

安徽省地表水水质变化趋势分析

吴 师¹, 王嵩嵘²

(1. 安徽省阜阳水文水资源局, 安徽 阜阳 236000; 2. 安徽省水文局, 安徽 合肥 230022)

摘要 :应用季节性 Kendall 检验法,对 1993 年以来安徽省地表水主要污染指标变化趋势进行分析评价。结果表明,安徽省地表水水质总体状况略有好转,淮河流域水质总体好转较明显,长江流域、新安江流域水质总体变化不大。

关键词 :季节性 Kendall 检验,地表水,趋势分析,水质,安徽省

中图分类号 :X832 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2006)05-0074-03

Analysis of change tendency of surface water quality in Anhui Province

WU Shi¹, WANG Song-rong²

(1. Fuyang Hydrology and Water Resources Bureau of Anhui Province, Fuyang 236000, China; 2. Hydrology Bureau of Anhui Province, Hefei 230022, China)

Abstract :The change tendency of main pollution indices of surface-water quality from 1993 in Anhui Province was evaluated by the seasonal Kendall method. It is concluded that water quality of Anhui Province is tending to be well as a whole. The tendency of water quality improvement in Huaihe River Basin is obvious, while the change of water quality in the Yangtze River Basin and the Xinganjiang River Basin is not evident.

Key words :seasonal; Kendall method; surface water; tendency analysis

安徽省位于华东腹地,面积约 13.95 万 km²。境内河流众多,分属淮河、长江、钱塘江(新安江)流域。三大流域共有一级支流 63 条,二级支流 143 条。流域面积在 100 km² 以上的河流有 418 条,1 000 km² 以上的河流有 71 条,3 000 km² 以上的河流有 21 条,5 000 km² 以上的河流有 12 条。全省平均河网密度 0.4 km/km²。沿淮沿江分布有湖面面积大于 20 km² 的湖泊 30 多处,其中巢湖为中国五大淡水湖之一。省境内淮河流域面积 6.66 万 km²,占全省面积的 47.8%;长江流域面积 6.64 万 km²,占全省面积的 47.6%;新安江流域面积为 0.65 万 km²,占全省面积的 4.6%^[1]。

为全面掌握安徽省地表水水质资源质量状况,分析境内地表水水质变化趋势,安徽省水环境监测中心在全省主要江河湖库上先后设置了 109 个水质站,对较敏感水域进行水质监测分析评价。其中,河流站 86 个,湖泊站 12 个,水库站 11 个。

1 站点布置及分析项目

根据现有站点的代表性以及其分布情况,选定大江大河大湖及重要水库的控制站以及人口 50 万以上重要城市的下游控制站共 60 个,涉及全省 30 条河流、1 个湖泊、7 座水库。其中,淮河流域 15 条河流、4 座水库共 33 个站,长江流域 13 条河流、1 个湖泊、3 座水库共 25 个站(安徽省长江干流水质一直较好,多年来水质变化较小,又因水质监测控制站监测资料系列较短,本次趋势分析未将其包括在内),新安江流域 2 条河流 2 个站。

根据安徽省地表水污染特点,确定 COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、DO、FN 5 项指标为分析项目,主要选用 1993~2000 年间的水质监测数据。

2 分析方法

分析方法采用季节性 Kendall 检验法^[2-3]。

季节性 Kendall 检验的原理是将历年相同月(季)的水质资料进行比较,如果后面的值(时间上)高于前面的值记为“+”号,低于则记作“-”号。如果正号个数比负号多,则判为上升趋势;如果负号个数比正号多,则划为下降趋势;如果水质资料不存在上升或下降趋势,则正、负号的个数分别为 50%。

零假设 H_0 为随机变量与时间独立,假定全年 12 个月的水质资料具有相同的概率分布。

设有 n 年 p 月的水质资料序列 X 为

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

式中: X_{11}, \dots, X_{np} 为月水质浓度监测值。

a. 对于 p 月中第 i 月 ($i \leq p$) 的情况

令第 i 月历年水质系列相比较(后面的数与前面的数之差)的正负号之和 S_i 为

$$S_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \alpha(x_{ij} - x_{ik}) \quad (1 \leq k < j \leq n) \quad (1)$$

$$\text{式中: } \alpha(x_{ij} - x_{ik}) = \begin{cases} 1 & x_{ij} - x_{ik} > 0 \\ 0 & x_{ij} - x_{ik} = 0 \\ -1 & x_{ij} - x_{ik} < 0 \end{cases}$$

由此,第 i 月内可以作比较的差值数据组个数 m_i 为

$$m_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n |\alpha(x_{ij} - x_{ik})| = \frac{n_i(n_i - 1)}{2} \quad (2)$$

式中: n_i 为第 i 月内水质系列中非漏测值个数。

在零假设下,随机系列 S_i ($i = 1, 2, \dots, p$) 近似地服从正态分布,则 S_i 的均值和方差如下:

$$\begin{aligned} \text{均值: } & E(S_i) = 0 \\ \text{方差: } & \sigma_1^2 = \text{Var}(S_i) = n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)/18 \end{aligned}$$

当 n_i 个非漏测值中有 y 个数相同,则

$$\sigma_1^2 = \text{Var}(S_i) = \sum_{i=1}^p n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)/18 - \sum_{y=1}^p y(y - 1)(2y + 5)/18 \quad (3)$$

b. 对于 p 月总体情况

$$\text{令 } S = \sum_{i=1}^p S_i \quad m = \sum_{i=1}^p m_i$$

在零假设下, p 月的均值和方差为

$$\text{均值: } E(S) = \sum_{i=1}^p S_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

$$\text{方差: } \sigma^2 = \text{Var}(S) = \sum_{i=1}^p \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{h=1}^p \text{Cov}(S_i, S_h) =$$

$$\sum_{i=1}^p \text{Var}(S_i) + \sum_{i=1}^p \sum_{h=1}^p \text{Cov}(S_i, S_h) \quad (4)$$

式中: S_i 和 S_h ($i \neq h$) 都是独立随机变量的函数,即 $S_i = f(X_i), S_h = f(X_h)$, 其中 X_i 为 i 月历年的水质序列, X_h 为 h 月历年的水质序列, 并且 $X_i \cap X_h = \varphi$ 。因为 X_i 和 X_h 分别来自 i 月和 h 月的水质资料, 并且总体时间序列 X 的所有元素是独立的, 故协方差 $\text{Cov}(S_i, S_h) = 0$ 。将其代入式(4), 得

$$\text{Var}(S_i) = \sum_{i=1}^p \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{18}$$

当 n 年水质系列有 y 个数相同时, 同样有

$$\text{Var}(S_i) = \sum_{i=1}^p \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{18} - \frac{\sum_{y=1}^p y(y - 1)(2y + 5)}{18}$$

当 $n \geq 10$ 时, S 也服从正态分布, 并且标准方差 Z 为

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{当 } S > 0 \\ 0 & \text{当 } S = 0 \\ \frac{S + 1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{当 } S < 0 \end{cases}$$

c. 趋势检验

Kendall 检验计量 t 定义为: $t = S/m$, 由此在双尾趋势检验中, 如果 $|z| \leq z_{\alpha/2}$, 则接受零假设。这里 $F_N(z_{\alpha/2}) = \alpha/2$, F_N 为标准正态分布函数, 即

$$F_N = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{|z|}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$$

α 为趋势检验的显著水平, 其值为

$$\alpha = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{|z|}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$$

取显著性水平 α 为 0.1 和 0.01, 即当 $\alpha \leq 0.01$ 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, 在 α 计算结果满足上述两条件情况下, 当 t 为正时, 则说明具有显著(或高度显著性)上升趋势; 当 t 为负时, 则说明具有显著(或高度显著性)下降趋势; 当 t 为零时, 则无趋势。

3 水质变化趋势

有关水质站趋势分析结果见表 1。全省趋势分析总体情况见表 2。

a. 高锰酸盐指数(COD_{Mn})

监测资料较完整的控制站 60 个。其中 8 个站呈上升趋势, 占 13%; 14 个站呈下降趋势, 占 23%; 无趋势站 38 个, 占 64%。有变化的站数占 46%, 呈上升趋势的站数少于呈下降趋势站数。

b. 五日生化需氧量(BOD₅)

表 1 安徽省水质变化趋势检验成果

流域	河流(湖库)	站名	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	DO	FN	流域	河流(湖库)	站名	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	DO	FN	
淮河	淮河	鲁台子	☆	◇	☆	◇	↓	淮河	淮河梅山水库	梅山水库	☆	◇	↓	◇	☆	
	淮河	田家庵	☆	◇	☆	↑↑	☆		淮河	磨子潭水库	磨子潭水库	↓	◇	☆	◇	☆
	淮河	蚌埠闸上	☆	◇	☆	↑	☆		淮河	响洪甸水库	响洪甸水库	☆	◇	☆	◇	☆
	淮河	吴家渡	☆	◇	↑	☆	☆		长	长河	枞阳	☆	☆	☆	☆	☆
	淮河	硫酸厂	☆	◇	☆	◇	☆		长	滁河	汊河集	↑↑	◇	↑	◇	☆
	颍河	界首上	☆	◇	☆	☆	↓		长	丰乐河	桃溪	☆	◇	☆	◇	☆
	颍河	阜阳上	↓	◇	↓	↑↑	↓		长	姑溪河	当涂	☆	↓	☆	↓	↓
	颍河	颍上	↓	◇	↓	↑	↓		长	麻川河	黄山	☆	☆	☆	☆	☆
	泉河	杨桥	↓	◇	↓	↑↑	↓		长	南淝河	合作化路桥	☆	◇	↑↑	☆	↑
	涡河	亳州郑	☆	◇	↑	◇	↓		长	南淝河	合肥新港	↓	↓	↑↑	↑↑	☆
	涡河	亳州铁	↓	◇	↑	◇	↓	长	青弋江	大蓉坊	☆	↓	☆	↓	↓	
	涡河	涡阳	↓	◇	↓	◇	↓	长	青弋江	弋江	↓	↓	↓	↓	☆	
	涡河	蒙城	↑↑	◇	↓	◇	↓	长	青弋江	中山东桥	↓	↓	☆	↓	↓	
	茨淮新河	插花	↑↑	◇	↑	↑↑	↓	长	清流河	城西水库	☆	◇	↑↑	◇	↓	
	茨淮新河	阚疃	↑↑	◇	↑↑	◇	↓	长	清流河	滁县	☆	◇	☆	◇	☆	
	茨淮新河	上桥	☆	◇	↑↑	◇	☆	长	秋浦河	池口	☆	☆	☆	☆	↓	
	浍河	临涣集	☆	◇	☆	◇	☆	长	秋浦河	高坦	☆	◇	↓	◇	☆	
	浍河	固镇	↑	◇	☆	◇	↑	长	水阳江	庙埠	☆	↓	☆	☆	↓	
	奎河	栏杆集	↓	◇	☆	◇	↑	长	水阳江	宣城	☆	↓	☆	↓	↓	
	池河	明光	↑	◇	↑	◇	☆	长	皖河	石牌	☆	☆	↓	☆	↓	
淝河	横排头闸	↓	☆	↑	◇	☆	长	县大河	宿松	☆	◇	☆	◇	☆		
淝河	六安市区	↓	↓	↑	◇	↓	长	裕溪河	巢湖闸下	↑	☆	↑	◇	☆		
淝河总干渠	九里沟	☆	◇	☆	◇	☆	长	裕溪河	裕溪闸	☆	↓	☆	↓	☆		
史河	红石咀	☆	◇	☆	◇	☆	长	兆河	兆河闸	☆	◇	☆	◇	☆		
濉河	符离集	☆	◇	☆	◇	☆	长	巢湖	忠庙	↑↑	☆	☆	◇	☆		
濉河	浍塘沟	↓	◇	☆	◇	☆	长	陈村水库	陈村水库	☆	↓	↓	☆	↓		
沱河	沱河闸	☆	◇	☆	◇	☆	长	董铺水库	董铺水库	☆	☆	☆	◇	☆		
沱河	徐楼	☆	◇	☆	◇	☆	长	龙河口水库	龙河口水库	↓	◇	↓	◇	☆		
新汴河	宿县	↓	◇	↓	◇	☆	新	练江	渔梁	☆	↓	☆	☆	↓		
佛子岭水库	佛子岭水库	☆	◇	☆	◇	☆	安	新安江	屯溪	☆	↓	↑	☆	↓		

注：↑“显著上升趋势”；↑↑“高度显著上升趋势”；↓“显著下降趋势”；↓↓“高度显著下降趋势”；☆“无明显变化趋势”；◇“资料不全”。

表 2 安徽省水质变化趋势分析测站统计

流域	项目	总测		上升站		下降站		无趋势站		流域	项目	总测		上升站		下降站		无趋势站	
		站数	站数	站数	%	站数	%	站数	%			站数	%	站数	%	站数	%	站数	%
淮河流域	COD _{Mn}	33	5	15	10	30	18	55	新安江流域	COD _{Mn}	2	0	0	0	0	2	100		
	BOD ₅	2	0	0	1	50	1	50		BOD ₅	2	0	0	2	100	0	0		
	NH ₃ -N	33	8	24	8	24	17	52		NH ₃ -N	2	1	50	0	0	1	50		
	DO	8	6	75	0	0	2	25		DO	2	0	0	0	0	2	100		
	FN	33	1	3	13	39	19	58		FN	2	0	0	2	100	0	0		
长江流域	COD _{Mn}	25	3	12	4	16	18	72	全省	COD _{Mn}	60	8	13	14	23	38	63		
	BOD ₅	16	0	0	9	56	7	44		BOD ₅	20	0	0	12	60	8	40		
	NH ₃ -N	25	5	20	5	20	15	60		NH ₃ -N	60	14	23	13	22	33	55		
	DO	14	1	7	6	43	7	50		DO	24	7	29	6	25	11	46		
	FN	25	1	4	9	36	15	60		FN	60	2	3	24	40	34	57		

监测资料较完整的控制站 20 个。其中,无上升趋势站 12 个,呈下降趋势,占 60%;无趋势站 8 个,占 40%。有变化的站数占 60%,BOD₅ 呈明显下降趋势。

c. 氨氮(NH₃-N)

监测资料较完整的控制站 60 个。其中,14 个站呈上升趋势,占 23%;13 个站呈下降趋势,占 22%;无趋势站 23 个,占 55%。有变化的站数占 45%,呈上升趋势的站数与呈下降趋势站数基本

相当。

d. 溶解氧(DO)

监测资料较完整的控制站 24 个。其中,7 个站呈上升趋势,占 29%;6 个站呈下降趋势,占 25%;无趋势站 11 个,占 46%。有变化的站数超过 54%,呈上升趋势的站数与呈下降趋势站数基本相当。

e. 挥发酚(FN)

监测资料较完整的控制站 60 个。其中,2 个站呈上升趋势,占 3%;24 个站呈下降(下转第 83 页)

测 根据预测结果用颜色梯度或等值线进行模拟。
水质预测计算系统框图见图 3。

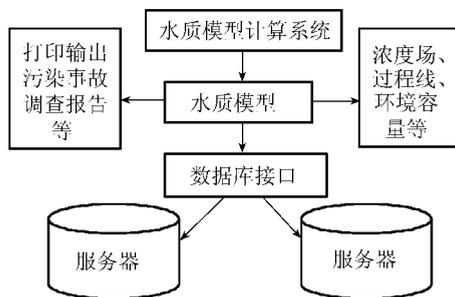


图 3 水质预测计算系统框图

2.4 信息发布子系统

系统采用了 WebGIS 应用服务主线程和各子线程分别通过公用共享管道和各专用线程与 ISAPI 扩展模块通信的方案。这样,服务器充分利用多线程机制,各子线程分别处理用户的请求,达到并行处理的效果,保证了系统对请求的快速反应。同时,各线程独立工作,完毕后自动结束,释放系统资源,保证了系统始终处于良好的运行状态。在网络大量用户并发访问时,WebGIS 服务器能够快速有效地作出反应。具体功能框图和信息流程如图 4 所示。

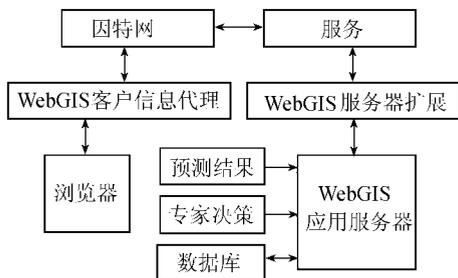


图 4 WebGIS 系统框图

3 结 语

郁江水质预警预报系统建设属水资源保护的非工程性措施之一,其主要产生的是社会效益和生态效益。该系统的建成使用,将及时、快速和客观地反映郁江水质现状及其变化规律,对防治和控制郁江水体的污染,减少水污染损失,提高和改善水环境质量起到了积极的作用,也为水行政主管部门提供河流水质污染资料信息,为对水污染防治实行有效监督管理服务。

参考文献:

[1] 杨存信,崔广柏.城市水资源与水环境保护[M].南京:河海大学出版社,1996:17-37.
[2] 魏文达,胡宗俊.关于江河水质污染预警预报系统建设模式探讨[C]//水利部水文司,水利学会.中国水环境问题研讨会论文集.北京:中国科学技术出版社,1998:238-

246.

[3] 万本山.突发性环境污染事故应急监测与处理处置技术[M].北京:中国环境科学出版社,1996:41-55.
[4] 刘光.地理信息系统二次开发教程 组件篇[M].北京:清华大学出版社,2003:16-30.
[5] 罗云启,曾琨,罗毅,等.数字化地理信息系统建设[M].北京:清华大学出版社,2003:223-251.

(收稿日期 2005-02-05 编辑:高渭文)

(上接第 76 页)趋势,占 40%;无趋势站 34 个,占 57%。有变化的站数占 43%,呈上升趋势的站数明显少于呈下降趋势站数。

f. 总体评价。淮河流域:主要污染指标 COD_{Mn} 、 FN 、 BOD_5 呈下降趋势站多于上升趋势站; DO 指标在 8 个站点中 6 个站呈上升趋势; NH_3-N 的上升与下降趋势站点数相当。全流域水资源质量总体呈好转趋势。

长江流域:主要污染指标 COD_{Mn} 、 NH_3-N 的上升与下降趋势站点数基本相当; FN 、 BOD_5 、 DO 呈下降趋势站略多于上升趋势站。全流域水资源质量总体变化趋势不明显。

新安江流域 2 个站点中污染指标有升有降,水资源质量总体变化趋势不明显。

总之,1993 年以来,安徽省地表水水资源质量总体状况略有好转,淮河流域水质总体好转较明显,长江流域、新安江流域水质变化不大。

4 结 语

本文中采用季节性 Kendall 检验法对 1993 年以来安徽省大部分地表水水质变化趋势进行了分析检验,对于高度偏倚的水质资料,该检验估算值的精度远高于回归估计值;对于呈正态分布的水质资料,它的精度略低于回归估计。此外,本文中在判断水质变化趋势时,未考虑河流流量变化对水质浓度地影响,部分站点的估算值存在一定的误差。

参考文献:

[1] 安徽省水利厅,安徽省环境保护局.安徽省水功能区划[M].北京:中国水利电力出版社,2004:10-11.
[2] 叶守泽,詹道江.工程水文学[M].北京:中国水利电力出版社,2000:145-186.
[3] 中国水利规划设计院.水资源综合规划实施细则[R].2002:37.

(收稿日期 2005-11-30 编辑:高渭文)