

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<sup>[1]</sup>。

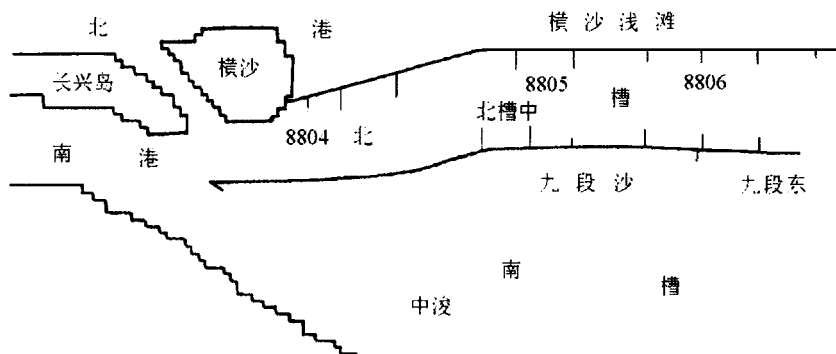


图 1 北槽主航道整治工程布置示意图

### 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

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

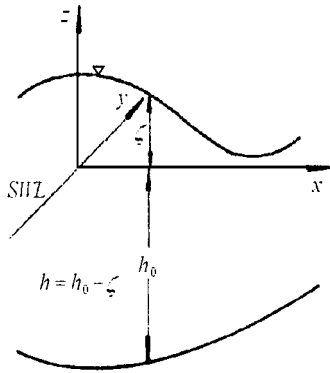


图2 坐标系

维模型，悬沙输移基本方程

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

式中扩散系数  $D = u^* h/6$ ,  $u^* = u \sqrt{g/C}$ ,  $w_F = 0.376$ ,  $w_F$ 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<sup>[2]</sup>. 边界条件取为水面紊动扩散与泥沙沉降之间达到平衡

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

河底泥沙向上扩散量为定值

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

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<sup>[3]</sup>确定

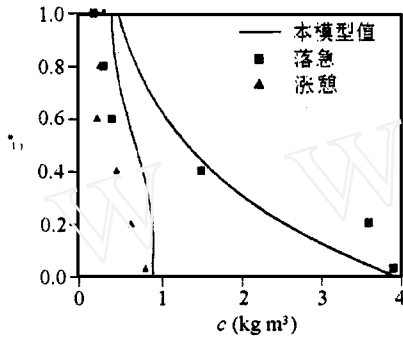
$$\left. \begin{aligned} \text{大潮} \quad c_{a0} &= 0.7 + 2.5 u^{0.8} \\ \text{中潮} \quad c_{a0} &= 0.4 + 1.8 u^{0.6} \\ \text{小潮} \quad c_{a0} &= 0.1 + 0.8 u^{0.4} \end{aligned} \right\}$$

策

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.

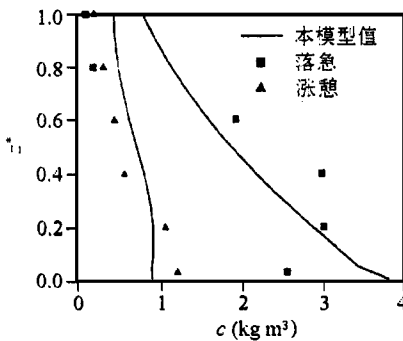
为使含沙量初值误差尽快消失, 选落憩为浓度场计算起始时刻. 本模型的浓度场总的趋势上与 1988 年 7 月 30 至 31 日洪季大潮北槽含沙量实测资料<sup>[5]</sup>符合 (图 4).

憩流时刻流速为零, 但垂线平均含沙量仍可达



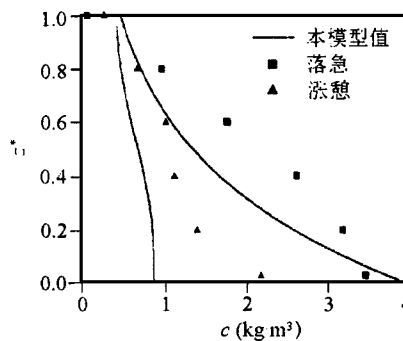
(a)

8804 测站 1988.07.30~31 洪季大潮含沙量分布



(b)

8805 测站 1988.07.30~31 洪季大潮含沙量分布



(c)

8806 测站 1988.07.30~31 洪季大潮含沙量分布

图 4

$0.4 \text{ kg/m}^3$ . 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).

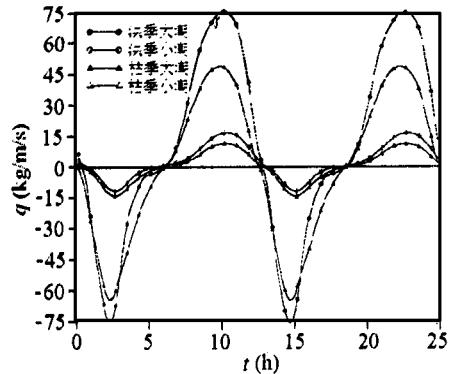


图 5 北槽中总输沙率过程线

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.

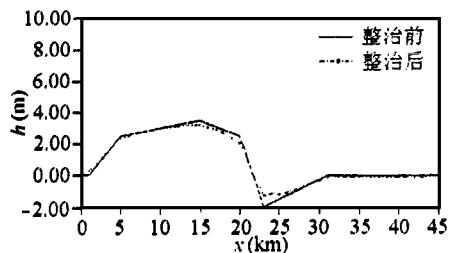


图 6 北槽主航道整治前后地貌变化

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 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $V$  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 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $S$  为冰的

力学与实践