

黄茅海潮流波浪计算分析

丁 坚^{1,2},李瑞杰^{1,2},陶爱峰^{1,2}

(1.河海大学海洋环境实验室,江苏 南京 210098;2.河海大学物理海洋研究所,江苏 南京 210098)

摘要 采用海岸工程水动力学数学模型对黄茅海潮流场及波浪场进行了计算.潮流计算中利用水平方向上的曲线正交坐标与垂直方向上的 Sigma 坐标相结合以及三维模型二维化的方法,波浪计算采用双曲型缓坡方程,并引入改进型的非线性弥散关系,从而能反映波浪的非线性效应.计算结果与实测结果比较表明,模型能较好地复演黄茅海潮流及波浪场,可以用于工程实际中沿岸及河口湾潮流波浪场问题的计算.

关键词 潮流 波浪 海岸工程 水动力学 黄茅海

中图分类号 P753 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2005)06-0705-04

黄茅海位于珠江口西部,在 113°00′E ~ 113°12′E, 21°52′N ~ 22°13′N 之间,是崖门及虎跳门外一个走向为 NNW-SSE 的河口湾(图 1).黄茅海属于潮流作用优势型河口,其演变过程主要由潮流动力控制,径流量小、纳潮量大.崖门径流主要来自潭江,部分为西江来水.太平洋潮波经巴士海峡进南海传入黄茅海,由于受黄茅海湾岸缘、地形以及上游径流影响,使潮波在空间及时间上均发生变化.本文用海岸工程水动力学数学模型(MOCOE)中的潮流模块对黄茅海潮流场进行计算.黄茅海湾口有两列 NE-SW 走向岛群,主要受南海传来偏南向波浪的影响,航道海域波浪主要由外海波浪传至荷包岛后传播而来.河口湾海域由于三面受岸缘保护,SE,S 和 SW 以外方向的风距较短,风浪不大.文中采用 MOCOE 对波浪场进行计算时,采用了能反映反射、绕射的双曲型缓坡方程,并引入非线性色散关系^[1],使双曲型缓坡方程能够有效地考虑波浪的非线性效应.

1 控制方程

MOCOE 是河海大学海洋环境实验室和河海大学物理海洋研究所环境海洋水动力学模型的基础上增加了多个计算模块而研制的,是一个多任务、高集成的大型海岸工程水动力学模块式计算程序,主要用于模拟水系统三维流场、物质输运(包括非黏性泥沙和黏性泥沙的输运)、生态过程及淡水入流.模型可以模拟河口、湖泊、水库、湿地以及自近岸到陆架的海域,并且可以同时考虑风、浪、潮、径流的影响,同步布设水工建筑物.本文分别采用该模型的潮流块和波浪模块对黄茅海潮流波浪场进行计算^①.

潮流计算采用的水动力学方程组是基于水平方向上的曲线正交坐标和垂直方向上的 Sigma 坐标变换所得到的流体动力学方程组^[2~6].

考虑到计算区域中大襟、大朥及高栏等大小岛屿的存在,波浪模块选用了能反映反射、绕射现象的双曲型缓坡方程,采用有限差分法离散求解,并引入了改进型的非线性弥散关系^[1],从而使模型能考虑非线性效

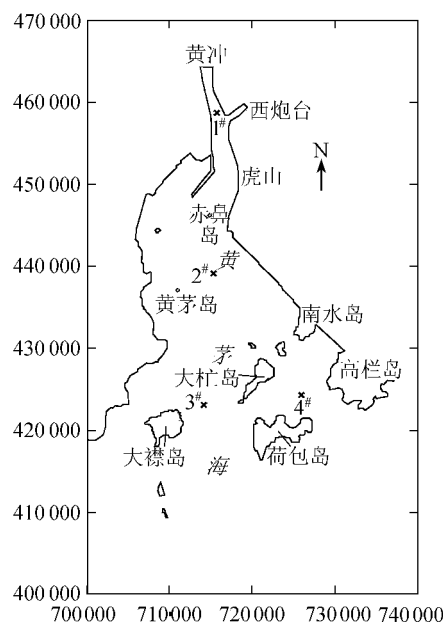


图 1 黄茅海潮流波浪计算区域(单位: m)
Fig.1 Plan of Huangmao Sea

收稿日期 2005-03-30
基金项目 国家自然科学基金资助项目(40476039) 教育部科学技术研究重点资助项目(03095)
作者简介 丁坚(1960—),男,江苏南京人,工程师,主要从事港口、海岸及近海工程研究.
① 上海航道勘察设计研究院.崖门 5000 吨级出海航道整治工程水文测验技术报告.2003.

应.控制方程及边界条件如下:

连续性方程

$$\frac{\partial P^*}{\partial x} + \frac{\partial Q^*}{\partial x} + \frac{c_g}{c} \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

动量方程

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} + cc_g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q^*}{\partial t} + cc_g \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

初始条件

$$\eta(x, y, 0) = P^*(x, y, 0) = Q^*(x, y, 0) = 0 \quad (4)$$

入射边界条件

$$\eta(x_0, y, t) = \alpha e^{i(kx \cos \theta_0 + ky \sin \theta_0 - \omega t)} \quad (5)$$

下游边界条件

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} + i\alpha k \cos \theta \eta = 0 \quad (6)$$

侧边界条件

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} + i\alpha k \sin \theta \eta = 0 \quad (7)$$

式中: η ——表面高程; c ——相速,由改进非线性弥散关系 $c^2 = (g/k)(1 + p\epsilon^2) \tanh(kh + q\epsilon)$ 确定, $p = \tanh(kh)$, $q = (kh/\sinh(kh))^2$; g ——重力加速度; h ——当地静水深; c_g ——群速; P^* 和 Q^* —— x 和 y 方向的虚通量,在常水深时, P^* 和 Q^* 可分别表示为 $P^* = c_g \cos \theta \eta$, $Q^* = c_g \sin \theta \eta$; x_0 ——波浪入射位置; θ_0 ——初始入射波向角; θ ——局地波向,在波浪传播一个周期之前,该模块中 $\theta = \arctan(\overline{Q^{*2}}/\overline{P^{*2}})^{1/2}$.

本研究在计算时选取 SE, S, SW 向波浪,在给定风向、风速和水深后,以 SMB 法确定开边界各网格点出波浪有效波高及波周期,再考虑水深、地形、底坡等影响,在不同潮位(历史最高潮位、平均潮位、历史最低潮位)下以 MOCOE 中的缓坡方程模块模拟崖门海域波浪要素.底摩擦引起的消耗采用 Collins 模型,摩擦系数取 0.01,破碎波高 H_m 与水深 d 的关系用 $H_m = \gamma d$ 表示,对于不同的地形坡度, $\gamma \in (0.6, 0.83)$,计算时均值为 0.73.黄茅海海域无长期测波站,推算波浪资料主要来自黄茅海南口荷包岛短期(1981 年 10 月至 1982 年 9 月)测波资料,并用东面遮浪、西面硃洲岛以及东南 50 km 处大万山站等测波资料比较分析,同时收集 1963 ~ 1985 年共 23 a 间通过广东沿岸 127 场台风路径、风速等气象资料推算的荷包岛外 10 m 等深线的设计波浪.

2 计算结果

根据实际问题的需要,选取计算域如图 1 所示.模型西边界取在 E112°55'E 处,东边界至 113°15'30"E 处,南边界至 30 m 等深线附近,北面包括崖门和虎跳门.计算域的西边界、东边界、南边界和北边界部分为开边界.开边界用水位控制,均统一到理论深度基准面,潮滩边界采用动边界处理.初始条件采用流速和水位为零的条件.整个计算域采用正交曲线坐标系统进行离散,网格节点数为 60 000 个,计算网格单元数为 30 552 个.最小网格步长 32.5 m,最大网格步长 687 m,计算域包括荷包岛、大襟岛、大忙岛等大小岛屿 12 个,采用的是 2003 年地形.

潮流验证资料采用 2003 年 4 月 18 日 18 时至 19 日 22 时大潮实测的流速、流向和水位值进行验证,潮位验证水文测站为虎山和荷包岛,潮流验证水文测站为 1 号、2 号、3 号和 4 号.图 2 给出了潮位验证结果,图 3 给出了潮流验证结果(图中点为实测值,线为计算值).图 4 给出了两个特征时刻的局部流场,图 5(a)和图 5(b)给出的是历史最高潮位和最低潮位 SE 向波浪有效波高矢量场图.从图 2 和图 3 的验证结果可以看出,无论潮位还是潮流的流速和流向都与实测结果相当吻合.从图 4 可以看出,由于受地形和径流的影响,进入黄茅海的潮波发生变形,涨潮历时缩短,落潮历时延长,其潮差变化也呈由湾口至湾腰渐增,再由湾腰向湾顶递减的空间分布趋势.潮汐东进西出,并且明显可见 3 个出口中的东口即高栏岛和荷包岛之间的峡口及其纵深都是以潮汐动力为主的潮汐动力控制区,这些都与遥感图像一致.从图 5(a)和图 5(b)可以看出,在 -10 m 等深线内,历史最高潮位条件下有效波高远大于平均潮位条件下有效波高,这是受该区域崖门出海航道存在的影响; -10 m 等深线以外,历史最高潮位条件下有效波高略大于平均潮位条件下有效波高,岛屿后与波向向背区域有效波高值较小,岛屿的反射现象十分明显.

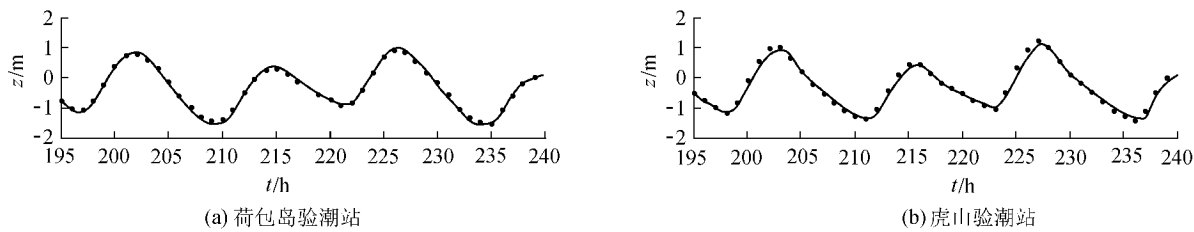


图 2 潮位验证(珠江基面)

Fig.2 Calibration of tide elevation

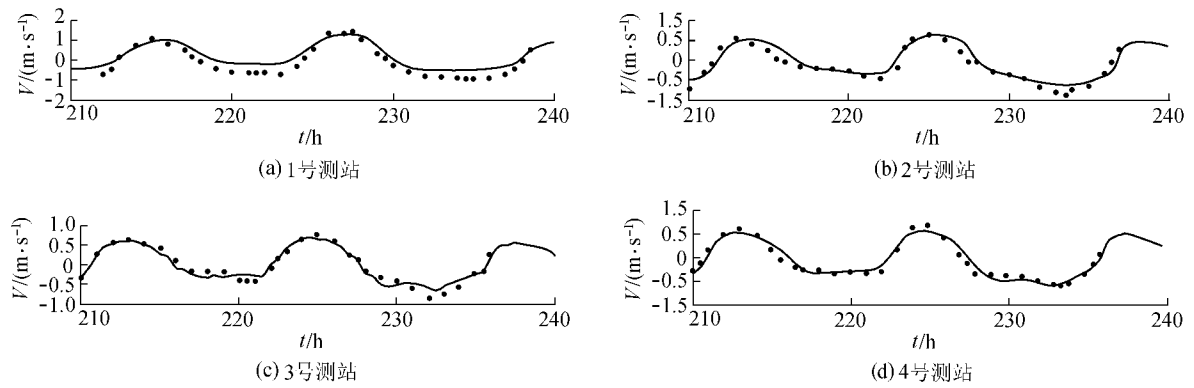


图 3 流速验证(珠江基面)

Fig.3 Calibration of current velocity

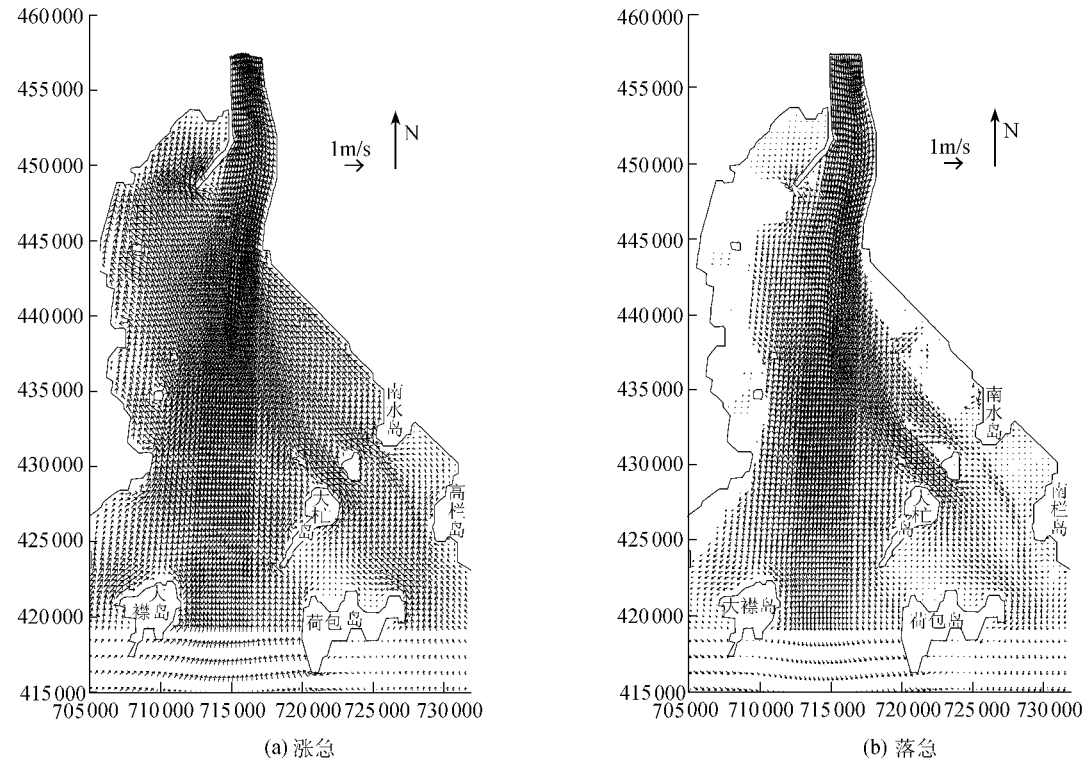


图 4 大潮涨落急流场(单位 :m)

Fig.4 Flood and ebb current of spring tide

3 结 语

通过采用 MOCOE 对黄茅海潮流波浪场进行计算,计算结果与实测结果验证表明 文中模型能够较好地重演黄茅海潮流场和波浪场,可以用于模拟工程实际中复杂地形的潮流波浪问题.

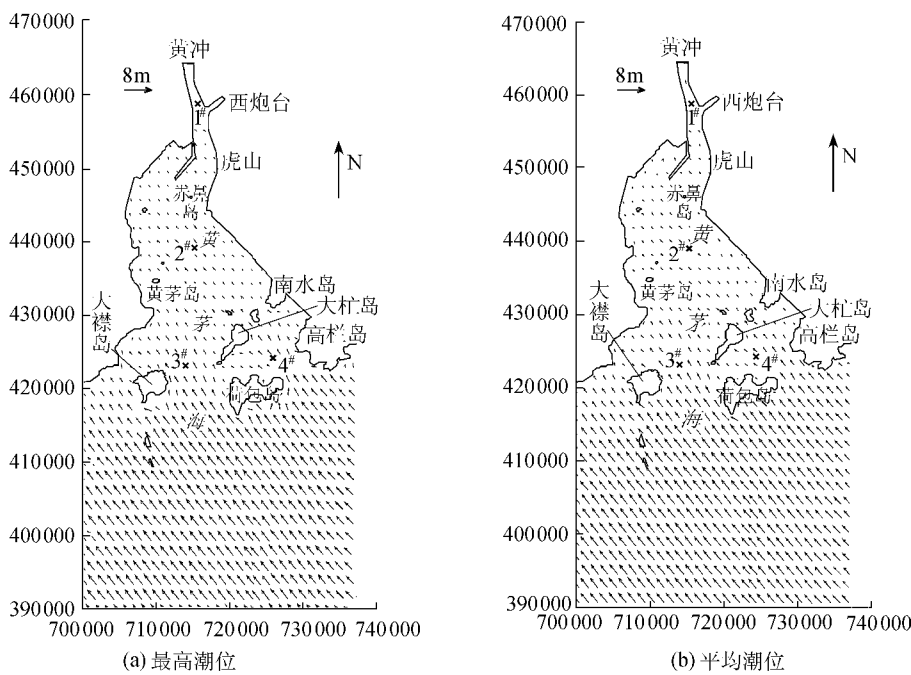


图 5 SE 向历史最高和平均潮位波浪场(单位 m)
Fig.5 Historical tidal level,mean tidal level and wave field in SE direction

参考文献：

[1] LI Rui-jie, YAN Yi-xin, CAO Hong-sheng. Nonlinear dispersion relation in wave transformation[J]. China Ocean Engineering, 2003, 17: 117—122.
[2] 李瑞杰, 诸裕良, 郑金海. 虎门太平水道航道整治工程潮流数模计算[J]. 水运工程, 2003(3): 38—42.
[3] 于风香, 宋志尧, 李瑞杰. 长江口三维潮流数值计算及动力分析[J]. 海洋湖沼通报, 2003(3): 14—23.
[4] 于风香, 李瑞杰. 日照港煤码头浚深工程回淤分析[J]. 海洋湖沼通报, 2004(1): 1—7.
[5] 李瑞杰, 严以新, 宋志尧. 太平水道悬移质输运数学模型[J]. 泥沙研究, 2003(4): 46—51.
[6] 陈永平, 刘家驹, 喻国华. 潮流数值模拟中紊动黏性系数的研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 39—41.

Tidal current and wave calculation for Huangmao Sea

DING Jian^{1,2}, LI Rui-jie^{1,2}, TAO Ai-feng^{1,2}

(1. Laboratory of Ocean Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China ;
2. Institute of Physical Oceanography, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract The hydrodynamic numerical model for coastal projects was used for calculation of tidal current and wave fields of Huangmao Sea. In tidal current calculation, the curvilinear orthogonal coordinates in horizontal direction was combined with Sigma mapping coordinates in vertical direction, and a hyperbolic mild slope equation with the introduction of an improved nonlinear dispersion was adopted for wave calculation, so that the nonlinear effect of waves could be reflected. The calculated results are in good agreement with the measured data. Therefore, the model can be applied to coastal and estuarial projects.

Key words tidal current ; wave ; coastal engineering ; hydrodynamics ; Huangmao Sea