替或根据气象资料计算; SN_t 为月内积雪量, 可根据月降水量和月气温值线性估算^[3]; t_i 为月均气温; $S_{\max}$ 、 k_s 、 k_g 和 k_{sn} 为模型参数, 与流域下垫面及气候条件有关。

土壤含水量是表征流域状态的变量, 在模型运行中, 先给出流域初始状态值 S_0 , 再计算3种水源, 然后根据水量平衡推算本时段末状态值用于下一步计算, 一般取最大土壤含水量 $S_{\max}$ 的一半作为初始值。为消除这种人为因素的影响, 可取资料的前两年作为预热期, 用后面的资料来率定参数。为检验模型对某流域的适应性, 一般要预留3~5年资料进行模型检验, 只有在率定期和检验期模拟精度都满足要求的情况下, 才认为模型合格。

输入兰州站以上逐月降水量、蒸发能力和气温资料, 利用1958~1989年的资料, 以兰州站实测径流量为校核目标, 选Nash模型效率 R^2 和相对误差 R_e 为目标函数^[4], 率定模型参数, 用1990~1995年的资料检验模型的适用性。 R^2 和 R_e 计算公式为:

$$R^2 = 1 - [\sum_{i=1}^n (q_n - q_a)^2 / \sum_{i=1}^n (q_n - \bar{q}_n)^2]$$

$$R_e = \sum_{i=1}^n (q_a - q_n) / \sum_{i=1}^n q_n$$

式中, q_n 为实测径流量, q_a 为计算径流量, $\bar{q}_n$ 为实测径流量的平均值, n 为样本数目。

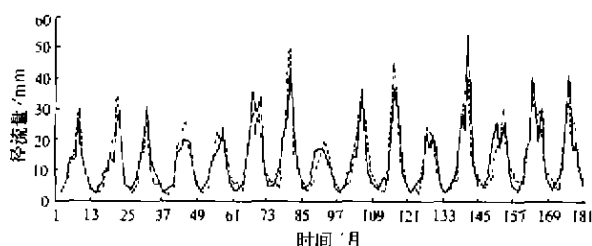


图1 黄河兰州站逐月实测与计算径流量过程比较

实线为实测值, 虚线为计算值; 横坐标标值“1”表示1961年1月, “13”为13个月后的1962年1月, 余类推

R^2 越接近1, 同时 R_e 越接近0, 说明模拟效果越好。计算结果表明, 率定期和检验期模型效率系数分别为75.6%和72.4%, 相对误差均在4%以内。为便于直观比较, 点绘兰州

河南气象 2000年第4期

站1981~1995年实测与计算逐月径流量过程(图1)。由图1可看出, 径流量实测值与计算值拟合状况良好, 说明模型对兰州站径流量过程具有较好的动态模拟效果, 可用来分析气候变化对区域水文的影响。

3 气候变化对黄河上游水文的影响

3.1 气温变化对蒸发能力的影响

蒸发是水文循环、水量转化中的一个关键环节。由于水文模型要求输入流域蒸发能力, 而目前气候模型仅可给出气温和降水变幅, 因此, 分析气温变化对蒸发能力的影响是研究气候变化对流域水文影响的一项重要内容。统计表明, 兰州以上气温与蒸发能力间具有较好的指数关系。蒸发能力与气温间的指数型统计模型为:

$$E_w = e^{[4.4 - 1 + 0.054t]} \quad (n=240, R=0.92)$$

式中, E_w 为蒸发能力, t 为气温, n 为样本数, r 为相关系数。

由上式可估算气温变化对蒸发能力的影响。估算结果表明, 气温升高1℃、2℃时, 流域蒸发能力将分别增加5.51%和11.33%。

3.2 气候变化对上游水文的影响

全球气候模型(GCMs)可估算未来几十年各气候网格内的气候变化状况。尽管各气候模型的输出结果存在差异, 但其总趋势一致表明: 未来几十年内, 黄河上游平均气温约增加1.5℃, 降水有不同程度的增减^[5]。鉴于气候模型输出结果的不确定性, 故采用假定气候方案分析区域水文对气候变化的敏感性。根据黄河流域未来气候的可能变化及敏感性分析的需要, 假定的气候方案为: 降水变化为±20%、±10%和不变, 同时气温保持不变及变化±1℃、±2℃共25种组合。

径流量是衡量流域产流条件好坏的重要水文变量, 同时, 鉴于土壤含水量对区域环境、流域产汇流状况及农业生产力等方面具有重要影响, 故选择径流量和土壤含水量为分析的水文变量, 研究气候变化对二者的影响。

假定气候变化不改变气候因子的时空分布, 并且未来重现降水、气温和蒸发缩放后的序列, 利用月水量平衡模型计算了各气候情景下径流量和土壤含水量的变化(附表)。

附表 黄河上游水文在不同气候情景下的变率

降水量 变化/%	年径流量变化/%					土壤含水量变化/%				
	-2℃	-1℃	0℃	1℃	2℃	-2℃	-1℃	0℃	1℃	2℃
-20	-15.6	-19.7	-23.4	-26.8	-29.8	-4.6	-9.6	-14.1	-18.1	-21.5
-10	-3.1	-7.8	-12	-15.9	-19.3	3.8	-1.9	-6.9	-11.5	-15.4
0	10.1	4.8	0.0	-4.3	-8.2	12.1	5.6	0.0	-5.1	-9.4
10	23.7	17.8	12.5	7.7	3.4	20	13	6.8	1.2	-3.7
20	37.8	31.3	25.5	20.2	15.4	27.7	20.1	13.3	7.3	1.8

由附表可以看出: ①径流量和土壤含水量随降水的增加而增大, 随气温的升高而减小; ②径流量对降水变化的响应较土壤含水量更为显著, 而土壤含水量对气温变化的响应比径流量敏感; ③降水变化对径流量和土壤含水量的影响比气温变化的影响显著, 在气温不变, 降水减少10%时, 二者分别减少12%和6.9%, 而在降水不变, 气温升高1℃的情况下, 径流和土壤含水量分别减少4.3%和5.1%; ④气温对径流和土壤含水量的影响随降水增加而更为明显, 对径流的影响随降

水减少愈不显著,如在降水增加 20%、气温升高 1℃ 时,径流量和土壤含水量分别减少 5.3% 和 6.0%,而在降水减少 20%、气温升高 1℃ 时,径流量和土壤含水量分别减少 3.4% 和 4.0%;⑤在 25 种假定气候情景中,最为不利的是气温升高 2℃、降水减少 20%,在这种情况下,径流量和土壤含水量将分别减少 29.8% 和 21.5%。

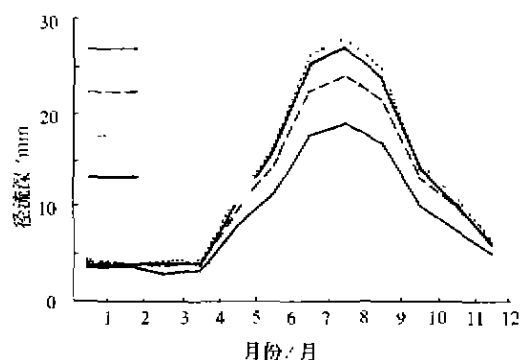


图 2 兰州站径流量年内分配过程

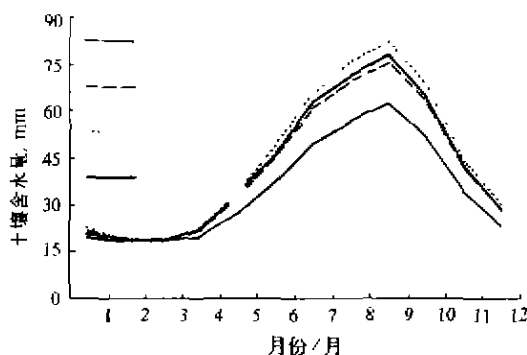


图 3 土壤含水量年内分配过程

图 2 和图 3 绘出了径流量和土壤含水量模拟值及其它 3 种暖干气候情景下的年内分配过程。由于汛期地面径流发育,土壤含水量可得到有效补充,因此径流和土壤含水量较大。由图 2、3 可看出,气温升高和降水减少对汛期径流量和土壤含水量影响显著。在非汛期,尤其是 11~3 月份,气温

低,降水少且多呈雪、雹形式,土壤含水量得不到有效补充,接近无水可供蒸发的枯萎含水量状态,地下径流为该时期径流主要成分,土壤含水量和径流均较小且受暖干气候变化的影响甚微。统计表明,气温升高 2℃、降水减少 20% 时,1~3 月份和 7~9 月份土壤含水量约分别减少 3.5 和 55.2 mm,相应时期的径流量分别减少 2.6 和 25.1 mm 左右。

4 结 语

①利用水文模拟途径,分析了黄河上游径流和土壤含水量对气候变化的响应。结果表明,径流较土壤含水量对气候变化敏感,降水变化对径流量和土壤含水量的影响比气温变化影响显著,汛期径流量和土壤含水量对气候变化的响应比非汛期强烈。

②全球变暖是当今世界面临的重大环境问题,限于资料及科技水平,目前很难精确给出未来的气候变化前景。黄河流域水资源匮乏,兰州以上是黄河水量的主要来源区,根据气候变化的可能趋势,分析气候变化对兰州站水文的影响,对黄河流域水资源的开发利用和合理调配及下游防洪抗旱等方面具有重要意义。

参考文献:

- [1] Schultz, G. A., M. Hornbogen, P. Viterbo & J. Noulhan. Coupling large scale hydrological and atmospheric models[M]. IAHS Special Publications 1995. 30-60
- [2] D. Conway. A water balance model for the upper blue Nile in Ethiopia[J]. Hydrological sciences Journal, 1997, 42(2):265-286
- [3] 王国庆,张建中.融雪径流模型及其在唐乃亥站的应用[J]. 西北水资源与水工程,1997,(2):60-64
- [4] 赵人俊.流域水文模拟[M]. 北京:水利电力出版社,1981. 120-140.
- [5] Houghton J. T., Jenkins G. J., Ephraums J. J., ed. Climate Change—the IPCC scientific assessment[M]. Cambridge: Cambridge University press, 1990. 76-97.

Impacts of Climate Change on Hydrology in Upper Reaches of the Yellow River

WANG Guo-qing¹, SHI Zhong-hai²

(1. Hefei University of Technology, Hefei Anhui 230009; 2. Zhengzhou Bureau of Environment Protection, Zhengzhou Henan 450005)

Abstract: The responses of hydrology in upper reaches of the Yellow River to climate changes were studied with hypothetical scenarios using monthly water balance model. The results show that runoff and soil moisture is more sensitive to precipitation change than that to temperature change. Temperature increases 1℃, runoff and soil moisture only decrease 4.3% and 5%. While precipitation changes 10%, their changes are about 12% and 6.9% respectively. Under temperature increasing 2℃, precipitation decreasing 20% scenario, Runoff and soil moisture in flood period decrease obviously, and that in drought period change slightly.

Key words: The upper reaches of the Yellow River; Climate change; runoff; soil moisture