

邕江南宁市区段水质时空变化规律分析

韦兴荷

(广西水文地质工程地质勘察院,广西 柳州 545006)

摘要 应用季节性肯达尔检验方法及概率法对邕江三个水质监测站的系列监测资料进行水质时空趋势分析,得出:①邕江水质为有机污染型并呈逐年下降趋势;②上游的南宁站水质优于下游的豹子头、蒲庙两站,为Ⅱ~Ⅲ类水;③豹子头、蒲庙由于受上游南宁市区 5 大排污口影响,水质较劣,分别为Ⅴ、Ⅳ类。对排污口形成的污染带水质状况进行分析,提出了邕江水资源保护措施。

关键词 水质 肯达尔检验 趋势分析 概率法 时空变化 邕江

中图分类号 X824 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2005)06-0049-04

Analysis of the space-time variation rule of the water quality in Nanning section of the Yongjiang River

WEI Xing-he

(Guangxi Investigation Institute of Hydrogeology and Engineering geology, Liuzhou 545006, China)

Abstract Based on the monitoring data from three water quality inspection stations in the Yongjiang River, the space-time change tendency of the water quality was analyzed using seasonal Kendall examination method and probabilistic method. It is concluded that the water quality in the Yongjiang River, which is of organic pollution, declines annually. The water quality of Nanning station (upstream) is of Ⅱ and Ⅲ level of the water quality standard, which is better than those in Baozitou station and Pumiao station (downstream). The water quality of Baozitou station and Pumiao station is of Ⅴ and Ⅳ level respectively because of serious pollution caused by wastewater discharged from five effluents in NanNing city. The water quality of pollution area caused by the sewage discharged was analyzed, and water resources protection measures for the Yongjiang River were proposed.

Key words: water quality; Kendall examination; trend analysis; probabilistic method; space-time variation; the Yongjiang River

邕江是西江水系一级支流郁江流经南宁市的河段,它既是南宁市的集中式生活供水水源地、城市规划一级景观构成要素、水路交通主要干道,又是城市生产、生活废水的排放场所,水污染趋势日益严重。南宁市是广西壮族自治区的首府,是全区政治、经济、文化、科技、教育和信息中心,位于广西南部偏西。随着南宁市以及上游左、右江流域内崇左、百色两市的城市建设及社会经济的发展,其城市工业生产和居民生活废水大部分直接排入江河,对邕江水体的水质影响很大。因此,研究邕江水体的水质时空变化规律,对科学管理、保护邕江水资源,促进南宁市的经济发展及提高人民的生活水平有积极的意义。

1 水文及水环境特征

邕江上源于市郊江西乡同江村三江坡的左右江汇合处,下至南宁市与横县交界的道庄村,全长 116.4 km;流域面积约 7.3 万 km²,邕江南宁水文站多年平均径流量 380 亿 m³。年平均流量 1 330 m³/s,最大流量 2.1 万 m³/s(1881 年调查值),最小流量 83.0 m³/s(1999 年实测值),多年平均含沙量 0.235 kg/m³,平均侵蚀模数 129 t/km²。

南宁市的饮用水源主要取自邕江,共有 5 个水厂,自上而下,分别为陈村水厂、西郊水厂、中尧水厂、河南水厂、凌铁水厂,日取水量为 94 万 t。邕江

饮用水源河段共有心圩江、朝阳溪、亭子冲、竹排冲、水塘江 5 大排污口。这 5 大排污口原是南宁市区的 5 条内河,它们依次分布于邕江两岸。近年来,随着南宁市人口的不断增多、经济的持续发展,用水量、排污量的不断增加,这 5 条内河已成为接纳工业及生活废污水的 5 大排污沟,它们排放的污水对邕江水质产生了不同程度的影响。邕江主要取水口及排污口分布见图 1,5 大排污口的主要参数见表 1。

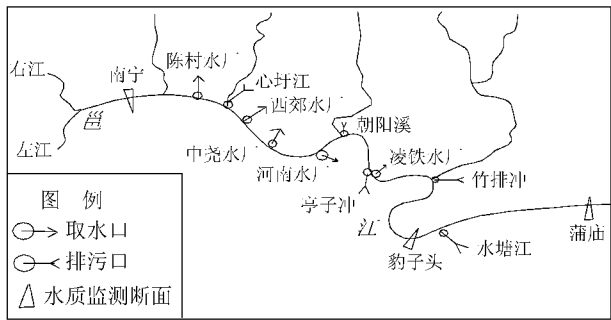


图 1 邕江南宁市区段取水口及排污口分布

表 1 2000 年入邕江 5 大排污口主要参数

排污口	位于邕江的位置	排污量(t/a)		排放的主要污染物
		COD _{Cr}	NH ₃ -N	
心圩江	左	1 490	489.4	COD _{Cr} 、NH ₃ -N、BOD ₅ 、SS、TP、TN、Hg、石油类
朝阳溪	左	18 991	1 907.9	COD _{Cr} 、NH ₃ -N、BOD ₅ 、SS、TP、TN、Hg、石油类
亭子冲	右	4 989	400.5	COD _{Cr} 、NH ₃ -N、BOD ₅ 、SS、TP、TN、FN、石油类
竹排冲	左	3 141	495.7	COD _{Cr} 、NH ₃ -N、BOD ₅ 、SS、TP、TN、Hg、FN、石油类
水塘江	右	17 345	501.4	COD _{Cr} 、NH ₃ -N、BOD ₅ 、SS、TP、TN、Hg、FN、石油类

2 水质随时间变化趋势分析

随着城市建设及社会经济的发展,人类活动对邕江水质的影响越来越大。分析邕江水体的水质年际变化有何规律,是变优或者变劣,对制定邕江的水资源保护对策起重要的参考作用。

根据积累的邕江水质监测资料,对布设在邕江的具有 10 年以上长系列实测水质成果资料的南宁水文站(南宁站)、豹子头、蒲庙三个水质站采用季节性肯达尔(Kendall)检验方法对水质变化趋势进行分析和检验^[1]。季节性肯达尔检验方法适用于数据值有随季节性变化规律的多年趋势分析。

设有 n 年 p 月的水质资料观测序列 X

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix}$$

式中 $X_{11}, \cdots, X_{np}$ 为年均水质浓度观测值。

对于 p 月中第 i 月($i \leq P$)情况,则有

$$S_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n G(X_{ij} - X_{ik})$$
$$M_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n |G(X_{ij} - X_{ik})| = \frac{n_i(n_i - 1)}{2}$$
$$G(X_{ij} - X_{ik}) = \begin{cases} 1 & \text{当}(X_{ij} - X_{ik}) > 0 \\ 0 & \text{当}(X_{ij} - X_{ik}) = 0 \\ -1 & \text{当}(X_{ij} - X_{ik}) < 0 \end{cases}$$
$$V_{ar}(s) = \frac{1}{18} \left\{ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g [t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \right\}$$

式中: S_i 为第 i 月历年水质系列相比较的正负号之和; M_i 为第 i 月可以作比较的差值数据组个数; n_i 为第 i 月水质系列中非漏测值个数。

若 S 为一个正数,那么后测数据倾向于比先测数据大;同样,若 S 为一个负数,那么后测数据倾向于比先测数据小。

正(负)的检验统计量 Z 值意味着呈上升(下降)趋势。若“无趋势”的零假设为真,统计量 Z 将呈标准正态分布。

G 等于正差值数减去负差值数,若 S 为一个正数,那么后测数据倾向于比先测数据大;同样,若 S 为一个负数,那么后测数据比先测数据小。

$V_{ar}(s)$ 考虑了可能存在的“结”值(相同的数值个数),式中 g 为“结”的个数, t_p 为在第 p 个“结”的大小。再用此式计算检验统计量 Z :

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{V_{ar}(s)}} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{V_{ar}(s)}} & s < 0 \end{cases}$$

在趋势检验中,如果 $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$,则接受检验。这里 $F_N(Z_{\alpha/2}) = \alpha/2$,为标准正态分布函数, α 为趋势检验的显著性水平。取显著性水平 α 为 0.1 和 0.01。当 $\alpha \leq 0.01$ 时,说明检验具有高度显著性水平,当 $0.01 < \alpha \leq 0.1$ 时,说明检验是显著的,当 α 计算结果满足上述情况,如果 S 为正,则说明具有显著(或高度显著)上升趋势。

查表可知,当 $Z \geq 2.576$,说明检验具有高度显著性水平;当 $1.645 \leq Z < 2.576$,说明检验具有显著性水平;当 $Z < 1.645$,检验趋势不明显;当 $Z = 0$,检验无趋势。

通过对邕江南宁站、豹子头、蒲庙三个监测断面 1990~2003 年共 14 年的监测数据进行分析筛选,选

择能够代表邕江污染特点的 4 项参数 :NH₃-N、COD_{Mn}、BOD₅、DO 作为趋势分析参数。基础资料的选用方法为每年 1 ~ 12 月监测数据的平均值。

经统计计算处理,可得出三个监测断面年度的水质变化趋势结果,见表 2。由于资料年限的系列长度完全符合季节性肯达尔检验方法的要求,所选择的检验参数反映了邕江河段历年的水质污染特点、并代表了邕江的主要污染物,因此认为分析检验结果是可信的。

表 2 1990 ~ 2003 年邕江水质变化趋势计算检验结果

断面名称	监测项目	结数 <i>p</i>	<i>V_{ar}</i> (<i>s</i>)	<i>Z</i>	趋势
南宁站	NH ₃ -N	1	211.7	- 0.825	下降不明显
	COD _{Mn}	3	209.7	1.795	显著上升
	BOD ₅	5	200.0	2.192	显著上升
	DO	3	209.7	- 2.486	显著下降
豹子头站	NH ₃ -N	0	212.7	0	无趋势
	COD _{Mn}	1	211.7	3.711	高度显著上升
	BOD ₅	0	212.7	2.948	高度显著上升
	DO	1	211.7	- 2.337	显著下降
蒲庙站	NH ₃ -N	0	212.7	- 1.988	显著下降
	COD _{Mn}	2	210.7	3.376	高度显著上升
	BOD ₅	3	209.7	3.038	高度显著上升
	DO	1	211.7	- 2.887	高度显著下降

如果考虑到邕江各时期水质变化的特点,同样的应用季节性肯达尔检验方法,按非汛期(每年 1 ~ 3 月,10 ~ 12 月)、汛期(4 ~ 9 月)对其进行水质趋势分析,结合年度分析结果,可得到如下结论 :①南宁站 汛期 COD_{Mn} 和 BOD₅ 均为上升不明显、DO 显著下降 非汛期 COD_{Mn} 为显著上升、BOD₅ 高度显著上升、DO 显著下降 ;年度 COD_{Mn} 和 BOD₅ 均为显著上升、DO 显著下降。②豹子头 汛期、非汛期、年度 COD_{Mn} 和 BOD₅ 均为高度显著上升、DO 显著下降。③蒲庙 汛期 COD_{Mn} 和 BOD₅ 均为显著上升、DO 下降不明显 非汛期、年度 COD_{Mn} 和 BOD₅ 均为高度显著上升、DO 高度显著下降。

综上所述,三个断面水质趋势检验结果的共同点是 :COD_{Mn} 和 BOD₅ 均为显著上升或高度显著上升、DO 为显著下降或高度显著下降。检验结果表明,邕江水质为有机污染型呈逐年下降趋势,下游蒲庙段的下降趋势比上游显著,这一结果与邕江中下游近几年来频繁出现的水污染事件状况相吻合。造成这种状况的主要和直接原因是城市点源污染,也就是大量工业和生活污水的污染 ;汛期则主要表现为面源污染,与此同时汛期充沛的水量也稀释了点源污染,使得下游蒲庙段水质的下降趋势趋缓。

3 水质空间变化规律分析

为了研究邕江水体水质沿河道水质空间变化规律,对南宁站、豹子头、蒲庙三个断面 1996 ~ 2002 年共 21 站年的监测资料进行分析,每个断面选定的污染物参数和水质时间趋势分析一样,即 DO、NH₃-N、BOD₅、COD_{Mn} 四个容易超标且对水质评价有较大影响的项目,按其监测值从大到小进行排列并计算频率。

$$P = \frac{m}{n + 1} \times 100\%$$

式中 :*P* 为累积频率 ;*n* 为总检测数 ;*m* 为从大到小的累积频数。

计算各污染物等于某浓度的累积频率 *P*,并绘出它们的经验频率曲线^[2] (见图 2,仅绘出豹子头的 DO 频率曲线)。

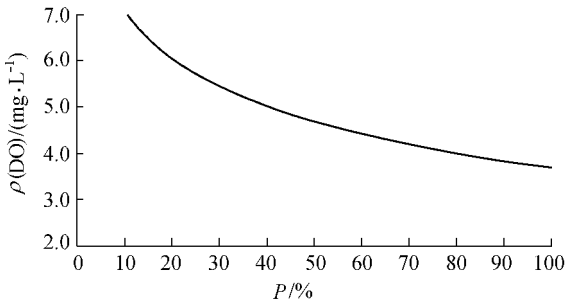


图 2 豹子头 DO 频率曲线

由图 2 可查出相应污染物在各种频率下的浓度值,得出各种频率下的水质状况或某种污染物某一浓度出现的机率,以此代表不同污染强度的污染范围情况。根据 GB3838 - 2002《地表水环境质量标准》,对邕江三个监测断面的各评价参数进行综合评价,得出三个断面的水质评价频率统计及均值综合评价,见表 3。

表 3 邕江部分断面水质监测评价频率 %

站名	项目	水质级别				
		I	II	III	IV	V
南宁	DO	4	69	27	0	0
	NH ₃ -N	50	23	27	0	0
	BOD ₅	100	0	0	0	0
	COD _{Mn}	0	60	27	10	3
	综合评价	0	0	100	0	0
蒲庙	DO	0	15	25	48	12
	NH ₃ -N	33	25	33	9	0
	BOD ₅	100	0	0	0	0
	COD _{Mn}	0	27	60	10	3
	综合评价	0	0	0	100	0
豹子头	DO	0	24	32	40	4
	NH ₃ -N	19	33	22	0	26
	BOD ₅	67	4	11	7	11
	COD _{Mn}	0	4	48	16	24
	综合评价	0	0	0	0	100

表 3 是用不同水质级别出现的频率作的评价计算,可以反映邕江河段不同水质出现机会的情况。当用累积频率 50% 为界限,即有一半的出现机会时,南宁站断面为Ⅱ类,豹子头及蒲庙断面皆为Ⅳ类。用均值来综合评价,南宁站断面为Ⅲ类,豹子头及蒲庙分别为Ⅴ、Ⅳ类。从表 3 中可以看出,南宁站断面只有 27% 的机会是受到污染的(Ⅲ类),而豹子头及蒲庙断面则分别有 48% 及 60% 以上的机会是污染的水质。因此,根据概率统计法对邕江河段进行水质评价,可以得出以下结论 南宁站河段水质尚好,影响其水质的主要污染物为 COD_{Mn} 豹子头及蒲庙的水质已受到污染,分别为Ⅴ、Ⅳ类,影响豹子头河段的主要污染物为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 DO 及 COD_{Mn} ,豹子头直接受上游 5 大排污口的影响,水质表现为Ⅴ类,影响蒲庙河段的主要污染物为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 DO ,水体经过豹子头后,由于自净的作用,水质表现为Ⅳ类。邕江南宁市区的水体水质沿河道变化趋势如图 3 所示。

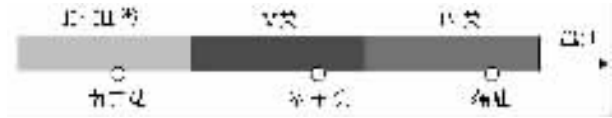


图 3 邕江南宁市区段水体水质沿河道变化趋势

4 排污口混合带特征分析

排污口排出的污染物在邕江近岸附近水体中扩散、稀释、沉淀、降解等迁移转化规律,不仅受污染物特性、排污方式影响,而且与河流流速、流量、水面宽等水文因素有关。南宁市区的 5 大排污口对河段的水质影响巨大,因此有必要对各个排污口附近污染物分布规律进行研究。排污口的废水进入邕江后,在入口处至下游形成一条明显区别于河水的有色污染带,如朝阳溪、亭子冲、水塘江的废水进入邕江后,河流相应的河面形成了一条长约 500 m、宽约 50 m 的黑褐色污染带。

通过监测分析可知,朝阳溪形成了一条长约 1000 m,宽 60 m 的污染带,亭子冲内有一条长为 500 m,宽为 50 m 的污染带,水塘江则形成一条长 700 m,宽 50 m 的污染带。对照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水标准,三条污染带的水质类别为Ⅳ~劣Ⅴ类。超标项目是:pH 值、 DO 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 BOD_5 、 COD_{Mn} 、 FN 、 Hg 、石油类。其中 DO 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 在污染带全部出现超标。各污染带 $\text{NH}_3\text{-N}$ 综合污染指数普遍较高,其次是 DO 、 BOD_5 、 COD_{Mn} 。图 4 就是朝阳溪、亭子冲、水塘江三个排污口形成的污染带水质评价概况图。

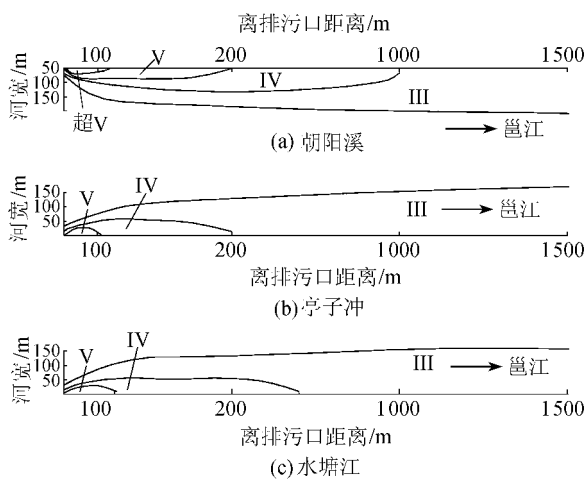


图 4 排污支流污染带水质评价

5 结 论

通过对邕江南宁市区段三个水质监测断面系列监测资料的分析可知,邕江南宁市区段的水体水质有逐年变劣的趋势,为有机污染型的下降趋势,主要表现为 COD_{Mn} 、 BOD_5 逐渐上升,而 DO 逐年下降。在空间上,南宁站水质优于下游的豹子头、蒲庙两站,为Ⅱ~Ⅲ类,而豹子头、蒲庙两站由于受到上游五大排污口的影响,水质较劣,分别为Ⅴ、Ⅳ类。由于邕江水质受制于上游的左、右江水体水质,因此,在制定邕江水资源保护规划时,应统筹兼顾,对包括上游左、右江在内的入河排污口的污染物实行总量控制,协调好左、右江流域内崇左、百色两市的水体达标交接,使邕江的水质逐年好转 同时,兴建污水处理厂,把南宁市产生的工业废水及生活污水截留引到污水处理厂,处理后达标排放,确保邕江水体不受污染;重点加强饮用水源的保护,划分饮用水源保护区,杜绝饮用水源保护区内的排污行为,保障城镇居民及工农业用水的安全^[3]。

参考文献:

[1] 逢勇. 水资源评价与保护[M]. 南京: 河海大学出版社, 2002. 98 ~ 100.
[2] 方子云. 水资源保护工作手册[M]. 南京: 河海大学出版社, 1988. 397.
[3] 黄辉金. 南宁市饮用水水源地现状分析与保护对策[J]. 水资源保护, 2004(2) 66 ~ 68.

(收稿日期 2004-04-27 编辑 舒 建)