

三峡水库近坝区泥沙输移数值模拟分析

罗伦^{1,2}, 沈思敏^{1,2}

(1. 广东水科院勘测设计院, 广东 广州 510635; 2. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510635)

摘 要: 本文采用 MIKE 软件 MT 模块对三峡水库近坝区泥沙输移进行数值模拟, 探究了近坝区流场及泥沙分布特性。模拟结果表明: 在枯水期 175m 水位, 开启 3#、7#、13#、15#、20#、26# 机组工况下近坝区各机组泥沙含量分布较均匀, 有利机组同步检修; 在丰水期 145m 水位, 机组全开且不开启泄洪深孔的工况下, 可明显看到左岸和右岸机组的泥沙含量分别有相应的峰值, 其中左岸较右岸泥沙含量高。深孔的开启会引起近坝区流场的变化和泥沙的重新分布。

关键词: 泥沙分析; 三峡水库; 近坝区; 泥沙含量; 数值模拟

中图分类号: TV145+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 08—0119—04

三峡水利枢纽是世界上规模最大的水利工程, 其泥沙输移问题一直是众多学者关注的热点。王玲等^[1]和魏丽等^[2]对三峡水库长江上游水沙变化进行了分析, 董年虎等^[3]对三峡水库不平衡泥沙的输移规律进行了研究, 马琳等^[4]对三峡电站过机泥沙含量进行了初步监测分析, 黄仁勇等^[5]对三峡水库库区水沙输移进行了数值模拟研究。本文搜集大坝上游庙河水文站多年水文泥沙的基础资料, 采用 MIKE 软件 MT 模块对近坝区水域泥沙输移进行了数值模拟研究。

1 工程概况及控制方程

1.1 工程概况

图 1 为三峡工程枢纽布置示意图。水电站采用坝后式布置方案, 其中左电厂和右电厂分别有 14 台和 12 台机组。

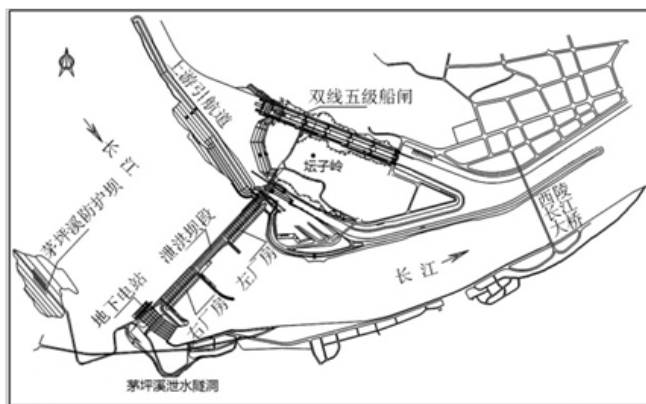


图 1 三峡工程枢纽布置图

1.2 控制方程

本文水动力模型主要控制方程为水流连续性方程和不可压缩的 Navier-Stokes 方程, 在泥沙模拟研究^[5]论文中已给出。MIKE 软件中泥沙输运 (MT 模块) 的控制方程如下:

$$\frac{\partial c^i}{\partial t} + \frac{\partial uc^i}{\partial x} + \frac{\partial vc^i}{\partial y} + \frac{\partial wc^i}{\partial z} - \frac{\partial w_s c^i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_{Tx}}{\sigma_{Tx}^i} \frac{\partial c^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_{Ty}}{\sigma_{Ty}^i} \frac{\partial c^i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{Tz}}{\sigma_{Tz}^i} \frac{\partial c^i}{\partial z} \right) + S^i \quad (1)$$

式中: c^i 为泥沙浓度; w_s 为泥沙沉降速度; σ_{Tx}^i 为湍流 Schmidt 数; v_{Tx} 为各向异性涡粘系数; S^i 为源汇项。

2 泥沙输运模型建立及率定

2.1 研究区域及网格

本文选取了庙河水文站至坝前部分水域 (长度为 18.4 km, 边线为 175 m 高程线) 为研究区域, 用 MIKE 软件建立的研究区域数学模型如图 2 所示。

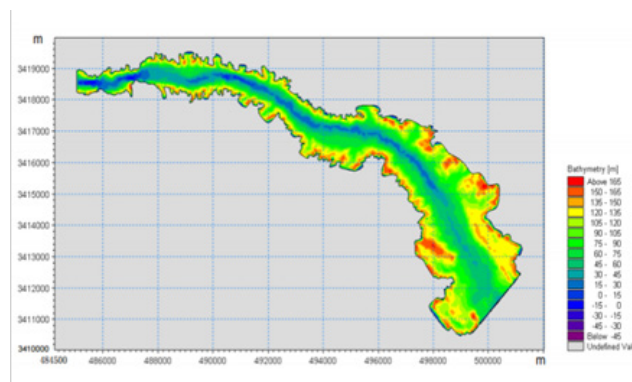


图 2 研究区域数字化地形图

研究区域采用非结构化三角形网格, 设定网格内角在 27° 以上, 并对坝前 200 m 内区域和某些水深变化大的区域进行局部加密。通过不同数目的网格无关性验证, 确定采用的总网格节点数为 234300, 研究区域整体网格如图 3 所示。

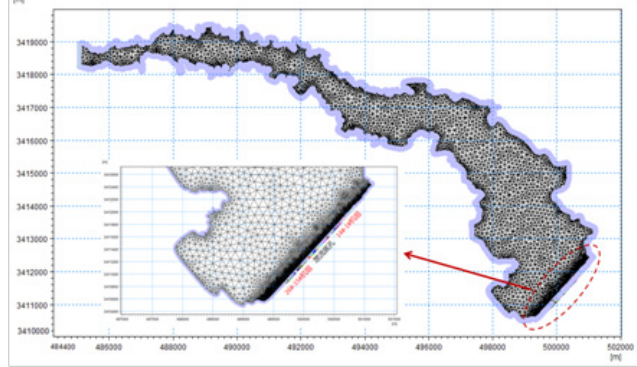


图 3 研究区域整体网格图

2.2 模拟计算设置

本研究采用有限体积法对控制方程进行离散, 采用二阶迎风格式进行空间离散。上游和下游分别采用入口流量和出口流量的边界条件。泥沙模型的主要参数为流速, 水平紊动扩散系数, 沉积及侵蚀系数等, 需根据验证资料进行率定。根据现有资料将泥沙沉速定为常数, 时间步长为 60s。

2.3 模型的率定与验证

本次选择 2010 年 7 月 19 日的洪峰过程工况来对模型进行率定, 得到最终模型采用的主要参数见下表 1。图 4 为当日不同机组进水口泥沙含量模拟值与实测值对比图, 发现曲线整体趋势一致, 模拟结果接近实测值, 说明采用此泥沙运输模型对各机组进水口泥沙含量模拟预测是可行的。

表 1 泥沙模型采用的主要参数

参数	糙率系数	沉降速度 (m/s)	临界沉降系数	临界冲刷系数
数值	0.026	0.000005	0.0005	0.0005

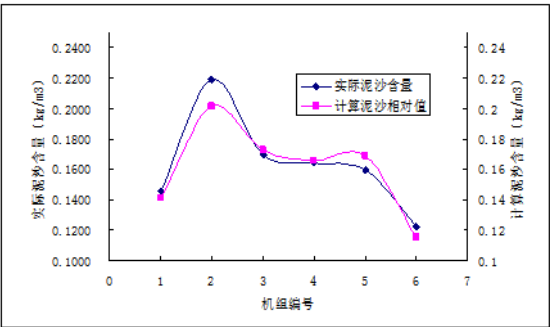


图 4 不同机组进水口泥沙模拟与实测值对比图 (2010.7.19)

3 工况计算与分析

3.1 工况的选择

本文按照水库的调度方式选择四种典型工况来进行近坝区泥沙输运数值模拟计算, 选定的工况如表 2 所示。

表 2 选定的四种工况

工况	运行水位 (m)	入库流量 (m^3/s)	开启机组	其他
1	175	5800	7#、10#、13#、15#、18#、20#	
2	175	5800	3#、7#、13#、15#、20#、26#	
3	145	25126	1-26#全开	
4	145	45218.4	1-26#全开	开启 11 台深孔

3.2 不同工况计算结果分析

当机组同步进行检修时, 可减少分次检修的不便, 故认为各机组泥沙分布均匀的工况为有利机组同步检修的工况。

3.2.1 175m 运行工况结果分析

图 5、图 6 和图 7、图 8 分别为在 175m 水位工况 1 和工况 2 条件下, 模拟得到的坝前流场和泥沙场分布图。从图 5 和图 7 中可看出, 在开启的机组进水口处流速较大。从图 6 和图 8 中可看出, 坝前泥沙含量分布整体呈现从中间向两侧逐渐减小的分布。

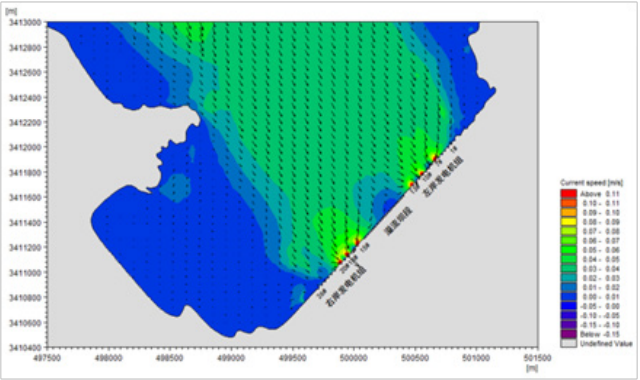


图 5 工况 1 坝前流场分布图

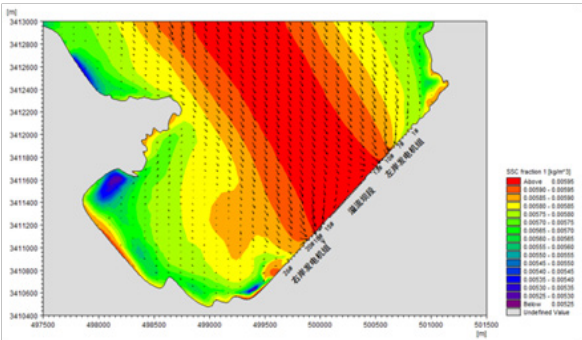


图 6 工况 1 坝前泥沙场分布图

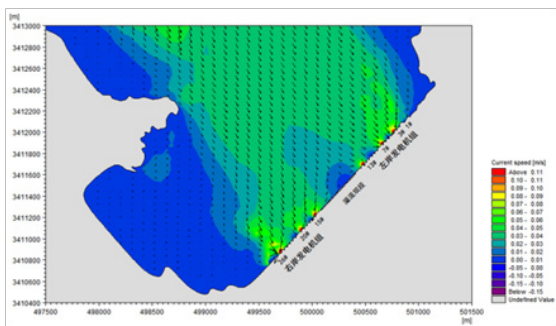


图7 工况2坝前流场分布图

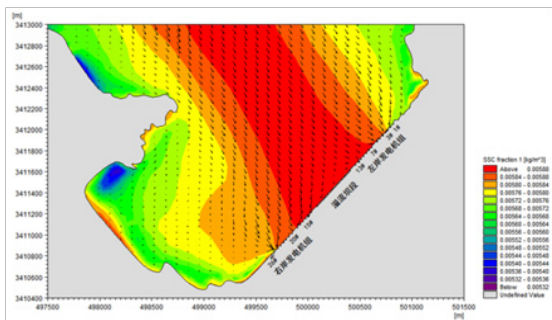


图8 工况2坝前泥沙场分布图

为进一步分析，绘制工况1和工况2各机组进水口处含沙量数据的柱状图9和图10。从图9中可看出，1#至26#机组进水口处泥沙含量呈“驼峰”型式，其中在14#机组进水口处泥沙含量达到峰值。从图10中可看出，1#至26#机组进水口处泥沙含量左岸侧小，中间分布较均匀。以上分析发现工况1条件下，位于主流中间机组较位于两岸机组进水口处含沙量差别较大，不利于同步检修机组。工况2条件下，中间机组进水口处含沙量分布较均匀，有利机组同步检修。

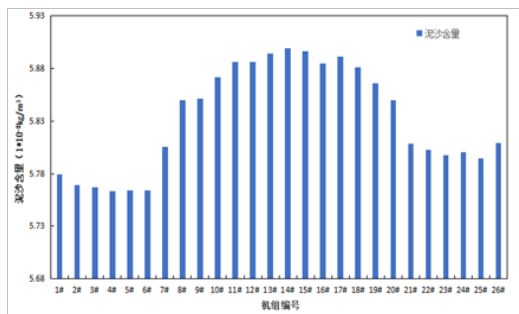


图9 工况1各机组进水口位置含沙量数据图

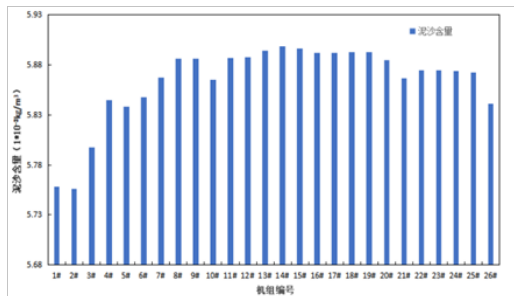


图10 工况2各机组进水口位置含沙量数据图

3.2.2 145m 运行工况结果分析

图11、图12和图13、图14分别为在145m水位工况3和工况4条件下，模拟得到的坝前流场和泥沙场分布图。图11和图12中可看出，在开启的机组进水口处流速较大，坝前泥沙含量分布整体呈现从中间大两侧小的分布。对比图11和图12，图13和图14中开启泄洪深孔后，坝前水域左岸机组段、中间溢流坝段、右岸机组段附近流速都较大，泥沙分布也发生部分变化，说明深孔开启会改变坝前流场和泥沙场分布。

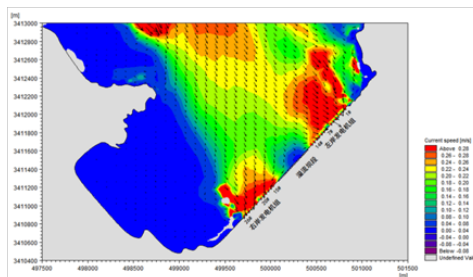


图11 工况3坝前流场分布图

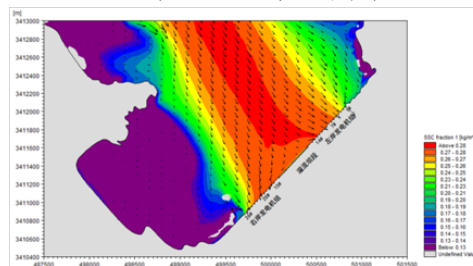


图12 工况3坝前泥沙场分布图

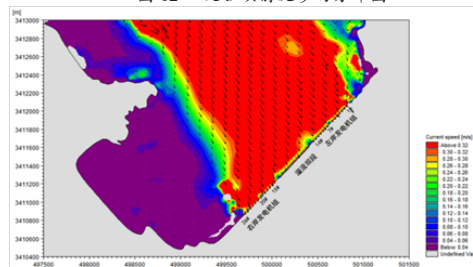


图13 工况4坝前流场分布图

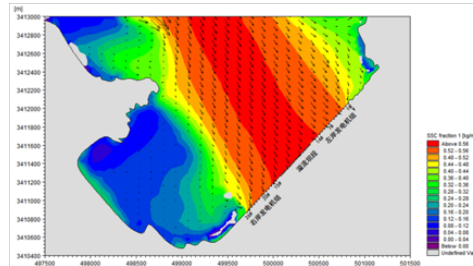


图14 工况4坝前泥沙场分布图

图15和图16为工况3和工况4各机组进水口位置含沙量数据图。从图15中可看出，左岸和右岸机组的泥沙含量分别有相应的峰值，其中左岸较右岸含沙量高。从图16中可看出，1#~26#机组进水口处含沙量分布呈“先增大，后减小”的趋势，在15#机组进水口处含沙量最大，两侧1#和26#机组含沙量最小，主流

基于历史数据的港区泥沙疏浚标高预测技术研究

姚晨明, 姚磊

(长江重庆航道工程局, 重庆 400010)

摘要: 港区的泥沙疏浚位置及标高数据对于疏浚工程和通航有着重要意义。由于历史疏浚数据具有较强的时间序列特征, 本文建立了历史疏浚施工数据集的基础上, 构建了基于长短期记忆网络的预测模型并进行训练和测试, 实现了对疏浚位置及标高的预测达到 96% 以上的准确率, 这表明基于历史数据的港区泥沙疏浚标高预测技术能够实现对现场疏浚数据的良好预测效果, 这能为智能化的疏浚施工提供实用性的数据参考。

关键词: 泥沙疏浚; 历史疏浚数据; 长短期记忆网络; 船舶通航

中图分类号: U655 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2022) 08—0122—03

航道的船舶适航水深的维护需要对口门浮泥进行清淤^[1], 但是这些浮泥受潮波流影响堆积位置是不断变化的, 需要从清淤和适航水深两个方面入手^[2], 历史的疏浚数据包含了疏浚数据的变化特征, 预测口门段清淤时机及清淤部位对于保证航道的通航能力, 以合理调配清淤船舶和时段, 节约工程成本有着重要的工程意义。

港口的疏浚数据特征具有一定的规律性^[3], 根据施工日报表的数据项, 及现场施工的经验判断, 对于主航

道和回淤严重的口门区域会进行周期性疏浚^[4], 疏浚工作涉及接移管线的操作, 船舶在相隔工作日期内不会有较大的位置变化, 开挖标高也在一定的范围内变动, 本研究的目标即根据历史清淤记录进行未来的疏浚地点预测及提醒。

1 建模方法及数据准备

因疏浚工作的周期性及规律性, 潮汐等水文环境、

附近各机组含沙量分布较均匀。

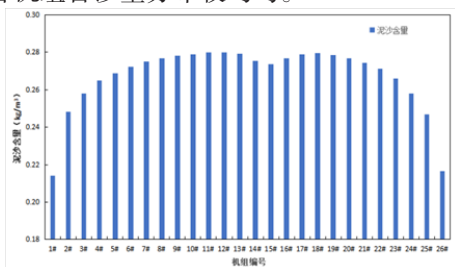


图 15 工况 3 各机组进水口位置含沙量数据图

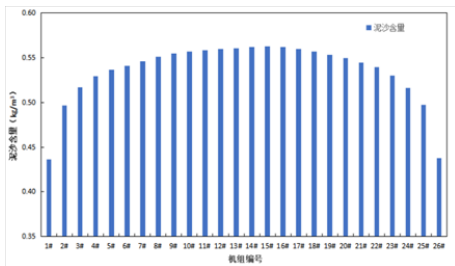


图 16 工况 4 各机组进水口位置含沙量数据图

4 结论

本文采用 MIKE 软件 MT 模块对三峡水库近坝区水域流场及各机组进水口处泥沙分布特性进行模拟分析。结果表明:

(1) 在枯水期 175m 水位运行工况下, 工况 2 (开启 3#、7#、13#、15#、20#、26# 机组) 条件下能使各机组泥沙含量分布较均匀, 对机组同步检修有利; 工况 1 (开启 7#、10#、13#、15#、18#、20# 机组) 会导致位于主流中间的机组较位于两岸的机组进水口位置处含沙量差别较大, 不利于同步检修机组。

(2) 在丰水期 145m 水位, 未开启泄洪深孔的情况下, 可看到左岸和右岸的机组的泥沙含量分别有相应的峰值, 其中左岸较右岸泥沙含量高。深孔的开启可以改变坝前流场和泥沙分布情况。

参考文献:

- [1] 王玲, 易瑜. 长江上游寸滩水文站水沙变化分析 [J]. 水利水电快报, 2003(01): 14-15.
- [2] 魏丽, 卢金友, 刘长波. 三峡水库蓄水后长江上游水沙变化分析 [J]. 中国农村水利水电, 2010(06): 1-4+8.
- [3] 董元虎, 方春明, 曹文洪. 三峡水库不平衡泥沙输移规律 [J]. 水利学报, 2010, 41(06): 653-658.
- [4] 马琳, 高千红, 廖正香. 三峡水电站过机泥沙量初步监测与分析 [J]. 人民长江, 2012, 43(02): 96-100.
- [5] 黄仁勇, 李飞, 张细兵. 三峡水库运用初期库区水沙输移数值模拟 [J]. 长江科学院院报, 2012, 29(01): 7-12.