

for stress analysis. In: Brebbia C A ed. Boundary Element Method. Springer-Verlag, 1982

6 Xu J M, Brebbia C A. Optimum position for nodes in discontinuous boundary elements. Proc of the 8th Conf on Boundary Elements. Tokyo: Computational Mechanics Publications, 1986

7 Parreira P. On the accuracy of continuous and discontinuous boundary elements. *Engineering Analysis With Boundary Elements*, 1988, 5 (4)

(本文于1997年3月26日收到)

长江口拦门沙地区泥沙输运

王 涛 李家春

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 本文建立了长江口拦门沙地区泥沙运动的数学模型, 所得水流和含沙量与现场观测资料相符合, 分析了潮波和径流作用下泥沙输运规律, 预测了整治工程实施后主航道地貌变化。

关键词 长江口, 拦门沙, 泥沙输运

上海浦东乃至长江流域的发展需要十万吨级巨轮全天候进出长江口。由于拦门沙堆积水下, 北槽主航

道水深仅 7 m, 大吨位船舶只能在口外绿华山及香港等地减载或中转, 每年多付运费数亿元。开辟长江口深水航道势在必行。

整治工程由南北槽分流口、40 km 长的北导堤、45 km 长的南导堤及若干堤内束水丁坝等水工建筑物组成。建立河口泥沙问题数学模型必将为长江口综合治理提供科学依据^[1]。

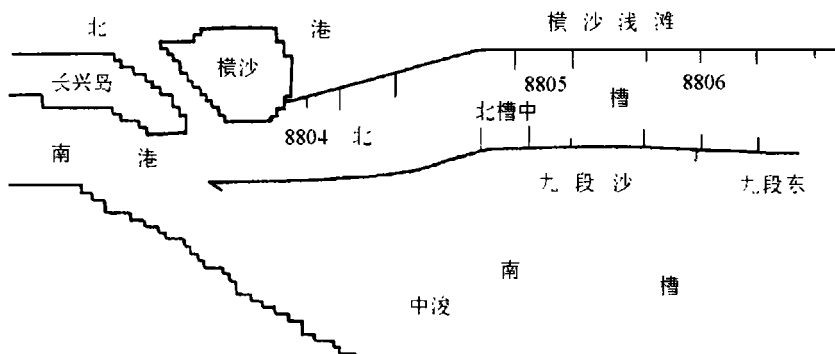


图1 北槽主航道整治工程布置示意图

1 数值模型

1.1 流场

拦门沙带内的航道区, 潮流受地形限制为往复流。采用 Saint Venant 方程

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial}{\partial x} + g \frac{1-u|u|}{C^2 h} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, u 为流速, h 为水深, $u|u|$ 为潮位, Chezy 系数

$C = h^{1/6}/n$, 一般 Manning 糙率系数 $0.01 \leq n \leq 0.04$ 。上下游边界处分别用流速和水位控制。初始条件取水深等于静止时的水深和流速为零。

采用迎风格式离散化方程。上下游边界处各有两个未知数, 边界条件只能确定其中之一, 另一个由特征线 $dx/dt = u \pm \sqrt{gh}$ 上特征关系 $d(u \pm 2\sqrt{gh})/dt = -g|u|u/(C^2 h)$ 确定。

1.2 浓度场

含沙量 c 与泥沙垂向运动密切相关, 采用垂向二

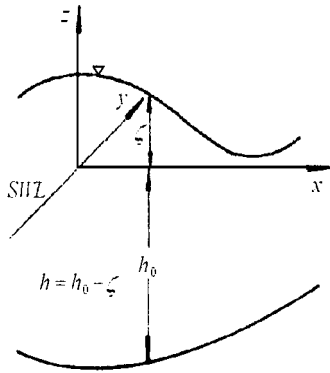


图2 坐标系

维模型，悬沙输移基本方程

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial cu}{\partial x} - w_f \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial c}{\partial z} \right)_{on} \quad (2)$$

式中扩散系数 $D = u^* h / 6$, $u^* = u \sqrt{g/C}$, $C = 0.376$, w_f 为絮凝团中值沉速. 长江口泥沙试验表明, 絮凝使泥沙平均沉速较单颗粒泥沙沉速增大 10~100 倍^[2]. 边界条件取为水面紊动扩散与泥沙沉降之间达到平衡

$$w_f c + \frac{\partial c}{\partial z} = 0, z = 0 \quad (3)$$

河底泥沙向上扩散量为定值

$$\frac{\partial c}{\partial z} = -w_f c_{a0}, z = b \quad (4)$$

近底含沙量 c_{a0} 根据徐健益建立的流速与底部含沙量间的关系^[3]确定

$$\left. \begin{aligned} \text{大潮} \quad c_{a0} &= 0.7 + 2.5 u^{0.8} \\ \text{中潮} \quad c_{a0} &= 0.4 + 1.8 u^{0.6} \\ \text{小潮} \quad c_{a0} &= 0.1 + 0.8 u^{0.4} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

给定进口断面和初始含沙量, 可得沿程任意时刻含沙量.

离散化方程时, 扩散项采用中心差, 其余各项用迎风格式. 由于计算域随时空不断变化, 为便于求解可通过坐标变换 $z^* = (z - b) / h$ 将不规则域转变为矩形域^[4].

1.3 输沙率与地貌变化

长江口水体含沙量较低, 水流和泥沙运动方程可分别求解. 悬移质输沙率

$$q_b = \int_b^s cu dz \quad (6)$$

推移质由美国仁提出的单宽输沙率公式^[2]确定

$$q_b = \frac{K_0}{C^2} \frac{s}{s - u_c} (u - u_c) \frac{u^3}{w_f} \quad (7)$$

综合系数 $K_0 = 0.01$, s 和 w_f 分别为沙粒和水的容重. 起动流速

$$u_c = 0.264 \ln \left(\frac{11h}{D_{50}} \right) \sqrt{s - gD_{50}} \quad (8)$$

泥沙输运引起的河床变形方程为

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \frac{\partial (q_s + q_b)}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

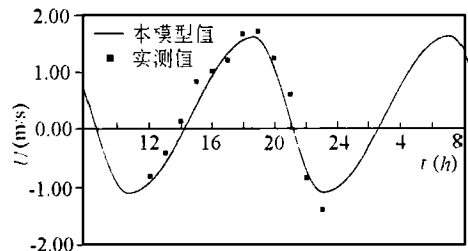
进行数值计算时, 空间导数项采用中心差. 地貌变化是长期的演化过程, 求泥沙运动时把河床当成固定边界, 一定时间后再计算河床变形.

2 结果分析与讨论

2.1 模型验证

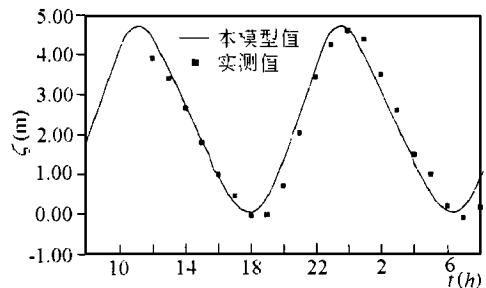
空间水平步长 1000 m, 垂向步长 0.05; 时间步长 10 s; 糙率系数 0.01.

1984年8月28至29日洪季大潮时, 上游大通径流量 40 200 m³/s, 本模型给出的北槽分流口的流速和九段东的潮位过程与水文测量资料^[1]符合较好(图3).



(a)

北槽分流口 1984.08.28~29 洪季大潮流速过程线



(b)

九段东 1984.08.28~29 洪季大潮潮位过程线

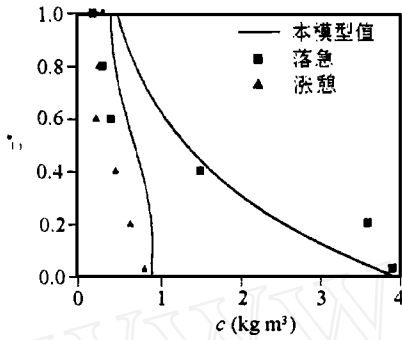
图3

浅海潮波侵入河口后受河床阻力及下泄径流等的影响发生了变形. 沿程各站自下而上涨潮历时缩短,

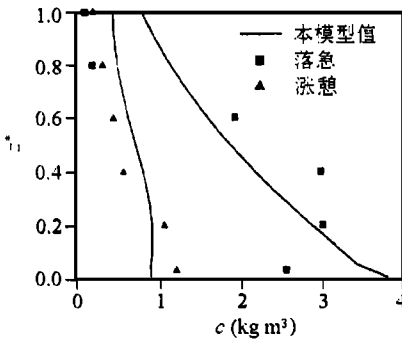
落潮历时延长. 洪水季节径流量大, 北槽分流口的落潮可比涨潮历时长 3 h 45 min, 北槽口外相差近 1 h.

为使含沙量初值误差尽快消失, 选落憩为浓度场计算起始时刻. 本模型的浓度场总的趋势上与 1988 年 7 月 30 至 31 日洪季大潮北槽含沙量实测资料^[5]符合 (图 4).

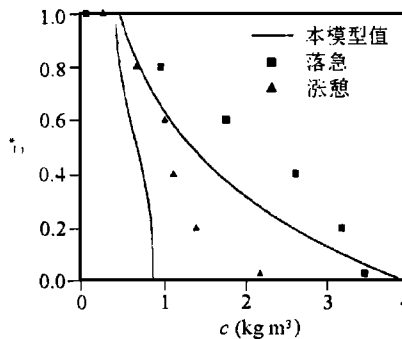
憩流时刻流速为零, 但垂线平均含沙量仍可达



8804 测站 1988.07.30~31 洪季大潮含沙量分布



8805 测站 1988.07.30~31 洪季大潮含沙量分布



8806 测站 1988.07.30~31 洪季大潮含沙量分布

图 4

0.4 kg/m^3 . 落急阶段含沙量增大, 主要出现在水体的中、下层, 而上层含沙量变化很小. 絮凝现象与拦门沙的形成与发育密切相关, 泥沙絮凝后尺度增大, 悬浮高度减小. 对泥沙运动的进一步研究需要考虑河口混合过程、颗粒级配等的影响.

2. 2 泥沙输运和河床变形

北槽中输沙率过程比较表明, 洪季输沙大于枯季, 大潮明显大于小潮, 说明洪季或大潮期间泥沙输移量较大, 水体与槽底间泥沙双向交换也更强烈 (图 5).

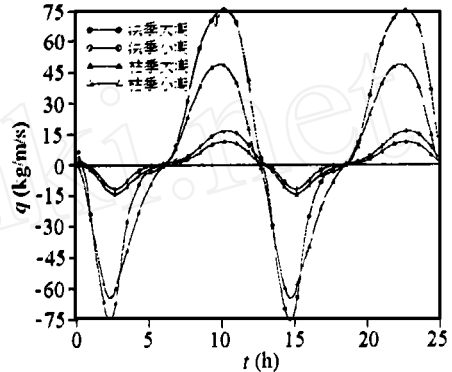


图 5 北槽中总输沙率过程线

槽底泥沙上扬与水体泥沙下沉是一个动态过程, 随水流和来沙条件的不同而变化. 洪季上游来流供沙多, 憩流前后下沉的泥沙相对枯季较多, 当下沉泥沙多于上扬泥沙时, 河床发生淤积. 相同供沙条件下, 大潮时湍流强度和壁面切应力都较小潮为大, 泥沙上扬的趋势优于下沉, 河床趋于冲刷.

北槽深水航道整治工程以双导堤为宜, 使大部分落潮水量进入北槽, 并控制涨潮流. 现有动力条件下北槽较稳定, 整治工程实施后潮流动力显著增强. 图 6 为洪季经过 3 个月冲刷后主航道地貌变化.

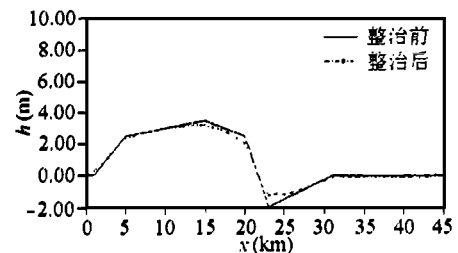


图 6 北槽主航道整治前后地貌变化

结果表明, 近期开辟 - 8 m 深水入海航道是有把握的, 中期可开发至 - 10 m, 结合疏浚导流, 并考虑在南堤堤首南深槽内建一座潜坝, 以调配部分南槽流量到北槽, 远期取得 - 12.5 m 航槽是可能的. 河床

长时期的演化还有待于进一步探讨。

参 考 文 献

- 1 王涛. 波流相互作用及其应用. [博士论文]. 北京: 中国科学院力学研究所, 1997. 1~161
- 2 中国水利学会泥沙专业委员会主编. 泥沙手册. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 1~482

- 3 徐健益, 陶学为, 方良田等. 长江口南支非均匀沙垂向分层的数学模型. 泥沙研究, 1995 (2): 74~79
- 4 曹祖德, 王运洪. 水动力泥沙数值模型. 天津: 天津大学出版社, 1994. 165~173
- 5 贺松林, 孙介民. 长江河口最大浑浊带的悬沙输移特征. 海洋与湖沼, 1996, 27 (1): 60~65

(本文于 1997 年 6 月 24 日收到)

水平管道中冰浆流动的摩阻特性的实验研究

刘永红

(上海水产大学冷冻空调工程系, 上海 200090)

陈沛霖

(同济大学热能工程系, 上海 200092)

摘要 本文对冰浆的流动摩阻特性进行了实验研究, 并和清水的流动摩阻特性进行了对比, 得到冰浆流动摩阻计算的经验公式。

关键词 冰浆, 摩阻特性, 含冰率

1 引 言

蓄冷技术在空调中有着广阔的应用前景。蓄冷空调的蓄冷方式很多, 冰蓄冷是应用最为广泛的形式, 而冰浆蓄冷是冰蓄冷的形式之一。冰浆即乙二醇水溶液和冰晶粒子的混合物。冰浆蓄冷系统和其它蓄冷系统相比, 有如下优点: 制冰过程可以连续进行; 制冷过程不需融冰、除霜过程; 冰浆可以输送, 可直接送至空调用户, 空调用户进而可采用大温差送风, 即低温送风; 维护管理方便。另一方面, 城市集中供热供冷 (DHC) 正逐步取代已往传统的分散锅炉房和冷冻站, 因为 DHC 从提高系统效率、减轻城市污染 (烟尘、噪音等)、降低设备总容量、减少机房占地面积等方面体现其优点。在不久的将来, DHC 网将成为现代都市的必要基础设施。但是, DHC 增加了管网投资和水泵电耗, 而且相当可观。常规冷冻水 (7/12℃) 管网的输送能力太低, 已成为集中供冷技术推广应用的障碍。若采用冰浆作为集中供冷输送冷量的介质, 管网的输送能力大为提高, 管网投资降低, 水泵电耗也相应降低。

综合以上两个方面, 冰浆作为空调蓄冷和城市集中供冷输送冷量的介质, 有其独特的优点。但是, 人

们对冰浆流动的摩阻特性了解甚少, 而该特性又是工程实际应用中不可缺少的重要参数。鉴于此, 本文对冰浆流动的摩阻特性进行了较为全面的研究, 得到了各种含冰率的冰浆的摩阻特性的变化规律。

2 摩阻计算公式

冰浆流动是一种复杂的液固两相流动。对液固两相流的摩阻特性的研究方法大致可分为两类: 一类是根据实验得出的数据, 整理成经验或半经验公式; 另一类是根据唯象模型, 提出理论计算方法。通常来说, 理论模型对于实际应用有一定的困难, 因为它们中的许多本构关系方程很难获得, 而经验公式又有一定的适用范围, 包括流态范围和流动介质范围。

文献 [1] 建立了沙石-水两相流动的三层模型。我们将该模型应用到水平管道中的冰浆流动, 可以得到单位管长的摩擦阻力计算公式

$$\frac{P}{X} = \frac{2}{d} M V^2 f_M (IPF) \quad (1)$$

式中, P 为冰浆流动阻力 (Pa); X 为管长 (m); d 为管径 (m); M 为冰浆平均密度 (kg/m^3); V 为冰浆平均流速 (m/s); f_M 为冰浆流动平均摩擦阻力系数; IPF 为冰浆中冰晶粒子质量与冰浆总质量之比; 为常数, 由实验确定。

$$M = L(1 - IPF) + S IPF \quad (2)$$

式中, L 为乙二醇水溶液密度 (kg/m^3); S 为冰的
力学与实践