

后湾水库以上流域下垫面变化对洪水影响分析

杨丰源¹, 刘惠霞¹, 王永亮²

(1.河北省水文水资源勘测局,河北石家庄 050031; 2.河北省衡水水文水资源勘测局,河北衡水 053000)

摘要:由于人类活动影响导致海河流域下垫面发生变化,造成流域产、汇流特性的变化。为掌握流域下垫面变化对洪水的影响情况,对后湾水库流域采用改进的新安江—海河模型进行分析、研究。结果表明,后湾流域下垫面发生变化的年代为1980年左右;改进的新安江—海河模型用于不同量级的洪水模拟,其效果较好;由于下垫面的变化,改进的新安江—海河模型的产、汇流参数1980年后比1980年前有增大趋势,并在相同降雨情况下,1980年后的洪量比1980年前呈减少的趋势,且洪水量级越小减少幅度越大。

关键词:下垫面;新安江—海河模型;洪水量级;模拟;影响

中图分类号:TV122+.5

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)04-0067-05

1 流域概况

后湾水库位于山西省襄垣县虢亭镇后湾村附近,海河流域漳卫南运河浊漳西源(如图1中所标注),流域内设有后湾水库水文站以及漳源、尧山、南头、册村等9个雨量站。

后湾水库兴建于1959年11月,1960年3月建成,总库容 $1.303 \times 10^8 \text{m}^3$,现达1000年一遇洪水设计,2000年一遇洪水校核,是一座防洪、灌溉、工业用水、水产养殖等综合利用的大()型水库。水库以上控制流域面积为 1296km^2 ,流域内有月岭山和圪芦河两座中型水库,控制流域面积 327km^2 ;有7座小型水库,控制流域面积 325.3km^2 。后湾水库流域多年平均降雨量为 538.0mm ,多年平均入库水量为 $1.04 \times 10^8 \text{m}^3$,多年平均蒸发量为 1187mm 。

后湾水库按百年一遇洪水标准设计,枢纽工程改造完工后水库防洪标准可以提高到抗御两千年一遇洪水。水库下游河道的安全泄量为 $500 \text{m}^3/\text{s}$,经调蓄最大下泄量为 $529 \text{m}^3/\text{s}$ 。

2 后湾水库以上流域下垫面变化的年代划分

2.1 有序聚类分析法

有序聚类分析法以有序分类来推求最可能的干扰

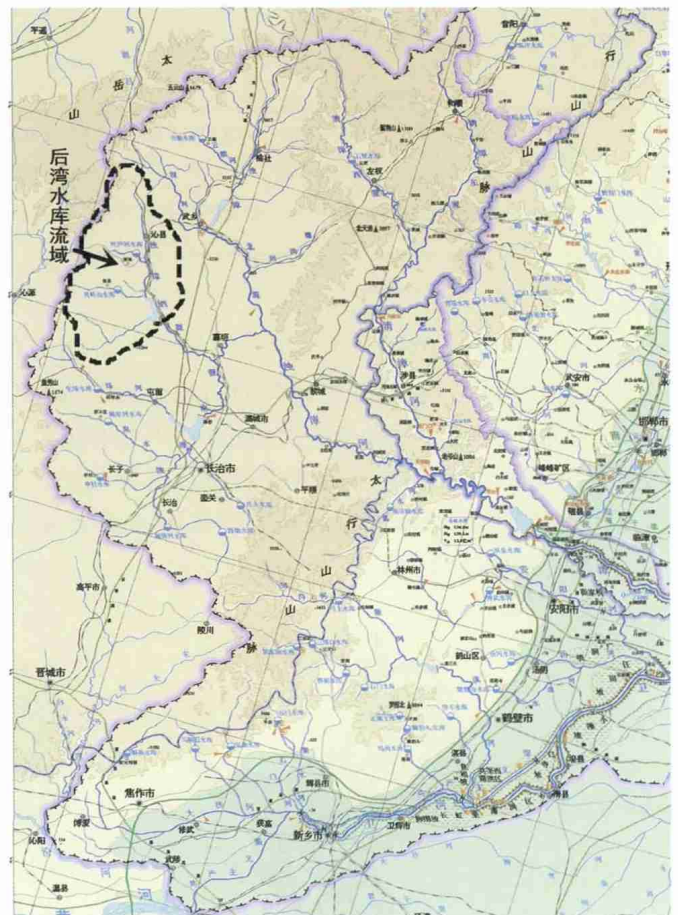


图1 后湾水库流域位置示意图

Fig. 1 The location of the Houwan reservoir watershed

收稿日期:2014-08-06

作者简介:杨丰源(1988-),河北石家庄人,助理工程师,工学学士,研究方向为水文情报预报及水资源。E-mail:touchyangfy@163.com

点 τ_0 ,其实质是求最优分割,使同类之间的离差平方和较小,而类与类之间的离差平方和较大。对序列 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$,最优二分割点要点如下:设可能分割点为 τ ,则分割前后离差平方和表示为: $V_\tau = \sum_{i=1}^{\tau} (x_i - \bar{x}_\tau)^2$ 和 $V_{n-\tau} = \sum_{i=\tau+1}^n (x_i - \bar{x}_{n-\tau})^2$ 。其中 \bar{x}_τ 和 $\bar{x}_{n-\tau}$ 分别为分割点以内和以外的平均值,这样总离差平方和为 $S_n(\tau) = V_\tau + V_{n-\tau}$;最优二分割 $S_n^* = \min\{S_n(\tau)\}$ 满足上述条件的 τ 记为 τ_0 ,以此作为最可能的分割点。

本次通过对后湾水库以上流域的汛期径流量资料进行统计,采用有序聚类分析法来分析确定该流域径流发生变化的年代。绘制后湾水库汛期径流量离差平方和图,见图2。

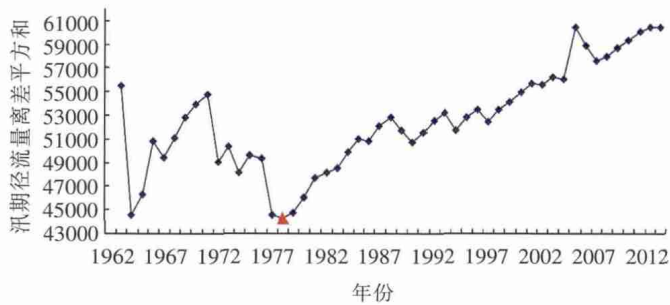


图2 后湾水库以上流域汛期径流量离差平方和图
Fig. 2 The sum of squares of deviations of the Houwan reservoir watershed's flow in flood season

由图2可知:1963年和1979年是两个最明显的分割点,由资料可知1963年后湾的汛期径流量为历史高值,因此该突变点是由于特大值造成,不是径流变化的真正分割点;而1979年的突变点是径流变化的转折点。由此说明,后湾水库流域由于下垫面的变化,致使1979年该流域径流发生较为显著的变化。

2.2 地貌遥感图分析法

根据1970年、1980年及2000年3个阶段的航拍资料,对不同时期地貌遥感图进行分析,从图3可清楚看到,1970年和1980年地貌遥感图中后湾水库流域(方框内部分)地表土地利用情况发生明显变化,大量林地变为耕地;而1980年与2000年地貌遥感图后湾水库流域(方框内部分)地表土地利用情况基本上没有变化。由此说明后湾水库流域在1971~1980年之间下垫面发生较大变化,而1980年之后下垫面变化则较缓慢。根据《海河流域水资源规划》(2001年)报告的分析,海河流域下垫面的变化发生在20世纪70年代中后期。

根据以上两种方法的分析得出:后湾水库流域下垫面情况在20世纪70年代末期发生了较为明显的变化,本次分析以1980年为界,对后湾水库以上流域下垫面变化进行年代划分。

3 分析方法确定

海河流域地处北方半干旱半湿润地区,产汇流条件与湿润地区有较大差异。考虑半干旱半湿润流域水文特征,针对海河流域小型水利开发和地下水开采等人类活动对产汇流影响比较突出的特点,对于北方河流洪水初期河道比较干枯的情况要考虑初损等产汇流情况,本次采用改进的新安江-海河模型分析后湾水库以上流域下垫面变化对产汇流影响。

改进的新安江-海河模型:(1)针对海河流域产汇流特点,考虑下垫面变化如地下水水位下降等影响,在新安江模型三水源划分模块中,增加了补给深层地下水模块;(2)考虑地表小型水利工程建设的影响。对于小型蓄水塘坝以及谷坊、鱼鳞坑、梯田等水土保持工

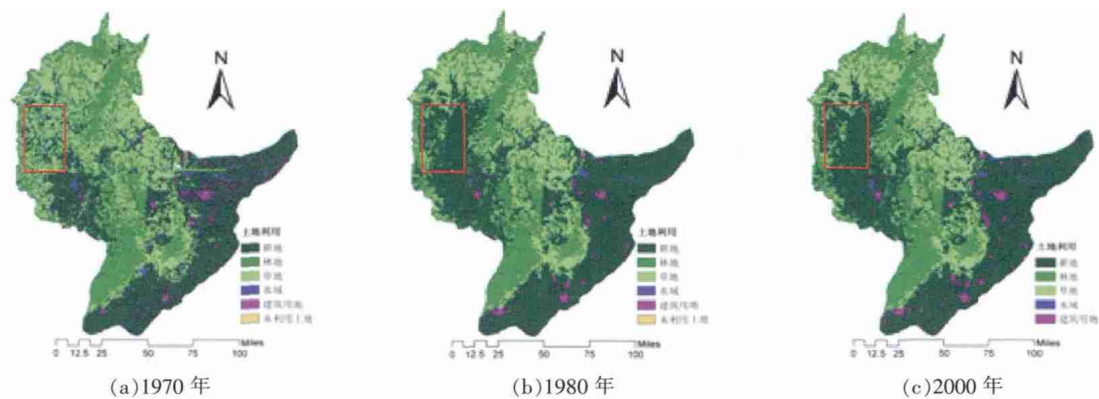


图3 漳卫河流域(后湾水库)各时期土地利用遥感图

Fig. 3 Land use remote sensing image of the Zhangweihe River basin (Houwan reservoir) in the various periods

程,在模型中增加了地表径流填注参数;(3)对于山丘区地下水开采额外增加的包气带蓄水容积,可按两种方式处理,一是通过加大流域蓄水容量(W_M),二是在模型中增加地下水开发引起的附加容量参数,存储部分径流汇流损失量;(4)对于植被变化引起的蒸发变化,增加了反映植被生物量多少的归一化植被指数参数($NDVI$),并构建了 $NDVI$ 与现有分层蒸散发模型的相关计算模式;(5)考虑到由于北方河流洪水前期河道比较干枯,模型中加入河道初损或渗漏。

改进的新安江-海河模型共有 23 个参数,后湾水库以上流域下垫面变化对洪水影响幅度采用改进的新安江-海河模型进行了分析。

4 新安江-海河模型模拟结果分析

4.1 资料选择

分析选用后湾水库以上流域 51 年 (1962~2012 年)资料系列,选出 51 场次暴雨洪水进行分析。根据本流域下垫面变化年代划分的结果,考虑到下垫面的变化对产汇流影响,因此,将洪水按 1980 年前和 1980 年后进行划分。由于后湾水库以上流域大、中、小洪水产汇流性质悬殊,因此先将洪水分量级,而后采用新安江-海河模型分别对 1980 年前、后不同量级的洪水进行模拟。

洪水量级划分:根据流域大、中、小洪水的汇流时间,分别对场次洪水最大 1d、3d 和 5d 洪量计算分析,比较分析后采用最大 1d 洪量对该流域进行洪水量级划分。后湾水库以上流域洪水量级划分结果见表 1。

表1 后湾水库以上流域洪水分级情况表

Table 1 Flood classification of the basin above the Houwan reservoir

洪水量级	1980 年前洪水	1980 年后洪水
大于或等于 5 年一遇	1971、1973、1976、1978	1988、1989、1993、1996、 2001、2007
2~5 年一遇	1962、1963、1964、1966、 1967、1968、1970、1972、 1975、1977	1981、1982、1985、1990、 1992、2003
小于 2 年一遇	1965、1969、1974、1979	1980、1983、1984、1986、 1987、1991、1994、1995、 1997、1998、1999、2000、 2002、2004、2005、2006、 2008、2009、2010、2011、 2012

4.2 模型参数率定

考虑到流域大、中、小洪水产汇流参数的不同,因

此分析首先将流域洪水按最大 1d 洪量大于或等于 5 年一遇为大水;2~5 年一遇为中水;小于 2 年一遇为小水的量级进行划分。

对新安江-海河模型敏感的参数进行认真分析率定,不敏感参数根据其物理含义和后湾流域特性根据经验取值,敏感参数主要有:流域蒸散发折算系数 K 、表层自由水蓄水容量 S_M 、表层自由水蓄水库对地下水的日出流系数 KG 、表层自由水蓄水库对壤中流的日出流系数 KI 、壤中流消退系数 CI 、地下水消退系数 CG 、河网蓄水消退系数 C_S 、滞时 L 、小型蓄水工程控制面积比例 IMF 。

蒸散发折算系数 K 采用汛期日模型来确定。根据本流域洪水特点为地面径流相对较大,退水较快,壤中流与地下径流影响相对较小, KG 、 KI 、 CI 和 CG 参数是与壤中流和地下径流有关的参数,相对来看这些参数不太敏感,对于本流域可设 KG 为 0.35、 KI 为 0.35;1980 年前大水 CI 为 0.35、中水 0.6、小水 0.8;1980 年后大水 CI 为 0.37、中水 0.88、小水 0.85;1980 年前大水 CG 为 0.99、中水小水为 0.96;1980 年以后大水 CG 为 0.99、中小水为 0.96。这样,既削弱了壤中流与地下径流的影响,使壤中流与地下径流过程线比较平缓,洪水过程线的主体是地面径流,又没有完全忽略壤中流与地下径流; KK 指地面径流和壤中流渗漏比例系数,因为人类活动造成流域地下水位下降,径流汇流过程中会不断渗漏,补充地下水,抬升地下水位,该参数可参考流域内地下水开采情况确定。

对新安江-海河模型最敏感的几个参数进行率定,表层自由水蓄水容量 S_M 对洪量的变化非常敏感,可通过调节 S_M 值有效调节洪量; L 对峰现时间敏感,是一个独立参数,相对比较好调试的参数; C_S 是汇流参数,具有相关性,该流域相当多洪水陡涨陡落或陡涨缓落,河槽调蓄作用较小,可通过调节 C_S 来模拟汇流过程,另外, C_S 值对洪峰变化调节作用直接明显; IMF 指小型蓄水工程控制面积比例,可通过流域查勘得到,调节 IMF 值可以轻微影响到产汇流过程。后湾水库以上流域新安江-海河模型参数率定结果见表 2。

由表 2 可知,产流参数表层自由水蓄水容量 S_M 1980 年后比 1980 年前增大 5~10mm,表明由于下垫面的变化,使流域最大蓄水容量 1980 年后比 1980 年前有所增大;汇流参数 C_S 为河网蓄水消退系数,反映洪水过程坦化的程度,1980 年后比 1980 年前也有所增大,表明 1980 年后后湾水库流域的河网也有一定

表2 后湾水库流域新安江-海河模型敏感参数率定结果表
Table 2 The sensitive parameter calibration results of Xin'anjiang - Haihe model for Houwan reservoir basin

洪水量级	年份	S_M/mm	C_s	IMF	径流合格率/%
大水	1980年以前	25	0.01	0.65	100
	1980年以后	30	0.09	0.8	83.3
中水	1980年以前	20	0.05	0.45	80
	1980年以后	24	0.07	0.66	100
小水	1980年以前	10	0.01	0.3	100
	1980年以后	21	0.05	0.66	90.5

变化,河网的坦化作用比1980年前有所增大;小型蓄水工程控制面积比例IMF1980年后比1980年前增加0.15~0.36,且洪水等级越小增大比例越大,说明后湾水库以上流域1980年后增加了小水库及塘坝等蓄水工程。

4.3 模拟结果分析

根据1980年前、后大、中、小洪水分别进行模型率定,并采用《水文情报预报规范》(GBT 22482-2008)中洪水预报精度评定要求对模型率定结果进行评定,结果为:1980年前大于5年一遇的较大洪水4场次,率定洪量的平均误差为1.64mm,洪量合格率达100%;1980年后大于5年一遇的较大洪水6场次,率定洪量的平均误差为2.44mm,洪量合格率达83.3%。1980年前2~5年一遇的中水10场次,率定洪量的平均误差为2.2mm,洪量合格率达80%;1980年后2~5年一遇的中水6场次,率定洪量的平均误差为2.14mm,洪量合格率达100%。1980年前小于2年一遇的较大洪水4场次,率定洪量的平均误差为0.43mm,洪量合格率达100%;1980年后小于2年一遇的较大洪水21场次,率定洪量的平均误差为1.13mm,洪量合格率达95.5%。后湾水库以上流域新安江-海河模型不同量级洪水模拟成果见表3。

表3 后湾水库流域新安江-海河模型不同量级洪水模拟成果表
Table 3 The different level flood simulation results of Xin'anjiang - Haihe model for Houwan reservoir watershed

洪水量级	年份	洪水场次	平均洪量误差/mm	径流合格率/%
大水	1980年以前	4	1.64	100
	1980年以后	6	2.44	83.3
中水	1980年以前	10	2.2	80
	1980年以后	6	2.14	100
小水	1980年以前	4	0.43	100
	1980年以后	21	1.13	90.5

5 下垫面变化对洪水影响幅度分析

采用新安江-海河模型对不同时期、不同量级的洪水模拟效果较好,因此根据1980后不同量级的洪水确定模型参数,对1980年前不同量级的洪水进行模拟计算,其模拟成果与1980年前模型模拟成果进行比较,其差值即为下垫面变化的影响值。1980年前的不同量级洪水下垫面变化的影响结果见表4。

表4 后湾水库流域1980年前不同量级洪水下垫面变化影响结果表

Table 4 The underlying surface change results of the different level floods in the Houwan reservoir watershed before 1980

洪水量级	洪水场次	径流实测值/mm	径流模拟值/mm	影响幅度/%
较大洪水	1971062815	9.986	8.059	-19.30
	1973082505	13.906	11.699	-15.87
	1976082016	12.322	8.423	-31.64
	1978072812	11.379	9.818	-13.71
	1962092407	6.423	4.496	-30.00
	1963070522	4.524	2.830	-37.45
中等洪水	1964070304	3.773	2.523	-33.12
	1966072419	12.204	7.813	-35.97
	1967082215	1.415	1.327	-6.26
	1968072500	1.836	1.096	-40.31
	1970070700	2.284	1.499	-34.39
	1972070522	8.897	5.059	-43.14
小洪水	1975072014	2.135	1.458	-31.71
	1977080511	3.934	2.511	-36.19
	1965061315	0.546	0.115	-78.97
	1969081605	2.122	0.521	-75.46
	1974080613	1.832	0.749	-59.10
	1979061515	0.988	0.166	-83.17

由表4可知,后湾水库以上流域较大洪水因下垫面变化影响径流深减小的幅度达13%~31%,平均减小幅度达20%左右;中等洪水影响径流深减小的幅度一般在30%~43%,平均减小幅度达33%左右;小洪水影响径流深减小的幅度较大,一般在60%~83%,平均减小幅度达74%左右。

6 结论

通过对后湾水库以上流域历史资料系列(1962~2012年)的水文要素值进行计算、分析,采用改进的新安江-海河模型对历史资料进行模拟分析,得到以下

结论。

(1) 后湾水库以上流域下垫面情况在 20 世纪 80 年代初期发生了较为明显的变化。

(2) 改进的新安江-海河模型适用于后湾水库以上流域不同量级的洪水,其应用结果较好,洪量平均模拟合格率达 80% 以上。

(3) 由于下垫面的变化,改进的新安江-海河模型的产流参数(表层自由水蓄水容量 S_M) 1980 年后比 1980 年前有增大趋势;汇流参数 C_s 1980 年后比 1980 年前也有所增大;小型蓄水工程控制面积比例 IMF 1980 年后比 1980 年前呈增大趋势,且洪水等级越小增大比例越大。

(4) 由于下垫面的变化,在相同降雨情况下,1980 年后的洪水径流量比 1980 年前呈减少的趋势。较大洪水平均减小幅度达 20%;中等洪水平均减小幅度达 33%;小洪水平均减小幅度达 74%。

通过对后湾水库以上流域下垫面变化对洪水影响分析,对将来洪水预报方案的编制提供资料,为漳河流域的实时洪水作业预报提供参考,为漳河流域的防洪规划和管理提供技术支持。

参考文献:

[1] 胡春歧,刘惠霞. 阜平以上流域下垫面条件变化对产汇流影响分析[A]. 中国水利学会第四届青年科技论坛论文集[C]. 北京:中国水利水电出版社,2009. (HU Chunqi, LIU Huixia. Analysis of influence on runoff based on the changes of underlying surface's condition within Fuping reservoir watershed [A]. Proceedings of the Fourth Corpus of Youth's Science and Technology BBS of China's Water-

power Association [C]. Beijing: China WaterPower Press, 2009. (in Chinese))

- [2] 刘惠霞,张瑞云,陈宝根. 大清河山丘区下垫面变化对暴雨洪水影响分析[A]. 水文科技研究与发展[C]. 北京:中国水利水电出版社,2010. (LIU Huixia, ZHANG Ruiyun, CHEN Baogen. Analysis of influence on rainstorm and flood based on the changes of underlying surface's condition within mountain area around Daqing River [A]. Research and Development of Hydrology Technology [C]. Beijing: China WaterPower Press, 2010. (in Chinese))
- [3] 胡春歧,刘惠霞,胡军波. 紫荆关以上流域下垫面条件变化对产汇流影响分析[J]. 南水北调与水利科技,2008,(5). (HU Chunqi, LIU Huixia, HU Junbo. Analysis of influence on runoff based on the changes of underlying surface's condition within Zijinguan reservoir watershed [J]. South-To-North Water Transfers and Water Science&Technology, 2008,(5). (in Chinese))
- [4] 韩瑞光,冯平. 流域下垫面变化对洪水径流影响的研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(8):27-30. (HAN Ruiguang, FENG Ping. The research of influence on flood runoff caused by the changes of watershed underlying surface [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010,24(8):27-30. (in Chinese))
- [5] 李致家,黄鹏年. 新安江-海河模型构建与应用[J]. 河海大学学报,2013,41(3):189-195. (LI Zhijia, HUANG Pengnian. The construction and application of Xin'anjiang-Haihe model [J]. Journal of Hohai University, 2013,41(3):189-195. (in Chinese))
- [6] 水利部海河水利委员会. 海河流域下垫面变化对洪水影响研究报告[R]. 2009. (Haihe River Water Conservancy Commission, MWR. Report of influence on flood based on the changes of underlying surface condition within Haihe basin [R]. 2009. (in Chinese))
- [7] GBT 22482-2008, 水文情报预报规范[S]. (GBT 22482-2008, Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting [S]. (in Chinese))

Influence of Underlying Surface Change on Floods in Watershed above Houwan Reservoir

YANG Fengyuan¹, LIU Huixia¹, WANG Yongliang²

(1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050031, China;

2. Hengshui Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Hengshui 053000, China)

Abstract: Because of the influence of human activities, the underlying surface of the Haihe River Basin has changed, which leads to the change of the runoff characteristics. In this paper, to master the situation of the watershed underlying surface changes impact on the floods, we used the improved Xin'anjiang-Haihe model to study the Houwan Reservoir watershed. A great amount of historical data show that the Houwan Reservoir watershed underlying surface changes happened around 1980, the effect is better when the improved Xin'anjiang-Haihe model being applied in the flood simulations at different magnitudes. Because of changes of the underlying surface, comparing to the parameter before 1980, the runoff parameter of the improved Xin'anjiang-Haihe model after 1980 has a tendency to increase, and under the same rainfall condition, the flood volume after 1980 shows a decreasing trend. What's more, the smaller the flood magnitude, the greater the flood volume decreases.

Key words: underlying surface; Xin'anjiang-Haihe model; flood magnitude; simulation; influence