

天津近海可能最大风暴潮模拟研究

武双全¹, 崔晓健¹, 高志刚¹, 潘嵩¹, 陈琛², 张建立¹, 耿姗姗¹, 李响¹

(1. 国家海洋信息中心, 天津 300171; 2. 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所, 天津 300192)

摘要: 利用实测资料分析了天津近海增减水的变化规律, 冬季温带气旋引起的增水在全年中所占的频率较高, 夏季热带气旋引起的增水幅度较大, 这两者较容易引起较大的风暴灾害。本文通过统计历史台风过程, 确定了最大热带气旋参数, 建立了风暴增减水数值模拟模型, 计算了该海区台风引起的可能最大增水, 增水值为 3.6 m。构建了温带敏感性实验, 确定了该海区温带气旋最大增水的方向, 计算了温带可能最大增减水, 增水值为 3.3 m, 减水值为 -3.7 m。由此确定了该海区可能最大风暴潮增水值为 3.6 m, 减水值为 -3.7 m。

关键词: 天津近海; 增减水; 可能最大风暴潮

中图分类号: P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2015)06-0085-09

1 引言

风暴潮灾害居世界海洋灾害之首, 我国更是世界上风暴潮灾害最严重的国家之一。2000 年至今, 风暴潮灾害损失约占海洋灾害总损失的 90.48%^[1]。环渤海沿岸风暴潮包括发生在夏季的台风潮和发生在春秋两季的风潮两种形式。台风潮和风潮所占的比重分别为 60% 和 40%^[2]。

天津是我国北方的重要工业和港口城市, 也是受风暴潮灾害较严重的区域。风暴潮灾一年四季均有发生, 除夏季有台风风暴潮灾害外, 春、秋、冬季均有灾害性风潮发生^[3]。台风潮一般发生在夏季(出现在 7—9 月份), 该季节的海平面是全年最高的, 同时该季节的天文高潮位也是一年中较高的^[3-4]; 一旦受到热带风暴或台风北上影响, 在渤海湾产生的风暴增水与较高潮位叠加, 会产生较大危害。在春、秋季节, 渤海和黄海北部是冷暖空气频繁交汇的地方, 冬季又频繁受冷空气和寒潮大风袭击, 易形成风暴潮, 导致灾害发生。

天津近岸的台风风暴潮和风潮研究较多, 王—

红等^[5]较详细地分析了天津沿海地区风暴潮的时空分布规律、灾情和产生的原因, 并指出近年来本地区风暴潮发生频率和强度有明显增加的趋势, 而且造成的经济损失增长更快。莎日娜等^[6]采用 POM 模式对影响天津近岸的台风过程进行了模拟, 并指出模拟结果能够真实的反应天津近岸的风暴潮水位变化及漫滩范围, 动边界数值模型适合于浅海区域。许富祥^[7]和于福江等^[8]均采用数值模拟的方法模拟了影响渤海湾的重大风暴潮过程, 讨论了潮灾的成因, 并就其预防措施进行了探讨; 傅赐福等^[9]研究了滨海新区温带风暴潮灾害, 并对其风险进行了评估。杨晓君等^[10]对 2008 年 8 月 22 日温带气旋造成的渤海风暴潮过程进行了模拟。

已有的研究主要关注天津近海的台风引起的增水^[5-8]或者温带风暴增水^[9-10]。在计算天津近海可能最大风暴潮时, 应将台风和温带风暴的影响都考虑在内。本文依据中国近海台风数据和塘沽站实测风数据, 分别构建了可能最大台风潮模型和最大温带风暴潮模型, 全面的计算了天津近海的台风风暴最大增水和温带风暴最大增水, 在此基础上计算

收稿日期: 2015-02-10

基金项目: 国家海洋局海洋-大气化学与全球变化重点实验室开放基金(GCMAC1202); 国家自然科学基金(41406032; 41106159); 基于数字海洋的资料整合及其共享服务应用示范项目(20130529-01)

作者简介: 武双全(1984-), 男, 工程师, 博士在读, 主要从事水动力数据分析和数值模拟工作。E-mail: 03shuangquan@163.com

通讯作者: 崔晓健(1980-), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事海洋环境管理和海洋信息管理。E-mail: 13902185561@163.com

了天津近海的可能最大风暴潮。

2 天津近海风暴潮统计特性

2.1 塘沽站增减水统计结果

搜集了塘沽站 1951—2013 年的逐时潮位观测数据,利用国家海洋信息中心的潮汐预报结果,将实测结果减去潮汐预报结果得到了塘沽站的增减水,并对增水和减水分级进行统计,结果表明:1951—2013 年,塘沽站共出现 0.5 m 以上的风暴增水 3 128 d,平均每年 50.5 d,其中 1 m 以上的风暴增水共有 405 d,平均每年 6.5 d。

利用塘沽站近 50 a 的逐时增减水序列,对不同幅度增减水出现的次数进行统计,见表 1。可以看出:该海域出现较大减水的频率比出现较大增水的频率大。例如,超过 1.2 m 的增水平均每 44.58 d 出现一次;超过 -1.2 m 的减水则平均每 16.74 d 出现一次。这也说明在天津近海区域离岸风导致的减水事件发生的概率较大。在增减水幅度方面,增水历史极值和减水历史极值量值相当,1951—2013 年期间的最大增水为 2.35 m,发生在 1966 年 2 月份;最大减水为 -2.44 m,发生在 1968 年 1 月份。

表 1 塘沽站不同范围增减水出现频率的分布

增水幅度/m	发生频率/d	减水幅度/m	发生频率/d
>0.30	0.42	<-0.30	0.42
>0.50	1.32	<-0.50	0.99
>0.70	3.68	<-0.50	2.21
>0.90	9.78	<-0.60	4.89
>1.20	44.58	<-1.20	16.74
>1.50	218.29	<-1.50	65.56
>2.00	2117.43	<-2.00	683.04

2.2 典型过程分析

本文选取了 1980 年至今引起天津近海较大增水或者较大灾害的典型台风过程(8509、9216、9711 和 1210)和 3 次温带气旋过程予以分析。

8509 号台风于 1985 年 8 月 16 日 14 时(北京时,下同)在冲绳岛以西 150 km 海面上生成,于 8 月 18 日 05 时在江苏启东登陆,19 日 09 时在青岛登陆,而后穿过山东半岛于 19 日 15 时在龙口东北部入渤海继续北上,20 日 0 时在辽宁营口第 3 次登陆,受本次

风暴潮影响,塘沽站最大增水为 1.31 m,19 日 16 时天津塘沽潮位高达 5.45 m。海水漫过海挡,冲进滨海海居民区,给国家和人民带来巨大经济损失。

9216 号台风于 1992 年 8 月 28 日 14 时在台湾以东海面生成,8 月 30 日 14 时登陆台湾花莲时,中心气压 978 hPa,近中心最大风速 30 m/s,该风暴一直未达到台风强度,但是台风期间,受我国东北到日本海高压坝阻挡,造成黄海、渤海南北气压差越来越大,致使黄海北部、山东半岛、渤海中西部出现 8—9 级,阵风 11 级的东北偏东大风。受本次风暴潮影响,塘沽站增水极值为 1.63 m,9 月 1 日 17 时 37 分,天津塘沽最高潮位达 5.93 m,受风暴潮与巨浪的共同影响,天津沿海地区遭到了惨重的经济损失。

9711 号台风于 1997 年 8 月 10 日在西北太平洋生成,逐渐发展加强,并于 8 月 20 日下午从山东半岛北部进入渤海后,中心气压 990 hPa,近中心最大风速 23 m/s,受本次风暴潮影响,增水极值为 1.85 m,天津塘沽潮位高达 5.59 m,对沿海地区人民生命财产造成巨大损失。

1210 号台风于 7 月 28 日 20 时在日本东京东南方约 1330 km 的西北太平洋洋面上生成,7 月 31 日早晨在西北太平洋洋面上加强为强热带风暴,8 月 2 日 21 时 30 分前后在江苏省响水县陈家港镇沿海登陆。3 日 4 时前后进入山东省境内,随后进入渤海西部海面。受台风影响,塘沽站增水极值为 0.99 m,塘沽站的最高潮位达到 5.22 m。

受北方强冷空气和黄河气旋的共同影响,2007 年 3 月 4 日至 7 日渤海发生了一次强温带风暴潮过程。对天津近海造成的影响主要为减水效应,塘沽站最大减水达到 -2.40 m。

受温带气旋北上的影响,2009 年 2 月渤海湾发生一次温带气旋过程,引起了渤海较大的偏东风,从而导致西岸增水较大,塘沽站最大增水达到 1.34 m。

2009 年 4 月温带气旋过程主要受来自蒙古的冷空气影响,冷空气到来时形成的东北大风,造成了渤海湾西侧的增水,使得水位超过了警戒线,塘沽站最大增水达到 1.58 m。

2.2 小结

通过以上分析可知:受台风影响夏季易出现较大增水,再叠加上海潮位,同样能引起较大的灾

害。所以在分析可能最大风暴潮时,应考虑冬季的寒潮大风引起的风潮和夏季发生的台风潮,本文的第3和第4部分重点介绍台风和寒潮大风引起的风暴潮的计算。

3 台风可能最大风暴增减水计算

可能最大风暴潮(Probable Maximum Storm Surge, PMSS)的计算应包括3个步骤:(1)选择可靠

的风暴潮模式;(2)确定可能最大热带气旋(Probable Maximum Tropical Cyclone, PMTC)关键参数;(3)确定PMTC移动路径^[1]。对台风而言,PMSS的计算过程如下:首先要有一个经过考验的台风风暴潮数值预报模式;其二,确定可能最强台风,确定PMTC可能移动的路径。参数和台风可能移动的路径应依据台风历史资料用气候学统计方法计算后得到的,是可能发生的各种不利情况的组合。其中,PMTC参数主要包括 P_{∞} 、 P_0 和台风最大风

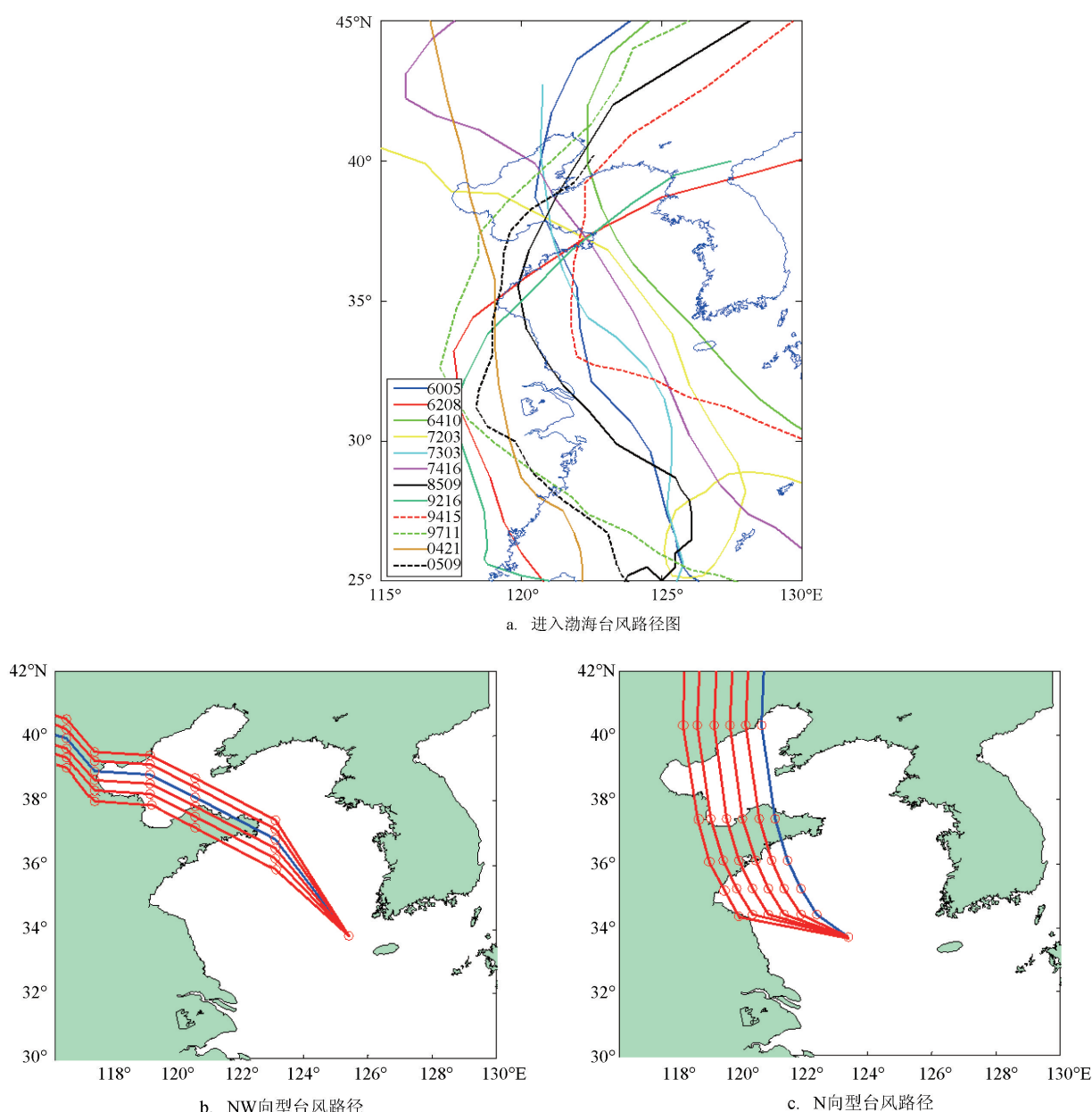


图1 台风路径

速半径, P_0 代表台风外围气压或正常气压, 可选取袭击区域海平面年、季、月的平均值。这里选用葫芦岛和龙口等站的多年平均气压值(1 010 hPa)作为可能最大热带气旋的外围气压。

3.1 天津近海 PMTC 参数分析

收集 1949 年以来进入渤海的历年最强台风路径(如图 1a), 用气候统计方法可将登陆和影响天津近海的台风分为以下两种类型: 一是以 7203 为代表的西北向型台风路径; 二是以 7303 为代表的北向型台风路径。为了考虑对天津近海的可能最大影响, 每个典型的台风过程均构建了一组台风路径; 西北向型台风路径的构建以 7203 为中心, 北向和南向每隔 50 公里构建一条路径, 北侧两条南侧三条共六条(如图 1b); 北向型路径的构建为从 7303 向西每隔 50 km 构建一条, 共 6 条(如图 1c)。

在用统计法确定 P_0 时, 以进入塘沽站 400 km 半径范围内的 65a(1949—2013 年)的年台风中心最低气压为样本。采用 P—III 方法计算重现期 1000 a 的台风中心最低为 947 hPa。其中, 仅 7203 号台风最低气压点落在渤海内, 其他年最低气压点均落在陆地或者黄海。进入渤海的台风通常气压都会抬升, 经统计抬升量至少为 5 hPa, 因此, 可能最大台风参数中的台风中心气压取 952 hPa。

基于西北太平洋和大西洋最大风速半径的飞机探测结果分析, 强台风的最大风速半径小而弱台风的最大风速半径大, 低于 920 hPa 的强台风, 最大风速半径都较小。当 P_0 取 952 hPa 时, 根据台风样本统计分析, 我们推荐其台风最大风速半径取为 50 km。NW 向型台风移动速度和 N 向型台风移动速度分别与 7203 号和 7303 台风一致。

3.2 计算所采用的模型

风暴潮模型采用 ECOM (Estuarine Coastal Ocean Model) 模型, 台风强迫力场采用理想台风模型计算, 当 $r \leq 2R$ 时, 采用 Fujita^[12] 公式计算气压, 当 $r > 2R$ 时, 采用 Takahashi^[13] 公式计算气压, 台风风场则采用 Veno Takeo^[14] 公式计算, r 是指计算点到台风中心的距离, R 是指最大风速半径, 具体计算方法参见王喜年等^[15]。

3.3 模型参数设置

为准确刻画天津沿岸的岸线地形特征, 本文采用网格嵌套方法开展数值模拟。大区为东中国海, 网格为矩形网格, 范围为 $24^\circ\text{—}43^\circ\text{N}$, $117^\circ\text{—}131^\circ\text{E}$, 网格分辨率为 $5' \times 5'$, 网格数为 169×229 (东西 \times 南北), 垂向平均分为 10 个 Sigma 层。小区为渤海海域, 网格采用正交曲线网格, 在渤海湾进行了加密, 网格数为 150×120 , x 方向最大网格距为 7 970 m, 最小网格距为 900 m, y 方向最大网格距为 8 320 m, 最小网格距为 820 m, 垂向分为 7 个 Sigma 层, 见图 2。小区开边界由大区水位模拟结果提供。

3.4 模型验证

采用已建立的数值模型对影响渤海较大的 5 次台风风暴潮过程进行了模拟计算, 5 次台风是: 1972 年的 7203 号、1985 年的 8509 号、1992 年 9216 号、1997 年的 9711 号台风和 2012 年的 1210 号台风, 其中塘沽站的验证结果见图 3。

从上述结果可以看出: 就各过程最大增水值而言, 数值模型模拟的风暴增水极值与实测结果较一致, 表明建立的模型可靠, 可用于计算天津近海的可能最大风暴潮。

3.5 计算结果分析

利用 3.2 节给定的台风参数(台风中心气压: 947 hPa; 进渤海后 952 hPa, 台风最大风速半径: 50 km), 模拟计算了两种路径类型各 6 种路径下(每

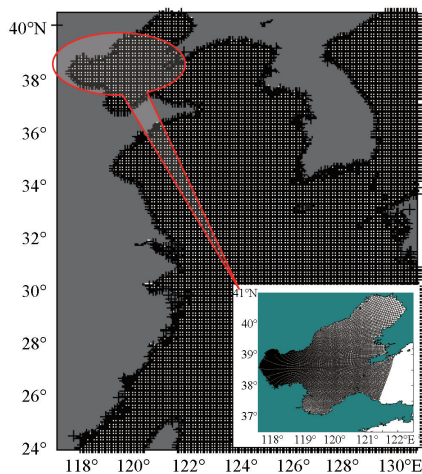


图2 计算区域网格图

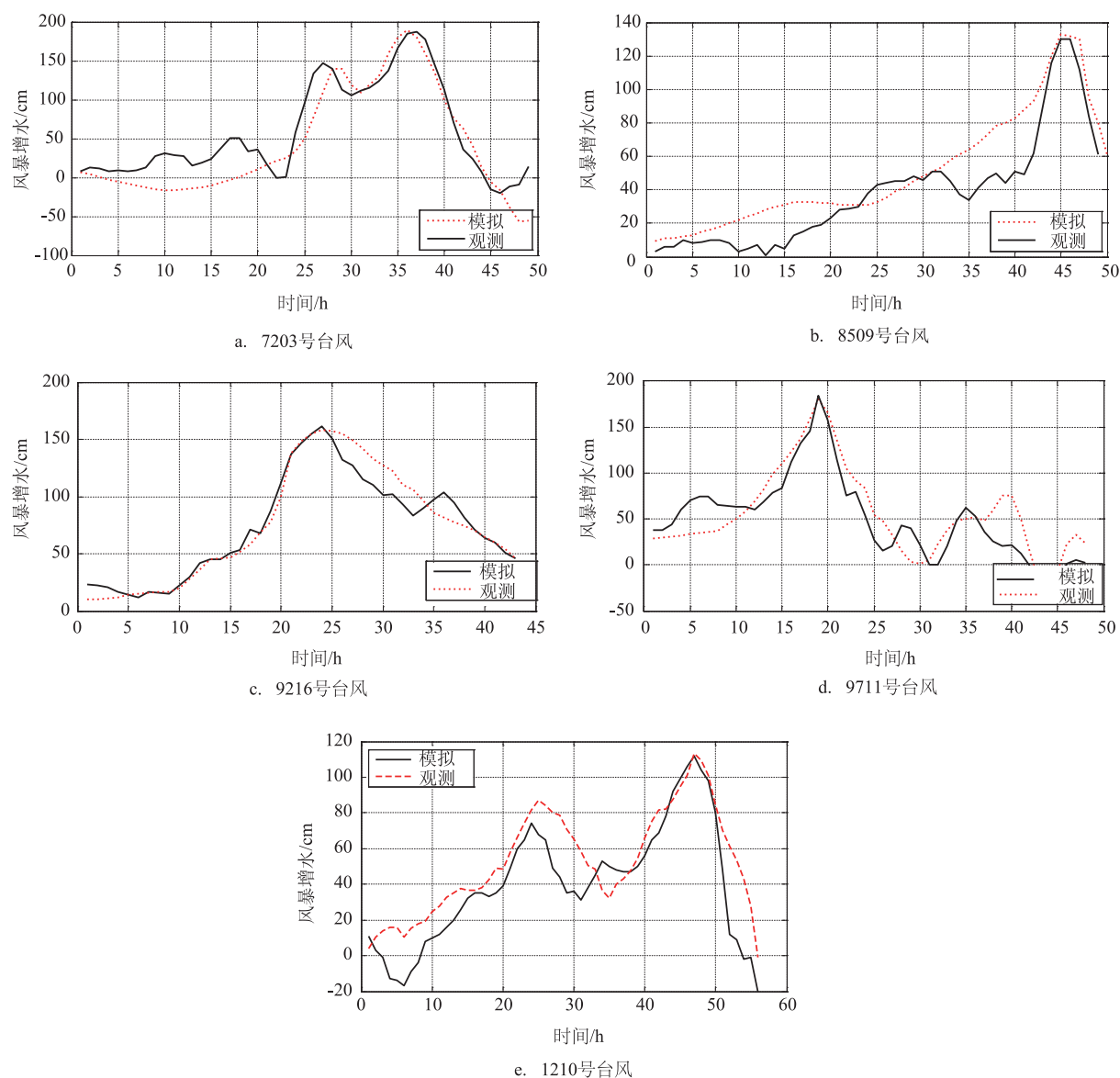


图3 典型台风过程验证图(塘沽站风暴增水模拟与观测值对比)

表2 天津近海可能最大台风风暴潮计算结果表

假想台风编号	台风类型	增水极值/m	减水极值/m	台风类型	增水极值/m	减水极值/m
1	NW	1.40	-0.38	N	1.60	-0.29
2		1.50	-0.25		1.80	-0.43
3		2.30	-0.23		2.10	-0.64
4		3.10	-0.20		2.30	-0.87
5		3.60	-0.23		2.70	-1.00
6		3.00	-0.28		2.40	-0.86

种台风路径的间隔为台风最大风速半径 50 km) 的风暴潮增减水过程,数值模拟结果列于表 2 中。从表 2 中可以看出: NW 向型假想台风路径 5 引起天津

近海可能最大台风增水,增水值为 3.60 m, N 向型假想台风路径 5 引起天津近海可能最大台风减水,减水值为 -1.00 m。由于影响天津近海的台风进入渤

海后速度较快,离岸风作用时间短,所以引起的减水较小。

天津地区由于其特殊性,影响到的台风较少,从1949—2012年,以塘沽站为中心,进入其300 km范围内的台风过程约有14个,均发生在7月或者8月。另外统计了塘沽站1951—2014年累年逐月减水的最大值、最小值以及减水大于 -1.3 m的减水发生的次数,7月和8月减水最大值分别为 -0.78 m和 -1.23 m,远远小于其他10月的 -2.43 m和1月的 -2.44 m,另外7月和8月两个月份均没有发生减水大于 -1.3 m的过程。所以天津近海的可能最大减水应发生温带过程期间。

4 温带可能最大风暴增减水计算

4.1 模型参数设置及模型检验

温带可能最大风暴增水的计算采用的模型与可能最大台风增水计算一样,其模型设置也一样,但输入的风场和气压场不同。为了检验温带风暴潮,分别模拟了1次显著的温带风暴减水过程(2007

年3月4—7日)和2次显著的温带风暴增水过程(2009年2月10—15日和2009年4月18—22日);输入风场为MM5中尺度数值预报模式的 $2' \times 2'$ 再分析风场,其验证结果见图4。从验证结果可以看出,就各过程最大增、减水值而言,不论从两者位相差和量值差来考察,都表明所建立的温带气旋风暴潮模式满足计算要求。

4.2 温带风暴敏感性实验

为了确定引起天津近海的温带天气系统最大增、减水的方位,对16个方位采用定常风速(20 m/s)进行计算,计算结果见表3。从表中可以看出,引起天津近海的最大增水的风向是ESE,最大减水的风向是WNW。

4.3 可能最大温带天气系统增水

温带可能最大风暴增水计算所采用的风速按照以下方法构建:其一,所有计算过程时间长度48 h;其二,所有计算过程从6级风(12 m/s)开始,按抛物线分布,到24 h达到千年一遇风速值(ESE风,风速

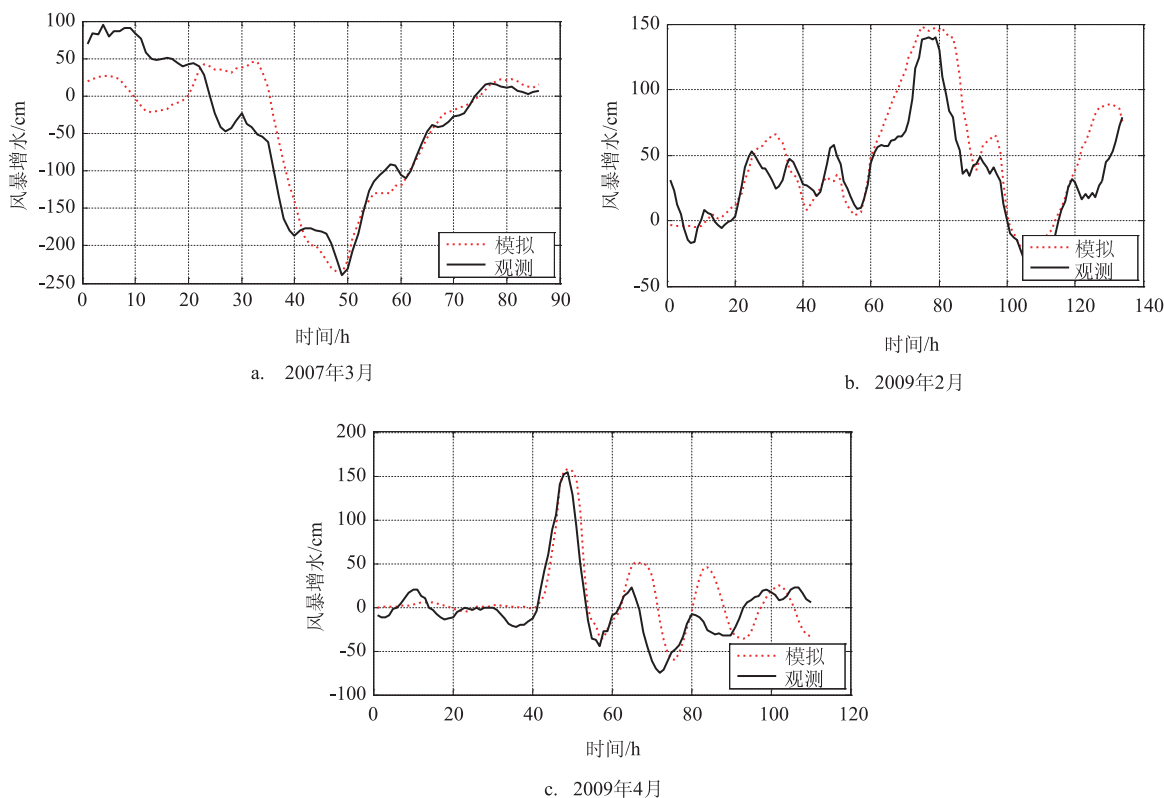


图4 典型温带风暴过程验证图(塘沽站风暴增水模拟与观测值对比)

表3 16个方位常风(20 m/s)吹48 h天津近海增、减水(m)

风向	最大增水	最大减水
N	0.70	-1.20
NNE	1.30	-0.19
NE	1.70	—
ENE	2.20	—
E	2.50	—
ESE	2.70	—
SE	2.60	—
SSE	2.10	—
S	1.20	-0.67
SSW	0.26	-1.30
SW	—	-1.80
WSW	—	-2.50
W	—	-2.90
WNW	—	-3.00
NW	—	-2.70
NNW	—	-2.10

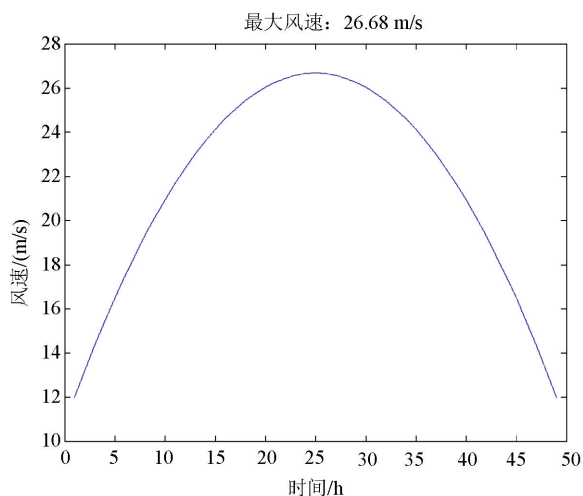


图5 千年一遇ESE风速随时间变化的过程曲线

为26.68 m/s),此后按抛物线分布风速下降,直到48 h,风速随时间变化的过程(见图5)。计算出天津近海的可能最大温带天气系统增水为3.30 m(见图6)。

4.4 可能最大温带天气系统减水

温带可能最大风暴减水计算所采用的风速按照以下方法构建:其一,所有计算过程时间长度48 h;其二,所有计算过程从6级风(12 m/s)开始,按抛物线分布,到24 h达到千年一遇风速值(WNW风,风速

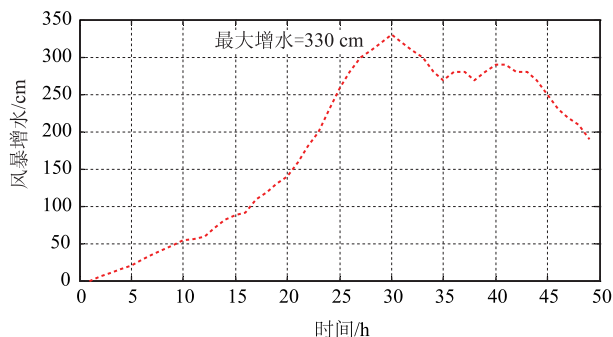


图6 温带天气系统可能最大增水曲线

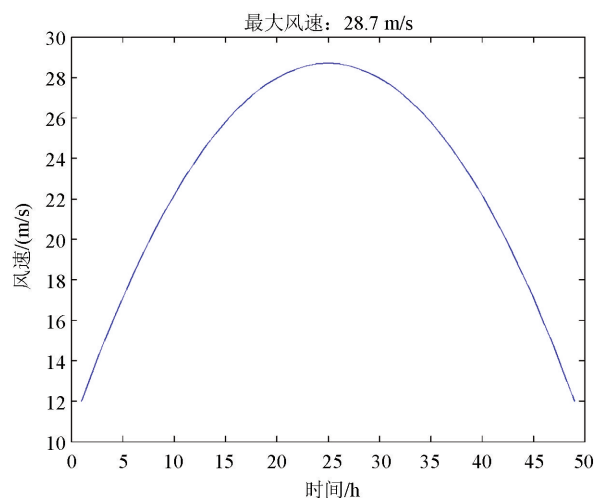


图7 千年一遇WNW风速随时间变化的过程曲线

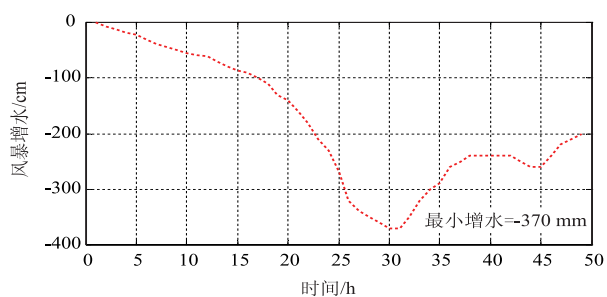


图8 温带天气系统可能最大减水曲线

为28.70 m/s),此后按抛物线分布风速下降,直到48 h,计算出天津近海的可能最大温带天气系统减水为-3.70 m(见图8)。

5 结论

(1)1951—2013年,塘沽站共出现0.50 m以上

的风暴增水3 128 d,平均每年50.5 d,其中1.00 m以上的风暴增水共有405 d,平均每年6.5 d;

(2)该海域出现较大减水的频率比出现较大增水的频率大。例如,超过1.20 m的增水平均每44.58 d出现一次;超过-1.20 m的减水则平均每16.74 d出现一次。这也说明在天津近海区域离岸风导致的减水事件发生的概率较大。在增减水幅度方面,增水历史极值和减水历史极值量值相当,1951—2013年期间的最大增水为2.35 m,最大减水为-2.44 m;

(3)通过统计历史台风过程,确定了PMTc参数,计算了天津近海台风可能最大风暴增减水,得到了最大台风风暴增水为3.60 m,最大台风风暴减水为-1.00 m;

(4)通过温带风暴潮增减水的计算,得到了天津近海温带最大风暴增水为3.30 m,最大温带风暴减水为-3.70 m。由此确定了天津近海的可能最大风暴增水为3.60 m,由西北向理想台风路径5引起,可能最大风暴减水为-3.70 m,由温带气旋引起(WNW风,风速为29 m/s);

(5)采用P-III分布曲线计算的塘沽站千年一遇的增水和减水分别为3.24 m、-3.26 m,本文采用数值模拟计算的可能最大增水和减水分别为3.60 m、-3.70 m。二者的差别分别是0.36 m、0.44 m,数值模拟的结果大于统计分析的结果。

参考文献:

[1] 国家海洋局. 2000-2013年中国海洋灾害公报[R]. 2013.

- [2] 刘安国, 张德山. 环渤海的历史风暴潮探讨[J]. 青岛海洋大学学报, 1991, 21(2): 21-36.
- [3] 王慧, 刘克修, 范文静, 等. 2012年中国沿海海平面上升显著成因分析[J]. 海洋学报, 2014, 36(5): 8-17.
- [4] 王慧, 范文静, 高志刚. 渤海湾沿海季节性海平面异常偏高成因分析[J]. 海洋通报, 2012, 31(6): 613-620.
- [5] 王一红, 尚嗣荣. 渤海湾风暴潮灾害及对策[J]. 灾害学, 1999, 14(3): 70-74.
- [6] 莎日娜, 尹宝树, 杨德周, 等. 天津近岸台风风暴潮漫滩数值模式研究[J]. 海洋科学, 2007, 31(7): 63-67.
- [7] 许富祥. 天津沿海三次特大风暴潮灾成因分析及预防对策[J]. 海洋预报, 2002, 19(1): 36-42.
- [8] 于福江, 王喜年, 宋珊, 等. 渤海“9216”特大风暴潮过程的数值模拟[J]. 海洋预报, 2000, 17(4): 9-15.
- [9] 傅赐福, 于福江, 王培涛, 等. 滨海新区温带风暴潮灾害风险评估研究[J]. 海洋学报, 2013, 35(1): 55-62.
- [10] 杨晓君, 何金海, 吕江津, 等. 对一次温带气旋引发渤海风暴潮过程的数值模拟[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(4): 61-65.
- [11] 王喜年. 风暴潮预报知识讲座 第七讲 风暴潮风险分析与计算[J]. 海洋预报, 2002, 19(4): 73-76.
- [12] Fujita T. Pressure Distribution within a Typhoon[J]. Geophysical Magazine, 1952, 23: 437-451.
- [13] Jelesnianski C P, Chen J, Shaffer W A. SLOSH: Sea, Lake and Overland Surges from Hurricanes[R]. NOAA Technical Report, 1992, 48: 71.
- [14] Veno T. Numerical Computations of the Storm Surges in Tosa Bay [J]. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 1981, 37(2): 61-73.
- [15] 王喜年, 尹庆江, 张保明. 中国海台风风暴潮预报模式的研究与应用[J]. 水科学进展, 1991, 2(1): 1-10.

Study on the simulation of probable maximum storm surge in the coastal area of Tianjin

WU Shuang-quan¹, CUI Xiao-jian¹, GAO Zhi-gang¹, PAN Song¹, CHEN Chen², ZHANG Jian-li¹,
GENG Shan-shan¹, Li Xiang¹

(1. National Marine Data and Information Service, SOA, Tianjin 300171 China;

2. Institute of Seawater Desalination and Multipurpose Utilization, SOA, Tianjin 300192 China)

Abstract: In this paper, the variation rule of the storm surges of Tianjin coastal area was analyzed by using the observed data. The result shows the extra-tropical storm surge in winter has higher frequency while the tropical storm surge in summer may cause highest sea level rise, and these two types of storm surge may lead to maximum disaster. For the tropical storm surge, the statistics of historical tropical process are completed to generate the PMTC (Probable Maximum Tropical Cyclone) parameter, and then a model is established to calculate the PMSS (Probable Maximum Storm Surge) with a value of 3.6 m. For the extra-tropical storm surge, a sensitivity experiment was implemented to find the direction of PMSS, and then the PMSS is calculated with a positive value of 3.3 m and negative value of 3.7 m. In conclusion, the PMSS of Tianjin coastal sea is 3.6 m in summer and Probable maximum negative Storm Surge is -3.7 m in winter.

Key words: Tianjin coastal area; storm surge; PMSS