

# 基于最小二乘法的鄱阳湖水位流量关系研究

游海林<sup>1,2</sup>, 徐力刚<sup>3</sup>, 刘桂林<sup>3</sup>, 吴永明<sup>1,2</sup>, 刘丽贞<sup>1,2</sup>, 姜加虎<sup>3</sup>

(1. 江西省科学院 鄱阳湖研究中心, 江西 南昌 330096; 2. 江西省鄱阳湖重点实验室, 江西 南昌 330096;  
3. 中国科学院 南京地理与湖泊研究所 中国科学院流域地理学重点实验室, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 为了进一步揭示鄱阳湖与长江及其流域来水之间的“江河湖”关系, 选取鄱阳湖湖口水文站作为研究对象, 以三峡工程的蓄水时间(2003)为分界点, 应用最小二乘法对其 1978-2007 年的水文数据序列(逐月平均水位与月平均流量)进行线性、多项式(三次曲线)拟合及其对数拟合, 根据建立拟合曲线的判断系数  $R^2$  大小选出最优的鄱阳湖水位流量关系拟合曲线, 并对影响 3 种曲线拟合精度的影响因素进行探讨, 最后对湖口水文站年均水位及年平均流量变化趋势进行分析。研究表明: 2003 年前后, 鄱阳湖湖口水文站水位流量关系拟合曲线均以三次曲线拟合精度为最高, 以对数拟合精度为最低; 湖口水文站历年年均水位呈现下降趋势, 而年平均流量则呈现上升趋势, 年均水位和年平均流量最大值均出现在 1998 年, 最小值则分别出现在 2006 和 1979 年。研究结果能够为鄱阳湖湖区水资源合理利用与水环境安全保护提供一定的参考依据。

**关键词:** 水位流量关系; 最小二乘法; 湖口水文站; 鄱阳湖; 三峡工程

中图分类号: P333

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)01-0082-04

## Study on relationship of water level and discharge in Poyang lake based on least square method

YOU Hailin<sup>1,2</sup>, XU Ligang<sup>3</sup>, LIU Guilin<sup>3</sup>, WU Yongming<sup>1,2</sup>, LIU Lizhen<sup>1,2</sup>, JIANG Jiahu<sup>3</sup>

(1. Poyang Lake Research Center, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China; 2. State Key Laboratory of Poyang Lake of Jiangxi Province, Nanchang 330096, China; 3. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** To further reveal lake - river relation between Poyang Lake and Yangtze River and watershed, the paper took Hukou hydrological station in Poyang Lake as the study object, and chose the impoundment time of Three Gorges Project (2003) as the cutoff point to analyze the quantitative relationship of water level - discharge. Then it applied the least squares method to fit the hydrological data series (monthly average water levels and flows) during 1978 - 2007 by linear fit, polynomial (cubic) fit and logistic fit. The optimal water level - discharge curve was selected by the coefficient  $R^2$ . Meanwhile, this paper explored the influence factors of three kinds of fitting curves accuracy. and analyzed the trend of relationship between annually water levels and flows analyzed. The results showed that around 2003, the optimal water level and discharge curve was the polynomial (cubic) fit curve, while accuracy of logistic fit was the worst; the annually average water level at Hukou hydrological station showed a downward trend, while the annually average water flow showed a upward trend; the maximum annually average water level and flow both happened in 1998; the minimum annually average water level and flow took place in 2006 and 1979 respectively. The result can provide certain reference for the rational utilization of water resources and the protection of water environment at Poyang Lake area.

收稿日期: 2015-07-18; 修回日期: 2015-09-23

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAC09B02); 江苏省科技厅项目(BZ2014005、BE2014739); 江苏省环保厅科研课题(2014039); 国家自然科学基金项目(41371121、41271034、41561093); 中国科学院流域地理学重点实验室开放研究基金; 江西省科学院科研开发专项博士项目(2014-YYB-31)

作者简介: 游海林(1985-), 男, 江西上饶人, 博士, 助理研究员, 研究方向为湖泊水文过程与湿地生态。

通讯作者: 徐力刚(1976-), 男, 四川仁寿人, 博士, 研究员, 主要从事湖泊湿地生态水文过程方面的研究。

**Key words:** relation of water level and discharge; least square method; Hukou hydrological station; Poyang Lake; Three Gorges Project

## 1 研究背景

鄱阳湖是长江中游主要自然通江湖泊之一,承接上游五河及区间来水,经湖口汇入长江,与长江存在复杂水文、水动力交互演化,关于鄱阳湖、长江及其流域来水三者之间的相互关系研究已有大量文献报道。近些年来,鄱阳湖与长江及其流域来水的江河湖关系在气候变化与人类活动共同作用下愈演愈烈,尤其是随着三峡工程的蓄水运行、清水下泄致使长江中下游河段遭受不同程度的冲刷,使得其江河湖关系更趋于复杂的动态变化之中<sup>[1-2]</sup>。三峡水利枢纽于1994年开始建设,于2003年6月1日水库开始蓄水,6月10日水位达到135 m高程,2006年9月20日开始蓄水至156 m。三峡工程蓄水运行改变了长江干流径流的年内分配,使干流水位发生变化。受三峡工程调控的影响,长江中下游的湖泊在水位、水质、来水时间、水淹没期和水流运动等方面都将会发生变化<sup>[3-5]</sup>。湖口水文站位于鄱阳湖与长江交界之处,是鄱阳湖与长江之间联系的纽带。长江上游干流的水利工程能够通过改变湖口水文站附近的长江水情而对鄱阳湖水环境、水生态及水文过程产生直接作用,进而对湖区防洪、泥沙冲淤、滩地显露、湿地植被群落分布与演替等产生不同程度的影响<sup>[6]</sup>。姜加虎<sup>[7]</sup>通过三峡工程对鄱阳湖水位的影响表明,三峡工程对鄱阳湖水位的影响程度有自下游向上游方向逐渐减小的特点,且枯水期影响程度大于丰水期,当三峡水库丰水期减少下泄流量1 000~6 000 m<sup>3</sup>/s时,鄱阳湖水位将下降0.06~0.82 m。闵骞<sup>[8]</sup>研究表明,自2003年以来受长江干流来水与鄱阳湖流域降水减少、三峡水库蓄水以及湖区采砂等众多因素影响,鄱阳湖与长江之间江湖关系发生了较大变化,水文过程形势变化显著,由此导致鄱阳湖丰水期时的高水位持续时间缩短,而枯水期出现时间提前且发生频率增加。

水位流量关系是江河渠道中某一断面的流量与同时水位之间的对应关系,其关系的确定是水文资料整编的关键所在。通常用水位为纵坐标、流量为横坐标的水位流量关系曲线来表示,也可以选取适当的数学方程式,并根据曲线和数学方程式列出便于查读的水位流量关系表。最小二乘法是一种数学优化技术,利用最小二乘法可以简便地求得未知的数据,并使得这些求得的数据与实际数据之间误差

的平方和为最小。最小二乘法已经在水文与水资源学中取得了广泛的运用,尤其是在推演水文站水位与流量之间的相互关系应用较广。如在长江河段螺山站的水位流量关系研究中,罗景等<sup>[9]</sup>采用最小二乘法对其1998年洪水位变化特性多项式曲线拟合且拟合结果良好。权春吉<sup>[10]</sup>应用最小二乘法绘制出沈阳辽中水文站水位流量关系拟合曲线,发现利用其所计算出的流量结点的相对误差均符合水文资料整编要求。戴凌全等<sup>[11]</sup>运用最小二乘法推演某河流水文站水位流量关系结果表明,使用最小二乘法原理所绘制的水位流量关系曲线与实际情况相吻合,二次、三次、四次拟合的平均误差分别为2.105%、2.114%和1.919%,均在合理误差范围之内。尽管当前针对鄱阳湖水情特征及其水文过程变化的报道较多,然而关于最小二乘法在鄱阳湖典型水文站水位流量关系中的应用研究则相对不足;另外随着鄱阳湖水环境问题日益突出且越来越受到公众的关注,全面、准确认知近年来鄱阳湖水位与流量之间的定量关系,不仅是揭示“江河湖”关系变化在水环境与水文过程等方面影响机制的理论基础,也是保护鄱阳湖“一湖清水”的重要举措。基于以上考虑,本研究选择鄱阳湖湖口水文站,应用最小二乘法研究2003年前后鄱阳湖水位流量关系变化,以期建立适合鄱阳湖湖口水文站水位和流量之间关系的数学拟合曲线,探讨影响鄱阳湖水位与流量关系的影响因素及关键机制,从而进一步阐明三峡工程运行对鄱阳湖水文过程的具体影响,对保障鄱阳湖水环境与水生生态安全具有重要意义。

## 2 研究方法及材料

### 2.1 研究区概况

鄱阳湖是我国第一大淡水湖,它承纳赣江、抚河、信江、饶河、修水五河来水,经调蓄后由湖口北注长江,形成完整的鄱阳湖水系。鄱阳湖流域面积为16.2万km<sup>2</sup>,约占江西省面积的96%,占长江流域面积的9%。鄱阳湖湖水位受到长江来水和其流域来水的双重作用。湖口作为鄱阳湖水量注入长江的唯一出口,是长江与鄱阳湖直接发生水力联系的作用点<sup>[12]</sup>。

### 2.2 数据来源

水文数据为鄱阳湖湖口水文站逐月平均水位

(吴淞基面,单位:m)与月平均流量(单位: $\text{m}^3/\text{s}$ ),时间序列为1978-2007年,共计30年。

## 2.3 研究方法

以2003年(三峡工程蓄水时间)为节点,将水文时间序列分为两段,第1段为1978-2002年,第2段为2003-2007年,应用最小二乘法对2003年前后的水文数据资料进行线性、多项式(三次曲线)与对数拟合,根据3种拟合曲线的判断系数 $R^2$ 大小,得出湖口水文站水位流量关系拟合精度最高的曲线方程,并对影响鄱阳湖水位流量拟合关系的因素进行分析讨论。当湖口水文站月平均流量为负值(负值代表从长江倒灌进鄱阳湖的流量)时取其绝对值进行运算。

## 3 结果与讨论

### 3.1 2003年前后湖口水文站水位与流量关系

#### 3.1.1 2003年前月均水位与月平均流量拟合关系

从图1可以看出,在2003年前湖口水文站历年月均水位与月平均流量的线性拟合、多项式拟合(三次曲线)和对数拟合这3种曲线的拟合精度均较好。根据的判断系数( $R^2$ )的大小排序,3种曲线方程拟合精度由大到小依次为多项式拟合>线性拟合>对数拟合。

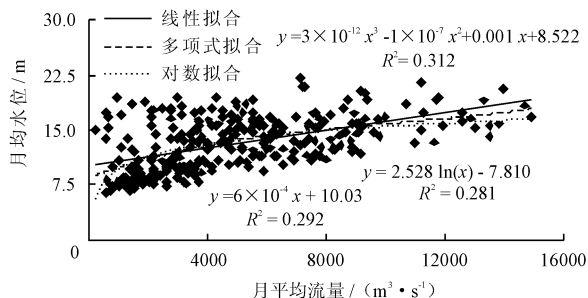


图1 2003年前湖口水文站水位与流量拟合曲线

#### 3.1.2 2003年后月均水位与月平均流量拟合关系

从图2看出,在2003年后,湖口水文站历年月均水位与月平均流量的线性拟合、多项式拟合(三次曲线)和对数拟合这3种曲线拟合中,多项式曲线拟合与线性拟合精度相对较好。根据判断系数( $R^2$ )的大小排序,3种曲线方程拟合精度由大到小同样为多项式拟合>线性拟合>对数拟合。

### 3.2 湖口水文站年均水位及年平均流量变化分析

从图3可以看出,在1978-2007年这30年中,湖口水文站的历年年均水位与年平均流量呈现相反的变化趋势。其中,历年年均水位呈现下降的趋势,这与很多研究报道结果相一致,究其原因主要是近

些年来鄱阳湖流域来水减少以及三峡工程蓄水导致长江干流对鄱阳湖的顶托作用和倒灌作用减弱甚至消失<sup>[13-14]</sup>。另外,也有研究指出不合理的人类活动也是影响鄱阳湖水位逐年降低的重要因素之一,如采砂活动以及大、中型水利枢纽工程的兴建及运行等<sup>[15]</sup>。自然因素(气候、降水等)与人类活动的共同作用导致了近些年来鄱阳湖极端水文事件发生的频率增加,如2006年和2011年的鄱阳湖枯水事件。郭华等<sup>[3]</sup>指出尽管三峡工程运行初期对长江中游径流量及长江与鄱阳湖相互作用的影响虽然并不明显,但是在特殊年份,如2006年9月底至10月底气候干旱和三峡水库大量蓄水的共同影响进一步加剧了鄱阳湖湖区的干旱程度。白丽<sup>[16]</sup>研究也指出三峡工程蓄水有可能导致鄱阳湖低水位提前出现,且使其水位异常偏低。湖口水文站年平均流量呈现上升趋势究其原因可能是近些年来,尤其是2000年后鄱阳湖泄流能力逐年明显提高,致使湖口水文站流量加大,水位下降<sup>[17]</sup>。另外,随着长江中下游地区社会经济快速发展,居民生活用水、城市工业用水以及农业灌溉用水的需求量逐年增长,同时受气候变化及干旱的影响,进一步加剧了长江中下游地区各行业的用水需求。

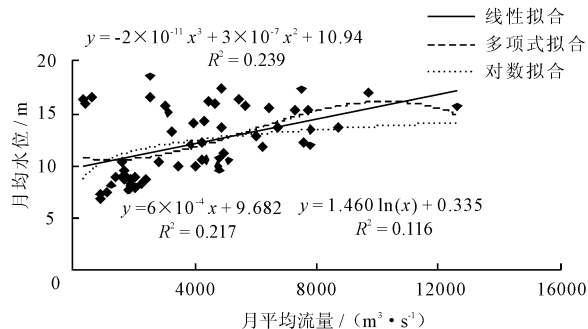


图2 2003年后湖口水文站水位与流量拟合曲线

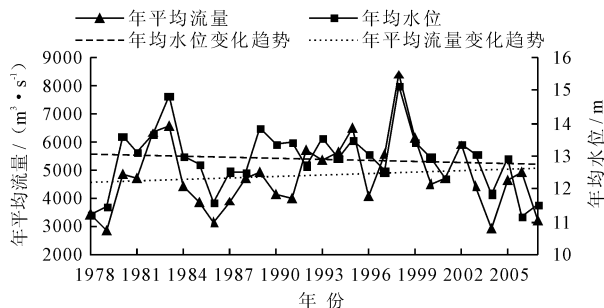


图3 湖口水文站水位与流量及变化趋势图

从表1可以看出,在1978-2007年期间,鄱阳湖湖口水文站的历年年均水位和年平均流量的最大值均出现在1998年,这恰好鄱阳湖1998年发生的

百年一遇大洪水时间吻合。历年年均水位的最小值则出现在 2006 年,这与鄱阳湖湖区 2006 年发生枯水事件的时间吻合。研究表明鄱阳湖水位涨落,直接受江、流域来水的控制,其中涨水迟早和水位高低,主要决定于流域来水,即“五河”水情,而退水迟早和快慢则取决于长江水情。江、河、湖 3 者关系变化是导致鄱阳湖洪枯水位变幅大的直接原因<sup>[12]</sup>。近年来,鄱阳湖极端水文事件发生频率明显增加,且给湖区人们生命与财产安全造成重大灾害。据统计,1998 年大洪水造成鄱阳湖区 200 多座千亩以上圩堤溃决,淹没农田近 100 万亩,受灾人口 90 余万,直接经济损失约 250 亿元<sup>[18]</sup>。而鄱阳湖严重干枯则会使鄱阳湖由“大湖相”转化为“小河相”,到处呈现出一片草洲的景象,随处可见死亡的小鱼、小虾和螺蛳、蚌壳,严重影响到湖区人们的生产生活水平。

表 1 湖口水文站年均水位及年平均流量统计

| 水文数据  | 年均水位/m | 出现年份 | 年平均流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ) | 出现年份 |
|-------|--------|------|--|------|
| 最大值   | 15.14  | 1998 | 8390                                     | 1998 |
| 最小值   | 11.21  | 2006 | 2843                                     | 1979 |
| 多年平均值 | 12.90  |      | 4825                                     |      |

## 4 结 论

(1)应用最小二乘法能够较好地拟合出鄱阳湖湖口水文站月均水位与月平均流量之间的定量关系。2003 年前后 3 种曲线的拟合精度由高到低排序均为三次曲线拟合 > 线性拟合 > 对数拟合。

(2)在 1978 - 2007 年期间,湖口水文站的历年年均水位与年平均流量之间呈现相反的变化趋势,鄱阳湖湖口水文站历年年均水位呈现下降趋势,年平均流量则呈现上升趋势,两者的变化程度均较为平缓。年均水位与年平均流量均发生在 1998 年,最小值分别出现 2006 和 1979 年,这分别与鄱阳湖发生洪水与干旱事件的年份吻合。

(3)“江河湖”关系研究是鄱阳湖水情特征以及水文过程变化研究中的关键内容,是一项长期而艰巨的任务,也是实现鄱阳湖“一湖清水”的重要举措。本文仅运用最小二乘法对鄱阳湖湖口水文站的水位流量关系进行了拟合研究,对其他数学方法及模型未作探讨,亟需从物理成因的角度进一步发掘鄱阳湖水位与流量两者之间存在的内在联系及其相互影响机制,这些将作为今后研究的主要工作及重心。

## 参考文献:

- [1] Zhang Qi, Ye Xuchun, Werner A D, et al. An investigation of enhanced recessions in Poyang Lake: Comparison of Yangtze River and local catchment impacts [J]. Journal of Hydrology, 2014, 517(2): 425 - 434.
- [2] Zhang Zengxin, Chen Xi, Xu Chongyu, et al. Examining the influence of river - lake interaction on the drought and water resources in the Poyang Lake basin [J]. Journal of Hydrology, 2015, 522: 510 - 521.
- [3] 郭华, HU Qi, 张奇. 近 50 年来长江与鄱阳湖水文相互作用的变化 [J]. 地理学报, 2011, 66(5): 609 - 618.
- [4] 叶许春, 李相虎, 张奇. 长江倒灌鄱阳湖的时序变化特征及其影响因素 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012, 34(11): 69 - 75.
- [5] Jiang Jiahui, Xi Junlai, Huang Qun. The characteristics of flood responses to the restoration of polders on Dongting Lake, China [J]. Hydrological Sciences Journal, 2007, 52(4): 671 - 685.
- [6] 王圣瑞, 倪兆奎, 储昭升, 等. 江湖关系变化及其对鄱阳湖水环境影响研究——一代“江湖关系变化及其对鄱阳湖水环境影响研究”专栏序言 [J]. 环境科学学报, 2015, 35(5): 1259 - 1264.
- [7] 姜加虎, 黄群. 三峡工程对鄱阳湖水位影响研究 [J]. 自然资源学报, 1997, 12(3): 219 - 224.
- [8] 闵 骞, 时建国, 闵 聃. 1956 - 2005 年鄱阳湖入湖悬移质泥沙特征及其变化初析 [J]. 水文, 2011, 31(1): 54 - 58.
- [9] 罗 景, 谢作涛. 长江中游典型测站 1998 年洪水位变化特性 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2004, 37(5): 8 - 12.
- [10] 权春吉. 水位 - 流量关系拟合曲线的绘制 [J]. 水利水文自动化, 2006(4): 48 - 50.
- [11] 戴凌全, 戴会超, 蒋定国, 等. 基于最小二乘法的河流水位流量关系曲线推算 [J]. 人民黄河, 2010, 32(9): 37 - 39.
- [12] 朱海虹, 张 本, 等. 鄱阳湖—水文·生物·沉积·湿地·开发整治 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997: 30 - 35.
- [13] 刘志刚, 倪兆奎. 鄱阳湖发展演变及江湖关系变化影响 [J]. 环境科学学报, 2015, 35(5): 1265 - 1273.
- [14] 万荣荣, 杨桂山, 王晓龙, 等. 长江中游通江湖泊江湖关系研究进展 [J]. 湖泊科学, 2014, 26(1): 1 - 8.
- [15] 李世勤, 闵 骞, 谭国良, 等. 鄱阳湖 2006 年枯水特征及其成因研究 [J]. 水文, 2008, 28(6): 73 - 76.
- [16] 白 丽. 鄱阳湖水位变化特征及其影响因素(硕士学位论文) [D]. 南京: 南京地理与湖泊研究所, 2010: 17 - 25.
- [17] 赖锡军, 黄群, 张英豪, 等. 鄱阳湖泄流能力分析 [J]. 湖泊科学, 2014, 26(4): 529 - 534.
- [18] 马逸麟, 李均辉, 宋 宇. 江西省鄱阳湖区水患灾害特征及发展趋势分析 [J]. 国土资源导刊, 2004, 1(4): 40 - 44.