

分类号\_\_\_\_\_

密级\_\_\_\_\_

U D C\_\_\_\_\_

编号\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

博 士 后 研 究 工 作 报 告

福建主要海湾数模与环境研究——以深沪湾、泉州湾为例

博士后姓名：刘浩

工作完成日期：2007.7

报告提交日期：2007.7

厦门大学

2007 年 7 月

福建主要海湾数模与环境研究——以深沪湾、泉州湾为例

Numerical Study on the Environment of Shenhu and Quanzhou Bays

博 士 后 姓 名 : 刘浩

流动站（一级学科）名称 : 海洋科学

专 业（二级学科）名称 : 物理海洋学

研究工作起始时间: 2005. 8

研究工作期满时间: 2007. 7

厦 门 大 学

2007 年 7 月

## 厦门大学博士后研究工作报告著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用博士后研究工作报告的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交该报告的纸质版和电子版，有权将该报告用于非赢利目的的少量复制并允许该报告进入学校图书馆被查阅，有权将该报告的内容编入有关数据库进行检索，有权将博士后研究工作报告的标题和摘要汇编出版。保密的博士后研究工作报告在解密后适用本规定。

本研究报告属于： 1、保密（）， 2、不保密（）

纸本在                    年解密后适用本授权书；

电子版在                年解密后适用本授权书。

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：刘 浩

日期：2007年7月4日

导师签名：李 立  
潘伟然

日期：2007年7月4日

## 摘要

本文以福建中部的两个半封闭的海湾——深沪湾和泉州湾为研究对象，通过数值模拟的方法再现了当地的潮汐潮流，浅滩干湿变化，污染物的输运，百年一遇的台风过境引起的增水现象和台风生成的波浪特征，在此基础上进一步探讨了不同动力机制对当地泥沙动力特性的影响。

结果发现：福建沿岸的潮汐潮流以规则半日潮为主，由于潮差较大，一些浅滩、湿地和暗礁在低潮时会露出水面，在高潮时又重新被海水淹没，形成周期性的干湿变化过程。模拟结果还显示：当天文分潮由外海传入海湾时，动量和连续方程的非线性对流过程和海底的非线性摩擦耗散作用会导致主要分潮的衰减以及浅水分潮的增长，其直接结果就是造成涨落潮流过程的不对称从而成潮汐余流。潮汐余流的性质决定了污染物和底床沉积物长期的输运特性。

通过比较不同机制引起的增水可以发现：当百年一遇的台风过境狭小的浅水湾时，造成湾内增水的主要机制来自远场来水，而局地风场和气压场变化所导致的水位的变化相对来说要小得多。另外，如果研究海湾面积狭小，湾内水位的变化可以看成潮位变化和其它机制引起的水位变化的简单叠加，所得到的结果与在模型中同时考虑所有动力机制的计算结果的误差不超过1%。

引起泥沙垂向运动的动力机制主要包括潮流，海面风应力和波浪。它们都是通过改变海底摩擦应力的强度来调整底层水体与沉积物之间的泥沙通量。当海底摩擦应力超过泥沙掀起的临界应力时，表层沉积物会被掀起进入水体；反之，底层水体的泥沙沉降在原有的沉积物上形成新的表层沉积物。由于受临界摩擦应力制约，这两个过程是独立进行的，不可能同时发生。通过比较三种动力机制在深沪湾所产生的海底摩擦应力发现：波浪所引起的海底摩擦应力最大，比其它两种情况大一到两个量级，取决于波浪（有效波高）的大小。鉴于浅水湾的实际水深，海面风应力通过动量转换可以直接作用到海底，由此导致的海底摩擦应力一般不会小于潮流引起的海底摩擦应力，台风过境时甚至能高出一

个量级。了解不同动力机制可以深化我们对局地泥沙动力特性的认识。

随着区域经济的发展，港口、码头和船坞的开发建设都加剧了围垦项目的实施压力。科学合理的利用海域资源，以保证区域经济的可持续发展需要我们对相关项目规划给出正确的评估。本文通过数模对深沪湾和洛阳江湾的两个设计工况进行了研究，主要考察了围垦项目对局地水动力环境、泥沙冲淤以及污染物的扩散的影响，为决策者提供了理论依据。

**关键词：** 数值模型，福建海湾，潮汐潮流，波浪，泥沙，污染物

## Abstract

In this report, two semi-enclosed bays (Shenhu and Quanzhou Bays) which are located at the middle coast of Fujian Province are studied using numerical models. The major focus are put on the local tides and tidal currents, periodical wetting and drying of tidal flats, wave development and water level increase in Shenhu Bay due to the passage of 100-year typhoon. Based on the validated model results, the different mechanisms influencing the local sediment dynamics are examined further.

The simulations show that the coastal water along Fujian Province is characterized by semi-diurnal tides. Due to large tidal range, some tidal flats, wetlands as well as shoals may be exposed to air on the ebb, whereas inundated again on the flood. It is also shown that as astronomic tides propagate into shallow waters from open oceans, the nonlinear advection of continuity and momentum and the nonlinear bottom friction will induce the decay of major tides and the growth of subordinate tides (shallow water tides with higher frequency), which, as a consequence, induces the tidal asymmetry between flood and ebb. Furthermore, the tidal residual currents will determine the long term transport of pollutants and bedloads in these regimes.

As 100-year typhoon passes through narrow and shallow bays, the increase in water level is mainly ascribed to the water intrusion from far fields. Comparably, the water level change due to variations in the local wind field or atmospheric pressure is small. In addition, the simulations also show that if the research region is small, the synthetic water level variation can be taken as a simple addition of the change in tidal height and that due to other mechanisms. Error analysis shows that the computed result obtained from this method deviates, within 1%, from model results with all mechanisms considered simultaneously.

The dynamic mechanisms inducing vertical transportation of sediments include tidal currents, surface wind stress and wind wave, which adjust the magnitude and direction of water-sediment flux by changing the bottom friction stress. As bottom friction stresses exceed the critical value for sediment erosion, surface sediment will

resuspends into the bottom layer of waters; otherwise, resuspending sediments in the bottom layer of waters will settle and become the new surface sediment. Two processes are independent and could not happen at the same time. By comparisons, it is found that the wave-induced bottom stress is strongest among three mechanisms, and one or two order larger than the other two mechanisms, depending on the magnitude of significant wave height. In view of shallow water depth in two bays, surface wind stress can action on seafloor through momentum transformation and then induce bottom stress, which generally is no smaller than that caused by tidal currents, and even one order larger as 100-year typhoon passes through. Identifying different mechanisms is conducive for us to better understanding the local sediment dynamics.

As regional economy develops, more reclamation is needed for the construction of port, harbor and dock. Therefore, it seems that an objective evaluation of reclamation projects is essential for the scientific and reasonable exploitation of marine resources which guarantees the sustainable development. In this study, we also evaluate two reclamation projects in Shenhu and Luoyangjiang Bay, respectively, on the basis of validated simulations. The examined items include the possible impact of reclamation on the local hydrodynamics, sediment deposition and erosion, and pollutant transportation. We hope our conclusions can be used as reference by policy makers.

**Keywords:** Numerical model, bays of Fujian Province, tides and tidal currents, wind waves, sediments, pollutants

## 目 次

<b>第一章 序论</b> .....	1
1.1 选题依据.....	1
1.2 研究内容.....	2
<b>第二章 模型描述</b> .....	4
2.1 水动力模型.....	4
2.1.1 ECOM 的一般特征及控制方程.....	4
2.1.2 边界条件.....	6
2.2 泥沙模型.....	7
2.2.1 泥沙控制方程.....	8
2.2.2 海底切应力的计算.....	9
2.2.3 粘泥的再悬浮过程.....	9
2.2.4 粘泥的沉降过程.....	9
2.2.5 粉沙的再悬浮过程.....	11
2.2.6 粉沙的沉降过程.....	13
2.2.7 底床粉沙的滞留过程.....	13
2.2.8 水流携沙能力的计算.....	14
2.3 波浪模型.....	15
2.3.1 波浪控制方程.....	15
2.3.2 波致海底摩擦应力.....	17
2.4 水质模型.....	18
2.4.1 控制方程.....	18
2.4.2 边界条件.....	18
<b>第三章 深沪湾的模型研究</b> .....	20
3.1 深沪湾的概况.....	20
3.2 模型安排及结果验证.....	21
3.3 深沪湾的水动力特性.....	24
3.3.1 纳潮量的计算.....	24

3.3.2	保收示踪物的对流扩散	25
3.3.3	湾口处潮汐能量通量的估算	27
3.4	百年一遇风暴潮引起的湾内增水	28
3.4.1	模型开边界条件的修正	28
3.4.2	百年一遇风暴潮引起的湾内增水	28
3.4.3	深沪湾增水机制的分析	30
3.4.4	百年一遇的风暴潮	31
3.5	百年一遇台风造成的波浪变化	33
3.6	海面风、潮流和波浪所引起的海底摩擦应力	37
3.7	海面风、潮流和波浪所引起的悬浮泥沙浓度	43
3.8	围填海项目的预测性评价	48
3.8.1	工况设计	48
3.8.2	围填海前后水动力环境的变化	49
3.8.3	围填海前后潮位及纳潮量的变化	52
3.8.4	围填海前后深沪湾水交换率的变化	52
3.8.5	围填海前后泥沙冲淤的变化	53
3.8.6	评价结果	55
<b>第四章</b>	<b>泉州湾的研究</b>	<b>56</b>
4.1	泉州湾的概况	56
4.2	泉州湾水体结构的潮周期变化	56
4.2.1	观测及结果分析	57
4.2.2	层化——混合机制的量化估计，以 s2 站位为例	60
4.2.3	讨论	62
4.3	泉州湾泥沙动力特性	62
4.3.1	观测	62
4.3.2	观测结果分析	65
4.3.3	底层水流速度的估算	69
4.4	泉州湾的水动力特征数值模拟	70
4.4.1	动边界的处理方法	70
4.4.2	控制方程及模型安排	72

4.4.3 潮汐潮流及浅滩干湿变化的模拟·····	74
4.4.4 晋江羽流的模拟·····	79
4.5 泥沙动力特征的数值模拟·····	80
4.6 小结·····	84
<b>第五章 洛阳江湾的数值研究·····</b>	<b>85</b>
5.1 选题依据·····	85
5.2 洛阳江湾的水动力特征·····	85
5.2.1 模型安排及结果验证·····	85
5.2.2 潮流的非线性耗散作用·····	87
5.2.3 潮汐余流·····	91
5.2.4 结论·····	92
5.3 城东围填海工程对局地潮流的影响·····	92
5.4 城东围填海工程对纳潮量的影响·····	97
5.5 城东围填海工程对泥沙冲淤的影响·····	97
5.6 点源排放引起的污染物浓度场·····	98
<b>第六章 结论及未来工作的展望·····</b>	<b>105</b>
参考文献·····	107
致谢·····	113
博士生期间发表的学术论文、专著·····	114
博士后期间发表的学术论文、专著·····	115
个人简历·····	116
联系地址·····	117

## 第一章 序论

### 1.1 选题依据

福建省位于我国东南沿海，与台湾岛隔海相望，海洋国土面积 13.6 万 km<sup>2</sup>，约占全省国土面积的一半以上。海岸线南北直线距离只有 535 km，但是总长却达到 3324 km，居全国第二位，由此得到的岸线曲折率为 1:6.21，居全国首位。蜿蜒曲折的海岸线围城近封闭和半封闭的大小海湾总计 125 个，其中 6 个海湾的 22 处岸段可建设 20~50 万吨级深水泊位。此外，沿海还分布着面积在 500m<sup>2</sup> 以上的大小岛屿 1546 个，岛屿总面积约 1400km<sup>2</sup>，岛屿岸线总长 2804 km。

福建海湾拥有“渔、港、景、油、能”五大优势资源和独特的对台区位优势。随着高速公路、沿海大通道、沿海铁路以及港口的建设与完善，海洋开发前景日益广阔。我国沿海地区土地面积仅占全国的 13.4%，养活了全国 40.2% 的人口，贡献了全国约 60% 的 GDP（2001 年），这个数字也基本反映了福建省的现状，因此沿海地区的可持续经济发展具有重要的战略意义。

福建省人多地少，沿海地区土地资源十分缺乏，人均耕地仅 0.5 亩（有的地区甚至不足 0.3 亩），低于全国平均水平，也远低于联合国粮农组织公布的人均耕地 0.8 亩的警戒水平。随着海峡西岸经济区建设的快速展开、沿海中心城市和城市化建设的加快以及电力、钢铁、石化等临海工业的大规模建设，土地后备资源匮乏必将继续制约我省社会经济的可持续发展，也必将引发新一轮的大规模围填海热潮。2005 年 1 月修编的《福建省海洋功能区划》区划了 1.3 万公顷的围填海预留区，远低于沿海各市提出的 4.47 万公顷的围填海需求。据初步统计，自 1956 年以来完成的围填海项目，加上未来港口建设和围填海需求，将占用我省海湾海域面积的 25%，分别占三沙湾 39%、罗源湾 49%、兴化湾 21%、湄洲湾 49%、泉州湾 24%、厦门湾 15%、东山湾 23%。

全省围填海项目大多发生在半封闭的、非淤积型的海湾的滩涂区。围垦导致海湾面积缩小、水交换能力下降、新的淤积发生，最终甚至导致海湾的消失，严重制约港口航运业的发展。同时，海湾面积缩小还会减弱海水自净能力、加剧海湾的污染累积和赤潮的频发。围垦还使一些沙滩消失，破坏滨海旅游资源。围垦对渔业资源，尤其是鱼、虾、贝类的产卵场或索饵场的海湾水域破坏严重。如果要满足所有的围填海需求，全省独特、不可替代的港口资源、渔业资源和旅游资

源将大量丧失，并带来严重的海洋环境和生态问题，势必影响全省社会经济的可持续协调发展。

严重的态势迫使我们当前对福建沿海各主要海湾的环境特性能够有充分的认识，从而可以科学合理地保护港口资源和促进海洋生态资源的可持续开发利用，同时还要兼顾福建社会经济发展实际需求，为重点海域的经济发展、环境综合整治规划与实施、生态环境保护提供决策和技术支持。本文就是在这一大背景下，希望通过数值模拟的方法对福建中部毗邻的两个海湾——深沪湾和泉州湾的环境特性有一个比较全面的了解。



图 1.1 深沪湾（矩形框所围区域）和泉州湾（位于深沪湾北部）

## 1.2 研究内容

建立适合浅水海湾的水动力、水质和悬浮泥沙动力特性数值模型，结合海洋生态环境和社会经济评价，以数模结果为依据分析围填海规划对港口航运及海洋

生态环境影响，综合评估各主要海湾围填海方案，为海洋资源开发利用、海洋环境保护、海域使用管理提供科学依据。

通过近岸河口海流模型给出主要海湾的水动力特性，主要包括潮汐潮流的基本特征，纳潮量的大小，与外海水体的交换能力等。通过泥沙模型模拟海湾泥沙运移特征，预测海床的冲淤变化及其对港口航道的影响，并根据沿岸泥沙运动特征确定主要海湾毗邻海域拟围填海项目的选址。通过水质模型预测主要海湾的纳污能力以及污染物的扩散特性，并评估围填海规划造成的海湾主要污染物浓度的变化情况。

鉴于福建沿海是夏季台风和热带风暴经常光顾的地区，每年都会由此造成大量的人员财产损失。因此，本文通过浪流耦合模型进一步了解百年一遇风暴潮所引起的主要海湾的增水情况，以及由此所导致的极端气候条件下泥沙的运移特征。

## 第二章 模型描述

### 2.1 水动力模型

本研究采用的水动力模型是由 Blumberg 和 Mellor (1987) 开发的三维斜压原始方程海流模型, 适于河口及沿岸海域的水动力环境的模拟; 又由于该模型内嵌波浪及泥沙子模块, 该模型简称为 ECOMSED。

#### 2.1.1 ECOM 的一般特征及控制方程

ECOM 作为该模型用以模拟河口近岸水域水动力特征的程序模块, 具有如下基本特征: 水平和垂直方向分别采用正交曲线坐标系和随地形变化的  $\sigma$  坐标系; 自由表面可以模拟水位变化; 垂直和水平方向的混合扩散分别采用 2.5 阶的 Mellor-Yamada (1982) 湍流闭合模式和 Smagorinski 模式; 内外模态分别处理速度较慢的内重力波和速度较快的外重力波以提高整个模式计算效率等。

基本控制方程如下:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0 \quad (2-1-1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial uD}{\partial t} + \frac{\partial u^2D}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} + \frac{\partial u\omega}{\partial \sigma} - fvD + gD \frac{\partial \eta}{\partial t} \\ = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{K_M}{D} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) - \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[ \frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' + F_x \end{aligned} \quad (2-1-2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial vD}{\partial t} + \frac{\partial uvD}{\partial x} + \frac{\partial v^2D}{\partial y} + \frac{\partial v\omega}{\partial \sigma} + fuD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{K_M}{D} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) - \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[ \frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' + F_y \end{aligned} \quad (2-1-3)$$

式中,  $x, y$  是  $\sigma$  坐标系的水平坐标;  $t$  是时间;  $u, v, \omega$  分别是沿  $x, y, \sigma$  方向的速度分量,  $D = H + \eta$ ,  $H, \eta$  分别是水深和水位;  $g$  是重力加速度;  $\tilde{\rho} = \rho_o + \rho'$ , 三项从左到右依次为实际海水密度, Boussinesq 近似的海水密度和密度扰动;  $f$  为科氏力系数;  $K_M$  为垂直方向湍粘滞系数, 将通过 MY 2.5 阶湍流封闭模型计算获得;  $\omega$  为坐标变换后产生的一个垂向速度。

三维笛卡尔直角坐标系中的垂向速度  $w$  与  $\sigma$  坐标系中的速度场有如下关系：

$$\omega = w - u \left( \sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - v \left( \sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) - \left( \sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \right) \quad (2-1-4)$$

上述动量方程中  $F_x, F_y$  项分别表示水平扩散项，由下列关系式求得：

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{xy}) \quad (2-1-5a)$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{yy}) \quad (2-1-5b)$$

其中，

$$\tau_{xx} = 2A_M \frac{\partial U}{\partial x}, \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} = A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right), \quad \tau_{yy} = 2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \quad (2-1-6)$$

水体的垂直湍流扩散采用 2.5 阶 Mellor-Yamada (1982) 湍流闭合模式，湍流封闭方程如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial U q^2 D}{\partial x} + \frac{\partial V q^2 D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right] \\ &+ \frac{2K_M}{D} \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} - \frac{2Dq^3}{B_1 l} + F_q \end{aligned} \quad (2-1-7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 l D}{\partial t} + \frac{\partial U q^2 l D}{\partial x} + \frac{\partial V q^2 l D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2 l}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2 l}{\partial \sigma} \right] \\ &+ E_1 \left\{ \frac{K_M}{D} \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + E_3 \frac{g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} \right\} \tilde{W} - \frac{Dq^3}{B_1} + F_l \end{aligned} \quad (2-1-8)$$

式中， $q^2/2$  为湍流动能； $l$  为湍流宏观尺度； $\tilde{W} = 1 + E_2(l/kL)$  是墙逼近函数，其中  $L^{-1} = (\eta - z)^{-1} + (H - z)^{-1}$ ； $E_1, E_2, E_3, B_1$  是 2.5 阶 Mellor-Yamada (1982) 湍流闭合模式参数。 $F_q, F_l$  为水平对流项，具有统一的表现形式（以  $\phi$  代替  $q, l$ ），如下：

$$F_\phi = \frac{\partial}{\partial x} (Hq_x) + \frac{\partial}{\partial y} (Hq_y) \quad (2-1-9)$$

其中，

$$q_x = 2A_H \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad q_y = 2A_H \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (2-1-10)$$

### 2.1.2 边界条件

#### (1) 垂直边界条件

海表底的流速边界条件:

$$\omega(0) = \omega(-1) = 0 \quad (2-1-11)$$

自由表面动力边界条件:

$$\rho_0 \frac{K_M}{D} \left( \frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = (\tau_{ax}, \tau_{ay}), \quad \sigma \rightarrow 0 \quad (2-1-12)$$

式中,  $\rho_0$  为海水密度;  $\tau_{ax}, \tau_{ay}$  分别为海水表面  $x, y$  方向的风应力, 可表示为

$$(\tau_{ax}, \tau_{ay}) = \rho_a C_D (U_{10}^2 + V_{10}^2)^{1/2} (U_{10}, V_{10}) \quad (2-1-13)$$

式中,  $\rho_a$  为空气密度;  $U_{10}, V_{10}$  分别为海面 10 米处风速分量;  $C_D$  为海面拖拽系数, 根据 Large 和 Pond (1981) 块体公式求得;

$$C_D = 1.4 \times 10^{-3} \quad 4 \leq U_{10} < 10 \quad \text{ms}^{-1} \quad (2-1-14a)$$

$$C_D = (0.49 + 0.065 U_{10}) \times 10^{-3} \quad 10 \leq U_{10} < 26 \quad \text{ms}^{-1} \quad (2-1-14b)$$

对于纯天文潮潮的情形, 风应力  $\tau_{ax} = \tau_{ay} = 0$ ;

海底的动力边界条件:

$$\frac{K_M}{D} \left( \frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = C_z (u^2 + v^2)^{1/2} (u, v) \quad \sigma = -1 \quad (2-1-15)$$

式中  $C_z$  为海底摩擦系数, 可写为

$$C_z = \max \left[ \frac{k^2}{\left[ \ln \left\{ (1 + \sigma_{kb-1}) H / z_o \right\} \right]^2}, 0.0025 \right] \quad (2-1-16)$$

$\kappa$  是卡门常数,  $\kappa = 0.4$ ;  $z_o$  是海底粗糙度, 在潮流模拟中  $z_o$  可取为 0.01m;  $\sigma_{kb-1}$

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库