

GIS 和情景分析辅助的流域水污染控制规划

王少平^{1,2}, 程声通², 贾海峰², 欧志丹², 谭斌³

(1. 同济大学环境科学与工程学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 3. 江西省环境信息中心, 南昌 500082)

摘要:总结了流域水污染控制规划中的正向算法和反向算法及其优缺点. 以江西赣江流域为例, 以 ARCGIS8.1 为平台, 建立了流域水环境功能区划、污染源、监测断面和排污口等空间数据库. 基于正向算法, 利用情景分析法构造了流域水污染控制的 4 种情景, 并在 4 种情景下生成了对污染源实行逐级控制的 10 组规划方案. 利用费用函数对各方案的污水处理投资进行估算; 结合污染源预测, 利用水质模型对各方案进行水质模拟, 并将模拟的结果通过 GIS 的可视化表达来进行辅助决策. 以水质达标和投资费用作为规划方案的决策依据, 通过赣江流域水污染治理的经济可承受能力的分析, 优选出 2 套经济上能承受、水质上可接受的流域水污染控制方案. 结果表明, GIS 和情景分析法对于流域水污染控制规划在综合性、完整性和可持续性等方面具有良好的指导意义.

关键词:流域水污染控制规划; 情景分析; GIS; 赣江流域

中图分类号: X321 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)04-0032-06

GIS and Scenario Analysis Aid to Water Pollution Control Planning of River Basin

WANG Shao ping^{1,2}, CHENG Sheng-tong², JIA Hai-feng², OU Zhi-dan², TAN Bin³

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Centre of Environmental Information of Jiangxi, Nanchang 500082, China)

Abstract: The forward and backward algorithms for watershed water pollution control planning were summarized in this paper as well as their advantages and shortages. The spatial databases of water environmental function region, pollution sources, monitoring sections and sewer outlets were built with ARCGIS8.1 as the platform in the case study of Ganjiang valley, Jiangxi province. Based on the principles of the forward algorithm, four scenarios were designed for the watershed pollution control. Under these scenarios, ten sets of planning schemes were generated to implement cascade pollution source control. The investment costs of sewage treatment for these schemes were estimated by means of a series of cost-effective functions; with pollution source prediction, the water quality was modeled with CSTR model for each planning scheme. The modeled results of different planning schemes were visualized through GIS to aid decision making. With the results of investment cost and water quality attainment as decision-making accords and based on the analysis of the economic endurable capacity for water pollution control in Ganjiang river basin, two optimized schemes were proposed. The research shows that GIS technology and scenario analysis can provide a good guidance to the synthesis, integrity and sustainability aspects for river basin water quality planning.

Key words: river basin water pollution control planning; scenario analysis; GIS; Ganjiang river basin

流域水污染控制规划的方法包括反向算法和正向算法. 反向算法是指从环境目标出发落实到污染源治理的一种方法, 即通过水环境容量的计算, 按一定的原则对每个污染源的允许排放量进行分配. 该方法思路清晰、目标明确, 但每个步骤都存在很大的不确定性, 结论的实用性也受到限制^[1]. 正向算法是从污染源治理出发落实到环境和经济目标的一种方法, 即通过污染排放预测, 制订一系列规划方案, 通过各方案的环境经济影响分析和比较, 优选出最终方案^[2]. 正向算法保证每个方案在工程上可行, 计算过程易于控制, 但各方案的环境经济影响并不一定可行, 更不会是“最优”, 因此需进行多方案的比

较. 这种方法虽然难以得到“最优”解, 但它易于发挥专家经验, 而且注重尽可能地提出一些待选方案从中筛选, 往往能获得与最优方案相近的结果.

正向算法中的一个规划方案就是一幕幕情景. 情景是对未来状态和途径的描述, 情景分析法是对系统未来发展可能性的详细描述和分析, 重点在于如何有效获取和处理专家经验, 强调未来发展中决策者的愿望, 并要求规划者与决策者之间通过广

收稿日期: 2003-06-05; 修订日期: 2004-01-16

基金项目: 国家环境保护总局项目(2000-08)

作者简介: 王少平(1969~), 男, 湖北人, 博士, 讲师, 主要研究方向为环境信息系统和生态环境规划.

泛的信息交流,来指导定量分析,是一种融定性定量分析于一体的预测方法^[3]。情景分析法可为流域水污染控制规划提供更为动态和更为完整的理论支持。地理信息系统(Geographic Information System, GIS)是采集、存储、管理和显示地理数据的计算机技术系统。流域水污染控制规划中涉及的时空尺度大,需求的数据信息多。GIS 与水污染控制规划中共同的空间概念,使两者可以有机地结合。GIS 能为流域水污染控制规划的实时信息获取、空间图形表达和空间决策分析提供有效的工作平台和可靠的技术支持。本研究以 GIS 技术和情景分析法辅助流域水污染控制规划。

1 规划范围和技术路线

1.1 规划范围

赣江位于江西境内,自南向北纵贯全省,全长 766 km,就水量而言为长江第二大支流。流域面积 $8.35 \times 10^4 \text{ km}^2$,包括省会南昌、4 个地级市、7 个干流城市以及其它支流城市共 43 县市(图 1)。赣江流域经济发展水平较低,生态环境质量相对较好。赣江干流各断面水质枯水期优于丰水期,污染严重断面出现在上游赣州和下游南昌段,中间吉安和宜春段水质相对较好^[4]。

本规划范围包括赣江流域 43 县市,并以 2000、2005 和 2010 年为基础年、中期和远期规划年。

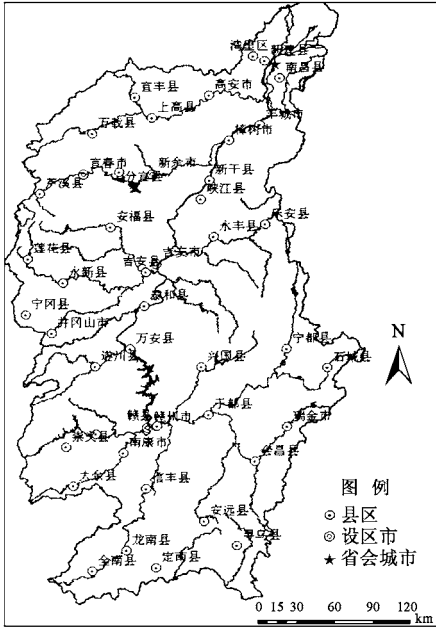


图 1 研究区域

Fig.1 Study area

1.2 技术路线

(1) 水环境功能区划 以赣江流域主要水域的现状功能和水质评价为基础,结合经济发展及污染物总量控制要求,对赣江流域 5 级以内的河流湖库划分出 223 个功能区,并以每个功能区段为控制断面。

(2) 污染排放预测 通过污染源解析,分类预测不同规划年各污染源的污染排放量。

(3) 规划方案生成 采用从宽到严、逐级深入的思路构造方案:①分析极端情景,模拟出污水不处理和全处理情景的水质;②确定影响因素,应用 GIS 技术在电子地图上进行灵敏度分析,找出不达标的水功能区,从而对相应城市污染源削减;③逐级生成方案。根据不同阶段的水质目标要求,采用优先治理重点城市、干流城市污染并优先保护水环境高功能区的原则在极端情景之间建立方案,并根据一定程度的差别反复调整方案,共生成 4 个情景和 10 个规划方案。

(4) 方案费用分析 分别建立费用函数对各方案的投资费用进行估算。

(5) 方案水质模拟 利用 GIS 软件进行流域水系概化,通过模型结构识别、参数率定和模型验证,建立流域水质模型,对各规划方案进行水质模拟。

(6) 规划方案的优选 以赣江流域水污染治理的经济承受能力为约束条件,结合各方案的水污染控制费用分析,进行方案的初选;对初选方案进行水质模拟,通过模拟结果的可视化表达和统计分析,判断是否存在不可接受的水质问题;若有,则返回调整方案(见图 2)。

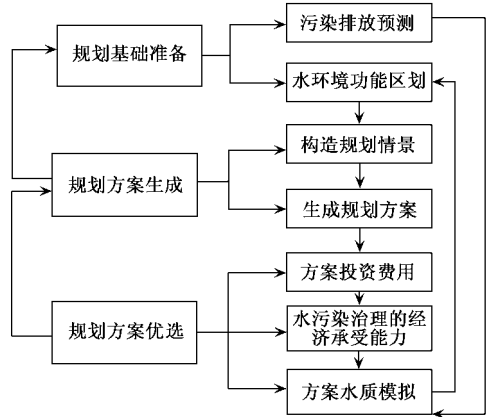


图 2 研究技术路线

Fig.2 Technical route

2 基础数据库建立

利用 ARCGIS8.1 建立空间数据库, Access 建立属性数据库,并分别利用统一的编码将二者连接起来.利用 1:25 万基础地图,通过投影转换、图层拼接形成工作底图,并在底图上进行水系提取、水体分割、功能区划定,形成水环境功能区和水质控制点空间图层.其它主要空间图层包括监测断面、污染源和排污口等.水文断面的经纬度坐标由江西省水利局提供;水质断面(包括国控、省控、市控断面)中绝大部分采用 GPS 进行实地定位,其它根据相关资料在地图上定位;主要工业企业污染源来源于江西省环境统计数据,其空间位置在电子地图进行定位,大部分工业企业的精度达到乡镇一级,少量的只能达到县一级;43 个城镇生活污染源位置均采用 GPS 实地定位.河流长度利用 ARCGIS 在地图上直接测量.此外,各规划方案的水质模拟,利用建立的属性数据库通过 VB 编程实现,然后在 ARCGIS8.1 中进行可视化表达,进行规划的辅助决策.

3 污染源排放预测

根据工业污水性质及企业位置的特殊性,凡排放有毒有害废水、污水性质有害于城市污水处理或污染排放量大且位置偏远的企业,都需建立独立的污水处理设施,因此污染源排放预测包括单独处理、

合并处理工业废水及城市生活污水预测.对赣江流域 571 家工业企业,确定 8 家企业为大型污染源且位置偏远,建议单独处理后达标排放;7 家企业废水中有毒有害污染物严重超标,建议先进行无害化处理;另有 80 家企业不符合下水道的接管要求,建议先在厂内预处理后再合并到城市污水处理系统;其它工业废水可直接与城市污水系统合并处理.预测的污染物包括 COD_{Cr}、挥发酚和 NH₄⁺-N.

3.1 单独处理工业的污染排放预测

对建议单独处理的 8 家企业,污染排放预测采用趋势外延法(表 1 中式 1 和 2).

3.2 合并处理工业的污染排放预测

合并处理工业的污染排放预测采用万元工业产值废水排放量法^[5](表 1 中式 3 和 4).其中工业产值年均增长率 r 取 12%;万元产值废水排放量的年均递减率 β 取 -5%.

3.3 城市生活污染排放预测

城市生活污水和污染物排放量以城市人口为预测依据(表 1 式 5 和 6);污水产率取 80%;用水定额中南昌取 300 L/(人·d),重点城市新余、赣州取 290 L/(人·d),中等城市吉安、宜春、丰城、新建、樟树、高安、南康和于都等取 280 L/(人·d),其它取 240 L/(人·d);污染物排放当量,根据现行规范值并参考欧洲国家同类标准,COD_{Cr}、NH₄⁺-N 分别取 65.0 和 4.0 g/(人·d).

表 1 污染排放预测模型

Table 1 Forecasting models of pollutant emission

废水预测	废水量预测模型	废水中污染物预测模型
单独处理的工业废水预测	$Q_t = Q_{t_0} \times (1 + a)^{t - t_0} \quad (1)$	$W_t = c_{t_0} \times Q_t \times 10^{-2} \quad (2)$
	Q_t 为规划年工业废水排放量,10 ⁴ m ³ /a; Q_{t_0} 为基础年工业废水排放量,10 ⁴ m ³ /a; a 为工业废水年均增长率,取 2%; t 为规划年; t_0 为基础年	W_t 为规划年某污染物排放量, t/a; c_{t_0} 为基准年某污染物排放浓度, mg/L; Q_t 为规划年工业废水排放量,10 ⁴ m ³ /a
合并处理的工业废水预测	$Q_2 = D_{t_0} \times (1 + r)^{t - t_0} \times A_{t_0} \times (1 + \beta)^{t - t_0} \quad (3)$	$W_2 = c_{t_0} \times Q_2 \times 10^{-2} \quad (4)$
	Q_2 为规划年工业废水量,10 ⁴ m ³ /a; D_{t_0} 为基础年工业产值; r 为工业产值年均增长率,%; A_{t_0} 为基础年万工业产值废水排放量; β 为万元产值废水量年均递减率, %	W_2 为规划年某污染物排放量, t/a; c_{t_0} 为基准年某污染物排放浓度, mg/L; Q_2 为规划年工业废水排放量,10 ⁴ m ³ /a
城市生活污水预测	$Q_3 = 0.365 A \times F \times P \quad (5)$	$W_3 = 0.365 A \times D \quad (6)$
	Q_3 为规划年生活污水量,10 ⁴ m ³ /a; A 为规划年人口数,10 ⁴ 人; F 为用水定额, L/(人·d); P 为污水产率, %	W_3 为规划年某污染物排放量,10 ⁴ t/a; A 为规划年人口数,10 ⁴ 人; D 为污染物排放当量, g/(人·d)

预测结果表明 2010 年全流域工业和城市生活污水排放总量达 10.2 亿 t 左右,其中 COD_{Cr} 达 29.3 万 t/a、挥发酚达 38t/a、NH₄⁺-N 达 1.7 万 t/a.

4 水污染控制方案的建立

根据赣江流域水环境质量和污染物排放现状,

结合各地区社会经济发展、污染治理、生态环境状况等条件的变化,制定 4 套规划情景.基础情景(A):城市污水处理保持基础年水平,不采取新的措施;基本治理情景(B):进行基本的水污染控制,先治理重点工业污染源,然后对省会和地级市逐级进行水污染控制,建立 4 个方案;污染控制情景(C):在基本

治理情景的基础上,加强省会和级市的污水处理程度,并逐步处理干流、支流县级市的污水,建立 4 个方案;远期理想情景(D):进行全面的水污染控制,

建立 1 个方案.根据步骤,分别在 4 个情景下逐级生成 10 组方案(表 2) .

表 2 赣江流域水污染控制方案¹⁾

Table 2 Water pollution control schemes for Ganjiang river basin

方案编号	重点工业污染源		城市污水处理厂处理率/ %		
	有毒有害工业污染源	独立工业污染源	重点城市	干流城市	支流城市
A					
B1	严格控制		南昌市/10		
B2	严格控制	达标排放	南昌市/10		
B3	严格控制	达标排放	南昌/50、新余/50		
B4	严格控制	达标排放	B3 + 宜春/50、赣州/50、吉安市/50		
C1	严格控制	达标排放	B4 + 赣州/90、宜春/90	万安县/90	
C2	严格控制	达标排放	同 C1	同 C1	永丰、南康、万载、上高、遂川、乐安、石城、上犹、芦溪、井冈山/70
C3	严格控制	达标排放	C1 + 吉安市/70	同 C1	C2 + 于都、高安、宜丰、永新、大余、全南、莲花、崇义/70
C4	严格控制	达标排放	同 C3	同 C1	C3 + 永丰、南康、万载、上高、遂川、乐安、石城、上犹、芦溪、井冈山/100
D	严格控制	达标排放	全地区/100	全地区/100	全地区/100

1) 处理级别均为 2 级

5 水污染控制方案的优选

5.1 方案的水质模拟

考虑到赣江流域水系复杂,数据稀缺,精度较低及配套性较差等,采用 CSTR(The Continuously-Stirred& Tank- Reactor Model) 水质模型并经过一定的改进后进行水质模拟.该模型是由零维模型串联而成的一维河流水质模型,其完全均匀混合的概念具有高度的概括性,适于处理大流域水环境问题.

利用 1996 ~ 1998 年的水文数据通过回归拟合流量与平均水深、过水断面面积之间的关系,识别模型水文参数;采用最小二乘法优化与文献资料相结合确定模型水质参数,结合优化法识别的参数范围

和文献资料^[6~9],将流域水系分为山区河流、平原河流和水库,并将系数分为宽松系数(较大)和保守系数(较小).由于挥发酚的实测数据无法支持模型参数识别,直接采用文献值.为尽可能减少面源及随机因素的影响,利用枯水期(9 ~ 12 月)数据采用稳态的方法,对参数上限和下限进行检验,结果表明相对误差大部分在 30 %以内,且较为均匀对称地分布在 0 附近,模型对参数上下限值不敏感.

模拟时采用 1998 年以前 40 年水文资料统计的 95 %保证率的流量;水质标准采用地表水环境质量标准(GB3838-2002) .各方案的水质评价结果见表 3.方案 B3 和 C3 的水质模拟结果的可视化表达结果见图 3 和 4 .

表 3 规划方案的水质评价结果

Table 3 Water quality evaluation results of the planning schemes

方案	功能区不达标数/ 个				达标率/ %			
	COD _{Cr}	NH ₄ ⁺ - N	挥发酚	汇总	COD _{Cr}	NH ₄ ⁺ - N	挥发酚	汇总
A	33	31	14	46	85	86	94	79
B1	32	31	14	46	86	86	94	79
B2	28	28	11	41	87	87	95	82
B3	19	28	1	29	91	87	100	87
B4	18	25	1	26	92	89	100	91
C1	17	23	1	24	92	90	100	92
C2	9	13	1	14	96	94	100	94
C3	4	9	1	9	98	96	100	96
C4	1	2	0	2	100	99	100	99
D	0	2	0	2	100	99	100	99

5.2 方案的费用分析

5.2.1 费用函数

水污染控制费用包括单独处理企业的污水处理费用、城市污水处理厂的建设费用和运行费用、城市

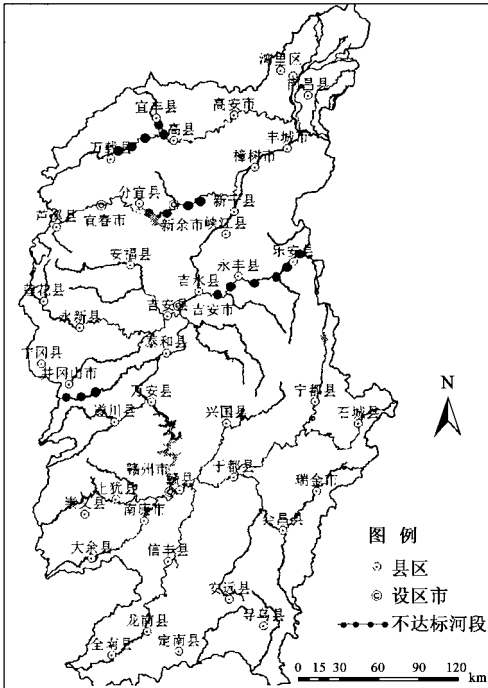


图 3 方案 B3 的水质模拟结果

Fig. 3 The modeled water quality result of scheme B3

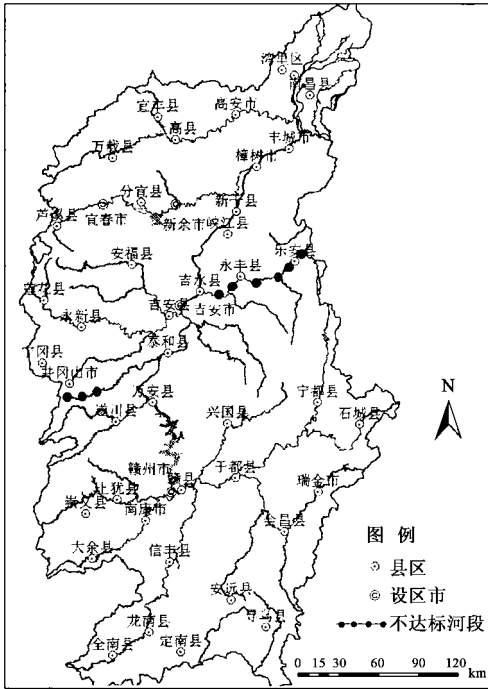


图 4 方案 C3 的水质模拟结果

Fig. 4 The modeled water quality result of scheme C3

污水管网的投资费用。

(1)工业废水的处理费用 排放有毒有害污染企业的污水平均治理费用取 2500 元/(m³·d) ;单独治理的企业,考虑到将建设独立的污水处理系统(2

级处理) ,平均费用取 750 元/(m³·d) ;工业废水预处理的企业平均投资费用取 1000 元/(m³·d)^[10] .

(2)城市污水处理厂费用 参考文献[11]中城市污水处理厂建设费用函数,对文献[12]中所列城市污水处理厂建设费用表中污水处理量与基建费用的对应值,回归得 1、2 级城市污水处理厂建设费用函数,其中不包括征地费、拆迁费和青苗赔偿费等;根据 1989 年全国已建城市污水处理厂的运行费用统计出城市污水处理厂的年运行费用函数.上述函数以 1989 年为基准年建立,折算为 2000 年的费用函数,见表 4(设物价上涨指数为 0.12^[13]) .

表 4 城市污水处理厂的费用函数¹⁾

Table 4 Cost functions of urban sewage treatment plants

费用	污水 处理厂	费用函数	修正的费用函数
建设	1 级	$C_I = 0.133 \times Q^{0.83}$	$C_I = 0.133 \times Q^{0.83} \times (1 + 0.12)^{(2000 - 1989)}$
	2 级	$C_{II} = 1.233 \times Q^{0.72}$	$C_{II} = 1.233 \times Q^{0.72} \times (1 + 0.12)^{(2000 - 1989)}$
运行	1 级	$CR_I = 0.15 \times Q$	$CR_I = 0.15 \times Q \times (1 + 0.12)^{(2000 - 1989)}$
	2 级	$CR_{II} = 0.20 \times Q$	$CR_{II} = 0.20 \times Q \times (1 + 0.12)^{(2000 - 1989)}$

1)式中: C 为建设费用(10⁴ 元); Q 为日处理污水量(m³/d) ; CR 为年运行费(10⁴ 元/a) ; Q 为年处理污水量(10⁴ m³/a) ; I、II 为 1、2 级处理

(3)管网建设费用 城市污水系统的费用构成中,污水管网与污水处理厂建设费用约为 7: 3^[10] .结合赣江流域城市污水管网的完善程度,将其分为 3 类,省会南昌市的污水管网比较完善,管网建设费用比例取 50 % ;污水管网极不完善的大量县级市,采用 200 % 的比例;地级城市则介于两者之间取 150 % .

5.2.2 费用估算

根据上述费用函数,对各方案投资费用的估算结果见表 5 .

5.3 控制方案的选优

5.3.1 水污染控制的经济承受能力

水污染控制的经济承受能力根据环保投资占 GDP 的比例、水污染控制投资占环保投资的比例计算.根据江西社会经济发展规划,GDP 年均增长率取 10 % ,可获得环保投资将逐渐达到 GDP 的 1 % .可获得水污染控制投资占环保投资的比率分别按 40 % (低水平投入)、50 % (中水平投入)和 60 % (高水平投入)的比率 3 个方案估算.2001 ~ 2010 年各县市不同环保投入水平的经济承受能力见表 6 .

5.3.2 控制方案的选优

按不同环保投入水平优选出 2 组方案.若按 2001 ~ 2005 年低水平和 2006 ~ 2010 年中水平环保投入计算,优选出方案 B3 为 2005 年阶段方案、C3

表 5 规划方案的费用分析

Table 5 Cost analysis of the planning schemes

方案编号	工业废水处理费用 × 10 ⁴ /元			城市污水处理费用 × 10 ⁴ /元		总费用 × 10 ⁴ /元
	有毒有害废水处理	达标处理	预处理	处理厂	管网	
A						
B1	141			8595	4298	13034
B2	141	17228		8595	4298	30762
B3	141	17228	50991	45294	22647	136711
B4	141	17228	50991	63414	31707	163890
C1	141	17228	50991	73017	77549	219336
C2	141	17228	50991	101326	134167	304263
C3	141	17228	50991	127834	186535	383139
C4	141	17228	50991	136122	203112	408005
D	141	17228	50991	302691	493064	864524

表 6 2001 ~ 2010 年赣江流域可获得的水污染控制费用分析

Table 6 Attainable cost analysis of water pollution control in Ganjiang valley from 2001 to 2010

年份	可获得环保投资 × 10 ⁸ /元	可获得水污染控制投资 × 10 ⁸ /元		
		低水平投入	中水平投入	高水平投入
2001 ~ 2005 年	87.01	34.80	43.50	52.20
2006 ~ 2010 年	140.12	56.05	70.06	84.07
2001 ~ 2010 年	227.13	90.85	113.56	136.28

为 2010 年目标方案 ;如果按 2003 年的中水平投入和 2006 年高水平投入计算 ,优选出方案 B4 为 2005 年的阶段方案 ,C4 为 2010 年的目标方案(表 7) .

结合表 3 分析 ,赣江流域的 223 个水功能区 , C3 和 C4 方案的达标率分别是 96 %和 99 % ,即大部分功能区的水质目标能够保证 .虽然水质模型没有

表 7 优选方案

Table 7 Optimized schemes

序号	第 1 组		第 2 组	
	2005 年	2010 年	2005 年	2010 年
推荐方案	方案 B3	方案 C3	方案 B4	方案 C4
城市污水处理	南昌和新余二级	5 中心城市 ,万安及支流 18 县市	南昌及 4 个地级市	5 中心城市 ,万安及支流 18 个
系统规划	处理 50 %污水	平均二级处理 70 %污水	二级处理 50 %污水	县市平均二级处理 90 %污水
功能区达标率/ %	86.9	95.9	93.7	99.1
投资估算 × 10 ⁸ /元	14.4	86.4	28.2	92.8

对重金属指标进行模拟 ,但是对有毒有害污染物超标的企业进行单独削减是各方案的首要措施 ,因此能保证水体中有毒有害污染物不会超标 .由于方案的生成是按照逐层深入的步骤 ,2 个方案的水质模拟结果均显示了赣江干流上的功能区都能基本满足水质目标 ,并首先保护了生态保护区及集中取水区 ,其它未达标的少数功能区散布于支流上 ,考虑到经济投入的因素在现阶段的规划中是允许的 .

参考文献 :

[1] 刘天齐 . 区域环境规划方法指南[M] . 北京 :化学工业出版社 ,2001 .24 ~ 29 .
[2] 程声通 ,陈毓龄 . 环境系统分析[M] . 北京 :高等教育出版社 ,1990 .35 ~ 40 .
[3] Ian Wilson . From scenario thinking to strategic action[J] . Technological forecasting and social changes , 2000 ,65 :23 ~ 29 .
[4] 江西省统计局编 . 江西统计年鉴 2000[M] . 北京 :中国统计出版社 ,2000 .
[5] 刘鸿亮 ,韩国刚 ,严济民 ,等 . 中国水环境预测与对策概论 [M] . 北京 :中国环境科学出版社 ,1988 .
[6] Reichert P , Borchardt D , Henze M , *et al* . River water quality

model no. 1 (RWQM1) : II . Biochemical process equations[J] . Water Science And Technology , 2001 ,43 (5) :11 ~ 30 .
[7] Vanrolleghem P , Borchardt D , Henze M , Rauch W , Reichert P , Shanahan P , Somlyódy L . River water quality model no. 1 (RWQM1) : III . Biochemical submodel selection[J] . Water Science And Technology ,2001 ,43 (5) : 31 ~ 40 .
[8] Meirlaen J , Van Assel J , Vanrolleghem P A . Real time control of the integrated urban wastewater system using simultaneously simulating surrogate models[J] . Water Science And Technology ,2002 ,45 (3) : 109 ~ 116 .
[9] Robert Feiedman , Christopher Ansell , *et al* . The use of models for water resources management , planning and policy[J] . Water Resources Research , 1984 , 20(7) : 193 ~ 802 .
[10] 王富康 ,王曙光 . 工业废水和城市污水处理技术经济手册 [M] . 北京 :清华大学出版社 ,1992 .
[11] 王圃 ,龙腾悦 . 长江 ,嘉陵江重庆城区段水污染控制方案费用估算[J] . 重庆环境科学 ,1997 ,6(3) :16 ~ 19 .
[12] 高仲臣 . 城市基础设施工程投资估算指标排水工程[M] . 北京 :中国建筑工业出版社 ,1999 .88 ~ 91 .
[13] 司全印 ,冉新权 ,周孝德 . 区域水污染控制与生态环境保护研究[M] . 北京 :中国环境科学出版社 ,2000 .55 ~ 60 .
[14] 邬杨善 . 城市污水处理 —— 投资与决策[M] . 北京 :中国环境科学出版社 ,1992 .149 ~ 151 .