

Flood Forecasting Scheme for Poyang Lake

Guowen Li¹, Zhongwen Yu¹, Sunyun Lv²

¹Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Nanchang

²Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan

Email: 6409909@163.com

Received: Sep. 1st, 2014; revised: Nov. 5th, 2014; accepted: Nov. 10th, 2014

Copyright © 2014 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

Poyang Lake, located in the middle and lower reaches of Yangtze River, is the area that bears frequent flood disasters. The development of flood forecasting scheme for the Poyang Lake is of great significance for the scientific flood dispatch and disaster reduction. This study analyzes the characteristics of flood and disaster of the Poyang Lake. Related correlation analysis was carried out based on the actual measured water level of Xingzi station, water level at earlier stage of Xingzi station and Hukou station, rise rate, regional average precipitation, the difference of flows into five rivers and seven stations and outflow of Hukou station. The lake water balance and multi-factor correlation equation schemes were established for flood forecasting. The floods of the Poyang Lake could be scientifically forecasted by these two schemes with relative high accuracy.

Keywords

Poyang Lake, Flood Disaster, Forecast Scheme

鄱阳湖洪水预报方案研制

李国文¹, 喻中文¹, 吕孙云²

¹江西省水文局, 南昌

²长江水利委员会水文局, 武汉

Email: 6409909@163.com

收稿日期: 2014年9月1日; 修回日期: 2014年11月5日; 录用日期: 2014年11月10日

作者简介: 李国文(1964-), 男, 高级工程师, 主要从事流域规划、洪水预报工作。

摘要

鄱阳湖为长江中下游洪涝灾害频繁的地区，鄱阳湖洪水预报方案研制对于科学调度鄱阳湖防洪减灾具有重要意义。本文分析了鄱阳湖洪水及其灾害特征，根据星子站实测水位与星子、湖口站前期水位、涨率、区间平均降雨量、五河七口入湖流量与湖口出流量之差进行相关分析，建立了湖泊水量平衡方案与多要素相关方程两种预报方案，用于鄱阳湖洪水作业预报。通过历史资料和应用检验，这些洪水预报方案可以取得较高的预报精度。

关键词

鄱阳湖，洪水灾害，预报方案

1. 引言

鄱阳湖为长江中下游洪涝灾害频繁的地区，洪涝灾害危及湖区人民生命财产安全，严重地制约着湖区社会经济的发展。鄱阳湖区受五河来水及长江顶托影响，河湖口洪道以上河段洪水下泄的影响比较显著；同时五河的出流受到鄱阳湖顶托的影响。因此鄱阳湖洪水预报方案研制对于科学调度鄱阳湖防洪减灾具有重要意义。

近年来，鄱阳湖区洪涝灾害日频发，已引起国家和社会各界的普遍关注。我国许多学者对鄱阳湖洪水洪涝灾害特征、成因、灾情评估、减灾对策进行了大量的研究，取得了一系列的成果。闵騫对鄱阳湖区 20 世纪 90 年代洪水特征进行了研究[1]，并对鄱阳湖洪水水位变化趋势进行了计算与分析[2]，徐高洪、秦智伟采用面积比拟法、修正总入流法、单水源模型、新安江三水源模型对湖区洪水进行了分析计算，分析了围垦对鄱阳湖洪水水位的影响[3]，舒长根、刘影等从高洪水位与江西暴雨关系方面，提出了对鄱阳湖高洪水位进行预报的思路和方法[4]，这些研究仅对鄱阳湖洪水成因、洪水水位变化以及鄱阳湖洪水预报的思路和方法进行了研究和探讨，而对鄱阳湖洪水预报方案的研制研究的较少。本文以星子水位站为代表站，研究分析了鄱阳湖湖泊水量平衡和多要素相关分析预报两种洪水预报方案，并进行了预报检验。

2. 鄱阳湖洪水及其灾害特性

鄱阳湖可用“洪水一片，枯水一线”来形容其奇特的自然景象。湖口水位站达到 1998 年实测最高水位 22.59 m 时，湖面面积达 4070 m²，容积 320 亿 m³；枯水季节，水位下降，洲滩出露，湖水归槽，蜿蜒一线，当达最低水位 5.90 m 时，湖面面积仅为 146 km²。鄱阳湖的洪水(指水位)可以概化为单峰和双峰。

“五河”(赣江、抚河、信江、修水、饶河)洪水推迟，长江洪水提前，两者遭遇；据统计单峰型出现频率约 42.5%，且出现单峰时，水位一般较高，年最高水位都在 18 m 以上，超过 20 m 的占 52.9%。鄱阳湖区洪水灾害发生频繁，平均 5 年有 4 年受灾，据统计，发生大洪水灾害的年份主要有 1954 年、1983 年、1995 年、1998 年、1999 年、2010 年等。鄱阳湖流域范围见图 1。

在鄱阳湖区和“五河”尾闾地区，洪涝灾害的致灾原因分为两个方面：一是河流本身来水过大、水位过高致使洪水漫过圩堤或使溃决，如 2010 年“6.21”唱凯堤决口即属于这一类型；二是由于鄱阳湖洪水顶托，“五河”尾闾长期维持高水位使圩堤内的渍水无法及时排除，圩堤长期在高水位下浸泡致使堤体松软，由此引发灾害危险。

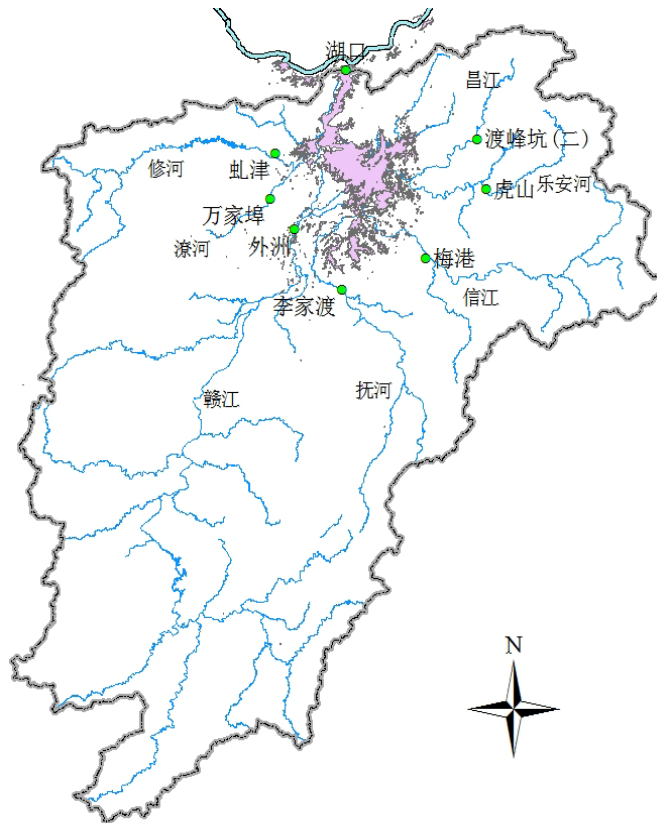


Figure 1. Schematic map of the Poyang Lake basin
图 1. 鄱阳湖流域示意图

3. 星子水位站基本情况

鄱阳湖洪水预报以星子水位站为代表站。星子水位站地处星子县南康镇，鄱阳湖湖口水道中上游左岸，是鄱阳湖重要出口，位于东经 $116^{\circ}02'36''$ ，北纬 $29^{\circ}26'45''$ ，于 1934 年建站，观测项目有水位、降水量、蒸发量、水温等。多年平均降水量 1454.6 mm，年最大降水量 2295.8 mm (1954 年)，年最小降水量 774.3 mm (1978 年)；多年平均水位 13.50 m，历年最高水位 22.52 m (1998 年 8 月 2 日)，历年最低水位 7.11 m (2004 年 2 月 4 日)。星子站是中央重要报汛站，担负着鄱阳湖湖区防汛水文测报任务，为鄱阳湖区、长江中下游防汛抗旱服务，为湖区水资源综合评价和治理、开发、利用鄱阳湖、湖泊科研提供详实水文资料，为当地经济建设服务。

4. 鄱阳湖洪水预报方案研制

本论文研究并编制了湖泊水量平衡和多要素相关分析预报两种方案。

4.1. 湖泊水量平衡方案

湖泊水量平衡的具体表达式为：

$$W_{\lambda} + W_p = W_{\text{出}} + W_E + \Delta W \quad (1)$$

式中： W_{λ} 为入湖水量， $W_{\lambda} = \bar{Q} \cdot \Delta t$ ； W_p 为湖面降雨水量， $W_p = P \cdot \bar{F}$ ； $W_{\text{出}}$ 为出湖水量， $W_{\text{出}} = \bar{q} \cdot \Delta t$ ； W_E 为湖面蒸发水量， $W_E = E \cdot \bar{F}$ ； ΔW 为湖盆蓄水变量， $\Delta W = \Delta H \cdot \bar{F} = (H_2 - H_1) \cdot \bar{F}$ 。

上面的 Δt 为时段长度; P 为湖面降水深; \bar{F} 为平均湖面面积; E 为湖面蒸发深度; ΔH 为 Δt 内的水位变化; \bar{Q} 为平均入湖流量, $\bar{Q} = \Sigma Q_{\text{河}} + Q_{\text{区}}$, $Q_{\text{河}}$ 为五河七口入湖流量, $Q_{\text{区}}$ 为鄱阳湖区间入湖流量; \bar{q} 为湖口平均出湖流量; H_1 、 H_2 为时段初、末的湖水位。

为便于计算, 将湖面产水量归入区间产水量之中, 湖面蒸发量影响较小, 可忽略不计。则(1)式变为:

$$W_{\lambda} = W_{\text{出}} + \Delta W \quad (2)$$

其中 $W_{\lambda} = W_{\text{五河}} + W_{\text{区间}} = (\Sigma Q_{\text{河}} + Q_{\text{区}}) \Delta t$ 。

将式(2)具体化为

$$\bar{Q} \cdot \Delta t = \bar{q} \cdot \Delta t + (H_2 - H_1) \cdot \frac{F_1 + F_2}{2} \quad (3)$$

取 $\Delta t = 1 \text{ d}$, 式(3)转变为:

$$H_2 = H_1 + 0.1728 \frac{\bar{Q} - \bar{q}}{F_1 + F_2} \quad (4)$$

其中: F_1 、 F_2 分别为时段初、末的湖面面积(单位: km^2), 式(4)即为水量平衡法的预报方程。

4.1.1. 预报步骤

1) 确定入湖 \bar{Q} : $\bar{Q} = \frac{1}{2}(Q_1 + Q_2)$, Q_1 是已知的, Q_2 需要用五河七口及鄱阳湖区间入湖流量预报方法进行预报。

2) 确定出湖 \bar{q} : $\bar{q} = \frac{1}{2}(q_1 + q_2)$, q_1 是已知的, q_2 也需要作湖口出流预报。

在利用水量平衡法预报鄱阳湖洪水位时, 要做好以下三方面的工作: ①计算区间入湖流量 $Q_{\text{区}}$; ②预报时段末的入湖流量 Q_2 ; ③预报时段末的出湖流量 q_2 。

4.1.2. 预报应用

限于资料, 目前尚无法建立 $Q_2 \cdot q_2$ 的预报方案; 鄱阳湖区间入湖量要建立模型进行估算。

1) 预算方程简化处理。

在式(4)中, 令 $Q' = \bar{Q} - \bar{q}$, 称为平均净入湖流量。则 $Q' = (Q_1 - q_1) + (\Delta Q - \Delta q)/2$, 其中 $\Delta Q = Q_2 - Q_1$ 为入湖流量的增量, $\Delta q = q_2 - q_1$ 为出湖流量的增量。一般来说, Δq 随 ΔQ 变化而改变(Δq 的变化时刻较 ΔQ 稍滞后)。现假定 Δq 与 ΔQ 的变化在短时段内相近, 得到:

$$H_2 \approx H_1 + 0.1728 \frac{Q_1 - q_1}{F_1 + F_2} \quad (5)$$

以式(5)作为目前鄱阳湖洪水预报的简化方程。使用时, 先假定一个 H_2 , 在高程面积关系曲线上查得一个 F_2 , 代入式(5)计算第一个 H_2 与初设的 H_2 有差异, 则重新假设 H_2 , 计算出第二个 H_2 ; 通过多次反复试算, 直到由式(5)计算的 H_2 与假设的 H_2 相同。

2) $Q_{\text{区}}$ 的估算。选用五河七口控制站(外洲、李家渡、梅港、渡蜂坑、虎山、万家埠、虬津)和鄱阳湖星子、都昌、康山三站共 10 站, 以这 10 个站的平均降水量代表鄱阳湖区间降水量。区间产流量的计算, 采用地理学方法, 即取大汛时期的径流量系数 $\alpha = 0.85$, 乘以区间降水量, 得区间产流量。区间汇流使用由博阳河梓坊水文站和乐安河石镇街水文站历史资料综合推得的经验单位线 $Q_{\text{区}}(t) = (155; 78, 8; 2)$ 确定。这里的 $Q_{\text{区}}(t)$ 是 1 mm 区间平均降水量对应的单位线(包含了产流量计算在内)。区间汇流也可用滞后演算法计算 $Q_{\text{区}}(t) = Q_{\text{区}0} \times Cs + (1 - Cs) \times Qr$ 。 $Cs = 0.5 - 0.7$, Qr 为一时段区间平均产流量。

采用以上预报模型,对鄱阳湖星子站 1985~2003 年历史洪水资料进行预报检验,其预报精度见表 1。

4.1.3. 方案评定

根据《水文情报预报规范》(SL250-2000)的规定进行方案评定,结合鄱阳湖特性,确定检验指标为 0.1 m。经检验,预报检验总天数 2472 天,预报误差 ≤ 0.06 m 的占 77%,预报误差 ≤ 0.10 m 的合格率为 92.7%,方案平均预报误差为 0.04 m,确定性系数为 0.999。结果表明,该预报方案为甲级,可用与洪水作业预报。

4.1.4. 误差分析

分析超过 0.10 m 的误差发现,预报出现较大误差的主要原因在于“ ΔQ 与 Δq 相近”的假设有时与实际情况有较大的出入,这一假设是造成预报出现较大误差的主要原因。该方案的主要改进方向是:建立 Q_2 与 q_2 预报方案,将利用式(5)进行作业预报改为直接使用式(4)进行作业预报。

4.2. 多要素相关分析预报方案研制

多要素相关分析预报方案,即根据星子站实测水位与星子、湖口站前期水位、涨率、区间平均降雨量及五河七口入湖流量与湖口出流量之差进行相关分析,建立多要素相关方程,用于鄱阳湖洪水作业预报。

五河、鄱阳湖和长江是紧密相连的水体,存在相互联系、相互影响、相互制约的水文动态变化,水量动态平衡的规律。通常 4~6 月,五河来水,湖区水位上涨,若湖口出流增加 10,000 m^3/s ,九江同级水位情况下,九江过流能力减少 9000~11,000 m^3/s ,致使九江在中高水位时,水位抬高 1~2 m,7~9 月,长江上游来水增加,九江流量增加 10,000 m^3/s ,湖口过流能力要减少 8000 m^3/s 左右。这时,江水入湖,湖口水位抬高 1~2 m。因此,长江上游来水增加或减少,在湖口站前期水位与湖口出流量反映,据此建立多要素相关分析预报方案。

1) 一日方案

根据星子站实测水位与星子、湖口站前一日水位、涨率、区间平均降雨量和前一日五河七口入湖流量与湖口出湖流量之差进行相关分析计算,得出以下预报方程:

$$Y_1 = 1.0614H_{\text{星}1} + 0.4725\Delta H_{\text{星}1} - 0.0635H_{\text{湖}11} - 0.0826\Delta H_{\text{湖}11} + 0.0190K_1 + 0.0151S_1 + 0.052 \quad (6)$$

式中: Y_1 为星子站一日预报水位; $H_{\text{星}1}$ 、 $\Delta H_{\text{星}1}$ 、 $H_{\text{湖}11}$ 、 $\Delta H_{\text{湖}11}$ 分别为星子站、湖口站前一日实测水位和涨率; K_1 为前一日区间平均降雨量除以 10 的比值; S_1 为前一日五河七口入湖流量与湖口出流量之差除以 1000 的比值。

用上述预报方程对鄱阳湖星子站 1991~2003 年历史洪水进行预报检验,按《水文情报预报规范》(SL250-2000)的规定进行方案评定,结合鄱阳湖特性,确定检验指标为 0.1 m。经检验,预报方程相关系数为 0.9993,预报平均误差为 0.03 m,均方误差为 0.03 m,方案合格率为 97.9%,为甲级方案。

2) 二日方案

根据星子站实测水位与星子、湖口站前二日水位、涨率、区间平均降雨量和前二日五河七口入湖流

Table 1. Forecasting precision in Xingzi station of the Poyang Lake
表 1. 鄱阳湖星子站预报精度表

误差 ΔH_2 (m)	≤ 0.02 m	≤ 0.04 m	≤ 0.06 m	≤ 0.08 m	≤ 0.10 m	均方 误差	平均误差
天数	1003	1577	1903	2112	2291		
合格率(%)	40.6	63.8	77.0	85.4	92.7	0.06	0.04

量与湖口出湖流量之差进行相关分析计算，得出以下预报方程：

$$Y_2 = 1.0697H_{星2} + 0.4424\Delta H_{星2} - 0.0836 H_{湖12} + 0.0656\Delta H_{湖12} + 0.0535K_1 + 0.0349S_1 + 0.293 \quad (7)$$

式中： Y_2 为星子站2日预报水位； $H_{星2}$ 、 $\Delta H_{星2}$ 、 $H_{湖12}$ 、 $\Delta H_{湖12}$ 分别为星子站、湖口站前二天实测水位和涨率； K_2 为前二日区间平均降雨量除以10的比值； S_2 为前二日五河七口入湖流量与湖口出流量之差除以1000的比值。

4.3. 方案评定

用上述预报方程对鄱阳湖星子站1991~2003年历史洪水进行预报检验(鄱阳湖星子站水量平衡水位预报曲线见图2)，根据《水文情报预报规范》(SL250-2000)的规定进行方案评定，结合鄱阳湖特性，确定检验指标为0.1 m。经检验，预报方程相关系数为0.9961，预报平均误差为0.07 m，均方误差为0.06 m，方案合格率为78.8%。

用2003、2004、2005、2006、2010年五年资料148个点作检验，回归方程计算误差小于0.1 m的合格率为99%；小于0.15 m的合格率为93%；小于0.2 m的合格率为97%。洪峰预报误差均小于0.1 m。星子站多变量回归相关预报图见图3，检验计算合格率统计表见表2。

5. 结论

鄱阳湖区自古就是长江流域乃至我国洪涝灾害的重灾区和多发区，编制该区域的洪水预报方案是本

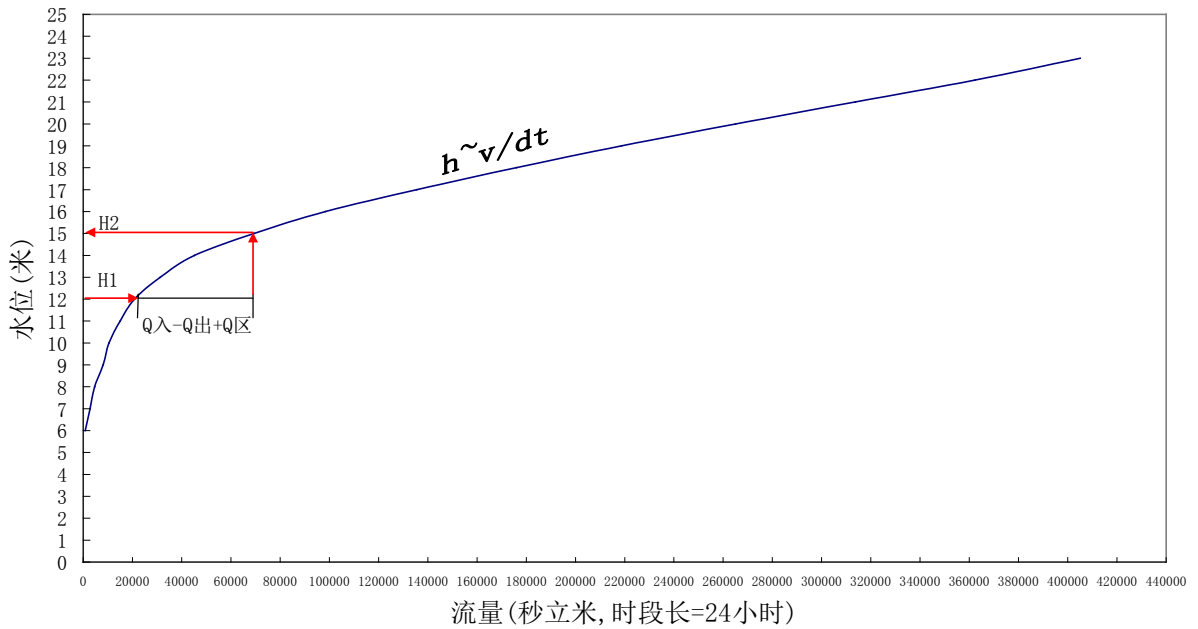


Figure 2. Water level forecasting curve of water balance in Xingzi station of Poyang Lake

图2. 鄱阳湖星子站水量平衡水位预报曲线

Table 2. Statistical qualification rate for test calculation

表2. 检验计算合格率统计表

误差小于	0.1 m	0.15 m	0.2 m	备注
回归方程计算合格率%	88	93	97	五年资料 148 个点
水量平衡计算合格率%	75	81	93	五年资料 148 个点

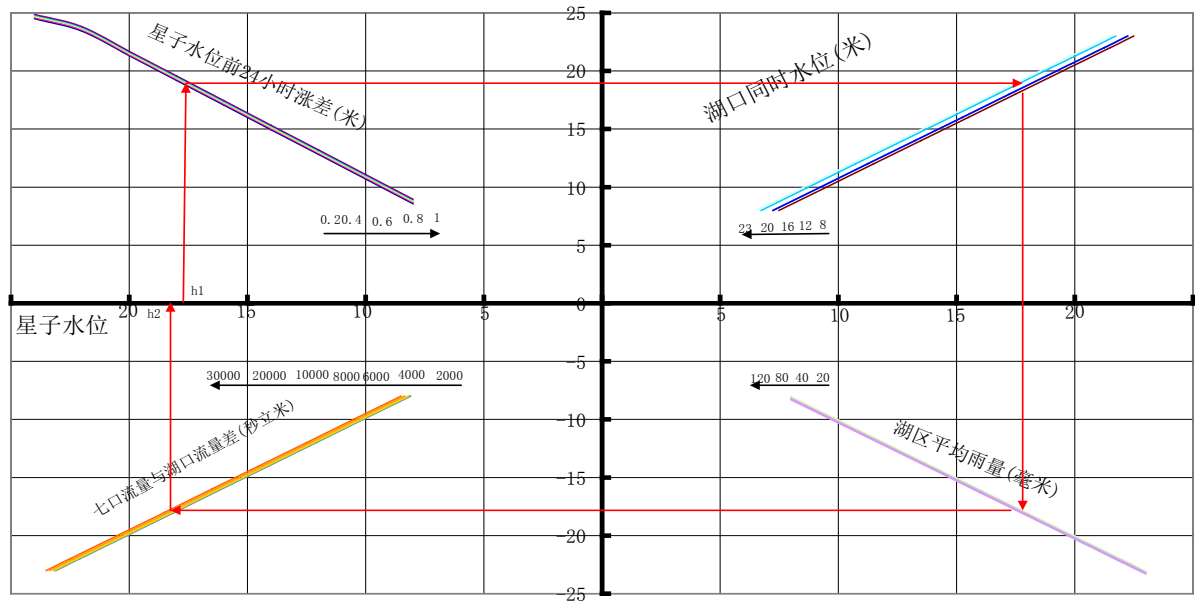


Figure 3. Multivariable regression forecast figure of Xingzi station
图 3. 星子站多变量回归相关预报图

论文研究的主要内容。为提高鄱阳湖湖区水文预报精度和时效，本论文研究并编制了湖泊水量平衡和多要素相关分析预报两种方案，并以星子站进行预报检验，经检验，预报方程相关系数为 0.9961，预报平均误差为 0.07 m，均方误差为 0.06 m，方案合格率为 78.8%。这两种预报方案均可作为鄱阳湖洪水的预报方案，其成果较为合理。

参考文献 (References)

- [1] 闵骞. 20 世纪 90 年代鄱阳湖洪水特征的分析[J]. 湖泊科学, 2002, 14(4): 232-330.
MIN Qian. Analysis on the flood characters of 1990's Poyang Lake. Lake Science, 2002, 14(4): 232-330. (in Chinese)
- [2] 闵骞. 鄱阳湖洪水水位变化趋势的计算与分析[J]. 水资源研究, 2002, 23(3): 37-39.
MIN Qian. Calculation and analysis of the change trend of Poyang Lake flood water level. Journal of Water Resources Research, 2002, 23(3): 37-39. (in Chinese)
- [3] 徐高洪, 秦智伟. 鄱阳湖区间洪水计算方法[J]. 湖泊科学, 1998, 10(1): 31-36.
XU Gaohong, QIN Zhiwei. Flood estimation methods for Poyang Lake area. Lake Science, 1998, 10(1): 31-36. (in Chinese)
- [4] 舒长根, 刘影, 吕建星. 鄱阳湖高洪水位及其预报[J]. 广东气象, 2006, 3: 50-53.
SHU Changgen, LIU Ying and LV Jianxin. High flood water level and its forecasting method for Poyang Lake. Guangdong Meteorology, 2006, 3: 50-53. (in Chinese)