

武进港戴溪站与周边河网水位关系分析

郭明辰^{1,2}, 闻余华¹, 吴金宁³, 鲍建腾^{2,4}

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098;
3. 江苏省水文水资源勘测局常州分局, 江苏 常州 213022; 4. 江苏省水旱灾害防御调度指挥中心, 江苏 南京 210029)

摘要:针对水文计算中戴溪站长系列资料缺乏的情况,利用日平均水位资料对戴溪站与周边4个站的水位关系进行分析,建立戴溪站与相关代表站的线性回归关系,利用相关代表站的水位确定戴溪站水位。通过水位差分析和线性分析可知,戴溪站与相关代表站具有密切的水力联系,水位变化基本一致,线性相关关系较好。以戴溪站为因变量,4个站为自变量,按季节和水位等级划分,分别建立多元回归线性方程,对相关系数和模拟误差进行对比。分析表明,按季节划分的拟合效果最好,分析研究结果可为该站特征水位的制定提供技术支持。

关键词:水位差; 线性回归; 相关系数; 戴溪站

中图分类号:TV675

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2022)08-0052-0005

Analysis on the water level relationship between Daixi Station of Wujin Port and surrounding river network

GUO Mingchen^{1,2}, WEN Yuhua¹, WU Jinning³, BAO Jianteng^{2,4}

(1. Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China;
2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Changzhou Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Changzhou 213022, China;
4. Flood and Drought Disaster Prevention and Control Center of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: Aiming at the lack of series data of Daixi station in hydrologic calculation, this paper analyzes the water level relationship between Daixi station and four surrounding stations by using the daily average water level data, establishes the linear regression relationship between Daixi station and relevant representative stations, and determines the water level of Daixi station by using the water level of relevant representative stations. Through the water level difference analysis and linear analysis, it can be seen that there is a close hydraulic connection between Daixi station and relevant representative stations, and the water level changes are basically the same, with good linear correlation. Taking Daixi station as dependent variable and four stations as independent variables, multiple regression linear equations were established according to season and water level classification respectively. The correlation coefficient and simulation error were compared, and the analysis showed that the fitting effect was best according to season. The results provide important technical support for the determination of characteristic water level of the station.

Key words: water level difference; linear regression; correlation coefficient; Daixi Station

收稿日期: 2022-05-18

作者简介: 郭明辰(1999—),女,硕士研究生,研究方向为土木水利专业。E-mail:178213596@qq.com

1 概述

防汛抗旱特征水位是各级水行政主管部门开展水旱灾害防御工作的重要依据,近年来在开展防汛抗旱特征水位研究过程中,发现一些新增的河道代表站水位观测资料较短,不能全面体现该河道的特征。根据江苏省2022年度防汛抗旱特征核定的工作任务安排,常州地区新增了武进港上的戴溪水位站,该站是从2020年3月15日开始观测水位,目前只有2年的水位资料,给确定其合理的特征水位(警戒水位和保证水位)带来了一定的困难。为此,需要研究其与周边有水力联系的长系列资料的水位代表站之间的水位关系,依据研究出的相关关系,再根据周边河道代表站的特征水位来确定本站的特征水位。通过这一研究思路解决短系列水位资料不足的问题,因此本文重点分析研究戴溪水位站与周边河网长系列水位代表站水位关系。

2 武进港与周边河网概况

武进港北起江南运河,与新沟河连通,南入太湖,全长29.2 km,底宽15~20 m,底高程0.0 m,堤顶高程6.5~7.5 m。武进港是新沟河延伸拓宽浚深工程体系中的骨干河道,沟通长江与太湖两大水系,协调太湖流域与低片区域治理,统筹排除洪涝,增强河网水体流动,改善水域通航条件^[1]。武进港周边河网密布,与之有水力联系的骨干河流主要有锡漂运河、江南运河、太滪运河等。武进港洪水可以

向北越过江南运河,连通新沟河北排长江,向南可通过武进港闸排入太湖。锡漂运河洪水一方面可通过武进港北排入长江,也可通过江南运河向东运移;另一方面可以南下汇入太滪运河再入太湖,也可以经武进港由武进港闸入太湖。

戴溪水位站位于武进港和锡漂运河交汇处附近,与之有水力联系的长系列代表站有江南运河的常州(三)和洛社水位代表站,太滪运河的坊前和黄埭桥水位代表站等。

3 水位关系分析

因戴溪站2020年3月15日有水位观测资料,同步选取太滪运河上的黄埭桥站和坊前站以及江南大运河的常州(三)站和洛社站2020年3月15日至2021年12月31日平均水位,划分为主汛期(6—8月)和非主汛期2个时期进行水位差分析。由于水位基本在3~5.5 m之间,高水位集中在夏季主汛期,低水位集中在年初和年末。考虑以2种分类进行回归分析:一是按年度划分为主汛期(6—8月)和非主汛期2个时期,二是按水位等级分高水位(≥ 4.0 m)、中水位(≥ 3.5 m且 < 4.0 m)、低水位(< 3.5 m)3个水位级。根据回归拟合结果进行对比,选择拟合效果较优的分类方式。

3.1 水位差分析

绘制2020年和2021年代表站逐日平均水位过程(图1),可知戴溪站与坊前站、黄埭桥站、常州(三)站和洛社站水位变化趋势基本一致,主汛期水

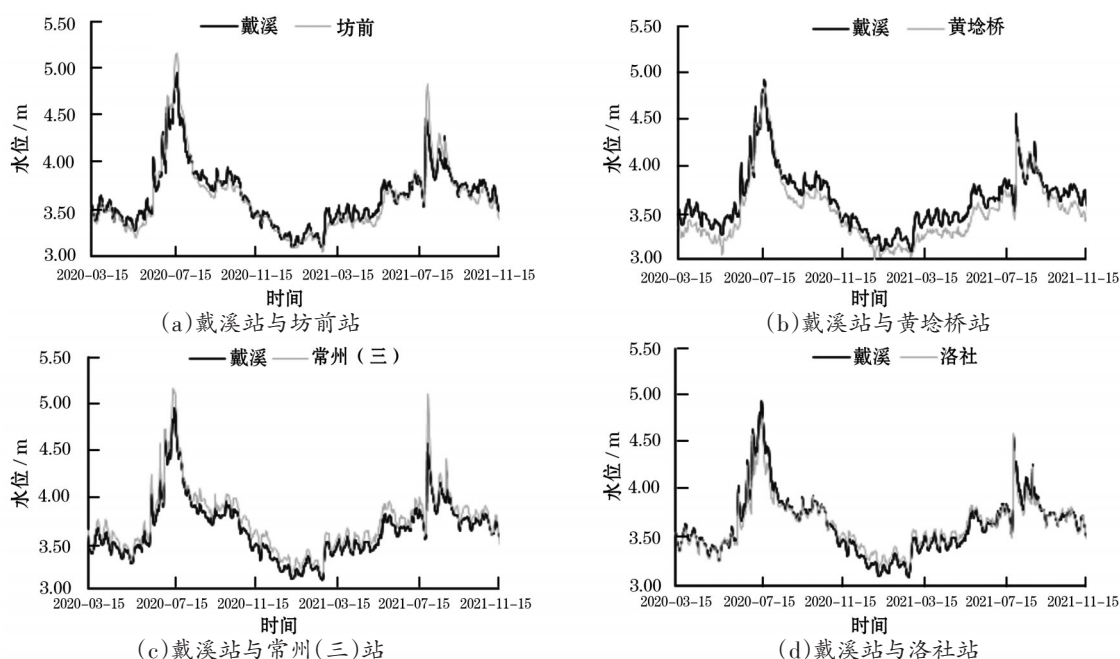


图1 2020年和2021年代表站逐日平均水位过程

位差较大。

由戴溪站与其他代表站逐日平均水位差(表1),分析各站的水位差变幅。洛社站的水位差变幅最小,主汛期为0.27 m,非主汛期为0.17 m;坊前站的水位差变幅最大,主汛期为0.86 m,非主汛期为0.30 m;黄埭桥和常州(三)站的水位差变幅一般,黄埭桥的水位差变幅主汛期为0.42 m,非主汛期为0.30 m;常州(三)站的水位差变幅主汛期为0.65 m,非主汛期为0.25 m。整体来看,戴溪站与其他代表站的水位差变幅在主汛期较大,在0.27 m至0.86 m之间,非主汛期水位差变幅较小,在0.17 m至0.30 m之间。

在主汛期,戴溪与坊前水位差为 $-0.53\sim 0.33$ m,与黄埭桥水位差为 $-0.17\sim 0.24$ m,与常州(三)水位差为 $-0.65\sim 0.00$ m,与洛社水位差为 $-0.05\sim 0.22$ m;在非主汛期,戴溪与坊前水位差为 $-0.07\sim 0.23$ m,与黄埭桥水位差为 $0.01\sim 0.30$ m,与常州(三)水位差为 $-0.19\sim 0.06$ m,与洛社水位差为 $-0.12\sim 0.05$ m。可知,戴溪与各站的平均水位差基本在 $-0.10\sim 0.10$ m之间。在主汛期,戴溪水位多数时候低于坊前,水位差较大,一般高于黄埭桥 $0.10\sim 0.20$ m,低于常州(三) $0.05\sim 0.15$ m,高于洛社 $0.05\sim 0.15$ m;在非主汛期,戴溪水位一般高于坊前 $0.05\sim 0.15$ m,高于黄埭桥 $0.10\sim 0.20$ m,低于常州(三) $0.05\sim 0.15$ m,低于洛

表1 2020年和2021年代表站水位差统计

水位站	时期	正水位差		负水位差		平均水位差/m	变幅/m
		差值/m	出现频数/次	差值/m	出现频数/次		
戴溪—坊前	主汛期	0.01~0.33	63	$-0.53\sim -0.01$	110	-0.05	0.86
	非主汛期	0.01~0.23	390	$-0.07\sim -0.01$	50	0.06	0.30
戴溪—黄埭桥	主汛期	0.01~0.24	125	$-0.17\sim -0.01$	48	0.07	0.42
	非主汛期	0.01~0.30	472	≤ -0.01	0	0.14	0.30
戴溪—常州 (三)	主汛期	≥ 0.01	0	$-0.65\sim -0.01$	183	-0.10	0.65
	非主汛期	0.01~0.06	41	$-0.19\sim -0.01$	419	-0.07	0.25
戴溪—洛社	主汛期	0.01~0.22	139	$-0.05\sim -0.01$	29	0.06	0.27
	非主汛期	0.01~0.05	124	$-0.12\sim -0.01$	273	-0.03	0.17

社 $0.00\sim 0.10$ m。

3.2 线性关系分析

戴溪站与其他4个站的散点分布见图2,表现为1条近似直线,由此可以判断戴溪站与其他4个站之间存在某种线性相关关系^[2]。可添加趋势线,用一元线性方程表示它们之间的相关关系, R^2 分别为0.9479、0.9557、0.9729和0.9773,相关程度较高,且戴溪站与洛社站的线性关系最好。由图2可知,水位较低时,散点基本集中在趋势线附近,戴溪站与4个站的线性关系均较好,水位较高时,戴溪站与洛社站的相关关系最好,其次是黄埭桥站,与坊前站和常州(三)站的相关关系相对较差。

综合以上分析,戴溪与坊前、黄埭桥、常州(三)和洛社水位变化基本一致,具有密切的水力联系,可以通过回归拟合,模拟戴溪长序列水位资料。

3.3 多元回归分析

3.3.1 回归分析法

水文分析计算中,经常会遇到某一变量实测资

料系列较短,而与其相关的其他变量的实测资料系列较长,在这种情况下,可以通过相关分析,观察变量间关系的密切程度,建立变量间的相关关系,利用系列较长的变量值插补延长系列较短的变量的估计值^[3]。

在水文学的研究中,虽然许多指标具有不确定性和随机性,但通过相关回归分析,对于大量的水文要素之间物理成因方面确有联系的观测数据,可以得到较好的模拟^[3~4]。

回归分析法是基于已经拥有的数据,用数理统计的方法建立某一因变量与自变量之间回归函数关系的方法。根据自变量个数的多少可分为一元回归分析和多元回归分析;按照回归表达式形式,又可分为线性回归分析和非线性回归分析^[5]。考虑5个水文站位于平原河网,距离较近,水力联系紧密,水文条件相似,具有较好的线性相关关系^[6],采用多元线性回归预测模型,假定因变量与自变量之间为线性关系,数学表达式为

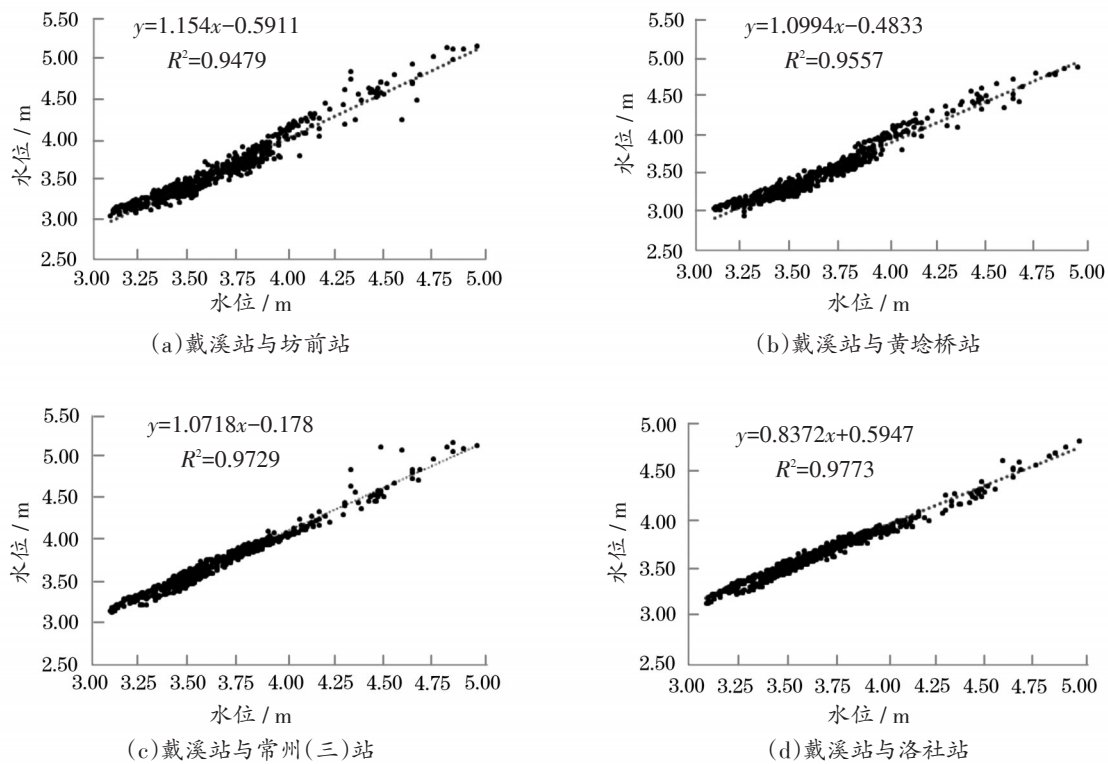


图2 戴溪站与相关代表站的水位关系

$$y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+\cdots+a_px_p \quad (1)$$

式中: y 为因变量; $x_i(i=1,2,3,\cdots,p)$ 为自变量; $a_0, a_1, a_2, \cdots, a_p$ 为未知回归参数。

在线性回归中,变量之间的相关密切程度用相关系数 R 来判定, R 大于0表示变量之间为正相关,且 R 越接近1表示变量之间线性相关的程度越高^[3]。

3.3.2 多元线性回归拟合

选取2020年3月15日至年末以及2021年系列数据,回归计算不分类情况下的相关系数。按照2种分类方式,分别以1个、2个、3个和4个代表站为自变量(x_1 代表坊前, x_2 代表黄埭桥, x_3 代表常州(三), x_4 代表洛社),戴溪站为因变量,建立回归线性方程,进行回归分析,分别选取相关系数最好的1个代表站、2个代表站、3个代表站和4个代表相关系数进行对比(表2)。由表2各分类相关系数比较可

知,1个站以洛社相关性最好,2个站以坊前和洛社相关性最好,3个站以坊前、黄埭桥和洛社相关性最好,并以4个代表站相关系数最高。

根据4个代表站回归分析,按汛期和非汛期划分,汛期相关系数为0.9978,非汛期相关系数为0.9882。按水位等级划分,高水位下相关系数为0.9970,中水位下相关系数为0.9859,低水位下相关系数为0.9473。从相关系数比较来看,按季节划分的结果更好。

将4个代表站的实测数据带入回归方程得戴溪站的模拟值,统计分析戴溪站模拟值与实际值的差值(表3)。汛期水位模拟误差最大值为0.07 m,最小值为-0.05 m;非汛期水位模拟误差最大值为0.06 m,最小值为-0.08 m。高水位下模拟误差最大值为0.04 m,最小值为-0.06 m;中水位下模拟误

表2 戴溪站与不同代表站相关系数

分类	x_4	x_1, x_4	x_1, x_2, x_4	x_1, x_2, x_3, x_4
主汛期	0.9863	0.9952	0.9975	0.9978
非主汛期	0.9801	0.9878	0.9878	0.9882
高水位	0.9804	0.9924	0.9970	0.9970
中水位	0.9525	0.9819	0.9838	0.9849
低水位	0.9206	0.9445	0.9445	0.9473

表3 模拟误差特征值统计

分类	相关系数	关系式	模拟误差 / m		
			最大值	最小值	平均值
主汛期	0.9978	$y=-0.005x_1+0.3494x_2+0.1439x_3+0.5205x_4+0.0043$	0.07	-0.05	0.00
非主汛期	0.9882	$y=0.3308x_1-0.0396x_2+0.1467x_3+0.6269x_4-0.2408$	0.06	-0.08	0.00
高水位	0.9970	$y=0.0414x_1+0.3082x_2-0.0082x_3+0.6971x_4-0.0851$	0.04	-0.06	0.00
中水位	0.9859	$y=0.0982x_1+0.1957x_2+0.1907x_3+0.492x_4+0.104$	0.07	-0.05	0.00
低水位	0.9473	$y=0.3393x_1-0.0902x_2+0.2394x_3+0.5325x_4-0.1038$	0.07	-0.08	0.00

差最大值为0.07 m,最小值为-0.05 m;低水位下模拟误差最大值为0.07 m,最小值为-0.08 m。可知水位较高时的模拟误差较小,水位较低时的模拟误差较大。

进一步对模拟的误差值进行统计分析,分别以0.00~0.01 m、0.01~0.03 m、0.03~0.05 m和超过0.05 m共4个误差范围进行统计(表4)。可知主汛期水位较高,超过0.05 m的误差占比很小,只有2%,超过0.03 m的占比17%,一般误差在0.00~0.03 m;非主汛期水位较低,误差相对较大,超过0.05 m的误差占比9%,超过0.03 m的占比39%,误差多数在0.01~0.05 m。按水位等级划分时,高、中水位下误差绝对值较小,超过0.05 m的占比分别为2%和3%,超过0.03 m的占比分别为18%和14%;低水位下的模拟误差绝对值较大,超过0.05 m的占比14%,超过0.03 m的占比51%。整体来看,按照水位等级划分的模拟误差相对较大,按主汛期和非主汛期划分的

误差相对较小。

4 研究结论

(1)戴溪与黄埭桥、洛社、坊前和常州(三)站点位置相近,水力联系紧密,具有较好的水位相关关系。站点位于平原河网地区,整体水位相差小,汛期水位较高,误差相对较大,可以分汛期、非汛期以及3个水位等级进行回归拟合分析。

(2)对比以1个、2个、3个和4个代表站为自变量时的相关系数,以坊前(x_1)、黄埭桥(x_2)、常州(三)(x_3)和洛社(x_4)站为自变量,戴溪站为因变量时,拟合的多元线性关系式的相关系数最高。

(3)以4个代表站为自变量,按季节划分进行多元回归分析,主汛期和非主汛期相关系数分别为0.9978、0.9882;按高、中、低3个水位等级进行多元回归分析,相关系数分别为0.9970、0.9859、0.9476。结合误差分析,按主汛期和非主汛期的划分模拟效

表4 误差绝对值统计

误差	主汛期		非主汛期		高水位		中水位		低水位	
	频数/次	占比/%	频数/次	占比/%	频数/次	占比/%	频数/次	占比/%	频数/次	占比/%
>0.05	3	2	44	9	1	2	10	3	39	14
0.03~0.05	27	15	140	30	10	16	37	11	99	37
0.01~0.03	89	48	155	33	32	51	161	50	67	25
0.00~0.01	65	35	134	28	20	32	117	36	64	24

果最好。推荐利用4个相关代表站的长序列实测水位资料推求戴溪站的长序列水位资料,为最终确定其特征水位提供数据支持。

参考文献:

[1] 朱海生. 高质量建设新沟河工程的实践及效益分析[J]. 江苏水利, 2020(12):1-2.
[2] 杜红磊,刘双才. 回归分析法在水源地扩大开采中的应用研究[J]. 地下水, 2021, 43(4): 80-82.

[3] 康永德,康爱泽. 相关回归分析法在工程水文中的应用[J]. 青海农林科技, 2019(3): 57-60.
[4] 黄振平. 水文统计原理[M]. 南京: 河海大学出版社, 2002.
[5] 杨怀德,冯起,郭小燕,等. 基于回归模型预测的民勤绿洲地下水位动态驱动因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(2): 98-103.
[6] 杨琳文,邓年生,曾雪涛. 采用相关分析法计算清远站最低通航水位[J]. 水运工程, 2009(3): 105-108.