

# Algorithm and Application of Inconsistent Flood Frequency Based on the MISOHRM Model (IV): Flood Control Ability Assessment in the Middle of Xijiang River\*

Bin Xu, Ping Xie<sup>#</sup>, Xi'nan Li, Yu Liu

State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan  
Email: taibaidugu@163.com, <sup>#</sup>pxie@whu.edu.cn

Received: Aug. 14<sup>th</sup>, 2012; revised: Aug. 29<sup>th</sup>, 2012; accepted: Sep. 7<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** The levees were built to control the flood, and with the higher and higher flood control standard, the flood series become inconsistent and the hydrological alteration happens in the flood peak series, the flood control ability was under challenge and suspicion, while the research of flood control ability in the changing environment was not too much. With the calculation results of inconsistent flood frequency method based on the MISOHRM model of Wuzhou station, the flood control ability was analyzed. The results show that: the decrease tendency of flood control ability is obviously at Wuzhou station, under the condition of safe super elevation from 2.0 m to 2.5 m, the flood control ability of right levee decreased from 77.13 - 145.90 yd (past condition) to 6.20 - 10.93 yd (present condition) and 3.33 - 4.95 yd (future condition), the left levee decreased from 24.53 - 39.72 yd (past condition) to 3.13 - 4.25 yd (present condition) and 1.85 - 2.32 yd (future condition).

**Keywords:** Hydrology; Flood Returning to Main Channel; Flood Control Ability; Xijiang River

## 基于 MISOHRM 模型的非一致性洪水频率计算方法及应用 IV: 西江中游堤防防洪能力影响评价\*

许斌, 谢平<sup>#</sup>, 李析男, 刘宇

武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉  
Email: taibaidugu@163.com, <sup>#</sup>pxie@whu.edu.cn

收稿日期: 2012 年 8 月 14 日; 修回日期: 2012 年 8 月 29 日; 录用日期: 2012 年 9 月 7 日

**摘要:** 为了抵御洪水的堤防工程被不断加高, 改变了原天然河道的洪水槽蓄关系, 促使洪峰流量序列发生变异, 使得洪水序列失去了一致性, 导致防洪堤的防洪能力一再受到挑战和质疑。本文在梧州站基于 MISOHRM 模型的非一致性洪水频率计算结果的基础上, 对其堤防防洪能力进行了分析。结果显示: 梧州站堤防的防洪能力有显著降低的趋势, 在安全超高 2.0~2.5 m 的条件下, 其右堤可以抵御的洪水标准从过去条件下的 77.13~145.90 年一遇, 降低到现状条件下的 6.20~10.93 年一遇和未来条件下的 3.33~4.95 年一遇。左堤可以抵御的洪水标准从过去条件下的 24.53~39.72 年一遇, 降低到现状条件下的 3.13~4.25 年一遇和未来条件下的 1.85~2.32 年一遇。

\*基金项目: 国家自然科学基金项目(50979075; 51179131; 51190094; 50839005)。

<sup>#</sup>通讯作者。

作者简介: 谢平(1963-), 男, 教授, 研究方向为水文水资源。

**关键词:** 水文; 堤防; 防洪能力; 西江

## 1. 引言

堤防, 是沿江、河、湖、海或分洪区、行洪区边界修筑, 用以约束水流和抵御洪水、风浪、潮汐的挡水建筑物, 是当今江河防洪体系中十分重要的组成部分。堤防的防洪标准是指堤防防护对象要达到的防洪能力, 即在一定的经济、技术和社会发展条件下, 堤防能够经受住多大频率的洪水而不至于使防洪保护区发生灾害<sup>[1]</sup>, 其大小常用实测的河道洪峰流量对应的洪水频率表示; 而实测洪峰流量只有在气候条件、下垫面状况稳定的基础上才能采用一致性水文频率计算方法推求设计洪水。西江中游沿岸堤防逐年兴建并加高加固, 对洪水序列的一致性造成了严重影响, 洪水发生的频率和强度发生强烈变化, 堤防的防洪能力也受到间接的影响。

对于变化环境下堤防防洪能力的研究, 一般限于堤防本身的安全隐患, 比如由于技术条件限制和运行时间长, 使得堤防工程不同程度上存在一些隐患, 在洪水期极易形成渗水、管涌、漏洞、散浸、跌窝、崩岸等险情问题<sup>[2,3]</sup>。对于由于气候变化和人类活动的影响, 特别是水利工程的影响, 例如堤防建设之后洪水归槽导致的堤防防洪标准发生变化以及对堤防安全的影响, 相关的研究成果比较少。

本文在西江中游非一致洪水频率计算成果的基础上<sup>[4,5]</sup>, 同样以梧州站为例, 对其两岸堤防在变化环境下的防洪能力进行评价, 所得到的评价结果对水利工程建设和流域防洪减灾规划的制定, 具有一定的参考价值。

## 2. 变化环境下洪水频率计算

堤防的防洪能力常用实测的河道洪峰流量对应的洪水频率表示, 但由于气候变化和人类活动等因素的影响, 实测洪水序列的一致性遭到破坏。当采用一致性的洪水频率计算方法推求非一致性洪水序列的频率时, 就会产生各种问题, 最突出的问题即洪水频率的重现期和实际情况有很大出入。

基于 MISOHRM 模型的非一致性洪水频率计算方法, 不但考虑了洪水序列的非一致性, 而且充分考

虑了区域洪水遭遇问题, 即所选断面和上游、支流洪水之间的关系问题。其模型构建过程以及频率计算方法分别在文献[4]和文献[5]中有详细的论述, 本文在此基础上, 利用文献[5]关于梧州水文站的频率计算结果, 直接进行防洪能力的评价。

## 3. 梧州站洪峰水位流量关系

堤防的防洪能力主要根据水位高低及其对堤防安全的威胁程度来衡量。通过构建过去和现状条件下梧州站的洪峰水位流量关系, 将设计洪峰流量转化为设计洪峰水位, 并结合《珠江流域防洪规划》<sup>[6]</sup>, 比较堤防高程与洪峰水位设计值的大小, 以此评价过去和现状条件下堤防的防洪能力。

梧州站洪峰流量序列在 1991 年发生了变异, 因此, 可以将水位流量关系分为两个阶段来讨论, 即 1958~1991 年为第一阶段, 1991~2007 年为第二阶段, 分别反映过去和现状条件下的水位流量关系。以流量为横坐标, 水位为纵坐标绘制水位流量关系曲线, 并用二次多项式对水位流量关系进行拟合, 如图 1 所示。

过去条件下的水位流量关系如式(1)所示, 拟合效率系数  $R^2 = 97.11\%$ ;

$$y = -4 \times 10^{(-09)} x^2 + 0.0006x + 5.3297 \quad (1)$$

现状条件下的水位流量关系如式(2)所示, 拟合效率系数  $R^2 = 97.37\%$ 。

$$y = -5 \times 10^{(-09)} x^2 + 0.0007x + 2.6095 \quad (2)$$

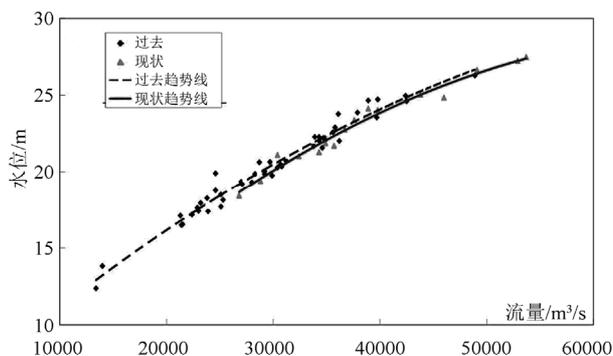


Figure 1. Relationship of water level and discharge at Wuzhou station in the different periods  
图 1. 梧州站水位流量关系图

由图 1 可以看出, 梧州站过去状况下的水位流量关系曲线在现状水位流量关系曲线的上方, 二者有一定的差异; 在相同流量条件下, 现状条件下的水位低于过去条件下。造成这种现象的原因很可能是由于受到洪水归槽的影响, 导致汛期河道内流量激增而造成河床严重下切; 也有可能是浔江段人为大面积开采河沙所致。

基于 MISOHRM 模型的非一致性水文频率计算方法在对未来条件下的洪水序列进行频率计算时, 假设未来条件下洪水的形成条件和现状条件下相同, 因此, 现状和未来条件下的水位流量关系应是一致的, 即同一条曲线。

#### 4. 不同条件下防洪能力评价

由于梧州站洪峰流量序列中的确定性成分波动较大, 变化规律不明显, 对于未来条件下的洪水频率计算, 文献[5]采用了三种(确定性成分最小值、均值和最大值)情景模式进行探讨。在堤防设计中, 需要保证堤防的安全性, 往往采用对堤防最不利的条件进行设计; 同时, 由于不同情景模式在分析堤防防洪能力的过程具有相似性, 因此, 本文只对未来条件下的最大值情景模式(下文简称未来)进行讨论。

对于防洪堤防而言, 堤顶高程是防洪设计的重要指标。堤顶高程 Z 的确定主要考虑两个方面: 设计洪水水位 X、堤顶超高 Y, 如式(3)所示。

$$Z = X + Y \tag{3}$$

##### 1) 堤顶超高的确定

以 2015 年为近期水平年, 2025 年为远期水平年的《珠江流域防洪规划》指出<sup>[6]</sup>: 为确保珠江下游和三角洲重点防洪对象的安全, 西江在近期水平年将

100 年一遇洪水为防护标准; 对于浔江防洪保护区堤防, 梧州市城区堤防标准采用 50 年一遇, 并列为 2 级堤防。

根据我国《堤防工程设计规范(GB50286-98)》规定, 堤顶超高和堤防的级别有直接的关系, 包括设计波浪爬高、设计风壅增水高度和安全加高; 同时, 对于 1、2 级堤防, 堤顶超高值不得小于 2.0 m。由于资料条件的限制, 本文不直接计算设计波浪爬高和设计风壅增水高度, 而是以 2.0 m 为底限, 以 0.1 m 为间隔进行情景分析, 从而评估安全超高取 2.0~2.5 m 时梧州站的防洪能力。对于超过 2.5 m 的安全超高, 其分析过程和 2.0~2.5 m 类似。

##### 2) 梧州站不同条件下防洪能力分析

梧州站左堤的堤顶高程 26.2 m, 右堤的堤顶高程 27.3 m。如果保持堤顶高程不变, 可以采用式(1)和式(2)反推过去、现状和未来条件下左岸和右岸的设计洪峰流量, 再进一步对堤防防洪能力进行评价, 分别如表 1 和表 2 所示。

从表 1 和表 2 的计算结果可以看出: 取安全超高为 2.0~2.5 m 时, 梧州站左堤在过去条件下可以抵御 24.53~39.72 年一遇的洪水、在现状条件下可以抵御 3.13~4.25 年一遇的洪水, 在未来条件下可以抵御 1.85~2.32 年一遇的洪水; 梧州站右堤在过去条件下可以抵御 77.13~145.90 年一遇的洪水、在现状条件下可以抵御 6.20~10.93 年一遇的洪水, 在未来条件下可以抵御 3.33~4.95 年一遇的洪水。

综上可以得出, 由于受环境变化的影响, 梧州站现状和未来的防洪能力相比过去有大幅度的下降, 且右堤的降幅比左堤更加剧烈; 由于受到地球自转因素的影响, 右堤通常是防洪的主要堤防, 而梧州站右堤

**Table 1. The flood control ability at left levee of Wuzhou station with the different safe super elevation in the different periods**  
**表 1. 不同条件下不同安全超高梧州站左堤防洪能力评价**

安全超高 Y(m)	左堤设计洪水水位 X(m)	过去条件下设计流量(m <sup>3</sup> /s)	过去条件下重现期(年)	现状条件下设计流量(m <sup>3</sup> /s)	现状条件下重现期(年)	未来条件下设计流量(m <sup>3</sup> /s)	未来条件下重现期(年)
2.0	24.2	44876.35	39.72	45877.88	4.25	45877.88	2.32
2.1	24.1	44464.97	35.91	45466.27	3.98	45466.27	2.21
2.2	24.0	44055.77	32.51	45058.13	3.73	45058.13	2.10
2.3	23.9	43656.84	29.54	44665.42	3.51	44665.42	2.01
2.4	23.8	43260.12	26.89	44275.52	3.31	44275.52	1.93
2.5	23.7	42869.03	24.53	43888.74	3.13	43888.74	1.85

**Table 2. The flood control ability at right levee of Wuzhou station with the different safe super elevation in the different periods**  
**表 2. 不同条件下不同安全超高梧州站右堤防洪能力评价**

安全超高 Y(m)	右堤设计洪水位 X(m)	过去条件下 设计流量(m <sup>3</sup> /s)	过去条件下 重现期(年)	现状条件下 设计流量(m <sup>3</sup> /s)	现状条件下 重现期(年)	未来条件下 设计流量(m <sup>3</sup> /s)	未来条件下 重现期(年)
2.0	25.3	49852.37	145.90	50976.72	10.93	50976.72	4.95
2.1	25.2	49361.18	127.52	50461.01	9.84	50461.01	4.54
2.2	25.1	48877.02	111.81	49953.64	8.89	49953.64	4.17
2.3	25.0	48406.29	98.51	49459.83	8.08	49459.83	3.85
2.4	24.9	47938.59	86.98	48978.62	7.36	48978.62	3.57
2.5	24.8	47483.07	77.13	48508.44	6.20	48508.44	3.33

现状条件下最高只能抵御 10 年一遇的洪水, 未来条件下最高只能抵御 5 年一遇左右的洪水, 其防洪能力令人堪忧; 梧州站现状和未来条件下的防洪能力均没有达到防洪规划的要求, 且相差较远。这种情况下, 应采取加强西江中游水利工程的综合调度等措施, 以保障两岸居民的人身财产安全。

## 5. 西江中游历史特大洪水频率分析

近 20 年西江发生了几次具有典型意义的特大洪水, 时间分别是 1994 年 6 月(94.6 洪水)、1998 年 6 月(98.6 洪水)和 2005 年 6 月(05.6 洪水)。这几次的洪水的量级非常大, 均超过百年一遇的重现期<sup>[7]</sup>。为了解释在如此短的时间内为何接连发生的特大洪水, 本文将这三次特大洪水的重现期按照非一致性洪水频率计算方法重新进行计算, 如表 3 所示。

从表 3 的计算结果可以看出: 三次特大洪水在过去条件下均超过了百年一遇, 但是受环境变化的影响, 在现在条件下的重现期均不超过 20 年, 而未来条件下的重现期均不超过 10 年。表明西江中游的洪水受到环境变化的影响非常显著, 西江梧州站防洪能力受到考验。

## 6. 结语

针对以往对变化环境下堤防防洪能力研究的不足, 本文基于文献[5]的非一致性洪水频率计算结果, 通过建立洪峰水位流量关系, 对梧州站堤防不同条件下的防洪能力进行了分析, 得到的结论如下:

1) 梧州站洪峰流量序列在 1991 年发生了变异, 受到这种变异情况的影响, 洪峰水位流量在变异点前后会表现为不同的关系曲线。通过分析发现, 由于洪

**Table 3. Frequency analysis of catastrophic flood of Wuzhou station in the different periods**  
**表 3. 不同条件下梧州站历史特大洪水频率**

时间	洪峰流量 (m <sup>3</sup> /s)	过去条件下 重现期(年)	现状条件下 重现期(年)	未来条件下情景 1 重现期(年)
1994.6	49,200	122.04	7.68	3.69
1998.6	52,900	346.07	16.45	7.01
2005.6	53,700	437.45	19.66	8.18

水归槽、人为大面积开采河沙等原因, 造成梧州站过去状况下的水位流量关系曲线在现状水位流量关系曲线的上方, 即在相同流量条件下, 现状条件下的水位低于过去条件下。

2) 基于文献[5]关于梧州站非一致性洪水频率计算的结果, 按照珠江流域防洪规划以及《堤防工程设计规范(GB50286-98)》的有关内容, 本文按照不同的堤顶安全超高(2.0~2.5 m)对梧州站堤防的防洪能力进行分析。结果显示梧州站堤防在过去条件下, 左堤可以抵御 24.53~39.72 年一遇的洪水、右堤可以抵御 77.13~145.90 年一遇的洪水; 现状条件下, 左堤、右堤分别可以抵御 3.13~4.25 年、6.20~10.93 年一遇的洪水; 未来条件下, 左堤可以抵御 1.85~2.32 年一遇的洪水、右堤可以抵御 3.33~4.95 年一遇的洪水。现状和未来条件下堤防的防洪能力比过去有大幅度下降, 远远达不到《珠江流域防洪规划》中关于梧州市城区堤防标准达到 50 年一遇的要求(近期水平年 2015 年)。

3) 通过对西江中游历史特大洪水发生频率的分析得出, 过去超过百年一遇的洪水, 在现状条件下的重现期为 7.68~19.66 年, 未来条件下为 3.69~8.18 年, 表明西江中游的洪水形成条件等因素受到环境变化的影响非常显著。

4) 本文中用于堤防防洪能力评价的堤顶超高值并非梧州堤防的实际设计值, 因此, 会对评价的结果造成一定的影响, 有待进一步搜集资料对其进行完善。

综上所述, 西江中游由于受到洪水归槽等因素的影响, 两岸堤防的防洪能力受到较为严重的影响, 因此, 应当继续加强两岸堤防的建设, 同时加强上游水库汛期的调洪作用, 以保障两岸居民的人身财产安全。

### 参考文献 (References)

- [1] 刘兴华. 流域防洪能力研究[D]. 河海大学, 2007.  
LIU Xinghua. Study on the flood control capability in river basin. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese)
- [2] 梁在潮, 李泰来. 江河堤防防洪能力的风险分析[J]. 长江科学院院报, 2001, 18(2): 7-10.  
LIANG Zaichao, LI Tailai. Risk analysis and computation of flood control capacity for river levee. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2001, 18(2): 7-10. (in Chinese)
- [3] 袁峥. 渭河下游干流堤防防洪能力分析[J]. 地下水, 2005, 27(5): 408-409.  
YUAN Zheng. Flood control ability analysis of the levee at the downstream of the Wei River. Groundwater, 2005, 27(5): 408-409. (in Chinese)
- [4] 李析男, 谢平, 许斌, 等. 基于 MISOCRM 模型的非一致性洪水频率计算方法及应用(II): 西江中游水文要素时空变异规律[J]. 水资源研究, 2012, 1(5): 310-314.  
LI Xinan, XIE Ping, XU Bin, LIU Yu, et al. Algorithm and application of inconsistent flood frequency based on the MISOHRM model (II): Hydrological elements alteration regulation at the middle stream of Xi River from the temporal and spatial scale. Journal of Water Resources Research, 2012, 1(5): 310-314. (in Chinese)
- [5] 刘宇, 谢平, 李析男, 等. 基于 MISOCRM 模型的非一致性洪水频率计算方法及应用(III): 模型的构建与非一致性洪水频率计算[J]. 水资源研究, 2012, 1(6): in press.  
LIU Yu, XIE Ping, LI Xi'nan and XU Bin. Algorithm and application of inconsistent flood frequency based on the MISOHRM model (III): Hydrological frequency analysis with inconsistent flood series. Journal of Water Resources Research, 2012, 1(6): in press. (in Chinese)
- [6] 珠江水利委员会. 珠江流域防洪规划[R], 2005.  
Water Resources Conservancy Committee of Pearl River. Flood control planning of Pearl River basin, 2005. (in Chinese)
- [7] 徐海亮. 西江流域洪水灾害和水文变异分析[J]. 人民珠江, 2007, 4: 42-46.  
XU Hailiang. Analysis of flood disaster and hydrological alteration in Xijiang River. Pearl River, 2007, 4: 42-46. (in Chinese)