

# 两参数月水量平衡模型在西汉水流域的应用

陈吉琴,宋萌勃,李太星

(长江工程职业技术学院,湖北 武汉 430212)

**摘要:**利用西汉水流域 1976~2011 年间逐月降水、蒸发、径流等长系列径流资料,选择两参数月水量平衡模型对此流域逐月径流进行模拟,定量研究人类活动对径流变化规律的影响。结果表明:模型在模拟 1976~1993 年间天然条件下谭家坝站径流时,效果较好;在模拟 1994~2011 年间人类活动影响后谭家坝站径流时,效果不好,有系统偏大的趋势。建议在模拟 1990 年以后的径流趋势时,在模型中加入一个人类活动影响参数,以提高模拟精度。

**关 键 词:**月水量平衡模型;西汉水流域;人类活动;径流模拟

**中图法分类号:** P334.92      **文献标志码:** A      **DOI:**10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.S1.005

## 1 研究背景

近几十年,气温持续增加,气候变化剧烈,人类活动影响程度越来越大,对水资源的数量以及时空分布产生了深刻的影响,水资源分配逐渐成为人们关心的重点和热点问题。嘉陵江流域是长江水系流域面积最大的一条支流,流域高差 4 800 m,河道落差 2 300 m,集水面积 16 万 km<sup>2</sup>。

西汉水是嘉陵江西侧的支流,发源于甘肃省天水市西秦岭的仁寿山,向西、向南、向东南绕一大圈后于陕西省略阳县两河口汇入嘉陵江。嘉陵江流域被国务院列为水土保持重点防治区以来,截至 1996 年底,共治理水土流失面积 2 1361 km<sup>2</sup>,占流域水土流失面积的 25.8%。

由于此流域面积大,地形复杂,并且人类影响活动频繁(如修建水库、蓄水池、植树造林)等,流域径流发生了一系列变化。判断和分析人类活动影响下河川径流变化程度,对于指导区域用水计划,城镇化建设具有重大的意义。

利用水文模型对河川径流进行模拟是水文中常用的一种方法。熊立华等提出的两参数月水量平衡模型已经在很多流域得到了较好应用<sup>[1-2]</sup>。

本文利用两参数月水量平衡模型,模拟了西汉水流域自然条件下的径流变化,并与受人类活动影响后的实测径流进行对比,以期对人类活动影响程度进行定量研究。

## 2 两参数月水量平衡模型简介

### 2.1 模型计算

模型计算过程及相关参数意义可见有关参考文献[3]。

### 2.2 模型率定的评价准则

编制洪水预报方案时,都需要利用历史资料对模型或方案进行分析率定,优选参数。根据我国水情预报规范,选用下列 3 个指标评定模型或洪水预报方案的优劣。

(1) 模型有效性评定。洪水预报过程与实测过程之间的吻合程度用确定性系数  $R^2$  来表示

$$R^2 = 1 - \frac{S^2}{\sigma^2} \tag{1}$$

其中,  $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{M}}$ ,  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (Q_i - \bar{Q})^2}{M}}$ 。

式中,  $S$  为流量过程预报误差的均方差;  $\sigma$  为流量过程的均方差;  $\hat{Q}_i$  为流量模拟预报值;  $Q_i$ 、 $\bar{Q}$  分别为实测流量及其均值;  $M$  为流量过程总节点数。

(2) 径流总量相对误差。

$$RE = (1 - \sum \hat{Q}_i / \sum Q_i) \times 100\% \tag{2}$$

(3) 峰值的相对误差。

$$RE_m = \frac{Q_m - \hat{Q}_m}{Q_m} \tag{3}$$

式中,  $Q_m$ 、 $\hat{Q}_m$  分别为实测月径流量峰值和模拟月径流量峰值。

模型效率主要取决于 Nash 指数  $R^2$  值,  $R^2$  越接近于 1, 表明模型效率越高。另外  $RE$  和  $RE_m$  也是模型效率的重要指标, 其值越接近 0 表明模型模拟得越好。在模型率定参数中, 一般很难使 3 个指标都达到最好, 可以根据区域模拟的要求综合考虑, 率定出合理的参数<sup>[4]</sup>。

### 3 两参数月水量平衡模型应用检验

#### 3.1 流域资料概况

选取西汉水流域谭家坝站的资料进行模拟。谭家坝站流域面积 9 538 km<sup>2</sup>。降雨资料采用流域 12 个站(白河, 红河, 南阳, 平洛, 上洮坪, 申家集, 谭家坝, 小川, 崖城, 长坝, 长道, 纸坊)的月平均值(泰森多边形法), 蒸发和径流采用该站资料。要说明的是本站实测蒸发资料是口径 20 cm 蒸发皿观测值, 模拟时需将此观测值转换为 E601 观测值。具体做法是将口径 20 cm 蒸发皿观测值乘以蒸发折算系数, 这里取 0.66(借用邻近甘肃成县站值)。使用的资料年限为 1976 ~ 2011 年、年降水量为 578.73 mm、年蒸发量为 1 017.2 mm(口径 20 cm)和 672.4 mm(E601)、年径流深等为 123.4 mm。

#### 3.2 模拟结果分析

由本文分析可知<sup>[5]</sup>, 西汉水流域降水, 径流以及降水径流关系如下: 降雨序列呈不明显下降趋势, 突变点在 1991 年左右, 径流呈显著下降趋势, 突变点也在 1991 年前后, 而降水径流关系在 1993 年左右发生了明显改变。基于此, 认为 20 世纪 90 年代前降水、径流及降水径流关系不受人类活动影响, 而 90 年代之后人类活动影响剧烈。径流减少的原因主要为: ① 降水的减少, 这是直接的原因; ② 人类活动影响, 改变了下垫面条件, 从而改变了径流。因此, 模拟时将西汉水 1976 ~ 2011 年间的资料分为两个阶段: ① 1976 ~ 1993 年, 自然条件下径流, 这部分资料用来检验模型, 其中

1976 ~ 1991 为率定期(16 a), 1992 ~ 1993 为检验期(2 a); ② 1994 ~ 2011 年, 此阶段人类活动影响剧烈, 从而实测径流并不是天然条件下的径流, 用模型模拟的径流必然与实测径流有差别, 可以认为是人类活动影响所致(因西汉水流域降水减小趋势不明显)。

检验模型模拟可以看出, 两参数月水量平衡模型在西汉水流域的整体使用效果较好。模拟率定期确定性系数  $R^2$  为 61.4%, 径流总量相对误差  $RE$  为 -0.3%, 检验期确定性系数  $R^2$  为 80.2%, 径流总量相对误差  $RE$  在 2.42%, 峰值的相对误差  $RE_m$  为 3.50%, 即洪水预报过程与实测过程之间的吻合程度较高, 径流总量误差较大, 模型的有效性较好。

从 1976 ~ 1993 年间谭家坝站实测和模拟月径流过程以及月降水过程可以看出, 模拟的径流过程与实测值吻合程度较高, 包括洪峰和枯水部分。从 1976 ~ 1993 年间谭家坝站实测和模拟年径流过程以及年降水过程可以看出, 模拟径流和实测径流基本吻合。表 1 为谭家坝站 1976 ~ 1993 年间模拟年径流与实测年径流结果对比, 从表中可以看出, 模拟误差最大年份是 1979 年, 流量绝对差为 -341.03 m<sup>3</sup>/s, 相对误差为 -72.5%, 模拟最好的年份是 1992 年, 流量绝对差为 13.72 m<sup>3</sup>/s, 相对误差为 1.94%。总之, 该模型在模拟天然条件下谭家坝站径流方面适用性较强。

表 1 1976 ~ 1993 年间模拟年径流与实测年径流结果对比

年份	降雨/ mm	实测径流量/ (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	模拟径流量/ (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	流量差/ (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	相对差/ %
1976	512.41	649.80	671.78	-21.98	-3.38
1977	558.24	427.70	506.80	-79.1	-18.49
1978	610.50	480.50	701.82	-221.32	-46.06
1979	583.45	470.40	811.43	-341.03	-72.50
1980	600.80	533.80	648.05	-114.25	-21.40
1981	584.34	568.20	790.38	-222.18	-39.10
1982	464.07	428.80	472.86	-44.06	-10.28
1983	666.24	795.60	729.53	66.07	8.30
1984	747.40	1189.00	1002.16	186.84	15.71
1985	584.78	664.30	555.35	108.95	16.40
1986	444.81	480.50	181.19	299.31	62.29
1987	505.57	338.09	344.73	-6.64	-1.96
1988	643.53	581.49	630.17	-48.68	-8.37
1989	604.58	688.20	492.45	195.75	28.44
1990	712.46	870.20	774.62	95.58	10.98
1991	440.01	305.80	290.36	15.44	5.05
1992	647.41	707.44	693.72	13.72	1.94
1993	674.21	747.20	726.45	20.75	2.78
多年平均值	588.045	607.057	612.436	-5.379	-0.89

模型预报阶段结果表明, 预报时段确定性系数  $R^2$  在 57.17%, 径流总量相对误差  $RE$  为 -32.14%, 峰值的相对误差  $RE_m$  为 -7.42%, 即洪水预报过程与实测

过程之间的吻合程度明显不如 1976 ~ 1993 阶段好,原因是 1993 年之后人类活动影响剧烈,降雨径流关系不稳定。

从 1994 ~ 2011 年及 1976 ~ 2011 年间谭家坝站实测和模拟月径流过程以及月降水过程可以看出(表 1 和表 2),模拟的径流过程与实测值吻合程度相对较好,包括洪峰和枯水部分,但是 2000 年之后模拟的径流过程明显比实测径流过程系统性的偏大,即实测径流小,模拟的径流大,可以认为系统模拟的径流是天然条件下的径流,而实测的径流是受人类活动影响后的径流。

表 2 1994 ~ 2011 年间模拟年径流与实测年径流结果对比

年份	降雨/ mm	实测径流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	模拟径流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	流量差/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	相对差/ %
1994	471.74	330.3	432.85	-102.55	-31.05
1995	480.85	263.96	339.75	-75.79	-28.71
1996	407.16	192.06	186.56	5.5	2.86
1997	345.54	111.9	88.76	23.14	20.68
1998	402.03	212.41	191.97	20.44	9.62
1999	435.77	327.86	316.15	11.71	3.57
2000	466.57	285.66	414.06	-128.4	-44.95
2001	472.34	255.06	485.81	-230.75	-90.47
2002	434.53	177.1	247.1	-70	-39.53
2003	634.94	375.94	721.18	-345.24	-91.83
2004	454.71	164.4	339.77	-175.37	-106.67
2005	603.15	436.92	509.92	-73	-16.71
2006	499.48	227.55	318.69	-91.14	-40.05
2007	585.28	398.26	526.05	-127.79	-32.09
2008	557.87	269.35	409.19	-139.84	-51.92
2009	566.18	306.4	506.72	-200.32	-65.38
2010	531.82	334.84	533.82	-198.98	-59.43
2011	665.97	459.56	729.93	-270.37	-58.83
多年平均	500.89	284.97	405.46	-120.49	-42.28

从 1994 ~ 2011 年间西汉水流域谭家坝站实测和模拟年径流过程以及年降水过程可以看出,1994 ~ 1999 年间模拟年径流效果较好,2000 年之后,模拟年径流系统偏大,实测年径流系统偏小。

谭家坝站 1994 ~ 2011 年间模拟年径流与实测年

径流结果具体对比见表 2,即人类活动影响后年径流的变化幅度。

由表 2 可以看出,模拟误差最大年份是 2004 年,径流绝对差值为  $-175.37 \text{ m}^3/\text{s}$ ,相对误差为  $-106.7\%$ 。模拟误差最小的年份是 1996 年,径流绝对差值为  $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,相对误差为  $2.86\%$ 。整体上相对误差偏大。

4 结 论

利用西汉水流域逐月降水、蒸发、径流等长系列径流资料,选择两参数月水量平衡模型对流域径流进行模拟,定量研究了人类活动对径流规律的影响。初步得出如下结论。

(1) 两参数月水量平衡模型在模拟 1976 ~ 1993 年间谭家坝站径流时,效果较好,即此模型在模拟天然条件下谭家坝站径流方面适用性较强。

(2) 两参数月水量平衡模型在模拟 1994 ~ 2011 年间谭家坝站径流时,效果不好,有系统偏大的趋势,尤其是 2000 年之后偏大趋势特别明显。

(3) 1994 年后模型模拟误差较大,是因为人类活动影响剧烈,下垫面条件变化很快,降雨径流关系发生了很大变化,关系不稳定。因此,若模拟 20 世纪 90 年代之后的径流趋势,可考虑在模型中加以 1 个人类活动影响参数,提高模拟结果精度。

参考文献:

[1] 熊立华,郭生练,付小平,等. 两参数月水量平衡模型的研制及其应用[J]. 水科学进展,1996,7(增).

[2] Lihua Xiong,Shenglian Guo. A two - parameter monthly water balance model and its application[J]. Hydrol,1999,(216):315 - 347.

[3] 张洪刚,郭生练,徐德龙,等. 汉江流域办分布式两参数月水量平衡模型[J]. 人民长江. 2008,39(9):43 - 45.

[4] 乐通潮,张万昌. 双参数月水量平衡模型在汉江流域上游的应用[J]. 资源科学,2004,(11):97 - 102.

[5] 宋萌勃,陈吉琴. 嘉陵江西汉水流域降水径流关系变化分析[J]. 人民长江,2014,45(7):13 - 16.

(编辑:李 慧)