

应用 MIKE21 之 BW 模型进行日照港波浪数值模拟研究

张娜 郭科

(天津港湾工程研究所, 天津, 300222)

摘要 :MIKE21 是由丹麦 DHI 公司在 20 多年来大量工程试验基础上开发的平面二维河口与海岸模拟软件, 其中 BW 模型是用于波浪数值模拟的一个重要模块, 也是该软件发展最为成熟和完善的一个模块, 在各国波浪数学模型试验中已有十分广泛的应用。本文结合日照港工作船防浪措施工程波浪数值模拟研究, 系统阐述了 MIKE21 之 BW 模型在实际工程试验中的适用性、具体方法以及使用过程中的一些关键性问题。尤其针对复杂地形及建筑物环境下的边界条件处理及计算参数的选择进行了深入的探讨。目前试验成果已为设计采用, 受到业主及设计单位好评。

关键词 : MIKE21 ; BW ; 波浪 ; 数值模拟 ; 日照港

1. MIKE21 之 BW (Boussinesq Wave) 模块简介 :

该模型通过求解沿垂向积分的 Boussinesq 方程获得沿水深平均的流速、水位变化以及波高等物理量。MIKE21-BW 模型可用来模拟任意地形或平面布置条件下的波浪运动过程, 包括波浪的绕射、折射、反射、浅水变形以及它们之间的相互作用。在模拟反射时, 既可以模拟完全反射、也可以模拟部分反射情况。它具有在指定区域吸收 (即消除) 波浪的功能, 从而可以消除不希望的二次反射的影响。此外, 它还具有模拟内部生波的功能。

MIKE21-BW 不同于一般的波浪数学模型, 它是在指定时段和指定区域内模拟波浪运动的物理过程, 然后根据记录下来的水面波动过程, 统计波高等特征值。从这个意义上讲, 用 MIKE21-BW 进行数学模型试验与通常的物理模型试验方法及步骤完全相同, 所以它对现场波况的描述更加真实可靠。

与此同时, MIKE21 之 BW 模块同样存在着一些不足 :

(1) 关于波浪破碎一项, 2005 版以前没有加入该参数, 进行近岸浅水区波浪数值推算或者模拟直立式建筑物附近波浪反射现象较明显水域时, 由于无法模拟波浪破碎, 常常会使结果失真 (大多数情况会导致结果偏大), 或者致使模型溢出, 无法模拟完全。

(2) 2005 升级版虽然加入了波浪破碎参数项, 但使用起来比较繁琐, 模拟破碎区域的网格需要划分得非常细, 应为原模型网格大小的五分之一, 故模拟时间也会相应延长, 大大影响了计算效率。

(3) 航道的边坡开挖功能不健全, 需要人工计算和手工输入, 这样浪费了大量的人力

和时间，建议开发一下此项功能，给定航道边坡比就能沿航道自动进行边坡插值。

MIKE21 之 BW 模型建立主要包括三个主要部分：(1) 基本参数：需要设置地形数据、方程类型以及模拟时间等信息。(2) 校准参数：涉及到诸如水位之类的边界条件、以及类似底摩阻之类的物理参数的选取等问题。(3) 结果输出：可预置输出结果类型，以及数据采集时间和步长等信息。

2. 基本方程

$$\text{连续方程: } \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

$$\begin{aligned} \text{x 方向动量方程: } & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p \cdot q}{h} \right) + gh \frac{\partial x}{\partial x} + \frac{g \sqrt{\frac{p^2}{h^2} + \frac{q^2}{h^2}} \cdot \frac{p}{h}}{c^2} - E \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right) \\ & = \frac{1}{3} Dh \left(\frac{\partial^3 p}{\partial x^2 \partial t} + \frac{\partial^3 q}{\partial x \partial y \partial t} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{y 方向动量方程: } & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p \cdot q}{h} \right) + gh \frac{\partial x}{\partial y} + \frac{g \sqrt{\frac{p^2}{h^2} + \frac{q^2}{h^2}} \cdot \frac{q}{h}}{c^2} - E \left(\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) \\ & = \frac{1}{3} Dh \left(\frac{\partial^3 q}{\partial y^2 \partial t} + \frac{\partial^3 p}{\partial x \partial y \partial t} \right) \end{aligned}$$

式中：

- x, y --- 水平坐标 (m)
- t --- 时间 (s)
- x** --- 高出平均水位的水面高度 (m)
- p*·*q* --- x, y 方向流量密度
- h --- 水深 (m)
- D --- 平均水深 (m)
- c --- 谢才阻力系数, $c=M \cdot h^{1/6}$
- M --- 曼宁系数, 缺省值为 32 ($m^{1/3}/s$)
- E --- 紊动“涡粘”系数
- G --- 重力加速度

3. 计算实例

3.1 工程概况

为了给日照港的工作船停靠泊位提供良好的防浪条件，在港内考虑了三个可供工作船停靠的位置，它们分别是在东港区泊位处（ABCD 所在点位处），称为方案一；二期集装箱码头南端（EFG 所在点位处），称为方案二；西港区南护岸的南端（HJK 所在点位处），称为方案三。日照港

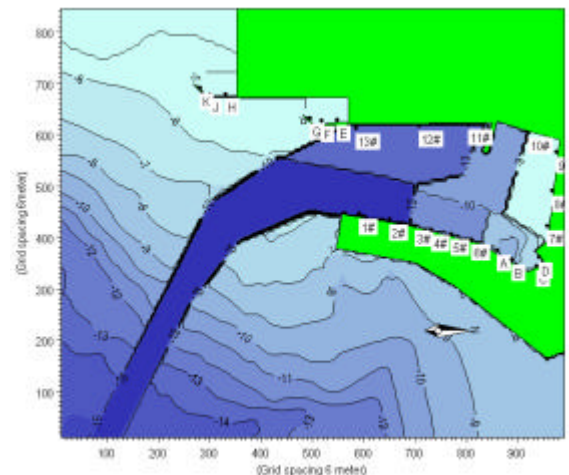


图 1 日照港工作船防浪措施工程总平面及测点布置

工作船防浪措施工程总平面及测点布置图见图 1。拟通过使用 MIKE21 之 BW 模型进行波浪数学模型试验，给出在不同波浪条件下上述三处工程水域的波高分布。

3.2 试验水位（以当地理论最低潮面为基准）

设计高水位：+4.73m % %

极端高水位：+5.82m

3.3 波浪要素

表 1 日照港设计波要素

重现期	波向 E		波向 SE		波向 S		对应水位
	H _{13%} (m)	T(s)	H _{13%} (m)	T(s)	H _{13%} (m)	T(s)	
50 年一遇	5.5	8.9	4.6	8.0	2.3	5.4	设计高水位
25 年一遇	4.9	8.5	3.9	7.5	2.2	5.3	设计高水位
10 年一遇	4.2	7.9	3.0	6.7	1.8	4.8	设计高水位
5 年一遇	3.7	7.3	2.5	6.1	1.6	4.5	设计高水位

3.4 模型范围

应用 BW 模型来进行 S 向浪试验时，选取东西约 6km、南北约 6km 作为试验范围，由于 S 向浪周期较小，网格宽度为 6m，进行 E 向和 SE 向浪试验时，模型选取范围仍为约 6km × 6km，由于波浪周期较大，在满足数值模拟要求的条件下，为了节省计算时间，网格宽度设为 8m。

3.5 有关问题的处理

(1) 本次试验采用内部生波方法处理，无开边界。试验时边界加了消波措施，以消除波浪的反射影响。在距生波边界 120m 的位置处设一生波线，采用单向不规则波进行试验，入射边界模拟的不规则波波谱采用 J 谱，其形式如下：

$$S(f) = S_{PM}(f) \cdot g^a$$

其中 $S_{PM}(f)$ 表示 P-M 谱，其谱形式为：

$$S_{PM}(f) = \frac{A}{f^5} \exp\left\{-\frac{B}{f^4} \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\theta}}\right\}$$

$$\text{其中：} A = \frac{1}{4\rho} \frac{H_s^2}{T_{02}^4} \quad B = \frac{1}{\rho T_{02}^4}$$

H_s -----有效波高 (m) T_{02} -----跨零周期 (s)

$$\mathbf{a} = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{f-f_p}{sf_p}\right)^2\right], \mathbf{s} = \begin{cases} \mathbf{s}_a & f \leq f_p \\ \mathbf{s}_b & f > f_p \end{cases}$$

f_p 表示峰值频率, g 表示谱峰因子, 这里我们取 $g=3.3$ 。

(2) 本次试验所给水位为常数, 可直接在 BW 模块中进行水位参数设置, 或者设置不同水位的地形数据, 将 BW 模块中水位参数设置变为 0。

(3) 如图 1 所示, 矩形港池四周码头、二期集装箱码头南端 (EFG 所在点位处) 和西港区南护岸的南端 (HJK 所在点位处) 结构均为直立式, 按完全反射处理, 反射系数为 1。

(4) 模型采集时间应为至少 130 个波的传播时间, 而模拟的总时间还要包括波浪传播至稳定状态的热身时间。

(5) 库仑数 $C_R = C \times \Delta t / \Delta x$, 其中 C 为波速, Δt 为时间步长, Δx 为网格大小。由公式可知, 库仑数与模型的网格大小有关, 也与模拟的时间步长有关, 一般来说其数值不要超过 1, 否则不能保证模型计算的稳定性和模拟结果的准确性。

(6) 结果输出部分中, 波浪统计可采用对比点法和入射波高法, 对于入射边界水深分布较均匀的地形来说, 两种方法均可采用, 但对于有航道的地形或者水深变化较明显的地形来说, 采用对比点法结果更为准确一些。

3.6 试验分析与结论

(1) 方案一、方案二和方案三掩护条件较好, 工作船舶泊位布置在这三个方位是合理的, 要好于其他方位处; 另外, 距离口门较近的 1#~2#泊位, 12#~13#泊位浪况较差, 建议采取一些防浪措施。

(2) 通过工程前 (见图 2) 与工程后 (见图 3) 港内波高分布对比试验, 不难看出, 工程后由于波浪与直立式防波堤以及直立式码头岸线的反射影响, 港内波高较工程前增大, 波况较工程前恶化, 特此提请设计注意。

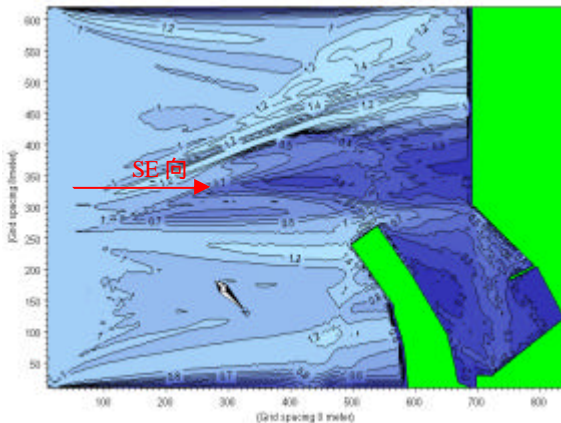


图 2 日照港工程前
设计高水位 SE 向浪 $H_{4\%}=4.6\text{m}$, $T=8.0\text{s}$
50 年一遇港域比波高分布图

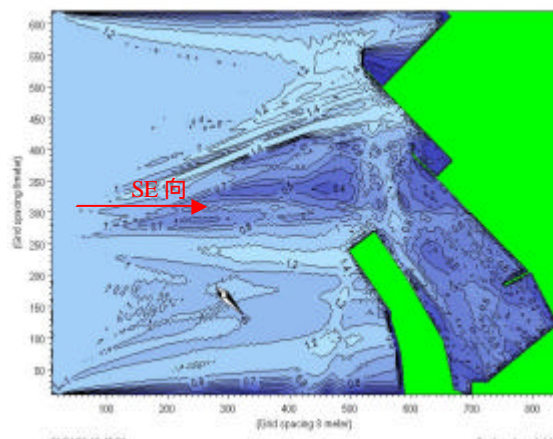


图 3 日照港工程后
设计高水位 SE 向浪 $H_{4\%}=4.6\text{m}$, $T=8.0\text{s}$
50 年一遇港域比波高分布图

4. 结语

本文首先对 MIKE21 之 BW 模块进行了简单的介绍，并分析了使用中的不足，在此基础上结合日照港工作船防浪措施工程这一实例，阐述了 MIKE21 之 BW 模块在实际工程模型试验中的具体应用，并指出了使用过程中应该特别注意的问题。计算结果合理，为设计提供了科学的依据，目前成果已应用于工程实践中。相信该模型将在未来的波浪数值模拟中得到更为广泛的应用。

参考文献：

- [1]袁雄燕 徐德龙 丹麦 MIKE21 模型在桥渡壅水中计算中的应用研究 湖北：人民长江,2006.第 4 期
- [2]刘子琪 丁广佳 锦州港新建工程港区防浪试验研究 天津：港工技术,2003.第 21 期