



舟山相关海域台风暴潮增水研究*

叶舟, 顾文炜, 陈芳

(浙江海洋大学 海洋工程装备学院, 浙江 舟山 316022)

摘要: 以舟山相关海域台风暴潮增水为研究对象, 对舟山 5 个潮位站的历史资料进行分析, 得出 5 种类型 12 个典型台风引起的增水过程及最大增水值的变化规律。结果表明, 同一台风在不同的潮位站具有相似的增水过程线但也有例外, 同一台风引起 5 个潮位站的最大增水值的最大值发生在长峙站; 舟山—杭州湾区域登陆、沿东河北上的 2 类台风增水过程线具有各自相似的特点, 其他 3 类台风增水过程线则相差较大; 最大增水值与天文大潮和高潮位之间没有强相关性; 66.7% 的台风增水值随着台风的到来不断增大, 直至台风登陆后迅速减小。每个台风的最大增水值不仅与台风强度等特性有关, 而且还与潮位站所处的地理环境有关。

关键词: 舟山; 海域; 台风; 暴潮增水

中图分类号: P732.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)12-0008-08

Storm surge by typhoon in relevant sea area of Zhoushan Island

YE Zhou, GU Wenwei, CHEN Fang

(School of Marine Engineering Equipments, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: Taking the storm surge by typhoon in the relevant sea area of Zhoushan as a research object, we analyze historical data from five tide gauge stations in Zhoushan, and obtain the process of storm surge and the variation rule of maximum storm surge caused by twelve typical typhoons including five types. The results show that the storm surge hydrographs of the same typhoon at different tide gauge stations are of the same pattern, though there are also exceptions. Among the five tide gauge stations, Changzhi Station observes the highest maximum storm surge caused by the same typhoon. The storm surge hydrographs of typhoons that landed in the Zhoushan-Hangzhou Bay area and moved northward along the East China Sea have similar characteristics, while those of different typhoons in the other three categories differ greatly. There is no strong correlation between the maximum storm surge and the astronomical tide and high tide level. The storm surge increases continuously as the typhoon (66.7%) approaches and quickly decreases after the typhoon makes landfall. The maximum storm surge value of each typhoon is not only related to the typhoon intensity and other characteristics, but also related to the geographical environment where the tide station is located.

Keywords: Zhoushan; sea area; typhoon; storm surge

海岸工程中的沿海防洪墙标准拟定、码头结构分析、地下水库浸润线研究等都会受台风风暴潮增水影响。目前国内外研究台风暴潮增水主要方向

有: 1) 研究增水值影响因素的, 如吕翠兰等^[1]利用镇海验潮站 70 cm 以上风暴增水过程资料分析其强风潮增水过程的总体特征; 黄子眉等^[2]通过

收稿日期: 2023-04-09

***基金项目:** 国家自然科学基金项目 (51979249); 舟山市 2021 社科重点项目 (舟社联 [2021] 17 号)

作者简介: 叶舟 (1964—), 男, 博士, 教授, 研究方向为水资源、水能资源、海洋工程。

研究广西沿海风暴增水特征, 得出在不同路径热带气旋影响下, 各观测站风暴增水均是先减水, 后增水, 最后回落到正常状态, 观测站离登陆点越近, 其最大增水值越高; Rego 等^[3]认为台风风暴潮所导致的增水值受台风本身性质和地形等因素的影响; 杨玄阁等^[4]认为台风移动路径与增水分布关系密切; Weisberg 等^[5]认为强风作用下的增水与风速的二次方近似成正比关系; 江剑等^[6]认为两次台风增水差异大部分来源于气压场单独产生的增水差异。2) 研究增水与风暴潮、天文潮及其相互关系的, 如王金城^[7]将江苏台风分成登陆北上、外海活动、正面登陆 3 种类型, 其中正面登陆型增水最大, 外海活动型增水最小; 袁震洲等^[8]认为增水变化与天文潮位变化基本同步; Chu 等^[9]认为潮汐与风暴潮的非线性相互作用对增水极值以及极值出现的时间均有较大的影响; Jones 等^[10]认为潮汐和风暴潮的非线性作用主要来自于底摩擦项和平流项; Rego 等^[11]认为台风在高潮和低潮时登陆, 非线性作用分别使最高水位变低和变高。

本文通过利用大数据研究同一台风暴潮影响下舟山相关海域增水值大小和不同台风在同一潮位站引起的增水过程变化情况, 通过不同台风对海域增水影响研究以进一步了解增水过程变化及其规律, 为港口码头结构分析、地下水库浸润线研究等提供技术支持。

1 研究方法

1.1 研究思路

本文利用计算同一台风在不同潮位站所引起的增水过程曲线和最大增水值、不同台风在同一潮位站引起的增水过程线和最大增水值, 分析研究舟山相关海域增水规律。具体是利用长系列潮位观测资料和潮汐预测计算成果计算 5 组 12 个台风增水过程曲线和最大值, 分析各种类型的台风引起的定海站增水曲线变化规律和比较增水最大值。本文将增水过程线分为 4 类, 其中 a 类为增

水值随台风影响过程不断增大直到台风登陆前后的, b 类为增水值随台风过程不断变小的, c 类为增水值随台风过程变化不大的, d 类为台风影响过程中增水值出现振荡并逐渐走高的。对于未在浙江登陆的北上台风, 考察其到达离浙江最近的 A 点时前后增水变化情况。

1.2 相关潮位站选择

在相关海域选择 5 个潮位站作为研究对象, 并根据历史资料长系列要求选择定海站作为主站。这 5 个站分别位于舟山岛附近东南西北中 5 个方位, 各潮位站经纬度见表 1, 具体位置分布见图 1。本文中潮位数据统一采用 1985 国家高程基准。

表 1 相关潮位站经纬度

站点	东经/(°)	北纬/(°)
岱山站	122.20	30.23
外钓码头站	121.96	30.06
定海站	122.05	30.00
长峙站	122.18	29.95
沈家门站	122.31	29.94

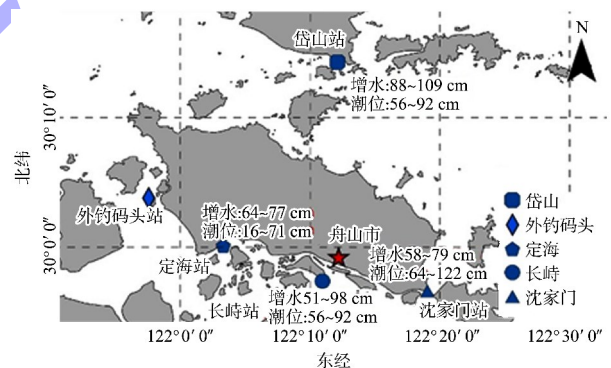


图 1 潮位站具体位置

1.3 典型台风选择

根据台风登陆地所在区域把台风分类为浙闽交界区域登陆浙江台风、温州—温岭区域登陆台风、三门—象山区域登陆台风、舟山—杭州湾登陆台风和沿东海北上未在浙江登陆台风。根据历史记录资料选择 12 个台风代表这 5 类典型台风, 见表 2, 同一类台风选择时考虑台风发生年代、天文大潮、台风等级等因素, 使所选台风具有代表性。

表 2 典型台风特征值

编号	名称	气压/ hPa	风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	风力 等级	台风起始点	登陆点	登陆日期	登陆 时间	登陆后路径
7910 [#]	朱迪	967	25	12	关岛东面附近洋面上	舟山市普陀区	8月24日、7月2日	20:00	登陆后转东北去日本
0608 [#]	桑美	920	60	17	关岛东南方向洋面上	苍南县	8月10日、7月17日	17:20	往西北方向进入江西
0716 [#]	罗莎	975	33	12	菲律宾以东西太平洋	苍南县	10月7日、8月27日	15:30	穿越浙东沿海再次入海
1211 [#]	海葵	960	45	14	冲绳东偏南方向	象山县	8月8日、6月21日	3:20	登陆后向西北方向移动
1416 [#]	凤凰	985	25	9	关岛东南部海面上	象山县	9月22日、8月29日	19:35	北仑二次登陆西去
1909 [#]	利奇玛	930	52	16	菲律宾吕宋岛以东	温岭市	8月10日、7月10日	1:45	登陆后向偏北方向移动
1918 [#]	米娜	980	30	11	关岛东南方向洋面上	舟山市普陀区	10月1日、9月3日	20:30	转向北偏东去朝鲜
2004 [#]	黑格比	970	38	13	菲律宾吕宋岛以东	乐清市	8月4日、6月15日	3:30	纵穿浙江北上至江苏
2106 [#]	烟花	965	38	13	台湾宜兰偏东 890 km	舟山市普陀区	7月25日、6月16日	12:30	平湖二次登陆去安徽
2114 [#]	灿都	-	-	-	西北太平洋洋面上	日本	9月13日、8月7日	11:00	沿东北北上
2211 [#]	轩岚诺	-	-	-	西北太平洋洋面上	韩国	9月5日、8月10日	10:00	沿东北北上
2212 [#]	梅花	960	42	14	冲绳那霸市偏东洋面	舟山市普陀区	9月14日、8月19日	20:00	上海奉贤二次登陆

2 同一台风引起不同潮位站增水研究

2.1 2211[#]台风“轩岚诺”引起外钓站、定海站、沈家门站增水

2211[#]台风“轩岚诺”路径见图 2，先由东向西再转向北，最南点经纬度为(125.40°,21.40°)，最西点经纬度为(124.90°,30.00°)。最近的 A 点

与舟山市普陀区直线距离 235 km，由这一点转向东北直至韩国登陆。由图 3 可知，外钓、定海、沈家门 3 个潮位站的增水过程线均属于 c 类，最大增水出现时间点、预测潮位、实测潮位及增水

表 3 2211[#]台风“轩岚诺”在不同潮位站增水特征值

站名	预测潮位/cm	实测潮位/cm	最大增水值/cm	最大增水时间	与潮位时间关系	与到达 A 点时间关系
沈家门	-29	25	54	9月5日7时	低潮位前 2 h	到达 A 点前 3 h
定海	44	125	81	9月5日4时	正遇高潮位	到达 A 点前 6 h
外钓码头	81	150	69	9月4日15时	高潮位前 2 h	到达 A 点前 19 h



图 2 2211[#]台风“轩岚诺”不同潮位站增水

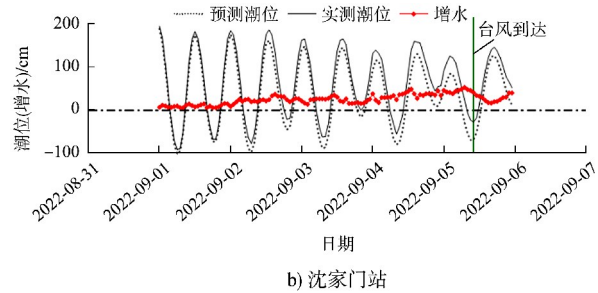
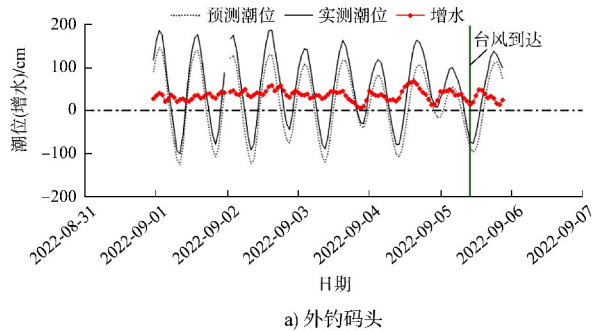


图 3 2211[#]台风“轩岚诺”引起增水过程

2.2 2212[#]台风“梅花”引起岱山站、长峙站、定海站、沈家门站增水

2212[#]台风“梅花”为登陆舟山台风，在岱山、长峙、定海、沈家门站增水过程线见图 4。可以看出岱山、沈家门站过程线为 a 类，长峙、定海站为 d 类，同一台风在相距如此近的 4 个站出现两种过程线类型，说明地理等环境因素起了较大作用。增水最大值及潮位相关特征值见表 4，最大增

水值出现在长峙站, 其次是定海站。

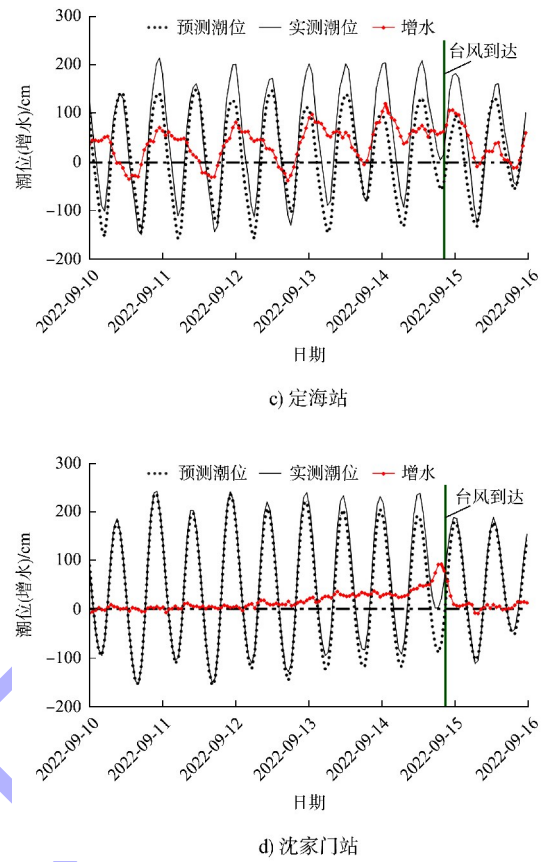
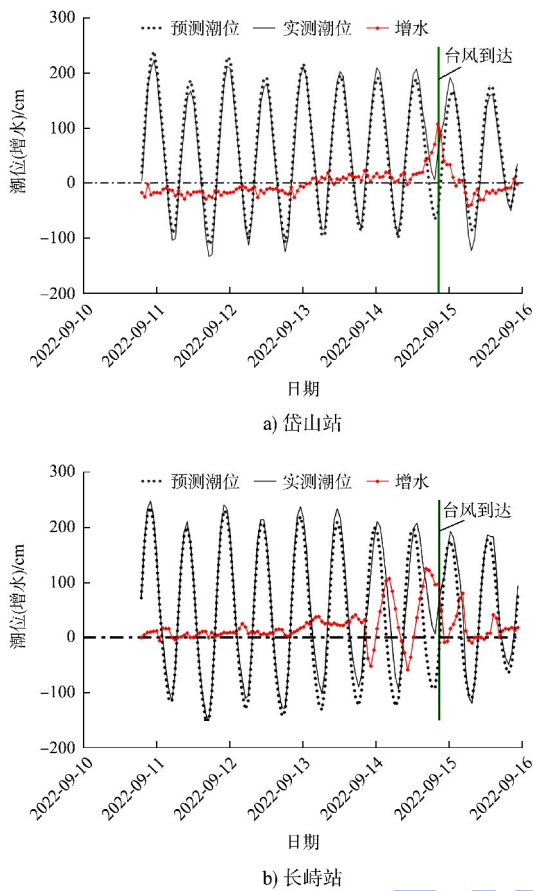


图 4 2212[#]台风“梅花”引起的岱山、长峙、定海、沈家门等站增水过程

表 4 2212[#]台风“梅花”在不同潮位站增水特征值

站点	预测潮位/cm	实测潮位/cm	最大增水值/cm	最大增水时间	与潮位时间关系	与登陆时间关系
沈家门站	-70	23	93	9月14日19时	高潮位后3h	登陆前4h
岱山站	-53	56	109	9月14日20时	高潮位后7h	正遇登陆
长峙站	-25	101	126	9月14日16时	高潮位后7h	登陆前2h
定海站	84	205	121	9月14日1时	正遇高潮位	登陆前19h

2.3 2106[#]台风“烟花”引起沈家门站、定海站增水

2106[#]台风“烟花”也为舟山登陆台风, 2个潮位站增水过程见图5, 两个过程线形状比较接近, 均属

于a类。特征值情况见表5, 沈家门站高潮位比定海站早1~2h出现, 沈家门站的最大增水值却比定海站早11h出现, 而定海站的最大增水值大于沈家门站。

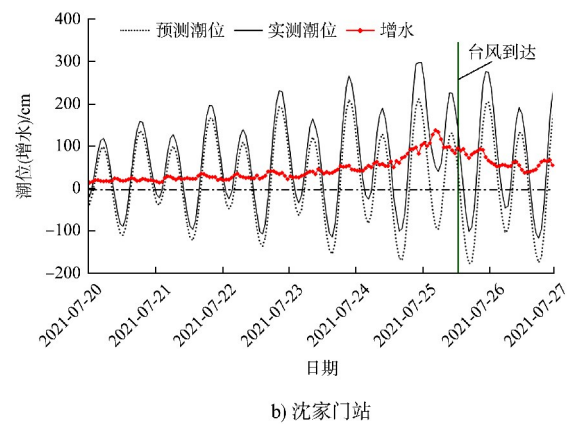
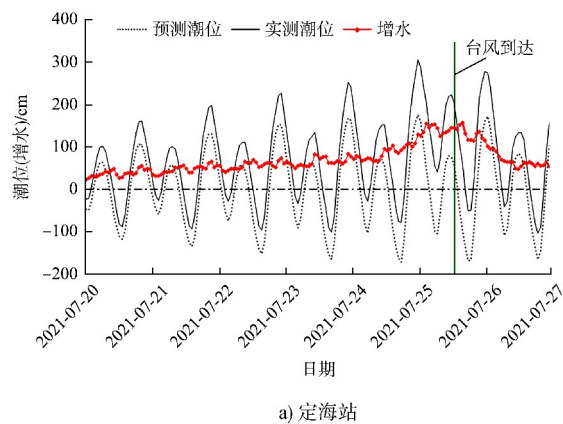


图 5 2106[#]台风“烟花”引起的定海、沈家门站增水过程

表 5 2106# 台风“烟花”在不同潮位站增水特征值

站名	预测潮位/cm	实测潮位/cm	最大增水值/cm	最大增水时间	与潮位时间关系	与登陆时间关系
沈家门	-86	54	140	7 月 25 日 4 时	高潮位后 5 h	登陆前 8.5 h
定海	-97	62	159	7 月 25 日 15 时	高潮位后 4 h	登陆后 2.5 h

3 5 类台风引起的定海站增水研究

3.1 浙闽交界区域浙江登陆的台风

该区域浙江登陆的台风共有 9 个，其中台风级及以上 6 个，包括 2 个超强台风，只有 0608# 台风“桑美”遇天文大潮，选择超强台风“桑美”、“罗莎”进行分析，见图 6。2 个台风增水过程线差别较大，分别属于 b、a 类。

0608# 台风“桑美”、0716# 台风“罗莎”引起的

定海站增水特征值见表 6。可以看出，这组台风登陆路径差别大，潮位和增水影响差别也大。0608# 台风“桑美”登陆后西进入江西，增水表现为每 24 h 有 2 个增水极值，最大值出现在登陆前 96 h，定海站最大增水值达 134 cm。0716# 台风“罗莎”登陆后沿着浙东沿海向东北方向移动，每 24 h 只有 1 个增水极值，最大值出现在登陆后 21 h，达 123 cm。

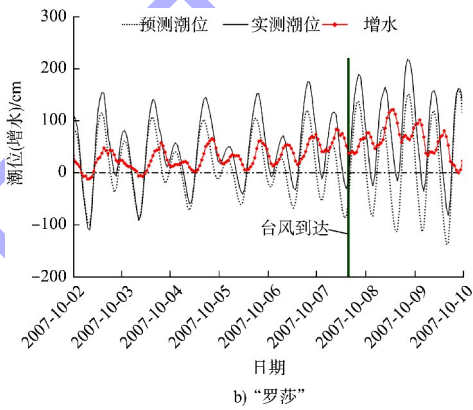
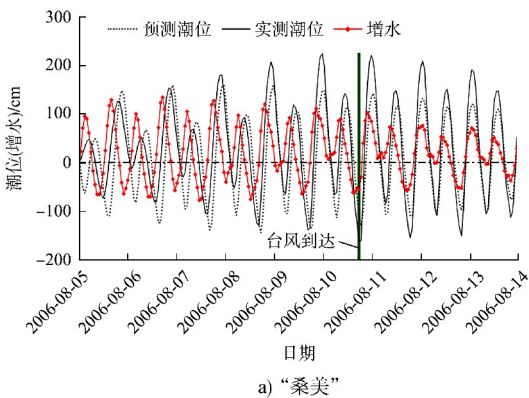


图 6 0608# 台风“桑美”、0716# 台风“罗莎”引起的定海站增水过程

表 6 0608# 台风“桑美”、0716# 台风“罗莎”引起的定海站增水特征值

台风	预测潮位/cm	实测潮位/cm	最大增水值/cm	最大增水时间	与潮位时间关系	与登陆时间关系
“桑美”	-79	55	134	8 月 6 日 17 时	高潮位后 10 h	登陆前 96 h
“罗莎”	-87	36	123	10 月 8 日 13 时	高潮位后 4 h	登陆后 21 h

3.2 温州—温岭区域登陆的台风

温州—温岭区域属于 1949 年以来台风登陆个数最多的区域。这期间该区域登陆的台风共有 22 个，其中热带风暴级 12 个、台风级 10 个，有 5 个台

风遇天文大潮。选择遇天文大潮的 2004# 台风“黑格比”、中潮的 1909# 台风“利奇玛”进行分析，见图 7。2 个台风登陆后路径相似但引起的增水过程线差别大，分别属于 c、a 类。

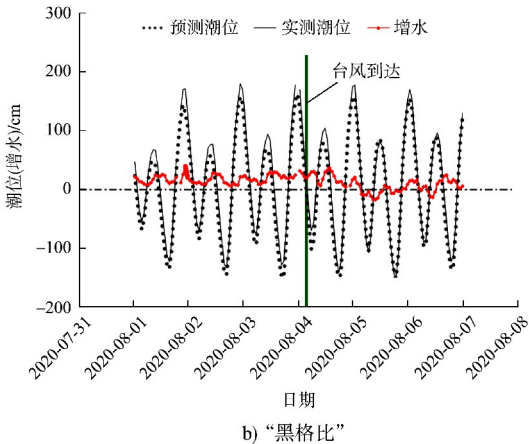
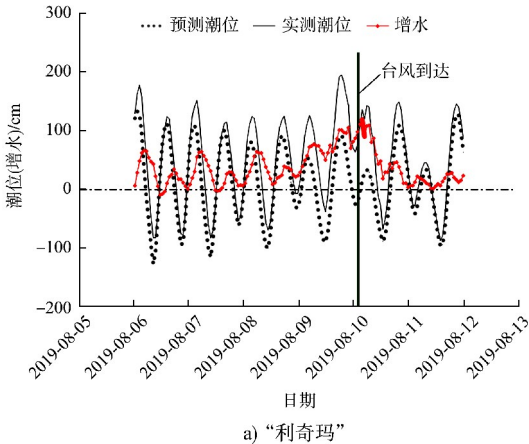


图 7 1909# 台风“利奇玛”、2004# 台风“黑格比”引起的定海站增水过程

0608[#]台风“桑美”、0716[#]台风“罗莎”引起的定海站增水特征值见表 7。可以看出, 台风登陆前后都出现增水极大值, 但最大值出现在台风登陆

后 2、10 h, 分别为 121、38 cm。很明显, 2004[#]台风“黑格比”在整个增水过程中增水极大值都不大。高潮位均出现日潮低、夜潮高的特点。

表 7 1909[#]台风“利奇玛”、2004[#]台风“黑格比”引起的定海站增水特征值

台风	预测潮位/cm	实测潮位/cm	最大增水值/cm	最大增水时间	与潮位时间关系	与登陆时间关系
“利奇玛”	17	138	121	8 月 10 日 3 时	高潮位后 9 h	登陆后 2 h
“黑格比”	1	39	38	8 月 4 日 13 时	高潮位后 2 h	登陆后 10 h

3.3 三门—象山区域登陆的台风

1949 年以来三门—象山区域登陆台风共 9 个, 强台风级及以上 2 个(5612[#]、1416[#])、台风级 6 个、强热带风暴 1 个。7413[#]、8909[#]台风遇天文大潮, 由于这两个台风发生在 20 世纪 70、80 年代, 缺乏实测数据, 故选择 21 世纪唯一强台风 1211[#]“海葵”和强热带风暴 1416[#]“凤凰”进行对比分析, 引起的定海站增水过程见图 8。可以看出, 1211[#]

台风“海葵”和 1416[#]台风“凤凰”的增水过程线均属于 a 类, 但后者又可归于 d 类。

1211[#]台风“海葵”、1416[#]台风“凤凰”引起的定海站增水特征值见表 8。可以看出, 1416[#]台风“凤凰”引起定海站最大增水发生在登陆后 7.5 h, 1211[#]台风“海葵”最大增水发生在登陆前 3 h。2 个台风引起的定海站增水均较大。

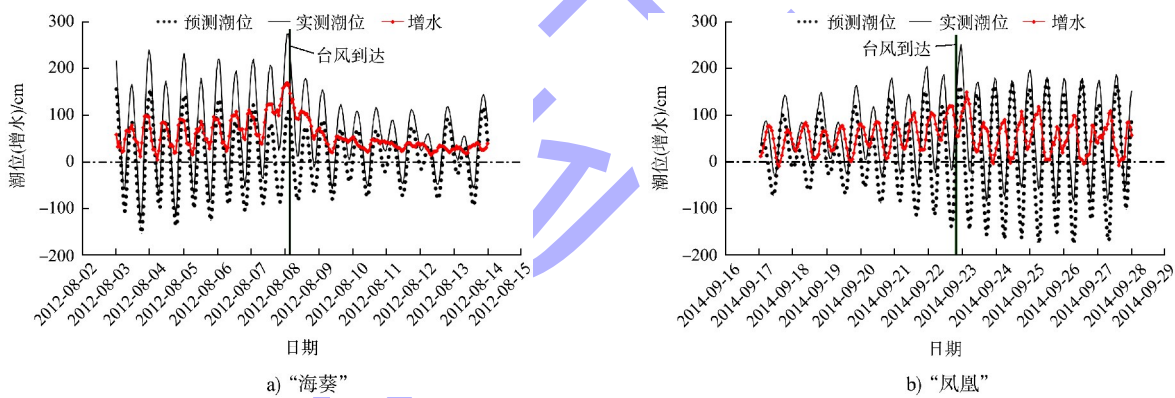


图 8 1211[#]台风“海葵”、1416[#]台风“凤凰”引起的定海站增水过程

表 8 1211[#]台风“海葵”、1416[#]台风“凤凰”引起的定海站增水特征值

台风	预测潮位/cm	实测潮位/cm	最大增水值/cm	最大增水时间	与潮位时间关系	与登陆时间关系
海葵	105	274	169	8 月 8 日 1 时	正遇高潮位	登陆前 3 h
凤凰	-69	81	150	9 月 23 日 22 时	高潮位后 4 h	登陆后 7.5 h

3.4 沿海北上未在浙江登陆的台风

沿东海北上未在浙江登陆的台风, 选择 2114[#]台风“灿都”、2211[#]台风“轩岚诺”2 个超强台风进行分析。2 个台风最后分别在日本、韩国登陆。2 个台风都在 125°经线以西近海北上, 2114[#]台风“灿都”的 A 点离舟山普陀 108 km, 2211[#]台风“轩岚诺”的 A 点离普陀 235 km。增水过程线见图 9, 均属于 c 类。

2114[#]台风“灿都”、2211[#]台风“轩岚诺”引起的定海站增水特征值见表 9。2 个台风引起的定海站最大增水分别为 94、81 cm, 时间分别比到达 A 点的时间提前 4、6 h, 从数值看 2 个台风在定海站引起的最大增水值比较接近。从高潮位看, 都出现了与当地民间流传的相反情况, 即出现了日潮高、夜潮低的现象。

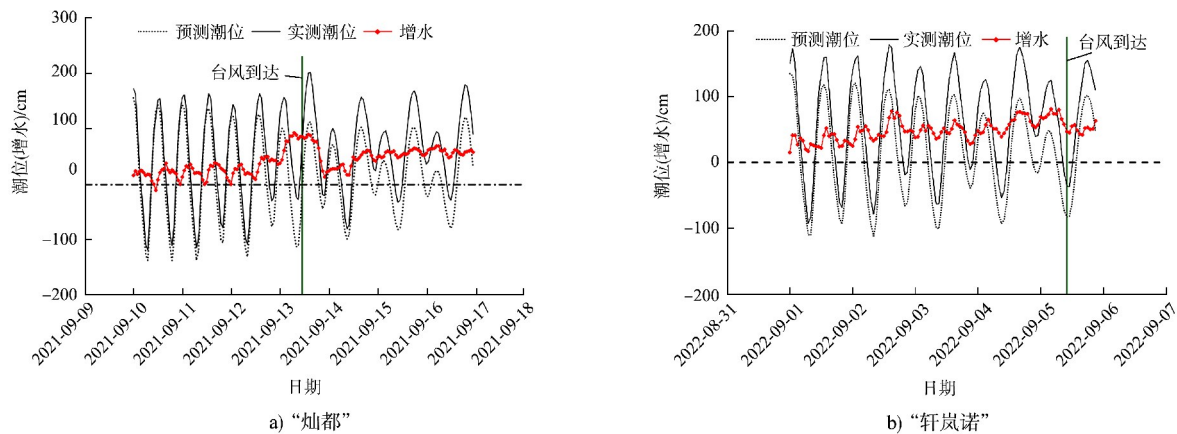


图 9 2114#台风“灿都”、2211#台风“轩岚诺”引起的定海站增水过程

表 9 2114#台风“灿都”、2211#台风“轩岚诺”引起的定海站增水特征值

台风	预测潮位/cm	实测潮位/cm	最大增水值/cm	最大增水时间	与潮位时间关系	与到达 A 点时间关系
“灿都”	-89	5	94	9 月 13 日 7 时	高潮位后 5 h	到达 A 点前 4 h
“轩岚诺”	44	125	81	9 月 5 日 4 时	正遇高潮位	到达 A 点前 6 h

3.5 舟山—杭州湾区域登陆的台风

1949 年以来共有 7 个台风登陆舟山，其中 4 个台风级、3 个强热带风暴级，3 个台风遇天文大潮。选择 3 个遇天文大潮的台风(7910#台风“朱迪”、1918#台风“米娜”、2106#台风“烟花”)和 1 个遇中潮的的台风(2212#台风“梅花”)进行分析。7910#台风“朱迪”、1918#台风“米娜”引起的增水过程线见图 10，2212#台风“梅花”、2106#台风“烟花”引起的增水过程线见图 4、5，均属于 a 类。

舟山登陆的 4 个台风引起的定海站增水特征值见表 10。4 个台风均在舟山市普陀区登陆，普遍出现了夜潮高、日潮低的现象，但在台风登陆前几个小时出现反转情况。增水也出现了夜潮大的情况，最大增水出现在台风登陆前 2~3 h，但也有像 2106#台风“烟花”那样在登陆前 10 h 出现第 2 大值 157 cm，登陆后 2.5 h 出现最大值 159 cm。2212#台风“梅花”正好相反，最大增水 121 cm 出现在登陆前 20 h，登陆后 2 h 出现增水第 2 大值 108 cm。

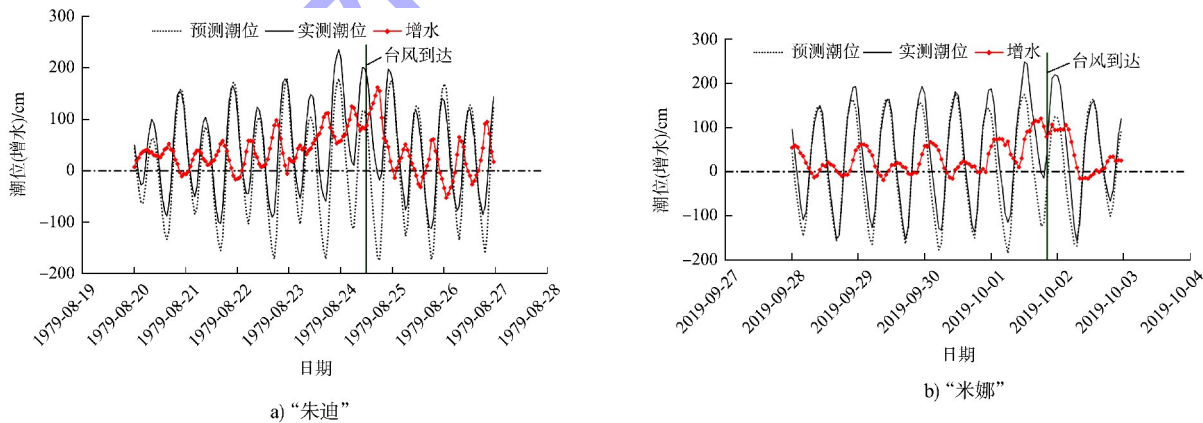


图 10 舟山登陆台风引起的定海站增水过程

表 10 舟山登陆的 4 个台风引起的定海站增水特征值

台风	预测潮位/cm	实测潮位/cm	最大增水值/cm	最大增水时间	与潮位时间关系	与登陆时间关系
“朱迪”	-168	-5	163	8 月 24 日 17 时	高潮位后 7 h	登陆前 3 h
“米娜”	-122	-1	121	10 月 1 日 18 时 30 分	高潮位后 6 h	登陆前 2.5 h
“烟花”	-97	62	159	7 月 25 日 15 时	高潮位后 5 h	登陆后 2.5 h
“梅花”	84	205	121	9 月 14 日 1 时	正遇高潮位	登陆前 20 h

4 研究结果

台风暴潮所导致的增水值大小受台风特征(强度、路径、移动速度等)和地理环境等因素的影响。本文涉及的 12 个台风分为 5 组, 围绕增水值的研究结果如下。

1) 从 2211[#]台风“轩岚诺”引起 3 个测站、2212[#]台风“梅花”引起的 4 个测站、2106[#]台风“烟花”引起的 2 个测站增水值进行分析, 增水最大值及其过程线类型受台风特征、地理等许多因素影响, 增水最大值发生在长峙岛站, 其次是定海站, 两站位置比较近, 增水最大值也接近。

2) 0608[#]台风“桑美”引起定海站的增水曲线属于 b 类, 2004[#]台风“黑格比”、2114[#]台风“灿都”、2211[#]台风“轩岚诺”属于 c 类, 其余 8 个台风引起的增水曲线都属于 a 类, 其中 1416[#]台风“凤凰”同时又属于 d 类。最大增水值发生在登陆后的 5 个台风, 登陆点属于浙闽交界区域、温州—温岭区域; 最大增水值发生在登陆前的 7 个台风, 登陆点在三门—象山区域、舟山—杭州湾、沿东海北上型。总体上, 三门—象山区域登陆、舟山—杭州湾登陆的台风在定海站引起的增水比较大。

3) 2 个高潮位之间的平均增水值出现一大一小呈交叉出现的现象。增水最大值一般出现在登陆前, 多数出现在登陆前 3~5 h, 但 1909[#]台风“利奇玛”、2004[#]台风“黑格比”、0716[#]台风“罗莎”引起的最大增水值出现在登陆后 2、10、21 h。0608[#]台风“桑美”引起的最大增水值出现在登陆前 96 h, 登陆后 4 h 也发生了一次较大的增水 102 cm。说明离定海站较远的 2 组台风容易在登陆后出现较大增水。

4) 0608[#]台风“桑美”、2004[#]台风“黑格比”、2106[#]台风“烟花”均遇天文大潮, 登陆前后夜潮增水大、或日夜潮增水相差不大不足以影响夜潮高潮位高的状况。0716[#]台风“罗莎”、1416[#]台风“凤凰”属于过程前期日潮高、登陆前后夜潮高、最后又回到日潮高的情况, 主要原因登陆前两高潮之

间增水均值日潮小、夜潮大, 登陆后平均值变小。1909[#]台风“利奇玛”、1211[#]台风“海葵”、2212[#]台风“梅花”、1918[#]台风“米娜”、7910[#]台风“朱迪”5 个台风都在晚上登陆, 登陆前 2~10 h 出现增水最大值(或接近最大值)。研究证明最大增水值与天文大潮、高潮位关联性不强。

5 结论

1) 同一个台风在不同潮位站出现的增水值相差较大, 主要受地理因素、台风特征等影响。不同类型的台风引起的定海站风暴潮增水值差别很大, 三门—象山区域、舟山—杭州湾区域登陆的台风引起的增水值最大。各潮位站出现的最大增水值与天文大潮、高潮位关联性不强。

2) 浙闽交界区域、温州—温岭区域登陆的台风暴潮引起的定海站增水值出现在登陆后的概率比较大, 舟山登陆、三门—象山区域登陆台风最大增水值出现在登陆前概率比较大。沿东海北上的台风, 最大增水值的时间发生在台风到达 A 点前。

3) 增水曲线出现次数最多的是 a 类, 占 66.7%。c 类占 25%, 主要是沿东海北上未在浙江登陆台风。10 个登陆台风中虽然没有发生高潮位、最大增水值和台风登陆时间三者完全重合的情况, 但它们之间具有一定的关联性, 最大增水值一般都发生在台风登陆前后几个小时, 高潮位因为增水值的变化而改变原来的规律。由于影响增水值的因素较多, 为了进一步探索台风特征、潮位、增水之间的关系, 希望再做深入研究。

参考文献:

- [1] 吕翠兰, 卢小鹏, 舒志光. 镇海站强风暴潮增水特征分析[J]. 海洋预报, 2014, 31(3): 86-90.
- [2] 黄子眉, 李小维, 姜绍材, 等. 广西沿海风暴增水特征分析[J]. 海洋预报, 2019, 36(6): 29-36.

(下转第 21 页)