

# 三峡出库流量与鄱阳湖水位定量响应关系研究

刘洋<sup>1</sup>, 陈诚<sup>1\*</sup>, 马一鸣<sup>2</sup>

<sup>1</sup>南京水利科学研究院生态环境研究所, 江苏 南京

<sup>2</sup>中国长江电力股份有限公司, 湖北 宜昌

收稿日期: 2025年12月2日; 录用日期: 2025年12月11日; 发布日期: 2026年2月26日

## 摘要

构建三峡水库调度过程与鄱阳湖水位之间的定量响应关系, 对理解长江中下游江湖水动力耦合机制、优化水资源调控及生态水位管理具有重要意义。基于三峡出库流量与鄱阳湖水位数据, 本研究揭示了两者的关键响应特征。结果表明: 1) 三峡出库流量与鄱阳湖水位在季节上高度一致, 丰水期流量增加对应显著的水位攀升, 存在约3~7天的响应滞后; 2) 二次多项式拟合显示关系显著非线性( $R^2 = 0.586$ ), 10,000~20,000 m<sup>3</sup>/s区间水位对流量敏感性最高, 超过约20,000 m<sup>3</sup>/s后增水效率出现递减; 3) 断点回归识别到关键转折点约为22,500 m<sup>3</sup>/s, 显示湖体从以蓄水为主向以泄洪为主的水动力机制转变。本研究分析了三峡水库调度对鄱阳湖水位的结构性影响, 研究成果对三峡水库优化调度、鄱阳湖生态水位管理及洪水风险控制提供了科学参考。

## 关键词

三峡水库, 鄱阳湖, 湖泊水位, 断点回归, 非线性响应

# Quantitative Response Relationship between Three Gorges Reservoir Outflow and Water Levels in Poyang Lake

Yang Liu<sup>1</sup>, Cheng Chen<sup>1\*</sup>, Yiming Ma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Ecological Environment, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>China Yangtze Power Co., Ltd., Yichang Hubei

Received: December 2, 2025; accepted: December 11, 2025; published: February 26, 2026

## Abstract

Quantifying the response of Poyang Lake water level to the outflow discharge from the Three Gorges

作者简介: 刘洋(1996-), 男, 博士研究生, 主要从事湖泊生态水文研究, Email: sdauiuy@gmail.com

\*通讯作者 Email: chen Cheng@nhri.cn

文章引用: 刘洋, 陈诚, 马一鸣. 三峡出库流量与鄱阳湖水位定量响应关系研究[J]. 水资源研究, 2026, 15(1): 27-33.

DOI: 10.12677/jwrr.2026.151004

**Reservoir (TGR) is essential for understanding river-lake hydrodynamic interactions in the middle-lower Yangtze River, optimizing reservoir operation, and improving ecological water-level management. Based on TGR outflow and Poyang Lake water-level data, this study identifies their key response characteristics. Results show that: 1) TGR outflow and lake water level share strong seasonal synchronicity, with a 3~7 day response lag; 2) The discharge-water level relationship is distinctly nonlinear ( $R^2 = 0.586$ ), with the highest sensitivity occurring in the 10,000~20,000  $m^3/s$  range. Beyond 20,000  $m^3/s$ , the efficiency of water level increase diminishes; 3) A critical breakpoint of approximately 22,500  $m^3/s$  indicates a hydrodynamic shift from storage-dominated to spill-dominated conditions. These results highlight the structural impact of TGR regulation on Poyang Lake water levels and provide scientific support for reservoir operation, ecological water level management, and flood-risk mitigation.**

## Keywords

Three Gorges Reservoir, Poyang Lake, Water Level, Breakpoint Regression, Nonlinear Response

Copyright © 2026 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

鄱阳湖是中国最大的淡水湖泊，兼具调蓄、生态、航运与防洪等多重功能，其水文情势的变化不仅直接影响湖区湿地植被演替与越冬水鸟栖息地格局，也与长江中下游的洪水风险、水资源调度与生态系统稳定性密切相关[1]。作为典型的通江湖泊，鄱阳湖水位的涨落主要受控于流域来水、湖盆形态、湖区降雨蒸散以及湖口外江水位等因素[2][3]。其中，长江干流水位变化通过湖口水位控制断面直接影响鄱阳湖的出流能力与水动力结构。三峡水库运行后，其调度方式进一步改变了长江中下游河段的水位过程，使得鄱阳湖水位呈现出更强的季节性不对称性与年际波动特征[4]。

近年来，多项研究从流域水量平衡、江湖水动力响应以及三峡调度方案等角度分析了水库运行对鄱阳湖的影响。一方面，有研究指出三峡水库枯期补水显著降低了长江中下游河段在冬季的水位下降幅度，从而提高了鄱阳湖外河顶托水位，使得湖体进入更深的枯水期[5]；另一方面，汛期三峡水库泄量的控制不仅影响长江中下游洪水传播过程，还能够改变鄱阳湖的出流边界，甚至改变洪泛湿地的淹没频率与持续时间，对湖区生态系统结构产生深远影响[6]。然而，现有研究往往从趋势性关联或宏观耦合角度开展分析，对三峡出库流量与鄱阳湖水位之间是否存在定量化、结构性的响应机制这一关键问题仍缺乏深入探讨。

通江湖泊系统往往呈现显著的非线性水位响应特征。一方面，当河道外水位较高时，湖体出流受限，少量流量变化也可能被放大作用于湖内水位；另一方面，当外江水位下降较快时，湖区排水加速，水位对外界流量的响应则可能减弱[7]。三峡水库调度恰恰在这种敏感的河湖界面上施加了显著扰动，使得鄱阳湖的水位对其出库流量的响应模式可能存在阶段性转折与结构变化。

在此背景下，本研究选取 2015~2018 年三峡水库逐日出库流量与鄱阳湖星子站逐日水位作为基础数据，通过系统的预处理、多项式回归分析以及断点回归检验，旨在从定量角度识别：1) 三峡出库流量对鄱阳湖水位变化的整体响应强度；2) 不同流量阶段下水位对流量响应的非线性特征；3) 是否存在结构性断点及其水动力学意义。

## 2. 数据资料与分析方法

### 2.1. 研究区域概况

三峡水库位于长江上游宜昌境内，是控制长江中上游径流过程的关键节点工程，其调度直接影响下游河道

流量过程及水位演变(图 1(a))。鄱阳湖位于长江中下游南岸,湖体通过湖口与长江干流相连,是典型的吞吐型通江湖泊(图 1(b))。湖泊水位变化受上游五河来水和长江干流水位共同控制,而长江干流水位在丰枯季节高度受三峡水库调度影响,因此三峡出库流量对鄱阳湖水位具有显著的传导效应。在丰水期,三峡水库加大出库量,会提高长江中下游水位,增强湖口顶托效应,使鄱阳湖水位同步上升;而在枯水期,通过削减出库流量,三峡降低了长江干流水位,减弱顶托,有利于鄱阳湖湖水下泄。由于河道传播时间及湖体调蓄作用的存在,鄱阳湖水位对三峡出库变化一般存在数日滞后,其幅度受季节水文情势和河湖水力条件共同影响。

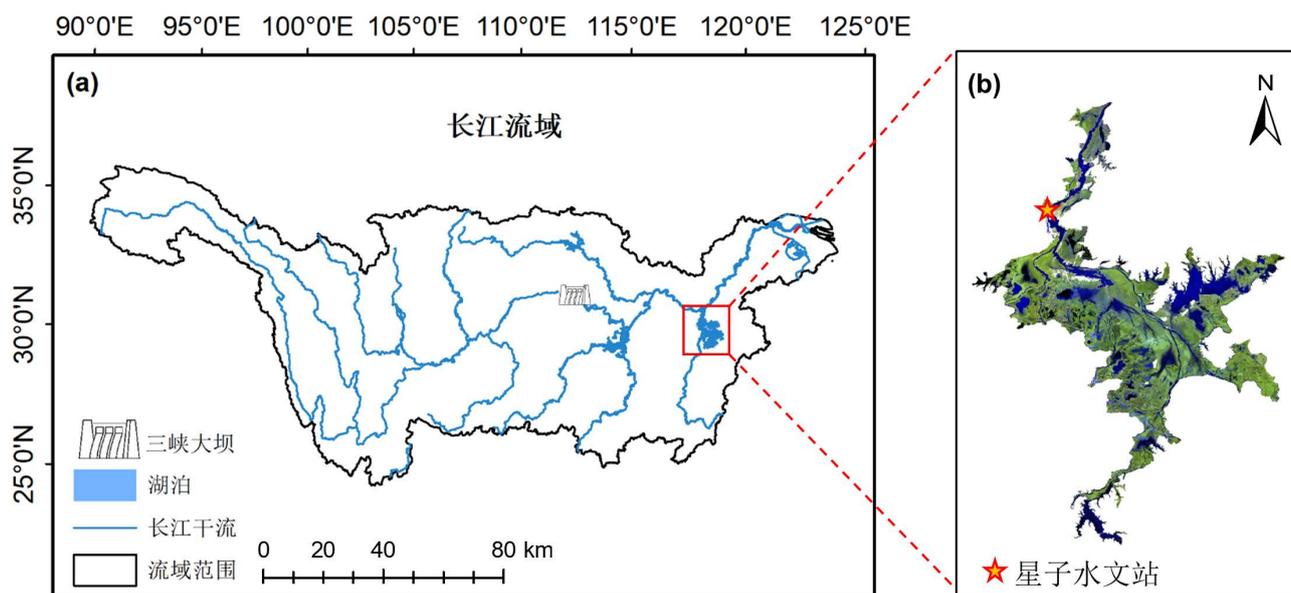


图 1. 研究区域概况: (a) 长江水系及三峡大坝和鄱阳湖位置; (b) 鄱阳湖遥感影像

## 2.2. 数据来源与预处理

本研究使用的两类主要水文观测数据包括:1) 三峡水库每日出库流量;2) 鄱阳湖星子水文站每日平均水位,时间跨度为 2015 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日。两类数据均来自江西省水文监测中心及长江水文网官方资料。三峡水库出库流量由水文站实时监测与调度记录提供,数据时间分辨率为 1 天,精度较高;鄱阳湖星子站水位数据同样为逐日序列,反映湖盆水位变化的总体过程。

水文数据受监测环境、设备维护及洪水高水期干扰,可能存在少量缺测记录。为提高数据质量,首先对缺失的水位与流量数据采用相邻日线性插值。对于连续缺测超过 3 天的情况,为避免插值误差放大,采用 3 日移动平均平滑后再插值,提高序列的稳定性。针对异常数据采用极值剪裁,即采用上下 0.5% 分位数作为异常值判定范围,将极端异常值视为测量噪声并剔除。这一方法能够有效去除因设备跳变、洪水冲击或记录异常导致的不合理值,同时避免人工主观设定阈值带来的偏差[8]。对水位与流量序列分别进行时间序列季节分解,剔除孤立的脉冲波动,使数据更符合回归分析的平稳性假设,提升参数估计的可靠性。

## 2.3. 多项式回归模型

采用二次多项式模型刻画出库流量与水位的非线性关系:

$$H = aQ^2 + bQ + c$$

其中,  $H$  为星子站水位,  $Q$  为三峡出库流量。该方法用于识别整体趋势及非线性程度。此外,通过最小二乘法估计系数,并通过决定系数  $R^2$  评估拟合优度。

## 2.4. 断点回归模型

为识别不同流量阶段下水位响应是否存在结构性差异,采用残差平方最小化的断点回归方法,通过遍历可能流量阈值,寻找全局最优断点[9]。其步骤如下:

- ① 遍历可能的流量阈值  $Q_0$ ;
- ② 分别在  $Q < Q_0$  与  $Q > Q_0$  区段拟合线性关系;
- ③ 计算总残差平方和  $RSS(Q_0)$ , 选择最小值对应的  $Q_0$  为断点;
- ④ 为验证稳定性,采用 Bootstrap 重抽样( $B = 1000$ ) [10], 反复计算断点分布并记录最优断点位置。

该方法可有效揭示非线性关系中的结构性变化点,是分析流域系统调蓄机制和水动力反馈的重要工具。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 时间序列特征及季节性响应

图 2 展示了 2015~2018 年三峡出库流量与鄱阳湖星子站水位的逐日变化情况。两者在季节上呈现出显著同步性。丰水期(6~8 月)出库流量从  $15,000 \text{ m}^3/\text{s}$  升至  $25,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , 星子水位从约  $12 \text{ m}$  上升至  $17 \text{ m}$ ; 枯水期(12~2 月)出库流量降至约  $7000 \text{ m}^3/\text{s}$ , 星子水位下降至约  $7 \text{ m}$ 。值得注意的是,水位变化滞后于流量变化 3~7 天,滞后特征与湖体容积、通江河段水面坡降、水库调度方式密切相关[11] [12]。

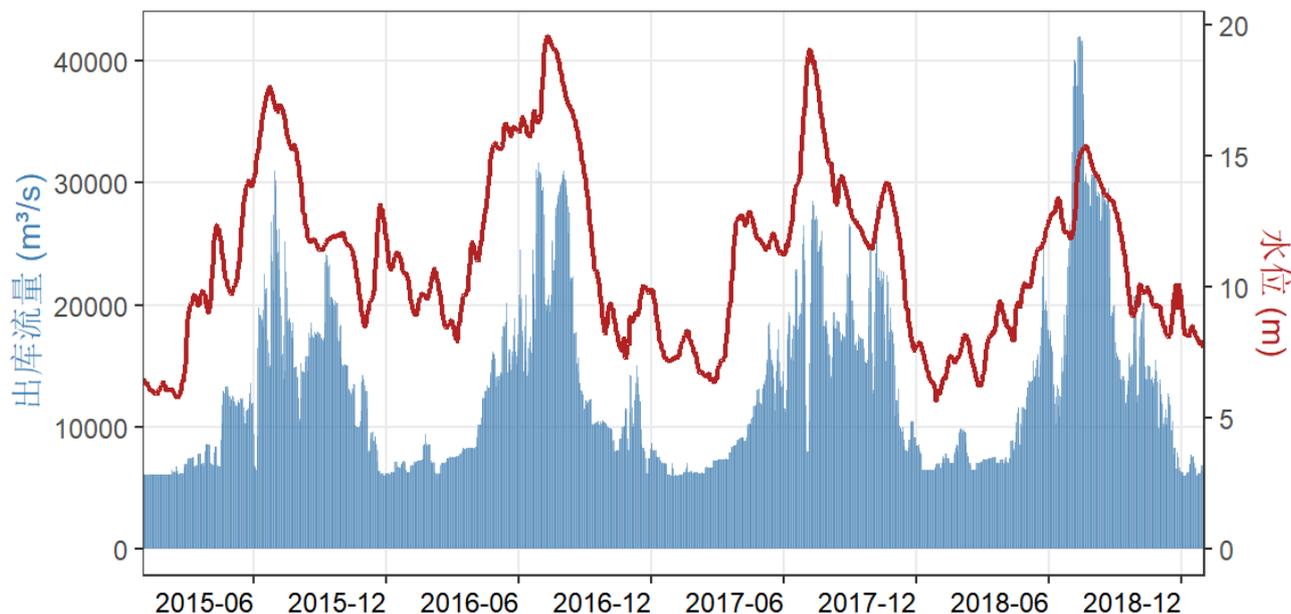


图 2. 三峡出库流量及下游鄱阳湖水位时间序列

图 3 显示 2015~2018 年三峡出库流量及鄱阳湖水位月动态统计结果。整体来看,两者在年内均呈现显著的季节性节律,其变化模式高度一致。三峡水库出库流量在 1~3 月维持在较低水平,箱线图分布集中且离散度较小,月均流量约为  $6880 \text{ m}^3/\text{s}$ ,反映冬季上游来水偏少且水库维持稳定补水调度。4 月开始,随着长江流域降水增多,出库流量逐渐上升,并在 6~8 月进入全年最明显的丰水期。特别是 7 月,受梅雨期末与盛夏暴雨的共同影响,流量峰值显著抬升[13],箱线图分布拉伸明显,上下须长度加大,表明此期间流量波动幅度显著增大,具有典型的洪峰过程特征。进入 9 月后,出库流量逐步回落,箱线图高度收缩,显示水库调度和来水过程趋于平稳。图 3(b)所示的鄱阳湖水位变化与三峡出库流量呈现紧密对应关系。1~2 月水位处于全年最低水平,平均约  $7.40 \text{ m}$ ,箱线图整体偏低且分布紧凑,代表枯水期湖体水量有限。随着外江水位提升及湖区降水增加,湖水自

4月开始迅速上升,并在6~8月形成高水位平台,与三峡出库流量峰值月份一致,且箱线图中位数显著抬升,表明湖区受丰水来水控制强烈。值得注意的是,水位箱线图的上下须普遍短于流量箱线图,说明尽管流量在丰水期波动剧烈,但湖水位增长相对平滑,体现出湖体调蓄能力及湖盆容积对短期流量振荡的缓冲作用[14]。此外,8月后水位随流量下降逐渐回落,并在11~12月恢复至枯水期水平,形成完整的年内水位循环。

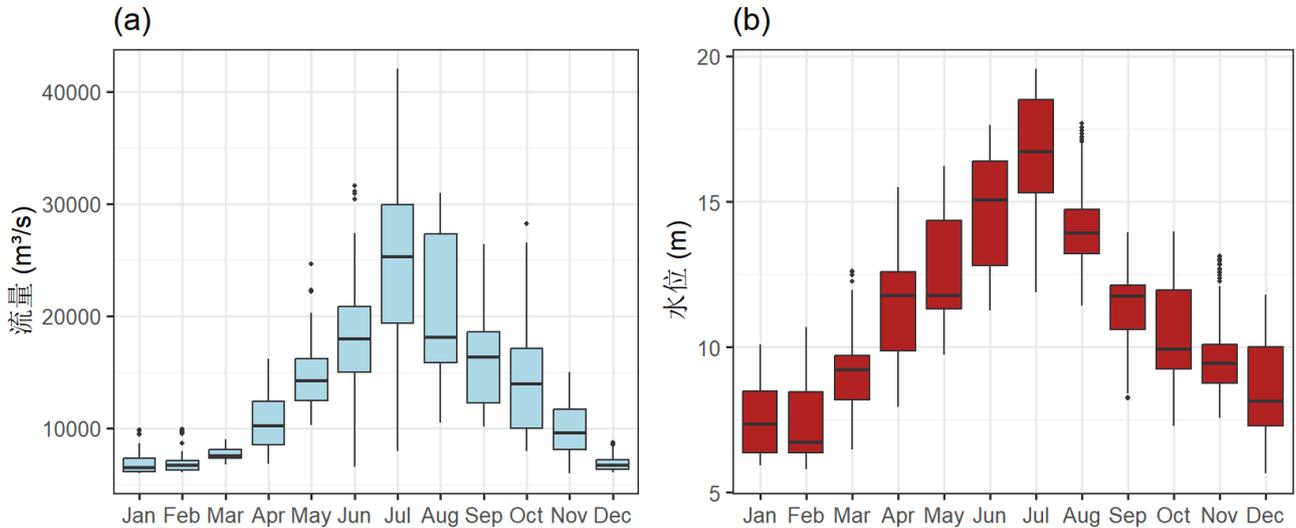


图 3. 2015~2018 年三峡出库流量(a)及下游鄱阳湖水位月动态(b)

### 3.2. 三峡出库流量与鄱阳湖水位的非线性拟合关系

图 4 显示出库流量与鄱阳湖水位二次多项式拟合结果。可以看出,三峡出库流量与鄱阳湖水位呈非线性相关,  $R^2 = 0.586$ , 表明三峡出库流量与鄱阳湖水位间的非线性关系显著,且能解释约 60% 的水位变异。一次项系数 0.001 表明出库流量每增加  $1000 m^3/s$ , 鄱阳湖水位平均升高约 1 m, 而二次项系数为负,说明在大流量条件下增水效率会递减。湖体调蓄、溢洪及湖水顶托作用开始主导,使得水位增幅不再与流量线性增长同步。具体而言,在  $10,000 \sim 20,000 m^3/s$  的中等流量区间,水位对流量变化最为敏感,增水效率达到最高;当流量超过约  $20,000 m^3/s$  时,二次项效应开始显著削弱每单位流量增幅带来的水位提升。当三峡出库流量超过  $30,000 m^3/s$  时,拟合曲线出现下降趋势,主要源于样本量不足,以及汛期湖区水位同时受到五河来水、区间降雨与长江干流水位等

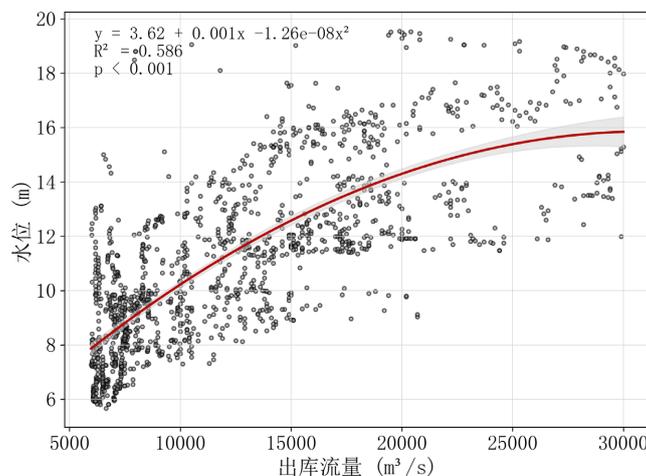


图 4. 2015~2018 年三峡出库流量和下游鄱阳湖水位拟合回归

多因素共同作用，导致相关关系不稳定。因此，本研究仅展示 30,000 m<sup>3</sup>/s 以内的拟合结果，以避免产生误导。未来需进一步针对高出库阶段(>30,000 m<sup>3</sup>/s)开展多源调控机制分析，并发展江湖一体化水动力模拟，以深入揭示汛期复杂的江湖耦合与湖区水位响应过程。

### 3.3. 流量 - 水位关系的断点识别

为识别这些非线性阶段的关键转折点，我们使用分段最小残差平方和方法，对拟合残差进行扫描检测。图 5 显示三峡出库流量和下游鄱阳湖水位断点回归检验结果。结果表明断点流量约为 22,500 m<sup>3</sup>/s，表示在该流量水平下，水位对流量的响应斜率出现结构性转变。断点回归显示，当日平均出库流量小于该阈值时，斜率约为 0.0012 m/(m<sup>3</sup>/s)，而超过阈值后，斜率则降至 0.0005 m/(m<sup>3</sup>/s)，几乎减半。低于阈值时，湖体蓄水为主；高于阈值时，以泄洪为主，抑制水位继续过高抬升。这一结果表明通江湖泊的水位变化受外江水位控制能力强弱的影响。当外江水位随着三峡加大泄量而显著抬升时，鄱阳湖出口处的水力坡降随之减小，此时湖水出流受限，湖体内部水量变化不能完全由入湖流量决定，而更受制于外江约束条件[15]。当流量低于 22,500 m<sup>3</sup>/s 时，外江水位上升幅度相对缓慢，湖体水位对流量变化表现出较高敏感性；而超过该阈值后，外江顶托效应增强，湖水位响应迟滞[16]。这一发现不仅深化了对鄱阳湖—长江联动水动力学的机理理解，也为防洪调度提供了具有实际操作意义的分界流量指标[17]。在未来汛期预报与生态蓄洪规划中，应重点关注 22,500 m<sup>3</sup>/s 这一“分水岭”，以平衡防洪安全与生态湿地健康的多重目标。

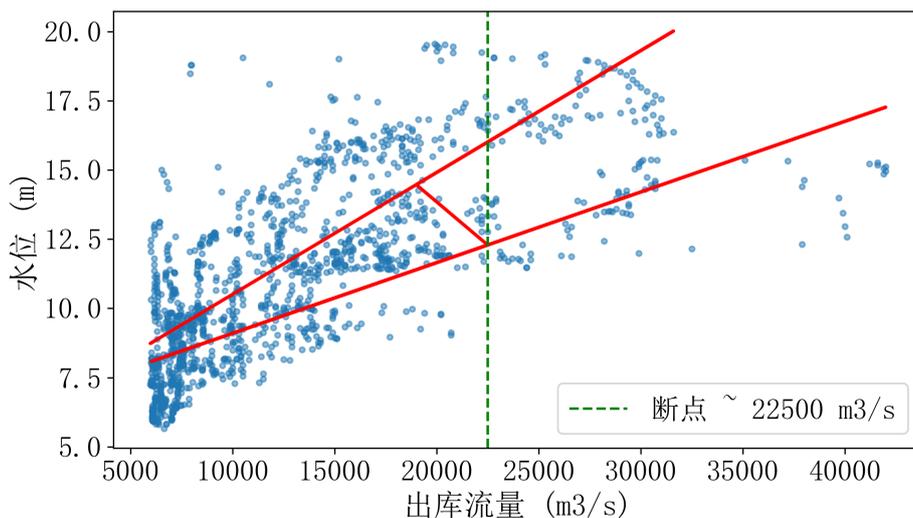


图 5. 三峡出库流量和下游鄱阳湖水位断点回归

## 4. 结论

基于 2015~2018 年三峡出库流量与鄱阳湖星子站水位数据，本研究构建了多项式回归与断点回归框架，系统解析了出库流量对湖水位的非线性与分段响应关系，得出以下主要结论：

- 1) 三峡出库流量与鄱阳湖水位在季节尺度上呈显著协同波动，水位普遍滞后流量峰值数天。
- 2) 三峡出库流量与鄱阳湖水位之间存在显著非线性关系( $R^2 = 0.586$ )，中等流量区间为最敏感响应区。
- 3) 断点回归识别出关键转折点的三峡出库流量约为 22,500 m<sup>3</sup>/s，该流量阈值对应湖体从蓄水主导向泄洪主导的水动力机制转变。该阈值对洪水调度、鄱阳湖生态水位管理及长江中下游联动调蓄具有重要应用价值。

本研究为认识三峡调度对鄱阳湖水动力响应的阶段性特征提供了定量证据，可为流域尺度水工程调度与湖泊湿地生态保护提供科学支撑。

## 基金项目

中国长江电力股份有限公司科研项目(Z242302052); 南京水利科学研究院专项资金项目(Y925004, Y925007)。

## 参考文献

- [1] 金斌松, 聂明, 李琴, 等. 鄱阳湖流域基本特征, 面临挑战和关键科学问题[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(3): 268-275.
- [2] 张强, 孙鹏, 江涛. 鄱阳湖流域水文极值演变特征, 成因与影响[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 445-453.
- [3] 王丹, 张双虎, 王国利, 等. 鄱阳湖枯水期水位变化及其影响因素量化分析[J]. 水力发电学报, 2020, 39(3): 1-10.
- [4] 蔡文君, 殷峻暹, 王浩. 三峡水库运行对长江中下游水文情势的影响[J]. 人民长江, 2012, 43(5): 22-25.
- [5] 章广越, 谈广鸣, 张为, 等. 三峡水库运行后汉口-九江河段水位变化特征及成因[J]. 水科学进展, 2024, 35(1): 85-97.
- [6] 方春明, 曹文洪, 毛继新, 等. 鄱阳湖与长江关系及三峡蓄水的影响[J]. 水利学报, 2012, 43(2): 175-181.
- [7] 张小琳, 张奇, 王晓龙. 洪泛湖泊水位-流量关系的非线性特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(5): 723-729.
- [8] 余宇峰, 朱跃龙, 万定生, 等. 基于滑动窗口预测的水文时间序列异常检测[J]. 计算机应用, 2014, 34(8): 2217-2220.
- [9] 罗胜. 断点回归设计: 基本逻辑, 方法, 应用述评[J]. 统计与决策, 2016(10): 78-80.
- [10] EFRON, B., TIBSHIRANI, R. J. An introduction to the bootstrap. New York: Chapman and Hall/CRC, 1994.
- [11] 郭振天, 黄峰, 郭利丹, 等. 鄱阳湖水位时空演变驱动因子研究[J]. 水力发电学报, 2020, 39(12): 25-36.
- [12] 邓志民, 张翔, 肖洋, 等. 鄱阳湖水位演变及其影响因子分析[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2015, 48(5): 615-621.
- [13] 祁万鹏, 姚素香. 长江中下游地区夏季降水年际差异的多尺度分析[J]. 热带气象学报, 2024, 40(4): 681-691.
- [14] 赵辉, 陈振, 冯超帆, 等. 基于 Landsat 影像的鄱阳湖面积监测及其与水位关系研究[J]. 自然资源遥感, 2024, 36(2): 198-206.
- [15] 胡向阳, 陈莫非, 蔡玉鹏, 等. 长江与洞庭湖, 鄱阳湖江湖关系变化及保护治理对策[J]. 人民长江, 2025, 56(10): 78-83.
- [16] 杨春瑞, 邓金运, 陈立, 等. 长江中游通江湖泊对干流顶托作用变化规律[J]. 水科学进展, 2024, 35(1): 98-111.
- [17] 陈桂亚. 长江防洪现状及思考[J]. 人民长江, 2025, 56(10): 21-27.