

文章编号:1004-9045(2007)04-0334-05

赣江流域水位预报模式初步研究

叶小峰¹, 周建雄², 戴晶晶¹, 曹艳华³, 陈石忠¹, 林小莉¹, 肖敏光¹

(1.江西省萍乡市气象局,萍乡 337002; 2.江西省上饶市气象局,上饶 334000;

3.江西井冈山大学数理学院,吉安 343009)

摘要:利用赣江流域 2004-2006 年 4-7 月气象站的实测雨量资料,计算得到流域上、中、下流域段的面雨量,以面雨量为初值场,再利用最小二乘法原理求解方程,建立了赣江流域水位预报模式;并通过对 2003 年 5-7 月(4 月份缺资料,5-7 月部分资料残缺)水位预报模拟试验进行检验。结果表明:模拟值能反映出赣江流域上、中、下游的水位突变趋势,与实况值变化趋势较吻合,对防汛决策服务有一定的参考意义。

关键词:赣江流域;水位预报;模式研究

中图分类号:P339 文献标识码:A

1 引言

江西省地处东亚季风区,降水呈现明显的季节变化,大部分降水主要集中在 4-7 月,具有突发性和强度大等特点。赣江流域是江西境内最大的河流,流域范围的主要降水特点是暴雨日集中,暴雨频繁,连续暴雨过程多,降水强度较大。这时期发生的暴雨极易对沿岸地区经济的可持续性发展以及人民生命财产构成严重威胁,因而成为江西省气象学者关注的重点。

目前,我国水文部门主要用降雨实况资料计算径流、预报水位和流量,此种方法预测水位和流量变化在时间上滞后,而用流域面雨量作为流域水文模式的初值场,可以作为水位预测的一种尝试。在国外,面雨量预报^[1-2]早已应用于水文预报,在我国,也有诸多学者^[3-6]涉足这方面研究,如:王淑英,陈守煜利用加权平均的权重优选算法计算面雨量,单九生,张瑛,周建雄等用细网格方法推算流域面雨量;郁淑华在面雨量计算方法的比较分析上有较深的研究;董官臣,冶林茂,符长锋将面雨量应用于天气预报业务。但是上述研究仅局限于面雨量预报,未能与流域水位预报结合起来。为此,本文在基于 2004-2006 年 4-7 月各段监测站实测雨量资料的面雨量计算方法上,以面雨量为初值场,利用最小二乘法原理求解方程系数,从而建立了赣江流域 4-7 月降水集中期水位预报模式,为日常水位预报业务提供一定的参考依据。

2 面雨量计算及与水位的相关分析

2.1 面雨量计算

根据水文学定义:某一特定区域或流域的平均降水状况,定义为单位面积上的降水量。面平均雨量可表示为:

$$P_A = \frac{1}{A} \int_A R dA \quad (1)$$

式中 A 为特定区域面积, R 为有限元 dA 上的雨量。将赣江流域划分为上、中、下游三段。面雨量计算采用流域内各测站实测雨量的算术平均法,即:

$$R_{\text{面}} = \sum_{i=1}^N R_i / N \quad (2)$$

式中 $R_{\text{面}}$ 为某一流域的面雨量, R_i 为该流域内第 i 个站的日降雨量, N 为该流域内有限的站点个数。

通过计算机自动获取流域内各测站的观测降水资料和水位资料。计算 2004-2006 年 4-7 月各段观测站实测雨量资料,得到流域各段面雨量。水位观测残缺数据采用 Surfer8.0 中提供的 Inverse Distance to a Power(反距离加权插值法)的内插方法解决。

2.2 面雨量与水位的相关分析

2.2.1 上游流域面雨量与水位关系

图 1 为赣江上游流域面雨量与水位变化的关系图。由图可见,2004 年日面雨量大于 30 mm 出现在 4 月 24 日,5 月 8 日,6 月 17 日和 7 月 7、8 日,对应水位分别是 92.07、93.15、93.63、93.70 m,最高水位出现在 48 h 以后(前期降水小于 10 mm 时,最高水位滞后 2 日出现),分别为 95.26、95.82、94.01、97.30 m,其中

收稿日期:2007-09-10;定稿日期:2007-11-20

基金项目:中国气象局新技术重点推广项目“长江中游气象水文预报与服务系统研究”(CMATG2006Z08)资助

作者简介:叶小峰,男,1968 年生,高级工程师,主要研究方向为大气物理学与大气环境.E-mail:yexiaofeng@hotmail.com

5月8日面雨量(57.5 mm)达到暴雨级别; 2005年降雨明显期主要集中在4~6月, 其中5月12、15、24日, 6月2、21、23日面雨量超过30 mm; 对应水位分别是95.48、96.0、97.75、(2日缺资料)、96.34、98.95 m, 最高水位出现在24 h以后(前期连续降水, 且降水量小于30 mm时, 最高水位出现在次日), 分别为: 96.45、96.89、(5月25日缺资料)、97.01、98.2、99.40 m, 2006年4月13日, 5月18、22、31日, 6月1、8日, 7月15、16、26、27日面雨量大于30 mm, 对应水位分别是96.43、97.11、97.26、99.54、100.29、100.25、97.51、98.4、95.89、98.29 m, 最高水位出现在当日(前期连续降水量大于30 mm时, 最高水位出现在当日), 其中4月13日, 6月1日, 7月15、16、27日达暴雨级别, 2006年暴雨日数明显多于前两年。

高水位出现在当日)、33.98 m, 其中5月31日和7月7日面雨量(51.29, 56.31 mm)达到暴雨级别; 2005年5月14、24、27、31日, 6月18、20、22日面雨量超过30 mm; 对应水位分别是34.17、34.36、(27日缺资料)、34.69、32.2、33.5、35.05 m, 最高水位出现在48 h后, 分别为35.74、(24、27日次日或48小时资料缺)、34.88 m, 其中6月份连续大-暴雨, 最高水位依次出现在次日, 分别为: 32.25、34.95、36.49 m; 2006年4月10、13、26日, 5月26日, 6月5~8、17日, 7月16日面雨量超过30 mm, 其中6月17日面雨量达暴雨量级; 相应水位分别是31.39、34.19、32.37、33.24、34.66、34.82、35.37、36.91、34.23、34.11 m, 最高水位出现在次日或是48 h后, 其中6月5~8日为连续大-暴雨, 最高水位依次出现在次日。

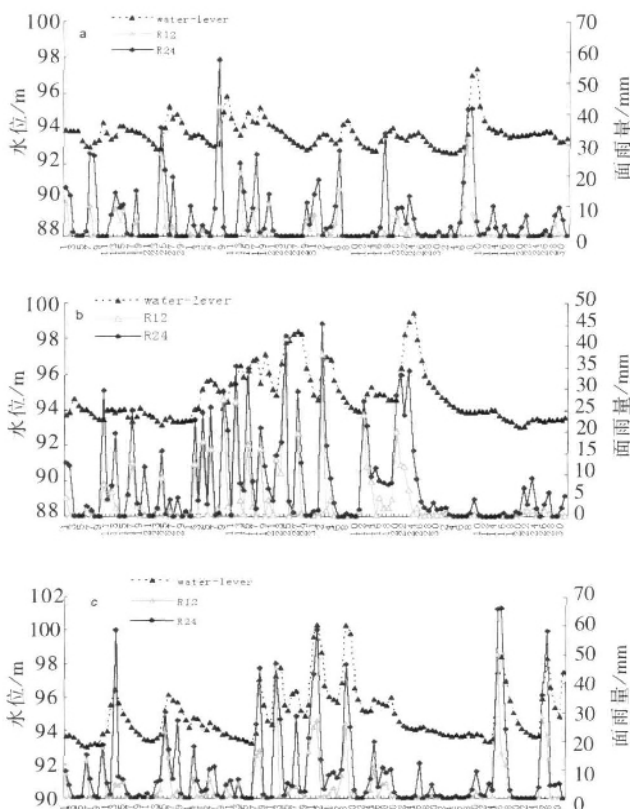


图1 赣江上游2004~2006年4~7月流域面雨量与水位关系 (a) 2004; (b) 2005; (c) 2006

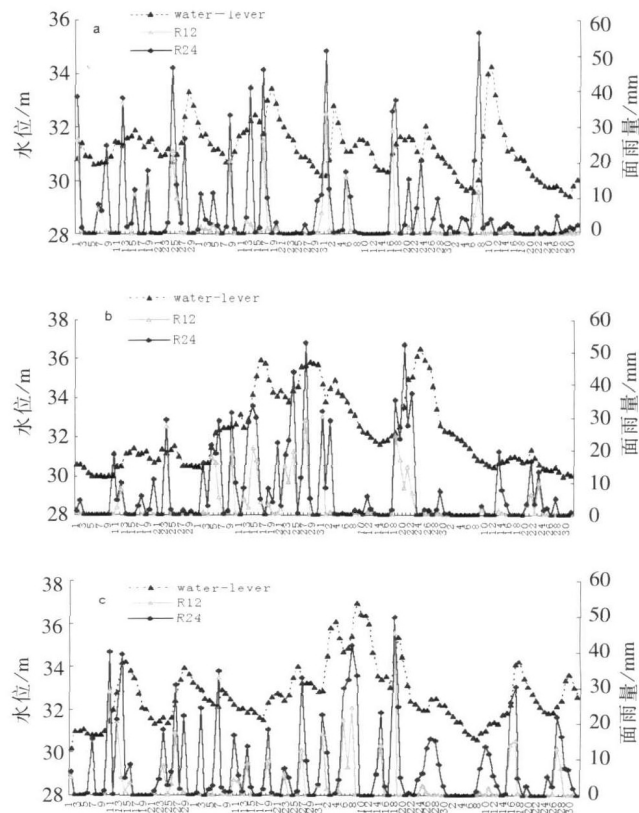


图2 赣江中游2004~2006年4~7月流域面雨量与水位关系 (a) 2004; (b) 2005; (c) 2006

2.2.2 中游流域面雨量与流域水位关系

图2为中游流域面雨量与水位关系图: 从图中可看出, 2004年4月1、12、24日, 5月8、13、16、31日, 6月16、17日和7月7日面雨量大于30 mm, 对应水位分别是(4月1日缺资料)、31.67、30.68、30.71、32.23、31.74、30.16、(6月16日缺资料)、31.37、30.01 m, 最高水位出现在48 h以后(前期降水小于10 mm时, 最高水位滞后2日出现), 分别为:(4月1日缺资料)、31.89、31.4、31.68、32.44、33.42、32.77(其中: 16、17日最

2.2.3 下游流域面雨量与流域水位关系

图3为下游流域面雨量与水位关系图。由图可见, 2004年4月24日, 5月8、12~13、16、30日, 6月5、16日和7月6日面雨量大于30 mm, 其中5月12~13日面雨量达连续暴雨量级, 相应水位分别是16.69、16.89、(5月12日缺资料)、18.46、19.07、17.49、17.76、(6月16日缺资料)17.05 m; 最高水位出现在48 h以后, 分别为: 18.69、17.57、19.4、19.43、18.15、17.76、17.81、19.41 m(其中: 5月12~13日最高水位出现在次日, 为19.4 m);

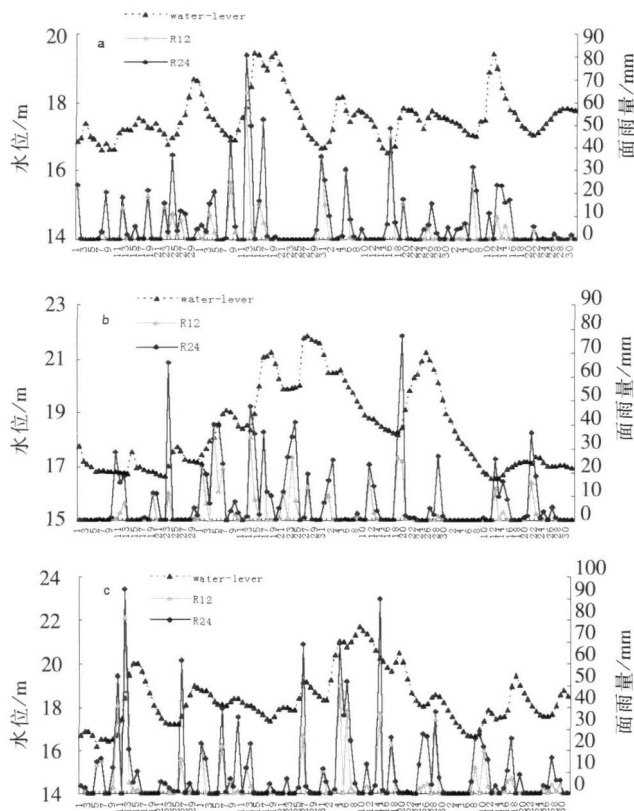


图 3 赣江下游 2004~2006 年 4~7 月流域面雨量与水位关系

(a) 2004; (b) 2005; (c) 2006

2005 年 4 月 23 日, 5 月 4~5、13~14、16、23~24 日, 6 月 18~19 日, 7 月 21 日面雨量超过 30 mm; 其中 4 月 23 日、6 月 19 日面雨量达暴雨级别, 相应水位分别是 17.02、(5 月 4~5 日缺资料)、18.37、18.95、(5 月 16 日缺资料)、19.91、19.96、18.2、18.45、17.13 m; 最高水位出现在 48h 后, 分别为 17.72、19.1、19.05、21.08、21.12、21.26、21.78、21.85、17.38 m, 其中 7 月 21 日最高水位出现在次日, 为: 17.38 m; 2006 年 4 月 10、12、26 日, 5 月 6、10、26 日, 6 月 4~6、14、28 日面雨量超过 30 mm, 其中 4 月 10、12、26 日, 6 月 4、6、14 日面雨量达暴雨量级, 其值依次为 54.61、94.42、61.51、69.22、51.87、89.86 mm; 相应水位分别是 16.71、18.42、17.56、18.13、18.43、19.14、21.02、20.75、20.25、18.59 m, 最高水位出现在 48 h 后, 分别为 18.42、20.0、18.96、18.42、18.43、19.17、21.28、21.68、21.49、20.25、18.59 m, 其中 5 月 10 日、6 月 14、28 日最高水位出现在当日, 5 月 26 日最高水位出现在次日, 其原因同上。

综上所述: 当流域面雨量大于 30 mm 时, 若前期降水较少或是无降水, 最高水位滞后 48 h 出现; 若前期连续降水且降水量不大时, 最高水位出现在次日, 前期连续降水量较大, 最高水位出现在当日。究其原因, 可能与河床渗透能力, 地下径流、降水时间间隔、降水量以及江水流量等因素有关, 另外可能与上游水流的推力以及下游水流阻力作用有关。

3 流域水位预报模式建立

多因子相关在水文计算中经常应用, 通过物理分析或各因子相关计算等方法^[9], 找出自变量中对倚变量影响大的主要相关因子— R_{12} 、 R_{24} 面降雨量, 建立线性方程, 利用最小二乘法原理求解出方程系数, 从而建立流域水位预报模式。

3.1 方程描述

设 n 个自变量为 x_1, x_2, \dots, x_n , 倚变量为 y , 若有 m 组观测数据及对应倚变量的值:

$(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, y_i) \quad i=1, 2, \dots, m$, 一般 $m > n$, 欲求 $y(x_1, x_2, \dots, x_n)$, 当拟合曲线为线性时, 可组成如下线性方程组:

$$\begin{cases} y_1 = a_1 x_{11} + a_2 x_{12} + \dots + a_n x_{1n} \\ y_2 = a_1 x_{21} + a_2 x_{22} + \dots + a_n x_{2n} \\ \dots \\ y_m = a_1 x_{m1} + a_2 x_{m2} + \dots + a_n x_{mn} \end{cases} \quad (3)$$

利用最小二乘法原理求解方程组, 得 a_1, a_2, \dots, a_n , 从而建立水位预测方程:

$$H = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (4)$$

3.2 流域水位预报方程建立

通过 2004~2006 年 4~7 月实测资料和单因子相关计算分析, 得到影响流域水位变化的主要因子(流域内 12 h 降水量及 24 h 降水量), 依据 (2) 式计算流域各段的面雨量(R_{12} 、 R_{24}), 以面雨量为初值场, 利用最小二乘法原理求解出超定线性方程组系数, 建立如下流域各段水位预报方程:

(1) 上游流域段水位(H_{up}) 预报方程:

$$H_{up} = 93.96 - 0.03524609R_{12} + 0.07663608R_{24} - Q_{S1} \quad (5)$$

(2) 中游流域段水位(H_{mid}) 预报方程:

$$H_{mid} = 31.89 - 0.01466222R_{12} + 0.0311758R_{24} - Q_{S2} \quad (6)$$

(3) 下游流域段水位(H_{down}) 预报方程:

$$H_{down} = 18.08 - 0.00754676R_{12} + 0.01448133R_{24} - Q_{S3} \quad (7)$$

式中 Q_{S1} 、 Q_{S2} 、 Q_{S3} 分别为上、中、下游地区夏季高温时水位损失项。

4 模拟试验结果与实况资料对比分析

以 2003 年 5~7 月(4 月份缺资料, 5~7 月部分资料残缺)的面雨量为初值场, 代入上述各流域段水位预报方程(5)~(7)式, 模拟计算出相应的水位值, 最后将模拟结果与实际观测水位值作比较分析, 其结果见图 4。

从图 4 中可以看出, 上游流域水位变化比中、下游流域更明显, 这主要与地形条件以及降水量强度有关系。模拟结果显示: 模拟值能反映出上、中、下游水位突变趋势, 如: 5 月 11、12 日的水位突变情况, 与水

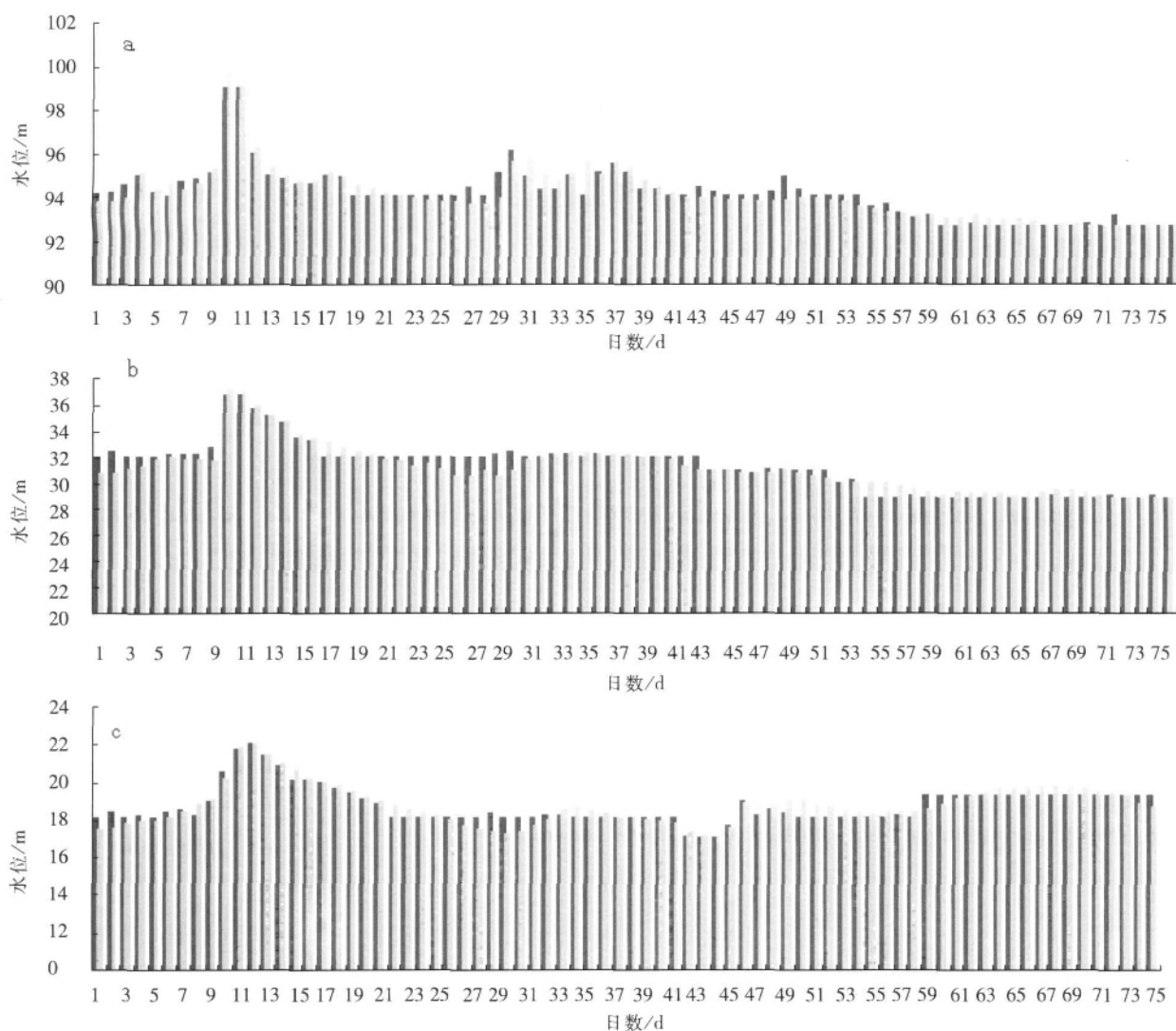


图4 2003年上(a)、中(b)、下游(c)流域水位模拟结果(■)与实测(■)对比示意图

位实况值变化趋势较吻合,适用于日常水位预报业务。但是模拟结果与实况存在一定的误差,究其原因,主要可能是方程中未考虑降水面雨量径流系数,江水渗透系数以及蒸散系数等因素造成的。在试验中发现,因为7月份降水少,降水时间间隔相对较长,气温高,因此要考虑损失项 Q_6 (根据测站实测资料与模拟水位结果对比试验调整得出: Q_{61} : 1.20~1.35; Q_{62} : 2.6~3.0; Q_{63} : 1.0~1.2),以调整系统误差,提高水位预报准确度。

5 结论与讨论

(1) 流域面雨量与水位关系: 当流域面雨量大于30 mm时,若前期降水较少或是无降水,最高水位滞后48 h出现;若前期连续降水,且降水量不大,最高水位出现在次日;若前期连续降水量较大,最高水位出现在当日。究其原因,可能与河床渗透能力,地下径流、降水时间间隔、降水量以及江水流量等因素有关,另外可能与上游水流的推力以及下游水流阻尼作用有关。

(2) 通过软件设计编程,实现了流域内测站观测

降水资料(GD05报)和水位资料的获取、流域面雨量的计算以及日常业务水位预报自动化过程,从而能在业务中自动预测水位变化,为防汛抗洪决策提供一定的参考依据。

(3) 模拟试验结果表明: 尽管模拟结果与实况存在一定的误差,但模拟值能反映出上、中、下游水位突变趋势,如: 5月11、12日的水位突变情况,与水位实况值变化趋势较吻合,适用于日常水位预报业务。

由于缺乏径流系数、渗漏系数、蒸散系数等以及部分资料残缺,导致系统存在一定的误差,在今后研究中有待进一步完善。

参考文献:

- [1] Tefera Diro G, Grimes D I F, Black E, et al. Validation of area rainfall estimates over northern Africa [J]. Geophysical Research Abstracts. 2005(7).
- [2] Van Doormaal J P, Raithby G D. Enhancement of SIMPLE method for predicting incompressible fluid flows [J]. Numer Heat Transfer. 1984(7):147-163.

- [3] 郁淑华.面雨量计算方法的比较分析[J]. 四川气象,2001(3): 3- 5. 22(4): 22- 24.
- [4] 单九生, 张瑛, 周建雄, 等. 细网格推算流域面雨量方法应用浅析[J]. 江西气象科技, 2001, 24(2): 10- 13. [7] 董官臣, 冶林茂, 符长锋. 面雨量在天气预报中的应用[J]. 气象, 2000, 26(1): 9- 13.
- [5] 毛文清, 王华军. 赣江中游流域面雨量及吉安气象洪涝指数预报方法[J]. 江西气象科技, 2002, 2(2): 11- 14. [8] 王淑英, 陈守煜. 加权平均的权重优选算法及其应用[J]. 水利学报, 2003, 12(12): 1- 7.
- [6] 陈乐湘, 钮本良, 陆宝宏, 等. 一种多因子相关计算方法[J]. 水文, 2002,

Preliminary Study on Water Level Prediction Model in Ganjiang River Valley

YE Xiao-feng¹, ZHOU Jan-xiong², DAI Jing-jing¹, CAO Yan-hua³,
CHEN Shi-zhong¹, LIN Xiao-li¹, XIAO Min-guang¹

(1. Pingxiang Meteorological Bureau, Pingxiang 337002; 2. Shangrao Meteorological Bureau, Shangrao 334000;
3. Mathematical and Physical Academy of Jinggangshan University, Ji'an 343009)

Abstract: Area rainfalls in Ganjiang reaches were calculated with its observations during 4-7 months, 2004-2006 yr, and Ganjiang reaches Hydrological prediction model was built, and equations are solved through least square method principle with the area rainfall as an initial field. Moreover, based on simulating the real situation during May-July, 2003, the model's evaluation is done. It is shown that: the simulated result is in accordance with the actual ones and can describe the mutation trends of the upper-, mid- and lower-valley of Ganjiang River, which provide useful reference for anti-flood decision-making service with a certain reference.

Key words: Ganjiang valley; Water level prediction; Model research