

调水工程对五里湖水环境影响分析

丁 玲¹ 逢 勇¹ 赵棣华² 李一平¹ 彭进平¹

(1. 河海大学环境科学与工程学院 ,江苏 南京 210098 ; 2. 南京水利科学研究院 ,江苏 南京 210024)

摘要 :建立了五里湖二维水流水质耦合模型 ,并对模型参数进行率定 .应用该模型模拟五里湖在不同计算工况下的 COD_{Mn} 浓度 ,分析调贡湖水入五里湖时五里湖水质的改善状况 .计算结果表明 : (a)各引排水方案下五里湖水质均能逐步达标 ,但所需引排水时间不同 . (b)陆典桥处不抽水时 ,五里湖西部区水质很难得到改善 . (c)考虑底泥释放时五里湖水质达标时间较未考虑时长 3 ~ 4 d .建议对五里湖进行清淤 .

关键词 :调水工程 ;环境影响 ;水质模型 ;调水流量 ;底泥 ;太湖 ;五里湖

中图分类号 :TV68 ;X820.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2003)04-0366-04

近年来 ,太湖富营养化现象日趋严重 ,并经常爆发“ 水华 ”事件 .太湖受污染最严重的区域为五里湖 .目前 ,五里湖全年水质已劣于 V 类水 .要治理太湖 ,首先要治理五里湖 .

五里湖水环境整治工程包括挡污、截污、调水、清淤、退渔还湖及湖岸整治工程 ,调水工程是其中的重要组成部分 .调水工程计划从长广溪引水质较好的贡湖水(基本属于 III 类水)入五里湖 ,加快五里湖水质的转化 .为了预测调水工程对五里湖水环境的改善效果 ,本文在对五里湖水环境现状调查评价的基础上建立二维水环境数学模型 ,计算并分析各种引排水方案下五里湖水质的改善状况 .

1 二维水环境数学模型

本文根据工程需要 ,建立了五里湖二维水流水质耦合模型 ,使用高性能 Osher^[1]格式逐时段、逐单元计算跨越控制体界面法向数值通量 ,从而模拟出水流过程和相应的污染物输运扩散过程 .模型边界处应用黎曼不变量计算各种通量 ,与内部计算格式相同 ,避免了因边界处理不当引起的误差^[2] .

1.1 二维水流水质耦合数值模拟原理

1.1.1 平面二维水流-水质耦合方程

二维浅水水流方程和对流-扩散方程的守恒形式可表达为

$$\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial t} + \frac{\partial f(\mathbf{q})}{\partial x} + \frac{\partial g(\mathbf{q})}{\partial y} = b(\mathbf{q}) \tag{1}$$

其中 $\mathbf{q} = [h, hu, hv, hc]^T$ $f(\mathbf{q}) = [hu, hu^2 + gh^2/2, huv, huc]^T$
 $g(\mathbf{q}) = [hv, huv, hv^2 + gh^2/2, hvc]^T$

式中 : $\mathbf{q}$ ——守恒物理量 ; $f(\mathbf{q})$ —— x 向通量 ; $g(\mathbf{q})$ —— y 向通量 ; h ——水深 ; u, v —— x 向和 y 向垂线平均水平流速分量 ; c ——污染物(COD 等)浓度 ; $b(\mathbf{q})$ ——源(或汇)项 .

1.1.2 有限体积法的基本方程

定义矩阵 $F(\mathbf{q}) = [f(\mathbf{q}), g(\mathbf{q})]^T$,在任意形状的单元 Ω 上对式(1)积分 ,利用散度定理可得到有限体积法的基本公式为

$$\iint_{\Omega} \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial t} d\omega = - \int_{\partial\Omega} F(\mathbf{q})_n dL + \iint_{\Omega} b(\mathbf{q}) d\omega \tag{2}$$

式中 : $F(\mathbf{q})_n$ ——法向数值通量 ; $d\omega, dL$ ——面元积分和线元积分 .离散方程(2)并利用 $f(\mathbf{q})$ 和 $g(\mathbf{q})$ 的旋转

不变性^[3],得有限体积法的基本方程为

$$A \frac{dq}{dt} = - \sum_{j=1}^m \kappa(\Phi)^{-1} f(\bar{q}) L_j + A b(q)$$

(3)

式中: L_j ——单元第 j 边的长度; A ——单元 Ω 的面积; m ——单元的边数.在单元各边两侧 q (或 $\bar{q}$)值可能不同,当单元界面上 q (或 $\bar{q}$)值不连续时,可通过解局部一维黎曼问题求得 $f(\bar{q})$ ^[2].

1.2 初始条件及边界条件

1.2.1 初始条件

初始条件为 $U = U_0, V = V_0, Z = Z_0$ (Z 为水面高层), $c = c_0$.

1.2.2 边界条件

- a. 流量及水位边界条件: $Q = Q_0, Z = Z_0$.
- b. 浓度场边界条件:进水边界 $c = c_0$,出水边界为第 2 类边界条件,即 $\frac{\partial c}{\partial n} = 0$.

1.3 模型参数率定

将五里湖划分为 104 个四边形单元网格,共 134 个节点,最大网格尺寸为 250 m×200 m.利用现有资料对模型参数进行率定,选用 2001 年 10 月 13 日的 COD_{Mn} 为模拟对象.

1.3.1 计算边界条件的确定

- 水量边界条件:由出入五里湖的实测流量资料确定.
- 水质边界条件:入流边界 COD_{Mn} 的浓度根据 2001 年排入五里湖的主要污染源排放量确定.

1.3.2 水质模型率定结果

考虑计算稳定性及精度,取时间步长 Δt 为 1 s,综合考虑地形、水生植物等因素的影响,取单元初始糙率为 0.020.水质参数考虑扩散系数、降解系数及底泥释放率系数,其中降解系数为考虑生物降解和复氧过程的综合系数.利用 2001 年资料进行计算,调整各水质参数,使五里湖湖东、湖中、湖西 3 个监测点(见图 3)的模型计算值与实测值比较达到总体最优.率定后的计算参数见表 1, COD_{Mn} 的

表 1 二维水质模型参数

Table 1 Parameters of 2D water quality model

参数	纵向扩散系数 D_x ($m^2 \cdot s^{-1}$)	横向扩散系数 D_y ($m^2 \cdot s^{-1}$)	COD_{Mn} 降解系数 K_c / d^{-1}	底泥释放率系数 ($mg \cdot (m^2 \cdot s)^{-1}$)
数值	1.0	1.0	0.03	4.4×10^{-4}

浓度计算值与实测值对比见图 1.1[#], 2[#]、3[#]测点的计算值与实测值的相对误差分别为 8.58%、6.52%、4.45%.从图 1 中可以看出,计算值与实测值吻合较好,最大误差仅为 8.58%.

1.4 计算工况

- a. 水质浓度:设计五里湖初始水质 COD_{Mn} 浓度分别为 10 mg/L、9 mg/L 和 8 mg/L 3 种情况.
- b. 引排水量:根据调研分析,长广溪进水量取 30 m³/s、25 m³/s 和 20 m³/s 3 种情况进行计算;骂蠡港出水流量取 30 m³/s、25 m³/s、20 m³/s、15 m³/s 和 12 m³/s 5 种情况进行计算;陆典桥出水流量取 10 m³/s、8 m³/s 和 0 m³/s 3 种情况进行计算.
- c. 污染源情况:考虑五里湖底泥被清除和未被清除两种情况.

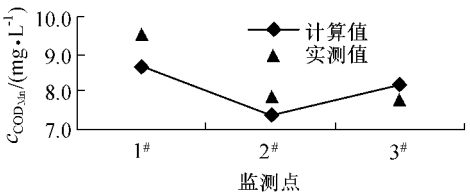


图 1 2001 年 10 月各监测点 COD_{Mn} 的浓度计算值与实测值

Fig.1 Comparison of calculated and observed COD_{Mn} concentrations for Oct. 2001

2 五里湖水质改善效果分析

2.1 引水对五里湖水质的空间影响

2.1.1 流速场计算结果分析

骂蠡港和陆典桥两处同时抽水时,水流入长广溪后再分别流向骂蠡港和陆典桥,且五里湖东部区的流速略大于西部区(见图 2).当陆典桥处不抽水时,水通过长广溪直接流向骂蠡港,此时五里湖西部区的流速几乎为零(见图 3).故引水对五里湖西部区水质改善效果不明显.此时五里湖东部湖区的流速较大,约为 4~5 cm/s.

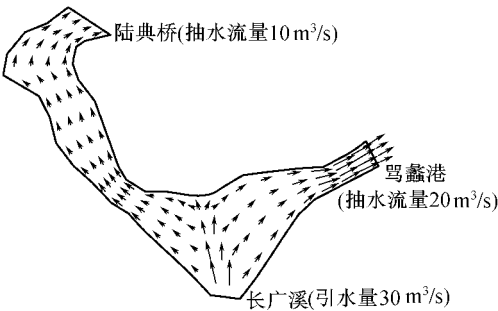


图 2 两边同时抽水时五里湖流速场

Fig.2 Distribution of flow velocity of Wulihu Lake when water is pumped from both sides

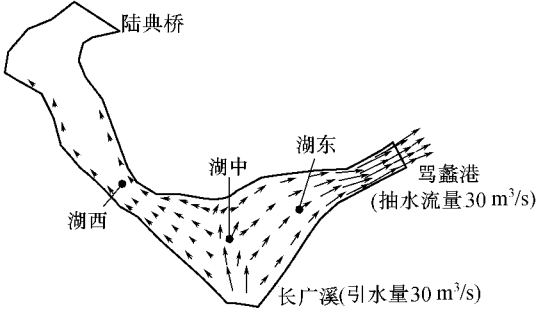


图 3 陆典桥处不抽水时五里湖流速场

Fig.3 Distribution of flow velocity of Wulihu Lake when water is not pumped from Ludianqiao

2.1.2 浓度场计算结果分析

- a. 流量 $30\text{ m}^3/\text{s}$ 时五里湖各区 COD_{Mn} 的浓度较流量 $25\text{ m}^3/\text{s}$ 时平均低 0.5 mg/L , 改善效果以流量较大的为好.
- b. 陆典桥抽水、不抽水时五里湖湖体的浓度分布有很大区别. 陆典桥处抽水时, 五里湖绝大部分水域 COD_{Mn} 浓度已下降至 $6\sim 6.5\text{ mg/L}$ (见图 4). 而陆典桥处不抽水时, 五里湖西部水域中大部分 COD_{Mn} 浓度仅下降 1.5 mg/L 左右, 满足不了这一地区水域功能的要求.
- c. 五里湖西部区的水质改善效果劣于东部区. 以引水流量 $30\text{ m}^3/\text{s}$ 、陆典桥抽水这一方案为例, 引水 2 d 后该方案下的浓度场分布情况见图 5. 由图 5 可知, 引水 2 d 后, 东部区 COD_{Mn} 浓度已基本下降至 6.5 mg/L , 而西部大部分水域 COD_{Mn} 浓度仍维持在 8.0 mg/L 左右. 故建议在陆典桥处加大抽水流量.

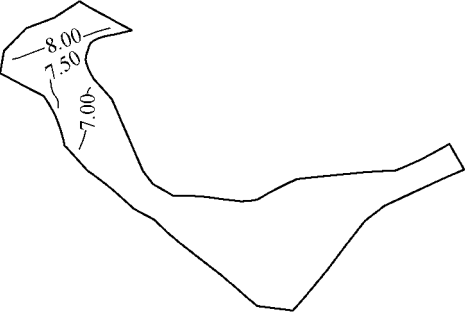


图 4 陆典桥抽水时五里湖 COD_{Mn} 浓度分布

Fig.4 Distribution of COD_{Mn} concentration in Wulihu Lake when water is pumped from Ludianqiao

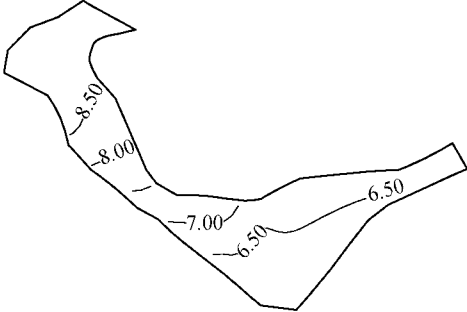


图 5 引水 2 d 后五里湖 COD_{Mn} 浓度分布

Fig.5 Distribution of COD_{Mn} concentration in Wulihu Lake after two days' water diversion

- d. 考虑底泥释放时五里湖水体水质达标时间较未考虑时约长 $3\sim 4\text{ d}$. 以引水流量 $25\text{ m}^3/\text{s}$ 为例, 未考虑底泥释放时, 引水 10 d 后五里湖总体 COD_{Mn} 浓度已基本稳定在 6 mg/L 左右. 而考虑底泥释放时, 引水 13 d 后五里湖水体水质才能逐步得到改善.

2.2 引水对五里湖水体水质的时间影响

随着长广溪、骂蠡港等处不断地引排水, 水质较好的贡湖水逐渐向五里湖湖体渗透, 从而使五里湖水水质逐渐得到改善并最终稳定. 湖东、湖中、湖西 3 点的 COD_{Mn} 浓度随引水时间变化如图 6 所示. 由图 6 可知, COD_{Mn} 浓度随时间逐渐减小并趋于稳定. 同时, 各方案下五里湖水体水质最终稳定所需的时间也不同. 根据二维模型计算结果, 各种方案下五里湖主要水体水质达标时所需的引排水时间见表 2. 从表 2 中可以看出, 引水流量 Q 为 $25\text{ m}^3/\text{s}$ 比 Q 为 $30\text{ m}^3/\text{s}$ 所需的水质达标时间约长 1 d, 引水流量 Q 为 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 比 Q 为 $30\text{ m}^3/\text{s}$ 所需的水质达标时间约长 3 d.

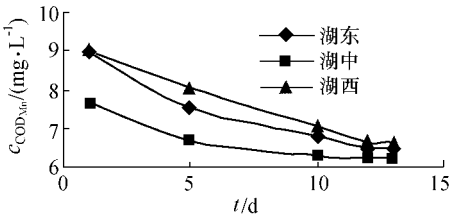


图 6 五里湖 COD_{Mn} 浓度随时间变化趋势

Fig.6 Trend of COD_{Mn} concentration of Wulihu Lake

表 2 各种方案下五里湖水体水质达标所需引排水时间

Table 2 Time of draining needed for water body of the Wulihu Lake reaching the criterion of water quality in different schemes

COD _{Mn} 初始浓度/(mg·L ⁻¹)	Q = 30 m ³ /s	Q = 25 m ³ /s	Q = 20 m ³ /s
10	12 ~ 13	13 ~ 14	15 ~ 16
9	11 ~ 12	12 ~ 13	14 ~ 15
8	9 ~ 10	11 ~ 12	12 ~ 13

3 结 论

- a. 长广溪引水流量为 30 m³/s ,25 m³/s ,20 m³/s 均能使五里湖水质逐步达标.
- b. 陆典桥处不抽水时 ,五里湖西部区水质很难得到改善 .建议在陆典桥处设一座泵站抽水.
- c. 五里湖西部区的水质改善效果劣于东部区 ,建议在陆典桥处将抽水流量加大.
- d. 考虑底泥释放影响时 ,五里湖水体水质达标时间较未考虑时相对延长 3 ~ 4 d. 建议对五里湖清淤.

参考文献 :

[1] 谭维炎 ,胡四一 .二维浅水流动的一种普适的高性能格式——有限体积 Osher 格式 [J].水科学进展 ,1991 ,12 (3) :154—161 .

[2] 赵棣华 .平面二维水流-水质有限体积法及黎曼近似解模型 [J].水科学进展 ,2000 ,11 (4) 368—373 .

[3] SPEKELJSE S P .Multigrid solution of steady Euler equations [M]. Amsterdam :CWI Yrace 46 ,1988 .10—60 .

Effect of water diversion project on water environment of Wulihu Lake

DING Ling¹ , PANG Yong¹ , ZHAO Di-hua² , LI Yi-ping¹ , PENG Jin-ping¹
(1 . College of Environmental Science and Engineering , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China ;
2 . Nanjing Hydraulic Research Institute , Nanjing 210024 , China)

Abstract :A 2-D FVM and Riemann approximate solution model for water quality of the Wulihu Lake are developed , and the parameters of the model are calibrated . The model is applied to simulation of COD_{Mn} concentration of the Wulihu Lake in different cases of calculation and analysis of water quality improvement of the Wulihu Lake by water diversion from the Gonghu Lake . The calculated results show that :(1)the water quality of the Wulihu Lake , according to different water diversion schemes , can gradually reach the standard , but the durations of time needed for water diversion are different ; (2)it is difficult to improve the water quality of the west area of the Wulihu Lake if water is not pumped from the Ludianqiao area ;(3)the sludge release may prolong 3-4 days for the water quality of the Wulihu Lake reaching the standard , so dredging measures should be implemented for the Wulihu Lake .

Key words :water diversion project ; environmental impact ; water quality model ; volume of water diversion ; sludge ; Taihu Lake ; Wulihu Lake