

# 永定河洪水调度方案研究

任东红, 郭英卓, 冯亚耐

(中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222)

**摘要:**永定河地处京津要地, 其防洪调度直接影响首都北京、天津市和河北省广大地区的防洪安全, 直接影响京广、京山、京九铁路等重要交通设施的防洪安全。随着永定河的工程状况、水文成果等边界条件的变化, 有必要对永定河洪水调度方案进行研究、修订、补充和完善。本研究的主要结论已作为新颁布的永定河防御洪水方案和洪水调度方案的重要技术支撑。

**关键词:**永定河; 洪水; 调度; 研究

**中图分类号:** TV212.52    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1004-7328(2006)05-0023-04

## 1 概况

### 1.1 自然地理

永定河水系是海河流域的七大水系之一, 位于海河流域北部、东经 112°~117°45'、北纬 39°~41°20' 之间, 东部和北部为潮白河、北运河水系, 西邻黄河流域, 南为大清河水系。流域面积 47 016 km<sup>2</sup>, 其中山区面积 45 063 km<sup>2</sup>、平原面积 1 953 km<sup>2</sup>。

永定河上游有桑干河和洋河两大支流, 至怀来县朱官屯汇合后称永定河, 在延庆县纳妫水河, 经官厅水库流入官厅山峡。从朱官屯至官厅河长 30 km, 官厅山峡河长 108.7 km, 于三家店流入平原。三家店以下中下游河道分为四段: 三家店至卢沟桥段、卢沟桥至梁各庄段、永定河泛区和永定新河。

### 1.2 暴雨洪水特性

永定河流域位于中纬度地带, 受西南季风、副热带高压、极地低压槽等气象因素影响, 降雨多以暴雨形式出现, 暴雨天气主要发生在 7、8 两个月。

本流域的洪水多由暴雨形成, 据官厅、官厅山峡和三家店站实测资料统计, 年最大洪水一般发生在 6—9 月, 尤其是 7、8 两个月发生次数最多。洪水的地区分布不均, 年际变化很大。

### 1.3 近年治理工程

经过多年治理, 永定河流域已初步形成了以官厅水库为控制枢纽的防洪体系。近年来, 完成的主要

工程有: 官厅水库扩建、滞洪水库新建、河道及堤防整治、卢沟桥枢纽改建、屈家店枢纽改建、永定河泛区整治。

### 1.4 研究工作的必要性

鉴于近年来永定河的工程条件、水文成果、社会经济等情况以及计算手段等方面发生了很大变化, 原有永定河洪水调度方案已经与永定河防洪现状和沿岸社会经济的发展不相适应。这就迫切需要根据新的水情、工情, 采用新的计算手段, 对原有调度方案进行研究和修订, 科学调度永定河的洪水, 充分发挥已有防洪工程的作用。

### 1.5 需重点研究的问题

- (1) 官厅水库自动测报系统对下游错峰的作用。
- (2) 刘庄口门的调度运用及刘庄口门以上右堤的弃守方式。
- (3) 卢沟桥枢纽、大宁水库及滞洪水库的调度运用方式。
- (4) 卢梁段右堤弃守方式, 选择向小清河行洪区和清北分洪的合适的分洪口门位置。
- (5) 永定河泛区口门的调度运用, 包括控制运用条件等参数的选择。泛区口门减少人为干预、自动分级运用的调度方案。
- (6) 大旺村分洪口门及郎园分洪口门的分洪运用条件。
- (7) 屈家店枢纽的调度运用。
- (8) 永定新河治理对永定河尾间洪水安排的影响及七里海滞洪区的运用。

收稿日期: 2006-08-20

作者简介: 任东红(1970-), 男, 高级工程师, 主要从事水利工程规划设计工作。

### 2 技术路线

#### 2.1 研究方法

研究工作采用了一、二维嵌套的非恒定流洪水演进数学模型。对流域内重要的洪水调度节点,拟定各种可能的调度运行方案,以不同频率、不同量级的洪水进行计算,分析各个方案的优、缺点,找出最优的调度方案,最终组合成整个流域的最优的调度方案。

模型上边界为三家店,下边界为永定新河口,主要包括三家店至卢沟桥河道、卢沟桥至梁各庄河道、永定河泛区、永定新河、大宁水库、永定河滞洪水库、三角淀、淀北以及七里海临时滞洪区。为模拟永定河分洪洪水的情况,计算范围还包括了小清河分洪区、白沟河东茨以上段和清北地区。

计算简图见图 1。

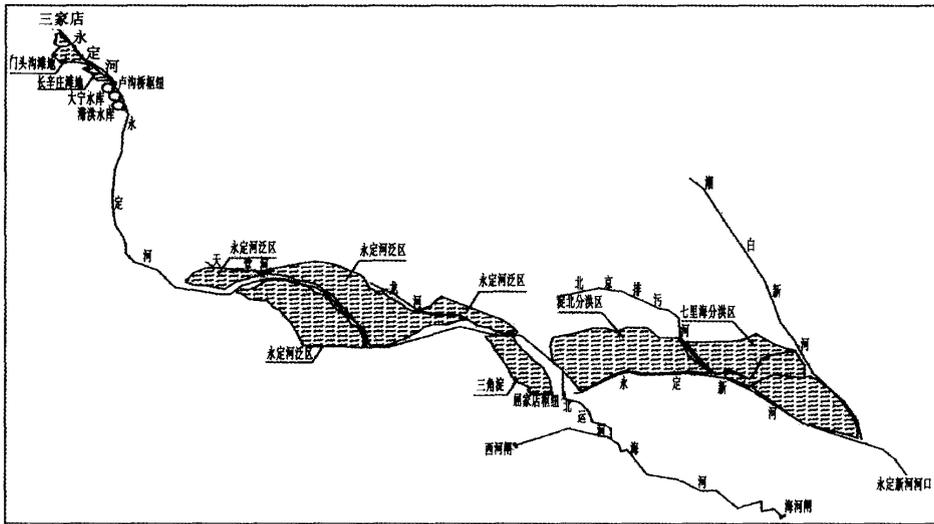


图 1 永定河洪水调度方案研究计算简图

#### 2.2 计算原理

(1)一维计算原理。描述河道水流运动的一维圣维南方程组为:

$$\begin{aligned}
 B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} &= q \\
 \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} &= qVx
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

式中: $q$ 为旁侧入流; $Q$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $Z$ 分别为河道断面流量、过水面积、河宽和水位; $V_x$ 为旁侧入流流速在水流方向上的分量,一般可近似为零; $K$ 为流量模数,反映河道的实际过流能力; $\alpha$ 为动量修正系数,是反映河道断面流速分布均匀性的系数,当河道只有一个主槽时 $\alpha=1.0$ ,当河道有若干个主槽和滩地时在主槽和滩地的摩阻比降相等的假定下可得: $\alpha = \frac{A}{K^2}$

$\sum_{i=1}^n \frac{K_i^2}{A_i}$ ,  $n$ 为主槽和滩地的分块数, $A_i$ 、 $K_i$ 分别为第*i*分块的过水面积与流量模数; $A$ 、 $K$ 分别为总的过水面积与流量模数。

上述方程采用四点线性隐式差分格式进行数值离散,采用追赶法进行数值求解。

(2)二维计算原理。在行洪区内的水流采用二维

浅水运动方程来描述:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} &= q \\
 \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial uU}{\partial x} + \frac{\partial vU}{\partial y} + gh \frac{\partial Z}{\partial x} &= -g \frac{|\vec{V}|}{c^2 h^2} U \\
 \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial uV}{\partial x} + \frac{\partial vV}{\partial y} + gh \frac{\partial Z}{\partial y} &= -g \frac{|\vec{V}|}{c^2 h^2} V
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

式中: $Z$ 为水位; $h$ 为水深; $u$ 、 $v$ 分别为 $x$ 与 $y$ 方向上的流速; $U$ 、 $V$ 分别为 $x$ 与 $y$ 方向上的单宽流量; $\vec{V}$ 为单宽流量的矢量, $|\vec{V}| = \sqrt{U^2 + V^2}$ ;  $q$ 为考虑降雨等因素的源项; $g$ 为重力加速度; $c$ 为谢才系数。

对上述二维浅水运动方程,采用破开算法将该方程分裂为两分步,然后分别对其采用合适的方法进行求解。

### 3 主要研究成果

#### 3.1 官厅水库

官厅水库位于永定河干流,跨河北省怀来县和北京市延庆县,控制流域面积 43 402 km<sup>2</sup>,占永定河流域面积的 92%,总库容 22.7 亿 m<sup>3</sup>,是一座具有防洪、供水、灌溉和发电等综合功能的大型水利枢纽。

水库 100 年一遇水位 482.3 m。当水库遇 50 年

一遇洪水、库水位低于 481.0 m 时,若下游有错峰要求,在确保拦河坝安全的情况下,可为下游防洪关闸错峰 12 h。

下游三家店—卢沟桥段河道经治理后可达 100 年一遇标准,在考虑官厅水库百年控泄 600 m<sup>3</sup>/s 情况下,由于滞洪水库的建设,100 年一遇洪水时刘庄口门不再分洪,大宁水库向小清河下泄 214 m<sup>3</sup>/s,也即 100 年一遇洪水经滞洪水库调蓄后河道可安全下泄。此时,下游河道已无错峰要求,不需要官厅水库错峰。

鉴于官厅山峡自动测报系统不可能提供足够长的预见期,而官厅至三家店洪峰传播时间又接近于官厅山峡洪水汇流时间,当发生 100 年一遇以上洪水时,官厅水库不能为下游错峰。

### 3.2 三家店至卢沟桥段

永定河三家店至卢沟桥段长 17 km,河底纵坡约 3‰,左堤为石堤,基本达到防御可能最大洪水的防洪标准;右堤为土堤,基本达到 100 年一遇防洪标准。

根据规划,该段河道规划泄量为 6 230 m<sup>3</sup>/s(相当于 100 年一遇洪水),左堤维持原可能最大洪水的防洪标准,右堤按 100 年一遇洪水设防。原调度方案规定:当卢沟桥发生 50 年一遇以上洪水、洪峰流量大于 4 000 m<sup>3</sup>/s 时,拦河闸下泄 2 500 m<sup>3</sup>/s,其余洪水运用小清河分洪闸或扒开刘庄口门分洪。

经过计算分析,该段河道的削峰作用为 1.1%~2.8%,最大也不足 3%。刘庄口门最直接地减轻卢沟桥枢纽的防洪压力,保障了卢沟桥枢纽及永定河下游的防洪安全,分洪效果较好,应继续保留。

刘庄口门的调度运用,研究了扒口分洪和漫溢分洪两个方案。由于漫溢分洪方案具有分洪及时、减少了人为干预等优点,推荐采用漫溢分洪方式,口门顶高程由 50 年一遇洪水水位提高到 100 年一遇洪水水位,并提出了卢沟桥以上右堤弃守的方式,遇超标准洪水时采用广宁路、东河沿堤段不再堵口、从这两段堤防漫溢分洪的方式。

### 3.3 卢沟桥枢纽及滞洪水库

卢沟桥枢纽由永定河拦河闸、小清河分洪闸和大宁水库组成,是永定河分泄洪水入小清河的控制性枢纽。拦河闸设计最大泄量 6 700 m<sup>3</sup>/s。分洪闸位于河道右侧,设计最大分洪流量 2 925 m<sup>3</sup>/s,扩建后最大分洪流量将由原设计的 2 925 m<sup>3</sup>/s 提高到 3 730 m<sup>3</sup>/s。

永定河滞洪水库位于卢沟桥以下永定河稻田及马厂河段内,距北京市区约 20 km,水库控制了官厅山峡 1 600 km<sup>2</sup> 的流域面积,其主要任务是防洪。在不改变卢沟桥分洪枢纽运用方式的情况下,经大宁

水库和滞洪水库联合调度,在永定河发生 100 年一遇洪水时,刘庄口门不分洪,大宁水库向小清河泄流 214 m<sup>3</sup>/s,将小清河分洪区的使用机遇由 50 年一遇提高到 100 年一遇。

卢沟桥枢纽研究了闸上来流超过 1 500、2 000、2 500、3 000 m<sup>3</sup>/s 提小清河分洪闸分洪方案。与现状超过 2 500 m<sup>3</sup>/s 开始提闸分洪方案相比,1 500 和 2 000 m<sup>3</sup>/s 分洪方案提前运用了滞洪水库的防洪库容,将导致滞洪水库不能防御 100 年一遇洪水,使滞洪水库达不到设计效益;3 000 m<sup>3</sup>/s 分洪方案则会加大永定河下游的洪灾损失,改变永定河现状防洪格局。推荐采用超过 2 500 m<sup>3</sup>/s 提小清河分洪闸方案。

### 3.4 卢梁段右堤

永定河卢沟桥至梁各庄段河道长约 57 km,两岸堤防经过整治,部分内坡已完成护砌,左右堤已基本达到泄流 2 500 m<sup>3</sup>/s 的标准,左堤超高 2.5 m,右堤超高 1.5 m。

原调度方案中规定:“当卢沟桥洪峰流量大于 10 000 m<sup>3</sup>/s 时,则主动放弃卢沟桥以下永定河右堤。”卢梁段右堤以外是小清河行洪区及广大的清北平原,右堤如何弃守以及洪水是全线漫溢还是局部有引导的溃决,原调度方案没有明确说明。

基于大宁水库不溃坝,研究了遇超标准洪水卢梁段右堤的弃守方式。经过比较,卢梁段右堤弃守采用扒口分洪的方式。向小清河行洪区分洪的口门位置选择在滞洪水库退水闸断面以下,向清北地区分洪的位置选择在古城小埝以下附近位置。

### 3.5 永定河泛区

永定河泛区上游起自梁各庄,下游至屈家店枢纽,左以新北堤、护路堤、北运河左堤为界,右以北遥堤、增产堤为界,长 67 km,堤距一般 6~7 km,最宽处 15 km。泛区总面积约 500 km<sup>2</sup>。

泛区分级运用口门工程,为泛区分区运用和合理利用提供了必要条件。泛区的调度运用,研究了口门现状高程、漫溢分洪和溃决分洪以及调整口门高程自动分级漫溢运用 3 个方案。经过比较,按现状口门高程漫溢分洪方案,分洪流量及水量较小,屈家店水位较高,前期下泄水量较多,加重了永定新河的泄洪负担;溃决分洪方案分洪流量及水量大,但分洪时人为干预多,且分洪条件指标不容易掌握;调整口门高程后,分洪时减少了人为干预,避免了分洪控制条件造成的矛盾,推荐采用调整口门高程后自动分级漫溢运用方案。永定河泛区各口门调整后的顶高程(黄海 56 高程)分别为:茨平南口门高程 15.2 m,西孟村口门高程 16.5 m,池口口门高程 22.0 m,南石

口门高程 18.0 m,潘庄子口门高程 21.0 m,王玛口门高程 19.2 m。除池口口门宽度为 350 m 外,其余口门的宽度均为 200 m。

### 3.6 屈家店枢纽

屈家店枢纽位于天津市北辰区屈家店附近,枢纽上游为永定河泛区,下游为永定新河。枢纽工程包括北运河节制闸、新引河进洪闸和永定新河进洪闸,担负着泄洪、灌溉和防潮等任务。经过最近几年的治理,北运河和海河干流已基本达到分泄屈家店  $400\text{m}^3/\text{s}$  的能力,初步具备了宣泄设计流量洪水的条件。

对屈家店枢纽,研究了北运河不下泄、下泄 200 和  $400\text{m}^3/\text{s}$  3 个方案对屈家店水位及向三角淀和淀北分洪的影响。经比较,运用北运河分泄屈家店洪水,对于降低屈家店闸上水位非常明显,比运用三角淀和淀北分洪区分洪效果好。因此,应充分运用北运河下泄条件,以降低屈家店水位。考虑永定新河现状行洪能力较低,北运河已经过综合整治,推荐采用北运河下泄  $400\text{m}^3/\text{s}$  方案。

### 3.7 三角淀滞洪区和淀北分洪区

三角淀地处天津市武清区和北辰区境内,永定河下游右侧,北倚永定河泛区北遥堤,东以增产堤、南以老泛区南遥堤为界,西接自然高地。根据原规划安排,当永定河发生特大洪水,永定新河和北运河充分泄流的情况下,洪水仍将危及天津市及京山铁路安全时,需利用三角淀滞洪。三角淀分洪口门位于泛区北遥堤大旺村附近。大旺村口门的分洪水位为 8.5 m(相应屈家店闸上水位 6.5 m)。大旺村分洪口门距离屈家店较远,三角淀库容较小,分洪后能否有效降低屈家店闸上水位,需进行研究。

淀北分洪区位于天津市武清区和北辰区境内,北运河以东,永定新河以北,东以北京排污河为界。当洪水威胁天津市安全时,原方案在北运河左堤汉沟到郎园处扒口分洪,届时京塘高速公路、京津铁路将中断,实施难度很大,具体方案尚需进一步研究确定。近期,应重点研究了三角淀和淀北分洪区的调度运用,分析了大旺村口门和郎园口门分洪的分洪条件和分洪效果,作为超标准洪水的分洪出路,建议对大旺村口门和郎园口门予以保留。大旺村口门的分洪条件是:在北运河不下泄情况下,100 年一遇、200 年一遇、300 年一遇洪水需启用大旺村口门;在北运河下泄 200 和  $400\text{m}^3/\text{s}$  情况下,300 年一遇洪水需启用大旺村口门。郎园口门的分洪条件是:在北运河不下泄情况下,100 年一遇、200 年一遇、300 年一遇洪水需启用郎园口门;在北运河下泄  $200\text{m}^3/\text{s}$  情况下,300 年一遇洪水,即使启用大旺村口门向三

角淀分洪后,屈家店水位仍超过 6.5 m,需启用郎园口门;在北运河下泄  $400\text{m}^3/\text{s}$  情况下,300 年一遇洪水向三角淀和淀北任何一区分洪,都可以将屈家店水位降低至 6.5 m 以下,是否启用淀北分洪区,需按照当时具体情况,由天津市和国家防总确定。500 年和 1 000 年一遇洪水,在卢梁段已向小清河行洪区分洪的情况下,不再向三角淀和淀北分洪。

### 3.8 永定新河

永定新河是永定河的主要入海尾间,开挖于 1971 年,全长约 66 km。永定新河是以深槽行洪为主的复式河槽,大张庄以上为三堤两河。

这里,主要研究永定新河治理对永定河尾间洪水出路的影响。

经计算,永定新河现状,在北运河下泄  $400\text{m}^3/\text{s}$  的情况下,300 年一遇洪水需向三角淀或淀北分洪;永定新河治理以后,河道泄洪能力大大增强,300 年一遇洪水,屈家店水位不会超过 6.5 m,但流量大于  $1\ 800\text{m}^3/\text{s}$ ,是向三角淀或淀北分洪还是利用永定新河的泄洪能力强迫行洪,有了可以选择的余地。

永定新河现状,利用北运河下泄  $400\text{m}^3/\text{s}$ ,是安排永定河尾间洪水的较好的措施和方案;永定新河治理以后,河道泄洪能力将大大增强,结合海河干流整治和北运河泄流,可确保永定河尾间畅通。由于永定新河治理后可以解放七里海临时滞洪区、减少向三角淀和淀北分洪的机遇,为确保永定河尾间畅通创造了条件。因此,应加快永定新河治理的步伐。

### 3.9 调度方案组合

根据各工程控制点调度运用方案的研究,对整个河系调度运用方案进行组合,以 100 年一遇刘庄口门不分洪、卢沟桥枢纽维持闸上来流超过  $2\ 500\text{m}^3/\text{s}$  分洪,滞洪水库按设计调度运用方案控制,卢梁段右堤弃守时选择适当的口门位置向小清河行洪区和清北地区分洪、永定河泛区按调整口门高程后自动分级漫溢运用、保留大旺村和郎园两个分洪口门、北运河按  $400\text{m}^3/\text{s}$  泄洪规模为基础及永定新河按现状和设计两种情况,形成现状和设计两套调度运用方案。

## 4 结语

(1)经过复核,永定河原调度方案中大部分的条款仍符合现在的实际情况,在现在看来仍是合理的、可行的,因此可作为永定河洪水调度的依据。

(2)通过对永定河各主要控制点调度方案的研究,对一些调度措施进行了修订,以适应变化了的工情、水情和社会经济情况的需要。其主要研究成果已经作为新颁布的永定河防御洪水方案和洪水调度方案的重要技术支撑。