

湘江干流衡阳段水质变化

易 诚^{1,3}, 陈津端¹, 湛含辉², 程胜高¹, 刘衡林⁴

(1. 中国地质大学环境学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖南工业大学环境研究所, 湖南 株洲 412008; 3. 湖南环境生物职业技术学院, 湖南 衡阳 421005; 4. 衡阳市环境监测站, 湖南 衡阳 421000)

摘要 :为研究湘江衡阳段水质变化,在湘江衡阳段干流设置 7 个监测断面,经 2001 ~ 2005 年监测分析表明:湘江衡阳段干流重金属污染逐步减轻,营养型污染有所增加,污染逐渐由上游向下游转移,水质污染都有不同程度减轻,整体水质呈改善趋势。分析总结了水质污染变化原因,指出衡阳市养殖业的发展成为衡阳段有机污染的重要来源之一,城镇人口增加是营养型污染增加的主要原因。

关键词 :湘江干流;衡阳市;水质监测;养殖业

中图分类号:X824 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2009)02-0055-04

Water quality variation of Hengyang section of Xiangjiang River

YI Cheng^{1,3}, CHENG Jin-duan¹, ZHAN Han-hui², CHENG Sheng-gao¹, LIUHeng-ling⁴

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Hunan University of Technology, Zhuzhou 412008, China; 3. Hunan Environment-Biological Polytechnic, Hengyang 421005, China; 4. Hengyang Environmental Monitoring Station, Hengyang 421000, China)

Abstract Seven monitoring sections located in the main stream of the Hengyang section of the Xiangjiang River were used to investigate water quality variation. The results from 2001 to 2005 show that the water was polluted by fewer heavy metals but more nutrients; the main polluted region shifted from the upper reaches to the lower reaches; and the water pollution in different reaches was more or less alleviated, indicating the improvement of water quality in the whole stream. Analyses of the water quality variation show that aquiculture is a main source of organic pollution, and the growth of the urban population is the main reason for nutrient pollution.

Key words :Xiangjiang River; Hengyang City; water quality monitoring; aquiculture

衡阳市内河网密布,地表水丰富,境内有河长 5 km 或流域面积 10 km² 以上的大小河流、溪流共 393 条,总境长度 8 355 km。湘江是湖南省最大的河流,源于广西壮族自治区灵川县海洋山龙门界,全长 856 km,流域面积 94 660 km²,在衡阳市境内干流长 226 km,自祁东归阳清塘流入境内,从衡东和平村出境进入株洲市,占湘江在湖南境内里程的 39.7%。湘江衡阳段水质变化直接影响湘江整体水质,研究湘江衡阳段水质变化有重要意义。

1 监测布点与水质分析方法

1.1 监测布点

根据湘江水质状况及衡市地区主要入江污染源

的排污状况,自上游至下游在湘江干流衡阳段设置监测断面 7 个,见表 1。

表 1 湘江干流衡阳段监测点布置

断面名称	点位		监测时间	功能区类型	断面所在城市、县名称
	位置	数量			
憩山	左、中、右	3	每季度 1 次	渔业用水区	常宁市
松柏	左、中、右	3	每月 1 次	工业用水区	常宁市
新塘铺	左、中、右	3	每月 1 次	工农业用水区	衡南县
黄茶岭	左、右	2	每月 1 次	饮用水水源保护区	衡阳市
枣子坪	左、中、右	3	每月 1 次	工业用水区	衡阳市
站门前	左、中、右	3	每月 1 次	工业用水区	衡阳市
熬洲	左、中、右	3	每月 1 次	渔业用水区	衡山县

1.2 检测方法

按 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》进行

作者简介:易诚(1970—),男,湖南衡阳人,副教授,博士研究生,研究方向为水处理技术。E-mail: yicheng5231@163.com

监测。检测方法及指标如下^[1]。

悬浮物 :重量法 ,GB6920-86 ;高锰酸盐指数 :高锰酸盐氧化法 ,GB11892-89 ;氨氮 :纳氏试剂比法 ,GB7479-87 ;挥发酚 :4-氨基安替吡啉分光光度法 ,GB7490-87 ;砷 :二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法 ,GB7485-87 ;六价铬 :二苯碳酰二肼分光光度法 ,GB7467-87 ;铅、镉 :原子吸收分光光度法 ,GB7475-87 ;锰 :原子吸收分光光度法 ,GB11911-89 ;总磷 :钼酸铵分光光度法 ,GB11893-89。

1.3 分析方法

水质变化趋势分析采用综合污染指数法 ,并采用秩相关系数法对变化趋势的显著性进行检验^[2]。

1.3.1 综合污染指数 P

$$P = p_j/n , \quad p_j = \sum p_{ij} , \quad p_{ij} = c_{ij}/c_{i0}$$

式中 : P 为 j 断面水污染综合指数均值 ; p_j 为 j 断面水污染综合指数 ; p_{ij} 为 j 断面 i 项污染物的污染指数 ; c_{ij} 为 j 断面 i 项污染物的年平均值 ; c_{i0} 为 i 项污染物的评价标准值 ; n 为参评污染物项数。

1.3.2 污染分担率 k_i

$$k_i = (p_{ij}/p_j) \times 100\%$$

式中 : k_i 为 i 项污染物在诸污染物中的污染分担率。

1.3.3 Spearman 秩相关系数检验法

衡量环境污染变化趋势在统计上有无显著性 ,这里用 Daniel 的趋势检验 ,给出时间周期 $Y_1 \sim Y_N$,和它们的相应值 X (即 P_{ij} 年均值 $C_1 \sim C_N$) ,从大到小排列 ,统计检验用的秩相关系数按下式计算 :

$$r_s = 1 - 6 \sum_{i=1}^n d_i^2 / (N^3 - N) , \quad d_i = X_i - Y_i$$

式中 : d_i 为每对变量的秩数差值 ; N 为数据数 ; X_i 为周期 i 到周期 n 即 2001 年到 2005 年各指标按从小

到大排列的序号 ; Y_i 为按时间排列的序号。

将计算得出的秩相关系数 r_s 的绝对值同 Spearman 秩相关系数统计表中的临界值 W_p 进行比较。如果 $|r_s| > W_p$ 则表明变化趋势有显著意义 ,如果 r_s 为负数 ,则表明有下降趋势。

2 监测结果与分析^[2-7]

2.1 年均值超标情况

地表水质评价标准 :2001 ~ 2002 年 5 月按 GBZB1—1999《地表水环境质量标准》Ⅲ类水标准 ; 2002 年 6 月 ~ 2005 年按 GB3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水标准。2001 ~ 2005 年各监测断面超标项目、年均值及超标倍数统计情况见表 2。

从表 2 可知 :2001 ~ 2005 年各监测断面均出现不同程度的超标现象 ,前 2 年主要以重金属为主 ,后 3 年粪大肠菌群成为影响水质的主要指标 ,憩山和熬洲两个断面超标项目比较少 ,松柏至站门前 5 个控制断面超标项目多 ,松柏、新塘铺和黄茶岭 3 个断面主要是重金属超标严重 ,而枣子坪和站门前 2 个断面则是以营养型污染为主。

2.2 水质变化趋势

2.2.1 各监测断面污染程度年际变化趋势

2001 ~ 2005 年各监测点水质监测指标悬浮物、高锰酸盐指数、氨氮、挥发酚、砷、六价铬、铅、镉、锰、总磷各污染物的污染指数 P_{ij} 、各污染物污染分担率 K_i 综合分析数据见表 3。

由表 3 可知 ,湘江干流衡阳段污染逐渐由上游 (新塘铺断面) 向下游 (黄茶岭、枣子坪、站门前断面) 转移。干流污染程度排序前两位 2001 年为松柏和新塘铺 ,2002 年为松柏和黄茶岭 ,2003 年开始基本

表 2 湘江衡阳段各监测断面水质中污染物年均值超标情况

年份	超标断面	超标项目	年均值	超标倍数	年份	超标断面	超标项目	年均值	超标倍数
2001	松柏	汞 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.000 11	0.13	2001	新塘铺	镉 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.006	0.11
		镉 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.008	0.64		枣子坪		0.108	0.05
		锰 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.140	0.40		站门前	锰 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.119	0.19
		砷 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.131	1.63		熬洲		0.109	0.09
2002	松柏	锌 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.36	0.36	2002	黄茶岭	锰 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.17	0.66
		镉 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.007	0.34		站门前	总氮 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.06	0.06
		锰 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.16	0.64		熬洲		1.09	0.09
		砷 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.082	0.64	2003	站门前	总氮 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.24	0.24
2003	松柏	砷 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.082	0.64		熬洲		1.11	0.11
	枣子坪	粪大肠菌群 ($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)	13 050	0.30	2004	枣子坪	粪大肠菌群 /	75 655	6.56
		总氮 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.15	0.15		站门前	($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)	10 510	0.05
2004	松柏	粪大肠菌群 /	12 434	0.24	2005	站门前	粪大肠菌群 /	33 386	2.33
	新塘铺		19 207	0.92		熬洲	($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)	11 050	0.10
	黄茶岭		15 718	0.57					
2005	松柏	砷 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.123	1.46					
	黄茶岭	粪大肠菌群 /	18 249	0.82					
	枣子坪	($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)	72 684	6.27					

表 3 湘江衡阳段水质综合评价

断面名称	2001 年		2002 年		2003 年		2004 年		2005 年		合计
	P_{ij}	$K_i/\%$	P_{ij}	$K_i/\%$	P_{ij}	$K_i/\%$	P_{ij}	$K_i/\%$	P_{ij}	$K_i/\%$	$\sum P_{ij}$
憩山	3.06	10.09	1.68	6.76	2.06	9.93	1.64	8.70	1.85	9.06	10.29
松柏	7.74	25.53	6.41	25.75	4.74	22.85	3.71	19.68	4.59	22.49	27.19
新塘铺	4.28	14.10	3.37	13.53	2.55	12.30	2.67	14.16	2.75	13.09	15.62
黄茶岭	4.12	13.59	4.31	17.30	3.09	14.90	2.86	15.17	2.66	13.03	17.04
枣子坪	4.14	13.65	3.46	13.92	3.67	17.70	2.83	15.03	2.73	13.38	16.83
站门前	3.68	12.12	3.50	14.07	2.56	12.34	2.65	14.06	2.54	12.44	14.93
熬洲	3.31	10.92	2.16	8.67	2.07	9.98	2.49	13.21	2.31	11.32	12.34
全江段	30.33		24.89		20.74		18.85		19.43		113.24

上为松柏和枣子坪。这种污染的转移对于干流整体水质控制起到一定的缓解作用 ,同时保证了位于干流中游的饮用水源水质。5 年间各断面水质综合污染指数排序如下。

2001 年 松柏 > 新塘铺 > 枣子坪 > 黄茶岭 > 站门前 > 熬洲 > 憩山 ；

2002 年 松柏 > 黄茶岭 > 站门前 > 枣子坪 > 新塘铺 > 憩山 > 熬洲 ；

2003 年 松柏 > 枣子坪 > 黄茶岭 > 站门前 > 新塘铺 > 熬洲 > 憩山 ；

2004 年 松柏 > 黄茶岭 > 枣子坪 > 站门前 > 新塘铺 > 熬洲 > 憩山 ；

2005 年 松柏 > 枣子坪 > 黄茶岭 > 站门前 > 熬洲 > 新塘铺 > 憩山。

分析表明松柏断面污染最为严重 ,在干流污染程度排序中始终位于第一。污染物最大超标值有 6 项(铅、汞、锡、锌、锰和砷)均出现在该断面。这与其特殊的地理位置有着密切的联系 ,松柏断面位于常宁水口山工业区 ,该工业区是湖南省环境治理的三大重点工业区之一 ,该工业区排放的废水直接影响松柏断面的水质。

为判断污染物的污染综合指数平均年际变化趋势 ,计算各监测断面污染物年均指数的秩相关系数 r_s ,现以憩山断面为例(表 4)。

表 4 憩山污染物的污染综合指数按年序排列

年份	Y_i	P_{ij} 年均值	从小到大排列的 X_i	$d_i = X_i - Y_i$
2001	1	0.306	5	4
2002	2	0.168	2	0
2003	3	0.206	4	1
2004	4	0.164	1	- 3
2005	5	0.185	3	- 2

将上面数值代入 Spearman 秩相关系数计算公式得出憩山污染物的年平均污染指数变化秩相关系数 $r_s = - 0.50$,根据此法依次计算出各监测断面的 r_s 见表 5。

各监测断面 5 年来水质综合污染均指数的年际

表 5 湘江干流衡阳段各断面污染物的年平均污染指数年际变化

断面	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	r_s
憩山	0.306	0.168	0.206	0.164	0.185	- 0.50
松柏	0.774	0.641	0.474	0.371	0.459	- 0.90
新塘铺	0.428	0.337	0.255	0.267	0.275	- 0.60
黄茶岭	0.412	0.431	0.309	0.286	0.266	- 0.90
枣子坪	0.414	0.346	0.367	0.283	0.273	- 0.80
站门前	0.368	0.350	0.256	0.265	0.254	- 0.90
熬洲	0.331	0.216	0.207	0.249	0.231	- 0.20

变化趋势 ,查 Spearman 秩相关系数 r_s 的临界值 (W_p)当 $N = 5$ 时 , W_p 为 0.9 ,比较 $| r_s |$ 与 W_p 进行检验表明 :5 年综合均指数呈下降趋势 ,表明 2001 ~ 2005 年 ,湘江衡阳段干流整体水质呈改善趋势 ,控制断面水质明显好转 ,其他断面水质也有不同程度好转。

2.2.2 各监测断面主要污染物年际变化趋势

根据 Spearman 秩相关系数计算公式 ,主要污染物的污染综合指数平均年际变化趋势经 Spearman 秩相关系数检验 ,各监测项目综合污染指数年际变化趋势见表 6。

表 6 湘江衡阳段干流主要污染物年平均污染指数年际变化

项目	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	r_s
悬浮物	0.150	0.168	0.157	0.073	0.074	- 0.60
高锰酸盐指数	0.360	0.499	0.464	0.401	0.301	- 0.40
氨氮	0.260	0.220	0.249	0.273	0.212	- 0.30
挥发酚	0.371	0.343	0.257	0.400	0.400	0.6
砷	0.789	0.497	0.511	0.366	0.632	- 0.30
六价铬	0.040	0.040	0.040	0.080	0.088	1.00
铅	0.111	0.120	0.064	0.069	0.072	- 0.50
镉	0.829	0.657	0.323	0.494	0.488	- 0.70
锰	1.081	0.914	0.657	0.357	0.175	- 1.00
总磷	0.351	0.097	0.240	0.180	0.190	- 0.30

表 6 中表明 :湘江干流衡阳段主要污染物影响明显下降 ,整体水质逐年好转 ,其年际变化趋势评价所选的 10 项指标中有 8 项污染程度呈不同程度下降趋势 ,尤其重金属锰污染下降程度最为明显。

表 7 湘江衡阳段干流各季节水质综合污染指数及均指数

季度	2001 年		2002 年		2003 年		2004 年		2005 年		合计
	$\sum P_j$	P_i	$\sum P_j$	P_i	$\sum P_j$	P_i	$\sum P_j$	P_i	$\sum P_j$	P_i	
1	23.57	3.37	34.22	4.89	18.02	2.57	22.86	3.27	19.24	2.75	117.91
2	34.33	4.90	23.83	3.40	21.53	3.08	21.44	3.06	16.45	2.35	87.58
3	28.05	4.01	24.73	3.53	19.27	2.75	19.95	2.85	14.98	2.14	106.98
4	26.21	3.74	16.70	2.39	25.75	3.68	23.50	3.36	26.77	3.82	118.93

2.2.3 各监测断面不同季节水质变化趋势

全江段各季节 5 年综合污染指数值及各断面不同季节水质综合污染指数值的变化情况见表 7 ,说明了湘江干流水质变化情况。

从表 7 可见 ,湘江衡阳段 5 年综合污染指数按季度排序为 4 季度 > 1 季度 > 2 季度 > 3 季度 ,历年各季度综合污染指数排序为 :

2001 年 2 季度 > 3 季度 > 4 季度 > 1 季度 2002 年 : 1 季度 > 3 季度 > 2 季度 > 4 季度 2003 年 4 季度 > 2 季度 > 3 季度 > 1 季度 2004 年 4 季度 > 1 季度 > 2 季度 > 3 季度 2005 年 4 季度 > 1 季度 > 2 季度 > 3 季度。

各断面 5 年综合污染指数集中在 4 季度和 1 季度 ,污染集中在枯水期 ,近 2 年综合污染指数季度变化基本一致。

3 分析及讨论

经分析表明 ,2001 ~ 2005 年 ,湘江干流衡阳段水质污染与其他河流流经的城市引起水质逐步恶化有所不同 ,重金属污染逐步减轻 ,但营养型污染有所增加 ,各监测断面 5 年来水质综合污染指数的年际变化趋势和绝大多数主要污染物污染程度均呈下降趋势。综观湘江干流衡阳段水质变好的原因主要有以下几方面原因。

3.1 经济结构变化是重金属污染减轻的主要原因

“十五”期间 ,衡阳市经济结构变化情况发生了明显的变化 ①第一产业占全市生产总值增加值的比重总体呈下降趋势 ,2001 ~ 2005 年 ,衡阳市第一产业占总产值的比例分别是 :28.21% ,25.62% ,23.60% ,25.08% ,22.67% ;②第二产业占生产总值增加值的比重总体呈上升趋势 ,2001 ~ 2005 年 ,衡阳市第二产业占总产值的比例分别是 :35.30% ,34.03% ,35.32% ,35.93% ,36.61% ;③第三产业占生产总值增加值的比重变化不明显。在“十五”期间 ,衡阳市重工业有所增加 ,从 2001 年的 61.74% 到 2005 年的 69.36% ,但重工业企业自身污水处理能力得到提升 ,而分散的轻工业企业相对减少 ,减少了污染排放量 ,这是衡阳市重金属污染减轻的主要原因。

据统计 ,“十五”期间衡阳市工业污水排放累计排放汞 1.052t、镉 92.22t、六价铬 2.52t、铅 400.134t、砷

305.33t、挥发酚 5.764t、氰化物 25.61t、石油类 343.40t、化学耗氧量 50 085.6t ,各污染物排放量总体上呈下降趋势。

3.2 加大企业污水处理能力是保证水质污染总体下降的重要举措

衡阳市“十五”期间排放工业废水的企业约有 190 余家 ,而 2005 年全市 12 家重点工业水污染源共排废水 3 142.43 万 t ,占全市总排放量的 45.00%。其中水口山有色金属集团有限公司年排废水 912.46 万 t ,占重点源排量的 29.04% ;湖南西渡造纸有限公司年排废水 574.90 万 t ,占重点源排量的 18.30% ;湖南省湘衡盐矿年排废水 387.81 万 t ,占重点源排量的 12.34% ,以上 3 家企业排放的废水量占全市重点源排量的 59.68% ,占当年全市工业废水排放总量的 33.34%。

“十五”期间 ,衡阳市市加大环保执法力度 ,关停和整顿一批高污染企业 ,鼓励企业进行技术改造 ,加大企业自身污水处理能力 ,力争达标排放。如衡阳市排污大户湖南西渡造纸有限公司因排污量大 ,企业技术改造不到位 ,污水处理困难 ,衡阳市环保局责定其定期整顿 ,后因整顿不到位而关闭。2001 ~ 2005 年 ,衡阳市工业废水排放量分别为 9 486.7 万 t ,9 111.5 万 t ,9 171.9 万 t ,8 633.3 万 t ,6 983.2 万 t ;工业废水达标排放量分别为 7 919.6 万 t ,7 616.0 万 t ,7 714.8 万 t ,7 300.7 万 t ,5 625.1 万 t ;处理量分别占 83.48% ,83.59% ,84.11% ,84.56% ,80.55%。

3.3 城镇人口增加是营养型污染增加的主要原因

“十五”期间 ,随着衡阳市城镇化水平的提高 ,城镇人口逐年增加 ,全市城镇人口由 2001 年的 150.05 万增加到 249.19 万。城镇生活污水排放量呈较快速度增加 ,截止 2005 年底 ,衡阳市城市污水处理厂还在建设过程当中 ,所有城镇生活污水未经任何处理直接排入湘江或其主要支流。2001 ~ 2005 年 ,衡阳市城镇生活污水排放量分别为 10 953.7 万 t ,11 140.5 万 t ,15 069.4 万 t ,16 573.9 万 t ,18 190.9 万 t ;由城镇生活污水排入湘江及其主要支流的 COD 分别为 16 430t ,16 710t ,22 601t ,24 861t ,27 287t ,城镇生活污水已成为湘江及其主要支流有机污染的主要来源之一。

(下转第 63 页)

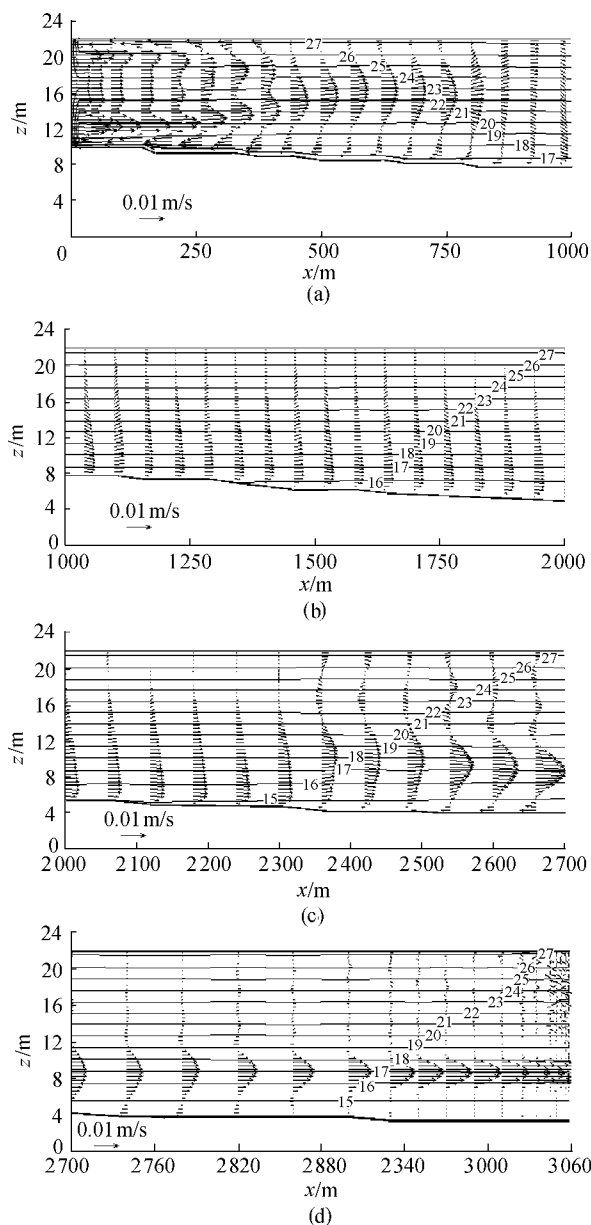


图6 7月份库区流场、温度场分布
(选用7.5m高程的放流洞)

的流场分布影响很大,通过优选放流洞放水,可以实现对下泄水水温的控制,减免对下游水生生态的不利影响。

本文建立的立面二维水温数学模型为零方程模型,模型中将紊动黏性系数和热的紊动扩散系数取为常数,给计算结果带来了一定的误差,建议在今后的研究中建立立面二维 $k-\epsilon$ 模型或三维水温模型,同时考虑水面热交换的影响,提高模拟预测精度。

参考文献:

- [1] 江春波,张庆海,高忠信.河道立面二维非恒定水温及污染物分布预报模型[J].水利学报,2000(9):20-24.
- [2] 陈小红.湖泊水库垂向二维水温分布预测[J].武汉大学学报:工学版,1992,25(4):40-47.

- [3] 邓云,李嘉,罗麟,等.河道型深水库的温度分层模拟[J].水动力学研究与进展,2004,19(5):604-609.
- [4] 邓云,李嘉,罗麟,等.水库温差重流模型的研究[J].水利学报,2003(7):7-11.
- [5] 雒文生,周志军.水库垂直二维湍流与水温水质耦合模型[J].水电能源科学,1997,15(3):1-7.
- [6] JOHNSON B H. A review of multidimensional reservoir hydrodynamic modeling[C]//STEFAN H F. Proc of the Symp on Surface Water Impoundments, ASCE, 1980:497-507.
- [7] JOHNSON B H. A review of numerical reservoir hydrodynamic modeling[R]. US Army Engr Waterways Experiment Station, 1981.
- [8] 戴群英.水库库区及下游河道水温预测研究[D].南京:河海大学,2006.

(收稿日期:2007-11-20 编辑:高渭文)

(上接第58页)

此外,衡阳市养殖业的发展,成为湘江干流衡阳段有机物污染的重要来源之一。

为保护衡阳的母亲河——湘江,只有不断地加强环保执法力度,提高企业的环境保护意识与能力;加强湘江流域生态环境保护和建设,杜绝无规划的采矿、小电力建设项目,加快城市污水处理厂和垃圾处理厂的建设步伐,保证生活污水的达标排放,引导广大农民科学种养,合理布局,从源头控制农业面源污染,才能从根本上治理衡阳市的水污染现状,实现对湘江干流衡阳段水资源保护。

参考文献:

- [1] 王英健,杨永红.环境监测[M].北京:化学工业出版社,2004:56-174.
- [2] 陈剑虹,杨保华,邓子云.环境统计应用[M].北京:化学工业出版社,2005:172-177.
- [3] 陈咏淑,吴甫成,吕焕哲,等.近20年来湘江水质变化分析[J].长江流域资源与环境,2004,13(5):508-512.
- [4] 李颂,谭利人,罗建平,等.湘江株洲城区段水质监测、评价及污染因素调查分析[J].实用预防医学,2006,13(3):582-585.
- [5] 孙树青,胡国华,王勇泽,等.湘江干流水环境健康风险评估[J].安全与环境学报,2006,6(2):12-15.
- [6] 赵寿云,申春香.湘江衡阳市段纳污能力及总量控制分析[J].水资源保护,2004,20(3):23-25.
- [7] 欧阳素芳,曾怀才.湘江衡阳市区段水质卫生状况及变化趋势[J].实用预防医学,2003,10(5):751-752.

(收稿日期:2007-10-30 编辑:高渭文)