

在一般年份,通过水位调度,适当抬高其兴利水位,能使太湖保持在较佳的水位线上,提高向国民经济各部门供水的保证程度。在枯水年份,通过太湖逐流调节,从长江引水入太湖解决杭嘉湖及滨太湖约 $35 \times 10^4 \text{hm}^2$ 农田灌溉,满足工业和城市用水,并向黄浦江增输水量,改善其水质。以设计枯水年型(1971年)供需水平衡计算,仅湖西、太湖、杭嘉湖等区总需水为 $161.1 \times 10^8 \text{m}^3$,而太湖供水达 $71.4 \times 10^8 \text{m}^3$,占总需水量的43%左右。可见,其兴利效益在流域国民经济发展中有着举足轻重的地位。

3. 航运

太湖流域水运事业十分发达,流域经济繁荣与其休戚相关。为控制入湖逐流,太湖出水口门将建控制建筑物。有通航要求的,则兴建船闸和套闸,这虽在汛期造成一定的负效益,但其正效益也是明显的。首先,对于下游平原河网,由于汛期有控制地泄洪,望虞河立交工程出口控制最高水位4.2m,太浦河平望段控制最高水位3.3m,这不仅有利于下游平原防洪安全,而且也大大的有利于平原河道的航运安全,提高了通航的保证率;其次,在枯水期间,结合向下游区供水,随着河道水量增加,河网水位也有所提高,从而增加了枯水时段的水运效益。

同样,工程的建成,也有利于湖区航运事业的发展。目前太湖常水期的水深仅1.8m左右,较大吨位的般队不能通航,大多通行单个机帆船,某些航路需疏浚后才能航行。工程建成后,随着兴利的需要,平水期的湖水位将有所提高,水深增加。通过对局部入湖口门的拓设,结合湖区航线清理,不仅可促进湖州到无锡、宜兴到无锡等湖内水运事业的发展,而且可开辟新的湖内交通,繁荣水上事业。对上游区尾闾河网的航运条件也将因平水期水深的增加而获得改善。

4. 环境

人工控制太湖后,对流域的生态环境影响是利大弊小。有利影响表现主要在以下几个方面:

(1)免除洪旱灾害,改善工农业生产环境 由于工程在防洪、除涝和灌溉具有全方位的效益,因此对流域经济的稳定发展,对工农业生产环境的改观提供了基本保障;

(2)改善湖区和下游黄浦江的水质 工程兴建后,不仅可以控制滨湖城市和工农业污水入湖,而且使太湖水体的交换系数增大,尤其对枯水年份意义特别重大,有利于太湖自身水质的改善。特别是每年确保一定水量向黄浦江输送(遇设计干旱年,向黄浦江输送水量 $53 \times 10^8 \text{m}^3$),不仅改善了黄浦江上游水质,提高其水级标准,而且对中下游污水起稀释、氧化作用,对改善黑臭现状有积极意义;

(3)改善水上交通环境 随着工程对流域水资源的调蓄,对航运事业的发展也将起积极促进作用;

(4)改善水生生物的生存环境 通过太湖水位调控,使作为鱼类饵料的浮游植物、沉水植物、底栖动物等获得良好生存环境,为渔业资源增殖提供物质基础。太湖今后将成为经济鱼类人工放养的理想场所。

除上述综合效益外,还有旅游观光及水产等方面的开发性效益。无锡箕山防洪工程是太湖环湖大堤的一项子枢纽,该工程目前已成为无锡太湖之滨又一诱人的新景点,吸引了众多的中外游客前去观光游览,为发展当地的游览观光事业增光添彩。

综上所述,太湖环湖大堤工程是一项流域性的除害兴利、水资源综合利用、具有多目标

开发功能的水利工程,也是平原湖泊开发利用的典型,其国民经济效益十分显著。该工程预计“八五”期间全面建成。

太湖环湖大堤工程也存在一些亟需待研究和重视的问题。如引江入湖调剂水量时,可能相应带来泥砂沿途淤积问题,湖区交通发展可能会增加交通污染源,造成湖区水质污染等问题均需研究相应的对策。

LEVEE PROJECT AROUND TAIHU LAKE AND FUNCTION OF MULTI-PURPOSE DEVELOPMENT OF COMPREHENSIVE MANAGEMENT IN TAIHU BASIN

Wang Taijun

(*Taihu Basin Authority, Ministry of Water Resources, Shanghai 200434*)

Abstract

The levee project around Taihu Lake is one of the ten key projects of comprehensive management in Taihu Basin. The principles of planning and designing of the project are presented. Also the function of multi-purpose development of comprehensive management in Taihu Basin is described.

Key words Plain reservoir, multi-purpose development, Taihu Lake

滨湖平原河段的水位预报方法

钟平安

(河海大学水资源水文系, 南京 210024)

p 338

203-210

摘要 从洪水特性出发,提出了一种适合于滨湖平原河段的水位预报方法。经实例验证,证明方法是有效的。

关键词 水位预报 校正因素 顶托 洪水, 滨湖平原,

我国有许多汇入湖泊的河流,如湘、资、沅、澧入洞庭湖;赣、修、饶、信、抚入鄱阳湖等。一般而言,入湖河流的尾间大多洪灾频发。而这些地区又是经济发达、人口稠密的地区。防洪问题十分突出,准确而快捷的水位预报,对于滨湖平原区的防汛工作具有重要意义。但是滨湖平原河段的水位预报,由于影响因素众多,水位流量关系散乱多变,难度较大,若再加上支流的作用,情况就更复杂,而现有的一些水位预报方法往往难以取得令人满意的结果。因此,探索新的适合于滨湖平原河段的水位预报方法显然是十分有意义的。

滨湖河段洪水的众多影响因素中,主要有二:洪水涨落和湖水顶托。一般认为洪水波在河道比较顺直、断面比较均匀的河流中传播属于缓变不稳定流,由于附加比降作用受涨落影响之水流,其水位流量关系为逆时针绳套。而受湖泊回水顶托影响的水流属于稳定渐变流,其流量与各水力要素间的关系可用曼宁公式表示^[1]。当涨落因素和顶托影响混合作用时,水位流量关系仍呈绳套,但由于顶托影响低水时比高水时大,与纯涨落影响相比,绳套向左上偏移,且绳套大小与坡度均较纯涨落影响时为小(图1),有时甚至出现顺时针或“8”字型绳套。

根据涨落和湖水顶托影响的情况,我们拟定将洪水分成河峰型(涨落因素起主导作用)、湖峰型(顶托影响起主导作用)、混合型三种类型。并采用不同方法模拟水位流量关系,以达到水位预报的目的。

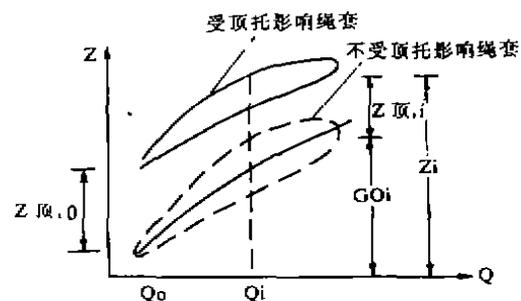


图1 混合影响下的水位流量关系
Fig. 1 Stage-discharge relationship influenced by both floods and variable backwater

本文在完成过程中得到袁庆岁副教授的指导和帮助,谨致谢意。

本文于1991年10月8日收到,1992年1月7日第二次改回。

一、水位预报模型及参数率定

水位预报模型的基本思想是将整个预报过程分成两步:首先模拟预报断面的流量过程,然后根据洪水的不同类属,将模拟流量过程转换成水位过程。不同类型洪水的水位流量的转换模型如下:

1. 河峰型洪水

河峰型洪水是指只受涨落因素影响或涨落因素起主导作用的洪水。一般湖水位较低的汛初期洪水多属于此类,这类洪水的流量计算公式为:

$$Q = Q_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{uI_0} \cdot \frac{dZ}{dt}} \quad (1)$$

式中, Q 为流量; Q_0 为同水位下的稳定流流量; $\frac{dZ}{dt}$ 为水位涨落率; $\frac{1}{uI_0}$ 为与洪水波传播速度和稳定流水面比降有关的参数。

根据汛情预报之需要,给定时段长 Δt ,并用差分代替(1)式中微分,即令:

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{Z_i - Z_{i-1}}{\Delta t}$$

式中, Z_i 、 Z_{i-1} 分别表示第 i 时段末、初的水位。将(1)式中其它变量 Q 、 Q_0 、 $\frac{1}{uI_0}$ 分别赋予时段平均意义,并换成符号 $Q_{\sigma,i}$ 、 $Q_{\sigma,i}$ 、 $W_{\sigma,i}$, 可得以下递推公式:

$$Z_i = Z_{i-1} + \left\{ \left[\left(\frac{Q_{\sigma,i}}{Q_{\sigma,i}} \right)^2 - 1 \right] / W_{\sigma,i} \right\} \cdot \Delta t \quad (2)$$

式中, i 为时段序号;其它同前。

(2) 式是河峰型洪水流量过程转换成水位过程的基本方程,式中 Q_{σ} 、 W_{σ} 为水位的单值函数。这两个函数必须在预报前率定好,其率定具体步骤参见文献[1]。由于 $Q_{\sigma,i}$ 、 $Q_{\sigma,i}$ 、 $W_{\sigma,i}$ 为时段平均水位的函数,所以当 Q_{σ} 、 W_{σ} 率定好后,(2)仍为一隐式方程,两边均与待求变量 Z_i 有关。(2)式求解需要逐时段试错。

2. 湖峰型洪水

湖峰型洪水是指仅受湖水顶托或湖水顶托占主导地位的洪水。上游来水不大,湖水位较高的主汛期洪水多属此类。湖峰型洪水流量可由曼宁公式给出:

$$Q = \frac{1}{n} F \cdot R^{2/3} I^{1/2}$$

式中, Q 为流量; n 为糙率; R 为水力半径; F 为断面面积; I 为水面比降。

我们来考察洪水中某时刻流量 Q_i 与计算初始时刻流量 Q_0 的比值:

$$\frac{Q_i}{Q_0} = \frac{\left(\frac{1}{n} F R^{2/3} \right)_i}{\left(\frac{1}{n} F R^{2/3} \right)_0} \cdot \left(\frac{I_i}{I_0} \right)^{1/2} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

滨湖平原河段多属宽浅河道, $\frac{1}{n} F R^{2/3}$ 是水深 h 的函数,设:

$$\left(\frac{1}{n} F R^{2/3} \right)_i = a \cdot h_i^{\beta}$$

$$\text{则: } \frac{Q_i}{Q_0} = \left(\frac{h_i}{h_0}\right)^\beta \cdot \left(\frac{I_i}{I_0}\right)^{1/2}$$

将水面比降代之以上下断面的落差 G 与河段长 L 之比。于是:

$$\frac{Q_i}{Q_0} = \left(\frac{h_i}{h_0}\right)^\beta \cdot \left(\frac{G_i}{G_0}\right)^{1/2}$$

将 $\left(\frac{h_i}{h_0}\right)^\beta$ 对流量的影响反映到落差指数中去, 则:

$$\frac{Q_i}{Q_0} = C \cdot \left(\frac{G_i}{G_0}\right)^r$$

取上断面为回水最远点, 设稳定流上下断面的落差为 GC , 则:

$$\frac{Q_i}{Q_0} = C \cdot \left(\frac{GC - Z_{\text{下顶},i}}{GC - Z_{\text{下顶},0}}\right)^r$$

式中, $Z_{\text{下顶},i}$, $Z_{\text{下顶},0}$ 分别为下断面第 i 时段和初始时刻受湖水顶托的大小。取回水最远点为原点, 则顶托沿程变化如图 2。

设 $y = d \cdot x^*$, 预报断面位于 $L/2$ 处, $Z_{\text{顶}}$ 为预报断面之顶托值, 则:

$$\frac{Q_i}{Q_0} = C \cdot \left(\frac{GC - 2^* \cdot Z_{\text{顶},i}}{GC - 2^* \cdot Z_{\text{顶},0}}\right)^r$$

令 $ZC = GC/2^*$, 则:

$$Z_{\text{顶},i} = ZC - \left(\frac{1}{C} \cdot \frac{Q_i}{Q_0}\right)^{1/r} \cdot (ZC - Z_{\text{顶},0}) \quad (3)$$

(3) 式揭示了第 i 时刻预报断面的顶托大小 $Z_{\text{顶},i}$ 与初始时刻顶托大小 $Z_{\text{顶},0}$ 及流量的关系。 ZC 与回水最远点的位置有关, 显然是流量与初始顶托值的函数, 我们将流量对 ZC 的影响取作常数, 并令:

$$ZC = Z_{\text{顶},0}^R + f$$

$$\text{则: } Z_{\text{顶},i} = Z_{\text{顶},0}^R + f + \left(\frac{1}{C} \cdot \frac{Q_i}{Q_0}\right)^{1/r} \cdot [Z_{\text{顶},0}^R - Z_{\text{顶},0} + f] \quad (4)$$

(4) 式即为本模型中计算各时刻湖水顶托值的公式。式中, R, F, C, r 为待定参数, 可根据实测资料优选得出, 其目标函数为:

$$\min F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} (Z_{p,ij} - Z_{m,ij})^2$$

式中, N 为率定参数的洪水次数; m_i 为第 i 次洪水的时段数; $Z_{p,ij}$ 为第 i 次洪水、第 j 时段的计算水位; $Z_{m,ij}$ 为第 i 次洪水、第 j 时段的实测水位。

在进行水位预报时, 先根据模拟流量 Q , 求出各相应时刻稳定流相应水位 Z_i , 再由 (4) 式求出各相应时刻的顶托值 $Z_{\text{顶},i}$, 则第 i 时刻的预报水位为:

$$Z_{p,i} = Z_i + Z_{\text{顶},i}$$

$Z_{p,i}$ 为第 i 时刻的计算水位。

3. 混合型洪水

当涨落影响和顶托影响作用相近时, 其水流特征介于河峰型与湖峰型洪水之间, 情况较

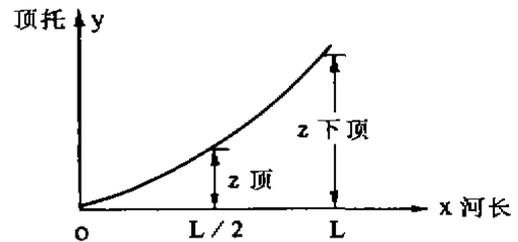


图 2 顶托沿程变化示意图
Fig. 2 Sketch diagram of changing backwater effect along the river

复杂。本文先根据模拟流量用河峰型模型求出各时刻水位 GO_i (图 1), 然后根据实测资料建立关系:

$$\frac{Z_{\text{顶},i}}{Z_{\text{顶},0}} = f\left(\frac{Q_0}{Q_i}\right)$$

这一关系近似反映了顶托规律, 即低水时顶托影响比高水时大。混合型预报模型为:

$$Z_i = GO_i + f\left(\frac{Q_0}{Q_i}\right) \cdot Z_{\text{顶},0} \quad (5)$$

对于混合型洪水, $Z_{\text{顶},0}$ 常不大, $Z_{\text{顶},0}$ 所占比重较小, 用 (5) 式预报之误差是可以接受的。

4. 洪水类型的判别

严格地说, 洪水不能简单地用三种峰型来概括, 从河峰型到湖峰型的过渡是渐变的。三种峰型的划分是一种在保持一定精度前提下的概化处理, 给出定量的分型指标是十分重要的。对于湖水涨落十分有规律的河段, 可用时间作为划分峰型的指标。如某月某日前属河峰型, 某月某日之后为湖峰型, 中间为混合型。对湖水涨落规律不明显的河段, 可用起涨时刻的顶托值 $Z_{\text{顶},0}$ 来划分洪水峰型。设起涨时刻的模拟流量为 Q_0 , 求出相应于 Q_0 的稳定流的水位 Z_0 ; 又设起涨时刻的实测水位为 G_0 , 则当 $Z_0 \geq G_0$ 时可认为该次洪水属于河峰型, 当 $Z_0 < G_0$ 时, 则该次洪水属于湖峰型或混合型洪水。区别混合型和湖峰型洪水可设定一个界值 W , 当 $0 < G_0 - Z_0 < W$ 时, 则该次洪水为混合型; 当 $G_0 - Z_0 \geq W$ 时, 则该次洪水为湖峰型。 W 值是一个与断面位置与形状有关的量, 不同河流可结合精度分析确定。

5. 流量模拟模型

由前文可知, 预报断面的流量过程是预报水位过程的基础, 可用马斯京根法模拟预报断面的流量过程。马斯京根法的基本参数有 K 、 X , 当计算河段上、下游有实测流量资料时, K 、 X 的率定可通过图解或优选方法完成^[2], 不再赘述。当河段上断面有实测流量资料, 而预报断面仅有水位资料时, 可用下断面实测水位作参照率定 K 、 X 值, 其步骤为:

- (1) 假定一组 K 、 X 值, 用 M 法求算一簇下游断面的流量过程线;
- (2) 根据算出的一簇流量过程线可用前述方法求得一簇水位过程线;
- (3) 按实测水位与计算水位离差平方和最小准则, 求出选用的 K 、 X 值。

以上 K 、 X 值的率定过程可结合采用适当的数学规划方法, 以利提高效率 and 精度。

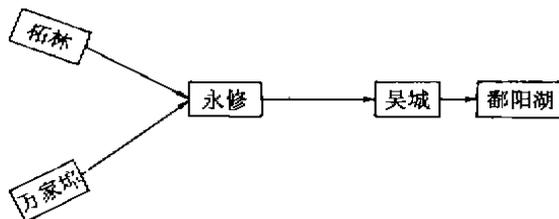


图 3 修水尾闾水系示意图
Fig. 3 Network map of the downstream reach of the Xiu River

二、应用实例

修水是鄱阳湖主要水系之一, 柘林以下河段地势逐渐平坦进入滨湖平原地区。干流在永修县城附近与潦水相汇后于吴城注入鄱阳湖 (图 3)。

图中万家埠、柘林有流量资料; 永修、吴城为水位站, 无近期流量资料, 但有完整的水位

资料。利用前文所述原理对 1972—1978 年间 16 次洪水进行水位模拟预报, 成果如表 1 和图 4 所示。从图表可见, 所提方法是有效的。

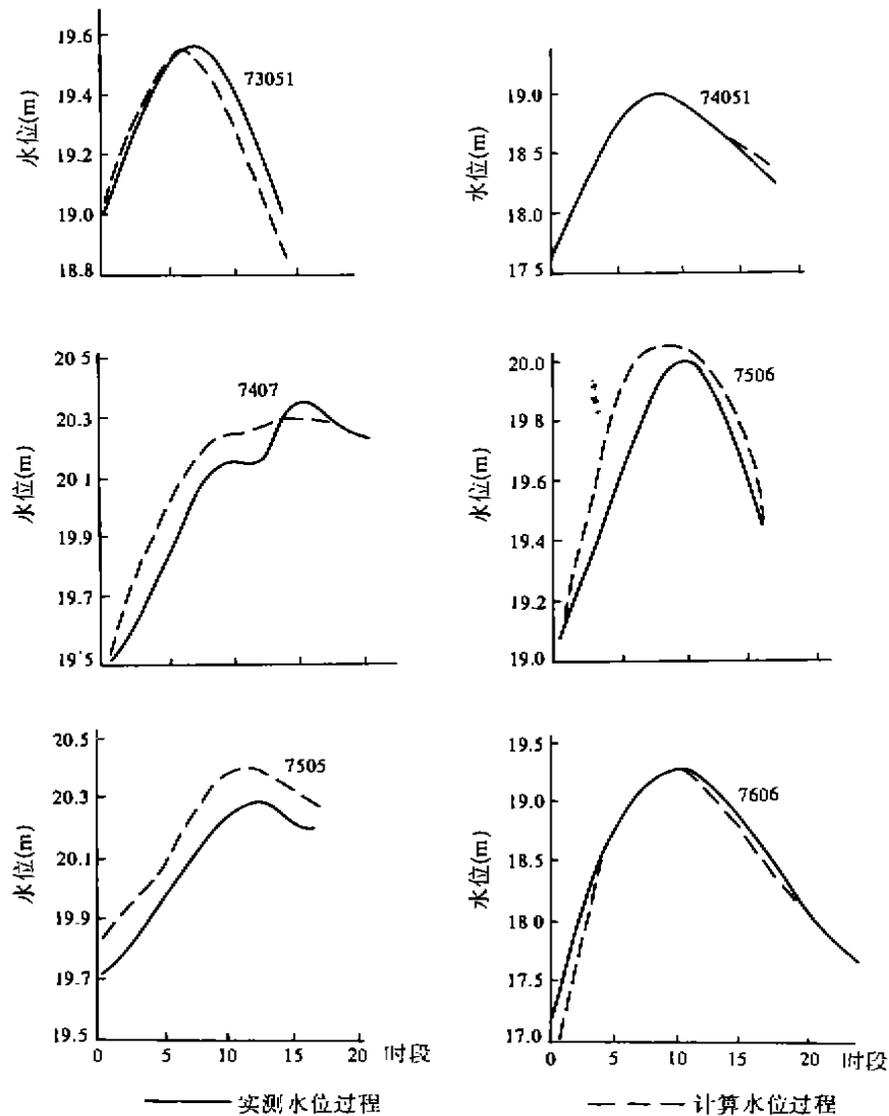


图 4 实测与计算水位过程线

Fig. 4 The comparison of the observed and computed water level hydrograph

三、小 结

本文提出的滨湖平原河段的水位过程预报模型, 是一种水文学与水力学相结合的模型, 较之单纯的水文学方法理论上更完善。模型中将洪水影响因素归纳为若干参数, 便于应用微机处理。模型中提出的三种流量过程转换成水位过程的方法可以单独使用, 使模型更具适应性。模型中采用逐时段递推求解便于与实时校正技术合用。由实例可见, 误差具阶段系统性,

采用实时校正技术可望进一步提高预报精度。模型程序简单,计算时间短,在 IBM/AT 机上预报一次洪水运行时间仅需 5 秒钟。

表 1 实测和计算最高水位对照表

单位:m

Tab. 1 The comparison of observed and computed maximum water level

洪水号	实 测	计 算	误 差	洪水号	实 测	计 算	误 差
7206	19.28	19.28	0.00	75041	20.01	20.17	-0.16
7305	20.70	20.41	0.29	7505	20.30	20.41	-0.11
73051	19.57	19.55	0.02	7506	20.00	20.05	-0.05
7405	18.64	18.64	0.00	7604	18.52	18.95	-0.43
74051	18.99	18.98	0.01	7606	20.84	20.92	-0.08
7407	20.38	20.32	0.06	7705	19.98	20.03	-0.05
74071	20.71	20.86	-0.15	77061	20.94	21.11	-0.17
7504	20.45	20.39	0.06	7804	18.52	18.57	-0.05

参 考 文 献

- [1] 严义顺主编. 水文测验学. 北京, 水利电力出版社, 1987.
 [2] 庄一筠, 林三益合编. 水文预报. 北京, 水利电力出版社, 1986.

WATER LEVEL FORECASTING METHOD SUITABLE TO RIVER REACHES ON LAKESHORE PLAIN

Zhong Ping'an

(Dept. of Hydrology, Huhai University, Nanjing 210024)

Abstract

The factor which influences floods of river reaches on lakeshore plain is very complicated and the stage-discharge relation varies greatly. It is very difficult to forecast the water level in this area. This paper proposes a water level forecasting method suitable to the river reaches on lakeshore plain, on the basis of the characteristics of the floods. It is confirmed to be one reasonable method through the case study.

Key words Water level forecasting, adjusting factor, back water effect