

文章编号:1004-8227(2011)04-0475-07

# 南四湖入湖重点污染河流筛选与水环境问题分析

武周虎, 张晓波, 张芳园

(青岛理工大学环境与市政工程学院, 山东 青岛 266033)

**摘要:**根据南四湖主要河流入湖口水质空间分布监测数据,按平均综合污染指数  $P_j > 2$  的标准共筛选出洸府河和薛城小沙河等 17 条重污染河流,这些河流 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN 的单项污染贡献率平均值依次为 45.5%、76.3%、86.4%,说明南四湖 TN 和 TP 主要来自于重污染河流, COD<sub>Cr</sub>、TP、TN 的单项污染分担率平均值依次为 22.7%、15.4%、61.9%,说明南四湖的首要入湖污染物是 TN,其次是 COD<sub>Cr</sub> 和 TP。给出了南四湖湖东区入湖河口 NH<sub>3</sub>-N 与 TN 的线性回归方程,受湖西与湖东地形地势、河流形态、水力停留时间以及水体中 pH、SS、叶绿素 a 等多种因素的影响,湖西比湖东河流的硝化过程较完全,湖西区和湖东区入湖河口氨氮与总氮的平均比值分别为 0.25 和 0.65。分析表明,重污染河流的汇水区域一般都在主要城镇和工矿区分布, COD<sub>Cr</sub> 和氮污染物主要来自于工业和城市生活等点污染源,磷污染物主要来自于部分工业行业。因此,加强南四湖流域的工业结构调整、重点企业截污和城市污水处理厂脱氮除磷等点源控制措施仍是重中之重。

**关键词:**南水北调;南四湖;入湖河流;重污染筛选;水质评价;水环境问题分析

**文献标识码:**A

南四湖是南水北调东线工程重要的输水通道和调蓄湖泊,南水北调东线一期工程 2002 年开工建设,通水时间调整为 2013 年,要求到 2012 年底输水干线水质稳定达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中 III 类标准。该工程能否顺利通水,治污是关键。沿线水质保障的重点是南四湖,其水质状况一直受到人们的广泛关注<sup>[1~6]</sup>。

国内外对河流水环境质量现状调查与评价的研究成果很多,一般都是针对各自的流域特点和存在与关注的环境问题,提出其调查及评价方法<sup>[7~13]</sup>。本文根据南四湖主要河流入湖口 2006 年秋和 2007 年春水质空间分布的两次监测数据,选择影响湖泊水环境的主要水质指标:化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)和总氮(TN),采用平均综合污染指数法进行水质评价、重污染河流的筛选、分区域和分测次的归纳统计、比较与水环境问题分析,针对存在的突出水环境问题,提出相应的对策建议。

## 1 流域概况及采样点

南四湖位于淮河沂沭泗流域西部,是南阳湖、独

山湖、昭阳湖和微山湖 4 个由西北向东南相连而成湖泊的总称,南北狭长,湖盆浅平,北高南低。二级闸坝枢纽工程位于南四湖中部将其分成上级湖(北)和下级湖(南),天然情况是上级湖经二级闸泄水入下级湖再经韩庄运河和不牢河入中运河,而南水北调输水是由下级湖南端进入、经二级坝泵站、由上级湖北端入梁济运河。

南四湖总流域面积 31 700 km<sup>2</sup>(山东省流域面积 25 700 km<sup>2</sup>),其中上级湖流域面积占 27 500 km<sup>2</sup>,占全流域的 86.8%;下级湖流域面积为 4 200 km<sup>2</sup>,占全流域的 13.2%。南四湖东、西、北三面承接苏、鲁、豫、皖 4 省 32 县(市、区)53 条河流的来水。南四湖水质空间分布监测的主要河流入湖口 34 个,其中上级湖 22 个,下级湖 12 个,湖东 16 个,湖西 18 个。采样点编号、点位及河流分区参见图 1 和表 1。

## 2 重污染河流筛选与分析

### 2.1 平均综合污染指数

平均综合污染指数评价是以单项污染指数为基

收稿日期:2010-05-19;修回日期:2010-08-13

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07210-007)

作者简介:武周虎(1959~),男,陕西省岐山人,教授,硕士,主要从事水环境与水污染防治研究。E-mail: wu\_zh2008@yahoo.com.cn

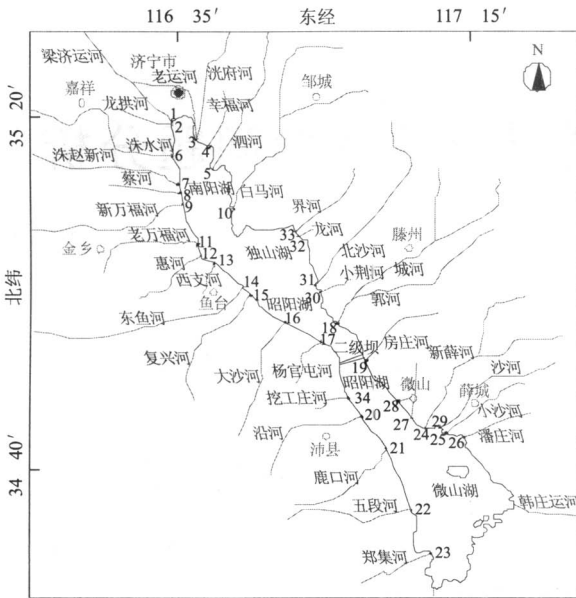


图 1 南四湖主要河流入湖口采样点位及编号  
Fig. 1 Monitoring Stations' Locations and Index in Main Inflow Estuary of Nansi Lake

表 1 南四湖主要河流入湖口采样点编号及河流分区\*  
Tab. 1 Monitoring Stations' Index and Partitions in Main Inflow Estuary of Nansi Lake

上级湖西		上级湖东		下级湖西		下级湖东	
编号	河名	编号	河名	编号	河名	编号	河名
1	梁济运河	3	洸府河**	20	沿河	19	房庄河
2	龙拱河	4	幸福河	21	鹿口河	24	新薛河
6	洙水河	5	泗河	22	五段河	25	薛城小沙河
7	洙赵新河	10	白马河	23	郑集河	26	潘庄河
8	蔡河	18	城郭河	34	挖工庄河	27	小新河
9	新万福河	30	小荆河			28	夏镇航运河
11	老万福河	31	北沙河			29	薛城沙河
12	惠河	32	龙河				
13	西支河	33	界河				
14	东鱼河						
15	复兴河						
16	大沙河						
17	杨官屯河						

注:\* 2006 年 10 月 31 日~11 月 4 日(秋季)监测 1~26#;2007 年 4 月 23 日~4 月 28 日(春季)监测 1~34#; \*\* 洸府河和老运河为同一入湖口, 论文中对洸府河入湖口的水质监测分析与水环境问题分析也适用于老运河。

础, 采用主要水质指标单项污染指数的平均值进行评价<sup>[8-10]</sup>。通过公式计算各河流入湖河口的平均综合污染指数, 按其数值大小判断各河流的污染程度, 排序筛选重污染河流, 按主要水质指标的单项污染分担率和单项污染贡献率确定南四湖的主要入湖污染物及其来源。

单项污染指数:

$$P_{ij} = C_{ij} / C_{si} \quad (1)$$

平均综合污染指数:

$$P_j = \frac{1}{n} \sum_i P_{ij} \quad (2)$$

所有监测河口的单项污染分担率, 即: 单项污染物占参与评价的所有污染物比率:

$$K_i = \frac{1}{n} \sum_j P_{ij} / \sum_j P_j \times 100\% \quad (3)$$

重污染河流的单项污染贡献率, 即: 重污染河流占所有监测河口相应污染物的比率:

$$P_i = \sum_{\text{严重污染 } j} P_{ij} / \sum_j P_{ij} \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $i=1, 2, 3$  依次表示主要水质指标 COD-cr、TP、TN(这里暂不考虑  $\text{NH}_3\text{-N}$ , 以免氮素被重复计入综合污染指数的计算);  $j$  为河流入湖口采样点编号( $j=1, 2, 3, \dots, m$ );  $C_{ij}$  为  $j$  河流  $i$  水质指标的入湖口浓度实测值;  $C_{si}$  为  $i$  水质指标的评价标准限值(按 III 类标准依次为 20 mg/L、0.2 mg/L、1 mg/L, 下同);  $n$  为参与评价的水质指标数。

### 2.2 2006 年秋监测分析

由平均综合污染指数分析可知: 在 2006 年秋监测的  $j=1\sim 26$  号河流入湖口中, 平均综合污染指数  $P_j=0.9\sim 14.3$ , 总体平均值为  $P=2.7$ 。而  $P_j \leq 1$  的只有 6 条河流入湖口达到 III 类水质标准,  $1 < P_j \leq 2$  的有 11 条河流入湖口处于 IV 类、V 类水质,  $P_j > 2$  的有 9 条河流入湖口处于超 V 类水质的重污染状态, 分别占监测河口总数的 23.1%、42.3%、34.6%。达标的有大沙河、蔡河、龙拱河、老万福河、新万福河、惠河; 处于 IV 类、V 类水质的依次为梁济运河、鹿口河、复兴河、东鱼河、沿河、洙赵新河、西支河、洙水河、郑集河、五段河、杨官屯河; 处于重污染状态的河流排序及污染指数参见图 2。

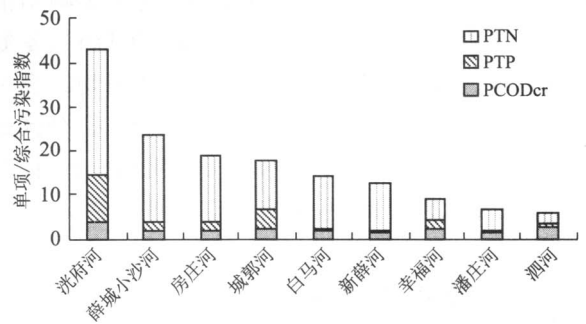


图 2 2006 年秋监测的重污染河流及污染指数  
Fig. 2 Heavily-polluted Rivers and Pollution Index in Autumn, 2006

由图 2 和表 1 可以看出, 2006 年秋监测的 9 条

重污染河流全部位于湖东区,其中上级湖湖东区有洸府河、城郭河、白马河、幸福河、泗河,下级湖湖东区有薛城小沙河、房庄河、新薛河、潘庄河。说明湖东河流污染严重,污染贡献率高。计算得到重污染河流 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN 的单项污染贡献率依次为 39.0%、71.2%、85.3%,可见南四湖 TN 和 TP 主要来自于重污染河流。进一步计算得到所有监测河口 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN 的单项污染分担率依次为 22.4%、16.3%、61.2%,因此,南四湖的首要入湖污染物是 TN, TN 在重污染河流筛选中起主导作用,其次是 COD<sub>Cr</sub> 和 TP。

### 2.3 2007 年春监测分析

由平均综合污染指数分析可知:在 2007 年春监测的  $j=1\sim 34$  河流入湖口中,平均综合污染指数  $P_j=0.8\sim 13.5$ ,总体平均值为  $P=3.2$ 。而  $P_j\leq 1$  的只有 4 条河流入湖口达到 III 类水质标准,  $1 < P_j \leq 2$  的有 14 条河流入湖口处于 IV 类、V 类水质,  $P_j > 2$  的有 16 条河流入湖口处于超 V 类水质的重污染状态,分别占监测河口总数的 11.8%、41.2%、47.1%。达标的有龙河、界河、薛城沙河、郑集河;处于 IV 类、V 类水质的依次为北沙河、挖工庄河、新万福河、惠河、鹿口河、夏镇航运河、西支河、泗河、小荆河、五段河、复兴河、杨官屯河、大沙河、沿河;处于重污染状态的河流排序及污染指数参见图 3。

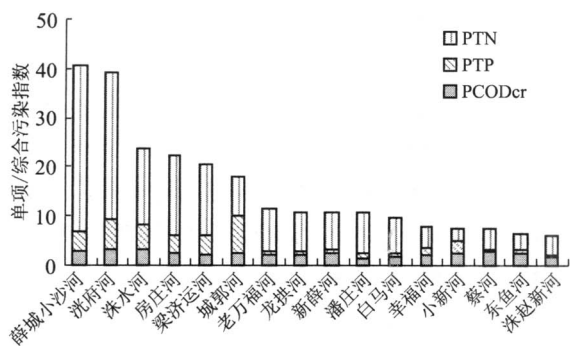


图 3 2007 年春监测的重污染河流及污染指数

Fig. 3 Heavily-polluted Rivers and Pollution Index in Spring, 2007

由图 3 和表 1 可以看出,2007 年春监测的 16 条重污染河流包括 2006 年秋监测筛选除泗河以外的 8 条,并增加湖东的小新河和湖西的洙水河、梁济运河、老万福河、龙拱河、蔡河、东鱼河、洙赵新河等 8 条。2007 年春监测的南四湖河流入湖口平均综合污染指数的总平均值上升了 19.0%,水质达标率 2007 年春下降了 11.3%。综合分析表明 2007 年春

比 2006 年秋南四湖入湖河流水质普遍变差,特别是湖西河流的差别更为明显,这很大程度上与北方干旱地区点源污染河流水质的季节性变化规律<sup>[10,14]</sup>和湖西黄泛平原河流平缓、宽阔、流速缓慢、流程长、槽蓄水量大、水力停留时间长和污染物的自然降解量较大等特征有关。秋季汛期结束湖西河水大部分由浅层土壤饱和和水渗透补给,加之点源污染物被槽蓄聚集,是 2006 年秋湖西河流水质监测结果好的主要原因。计算得到重污染河流 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN 的单项污染贡献率依次为 52.0%、81.4%、87.4%,可见南四湖 TN 和 TP 主要来自于重污染河流。进一步计算得到所有监测河口 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN 的单项污染分担率依次为 23.0%、14.6%、62.5%,因此,南四湖的首要入湖污染物是 TN, TN 在重污染河流筛选中起主导作用,其次是 COD<sub>Cr</sub> 和 TP,两次监测得出的结论完全一致,说明重污染河流确实是南四湖陆源污染物 TN 和 TP 的主要来源。

## 3 水环境问题分析

### 3.1 水质比较分析与评价

对南四湖入湖河口水质 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 进行总体评价,按 III 类标准 NH<sub>3</sub>-N 限值为 1 mg/L,其他指标同前。将两次监测的各污染物超标率、超标倍数平均值、总体水质平均浓度与超标倍数以及实际水质类别的评价结果列于表 2。

表 2 南四湖入湖河口总体水质比较分析与评价

Tab. 2 Comprehensive Analysis and Evaluation of the Water Quality in Inflow Estuary of Nansi Lake

测次	项目	超标率 (%)	超标倍数平均值	总体水质		
				平均值 (mg/L)	超标倍数	类别
2006 年秋 26 测点	COD <sub>Cr</sub>	100	0.8	35.8	0.8	V 类
	TP	19.2	3.3	0.26	0.3	IV 类
	TN	65.4	6.1	4.9	3.9	超 V 类
	NH <sub>3</sub> -N	26.9	9.9	3.1	2.1	超 V 类
2007 年春 34 测点	COD <sub>Cr</sub>	100	1.2	43.6	1.2	超 V 类
	TP	29.4	2.6	0.28	0.4	IV 类
	TN	79.4	6.3	5.9	4.9	超 V 类
	NH <sub>3</sub> -N	32.4	7.5	2.8	1.8	超 V 类

由表 2 可以看出,南四湖入湖河口 2006 年秋和 2007 年春监测的 COD<sub>Cr</sub> 超标率均为 100%,超标倍数平均值为 0.8 倍和 1.2 倍;TP 超标率分别为 19.2%和 29.4%,超标倍数平均值为 3.3 倍和 2.6 倍;TN 超标率分别为 65.4%和 79.4%,超标倍数

平均值为 6.1 倍和 6.3 倍;  $\text{NH}_3\text{-N}$  超标率分别为 26.9% 和 32.4%, 超标倍数平均值为 9.9 倍和 7.5 倍。在水质超标河流中,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、TP、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$  的超标倍数平均值依次增高。由此可见  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  的污染具有普遍性, TP 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的污染主要集中在少数河流, 大多数河流 TN 的污染最严重。所以, 对各项污染物的控制应筛选重污染河流上的重点污染源排污企业作为突破口实施有效地治理措施, 才能取得较为明显的治理效果。

南四湖入湖河口总体水质 2007 年春比 2006 年秋监测变差, 分析认为南四湖流域的河流大多为季节性河流, 雨季产生径流和行洪, 旱季以污水排泄为主, 其污染特征主要为工业和城市生活等点源污染为主。6~10 月份受丰水期雨季延续和降水增多对污染物稀释的影响水质变好, 而 4、5 月份受春汛初期径流污染的影响水质仍然较差。南四湖入湖河口 2006 年秋和 2007 年春监测的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  分别为 V 类和超 V 类水, TP 均为 IV 类水, TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  全部为超 V 类水, 两次监测的总体水质超 III 类标准倍数范围为 0.3~4.9 倍, 入湖河口总体水质还是 TN 超标最严重。据报道, 山东省每亩耕地平均化肥施用量 42.3 kg (1 亩 = 1/15  $\text{hm}^2$ ), 高于全国平均值 28.7 kg 的 47.4%<sup>[15]</sup>; 另据资料<sup>①</sup>的研究结果南水北调山东段区域工业、城市生活和面源(包括农田径流、分散居民和畜禽养殖污染源)  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  排放比例依次为 35.1%、48.5% 和 16.4%, 点源(包括工业和城市生活污染源)、面源的 TN 排放比例分别为 62.7% 和 37.3%, 点源、面源的 TP 排放比例分别为 59.2% 和 40.8%, 说明农业面源等非点源污染不可忽视。

### 3.2 入湖河口分区分析

南四湖流域地形东部为山地、丘陵及山前平原, 西部为西高东低的黄泛平原, 地貌和土地利用等下垫面条件错综复杂, 工业、农业及城市生活等污染源星罗棋布, 各类污染物通过入湖河流汇入南四湖。为了对南四湖入湖河流存在的重大水环境问题做出科学诊断并提出流域水污染源的轻、重、缓、急分区分类, 制定南水北调南四湖流域输水水质安全保障综合控制方案, 在对南四湖入湖河口水环境质量进行统计、比较与综合分析评价的基础上, 按南四湖入湖河口位置和区域特征将河流分成上级湖东、西、下级湖东、西 4 个区进行分析, 进一步剖析各区河流的水质污染特征以及存在的重大水环境问题。图 4 为

按南四湖入湖河口水质测次和流域分区计算的平均单项/累计污染指数分布。

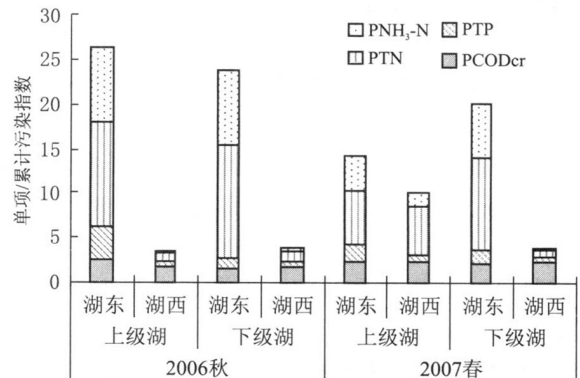


图 4 南四湖入湖河口分区平均单项/累计污染指数  
Fig. 4 Average Single Term/comprehensive Pollution Index in Inflow Estuary of Nansi Lake

由图 4 可以看出, 全流域河流入湖口的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  污染程度比较均一, 都处于 V 类水最差的边缘; 湖东区 and 2007 年春监测的上级湖湖西区 TN 的单项污染指数普遍最高, 污染分担率也最高, 其次是  $\text{NH}_3\text{-N}$  的单项污染指数较高, 上级湖湖东区 TP 的单项污染指数也较高, 受 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TP 较高的影响, 湖东区和 2007 年春监测的上级湖湖西区水质普遍为超 V 类水, 而上级湖湖西区除 2007 年春监测值较高外, 其余水质均能达到 IV 类水, 总体是湖东区比湖西区的河流水质明显要差。其原因一是湖东区煤炭、能源、造纸、化工、食品、酿造、饮料等工业门类齐全, 交通便利, 区域经济发展迅速, 而且各城区和工业区距离南四湖较近, 如济宁高新区距离南四湖约 15 km, 枣庄薛城区距离南四湖约 8 km; 二是湖东区受地形、地势的影响, 河流比降大、河槽相对窄小、水流较急、流程短、槽蓄水量小、水力停留时间短和污染物的自然降解量较小。湖西区与湖东区的情况恰恰相反, 地势平坦, 槽蓄水量大, 经济相对湖东区发展较慢, 各城区和工业区距离南四湖较远, 如菏泽城区距离南四湖约 100 km。所以, 上、下级湖湖东区比湖西区的工业和城市生活等点源污染物排放量大, 汇流时间短, 河流入湖口水质常年较差。

在对南四湖入湖河口  $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TN 的监测结果分析中发现, 湖东区入湖河口  $\text{NH}_3\text{-N}$  与 TN 具有显著的线性相关性, 相关系数达到  $R=0.969$ , 回归方程为:

① 赵克志, 张 凯, 张 波, 等. 南水北调水环境保护研究. 济南: 山东省环境保护局, 2002: 16~37.

$$C_{TN} = 1.233 2C_{NH_3-N} + 1.919 1 \quad (1)$$

而湖西区入湖河口  $NH_3-N$  与  $TN$  的相关性较差,即使  $NH_3-N$  小于  $0.1 \text{ mg/L}$ ,  $TN$  也可达到  $4 \text{ mg/L}$  左右。2006 年秋和 2007 年春监测时的水温范围都在  $16 \sim 21^\circ\text{C}$ , 河水  $NH_3-N$  的硝化过程差异不大<sup>[16]</sup>。监测结果表明,湖西区和湖东区入湖河口  $NH_3-N$  与  $TN$  的平均比值分别为  $0.25$  和  $0.65$ 。湖西区入湖河口  $\text{pH}$  值  $8.05$  比湖东区入湖河口  $\text{pH}$  值  $7.88$  稍高,前者水体颗粒物  $SS = 22.3 \text{ mg/L}$  也稍高于后者  $SS = 20.4 \text{ mg/L}$ , 前者水体叶绿素  $a =$

$8.6 \text{ mg/m}^3$  高于后者叶绿素  $a = 4.6 \text{ mg/m}^3$ , 都是湖西河流硝化过程较完全的重要影响因素<sup>[16,17]</sup>。

### 3.3 重污染河流分析

根据 2006 年秋和 2007 年春南四湖入湖河口水质空间分布监测数据,采用平均综合污染指数共筛选出 17 条重污染河流,再按单项污染指数的大小进一步筛选出各重污染河流的超标污染物及其排序。表 3 给出了各湖区重污染河流的特征、平均综合污染指数、超标污染物以及汇水区域的主要城镇和工矿区分布,下级湖湖西区两次监测均未筛选出重污染河流。

表 3 两次监测筛选的重污染河流与特征分析

Tab. 3 Selected Heavily-polluted River in Two Monitoring and Their Characteristic Analysis

湖泊	位置	重污染河流及测次*	干流长度(km)	汇水面积(km <sup>2</sup> )	$P_j^{**}$	超标污染物	汇水区域的主要城镇和工矿区分布
湖东		洗府河 1,2	48	1 367	13.7	TN、 $NH_3-N$ 、TP、CODcr	泰安宁阳、济宁兖州、济宁城区和高新区
		城郭河 1,2	75	916	5.9	TN、 $NH_3-N$ 、TP、CODcr	滕州城区及煤矿
		白马河 1,2	60	1 052	3.9	TN、 $NH_3-N$ 、CODcr	邹城市区及煤矿
		幸福河 1,2	15	75	2.8	TN、CODcr、 $NH_3-N$ 、TP	济宁任城区、兖州及济宁煤矿
		泗河 1	159	2 357	1.7	TN、CODcr	泗水县、曲阜及兖州、邹城部分
上级湖		洙水河 2	49	571	4.5	TN、TP、CODcr、 $NH_3-N$	嘉祥县城、巨野县城及煤矿
		梁济运河 2	88	3 306	4.3	TN、 $NH_3-N$ 、TP、CODcr	济宁市区、汶上、嘉祥县等部分
		老万福河 2	33	563	2.4	TN、 $NH_3-N$ 、CODcr	金乡县城及鱼台县部分
	湖西	龙拱河 2	15	52	2.3	TN、CODcr	济宁任城区张大千、半边店村
		蔡河 2	36	322	1.7	TN、CODcr	金乡县胡集、嘉祥县满硐、任城东邵镇
下级湖		东鱼河 2	172	5 923	1.7	TN、CODcr	菏泽牡丹区、曹县、成武、单县、定陶等
		洙赵新河 2	141	4 206	1.6	TN、CODcr	菏泽牡丹区、东明、郓城、巨野、鄄城等
		薛城小沙河 1,2	16	54	10.7	TN、 $NH_3-N$ 、TP、CODcr	枣庄薛城区、新城区
		房庄河 1,2	11	82	6.8	TN、 $NH_3-N$ 、TP、CODcr	枣庄房庄、蒋庄及煤矿
	湖东	新薛河 1,2	84	663	3.9	TN、 $NH_3-N$ 、CODcr	枣庄山亭区
		潘庄河 1,2	9	29	2.8	TN、 $NH_3-N$ 、CODcr	枣庄西杨庄及薛城区部分
		小新河 2	7	25	2.5	TN、CODcr、TP	微山县城

注: \* 1 代表根据 2006 年秋监测筛选, 2 代表根据 2007 年春监测筛选; \*\*  $P_j$  为两次监测平均综合污染指数的平均值, 小新河 2006 年秋未监测, 仅采用 2007 年春监测数据计算。

由表 3 可以看出, 各湖区重污染河流与其干流长度和汇水区域面积的大小没有明显关系, 而与其汇水区域的主要城镇和工矿区分布关系密切, 各湖区重污染河流的首要污染物都是  $TN$ 。上级湖湖东区重污染河流洗府河、城郭河、幸福河的超标污染物均为  $TN$ 、 $NH_3-N$ 、TP、CODcr, 特别是洗府河各污染物的平均超标倍数达到了 12.7 倍。主要原因是洗府河汇水区域包括泰安宁阳县城及开发区、兖州市区及工业区、济宁城区和高新区等工业和城市生活重点污染源, 该区域工业门类齐全, 在南四湖流域城镇规模最大, 居住人口最多, 距离南四湖最近。城郭河汇水区域主要包括滕州城区、开发区及煤矿等重点污染源, 污染物来源主要集中在滕州城区周边区域, 城郭河比降是南四湖流域平均比降较大的河流之一, 污染物汇聚时间短。白马河的超标污染物

为  $TN$ 、 $NH_3-N$ 、CODcr, 汇水区域主要包括邹城市区、开发区及煤矿等重点污染源, 白马河还是邹城煤炭运输的航道; 泗河的超标污染物为  $TN$ 、CODcr, 上游为泗水县, 以农业经济为主, 中游为曲阜市, 以旅游经济为主, 下游流经兖州和邹城边界, 污染源相对较轻, 泗河是湖东区干流长度和汇水面积最大的河流, 河流宽阔, 沙质河床吸附能力强, 污染物流经时间较长, 所以, 出现  $NH_3-N$  和  $TP$  达标的良好状况。

上级湖湖西区重污染河流洙水河和梁济运河的超标污染物为  $TN$ 、 $NH_3-N$ 、TP、CODcr, 老万福河的超标污染物为  $TN$ 、 $NH_3-N$ 、CODcr, 龙拱河、小新河、蔡河、东鱼河、洙赵新河的超标污染物均为  $TN$ 、CODcr、 $NH_3-N$  和  $TP$  达标。洙水河和梁济运河主要是嘉祥县城、巨野县城及煤矿和济宁市区、汶上县

城等工业和城市生活重点污染源,都是煤炭运输的航道。下级湖湖东区重污染河流薛城小沙河和房庄河的超标污染物均为 TN、NH<sub>3</sub>-N、TP、COD<sub>Cr</sub>,前者主要来自薛城工业区,后者主要来自煤矿等工业点源。薛城小沙河入湖口 2006 年秋监测的 pH 值为 4.8,水体呈现弱酸性,叶绿素 a 的监测值为零,水生物几乎绝迹,工业污染非常严重。新薛河和潘庄河的超标污染物均为 TN、NH<sub>3</sub>-N、COD<sub>Cr</sub>,前者主要来自枣庄山亭区等工业和城市生活重点污染源,后者主要来自枣庄西杨庄及薛城区等工业点源。小新河的超标污染物为 TN、COD<sub>Cr</sub>、TP,主要来自微山县城等工业和城市生活重点污染源。

#### 4 结论

(1)根据 2006 年秋和 2007 年春南四湖入湖河口水质空间分布监测数据,按平均综合污染指数  $P_j > 2$  的标准共筛选出洗府河和薛城小沙河等 17 条重污染河流,其中后者比前者监测多筛选出 8 条重污染河流。南四湖入湖河口平均综合污染指数由 2006 年秋监测的 2.7 增长到 2007 年春监测的 3.2。因此,南四湖流域入湖河流污染依然相当严重,而且春季比秋季水质更差。

(2)重污染河流两次监测的 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN 的单项污染贡献率平均值依次为 45.5%、76.3%、86.4%,说明南四湖 TN 和 TP 主要来自于重污染河流;两次监测的 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN 的单项污染分担率平均值依次为 22.7%、15.4%、61.9%,因此,南四湖的首要入湖污染物是 TN, TN 在重污染河流筛选中起主导作用,其次是 COD<sub>Cr</sub> 和 TP。

(3)南四湖湖东区入湖河口 NH<sub>3</sub>-N 与 TN 具有显著的线性相关性,给出了其回归方程,而湖西区入湖河口 NH<sub>3</sub>-N 与 TN 的相关性较差,湖西区和湖东区入湖河口 NH<sub>3</sub>-N 与 TN 的平均比值分别为 0.25 和 0.65。受湖西与湖东地形地势、河流形态、水力停留时间以及水体中 pH、SS、叶绿素 a 等多种因素的影响,湖西比湖东河流的硝化过程较完全。

(4)按单项污染指数筛选南四湖入湖河口两次监测的超标污染物依次为均为 TN、NH<sub>3</sub>-N、COD<sub>Cr</sub> 和 TP,重污染河流的汇水区域一般都在主要城镇和工矿区分布。因此,COD<sub>Cr</sub> 和氮污染物主要来自于工业和城市生活等点污染源,磷污染物主要来自于部分工业行业,面源污染不可忽视。

(5)建议按照南四湖流域水污染源的轻、重、缓、

急分区分类,突出重点,实行管辖区内污水的深度处理和截蓄导用,严格执行水污染物排放标准和总量控制指标,切实落实各级政府的环保责任,才是实现南四湖流域河流入湖口水质达标的关键所在。

**致谢** 南四湖水质空间分布监测工作由山东省环境保护厅组织,监测计划由美商生化科技公司、青岛理工大学、山东大学共同编制,山东省环境监测中心站、济宁市环境监测站负责实施,在此一并表示感谢!

#### 参考文献:

- [1] 武周虎. 南水北调东线工程对南四湖环境的影响及对策[J]. 青岛理工大学学报, 2006, 27(1): 70~77.
- [2] 梁春玲, 张祖陆, 牛玉生. 南四湖水安全评价研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(7): 3 178~3 181, 3 307.
- [3] 张祖陆, 孙庆义, 彭利民, 等. 南四湖地区水环境问题探析[J]. 湖泊科学, 1999, 11(1): 86~90.
- [4] 陈 磊, 裴海燕, 解 军. 改善南四湖水质的关键问题分析[J]. 中国给水排水, 2007, 23(20): 6~10.
- [5] 刘洪林, 邢文洁, 王素芬, 等. 南水北调东线输水干线南四湖水环境质量研究[J]. 水文, 2003, 23(4): 49~51.
- [6] WU Z H, WANG H B, LU C G, et al. The lake eutrophication modeling and the appliance in Nansi Lake[C]// 13th World Lake Conference. Beijing: China Agricultural University Press, 2010: 900~903.
- [7] KEMKA N, NJINÉ T, ZÉ BAZÉ TOGOUET S H, et al. Eutrophication of lakes in urbanized areas: The case of Yaounde Municipal Lake in Cameroon, Central Africa[J]. Lakes & Reservoirs: Research and Management, 2006, 11(1): 47~55.
- [8] 尹海龙, 徐祖信. 河流综合水质评价方法比较研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 729~733.
- [9] 刘 硕, 朱建平, 蒋火华. 对几种环境质量综合指数评价方法的探讨[J]. 中国环境监测, 1999, 15(5): 33~37.
- [10] 李 佳, 李思悦, 谭 香, 等. 南水北调中线工程总干渠沿线经过河流水质评价[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 693~698.
- [11] 钟定胜, 张宏伟. 等标污染负荷法评价污染源对环境的影响[J]. 中国给水排水, 2005, 21(5): 101~103.
- [12] 卢士强, 徐祖信, 林卫青. 综合调水对苏州河周边水系水质影响的数值模拟[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(6): 473~475.
- [13] 徐祖信, 尹海龙. 城市河流水质常规评价技术研究[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(7): 515~518, 534.
- [14] 武周虎, 慕金波, 谢 刚, 等. 南四湖及入湖河流水环境质量变化趋势分析[J]. 环境科学研究, 2010, 23(28): 1 167~1 173.
- [15] 中国玉米产业信息网编辑部. 2008 年各地区每亩平均化肥施用量及农民人均纯收入增减情况[EB/OL]. 北京: 中国玉米产业信息网, 2009[2010-03-09]. <http://www.chinamealie.cn/html/n32/107/2009-11-9/200911914234308.shtml>.

- [16] 李娟英,赵庆祥.低浓度氨氮硝化过程中影响因素的研究[J].环境污染与防治,2006,28(1):11~13,24.
- [17] 李素珍,夏星辉,张菊.不同河流水体颗粒物对硝化过程的影响[J].环境化学,2007,26(4):419~424.

## FILTRATION OF HEAVILY—POLLUTED INFLOW RIVERS OF NANSI LAKE AND WATER ENVIRONMENTAL PROBLEMS ANALYSIS

WU Zhou-hu, ZHANG Xiao-bo, ZHANG Fang-yuan

(School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

**Abstract:** Based on monitoring data of spatial distribution of water quality in main inflow estuary of Nansi Lake, according to the standard of average comprehensive pollution index  $P_j > 2$ , 17 heavily-polluted rivers such as Guang Fu river and Xuecheng Xiaosha River etc. were selected. The average value of individual soiled contribution rates of COD<sub>Cr</sub>, TP, TN of these rivers were 45.5%, 76.3%, 86.4% respectively, indicating that TN and TP in Nansi lake were mainly from the heavily-polluted rivers. The average value of individual soiled share rates of COD<sub>Cr</sub>, TP, TN were 22.7%, 15.4%, 61.9% respectively, indicating that the primary pollutant in Nansi Lake was TN, and the following were COD<sub>Cr</sub> and TP. The paper gave the linear regression equations of NH<sub>3</sub>-N and TN in inflow estuary of east Nansi Lake. Affected by topography, river morphology, hydraulic retention period as well as pH, SS, chlorophyll-a and other factors in water of the west and east lake, the nitrification processes of rivers in the west lake are better than those in the east lake, and the average ratio of NH<sub>3</sub>-N and TN in inflow estuary of west and east Nansi lake were 0.25 and 0.65 respectively. The result showed that, the catchment areas of heavily-polluted rivers generally distribute in major towns and industry and mine areas, COD<sub>Cr</sub> and nitrogen pollutants were mainly from point pollution sources such as industry and urban life, and phosphorus pollutants were mainly from part of the industry. Therefore, the highest priority is to strengthen control measures of point sources such as industrial structure adjustment, emphasize enterprise cutting down pollution as well as remove nitrogen and phosphorus in municipal waste water treatment plant in Nansi Lake basin.

**Key words:** the South-to-North Water Transfer Project; Nansi Lake; inflow rivers; filtration of heavily-polluted; evaluation of water quality; analysis of water environmental questions