

舟山港台风风暴潮的分析及预报

项素清

(浙江省舟山市气象台, 316004)

提 要

利用 1956~2000 年舟山市定海验潮站潮位观测资料,对历年影响舟山的台风风暴潮灾进行了全面的统计分析。将台风按路径分型,分析了不同路径台风风暴潮的特点,并用基于 PRESS 准则的逐步回归方法,建立了不同路径风暴潮的预报模型。

关键词: 台风风暴潮 PRESS 准则 预报模型

引 言

浙江省舟山市是全国惟一由群岛组成的海岛城市,它处长江口南侧和杭州湾外缘。在每年夏秋季节,天文大潮期间,恰逢台风盛行,常引发台风风暴潮。台风风暴潮是指海水在台风强迫力场的作用下,向近岸输送、堆积而导致水位异常升高的现象。据 1949~2000 年台风资料统计,影响舟山的台风(包括热带风暴)有 206 次,年均达 4.1 次。灾情特别严重的有十余次,是由风、雨、浪和潮综合造成的灾害。从受灾情况看,台风风暴潮是造成台风灾害的主要因子。风暴潮致使海堤倒塌、咸潮倒灌,淹没农、盐田,冲走海水养殖,使工厂、民房进水。如 1997 年 9711 号台风风暴潮,最大增水 142cm,致使定海出现创历史纪录的高潮位(10.68m),全市直接经济损失为 25.68 亿元。当台风开始影响舟山时,如能预报未来实时潮位值,为政府防台减灾决策提供科学依据,对于减轻经济损失和人员伤亡,具有十分重要的作用。

1 台风的增水曲线特征

台风增水曲线的形态可分为标准型、波动型和混合型三种。舟山海域的台风增水形态主要可划分为标准型和混合型两种增水形态。

标准型增水曲线可划分为前兆增水、风暴主体(激振)和余振三个部分,历时 20~40 个小时。前兆增水是指台风远离测站时水位

缓慢、逐渐升高的阶段,此后是水位急剧上涨的阶段,形成峰值,是激振阶段。峰值过后水位很快下降,随后是振幅较小的余振阶段。定海站 1956 年 5612 号台风增水曲线就是标准型增水曲线(图 1)。这一类型占 40%~50%。

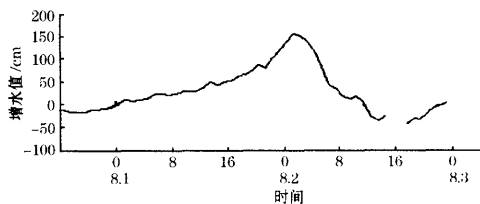


图 1 定海站 5612 号台风增水曲线图

混合型增水形态与标准型的区别是增水曲线上叠加了较明显的波动,周期为 12 小时,增水形态介于标准型和波动型之间,这一类型占 40% 左右。2000 年 0014 号台风增水曲线就属于这一类型(图 2)。

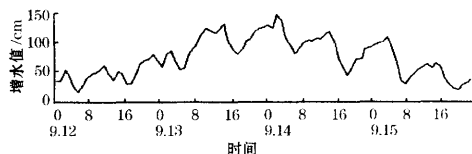


图 2 定海站 0014 号台风增水曲线图

2 舟山港风暴潮的统计特征

统计 1954~2000 年定海验潮站 30cm 以上的风暴增水情况,发现每 0.8 年就有 1 次。45 年中 50cm 以上的增水过程共有 36 次,每 1.25 年就可出现 1 次,其中主要集中在 50~79cm 之间,100cm 以上的增水过程

只有4次,重现期为11年。

定海港的警戒水位是9.5m,危急潮位是10m。通过分析1956~2000年超过警戒潮位的台风风暴潮资料,发现45年中共有17次超过警戒水位,其中7次超过危急水位,平均2.6年出现一次超警戒水位,6.5年出现一次超危急水位。17次中有9次出现在8月份,5次出现在9月份,7月份有2次,6月份则只有1次。8、9两个月份占82.3%,最容易出现风暴潮灾,其中除两次没有出现在朔望大潮期间外,其余15次正值天文大潮汛。台风有8次在浙江中北部和长江口登陆,另有6次是近海转向台风,这两种路径共占71%,说明这两种路径是造成风暴潮灾的主要路径。进入20世纪90年代后,台风风暴潮具有频发的趋势,1997年发生特大潮灾后,2000年又接连发生重大潮灾,这不能不引起有关部门的高度重视。造成舟山市超警戒高潮位时台风所在位置集中在 $27.5\sim 31.5^{\circ}\text{N}$ 、 $121\sim 125^{\circ}\text{E}$ 。

3 不同路径台风风暴潮的特点

3.1 台风路径的分类

影响舟山市的台风,根据移动路径可将其划分为登陆型和转向型两大类,每一类又可分为三种类型。D1类:台风在浙江省沿海登陆;D2类:台风在福建省登陆后西行或北上;D3类:台风在长江口附近或以北省份登陆。Z1类:台风在 125°E 以西、 25°N 以北,浙江近海转向东北。Z2类:台风在 125°E 以东,浙江远海北上转向。Z3类:台风在 25°N 以南、 125°E 以西转向东北移动。

3.2 不同路径台风风暴潮的增水特征

台风增水的幅度及其过程的形态特征除与天文潮耦合作用有关外,还与台风的强度、范围、移动路径及移速等因子密切相关。海域增水或减水的发生,主要取决于海域上空风场的风向;增、减水的量值,则取决于该风向上风速的大小。增水持续时间和台风的移速密切相关。就舟山海域而言,增水的主风向是东北风(NE),次风向是北风(N),而减水的主风向为西北风(NW),次风向是西风

(W)或西北偏北风(NNW)。

3.2.1 浙江沿海登陆型

该型台风影响时,舟山海域的风向从N—NNE—NE—ENE转成E—ESE—SE,向岸风是东北风(NE),与本海域增水主风向一致,有利于增水,向岸风持续时间越长,增水幅度越大。这类台风距舟山市只有1~2个纬距,不仅会带来狂风暴雨,而且会造成很大的台风增水,危害极大。增水值大小还取决于台风的强度,像1956年5612号台风在浙江省象山县登陆,登陆时中心气压923hPa,近中心最大风速 $\geq 50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,定海出现有记录以来最大增水160cm,虽然当时正值农历六月二十六日小潮汛,但最高风暴潮位仍达到了10.79m。1997年9711号台风在浙江省温岭县登陆时,中心气压960hPa,近中心最大风速 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,定海港最大的增水值为142cm,最高潮位达到10.68m。这两次潮灾是1949年以来舟山市最严重的风暴潮灾害。

3.2.2 近海转向型台风

台风自西太平洋进入东海后,在 125°E 以西、 25°N 以北转向。该型台风距舟山市很近,其影响程度往往很严重。根据台风与舟山海域距离的不同,风向变化也有差异。在 124°E 以东北上转向东北的台风,舟山海域风向以偏北风(N)为主。在 123°E 附近北上转向的台风,在靠近舟山海域过程中,舟山海域的风向由E—ENE—NE,转成NNE—N—NW—WNW。随着台风距离的靠近和风力的改变,舟山海域出现小—大—小的增水过程。当风向是NE—N时,增水最大,随着台风北上越过 30°N 以后,风向转为NW—WNW时,增水迅速减小,并出现大幅度的减水,如1981年8114号台风。当最大增水出现时,台风大多位于 $28\sim 30^{\circ}\text{N}$ 的区域内。该型台风的主导风向与本港增水主风向一致,往往导致较大增水。增水的持续时间与台风的移动速度关系密切,如2000年0014号台风桑美在转向东北方向前,移动缓慢,舟山港大于50cm的增水持续时间长达66小时,100cm以上增水时间长达24小时,最大

增水为 122cm。该台风强度强(960hPa), 移动速度缓慢, 是导致增水幅度大、增水持续时间长的主要原因。

3.2.3 在长江口及以北地区登陆型

该型台风的典型例子是 1977 年 7708 号, 7708 号台风 9 月 11 日 7 时在上海崇明岛登陆。图 3 是 7708 号台风的定海站的增水曲线, 可以看出, 增水最大值 85cm 出现在 10 日 13 时, 台风位于 30.6°N 、 124.5°E 。此时定海港的风向是 NE, 与增水主风向一致, 有利于增水。随着台风西移靠近长江口, 定海港风向转为 NW, 与减水主风向一致, 风对潮波的作用呈反向力, 出现减水现象, 登陆前, 减水达到最大值。随着台风登陆后往西南折, 本港风向转为 W—SW, 风速减小, 减水值变小。该型台风要特别注意回头潮。台风过境后, 风向从 NE 转为 SW, 增水变为减水, 潮位骤减, 俗称“杀西回南”, 极易造成避风港内的船只发生海损事故。该型台风增水特点是: 台风登陆前舟山海域风向为 N—NNE—NE, 与增水主风向一致, 会出现较大幅度的增水。当台风登陆后, 风向转为 NW—W—WSW, 风对潮波的作用呈反向力, 出现减水现象, 减水幅度与台风登陆点有关。该型台风数量较少, 但风力强、雨量集中, 若正值天文大潮汛时, 可出现高潮位, 造成潮灾。如 1984 年 8406 号台风、1989 年 8913 号台风。

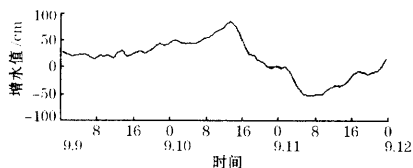


图3 7708 号台风影响时定海站的增水曲线

3.2.4 浙江外海转向型

台风在 125°E 以东北上转向, 该型台风距舟山海域较远, 风雨影响程度小。虽本港风向偏北, 和增水主风向一致, 有利增水, 但台风增水幅度较小, 一般在 75cm 以下。46 年中达到警戒水位的该型台风只有 1976 年 7617 号。

3.2.5 浙闽边界到厦门登陆型

台风在台湾登陆后或穿过台湾海峡在福建登陆, 该型台风由于距舟山市较远, 增水幅度较小。当台风强度较强, 并在闽北登陆时, 舟山海域的风向是 ENE—E—ESE, 可出现 70cm 以下的增水, 如 1992 年 9216 号、1990 年 9005 号台风属于这种类型。

3.2.6 125°E 以西、 25°N 以北转向台风

这一类型台风对舟山有影响的很少, 成灾的更少。只有 1972 年 7622 号, 该台风在 23.8°N 、 124.3°E 转向, 定海港出现 80cm 的增水。

4 台风风暴潮的预报

4.1 预报方法

用基于预测效果的预测平方和(PRESS)准则来选取回归自变量的逐步算法, 通过引进和剔除回归变量的双重检验方法, 在回归自变量可能产生的一切子集中, 以 PRESS 值达到最小的那个子集作为最优回归子集, 来建立预测能力较强的预报模型。

4.2 预报因子

4.2.1 前期增水因子

前期增水因子是一个综合因子, 它反映了该次台风对海区风暴潮的前期影响, 同时还起到修正天文预报潮位与实测潮位系统偏差的作用。因为舟山海域是半日潮港类型, 选取预报风暴潮出现前一次(24 小时前)单站实测高潮作为预报因子。

4.2.2 台风气象因子

造成风暴潮的台风气象因子有台风中心气压、中心最大风速、风速半径和移动速度等。台风中心气压和中心风速是衡量台风强弱的重要指标, 也是台风增水的重要因素, 在浅水海区中风的作用远大于气压的贡献。单站的气象因子往往受地形条件的影响, 测到的风速和气压常常缺乏代表性, 不能完全反映台风的实际强度。因此将台风中心风速和中心气压作为备选因子。台风中心的位置及其与本站的距离远近也是影响风暴增水的主要因子。

4.3 不同路径台风风暴潮的预报模型

限于篇幅仅列出主要路径下台风风暴潮

的预报模型:

(1) 125°E 以西、25°N 以北转向类(样本数 40)

$$y = 1691.042 + 0.6562x_1 - 11.0911x_2 - 1.1097x_4$$

$$R = 0.9503 \quad S_y = 22.5361$$

$$E_{rm} = 18.0339 \quad E_{min} = 2.2486$$

$$E_{max} = 44.5684$$

(2) 125°E 以东转向类(样本数 42)

$$y = 1330.445 + 0.936x_1 - 3.9403x_3 - 0.7948x_4$$

$$R = 0.9647 \quad S_y = 23.0551$$

$$E_{rm} = 17.8316 \quad E_{min} = 0.4597$$

$$E_{max} = -48.1618$$

(3) 浙江省登陆类(样本数 50)

$$y = 124.6543 + 0.7883x_1 + 1.7052x_5$$

$$R = 0.9441 \quad S_y = 25.8685$$

$$E_{rm} = 21.7946 \quad E_{min} = 2.6478$$

$$E_{max} = 50.2367$$

(4) 长江口登陆类(样本数 27)

$$y = 1192.795 + 1.0672x_1 - 1.3373x_4 + 5.838x_6$$

$$R = 0.8437 \quad S_y = 47.0704$$

$$E_{rm} = 37.1803 \quad E_{min} = -3.054$$

$$E_{max} = 91.3256$$

其中, x_1 是前 24 小时的实测潮位值, x_2 是台风中心的纬度, x_3 是台风中心的经度, x_4 是台风中心气压, x_5 是台风中心最大风速, x_6 是台风中心与本站的径距。上述预报方程的相关系数在 0.84~0.99 之间, ± 30 cm 拟合率在 80% 以上。

我们还设计和开发了用户界面, 所设计的系统界面友好, 历史潮位资料查询、台风实时资料处理和风暴潮预报等快速、简便, 自动化程度高(图 4)。用户使用起来方便、快捷, 便于投入业务应用。

5 预报试验

通过 2001~2002 年影响舟山市的台风过程的试报, 发现该模型运行稳定, 预报误差小, 效果比较好。以 0216 号台风为例进行说

明。

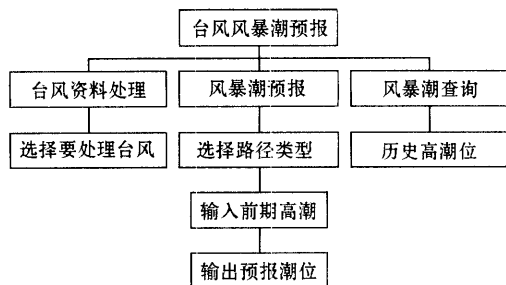


图 4 台风风暴潮预报查询系统框图

2002 年第 0216 号台风森拉克在太平洋中部洋面上生成后, 稳定地朝西北偏西方向移动, 于 9 月 7 日 18:30 时在温州苍南登陆, 登陆时的中心气压在 965hPa, 中心最大风力为 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。登陆后继续西进, 进入江西境内消亡。

舟山市受台风外围影响, 风雨影响并不大。但由于该台风强度强, 台风到近海时移动速度缓慢, 舟山海域持续东北到东风, 有利于增水, 又恰逢八月初一天文大潮, 舟山市连续三天出现超警戒水位。

表 1 0216 号森拉克台风影响时潮位预报情况

日期时间	前期高潮/cm	预报值/cm	实测值/cm	误差/cm
9月6日2时	758	790	819	-29
8时	885	890	918	-28
14时	695	740	718	12
20时	987	970	963	7
9月7日2时	819	838	823	15
8时	918	916	921	-5
14时	718	758	763	-5
20时	963	951	925	26

用上述台风风暴潮预报模型进行试报(表 1), 最小误差 -5cm, 最大误差 -29cm, 符合水文部门的规范要求, 结果令人满意。

参考文献

- 程祖德, 卢庚娥, 乐秀实等. 舟山市台风(热带风暴)灾害成因与规律及减灾对策研究. 1992.
- 应仁方, 周根元, 郭其伟等. 舟山市防潮警戒水位核定的研究报告. 1998.
- 应仁方. 浙江沿海台风风暴潮灾害及防范对策研究. 浙江省灾害防御协会论文汇编, 1990: 38~44.
- 羊天柱, 应仁方. 浙江省海岛风暴潮研究. 海洋预报, 1997, 14(2): 28~43.

Analysis and Forecast of Typhoon Storm Surge in Zhoushan Bay

Xiang Suqing

(Zhoushan Meteorological Observatory, Zhejiang Province 316004)

Abstract

Based on tidal observations (1956—2000) in Dinghai tidal gage station, a statistical analysis of the typhoon storm surge disasters in Zhoushan Bay is made. The features of typhoon storm surge along different paths are analyzed. Furthermore, the regression method based on PRESS standard is used for surge forecasting.

Key Words: typhoon storm surge PRESS standard forecasting method