

# 梅田湖水文站水位 - 流量关系单值化分析及应用

柳 鹏<sup>1</sup>, 周思宇<sup>1</sup>, 胡 葵<sup>2</sup>

<sup>1</sup>长江中游水文水资源勘测局益阳分局, 湖南 益阳

<sup>2</sup>长江中游水文水资源勘测局, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年5月6日; 录用日期: 2023年6月13日; 发布日期: 2023年6月30日

## 摘 要

梅田湖水文站水位 - 流量关系受洪水涨落、断面冲淤以及洪水顶托影响, 呈复式绳套关系。根据本站水文特性, 以下游罗文窖水文站作为落差辅助站, 选取2016~2020年实测资料, 采用落差指数法进行单值化分析。结果表明, 使用落差指数法推算的成果与连时序法基本相符, 满足现行整编规范要求。

## 关键词

水位 - 流量关系, 落差指数法, 单值化, 梅田湖水文站

# Analysis and Application for Uniformization of Water Level-Flow Relationship of Meitianhu Hydrological Station

Peng Liu<sup>1</sup>, Siyu Zhou<sup>1</sup>, Kui Hu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yiyang Branch of Middle Changjiang River Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Yiyang Hunan

<sup>2</sup>Middle Changjiang River Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Wuhan Hubei

Received: May 6<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 13<sup>th</sup>, 2023; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The water level-flow relationship of Meitianhu hydrological station is influenced by flood fluctuation, erosion-deposition variation, and backwater, so it presents a double loop curve relationship. According to the hydrological characteristics of the station, the downstream Luowenjiao hydrologic station is used

作者简介: 柳鹏, 1988年4月17日出生, 山东冠县人, 本科, 工程师, 主要从事水文与水资源工程, Email: 798652938@qq.com

文章引用: 柳鹏, 周思宇, 胡葵. 梅田湖水文站水位-流量关系单值化分析及应用[J]. 水资源研究, 2023, 12(3): 315-321.

DOI: 10.12677/jwrr.2023.123036

as the auxiliary station. With measured data from 2016 to 2020, the comprehensive fall exponent method is used for uniformization of water level-flow relation. The analysis shows that the results calculated by the comprehensive fall exponent method are basically consistent with the continuous time series method, and meet the requirements of the current reorganization specification.

## Keywords

Water Level-Flow Relationship, Fall Index Method, Uniformization, Meitianhu Hydrological Station

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

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. 测站概况

梅田湖水文站始建于 2016 年, 地处湖南省华容县梅田湖镇梅田社区, 长江三口之一藕池口分流入洞庭湖, 梅田湖水文站是监测藕池河(北支)注入东洞庭湖水情的基本站, 属国家三类精度水文站, 监测项目包含水位、流量。该站流量测验河段顺直, 断面形状呈梯形, 河槽底部相对平坦, 主槽最大宽约 250 m。两岸大堤均为块石护坡, 岸坡稳定。河床主要由细沙组成, 汛期冲淤变化较大。其来水以长江为主, 一般每年 4~11 月为通流期, 长江水位较低时, 断面有几个月的断流期。影响测站水位 - 流量关系的因素较为复杂, 主要受上游长江来水的洪水涨落影响、断面冲淤影响以及下游洪水顶托影响, 在这些因素共同影响下, 其水位 - 流量关系曲线一般呈复式绳套, 近年一直采用连时序法布置流量测验和整编资料。在实际工作中, 目前采用的连时序法要求流量测验次数较多, 耗费大量人力、物力, 工作效率低下。因此, 亟需找到一种新的方法, 在保证精度满足要求的情况下, 简化整编工作, 降低工作强度, 提高工作效率[1]。

## 2. 资料选取

2000 年, 藕池河(北支)于沱江入口筑坝建闸, 有效地防止南洞庭湖来水倒灌, 并使得藕池河(北支)在流经梅田湖站下游约 27 km 处的南县(罗文窖)水文站后汇入东洞庭湖, 且两站区间内无其它支流汇入, 因此梅田湖站 - 南县站的落差关系与其水位 - 流量相关性较高[2], 本次分析也以南县(罗文窖)水文站作为梅田湖站的落差参证站。

本文选用 2016 年建站以来至 2020 年连续 5 年自记水位和实测流量资料, 以及同时段南县(罗文窖)水文站自记水位资料。样本资料均经过审查, 工序完善、精度可靠, 符合相关国家规范, 具备较好的一致性和可靠性。

## 3. 单值化分析

### 3.1. 基本原理

圣维南方程组可以体现天然河道的洪水波运动规律, 其动力方程和连续方程见式(1)、(2):

$$i - \frac{\partial h}{\partial L} - \frac{Q^2}{K^2} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial L} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial L} = 0 \quad (2)$$

式中： $i$ ——稳定流水面比降； $h$ ——水深； $L$ ——河段长度； $Q$ ——流量； $K$ ——流量模数； $g$ ——重力加速度； $v$ ——流速； $t$ ——时间； $A$ ——过水面积。

通过变形式(1)，可得计算流量的数学表达式：

$$Q = K \left( i - \frac{\partial h}{\partial L} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial L} \right)^{0.5} \quad (3)$$

梅田湖水文站地处平原地区，由于平原河道的特性，式(3)中惯性项“ $-\left(\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial L}\right)$ ”相比于附加比降“ $-\frac{\partial h}{\partial L}$ ”可以忽略不计。项“ $(i - \frac{\partial h}{\partial L})$ ”为扩散波时的水面比降，可由两固定断面的水位差 $\Delta Z$ 及河段长度 $L$ 表示为“ $\frac{\Delta Z}{L}$ ”。而流量模数 $K$ 和稳定流水面比降 $i$ 在较稳定的天然河槽中，与水深 $h$ 一般呈单值关系[3]。根据上述条件，可将式(3)进一步变形为：

$$Q = K \frac{(\Delta Z)^{0.5}}{L^{0.5}} \quad (4)$$

可令单值化流量(或落差指数法校正因素) $Q_{校}$ 为 $\frac{K}{L^2}$ ，即可推出落差指数法的理论公式：

$$Q_{校} = \frac{Q}{(\Delta Z)^{0.5}} \quad (5)$$

实际情况中，在各种水力因素影响下，水面线一般不是直线，特别是当两断面相距较远时，水面线通常表现为明显的曲线，致使式(5)中落差指数0.5作为理论值，往往不能达到满意的效果，需要进行分析调整。

### 3.2. 落差指数的优选

本次分析以梅田湖水文站为基本站，南县(罗文窖)水文站为落差站，计算两站间的水位差，依据理论公式(5)计算基本站的校正流量。具体公式为：

$$Q_{校} = \frac{Q_m}{(\Delta Z_m)^\alpha} \quad (6)$$

$$\Delta Z_m = Z_0 - Z_1 \quad (7)$$

式中： $Q_{校}$ ——单值化流量； $Q_m$ ——梅田湖站实测流量； $\Delta Z_m$ ——水位差； $\alpha$ ——落差指数； $Z_0$ ——梅田湖站基本水位； $Z_1$ ——县(罗文窖)站基本水位。

根据公式(6)，将所选资料用于计算校正流量，并应用“浮动多项式配方程模型”进行单一线拟合。采用试错法[4]，按0.01的步长，在0~1范围内优选落差指数 $\alpha$ 的取值，选取使得拟合的单一线标准差最小的落差指数，最终确定最优落差指数 $\alpha = 0.48$ 。

### 3.3. 单值化定线

根据理论公式和确定的落差指数，对梅田湖站2016~2020站年共429次实测流量进行单值化分析计算，即可定出连续5年的水位 - 单值化流量关系曲线。由于31.70 m以下系低枯水期，根据相关要求，测点参与定线，但不参加定线精度检验。选取水位在31.70 m以上(含31.70 m)的单值化流量点，按照年份分别进行三种检验、系统误差、随机不确定度的计算，计算结果见表1。

从表1可以看出，近5年分析成果均能满足相关现行国家标准中关于三类巡测站单值化关系线定线系统误差绝对值不大于3% [5]，且允许随机不确定度不大于16%的定线精度要求[6]，所定水位 - 单值化流量关系曲线

均合理。

**Table 1.** Statistical table of accuracy of uniformization analysis for Meitianhu hydrologic station

**表 1.** 梅田湖水文站单值化分析精度统计表

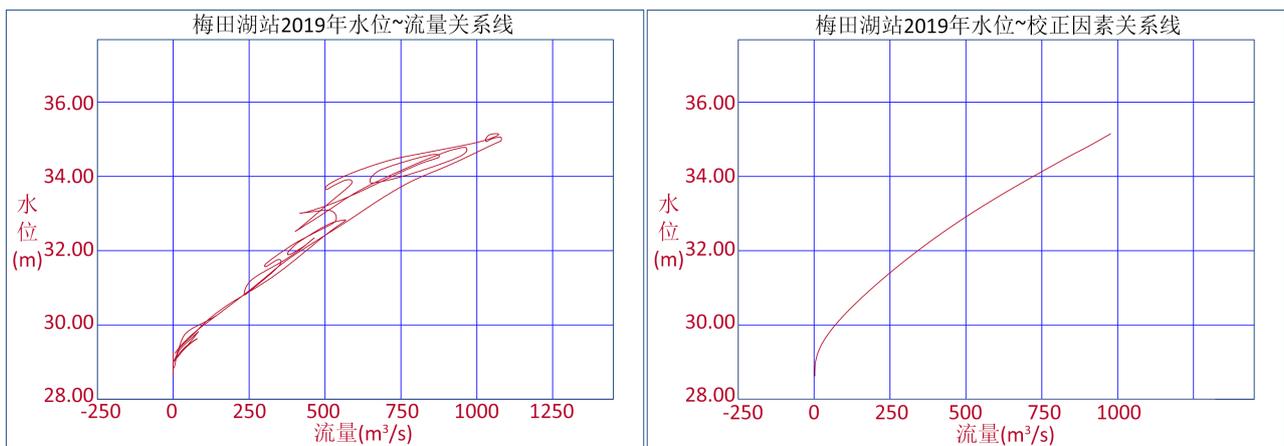
年份	符号检验	适线检验	偏离数值检验	系统误差(%)	随机不确定度(%)
2016	合格	免检	合格	合格	合格
	$u = 0.60 \leq 1.15$	$k = 26 > 0.5 (n - 1)$	$t = 0.86 \leq 1.15$	-0.7	11.4
2017	合格	免检	合格	合格	合格
	$u = 0.41 \leq 1.15$	$k = 27 > 0.5 (n - 1)$	$t = 0.06 \leq 1.28$	0.1	16.0
2018	合格	合格	合格	合格	合格
	$u = 0.38 \leq 1.15$	$U = 0.59 \leq 1.28$	$t = 0.82 \leq 1.06$	-0.6	7.8
2019	合格	合格	合格	合格	合格
	$u = 0.72 \leq 1.15$	$U = 0.58 \leq 1.28$	$t = 0.80 \leq 1.05$	-0.4	7.0
2020	合格	免检	合格	合格	合格
	$u = 0.37 \leq 1.15$	$k = 35 > 0.5 (n - 1)$	$t = 0.14 \leq 1.04$	0.1	7.0

### 3.4. 精度验算

为验证梅田湖站单值化方案的可行性，根据现有分析资料，选取年径流量最大和最小的 2020 年与 2019 年资料，分别采用落差指数法与现行的连时序法进行水位流量关系定线(见图 1、图 2)，再根据所定关系线分别绘制逐时流量过程线图(见图 3、图 4)，并计算各时段流量，结果见表 2。

从结果可以看出，落差指数法与现行的连时序法推得的逐时流量过程线均较好地重叠，所计算的年平均流量和年径流量的成果基本一致，除 2020 年 5 月和 2019 年 10 月以外的月平均流量相对误差较小，均能满足流量资料整编要求。

针对误差较大的 2020 年 5 月和 2019 年 10 月，经分析，主要原因是通流初期或者即将断流的时期，上下游水位相关性较小。但这段时期内，其月径流量很小，占比不到全年总径流量的 1%。因此，仍可以满足《水文勘测规范》对低枯水期径流量误差的要求。



**Figure 1.** Comparison diagram of water level and discharge relationship in different modes at Meitianhu station in 2019

**图 1.** 梅田湖站 2019 年不同方式的水位流量关系线对比图

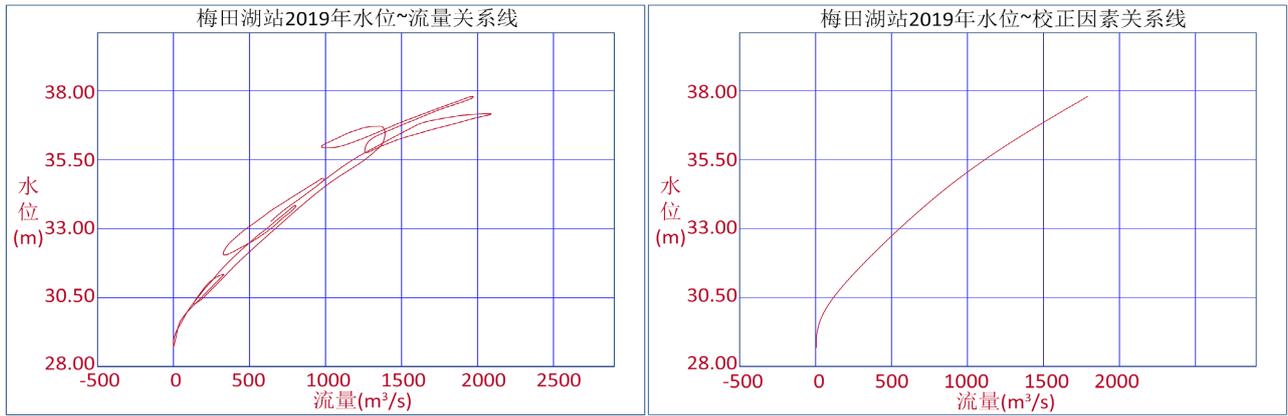


Figure 2. Comparison diagram of water level and discharge relationships in different modes at Meitianhu station in 2020  
图 2. 梅田湖站 2020 年不同方式的水位流量关系线对比图

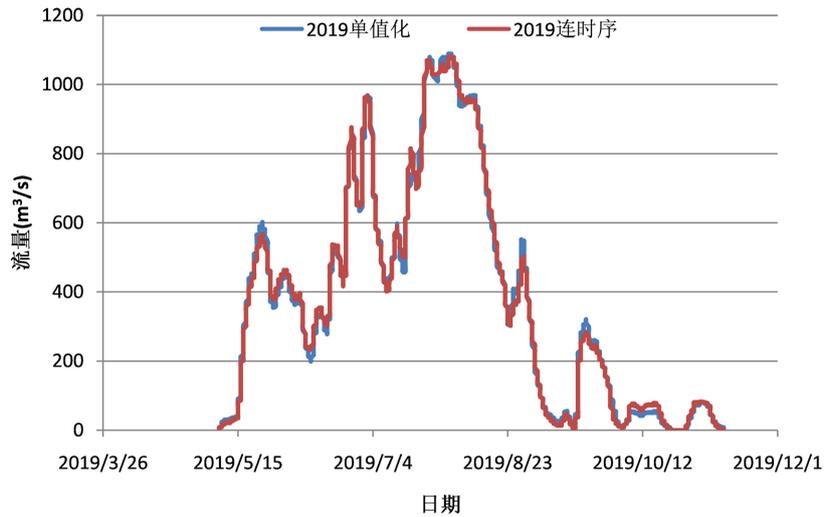


Figure 3. Comparison of discharge hydrograph of Meitianhu hydrological station in 2019  
图 3. 梅田湖水文站 2019 年流量过程线对比图

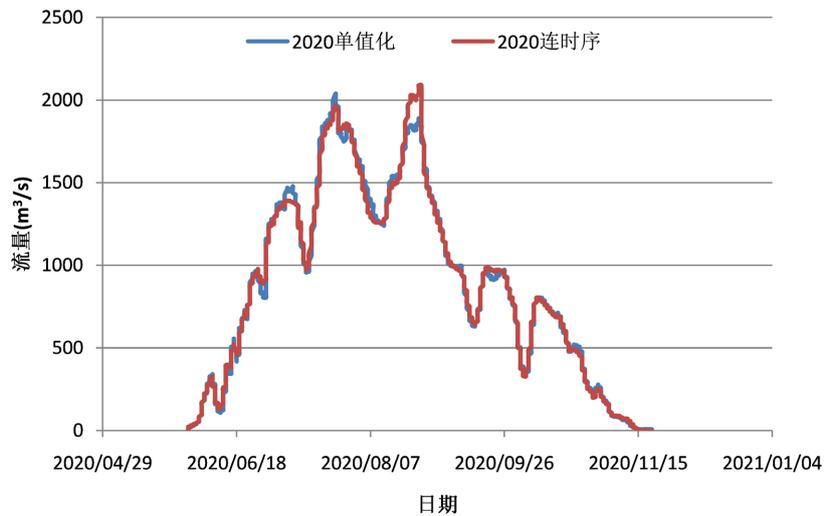


Figure 4. Comparison of discharge hydrograph of Meitianhu hydrological station in 2020  
图 4. 梅田湖水文站 2020 年流量过程线对比图

**Table 2.** Monthly and annual average discharge errors by different methods at Meitianhu hydrological station  
**表 2.** 梅田湖水文站不同方法下月、年平均流量误差统计表

年份	2020			2019		
月	月平均流量(m <sup>3</sup> /s)		相对误差	月平均流量(m <sup>3</sup> /s)		相对误差
份	连时序法	落差指数法	(%)	连时序法	落差指数法	(%)
5	0.263	0.200	-23.9	224	231	3.12
6	486	480	-1.23	464	453	-2.37
7	1510	1520	0.66	761	763	0.26
8	1560	1550	-0.64	690	693	0.43
9	930	921	-0.97	127	137	7.87
10	528	534	1.14	37.8	30.6	-19.04
11	46.0	46.2	0.43	17.1	17.0	-0.58
年平均流量(m <sup>3</sup> /s)	424	424	0	195	196	0.51
年径流量(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	134.2	134.0	-0.15	61.65	61.71	0.10

#### 4. 结语

本文采用落差指数法对梅田湖站水位 - 流量关系进行单值化分析, 以南县(罗文窖)水文站为落差站, 通过试错法优选落差指数, 建立了梅田湖站水位 - 单值化流量数学模型[7]。经各项误差检验, 所定关系线均符合要求。采用该方案与现行的连时序法的推流结果进行比较, 其相对误差也在允许范围之内。综上所述, 本方案分析结果良好, 能满足现行的水文整编规范要求。正式投产使用后, 能大幅减少流量测验次数, 有效节省人力、物力, 提高工作效率, 具有较强的实用价值。但本方案分析采用的样本只有五年的资料, 代表性略有不足, 因此, 应尽量收集更多资料, 进一步完善该方案。如遇特殊水情, 更要适当增加测次, 以检验单值化方案的可行性。

#### 参考文献

- [1] 葛维亚. 水文“单值化”史话[J]. 人民长江, 2007(8): 130-131+180. <https://doi.org/10.16232/j.cnki.1001-4179.2007.08.010>  
GE Weiya. Historical tales of hydrology “single-valued”. Yangtze River, 2007(8): 130-131+180. (in Chinese)  
<https://doi.org/10.16232/j.cnki.1001-4179.2007.08.010>
- [2] 黄诚良. 落差指数法在水位流量关系单值化处理中的应用[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2010, 27(2): 52-54.  
HUANG Chengliang. Application of drop index method in single-valued treatment of stage-discharge relationship. Journal of Changjiang Engineering Vocational College, 2010, 27(2): 52-54. (in Chinese)
- [3] 王日升. 落差指数法在水位流量关系中的应用[J]. 河北水利科技, 1994(2): 27-28.  
WANG Risheng. Application of drop index method in stage-discharge relationship. Hebei Water Conservancy Science and Technology, 1994(2): 27-28. (in Chinese)
- [4] 李厚永, 张潮, 吴琼. 水位流量关系单值化分析综合模型研究及应用[J]. 水文, 2011, 31(S1): 152-153+157.  
LI Houyong, ZHANG Chao and WU Qiong. Research and application of integrated model for single-valued analysis of stage-discharge relationship. Chinese Hydrology, 2011, 31(S1): 152-153+157. (in Chinese)
- [5] 陈松生, 等. SL 247-2020, 水文资料整编规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020.  
CHEN Songsheng, et al. SL 247-2020, Code for hydrologic data processing. Beijing: China Water & Power Press, 2020. (in Chinese)
- [6] 朱晓原, 等. SL 195-1997, 水文巡测规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.

ZHU Xiaoyuan, et al. SL 195-1997, Specification for hydrological tour gauging. Beijing: China Water & Power Press, 2015. (in Chinese)

- [7] 张亭, 吴尧. 汉口水文站水位流量单值化方案及其应用[J]. 人民长江, 2014, 45(9): 39-42.

<https://doi.org/10.16232/j.cnki.1001-4179.2014.09.012>

ZHANG Ting, WU Yao. Uniformization scheme of water level and discharge of Hankou hydrological station and its application. Yangtze River, 2014, 45(9): 39-42. (in Chinese) <https://doi.org/10.16232/j.cnki.1001-4179.2014.09.012>