

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.05.011

季节性 Kendall 检验法在滦河干流水质分析中的应用

郭丽峰¹, 郭勇², 罗阳², 张俊¹, 王乙震¹

(1. 海河流域水环境监测中心, 天津 300170; 2. 海河流域水资源保护局, 天津 300170)

摘要:应用季节性 Kendall 检验法分析滦河水质变化趋势, 并进行污染源识别。结果表明: 滦河干流 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 2 个指标的浓度、污染物输送率及流量调节浓度均没有明显变化; 通过流量调节后上下游各站点浓度变化趋势趋于一致, 同一站点 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的变化趋势也较一致, 流量调节浓度趋势分析能够更好地反映水质变化趋势。5 个监测站点中只有三道河子和乌龙砚 2 个断面的 COD_{Mn} 浓度出现小幅上升; 5 个监测站点 $\text{NH}_3\text{-N}$ 输送率均未出现上升趋势, 三道河子、乌龙砚和滦县 3 个监测站点 COD_{Mn} 输送率呈现上升趋势。郭家屯监测站点以上 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 主要受面源污染影响; 郭家屯以下的 4 个监测站点受点源和面源污染的双重影响, 以点源为主。总体上, 滦河干流水质有所好转, 污染源中含氮有机物浓度在不断降低或稳定不变, 有机污染物总量呈增长趋势。指出郭家屯监测站点以上要积极推进水土保持工作, 减少水土流失造成的面源污染; 滦河下游要加强对点源污染的治理。

关键词:季节性 Kendall 检验法; 水质变化; 趋势分析; 污染源识别; 滦河干流

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2014)05-0060-08

Application of seasonal Kendall test method to analysis of water quality in main stream of Luanhe River

GUO Lifeng¹, GUO Yong², LUO Yang², ZHANG Jun¹, WANG Yizhen¹

(1. Haihe River Basin Environment Monitoring Center, Tianjin 300170, China;

2. Water Resources Protection Bureau of Haihe River Basin, Tianjin 300170, China)

Abstract: The seasonal Kendall test method was used to analyze the change trend of water quality in the Luanhe River and identify the pollution source. The results show that the concentrations, pollutant transport rates, and flow control concentrations of COD_{Mn} and $\text{NH}_3\text{-N}$ do not display a significant change trend in the main stream of the Luanhe River. The change trends of concentrations upstream and downstream of the sites were consistent, and the same-site COD_{Mn} and $\text{NH}_3\text{-N}$ change trends were also consistent after flow control. Flow control concentration analysis can better reflect the change trend of water quality. Of the five monitoring stations, two stations, the Sandaohezi and Wulongji stations, had a slightly rising trend in COD_{Mn} concentration. The $\text{NH}_3\text{-N}$ transport rate showed no rising trend at any of the five monitoring stations. The COD_{Mn} transport rate showed a rising trend at the Sandaohezi, Wulongji, and Luanxian stations. COD_{Mn} and $\text{NH}_3\text{-N}$ above the Guojiatun Station were mainly affected by non-point source pollution. COD_{Mn} and $\text{NH}_3\text{-N}$ at the other four stations were affected by both point source pollution and non-point source pollution, with the point source pollution being dominant. As a whole, the water quality in the main stream of the Luanhe River has improved, the concentration of nitrogen organic matter in the pollution source is decreasing or remains unchanged, and the total amount of organic pollutant shows an increasing trend. Soil and water conservation must be enhanced to reduce the non-point source pollution caused by soil and water losses above the Guojiatun Station. The point source pollution in the lower reaches of the Luanhe River should be controlled.

Key words: seasonal Kendall test method; change of water quality; trend analysis; identification of pollution source; main stream of Luanhe River

滦河发源于河北省张家口市巴彦古尔图山北麓, 流经内蒙古正蓝旗、多伦县和河北省承德、唐山两市, 于河北省乐亭县兜网铺注入渤海湾^[1]。滦河全长 888 km, 流域面积 4.48 万 km^2 。白城子以上为

基金项目: 国家国际科技合作专项(2013DFA71340); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07203-002)

作者简介: 郭丽峰(1980—), 女, 工程师, 硕士, 主要从事水资源保护和环境监测、评价工作。E-mail: guolifeng912@163.com

滦河上游,称为闪电河;白城子以下至滦河河口为滦河中、下游,称为滦河。笔者以滦河干流中下游地区为研究对象,在滦河干流上选择郭家屯、三道河子、乌龙矶、滦县和姜各庄 5 个站点的 2007—2011 年水质监测资料,采用季节性 Kendall 检验方法对滦河干流地表水水质变化作趋势分析及污染源识别分析。

1 监测站点及参数选择

在滦河干流由上至下选择郭家屯、三道河子、乌龙矶、滦县和姜各庄 5 个监测站点进行分析研究,各站点基本情况和位置分别见表 1 和图 1。

表 1 滦河干流监测站点基本情况

测站名称	代表河段 起止断面	控制河长/ km	水质 目标	控制 城镇
郭家屯	白城子—郭家屯	169	Ⅲ	多伦—承德
三道河子	郭家屯—三道河子	100	Ⅲ	承 德
乌龙矶	三道河子—乌龙矶	71	Ⅲ	承 德
滦 县	乌龙矶—滦县	107	Ⅲ	承德—唐山
姜各庄	滦县—河口	63	Ⅲ	秦皇岛
合 计		510		

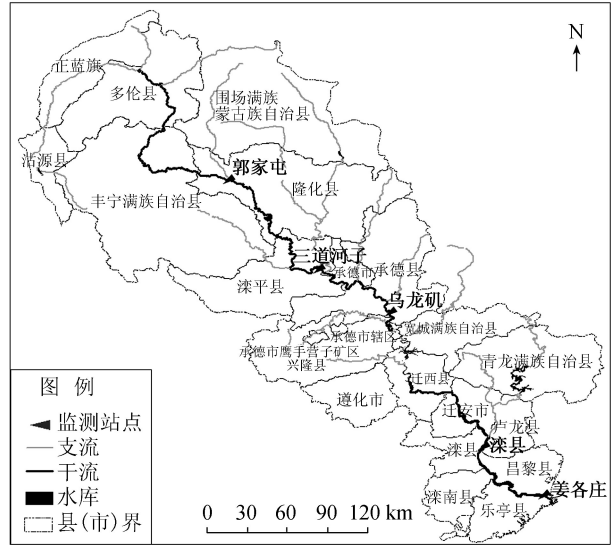


图 1 滦河干流监测点位置示意图

水利部海河水利委员会发布的《海河流域水资源质量公报》(表 2)表明:2007—2011 年滦河干流存在不同程度的水污染,主要污染指标为 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。因此,笔者选取可以反映滦河干流水污染特点的 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 作为水质变化趋势分析的指标。

趋势分析中水质序列的长短对趋势检验有很大影响,过短的水质序列(如 2a 或 3a)不能准确判定是否存在趋势,选择过长的水质序列则会出现一种趋势掩盖或抵消另一种趋势的现象。一般认为,用季节性 Kendall 检验判断水质趋势时,序列长短选择 5~8 a 为宜^[24]。因此,研究采用了上述 5 个站点 2007—2011 年的水质监测资料,其中郭家屯、乌龙矶和滦县站每年监测 12 次,三道河子站每年监测 6 次,姜各庄站每年监测 4 次。

2 季节性 Kendall 检验法

2.1 季节性 Kendall 检验法的原理

季节性 Kendall 检验是 Mann-Kendall 检验^[5-6]的一种推广,1982 年由 Rebert 等^[7]提出,并由 Smith 等^[8]和 Van 等^[2]做了进一步的修正。该检验是一种仅考虑数据相对排列的非参数检验方法,其主要优点是不受水质资料的非正态性、季节性变化、流量相关、出现漏测值或小于检测线值等的影响^[9]。该检验方法的思路是:利用多年收集的数据,分别计算各季节(或月份)的 Mann-Kendall 检验统计量 S 及方差 $\text{var}(S)$,再把各季节(或月份)的统计量相加,计算总统计量。如果季节数或月数足够大,就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。

季节性 Kendall 检验的原理是将历年相同月或季的水质资料进行比较,如果后面的值(在时间上)高于前面的值记为“+”号,否则记为“-”号。如正号的个数比负号的多,则可能为上升趋势;反之,则可能为下降趋势。如果水质资料不存在上升或下降趋势,则正、负号的个数相等。大多数河流流量具有周期性变化的特点(如汛期水量较大,而枯水期水量较小),河流中污染物浓度大多受流量周期性变化的影响,因此,将汛期与枯水期的水质资料进行比较,会缺乏可比性。季节性 Kendall 检验将水质资料在历年相同月份间进行比较,从而避免了季节性的影响。同时,由于数据比较只考虑相对排列而不考虑其大小,故能避免水质资料中常见的漏测值问题。

2.2 季节性 Kendall 检验的数学模型^[10-13]

对于季节性 Kendall 检验来说,假设 H_0 为随机

表 2 滦河主要监测站点水质状况

测站名称	水质目标	2007 年		2008 年		2009 年		2010 年		2011 年	
		水质类别	主要超标项目	水质类别	主要超标项目	水质类别	主要超标项目	水质类别	主要超标项目	水质类别	主要超标项目
郭家屯	Ⅲ	Ⅳ	COD_{Mn}	Ⅳ	COD_{Mn}	Ⅲ		Ⅳ	COD_{Mn}	Ⅳ	COD_{Mn}
三道河子	Ⅲ	Ⅲ		Ⅲ		Ⅲ		Ⅳ	COD_{Mn}	Ⅲ	
乌龙矶	Ⅲ	劣 V	$\text{NH}_3\text{-N}$	劣 V	$\text{NH}_3\text{-N}$	劣 V	$\text{NH}_3\text{-N}$	劣 V	$\text{NH}_3\text{-N}$	劣 V	$\text{NH}_3\text{-N}$

变量,与时间独立,且全年 12 个月的水质资料具有相同的概率分布。设有 n 年 P 月的水质观测资料序列 X 为

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

式中: x_{ij} 为水质实测浓度月均值, $i=1,2,\cdots,w;j=1,2,\cdots,p$ 。

2.2.1 对于 p 月中第 i 月($i\leq p$)的情况

令第 i 月历年水质序列值相比较(后面的数与前面的数之差)的正负号之和 S_i 为

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

$$\text{其中 } \text{sgn}(x_{ij} - x_{ik}) = \begin{cases} 1 & \text{当}(x_{ij} - x_{ik}) > 0 \\ 0 & \text{当}(x_{ij} - x_{ik}) = 0 \\ -1 & \text{当}(x_{ij} - x_{ik}) < 0 \end{cases}$$

由此,第 i 月内可作比较的差值数据组个数 m_i 为

$$m_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n |\text{sgn}(x_{ij} - x_{ik})| \tag{3}$$

在零假设下,随机序列 $S_i=(1,2,\cdots,p)$ 近似地服从正态分布,则 S_i 的均值和方差分别为

$$\begin{cases} E(S_i) = 0 \\ \sigma_i^2 = \text{var}(S_i) = \frac{1}{18}[n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)] \end{cases} \tag{4}$$

式中: n_i 为第 i 月内水质序列中非漏测值个数,当 n_i 个非漏测值中有 t 个数相同,则方差 σ_i^2 的计算式变为

$$\sigma_i^2 = \text{var}(S_i) = \frac{1}{18}[n_i(n_i - 1)(2n_i + 5) - \sum t(t - 1)(2t + 5)] \tag{5}$$

2.2.2 对于 P 月的总体情况

令 $S = \sum_{i=1}^p S_i, m = \sum_{i=1}^p m_i$, 在零假设下, P 月 S 的均值和方差为

$$\begin{cases} E(S) = \sum_{i=1}^p E(S_i) = 0 \\ \sigma^2 = \text{var}(S) = \sum_{i=1}^p \frac{1}{18}[n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)] \end{cases} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \text{当 } n \text{ 年水质序列中有 } t \text{ 个数相同时,同样有:} \\ \sigma^2 = \text{var}(S) = \sum_{i=1}^p \frac{1}{18}[n_i(n_i - 1)(2n_i + 5) - \sum t(t - 1)(2t + 5)] \end{aligned} \tag{7}$$

Kendall 发现,当 $n>10$ 时, S 也服从正态分布,

并且标准方差为

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{当 } S > 0 \\ 0 & \text{当 } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{当 } S < 0 \end{cases} \tag{8}$$

2.2.3 趋势检验

Kendall 检验统计量 λ 定义为: $\lambda = \frac{S}{m}$ 。因此,在双尾趋势检验中,对于给定的趋势检验显著性水平 α ,如果 $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$,则接受零假设。这里 $FN(Z_{\alpha/2}) = \alpha/2$, FN 为标准正态分布函数,即,

$$FN = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{|Z|}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt \tag{9}$$

取显著性水平 α 为 0.1 和 0.01^[14-15],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。当 α 计算结果满足上述两条件情况下, τ 为正时,则说明具有显著(或高度显著性)上升趋势; τ 为负时,则说明具有显著(或高度显著性)下降趋势; τ 为零时,则无趋势。查标准正态分布表可知,当 $\alpha=0.1$ 时, $Z_{1-\alpha/2} = 1.6499$;当 $\alpha=0.01$ 时, $Z_{1-\alpha/2} = 2.5758$ 。监测断面水质变化趋势的显著性可根据显著性水平 α 或 $|Z|$ 确定(表 3)。水质变化趋势分析结果分为三类五级,三类为上升、下降和无趋势,五级为高度显著上升、显著上升、无趋势、显著下降和高度显著下降^[16-17]。

表 3 显著性水平的确定

α	$ Z $	显著性水平
≤ 0.01	≥ 2.5758	高度显著
$(0.01 \quad 0.1]$	$[1.6499 \quad 2.5758]$	显 著
>0.1	<1.6499	不显著

2.3 流量调节方法

河流流量对水质具有一定的影响。一般情况下,当河流污染以点源为主时,水质状况将因流量增加产生的稀释作用而呈现好转趋势,当河流污染以面源为主时,水质状况将随着流量增加而呈现下降的趋势。通过流量与浓度的相关关系,可以判断污染物的来源,进而间接地判断污染的类型(面源污染或点源污染)。流量调节浓度变化趋势分析从下列公式中选择流量与浓度相关性最好的一组进行分析^[18]:

$$\rho = a + bQ \tag{10}$$

$$\rho = a + bQ + cQ^2 \tag{11}$$

$$\rho = a + b \ln Q \tag{12}$$

$$\rho = a + b/Q \tag{13}$$

$$\rho = ae^{bQ} + c \tag{14}$$

$$\rho = aQ^b \tag{15}$$

式中: ρ 为某水质指标的质量浓度,mg/L; Q 为流量, m^3/s ; a 、 b 、 c 为系数。

3 结果与讨论

水质变化趋势分析主要包括水质浓度的趋势分析、污染物输送率的趋势分析和流量调节污染物浓度的趋势分析。滦河干流水质浓度趋势分析主要通过 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 实测浓度的变化来反映;污染物

输送率(污染物浓度与同步流量之乘积)趋势分析是通过污染物输送率的变化趋势,判断污染总量的增减情况;流量调节污染物浓度趋势分析则是通过流量与浓度的相关关系,判断污染物的主要来源。

3.1 水质浓度趋势分析

滦河干流各监测站点 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 实测浓度过程线见图 2、图 3。从图 2、图 3 可见,除姜各庄

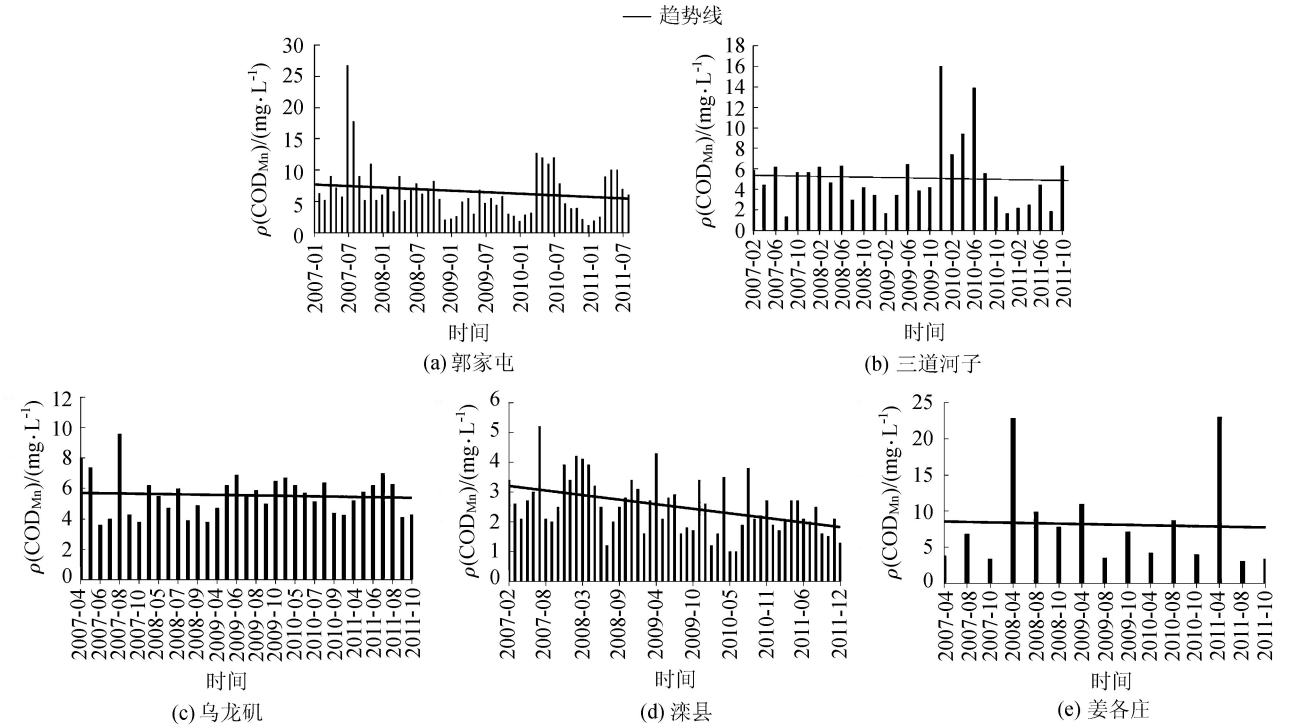


图 2 各监测站点 COD_{Mn} 实测质量浓度过程线及趋势线

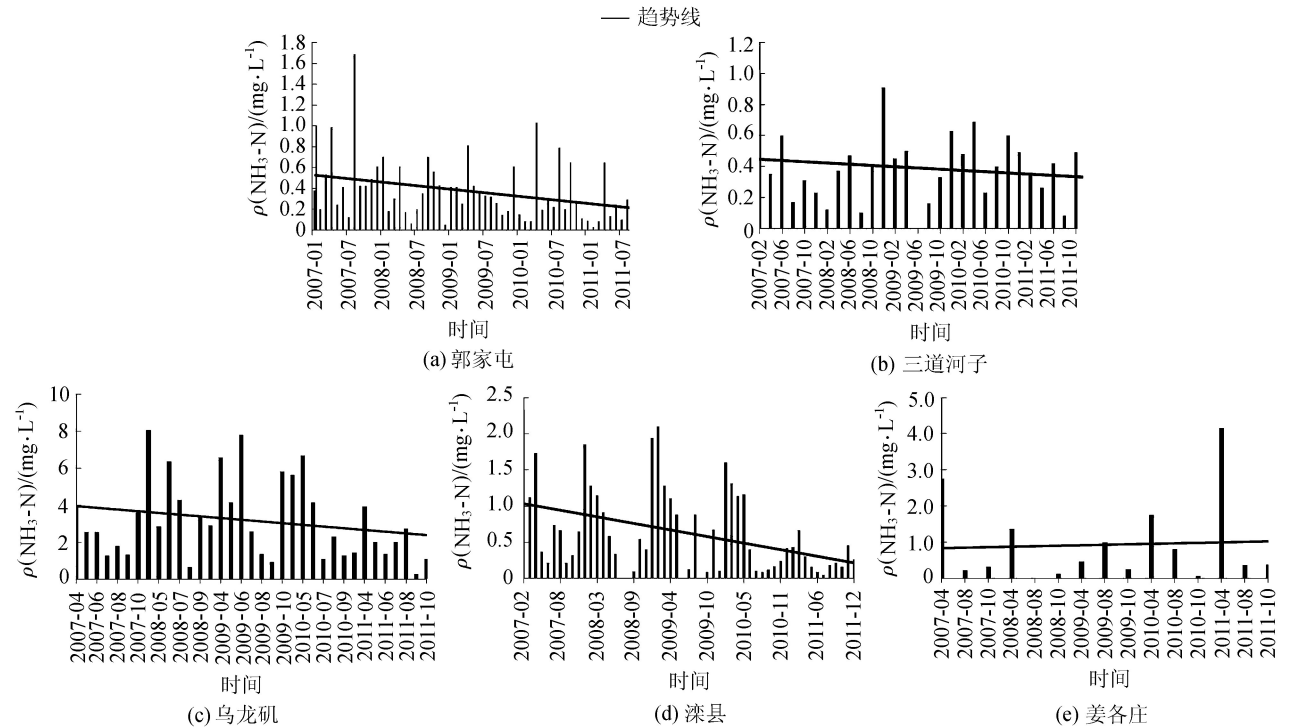


图 3 各监测站点 $\text{NH}_3\text{-N}$ 实测质量浓度过程线及趋势线

COD_{Mn}和NH₃-N浓度总体呈现下降趋势,其中郭家屯和滦县站点下降较明显;各站点COD_{Mn}和NH₃-N浓度呈上下波动状态,郭家屯、三道河子监测站点的COD_{Mn}和NH₃-N质量浓度分别在5 mg/L和0.5 mg/L上下波动,乌龙矾站点的NH₃-N质量浓度较高,约为3.0 mg/L上下,其他各站点均在1.0 mg/L上下波动;郭家屯监测站点COD_{Mn}和NH₃-N浓度的最高值均出现在汛期,其他4个监测站点质量浓度的最高值基本均出现在非汛期。

经统计计算,滦河干流5个监测站点COD_{Mn}和NH₃-N质量浓度变化趋势结果见表4。由于资料年限的系列长度完全符合季节性Kendall检验方法的要求,所选择的检验参数反映了滦河干流水质污染特点,并代表了滦河干流的主要污染物,因此认为分析检验结果是可信的。通过检验可知:5个监测站点COD_{Mn}和NH₃-N的标准方差|Z|均小于1.6499,表明2007—2011年5个监测站点COD_{Mn}和NH₃-N的浓度均未发生显著性变化;多数站点和项目呈现下降或无趋势,只有三道河子和乌龙矾2个监测站点的COD_{Mn}浓度出现小幅上升,说明滦河干流水质总体上有所好转。

表4 2007—2011年滦河干流5个监测站点COD_{Mn}、NH₃-N浓度变化趋势

测站名称	主要参数	var(S)	S	Z	变化趋势
郭家屯	COD _{Mn}	200	-12	-0.778	下降
	NH ₃ -N	200	-14	-0.919	下降
三道河子	COD _{Mn}	100	4	0.300	上升
	NH ₃ -N	100	0	0	无趋势
乌龙矾	COD _{Mn}	117	2	0.093	上升
	NH ₃ -N	117	0	0	无趋势
滦县	COD _{Mn}	183	-8	-0.517	下降
	NH ₃ -N	183	0	0	无趋势
姜各庄	COD _{Mn}	50	-2	-0.141	下降
	NH ₃ -N	50	-2	-0.141	下降

3.2 污染物输送率趋势分析

根据2007—2011年月平均流量资料,对滦河干流5个监测站点进行污染物输送率变化趋势分析。由表5可见,5个监测站点COD_{Mn}和NH₃-N输送率的标准方差|Z|均小于1.6499,表明2007—2011年污染物COD_{Mn}和NH₃-N总量没有发生显著变化趋势;5个监测站点NH₃-N呈下降或无变化趋势,三道河子、乌龙矾和滦县3个监测站点的COD_{Mn}呈上升趋势。这个结果与前面的水质浓度变化趋势结果基本一致。

3.3 流量调节污染物浓度趋势分析

应用origin软件,采用流量调节浓度计算公式对5个监测站点的COD_{Mn}和NH₃-N浓度与流量进

行回归分析,选择其中相关系数r最(较)大的流量调节方程进行流量调节浓度计算和季节性Kendall流量调节浓度检验,从而判断水质变化与流量的关系。2007—2011年滦河干流流量调节浓度变化趋势见表6,流量调节方程及相关系数见表7,各监测站点流量浓度关系见图4、图5。

表5 2007—2011年滦河干流污染物输送率变化趋势

测站名称	主要参数	var(S)	S	Z	变化趋势
郭家屯	COD _{Mn}	200	-10	-0.636	下降
	NH ₃ -N	200	-8	-0.495	下降
三道河子	COD _{Mn}	100	2	0.100	上升
	NH ₃ -N	100	0	0	无趋势
乌龙矾	COD _{Mn}	117	4	0.278	上升
	NH ₃ -N	117	-2	-0.093	下降
滦县	COD _{Mn}	183	2	0.074	上升
	NH ₃ -N	183	-8	-0.517	下降
姜各庄	COD _{Mn}	50	0	0	无趋势
	NH ₃ -N	50	0	0	无趋势

表6 2007—2011年滦河干流流量调节浓度变化趋势

测站名称	主要参数	var(S)	S	Z	变化趋势
郭家屯	COD _{Mn}	200	0	-0.071	无趋势
	NH ₃ -N	200	0	-0.071	无趋势
三道河子	COD _{Mn}	100	-6	-0.700	下降
	NH ₃ -N	100	-4	-0.500	下降
乌龙矾	COD _{Mn}	117	-6	-0.648	下降
	NH ₃ -N	117	-8	-0.833	下降
滦县	COD _{Mn}	183	4	0.222	上升
	NH ₃ -N	183	-4	-0.369	下降
姜各庄	COD _{Mn}	50	-4	-0.707	下降
	NH ₃ -N	50	-4	-0.707	下降

表7 2007—2011年滦河干流各监测站点流量调节方程及相关系数

测站名称	主要参数	公式	a	b	c	r
郭家屯	COD _{Mn}	$\rho=aQ^b$	3.8	0.29		0.6
	NH ₃ -N	$\rho=aQ^b$	0.2	0.22		0.6
三道河子	COD _{Mn}	$\rho=ae^{bQ}+c$	6.0	-0.11	3.00	0.4
	NH ₃ -N	$\rho=ae^{bQ}+c$	0.6	-0.14	0.20	0.5
乌龙矾	COD _{Mn}	$\rho=ae^{bQ}+c$	5.0	-0.05	3.00	0.4
	NH ₃ -N	$\rho=ae^{bQ}+c$	7.0	-0.05	2.00	0.4
滦县	COD _{Mn}	$\rho=ae^{bQ}+c$	4.0	-0.07	0.60	0.3
	NH ₃ -N	$\rho=ae^{bQ}+c$	3.0	-0.25	0.30	0.7
姜各庄	COD _{Mn}	$\rho=ae^{bQ}+c$	89.7	-0.26	4.30	0.9
	NH ₃ -N	$\rho=ae^{bQ}+c$	6.0	-0.25	0.30	0.7

计算结果表明:5个监测站点COD_{Mn}和NH₃-N调节浓度的标准方差|Z|均小于1.6499,说明流量调节浓度均没有显著变化趋势,总体上呈现下降趋势;通过流量调节后上下游各站点浓度变化趋势趋于一致,同一站点COD_{Mn}和NH₃-N的变化趋势也较

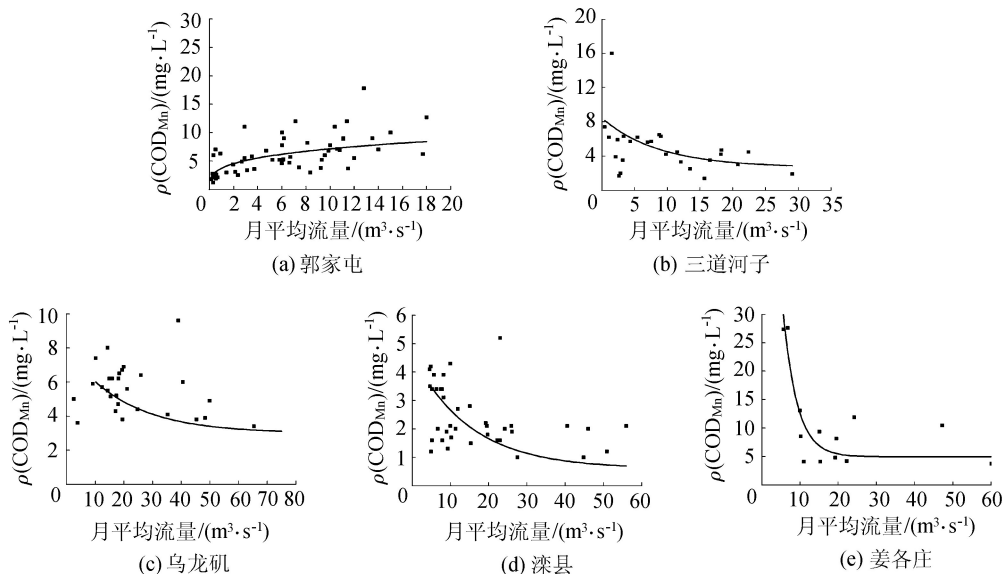


图4 2007—2011 年滦河干流各监测站点流量与 COD_{Mn} 质量浓度关系

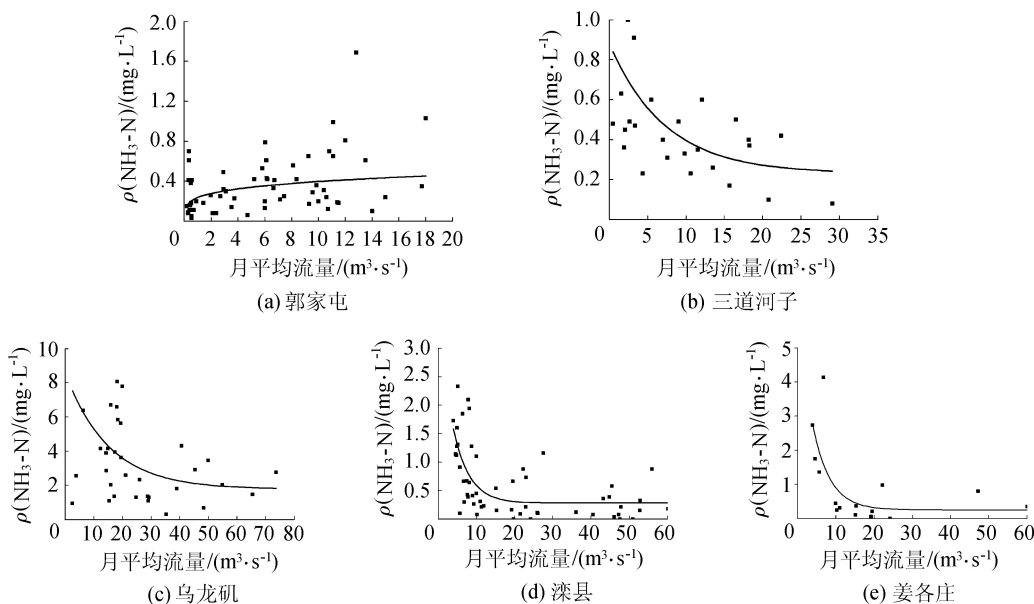


图5 2007—2011 年滦河干流各监测站点流量与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度关系

前面的结果一致。与前面的结果相比,本结果更明确地表明了近几年水质改善的情况,说明流量调节浓度趋势分析能够更好地反映水质变化趋势。

3.4 污染源识别分析

从图4、图5可以看出,郭家屯监测站点呈现明显的面源污染特点,污染物浓度随流量增大而增大,而其他4个监测站点呈现点源污染的特点,总体上污染物浓度随着流量增大而降低,其中姜各庄站和滦县站的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 较为明显,相关系数达到0.7以上。这与实际情况吻合。郭家屯站点以上主要是内蒙古的多伦县和河北承德的围场满族蒙古族自治县、隆化县,该区域无重要的污染企业,点污染源入河量较少,2007年废污水入河量为零,2010年废污水入河量为0.063亿t/a,加之该区多为山区峡谷,

绝大部分为石质山区,土层较薄,植被差,水土流失严重。另外,郭家屯监测站点 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度的最高值出现在汛期,因此,面源污染是其主要来源。

三道河子和乌龙矶主要接纳承德市隆化县、滦平县、承德市区以及承德县排污,2007年和2010年排入滦河干流的废污水量分别为0.22亿t/a和0.70亿t/a, COD 入河量分别为0.52万t/a和0.23万t/a, $\text{NH}_3\text{-N}$ 入河量分别为0.04万t/a和0.17万t/a。相应的水功能区 COD 纳污能力分别为0.12万t/a和0.34万t/a, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的纳污能力分别为0.006万t/a和0.015万t/a,可见 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 入河量大于水功能区的纳污能力。2007年入河废污水中 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度分别为233mg/L和

19 mg/L,2010 年分别为 32 mg/L 和 24 mg/L,COD 浓度大幅度下降;滦县和姜各庄监测站主要接纳唐山市迁西县、迁安县、滦县和滦南县排污,2007 年和 2010 年排入滦河干流的废污水量分别为 1.27 亿 t/a 和 1.00 亿 t/a, COD 入河量分别为 2.02 万 t/a 和 1.41 万 t/a,NH₃-N 入河量分别为 0.10 万 t/a 和 0.02 万 t/a。相应的水功能区 COD 纳污能力分别为 1.38 万 t/a 和 0.13 万 t/a,NH₃-N 纳污能力分别为 0.13 万 t/a 和 0.006 万 t/a,COD 和 NH₃-N 入河量大于水功能区的纳污能力。2007 年入河废污水中 COD 和 NH₃-N 质量浓度分别为 159 mg/L、8 mg/L,2010 年分别为 140 mg/L、2 mg/L,NH₃-N 浓度显著下降。另外,三道河子、乌龙矶、滦县和姜各庄监测站点 COD_{Mn} 和 NH₃-N 浓度的最高值基本均出现在非汛期。因此郭家屯以下的 4 个监测站点受点源和面源污染的双重影响,以点源为主。

本研所得结论与高立川^[19]的结论一致。滦河水质好转,得益于承德、唐山两市加大了水污染防治力度,一批污水处理厂相继建成投产,使生活污水得到收集并有效处理;也得益于开展了农村环境卫生综合整治工程,使农村生活污水和生活垃圾初步得到处理。

4 结 论

a. 滦河干流 2007—2011 年 COD_{Mn} 和 NH₃-N 2 个污染指标的浓度、污染物输送率及流量调节浓度均没有明显变化。

b. 5 个监测站点中只有三道河子和乌龙矶 2 个断面的 COD_{Mn} 浓度出现小幅上升。总体上看,滦河干流水质有所好转。

c. 5 个监测站点 NH₃-N 输送率均未出现上升趋势,污染源中含氮有机物浓度在不断降低或稳定不变;三道河子、乌龙矶和滦县 3 个监测站点 COD_{Mn} 输送率呈现上升趋势,污染源中有机污染物总量呈增长趋势,因此必须对污染源进行有机污染物总量控制。

d. 通过流量调节后上下游各站点浓度变化趋势趋于一致,同一站点 COD_{Mn} 和 NH₃-N 的变化趋势也较一致,流量调节浓度趋势分析能够更好地反映水质变化趋势。

e. 水质变化是点源和面源综合作用的结果,郭家屯监测站点以上 COD_{Mn} 和 NH₃-N 主要受面源污染影响,郭家屯以下的 4 个监测站点受点源和面源污染的双重影响,以点源为主。郭家屯监测站点以上要积极推进水土保持工作,加强小流域综合治理,依法保护好现有森林、草原等植被,有计划地进行封

山育林育草、轮封轮牧,减少水土流失造成的面源污染;滦河下游要加强对点源污染的治理,调整产业结构,积极推进清洁生产,实施工业污染物总量控制。

参考文献:

[1] 王刚,严登华,黄站峰,等. 滦河流域径流的长期演变规律及其驱动因子[J]. 干旱区研究,2011,28(6):998-1044. (WANG Gang, YAN Denghuang, HUANG Zhanfeng, et al. Analysis on the long-term evolution of runoff volume and its affecting factors in the Luanhe River Basin[J]. Arid Zone Research,2011,28(6):998-1044. (in Chinese))

[2] VAN B G, HU GHES J P. Nonparametric tests for trend in water quality [J]. Water Resources Research, 1984, 20 (1):127-136.

[3] 王敦春. 水质系统信息识别与评价方法研究[D]. 武汉:武汉水利电力大学,1996.

[4] 李建国,王永福,郭祥云,等. 季节性 Kendall 检验法在白洋淀水质趋势分析中的应用研究[J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3 (6): 36-38. (LI Jianguo, WANG Yongfu, GUO Xiangyun, et al. Seasonal Kendall test in water quality trend analysis of the Baiyangdian Lake[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3 (6): 36-38. (in Chinese))

[5] KENDALL M G. Rank correlation methods[M]. London: Charles Griffin, 1975.

[6] KENDALL M G, STUART A. The advanced theory of statistics[M]. London: Charles Griffin, 1973.

[7] REBERT M H, JAMES R S, RICHARD A S. Techniques of trend analysis for monthly water quality data[J]. Water Resources Research, 1982, 18(1):107-121.

[8] SMITH R A, REBERT M H, JAMES R S. A study of trends in total phosphorus measurements at NASQAN stations [C]//Reston: U S Geological Survey Water-Supply, 1982.

[9] 孙松. 季节性 Kendall 检验法在黄坛水库水质趋势分析中的应用[J]. 广州环境科学, 2011, 26(6): 31-33. (SUN Song. Application of the Seasonal Kendall test method in water quality tendency analysis of Huangtan Reservoir[J]. Guangzhou Environmental Science, 2011, 26(6): 31-33. (in Chinese))

[10] 鞠伟,郝达平. 淮安市地表水水质变化趋势分析[J]. 水资源保护, 2011, 27 (4): 35-37. (JU Wei, HAO Daping. Analysis of change tendency of surface water quality in Huai'an City[J]. Water Resources Protection, 2011, 27(4): 35-37. (in Chinese))

[11] 李俊峰,盛东,程晓如,等. 玛纳斯河流域水质变化趋势分析[J]. 水资源保护, 2008, 24 (4): 10-13. (LI Junfeng, SHENG Dong, CHENG Xiaoru, et al. Water quality trends in the Manas River Basin [J]. Water

Resources Protection, 2008, 24 (4): 10-13. (in Chinese))

[12] 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. (HU Guohua, TANG Zhongwang, XIAO Xiangqun. Trend analysis of water quality of Sanmenxia Reservoir of the Yellow River[J]. Geography and Geo-information Science, 2004, 20 (3): 86-88. (in Chinese))

[13] 韦兴荷. 邕江南宁市区段水质时空变化规律分析[J]. 水资源保护, 2005, 21 (6): 49-52. (WEI Xinghe. Analysis of the space time variation rule of the water quality in Nanning section of the Yongjiang River [J]. Water Resources Protection, 2005, 21 (6): 49-52. (in Chinese))

[14] 林超,张素亭. 水质趋势分析的肯德尔检验及其应用[J]. 海河水利, 1988 (4): 13-18. (LIN Chao, ZHANG suting. The seasonal Kendall' s test method and apply in water quality tendency [J]. Haihe Water Resources, 1988 (4): 13-18. (in Chinese))

[15] 黄丹,何新林,杨广,等. 玛纳斯河流域地表水水质时空变化趋势的分析[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2012, 30 (6): 749-754. (HUANG Dan, HE Xinlin, YANG Guang, et al. Temporal and spatial analysis of surface water quality in Manas River Basin [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2012, 30 (6): 749-754. (in Chinese))

[16] 米武娟. 区域地表水水环境质量评价研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.

[17] 彭文启. 现代水环境质量评价理论与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 160-165.

[18] SL395—2007 地表水资源质量评价技术规程[S].

[19] 高立川. 承德市水环境现状及保护措施初步探讨[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2012, 9 (3): 28-31. (GAO Lichuan. Discussion on present situation of water environment and its protective measures in Chengde City [J]. Journal of Hebei Engineering and Technical college, 2012, 9 (3): 28-31. (in Chinese))

(收稿日期: 2014 - 01 - 24 编辑: 徐 娟)

欢迎订阅《水资源保护》杂志

中国科技核心期刊 RCCSE 核心期刊
ISSN 1004-6933 CN 32-1356/TV

《水资源保护》是由河海大学和中国水利学会环境水利专业委员会主办的科技期刊。该期刊针对我国水资源短缺、用水效率不高、水污染严重等突出问题,探讨水资源保护工作中的基础研究、防治技术、宏观管理及水环境治理问题,重点关注水环境、水资源和大江大湖的环境生态问题和可持续发展问题。主要栏目有科学研究、应用技术、综合述评、管理研究等。

《水资源保护》是中国学术期刊综合评价数据库来源期刊、中国核心期刊(遴选)数据库统计源期刊,已被美国化学文摘(CA)数据库、美国《剑桥科学文摘》(CSA)数据库、波兰哥白尼索引(IC)数据库、中国期刊网、中国数字化期刊群、水信息网、北极星网、中华期刊网、中文科技期刊数据库(VIP)、中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)等收录和引用,长期以来一直都是水利界和环保部门备受关注的重点期刊,2012 年被教育部科技司授予“中国高校特色科技期刊”称号。

《水资源保护》主要读者对象为全国从事与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校师生,邮发代号:28-298,双月刊,96 页,12 元/期,全年共计 72 元,每逢单月 20 日出版。可向当地邮局订阅,若无法从邮局订阅,亦可在本刊网站下载征订单。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 河海大学《水资源保护》编辑部

邮政编码:210098

电话/传真:(025)83786642

E-mail:bh1985@vip.163.com; bh@hhu.edu.cn

http://kbb.hhu.edu.cn/web/indexbh.asp? d_id=37