

# 永定河实时调度系统的建立

周潮洪<sup>1</sup>, 常守权<sup>1</sup>

(1. 天津市水利科学研究所, 天津 300061)

**摘要:**介绍了永定河防汛调度系统的总体设计、数学模型的建立和系统的结构。该系统以复杂河网数学模型为核心, 把众多的边界条件、控制条件、可变参数及成果分析简化到可视化界面中, 可由管理人员进行参数修改、调度计算和分析操作。该系统利用 Fortran、VB、Foxpro 混合编程, 集地理信息系统、计算、显示、查询为一体, 为防汛实时调度和制定防洪预案提供了先进的技术手段。

**关键词:**实时调度; 河网模型; 信息系统

中图分类号: TV877

文献标识码: A

永定河是全国四大重点防洪骨干河道之一, 具有地形坡降陡, 平时干旱少雨, 汛期集中, 洪峰陡, 预见期短, 滞洪区内堤埝纵横, 人口经济发展迅速, 洪水调度难度大的特点, 下游河口段淤积严重, 泄流能力急剧下降。加上其复杂的地形条件及重要的地理位置, 永定河的防洪成为京津冀地区的心腹之患, 其调度问题成为海河流域防汛调度的重点和难点。永定河在工程治理的同时如何合理有效地利用永定河泛区和其他滞洪小区, 通过科学调度尽量减少永定河洪水对中下游地区的威胁, 减少洪水灾害损失已成为当务之急。防汛部门急需建立一套实用、可靠、先进的防汛指挥系统, 提高洪水预报的精度和预见期, 为制定防洪调度方案提供灵活、方便的计算分析手段, 为防洪减灾和防汛管理工作提供决策参考和信息。

本文根据防汛部门的迫切需要, 建立了永定河实时调度系统, 以复杂河网数学模型为核心, 把众多的边界条件、控制条件、可变参数及成果分析简化到可视化界面中, 在使用者和设计者之间架起一座桥梁——即系统界面。使用者通过简单的界面操作, 就可以修改参数, 进行实时调度计算和成果分析。在实时洪水发生时, 使用者可根据实测的或预报得到的水情、雨情、下垫面状况及决策者当时提出的调度要求, 在极短的时间内完成调度计算、成果分析, 并进行方案比较, 为领导决策提供参考。

## 1 系统的总体设计

**1.1 系统设计的原则** 该系统在建立时充分考虑了防汛调度工作的需求和用户的需求, 确立系统设计原则是: 在计算准确、快速的前提下, 必须具备获得信息快捷、操作简便、容错功能强、显示信息全面、分析综合性强等特点, 同时系统应具备二次开发和与其他系统相联接的功能。该系统是为方便防汛工作而研制的, 必须以使管理、决策人员能直接操作使用为目标, 把模型计算、成果分析等对专业要求强的东西隐藏在系统内部, 代之以友好的人机对话界面, 通过鼠标、键盘的简单操作, 引导使用者进行准确、方便的使用。系统还必须具有易创建、易修改、易维护的特点。

**1.2 系统设计的目标** (1) 用户不必掌握数值模拟计算方法, 只要根据界面的提示就可以使用本系统。(2) 通过实时调度计算, 可获得任何断面、任何时刻的水位流量要素, 同时可获得滞洪区的分洪时间、分退洪过程、滞洪区内蓄量、水位、淹没面积、淹没损失变化过程及分洪后降低河道水位的效果, 而且系

收稿日期: 2003-04-17

作者简介: 周潮洪(1967-), 女, 高级工程师, 主要从事防洪、水环境研究工作。

统还可以根据实际需要确定哪一个或哪几个滞洪区何时开始分洪及其分洪效果。(3)系统应具有计算速度快、精度高、储存量小的特点,适应于任意形状的河网及滞洪区调度计算,适合于复杂的地形、水情、调度条件,便于系统的推广应用。(4)成果分析必须与时间及空间地理位置相结合,内容全面,重点突出,直观易懂。

**1.3 系统的开发软件及关键技术** 系统在中文 windows98 系统下开发,采用了 FORTRAN Power station、Visual Basic、Foxpro、GIS 等软件,操作系统采用“主窗口——子窗口——菜单——按钮”的方式为界面总体设计思路。系统完成后:(1)克服了以往数据成果和空间位置相脱离的情况;(2)克服了以往模型与综合分析两分开的弊病,利用 VB 和 Fortran 的混合编程,把模型计算与成果分析结合在一起;(3)解决了以往管理人员无法使用模型计算的问题,利用界面的简单操作实现了模型计算及综合分析;(4)模型计算的结果都是以计算时间长度计算的,而防汛的实际应用中,习惯用月、日、时表示,本项目中采用 2 种时间对比显示方式,同时实现了跨日、跨月的时间显示;(5)实现了图形曲线和图形数据的联动显示功能;(6)实现了图形曲线数据点与信息联动显示功能。

## 2 数学模型的建立

**2.1 洪水预报和调度方案研究** 最初运用水文学的方法计算洪水传播时间、洪峰流量、分洪量等特征值,该方法具有概括性强、计算简单、求解所需时间短、计算费用少、易于掌握等优点。但水文学方法也存在着一些问题,由于该方法的经验性较强,许多经验参数对实测水文资料的依赖性很强,来水情况不同,相应的参数也不同,人为干预的因素较大。尤其象永定河这样一条多年未来大洪水的河道,地形条件变化大,缺乏水文学方法所需要的实测资料,难以准确提供有关参数。采用基于汉点分组解法的复杂河网洪水调度数学模型进行实时洪水调度计算是十分有效的,关于这一模型李义天教授在荆江及洞庭湖区的洪水调度计算中已积累了很多的经验<sup>[1]</sup>。本文针对永定河复杂的地形和调度条件,对模型进行了完善,应用范围更广。

**2.1.1 基本方程** 描述一维不恒定流运动的圣维南方程组有很多形式,本文采用以下形式的微分方程:水流连续方程:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

动量守恒方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + g \frac{n^2 Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

式中:A 为过水面积;Q 为流量;q 为单位长度旁侧入流量,也可以是降水或下渗单宽流量;n 为糙率系数;R 为水力半径;Z 为水位; $\alpha$  为动力修正系数;g 为重力加速度。

**2.1.2 定解条件** (1)初始条件: $Z(x, t) |_{t=0} = Z(x, 0); Q(x, t) |_{t=0} = Q(x, 0)$ 。即在计算开始时刻(t=0)给定计算断面的水位 Z 和流量 Q。(2)边界条件:可以采用下边界水位过程与上边界的流量过程;或给出上下边界断面的水位流量关系曲线。

**2.2 河网汉点基本方程** 按通常定义,汉点是两条或两条以上的河段的交汇点,有时也可将边界点作为汉点处理。

$$Z(x, t) |_{x=0} = Z(0, t); Q(x, t) |_{x=k} = Q(k, t) \text{ 或 } Z(x, t) |_{x=k} = Z(k, t) \text{ 或 } Q(x, t) |_{x=k, 0} = f(Z(x, t))$$

**2.2.1 水流连续方程** 进出每一汉点的流量必须与该汉点的水量增减率相平衡:

$$Q_m^{n-1} + \sum_{i=1}^{l(m)} Q_{m,i}^{n+1} = \frac{\partial \Omega_m}{\partial t} \quad m=1, 2, \dots, M \quad (3)$$

式中：M为河网中的汉点总数； $l(m)$ 为与汉点m相连接的河段数； $Q_m^{n-1}$ 为第k河段流入(或流出)汉点m的流量； $Q_{m,i}^{n+1}$ 为汉点m处除汇流河段外的其它入流量； $\Omega_m$ 为汉点m的蓄水量。

将式(3)写成增量形式，并将水量增量率写成差分形式：

$$Q_m^{n+1} + \sum_{l=1}^{L(m)} Q_{M,l} + \sum_{l=1}^{l(m)} \Delta Q_{m,l} = S_m \frac{\Delta Y_m}{\Delta t} \quad (4)$$

式中： $S_m$ 为汉点m的水面面积； $Y_m$ 为汉点m的水位增量。

2.2.2 动量守恒条件 汉点动量守恒条件与是否考虑各河段端点处流速水头、阻力损失等有关。一般情况下，可以近似地认为汉点处各河段端点水位相同，水位增量也相同，即：

$$Y_{m,1} = Y_{m,2} = \dots = Y_{m,l(m)} = Y_m \quad m=1, 2, \dots, M \quad (5)$$

2.3 方程求解 李义天在三级解算法的基础上，进一步将汉点分组<sup>[2]</sup>，提出了一种河网不恒定流的汉点分组解法。这种算法不仅可极大地压缩系数矩阵的阶数，节省计算储存量，而且由于系数矩阵阶数的降低，其求逆计算量也极大地减少，进而可有效地缩短计算时间，提高计算速度。由于运算次数的减少，计算中的舍入误差减少，计算精度也可得到保证。此外，这种算法的储存量较小，计算速度快，在一般的微型计算机上可进行复杂的大型河网计算，不仅可节省大量的计算费用，同时也便于推广应用。

2.4 河网概化 本文计算范围从卢沟桥一直到永定新河河口，全长200km，其中有5条支流入汇或分流，13个滞洪区，22个分洪口门。

### 3 调度系统的结构

系统以复杂河网数学模型为核心，加上输入、前处理、后处理、输出几部分。

河网及蓄滞洪区计算中比较复杂的问题是汉点与河段的相互关系的识辨及水流流动方向的确

定等问题，特别是汉点分组后，进一步增加了这种识辨的困难性。复杂河网模型建立了一套简单的、一般化的汉点河段自动识辨系统，用户可根据所研究的具体问题的特点来定义汉点及河段的相互位置及关系，不必去考虑模型原理中介绍的非常复杂的汉点矩阵形成问题，因此可大大简化资料整理及输入工作。但所有的数据资料都是按一定格式输入的，任何一点细微的差错，都会导致数据读入失败，从而导致计算不能进行，这不仅要求操作者熟练掌握该模型的输入方式，输入时非常仔细、认真，同时也给修改调度方案带来不利影响。但是按格式输入也有其很大的优

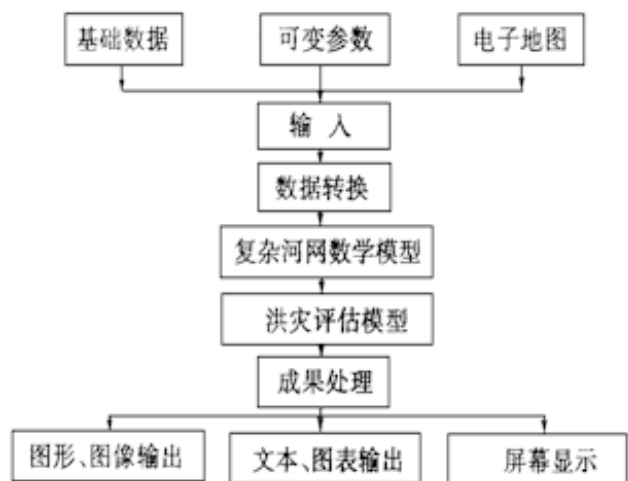


图1 调度系统结构设计框

点。既然是河网，就有很多支流、汉点、分蓄滞洪区、控制条件，以及常规的地形、糙率等基础资料，信息量大，相互之间的关系非常复杂。如果不小心把相互之间的关系搞混了，计算就会失败。而模型带格式输入则可以检验输入的各种信息之间的相互关系，一旦出错，就会提醒操作者输入错误，并指出错误原因，便于操作者进行修改。为了保留原模型的优点，改进不足之处，作者开发了一套数据转化软件，在基础数据和河网模型之间建立起一座桥梁，可以以任意格式读入基础数据，转化成河网模型需要的格式，然后进行计算。

计算完毕后可获得大量的成果信息，包括不同时刻、不同河段、不同断面、不同蓄滞洪区的水位、流量、面积、蓄量、损失等成果，分析工作要求对河网的划分、断面的位置等非常熟悉，工作量也很大，不利于管理者使用。根据防汛部门所关心的滞洪区及河道控制点相对固定，编制了后处理软件，将所关心的重要信息一次性全部输出，并根据使用者的需要，输出任一断面任一时刻的水力特征值，前处理软件及后处理软件一方面减少了改变计算条件带来的数据整理工作量，减少数据整理过程中的错误，加快方案修改的速度，并使成果分析简单化，使计算结果一目了然。同时为建立操作界面打下基础，使得在界面上修改方案、分析成果成为可能，建立了模型和使用者之间的联系，真正实现实时调度。系统的结构见图1。

## 4 调度系统的功能

利用本系统，使用者通过界面修改来水条件及有关参数，就可进行实时调度计算，现状调度方案计算和优化调度方案计算，并对成果进行分析比较，为防汛决策提供先进的技术手段。具体功能包括修改边界条件、支流来流条件、地形、分洪口门参数、下渗条件、糙率等。

边界条件包括上边界流量过程及下边界河口水位过程。实现了从界面输入文本直接转化成计算用数据文件的功能。还具备保存修改输入不同内容及恢复的功能。

地形条件包括分洪口门、糙率、地形资料的修改及输入。可以根据实际情况，逐一修改口门的底高、宽度，每一个断面的糙率、起点距、高程。

支流入汇包括天堂河、龙河、北京排污河、潮白新河的入流流量过程，北运河分别考虑不分泄、以恒

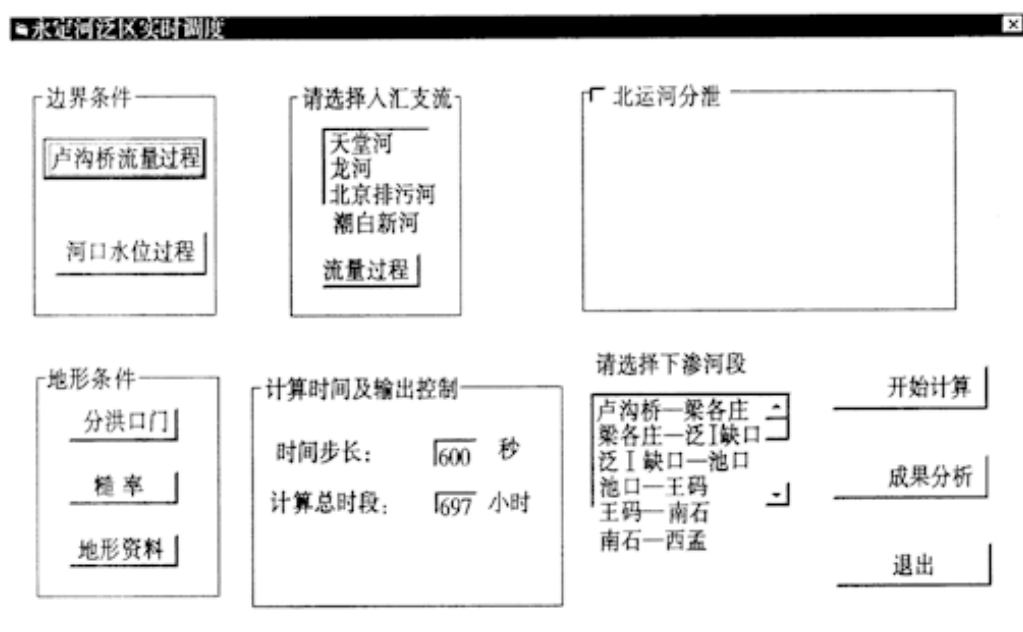


图2 实时调度计算系统界面

定流量分泄、按堰流条件分泄、按给定的流量过程分泄四种情况。

下渗可选择某一河段，根据当时的下垫面条件输入最大下渗流量，饱和时间或输入适当的下渗公式和有关参数，当模型计算需要的条件完全具备时，就可以开始计算。图2为实时调度计算系统界面。

该系统计算速度非常快，当卢沟桥来流为30d流量过程，在P 650微机上只需3、4min就完成计算。计算完成后，点击成果分析“按钮”，就可进入成果分析界面。

## 5 结语

本文建立了一套完整的永定河调度分析系统，集模型计算和成果分析为一体，界面友好，操作简单，功能强大。管理人员利用简单的界面操作就可以修改参数，进行河网调度模型计算。同样进行简单的操作就可以立即获得所需要的河道水位、分洪效果、分洪过程等信息。这套系统的建立使防汛实时调度成为真正的可能，为防汛、规划部门提供了先进的手段。本系统在建立时充分考虑了多样化的水情、下垫面、地形及调度条件，同时从用户要求出发，使操作界面和分析过程尽可能简化，使得该系统适应范围广，不仅可以在永定河上应用，稍加修改就可以应用到其他流域的河流上去，是辅助领导决策的有力工具。

## 参考文献：

- [1] 李义天等. 洞庭湖分蓄洪区调度运用数学模型研究报告[R]. 武汉：武汉水利电力大学，1997，8.
- [2] 李义天. 河网非恒定隐式方程组的汉点分组解法[J]. 水利学报，1997，(3).