

基于 API 模型与新安江模型的察尔森水库洪水预报

张露, 张佳宾, 梁国华, 孙亚

(大连理工大学 建设工程学部 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 察尔森水库承担着兴安盟地区的防洪、灌溉和供水等任务, 其洪水预报具有重要的研究意义。考虑到下垫面条件和降雨分布特征的影响, 单一模型或同组参数在该地区很难取得理想的洪水模拟效果, 尝试引入分单元新安江模型与 API 模型分别对察尔森水库洪水进行预报, 并分析总结两模型在该地区的适用性。结果表明: 两种模型预报结果都较好, 且对于大暴雨洪水预报效果更理想; 当前期土壤湿润时, 分单元新安江模型预报效果更好; 当前期土壤干旱、降雨强度较大时, API 模型预报效果优于分单元新安江模型。实际作业时根据需要选择模型进行预报, 有利于察尔森水库合理调度, 提高水库经济效益。

关键词: 察尔森水库; 洪水预报; 新安江模型; API 模型

中图分类号: TV 213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)06-1056-04

Flood forecast of Chaersen reservoir based on API model and Xin'anjiang model

ZHANG Lu, ZHANG Jiabin, LIANG Guohua, SUN Ya

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Chaersen reservoir undertakes the important tasks for the hingan league area, such as irrigation, flood control and so on, its flood forecasting is significance. Due to the hydrogeological condition and characteristics of rainfall distribution, it is difficult to obtain a better simulation by the single model or a set of parameters. This paper used unit Xin'anjiang model and API model to forecast Chaersen reservoir flood respectively, and analyzed the applicability of the two models in the region. The results showed that forecast results by the models all met the requirement of the operational, and especially the heavy flood effect is better; If the antecedent soil is moist, both models were applicable, particularly the Xin'anjiang; If the antecedent soil is drought and rainfall intensity was larger, the Xin'anjiang model is not applicable, it was supposed to choose the API model to forecast. Therefore, it is necessary for us to choose proper model according to the hydrogeological conditions and the characteristics of rainfall distribution to improve the flood forecast accuracy and to direct reservoir regulation, in order to improve the economic effectiveness.

Key words: Chaersen reservoir; flood forecast; Xin'anjiang model; API model

洪水预报是减轻洪涝灾害和提高洪水资源利用率的重要手段, 较高精度的洪水预报成果可以充分发挥水库的综合利用效益。洪水预报一直是水文预报研究的重点和难点, 尤其是洪水次数发生很少的北方地区, 无论是传统的流域水文模型方法^[1-2], 还是智能算法^[3-8] 都没能很好的解决洪水预报精度低的问题。北方地区的一些流域枯水年份甚至一次较大洪水都不曾发生, 丰水年份可能发生 2~3 场洪水。由于年内的每场洪水的下垫面条件不一样, 导致同一个模型或同一组参数很难同时把几场洪水模拟好。针对这一问题, 本文以察尔森水库流域为背景, 采用不同的水文预报模型开展其

预报方案的研究, 根据各个模型的模拟结果, 总结分析各模型的适应性和使用条件, 以指导水库实时洪水预报, 为水库调度决策提供更准确洪水预报成果。

1 流域概况及模型选择

洮儿河发源于内蒙古大兴安岭阿尔山东南麓(高岳山)白狼林业局九道沟, 察尔森水库位于洮儿河中游内蒙古科尔沁右翼前旗境内, 属于带状形流域, 水库流域水系和站网概况见图 1。察尔森水库以上流域为山区, 五岔沟以上, 有天然

收稿日期: 2014-11-25 修回日期: 2015-09-13 网络出版时间: 2015-11-03
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20151103.0948.002.html>
基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201201054)
作者简介: 张露(1990), 女, 湖北天门人, 主要从事水文预报方面研究。E-mail: Hydrologyzl@mail.dlut.edu.cn.
通讯作者: 梁国华(1974), 男(壮族), 广西隆安人, 副教授, 主要从事水文预报方面研究。E-mail: ghliang@dlut.edu.cn.

森林,植被较好。流域内降雨量的年际变化较大,年内分配极不均匀,集中在6月-9月,洪水多出现在7月-8月,涨洪历时2~8 a,一次洪水总历时15~30 a,当遇到连续降雨时,便形成连续洪水,退水较慢,且场次降雨一般分布不均匀,降雨中心随时间变化,预报困难。



图1 察尔森水库流域

Fig. 1 Drainage map of Chaersen reservoir

根据察尔森水库以上流域特征和降雨特点,在降雨前期湿润的情况下,流域发生蓄满产流,采用新安江模型预报具有较好的效果,造成暴雨的各种天气系统有季节性变化规律,不同降雨的水文地质条件存在较大差异,单一的洪水预报模型预报精度不高,需要采用不同适应性的模型进行方案研究,所以选用API模型和新安江模型对察尔森水库进行洪水预报。其中,采用的API模型考虑了降雨分布不均匀和不同降雨的水文地质条件,新安江模型考虑不同情况下的前期湿润的降雨。本文研究两种模型在该地区的洪水预报效果及其适应性,以提高洪水预报精度,为水库调度决策提供依据。

2 模型应用

2.1 API模型

API模型^[9,12]适应性强,参数简单,模拟效果良好,在国内外一些地区广泛应用。本文的API模型在构建过程中,利用察尔森水库历史降雨径流相关图($P\alpha P-R$)计算产流,汇流部分不区分地面径流和地下径流,直接采用黑箱子原理,利用综合单位线进行汇流计算。由于流域呈带状,降雨中心、降雨强度等因素随时间的变化对汇流造成重要影响,因此采用根据前期影响雨量和降雨特征逐时段识别经验单位线^[13,16]的方法,当一场降雨的降雨特征随时间发生变化时,该模型会相应识别多条单位线进行汇流模拟。

2.2 新安江模型

新安江模型^[17,19]是一个概念性降雨径流模型,在我国湿润和半湿润地区的洪水预报中得到了广泛应用,使用效果良好。察尔森地区属于北方半干旱半湿润地区,其植被覆盖良好,草地茂盛,一般前期湿润的降雨均符合蓄满产流条件,又由于该地区属于带状流域,导致上下游降雨情况一般不同,故拟采用分单元新安江模型进行洪水模拟。但因为各子单元资料不足,不能验证分单元后每个单元采用的参数的合理性,考虑到每个子单元均匀分布于主干河道两侧,且每个子单元的流域长度差别不大,所以对每个单元取相同的模型参数,只考虑降雨分布不均匀性。

根据察尔森流域历史降雨、蒸发、及洪水流量资料,新安江模型使用客观优选法先后率定日模型、次模型各层参数,结果见表1。

表1 分单元新安江模型参数率定结果

Tab. 1 Calibration results of the parameters of unit Xin'anjiang model

参数意义	参数	参数值
蒸发器折算系数	K	0.81
张力水蓄水容量曲线的万次	B	0.07
深层蒸散发系数	C	0.40
土壤张力水蓄水容量	WM	115
上层张力水蓄水容量	WUM	30
下层张力水蓄水容量	WLM	70
流域不透水面积的比例	IMP	0.04
自由水蓄水容量	SM	55
流域自由水容量分布曲线指数	EX	1.06
地下水出流系数	KG	0.57
壤中流出流系数	KI	0.13
地下水消退系数	CG	0.79
壤中流消退系数	CI	0.56
马斯京根法系数	Xe	0.44
河网水流消退系数	CS	0.17
河网汇流滞时	L	0

采用上述两种不同模型进行模拟,共11场洪水,8场作为率定期,3场用于检验,结果见表2。

2.3 结果分析

模型结果表明,API模型和分单元新安江模型在洪峰误差控制、径流深误差控制、峰现时段误差控制方面各有其特点。

(1) 分单元新安江模型模拟的径流深和洪峰相对误差合格率均为82%,11场典型洪水中,只有19900612和19940727场次径流深和洪峰相对误差均大于20%;所有场次洪水中确定性系数均值不高,但是大洪水(例如19980713场次)的确定性系数达到了0.92;在峰现时段误差上,19900612和19930713场次的误差超过了允许误差范围。

(2) API模型径流深相对误差的合格率为82%,只有19900704和19980705场次径流深相对误差不合格,洪峰相对误差合格率为100%;11场洪水模拟结果有9场确定性系数大于0.8,但大洪水(例如19980713场次)的确定性系数达到了0.92;在峰现时段误差上,只有20120725和20130727场次模拟的峰值出现时间误差较大,是由于降雨中心从下游转移到中游,使预报的峰型和实测的值存在较大误差。

根据不同前期影响雨量和降雨类型(表2),分析得到如下结论。

(1) 前期土壤干旱,降雨强度较大时,API模型比分单元新安江模型更适用,预报效果更好。例如19900612和19980705场次洪水,利用分单元新安江预报的效果均不理想,原因在于该模型基于蓄满产流原理,但这两场洪水降雨前土壤含水量均较小,而降雨强度较大,故很有可能产生超渗,导致预报精度达不到理想效果。

表 2 分单元新安江模型和 API 模型模拟结果

Tab. 2 Forecast results of the two models

洪前期影响雨量/mm	降雨中心	平均雨强	洪水开始时间	预报模型	洪量			洪峰			峰现时误差	确定性系数	
					实测/mm	预报/mm	相对误差(%)	实测/(m ³ ·s ⁻¹)	预报/(m ³ ·s ⁻¹)	相对误差(%)			
1	20.4	中下游	6.1	19900612	新安江	5.10	3.80	-25.3	190	59.0	-69.2	4	0.12
					API	5.10	5.40	5.9	190	177	-6.8	2	0.83
2	53.1	下游	2.17	19900704	新安江	55.0	45.2	-17.9	352	351	-0.3	-1	0.70
					API	55.0	36.0	-34.5	352	304	-13.4	1	0.11
3	70.5	下游	2.54	19910717	新安江	35.8	42.6	19.1	357	424	18.8	3	0.78
					API	35.8	41.0	14.5	357	349	-2.2	2	0.85
4	62.1	中游	2.74	19930713	新安江	79.6	85.0	6.7	601	668	11.1	-14	0.67
					API	79.6	80.0	0.5	601	585	-2.7	-2	0.93
5	80.3	中上游	3.99	19940727	新安江	36.8	49.9	35.7	339	637	88.0	2	-0.48
					API	36.8	43.0	16.8	339	401	18.3	3	0.88
6	39	上游	6.16	19980705	新安江	12.8	12.4	-3.3	202	165	-18.1	3	0.93
					API	12.8	15.4	20.3	202	195	-3.5	1	0.90
7	81.6	中下游	2.9	19980713	新安江	271.8	271.3	-0.2	1665	1343	-19.3	3	0.92
					API	271.8	256.4	-5.7	1665	1467	-11.9	-2	0.81
8	65.5	下游	4.65	20050706	新安江	29.3	28.8	-1.6	468	381	-18.5	0	0.74
					API	29.3	27.8	-5.1	468	342	-3.1	2	0.61
9	66.2	普雨	2.5	20110725	新安江	31.4	31.3	-0.4	339	328	-3.3	-1	0.89
					API	31.4	32.8	4.5	339	304	-10.3	-1	0.93
10	97	下游	3.3	20120725	新安江	39.1	38.6	-1.4	446	432	-3.1	-3	0.92
					API	39.1	41.0	4.9	446	502	12.6	6	0.87
11	73.8	中上游	2.62	20130727	新安江	64.2	52.6	-18.1	514	448	-12.9	0	0.91
					API	64.2	54.0	-15.9	514	438	-14.8	5	0.86

(2) 前期土壤湿润, 分单元新安江模型比较适用。但当降雨直接降于库区时, 采用 API 模型预报效果更好。例如 19980713 和 20050706 场次洪水。其中, 如图 2 所示 20050706 场次洪水模拟结果, 前期的库区降雨采用 API 模型进行模拟, 而后期的降雨采用新安江模型时, 预报效果比直接采用分单元新安江模型明显要好, 原因在于分单元新安江模型虽然考虑了降雨分布的不均匀性, 但是由于察尔森地区下游的雨量站点较少, 导致实测雨量与实际降雨分布存在一定差异。而 19940727 场次洪水用两种模型模拟效果均不理想, 尤其是分单元新安江模型, 这是因为降雨开始前一天产生了一场历时很短, 强度较大的降雨, 其产生的地下径流在该场洪水开始前并未退完, 导致该场洪水雨洪关系不合理, 进而影响预报效果。

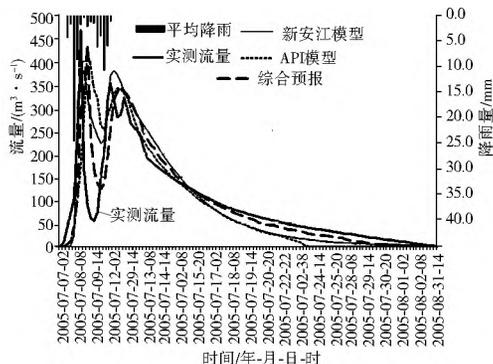


图 2 20050706 场次洪水模拟结果
Fig. 2 Forecast results of 20050706 flood

(3) 两种模型对于大暴雨产生的洪水预报效果均较好。如图 3 所示 19980713 场次洪水模拟结果, 产流预报误差均在 10% 以内。但是洪峰值和洪峰现时间的预报效果并不令人满意, 洪峰峰值误差的偏离方向一致, 经调查了解, 是由为提高察尔森水库洪水预报精度, 利用 API 模型和新安江模型对 11 场洪水进行模拟, 于上游水利工程蓄水造成的“削峰”作用。在实际预报作业中, 可以根据实际情况考虑上游水利工程的影响, 对结果进行修正, 提高预报效果。

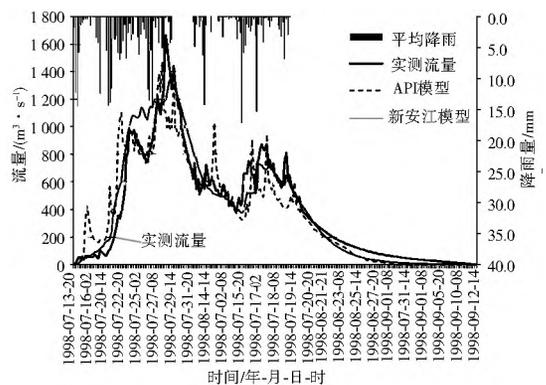


图 3 19980713 场次洪水模拟结果
Fig. 3 Forecast results of 19980713 flood

3 结论

为提高察尔森水库洪水预报精度, 利用 API 模型和新安江模型对 11 场洪水进行模拟, 分析了 API 模型和分单元新

安江模型应用于察尔森水库洪水预报的合理性,并分析比较,得出了两种模型对于不同类型下垫面条件和降雨特性的适用性,结论如下:(1)前期影响雨量较小,降雨强度较大时,宜选用API模型进行预报;(2)前期影响雨量较大,分单元新安江模型均比较适用。当存在库区降雨时,库区降雨宜用API模型进行预报;(3)两种模型对于大暴雨产生的洪水预报效果均较好。在实际应用中,根据实时降雨特征,选择不同模型进行预报,为水库调度提供依据。

然而受洪水资料限制,样本较少,分析得到的结论可能并不具有代表性,只能作为初步成果。随着日后资料的补充和预报模型的完善,深入分析研究,在保证预报精度的基础上,提高模型参数的代表性和稳定性,将是察尔森水库洪水预报的研究重点。

参考文献(References):

- [1] 胡春歧,张登杰.水文模型进展及展望[J].南水北调与水利科技,2004,2(6):29-30.(HU Chunqi,ZHANG Dengjie. Hydrology models progress & prospect[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology,2004,2(6):29-30.(in Chinese))
- [2] 苗孝芳,蒋成煌,张金存.流域水文模型的发展[J].水文,2006,26(3):22-26.(MIAO Xiaofang,JIANG Chenghuang,ZHANG Jincun. Development of watershed hydrologic models[J]. Journal of China Hydrology,2006,26(3):22-26.(in Chinese))
- [3] 江思珉,朱国荣,施小清,等.水文地质参数反演的Hooke Jeeves粒子群混合算法[J].水科学进展,2010,21(5):606-612.(JIANG Simin,ZHU Guorong,SHI Xiaqing,et al. Inverse analysis of hydrogeological parameters using hybrid Hooke Jeeves and particle swarm optimization method[J]. Advances in Water Science,2010,21(5):606-612(in Chinese))
- [4] Haparachchi H A P,LIZhijia,WANG Shouhui. Application of SCE-UA method for calibrating Xin'anjiang watershed model[J]. Journal of Lake Science,2001,12(4):304-314.
- [5] 刘苏宁,甘泓,魏国孝.粒子群算法在新安江模型参数率定中的应用[J].水利学报,2010,41(5):537-544.(LIU Suning,GAN Hong,WEI Guoxiao. Application of PSO algorithm to calibrate the Xin'anjiang Hydrological Model[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2010,41(5):537-544.(in Chinese))
- [6] 江燕,胡铁松,桂发亮,等.粒子群算法在新安江模型参数优选中的应用[J].武汉大学学报:工学版,2006,39(4):14-17.(JIANG Yan,HU Tiesong,GUI Faliang,et al. Application of particle swarm optimization to parameter calibration of Xin'anjiang model[J]. Engineering Journal of Wuhan University,2006,39(4):14-17.(in Chinese))
- [7] 胡铁松,袁鹏,丁晶.人工神经网络在水文水资源中的应用[J].水科学进展,1995,6(1):76-82.(HU Tiesong,YUAN Peng,DING Jing. Applications of artificial neural network to hydrology and water resources[J]. Advances in Water Science,1995,6(1):76-82.(in Chinese))
- [8] 李德龙,程先云,杨浩,等.人工智群算法在水文模型参数优化率定中的应用研究[J].水利学报,2013,44(S1):95-101.(LI De-long,CHENG Xiaryun,YANG Hao,et al. Study on artificial intelligence optimization algorithms for auto calibration of hydrological models[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2013,44(S1):95-101.(in Chinese))
- [9] 张恭肃,王成明.对API模型的改进[J].水文,1996(4):20-25.(ZHANG Gongsu,WANG Chengming. Improvements on API model[J]. Journal of China Hydrology 1996(4):20-25.(in Chinese))
- [10] 袁作新.流域水文模型[M].北京:中国水利水电出版社,1990.(YUAN Zuoxin. Hydrological model of river basin[M]. Beijing: China Water Power Press,1990.(in Chinese))
- [11] 周洋洋,李致家,姚成,等.基于SCE-UA算法的API模型应用研究[J].水力发电,2014,4(40):13-16.(ZHOU Yangyang,LI Zhijia,YAO Cheng,et al. Study on the application of API model based on SCE-UA algorithm[J]. Water Power,2014,4(40):13-16.(in Chinese))
- [12] 董艳萍,袁晶瑛.流域水文模型的回顾与展望[J].水力发电,2008,34(3):20-23.(DONG Yanning,YUAN Jingying. The Retrospect and looking into the future of watershed hydrological model[J]. Water Power,2008,34(3):20-23.(in Chinese))
- [13] 方红远,孙建峰.推求水文单位线的优化计算法[J].水电能源科学,2003,3(21):14-16.(FANG Hongyuan,SUN Jianfeng. Optimization Method for Calculating Composite Unit Hydrograph[J]. Water Resources and Power,2003,3(21):14-16.(in Chinese))
- [14] 张文华,夏军,张翔,等.考虑降雨时空变化的单位线研究[J].水文,2007,5(27):1-6.(ZHANG Wenhua,XIA Jun,ZHANG Xiang,et al. A unit hydrograph model considering spatiotemporal variation of rainfall[J]. Journal of China Hydrology,2007,5(27):1-6.(in Chinese))
- [15] 芮孝芳.地貌瞬时单位线研究进展[J].水科学进展,1999,3(10):345-350.(RUI Xiaofang. Some advances in geomorphologic instantaneous unit hydrograph theory[J]. Advances in Water Science,1999,3(10):345-350.(in Chinese))
- [16] 金菊良,丁晶,魏一鸣.瞬时单位线的优化估计[J].水文,2003(1):70-75.(JIN Juliang,DING Jing,WEI Yiming. Optimal estimation of instantaneous unit hydrograph[J]. Journal of China Hydrology,2003(1):70-75.(in Chinese))
- [17] 赵人俊.流域水文模拟[M].北京:水利电力出版社,1984.(ZHAO Renjun. Catchment hydrological modeling[M]. Beijing: China Water Power Press,1984.(in Chinese))
- [18] 江燕,刘昌明,胡铁松,等.新安江模型参数优选的改进粒子群算法[J].水利学报,2007,10(38):1200-1206.(JIANG Yan,LIU Changming,HU Tiesong,et al. Improved particle swarm optimization for parameter calibration of Xin'anjiang model[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2007,10(38):1200-1206.(in Chinese))
- [19] 薛志春,李成林,彭勇,等.人类活动对流域洪水过程的影响分析[J].南水北调水利科技,2013,11(6):4-9.(XUE Zhichun,LI Chenglin,PENG Yong,et al. Impact analysis of human activities on flood process in the river basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology,2013,11(6):4-9.(in Chinese))