

# 葫芦岛核电站可能最大风暴潮 (PMSS) 数值模拟研究

齐江辉, 郑亚雄, 梁双令, 章红雨

(武汉第二船舶设计研究所, 湖北 武汉 430064)

**摘 要:** 核电厂厂址的可能最大风暴潮(Possible Maximum Storm Surege, PMSS)是滨海核电厂厂址重要的设计基准之一。基于 ADCIRC 风暴潮模式计算葫芦岛地区的风暴潮,同时对网格进行精细化处理,网格分辨率精度较高。首先为检验数值模式的准确性,分别模拟了辽东湾地区发生的 6005 号、7203 号和 7303 号典型台风风暴潮过程,计算葫芦岛站风暴潮最大增水值并与实测资料进行对比,计算表明本文模拟结果与实测结果吻合良好,验证了本文数值计算模型的准确性,为可能最大风暴潮(PMSS)的计算提供了依据。以渤海典型台风 7303 号台风为基础,建立多条影响核电站厂址的台风路径,计算得到 201 条派生路径下核电站厂址的最大风暴增水情况,为核电站厂址选址提供了重要依据。

**关键词:** 滨海核电厂; PMSS; 风暴潮; 葫芦岛

**中图分类号:** P731.23; TL48

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-3682(2018)02-0041-09

**doi:** 10.3969/j.issn.1002-3682.2018.02.005

辽东湾地区分布有多个滨海核电厂,辽东湾滨海地区极易遭受热带气旋(台风)引起的风暴潮灾害。核安全导则 HAD101-09《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》中提出滨海厂址洪水类型中最严重的一种是可能最大风暴潮引起的洪水,因此可能最大风暴潮计算对滨海核电站选址有重要意义<sup>[1]</sup>。同时,台风引起的近海风暴潮可能最大增水是风暴潮灾害的重点<sup>[2]</sup>。对台风引起的可能最大风暴潮增水研究具有实际意义。冯士筭指出风暴潮的研究可以减少风暴潮灾害损失的 5%<sup>[3]</sup>。PMSS 的计算需要经过检验的风暴潮数值模型,因此建立该地区准确的风暴潮数值模型是进行 PMSS 计算的前提条件。

对沿海地区风暴潮可能最大增水的研究与预报,如应仁方和羊天柱在数值模式下模拟了吴淞地区可能发生的台风增水<sup>[4]</sup>;李杰等基于 CTS 等模式对东海、台湾海峡等的风暴潮过程进行了模拟<sup>[5]</sup>;羊天柱采用经验统计的方法对浙江沿海风暴潮灾害进行了数学统计分析<sup>[6]</sup>;而基于已有海洋气象模式进行分析,如王培涛等<sup>[7]</sup>和吴玮等<sup>[8]</sup>用 ADCIRC 模式对福建等地区的风暴潮增水进行了数值模拟;基于 POM 模式,李永平等<sup>[9]</sup>建立了风暴潮数值预报方法。本文采用 ADCIRC(An (Parallel) Advanced Circulation Model for Oceanic, Coastal and Estuarine Waters)海洋预报模式,同时基于三角形网格的有限体积法建立风暴潮数值模型,分辨率较高,可以较好地拟合葫芦岛沿海的海岸线,便于得到更精确的台风风暴潮最高水位。ADCIRC 模型是目前国际上较常用的风暴潮数值模型,基于有限元方法、垂向平均二维、正压的水动力模式,具有计算速度快,精确性和稳定性高的特点。利用该模型模拟了辽东湾典型的 3 次台风风暴潮过程,验证了数值模型的准确性。同时以渤海最典型台风为基础,计算影响核电站厂址的所有台风路径得到各路径下核电站厂址的台风最大增水,为核电站选址提供重要依据。

**收稿日期:** 2017-09-06

**资助项目:** 国家能源应用技术研究及示范工程项目——海洋核动力平台运行厂址环境条件要求研究(NY20150201)

**作者简介:** 齐江辉(1990-),男,工程师,硕士,主要从事浮动核电站厂址设计基准计算方面研究. E-mail: qijianghui1028@163.com

(王 燕 编辑)

## 1 数值模型简介

### 1.1 风暴潮数值模型

采用 ADCIRC 二维模型建立风暴潮数值模型<sup>[10]</sup>,其中自由表面起伏、二维流速共 3 个变量为未知量,即  $(\zeta, u, v)$ 。笛卡尔坐标系下的连续方程和动量方程可以写为

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + S \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} - \frac{VH \tan \phi}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + SU \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - \left( \frac{U \tan \phi}{R} + f \right) V = -S \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{p_s}{\rho_0} + g(\zeta - \eta) \right] + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho_0 H} + D_x, \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + SU \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - \left( \frac{U \tan \phi}{R} + f \right) U = -S \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{p_s}{\rho_0} + g(\zeta - \eta) \right] + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho_0 H} + D_y. \quad (3)$$

以上球面方程通过 CPP(Carte Parallelo-grammatique)圆柱方法投影到笛卡尔坐标系中:

$$x = R(\lambda - \lambda_0) \cos \phi_0, \quad (4)$$

$$y = R\phi, \quad (5)$$

$$S = \frac{\cos \phi_0}{\cos \phi}. \quad (6)$$

式中,  $t$  为时间;  $x, y$  分别为向东为正和向北为正的坐标系;  $\lambda, \phi$  分别为经度和纬度;  $\lambda_0, \phi_0$  分别为网格计算区域中心点的经度和纬度;  $U, V$  为海水的水平平均流速 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $\zeta$  为从平均海平面起算的自由表面高度 ( $\text{m}$ );  $H = \zeta + h$  即海水水柱的总水深 ( $\text{m}$ ),  $h(x, y)$  为未扰动的海洋水深, 即平均海平面至海底的距离 ( $\text{m}$ );  $R$  为球坐标系下半径值 ( $\text{m}$ );  $f = 2\Omega \sin \phi$  为科式参数,  $\Omega$  为地球的自转角速度,  $P_s$  为海水自由表面的大气压强 ( $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ );  $\rho_0$  为海水密度, 文中默认其值为  $1\,025 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $g$  为重力加速度 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ );  $\eta$  为牛顿引潮势 ( $\text{m}$ );  $\tau_{sx}, \tau_{sy}$  为海表面应力的  $x$  和  $y$  方向分量 ( $\text{N}$ ), 可包括风应力和海浪辐射应力;  $\tau_{bx}, \tau_{by}$  为海底摩擦力的  $x$  和  $y$  方向分量 ( $\text{N}$ );  $D_x, D_y$  为动量方程的水平扩散项。

计算初始条件:  $\zeta = u = v = 0$ 。

海岸边界条件: 边界的法向速度为 0。

开边界条件: 辐射边界条件, 文中由  $M_2, S_2, K_2, N_2, K_1, O_1, P_1, Q_1$  八个分潮驱动计算, 各分潮调和常数取自全球潮汐模型 NAO99。

计算求解时, 时间上采用有限差分法, 空间上采用有限元法, 时间步长取为 10 s, 满足 CFL(收敛性判断条件)条件。

底摩擦力  $\tau_B$  与深度平均流速呈二次平方律关系, 在 ADCIRC 中  $\tau_B$  有 3 种不同的形式: 线性、二次和混合形式。本文采用混合公式, 其中混合形式<sup>[11]</sup>为

$$C_f = C_{f \min} \left[ 1 + \left( \frac{H_{\text{break}}}{H} \right)^\theta \right]^{\frac{\lambda}{\theta}}, \quad (7)$$

式中:  $C_{f \min}$  为最小底摩擦因子, 本文取值 0.001 8;  $H_{\text{break}}$  为临界水深, 本文取值 3.0 m;  $\theta$  用来控制混合公式接近其上下限的快慢, 本文取值 10;  $\lambda$  取值 1/3。当  $H$  和  $H_{\text{break}}$  同量级, 即在靠近陆地的近海区域时,  $C_f$  将呈指数增大, 这样可以客观地、整体地刻画深海和近海的底摩擦力。

### 1.2 台风风场与风应力计算

风应力值和气压值作为风暴潮模式计算输入, 因此风场和气压场与实际情况的吻合度对风暴潮模拟结果的精确度有重要影响。本文风暴潮数值模拟中选用 Holland<sup>[12]</sup> 台风风场模型:

$$P(r, \theta) = P_c + (P_n - P_c)e^{-[R_{\max}(\theta)/r]^B}, \quad (8)$$

式中,  $P(r, \theta)$  是径向距离  $r$  处的海面气压值,  $\theta$  为方位角;  $P_c$  为台风中心气压;  $P_n$  为台风以外不受干扰的背景气压, 本文中  $P_n = 1.021 \times 10^5$  Pa;  $R_{\max}$  为台风最大风速半径, 为  $\theta$  和  $r$  的函数<sup>[13]</sup>;  $B = \frac{[(V_{\max} - V_T)/WR]^2 \rho_a e}{P_n - P_c}$  是台风轮廓参数<sup>[12]</sup>, 根据经验, 文中设定  $B$  的范围为 1.0~2.5。

$$\theta = \begin{cases} 10 \frac{r}{R_{\max}} & 0 \leq r < R_{\max} \\ 10 + 75 \left( \frac{r}{R_{\max}} \right) & R_{\max} \leq r < 1.2R_{\max}, \\ 25 & r > 1.2R_{\max} \end{cases} \quad (9)$$

确定气压场后, 根据梯度公式可以得到理论台风风场, 距离台风中心( $r$ )的切向风速  $V_{\text{asmy}}$  为

$$V_{\text{asmy}} = \left( \frac{B}{\rho_a} \left[ \frac{R_{\max}(\theta)}{r} \right]^B (P_n - P_c) e^{-[R_{\max}(\theta)/r]^B} + \left( \frac{rf}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{rf}{2}, \quad (10)$$

式中,  $f$  为科氏参数,  $B$  为台风轮廓参数, 一般取值 1.0~2.5。从式(10)中可以看出, 该风场模型计算得到的风速不是对称的, 在台风移动速度的右半圆科氏力作用而使得风速加强, 相反, 左半圆风速减弱, 这也与观测事实相符。

台风风场算得的风速和温带风场中的风速通过公式(11)采用二次律算出风应力。ADCIRC 中关于风应力的表达式为

$$\vec{\tau} = C_d \rho_a \vec{W} |\vec{W}|, \quad (11)$$

式中,  $C_d$  为拖曳系数, 采用 Garratt 公式  $C_d = 0.001 * (0.75 + 0.667 * \vec{W})$  计算, 若  $C_d$  超过了 0.003, 则  $C_d = 0.003$ ; 第一个  $\vec{W}$  为海面上 10 m 处风速; 第二个  $\vec{W}$  为海面上 10 m 处风速的大小。

### 1.3 网格设计与水深分布

风暴潮数值模拟的精确度与计算区域大小关系密切。通常计算区域的尺度尽量与台风尺度相同, 这样就可以比较准确地刻画计算域水边界。同时, 数值模拟的精度也与网格的精细程度密切相关。在浅水区域, 如陆架区、河口区等, 海岸形状和海水深度对风暴潮的影响是十分重要的, 因此这些区域的网格需要更加精细化处理<sup>[14]</sup>。

根据以上分析, 本文中计算区域整体加大, 同时在台风路径及入渤海口区域网格重点加密。因此, 本文采用变网格系统模拟辽东湾海域的风暴潮。计算中开边界网格分辨率为 20 km, 在辽东湾沿岸的空间分辨率为 200 m 左右, 其他较为平坦的海岸网格分辨率为 1 500~2 000 m, 网格水深分布见图 1, 渤海湾整体计算区域及辽东湾局部区域网格划分如图 2 所示。

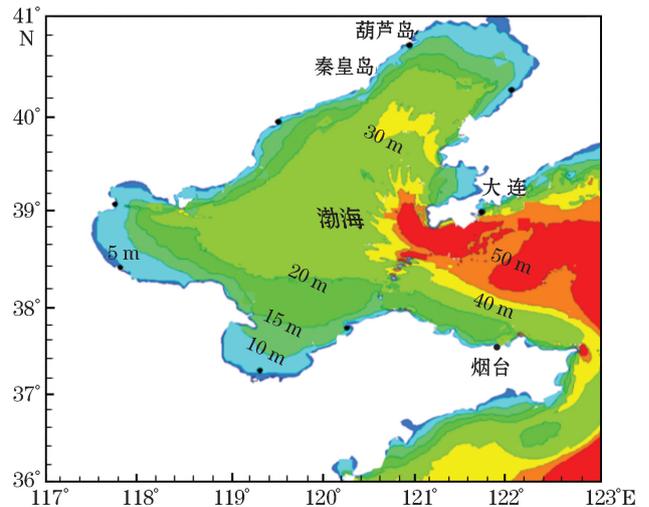


图 1 计算区域网格水深分布图

Fig.1 Water depth distribution of mesh in the computational region

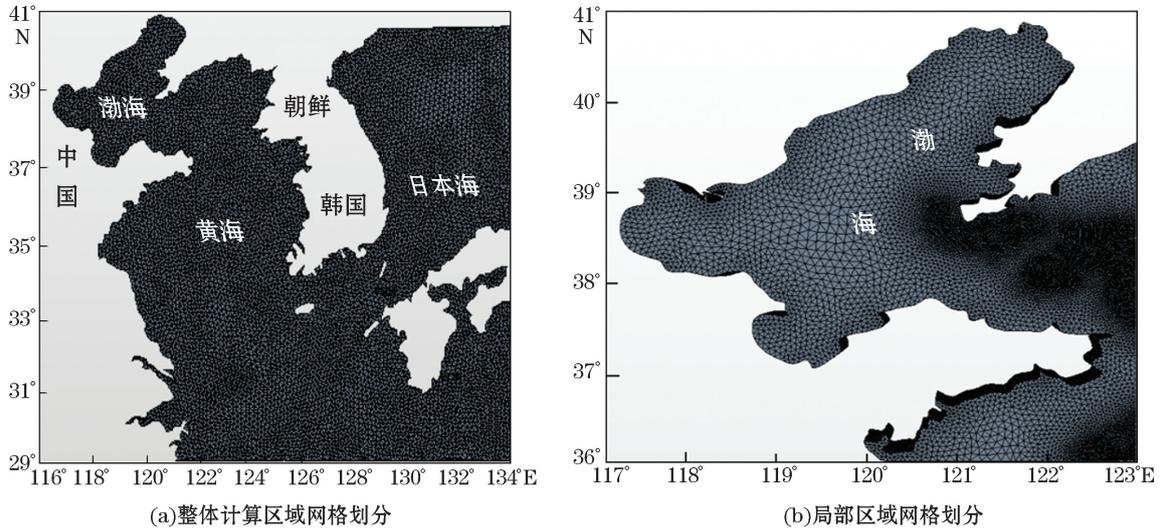


图 2 计算域网格划分图

Fig.2 Mesh generation in the computational region

## 2 风暴潮数值模式后报检验

基于建立的海洋数值模型,对辽东湾地区典型的 6005 号(Polly)、7203 号(Rita)以及 7303 号(Billie)台风风暴潮过程进行数值模拟计算,并将计算结果与各验潮站实测结果进行对比(表 1)。3 个典型台风路径图如图 3 所示。

表 1 辽东湾典型台风的主要信息

Table 1 The main information about the typical typhoons in the Liaodong Bay

台风编号及名称	初次登陆地点	中心气压/hPa	近中心最大风速/ $m \cdot s^{-1}$	葫芦岛最大增水/cm
6005 号 Polly	山东乳山	910	70	117
7203 号 Rita	山东荣成	911	65	210
7303 号 Billie	山东乳山	920	60	125

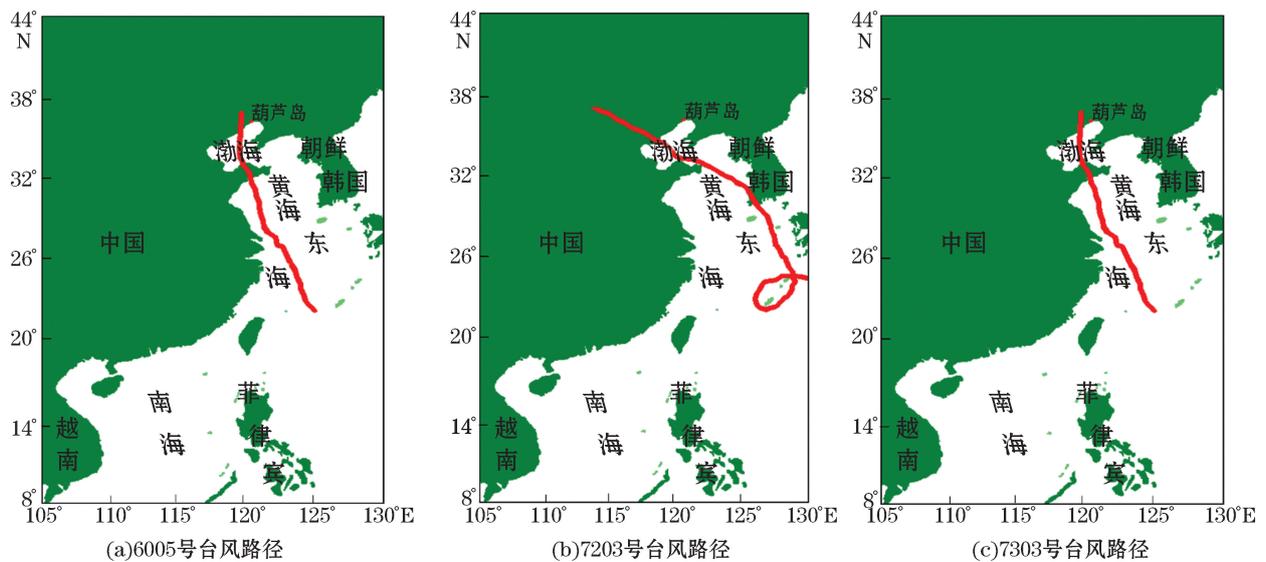


图 3 辽东湾典型台风路径

Fig.3 Paths of typical typhoons in the Liaodong Bay

将 6005 号、7203 号以及 7303 号台风期间葫芦岛站风暴潮增水的计算值与实测值进行对比,结果如图 4 所示。从图中可以看出各台风风暴潮增水变化趋势与实测值一致,台风期间最大风暴增水值与实测值吻合良好,说明本文数值模式对辽东湾 3 次典型台风风暴潮增水的模拟效果较好。各观测站增水极值实测值与计算值对比结果见表 2。3 个典型台风的最大绝对误差为 10 cm(7303 号台风),绝对误差平均值为 7 cm;最大相对误差为 8.1%,绝对误差平均值为 4.7%。所以,本文海洋数值模型的计算结果与各验潮站实测结果吻合良好,数值模型准确度较高,为可能最大风暴潮的计算奠定了基础。

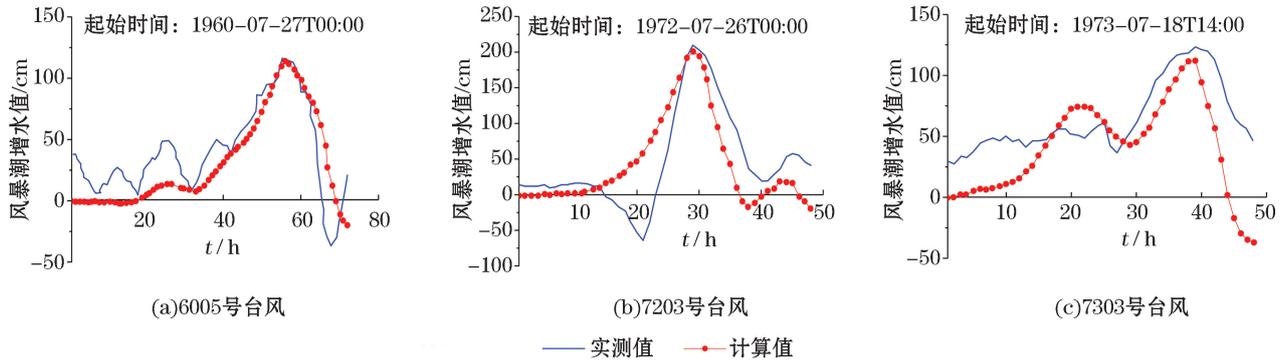


图 4 6005 号、7203 号和 7303 号台风期间葫芦岛风暴潮实测值与计算值对比  
Fig.4 Comparison between the measured and the calculated results of storm surge in the Huludao area during Typhoons No.6005, No.7203 and No.7303

表 2 增水极值计算值与实测值对比

Table 2 Comparison between the calculated and the measured values of the water increasing extremum

台风编号	实测值/cm	计算值/cm	绝对误差/cm	相对误差/%
6005 号	116	114	2	1.7
7203 号	210	201	9	4.3
7303 号	123	113	10	8.1

### 3 可能最大风暴潮(PMSS)计算

#### 3.1 可能最大热带气旋(PMTC)参数的确定

计算可能最大风暴潮(PMSS)时,准确的风暴潮数值模型是基础,而可能最大热带气旋(Possible Maximum Tropical Cyclones, PMTC)中各参数选取的准确与否是 PMSS 计算准确性的关键。核安全法规 HAD101-11《核电厂设计基准热带气旋》<sup>[15]</sup>指出,PMTC 参数中的数值通常可以由国际或国内的气象部门或由研究机构所发表的报告、总结或文章中获得。徐大堡核电站热带气旋资料调查范围以厂址为中心,半径 300 km 的区域,资料年限为 1949—2008 年,长达 60 a<sup>①</sup>。而葫芦岛拟建核电站与徐大堡核电站距离约 50 km,因此计算建造厂址的 PMTC 参数采用徐大堡核电站计算 PMSS 时采用的台风参数:

- 1) 台风中心气压  $P_0$ 。取值 947 hPa,考虑填塞影响取值 952 hPa;外围气压  $P_\infty$ 取值 1 010 hPa。
- 2) 台风最大风速半径取值 50 km。

① 中核辽宁核电有限公司. 辽宁徐大堡核电厂一期工程环境影响报告书. 2009: 2-22.

3) 台风移速为  $36.7 \text{ m/s}$ , 移动方向  $\theta=315^\circ$ 。

### 3.2 可能最大热带气旋(PMTC)路径确定

根据上述的可能最大热带气旋(PMTC)参数及模型进行计算,数值模拟表明,核电厂厂址的风暴潮随着台风移速的增大而增大。根据中央气象台与中国台风网数据显示:7203号、7303号和8509号台风均是建国后渤海地区发生的速度最快的台风。这3种最快移速台风中,7303号台风为北向型台风,其进入渤海后移速达到  $54 \text{ km/h}$ ;8509号台风为东北向型台风,其进入渤海后移速达到  $39 \text{ km/h}$ ;7203号台风为西北向型台风,其进入渤海后移速达到  $25 \text{ km/h}$ 。因此,以北向型7303号台风移向和移速为基础,以该台风为中心向左、向右各偏转  $15^\circ$ 和  $30^\circ$ ,然后以每条原路径为中心,以  $R/4$ 为间隔距离南、北各平移20个单位,可得到41条路径,共计得到205条路径,这些路径包括了影响核电站厂址的所有台风路径。各路径图见图5,以下路径均以北向为0。

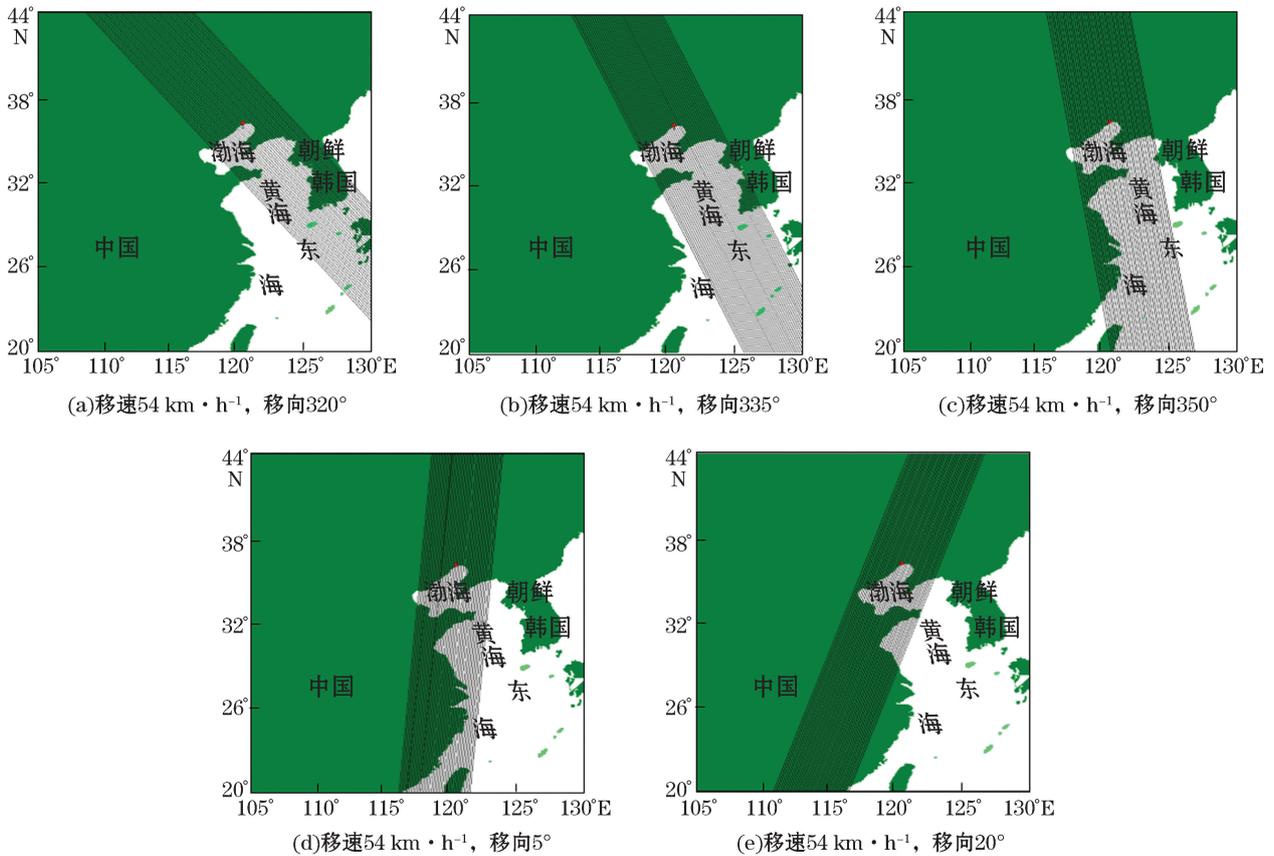


图5 计算的PMTC路径

Fig.5 The calculated paths of PMTC

### 3.3 PMSS 计算

结合已确定的台风参数,利用风暴潮数值模型开展PMSS计算。对各移向主要路径可能最大风暴增水进行计算,计算得到201条路径下建造厂址最大风暴增水如图6所示,统计厂址最大风暴潮增水以及对应的派生路径如表3所示。

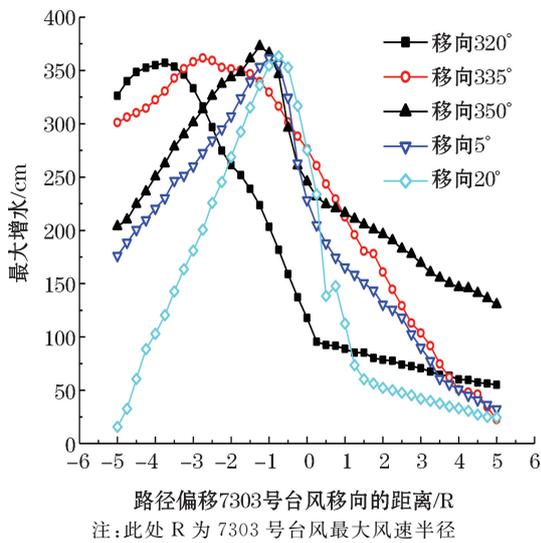
图6为PMTC不同派生路径的最大增水计算结果图,图中横坐标表示各派生路径距7303号台风移向的偏移距离,其中正值表示向右偏移,负值表示向左偏移;纵坐标表示各派生路径的最大增水值。可以看出:

N, NWN, WN 和 NEN 型均能在建造厂址引起超过 350 cm 的最大增水, 结果相差不大, 而引起核电站厂址最大风暴增水的是北向型路径且距离核电站厂址左侧 1.25R, 最大风暴增水为 372.6 cm。最大风暴增水对应路径图见图 7, 增水过程曲线见图 8。

表 3 厂址最大增水计算结果及对应派生路径

Table 3 The calculated results of the maximum water increase at the site of nuclear power plant and the corresponding derivative paths

增水及路径	移向 320°	移向 335°	移向 350°	移向 5°	移向 20°
厂址最大增水/cm	357.1	361.8	372.6	361.4	363.3
对应派生路径	-15R/4	-11R/4	-5R/4	-4R/4	-3R/4



路径偏移7303号台风移向的距离/R  
注:此处 R 为 7303 号台风最大风速半径

图 6 不同派生路径的最大增水

Fig.6 The maximum water increase along different derivative paths

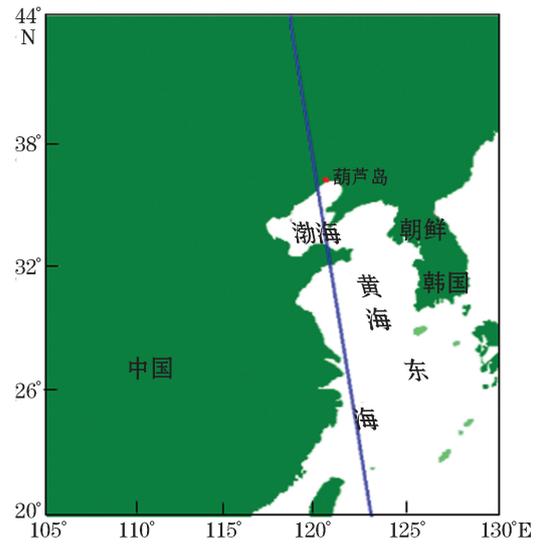


图 7 引起 PMSS(372.6 cm)的台风路径

Fig.7 The typhoon path causing PMSS (372.6 cm)

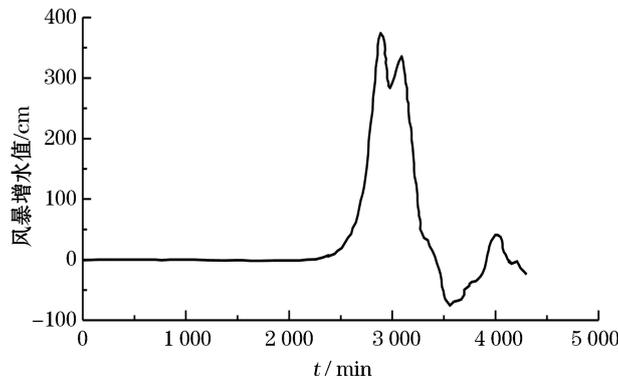


图 8 厂址台风 PMSS 过程曲线

Fig.8 The process of PMSS caused by typhoon at the site of nuclear power plant

## 4 结 语

基于 ADCIRC 风暴潮模式,模拟了辽东湾地区典型风暴潮 6005 号、7203 号和 7303 号增水过程。结果表明台风风暴潮增水过程模拟与各观测站实测结果吻合良好,验证了本文数值模型的正确性,为最大可能风暴潮计算奠定了基础。典型台风风暴潮增水极值计算值与实测值相对误差值最大为 8.1%,产生误差的原因可能是由于未考虑葫芦岛与徐大堡之间气象参数的差别或者是计算中未考虑海浪的影响。

以渤海海域典型台风 7303 号台风移向和移速为基础,建立包括所有影响核电站厂址的台风路径,计算各派生路径下台风风暴潮最大增水。结果表明,北向路径且距离核电站厂址左侧  $1.25R$  处出现最大风暴增水 372.6 cm。通过验证了的风暴潮数值预报模式,计算了葫芦岛核电站厂址可能出现的最大风暴增水,为核电站的厂址环境评价提供了重要依据,同时也为后续核电站运行环境监测提供了有力保障。

### 参考文献 (References):

- [1] National Nuclear Safety Administration, Determination of datum flood for site design of costal nuclear power plant; HAD101-09[S]. Beijing: National Nuclear Safety Administration, 1991. 国家核安局. 滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定; HAD101-09[S]. 北京: 国家核安全局, 1991.
- [2] BAO C L. Marine disasters and forecasts[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991: 43-86. 包澄澜. 海洋灾害及预报[M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 43-86.
- [3] FENG S Z. The advance of researches on storm surges[J]. World Sci-Tech R&D, 1998, 20(4): 44-47. 冯士筭. 风暴潮的研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 1998, 20(4): 44-47.
- [4] YING R F, YANG T Z. Numerical calculation of Wusong storm surge and analysis of possible maximum water level in the study of flood control water level in Shanghai[J]. Haiyang Xuebao, 1986, 8(4): 423-428. 应仁方, 羊天柱. 上海防洪水位研究中吴淞台风风暴潮数值计算与可能最高潮位的分析[J]. 海洋学报, 1986, 8(4): 423-428.
- [5] LI J, YU F J, ZHONG Z, et al. Influence of steady uniform currents on the simulation of storm surges[J]. Marine Forecasts, 2002, 28(5): 48-53. 李杰, 于福江, 钟中, 等. 背景流场对台风风暴潮数值预报的影响研究[J]. 海洋预报, 2002, 28(5): 48-53.
- [6] YANG T Z. Storm tide disaster in Zhejiang coastal and countermeasures[J]. Donghai Marine Science, 1992, 10(3): 24-28. 羊天柱. 浙江沿海风暴潮灾害及其减灾对策[J]. 东海海洋, 1992, 10(3): 24-28.
- [7] WANG P T, YU F J, LIU Q X, et al. The research and application of the numerical prediction technology of the fine typhoon storm tide in Fujian coast[J]. Marine Forecasts, 2012, 29(2): 25-30. 王培涛, 于福江, 刘秋兴, 等. 福建沿海精细化台风风暴潮集合数值预报技术研究及应用[J]. 海洋预报, 2012, 29(2): 25-30.
- [8] WU W, LIU Q X, YU F J, et al. Inundation risk assessment of typhoon storm surge along Taizhou coastal areas[J]. Marine Forecasts, 2012, 29(2): 25-30. 吴玮, 刘秋兴, 于福江, 等. 台州沿海地区台风风暴潮淹没风险分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(2): 25-30.
- [9] LI Y P, YU Y L, ZHENG Y X. A numerical forecast system for typhoon storm surge over China coast[J]. Marine Forecasts, 2010, 27(6): 7-15. 李永平, 于润玲, 郑运霞. 一个我国沿岸台风风暴潮数值预报系统的建立与应用[J]. 海洋预报, 2010, 27(6): 7-15.
- [10] WESTERINK J J, LUETTICH R A, BAPTISTA A M, et al. Tide and storm surge predictions using finite element model[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991, 118(10): 1373-1390.
- [11] ZHANG Y X. Risk assessment method and application of typhoon storm surge based on ADCIRC[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014. 张月霞. 基于 ADCIRC 模式的台风风暴潮灾害风险评估方法[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [12] HOLLAND G J. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes[J]. Monthly Weather Review, 1980, 108(8): 1212-1218.
- [13] LUO F, SHENG J M, PAN X S, et al. Study and applications of refined storm surge model for Jiangsu coast[J]. Journal of Nanjing University, 2014, 50(5): 687-684. 罗锋, 盛建明, 潘锡山, 等. 江苏沿海精细化风暴潮模式研究与应用[J]. 南京大学学报, 2014, 50(5): 687-684.
- [14] YU F J, WANG X N, DAI M R. Analysis and numerical simulation of some severe extratropical storm surges influenced on Lianyungang[J]. Marine Forecast, 2002, 19(1): 113-122. 于福江, 王喜年, 戴明瑞. 影响连云港的几次显著温带风暴潮过程分析及数值模拟[J]. 海洋预报, 2002, 19(1): 113-122.

- [15] National Nuclear Safety Administration. The design datum of the tropical cyclone in a nuclear power plant: HAD101-11[S]. Beijing: National Nuclear Safety Administration, 1991. 国家核安局. 核电厂设计基准热带气旋: HAD101-11[S]. 北京:国家核安全局, 1991.

## Simulation of the Possible Maximum Storm Surge (PMSS) at the Huludao Nuclear Power Plant

QI Jiang-hui, ZHENG Ya-xiong, LIANG Shuang-ling, ZHANG Hong-yu  
(Wuhan Second Ship Design and Research Institute, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** The possible maximum storm surge (PMSS) is one of the important design benchmarks for the site of coastal nuclear power plant. The storm surge in the Huludao area is calculated base on the ADCIRC storm surge model, in which the mesh are refined and the accuracy of the mesh resolution is high. For testing the accuracy of the numerical model, the storm surge processes of the typical typhoon No.6005, No. 7203 and No.7303 in the Liaodong Bay are simulated respectively. The maximum water increase values caused by the storm surges at the Huludao station are calculated and compared with the measured data. It is shown that the simulated results are in good agreement with the measured ones, thus verifying the accuracy of the numerical model and providing the basis for the calculation of PMSS. Based on the typical typhoon No.7303 in the Bohai Sea, the typhoon paths that influence the site of nuclear power plant are established. The PMSS at the nuclear power plant site along the 201 paths derived by typhoon No.7303 is calculated, which could provide an important basis for the site selection of nuclear power plant.

**Key words:** coastal nuclear power plant; PMSS; storm surge; Huludao

**Received:** September 6, 2017