

# 城市河流水污染总量控制和综合治理研究

——以四川省绵阳市涪江河段为例

熊风<sup>1</sup>, 罗洁<sup>2</sup>, 杨立中<sup>3</sup>, 徐创军<sup>3</sup>

(1. 四川省建设厅 城市建设处, 四川成都 610031; 2. 西南交通大学 物流学院, 四川成都 610031; 3. 西南交通大学 环境科学与工程学院, 四川成都 610031)

**摘要:** 为了给城市河流水环境管理决策和总量控制规划提供定量化工具, 通过四川省绵阳市涪江河段总量控制规划为例, 对城市河流总量控制规划进行了研究, 包括使用标准指数法进行水质现状评价, 功能区划、分河段建立河流水质模型并用 VC++ 编程计算水环境容量, 并建立模型对涪江水环境容量价值进行了探讨。研究方法和结果为城市河流水资源的永续利用和实现社会经济的可持续发展提供了定量依据。

**关键词:** 总量控制; 水质模型; 环境容量; 可持续发展; 涪江

**中图分类号:** X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7329(2008)01-0109-05

## Study on Gross Control and Comprehensive Treatment of Urban River according to Fu River in Mianyang District, Sichuan

XIONG Feng<sup>1</sup>, LUO Jie<sup>2</sup>, YANG Li-zhong<sup>3</sup>, XU Chuang-jun<sup>3</sup>

(1. Municipal Construction Office of the Construction Bureau of SiChuan Province, Chengdu 610041, China; 2. School of Environmental Science and Engineering of the South West Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 3. School of Logistics of the South West Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** To provide quantificational instruments of river environmental management and Gross Control Layout of the urban river, in this paper, the water quality actuality was appraised by the standard exponent means, the functional water areas were divided, and the water quality coupling models were established in subsection. Then the water environmental capacity was calculated using VC++. Finally, the value of water environmental model was constituted and its capacity was approached. The quantificational gist of the water resource everlasting exploitation and society economy sustainable development in urban river region is provided.

**Keywords:** Gross Control; water quality model; water environmental capacity; sustainable development; Fu River.

城市河流是城市资源的重要组成部分, 是体现城市资源的稀缺性和价值性的重要因素, 也是城市竞争力的重要表现形式。随着社会的发展, 人口剧增、资源过度消耗、生态环境恶化等情况日益突出, 成为全球性的重大问题。水资源不再是“取之不尽, 用之不竭”的自然资源, 它已经成为一种难以替代、使用价值极高的“能源”, 成为影响国民经济可持续发展的“瓶颈”, 水污染严重和水资源短缺已成为我国水资源可持续利用的两大障碍<sup>[1]</sup>。

近几年来, 国内外一些先进城市已经将城市河流地区生态环境质量的改善作为提升城市形象和提城市竞争力的重要举措, 城市河流地区的生态环境保护

及其规划也日益受到普遍关注。城市河流生态建设的主要内容应包括: 保持河流本来的自然地貌特征、维持河流的水文特征、严格控制城市河流水污染和综合规划城市河流、协调与城市建设的关系<sup>[2]</sup>。通过工程改造和排污控制, 进行城市水系(或流域)的污染物总量控制和综合治理, 是城市河流生态环境保护最重要和最直接的方法。

### 1 研究区域概况

绵阳市是川西北重要的科研、经济、交通等中心, 自古被誉为“蜀道咽喉”。涪江是长江二级支流, 全长共 670

\* 收稿日期: 2007-05-21

基金项目: 四川省科技研究开发项目(编号 01SG047-02)

作者简介: 熊风(1979-), 男, 博士生, 主要从事市政环境工程控制研究和管理工作。(E-mail) drone1979@sina.com。

km,自西北向东南流经绵阳市的平武县、江油市、涪城区、游仙区、三台县,流域面积 19 779 km<sup>2</sup>,占全市幅员面积的 97.6%。本次研究的范围为上游起于平武县龙安镇入境断面,下游止于三台县白坝出境断面,全长 329 km。

绵阳市区域地质构造属新华夏系四川沉降带西部,地形自西北向东南降低;气候温和湿润,降水丰沛;地下水充足,年平均地下水天然补给量为 24.95 亿 m<sup>3</sup>;平原地区为第四系松散堆积物所覆盖,河流阶地分布广泛,所有这些,为绵阳市地下水的形成、补给、储存、利用创造了良好条件。

随着西部大开发的进行,绵阳市的经济建设必将得到迅猛发展,无论是工业、农业、第三产业,还是城市规模都将进一步扩大。因此,在经济发展的同时,如何保护好绵阳的生态环境,如何控制和削减污染物总量,是一个决不能忽视的问题。

## 2 绵阳市涪江河段总量控制规划

### 2.1 绵阳市涪江河段河流水质现状评价和功能区划

依据绵阳市环境监测站近十年水质统计资料,选择绵阳市涪江河段的酸碱度 pH、溶解氧 DO、生化需氧量 BOD<sub>5</sub>、化学需氧量 COD<sub>Cr</sub>、非离子氨、氨氮 NH<sub>3</sub>-N、总磷、石油类、挥发酚、总铅、总镉、总汞、总砷、六价铬 Cr<sup>6+</sup>、粪大肠菌群共 15 项指标为评价因子,评价方法采用标准指数法,根据指数值分别对涪江枯、平、丰三个水期进行水质现状评价,结果如下:

1)涪江有机污染较严重,主要污染因子为 DO、挥发酚、NH<sub>3</sub>-N、非离子氨、总磷、BOD<sub>5</sub> 和粪大肠菌群等 7 种,其污染程度随时空变化各异;

2)非点源污染源所排放的 COD<sub>Cr</sub> 占排放总量的 83.29%,NH<sub>3</sub>-N 占总排放量的 89.75%,由此分析,控制非点源污染对整个涪江流域水环境的改善具有重

要的作用;

3)根据绵阳市 2005 年监测数据,在 62 个重点工业源中,有 8 个污染源都超过排放标准限值,占总排口数的 8.1%,因此超标工业废水排放也是河流水体污染的一个重要原因。

根据水质控制断面布设的原则<sup>[3]</sup>和绵阳市涪江河段水域特征,将涪江和主要支流安昌江划分为 9 个水功能区,对其进行污染源调查、水质预测和总量控制工作。绵阳市涪江河段功能区划及主要断面如图 1 和表 1 所示。

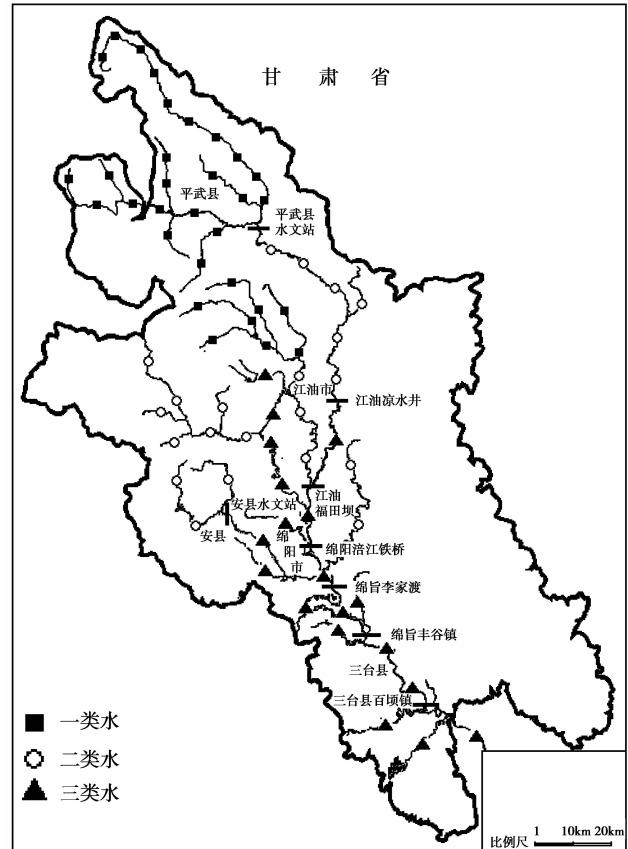


图 1 绵阳市涪江水系图及功能区划图

表 1 绵阳市涪江河段功能区划及执行标准

河流	功能区起止断面名称	功能区划	执行标准
涪江	平武阔达乡—平武水文站	饮用水源区	I 类
涪江	平武水文站—江油凉水井	饮用水源区,农业用水区	II 类
涪江	江油凉水井—江油福田坝	饮用水源区,工业用水区,农业用水区	III 类
涪江	江油福田坝—绵阳涪江铁桥	饮用水源区,工业用水区,农业用水区,景观用水区	III 类
涪江	绵阳涪江铁桥—绵阳顺和前街	饮用水源区,工业用水区,农业用水区,景观用水区	III 类
涪江	绵阳顺和前街—绵阳李家渡	渔业用水区,工业用水区,农业用水区,景观用水区	III 类
涪江	绵阳李家渡—绵阳丰谷镇	饮用水源区,渔业用水区,工业用水区,农业用水区	III 类
涪江	绵阳丰谷镇—三台县百坝镇	饮用水源区,渔业用水区,农业用水区	III 类
安昌江	安昌镇水文站—绵阳南山大桥	饮用水源区,渔业用水区,工业用水区,农业用水区	III 类

## 2.2 绵阳市涪江河段河流水质模型的建立

### 2.2.1 流量设计

河流的设计水量是确定允许排放总量的关键问题之一,其数值的大小决定区域允许排放总量的多少<sup>[4]</sup>。根据 GB3839—83《制定地方水污染物排放标准的技术原则和方法》规定,本次规划对涪江各个水域环境功能区河流采用近十年最枯月平均流量。绵阳市涪江河段监测断面设计流量具体数值参见表 2。

### 2.2.2 参数估值

耗氧系数  $k_1$  值随河水中的生物与水文条件而变化,不但各条河流的  $k_1$  值均不相同,而且即使同一条河流的各河段的  $k_1$  值也不一样<sup>[5]</sup>。本次研究是在涪

江水文站取水样,在 20 °C 条件下,分别测定 1d 到 10d 的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度值,并对涪江河段进行试踪剂实验对所测出的  $k_1$  值进行修正。复氧系数  $k_2$  遵循阿累尼乌斯公式,受温度影响较大<sup>[6]</sup>。本次实验借助 Streeter-Phelps 公式和奥—多大气复氧公式估算  $k_2$  值,并采用下述公式对其修正, $\theta$  取值时应考虑温度范围,一般在 1.00—1.20 之间。

$$k_{2,t} = k_{2,20}\theta^{(t-20)}$$

绵阳市涪江河段主要河段  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的  $k_1$ 、 $k_2$  值参见表 2。

表 2 设计流量及参数估值

河流	起始段面	集域面积 /km <sup>2</sup>	$k_1$ 值/d <sup>-1</sup>		$k_2$ 值/d <sup>-1</sup>		设计流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
			$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{NH}_3\text{-N}$	
涪江	平武水文站以上段	4 310	0.23	0.27	0.29	0.32	47.2
涪江	平武水文站—江油凉水井	5 915	0.25	0.26	0.3	0.35	27.1
涪江	江油凉水井—绵阳涪江铁桥	11 903	0.22	0.27	0.28	0.33	83
涪江	绵阳涪江铁桥—三台县百顷镇	18 598	0.26	0.3	0.27	0.29	113
安昌江	安昌镇水文站—绵阳南山大桥	3 575	0.20	0.24	0.23	0.25	4.4

### 2.2.3 绵阳市涪江河段河流水质模型

绵阳市涪江河段的水环境、水文和水力学特性有如下特点:1)涪江在绵阳中心城区段因有三江大坝拦水基本属水库回水段,回水段长度约 5~8 km,在枯、平水期河水流速慢,呈现混合稀释河体单元;2)根据绵阳市环境监测站近三年水质监测结果表明,绵阳市涪江河段呈典型的有机物污染,主要污染物为粪大肠菌群、氨氮、 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ ;3)绵阳市涪江河段河宽较窄,河水流量不大,流速较小,尤其在江油凉水井断面下游 500 m 的江油武都引水口之后的河段,流量更小;4)涪江流域的污染源主要为生活污染源,污染物变化量较小。

为了减少计算误差,本次研究建立的水质模型充分考虑了上述水文特点,对各种河流状况做出了分类模拟,分段建立如下的涪江水质模型:

1)河流的混合过程段水质模型采用二维水质模型<sup>[7]</sup>:

$$M_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + M_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - u_x \frac{\partial c}{\partial x} - u_y \frac{\partial c}{\partial y} - KC = 0$$

2)绵阳市三江大坝及涪江回水段 3 km 以内的河

段属于均匀混合段,采用零维水质模型<sup>[8]</sup>:

$$V \frac{dC}{dt} = Q(C_0 - C) - KCV$$

3)其他河段采用一维水质模型<sup>[9]</sup>:

$$u_x \frac{dC}{dx} = D_x \frac{d^2 C}{dx^2} - KC$$

式中  $u_x$  和  $u_y$ — $x$  方向上的推流速度和  $y$  方向上的弥散速度, m/s;

$M_x$  和  $M_y$ —河流  $x$  方向的推流系数和  $y$  方向的弥散系数, m<sup>2</sup>/s;

$K$ —污染物衰减系数, d<sup>-1</sup>, 大小由  $k_1$ 、 $k_2$  决定;

$V$ —单元河段的体积, m<sup>3</sup>;

$t$ —时间, h;

$Q$ —河水流量, m<sup>3</sup>/s;

$C$ —污染物质量浓度, mg/l;

$C_0$ —污染物初始质量浓度, mg/l;

$D_x$ —污染物沿河流方向的扩散系数, d<sup>-1</sup>;

### 2.2.4 模型验证

将统计的水文资料、污染源资料、取水口资料带入建立的水质模型中,可模拟计算涪江的水质情况。现

将模拟出的丰谷断面的 COD<sub>Cr</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N 水质与实际监测值比较,以验证模型的可靠性与准确性。由图 2 可知,模拟值与实测值基本接近,模型可靠。

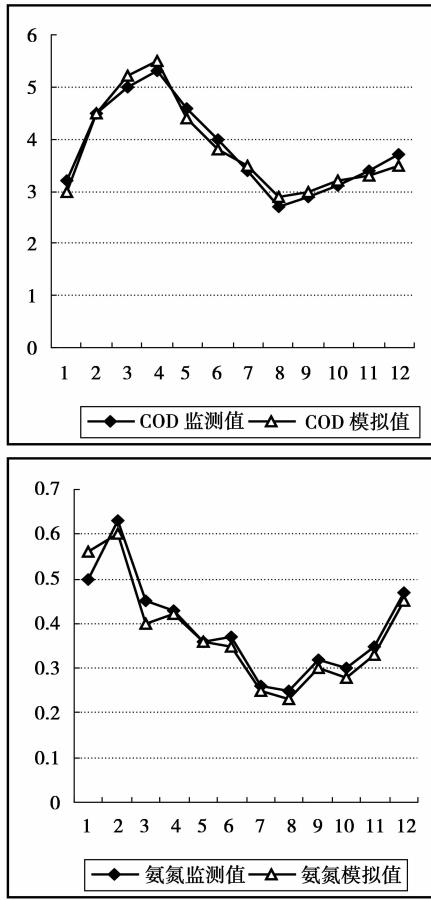


图 2 数值模拟验证图

2.3 绵阳市涪江河段水环境容量测算和分配

1)各排污口的混合区环境容量采用二维模型,混合区控制长度按下式计算:

$$R \leq 9.78Q_0^{\frac{1}{3}}$$

其中  $R$  为混和区控制长度,  $m$ ;  $Q_0$  为污水排放量,  $m^3/d$ 。

二维模型水环境容量的计算模型<sup>[10]</sup>为:

$$W = (c_{(x,y)} - c_0)H \sqrt{\pi uxM_y} \left( \exp \frac{uy^2}{4xM_y} + \exp \frac{u(2B-y)}{4xM_y} \right) \exp \frac{Kx}{u}$$

式中  $W$ —水环境容量,  $t/年$ ;

$c_{(x,y)}$ —控制点(混合区下边界)的水质标准,  $mg/l$ ;

$c_0$ —排污口上游污染物浓度,  $mg/l$ ;

$h$ —设计流量下污染带起始断面平均水深,  $m$ ;

$u$ —设计流量下污染带内的纵向平均流速,

$m/s$ ;

2)一维河流的水环境容量计算采用最优化方法计算<sup>[11]</sup>。

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_{i=1}^n Q_i L_i \\ UL + \bar{m} &\leq \bar{L}_0 \\ \bar{L} &\geq 0 \end{aligned}$$

式中  $Z$ —最大允许排放量,  $mg/s$ ;

$Q_i$ —第  $i$  排污口污水排放量,  $m^3/s$ ;

$L_i$ —第  $i$  排污口污水排放浓度,  $mg/l$ ;

$U, V$ —河流的 BOD 和 DO 稳态响应矩阵;

$\bar{L}$ —河流各排污口污水排放浓度 ( $L_1 L_2 L_3 \dots L_n$ );

$\bar{L}_0, \bar{Q}_0$ —河流各断面 BOD 和 DO 环境标准值组成的  $n$  维向量;

$\bar{m}, \bar{n}$ —河流水质模型中的常数向量;

在本次水环境容量测算中,利用计算机编写 VC++ 程序,将绵阳两江流域的 98 个排放口数据(基础数据略),水文参数带入程序中运行,得出绵阳两江流域的水环境容量为:COD<sub>Cr</sub> 为 56 142 t/年, NH<sub>3</sub>-N 为 3 109 t/年;上述排污口排放的污染物入河量为:COD<sub>Cr</sub> 为 35 156 t/年, NH<sub>3</sub>-N 为 3 059 t/年;因此,绵阳涪江流域剩余容量为:COD<sub>Cr</sub> 为 20 986 t/年, NH<sub>3</sub>-N 为 50 t/年。按照行政区划分配结果见下表 3:

表 3 涪江干流剩余环境容量分配表

行政区域	起始断面	容量分配	
		COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>3</sub> -N
		/(t·年 <sup>-1</sup> )	/(t·年 <sup>-1</sup> )
平武县	平武水文站以上段	22 076	1 222
江油市	平武水文站—绵阳涪江铁桥	8 505	471
绵阳市区	绵阳涪江铁桥—绵阳丰谷镇	8 556	474
三台县	绵阳丰谷镇—三台县百顷镇	17 005	942

2.4 绵阳市涪江河段水环境容量价值和排污权交易

水环境容量是水体的自然属性之一,它作为一种可更新的资源,具有稀缺性的特点,因而具有价值和使用价值。水环境容量的价值是自然、社会、经济和科技等诸多变量的函数<sup>[12]</sup>,因而很难准确计算出水环境容量的精确值。绵阳市涪江河段河流水环境容量价值的计算模型为:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

式中  $V_1$ ——污水处理费用;

$V_2$ ——水环境自净作用的经济效益;

$V_3$ ——外部不经济性。

通过对绵阳市区国民生产总值和各种工程实践的具体分析,估算出涪江水环境容量价值大约为: $V=16\ 500$ 元/t,并将研究所得的各种数据、图表和结论用于绵阳市河流排污权交易体系的初步构造,即将“环境纳污自净能力”或曰“排污权”作为一种稀缺性资源,在实行“总量控制”的前提下,通过可交易的排污许可证,使排污资格产权化,通过市场达到高效率的配置,从而优化绵阳市水环境资源的配置,加快污染治理进程,减少总体投资费用,逐步控制和改善涪江水体环境质量。

### 3 结 语

水是生命之源。当今社会,人们对水资源的依赖程度越来越高,水资源的数量和质量已成为制约社会经济事业发展的重要因素。合理开发利用水资源,综合防治水环境污染,是科学发展观的具体表现,是能否实现可持续发展的必要条件。通过本次研究,为城市河流的水环境管理决策和“总量控制”提供了量化工具,对于实现科技成果转化为社会生产力,实现城市河流环境保护目标,促进其经济建设与环境保护的协调发展,保证其水资源的永续利用和实现社会经济的可持续发展,具有十分重要的意义。就本例而言,绵阳市在保护涪江河流水质的前提下应充分利用剩余水环境容量,扩大生产和招商引资,促进经济和社会的不断发展和进步;同时加大环境保护宣传工作和加强公众参与程度,以期提高公民素质,树立环保意识,最终实现环境、资源、社会、经济的协调发展。

### 参考文献:

- [1] 国家环境保护局. 中国环境保护 21 世纪议程[R]. 北京:中国环境科学出版社. 1995:6-8.
- [2] 阎水玉,王祥荣. 城市河流在城市生态建设中的意义和应用方法[J]. 城市环境与城市生态. 1999, 12(6):36-38.  
YAN Sui-Yu, WANG Yu-Rong. Study on purport and application of Urban River in the urban ecology construction [J]. Urban Environment & Urban Ecology. 1999, 12(6):36-38.
- [3] 胡炳清. 总量控制中的离散规划[M]. 北京:中国环境科学出版社. 2000:115-119.
- [4] 廖振良,宋卫峰. 应用水质模型方法研究河流污染控制[J]. 江苏环境科技. 2000, 13(4):15-17.  
LIAO Zhen-Liang, SONG Wei-Feng. Study of River Pollution Control by Application of Water Quality Model Method [J]. Jiangsu Environmental Science and Technology. 2000,13(4):15-17.
- [5] 姚汝祥,廖松,张超,等. 水资源系统分析及应用[M]. 北京:清华大学出版社. 2001:25-36.
- [6] 张玉清. 河流功能区水污染物容量总量控制的原理和方法[M]. 北京:中国环境科学出版社. 2001:117-120.
- [7] 郑彤,陈春云. 环境系统数学模型[M]. 北京:化学工业出版社. 2003: 23-35.
- [8] 周富春. 河流水体中污染物自净的机理及算例[J]. 重庆建筑大学学报. 2001, 23(5):100-103.  
ZHOU Fu-Chun. Mechanism of Self-purification of Pollutant inside River Water and Calculation Examples [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University. 2001, 23(5): 100-103.
- [9] 方俊华,刘海舰,翟俊. 重庆渝北御临河流域水体污染现状及防治对策[J]. 重庆建筑大学学报. 2004, 26(3): 59-62.  
FANG Jun-Hua, LIU Hai-Jian, ZHAI Jun. Present Situation and Countermeasure of Water Pollution in Yulin River, Yubei District, Chongqing [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University. 2004, 26(3):59-62.
- [10] 叶常明. 水污染理论与控制[M]. 北京:学术书刊出版社. 2001:158-161.
- [11] 国家环境保护局. 总量控制技术手册[M]. 北京:中国环境科学研究出版社. 1990:11-19.
- [12] JOHN, L. Environmental accounting: Putting a Value on natural Resource[J]. Our planet,1991(1):130-132.

(编辑 胡 玲)