

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.03.003

河网地区水环境引水调控及其效果预测

陈志和 陈晓宏 杜 建 熊育久

(中山大学华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室 广东 广州 510275)

摘要 :以中山市为例 ,采取引水调控措施改善该市河涌水环境 ,结合河网地区水利设施 ,建立水量水质联合调控模型 ,通过二级联解方法 ,模拟引水调控实施效果。结果表明 :在枯水期实施引水调控 36 h、汛期实施引水调控 12 h 后 ,该市河涌水质能达到水功能区的水质目标。引水调控措施增加河涌水动力、提高水环境容量 ,可有效改善河涌水环境。

关键词 水环境 ;引水调控 ;数值模拟 ;河网地区

中图分类号 :X522 文献标识码 :A 文章编号 :1004-6933(2012)03-0016-06

Water diversion and regulation of water environment and effect forecast in river network region

CHEN Zhi-he , CHEN Xiao-hong , DU Jian , XIONG Yu-jiu

(Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute , Sun Yat-sen University , Guangdong 510275 , China)

Abstract : Water diversion and regulation measures were proposed in order to improve the water environment in river branches in Zhongshan City. Based on the water conservancy facilities in the river network region , a joint water quantity and quality regulation model was established to simulate the effects of water diversion and regulation using the two-step method. The results show that through water diversion and regulation for 36 hours in the dry season and 12 hours in the flood season , the water quality in the river branches in the city can satisfy the requirement of the water functional area. The water diversion and regulation have increased the hydrodynamic force , enhanced the water environmental capacity , and effectively improved the water environment in the river branches.

Key words : water environment ; water diversion and regulation ; numerical simulation ; river network region

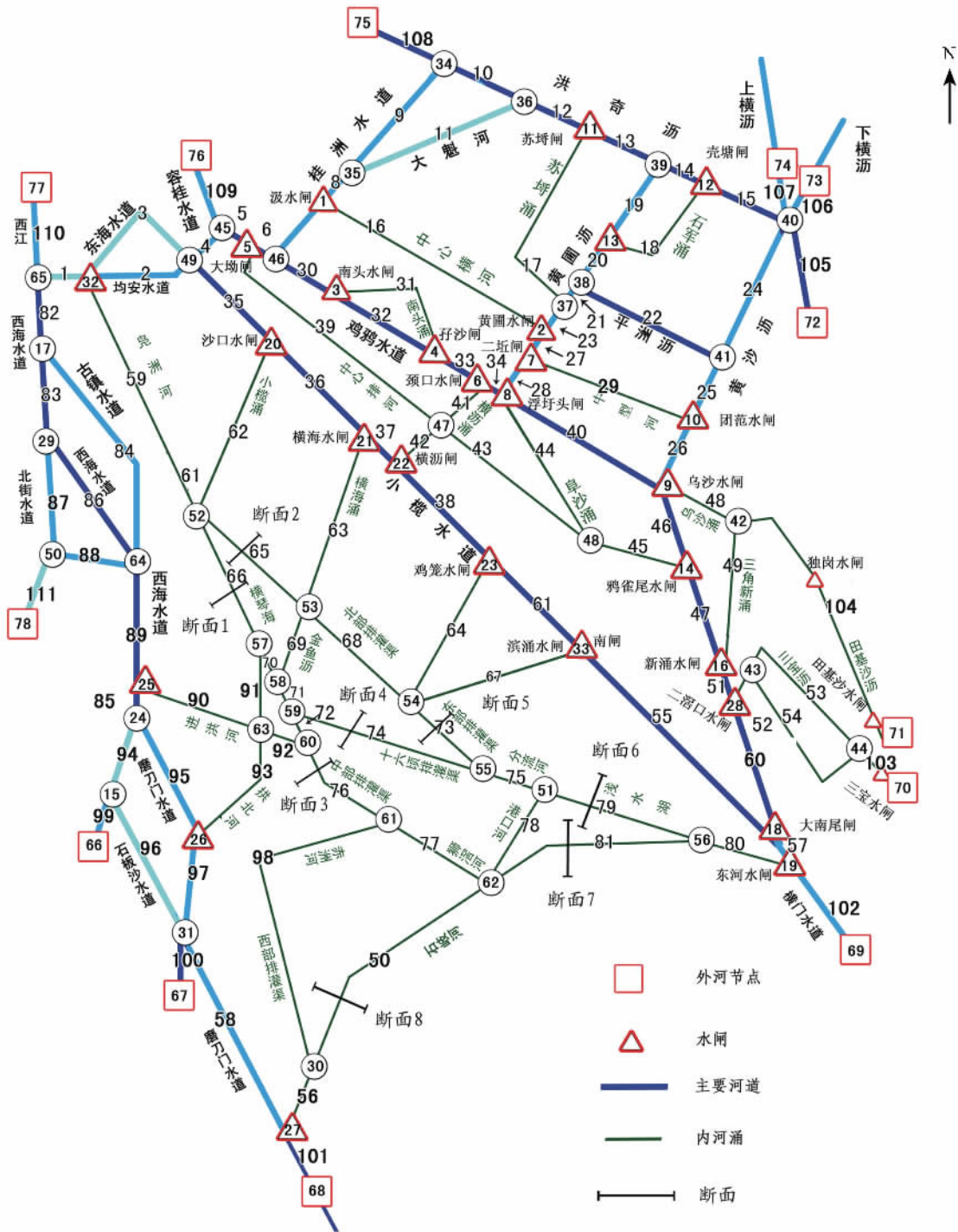
河网地区具有得天独厚的自然优势 ,是经济发展普遍较为迅速的区域。河网是区域发展的重要资源 ,河网水系所形成的独特自然环境影响着城乡风格、美化了城乡环境 ,还具有提供水源、保护绿地、维持环境等生态功能。河网水环境的优劣是衡量生活质量的重要标准。随着生活水平不断改善和提高 ,全社会对水环境质量的要求越来越高 ,优质的河网自然环境可以为城市提供最佳生活环境及人文内涵要素 ,改善、保持、提高河网水环境是河网地区可持续发展的重要任务。

自 2000 年以来 ,中山市经济高速发展 ,工业废

水和城镇生活污水排放量急速增加 ,加上大面积的农药化肥施用 ,部分江河及大部分河涌水质遭受严重污染。随着“适宜创业 适宜居住”城市建设目标的确立 ,未来中山市经济现代化建设会更快 ,工业化水平和城市化率都将大幅提高 ,水资源需求量和水污染负荷将大幅增加 ,河涌水环境系统将面临恶化加重的趋势。水环境污染、水生态系统退化问题已成为制约中山市经济发展和影响人民健康的重要因素 ,亟须加强水环境与生态修复 ,建设水质安全、环境优美、生态健康的水环境体系 ,支持中山市经济社会持续稳定健康发展。河网地区水环境常见问题有污染源控制力度

(洪)渠 153 条(段),总长 1091.9 km,市域内河道、河涌分布见图 1。随着城乡一体化进程的加快,擅自填堵河涌的现象时有发生,加上部分种养业的乱搭、乱建、乱种、乱饲,导致污(废)水排放量增多,涌容缩减,水质恶化,河涌的防汛、灌溉、交通、生态功能呈日趋衰减趋势。

2005 年水质监测结果显示中山市内河涌水质 73% 超标,流经城镇中心区河涌 90% 出现水质超标,部分发黑发臭。主要内河岐江河水质达到Ⅳ类标准,水质标准参照 2008 年《中山市水功能区管理



办法》,下同)城区段水质为超Ⅴ类,超标项目以有机物为主,横琴河、西部和中部排水渠以及其他内河涌水质为Ⅴ类或劣Ⅴ类的约占50%,部分内河涌甚至发黑发臭,如麻子涌等。

除了污(废)水排放量增加外,河涌河网的水动力条件较差也是水环境恶化的原因之一。在汛期外江持续高水位的情况下,干堤大部分水闸需长时间关闭,只有少数有进洪功能的水闸可以引水。此间,内河涌水位较低,无法流动,水中的DO浓度逐渐降低,COD和BOD浓度不断增高,以至河水因缺氧变黑发臭,严重影响水环境和工农业生产用水。枯水期,降雨少,外江水位低,涨潮期进水量少,内河涌不能形成良好的循环流态,生活污水和工业废水在内河涌回荡,污水长时间积聚在河涌内变黑发臭。

2 水环境引水调控措施

中山市外江有西江干流、磨刀门水道、小榄水道、鸡鸦水道、桂洲水道、洪奇沥水道、横门水道等河流,水环境容量大,水体自净能力较强,水质良好。磨刀门水道、小榄水道、鸡鸦水道基本为Ⅱ~Ⅲ类水,为中山市的主要饮用水水源;横门水道、古镇水道为Ⅲ类水,为农业、渔业用水水源。中山市境内的河涌水环境容量小,自净能力差,水质污染较为严重,全市298条河涌中约半数以上已受污染,部分河涌水质已为Ⅴ类或劣Ⅴ类。市境内河渠纵横,水闸及泵站的建设完善,应利用贯穿围内的主要排涝河道与闸泵联合调控,从上游水闸引入大量外江水,经下游水闸排入外江,改善围内水环境。

引水调控的目的是引入清洁的外江水,加强河涌水动力能力,提高河涌水的自净能力,缓解河涌水质污染状况。为了使内河涌由双向流变为单向流,形成由西向东的单向流,最终河涌水流排往横门水道,制定了枯水期和汛期的调度方案。调控方案见表1。

表1 中顺大围的枯水期和丰水期闸泵调度方案

闸泵		枯水期		汛期	
编号	名称	涨潮	落潮	涨潮	落潮
32	鳧洲水闸	开	关	开	开
20	沙口水闸	开	关	开	开
21	横海水闸	开	关	开	关
23	鸡笼水闸	开	关	开	关
33	滨涌水闸	开	关	开	关
27	西河水闸	开	关	开	关
26	拱北水闸	开	关	开	关
25	白濠头水闸	开	关	开	开
19	东河水闸	关	开	关	开
23	鸡笼泵站	引水	引水	引水	引水
25	白濠头泵站	引水	引水	引水	引水
27	西河泵站	引水	引水	引水	引水

注:表中泵站与相同编号的水闸位置一致。

2.1 枯水期

鳧洲水闸、沙口水闸、横海水闸、鸡笼水闸、滨涌水闸、西河水闸、拱北水闸、白濠头水闸等调控原则为只引不排。涨潮期间,当外江潮水位高于内河水位时,开闸引水;退潮期间,当外江潮水位低于内河水位时,关闸挡水。

东河水闸的调控原则是只排不引,以水闸自排为主。当外江潮水位低于内河水位时,开闸排水;当外江潮水位高于内河水位时,关闭东河闸。鸡笼、白濠头、西河泵站维持外江引水的运作。

2.2 汛期

在汛期,由于上游来水丰沛,鳧洲水闸、沙口水闸、白濠头水闸保持开闸引水的运行方式。当外江潮水位高于内河水位时,横海水闸、鸡笼水闸、滨涌水闸、西河水闸、拱北水闸等开闸引水。

外江潮水位高于内河水位时关闭东河水闸。外江潮水位低于内河水位时,横海水闸、鸡笼水闸、滨涌水闸、西河水闸、拱北水闸等关闸挡水,东河水闸开闸排水。鸡笼、白濠头、西河泵站等维持外江引水的运行方式。

3 调控效果预测

中山市境内有49个水位站,但缺乏主要河道与河涌的流量资料,不适合直接建模模拟调控效果。笔者采用二级联解河网水动力-水质模型,计算过程分为两级:①通过珠江三角洲河网水动力模型,计算得到中山市主要河道的水动力过程,作为二级河网水动力-水质模型的输入边界;②采用水动力-水质模型,模拟与预测中山市内河涌河网引水调控效果。

3.1 基本方程

水动力计算采用一维河网模型,方程如下:连续方程

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q}{B}$$
 (1)

动量方程

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \left(gA - \frac{BQ^2}{A^2} \right) \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_z - \frac{gQ|Q|}{Ac^2R}$$
 (2)

式中:z为断面水位;Q为流量;A为河道的过水断面;g为重力加速度;B为过水宽度;q为旁侧入流流量;R为水力半径;c为谢才系数;x、t为位置和时间坐标。

水质计算采用一维对流扩散输移方程:河道方程

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (QC)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + S_C - S_B = 0$$

河道交叉点方程 (3)

$$\sum_{i=1}^{N_L} (QC)_{i,j} = (C\Omega)_j \left(\frac{dz}{dt} \right)_j \quad (4)$$

式中: E_x 为纵向分散系数; C 为水流输送的物质浓度; Ω 为河道汉点—节点的水面面积; j 为节点编号; i 为与节点 j 相连接的河道编号; S_C 为与输送物质浓度有关的衰减项,对 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 可写为 $S_C = K_d AC$,其中 K_d 为衰减因子; S_B 为外部的源或汇项; N_L 为与节点 j 相连接的河道数量。

上述方程采用简化四点线性隐格式进行方程离散,采用追赶法求解。

3.2 二级联解河网水动力-水质模型

a. 珠江三角洲河网模型。上游边界取为北江的石角、西江的高要、流溪河的老鸦岗水文(位)站,下游边界取为黄埔(珠江广州河段)、三沙口(沙湾水道)、南沙(蕉门水道)、万顷沙西(洪奇沥)、横门(横门水道)、灯笼山(磨刀门水道)、黄金(鸡啼门水道)、黄冲(崖门水道)、西炮台(虎跳门水道)均有逐时流量或潮位观测资料可以利用。为计算的简化和可行性,将河网区进行概化。概化后共有河道 139 条,断面 582 个,内节点 84 个,内河道 125 条,外河道 14 条。河道基本地形资料采用 1999 年实测航道图划分断面,按断面地形摘录断面各点起点距、河底高程,统一为珠江基面。

b. 中山市河涌河网模型。上游边界为西海水道、洪奇沥水道,下游边界为容桂水道、横门(横门水道)、田基沙水闸、三宝水闸、万顷沙西(洪奇沥)、上横沥、下横沥、灯笼山(磨刀门水道)、荷麻溪、螺洲水道。上游边界的流量过程通过珠江三角洲河网水动力模型计算给出,下游边界万顷沙西、横门、灯笼山、田基沙水闸、三宝水闸的潮位过程由实测的资料给出,其他下边界的水(潮)位过程通过珠江三角洲河网水动力模型计算给出。为计算的简化和可行性,对内河涌和河道进行概化,概化后的河道为 111 条,内节点 65 个,内河道 98 条,外河道 13 条,详见图 1。主干河道断面根据 1999 年实测航道图划分,内河涌地形采用实测的底部高程、河宽和坡降。

3.3 边界条件与初始条件

3.3.1 上下游边界条件

对于上游边界,采用高要站、石角站 1956—2008 年共 53 a 的流量资料,以 P-Ⅲ适线法进行频率计算,得到高要站、石角站 P 分别为 5%、10%、20%、90% 的月平均流量。高要站、石角站 2006 年 1 月的流量与 $P=90\%$ 的流量接近,来水条件较为不利。因此,根据 2006 年 1 月 1—8 日的流量过程,通过频率计算得 $P=90\%$ 保证率最枯月平均流量,按照同倍比缩放为 8 d 的流量过程。老鸦岗(西航道)、石咀(潭

江)及下游黄埔(珠江广州河段)、三沙口(沙湾水道)、南沙(蕉门水道)、万顷沙西(洪奇沥)、横门(横门水道)、灯笼山(磨刀门水道)、黄金(鸡啼门水道)、黄冲(崖门水道)、西炮台(虎跳门水道)等采用水文站典型潮周期的潮位过程控制。

3.3.2 水质边界条件与参数

计算统一采用 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 作为污染物控制指标。

a. 水质边界条件及初始条件。河涌水质边界按照引水河道的现状水质确定,磨刀门水道、均安水道、西海水道水质较好,按地表Ⅱ类水标准($\rho(\text{COD})=15\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})=0.5\text{ mg/L}$)赋值,即凫洲水闸、白濠头水闸、东海水闸、拱北水闸的 $\rho(\text{COD})=15\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})=0.5\text{ mg/L}$,其他边界参照引水河道现状水质,按地表Ⅲ类水标准($\rho(\text{COD})=20\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})=1.0\text{ mg/L}$)赋值。各河涌的背景值根据河涌实测水质资料,给定各河涌的初始水质浓度。

b. 纵向分散系数。纵向分散系数 E_x 随水流条件而变化,由于平原河网水流变化复杂, E_x 的变化范围可达几个数量级,计算时容易产生较大的误差。因此采用式(5)计算各河道的 E_x 值。

$$E_x = 0.011 \frac{V^2 B^2}{hu_*} \quad (5)$$

其中

$$u_* = \sqrt{ghJ}$$

式中: h 为断面平均水深; V 为断面平均流速; u_* 为摩阻流速; J 为水力坡度。

4 调控效果预测

在内河涌河网设置 8 个监控断面,其分布见图 1。

在枯水期,经过 36 h 引水调控后,各代表断面的引水调控效果见表 2 及图 2、图 3。由表 2 可见,枯水期的引水调控,在 36 h 后内河涌的水质由劣 V 类或 V 类水质改善到Ⅲ或Ⅳ类水质。各代表性断面水质都能达到水质目标,部分断面水质优于水质目标。枯水期管控河涌污染源,实施引水调控措施,可以明显改善河涌水质。

表 2 各代表性断面在枯水期引水调控 36 h 后的效果

断面编号	断面位置	现状水质	补水后水质	水质目标
1	横琴海	V	接近Ⅲ	Ⅳ
2	北部排洪渠	劣 V	接近Ⅲ	Ⅳ
3	中部排洪渠	V	Ⅳ	Ⅳ
4	十六顷排灌渠	V	Ⅳ	Ⅳ
5	东部排洪渠	劣 V	接近Ⅲ	V
6	浅水湖	V	Ⅲ	Ⅳ
7	石歧河	V	Ⅳ	Ⅳ
8	石歧河	V	Ⅲ	Ⅳ

表 3 各代表性断面在丰水期引水调控 12 h 后的效果

断面编号	断面位置	现状水质	补水后水质	水质目标
1	横琴海	V	Ⅲ	Ⅳ
2	北部排洪渠	劣 V	Ⅲ	Ⅳ
3	中部排洪渠	V	Ⅲ	Ⅳ
4	十六顷灌渠	V	Ⅳ	Ⅳ
5	东部排洪渠	劣 V	Ⅳ	V
6	浅水湖	V	Ⅲ	Ⅳ
7	石歧河	V	Ⅳ	Ⅳ
8	石歧河	V	Ⅳ	Ⅳ

在汛期 经过 12 h 引水调控后 ,各代表性断面的水质变化详见表 3。实施引水调控后各断面 COD、NH₃-N 质量浓度的模拟结果见图 2、图 3。不同来水频率下断面 1、断面 2、断面 3 及断面 6 的引水调控效果差别较小 ,断面 4、断面 5、断面 7 及断面 8 的引水调控效果差别较大。表 3 指出汛期实施引水调控 12 h 后河涌水质能达到水功能区的水质目标 ,说明汛期控制河涌污染源 ,实施引水调控 ,河涌水质将有显著的改善。

图 2 与图 3 表明了 在相同的引水时间内 ,汛期的调控效果明显优于非汛期 ,原因是汛期的单位时

间引排水量高于非汛期引排水量。断面 1、断面 2、断面 5 在实施开始阶段 ,COD 和 NH₃-N 的浓度是汛期大于枯水期 ,因为模型边界条件设定实施初始阶段为涨潮期 ,而且汛期时鳧洲水闸、沙口水闸和白濠头水闸处于开启状态 ,河道水动力突然增大 ,污染水体未充分稀释就快速输移至下游 ,因此实施初始阶段会出现某些断面的 COD 和 NH₃-N 浓度值增大。断面 1、断面 2、断面 3、断面 4 在汛期的引水调控效果与枯水期相差较大 ,因为汛期鳧洲水闸、沙口水闸和白濠头水闸处于开启状态 ,引水量较枯水期大。此外 ,断面 1、断面 2、断面 3 的水质改善效果明显优于断面 5 ,因为断面 1 ,断面 2、断面 3 引入的水质是Ⅱ类水 ,而断面 5 引入的水质为Ⅲ类水。

5 结 语

河网地区河道纵横 ,社会经济发展快速 ,截污工程建设未赶上社会经济发展 ,大量未处理的污(废)水排入河涌 ,造成河涌涌容缩减、水质恶化 ,河涌的防汛、灌溉、交通、生态功能逐渐衰退。河网地区建

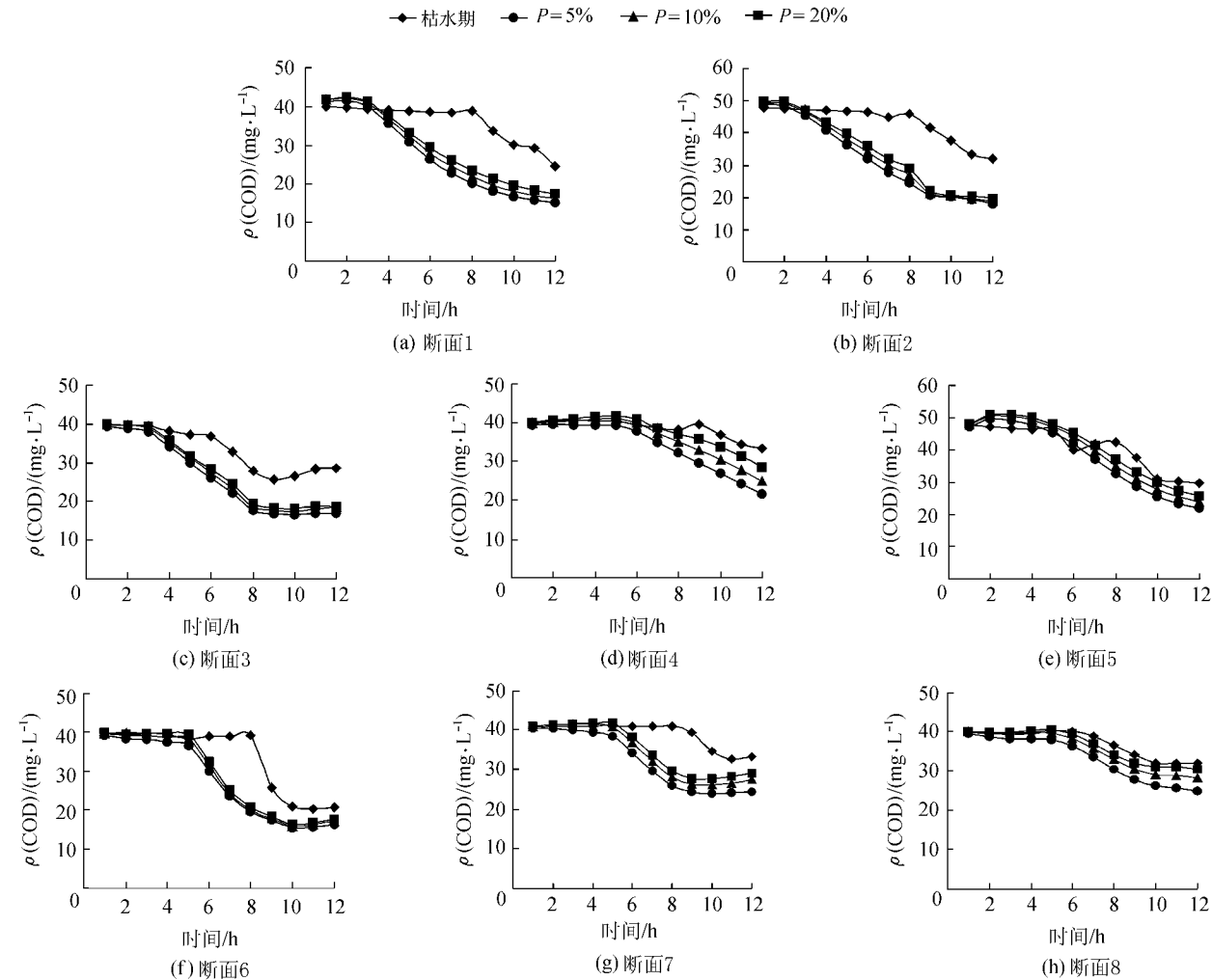


图 2 实施引水调控后各断面 COD 质量浓度变化预测

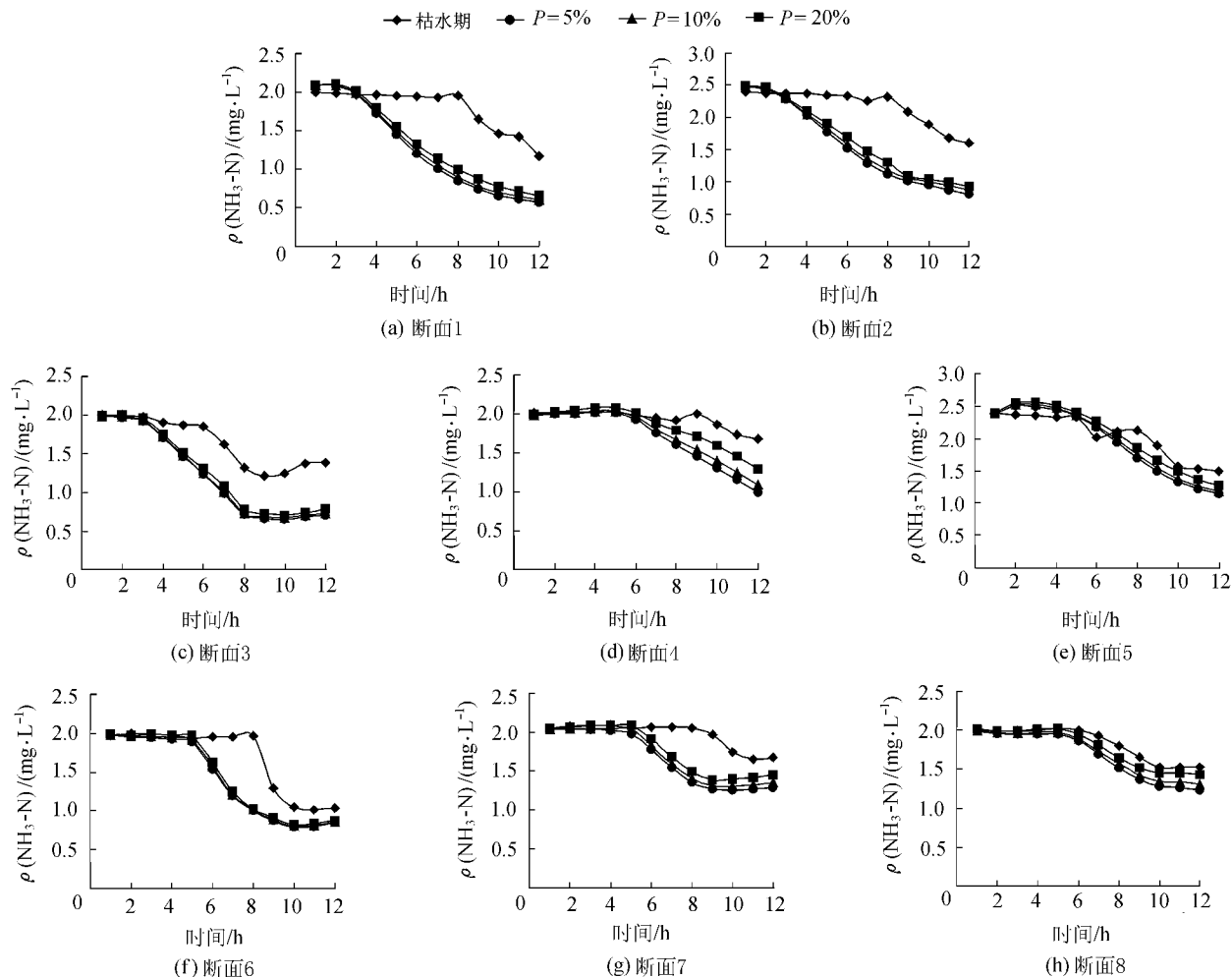


图3 实施引水调控后各断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度变化预测

设了许多水闸、泵站等水利设施,通过水利设施联合调控措施,实施引水调控,加强河网地区的河涌水动力。笔者建立二级联解的河网水动力-水质模型,模拟实施引水调控措施,研究表明在枯水期实施引水调控 36 h 后,河涌水质都能达到水质目标,部分河段处水质优于水质目标;汛期实施引水调控 12 h 后,河涌水质能达到水功能区的水质目标。因此,实施引水调控,河涌水环境将有显著的改善。

引水调控是改善河网地区水环境的一种辅助措施。河网地区水环境治理的根本出路为污染源治理,应按照水功能区水质要求和限制纳污红线对污染进行治理。中山市河涌水环境综合治理应加强污染源治理与加快截污工程建设,减少河涌的污染负荷,方能根本解决河网地区水环境污染问题。

参考文献:

- [1] 严以新,蒋小欣,阮晓红,等.平原河网区城市水污染特征及控制对策研究[J].水资源保护,2008,24(5):1-4.
- [2] 董增川,卞戈亚,王船海,等.基于数值模拟的区域水量水质联合调度研究[J].水科学进展,2009,20(2):184-189.

- [3] 付意成,魏传江,王瑞年,等.水量水质联合调控模型及其应用[J].水电能源科学,2009,27(2):31-35.
- [4] 刘玉年,施勇,程绪水,等.淮河中游水量水质联合调度模型研究[J].水科学进展,2009,20(2):177-183.
- [5] 吴后建,但新球,黄哲,等.基于“水质-水量”联合恢复的水资源系统保护研究:以江西新余孔目江流域为例[J].水资源与水工程学报,2010,21(2):113-117.

(收稿日期 2011-05-23 编辑 徐娟)

