

Study of Reservoir Inflow Forecast in Fushui Basin Using Xin'anjiang Model

Hai Yi, Huang Zhong

Hubei Provincial Administration of Fushui Reservoir, Huangshi Hubei
Email: yh96053yh@163.com

Received: Jan. 2nd, 2016; accepted: Jan. 18th, 2016; published: Jan. 25th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Fushui reservoir plays an important role in flood control and hydropower generation. In this paper, the Xin'anjiang model is applied for the reservoir inflow forecast based on the daily and hourly data from 2000 to 2014 in Fushui basin. The data sets from 2000 to 2009 are used for model calibration, and those from 2010 to 2014 are used for model validation. For the daily model, the Nash coefficient is 0.89 and 0.88 for the calibration and validation periods, respectively, while it is both of 0.9 for the flood events. The results show that the Xinanjiang model can simulate the reservoir inflow well and achieve a satisfactory forecast precision.

Keywords

Xin'anjiang Model, Reservoir Inflow, Fushui Reservoir

基于新安江模型的富水水库入库洪水预报方案研究

易海, 钟凰

湖北省富水水库管理局, 湖北 黄石
Email: yh96053yh@163.com

收稿日期: 2016年1月2日; 录用日期: 2016年1月18日; 发布日期: 2016年1月25日

作者简介: 易海(1978-), 男, 广西灵川人, 工程师(中级), 水文水资源专业。

文章引用: 易海, 钟凰. 基于新安江模型的富水水库入库洪水预报方案研究[J]. 水资源研究, 2016, 5(1): 86-93.
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.51011>

摘要

富水水库肩负着防洪、发电等综合利用任务,本文选用三水源新安江模型,用确定性系数作为参数率定的目标函数,对2000~2014年共计15年日资料和场次洪水资料进行入库洪水预报方案研究,其中2000~2009年为率定期,2010~2012年为检验期。日模拟中产流量相对误差均小于5%,确定性系数最小为0.72,最大为0.96,率定期均值为0.89,检验期均值为0.88;次洪模拟中产流量相对误差小于10%的有30次,占81%。确定性系数最小为0.81,最大为0.97,率定期和检验期的均值都为0.90。模拟效果较为理想,可有效指导生产实践。

关键词

新安江模型, 入库流量, 富水水库

1. 引言

富水水库位于湖北省阳新县境内,长江水系富水流域富水河上,控制流域面积 2450 km²,总库容 16.65 m³,是一座以防洪、发电为主综合利用的大(I)型水库。水库设计洪水标准为千年一遇洪水设计,万年一遇洪水校核。富水为长江中下游南岸一级支流,发源于湖北省的通山、崇阳和江西省修水三县交界处的幕阜山北麓,向东流经通山、阳新两县,沿途顺次纳入南北支流横石河、黄沙黄、燕厦河、龙港河和三溪河等主要支流及湖泊来水,至富池口汇入长江。本文采用三水源新安江模型对富水水库入库洪水预报进行研究。

2. 研究方法

2.1. 新安江模型

新安江模型是河海大学赵人俊教授等提出来的概念性水文模型[1],经不断改进与发展,已成为国内外应用广泛的流域水文模型之一,尤其适应于南方湿润地区。本研究采用划分径流为地表径流、壤中流以及地下径流的三水源新安江模型。采用蓄满产流假定进行产流计算,将流域内各点不同土壤含水容量概化成蓄水容量曲线。蒸散发计算采用三层蒸发模式计算,将土壤层划分为上层、下层以及深层。三水源新安江模型将净雨划分成地面径流、壤中流以及地下径流,其中地面径流采用单位线进行汇流计算,壤中流和地下径流经过线性水库的调蓄分别作为地下水出流和壤中流出流[2]。其计算流程见图1。

2.2. 评价方法

采用2个指标评价模型精度:径流总量相对误差 RE 、确定性系数 DC ,计算公式分别如下:

(1) 径流总量相对误差

$$RE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{s,i} - \sum_{i=1}^n Q_{o,i}}{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}} \times 100\% \quad (1)$$

(2) 确定性系数

$$DC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (2)$$

式中： $Q_{s,i}$ 为模拟流量值； $Q_{o,i}$ 、 Q_o 分别为实测流量值及其均值； n 为资料序列长度。

3. 实例应用

3.1. 富水水库概况及基本资料

富水为长江中下游南岸一级支流，发源于湖北省的通山、崇阳和江西省修水三县交界处的幕阜山北麓，向东流经通山、阳新两县，沿途顺次纳入南北支流横石河、黄沙黄、燕厦河、龙港河和三溪河等主要支流及湖泊来水，至富池口汇入长江。

如图2所示，富水流域面积5310 km²，干流长度194.6 km，平均宽度43 km，境内地势西南高东北低，最高峰为西南部的老鸦尖，海拔1657 m，最低处为下游湖区约12~15 m；干流通山以上为上游，河道陡峻；通山至阳新为中游，低山、丘陵互见；阳新至富池口为下游，地势平坦，湖泊众多，富水河道总落差613 m。富水流域属亚热带季风气候，其下游平均气温16.6℃，年最高气温41.4℃（1966年8月10日），年最低气温-14.9℃（1969年2月1日）。流域多年平均降水量1594 mm，降雨年内分配不均，4~8月占全年降水量的三分之二，流域多年平均径流量22.1亿m³。根据流域的自然地理及气候特征，选用新安江模型是合适的。

选用2000~2014年共计15年日资料和37场洪水资料进行模型计算，其中2000~2009年作为率定期，2010~2014年作为检验期。资料包括13个雨量站的逐日和4段制降雨资料，富水水库反演的逐日和时段入库流量过程，富水水位站(出库站)E601蒸发皿逐日蒸发资料，水库有关特征曲线资料等。流域面雨量采用泰森多边形法计算，流域平均蒸发量采用富水站实测蒸发数据[3]。

3.2. 结果分析

先根据模型参数概念分析方法初定参数范围和初值，然后根据合适的目标函数进行参数率定[4]-[6]。日模型和次模型的参数率定结果见表1。

从表2富水水库新安江日模型模拟结果可以看出，日模模拟中年产流量绝对误差小于100 mm的有15次，占100%，绝对误差小于20 mm的有6次，占40%，产流量相对误差均小于5%。确定系数最小为0.72，最大为0.96，率定期均值为0.89，检验期均值为0.88。

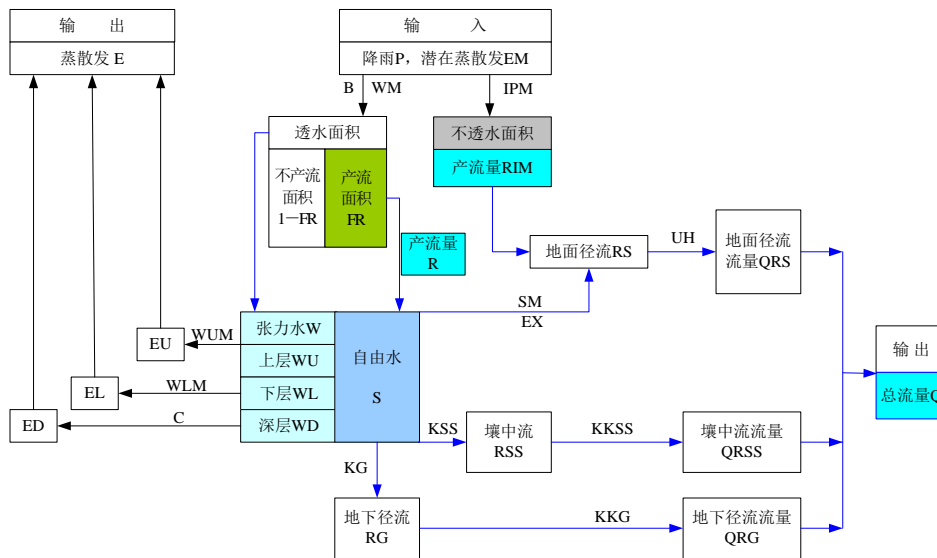


Figure 1. Flowchart of three-water sources Xin'anjiang model
图1. 三水源新安江模型流程图

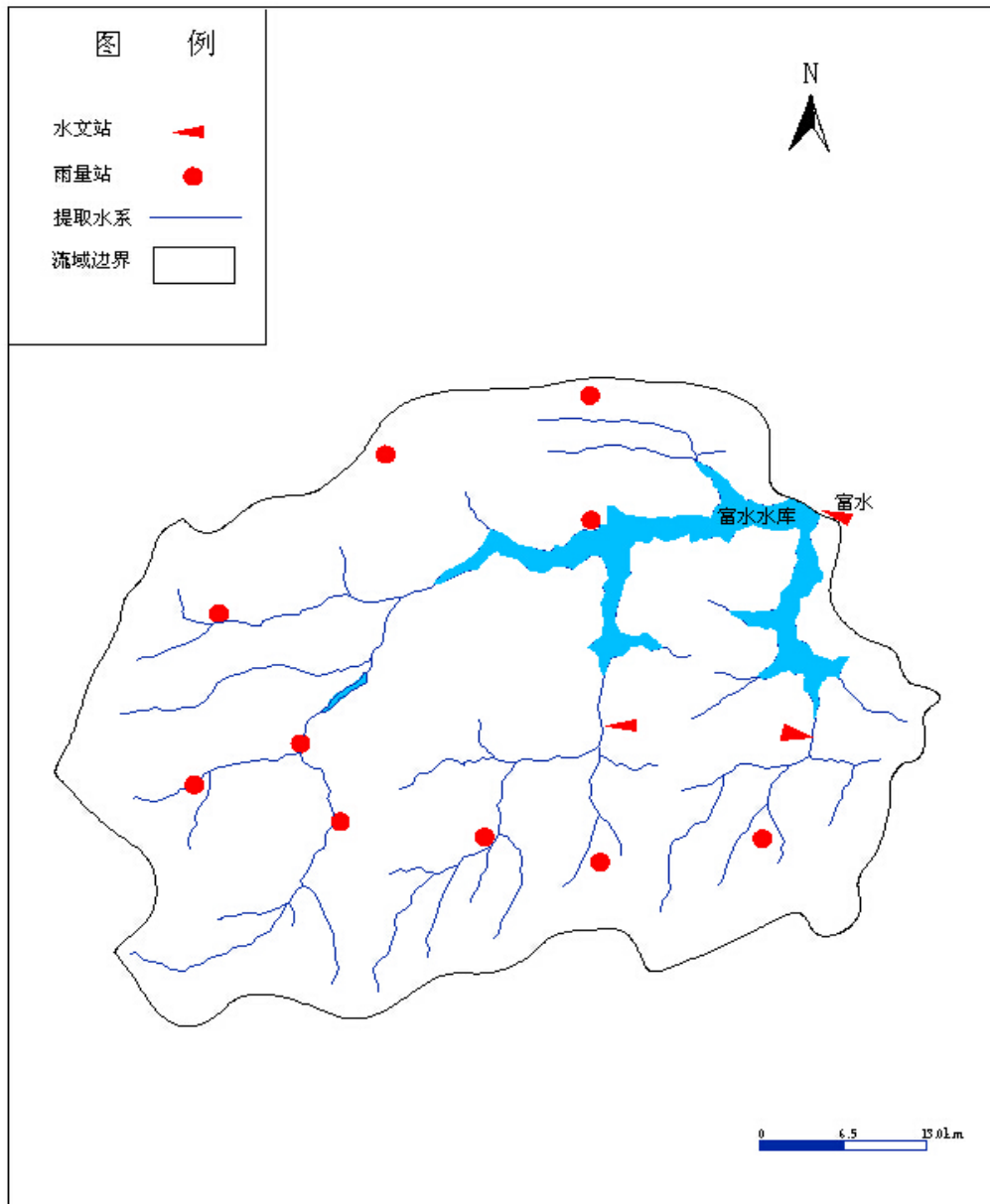


Figure 2. Distribution of gauged stations in Fushui basin
图 2. 富水流域水系及站点分布

从表 3 富水水库新安江次洪模型模拟结果可以看出，次洪模拟中，次洪产流量绝对误差小于 5 mm 的有 29 次，占 78%，绝对误差最大为 10.6 mm。产流量相对误差小于 10% 的有 30 次，占 81%。确定系数最小为 0.81，最大为 0.97，率定期和检验期的均值都为 0.90。图 3 和图 4 分别展示了新安江日模和次模在检验期的模拟入库流量和反推入库流量过程。

4. 结语

本研究采用新安江模型对富水水库入库流量进行了日模和次洪过程模拟，参数率定以确定性系数为目标函数，通过对模拟结果进行分析，得到如下结论及展望：

(1) 采用新安江模型对水库入库流量进行预报研究，模型结果精度较高，可作为富水入库洪水预报方案。

Table 1. Calibrated parameters of the Xin'anjiang model in Fushui basin

表 1. 富水水库新安江模型参数率定结果

参数	参数意义	日模型	次模型
K	蒸发折算系数	0.97	0.97
WUM	流域上层蓄水容量	20	20
WLM	流域上层蓄水容量域下层蓄水容量	80	80
C	流域蒸发扩散系数	0.16	0.16
WM	流域平均蓄水容量	150	150
B	张力水蓄水容量曲线方次	0.3	0.3
IM	不透水面积占流域的比例	0.02	0.02
SM	表层自由水蓄水容量	17	35
EX	表层自由水蓄水容量曲线方次	1.1	1.1
KG	自由水箱地下水出流系数	0.2	0.2
KI	自由水箱壤中流出流系数	0.5	0.5
CI	壤中流线性水库汇流系数	0.6	0.6
CG	地下水线性水库汇流系数	0.98	0.98
CS	地面水线性水库汇流系数	0.2	0.36
KE	马斯京根法河段传播时间	24	6
XE	马斯京根法流量比重系数	0.4	0.4

Table 2. Daily results of the Xin'anjiang model in Fushui basin

表 2. 富水水库新安江日模型模拟结果

	年份	降雨量(mm)	计算径流量(mm)	实测径流量(mm)	绝对误差(mm)	相对误差(%)	确定系数
模型率定	2000	1326.6	594.6	570.4	24.2	4.24	0.91
	2001	1184.9	536.2	529.8	6.4	1.21	0.92
	2002	1937.2	1141.0	1163.4	-22.4	-1.93	0.96
	2003	1627.7	950.3	982.5	-32.2	-3.28	0.85
	2004	1403.2	596.8	624.0	-27.2	-4.35	0.94
	2005	1447.7	726.2	740.9	-14.7	-1.98	0.88
	2006	1353.0	624.6	643.1	-18.5	-2.87	0.96
	2007	1183.7	446.0	486.2	-40.2	-8.27	0.86
	2008	1483.1	632.0	650.1	-18.1	-2.78	0.84
	2009	1419.2	627.5	637.7	-10.2	-1.60	0.72
	均值	1436.6	687.5	702.8	-15.3	-2.16	0.89
模型检验	2010	2022.1	1173.2	1199.7	-26.5	-2.21	0.80
	2011	1302.2	665.5	641.1	24.4	3.81	0.92
	2012	1965.4	1170.1	1128.5	41.6	3.69	0.94
	2013	1342.6	701.4	724.1	-22.7	-3.13	0.87
	2014	1815.0	1034.2	1055.6	-21.4	-2.03	0.89
		均值	1689.5	948.9	949.8	-0.9	0.02

Table 3. Hourly results of the Xin'anjiang model in Fushui basin

表 3. 富水水库新安江次洪模型模拟结果

	洪号	降雨量(mm)	计算径流量(mm)	实测径流量(mm)	绝对误差(mm)	相对误差(%)	确定系数
	20000418	63.4	30.0	31.6	-1.6	-5.06	0.91
	20000528	64.3	27.7	29.6	-1.9	-6.42	0.92
	20010427	99.1	49.7	54.1	-4.4	-8.13	0.96
	20010504	43.3	26.8	24.0	2.8	11.67	0.85
	20020422	143.4	103.7	99.3	4.4	4.43	0.94
	20020503	69.1	52.5	48.5	4.0	8.25	0.88
	20020512	112.9	90.5	97.3	-6.8	-6.99	0.97
	20020528	37.8	22.7	19.9	2.8	14.07	0.86
	20020724	162.1	104.0	102.3	1.7	1.66	0.95
	20020815	64.9	27.0	29.7	-2.7	-9.09	0.90
	20030408	75.5	36.9	33.6	3.3	9.82	0.89
	20030418	90.3	57.7	52.2	5.5	10.54	0.92
	20030428	52.4	34.0	30.9	3.1	10.03	0.96
	20030511	108.2	76.8	73.6	3.2	4.35	0.94
模型 率定	20030623	192.1	114.8	125.4	-10.6	-8.45	0.83
	20030705	147.5	94.6	91.3	3.3	3.61	0.93
	20040407	55.0	27.8	33.7	-5.9	-17.51	0.81
	20040511	112.8	75.2	77.7	-2.5	-3.22	0.96
	20040603	96.3	75.0	79.6	-4.6	-5.78	0.94
	20040618	57.5	43.1	42.0	1.1	2.62	0.97
	20040623	61.6	32.1	37.4	-5.3	-14.17	0.82
	20050515	56.6	23.7	26.0	-2.3	-8.85	0.93
	20050626	111.7	63.6	62.4	1.2	1.92	0.92
	20060706	137.8	59.7	66.8	-7.1	-10.63	0.89
	20070421	99.5	43.4	45.6	-2.2	-4.82	0.96
	20070531	81.0	35.4	39.2	-3.8	-9.69	0.93
	20080802	74.0	50.1	48.3	1.8	3.73	0.97
	20090423	63.1	36.7	39.5	-2.8	-7.09	0.96
	20090724	111.8	61.6	63.9	-2.3	-3.60	0.89
	均值	91.2	54.4	55.4	-1.0	-1.48	0.90
模型 检验	20100710	187.8	148.4	156.4	-8.0	-5.12	0.93
	20110603	99.9	41.9	45.6	-3.7	-8.11	0.94
	20110609	241.8	183.8	180.9	2.9	1.60	0.92
	20110616	75.4	60.1	63.5	-3.4	-5.35	0.93
	20110627	59.9	53.8	50.2	3.6	7.17	0.90
	20120811	101.1	59.4	63.6	-4.2	-6.60	0.93
	20130626	93.2	54.2	57.3	-3.1	-5.41	0.83
	20140702	173.7	143.6	136.4	7.2	5.28	0.89
		均值	129.0	93.2	94.2	-1.1	-2.07

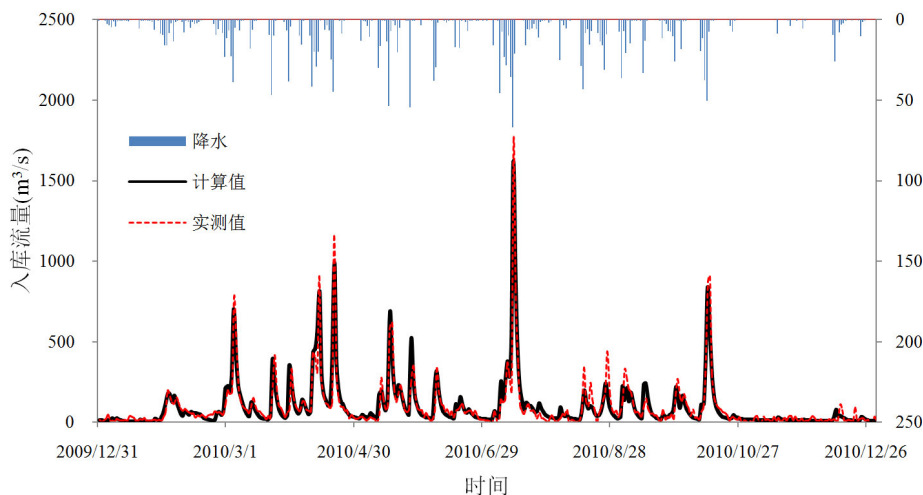


Figure 3. Comparison of simulated and observed daily reservoir inflow of 2010 in the validation period

图 3. 检验期 2010 年日模拟与观测结果比较图

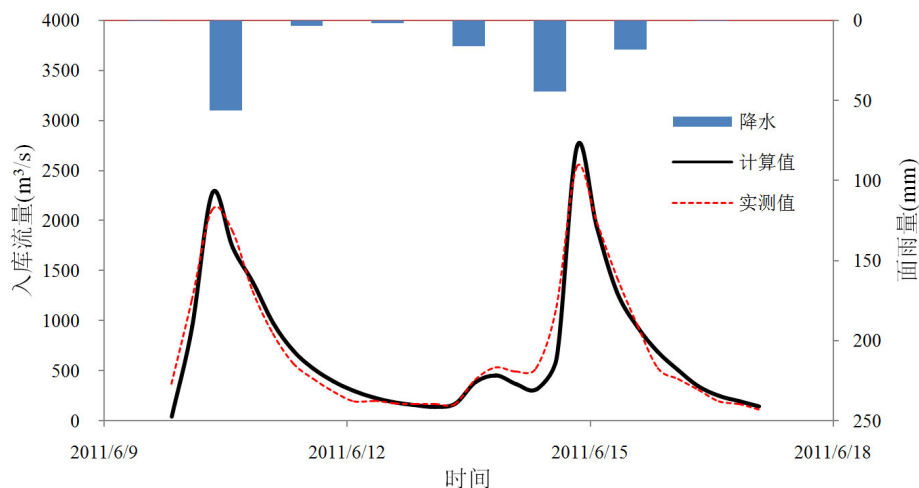


Figure 4. Comparison of simulated and observed hourly reservoir inflow of 2010 in the validation period

图 4. 检验期 2011 年小时模拟与观测结果比较图

(2) 逐日和时段流量过程均通过水库水量平衡反推得出, 由于水位观测的误差, 以及采用的出库流量的误差, 会对模拟结果的确定性系数造成影响。另外, 水库蓄泄的不确定性, 对计算与实测结果有一定的影响。

参考文献 (References)

- [1] 徐宗学. 水文模型: 回顾与展望[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2010, 46(3): 278-289.
XU Zongxue. Hydrological models: Past, present and future. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2010, 46(3): 278-289. (in Chinese)
- [2] 赵人俊. 流域水文模拟: 新安江模型与陕北模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
ZHAO Renjun. Watershed hydrological simulation: Xinanjiang model and Shanbei model. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1984. (in Chinese)
- [3] 翟丽妮, 关洪林, 张祖莲, 李娜. 新安江模型在梁子湖入湖洪水计算中的应用[J]. 人民长江, 2013, 44(4): 21-24.
ZHAI Lini, GUAN Honglin, ZHANG Zulian and LI Na. Application of Xinanjiang model in computing inflow flood of Liangzi Lake. Yangtze River, 2013, 44(4): 21-24. (in Chinese)

-
- [4] 赵人俊, 王佩兰, 胡凤彬. 新安江模型的根据及模型参数与自然条件的关系[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 20(1): 52-59.
ZHAO Renjun, WANG Peilan and HU Fengbin. Relations between parameter values and corresponding natural conditions of Xinanjiang model. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2004, 20(1): 52-59. (in Chinese)
- [5] 张俊, 郭生练, 李超群, 林凯荣. 概念性流域水文模型比较研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2007, 40(2): 1-6.
ZHANG Jun, GUO Shenglian, LI Chaoqun and LIN Kairong. Comparative study of conceptual watershed hydrologic models. Engineering Journal of Wuhan University, 2007, 40(2): 1-6. (in Chinese)
- [6] 李泽君, 刘攀, 张旺, 陈西臻, 邓超. SWAT 模型和新安江模型在汉江旬河流域的应用比较研究[J]. 水资源研究, 2014, 3(4): 307-314.
LI Zejun, LIU Pan, ZHANG Wang, CHEN Xizhen and DENG Chao. Comparative study on the performance of SWAT and Xin'anjiang models in Xunhe basin. Journal of Water Resources Research, 2014, 3(4): 307-314. (in Chinese)
<http://dx.doi.org/10.12677/JWRR.2014.34038>