



吹填造陆工程对周围水体交换影响的数值模拟研究

卢海斌¹, 陈汨梨², 宋军营¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027)

摘要: 在港口工程建设中, 合理地综合利用疏浚土资源吹填造陆, 可以产生巨大的经济效益。但吹填陆域形成后将会影响该区域海洋水体的对流-扩散, 改变局部的海洋水动力, 从而对该区域的海洋环境产生不利影响。为了更好地保护海洋环境, 需要充分了解陆域形成前后水体交换的变化情况。根据国际常用规范标准, 通过数值模拟分析, 研究水体交换的变化规律。通过计算过水断面宽度, 设置过水箱涵, 优化设计方案, 加快水体交换, 达到保护海洋水环境的目的。

关键词: 港口疏浚; 吹填造陆; 水体交换; 海洋环境; 初始示踪剂; 设计优化

中图分类号: U 616⁺.26

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)09-0055-06

Influence of reclamation on seawater exchange based on numerical simulation

LU Hai-bin¹, CHEN Mi-li², SONG Jun-ying¹

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. China Harbor Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: During construction of port projects, it will produce tremendous economic benefit to use dredged materials for land reclamation. Meanwhile, it will affect the exchange of seawater and change local marine hydrodynamics, thus it will exert an adverse effect on the marine environment. In order to protect the marine resource, we shall grasp the situation of water exchange after reclamation. Based on numerical simulation, and according to the international codes, we analyze the variation law of water. By calculating the width of the flow cross-section, optimizing the design of water culverts to accelerate the exchange of seawater, we achieve the objective of protecting the quality of seawater.

Key words: port dredging; reclamation; exchange of seawater; marine environment; initial tracer; design optimization

随着经济的快速发展,我国及世界各国沿海地区的港口建设发生了日新月异的变化。在港区码头的建设过程中,航道与港池开挖往往产生数量巨大的疏浚土资源。若对这些疏浚土直接采用外抛方式处理,既需要找到合理的纳泥区,同时也将增加一定的工程费用。由于很多港区现有的土地资源十分稀缺,有效利用疏浚土资源吹填造陆不仅实现了疏浚土资源综合有效的利用,而且也

扩充了土地资源、扩大了港口的发展空间,实为互利双赢之举,具有强大的社会效益和经济效益^[1]。但是,若吹填造陆工程规划设计考虑不周,新形成的陆域将会改变局部区域的海洋水动力条件,引起海岸带冲淤状况的变化,从而改变污染物的迁移规律,对海岸带生态系统、航运和防洪等产生不利影响。因此在吹填造陆和环境保护之间必须找到一种平衡——即可持续发展是非常重要的^[2]。

收稿日期: 2012-04-05

作者简介: 卢海斌(1977—),男,硕士,工程师,从事港口航道工程设计研究工作。

目前国际上普遍采用环境影响评价的方法,对海岸工程进行评估,主要包括实地测量和模型研究^[2]。其中模型研究包括单独研究工程对潮流、水质的影响,综合研究工程对区域经济、社会和生态环境的影响。为了适应国际工程海洋环境保护规范的要求,更好地开拓国际市场,本文以海外实际工程为例,使用Telemac-2D软件进行数值模拟,分析研究吹填造陆工程对海洋水体交换的影响。

该项目位于岛国巴林东北部,由于该国土地资源紧缺,港口疏浚与吹填造陆工程往往总体规划、统筹考虑,以合理有效地利用现有资源,取得最大的经济效益。该项目航道开挖的疏浚土以中粗砂为主,十分适合做吹填造陆的回填料。经过挖填方平衡分析,该项目吹填造陆的陆域面积约60万m²,其中南北向长约840m,东西向宽约730m。本工程平面坐标采用巴林当地坐标,x轴表示东西向,y轴表示南北向,海区等深线图如图1所示。该吹填陆域以下简称为Plot陆域。

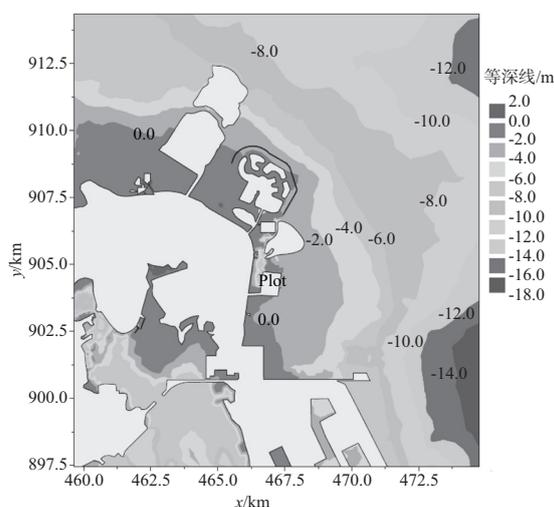


图1 工程海区等深线

1 水动力数学模型

1.1 基本控制方程

为了对Plot陆域周围海洋水体交换进行模拟,首先需要建立水动力数值计算模型。以该项目周围水域为研究对象,由于水深、流速等水力参数沿垂向的变化相对于平面其他两个方向要小,因此可略去这些变量沿垂向的变化,将三维流动的

基本方程沿水深积分,得到平面二维浅水运动控制方程^[3]。

连续方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(huu)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + hF_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(hv_e \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv_e \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hvv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + hF_y + \frac{\partial}{\partial x} \left(hv_e \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv_e \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (3)$$

在计算中考虑底部摩擦力 F^f 和柯氏力 F^c 。底部摩擦力的计算选择了曼宁公式,所以

$$F_x = F_x^f + F_x^c = -\frac{u}{\cos\alpha} \frac{gm^2}{h^{4/3}} \sqrt{u^2 + v^2} + fv \quad (4)$$

$$F_y = F_y^f + F_y^c = -\frac{v}{\cos\alpha} \frac{gm^2}{h^{4/3}} \sqrt{u^2 + v^2} - fu \quad (5)$$

式中: h 为水深; x, y, t 为直角坐标和时间; u, v 为 x, y 方向的垂线平均流速的分量; g 为重力加速度; Z_s 为水位, $h=Z_s-Z_f$, Z_f 为底部高程(负); $v_e=v_r+v$, v_r 为紊动黏性系数, v 为黏性系数; m 为海底粗糙系数; α 为某一点处最陡的破角度; f 为柯氏系数, $f=2\omega\sin\psi$, ω 为地球自转角速度, ψ 为纬度。

1.2 计算范围及计算网格

根据现有的地形图,将数学计算模型范围海测选取在巴林半岛北侧海域50km处,其它3个方向边界与陆域接壤。软件生成的是三角形计算网格,在潮流变化简单区域网格最大宽度为200m,在边界处复杂区域适当加密,网格最小宽度为15m,计算范围及局部计算区域网格如图2,3所示。

1.3 工程海区水动力条件

该工程海区,最大潮差是2.8m,涨潮最大潮流流速为0.60m/s,落潮最大潮流流速是0.55m/s,平均潮流流速为0.32m/s。

1.4 初始条件及边界条件

初始条件为计算初始时刻的水位条件,根据水文资料,本计算模型的初始水位为1.5m。边界

条件包括海域开边界和固壁闭边界^[4]。其中海域开边界条件采用早期模拟计算的数据^[5], 闭边界根据固壁条件不可穿透的规定, 取法向速度为零。

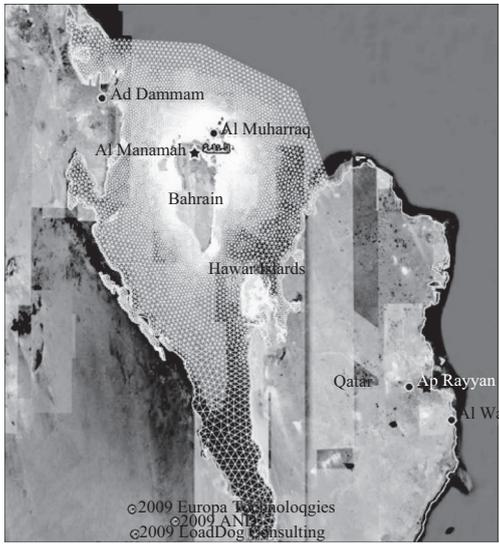


图2 计算范围

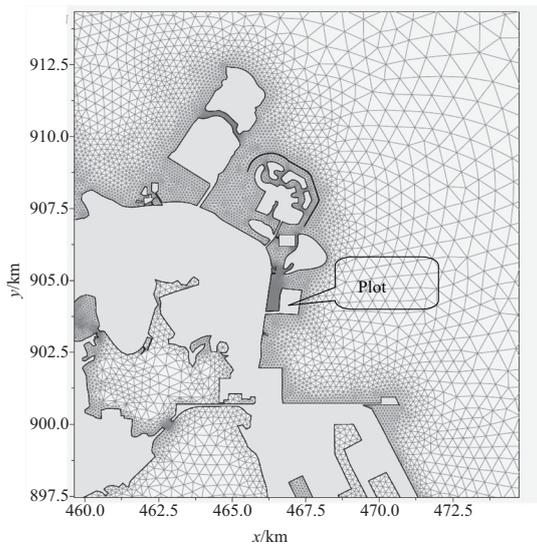


图3 局部计算区域网格

1.5 方程的求解

根据区域划分的有限个节点的三角形网格, 针对每个单元, 建立线性插值函数, 三角形单元内各个点的值, 形成的线性方程组以迭代法来求解^[3]。

1.6 计算数据与实测数据对比验证

在本算例中, 分别选取Bahrain Approach Buoy, Sitrah Beacon, Umm Jalid, Khawr Fasht和 Ras al Jamal等5个验潮站(图4) 实测的潮位、潮流

流速及流向数据与数学模型计算数据进行验证。由于篇幅有限本文选取Bahrain Approach Buoy验潮站的数据进行对比分析见图5。经过比较分析, 实测数据和数值计算数据两者吻合较好, 从而验证了该数学模型的有效性。

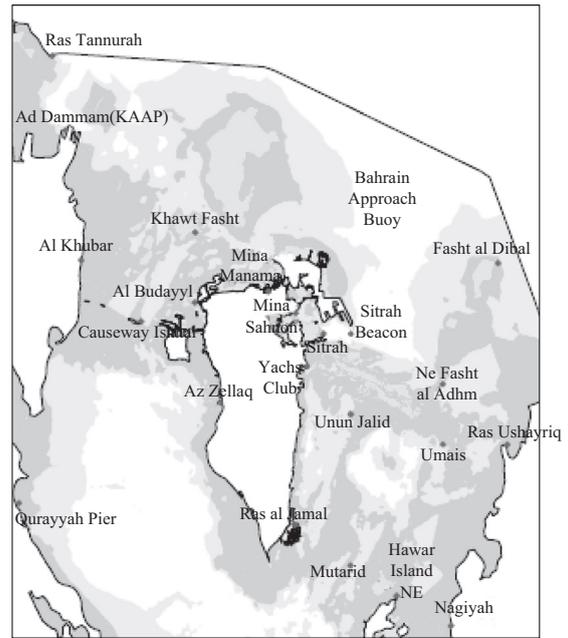
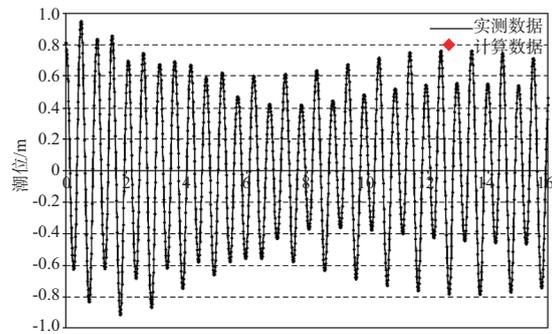
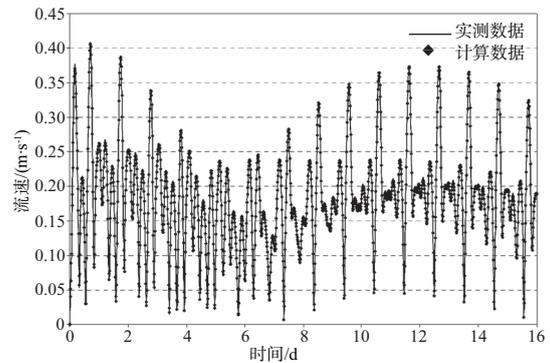


图4 验潮站位置



a) 潮位



b) 流速

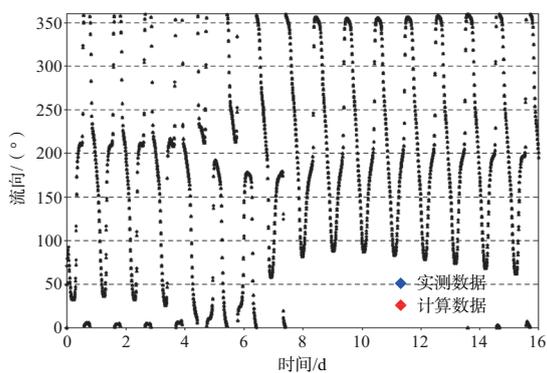


图5 潮流实测数据与模拟计算数据对比

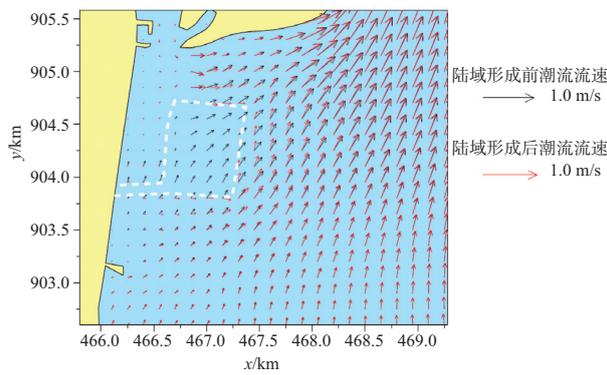
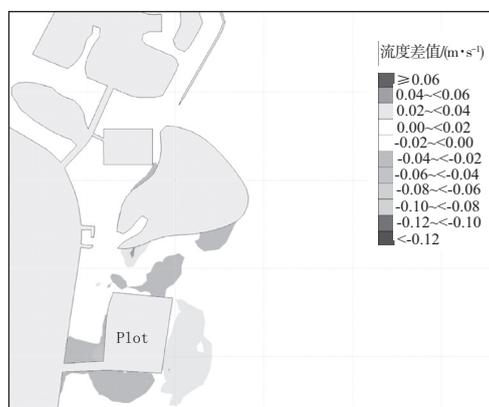


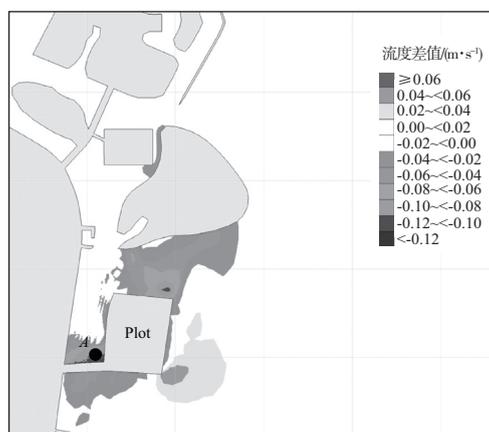
图6 陆域形成前后潮流流场对比

2 吹填造陆对水体交换的影响

吹填造陆工程陆域形成后，将对附近海域潮流的流速、流向产生影响，从而影响到水体的对流-扩散。根据已经建好的数学模型，计算分析该工程新形成的Plot陆域对周围潮流流场的影响。该区域潮流呈南北方向往复流，涨潮时自南向北，落潮时，自北向南。在吹填形成陆域后，从图6可以看出，涨潮时，该陆域北侧，潮流流向向右偏移，且流速减小；落潮时，该陆域北侧，潮流流向向右偏移，流速减小；在该陆域东侧潮流流向向左偏移，流速减小。特别是在Plot陆域左侧3个方向封闭的区域，潮流流速急剧减小。从图7涨落潮时流速变化图中可以看出，陆域形成后，在Plot陆域北侧、南侧以及连接原陆域两侧潮流流速变化较大。其中图7b)所示流速变化最大值A点处速度减小了0.12 m/s。由此可见吹填造陆形成后，减小了该区域与外界水体的对流-交换，改变了该区域海洋水动力，从而会对海洋环境产生不利的影响。

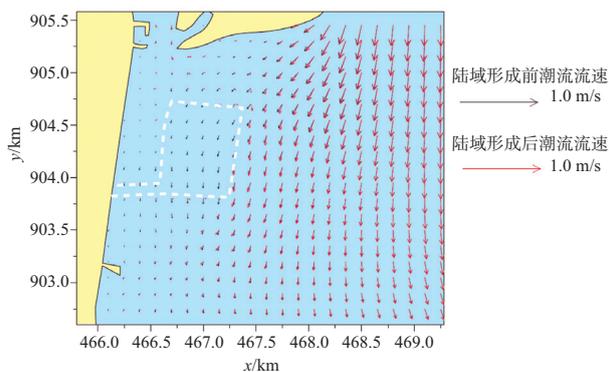


a) 涨潮



b) 落潮

图7 陆域形成前后潮流流速差值



a) 涨潮

巴林国家海洋环境保护部门在吹填造陆项目规划方面具有严格的要求，采用国际航运协会（PINAC）海洋环境保护准则，要求新形成陆域与原陆域围成的封闭或部分封闭区域的海域，在历经8个潮周期的水体交换后，初始示踪剂（即未参加对流-扩散的水体）的浓度不得大于37%^[6]。初始示踪剂浓度越小，表明水体对流-扩散越强，水体交换越好。本文初始示踪剂计算区域南北长

900 m,东西宽450 m,即Plot陆域与原陆域围成区域,如图8所示。由于巴林海域属半日潮,为期4 d的潮流循环即是8个潮周期。通过数值模拟计算,本项目陆域形成前后初始示踪剂浓度如图9所示。从图9a)中可以看出,在Plot陆域形成前,水循环4 d后,初始示踪剂浓度已经减小至20%以下,即

80%以上的水体已经发生对流-扩散,水体交换良好。但在Plot陆域左侧初始示踪剂浓度明显变大,水体交换受到严重影响。该区域最大值A点详细变化规律见图10。图中显示陆域形成后,初始示踪剂浓度变化缓慢。水体循环4 d后,初始示踪剂浓度仍高达71%,远远高于规范中不大于37%的规定。



图8 初始示踪剂浓度计算区域

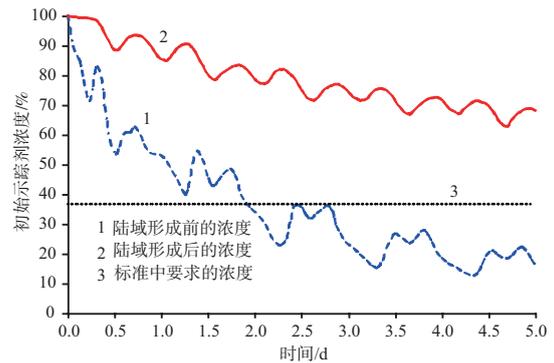
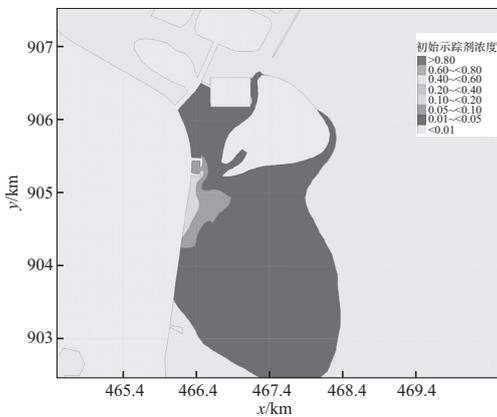
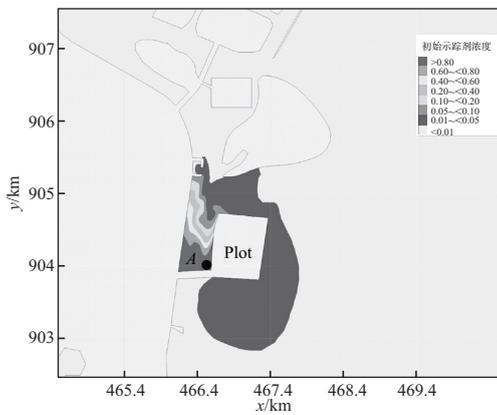


图10 陆域形成前后初始示踪剂浓度变化曲线



a) 陆域形成前



b) 陆域形成后

图9 初始示踪剂浓度

3 设计方案优化

经比较分析,必须增强该区域的水体交换才能满足环境保护要求。借鉴附近工程的经验,结合本项目的投资规模及现场实施等实际情况,考虑在Plot陆域通往原陆域的通道上设置3个10.0 m宽的透水箱涵,同时将该通道两侧海床浚深至高程-2.0 m^[7],见图11。

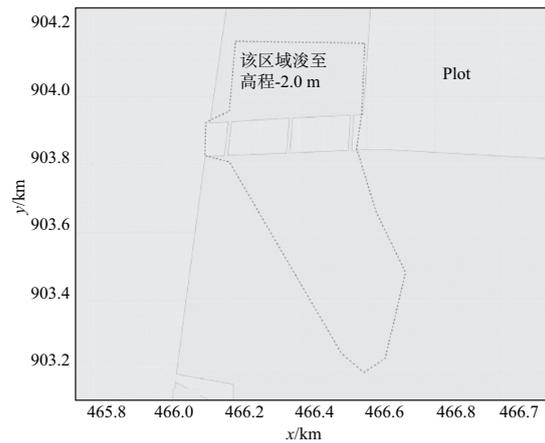


图11 设计优化方案

通过数模计算,该区域初始示踪剂浓度如图12所示。此图表明,方案优化后,该区域初始示踪剂浓度明显减小。透水箱涵在加快了水体的对流-扩散上起了重要作用。其中最大值B点的变化规律如图13所示。从图中看出初始示踪剂浓

度变化速度较快,在4 d的水体对流-扩散后降到36%,满足规范要求,有效的保护了海洋水环境。该吹填造陆项目,满足海洋环境保护要求,可以立项实施。

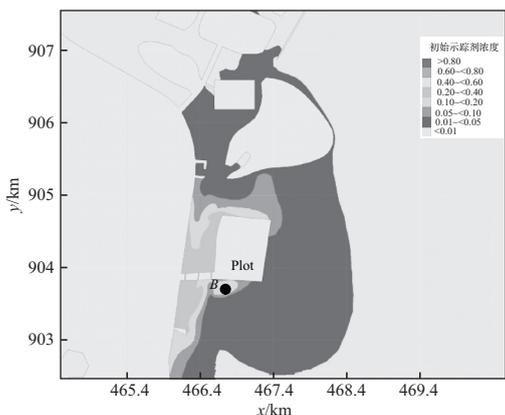


图12 设计方案优化后初始示踪剂浓度

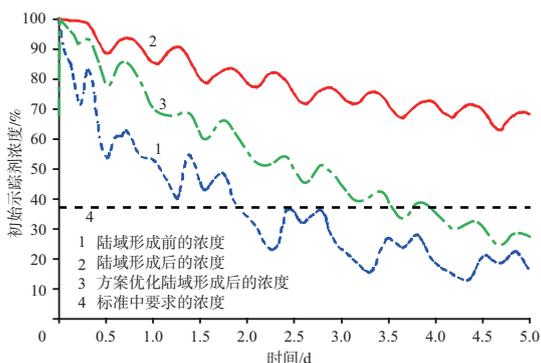


图13 设计方案优化后初始示踪剂浓度变化曲线

4 结语

在港口工程建设过程中,将疏浚土用于吹填造陆是合理利用港区有限资源行之有效的重要举措。陆域形成后,为了减小对周边海洋水环境的

不利影响,需要采取一定的工程措施。在本项目的优化设计过程中,通过反复计算过水断面,增设一定数量的透水箱涵,加强该区水域与外界水体的交换,从而减小吹填造陆对局部水动力产生的影响。国外的吹填造陆工程大多数都采用国际航运协会海洋环境保护准则^[6],以初始示踪剂浓度参数作为衡量海洋环境保护的重要指标。因此,本文所采用数值模拟的方法评价吹填造陆工程对海洋水动力与海洋水环境的影响具有事实有效性,同时为项目设计方案的优化提供可靠的理论支撑,从而达到海洋环境保护的国际通用标准。

参考文献:

- [1] 季岚,唐臣,张建锋,等.长江口疏浚土在横沙东滩吹填工程中的应用[J].水运工程,2011(7):185-189.
- [2] 郭伟,朱大奎.深圳围海造地对海洋环境影响的分析[J].南京大学学报:自然科学版,2005(5):287-288.
- [3] Jean Michel Hervouet. Hydrodynamics of free surface flows modeling with the finite element method[R]. France: EDF, 2007.
- [4] 范平易,邹早建,汪淳.基于桥区水流数值模拟的桥墩对通航影响分析[J].中国航海,2010(3):37-38.
- [5] Arabian gulf model development[R].England: HR Wallingford,2008.
- [6] Protecting water quality in marinas[R]. USA: PIANC RecCom Working Group,2008.
- [7] Hidd Development Project[R]. England: HR Wallingford, 2009.

(本文编辑 武亚庆)

~~~~~  
(上接第49页)

#### 4 结语

用有限元方法建立了FRP负载加固混凝土柱的有限元分析模型,与已有试验数据对比结果表明:本文的分析模型可以较好地反映FRP约束负载混凝土柱的轴心受压性能。基于有限元计算的参数分析得到以下结论:负载情况下,FRP约束混凝土柱的承载力与纵筋配筋率和体积配箍率均近似呈线性关系;混凝土强度的不同对于带载应力水平对混凝土提高幅度的影响并不明显;随着带载应力水平的提高,约束后的强度单调下降,

但在负载应力水平不大时,负载对极限强度的降低仅为5%左右,其变形能力仍可通过加大FRP约束刚度而得到较大的改善。

#### 参考文献:

- [1] 过镇海,张秀琴,张达成.等.混凝土应力应变全曲线的试验研究[J].建筑结构学报,1982(1):1-12.
- [2] 江见鲸.钢筋混凝土结构非线性有限元分析[M].西安:陕西科学技术出版社,1994.
- [3] 金建平. CFRP带载约束加固混凝土圆柱轴向力学性能试验研究[D].沈阳:东北大学,2008.

(本文编辑 郭雪珍)