

气候变化对我国水文水资源的可能影响*

刘 春 蓁

(水利部水利信息中心 北京 100761)

摘 要 以平衡的 GCM 模型输出作为大气中 CO₂ 浓度倍增时的气候情景, 采用月水量平衡模型及水资源利用综合评价模型研究我国部分流域年、月径流、蒸发的可能变化及 2030 年水资源供需差额变化。结果表明淮河及其以北气候变化的影响最为显著, 各流域水量的增多或减少主要由汛期径流及蒸发的增减决定。在未来气候条件下, 黄、淮、海三个流域水资源短缺可能进一步加剧。

关键词 气候变化 水文循环 水文水资源 水资源供需平衡

分类号 P339; TV211.11; TV211.12

目前, 国际社会关于气候变化对水文水资源影响主要是采用大气环流模型 (GCM) 输出的气候变化情景输入流域水文模型及水资源评价模型的单向的 if-then-what 方法^[1]。对水文循环的影响多限于年径流研究^[2]。对侧支循环影响主要是少数发达国家对水资源管理及水环境质量的研究^[2]。针对我国季风气候的特点及社会经济处于不断发展的具体情况, 主要研究以下两个问题:

- (1) 气候变化对年径流空间分布及月径流年内分配的影响;
- (2) 在对未来工农业发展和人口增长对水资源需求的预测基础上, 给出气候变化对水资源供需平衡以及洪涝干旱的影响。

1 研究方法

1.1 研究流域的选择

根据不同的自然条件及社会经济发展特点自南向北选择了七个代表性流域及地区: 珠江流域内负担向香港、深圳供水的东江; 长江流域内向北方输水的汉江; 地处南北气候过渡带的淮河 (蚌埠以上); 向西北、华北提供水源的黄河上中游; 我国缺水最严重的海滦河流域和京津唐地区, 以及工农业生产发达、水资源利用率较高的辽河、松花江。这些流域的水文气候特征见表 1。

1.2 气候情景的选择

气候情景的选择方式有两种: 一为假想的气候变化情景, 一为大气环流模型 (GCM) 提供的大气中 CO₂ 浓度加倍时的气候情景。可供选择的 GCMs 模型有两类: 一为平衡模型, 另

* 本文于 1996 年 4 月 29 日收到, 1996 年 7 月 25 日收到修改稿。

* “八五”国家重点科技攻关 (85-03-03) 研究成果。

表1 研究流域水文气候特征

Table 1. Hydrology and climate characteristics of the study areas

流域	站名	纬度	经度	面积 (km^2)	年降水 p (mm)	年径流 R (mm)	年蒸发能力 E_p (mm)	径流系数 α	干旱指数 k
东江	博罗	23.2	114.3	35000	1687.5	947.9	1163.0	0.56	0.68
汉江	丹江口	32.5	111.5	95000	900.0	405.0	970	0.45	1.08
淮河	蚌埠	33.0	117.3	120000	913.0	237.4	832	0.26	0.91
黄河 ()	贵德以上	32 ~ 36	96 ~ 103	12.2000	547.7	167.7	895.1	0.31	1.63
()	贵德-兰州	34 ~ 38	99 ~ 104	10.0600	508.4	141.3	733.8	0.27	1.44
()	河口-龙门	35.5 ~ 40	108 ~ 113	15.0300	455.7	53.3	989.4	0.12	2.17
()	龙门-花园口	34 ~ 37	104 ~ 114	19.3800	584.6	88.1	890.5	0.15	1.52
京津唐		39.2 ~ 40	116 ~ 118	4.1237	507.7	82.5	969.7	0.16	1.97
官厅	官厅	40.2	115.6	4.3402	418.0	49.5	1075	0.12	2.57
辽河		40.3 ~ 45	117 ~ 125	21.9600	475.0	61.2	945	0.13	1.99
松花江		42 ~ 48	120 ~ 135	55.6800	530.0	132	750	0.25	1.42

一为瞬变模型。瞬变的 GCMs 模型给出的中国地区的气候情景变幅较大, 不同模型给出的结果相差悬殊。考虑到用历史资料优化率定的水文模型参数很难外延至变幅较大的未来气候条件, 故采用了赵宗慈^[3]提供的七个平衡 GCMs 输出值作为未来气候情景值。

1.3 模型的研制

当 GCMs 气候情景值确定后, 需通过以下 3 种模型的互相连接方可得到未来气候条件下流域的天然径流及水资源供需差额:

(1) 随机天气模型 是 GCM 模型与流域水文模型间的接口, 它将 GCMs 在大尺度格点 ($5^\circ \times 5^\circ$) 上年季平均的气候情景值向下标度成流域水文模型要求的中尺度空间与月、日、时间上的输入值。共研制了三种随机天气模型: 即分级随机典型分布模型^[4], 正交变换随机模型^[5]及基于模式识别和灰关联聚类的随机模型^[6]。

(2) 流域水文模型 研究气候变化影响问题通常皆采用概念性水文模型, 本文水量平衡模型及新安江模型为主要工具。为了使 GCMs 输出的降水变率 ($\Delta P/P$) 及气温变化 (Δt) 转化为对水文的影响, 对两模型进行了以下的修正:

①在模型中引入人类活动影响因子, 对实测径流系列进行调整以达到还原效果^[7]; ②加入积雪融雪径流计算; ③用气候学计算蒸发能力的方法取代水文模型中蒸发皿 E_{601} 的观测值^[8]; ④在半干旱地区引进对超渗产流的估算^[9]; ⑤研究水文模型参数的地区分布规律。

(3) 水资源利用综合评价模型^[10] 这是一个将气候变化对天然径流的影响通过一个流域或一个地区的供水系统、供水工程和各用水分区、用水部门等转化成对供水及需水影响的模型, 它由下列子模型组成:

①用水分区供需水平衡模型 这是一个用水分区的全部用水量 (工、农、生活用水) 与全部供水量间的水量平衡模型, 全部供水量包括大中型水库群供水、利用当地径流的小型水库及塘坝等工程供水量、地下水开采供水量、污水回用量和海水利用量以及从流域外的引水量。

②水库群调度模型 水库群供水是地表水供水主要部分。水库群调度模型是整个模型的核心, 它由水库调度规则及水库调度数学模型两部分组成。其总目标是尽可能地利用来水, 尽量减少无益弃水, 并兼顾生活、工业和农业供水的不同保证程度的要求。

③地下水均衡模型 这是浅层地下含水层的水量平衡方程。地下水补给量包括降水入渗、渠系入渗、田间回归、河道补给及山前侧渗补给等项。地下水排泄量包括潜水蒸发量和地下水开采量。地下水蓄水量的变化表现为地下水水位的变化。

④农田土壤水平衡模型 在该模型中, 来水量为降水量、灌溉水量及潜水蒸发量, 排水量为地表径流量、地下水入渗补给量、农田实际蒸散发量。来水量与排水量之差导致土壤耕作层内土壤水的变化。分别考虑了无灌及有灌两种情况。

2 气候变化对天然径流影响

2.1 天然年径流变化

(1) 四个 GCMs 情景下七个流域天然年径流变化形式有以下三种。全国主要江河年径流皆减少 (LLNL); 北方径流增加, 南方径流减少 (GISS 及 UKMOH); 北方径流减少, 南方径流增加 (OSU)。

(2) 气候变化导致年径流变幅最大的地区为淮河及其以北。年径流减幅最大者为海滦河流域的京津唐地区 (-16%) 及淮河 (-15%)。年径流增幅最大者为辽河 (17%), 黄河上游 (15%) 及松花江 (12%), 长江及其以南变幅较小, 为 -8% ~ +8%。

(3) 黄河主要产沙区——河口龙门区间沙量的增减决定于汛期降雨量: 雨多 (少)、水多 (少)、沙多 (少)。然而当降雨增幅小, 气温升幅大时, 可出现沙量加大, 径流减少。对七个 GCMs 模拟进行平均, 黄河年径减少 2.13%, 年产沙量增加 4.6%。

2.2 天然径流年内分配变化

在季风气候影响下, 各流域汛期径流占年径流的 70% 以上。当气候年变化值相同, 其年内分配不同时, 径流对它们的响应是不同的。仅以 LLNL 及 OSU 或 UKMOH 两个气候情景为例, 给出部分流域径流及水文模型输出的陆面蒸发年内变化的研究成果 (见图 1)。

图中 dP 、 dE 及 dR 分别为降水、蒸发及径流的相对变化 (%); dT 为温度的增幅 ()。

(1) 对于湿润及半湿润气候区的东江、汉江、淮河、黄河上中游、无论降水增加或减少, 气温的升高皆导致陆面蒸发量的加大, 属于半干旱气候区的黄河河口—龙门区间 (区), 陆面蒸发的增减主要由降水的增减决定。在 LLNL 情景下, 虽然夏季气温升高 1.6, 由于降水量减少 5%, 蒸发量减少 2%。在 OSU 情景下, 夏季降水量增加 2.4%, 蒸发量亦增加。

(2) 在 OSU 情景下, 东江径流的增加发生在春、夏及初秋, 月增量为 8% ~ 10%; 淮河径流增加发生在 6 月至 8 月, 增幅为 8% ~ 9%, 黄河、区秋季径流增加, 区春、夏、秋三季径流皆增加。在 UKMOH 情景下, 京津唐地区径流的增加亦发生在 5 月至 8 月。

(3) 在 LLNL 情景下, 淮河流域 6 月、7 月、8 月 3 个月径流量减少, 减幅为 16% ~ 19%, 海滦河流域春、夏、秋三季径流皆减少, 减幅为 14% ~ 19%, 尤以 8 月减幅最大。黄河除区秋、冬季径流增加外, 其它三区逐月径流皆减少。

(4) 径流减幅较大的月份发生在气温升高降水减少的情景下, 这时径流的减幅可达降雨减幅的 4 倍以上。相反, 当径流增幅发生在气温升高, 降水增加的情景下, 径流的增幅与降水的增幅基本一致。

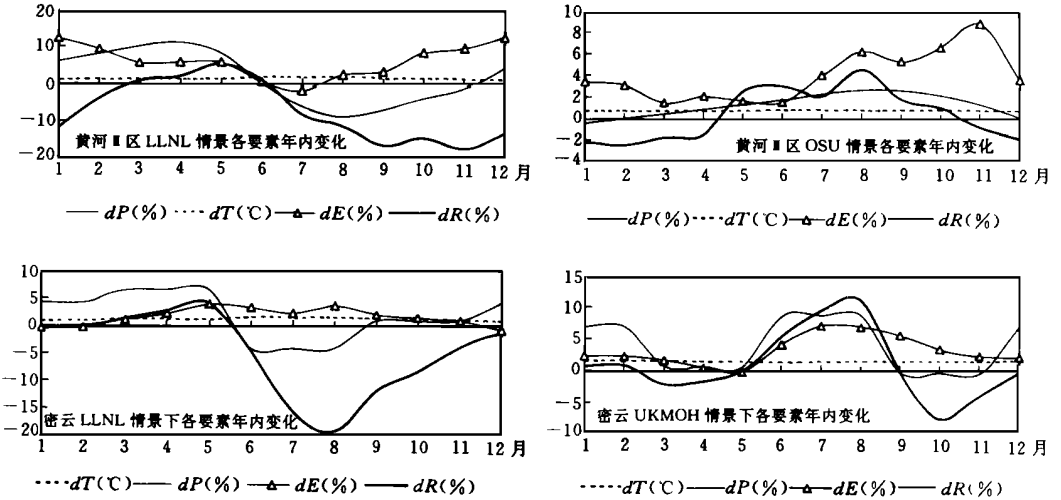


图1 部分流域不同气候情景下的水文要素年内变化

Fig. 1. Monthly variation of hydrological elements in some river basins under different climatic scenario

2.3 流域水文情势变化

以流域的径流系数 $a (R/P)$ 及干旱指数 $k (Ep/P)$ 作为判别流域水文水资源情势的指标, 将流域现实气候条件下的 a 、 k 及四种 GCMs 气候变化情景下的 a 、 k 点绘于图 2。从该图可以看到:

(1) 偏离现状较大的水文情势有两种, 一种为径流系数减少, 干旱指数加大, 流域进一步变干。另一种为径流系数增加, 干旱指数减小, 流域进一步变湿。

(2) 引起上述水文情势变化的气候情景变化范围分别对应为 $\Delta P/P$: $-2\% \sim 0\%$; ΔT : $1 \sim 1.4$ 及 $\Delta P/P$: $+3\% \sim +8\%$; ΔT : $0.7 \sim 1.1$ 。

(3) 四种 GCMs 模型给出的未来气候变化幅度虽然可导致流域进一步变干或变湿, 但是都不可能使流域水文情势发生跨越气候带的变化。

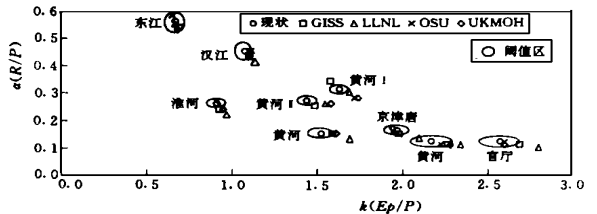


图2 四种气候情景下研究流域水文情势变化

Fig. 2. Change of hydrological regime in the studied river basins under 4 GCMs

3 气候变化对水资源供需平衡影响

根据我国水资源供需的主要特点, 对大部分流域将气候变化对供水系统的影响研究限于对地表径流、水库及水库群供水的影响, 而对需水的影响则限于对用水大户——农业灌溉用水量的影响。为了最终给出对水资源供需平衡的影响, 需对每个流域作六方面的研究: 用水、供水现状分析; 2030 年需水量预测; 2030 年可供水量预测; 气候不变条件下 2030 年水资源

供需分析; 气候变化条件下 2030 年水资源供需分析; 气候变化引起的缺水或多水。前 4 项研究主要参照过去中长期预测采用的方法及成果, 预测中采用的人口、工业产值、灌溉面积等国民经济计划指标主要依据国民经济长远发展规划拟定。第五项由本专题研制的水资源利用综合评价模型、流域水文模型, 在 GCMs 气候情景下模拟计算出。现将对部分流域模拟计算的气候变化对缺水量影响结果列于表 2。从表 2 可以看出:

表 2 气候变化对部分流域缺水量的影响

Table 2. Impact of climate change on water deficit in some basins

研究区域	保证率 (%)	缺水现状 $1 \times \text{CO}_2$	缺水量 ($2 \times \text{CO}_2$)				增加的缺水量 ($2 \times \text{CO}_2 - 1 \times \text{CO}_2$)			
			GISS	LLNL	UKMOH	OSU	GISS	LLNL	UKMOH	OSU
京津唐	50	15.3	20.5	25.9	13.7	5.2	10.6	-1.6		
	75	29.7	39.2	42.7	30.0	9.5	13.0	0.3		
	95	36.1	46.2	50.4	37.6	10.1	14.3	1.5		
淮 河	50	36.0	37.3	42.4	28.4	35.1	1.3	6.4	2.4	-0.9
	75	51.2	53.4	62.9	55.3	50.4	2.1	11.7	4.0	-0.8
	95	159.2	164.7	194.6	171.1	154.8	5.5	35.4	11.9	-4.4
黄 河	50	163.4	161.5	238.2	219.9	197.0	-1.9	74.8	56.5	33.6
	75	218.4	242.2	312.6	295.9	275.3	23.8	94.2	77.6	56.9
	95	271.7	330.5	392.9	278.2	360.5	58.8	121.2	106.5	88.8
东 江	50						6.7	1.6	1.7	-12.2
	75						7.3	1.7	149	-1.34
	95						10.9	2.6	2.8	-19.9

(1) 至 2030 年人口增长及社会经济发展引起由平水年-特枯水年的缺水量: 京津唐地区为 15.3~36.1 亿 m^3 , 淮河为 36.0~159.2 亿 m^3 , 黄河为 163.4~271.7 亿 m^3 , 东江不缺水。

(2) 至 2030 年在人口增长, 社会经济发展及四种 GCM 气候情景下由平水年-特枯水年的缺水量: 京津唐地区为 13.7~50.4 亿 m^3 , 淮河为 28.4~194.6 亿 m^3 , 黄河为 61.5~276.7 亿 m^3 。

(3) 至 2030 年完全由气候变化产生的缺水量由平水年-特枯水年: 京津唐地区为-1.6~14.3 亿 m^3 , 淮河为-4.4~35.4 亿 m^3 , 黄河为-1.9~121.2 亿 m^3 , 东江缺水量不明显, 多水量为 12.2~19.9 亿 m^3 。

(4) 气候变化产生的缺水量小于人口增长及经济发展引起的缺水量, 然而在中等干旱年及特枯水年气候变化引起的缺水量将大大加剧海滦河流域, 京津唐地区, 黄河流域及淮河流域的缺水并对社会经济产生严重影响。

5 结 论

(1) 在四种 GCMs 情景下, 松花江流域径流增加的可能性大, 辽河流域径流既可能增加, 也可能减少; 京津唐、黄河上中游及淮河流域年径减少可能性大; 汉江年径流变化不明显; 东江年径流增加较大。

(2) 研究的七个流域年径流的增加或减少主要发生在春、夏、秋三季, 尤以夏季最为显著, 这将对水库水量调节及防汛抗洪造成不利影响。

(3) 在四种 GCMs 情景下, 任一流域水文情势的变旱或变湿都没有超出本气候带的水文情势。

(4) 长远的国民经济发展规划应考虑气候变化可能进一步加剧黄、淮、海三个流域供需水的矛盾, 及缺水危机带来的不利影响。

参 考 文 献

- 1 Working Group of IPCC, Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adapting, 1994. 3~5
- 2 IPCC Second Assessment Report, Cambridge University Press, 1996. 325~365
- 3 Zhao Zongci, et. al. The Climatic Change Produced by GHG and their impact on China, CRU/WWF/SMA, 1992. 31~36
- 4 陈英, 刘新仁. 淮河流域降水-蒸发随机模型研究. 河海大学学报. 1996, 24 (3): 43~48
- 5 毛凤莲. 北京、天津等地气温、降水量历史资料诊断, 水科学进展, 1996, 7 (1): 37~41
- 6 Xia Jun, Grey system theory approach and preliminary application to downscaling component of weather generator, proc. of IGBP-BAHC Focus 4 Workshop, Karlsruhe, Germany, 1994, 72~124
- 7 刘新仁, 余晓珍. 人类活动及气候变化对水资源影响研究. 黑龙江水专学报. 1993, (4): 7~16
- 8 郭生练, 程肇芳. 流域蒸散发的气候学计算. 水文. 1994, (5): 16~22
- 9 郭生练, 王国庆. 半干旱地区月水量平衡模型. 人民黄河. 1994, (12): 13~16
- 10 王建生, 张世法, 黄国标. 气候变化对京津唐地区水资源影响与对策研究. 水科学进展. 1996, 7 (1): 26~36

Potential Impact of Climate Change on Hydrology and Water Resources in China

Liu Chunzhen

(Water Information Center MWR, Beijing 100761)

Abstract: Taking the output from GCMs as the climatic scenario and applying the monthly water balance model and water resources comprehensive assessment model, the impact of climate change on the annual and monthly runoff, evaporation as well as the water supply-demand deficit were studied. The results show that the most significant influence of climate change is located on the Huaihe River and northern part to it. The increase or decrease of annual runoff is determined by the variation of runoff during flood season. In future climatic condition, the water deficit will be enhanced in the Yellow, Huai and Hai River.

Key words: climate change; hydrological cycle; hydrology and water resources; water supply and demand balance.