

# 丹麦 MIKE21 模型在桥渡壅水计算中的应用研究

袁雄燕 徐德龙

(长江水利委员会水文局, 湖北 武汉, 430010)

**摘要:** 丹麦 DHI 公司开发的 MIKE21 数学模型属于平面二维表面流数学模型, 可广泛地应用于潮汐、水流, 风暴潮等二维水力学现象的研究; 本文将 MIKE21 应用于阿深北高速公路兴建巴河大桥前后水位、流场变化情况的二维数值模拟中, 以确定 MIKE21 模型在桥渡壅水计算中的适用性; 经检验, 计算成果令人满意, 其精度可以满足预测要求。

**关键词:** MIKE21; 平面二维; 数学模型; 桥渡壅水; 巴河

**中图分类号:** TV147      **文献标识码:** A

平面二维数学模型以垂线平均的水流因素作为研究对象, 模拟计算河段平面流场及河床细部的变化情况, 在短河段短时期的河床细部数值模拟计算中应用广泛, 如桥渡壅水问题的研究。20 世纪 90 年代以来, 国际上出现了不少成熟的平面二维商业水力学模型, 丹麦水力研究所开发的平面二维数学模型 MIKE21, 是其中应用较为广泛的一款商业模型, 曾经在丹麦、埃及、澳洲、泰国及中国香港、台湾等国家和地区得到成功的应用。目前该软件在国内的应用发展很快, 并在一些大型工程中广泛应用: 长江口综合治理工程; 杭州湾数值模拟; 南水北调工程、重庆市城市排污评价、上海太湖富营养模型; 香港新机场工程建设; 台湾桃园工业港兴建工程<sup>[1]</sup>等。

## 1 MIKE21 模型简介<sup>[2][3]</sup>

丹麦水力研究所 (Danish Hydraulic Institute, 简称 DHI 公司) 是丹麦一所私营研究和技术咨询机构, 成立于 1964 年, MIKE21 是该公司开发的系列水动力学软件 (DHI Software) 之一, 属于平面二维自由表面流模型。丹麦水力研究所不断采用 MIKE21 作为研究手段, 在应用中发展和改进该软件, MIKE21 在 20 多年持续发展和世界范围内大量工程应用经验的基础上发展起来, 在平面二维自由表面流数值模拟方面具有强大的功能:

- (1) 用户界面友好, 属于集成的 Windows 图形界面。
- (2) 具有强大的前、后处理功能。在前处理方面, 能根据地形资料进行计算网格的划分; 在后处理方面具有强大的分析功能, 如流场动态演示及动画制作、计算断面流量、实测与计算过程的验证、不同方案的比较等;
- (2) 可以进行热启动, 当用户因各种原因需暂时中断 MIKE21 模型时, 只要在上次计算时设置了热启动文件, 再次开始计算时将热启动文件调入便可继续计算, 极大地方便了计算时间有限的用户;
- (3) 能进行干、湿节点和干、湿单元的设置, 能较方便地进行滩地水流的模拟;
- (4) 具有功能强大的卡片设置功能, 可以进行多种控制性结构的设置, 如桥墩、堰、闸、涵洞等;
- (5) 可以定义多种类型的水边界条件, 如流量、水位或流速等;
- (6) 可广泛地应用于二维水力学现象的研究, 潮汐、水流, 风暴潮, 传热、盐流, 水质, 波浪紊动, 湖震, 防浪堤布置, 船运, 泥沙侵蚀、输移和沉积等, 被推荐为河流、湖泊、河口和海岸水流的二维仿真模拟工具。

---

作者简介: 袁雄燕, 女, 长江水利委员会水文局, 助理工程师。

该模型也存在一定的局限性:

(1) MIKE21 矩形网格计算模块采用矩形网格有限差分法, 在海岸或防波堤等不规则边界时, 边界常被处理成齿状, 计算出的结果不尽理想。但 MIKE21 的其他模块(如曲线网格 MIKE21C 模块基于贴体坐标系的有限差分法)可以解决这个问题, 或者可以通过细化矩形网格来改善该问题。

(2) MIKE21 矩形网格计算模块难以进行小尺寸局部水工建筑物的绕流模拟。

(3) MIKE21 模式是在许多水力条件假设的情况下进行的, 如垂向的水流加速度忽略不计, 属大范围平面二维数学模型, 不适用于近区三维问题或急流等流动。

MIKE21 用户界面如图 1 所示, 其计算参数包括两类, 一类是数值参数, 主要是方程组迭代求解时的有关参数, 如迭代次数及迭代计算精度; 第二类是物理参数, 主要有床面阻力系数, 动边界计算参数以及涡动粘性系数等。

## 2 基本方程及离散格式<sup>[4]</sup>

### 2.1 基本方程

水流连续方程

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

水流运动方程

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial x} + g \frac{u\sqrt{u^2+v^2}}{c^2 h} = \nu_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} + g \frac{v\sqrt{u^2+v^2}}{c^2 h} = \nu_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

式中:  $x, y, t$  分别为空间、时间坐标;  $Z$  为水位 (m);  $h$  为水深 (m);  $u, v$  分别为垂线平均流速在  $x, y$  方向的分量 (m/s);  $M, N$  分别为单宽流量在  $x, y$  方向的分量 ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $M=hu, N=hv$ ;  $n$  为曼宁糙率系数;  $C$  为谢才系数,  $C = \frac{1}{n} h^{1/6}$ ;  $\nu_t$  为紊动粘性系数;  $g$  为重力加速度。

### 2.2 数值解法

模型采用的数值方法是矩形交错网格上的 ADI 法, 具体离散用半隐式, 求解用追赶法, 交错网格上各物理量的布置如下图 2 所示, 其中  $z, h, u, v$  分别处于不同的网格点上。

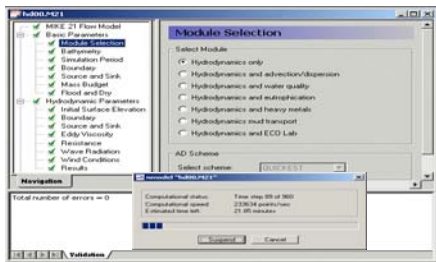


图 1 MIKE21 计算界面

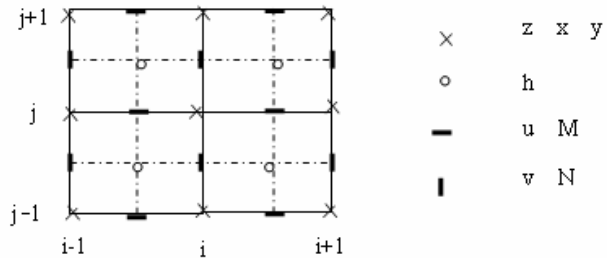


图 2 交错网格示意图

## 3 有关问题的处理

### 3.1 定解条件

定解条件包括初始条件及边界条件, 初始条件包括: 河床高程, 水深和流速。河床高程即指计算河段的河床初始地形, 一般为近期实测地形数据或地形图; 初始流速及水位的确定一般先给出一试算流场及试算水面线, 在初始水流边界条件下计算若干次, 即可得出初始流场及水位。边界条件的给定一般为: 上边界采用进口断面流量过程, 下边界采用出口断面水位过程。

### 3.2 床面阻力系数

床面阻力系数反映了水流和河床相互作用过程中,河道边界粗糙程度、河道形态等因素对水流阻力的综合影响。床面阻力系数的确定正确与否,直接影响到各水力要素的计算。精确地确定床面阻力系数目前还十分困难,通常采用实测资料反求的方法获得,MIKE21 模型亦采用该方法确定床面阻力系数。

### 3.3 紊动粘性系数

在二维数学模型中,对岸线比较平顺的河段而言,紊动粘性系数可略去不计,但对岸线变化急剧,有回流产生的河段,紊动粘性系数的选择显得十分关键,这是因为回流的产生是以铅直面存在摩阻力为前提的,因此紊动粘性系数是决定实际流态中是否出现回流的关键参数。紊动粘性系数的计算方法一般有两种:①采用紊流模型,如最常用的  $k-\varepsilon$  模型。假定:

$\nu_t = C_\mu k^2 / \varepsilon$ , 式中,  $C_\mu$  是一种常数,  $k$ 、 $\varepsilon$  分别为紊流紊动能和消耗率,需由  $k-\varepsilon$  方程

确定。 $\nu_t$  由于缺乏天然实测资料验证而取为常数。②采用经验公式,如 *J. W. Elder* 公式:

$\nu_t = \alpha h u_*$ , 式中,  $u_*$  为摩阻流速,  $h$  为水深,  $\alpha$  为一综合系数,与河道形态及水流条件等

因素有关,其变化范围为  $0.3 \sim 1.0$ , MIKE21 模型采用该经验公式确定紊动粘性系数。

### 3.4 动边界处理

动边界问题是指计算区域中有水和无水区域交界线的确定问题。MIKE21 采用“冻结法”处理,通过定义临界水深  $\Delta h$  来确定干、湿点或干、湿单元,当水深  $h > \Delta h$  时,糙率取正常值,反之糙率取一大值 ( $10^{10}$  量级)。陆地边界的处理方法是令闭边界的法向流速为 0,而沿切线方向的流速为非 0 值,即:  $V_n|_\Gamma = 0, V_t|_\Gamma \neq 0$ 。

### 3.5 桥墩概化

局部建筑物如桥墩、码头等对水流会造成一定的影响,模型中需要加以特别的考虑。现有的处理方法主要有加密网格法、附加糙率法和附加阻力法,MIKE21 采用附加阻力法:

从流体力学基本原理可知,水流对所绕物体的总阻力可表示为:

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A_d v^2 \quad (4)$$

式中:  $C_D$  为绕流阻力系数;  $A_d$  为与流速方向垂直的迎流投影面积;  $\rho$  为水的密度;  $v$  为来流速度。绕流阻力系数  $C_D$  与墩柱形状、淹没程度、相对水深、墩柱群的横向及遮流影响等因素有关,在相关工程技术规范,如《港口工程技术规范(1987)》中可查出不同形状墩柱的绕流阻力系数、相对水深影响系数、水流横向力影响系数、水流遮流影响系数等。MIKE21 模型中相关系数已经存入数据库中,数值模拟时仅提供墩柱群位置、尺寸等相关资料即可。

## 4 计算实例

为检验 MIKE21 解决桥渡壅水问题的适应能力,采用 MIKE21 对阿深北高速公路拟兴建巴河大桥前后的水位、流场的变化情况进行了数值模拟,并采用经验公式对计算结果进行了对比分析。

### 4.1 工程概况

巴河发源于大别山南麓,干流起源于鄂、皖交界处的麻城雪峰山,自北向南,流经麻城,罗田、浠水、黄冈于浠水下巴河注入长江,全长 151km,流域面积 3305.6km<sup>2</sup>。

阿深北高速公路是国家规划建设的阿荣旗至深圳高速公路的重要路段,在巴河河口以上约 16.3km 左右跨越巴河,距马家潭水文站断面约 16.6km。

计算区域为：桥位断面附近约 5km 范围，地形资料为 2004 年 5 月实测 1/5000 水下地形资料，如图 3，采用 30m×30m 的网格；河槽糙率范围为 0.018~0.025，滩地糙率范围为 0.025~0.033；计算条件为：进口流量  $Q=10340\text{m}^3/\text{s}$ ，出口水位  $Z=25.91\text{m}$ （黄海基面）。

#### 4.2 计算结果与分析

图 4 为建桥前后水位变化图。可以看出，建桥后桥位上游引起壅水，桥位下游引起跌水。最大壅水高度为 1.70cm，发生在桥位上游 30m 处；最大跌水高度为 0.40cm，发生在桥位下游 40m 处。MIKE21 计算得到的桥前最大壅水值与采用经验公式<sup>[5]</sup>计算得到的桥前最大壅水值 1.36cm 接近，说明了 MIKE21 在桥渡壅水计算中的适应性较好，计算较合理。

图 5、6 分别为建桥后的流场图及建桥前后流速变化图。建桥后河槽内流速减小，主桥墩局部及两岸流速增加。

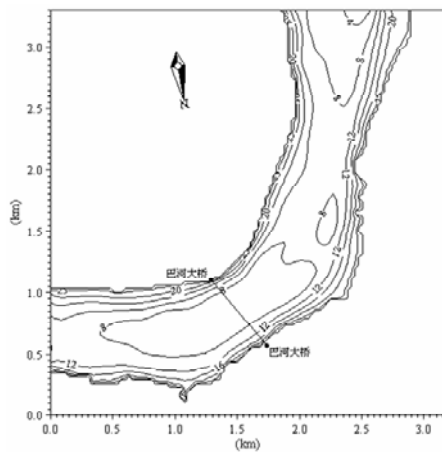


图 3 计算河段示意图

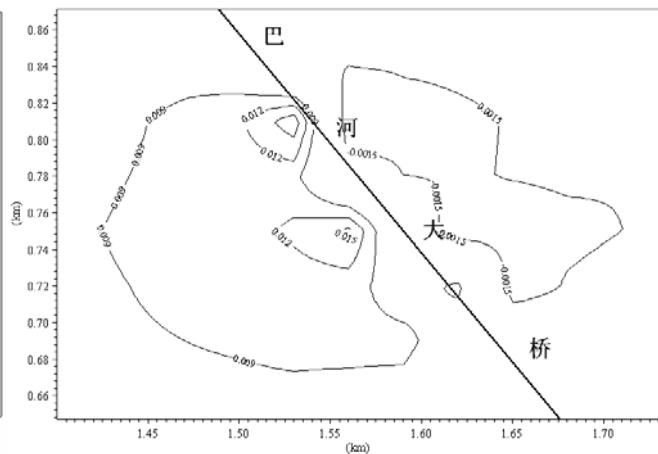


图 4 建桥后水位变化示意图

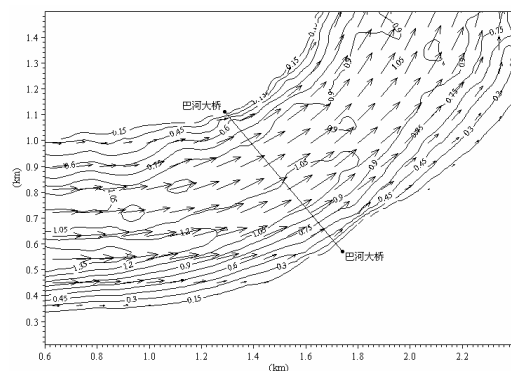


图 5 建桥后局部流场示意图

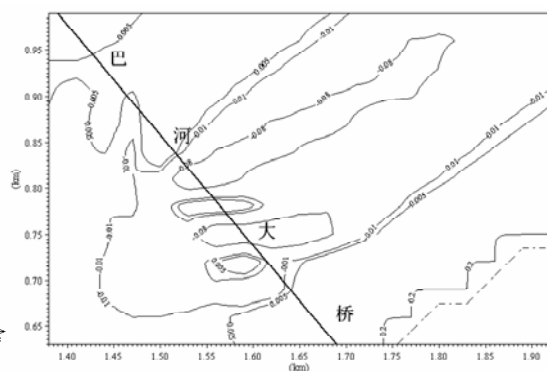


图 6 建桥后流速变化示意图

## 5 结论

以拟建的巴河大桥为例，采用 MIKE21 模型对建桥前后水位、流场变化情况进行了数值模拟，计算结果与经验公式比较合理，计算过程显示了该模型使用方便，精度可以满足预测要求。

## 参考文献

- [1] 殷富, 桃园工业港兴建对海岸地形变化影响影响之数值模拟, 中国文化大学应用数学系教授 (台湾);
- [2] Danish Hydraulic Institute. MIKE21 user manual. 2004;
- [3] Danish Hydraulic Institute. DHI Software. 2004;
- [4] 杨国录, 河流数学模型, 中国海洋出版社, 1993;
- [5] 张红武, 马继业等, 河流桥渡设计, 中国建材工业出版社, 1993。

# **Danish MIKE21 model application research on numerical simulation of flow field in upstream back water area of bridge and aqueduct**

YUAN Xiong-yan XU De-long

(Hydrology Bureau, Changjiang Water Resource Committee, Hubei Wuhan,430010)

**Abstract:** MIKE21 model of Danish DHI company is two-dimensional surface shed mathematics model, It Can widely apply to the research of two-dimensional hydraulics phenomena such as tide, current, storm tide etc. In order to confirm MIKE21 model's suitability in the bridge dammed water numerical simulation, this text apply MIKE21 to two dimensions simulation of flow field changes after building Bahe bridge at the ARongQi-ShenZhen north expressway; The Calculation is satisfying and its precision can meet the demand of predicting.

**Key words:** MIKE21; two dimensions; mathematical models; the bridge dammed water; Bahe river