

Research on Changes of Peak Water Level in the Pearl River Estuary*

Lan Kong¹, Jiagsong Xie¹, Xiaohong Chen^{2,3}, Junxian Chen^{1,4}, Zhengyi Gao¹, Renfei Jiang¹

¹China Water Resources Pearl River Planning Surveying and Designing Co., Ltd., Guangzhou

²Center for Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou

³Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong Higher Education Institutes, Sun Yat-sen University, Guangzhou

⁴College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing
Email: konglan2006@126.com

Received: Jun. 18th, 2012; revised: Jul. 3rd, 2012; accepted: Jul. 12th, 2012

Abstract: Higher peak water level of the Pearl River Estuary gives a great threat to life and construction losses in these developed areas. The peak water level series of the Denglongshan and Hengmen stations are analyzed by several methods. The results show that: 1) the peak water level has significant upward trend at representative station in the Pearl River Estuary since 1950s; 2) the increasing of the peak water level belongs to mutations phenomenon since early 1990s, the Denglongshan and Hengmen stations began to mutate respectively in 1981 and 1983; 3) the influence of sea level rise on change trend of the peak water level is greater than that of the maximum flow.

Keywords: Pearl River Estuary; Peak Water Level; Mann-Kendall Test; Sea-Level Rise

珠江口最高洪潮水位的变化规律研究*

孔 兰¹, 谢江松¹, 陈晓宏^{2,3}, 陈俊贤^{1,4}, 高政毅¹, 蒋任飞¹

¹中水珠江规划勘测设计有限公司, 广州

²中山大学水资源与环境研究中心, 广州

³华南地区水循环和水安全广东普通高校重点实验室(中山大学), 广州

⁴河海大学水利水电工程学院, 南京

Email: konglan2006@126.com

收稿日期: 2012年6月18日; 修回日期: 2012年7月3日; 录用日期: 2012年7月12日

摘 要: 经济发达的珠江口地区, 最高洪潮水位会给生活和建设带来严重破坏和重大损失。通过对代表站灯笼山站和横门站的最高洪潮水位系列进行综合分析, 结果表明: 1) 20世纪50年代以来珠江口代表站最高洪潮水位系列具有显著上升趋势; 2) 珠江口代表站最高洪潮水位序列在20世纪90年代初期以来的上升属于突变现象, 灯笼山站和横门站开始发生突变的开始时间分别约为1981年和1983年; 3) 海平面上升对珠江口代表站最高洪潮水位变化趋势的影响大于最大流量的影响。

关键词: 珠江口; 最高洪潮水位; Mann-Kendall法; 海平面上升

*基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201001022)、国家自然科学基金重点项目(50839005)、国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB428405)、中水珠江规划勘测设计有限公司科研项目(2012)。

作者简介: 孔兰(1973-), 女, 山东曲阜人, 博士, 主要研究方向为水资源与环境变异。

1. 引言

珠江口位于广东省东部沿海, 北回归线横贯中部, 属于亚热带季风气候, 终年温暖湿润, 地势低平、河网纵横、人口密集、城镇集中, 经济高速发展, 洪潮、咸潮等灾害频繁。水位对于珠江口防洪排涝、排污、供水安全等具有直接影响, 水位变化及其影响直接制约着该地区的经济发展。2008年9月24日, 广东沿海的超强台风“黑格比”引起罕见风暴潮, 导致百年一遇高潮位, 数百万人受灾, 直接经济损失超过百亿元。因此, 加强珠江口最高洪潮水位的变化规律研究对于珠江口地区的防灾减灾和水资源的合理开发利用具有重要的理论和实践意义。

2. 研究方法

2.1. 趋势分析方法

目前常用的气象水文变化趋势分析方法主要有累积距平、线性回归、二次平滑、滑动平均、Mann-Kendall 秩次相关检验法、三次样条函数和 Spearman 秩次相关检验法等^[1,2]。尽管在水文气象时间序列中使用非参数检验方法比使用参数检验方法在非正态分布的数据和检验中更适合, 基于其他一些参数检验方法也具有方便和简洁易懂的优点, 本文中采用多种方法相结合来诊断珠江口最高水位要素情势的变化。

1) 线性回归方法

线性回归方法是建立水文序列 x_i 与相应的时序 i 之间的线性回归方程来检验时间序列变化的趋势性。该方法可以给出时间序列是否具有递增或递减的趋势, 并且线性方程的斜率在某种程度上表征了时间序列的平均趋势变化率, 这是目前趋势性分析中较简便的方法, 其不足是难以判别序列趋势性变化是否显著。

2) 累积距平法

累积距平法也是一种常用的、由曲线直观判断变化趋势的方法。累积距平曲线呈上升趋势, 表示累积距平值增加, 反之减小。

对于序列 x , 其某一时刻 t 的累积距平表示为:

$$\hat{x} = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (t=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

其中 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 。

3) 非参数 Mann-Kendall 趋势检验法

Mann-Kendall 趋势检验法是提取趋势变化的有效工具, 以适用范围广、人为性少、定量化程度高而著称^[3], 是一种被广泛用于分析趋势变化特征的检验方法。由于篇幅限制, 具体计算步骤见文献[4]。

2.2. M-K 突变分析方法

M-K 法以气候序列平稳为前提, 并且这序列是随机独立的, 其概率分布等同。M-K 法的优点在于不需要样本遵从一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 更适合于水文气象等非正态分布的数据。该方法还能明确降水的演变趋势是否存在突变现象以及突变开始的时间, 并指出突变区域。具体计算方法见文献[5]。

3. 计算与分析

3.1. 珠江口最高洪潮水位的趋势分析

珠江水经虎门、蕉门、洪奇门、横门、磨刀门、鸡啼门、虎跳门及崖门八大口注入南海。本研究重点以磨刀门水道的灯笼山站(113°24'E, 22°14'N)和横门水道的横门站(113°31'E, 22°35'N)为例分析最高洪潮水位的变化特征。由图1线性回归趋势线可以看出珠江口最高洪潮水位有明显地增高趋势, 大于2m的最高洪潮水位发生的频率也明显增加。研究发现最高洪潮水位多数发生在朔、望天文大潮前后, 所以台风叠加天文大潮会引起的强风暴潮是导致最高洪潮水位的重要原因。

珠江口代表站最高洪潮水位的累积距平曲线(见图2)显示: 20世纪50年代末期到80年代初期累积距平曲线呈下降趋势, 80年代末期以来呈上升趋势。灯笼山站和横门站累积距平曲线在20世纪80年代有明显的转折, 从曲线明显的上下起伏可以看诊断出发生突变的大致时间为20世纪80年代初期。

经过线性回归方法和累积距平法分析, 以1980年为界, 可以把珠江口代表站最高洪潮水位分为两段分别进行非参数 Mann-Kendall 趋势检验, 表1数据显示: 灯笼山站和横门站最高洪潮水位序列都具有上升趋势, 但是横门站的上升趋势比灯笼山站的更显著; 1959~2008年灯笼山站最高洪潮水位序列的趋势检验值为1.90, 上升趋势明显, 通过了95%的显著性检验,

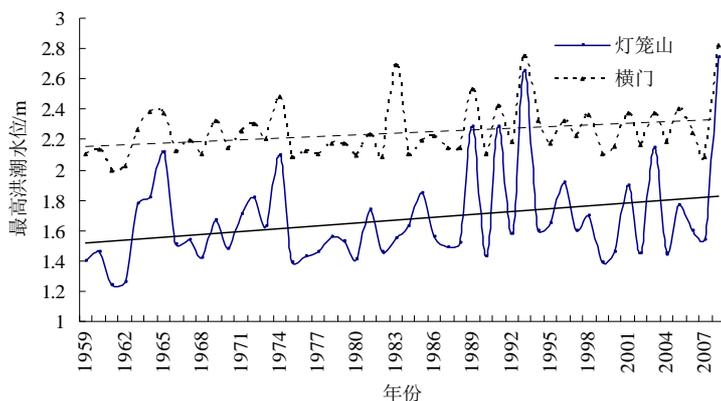


Figure 1. The processes of peak water level of from 1959 to 2008 in the Pearl River Estuary
图 1. 珠江口代表站 1959~2008 年最高洪潮水位变化过程

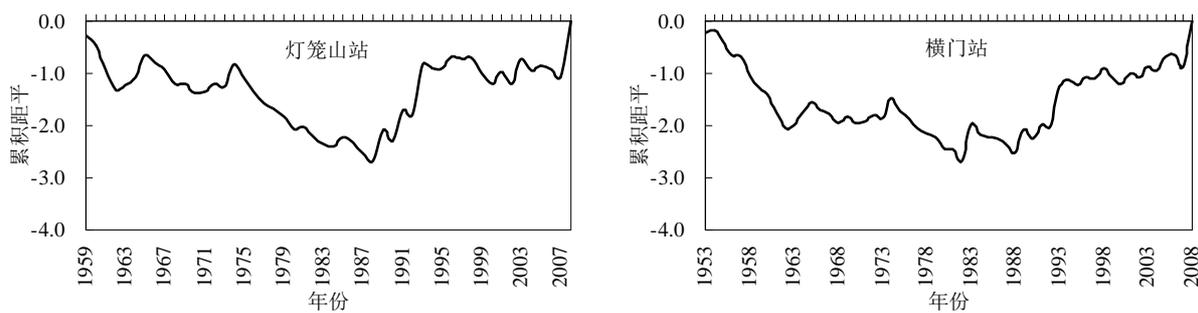


Figure 2. The curves of the peak water level in the Pearl River Estuary
图 2. 珠江口代表站最高洪潮水位的累积距平曲线图

Table 1. The statistical M-K test values of peak water level in the Pearl River Estuary

表 1. 珠江口代表站最高洪潮水位序列的 Mann-Kendall 统计值

时间	灯笼山站	横门站
1953~1979	0.76	3.86
1980~2008	0.88	1.50
1953~2008	1.90	4.09

注: 灯笼山站为 1959~2008 年数据。

而 1959~1979 和 1980~2008 年呈不显著上升趋势; 1953~1979 和 1953~2008 横门站最高洪潮水位序列的趋势检验值分别为 3.86 和 4.09, 显著上升, 通过了 99% 的显著性检验, 1980~2008 横门站趋势检验值为 1.50, 通过了 90% 的显著性检验, 上升趋势较明显。

3.2. 珠江口最高洪潮水位的突变识别

利用 M-K 法对灯笼山站和横门站最高洪潮水位序列进行突变检验(图 3), 结果表明: 灯笼山站和横门站最高洪潮水位变化趋势相似; 灯笼山站 1963 年、

横门站 1964 年以来 $UF > 0$, 最高洪潮水位呈上升趋势, 灯笼山站 1993~1998 年、横门站 1993~2008 年呈显著增加趋势, 通过了 95% 的置信度检验, 表明最高洪潮水位序列上升趋势是十分显著的; 根据 UF 和 UB 曲线交点的位置, 确定最高洪潮水位序列在 20 世纪 90 年代初期以来的上升是突变现象, 灯笼山站约从 1981 年开始发生突变, 而横门站发生突变的时间约是 1983 年, 突变都开始于 20 世纪 80 年代初期, 与累积距平分析较吻合。

图 4 显示, 闸坡站海平面自 20 世纪 70 年代以来呈上升趋势, 20 世纪 90 年代中期以来发生了明显的突变, 突变开始于 1989 年左右, 图 3 与图 4 进行比较分析, 可以看出灯笼山站和横门站最高洪潮水位变化趋势与闸坡站海平面变化较一致, 说明海平面上升对珠江口代表站最高洪潮水位有明显影响; 珠江口代表站最高洪潮水位同时还受河道来水的影响, 图 5 可以看出, 马口站最大流量在 1970~2006 年也呈上升趋势, 说明其对珠江口代表站最高洪潮水位的上升趋势

也有影响, 但是由图 6 看出, 马口站最大流量的 M-K 统计曲线与珠江口代表站最高洪潮水位变化序列的统计曲线有较大差异, 马口站最大流量在 20 世纪 80、

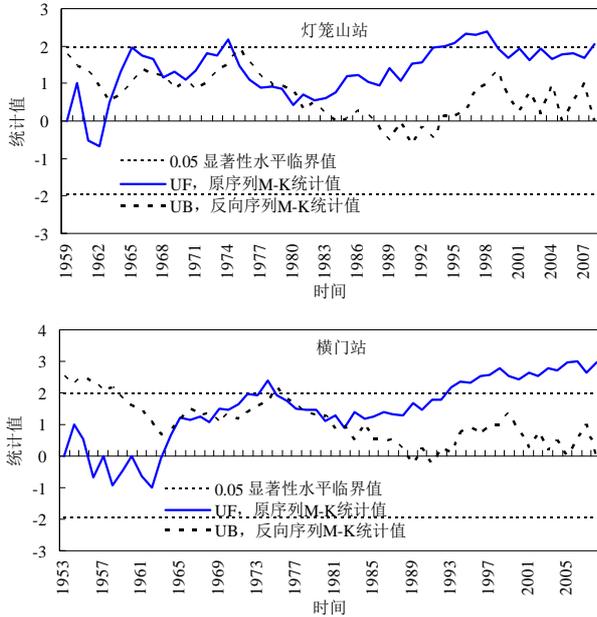


Figure 3. The M-K trends of peak water level in the Pearl River Estuary
图 3. 珠江口代表站最高洪潮水位序列的 M-K 法检测结果

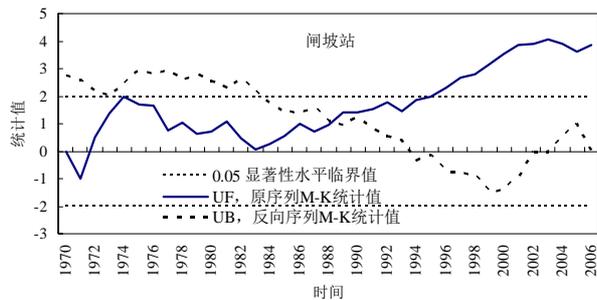


Figure 4. The M-K trends of the sea level at the Zhao station
图 4. 闸坡站海平面变化序列的 M-K 法检测结果

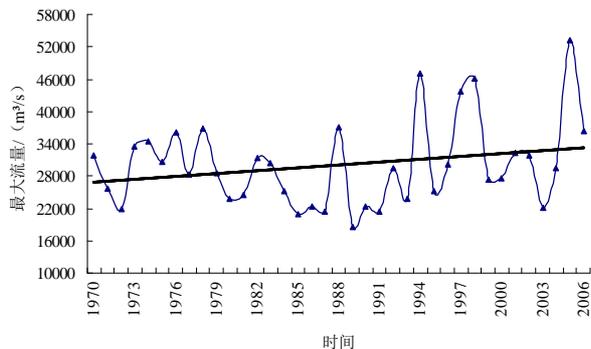


Figure 5. The processes of the maximum flow at the Makou station
图 5. 马口站年最大流量变化过程

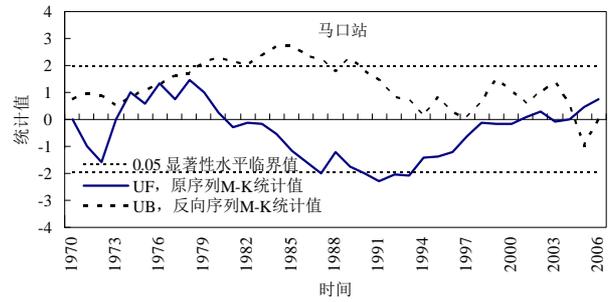


Figure 6. The M-K trends of the maximum flow at the Makou station
图 6. 马口站年最大流量变化序列的 M-K 法检测结果

90 年代呈下降趋势。因此, 海平面上升对珠江口代表站最高洪潮水位变化趋势的影响大于最大流量的影响。

4. 结论

通过线性回归法、累积距平法、M-K 法等, 对珠江口代表站灯笼山站和横门站最高洪潮水位进行了综合分析, 得出以下结论:

- 1) 20 世纪 50 年代以来珠江口代表站灯笼山站和横门站最高洪潮水位系列具有显著上升趋势, 并且横门站上升趋势比灯笼山站更明显。
- 2) 珠江口代表站最高洪潮水位序列在 20 世纪 90 年代初期以来的上升属于突变现象, 灯笼山站约从 1981 年开始发生突变, 而横门站发生突变的开始时间约为 1983 年。
- 3) 海平面变化和河道来水对珠江口代表站灯笼山站和横门站最高洪潮水位有明显影响, 海平面上升对珠江口代表站最高洪潮水位变化趋势的影响大于最大流量的影响。

参考文献 (References)

- [1] ICHIYANGL, K., YAMANAKA, M. D., MURAJI, Y., et al. Precipitation in N.Cpell between 1987 and 1996. International Journal of Climatology, 2007, 15(2): 245-256.
- [2] XIONG, L., GUO, S. Trend test and change-point detection for the annual discharge series of the Yangtze River at the Yichang hydrological station. Hydrological Sciences Journal, 2004, 49(1): 99-112.
- [3] CLAUDIA, L. Multivariate and partial Mann-Kendall test, 2002. <http://www.slu.se/PageFiles/70727/Manual.pdf>
- [4] 徐宗学, 张楠. 黄河流域近 50 年降水变化趋势分析[J]. 地理研究, 2006, 25(1): 27-35.
XU Zongxue, ZHANG Nan. Yellow River precipitation trend in past 50 years. Geographical Research, 2006, 25(1): 27-35. (in Chinese)

[5] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
WEI Fengying. The modern climate statistical diagnosis and

prediction technology. Beijing: Metrology Press, 2007. (in Chinese)