

# 渭河流域地表水资源未来变化趋势分析

刘引鸽<sup>1</sup>, 郭叶红<sup>2</sup>, 卫旭东<sup>1</sup>, 宋军林

(1. 宝鸡文理学院 地理科学与环境工程系, 陕西 宝鸡 721007; 2. 陕西省艺术师范学校, 陕西 西安 710600)

**摘要:** 全球气候的暖干变化, 将会加剧水资源供需矛盾。在分析渭河流域降水及径流量时空分布基础上, 根据渭河产流和水平衡原理, 依据假定的未来不同气候变化情景, 采用模型模拟方法, 分析了渭河流域地表水资源量对气候变化的响应趋势。提出了该地区水资源合理利用方案。

**关键词:** 水资源; 估算模拟; 趋势分析

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2005)05—0081—04

中图分类号: TV213

## Surface Water Resources Variation Tendency in the Watershed of Weihe River

LIU Yin-ge<sup>1</sup>, GUO Ye-hong<sup>2</sup>, WEI Xu-dong<sup>1</sup>, SONG Jun-lin

(1. Department of Geography Sciences and Environmental Engineering, Baoji College of Arts and Sciences, Baoji 721007, Shaanxi Province, China; 2. Art Normal School of Shaanxi Province, Xi'an 710600, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** The global warming has intensified the contradiction between the water supply and demand. Based on the analysis of the characteristics of the precipitation and runoff in the watershed of Weihe river, an evaluation model was established which is used to simulate the surface flow and ground water runoff with the consideration of the runoff yielding and water balance. According to the different kinds of climate scenarios, the responses and variation of the water resources to climate change were analyzed. Based on the actual social, environment and economic development of this region, a reasonable proposal for water resources use is given.

**Keywords:** water resource; evaluation and simulation; tendency analysis

近几十年来,全球环境变化的速度和强度是人类历史上最快速的。大气中 CO<sub>2</sub> 和其它痕量温室气体浓度的增加,将改变地球表面的能量平衡,从而引起全球性气候变化,近年来西北地区气候也表现为暖干化趋势<sup>[1-4]</sup>。水资源是人类生存的必要条件,在很大程度上受气候变化制约,因此,气候变化不仅可以改变水资源的时空分布,而且对人类的生存环境构成威胁。结合气候变化分析水资源的变化趋势是水资源可持续利用的基础。

渭河是黄河的最大支流,位于我国西北黄土高原的东南地区,发源于甘肃省渭源县的鸟鼠山,于陕西潼关注入黄河,全长 818 km,包括甘肃、宁夏、陕西 3 省区 13 个地区 86 个县市,总流域面积 1.36 × 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup>,其中甘肃占 44%,宁夏占 6%,陕西占 50%。河源至宝鸡峡出口为上游,长 430 km,宝鸡峡至咸阳铁桥为中游,长 177 km,咸阳至潼关河口为下游,长 211 km。渭河流域属于干旱半干旱地区,水资源补给以降水为主,地表径流的分布受降水、地形、植被、土壤、地质及人类活动等多种因素的影响。渭河又处于黄

河中游,降水量的波动变化,就会引起全流域以及整个黄淮海平原的强烈社会经济反响。近些年来,渭河流域水量减少、断流以及连年洪灾的现象,不仅制约了沿渭河地区农业的发展和人民生活水平提高,也给西北地区生态环境工程建设带来了严峻挑战。因此,分析渭河流域水资源的可能变化趋势,对其合理开发利用及流域治理规划有重要意义。

渭河流域地貌复杂,水资源空间分布不均,根据流域特征及水文、气候特点将渭河流域分为 3 个区域:上游区,以天水地区为代表;中游区,以宝鸡地区为代表站;下游区,以西安地区为代表,来分析渭河流域水资源的变化趋势。

## 1 渭河流域地表水资源时空分布

受季风气候影响,渭河流域降水及径流年内分配不均。根据 1951—2000 年的水资源资料统计,给出月平均降水量时间变化(图 1),可以看出,7 月和 9 月是渭河流域 2 个最大降水量月份,渭河中游的宝鸡地区降水量最大,上游的天水地区降水量相对少。夏季

收稿日期:2005-07-28

资助项目:国家自然科学基金项目(40501077);陕西省教育厅重点项目(04JS39)

作者简介:刘引鸽(1965—),女(汉族),陕西兴平人,硕士,副教授,主要从事资源环境与灾害学方面研究。E-mail:Lyg2887@sohu.com。

与秋季降水量最多,占年降水量的 74.29%,冬季最少只占 3.36%,汛期(7—9月)降水占全年的70.1%。从月径流深时间变化(图 2)可以看出,渭河流域 3 个区域都以 9 月份为地表径流量最大值,7 月份为次大值,径流月变化与降水量月变化基本一致。7 月以后以中游宝鸡的地表径流量最大,上游的天水与下游的西安以 9 月份为界,以前天水的径流量较大,以后西安的径流量较大。这与渭河流域的天气系统变化及地形密切相关。冬季(12—翌年 2 月)是径流最为枯竭的季节,径流量不及全年的 1.0%。

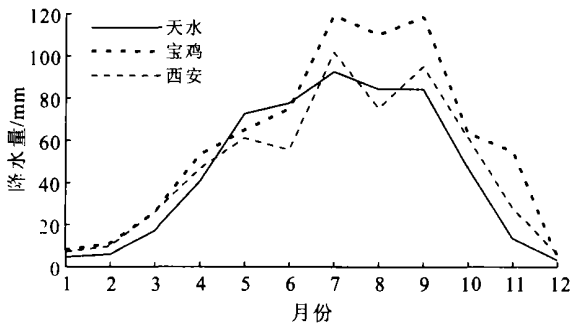


图 1 渭河流域不同区域月降水变化

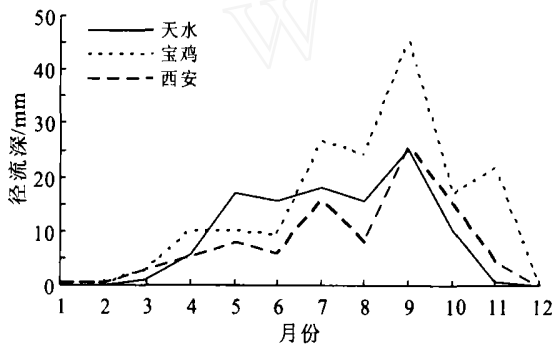


图 2 渭河不同区域月地表径流深变化

## 2 渭河流域水资源估算

### 2.1 水资源估算模型

区域水资源估算是一项十分复杂的工作,一般是根据陆面水量平衡原理,既要考虑地貌情况,还要对该区域的各种消耗水、外来水以及回归、渗漏水做详细调查计算,同时还要考虑地下水的埋藏深,显然有关的实测资料也难以取得。为此,我们结合渭河流域实际情况,根据水量平衡原理<sup>[5-7]</sup>,建立月水文估算模型,模型中考虑了地面径流、地下径流,且不考虑地下径流的汇流过程,因为地下径流出流时间上滞后计算时段。陆气间的水热交换,除受气候要素变化的影

响外,还受下垫面状况的影响,如地形、地貌、植被及土壤等,受下垫面状况影响最大的是流域土壤蓄水量变化项,为此,考虑了土壤蓄水量。

陆面的水量平衡方程为:

$$P = E + R + S - S_{t-1} \quad (1)$$

式中:  $P$ ——降水量;  $E$ ——蒸发量;  $S$ ——当月土壤蓄水量;  $S_{t-1}$ ——上月土壤蓄水量;  $R$ ——径流量。其中:

$$R = R_s + R_g \quad (2)$$

$$E = E_p \cdot \frac{S_{t-1}}{S_{\max}} \quad (3)$$

$$R_s = \alpha P \times \frac{S_{t-1}}{S_{\max}} \quad (4)$$

$$R_g = S_{t-1} + \beta P \quad (5)$$

式中:  $R_s$ ——地表径流;  $R_g$ ——地下径流量;  $\alpha$ ——地面径流系数;  $\beta$ ——入渗系数;  $S_{\max}$ ——土壤最大蓄水量;  $E_p$ ——蒸发能力,常用蒸发器皿观测值代替或根据气象资料计算,我们用高桥浩—朗方法计算<sup>[8]</sup>。土壤蓄水量  $S$  是表征流域状态的中间变量,计算时先给出初始值  $S_0$ ,由(2),(3),(4)计算其响应值,然后据水量平衡原理依次叠代下一时段的  $S_{t+1}$  值;一般取最大土壤蓄水量的一半为初始值。

模型计算采用 Rosenbrock 法与人机交互相结合的途径率定模型参数,模拟过程和实际观测流量的拟合程度选用 Nash 模型效率  $R^2$  和相对误差  $R_e$  为评价标准<sup>[9-10]</sup>,其表达式为:

$$R^2 = (W_0^2 - W^2) / W_0^2 \quad (6)$$

$$W^2 = \sum_{t=0}^t [Q(t) - Q_r(t)]^2 \quad (7)$$

$$W_0^2 = \sum_{t=0} [Q(t) - \bar{Q}]^2 \quad (8)$$

式中:  $Q(t)$ ——时间  $t$  的观测流量;  $Q_r(t)$ ——时间  $t$  的模拟流量;  $\Delta t$ ——模拟时段长度;  $\bar{Q}$ ——时段观测流量的平均值。 $R^2$ ——表示在多大程度上模拟流量能表征实测流量,其最大值为 1,愈接近 1 说明效果越好。

$$R_e = [Q_r(N) - Q(N)] / Q(N) \quad (9)$$

式中:  $Q_r(N)$ —— $N$  月的模拟径流量;  $Q(N)$ —— $N$  月的观测径流量。

### 2.2 模拟检验

将计算出的结果与实际观测值进行模拟检验,给出各时间区段的模拟效果见(表 1),可以看出模型效率系数均在 7.1% 以上,最大相对误差 4.1%,可见水资源估算模型效果较好,可以用来分析渭河流域地表水资源的变化。

表 1 渭河流域径流模拟效果

年份	径流量/ $10^8 \text{ m}^3$	$R_e / \%$	$R^2 / \%$
1970—1979	47.51	78.5	3.1
1980—1989	65.43	74.6	3.9
1990—2000	30.71	70.8	4.1

### 3 渭河流域水资源未来可能变化趋势

水资源系统与气候系统中的降水和气温之间存在着响应关系,气温升高会导致蒸发量增大、地表径流减少。降水量变化直接影响地表径流、入渗补给,同时降水也是地下水补给的主要途径。因此,可以通过对未来气候情景的预测,从而预测渭河流域水资源的变化趋势。

目前对未来气候预测,已经有一些模拟结果。赵宗慈(1997)选用 IPCC 报告中的 GCM 模式,建立东亚地区综合方案,计算了大气中  $\text{CO}_2$  倍增时的东亚气候变化状况。他的研究表明,当  $\text{CO}_2$  倍增时,我国气温升高幅度在 0.8 ~ 3.0 之间。利用 GCMs 模式模拟得出的  $\text{CO}_2$  加倍时的气候情景,研究结果认为,我国部分地区气候情景值的变幅较小,降水约为 -3% ~ 6%,气温升高 0.6 ~ 1.3 [11-12]。虽然气候变化可视为一小扰动,但对我国产生的水文效应却不可忽视。

考虑到未来气候变化情景不确定性和精度问题的情况下,本文分析中考虑了 30 种可能的气候背景,即降水变化  $\pm 20\%$ , 0%,  $\pm 10\%$ , 同时气温保持不变及升高 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 时,气候变化对水资源的可能影响。利用水资源估算模型计算各气候情景下的地表径流量及气候对年径流的影响见表 2 和表 3。

表 2 渭河流域未来不同气候情景下年径流变率 %

温度升高	降水变化				
	- 20 %	- 10 %	0 %	10 %	20 %
0.0	- 47.2	- 28.6	- 5.1	20.2	50.5
0.5	- 49.4	- 30.9	- 8.6	15.6	44.6
1.0	- 52.2	- 34.9	- 13.3	10.3	37.6
1.5	- 54.5	- 37.8	- 17.4	5.7	31.8
2.0	- 57.9	- 43.3	- 23.3	0.9	23.3
2.5	- 59.3	- 44.0	- 25.3	- 1.6	19.9

由表 2 可以看出,渭河流域水资源对气候变化较敏感,地表径流量对降水变化的响应更为显著。当气温保持不变,降水减少 10% 时,地表径流量减少 28.6% 以上;当降水不变,气温升高 1 时,地表径流量减少 13.3% 左右。最不利的是当气温升高 2.5 时,

降水减少 20%, 这种情况下径流量将减少 59.3%。气温不变,降水增加 20% 时,与降水不变,气温升高 2.5 时的年径流量变率相差 75.8%。可见水资源对降水的敏感性大于对气温的敏感性。

表 3 渭河流域 7—10 月不同气候情景下径流变率 %

温度升高	降水变化				
	- 20 %	- 10 %	0 %	10 %	20 %
0.0	- 46.0	- 25.7	- 3.7	22.7	52.1
0.5	- 48.2	- 28.9	- 6.7	17.5	46.8
1.0	- 50.2	- 32.8	- 11.3	12.2	39.9
1.5	- 55.6	- 35.7	- 15.4	8.0	34.3
2.0	- 57.9	- 38.9	- 21.7	3.1	28.3
2.5	- 59.8	- 41.9	- 23.3	- 1.4	22.0

由表 3 可以看出,在降水减少的情景下,年径流变化比汛期(7—9 月)径流变化大,相差 1.0% 左右。相反,降水增加的情景下,汛期径流变化大于年径流变化,相差 2.0%,说明汛期水资源增加明显,而年均水资源减少明显。

气候变化对地表水资源的年内分配影响也较大,(图 3)给出不同区域各月在气温升高 2,同时降水减少 20% 情景下地表径流量的变化。可以看出,在假定气候条件下,3 个区域地表径流变化基本一致,汛期尤其是主汛期径流量的变化较大,非汛期径流量的变化相对小。因各区域气候、水文和地理条件的差异,径流量的变化也具有一定差异。降水量大的区间径流量的绝对变化大,降水量相对少的区段地表径流量变化相对较小。

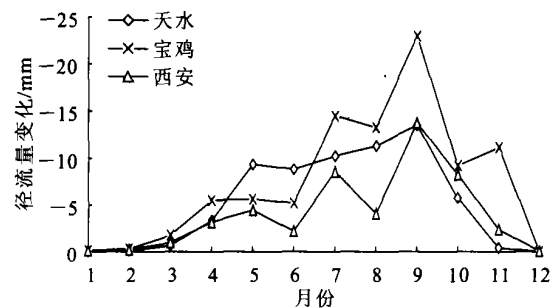


图 3 渭河产流区在假定气候情景下各月径流量变化

总起来看,渭河流域在气温升高,降水量减少的气候情景下,未来年径流量呈明显的减少趋势,在气温升高和降水增多的气候情景下,未来地表径流呈增加趋势,尤其是气温升高在 0 ~ 1 时,径流增加幅度较大,渭河流域降水距平在 -20% ~ 20% 变化时,则对水资源量影响极大。

## 4 渭河流域水资源合理利用思考

以上分析表明未来渭河流域水资源受气候变化的影响十分明显。气候变暖降水量减少将使渭河流域径流量呈减少趋势,这不仅将在一定程度上加剧渭河流域水资源的供需矛盾,而且对渭河流域生态环境工程建设提出了挑战。随着西部开发的深入,渭河流域水资源短缺的矛盾日益突出。该流域集中了陕西省 64% 的人口,56% 的耕地,72% 的灌溉面积,82% 的工业总产值,81% 的生产总值,甘肃省 25% 的生产总值,滋润着庆阳、平凉、天水、宝鸡、咸阳、西安、铜川、渭南等大中城市和杨凌农业开发区。随着工业程度的提高,农业耕作方式的改进,农业用水的比重会逐步降低。

由于农业是主要的耗水行业,其耗水量的减少,耗水效率提高,使得渭河流域在相当长一段时期内,总耗水量不会大幅度增加。但工业和生活耗水量比重上升,对高水质的水资源要求将会提高。同时,工业、城市化和农业经营集约化,对水资源污染的威胁还在加大。目前,渭河流域废水总排放量为  $8.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,城镇生活污水占 55%,污水处理量  $8.90 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,处理率为 12.7%。工业废水处理率也不高,污水治理效果不明显,沿城镇河段水质污染严重,加上流域为了自己的经济利益,大量开发利用,不节约用水,使本来水量少的河流断流,成为干河。到每年夏季,不但农业旱灾严重,而且一些下游城镇的吃水也会十分困难,若干年后,有些城镇可能因为无水而不复存在。因此,渭河流域未来在水资源方面,不但表现为水资源的紧缺,而且还表现为水资源质量上的矛盾和为满足工业和人们生活对水资源的要求而必须提高水资源质量所带来的经济压力。所以,在这有限的水资源条件下,为了地区经济持续、稳定的发展,必须实现面向生态的水资源调控策略。综合应用植被调节、地表水库调节、地下水库调节、流域间的调节及环境污染控制等手段,实现潜在水资源的最大转化。

同时要实行一保二节三管四调整五调水,合理利用渭河流域水资源容量。不同保证率年份,水环境容

量不同,而且丰水年大于枯水年。因此,渭河流域水资源开发利用,既要考虑防洪防旱,又要考虑水资源开发利用对生态环境的影响。渭河流域水土流失非常严重,大大改变水资源循环转化的下垫面条件,容易导致旱情与涝灾的发生。统计表明渭河流域 50 a 来,发生洪灾 45 次,其中有 8 次是全流域严重洪灾,未来在气候变暖和降水增加的气候情景时,径流量会大幅度增加,将会增大渭河流域洪灾发生的频率,尤其是渭河流域的中、下游段处于关中平原,河床宽浅,将会加大两岸的防洪任务。同样将来气候变暖,降水减少,渭河流域防旱任务也会更加艰巨。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 叶正,符斌,董文杰. 全球变化科学进展与未来趋势[J]. 地球科学进展,2002,17(4):465—469.
- [2] Houghton J(戴晓苏,石广玉,董敏等译). 全球变暖[M]. 北京:气象出版社,1998.
- [3] 刘引鸽,缪启龙. 西北地区农业旱灾与预测研究[J]. 干旱区地理,2004,27(4):264—269.
- [4] 唐克旺,王研,王芳. 西北地区生态环境现状和演化规律研究[J]. 干旱区地理,2002,25(2):132—133.
- [5] 仇生练,王国庆. 半干旱地区月水量平衡模型[J]. 人民黄河,1994(2):13—16.
- [6] Conway D. A water balance model for the upper blue Nile in Ethiopia [J]. Hydrological Sciences Journal. 1997,42(2):265—269.
- [7] 陈仁升,康尔泗,杨建平,等. 黑河干流山区流域径流计算模型[J]. 干旱区地理,2003,26(1):37—43.
- [8] 高桥浩一郎(日本). 月平均气温、月降水量以及蒸发量的推定方式[J]. 天气,1979,26(12):759—763.
- [9] H A Houghton - Carr. Assessment criteria for simple conceptual daily rainfall-runoff models [J]. Hydrological Sciences Journal. 1999,44(2):237—241.
- [10] 康尔泗,程国栋,蓝永超,等. 概念性水文模型在出山径流预报中应用[J]. 地球科学进展,2002,17(1):18—26.
- [11] 李晓东,赵宗慈. 人类活动对未来东亚地区气候变化的影响[A]. 中国气候变化与气候影响研究[C]. 北京:气象出版社,1997,380—382.
- [12] 丁一汇. IPCC 第二次气候变化科学评估报告的主要科学成果和问题[J]. 地球科学进展,1997(2):158—163.