

九洲江粤桂交界处水质达标研究^{*}

逢 勇¹, 吴亚蒂², 龙 江²

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098;

2. 珠江流域水资源保护局, 广东 广州 510611)

摘 要: 采用二维稳态水质模型及环境容量计算模型, 对九州江上游广西境内在各污染源治理条件下的水质达标以及总量控制值进行了详细计算。考虑到九州江粤桂两省(区)交界处情况的复杂性, 采用河网非稳态水量水质数学模型对该交界段的水质达标、特别是对入鹤地水库石角处的水质达标进行了详细分析。主要结论为: ①仅要求污染源达标排放不能解决九州江水环境污染问题, 一定要采取总量控制原则。②规划期文地至石角段水域排污量不会使入鹤地水库水质超标, 本文水环境容量计算值可做文地至石角段污染源排污量的控制值。

关键词: 九州江; 跨省(区)河流; 水质达标控制

中图分类号: X824 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2002) 04-0101-05

九州江是一条跨广东、广西两省(区)的独流入海河流, 发源于广西陆川县, 流经广西陆川、博百两县进入广东省湛江市的鹤地水库, 鹤地水库是广东省湛江地区的主要地表水水源地, 保护鹤地水库水资源关键在于保护好鹤地水库上游的九州江来水, 九州江流经广西区陆川县文官镇的文车桥后进入广东省境内, 为保证九州江进入广东省境内时水体水质达标, 必须分两步对九州江流域进行控制, 首先要保证九州江两省(区)交界断面的水质达标; 其次, 对于两省相交区域实行污染物总量控制。1999年由珠江流域水资源保护局牵头, 广东省环保局、水利厅, 广西(区)环保局、水利厅参加共同开展完成了九州江流域水资源保护规划工作, 规划主要成果为: ①完成了九州江流域水资源保护规划报告; ②以规划报告为技术支持, 起草了九州江流域水资源保护法规文件; ③建立了九州江流域地理信息系统。本文是该项规划的部分成果。

1 九州江广西境内污染物总量控制

1.1 水污染计算公式及参数

采用二维稳态水环境数学模型进行点污染源影响计算^[1], 计算公式如下

$$c(x, y) = \exp\left[-K \frac{x}{86400 \cdot u}\right] \left\{ c_0 + \frac{c_p Q_p}{H(\pi M_y x u)^{1/2}} \left[\exp\left[-\frac{u y^2}{4 M_y x}\right] + \exp\left[-\frac{u(2B-y)^2}{4 M_y x}\right] \right] \right\} \frac{Q_u}{Q_d}$$

式中, $c(x, y)$ 为 COD_{Mn} 的污染物质浓度; K 为降解

系数; x 为沿河道方向变量; y 为沿河宽方向变量; u 为流速; c_0 为排污口上游污染物质浓度; Q_p 为排污口废水排放量; C_p 为排污口废水排放浓度; H 为平均水深; M_y 为横向混合系数, M_y 的计算公式为:

$$M_y = (0.058H + 0.0065B)(ghI)^{1/2}$$

B 为河道水面宽度; g 为重力加速度; I 为河道坡降; Q_u 为上游流量; Q_d 为下游流量。根据广西同类地区所做的工作, 得 K 值为 $0.25/\text{d}$, 本文根据同步观测的河道各段面水质浓度、流速, 对 COD_{Mn} 的降解系数值 K 进行了验证, 计算时的设计流量、河宽、水深等参数见表 1。从计算结果可见, COD_{Mn} 的计算值和实测值吻合较好。图 1 为九州江广西段沿线各镇主要污染源及水质监测断面图。

1.2 水污染控制规划方案设计

设计了 6 种计算方案, 主要的 3 种方案如下:

方案 1, 在 1995 年治理设施基础上对九州江广西区内污染源不加深处理水质计算方案;

方案 2, 采用试算法得 90% 水文保证率条件、各功能区水质基本达标时的水质计算方案, 该方案为最佳总量控制方案;

方案 3, 各污染源全部达标排放时的水质计算方案。九州江广西段水体功能区划结果见表 2。

方案 1: 此时, 广西境内九州江段水体水质将全部严重超出各功能区水质标准, 最大浓度在糖厂下游乌石断面处 COD_{Mn} 为 54.7 mg/L ; 糖厂取水断面达 22.49 mg/L , 省(区)界断面浓度达 44.03 mg/L ,

^{*} 收稿日期: 2002-01-24

作者简介: 逢 勇 (1958-), 男, 教授, E-mail: pangyong58@yahoo.com

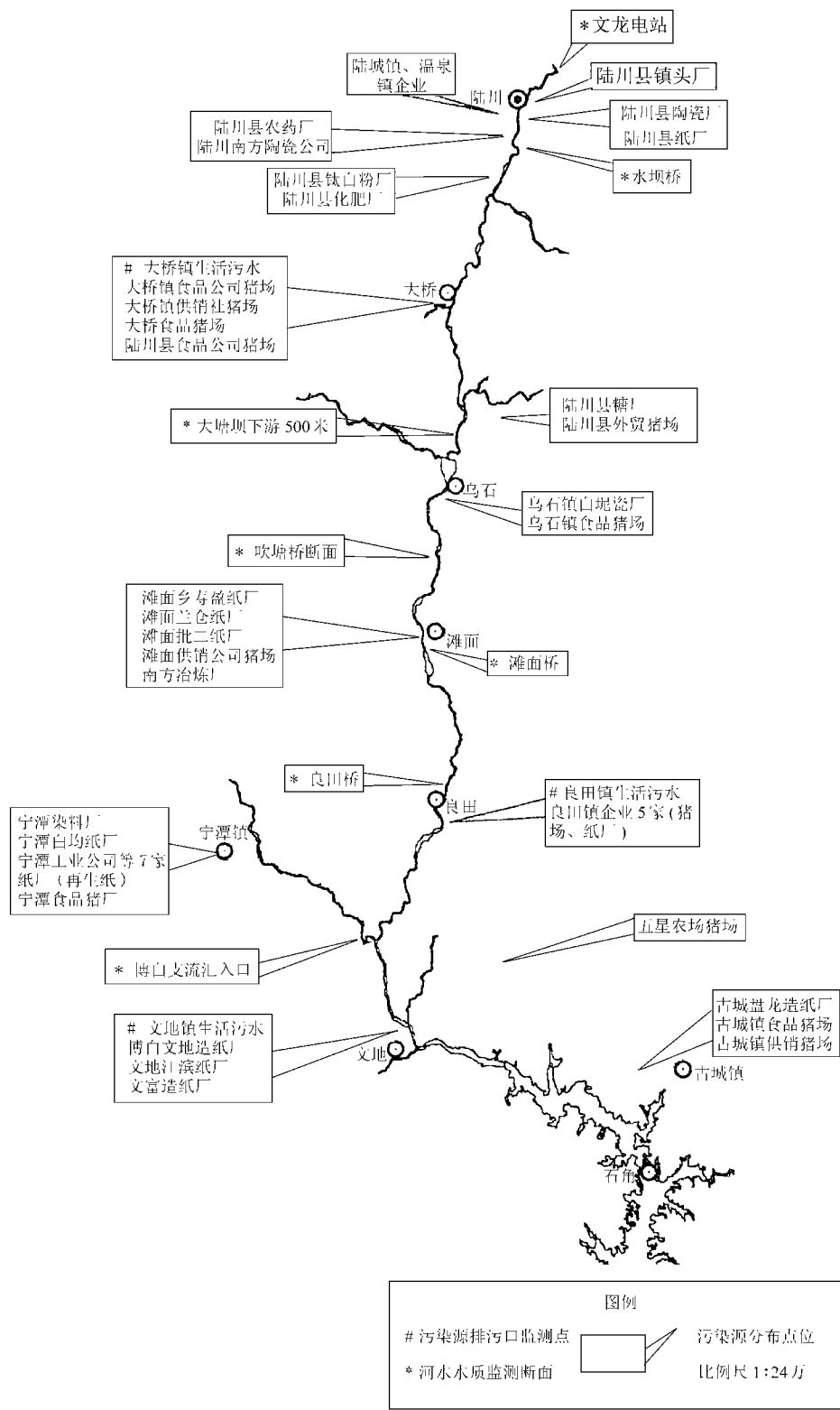


图 1 九洲江广西段沿线各镇、主要污染源及水质监测断面图

Fig 1 The location of the towns and pollution sources and water quality monitor station along the river

全部河水均已失去任何功能用途。该方案计算结果显示：今后该地区工业在发展时，若水环境治理措施跟不上，则整个九州江水体将会被严重污染。

方案 2：该方案计算得到各断面水质 COD_{Mn}

(mg/L) 分别为：纸厂, 7.3; 钛白粉厂, 7.5; 大桥, 7.6; 大塘坝, 6.0; 吹塘桥, 9.5; 滩面桥, 9.0; 衣田桥, 7.8; 文官坝, 6.1; 省界, 7.7, 均已达标。省(区)界断面水体水质可达 IV 类水要求。

表 1 设计流量计算结果表

Tah 1 Designed water flow results

项 目	控制面积 km ²	50%				90%			
		流量	平均流速	水面宽	平均水深	流量	平均流速	水面宽	平均水深
		(m ³ ·s ⁻¹)	(m·s ⁻¹)	m	m	(m ³ ·s ⁻¹)	(m·s ⁻¹)	m	m
水坝桥	89.3	0.65	0.19	18.0	0.19	0.25	0.10	13.7	0.17
大坝桥	145.2	1.28	0.22	25.7	0.23	0.55	0.13	20.1	0.21
大塘坝	277.9	1.66	0.24	28.5	0.24	0.77	0.12	26.7	0.23
吹塘桥	377.4	2.25	0.23	30.8	0.29	1.05	0.14	30.0	0.25
滩面桥	487.3	2.90	0.31	39.0	0.24	1.35	0.20	33.7	0.20
良田桥	554.7	3.31	0.15	42.5	0.52	1.54	0.13	38.1	0.31
博白支流	188.0	1.12	0.31	18.9	0.19	0.52	0.18	18.4	0.16
文官坝	797.0	4.75	0.26	38.1	0.48	2.21	0.36	32.9	0.19

表 2 九州江广西段水体功能区划分结果表

Tah 2 The water function area division in
Jiuzhou River of Guangxi Province

河段名称	河段长度	水质目标	主要功能
干流源头	0.7	I	源头水
县城段	13.0	IV	发电、灌溉、工业
大桥段	7.0	III	发电、灌溉、工业
乌石段	19.2	IV	发电、灌溉、食品工业
文地段	15.0	省界断面出水控制目标	发电、灌溉、工业

方案 3：此时，上游 3 个功能区、包括省（区）界断面的水质均超标，其中，县城段超标最严重，出水断面 COD_{Mn} 达 20.5 mg/L，由此可见，只要求污染源达标排放并不能解决九州江水环境污染问题，一定要采取总量控制原则。

1.3 总量控制值计算

水环境容量为一定水体在规定的环境目标下所能容纳的污染物的最大负荷，水环境容量计算公式为^[2]：

$$W = Q_0(C_s - C_0) + KVC_s + qC_s \tag{1}$$

其中， Q_0 为水体主河道入流流量； q 为旁侧入流流量； C_s 为水质标准； V 为水体体积； K 为降解系数。

公式（1）中的设计流量与设计流速值根据水文资料按面积比移法求得（见表 1），水环境功能区划值根据九州江流域水资源保护规划成果确定（见表 2）。根据公式（1），计算得九州江广西段水环境容量值为：县城段，8 186 kg/d；大桥段，1 759 kg/d；乌石段，16 856 kg/d；文地段，12 425 kg/d；全河总计，39 244 kg/d。

2 九州江省（区）界相交段水质预测及污染物总量控制值计算

根据文官断面至石角断面的污染物排放量预测

值，本文对文官至石角段的水质变化情况进行了预测。文官断面位于文车桥断面以北约 2 km 处，为鹤地水库最北端，文官断面与文车桥断面之间有木棉坝和北火江两个支流汇入口，为了充份考虑库区四周丘陵区污染源排污对该河段水质的影响，将水质预测范围的北部边界放在文官断面，并取文车桥断面的水质浓度控制值作为文官断面的水质边界条件。文官至石角段为狭长河道区，河道长约 12 km，河宽只有几十米，有 5 条支流与该河段相连，分别为木棉坝河口、北火江河口、下垌河口、坡子田河口、丰富坪河口，该段河网示意图见图 2。

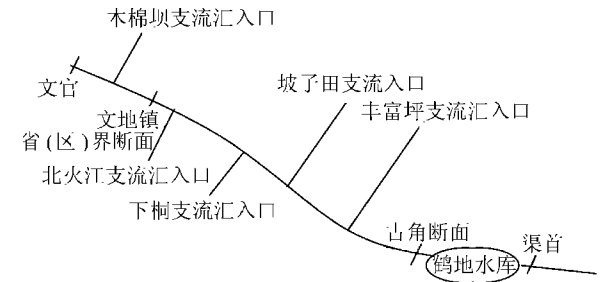


图 2 文官断面至石角断面河网区示意图

Fig. 2 Sketch of the river net between
Wenguan and Shijiao

2.1 河网区水量数学模型及率定

2.1.1 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：

连续方程 $\frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = q_L$

运动学方程 $\frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} + g \frac{u}{C^2 R} |u| = 0$

式中， H 表示断面水位； Q 表示流量； $u = Q/S$ 表示平均流速； S 为河道过水面积； g 为重力加速度； B 表示不同高程下的过水宽度； q_L 为旁侧入流流量； R 是水力半径； C 是谢才（Chezy）系数； x 、 t 是位置和

时间的座标。

2.1.2 模型求解方法 根据以上方程, 采用三级联解^[3] (即将河网计算分为微段、河段以及汉点三级进行运算) 的方法进行数值计算, 节点方程中的求解变量为首末断面的流量值。

2.1.3 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, 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—7 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 3 给出了石角测点的流量计算值和实测值, 从图 3 可见: 计算值和实测值吻合较好。

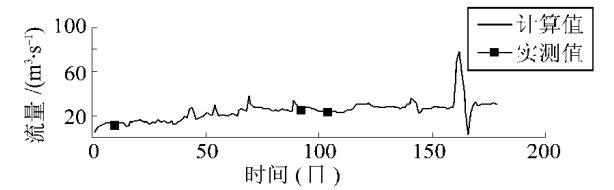


图 3 石角测点流量计算值与实测值对比图
Fig. 3 The calculated and observed results of water flow at Shijiao

2.2 河网区水质数学模型及率定

2.2.1 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:

$$\frac{\partial(Ac)}{\partial t} + \frac{\partial(Qc)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left[AE \frac{\partial c}{\partial x} \right] + S_c - S = 0$$

式中, Q 是流量; A 是河道过水面积; E 是纵向分散系数; c 是污染物质浓度; S_c 是污染物质的衰减项; S 是污染物质的源汇项。

2.2.2 模型求解 Q 率定 采用隐式差分格式^[4] 对模型进行求解。利用 1997 年 3 月(枯水期) 和 1997 年 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: $E_x = \alpha C_0 \theta^2 q$, 式中: $C_0 = \frac{C}{g^{1/2}}$ 是无尺度谢才系数; C 为谢才系数; $\theta = B/H$ 为宽深比; 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 4 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。率定得该河段的 COD_{Mn} 和 BOD_5 的降解系数值均为 0.06/d。

表 4 1995 年及 2010 年文地至石角段污染源排污量调查资料及预测结果

Tah 4 The investigated and forecasted results of pollutants between Wenguan and Shijiao in 1995 and 2010 t/a

年份	COD_{Cr}			BOD_5		
	生活	面源	工业	生活	面源	工业
1995	73.1	3821.1	191.3	43.5	816.7	12.3
2010	441.8	3821.1	1280.4	131.4	816.7	12.3
水环境容量	7281			1898		

文地桥下和石角测点的 BOD_5 和 COD_{Mn} 的模拟结果见图 4; 由图 4 可见, 计算值基本能反映实测值的变化规律。

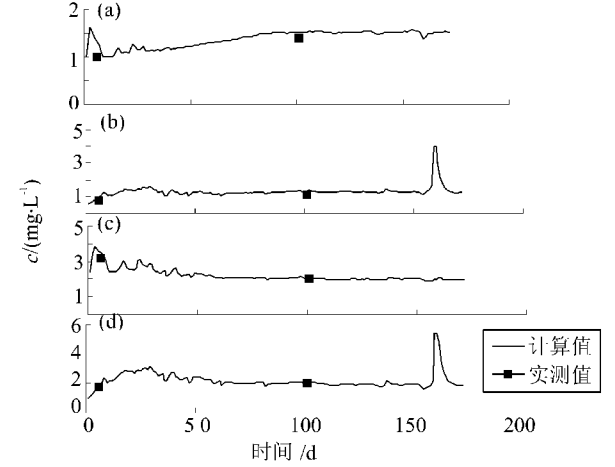


图 4 各样点的 BOD_5 、 COD_{Mn} 模拟结果
Fig. 4 The calculated and observed results of water quality (BOD) and COD_{Mn}

(a) 文地桥下, BOD_5 ; (b) 石角, BOD_5 ;
(c) 文地桥下, COD_{Mn} ; (d) 石角, COD_{Mn}

2.3 计算结果及分析

根据公式 (1), 算得 COD_{Mn} 和 BOD_5 的水环境容量见表 4, 从表 4 可见: 该段水环境容量基本可满足这一地区至规划期 (至 2010 年) 经济发展的需要, 计算中 Q_0 、 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 、 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。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, 污染源条件取表 4 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 mg/L、 BOD_5 6.0 mg/L, 其它断面水质浓度取同期观测值, 预测结果见图 5, 从图 5 可见: 文地桥断面水质浓度可达 IV 类; 石角桥断面水质浓度可达 II 类, 均可满足这一地区规定水质要求, 从而说

明：本文水环境容量的计算结果是合理的。故表4中水环境容量计算值可做为文地至石角段污染源排污量的控制值。

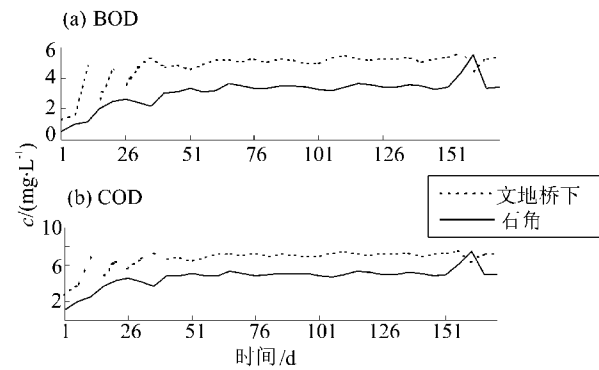


图5 2010年BOD和COD预测结果图

Fig. 5 The forecasted results of BOD and COD in the year of 2010

4 结 论

在明确鹤地水库已从以农业灌溉为主转变为以生活饮用水为主的基础上，将研究区域划分为：九州江广西区；九州江广西、广东交接段，对这两个区域分别进行研究。根据九州江上游二维稳态水环境数学模型，对九州江广西段各主要排污企业的排

污量控制值进行了详细计算，计算结果表明，只要要求污染源达标排放并不能解决九州江水环境污染问题，一定要采取总量控制原则。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；利用经率定的降解系数值，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，对2010年文官至石角段的水质进行了预测，水质预测结果和水环境容量计算结果均表明：至规划期，该段水质可满足要求，故本文水环境容量计算值可做为文地至石角段污染源排污量的控制值。

参考文献:

[1] 国家环境保护局, 环境影响评价技术导则. 中华人民共和国环境保护行业标准(HJ/T2 1—2.3—93)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.

[2] 袁宏任, 魏开涓, 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.

[3] 张二俊. 河网非恒定流的三级联合解法[M]. 南京: 华东水利学院学报, 1982.

[4] 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.

The Water Quality Standard Achievement at the Intersection of Jiuzhou River Between Guangdong and Guangxi

PANG Yong¹, WU Ya di², LONG Jiang²

(1. School of Environment Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210024, China;
2. Water Resources Protection Bureau of Pearl River Resources Commission, Guangzhou 510611, China)

Abstract: Hedi reservoir is a large reservoir located across the boundary of Guangdong and Guangxi Provinces. The water resources in the reservoir is mainly from Jiuzhou River of Guangxi Province. The service target of the reservoir was changed from irrigation to drinking. In order to reach the desired water quality of the reservoir, the most important thing is to set a plan to control the water pollution discharge sources of Jiuzhou River in Guangxi section. A two dimensional water quality model and water environment capacity (WEC) model were used to calculate water quality and WEC in Jiuzhou River of Guangxi Province. Because the complicated water environment problem in the intersection area of Jiuzhou River between Guangxi and Guangdong Provinces, the river net model was used to calculate the water quality in the intersection area. The main conclusions are that: ①The concentration discharge control method could not satisfy the water quality need in Jiuzhou River area of Guangxi Province, so it is necessary to use the total amount of pollutant discharge control method in the intersection area; ② The water pollution discharge in the future could not influence the water quality need in the intersection area, so the calculated WEC can be used as the water pollution discharge control value in the area.

Key words: Jiuzhou River; the river across provinces' boundary; water quality standard achievement