

鹤地水库文官至石角段水环境容量研究

逢 勇¹ 程 炜² 赵玉萍³

(1. 河海大学环境科学与工程学院 江苏 南京 210098 ; 2. 江苏省环境科学研究院 江苏 南京 210036 ;
3. 南京市鼓楼区环境监理大队 江苏 南京 210009)

摘要 :建立了鹤地水库文官至石角段的河网区水量、水质计算模型 ,根据实测资料对模型中水质降解系数进行了率定 ,利用率定的降解系数值 ,根据水环境容量计算公式 ,计算了鹤地水库文官至石角段的水环境容量 ,利用上述河网区水量、水质模型 ,以及规划期的污染源排污预测值 ,对 2010 年文官至石角段的水质进行预测 ,水环境容量计算结果和水质预测结果表明 ,至规划期 ,排污量预测值可满足该段水环境容量的要求 ,水质可满足该段水环境功能区的要求 .

关键词 :鹤地水库 ;河网区 ;水量数学模型 ;水质数学模型 ;水环境容量 ;水质预测

中图分类号 :X522 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2003)01-0076-04

鹤地水库位于广东省湛江市 ,是九洲江中游的山地人工湖泊 .九洲江是跨广西壮族自治区和广东省的一条独流入海河流 .文官至石角段为广东、广西九洲江河流的交界段 ,属鹤地水库上游区 ,该河段水环境容量的计算工作牵涉到广东、广西两地的利益 ,双方都给予关注 ,本文对此进行了仔细研究 .鹤地水库文官至石角段为一狭长河道区 ,长度约 10 km ,河宽约几十米 ,故采用河网区水量、水质模型进行该河段的水质预测及降解系数率定工作 .为了保护九洲江水系 ,尤其是鹤地水库水资源 ,1997 年由珠江流域水资源保护局牵头 ,广东省环境保护局及水利厅、广西壮族自治区环境保护局及水利厅共同进行了九洲江流域水资源保护规划工作 .该规划工作于 1999 年 7 月结束 ,本文是该规划工作的部分成果 .

1 河网区水量数学模型及率定

1.1 基本方程

描述水流在明渠中运动的一维非恒定流基本方程组为 :

连续性方程

$$\frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = q_L \tag{1}$$

运动学方程

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} + g \frac{u|u|}{C^2 R} = 0 \tag{2}$$

式中 : H ——断面水位 ; Q ——流量 ; u ——平均流速 , $u = Q/S$, S 为河道过水断面面积 ; g ——重力加速度 ; B ——不同高程下的过水宽度 ; q_L ——旁侧入流量 ; R ——水力半径 ; C ——谢才系数 ; x , t ——位置和时间坐标 .

1.2 河网节点联接方程及边点方程

1.2.1 节点联接方程

a. 流量连接条件 .进出每一节点的流量必须与该节点内实际水量的增减率相平衡 ,即

$$\sum Q_i = \frac{\partial \Omega}{\partial t} = A_{\text{调蓄}} \frac{Z^{j+1} - Z^j}{\Delta t} \tag{3}$$

式中 : Q_i ——通过 i 断面进入节点的流量 ; Ω ——节点的蓄水量 ; $A_{\text{调蓄}}$ ——调蓄节点的蓄水面积(汇合区面积) ; Z^{j+1} , Z^j ——调蓄节点 $j+1$ 时刻和 j 时刻的水位 .若调蓄节点面积很小 ,则

$$\sum Q_i = 0$$

b. 动力连接条件.(a)如果节点可以概化成一个几何点,出入各节点的水位变化不大,不存在突变的情况,则各节点相连汉道的水位应相等,等于该点的平均水位,即

$$H_1 = H_2 = \dots = H_0$$

(b)如果各断面的过水断面面积相差悬殊,流速有较明显的差别,当略去汉点的局部损耗时,得伯努利(Bernoulli)方程如下:

$$H_1 + \frac{u_1^2}{2g} = H_2 + \frac{u_2^2}{2g}$$

1.2.2 边界条件

a. 流量边界条件: $Q_i = Q(t)$,直接将流量边界条件代入节点方程进行计算.

b. 水位边界条件: $H_i = H(t)$,根据边界河道首、末断面水位与流量的递推关系式,建立以流量为自变量的方程,代入节点方程组进行计算.

1.3 数值求解

对河网非恒定流基本方程组采用一种按隐式计算的 3 级联合解法,即将参加计算的方程分成微段、河段、汉点 3 级,逐级处理,再联合运算,求得河网中各微段断面的水位、流量等值^[1].

1.4 模型率定

计算河道断面采用广东省水文总站于 1991 年 9 月 23 日至 10 月 9 日实测的“鹤地水库石角—文官河段横断面测量图”,该图比例为 1:10 000. 计算上边界断面为文官,计算下边界断面为鹤地水库库前,共设 40 个计算断面,采用文官断面和鹤地水库库前断面 1997 年 3~10 月的实测水位资料作为上边界和下边界条件,木棉坝、北火江、下桐、坡子田、丰富坪同期的实测流量资料作为支流边界条件,率定得河道糙率值为 0.047. 图 1 给出了石角测点的流量计算值和实测值. 从图 1 可见,计算值与实测值吻合较好.

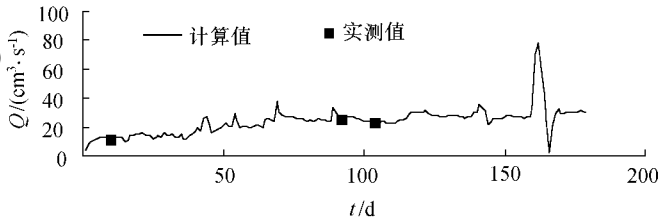


图 1 石角测点流量计算值与实测值对比
Fig.1 Calculated and observed flow at Shijiao

2 河网区水质数学模型及率定

2.1 河道水质基本方程

一维河道污染物对流、输移、降解、转换问题的基本方程表示如下:

$$\frac{\partial (A_{\text{过水}} c)}{\partial t} + \frac{\partial (Qc)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AE \frac{\partial c}{\partial x} \right) + S_c - S = 0 \tag{4}$$

式中: Q ——流量; $A_{\text{过水}}$ ——河道过水面积; E ——纵向分散系数; c ——污染物浓度; S_c ——污染物衰减项; S ——污染物源汇项.

2.2 节点方程

若节点 j 的入流河道有 i_{in} 条,出流河道有 i_{out} 条,则据物质守恒定律得

$$\sum_{i=1}^{i_{\text{in}}} (Q_{idj} \cdot c_{idj}) - \sum_{i=1}^{i_{\text{out}}} (Q_{ihj} \cdot c_{ihj}) = \left(\alpha \Omega \frac{dz}{dt} \right)_j$$

式中: Ω ——河道汇流区面积; j ——节点编号; i ——河道号; id ——流向节点 j 的河道; ih ——流出节点 j 的河道; $\frac{dz}{dt}$ ——节点 j 的水位随时间的变化; c_{ihj} ——节点 j 的水质浓度值.若汇流区面积很小,则节点方程为:

$$c_{ihj} = \frac{\sum_{i=1}^{i_{\text{in}}} (Q_{idj} \cdot c_{idj})}{\sum_{i=1}^{i_{\text{out}}} Q_{ihj}}$$

其中 c_{idj} 可根据与该河道相连的节点水质浓度求得.

2.3 模型求解方法^[2]

根据顺流向(由首断面流向末断面)和逆流向(由末断面流向首断面)对水质方程式(4)进行离散.首先,

求得河网中各断面的三对角矩阵系数值,再据河网节点方程,利用求得的各断面三对角矩阵系数值,求得河网中各节点的水质浓度值;最后,利用矩阵回代公式求得河网中各断面的水质浓度值。

2.4 河网水质模型率定

采用1997年3月(枯水期)和6月(丰水期)的水质监测资料进行水质模型的率定工作。纵向离散系数 E_x 的计算公式为 $E_x = \alpha C_z \theta^2 q$,其中 C_z 是无尺度谢才系数($C_z = C/g^{1/2}$), C 为谢才系数, θ 为宽深比($\theta = B/H$); q 为单宽流量。上、下边界和各支流边界的水质资料采用实测值;河段内污染源排污量采用调查统计资料。表1为1995年文地至石角段污染源排污量调查统计资料及2010年预测结果。率定得该河段 COD_{Mn} 和 BOD_5 的降解系数值均为0.06/d。

表1 文地至石角段污染源排污量调查资料及预测结果

Table 1 Investigation of pollutant discharge for Wendi-Shijiao section t/a

年份	COD_{Cr}				BOD_5			
	生活排水	面源	工业排放	水环境容量	生活排水	面源	工业排放	水环境容量
1995	73.1	3 821.1	191.3	7 281	43.5	816.7	12.3	1 898
2010	441.8	3 821.1	1 280.4		131.4	816.7	12.3	

文地桥下和石角测点 COD_{Mn} 的模拟结果见图2,由图2可见计算值基本能反映实测值的变化规律。

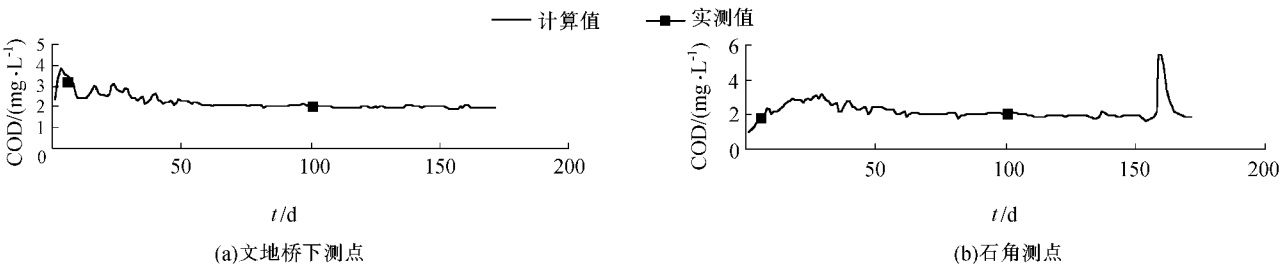


图2 COD计算值与实测值对比

Fig.2 Calculated and observed COD

3 水环境容量计算及结果分析

3.1 水环境容量计算公式

水环境容量为一定水体在规定的目标下所能容纳的污染物的最大负荷,其计算公式为^[3]

$$W = Q_0(C_s - C_0) + KVC_s + qC_s \tag{5}$$

式中: Q_0 ——水体主河道入流量; q ——旁侧入流量; C_s ——水质标准; V ——水体体积; K ——降解系数; C_0 ——入流处水质浓度。

当同一水体有不同功能区划时,则水环境容量的计算公式为

$$W = \sum_{i=1}^n Q_{0i}(C_{si} - C_{0i}) + \sum_{i=1}^n K_i V_i C_{si} + \sum_{i=1}^n q_i C_{si} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中: C_{si} ——不同功能区的水质标准; K_i ——不同功能区的降解系数; V_i ——不同功能区的水体体积。

3.2 计算结果及分析

根据公式(5),对文官至石角段的水环境容量进行计算,计算中 Q_0 和 V 取文官断面90%保证率下的设计条件, K 取本文率定结果, C_s 和 C_0 分别为石角断面的出水浓度和文地桥断面的进水浓度。对于文地桥断面, $COD_{Mn} = 8.0 \text{ mg/L}$, $BOD_5 = 6.0 \text{ mg/L}$;对于石角断面 $COD_{Mn} = 6.0 \text{ mg/L}$, $BOD_5 = 4.0 \text{ mg/L}$ ①。

根据公式(5),算得 COD_{Mn} 和 BOD_5 的水环境容量见表1。从表1可见,该段水环境容量基本可满足这一地区至规划期(2010年)经济发展的需要。为了分析该河段在规划期水质是否达标,本文利用所建文地至石角段水量、水质预测模型,对文地至石角段的水质进行了预测。预测时,水动力条件取1997年3~7月的值,污

① 该值为九洲江流域水资源保护规划工作确定值。

染源条件取表 1 中 2010 年的预测值,上游文官断面的水质边界浓度取 $COD_{Mn} = 8.0\text{ mg/L}$, $BOD_5 = 6.0\text{ mg/L}$,其他断面水质浓度取同期观测值. 预测结果见图 3. 预测结果表明,文地桥断面水质浓度可达Ⅳ类,石角桥断面水质浓度可达Ⅲ类,均满足这一地区规定的水质要求,从而说明:至规划期,排污量预测值可满足该段水环境容量的要求,水质可满足该段水环境功能区的要求.

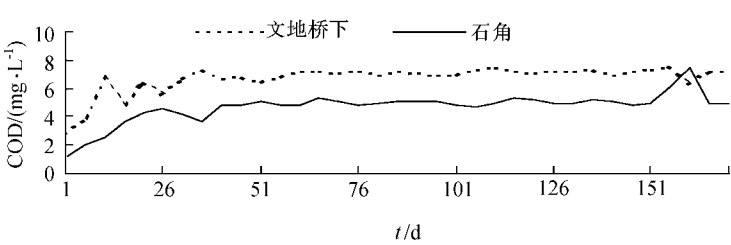


图 3 2010 年 COD 预测结果

Fig.3 Predicted COD for 2010

4 结 语

本文建立了鹤地水库文官至石角段的河网区水量、水质数学模型,据实测资料对模型参数进行了率定;利用率定的降解系数值,根据水环境容量计算公式,计算了鹤地水库文官至石角段的水环境容量.水环境容量计算结果和水质预测结果表明,至规划期,排污量预测值可满足该段水环境容量的要求,水质可满足该段水环境功能区的要求.

参考文献:

[1] 张二骏,张东生,李挺.河网非恒定流的三级联合解法[J].华东水利学院学报,1982,10(1):1—13.
[2] 逢勇,姚琦,濮培民.太湖地区大气-水环境的综合数值研究[M].北京:气象出版社,1998.92—107.
[3] 袁宏任,魏开湄,吴国平.水资源保护管理基础[M].北京:中国水利水电出版社,1996.104—106.

Calculation of water environment capacity for
Wenguan to Shijiao section of Hedi Reservoir

PANG Yong¹, CHENG Wei², ZHAO Yu-ping³

- (1. College of environmental science and engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;
2. Jiangsu Environmental Science Research Institute, Nanjing 210036, China;
3. Nanjing Environmental Supervision Division, Gulou District, Nanjing 210009, China)

Abstract: An unsteady-water-quality and hydrodynamic model was developed for the river network from Wenguan to Shijiao of the Hedi Reservoir. The water quality degradation parameters of COD and BOD of the model were calibrated based on the measured data, and with the calibrated parameters, the water environment capacity of the river section was calculated. By use of the present model and the pollutant discharge predicted in the planning stage, the water quality of the section was predicted for 2010. The results show that, up to the planning stage, the predicted pollutant discharge and calculated water quality respectively met the requirements of the water environment capacity and the water environment function of the section.

Key words: Hedi Reservoir; river network; water volume mathematical model; water quality mathematical model; water environment capacity; water quality prediction