

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.05.008

齐庆辉, 朱志夏, 王志国, 等. “达维”台风作用下连云港海域台风浪数值模拟[J]. 水利水运工程学报, 2015(5): 60-66. (QI Qing-hui, ZHU Zhi-xia, WANG Zhi-guo, et al. Numerical simulation of storm surge induced by typhoon Dawei in Lianyungang seas [J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(5): 60-66.)

“达维”台风作用下连云港海域台风浪数值模拟

齐庆辉¹, 朱志夏¹, 王志国², 熊 伟¹, 陈允才², 庞 亮²

(1. 江苏省交通规划设计研究院股份有限公司, 江苏省水运工程技术研究中心, 江苏 南京 210014; 2. 连云港 30 万吨级航道建设指挥部, 江苏 连云港 222042)

摘要: 为准确模拟“达维”台风过境期间连云港海域波浪场分布, 采用 Jelesnianski 风场模式模拟的海面 10 m 风速作为波浪模式 MIKE-SW 的驱动风场, 再现 1210 号“达维”台风登陆连云港海域波浪变化过程。模拟计算结果表明, Jelesnianski 风场模式成功复演了“达维”台风过境期间风动力变化过程, 1210 号“达维”台风与 1209 号“苏拉”台风形成明显的双台风效应; “达维”台风风暴潮期间, 连云港海洋站最大风暴增水 1.78 m, 连云港海域风暴增水现象十分明显; 利用三重网格嵌套技术, 考虑实时风暴潮增水效应的台风浪模型能够较好地模拟连云港近海波浪成长过程, 台风过境期间徐圩海洋站处 $H_{1/3}$ 波高最大值为 3.86 m, 近岸海域波高等值线分布较为密集, 分布趋势与水下地形等深线基本一致, 破波带以内水域衰减速度明显加快, 与连云港海域属于淤泥质海岸类型的性质相吻合。

关 键 词: Jelesnianski 风场模式; MIKE-SW 波浪模型; “达维”台风; 波浪场

中图分类号: P731

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)05-0060-07

我国拥有漫长的海岸线和辽阔的海域, 其中江苏省海岸线长达 1 000 km, 经常遭受不同程度台风及大浪侵袭, 风暴潮台风浪作用下泥沙淤积问题成为江苏沿海大开发战略实施的关键问题。连云港港 30 万吨级航道为国家级重点工程, 海岸类型属于淤泥质海岸, 泥沙颗粒较细, 波浪掀沙作用明显, 台风巨浪容易引起底部泥沙启动, 极端天气下泥沙骤淤问题成为 30 万吨级航道工程建设需要解决的重点技术问题。杨静思等^[1]基于气象模型 WRF 与第三代海浪模式 SWAN, 模拟了“韦帕”台风过程中南黄海域波浪场、潮流场变化特征。韩雪等^[2]分析了 1210 号“达维”台风的过程, 利用 ADCIRC 模式对台风风暴潮预报增水过程进行模拟研究。杨洋等^[3]利用第三代海浪模式 WAVEWATCH III 建立西北太平洋海域风浪数学模型, 对台风 9711 (Winnie) 和台风 0008 (Jelawat) 进行数值模拟, 模型验证良好, 模型研究结果可用于船舶与海洋工程。赵洪波等^[4]采用 MIKE21-SW 建立了波浪数学模型, 对连云港海域的波浪场进行了计算, 分析了该海域的波浪特征, 为泥沙数学模型提供了波浪动力条件。谭凤等^[5]基于 WRF 和 SWAN 数学模型, 较好地模拟“韦帕”台风过程中海浪的演化和传播过程, 模型验证良好, 为大风天三维泥沙数学模型提供准确的波浪动力条件。杨汜等^[6]建立了“韦帕”台风时期连云港波浪数学模型, 研究了波能功率沿程损耗的变化过程, 推求出波能功率沿程损耗与悬沙垂向悬浮功率之间的转化因子为 0.3。熊伟等^[7]利用 WRF 大气模式和三维海洋数值模型 FVCOM, 研究“达维”台风过程中连云港海域风暴增水情况。张金善等^[8-9]研究了长江河口动力与风暴潮相互作用机理, 预测了长江口风暴潮作用下的水位升高情况。朱志夏等^[10-13]在连云港 30 万吨级航道研究

收稿日期: 2015-01-24

基金项目: 国家 863 计划资助项目《开敞海域淤泥质浅滩深水航道建设关键技术研究》(2012AA112509); 江苏交通运输科研项目《江苏沿海建港条件及关键技术集成研究》(2011Y01)

作者简介: 齐庆辉(1985—), 男, 河南新乡人, 工程师, 硕士, 主要从事波浪、潮流、泥沙及水环境模拟研究。

E-mail: qiqinghui@126.com 通信作者: 朱志夏(E-mail: zhixiazhu@sina.com)

项目中,建立“韦帕”、“达维”台风期间连云港海域风暴潮、台风浪数学模型,研究 0713 号台风、1210 号台风期间连云港海域波浪成长过程,为泥沙数学模型提供了准确的波浪动力场。

本文在前人研究的基础上开展大风天作用下连云港海域台风浪数值模拟研究。2012 年第 10 号超级台风“达维”8 月 2 日 21:30 在江苏盐城响水县陈家港镇(北纬 34.5°,东经 119.9°)登陆。台风“达维”对连云港海域有较大影响,徐圩海洋站实测最大风速 40.51 m/s,平均风速 31.85 m/s,发生在 8 月 2 日 22:00;最大波高为 5.90 m,最大 $H_{1/10}$ 为 4.37 m,最大有效波高 $H_{1/3}$ 为 3.39 m,发生在 8 月 2 日 21:00。本文基于 Jelesnianski 模式模拟“达维”台风移动、风速变化过程,采用 MIKE-SW 模式建立考虑“达维”风暴潮增水效应的台风浪模型,研究台风过境期间海浪成长过程及工程海域波浪场分布情况,为大风天骤淤泥沙模型提供准确的波浪动力场。

1 数学模型基本理论介绍

1.1 Jelesnianski 风场模型

在最大风速半径以内,即 $0 \leq r < R$ 时,台风中心气压和台风风速满足:

$$\frac{P(r) - P_0}{P - P_0} = \frac{1}{4} \left(\frac{r}{R} \right)^3$$

$$w_x = \frac{r}{r + R} v_{cx} - w_m \frac{\frac{2r}{R}}{1 + \left(\frac{r}{R} \right)^2} [(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta] / r$$

$$w_y = \frac{r}{r + R} v_{cy} + w_m \frac{\frac{2r}{R}}{1 + \left(\frac{r}{R} \right)^2} [(x - x_0) \sin \theta - (y - y_0) \cos \theta] / r$$

在最大风速半径以外的区域,即 $R \leq r$ 时:

$$\frac{P(r) - P_0}{P - P_0} = 1 - \frac{3R}{4r}$$

$$w_x = \frac{R}{r + R} v_{cx} + w_m \frac{\frac{2r}{R}}{1 + \left(\frac{r}{R} \right)^2} [(x - x_0) \sin \theta - (y - y_0) \cos \theta] / r$$

$$w_y = \frac{R}{r + R} v_{cy} + w_m \frac{\frac{2r}{R}}{1 + \left(\frac{r}{R} \right)^2} [(x - x_0) \sin \theta - (y - y_0) \cos \theta] / r$$

其中: r 为计算点到台风中的距离; R 为最大风速半径; w_x , w_y 为台风风速在 x, y 方向上的分量; v_{cx} , v_{cy} 分别为台风中心移动速度在 x, y 方向上的分量; w_m 为最大风速; P_0 为台风中心气压。

1.2 波浪数学模型

本研究采用国际上著名的 MIKE-SW 波浪数值模式,基于波作用守恒方程,采用波作用密度谱 $N(\sigma, \theta)$ 来描述波浪成长过程。公式中自变量为相对波频 σ 和波向 θ 。波作用密度与波能谱密度 $E(\sigma, \theta)$ 的关系可以表述为: $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$ 。

在笛卡尔坐标系下, Mike21 SW 的控制方程为:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (VN) = \frac{S}{\sigma}$$

$$c_x = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \frac{\sigma k_x}{k^2} + U_x$$

$$c_y = \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \frac{\sigma k_y}{k^2} + U_y$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + U \nabla d \right] - c_g k \frac{\partial U}{\partial s}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial t} \frac{\partial d}{\partial m} + k \frac{\partial U}{\partial m} \right]$$

其中:波群速度 $v = (c_\sigma, c_\theta, c_x, c_y)$, c_x, c_y 分别表示波作用在地理空间 (x, y) 中传播时的变化, c_σ 表示由于水深和水流变化造成的相对频率的变化, c_θ 表示水深和水流引起的折射。 S 表示能量平衡方程中以谱密度表示的源函数; d 为水深; U 为流速, $U = (U_x, U_y)$; $k = (k_x, k_y)$ 为波数; s 为沿 θ 方向空间坐标; m 为垂直于 s 的坐标。

2 Jelesnianski 风场模型

2.1 Jelesnianski 风场模型建立

采用 Jelesnianski 风场模式模拟 2012 年 8 月天气状态,再现“达维”台风移动影响过程,海域表面风场变化及过境过程。计算采用三重网格嵌套技术,为波浪场数值模拟运算提供精确的驱动风场。D01, D02, D03 共 3 个风场计算范围见图 1。

2.2 Jelesnianski 风场模式验证

图 2 为“达维”台风风场图,可以看出 1210 号“达维”台风与其他台风有一个非常明显的区别在于它与南面的 1209 号“苏拉”台风形成了“双台风效应”。随着 2 个台风中心距离的接近,双台风效应愈发明显,且两个台风差不多同时在我国华东沿海登陆,这种情况在台风史上是非常罕见的。

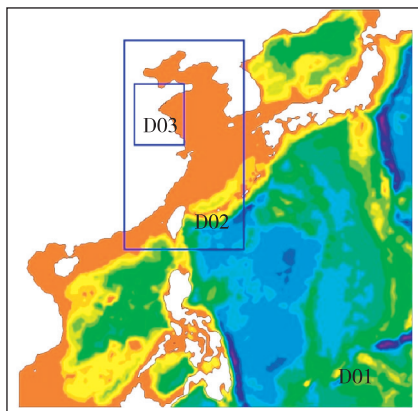


图 1 Jelesnianski 风场模式计算范围

Fig. 1 Calculation area of Jelesnianski wind field model

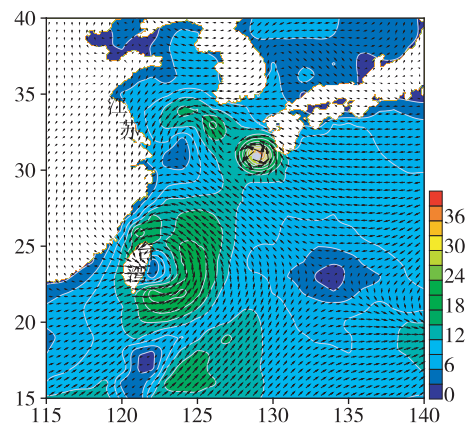


图 2 2012 年 8 月 1 日 20:00 台风风场

Fig. 2 Typhoon wind field at 20:00 on August 1, 2012

由于 1210 号“达维”双台风效应的影响,国际上现有模型对准确模拟双台风效应都具有尚未克服的困难。本文基于 Jelesnianski 参数模式建立“达维”台风浪数学模型。台风期间徐圩海洋站进行了风速、风向定点观测,利用这一宝贵数据资料对 Jelesnianski 台风模拟结果进行验证,由图 3 可知,验证曲线吻合较好,台风最大值及出现时刻与实测数据基本相符,研究表明 Jelesnianski 风场模式能够较好地复演“达维”台风风速增长消弱过程,为进一步准确模拟台风浪过程提供了准确的风动力条件。

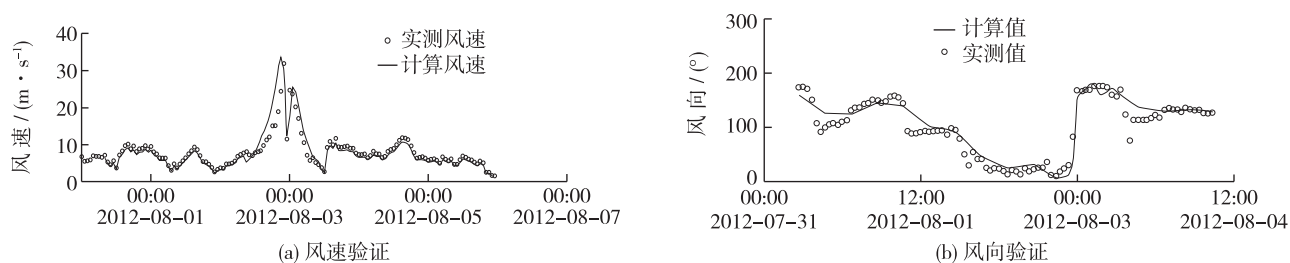


图3 徐圩海洋站“达维”台风期间风速和风向验证

Fig. 3 Validation of Xuwei ocean station wind speed and wind direction during “Dawei” typhoon

3 MIKE-SW 模型建立及验证

3.1 MIKE-SW 模型建立

本文采用国际上著名的 MIKE-SW 波浪数学模型,考虑台风浪期间实时潮位过程,建立连云港海域台风浪数学模型。波浪模型与大气模型一致,采用三重嵌套网格技术,其中大范围、中范围波浪模型研究范围与 D01, D02 完全一致,小范围波浪数学模型研究范围(如图4)为:北起日照 35.5°N 附近,南至废黄河口 34.3°N 附近,西起自由岸线,东至 120.3°E,模型东西宽约 130 km,南北长约 126 km。依据 2007—2012 年海州湾及连云港航道水深图确定水下地形,采用非结构化网格,在工程区附近进行局部加密,外海海域对网格进行适当放大以减小计算工作量;网格空间步长最大为 3 000 m,最小为 30 m。

“达维”风暴潮期间,连云港海域风暴增水现象十分明显,连云港海洋站最大风暴增水 1.78 m。因此,考虑实时风潮潮位过程对本次台风浪数值模拟具有重要的作用。以往台风浪研究中,一般采用平均潮位的简化处理方法,影响台风浪预报精度。本文建立与波浪模型同步的三重嵌套潮流数学模型,为波浪数学模型提供准确的实时潮位过程,“达维”台风期间潮位验证如图5所示,与实测数值拟合较好,为波浪场模拟提供了准确的实时潮位场。

3.2 MIKE-SW 模型验证及计算结果

“达维”台风期间,徐圩海洋站进行了波高、波向等波浪要素测量,利用该实测数据资料对 MIKE-SW 台风浪模型进行验证,并画出了连云港工程海域波高等值线分布图(图6~9)。

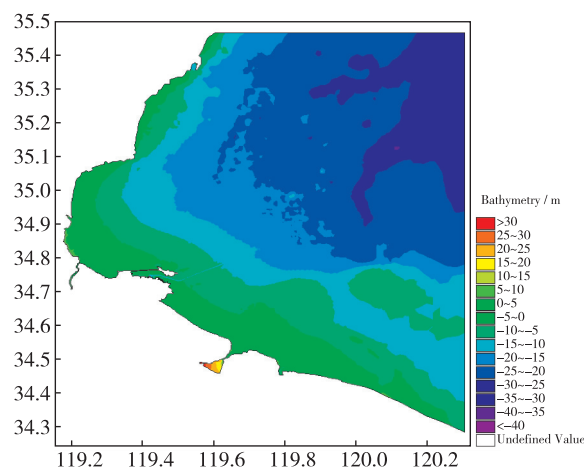


图4 连云港海域波浪数学模型计算范围

Fig. 4 Wave mathematical model calculation area of Lianyungang seas

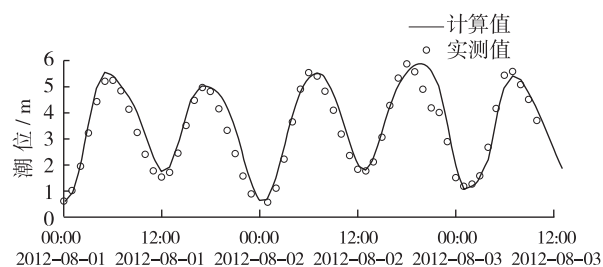


图5 徐圩海洋站“达维”台风期间潮位验证

Fig. 5 Tide level validation of Xuwei ocean station during “Dawei” typhoon

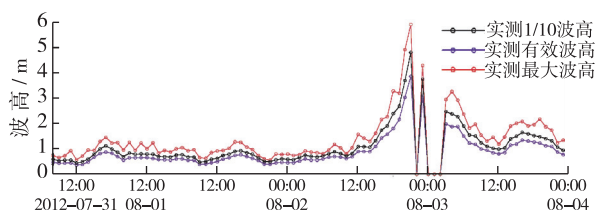


图6 徐圩海洋站实测波高分布

Fig. 6 Measured wave height distribution of Xuwei ocean station

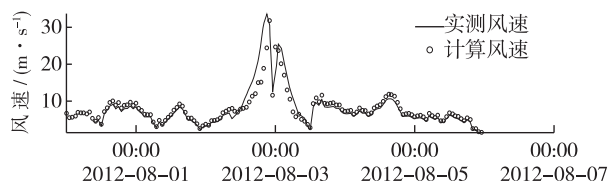


图7 “达维”台风期间徐圩海洋站风速验证

Fig. 7 Wind speed validation of Xuwei ocean station during “Dawei” typhoon

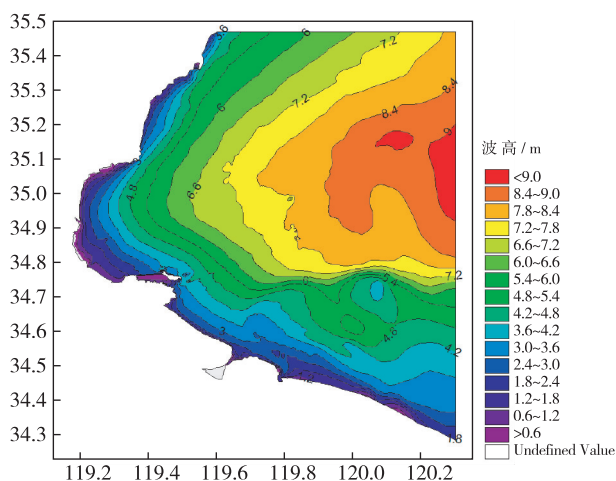


图8 “达维”台风期间连云港海域波浪场分布

Fig. 8 Wave field distribution of Lianyungang seas during “Dawei” typhoon

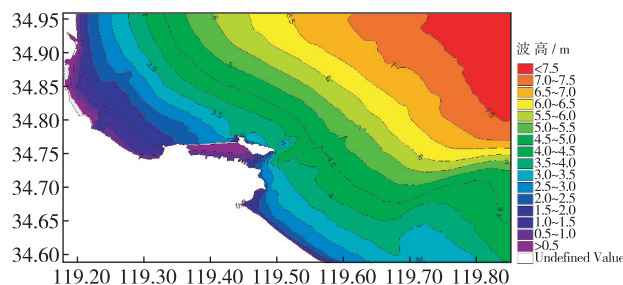


图9 “达维”台风期间连云港海域波浪场局部放大图

Fig. 9 Local amplification figure of Lianyungang seas wave field distribution during “Dawei” typhoon

从徐圩海洋站的波高验证情况看,台风过境期间波浪计算值与实测值吻合较好。数值模拟得到的波高变化过程与实测资料较为吻合,可见该台风浪数学模型能够复演“达维”台风过境期间连云港海域的波浪分布情况及演变过程,能够为后续泥沙回淤模型计算提供准确的波浪动力场。

台风过境时连云港徐圩海洋站处形成了很大风浪,7月31日12:00至8月4日0:00,最大波高超过2 m的时刻持续时间超过16 h,其中8月2日21:00左右,最大值达到6.17 m。 $H_{1/10}$ 波高在2.0 m以上的波浪主要发生在8月2日的17:00至8月3日的6:00之间,持续时间超过12 h,最大为4.79 m。 $H_{1/3}$ 波高最大值为3.86 m,超过2.0 m的波浪主要发生在8月2日19:00至8月3日4:00之间,持续时间约9 h。“达维”台风期间连云港海域波浪较为强烈,近岸海域波高等值线分布较为密集,与水下地形等深线分布基本一致,破波带以内水域波浪衰减速度加快,这与该海域属于淤泥质海岸类型的性质相吻合。台风浪可能会掀起开敞海域浅滩上的泥沙,在风暴潮流输沙作用下可能造成航道回淤。本次台风作用时间较短,台风浪掀沙作用引起的泥沙淤积量不会很大。

4 结 语

本文采用Jeleznianski模式模拟海面10 m风速作为波浪模式MIKE-SW的驱动风场,模拟了1210号“达维”台风过境期间海浪生长与消减过程,为后续泥沙模型的应用提供准确的波浪场。

计算结果表明:

(1)Jeleznianski模式能够较好地模拟1210号“达维”台风过程,可以为MIKE-SW模型提供准确的台风

驱动风场。

(2)在Jelesnianski风场驱动下,MIKE-SW台风浪模型能够较好反映台风过境期间海浪成长过程;波浪计算结果与徐圩海洋观测站实测波浪数据吻合良好。可以进一步为泥沙数学模型提供合理的波浪动力场。

(3)台风“达维”在江苏省陈家港镇沿海登陆风速为35 m/s,是1949年以来登陆我国长江以北地区最强的台风,形成的最大波高值为6.17 m, $H_{1/3}$ 波高最大值为3.86 m,台风浪作用明显。近岸海域波高等值线分布较为密集,与水下地形等深线分布基本一致,破波带以内水域波浪衰减速度加快,这与该海域属于淤泥质海岸类型的性质相吻合。

参 考 文 献:

- [1] 杨静思,张庆河,张金凤,等. “韦帕”台风过程中南黄海海域流场研究[J]. 水道港口, 2013, 34(3): 225-231. (YANG Jing-si, ZHANG Qing-he, ZHANG Jin-feng, et al. Study on flow fields around South Yellow Sea area during the Typhoon WIPHA [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2013, 34(3): 225-231. (in Chinese))
- [2] 韩雪,盛建明,罗锋,等. 1210号台风“达维”风暴潮分析与数值模拟[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(27): 9448-9451. (HAN Xue, SHENG Jian-ming, LUO Feng, et al. Analysis and numerical simulation of the storm surge caused by typhoon No. 1210 “Dawei” [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(27): 9448-9451. (in Chinese))
- [3] 杨洋,朱志夏. 西北太平洋台风浪后报[D]. 上海: 上海交通大学, 2009. (YANG Yang, ZHU Zhi-xia. Numerical simulation of typhoon waves in Northwest Pacific Ocean [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009. (in Chinese))
- [4] 赵洪波,王广聚. 连云港海域波浪场数学模型研究[J]. 水道港口, 2007, 28(5): 322-324. (ZHAO Hong-bo, WANG Guang-ju. Mathematical modeling of wave field in coastal seas near Lianyungang port [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2007, 28(5): 322-324. (in Chinese))
- [5] 谭凤,张庆河,庞启秀,等. 基于WRF-SWAN模式的韦帕台风波浪场模拟[J]. 水道港口, 2012, 33(1): 14-18. (TAN Feng, ZHANG Qing-he, PANG Qi-xiu, et al. Numerical simulation of WIPHA typhoon waves using WRF-SWAN model [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2012, 33(1): 14-18. (in Chinese))
- [6] 杨汜,张玮. 韦帕台风对连云港典型水域波能损耗及悬沙含沙量影响研究[J]. 海洋工程, 2012, 30(4): 82-89. (YANG Fan, ZHANG Wei. The influence of Typhoon Wipha on the loss of wave power and the suspension sediment concentration during wind process on muddy coast in Lianyungang [J]. Journal of Marine Engineering, 2012, 30(4): 82-89. (in Chinese))
- [7] 熊伟,朱志夏,董佳,等. 湍黏系数对浅滩海域三维风暴潮的影响[J]. 水利水运工程学报, 2014(6): 52-57. (XIONG Wei, ZHU Zhi-xia, DONG Jia, et al. Effects of turbulent viscosity coefficient on 3-D storm surge within shallow seas [J]. Hydro-Science and Engineering, 2014(6): 52-57. (in Chinese))
- [8] 张金善,孔俊,章卫胜,等. 长江河口动力与风暴潮相互作用研究[J]. 水利水运工程学报, 2008(4): 1-7. (ZHANG Jin-shan, KONG Jun, ZHANG Wei-sheng, et al. A study of interaction between estuary dynamic and storm surge in the Yangtze River [J]. Hydro-Science and Engineering, 2008(4): 1-7. (in Chinese))
- [9] 马进荣,陈志昌. 长江口风暴潮流场计算[J]. 水利水运工程学报, 2002(1): 35-39. (MA Jin-rong, CHEN Zhi-chang. Simulation of storm surge current in the Yangtze estuary [J]. Hydro-Science and Engineering, 2002(1): 35-39. (in Chinese))
- [10] 朱志夏,齐庆辉. 连云港港30万吨级航道工程大风天波浪潮流泥沙三维数学模型研究报告[R]. 南京: 江苏省交通规划设计院, 2014. (ZHU Zhi-xia, QI Qing-hui. Three dimensional mathematical model for wind and waves induced tide current with sediment in Lianyungang port 300,000 ton waterway engineering [R]. Nanjing: Jiangsu Provincial Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., 2014. (in Chinese))
- [11] 朱志夏,齐庆辉. 连云港深水航道边坡稳定波浪数学模型研究报告[R]. 南京: 江苏省交通规划设计院, 2014. (ZHU Zhi-xia, QI Qing-hui. Wave mathematical model for slope stability in Lianyungang deepwater waterway [R]. Nanjing: Jiangsu Provincial Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., 2014. (in Chinese))
- [12] 张娜,杨华. 连云港港30万吨级航道工程大风天波浪潮流泥沙三维数学模型研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运科学研究所, 2014. (ZHANG Na, YANG Hua. Three dimensional mathematical model for wind and waves induced tidal current and sediment in Lianyungang port 300,000 ton waterway engineering [R]. Tianjin: Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, 2014. (in Chinese))
- [13] 张玮,钟春欣. 淤泥质海岸波生流及其对泥沙运动影响研究报告[R]. 南京: 河海大学, 2014. (ZHANG Wei, ZHONG

Chun-xin. Waves induced flow and its effects on sediment movement along muddy coast[R]. Nanjing: Hohai University, 2014.
(in Chinese))

Numerical simulation of storm surge induced by typhoon Dawei in Lianyungang seas

QI Qing-hui¹, ZHU Zhi-xia¹, WANG Zhi-guo², XIONG Wei¹, CHEN Yun-cai², PANG Liang²

(1. *Jiangsu Provincial Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Jiangsu Technology Research Center for Water Transport Engineering, Nanjing 210014, China*; 2. *Lianyungang Port 300,000 tons Waterway Construction Headquarters, Lianyungang 222042, China*)

Abstract: In order to accurately simulate the wave field distribution in the Lianyungang sea area during Dawei typhoon transition period, 10 m wind speed above sea surface was simulated by a Jelesnianski atmospheric model. The wave mode MIKE-SW driven by the wind field simulated the wave growing process of 1210 typhoon Dawei. The simulated results show that the Dawei typhoon moving and changing processes were successfully simulated by the Jelesnianski atmospheric model, double typhoon effects were formed in combination with No.1209 Sula typhoon. During the Dawei typhoon period, the maximum water level increase by the storm surge measured in the Lianyungang marine station was 1.78 m, and this phenomenon of water level increase by the storm surge is very significant in the Lianyungang sea area. The stormy wave growth process was well simulated in the Lianyungang sea area considering triple nested grid technology and real-time storm surge water. The maximum wave height was 3.86 m in the Lianyungang ocean station. Nearshore wave height distribution contour lines were relatively dense, and the wave distribution trend and underwater topographic isobaths were basically the same. The wave height attenuation velocity quickened significantly within the surf zone. These properties conform with the nature of the muddy coast, and the Lianyungang sea area belongs to this type of coast.

Key words: Jelesnianski atmosphere model; MIKE-SW wave model; typhoon Dawei; wave field