

文章编号:1007-6492(1999)02-0089-03

## 用结构化语言处理洪水二维计算中的边界问题

曲军营, 李占松

(郑州工业大学水利与环境工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**采用结构化较强的C语言解决洪水演进的二维非恒定流计算中的边界问题,用C语言的结构体功能描述边界属性,处理边界附近的区域,这样能良好反映实际边界条件;吸收了规则网格和不规则网格各自优点,同时避免两者的不足,建立了复合网格模式,该方法对大面积洪水泛区计算具有较强的适用性。

**关键词:**二维非恒定流;洪水;边界拟合

**中图分类号:**TV 122.3 **文献标识码:**A

### 0 引言

在二维非恒定流数值模型计算中,计算的精度在很大程度上取决于对边界问题的处理,包括边界拟合和算法处理。边界拟合的方法有多种,发展最早也是最简单的方法是阶梯型拟合法,目前多用此法,即将计算区域划分为规则网格(矩形网格),边界条件拟合在网格上,呈阶梯型,用有限差分法计算,但该方法对边界条件处理简单,与实际边界贴合性差。为了提高边界拟合的精度,在此基础上,又发展了三角形网格,用有限元法计算<sup>[1]</sup>,该方法能较好地反映边界条件,但数据处理量大,对计算机内存要求高,计算规模受影响。

近年来在这两种方法的基础上又发展了新的边界处理方法,如建立矩形和三角形网格的结合模式<sup>[2]</sup>,结合两者各自的特点以实现对局部复杂地形和边界变动区域小尺度流场的精细模拟和计算,并将该法用于海湾潮流场计算;文献[3]提出参照有限元的计算方法处理边界附近的三角形网格;文献[4]提出采用无结构网格即由任意多边形组成的不规则有限元网格,根据边界条件的要求局部地和适应性地加密网格,但该方法网格划分较复杂,数据的处理量也大,不利于计算的模块化和通用性。

本文提出用结构化语言来解决边界条件的技术问题,对边界条件复杂的区域采用不规则网格

计算,在对其它地形、边界条件简单的洪水区域采用规则网格计算,实现了规则网格和不规则网格相结合。

### 1 结构化语言处理边界的实现

#### 1.1 边界的分类

洪水泛区的边界条件可简单划分为2种,即阻水边界条件(如公路等)和泄水边界条件(如河流等),这两种边界条件对水流的流向改变影响很大。阻水边界法向流速为零,泄水边界沿法向考虑为堰流。

#### 1.2 边界拟合的技术处理

对边界条件的处理通常是先将边界资料进行拟合,然后和地形资料一起划分网格,这样拟合起来在计算过程中对边界条件特性进行描述较困难,C语言的结构化功能启发我们把边界条件抽象出来考虑。首先将在整个洪水泛区划分为规则网格,如最常用的矩形网格,然后再处理边界条件。

##### 1.2.1 阻水边界条件的处理

由于路的阻水作用,可以考虑在有公路边界条件的网格内依据公路边界条件划分不规则网格,较简单的办法是将规则网格划分为两个不规则网格,按不规则网格计算。反映公路边界条件属性的主要有路基高程、路面高程、路宽、所在位置等,故可以考虑用C语言建立一个结构体来反映

收稿日期:1998-12-30;修订日期:1999-03-25

作者简介:曲军营(1971-),男,河南省新密市人,郑州工业大学硕士研究生。

公路边界条件,示意图见图1.具体可建立以下结构体:

```
struct cboard    //阻水边界属性参数
{
    double b_x;    //起点坐标
    double b_y;    //起点坐标
    double e_x;    //终点坐标
    double e_y;    //终点坐标
    double lx;     //左侧网格形心坐标
    double ly;     //左侧网格形心坐标
    double rx;     //右侧网格形心坐标
    double ry;     //右侧网格形心坐标
    double b_u;    //水力特征
    double b_v;    //水力特征
    double board_z; //水力特征
    double board_z0; //水力特征
    double b_h;    //高程
    double b_w;    //宽度
    int neti;      //所在网格号
    int netj;      //所在网格号
    int state;     //状态
};

struct cboard road[1000]; //公路边界条件数组
```

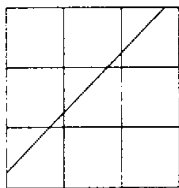


图1 公路边界条件示意图

### 1.2.2 泄水边界条件的处理

对于河流作为泄水边界条件,可将河流分为单元段,河流边界包括河堤和河道,河堤在没有被冲毁以前是阻水边界条件,其对洪水的影响与公路类似,冲毁后是泄水边界条件,考虑为堰流,河道则作为有两侧汇流的泄水边界条件,按一维非恒定流计算,示意图见图2.具体可建立以下结构体:

```
struct Ariver    //河道中心线属性参数
{
    double cx;    //x 方向坐标
    double cy;    //y 方向坐标
    double cu;    //断面流速
    double cz;    //断面水位
    double cz0;   //水底高程
};
```

```
double cb;       //断面宽度
};

struct briver    //河流边界条件属性参数
{
    struct Ariver bA;    //起始断面
    struct Ariver eA;    //末端断面
    struct cboard left[4]; //左堤
    struct cboard right[4]; //右堤
    double left_q;       //左岸汇入流量
    double right_q;      //右岸汇入流量
    double b_z;          //河道水位
    double b_z0;         //河底高程
};

struct Mriver    //河流边界条件标志的属性参数
{
    int kk;        //河编号
    int i0;        //河段编号
    int i;         //河堤段编号
};

struct briver river[8][110]; //河流边界条件数组
struct Mriver riv_lm[800]; //河流左堤边界数组
struct Mriver riv_rm[800]; //河流右堤边界数组
```

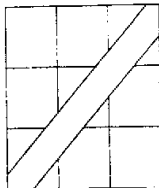


图2 河流边界条件示意图

这样在计算过程中可以根据边界标志判别数组判断是否有边界条件,若有,则调用边界条件数组 road[k](公路边界条件)或 river[i0][k0](河流边界条件)反映的边界属性来考虑不规则网格的计算.依据边界条件在网格中的位置区分不规则网格的特性,划分为不同类型的不规则网格进行计算.

### 1.3 边界网格算法模式的选择

算法模式主要有有限差分法、有限元法和有限体积分法.有限体积分法是近年来应用较广的一种方法,它具有物理意义明确,稳定性好等优点,尤其适用于不规则网格,本文对规则网格区域和不规则网格区域均采用有限体积分法计算.

## 2 应用及模型验证

将该方法应用于黄河下游某段大堤决溢洪水

演进数值模拟计算。

## 2.1 泛区资料

该泛区南北方向 274 公里,东西方向 450 公里,覆盖面积 42480 平方公里,其中影响较大的内边界条件有 10 条道路、7 条河流,依据 1/50000 地形图输入地形高程资料(见图 3)。



图3 洪水泛区地形示意图

## 2.2 网格划分及算法选择

对边界附近采用上述不规则网格方法处理,对其它区域采用矩形网格,空间步长为 2 km,共布置 30825 个网格,时间步长为 172.8 s,采用有限体积法计算。

## 2.3 计算结果验证及应用

先依据该泛区历史上 1938 年花园口溃堤洪水资料中的溃堤条件进行计算验证,其计算结果和依据历史洪水资料所推算的洪水位比较,洪水演进趋势和淹没范围非常相近,大部分点淹没水深比较接近,部分点相差较大,可能是局部地形地物的历史变化造成。

然后,根据所给不同的上游来水条件,分不同方案,进行计算分析,为黄河下游防洪减灾提供依据(见图 4)。

时刻显示 T(s)=30.0 天



图4 洪水演进示意图

## 3 结束语

该方法在模型计算中采用 C 语言的结构体来描述边界条件的属性,不规则网格区域由边界条件属性数组确定,在边界拟合时可以直接使用原始边界条件,提高了边界附近的计算精度,同时又使计算区域的网格划分变得十分简单,这样有利于网格系统的自动生成,大大减少了人工在网格划分方面的工作量,该方法利于实现洪水预报预警的模块化、自动化,且适合洪水泛区面积大的特点,对洪水的减灾防灾预报有较强的适用性。

## 参考文献

- [1] 许汝林. 海湾潮流的有限元计算[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1996, 35(3): 442-444.
- [2] 宋志尧, 彭世银, 严以新. 二维潮流数值计算复合模式[J]. 河海大学学报, 1997, 25(2): 95-98.
- [3] 刘智. 三角形网格在二维不恒定流计算中的应用[D]. 北京: 水利水电科学研究院, 1986.
- [4] 谭维炎, 胡四一. 二维浅水流动的一种普适的高性能格式[J]. 水科学进展, 1991, 2(3): 154-161.

## Dealing with Boundary Problem in Flood 2-D Calculation with Structured Language

QU Jun-yong, LI Zhan-song

(College of Water Conservancy & Environmental Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** This paper applies structured language C-language to deal with boundary problem of 2-D unsteady flow calculation in flood development. Using the function of structured C-language can describe the properties of boundary and deal with the area nearby boundary. Therefore, it can reflect the actual boundary-condition and absorb the advantage of regular mesh and irregular mesh, and avoids the defects. It establishes complex mesh model, and especially is suitable for the calculation of large flooded area.

**Key words:** two dimension unsteady flow; flood; boundary fitting