

文章编号: 1004-7271(2003)02-0140-06

枸杞岛养殖海域流场环境改造的数值模拟

林 军, 章守宇

(上海水产大学海洋学院, 上海 200090)

摘 要:为造成适合于网箱养鱼的流场环境,同时扩大贻贝和藻类养殖面积,拟在枸杞岛西侧海域建设堤坝工程,通过数值实验对工程前后的流场变化进行了模拟。数值模型采用半隐式有限差分格式,经离散处理后,模型最后用迭代法求解一个五点方程。计算结果显示,模拟流场与枸杞岛周围海域实际流场吻合,精度良好。在此基础上,对两个不同的建坝方案分别进行数值计算,预演、比较堤坝工程实施前后海域流场的变化,从中选择既满足南侧海域深水网箱养殖的低流速要求,又可以尽量增加北侧海域贝类、藻类养殖面积的较佳方案。

关键词:养殖海域;流场;环境改造;半隐式有限差分;数值模拟

中图分类号: S914.X11 文献标识码: A

A numerical simulation of environment improvement in the aquaculture sea area of Gouqi Island

LIN Jun, ZHANG Shou-yu

(Ocean College of Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: To develop cage aquaculture, expand the aquaculture area of mussle and algae, and improve the environment, a dam to decrease the current velocity is planned to be built near Gouqi Island. In this paper, the semi-implicit finite difference scheme presented by V. Casulli is applied to a tidal current field numerical model that accords with observed data around the Gouqi Island sea area in the case of before the project. On this basis, two project schemes are produced. Through numerical computation the velocity variety before and after the project is previewed and compared. Finally, the better project scheme that agrees with the low velocity of the southern cage culture sea area and the larger aquaculture area of the northern seashell and algae culture sea area is selected.

Key words: aquaculture area; current field; environment improvement; semi-implicit finite difference; numerical simulation

良好的水质状况及适当的流场环境是进行网箱养鱼的基本条件。随着近岸海域水质污染加剧、养殖自身的迅速发展,网箱养鱼已由内湾浅水型向近海深水型发展,水深大都在 30~50m。但若在一些流速大的海域设置网箱,则不利于养殖鱼类的生长,且易发生养殖鱼类缠挂网衣、网衣受阻力过大而导致破网等事故,故需通过在流急场所建造导流堤、消波堤等形式对流场环境进行改造,以减弱或改变原来的流场,造成有利于网箱养鱼的良好水域环境。由于堤坝建设是一项投资较大的工程,因此,如何选择

收稿日期: 2002-03-19

基金项目: 教育部优秀青年教师资助计划项目(2002年)

作者简介: 林 军(1977-),男,浙江舟山人,2000级硕士研究生,专业方向为海洋生态系统模型。E-mail: linjun@mail.edu.cn

通讯作者: 章守宇(1961-),男,浙江长兴人,博士,教授,主要从事海洋生态系统工程的研究。E-mail: syzhang@shfu.edu.cn

堤坝的长度、走向等参数以取得较好的生态和经济效益是必须加以研究的。作为研究的有效手段之一就是采用数值实验与计算的方法来模拟并预测导流堤工程实施后流场环境的变化。

枸杞岛位于浙江省嵊泗县东部海域,岛西侧有马鞍山、黄石洞两小岛,岛屿附近海域营养盐丰富、透明度高、潮流较急。为发展深水网箱养鱼,同时扩大贻贝和藻类养殖面积,拟在枸杞岛与马鞍山、黄石洞两小岛之间构筑堤坝用于改造流场环境。堤坝建成后,南侧40m以深海域计划发展深水网箱养鱼,而北侧水深20m左右的大片海域可用于贻贝和藻类的养殖。首先建立现场海域的潮流模型并通过数值计算对堤坝建成前后的流场环境进行模拟;在此基础上,设计两个不同的建坝方案分别进行计算比较,以便从中选择。

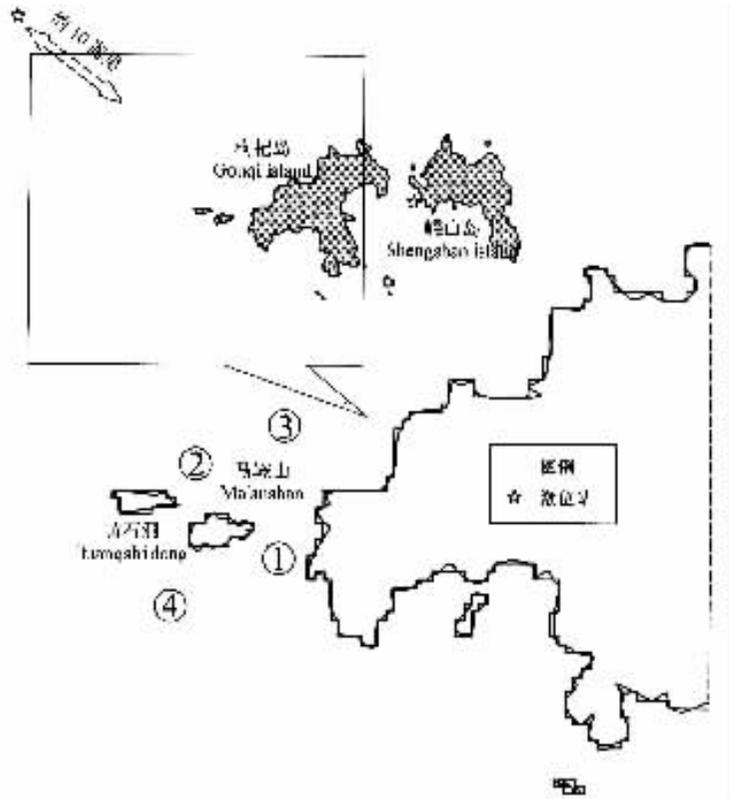


图1 地形、测站与网格边界图

Fig.1 Topography, sampling stations and grid boundary

1 海域概况

拟建堤坝位于北纬 $30^{\circ}42.8'$,东经 $122^{\circ}45'$ 附近,海区地形见图1。马鞍山与枸杞岛之间最小距离约800m,黄石洞与马鞍山之间最小距离约250m。整个研究海域东西宽为9.6km,南北长为10km。海区潮流属正规半日型,涨潮流向 $270^{\circ} \sim 330^{\circ}$,落潮流向 $80^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 。由于受岛屿岸形的影响,流态变化较大。岛屿附近多为贴岛流动,且落潮流速大于涨潮。枸杞岛以北海域受地形制约,呈东西向往复流,工程所在海域则呈南北向往复流。

2 数值实验

2.1 控制方程

在枸杞岛以北海域建立一个在矩形交错网格上的海洋潮流模型,模型的控制方程由连续方程和运动方程构成^[1-6]:

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial x} = fv - \gamma u + N_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} = -fu - \gamma v + N_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \quad (3)$$

式中,

x, y : 直角坐标系;

u, v : 分别为 x, y 方向的垂向平均流速;

t : 时间;

z : 水位(基准面到自由水面的距离);

h 水深(基准面到床面的距离);

D 总水深, $D = z + h$;

f 柯氏系数;

g 重力加速度;

γ 底摩擦项 $\gamma = g \sqrt{u^2 + v^2} / C_z D$, Chezy 系数

$C_z = h^{1/6} / n$, n 为海底粗糙度;

N_x : x 方向水流紊动粘性系数;

N_y : y 方向水流紊动粘性系数。

2.2 控制方程的离散及其求解

对空间网格差分类型为 Arakawa C 型 如图 2 所示。采用 V. Casulli 提出的半隐式有限差分格式^[1], 得到方程(1)(2)(3)的离散形式分别为:

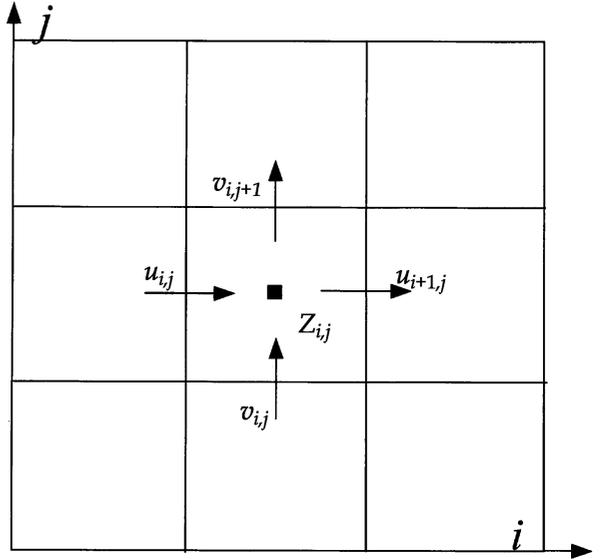


图 2 网格图

Fig.2 Spatial mesh

$$z_{i,j}^{k+1} = z_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{\Delta x} (u_{i+1,j}^{k+1} \bar{D}_{i+1,j}^k - u_{i,j}^{k+1} \bar{D}_{i,j}^k) -$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta y} (v_{i,j+1}^{k+1} \bar{D}_{i,j+1}^k - v_{i,j}^{k+1} \bar{D}_{i,j}^k) \quad (4)$$

$$u_{i+1,j}^{k+1} = Fu_{i+1,j}^k - g \frac{\Delta t}{\Delta x} (z_{i+1,j}^{k+1} - z_{i,j}^{k+1}) + \Delta t (f \bar{v}_{i+1,j}^k - \gamma x_{i+1,j}^k u_{i+1,j}^{k+1} + A_x^k) \quad (5)$$

$$v_{i,j+1}^{k+1} = Fv_{i,j+1}^k - g \frac{\Delta t}{\Delta x} (z_{i,j+1}^{k+1} - z_{i,j}^{k+1}) + \Delta t (-f \bar{u}_{i,j+1}^k - \gamma y_{i,j+1}^k v_{i,j+1}^{k+1} + A_y^k) \quad (6)$$

其中 $\bar{D}_{i,j} = (D_{i,j} + D_{i-1,j})/2$, $\bar{D}_{i,j+1} = (D_{i,j+1} + D_{i,j})/2$, γ_x, γ_y 分别为 x, y 向的摩擦项, A_x^k, A_y^k 分别为涡动项的显式离散。根据计算精度的要求, 选取空间步长(网格大小)为 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 。

对式(5)(6)进行移项、合并处理, 并把 u^{k+1}, v^{k+1} 代入式(4), 可得:

$$\begin{aligned} & \left(1 + g \frac{\Delta t^2}{\Delta x^2} \frac{\bar{D}_{i+1,j}^k + \bar{D}_{i,j}^k}{1 + \gamma x_{i+1,j}^k \Delta t} + g \frac{\Delta t^2}{\Delta y^2} \frac{\bar{D}_{i,j+1}^k + \bar{D}_{i,j}^k}{1 + \gamma y_{i,j+1}^k \Delta t} \right) z_{i,j}^{k+1} - g \frac{\Delta t^2}{\Delta x^2} \frac{\bar{D}_{i+1,j}^k}{1 + \gamma x_{i+1,j}^k \Delta t} z_{i+1,j}^{k+1} \\ & - g \frac{\Delta t^2}{\Delta x^2} \frac{\bar{D}_{i,j}^k}{1 + \gamma x_{i,j}^k \Delta t} z_{i-1,j}^{k+1} - g \frac{\Delta t^2}{\Delta y^2} \frac{\bar{D}_{i,j+1}^k}{1 + \gamma y_{i,j+1}^k \Delta t} z_{i,j+1}^{k+1} - g \frac{\Delta t^2}{\Delta y^2} \frac{\bar{D}_{i,j}^k}{1 + \gamma y_{i,j}^k \Delta t} z_{i,j-1}^{k+1} \\ & = z_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[\frac{\bar{D}_{i+1,j}^k}{1 + \gamma x_{i+1,j}^k \Delta t} (Fu_{i+1,j}^k + \Delta t f \bar{v}_{i+1,j}^k + A_x^k) - \frac{\bar{D}_{i,j}^k}{1 + \gamma x_{i,j}^k \Delta t} (Fu_{i,j}^k + \Delta t f \bar{v}_{i,j}^k + A_x^k) \right] \\ & - \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[\frac{\bar{D}_{i,j+1}^k}{1 + \gamma y_{i,j+1}^k \Delta t} (Fv_{i,j+1}^k - \Delta t f \bar{u}_{i,j+1}^k + A_y^k) - \frac{\bar{D}_{i,j}^k}{1 + \gamma y_{i,j}^k \Delta t} (Fv_{i,j}^k - \Delta t f \bar{u}_{i,j}^k + A_y^k) \right] \end{aligned} \quad (7)$$

简记上式为

$$\alpha_p z_{i,j}^{k+1} + \alpha_e z_{i+1,j}^{k+1} + \alpha_w z_{i-1,j}^{k+1} + \alpha_n z_{i,j+1}^{k+1} + \alpha_s z_{i,j-1}^{k+1} = b \quad (8)$$

(8)式只要保证 $\bar{D}, \bar{D} > 0$ 就是一个对角占优的线性方程组, 它有唯一的解, 其稳定性可不取决于潮波传播速度 $(2gh)^{1/2}$, 而计算的时间步长 Δt 则可取数倍于 CFL 条件限制的值^[5-6]。(8)式呈以点 (i, j) 为中心的五点格式, 可用共轭梯度法和逐点迭代法等方法求解。本文选用了 ECOMSI 程序中一种高效的迭代算法^[2]求解(8)式。

2.3 平流项的处理

式(5)(6)中, F 为一个显式、非线性的有限差分算子, 即对(2)(3)中平流项 $u_t + uu_x + vv_y$ 和 $v_t + vw_x + vw_y$ 的空间离散。具体地^[2-5]:

$$Fu_{i,j}^k = u_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{2\Delta x} u_{i,j}^k [(1 - \alpha)u_{i+1,j}^k + 2\alpha u_{i,j}^k - (1 + \alpha)u_{i-1,j}^k] - \frac{\Delta t}{2\Delta y} v_{i,j}^k [(1 - \beta)u_{i,j+1}^k + 2\beta u_{i,j}^k - (1 + \beta)u_{i,j-1}^k] \quad (9)$$

其中 $\bar{v}_{i,j}^k = \frac{1}{4} (v_{i,j}^k + v_{i-1,j}^k + v_{i,j+1}^k + v_{i-1,j+1}^k)$, $\alpha = \text{sign}(1, u_{i,j}^k)$, $\beta = \text{sign}(1, \bar{v}_{i,j}^k)$

$$Fv_{i,j}^k = v_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{2\Delta x} u_{i,j}^k [(1-\alpha)v_{i+1,j}^k + 2\alpha v_{i,j}^k - (1+\alpha)v_{i-1,j}^k] - \frac{\Delta t}{2\Delta y} v_{i,j}^k [(1-\beta)v_{i,j+1}^k + 2\beta v_{i,j}^k - (1+\beta)v_{i,j-1}^k] \quad (10)$$

其中 $\bar{u}_{i,j}^k = \frac{1}{4} (u_{i,j}^k + u_{i,j-1}^k + u_{i+1,j}^k + u_{i+1,j-1}^k)$, $\alpha = \text{sign}(1, \bar{u}_{i,j}^k)$, $\beta = \text{sign}(1, v_{i,j}^k)$, 这里 sign 为 FORTRAN 的一个内部函数, 用于判定参量的正负。

2.4 边界条件

在固体边界处, 因为流速的法向分量为 0, 故 $V_n = 0$ 。

开边界强制水位 $z = \zeta \times \cos(\omega \times t - g - V_0)$, 其中 ζ 、 ω 、 g 、 V_0 分别为潮振幅、角速度、迟角和初相位。

流速边界条件 $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial v}{\partial y} = 0$ 。

2.5 初始条件

$h(x, y, 0) = 0$; $u(x, y, 0) = 0$; $v(x, y, 0) = 0$ 。

2.6 边界强制水位的确定

2.6.1 验证模型

由于缺少边界强制水位的实测资料, 而潮汐表的预报值是较为科学可靠的, 故本实验选用枸杞岛西北 11n mile 绿华山潮位站(北纬 30°49', 东经 122°36')的潮汐预报资料作为开边界的强制水位, 并结合参考崂山潮位站(北纬 30°43', 东经 122°48')的位相资料^[7]。具体做法如下:

(1) 选取实测期间每时潮位值, 并结合每日高潮位、低潮位时刻值, 得到一潮位值时间序列;

(2) 对上述时间序列值以时间步长(选用 9.0s)为间隔进行内插, 得到一个“步长化”的潮位值时间序列;

(3) 由于本区最主要的分潮为 M_2 分潮, 结合东中国海 M_2 分潮等潮时、等振幅线的分布以及崂山站的位相资料, 可确定各边界点与绿华山的迟角差和振幅比, 由此可得开边界的强制水位值。

2.6.2 预测模型

以本海区的最大平均潮差 4.20m 为潮振幅(2.10m)的选取依据, 计算工程前后海域 M_2 分潮的分布, 分析其差异。

2.7 工程方案设计

方案一: 筑坝于马鞍山与枸杞岛之间 800m 的海峡;

方案二: 一并连接马鞍山与黄石洞之间 250m 的水道。

3 数值计算结果和讨论

以绿华山内插水位时间序列为强制水位, 计算验证潮流场, 以平均最大潮振幅计算工程前后潮流场变化。这里给出站点 4 的流速、流向验证曲线和工程前后的涨落潮流场, 具体见图 3。

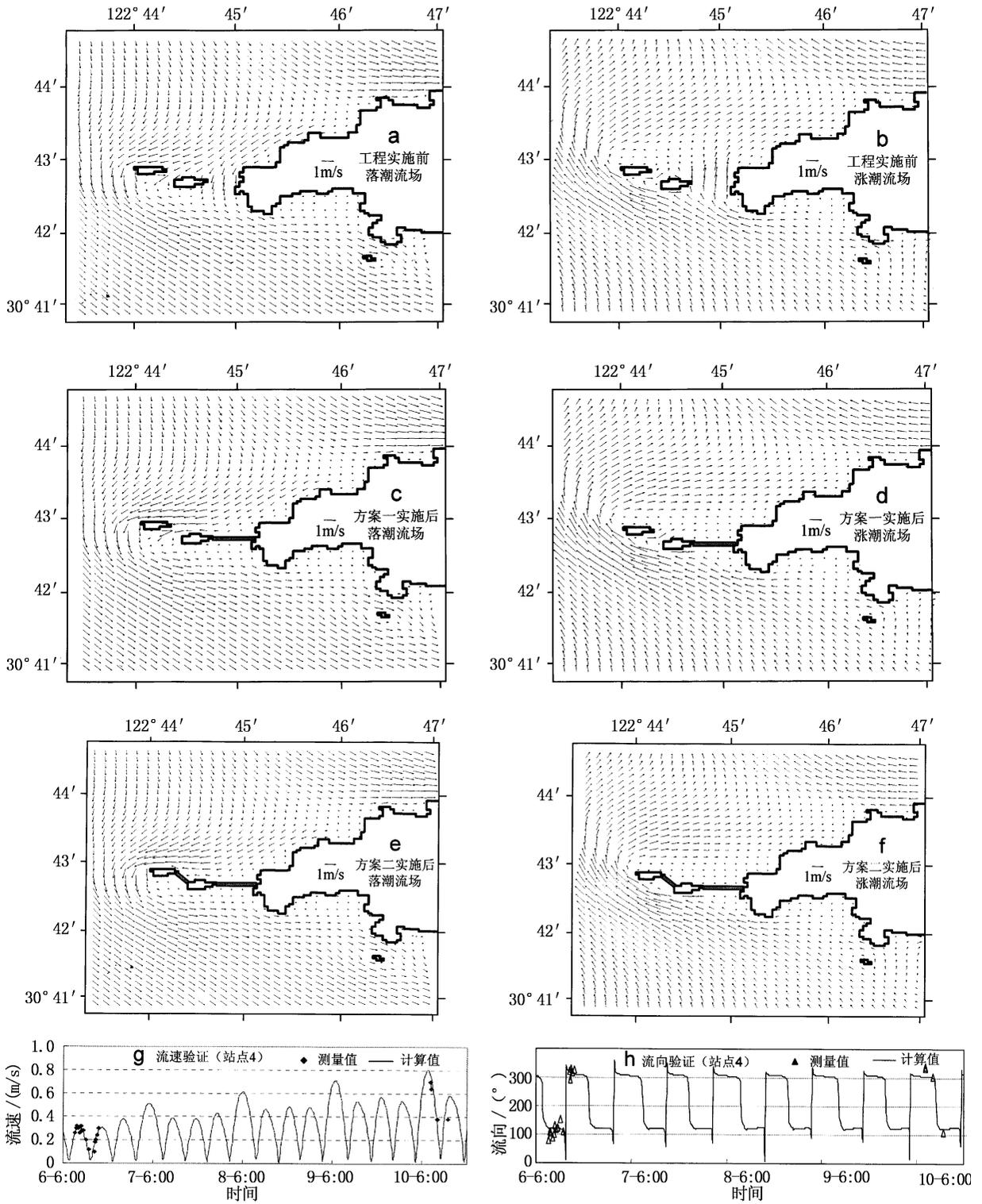


图3 a b c d e f:工程前后流场比较 g h:流速、流向验证

Fig.3 a b c d e f: comparison of tidal field before and after the project ;

g h: validation of current velocity and direction

潮流场验证的计算结果与观测值基本一致 模型的收敛速度快,可取较小的空间步长和较大的时间步长,因此所建模型适合于近岸浅水海域的潮流模拟。

以网格点流速在 25、30、40cm/s 以下的时间累计频率(%)作为判断依据,考察工程的效果。选取时间累计频率 70% 为临界值,判断结果如表 1 所示:

表 1 工程后可增养殖面积

Tab.1 Increased aquaculture area after the project

限制流速 (cm/s)	hm ²			
	工程方案一		工程方案二	
	北部	南部	北部	南部
25	50	52	72	52
30	66	60	86	70
40	83	78	110	90

比较工程方案一和方案二,方案二的可增养殖面积并未比方案一有显著增加,特别是南部海域的可增养殖面积基本与方案一相同,相对于增加 25% 以上的工程投资,方案二不可取。

由于工程后,南北海域均为半敞开海区,波浪的大小成为除潮流外的一个重要影响因子。工程对常年平均波高的消减效果有待应用波浪模型作进一步研究。

参考文献:

- [1] V Casulli. Semi-implicit finite difference methods for the two-dimensional shallow water equations[J]. Journal of computational physics. 1990 86: 56-74.
- [2] 夏华永,殷忠斌,翁美钦,等.近岸浅海潮流数值模型及其应用[J].热带海洋,1998,17(3):28-34.
- [3] 张存智,杨连武,冀振兴.极浅海域潮流数值模型[J].海洋与湖沼,1994,25(6):671-676.
- [4] 温生辉,陈季良.厦门附近海域潮流的数值模拟[J].海洋学报,1996,18(2):15-25.
- [5] 韩康,张存智,张砚峰,等.大连湾及附近海域潮流场数值模拟[J].海洋通报,1994,13(4):20-24.
- [6] 李孟国,曹祖德.海岸河口潮流数值模拟的研究与进展[J].海洋学报,1999,21(1):111-125.
- [7] 林瑛,闰国年,宋志尧,等.东中国海潮波系统与海岸演变模拟研究[M].北京:科学出版社,2000.1-45.

新书推荐

《印度洋西北海域的鱼类》一书由上海美术出版社出版,是我国继《中东大西洋底层鱼类》之后出版的第二部远洋鱼类彩色图书,该书经上海水产大学多位专家进行审改、补充,涵盖了我国水产远洋渔业有限责任公司 200 余艘远洋渔船,十八年来在印度洋西北海域实际生产中收集的常见鱼类与经济鱼类,是我国利用远洋捕捞作业船为探测手段,独立完成的世界区域性海洋渔业资源的工具书。

本书收集鱼类计 205 种,隶属于 18 目、80 科、126 属;甲壳类 12 种,隶属于 1 目、5 科、8 属;头足类 9 种,隶属于 3 目、5 科、6 属。每种依次列出拉丁学名、汉、英、法、西五种文字名称及俗称、商品名称。该书除了阐述每个种类的形态特征、分布、生态习性、捕捞工具、经济价值外,均附有彩色图片,以供校对查阅。

该书是中水远洋渔业有限责任公司和上海水产大学双方通力合作的丰硕成果,不仅为远洋渔业提供了基础资料还普及了科学知识,对进一步开发利用鱼类资源和科学管理具有重要意义。适合于从事远洋渔业生产,水产科研与教学、渔业贸易与商品检验的工作者阅读。

该书定价 118 元,邮费为定价的 20%。联系地址:上海市军工路 334 号 48 信箱《水产学报》编辑部,邮编 200090。