

玛纳斯河流域水质变化趋势分析

李俊峰^{1,2}, 盛 东³, 程晓如⁴, 何新林^{1,2}, 李江云⁴

(1. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832003; 2. 新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003; 3. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 4. 武汉大学土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要 在玛纳斯河流域 1991 ~ 2000 年实测水质监测资料的基础上, 选择肯斯瓦特断面、红山嘴断面以及蘑菇湖水库、大泉沟水库为代表性站点, 采用季节性肯德尔(Kendall)检验方法进行玛纳斯河流域地表水水质变化趋势分析。结果表明: 对地表水污染源必须进行有机污染物和含氮有机物的总量控制; 对蘑菇湖水库水质管理应加强污染负荷消减力度, 进行污染物总量控制; 对大泉沟水库应该首先考虑控制挥发酚浓度。

关键词 水质分析; 肯德尔检验方法; 玛纳斯河流域

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2008)04-0010-04

Water quality trends in the Manas River Basin

LI Jun-feng^{1,2}, SHENG Dong³, CHENG Xiao-ru⁴, HE Xin-lin^{1,2}, LI Jiang-yun⁴

(1. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang BINGTUAN, Shihezi 832003, China; 3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

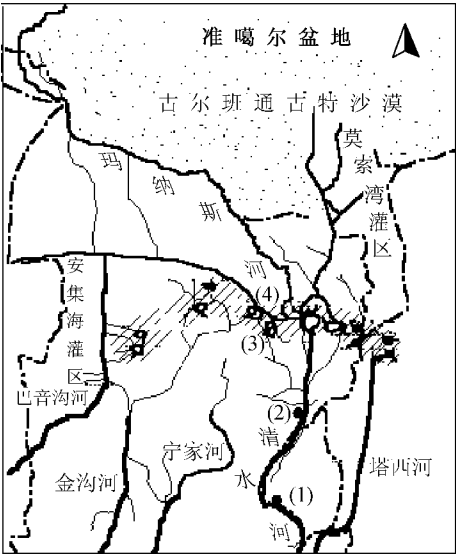
Abstract Based on water quality data from the Manas River Basin from 1991 to 2000, the seasonal Kendall test method was used to analyze the water quality variation at typical monitoring sites, such as the Kenswatt cross section, Hongshanzui cross section, Moguhu Reservoir and Daquangou Reservoir. The results suggest that the total quantity of organic pollutants and nitrogen pollutants in the surface water pollution sources must be controlled, the control of pollution loads in the Moguhu Reservoir should be strengthened and total quantity control should also be implemented, and the key problem in the Daquangou Reservoir is controlling the concentration of volatile phenol.

Key words water quality analysis; seasonal Kendall test method; Manas River Basin

玛纳斯河流域地处欧亚大陆腹地, 位于天山北坡中部、准噶尔盆地南缘, 地跨北纬 43°20' ~ 45°12'、东经 85°41' ~ 86°32', 是典型的西北干旱内陆河流域, 降水稀少, 蒸发量大, 生态环境十分脆弱。流域内有石河子市、玛纳斯县、沙湾县和 19 个农牧团场(乡)及农六师的新湖总场和克拉玛依市的小拐乡, 2000 年总人口约为 95.23 万, 人均国内生产总值 9 822 元, 处于准噶尔盆地南缘绿洲区及天山北坡经济带的核心位置, 东近自治区政治经济中心乌鲁木齐, 西接发展新城奎屯市, 南依天山北麓, 北望克拉

玛依, 流域总面积达 2.65 万 km²。流域水系主要由玛纳斯河等 6 条河流构成, 如图 1。玛纳斯河(简称玛河)源于天山, 终于玛纳斯湖, 年总径流量 12.86 亿 m³, 玛河在玛河流域的地表水系统中起着重要作用。水是制约生态环境变化的关键因子。但是随着经济的发展, 沿途有大量的生活、工业污水排入, 对水环境造成很大威胁。因此, 为了控制玛河水质和保护水环境, 必须了解河流水质污染的变化趋势, 在 1991 ~ 2000 年实测水质监测资料的基础上^[1-2], 采用季节性肯德尔(Kendall)检验方法, 进行

玛河水环境变化趋势分析,以期对确定玛河流域水资源安全战略决策提供必要依据。



(1)肯斯瓦特断面 (2)红山嘴断面 (3)大泉沟水库 (4)蘑菇湖水库

图1 玛纳斯河流域水系分布

1 季节性肯德尔法检验原理

季节性肯德尔检验是 Mann-Kendall 检验的一种推广。该检验的思路是用多年收集的数据,分别计算各季节(或月份)的 Mann-Kendall 检验统计量 S 及其方差 $Va(S)$ 再把各季节统计量相加,计算总统计量。如果季节数和年数足够大,可通过总统计量与标准正态表之间的比较来进行统计显著性趋势检验^[38]。

季节性肯德尔法原理将历年相同月(季)的水质资料进行比较,后面值(时间上)高于前面值的,记为“+”;后面值低于前面值的,记为“-”。如果“+”的个数比“-”的个数多,则水质可能呈上升趋势;反之,可能呈下降趋势。

检验的零假设(H_0)为随机变量与时间独立,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,观测序列 X 为

$$X = \begin{Bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ X_{n1} & \cdots & X_{np} \end{Bmatrix} \tag{1}$$

式中: X_{ji} 为某水资源质量组分 j 年 i 月的浓度值($j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, p$)

a. 对于 p 月中第 i 月($i \leq p$)的情况。定义:

$$S_i = \sum_{k=1}^{n_i-1} \sum_{j=k+1}^{n_i} \text{sgn}(x_{ij} - x_{ik}) \tag{2}$$

式中: S_i 为第 i 月历年水质系列相比较的正负号相抵后的正号或负号的个数; n_i 为第 i 月水质系列中非漏测值个数。

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \tag{3}$$

在零假设下,随机系列 $S_i(i = 1, 2, \dots, p)$ 近似服从正态分布。均值为

$$E(S_i) = 0$$

方差为

$$\sigma_i^2 = Va(S_i) = n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)/18 \tag{4}$$

n_i 个非漏测值有 t_i 个数相同时,方差的计算公式为

$$\sigma_i^2 = Va(S_i) = [n_i(n_i - 1)(2n_i + 5) - (2t_i + 5)]/18 \tag{5}$$

b. 对于 p 月的总体情况。令 $S = \sum_{i=1}^p S_i$,在零假设下,均值为

$$E(S) = \sum_{i=1}^p E(S_i) = 0$$

方差为

$$\sigma^2 = Va(S) = \sum_{i=1}^p n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)/18 \tag{6}$$

当 n 年水质系列中第 i 月有 t_i 个数相同时,方差为

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^p [n_i(n_i - 1)(2n_i + 5) - t_i(t_i - 1)(t_i + 5)]/18 \tag{7}$$

当 $n \geq 10$ 时, S 服从正态分布,其统计量 Z 也服从正态分布:

$$Z = \begin{cases} (S - 1)(Va(S))^{1/2} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S + 1)(Va(S))^{1/2} & S < 0 \end{cases} \tag{8}$$

c. 趋势检验。如果“无趋势”的零假设 H_0 为真,统计量 Z 将呈标准正态分布,因此可用累计正态分布表判断是否拒绝 H_0 。在显著性水平 α 下对上升或下降趋势进行双侧检验,如果 $|Z| > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$,就拒绝 H_0 ,此时正或负 Z 值意味着接受“上升趋势”或“下降趋势”。

2 玛纳斯河水质变化趋势分析过程

2.1 站点选择

为了分析玛河的水质变化趋势,选择肯斯瓦特及红山嘴站点作为上游及中游的代表性断面。

2.2 参数选择

根据玛河水质现状评价结果,选择代表性指标:高锰酸盐指数(COD_{Mn})、生化需氧量(BOD)及氨氮(NH_3-N)3项指标为玛河水质变化趋势分析的参数。

2.3 数据处理

根据 1991 ~ 2000 年玛河肯斯瓦特断面及红山嘴断面的水质监测资料 结合季节性特点 每年选取 $p(1 < p < 12)$ 个典型月的均值进行分析。

2.4 分析内容

a. 水质浓度的趋势分析。通过水体污染物浓度的检验来预测水质变化趋势。

b. 污染物输送率(浓度 × 同步流量) 的趋势分析。通过污染物输送率的变化趋势 ,对污染源量的增减情况进行判断。

c. 流量校准污染物浓度的趋势分析。结合玛河季节性的特点 ,采用流量校准污染物浓度的分析方法 ,把水质水量结合起来综合分析玛河的水质变化趋势。河流中污染物浓度往往与河流的水量相关 因此可以根据河流流量与浓度的相关关系来判断污染的来源。若水质变化趋势随着流量增加呈上升趋势 ,则面源污染可能是污染的主要原因 ,若水质变化趋势随着流量增加呈下降趋势 ,则点源污染可能是主要原因。通过流量校准污染物浓度的趋势分析 ,可判断水质变化趋势是由流量因素还是由污染源因素造成的 ,也可以间接地判断污染的类型是属于面源污染还是点源污染。

该过程分三步进行。
第一步 提出可能的几种流量校准方程形式 $\hat{x} = f(Q)$ ($\hat{x}$ 为估计浓度) 应用回归分析 ,计算各方程的相关系数 选择最佳的作为该河流的流量校准方程。

这里选择的 $f(Q)$ 有如下 7 种形式 :

$$f(Q) = a + bQ$$
$$f(Q) = a + b \ln Q$$
$$f(Q) = a + b/Q$$
$$f(Q) = e^{a+b \ln Q}$$
$$f(Q) = a + bQ + cQ^2$$
$$f(Q) = a + b \ln Q + c (\ln Q)^2$$
$$f(Q) = a + b(1 + \beta Q)$$

式中 : Q 为流量 ; β 为流量调节系数。
第二步 如果浓度与流量显著相关 ,计算流量校准浓度的时间序列。定义

$$w_{ij} = x_{ij} - \hat{x}_{ij} \tag{9}$$

式中 : w_{ij} 为 i 月 j 年的流量校准浓度 ; x_{ij} 为 i 月 j 年的实际污染物浓度。

第三步 进行流量校准的季节性肯德尔检验 ,判断计算结果的合理性。

3 玛纳斯河水质变化趋势分析结果

3.1 水质浓度趋势分析结果

根据已有数据对玛河两断面进行肯德尔检验 ,

计算统计量 Z 值 ,结果见表 1。本次计算取 $\alpha = 0.10$, $Z_{1-\alpha/2} = 1.645$,根据 $|Z| > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$,判断断面的污染物变化趋势。

表 1 肯德尔检验水质浓度趋势分析统计量 Z 值

断面	COD _{Mn}	BOD	NH ₃ -N
肯斯瓦特	0.179	0.986	2.062
红山嘴	1.789	0.269	2.425

计算结果表明 ,在肯斯瓦特断面 3 种主要污染物中 ,高锰酸盐指数和生化需氧量均没有显著变化趋势 ,氨氮呈明显上升趋势。在红山嘴断面 3 种主要污染物中 ,生化需氧量没有显著变化趋势 ,高锰酸盐指数及氨氮有明显上升趋势。

3.2 污染物输送率趋势分析结果

根据流量资料 ,进行肯斯瓦特断面和红山嘴断面污染物输送率的趋势分析 ,得到统计量的计算结果(表 2)。从表 2 可以看到 ,肯斯瓦特断面的高锰酸盐指数及生化需氧量没有显著变化趋势 ,说明污染源中有机污染物总量没有显著变化 ,而氨氮呈显著上升趋势 ,说明污染源中含氮有机物浓度在不断增大。

表 2 肯德尔检验污染物输送率趋势分析统计量 Z 值

断面	COD _{Mn}	BOD	NH ₃ -N
肯斯瓦特	1.147	0.521	2.189
红山嘴	1.968	0.894	2.504

红山嘴断面的高锰酸盐指数和氨氮的污染物输送率都呈显著上升趋势 ,说明污染源中有机污染物和含氮有机物总量在持续增长之中。

3.3 流量校准污染物浓度趋势分析结果

对 $f(Q)$ 的 7 个公式分别进行回归分析 ,选择其中复相关系数最大的公式

$$f(Q) = a + bQ + cQ^2$$
及
$$f(Q) = a + bQ$$

作为流量校准方程的最终形式。表 3、表 4 为肯斯瓦特和红山嘴断面的流量校准方程及复相关系数。

表 3 肯斯瓦特断面流量校准的季节性肯德尔检验

水质指标	回归常数 a	回归系数 b	回归系数 c	复相关系数 R
COD _{Mn}	- 15.273 100	0.769 799	- 0.007 850	0.795 7
BOD	1.929 931	- 0.075 640	0.000 874	0.916 8
NH ₃ -N	0.607 895	- 0.028 250	0.000 398	0.834 0

注 流量校准方程为 $f(Q) = a + bQ + cQ^2$ 。

表 4 红山嘴断面流量校准的季节性肯德尔检验

水质指标	回归常数 a	回归系数 b	回归系数 c	复相关系数 R
COD _{Mn}	7.916 814	- 0.360 210	0.005 298	0.881 2
BOD	1.255 542	- 0.040 130	0.000 496	0.434 6
NH ₃ -N	- 0.179 370	0.007 078		0.711 3

注 ①高锰酸盐指数、生化需氧量流量校准方程为 $f(Q) = a + bQ + cQ^2$;②氨氮流量校准方程为 $f(Q) = a + bQ$ 。

根据流量校准方程进行流量校准浓度的计算 , 结果见表 5。然后进行流量校准的季节性肯德尔检验 , 结果见表 6。

表 5 流量校准浓度计算

年份	流量/ ($10^3 \cdot \text{L} \cdot \text{s}^{-1}$)		校准浓度/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)					
			COD _{Mn}		BOD		NH ₃ -N	
	肯斯瓦特	红山嘴	肯斯瓦特	红山嘴	肯斯瓦特	红山嘴	肯斯瓦特	红山嘴
1991	39.38	43.80	1.29	-1.09	0.053	-0.35	-0.04	0.07
1992	29.67	33.80	0.51	0.55	0.005	-0.06	-0.05	0
1993	35.20	37.80	-0.38	-0.31	0	0.09	0.10	-0.09
1994	38.89	40.50	-0.56	-0.34	0.07	-0.01	0.02	0.06
1995	37.25	40.40	-1.01	0.69	-0.08	0.20	-0.04	0.05
1996	46.71	48.60	0.34	-0.06	-0.01	0.14	-0.04	0.07
1997	46.54	46.14	-0.36	-0.26	-0.06	0.12	0.10	-0.10
1998	56.39	60.20	0.50	1.92	0.06	0.30	-0.11	0.04
1999	64.01	65.00	-0.28	-1.27	-0.02	-0.15	0.05	-0.02
2000		51.50		0.17		-0.28		-0.07

表 6 流量校准浓度趋势分析统计量 Z 值

断面	COD _{Mn}	BOD	NH ₃ -N
肯斯瓦特	-0.521	-0.938	0.313
红山嘴	0.537	0.537	-1.165

从表 6 中的结果可以看出 , 每个统计量的绝对值都没有超过 $Z_{1-\alpha/2} = 1.645$, 流量校准浓度均没有显著变化的趋势。但综合表 3、表 4、表 5、表 6 , 对照实测数据 , 污染物浓度与流量的相关性较高 , 浓度实测点均分布在浓度-流量曲线附近 , 残差系列随时间在零附近随机波动 , 说明浓度变化主要由流量变化导致 , 即在肯斯瓦特与红山嘴断面 , 造成污染的主要原因是由于面源污染 , 与实地调查分析结果也较为吻合。红山嘴断面以上 , 无重要的污染企业 , 但随着农业生产的发展 , 河流上游人类活动加剧 , 农药、化肥施用量增加 , 氨氮及含氮有机物污染总量在不断增加 , 需进行及时有效的总量控制。

4 水库水质变化趋势分析

4.1 蘑菇湖水库水质变化趋势

由于缺少流量数据 , 只有水库蓄水量 , 所以只进行污染物浓度趋势分析。取蘑菇湖水库水质监测指标中的 4 种主要污染物高锰酸盐指数、生化需氧量、挥发酚及总磷进行分析。对蘑菇湖水库的水质监测数据进行肯德尔检验 , 得到各污染物的统计量结果(表 7) , 可以看出各污染物均没有显著变化的趋势 , 说明蘑菇湖水库各污染物浓度基本稳定 , 没有太大的变化。

表 7 污染物浓度趋势分析统计量 Z 值

水库	COD _{Mn}	BOD	FN	TP
蘑菇湖	0.358	-0.894	1.252	1.438
大泉沟	-0.716	-1.431	2.061	0

4.2 大泉沟水库

大泉沟水库同蘑菇湖水库一样 , 只进行污染物浓度趋势分析 , 计算结果见表 7。除了挥发酚呈现上升趋势外 , 其他 3 个指标都没有明显变化趋势。分析结果说明 , 对大泉沟水库而言 , 必须首先对水库的挥发酚浓度进行控制。

5 结 论

a. 对于玛河 , 综合高锰酸盐指数、生化需氧量及氨氮 3 个污染指标趋势分析 , 肯斯瓦特断面高锰酸盐指数、生化需氧量浓度、污染物输送率及流量校准浓度均没有显著变化 , 氨氮浓度、污染物输送率呈上升趋势 , 流量校准浓度无变化趋势。这说明氨氮的污染在不断加剧中 , 不仅浓度增加 , 污染源总量也在增加 , 因此需要采取措施进行氨氮的总量控制。红山嘴断面的分析结果表明 , 高锰酸盐指数、氨氮浓度、污染物输送率都呈显著上升趋势 , 说明污染源中有机污染物和含氮有机物总量呈增长趋势 , 因此必须对污染源进行有机污染物和含氮有机物总量控制。

b. 对于蘑菇湖水库 , 经检验分析知各污染物浓度基本稳定 , 没有太大的变化 , 但由于总磷、总氮已经超标 , 水库水质达到 V 类 , 并处于富营养化阶段 , 生态功能极度受限 , 必须严格控制污染物入库 , 加大污染负荷消减力度。对大泉沟水库而言 , 必须首先对水库的挥发酚浓度进行控制。

参考文献 :

[1] 石河子市环境保护局. 新疆维吾尔自治区石河子环境质量报告书(1991 ~ 2000) [R]. 石河子 : 石河子市环境保护局 , 1996.

[2] 新疆生产建设兵团勘测规划设计研究院. 农八师石河子市水资源保护规划报告 [R]. 乌鲁木齐 : 新疆生产建设兵团勘测规划设计研究院 , 2003.

[3] 王淑香. 用肯德尔检验法对唐山市河流水质趋势进行分析 [J]. 水资源保护 , 1998 (3) : 30-34.

[4] 李怡庭 , 翁建华. 黄河干流重点河段水质变化趋势分析及水质管理对策探讨 [J]. 水文 , 2003 , 23 (5) : 16-19.

[5] 胡国华 , 唐忠旺 , 肖翔群. 季节性 Kendall 检验及其在三门峡水库水质趋势分析中的应用 [J]. 地理与地理信息科学 , 2004 , 20 (3) : 86-88.

[6] 陈静生 , 李荷碧 , 夏星辉 , 等. 近 30 年来黄河水质变化趋势及原因分析 [J]. 环境化学 , 2000 , 19 (2) : 97-102.

[7] 蔺学东 , 张锬镗 , 姚治君. 拉萨河流域近 50 年来径流变化趋势分析 [J]. 地理科学进展 , 2007 , 26 (3) : 58-67.

[8] 张伟 , 闫敏华 , 陈泮勤. 松嫩平原近 50 年来生长季降水资源特征分析 [J]. 干旱区资源与环境 , 2007 , 21 (10) : 73-79.

(收稿日期 : 2006-11-07 编辑 : 傅伟群)