

# 永定河(卢沟桥以下)洪水调度模型研究

朱芳清

周潮洪

郭书英

(天津市防汛办公室 天津 300204)(天津市水科所 天津 300205)(水利部海河委员会 天津 300170)

**摘要** 通过对复杂河网数学模型的改进,建立一套适合用于永定河(卢沟桥以下)洪水调度的数学模型。运用该模型实行实时调度计算分析,可获得各主要控制断面的水位流量过程、洪水传播时间、泛区和蓄滞洪区分洪的效果、分洪损失的数据和图表等。模型既可在洪水发生时作实时方案的计算比较,也可事先作预案研究,为防洪决策服务。

**关键词** 洪水 实时调度 河网模型 永定河

## 1 前言

永定河是全国四大重点防洪骨干河道之一,历史上曾多次发生大洪水,造成灾害。官厅山峡地区是暴雨中心,至今尚未建设控制性工程。永定河泛区由于1956年以后未来大洪水,区内经济和人口发展迅速,堤埝纵横,很难发挥应有的缓洪沉砂作用。永定

收稿日期:2001-03-02

中城市的防洪安全,若引水与防洪排涝发生矛盾,势必会影响城市居民生活和工业用水,危及城市安全。

### 3.2 尽量不与已有河(渠)道的原引水期冲突

由于2000年引黄济津工程代庄闸以上也是引黄济冀的通道,引黄济津输水期也正是往年引黄济冀输水时间,为此在引黄济津的同时向河北省大浪淀水库(代庄闸)补水0.536亿m<sup>3</sup>。一是增加了调度的难度。要保证为河北省引水的同时,不能影响天津的输水量,这就需要在保证工程安全的前提下尽量加大引水流量。同时要选择合适的时机,在冬季结冰前完成向河北省补水工作,以便能够保证引黄济津冰期稳定的输水流量,确保输水任务按期完成。这就增加了输水调度的难度。二是影响整个输水进程。在给河北省补水期间,有一段时间天津市九宣闸收水流量不足40m<sup>3</sup>/s,仅为向河北省补水前流量的2/3,影响了引黄济冀的实施。

位山三干渠是山东省位山灌区的灌溉干渠,原计划引黄济津输水期至2001年2月底,而2月则是近年来位山灌区春灌的高峰期,为协调此问题,原设

万方数据

新河因开挖时河口未建挡潮闸,河道严重淤积,虽经多次清淤,仍远未恢复设计标准。由于上述问题,永定河的防洪成为京津冀地区的心腹之患,需要尽快快治理。在对工程的治理进行时,如何合理有效地利用永定河泛区和其他蓄滞洪区,根据实时洪水资料,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。

本文通过数学方式建立永定河(卢沟桥)以下洪

计启用陶城铺补水工程,与位山三干渠联合调度,增加了工程的总投资。

### 3.3 整体考虑原有工程的安全性

由于清涼江上部分建筑物过水能力不够,在引黄济津输水期间曾发生岗楼闸闷孔和两处水位接近交通桥底梁事件,建筑物的安全受到威胁;南运河部分堤段一度超防汛设计水位输水,输水安全受到影晌,若降低位山闸引水流量,又会影响整个输水进程。所以在输水工程建设中应整体考虑原有工程的安全性。

### 3.4 尽量不与原工程的排污等效益发生冲突

山东省临清市引黄入卫新河段是引黄济津的一条重要渠道,也是临清市城区向外排水的主要河道。由于引黄济津使城区排涝受到顶托,堵住了城区排涝的出路,致使生活污水长时间存入小运河内,水位不断上涨,造成下水道翻水、冒水,给城区居民的日常生活、工农业生产及环境造成很大影响。为了保证引黄济津水质,最后投资50多万元,修建了临清小运河导污临时抽排工程,才使问题得以解决。

水实时调度模型,当永定河卢沟桥下泄不同量级洪水时,计算各主要控制断面水位流量过程、洪水传播时间和各分滞洪区的分洪效果、灾害损失等。并利用模型研究永定河卢沟桥以下的洪水减灾调度方案,为规划和滞洪区安全建设、群众转移提供必要的参考。若实现防洪实时调度,就要求模型进行实时计算时界面友好,操作简单,计算时间短,即当实时洪水发生时,管理人员和决策人员通过简单的参数修改,可计算并预报出洪水发生后不同调度措施的泄洪情况和减灾效果,为防汛决策提供主要参数依据。

本次研究的范围从永定河卢沟桥至永定新河河口,全长 191.1 km。包括卢沟桥至梁各庄段、永定河泛区、永定新河以及三角淀、淀北、西七里海滞洪区。同时考虑天堂河、龙河、北运河、北京排污河、潮白新河等的人汇影响和屈家店枢纽的控制。

卢沟桥至梁各庄段河道长 60.1 km,为游荡性宽浅型河道,主流摇摆不定,河道中泓善变,两岸有堤防保护。梁各庄至屈家店为永定河泛区,长 67 km,宽 6~15 km,总面积 522 km<sup>2</sup>,是永定河缓洪沉砂的场所。中途有天堂河、龙河、北运河汇入。泛区各小埝和左右大堤之间形成众多小的滞洪区,当洪水较小时,水流在主槽中流动,一旦发生较大洪水,小埝破口,洪水经口门进入滞洪区,又从退水口门回到主河道。本次计算把泛区分为 9 个小区,根据实际情况,泛 8 区作为主河道的滩地考虑,泛 9 区按河道考虑。泛区右岸下游有三角淀滞洪区,泛区出口为屈家店枢纽,控制水流向永定新河及北运河下泄。从屈家店到永定新河河口长 46 km,为人工开挖的人海通道,中间有北京排污河、潮白新河入汇,左岸有淀北和西七里海两个滞洪区。

## 2 河网模型及改进

### 2.1 数学模型的选择

永定河泛区内堤埝纵横交错,如南北小埝、南北前卫埝、龙河左右小埝、南北围埝、护麦埝等,各堤埝之间所围垦的地区实际上形成了一系列滞洪小区。当遇较大洪水时,由于堤埝破口使泛区内河道与滞洪小区形成一个不可分割的整体,不仅河道与堤埝相联,各滞洪小区之间也相互联接。由此可见,永定河泛区的洪水运动具有十分典型的河网水流运动特征,调度问题可以采用河网模型来计算。

现有河网方程组的求解方法,可归纳为直接解法和分级解法两大类。前者是早期河网计算中常用的,后者是近期发展的。实践证明:分级解法较直接解法更有效、实用,因而得到了广泛应用。尽管如此,  
月月数据

在汊点较多的河网计算中仍存在很多困难。

在此基础上,有关学者提出了一种汊点分组解法,其特点是能够根据实际问题的需要,灵活方便地将河网中的汊点划分为任意多组,使汊点方程组的系数矩阵压缩到与分组后每组中的汊点数相同的阶数,不仅极大地压缩了系数矩阵的贮存量,而且计算量大幅度减少,计算精度也得到了保证。

### 2.2 模型的改进

基于汊点分解法的河网模型最初应用于洞庭湖区蓄洪垸调度计算,计算结果与实际情况十分吻合,表明模型不仅能够应用于复杂河网区,而且能够用于滞洪小区的分洪调度。但在原来的模型中,一个滞洪区概化成一个口门,滞洪区之间互不关联。但由于永定河的地形条件复杂,各滞洪区又分几个分洪小区运用,滞洪区之间互相关联,既有滞洪区向滞洪区分退洪,又有河道向滞洪区分洪、滞洪区向河道退洪,一个滞洪区又有多个分洪口门。泛区既有支流入汇,又有通过支流泄洪,如北运河分洪,同时在主河道上还有屈家店闸控制。为了适应永定河复杂的调度运用条件及北方河流的特点,本次计算对模型进行了研究修改,增加了以下功能:

- (1)滞洪小区之间可以互相关联。
- (2)一个滞洪小区可以有多个进退水口门。
- (3)口门可以逐步开启,这样既符合实际口门开启的情况,又避免了因口门突然打开而出现突变引起的振荡现象,使模型更加稳定。
- (4)支流分洪既可以通过闸门控制泄流,也可以根据宽顶堰公式敞泄,或根据调度给定的流量过程计算。
- (5)主河道的泄量可以通过闸门控制。
- (6)考虑了下渗的影响。
- (7)在分洪流量与河道流量之比较大的情况下,保持计算稳定。

(8)增加了模型的前后处理功能,开发了实时调度计算及分析系统。

(9)增加了操作界面,参数修改灵活方便,便于非专业人员使用。改进后的模型,应用范围更广更全面,稳定性好,可操作性强,可用于地形复杂、下垫面条件变化大、堤埝及滞洪区互相串联的区域。

### 2.3 河网模型的划分

根据河网模型的要求,永定河(卢沟桥以下)概化成 44 条河段,22 条堰流河段,13 个蓄滞洪区,37 个汊点。

### 2.4 模型验证

永定河多年没来大洪水,河道变迁较大,缺乏系统的实证资料。本次研究采用部分设计资料及以往的研究成果对模型作定性比较,结果符合较好。如永定新河采用当初的设计资料,按设计和校核情况分别用本模型进行验算,本模型计算结果与原设计、校核水面线相比,符合较好,设计条件和校核条件本模型计算与原设计计算水位最大差 0.1 m。

### 3 模型的功能

该模型的建立主要是以防洪部门调度的实际需要为目的,因此除了可获得各类水力特征值外,还具有友好的操作界面和成果分析系统,可由防洪调度人员而非水动力学专业人员进行操作计算,既可用于事先的防洪预案制定,也可用于实时调度时的计算比较。模型具有强大的计算功能和简捷的操作功能。

#### 3.1 计算功能

模型可用于复杂河网区。无论多少个滞洪区、多少条支流,通过分组后,分成多个计算组,计算速度快,精度得到保证。计算量和储存量较小,在一般微型计算机上就能够进行大型河网计算。计算从卢沟桥到永定新河河口,3d 洪水过程,包括滞洪区分洪,在 PⅢ 450 机器上只需 2min 的时间。模型可用于滞洪区互相串联、各个口门水流流向不定、调度条件复杂、下垫面及水雨情复杂的情况。

计算后可获得洪水在河道中的传播时间、任何断面的水位、流量要素,同时给出滞洪区的分洪时间、分退洪口门的流量过程,滞洪区的水位、蓄量及损失过程,分洪后降低主河道水位的效果。模型还可以根据实际需要确定哪一个或几个滞洪区何时开始分洪及其分洪效果,可根据防洪部门需要直接输出比较关系和重要的水力参数及过程曲线。

#### 3.2 操作系统

该系统由基本情况、实进调度系统、成果分析几部分组成,使用者根据系统界面的提示,依次输入卢沟桥流量过程、河口水位过程、支流入汇过程、地形、下垫面情况及调度条件,点击“开始计算”按钮,系统就对计算结果进行处理。使用者可以在电子地图上点击控制点或分洪口门,即可获得相关的数据信息和曲线图,并可打印输出。该系统具有操作简便、计算速度快、成果直观等特点,真正实现了实时调度。

### 4 模型应用

本模型进行了大量的方案计算,本文选择一个方案作为例子说明模型的作用。卢沟桥 20 年一遇设计 30 d 来水过程,4 条支流以恒定流量入汇,北运河下分泄泛区备口门参数为设计条件,地形资料采用万方数据

各勘测单位提供的最新测量成果,河口采用永定新河设计潮位,屈家店进洪闸敞泄,调度方案根据国务院国函[1993]163 号文件《国务院关于永定河泛区洪水调度方案的批复》执行。。图 1 为茨平南分洪口门上下游断面流量过程线,上游断面流量与下游断面的流量差就是茨平南口门的分洪流量。

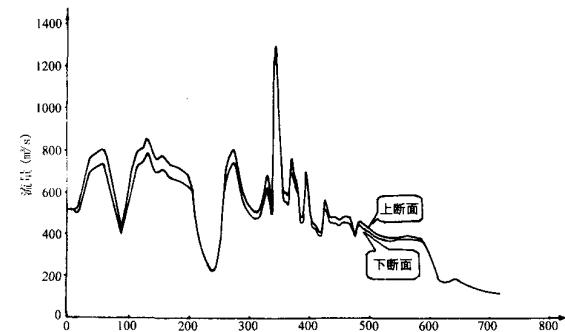


图 1 20 年一遇, 茨平南控制断面流量过程线

### 5 结语

基于汉点分组解的复杂河网模型是一个计算速度快、储存量小、精度高、稳定性好的河网洪水调度计算模型。本文对原来的模型进行进一步的完善和发展,使之符合永定河(卢沟桥以下)复杂的调度条件,操作简捷,可用于实时洪水调度,为防汛调度服务。

### 参考文献

- 李岳生等. 河网不恒定流隐式方程组稀疏矩阵解法. 中山大学学报情况(自然科学版), 1997 年 3 月
- Dronders, J. J., 河流近海区和外海的潮汐计算. 水利水运科技, 1976 年增刊
- Schulze, K. W. , Finite element analysis of long waves in open channel systems. Finite element method in flow problems, The university of Alabama, 1974.
- Cunge, J. A. , et al. Practical aspects of computational river hydraulics. Pitman advanced publish program, 1980.
- 张二骏等. 河网非恒定流三级联合解算法. 华东水利学院学报, 1982 年第 1 期
- 吴寿红. 河网非恒定流四级解算法. 水利学报, 1985 年第 8 期
- 黄孝芳等. 多支流河道洪水演算方法的探讨. 水利学报, 1990 年第 2 期
- 姚琪等. 运河水网水量数学模型的研究和应用. 河海大学学报, 1991 年 7 月
- 李义天. 河网非恒定流隐式方程组的汉点分组解法. 水利学报, 1997 年 3 月