

广州西村和石门水厂取水口迁址的论证分析

逢 勇

李学灵

(河海大学水文水资源及环境学院 南京 210098) (珠江流域水资源保护局 广州 510611)

黄林楠

(河海大学水文水资源及环境学院 南京 210098)

摘 要 采用网河区非稳态水量、水质数学模型 ,对广州西村和石门两水厂的拟搬迁方案进行了详细的论证分析 .分析结果表明 :拟迁址处的水质较现水源地的水质明显改善 ;在控制好未来污染源的前提下 ,拟迁址处的水质基本可满足水源地的要求 .

关键词 水量 ;水质 ;数学模型 ;自来水厂 ;取水口 ;方案论证

中图号 X522

广州市现有供生活用水的水厂 9 座 ,即西村水厂、白坭洞水厂、河南水厂、黄埔水厂、江村水厂、新塘水厂、西州水厂、石溪水厂和石门水厂 .西村水厂和石门水厂的水源水质目前较差 ,广州市自来水公司拟将这两处的取水口迁址 .本文对这一迁址方案从水量、水质两方面进行计算和论证分析 .

1 模型计算的资料情况

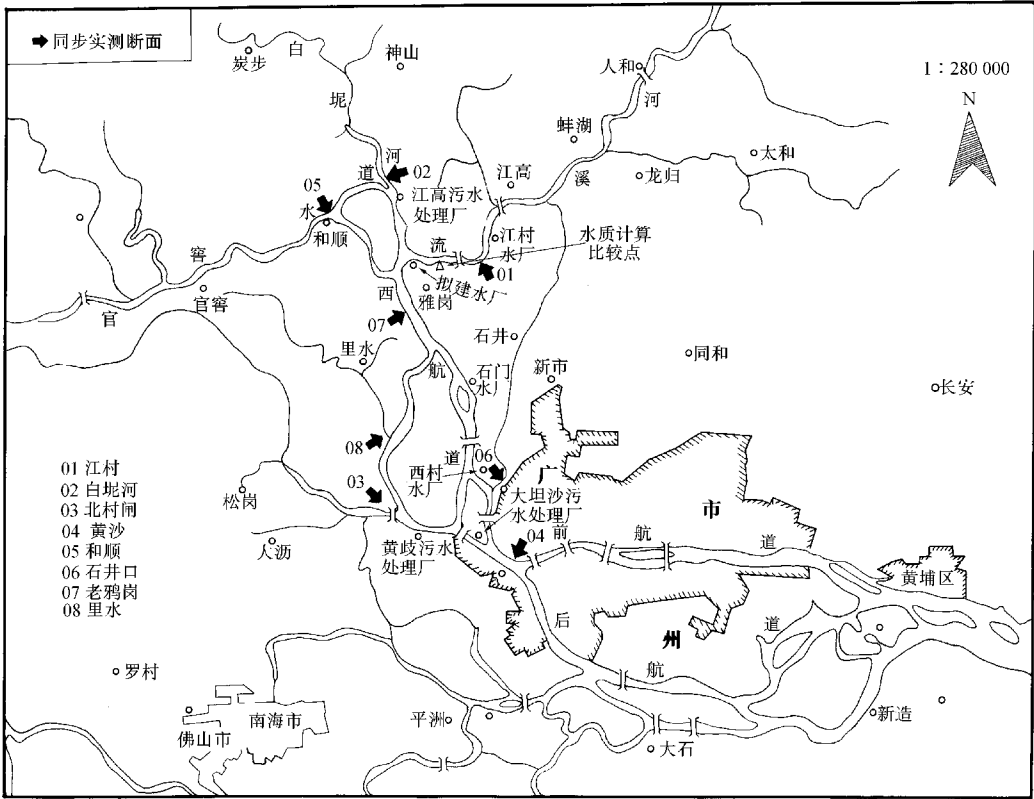


图 1 计算区域水文、水质同步监测断面及水厂、污水处理厂分布

Fig.1 The location distribution of monitoring water intake place and sewage disposal plant

1997年8月11日(小潮期)对计算区域(图1)的水文、水质的一个完整的潮周期变化过程进行了连续同步监测. 水文测验项目为:7个断面(江村、和顺、白坭河、黄沙、石井口、老鸦岗和珠江东桥)的大断面测量;6个断面(江村、和顺、白坭河、黄沙、石井口和老鸦岗)的同步每小时1次的水位、流速和流向的测量. 水质测验项目为:COD_{Mn}, BOD₅, LAS(阴离子洗涤剂), DO, Cr⁶⁺, SS, 细菌和底泥重金属含量. 根据潮型变化规律, 取高高潮、高低潮、低高潮、低低潮及涨潮过程和落潮过程观测6次. 观测时间为:1997年8月11日的15 30, 20 30及12日的3 00, 6 30, 8 30, 11 30. 另外, 调查收集了计算区域内的污染源资料.

2 网河区非稳态水量、水质数学模型

2.1 网河区水量数学模型^[1]

2.1.1 基本方程

描述河道一维非恒定水流运动的基本方程为圣维南方程组

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B_T \frac{\partial Z}{\partial t} = q_L$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - BU^2) \frac{\partial Z}{\partial x} - u^2 \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_Z + g \frac{n^2 |u| Q}{R^{3/4}} = 0$$

式中:Q——流量;Z——水位;R——水力半径;u——流速;q_L——旁侧入流;n——糙率系数;B_T——包括主河道泄流宽度和仅起调蓄作用的附加宽度;B——过流河宽;A——过水面积;g——重力加速度;x,t——空间与时间的坐标.

圣维南方程属于二元一阶双曲型拟线性偏微分方程组,可用四点隐式差分格式进行线性离散.

2.1.2 节点(汉口)连接方程

水网节点应满足两个衔接条件:

a. 流量连接条件

进出每一节点的流量必须与该节点内的实际水量的增减率相平衡,即

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \frac{dw}{dt}$$

式中:i——汇集于同一节点的各河道断面的编号;w——节点蓄量.如将节点概化为无蓄量的几何点,则w

=0.因此,

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0$$

b. 动力连接条件

若节点处有K个分支,则动力连接条件为 $Z_k = Z_{k+1} \quad k = 1, 2, \dots, K-1$

2.1.3 数值求解

根据以上方程,采用三级联解(即将河网计算方法分为微段、河段、汉点三级进行运算)的方法进行数值计算.

2.1.4 糙率系数的确定

参数估值直接影响到水量模拟的精度和预测能力.根据河网的水流特点,采用模拟计算和现场实测的方法,另外,参考前人的工作^{*}来率定参数.

利用1997年8月11~12日在评价区域的实测同步水文资料进行模型的调试,得出:计算区域河道的糙率系数值为0.013~0.033.

2.1.5 模型率定验证

利用1997年8月11~12日在计算区域进行的水文、水质的同步实测资料进行模型的验证工作.鸦岗站的流量的验证结果见图2.

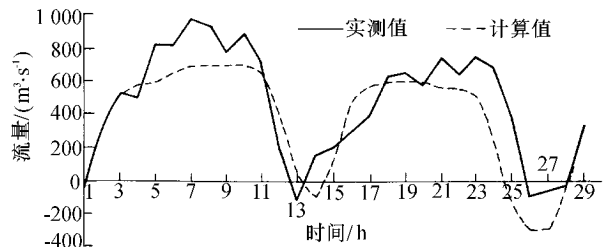


图2 老鸦岗站流量计算值与实测值比较

Fig.2 The comparison of the computed and observed water flow in Laoyagang station

* 张永良等. 珠江三角洲河口典型区域水环境容量开发利用研究. 国家“七五”科技攻关项目(75)60—02—01—02, 北京:清华大学, 1990. 7—1~

2.2 网河区水质模型

根据项目的要求,选取 COD_{Mn}、NH₄⁺-N、DO、BOD₅ 和 LAS 为预测因子.

2.2.1 基本方程^{2]}

描述河网中污染物浓度的时空变化过程宜用带源项的一维对流-扩散方程.其基本方程如下:

$$\frac{\partial (AC_C)}{\partial t} + \frac{\partial (AUC_C)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial C_C}{\partial x} \right) - k_C AC_C + S_C$$
$$\frac{\partial (AC_N)}{\partial t} + \frac{\partial (AUC_N)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial C_N}{\partial x} \right) - k_N AC_N + S_N$$
$$\frac{\partial (AC_L)}{\partial t} + \frac{\partial (AUC_L)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial C_L}{\partial x} \right) - k_L AC_L + S_L$$
$$\frac{\partial (AC_B)}{\partial t} + \frac{\partial (AUC_B)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial C_B}{\partial x} \right) - k_B AC_B + S_B$$
$$\frac{\partial (AC_D)}{\partial t} + \frac{\partial (AUC_D)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial C_D}{\partial x} \right) - k_B C_B + k_2 (O_s - C_D)$$

式中: C_C, C_N, C_L, C_B, C_D ——COD_{Mn}、NH₄⁺-N、LAS、BOD₅ 和 DO 的水质浓度,mg/L; E_x ——纵向分散系数, m²/s; S_C, S_N, S_L, S_B ——COD_{Mn}、NH₄⁺-N、LAS 和 BOD₅ 的源项,mg/s; k_C, k_N, k_L, k_B ——COD_{Mn}、NH₄⁺-N、LAS 和 BOD₅ 的降解系数, 1/d; k_2 ——大气复氧系数, 1/d; x ——断面间距; t ——时间坐标.

对于每一个节点来说,都满足质量平衡方程

$$\sum_{i=1}^n (QC)_{ij} = \frac{C\Omega\Delta Z}{\Delta t}$$

式中: Q_{ij}, C_{ij} ——与节点 i 相连河道进出口节点的流量及污染物浓度; Z ——水位; Ω ——节点面积.

模型求解采用数值方法,将微分方程用隐式差分迎风格式离散后进行求解,得出各节点及断面浓度值.

2.2.2 水质模型参数的确定

a. 纵向离散系数 E_x 的确定

E_x 与河流流速、水面宽度成正比,与水深成反比.本次计算采用的纵向离散系数值根据前人的工作^{*}取为 2.9m²/s.

b. 饱和和溶解氧计算方式

饱和和溶解氧计算公式^[3]为

$$O_s = 468 / (31.6 + T)$$

式中: T ——水温,℃; O_s ——饱和和溶解氧,mg/L.

c. 大气复氧系数

根据前人的工作^{*}及本次实测资料的率定结果,大气复氧系数值取为 0.42 1/d.

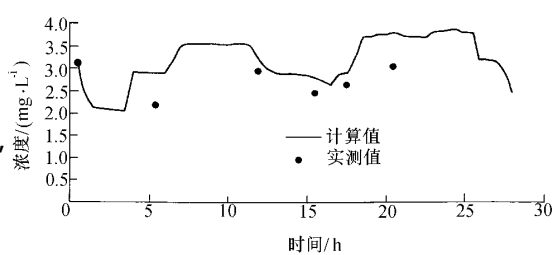
d. 降解系数

根据前人的工作^{*}及本次实测资料的率定结果,各水质要素的降解系数为

$$k_N = 0.41 \text{ 1/d} \quad k_B = 0.36 \text{ 1/d} \quad k_C = 0.46 \text{ 1/d} \quad k_L = 0.35 \text{ 1/d}$$

2.2.3 河网水质模型的验证

采用 1997 年 8 月 11~12 日在计算区域进行的水文、水质同步实测资料以及调查收集到的计算区内的污染源资料进行模型的验证工作.鸦岗站的 COD_{Mn}、DO、LAS、NH₄⁺-N 及 BOD₅ 的计算值与实测值吻合较好. COD_{Mn} 验证结果见图 3.



3 论证区域水量影响的模型预测

3.1 计算条件的确定

3.1.1 设计水量的确定

根据老鸦岗站近 30 年的水位资料、流溪河和白

图 3 COD_{Mn}计算值与实测值对比

Fig.3 The comparison of the computed and observed COD_{Mn}

* 张永良等.珠江三角洲河口典型区域水环境容量开发利用研究.国家“七五”科技攻关项目(75)60—02—01—02,北京:清华大学,1990.7-1~7-46

坭河近 30 年的径流量资料,以及同期黄沙断面的水文资料,参考本次同步水文观测成果,分析得出了在 97% 水量保证率下的模拟区边界水文条件.

3.1.2 不同工程方案的选定

根据要求,取两种工程方案进行计算.具体方案见表 1.

3.2 水量影响的模型计算

在设计水量条件下,取两种工程方案对拟建水厂附近(在流溪河上)的流量过程进行计算.从计算结果可知,两工程方案在设计条件下进出拟建水厂处的流量改变不大.基于这一原因,在水质模拟中,只取水量改变最大情况(工程方案二)进行模拟计算.

4 论证区域水质影响的模型预测

4.1 污染源的确定

水质预测中考虑的未来污染源主要为江高开发区的发展、大坦沙污水处理厂的扩建及黄歧开发区的发展所产生的污染物.开发区发展后的污染物均需经污水处理厂处理后排放.各污水处理厂尾水排放量为:江高开发区 30 万 t/d;大坦沙污水处理厂扩建后 62.8 万 t/d(即在现状 32.8 万 t/d 废水量基础上增加 30 万 t/d 废水量);黄歧开发区 3.4 万 t/d.尾水排放浓度见表 2.

在水质模拟中,根据不同方案在现状污染源基础上分别叠加上述污染源进行计算.

4.2 水质边界浓度的确定

根据计算区域水体的功能区划,同时参考各河道水质的现状条件确定计算区域边界水质浓度,结果见表 3.

4.3 预测方案

选取 3 种方案进行预测.3 种方案的工况见表 4.

4.4 预测结果

a. 方案 3 时硬颈海处的水质最差;方案 1 时,的水质最好;方案 3 和方案 2 时,硬颈海处的水质浓度差别很小;方案 1 时,硬颈海处的水质浓度改善较明显.因目前硬颈海附近污染源较多,预测出的硬颈海处的水质浓度超标严重, COD_{Mn}, BOD₅ 均达 V 类水,氨氮浓度接近 7 mg/L,远高于饮用水标准.

b. 图 4 为方案 3 条件下拟建水厂和比较点处的 COD_{Mn}的计算结果(其它水质要素的计算结果从略).从图 4 可知,比较点处的水质浓度较拟建水厂处的好,比较点处的 COD_{Mn}和 BOD₅ 基本接近 III 类水,而拟建水厂处的 COD_{Mn}和 BOD₅ 超 III 类水较严重.

c. 图 5 和图 6 为方案 2 和方案 1 条件下拟建水厂和比较点处的 COD_{Mn}的计算结果(其它水质要素的计算结果从略).从图 5 和图 6 可知,比较点处的水质好于拟建水厂的水质,方案 1 和方案 2 条件下的水质浓度差别不大.

表 1 两种工程方案

Table1 Two kinds of engineering schemes	
工程方案一	工程方案二
西村水厂关闭 拟建水厂每天抽水 120 万 t	西村水厂和石门水厂一起关闭 拟建水厂每天抽水 202 万 t

表 2 各污水处理厂尾水排放浓度

Table 2 The concentration in pollution water discharged from sewage disposal plants			mg/L
污染因子	大坦沙污水处理厂	江高和黄歧污水处理厂	
BOD ₅	20	30	
COD _{Mn}	48	48	
NH ₄ ⁺ -N	15	10	
LAS	5	5	

表 3 计算区域边界的水质浓度

Table 3 The water quality under boundary conditions in computed areas						mg/L
边界断面	DO	COD _{Mn}	氨氮	LAS	BOD ₅	
黄沙断面和石井口断面	5.0	8.0	1.0	0.3	6.0	
其它断面	5.0	6.0	0.5	0.2	4.0	

表 4 水质预测计算工况

Table 4 The predicated schemes of water quality				
方案	江高 30 万 t/d	大坦沙 32.8 万 t/d 62.8 万 t/d	黄歧 3.4 万 t/d	
方案 1	×	✓	×	×
方案 2	×	×	✓	✓
方案 3	✓	×	✓	✓

注:方案 1 取现状污染源排放量,方案 2 在现状污染源排放基础上增加黄歧的 3.4 万 t/d 排放量,另外,大坦沙污水处理厂在现有 32.8 万 t/d 基础上扩大至 62.8 万 t/d;方案 3 在方案 2 的基础上再增加江高污水处理厂的 30 万 t/d 排放量.× 表示未采用,✓ 表示采用.

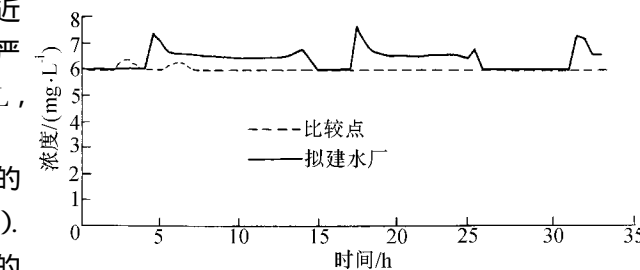


图 4 COD_{Mn}预测结果(方案 3)

Fig.4 The predicated result of COD_{Mn}(scheme 3)

d. 从图 4~6 可知 :对比较点和拟建水厂而言 ,方案 3 条件下水质最差 ,方案 1 条件下水质浓度最好 ,但方案 1 和方案 2 条件下的水质浓度差别不大.

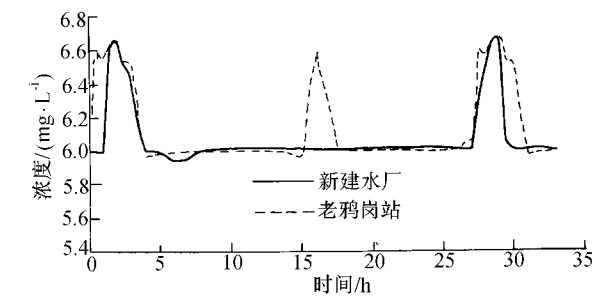


图 5 COD_{Mn}预测结果(方案 2)

Fig.5 The predicated result of COD_{Mn}(scheme 2)

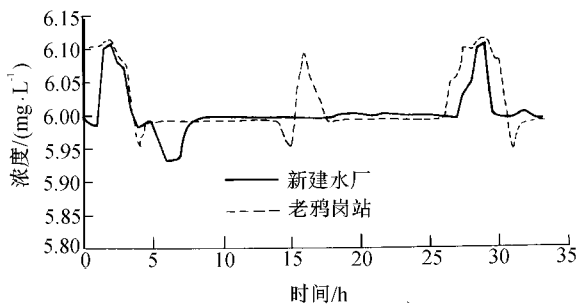


图 6 COD_{Mn}预测结果(方案 1)

Fig.6 The predicated result of COD_{Mn}(scheme 1)

5 结 论

- a. 硬颈海处的水质不适合作为饮用水源地的水质.
- b. 在方案 1 或方案 2 条件下 ,拟建水厂处的水质基本可满足饮用水源地的水质要求.
- c. 比较点处的水质优于拟建水厂处的水质.

参 考 文 献

1 张二骏 张东升 李挺.河网非恒定流的三级联合解法.华东水利学院学报 ,1982 ,10(1) :1 ~ 13
2 梁瑞驹.91 太湖洪涝灾害.南京 :河海大学出版社 ,1993.84 ~ 89
3 傅国伟.河流水质数学模型.北京 :中国环境科学出版社 ,1997.35 ~ 36

Analysis of both Water Quantity and Water Quality for New Water Intake
of Xichun and Shimen Water Plant in Guangzhou

Pang Yong

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. ,Nanjing 210098)

Li Xueling

(Pearl River Water Resources Protection Bureau ,Guangzhou 510611)

Huang Lingnan

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. ,Nanjing 210098)

Abstract An unsteady water quality and quantity model for river networks has been used in determining the new water intake of Xichun and Shimen water plant ,Guangzhou ,China. The data of hydrology and water quality observed simultaneously and the water quantity and quality at Yanang station are evaluated. Based on the water quantity assurance rate(97%) ,the water quantity at the new water intake is computed. The computed result shows that the water quantity will be as high as 300m³/s at the new place ,so the engineering effects on water quantity at the new intake will be small. The future pollution sources and the boundary water quality conditions are considered. The computation results show that the water quality at the new intake is better than that at the previous one. With suitable control of the pollution sources around the new area in the future ,the water quality and water quantity at the new intake can meet the requirements.

Key words water quantity ;water quality ;mathematical model water plant ;water intake ;scheme comparison