

Study on Reservoir Level Forecasting Model

Chao Deng¹, Pan Liu¹, Zhaohui Wu², Wang Chen²

¹State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan

²Hydrology and Water Resources Bureau of Hubei Province, Wuhan

Email: custdc@foxmail.com

Received: Sep. 30th, 2013; revised: Nov. 20th, 2013; accepted: Nov. 26th, 2013

Copyright © 2014 Chao Deng et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Chao Deng et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: The reservoir level prediction is of important significance to the reservoir operation. In this paper, the forecasting model is built to predict the water level in short-term through combining the three-water sources Xin'anjiang model with water balance equation. The proposed forecasting model is applied to analyze the data of Shuibuya reservoir located in Qingjiang River. The result shows that the proposed model can simulate the reservoir inflow well and achieve a satisfactory forecast precision.

Keywords: Water Level Prediction; Reservoir Inflow; Xin'anjiang Model; Shuibuya Reservoir

水库水位预报模型研究

邓超¹, 刘攀¹, 伍朝晖², 陈旺²

¹武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉

²湖北省水文水资源局, 武汉

Email: custdc@foxmail.com

收稿日期: 2013年9月30日; 修回日期: 2013年11月20日; 录用日期: 2013年11月26日

摘要: 水库调度通过水位调控, 达到兴利防灾的目的, 因此开展水库水位预报具有重要意义。以三水源新安江模型模拟降雨径流关系, 利用水库调洪演算原理, 构建水库水位预报模型。以水布垭水库为研究对象开展实例研究, 结果表明利用建立的水位预报模型无需反推入库流量, 水位预报误差满足水文预报精度要求, 可有效指导生产实践。

关键词: 水位预报; 入库流量; 新安江模型; 水布垭水库

1. 引言

在水库防洪兴利决策中, 对库区洪水位做出及时准确的预报是调度运行的前提。目前水库水位预报的主要方法有^[1,2]: 1) 采用水库调洪演算原理和水库特征曲线推求水位; 2) 基于圣维南方程的水动力学方法; 3) 采用智能算法进行水库水位预报, 如人工神经网络

作者简介: 邓超(1990-), 男, 湖南常德人, 硕士研究生, 研究方向为水文预报。

等。其中水动力学方法计算复杂, 而且需要详细的水库水文地质资料; 人工神经网络方法虽然具有较高的精度, 但结构具有不唯一性, 收敛性较慢。

对于第一种方法, 存在的主要问题是入库流量必须由水库水量平衡方程反推, 易呈现较大幅度的振荡, 甚至出现负值。针对该方法存在的问题, 本文利用三水源新安江模型和水库调洪演算原理, 以确定性系数为主要评价指标, 建立水库水位预报模型, 开展水库

水位预报研究。

2. 研究方法

2.1. 模型的建立

本文利用三水源新安江模型^[3]和水量平衡方程, 建立水库水位预报模型。模型的输入为流域面平均降雨量 P 和流域平均蒸发 E , 输出为水库水位 Z , 水位预报模型的流程见图 1。

自赵人俊教授等于 1973 年提出新安江水文模型至今, 该模型在国内外得到了广泛的应用, 并取得了良好的成果。本文采用三水源新安江模型, 模型采用分散性结构设计, 分为蒸散发计算、产流计算、分水源计算和汇流计算 4 个层次结构^[4]。模型各层次的参数及含义见表 1。

水库调度采用连续时段递推的方法进行计算, 主要是求解由水量平衡方程和水库蓄泄方程所组成的方程组:

$$V_{t+1} = V_t + [\bar{I} - \bar{O}] \times \Delta t \quad (1)$$

$$Z_t = f(V_t) \quad (2)$$

式中, V_t, V_{t+1} 为水库 t 时段初、末的蓄水量; \bar{I} 为 t 时段平均入库流量; \bar{O} 为 t 时段平均出库流量; Δt 为时段长; Z_t 为 t 时段水库水位; $f(*)$ 为水库水位库容曲线。

对于式(1)中水库出库流量而言, 一般由几部分组成, 如发电流量、农业灌溉或生活用水供水流量、水库弃水下泄流量, 具体根据水库的功能和运用情况而定。

2.2. 目标函数的选取

在本次研究中, 选取的目标函数不仅考虑模型对水位过程的拟合效果, 同时考虑实测值与模拟值的总体偏差。将两个优化目标转化为单目标问题处理, 得到的目标函数如下所示:

$$\min F = F_1 (1 + F_2) \quad (3)$$

$$F_1 = \sum_{i=1}^N (Z_{obs} - Z_{sim})^2 \quad (4)$$

$$F_2 = \left| \sum_{i=1}^N Z_{obs} - \sum_{i=1}^N Z_{sim} \right| / \sum_{i=1}^N Z_{obs} \quad (5)$$

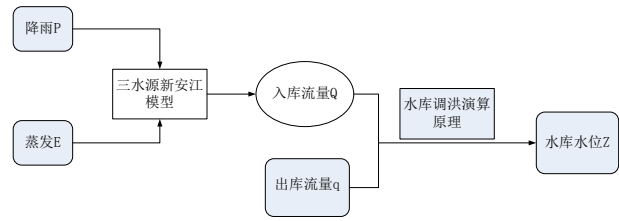


Figure 1. Schematic overview of the water level prediction model
图 1. 水位预报模型流程图

Table 1. Parameters of the Xin'anjiang model
表 1. 新安江模型参数

层次	方法	参数	参数含义	敏感性
1	三层蒸发模型	WUM/mm	上层张力水容量	不敏感
		WLM/mm	下层张力水容量	不敏感
		KC	蒸发能力折算系数	敏感
		C	深层蒸发折算系数	不敏感
2	蓄满产流模型	WM/mm	流域平均张力水容量	不敏感
		B	张力水蓄水容量曲线万次	不敏感
		IM	流域不透水面积比	不敏感
3	自由水蓄水水库结构	SM/mm	自由水蓄水容量	敏感
		EX	自由水蓄水容量曲线万次	不敏感
		KG	自由水蓄水水库对地下水的日出流系数	敏感
		KSS	自由水蓄水水库对壤中流的日出流系数	敏感
		KKSS	壤中流的消退系数	敏感
4	线性水库	KKG	地下水的消退系数	敏感
		CS	河网蓄水的消退系数	敏感
		L/h	河网汇流滞时	敏感

式中: Z_{obs} 为水位实测值; Z_{sim} 为水位预报值; N 为资料序列长度。

3. 实例应用

水布垭水库是清江流域梯级开发的龙头水库, 坝址位于湖北省巴东县境内, 集水面积为 10,860 km²。水库正常蓄水位 400 m, 对应库容 43.12 亿 m³, 总库容 45.8 亿 m³, 装机容量 1600 MW, 是以发电、防洪、航运为主, 以及兼顾其他的水利枢纽工程。水布垭水库显著增加了清江下游的隔河岩和高坝洲两座电站的调频调峰能力, 也是长江中下游防洪体系的重要组成部分。因此, 开展水布垭水库水位预报能够为水库的正常运用和防洪提供保障。

3.1. 数据

本文以水布垭水库以上的集水区为研究区域, 计算过程中使用的资料如下: 1) 清江流域水布垭断面以上 14 个雨量站 2011~2012 年的 1 小时段降雨资料; 2) 流域 4 个蒸发站 1989~2003 年的逐日蒸发资料; 3) 水布垭 2011~2012 年 1 小时水库运行资料; 4) 水布垭水库水位库容特征曲线。

流域面雨量采用泰森多边形法进行计算, 各站点的权重值见表 2; 流域平均蒸发采用算术平均法计算。

3.2. 结果分析

为了评价模型的精度, 使用以下指标: 1) 均方差 *RMSE*, 该指标反映了模拟值与实测值之间的接近程度, 最小的 *RMSE* 值表明模拟值对实测值的最佳逼近; 2) 绝对平均误差 *MAE*, 反映模拟值相对于实测值的偏离程度; 3) 确定性系数 *Ens*, 反映模型对实测水位过程的拟合程度, 其值越接近于 1, 表明模型的效果越好。三个指标的计算公式依次是:

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^N \frac{(Z_{sim,i} - Z_{obs,i})^2}{N} \right]^{0.5} \quad (6)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^N \frac{|Z_{sim,i} - Z_{obs,i}|}{N} \quad (7)$$

$$Ens = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Z_{sim,i} - Z_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Z_{obs,i} - \overline{Z_{obs}})^2} \quad (8)$$

式中: $Z_{obs,i}$ 、 $\overline{Z_{obs}}$ 分别为第 i 时刻实测水位值及其均值; $Z_{sim,i}$ 为第 i 时刻预报水位值; N 为样本个数。

列出 2011 年 5 月 1 日~5 月 8 日、5 月 11 日~5 月 14 日、8 月 9 日~8 月 12 日、10 月 3 日~10 月 7 日、11 月 7 日~11 月 10 日 5 次水库运行过程检验水位预报模型。表 3 给出了 5 次水位过程的评价结果; 选取第 1 次水位过程, 绘出反推入流与模拟入流过程见图 2, 相应的水位过程参见图 3。可以看出, 模型对水位的整体过程具有较好的拟合结果, 5 次水位过程的 *Ens* 均值为 0.79, 表明该模型在水库水位预报方面具有一定的可行性。根据《水文情报预报规范》, 精度达到乙级以上标准, 符合预报要求, 能够为水库调度提供较为直观的参考依据。

由图 2 可以看出, 反推的水库入库流量存在较大

Table 2. Rainfall stations in Shuibuya reservoir
表 2. 水布垭水库流域雨量站点一览表

站号	站名	权重	站号	站名	权重
1010	新板桥	0.05	2410	金果坪	0.07
1210	恩施	0.18	2510	野山关	0.04
1310	咸丰	0.11	2910	利川	0.07
1610	茅田	0.05	4110	团堡	0.09
1710	建始	0.07	4410	高坪	0.02
2110	红土溪	0.13	4510	崔坝	0.02
2210	花果坪	0.08	5010	水布垭	0.02

Table 3. Results of the water level prediction model
表 3. 水位预报模型结果统计

序号	时间	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>	<i>Ens</i>
1	20110501~20110508	0.14	0.13	0.90
2	20110511~20110514	0.17	0.15	0.58
3	20110809~20110812	0.18	0.17	0.80
4	20111003~20111007	0.24	0.24	0.90
5	20111107~20111110	0.20	0.18	0.78
平均	/	0.19	0.17	0.79

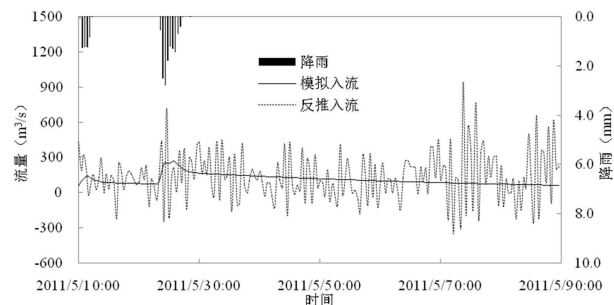


Figure 2. Comparisons of observed flow and simulated flow on May 1 to May 8, 2011

图 2. 2011 年 5 月 1 日~5 月 8 日流量过程对比

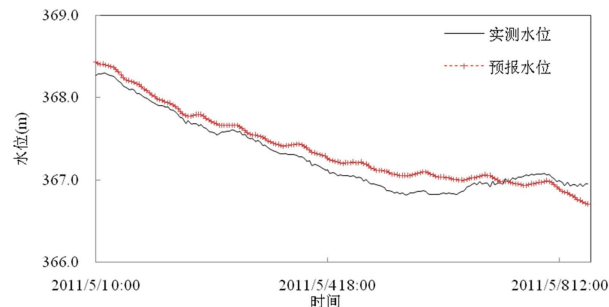


Figure 3. Comparisons of observed level and simulated level on May 1 to May 8, 2011

图 3. 2011 年 5 月 1 日~5 月 8 日水位过程对比

幅度的振荡, 不能真实地反映实际流量过程, 而通过模型计算出的流量, 其过程线较为平滑, 且与降雨过程相对应。

4. 结语

本文结合三水源新安江模型和水量平衡原理, 建立水库水位预报模型, 通过对以上结果进行分析, 得出以下结论:

1) 模型以流域降雨、蒸发作为输入, 水库水位作为输出, 入库流量过程为中间变量, 较好的解决了其需要反推的问题;

2) 水库水位预报方法简单, 易于操作, 在水布垭水库有一定精度, 具有一定的实际应用价值。

随着水情遥测系统自动化的不断发展, 可以在有比较精确降水预报的基础上结合水库运行规则延长预见期长度, 可更好地为发挥水库最大效益而服务。但应该看到, 由于资料条件的限制, 模型的应用研究需要进一步的完善。

致谢

感谢第十一届中国水论坛推荐!

基金项目

水利部公益性行业科研专项经费项目(201201051-01); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-11-0401); 湖北省重大水利科研经费项目。

参考文献 (References)

- [1] 罗时朋, 徐学军, 等. 清江隔河岩库区水位预报[J]. 人民长江, 2003, 34(2): 8-9.
LUO Shipeng, XU Xuejun, et al. Water level forecasting in Geheyan reservoir on Qingjiang River. Yangtze River, 2003, 34(2): 8-9. (in Chinese)
- [2] BAZARTSEREN, B., HILDEBRANDT, G. and HOLZ, K.-P. Short-term water level prediction using neural networks and neuro-fuzzy approach. Neurocomputing, 2003, 55(3-4): 439-450.
- [3] 赵人俊. 流域水文模型——新安江模型和陕北模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
ZHAO Renjun. Hydrological model—Xin'anjiang model and Shanbei model. China Water & Power Press, Beijing, 1984.
- [4] 包为民. 水文预报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
BAO Weimin. Hydrological forecasting. Beijing: China Water & Power Press, 2009.