

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.06.001

嘉陵江支流梁滩河水环境容量及总量控制规划

雷振宇^{1,2},邓春光²,周 勤²,李富宇^{2,3},夏小芳⁴,胡超能^{2,5}

(1.西南大学化学化工学院,重庆 400715;2.重庆市环境科学研究院,重庆 400020;3.重庆大学城市建设与环境工程学院,重庆 400045;4.重庆工商大学环境与生物工程学院,重庆 400067;5.重庆大学化学化工学院,重庆 400044)

摘要 :以 COD 和 NH₃-N 为控制对象,采用一维对流反应水质模型,对嘉陵江支流梁滩河水环境容量进行核算,结果表明:①梁滩河现状负荷严重超标,但局部河段容量有富余。整体来看 COD、NH₃-N 分别超出总环境容量的 3.5 倍和 10.3 倍;②对流域排放源进行优化后,得到的优化方案容量利用率比现状削减方案容量利用率高,其中 COD 容量利用率高出 7.58%,NH₃-N 容量利用率高出 8.15%;③为了满足现状削减方案,部分乡镇必须通过修建污水处理设施和搬迁、淘汰一部分企业才能使梁滩河满足其水质功能区划标准。

关键词 :三峡库区;梁滩河;水环境容量;总量控制规划

中图分类号:X321 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2011)06-0001-04

Water environmental capacity and total control planning for Liangtanhe tributary of Jialingjiang River

LEI Zhen-yu^{1,2},DENG Chun-guang²,ZHOU Qin²,LI Fu-yu^{2,3},XIA Xiao-fang⁴,HU Chao-neng^{2,5}

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China ;2. Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 400020, China ;3. School of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China ;4. School of Environmental and Biological Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China ;5. School of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract :The water environmental capacity of the Liangtanhe tributary of the Jialingjiang River was calculated using the one-dimensional convective reaction water quality model developed by the Chinese Research Academy of Environmental Sciences, with COD and NH₃-N as the controlled objectives. The results show the following : (1) The water load of the Liangtanhe River significantly exceeds the standard, while there is a surplus of capacity in part of the river. On the whole, the capacities of COD and NH₃-N are larger than 3.5 times and 10.3 times the total water environmental capacity, respectively. (2) After the optimization of the sewage outfall of the basin, the optimized scheme has higher capacity utilization efficiency than the current reduction scheme, with COD being 7.58% higher and NH₃-N 8.15% higher. (3) For the implementation of the reduction scheme, some villages and towns have to set up sewage treatment facilities, and relocate and eliminate some enterprises to meet the requirements for water quality function regionalization in the Liangtanhe River.

Key words :Three Gorges Reservoir Region ;Liangtanhe River ;water environmental capacity ;total control planning

三峡水库自成库以来备受关注,如何对其水环境容量合理利用,成为重庆市可持续发展战略的难点。

基金项目 :国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07104-006-02) ;重庆市科技攻关计划项目(CSGS2008AB7135)
作者简介 :雷振宇(1984—) 男,湖北荆门人,硕士研究生,研究方向为河流原位修复。E-mail :lzy456@yahoo.com.cn
通讯作者 :邓春光,教授级高级工程师。E-mail :dengchung@126.com

题。嘉陵江是库区重要的一级支流 ,也是重庆市重要的饮用水水源地^[1] ,而梁滩河为嘉陵江的一级支流 ,其水质将会间接影响到重庆市饮用水安全 ,因此有必要对梁滩河水污染防治进行合理规划。水环境容量的核算是流域内各断面污染物排放总量控制的基础和核心^[2-4]。水环境容量是在确定的污染源分布、排污方式以及水质目标约束下 ,满足设计风险条件的单位时间的最大允许纳污量。对于河流水环境容量的核算 ,是在设定目标水质和一定保证率下的最枯月流量 ,用一维或二维模型以年为单位加以核算^[5-6]。水环境容量分配原则主要是追求公平与效益^[7-8]。笔者通过对梁滩河水环境容量进行核算 ,提出适合梁滩河流域近期发展要求的现状减排方案和满足未来需求的优化布局方案 ,为梁滩河流域的可持续发展提出合理的建议。

1 梁滩河流域概况

梁滩河是嘉陵江下游右岸的一条主要支流 ,全流域贯穿重庆市的九龙坡、沙坪坝、北碚 3 个区。梁滩河全长 88 km ,其中九龙坡段长 21.4 km ,沙坪坝段长 48.8 km ,北碚段长 17.8 km ;梁滩河流域面积 491.27 km² ,其中九龙坡段 144.7 km² ,沙坪坝段 266.48 km² ,北碚段 80.09 km² ;河流多年平均径流量 2.08 亿 m³ ,多年平均流量 6.6m³/s ,平均坡降 0.26% ,总落差 224 m^[9-10]。

2 梁滩河水环境容量核算

2.1 梁滩河水环境容量计算分段

2.1.1 控制断面划分原则

- a. 分水岭隔离原则 :子流域控制单元内污染源负荷与其他控制单元没有陆域交换 ,非点源来源单一 ;
- b. 水体特征隔离原则 :河-湖、河-库、河-河口的交界断面的隔离 ,便于不同类别水体规划的衔接 ;
- c. 行政管理隔离原则 :单一行政区划分 ,方便管理 ;
- d. 清洁边界隔离原则 :一个控制单元两端为高功能边界 ,可以独立规划 ,可不受上下游影响 ;
- e. 其他隔离原则 :有利于简化污染源管理 ,便于明确环境质量责任人的原则。

2.1.2 控制断面的确定

按照以上设置原则 ,将梁滩河流域划分为 10 个控制断面 ,因本次计算只核算梁滩河干流水环境容量 ,故将其支流设置为一个控制断面 ,只计算其在梁滩河中的最大允许负荷 ,其水环境容量不做计算。使用 GIS 技术确定各控制断面距上一断面的距离和

流域面积。控制断面划分见表 1。

表 1 梁滩河流域控制断面划分

控制断面	断面距离/m	所属地区
背景入流	0	九龙坡区
白市驿镇	1	九龙坡区
含谷镇	18 000	九龙坡区
歌乐山镇	23 200	沙坪坝区
西永镇	25 800	沙坪坝区
土主镇	31 700	沙坪坝区
虎溪支流	34 300	沙坪坝区
青木关支流	39 500	沙坪坝区
凤凰镇	49 900	北碚区
歇马镇	53 800	北碚区
入嘉陵江	69 078	北碚区

2.2 设计条件

2.2.1 河流设计水文条件

根据污染物的性质差别 ,选用枯水设计流量指标 :常规耗氧类、营养盐类污染物用 30B3 计算(允许平均期 30 d ,重现期 3 a)。

由于梁滩河流域无水文站 ,其流量是利用流域内水文站控制面积与设计流量的线性关系曲线等方法来推算。

2.2.2 河道设计水力学参数选择

河道设计水力学参数与流量的数值关系曲线为 :

$$U = a_1 Q^{b_1} \tag{1}$$

$$W = a_2 Q^{b_2} \tag{2}$$

$$H = a_3 Q^{b_3} \tag{3}$$

式中 :U 为流速 ;Q 为流量 ;W 为水面宽 ;H 为水深。

利用 2007 年区域内实测大断面数据生成了水文站断面的 a、b 系数。a₁ = 0.017 ,b₁ = 0.786 4 ;a₂ = 36.665 ,b₂ = 0.087 ;a₃ = 1.598 3 ,b₃ = 0.126 5。采用线性内插、外推等方式 ,计算所有功能区计算断面 a、b 系数。

2.3 容量计算模型的选择

由于梁滩河水面较窄 ,污染源排放的污染物可以认为其在两岸均匀混合 ,故使用一维对流反应水质模型对其容量进行核算。

2.3.1 一维对流反应水质模型

一维对流反应水质模型为 :

$$\rho = \frac{M}{Q} \exp \left(- \frac{Kx}{u} \right) \tag{4}$$

式中 :M 为点源排放负荷 ,g/s ;Q 为河段设计流量 ,m³/s ;ρ 为排污口河水污染物质量浓度 ,mg/L ;K 为为浓度降解系数 ,1/d ;x 为距排污口的距离 ,m ;u 为流速 ,m/s。

2.3.2 一阶降解系数估值

选取国家“ 十二五 ”规划中控制污染物 COD 和

NH₃-N 这两种非保守物质为控制对象 ,对于其一阶降解系数估值主要根据重庆地区多年研究成果的经验取值 ,采用较为保守的估值 :COD 一阶降解系数为 $K_{\text{COD}} = 0.2 \text{ d}^{-1}$;NH₃-N 一阶降解系数为 $K_{\text{NH}_3\text{-N}} = 0.1 \text{ d}^{-1}$ 。

2.3.3 单一污染物线性规划模型 环境容量

目标函数 :

$$\max \sum_{j=1}^m X_j \tag{5}$$

浓度约束方程 :

$$\sum_{j=1}^m a_{ij}X_j \leq \rho_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \tag{6}$$

决策变量的约束 :

$$0 \leq X_j \leq X_{j\max} \tag{7}$$

假设条件 :污染物排放量的减少仅与处理效率有关 ,污水量维持不变。

式中 :决策变量 X_j 为第 j 个污染源的排放量 ,g/s ; a_{ij} 为第 j 源对第 i 控制点的响应系数 ,可由线性水质模拟计算得到 ; ρ_i 为控制断面(点) i 的水质质量浓度 ,mg/L。

求解环境容量的目标函数为某一污染物的排放口位置确定和一定的设计风险条件下 ,达到水质目标约束条件下的最大允许排放总量 ,这是一类最简单的线性规划问题。一般小河流的各决策变量(排污量)可不考虑上限约束 ,直接由浓度约束方程确定允许排放量。较宽大河流的各决策变量(排污量)可按污染带限制确定单源排放的允许上限 ,实际允许排放量由式(6)(7)构成的线性规划确定。

2.3.4 总量规划中上、下限约束条件

背景负荷上下限约束取梁滩河近年枯水期实测浓度。

规划控制断面为排污口和支流。集镇排污口入河时 ,上限负荷在一维模型中不对其上限进行约束 ;下限负荷取值主要考虑到污水处理厂的削减 ,为该地区的总负荷 10% ~ 20%。支流入河时 ,上限负荷取支流水质标准与支流出口稳态设计流量之积 ;下限负荷取支流背景浓度与支流出口稳态设计流量之积。

2.3.5 模型验证

梁滩河水环境容量模型采用中国环境科学研究院提供的一维对流反应水质模型 ,该模型已在成渝经济区重点产业发展战略环境评价水专题中得到成功应用 ,控制断面现状负荷是根据 2007 年污染源普查数据核算。

2.4 梁滩河总容量的确定

背景入流断面一般无污染源 ,故不给予容量 ;入

江断面为汇入口 ,为了使支流能稳定达标入干流 ,对汇入口不给容量。依据重庆市河流功能区划标准 ,梁滩河全段为Ⅳ类水质^[10]。按照本次模型的计算方法 ,得到梁滩河水环境容量为 :COD 为 40.34 g/s ,即 1 272.01 t/a ;NH₃-N 为 1.42 g/s ,即 44.66 t/a。各规划断面容量见表 2。

表 2 各规划断面 COD、NH₃-N 容量 g/s

污染源位置	COD	NH ₃ -N	污染源位置	COD	NH ₃ -N
白市驿镇	3.57	0.18	虎溪支流	1.21	0.03
含谷镇	6.05	0.18	青木关支流	12.17	0.55
歌乐山镇	2.29	0.06	凤凰镇	7.87	0.22
西永镇	1.21	0.03	歇马镇	3.40	0.09
土主镇	2.56	0.07	合计	40.34	1.42

3 水环境容量规划

最大水环境容量一般只能用于判定各断面是否超过其允许最大负荷的依据 ,而不能作为达标的判据。因此确定合理、可行、经济的满足功能区水质目标约束的总量控制方案比确定环境容量更重要。

3.1 单一污染物线性规划模型 :总量分配规划

目标函数 :

$$\max(\min) f(X_j) \tag{8}$$

浓度约束方程 :

$$\sum_{j=1}^m a_{ij}X_j \leq \rho_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \tag{9}$$

决策变量的上、下限约束 :

$$X_{j\min} \leq X_j \leq X_{j\max} \tag{10}$$

其他约束 :

$$Y(x)_{j\min} \leq Y(x)_j \leq Y(x)_{j\max} \tag{11}$$

设计条件 :污染物排放量的减少仅与处理效率有关 ,污水量维持不变。公式中字母含义同前。

目标函数可根据分配原则需要确定。不同的分配原则决定不同的总量分配方案 ,即满足该原则的最大允许排放量方案。分配原则本质上是确定不同污染源的分配比例 ,可以水资源贡献比例、人口比例、总减排费用最省等 1 种因素或多种因素确定。其他约束可指污染源本身或外部的一些限制 ,使其对决策变量构成进一步的约束。

3.2 总量分配方案原则

梁滩河容量规划是为了满足国家“十二五”规划中节能减排要求以及未来重庆发展要求而设计的 ,因此对其分配方案进行了现状削减和优化布局两种设计方案。

3.2.1 现状削减方案

负荷零增长或负增长方案 ,由式(9)(10)构成的线性规划确定。可考虑两种情况 :①规划控制分区

基本上无规划新增排污口 :以式 (10)采用各排放源的上限及下限约束 ,使实际总量方案在满足水质目标的前提下 ,尽量接近现状负荷 ,以减少减污成本。

②规划控制分区有新增排污口 :规划目标为负荷零增长 ,考虑重点行业规划 ,在部分区域设置新的排放点 ,以式 (10)采用各排放源的上限及下限约束。在保证新增负荷 ,分配负荷满足水质目标的前提下 ,尽量减少现有负荷的削减 ,以减少减污成本。

3.2.2 优化布局方案

方法同现状削减方案。对某一控制断面总容量与现状相比 ,总容量较大的断面 ,可以考虑重点行业规划 ,将其容量合理利用 ,使实际总量方案在满足水质目标的前提下 ,兼顾现状负荷分布及未来发展 ,以避免污染负荷过于集中于少数集镇 ,达到合理利用该地区水资源水环境容量的目的。

3.3 情景规划分析

根据 2007 年污染源普查数据 ,计算出各控制断面 COD、NH₃-N 的实际值 ,再根据实际值 ,做出现状削减方案与优化布局方案。各控制断面的 COD、NH₃-N 实际值与各断面规划值对比见表 3。

表 3 各控制断面 COD、NH₃-N 实际值与规划值 g/s

污染源位置	现状负荷		最大容量方案		现状削减方案		优化布局方案	
	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N
白市驿镇	0.70	0.05	3.57	0.18	0.70	0.05	0.70	0.05
含谷镇	1.45	0.14	6.05	0.18	1.45	0.14	1.45	0.14
歌乐山镇	26.77	2.50	2.29	0.06	2.29	0.06	6.89	0.18
西永镇	2.94	0.27	1.21	0.03	2.94	0.03	1.21	0.03
土主镇	15.32	1.71	2.56	0.07	2.56	0.07	2.56	0.07
虎溪支流	95.42	8.95	1.21	0.03	1.21	0.03	1.21	0.03
青木关支流	15.12	0.33	12.17	0.55	12.17	0.55	12.17	0.55
凤凰镇	7.20	0.46	7.87	0.22	3.20	0.22	7.87	0.22
歇马镇	17.88	1.55	3.40	0.09	7.88	0.09	3.40	0.09
合 计	182.80	15.96	40.33	1.41	34.40	1.24	37.46	1.36

由表 3 可以得出 ,梁滩河 COD、NH₃-N 分别超出总环境容量的 3.5 倍和 10.3 倍 ,严重超标 ,这与梁滩河实际情况相符。虽然梁滩河整体超标 ,但从各规划断面来看 ,有少数断面容量仍有富余。

按国家“十二五”规划节能减排政策 ,在做现状削减方案时 ,对于容量有富余的断面 ,让其保持现状 ,现状大于总容量的断面 ,取总容量值。现状削减方案计算出梁滩河容量为 :COD 为 34.4 g/s 即 1084.92 t/a ,NH₃-N 为 1.24 g/s 即 39.14 t/a。从以上削减量来看 ,削减量超过 90% ,仅靠修建污水处理设施无法满足河流功能区划标准 ,只能通过调整当地产业结构 ,来满足规划要求。对于虎溪支流来说 ,其主要流经陈家桥镇和虎溪镇 ,虎溪镇为重庆大学城所在地 ,为让虎溪支流达标 ,除了修建满足两镇污

水处理量的污水处理厂之外 ,需要调整陈家桥镇的产业结构来满足规划要求 ,如搬迁一部分产能落后的企业、改进生产工艺等手段。

从未来重庆长远发展考虑 ,只有合理利用河流容量 ,才能使容量利用最大化 ,达到重庆市可持续发展战略要求。优化布局方案计算出的梁滩河容量为 :COD 为 37.46 g/s ,即 1181.34 t/a ,NH₃-N 为 1.36 g/s ,即 42.78 t/a ,从容量的利用率来看 ,优化布局方案比现状削减方案的 COD 容量利用率高 7.58% ,NH₃-N 容量利用率高 8.15%。从削减量来看 ,通过一些管理手段如排污权的交易等 ,可让一些控制断面的削减率降低或不削减 ,以提高全流域的容量利用率。现状消减方案、优化布局方案消减量对比见表 4。

表 4 各控制断面 COD、NH₃-N 现状消减方案、

优化布局方案消减量对比 %

污染源位置	现状削减方案消减量		优化布局方案消减量	
	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N
白市驿镇	0	0	0	0
含谷镇	0	0	0	0
歌乐山镇	91.44	97.57	74.25	92.96
西永镇	0	88.32	58.76	88.32
土主镇	83.73	95.99	83.30	95.99
虎溪支流	98.73	99.65	98.73	99.65
青木关支流	19.51	0	19.51	0
凤凰镇	55.58	52.17	0	52.17
歇马镇	55.92	94.28	80.99	94.28

4 结 论

a. 梁滩河现状负荷严重超标 ,COD、NH₃-N 分别超出总环境容量的 3.5 倍和 10.3 倍 ,但局部地区水环境容量有富余。

b. 为了更好地利用梁滩河容量 ,对其流域排污口排污量进行优化 ,使其容量利用率比现状削减方案容量利用率高 ,其中 COD 高出 7.58% ,NH₃-N 高出 8.15%。

c. 为了满足国家“十二五”规划要求 ,梁滩河各监测断面中除了白市驿镇和含谷镇能维持现状外 ,其余河段都要修建污水处理设施 ,才能使该地区污水排放量在该段河流允许容量范围内 ,其中现状削减方案中消减量超过 90% 的乡镇 ,还需要搬迁、淘汰一部分企业才能使梁滩河满足其水质功能区划标准。

参考文献 :

[1] 张韵 ,李崇明 ,赵俊伟 ,等 .长江、嘉陵江重庆段饮用水源健康风险评价[J].三峡环境与生态 ,2008 ,(1) 56-60.

[2] 胡康萍 ,许振成 .水体污染物允许排放总量分配方法研究[J].中国环境科学 ,1991 ,(6) 447-452.

(下转第 8 页)

从图 5 可以看出 4 条河的总体状况,水质最好的是太子河,2003 年出现极值的主要原因是挥发酚和硝基苯浓度超标,挥发酚超标是因为本溪钢铁焦化厂部分未经处理的含酚废水超标排放,而硝基苯超标是因为辽阳庆阳化工厂含大量硝基化合物的废水直接排入太子河所造成。水质次好的是大辽河,2000 年出现极值,主要由于 2000 年造纸、印染等企业工业废水集中排放和石油开采污水的排放所引起,导致 COD、COD_{Mn}和 NH₃-N 等严重超标。水质相对较差的是浑河,2000 年出现极值,主要原因是流量变化的影响,由于工农业生产发展需要水资源多功能开发利用,水库拦水闸等水利工程人工调节水量,使浑河流量变化较大,2000 年因浑河流量小,所以水质污染最重。水质最差的是辽河,在此期间水质总体处于较高的污染水平,COD、NH₃-N 4 项指标常年超标。各年度中以 2003 年水质污染最重,是因为 2003 年辽河上游三合屯断面流量很小,仅为 0.02~0.1 m³/s,其中 ρ(COD)高达 317~814 mg/L,致使污染物浓度值高于其他年度。4 条河都在 2009 年出现主成分综合得分极小值,是因为从 2008 年 7 月 1 日起,辽宁境内企业往地表直接排放的水污染物(ρ(COD))最高浓度由 100 mg/L 下降到 50 mg/L,大大减轻了辽河流域的纳污压力。

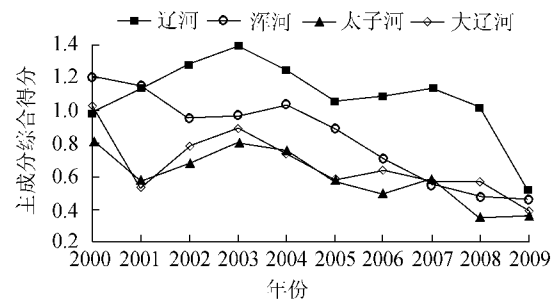


图 5 各水系主成分综合得分时空变化

3 结 论

- a. 空间聚类分析将采样监测点分为 3 类,分别是重度污染区、中度污染区和水质清洁区,反映不同采样点的水质水平和污染程度。
- b. 通过重度污染区和中度污染区的各个站点主成分综合得分的计算,得到辽河流域水质总体优劣状况的排序为:太子河>大辽河>浑河>辽河,2009 年这 4 条河的主成分综合得分均为最小值。从整体上较好地客观地反映辽河流域 4 条主要河流水质情况。

参考文献:

[1]袁中智.水环境时空分析方法研究[J].生态经济,2009 (5):116-119.

[2]李一平,严莹,韩广毅.太湖水质时空相关性分析[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(5):505-508.

[3]周丰,郭怀成,刘永,等.基于多元统计分析和 RBFNNs 的水质评价方法[J].环境科学学报,2007,28(5):846-853.

[4]李大鹏,段沛霞,倪长健.基于投影寻踪动态聚类法的湖泊水质评价模型[J].水资源保护,2007,22(S2):85-87.

[5]李哲强,侯美英,白云鹏.基于 SPSS 的主成分分析在水环境质量评价中的应用[J].海河水利,2008(3):49-52.

[6]辽宁省环境监测实验中心.辽宁省环境质量报告书[M].沈阳:辽宁省环境监测实验中心,2008:49-52.

[7]张红兵.SPSS 宝典[M].北京:电子工业出版社,2007.

[8]PAPATHEODOROU G,DEMOPOULOU G,LAMBRAKIS N. A long-term study of temporal hydrochemical data in a shallow lake using multivariate statistical techniques[J]. Ecological Modelling, 2006, 193: 759-776.

[9]JOHNSON R A, WICHERN D W. Applied multivariate statistical analysis[M]. 5th ed. New Jersey:Prentice-Hall, 1992.

[10]LATTIN J,CARROLL D,GREEN P. Analyzing multivariate data[M]. New York:Duxbury Press, 2003.

(收稿日期:2010-09-14 编辑:高渭文)

(上接第 4 页)

[3]李如忠,汪家权,钱家忠.区域水污染负荷分配 Delphi-AHP 法[J].哈尔滨工业大学学报,2005,37(1):84-88.

[4]陈丁江,吕军,金树权,等.非点源污染河流的水环境容量估算和分配[J].环境科学,2007,28(7):1416-1423.

[5]陈燕华,李彦武,谋海省,等.长江九江段水环境容量研究[J].环境科学研究,1994,7(1):24-29.

[6]李永军,陈余道,孙涛.地理信息模型方法初探河流环境容量:以漓江桂林市区段为例[J].水科学进展,2005,16(2):280-283.

[7]王勤耕,李宗恺,陈志鹏,等.总量控制区域排污权的初始分配方法[J].中国环境科学,2000,20(1):68-72.

[8]包存宽,张敏,尚金城.流域水污染物排放总量控制研究:以吉林省松花江流域为例[J].地理科学,2000,20(1):61-64.

[9]重庆市环境保护局.丹麦王国环境保护署.梁滩河试点工程项目[R].重庆:重庆市环境保护局,2009.

[10]重庆市环境保护局.重庆市水环境功能区划报告[R].重庆:重庆市环境保护局,2008.

(收稿日期:2010-11-01 编辑:高渭文)

