

# 浙江海门站风暴潮增水特征及其预报

卢美<sup>1,2</sup>, 王晶<sup>1,2</sup>, 朱业<sup>1,3</sup>

(1.浙江省海洋监测预报中心, 浙江 杭州 310007; 2.浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058;  
3.浙江大学 地球科学系, 浙江 杭州 310027)

**摘 要:** 台州湾地区是浙江省风暴潮灾害重灾区之一, 海门站位于浙江台州湾口门处。本文分析1950—2004年间对浙江造成重大影响的台风风暴潮过程, 了解海门站台风风暴增水特征, 并结合实际预报工作初步探讨海门站风暴潮预报方法和预报着眼点。

**关键词:** 浙江海门站; 风暴增水; 预报

**中图分类号:** P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2011)05-0014-07

## 1 引言

海门站位于台州湾内即椒江入海口处, 从三江口到出海处全长约18 km, 海门站所处的河道自西向东顺直, 河口处的河宽约0.9 km, 在椒江口外发育有水深小于2.0 m的拦门浅滩。台州湾开口朝向东, 为开敞的河口湾, 呈喇叭型向外延伸, 海域开阔, 水深大多小于10 m, 为典型的浅海河口。台州湾东北有东矾列岛、其东南有大陈岛, 在湾口的正东方向只有零星几个小岛屿。

海门港潮差大, 平均潮差4.0 m左右, 最大潮差6.3 m; 潮流强, 涨潮平均流速0.78 m/s, 平均落潮流速0.68 m/s。涨落潮历时不等, 理论上落潮历时比涨潮历时长一小時以上, 为典型的非正规半日浅海潮港。另外由3个浅水分潮的振幅合计值与4个主要全日分潮振幅合计值之比达到75%, 可以看出其非线性效应之严重程度。

目前, 国内学者已经开展了大量关于台风风暴潮特征分析与预报方面的研究, 王喜年等<sup>[1]</sup>介绍了大陆沿岸台风风暴潮的危害概况、分布特征、预报方法等。王喜年<sup>[2]</sup>还较系统地阐述了我国沿海台风风暴潮发生规律和机制; 秦增灏, 冯士筭<sup>[3]</sup>研

究了浅海风暴潮动力机制; 应仁方等<sup>[4]</sup>开展了东海沿岸多港口台风风暴潮预报的研究。本文根据浙江海门站1950—2004年的台风风暴潮过程实况资料分析了该站的台风风暴潮增水特征, 探讨该站台风风暴潮发生规律和预报要点。

## 2 资料分析和增水统计

### 2.1 资料

我们收集了海门站1950—2004年间台风风暴潮过程逐时实测潮位资料, 过程增水资料是通过实测潮位减去天文潮预报潮位分离而来。因为现有实测资料有限, 所以从1950—2004年中每10年计算一次调和常数, 并以此调和常数预报该年代的天文潮。这必然导致后面分离出来的增水资料里包含天文潮预报误差。但是相对于海门站增水的幅度, 天文潮预报的误差相对较小, 特别是强台风影响时期, 这个误差是可以忽略的。

为了分析用此方法分离出来的增水资料误差, 我们利用海门站2003年9月没有台风影响时天文大潮期间的逐时实测潮位与分别使用2000年及2003年实测资料计算的调和常数分析的天文潮逐时潮位进行分离, 在没有台风影响期间, 实测

潮和天文潮线性分离出来的曲线就是理论上的天文潮预报误差(见图1)。

从图1可以看出,在天文高潮时段,天文潮预

报结果与实况都很吻合,误差大多小于20 cm。但是在低潮时段,天文潮预报误差要比高潮时段大一些。而且根据不同年代的调和常数计算的天文

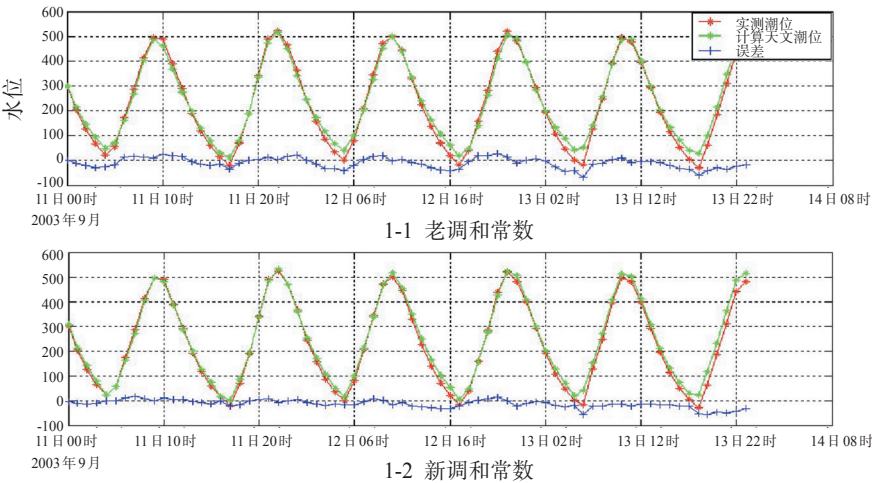


图1 海门站天文潮预报误差图

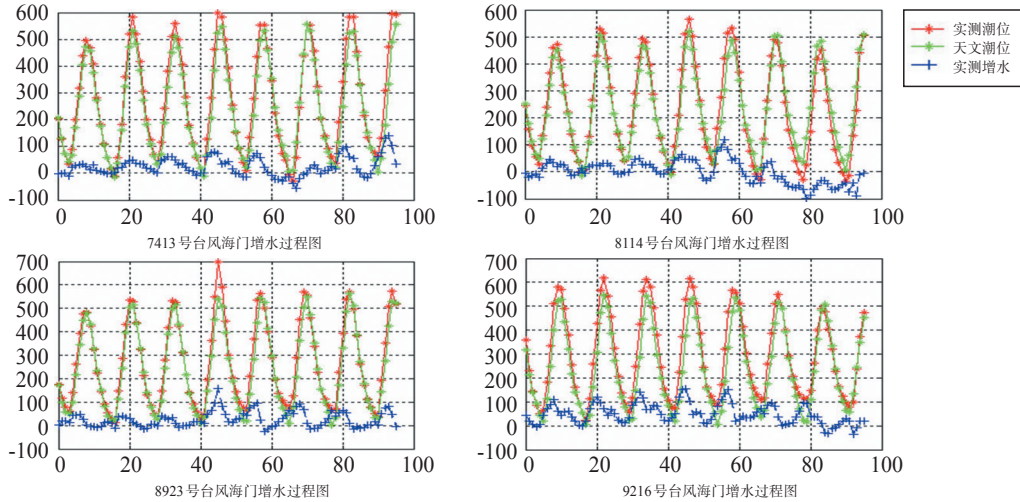


图2 海门站波动型增水过程图

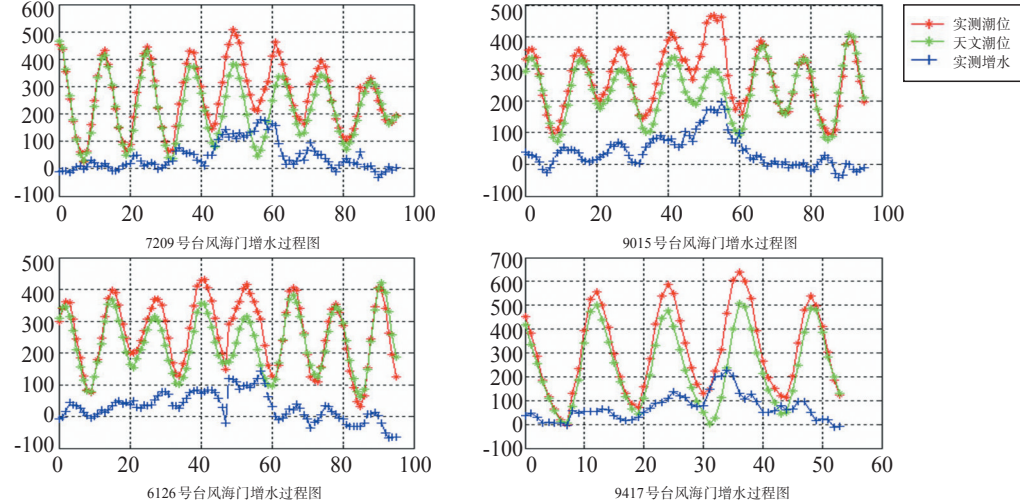


图3 海门站混合型增水图

潮预报值明显不同,使用2003年调和常数的天文潮计算结果和实况更吻合,误差要小些,在20 cm左右;而使用2000年的调和常数计算的结果,最大误差达到60 cm以上。因此我们认为天文潮预报误差对海门站增水形态会有显著影响,但是对风暴潮过程最大增水幅度影响较小,特别是在高潮时段对最大增水幅度的影响是可以忽略的。

2.2 增水统计

根据现有资料统计1950—2004年间的118次台风过程,发现期间海门站最大增水超过100 cm的过程一共出现43次,平均每年出现约1次。这其中最大增水在100—150 cm之间的有32次;150—200 cm之间的有8次;超过200 cm的有3次。对海门站产生重大影响的台风主要有浙江登陆型和浙江近岸转向型两种。

3 海门站风暴潮增水特征

3.1 增水形态特征

我们利用海门站的历史实测逐时潮位资料 and

天文潮预报资料绘制海门站风暴潮过程曲线图,建立对浙江造成重大风暴潮灾害的17个台风风暴潮个例档案,这几次过程海门站过程最大增水都超过100 cm。我们发现这几次过程海门站风暴增水过程曲线都具有明显的波动特征,根据波动的强弱特征,我们将增水过程分为两类:

一类是波动较明显,过程主体增水不明显的形态,我们称之为波动型增水。另一类则相反,增水曲线的波动特征相对弱些,有明显的增水主体,我们称之为混合型增水。因为海门站的增水特征具有显著的波动特征,所以我们把标准型增水归类于混合型。

图2—3是海门站两种典型的风暴潮过程增水和过程潮位图。其中,图2是波动型增水形态、图3是混合型增水形态。从图2—3可以看出,海门站增水具有明显的波动特征,一般增水波的周期和天文潮半日潮周期相同,波动型增水的波峰一般出现在涨潮时段,又以涨潮后2—4 h为主。

为了分析增水波形态和天文潮、台风类型、台风强度的关系,我们制作了海门站增水统计表(见表1)。

表1 海门站增水统计表(根据先增水形态后台风编号排列)

| 台风编号 | 增水形态 | 台风类型 | 最大增水时刻台风中心气压<br>/近中心最大风速 | 最大增水<br>出现月令 |
|------|------|------|--------------------------|--------------|
| 5612 | 混合型  | 象山登陆 | 923 hPa / 68 m/s         | 小潮期          |
| 6126 | 混合型  | 三门登陆 | 960 hPa / 40 m/s         | 小潮期          |
| 6312 | 混合型  | 连江登陆 | 960 hPa / 48 m/s         | 小潮期          |
| 7209 | 混合型  | 平阳登陆 | 945 hPa / 50 m/s         | 小潮期          |
| 7504 | 混合型  | 温岭登陆 | 975 hPa / 38 m/s         | 小潮期          |
| 8506 | 混合型  | 玉环登陆 | 970 hPa / 35 m/s         | 中潮期          |
| 9015 | 混合型  | 海门登陆 | 950 hPa / 45 m/s         | 中潮期          |
| 9417 | 混合型  | 瑞安登陆 | 955 hPa / 45 m/s         | 大潮期          |
| 9711 | 混合型  | 温岭登陆 | 960 hPa / 40 m/s         | 大潮期          |
| 0414 | 混合型  | 温岭登陆 | 950 hPa / 45 m/s         | 中潮期          |
| 7413 | 波动型  | 三门登陆 | 990 hPa / 9 m/s          | 大潮期          |
| 7910 | 波动型  | 近岸转向 | 950 hPa / 45 m/s         | 大潮期          |
| 8114 | 波动型  | 近岸转向 | 950 hPa / 45 m/s         | 大潮期          |
| 8923 | 波动型  | 温岭登陆 | 980 hPa / 30 m/s         | 大潮期          |
| 9216 | 波动型  | 长乐登陆 | 975 hPa / 30 m/s         | 大潮期          |
| 9608 | 波动型  | 福清登陆 | 970 hPa / 35 m/s         | 大潮期          |
| 0216 | 波动型  | 苍南登陆 | 970 hPa / 33 m/s         | 大潮期          |

从表1可以看出,海门站的增水过程的形态和天文潮月令、台风强度、台风路径有密切的关系。

一般同时满足下面三点时,增水形态为波动型:(1)台风登陆点或转向点距离海门站较远

(150 km以外);(2)台风强度较弱(最大增水出现时刻台风中心气压大于970 hPa);(3)处于天文大潮期(农历初一至初三、十五至十八)。

一般同时满足下面三点时,增水形态为混合

型：(1) 台风登陆点或转向点距离海门站较近(150 km以内)；(2) 台风强度较强(最大增水出现时刻台风中心气压小于970 hPa)；(3) 处于天文小、中潮期(农历初五至初十二、二十一、二十八)。

不能同时满足上述条件的风暴潮个例其增水各种形态特征都可能出现，需要根据天文潮月令、台风路径和强度等具体分析。一个基本原则是：在混合型增水中，台风登陆点或转向点距离海门越近、台风强度越大、天文潮越小，则增水曲线越接近标准型。反之，越接近波动型。

3.2 风暴潮过程最大增水统计特征

为了分析最大增水出现时间及幅度和台风类型、天文潮的关系，我们做了海门站最大增水统计表(见表2)和海门站最大增水时刻对应的台风中

心位置图(见图4)，其中图4a和4b分别为波动型和混合型过程。

从表2和图4我们可以发现：

(1) 海门站风暴潮过程最大增水的幅度大, 历史最大增水为350 cm，在我们收集的118次台风过程中，增水超过100 cm的有43次，平均每三个台风过程出现1次，大于150 cm的比例接近10 %。一般地，在其他条件相同的情况下，在浙南温州到海门这个区域登陆的台风增水幅度最大，海门站最大的几次潮灾都是由此类台风引起的，其中又以在温岭登陆的台风为最大；其次是在海门到三门一带登陆的台风；再次是近岸转向(124°E以西)和在福建登陆的台风；

(2) 从图4可以看出，海门站过程最大增水出现时刻，台风中心都位于125°E以西，混合型增水

表2 海门站过程最大增水统计表

| 台风<br>编号 | 增水<br>形态 | 最大<br>增水 | 台风类型 | 最大增水时刻台风中心气压<br>/近中心最大风速 | 天文潮<br>周期 | 最大增水时刻<br>天文潮状况 |
|----------|----------|----------|------|--------------------------|-----------|-----------------|
| 5612     | 混合型      | 149      | 象山登陆 | 923 hPa / 68 m/s         | 小潮期       | 天文高潮时           |
| 6126     | 混合型      | 144      | 三门登陆 | 960 hPa / 40 m/s         | 小潮期       | 落潮后4 h          |
| 6312     | 混合型      | 130      | 连江登陆 | 960 hPa / 48 m/s         | 小潮期       | 涨潮后2—3 h        |
| 7209     | 混合型      | 180      | 平阳登陆 | 945 hPa / 50 m/s         | 小潮期       | 涨潮后3 h          |
| 7504     | 混合型      | 182      | 温岭登陆 | 975 hPa / 38 m/s         | 小潮期       | 落潮后3 h          |
| 8506     | 混合型      | 102      | 玉环登陆 | 970 hPa / 35 m/s         | 中潮期       | 天文高潮时           |
| 9015     | 混合型      | 196      | 海门登陆 | 950 hPa / 45 m/s         | 中潮期       | 落潮后2 h          |
| 9417     | 混合型      | 229      | 瑞安登陆 | 955 hPa / 45 m/s         | 大潮期       | 涨潮后3 h          |
| 9711     | 混合型      | 217*     | 温岭登陆 | 960 hPa / 40 m/s         | 大潮期       | 天文高潮时           |
| 0414     | 混合型      | 350      | 温岭登陆 | 950 hPa / 45 m/s         | 中潮期       | 天文高潮时           |
| 7413     | 波动型      | 140      | 三门登陆 | 990 hPa / 9 m/s          | 大潮期       | 涨潮后2 h          |
| 7910     | 波动型      | 192      | 近岸转向 | 950 hPa / 45 m/s         | 大潮期       | 涨潮后3 h          |
| 8114     | 波动型      | 118      | 近岸转向 | 950 hPa / 45 m/s         | 大潮期       | 涨潮后3 h          |
| 8923     | 波动型      | 158      | 温岭登陆 | 980 hPa / 30 m/s         | 大潮期       | 天文高潮时           |
| 9216     | 波动型      | 153      | 长乐登陆 | 975 hPa / 30 m/s         | 大潮期       | 涨潮后3 h          |
| 9608     | 波动型      | 111      | 福清登陆 | 970 hPa / 35 m/s         | 大潮期       | 涨潮后3—4 h        |
| 0216     | 波动型      | 160      | 苍南登陆 | 970 hPa / 33 m/s         | 大潮期       | 涨潮后2—3 h        |

过程和波动型增水过程最大增水时刻对应的台风中心位置有明显区别，其中混合型增水过程最大增水时刻，台风中心位置较集中，除5612过程外，大都位于121°—122°E之间，这和海门站的地理位置(121.45°，28.68°)有很好的对应关系；而波动型增水过程对应的台风中心位置较分散，分布在120°—125°之间；

(3) 从表2中我们发现一个很有趣的现象：在象山—温岭一带登陆的台风，其过程最大增水大

都出现在天文高潮时到落潮时段；而在温州和福建登陆的台风以及转向型台风，其过程最大增水都出现在天文潮涨潮时段。值得重视的是，在温岭登陆的台风其过程最大增水大多出现在天文高潮时段，这也是此类台风容易导致台州湾大潮灾的一个重要原因；

(4) 在天文大潮期，海门站的最大增水，都出现在涨潮到高潮时段，又以涨潮后2—4 h为主；而小潮期的最大增水出现时间和台风类型、



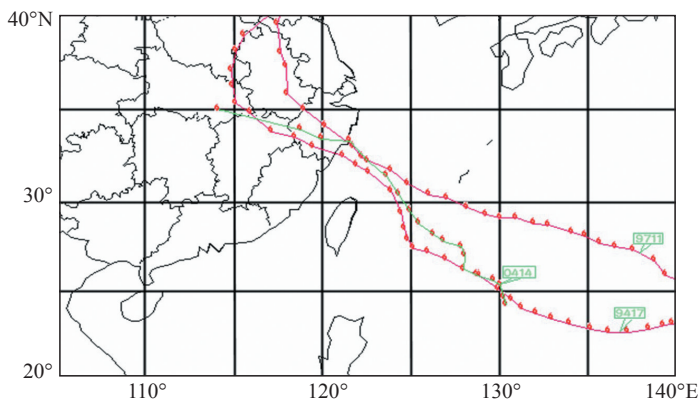


图5 引起海门站重大风暴潮灾害的台风路径图

水都超过 200 cm, 而且最大增水很容易和天文高潮相叠加, 从而导致海门站出现风暴潮灾害;

由于台风强度大, 登陆点距离海门较近, 风暴增水形态以混合型为主, 即使在大潮期, 其波动特征也往往被主体大增水所掩盖。

特别需要注意的是: 在温岭登陆的强台风即使在天文中潮期也会导致潮灾。0414 号台风过程海门站出现最大增水时虽然适逢天文中潮期(农历 6 月 27 左右), 但是海门站实况过程最大增水却是历史最高, 达到 350 cm。灾后调查表明, 此次过程海门站最大增水恰好和天文高潮相重合, 从而导致大潮灾, 海门站的验潮仪器也在此次过程中被冲毁。

## 4 海门站风暴增水及风暴高潮位预报探讨

### 4.1 发布风暴潮警报条件

在风暴潮预警报中, 发布风暴潮警报标准如下:

- (1) 预报未来 24h 最大增水将超过 1 m;
- (2) 预报未来 24 h 最高潮位将达到或超过警戒潮位。

### 4.2 台风风暴潮预报要点

(1) 125°E 和 28.68°N 是预报海门站风暴增水的参考坐标原点, 如果台风前期一直在 28.68°N 以南运动, 假设不考虑洪水等其他因素, 则当台风中心进入坐标轴的第三象限时(即 28.68°N 以南, 125°E 以西), 海门站很可能出现 1 m 以上的增水, 此时最可能出现过程最大增水; 而当台风移动到 28.68°N 以北时, 增水幅度开始减小;

(2) 121°—122°E 这个经度带是预报海门站风暴增水的另一个重要参考坐标带, 当台风中心进入这个经度带时, 往往容易出现较大幅度的风暴增水, 而且过程最大增水也一般在此时出现。根据这个坐标可以基本确定过程最大增水的幅度和出现时间;

(3) 过程最大增水出现时间还和天文潮月令密切相关。根据统计: 大潮期过程最大增水大都出现在涨潮到高潮时段, 又以涨潮后 2—4 h 为主; 而中小潮期最大增水出现时间除了和天文潮月令有关外还与台风强度, 台风中心位置相关。因此根据台风影响期间的天文潮状况和台风预报路径可以初步确定海门站过程最大增水出现时间;

(4) 一般地, 在其他条件相同的情况下, 在浙南温州地区到海门这个区域登陆的台风增水幅度最大, 海门站最大的几次潮灾都是由此类台风引起的。其次是在海门到三门一带登陆的台风; 第三是近岸转向(124°E 以西)和福建登陆的台风;

(5) 综上所述, 根据台风路径预报结果并结合实况潮汐资料进行对比调整是预报海门站风暴潮位和风暴增水幅度的关键。

## 5 结论和探讨

### 5.1 结论

通过上面的分析我们可以得出以下结论:

(1) 海门站风暴增水幅度较大: 在 1950—2004 年间, 一共有 43 次台风过程海门站的最大增水超过 100 cm, 平均每年出现一次左右, 其中有 3 次超过 200 cm。对海门站产生重大影响的台风主要有登陆型和近岸转向型两种;

(2) 在浙江海门南面登陆, 登陆前台风前进方向为稳定的西北方向, 而且台风中心位置都位于海门站以南的台风最容易导致海门站出现大增水和风暴潮灾害;

(3) 海门站风暴增水过程曲线都具有明显的波动特征, 一般增水波的周期和天文潮半日潮周期相同, 波动型增水的波峰一般出现在涨潮时段, 又以涨潮后 2—4 h 为主, 增水波的形态和天文潮月令、台风强度、台风路径有密切的关系。台风登陆点或转向点距离海门越近、台风强度越大、天文潮越小, 则增水曲线的波动特征越不明显, 反之, 波动特征越明显;

(4) 海门站过程最大增水出现时刻, 台风中心都位于 125°E 以西, 混合型增水过程和波动型增水过程最大增水时刻对应的台风中心位置有明显区别, 其中混合型增水过程最大增水时刻, 台风中心位置较集中, 除 5612 过程外, 大都位于东经 122°—121°E 之间, 这和海门站的地理位置 (121.45°E, 28.68°N) 有很好的对应关系; 而波动型增水过程对应的台风中心位置较分散, 分布在 120°—125°E 之间;

(5) 海门站过程最大增水出现时间和天文潮月令、台风类型、台风登陆点紧密相关。一般地, 在天文大潮期, 其过程最大增水时间和天文

潮、台风中心位置关系密切。大都出现在涨潮时段, 而且此时台风中心位于最有利于海门站增水的经度带内; 而在中小潮期, 最大增水出现时间和台风类型、台风中心位置的关系更密切, 和天文潮的相关性要差些。

## 5.2 探讨

海门站增水波具有明显的半日潮周期波动特征, 天文潮月令对风暴增水具有显著的影响, 如何确定天文潮在风暴增水中的贡献还有待进一步分析。

本文分析中发现某些台风过程最大增水出现时海门站的主风向已经转为离岸风, 这表明研究单站台风增水时, 单站风并不总是具有代表性, 需要采用风暴潮数值方法对此类台风增水过程进行认真研究。

## 参考文献:

- [1] 王喜年, 叶琳. 我国沿海风暴潮的监测及其预报[J]. 海洋预报, 1992, 11(3): 30-39.
- [2] 王喜年. 风暴潮预报知识讲座第二讲[J]. 海洋预报, 2001, 18(2): 70-77.
- [3] 秦增瀛, 冯士筌. 浅海风暴潮动力机制的初步研究[J]. 中国科学, 1975, 18(1): 64-78.
- [4] 应仁方, 沈雪龙, 羊天柱等. 东海沿岸多港口台风风暴潮预报的研究[J]. 东海海洋, 1987, (4): 1-14.

# Characteristic analysis and forecasting of storm surge at Zhejiang Haimen station

LU Mei<sup>1,2</sup>, WANG Jing<sup>1,2</sup>, ZHU Ye<sup>1,3</sup>

(1. Marine Monitoring and Forecasting Center of Zhejiang, Hangzhou, 310007 China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou, 310058 China; 3. Department of Geological Science, Zhejiang University, Hangzhou, 310027 China)

**Abstract:** Haimen station, located at the entrance of Taizhou Bay, is one of the most severely afflicted area of storm surge disasters in Zhejiang province. The characteristics of the storm surge driven by typhoons at Haimen station are analyzed during 1950 to 2004 in Zhejiang province. Considering with the operational forecasting work, the methods and key points of the storm surge forecasting at Haimen station are discussed preliminarily.

**Key words:** Zhejiang Haimen station; storm surge; forecasting