

北京北运河水系水质污染特征及污染源分析

荆红卫^{1*}, 张志刚², 郭 婧¹ (1.北京市环境保护监测中心, 北京 100048; 2.核与辐射安全中心, 北京 100082)

摘要: 以北运河水系主要干支流 2011 年 1~12 月 23 项指标的监测数据为依据, 采用水质类别法和平均综合污染指数法, 对水质污染特征进行综合评价, 运用主成分分析和系统聚类分析法, 对水质指标主成分以及水质差异进行分类, 并进一步对不同干支流污染源进行分析。结果表明, 北运河水系由于排污量大, 地表水污染严重, 除城市中心区部分河流水质为 III~IV 类外, 城市排水河流、远郊河流水质均为劣 V 类。水质由 3 个主成分组成, COD、COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TP 等为第一主成分; 汞为第二主成分; 石油类为第三主成分。干流水质分为 4 类: 第 1 类为清洁水源类河流, 主要集中在城市中心区, 降雨地表径流、雨污合流管网溢流引起的非点源污染是影响其水质达标的重要污染源; 第 2 类为再生水水源类河流, 主要集中在城市排水上游河流, 城镇污水处理厂排水是其主要污染源; 第 3 类为再生水与污水混合水源类河流, 主要集中在城市排水下游河流及部分远郊区河流, 由于城市下游排水管网不健全, 远郊区污水集中处理率低, 生活源和农业源的污染贡献率较高, 水质污染严重; 第 4 类为污水水源类河流, 分布于远郊区县, 农业污染占比较大, 水质污染最严重。

关键词: 北运河水系; 地表水质; 污染特征; 污染源

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2013)02-0319-09

Water pollution characteristics and pollution sources of Bei Canal river system in Beijing. JING Hong-wei^{1*}, ZHANG Zhi-gang², GUO Jing¹ (1.Beijing Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China; 2.Nuclear and Radiation Safety Center, Beijing 100082, China). *China Environmental Science*, 2013,33(2): 319~327

Abstract: Based on the monthly monitoring data of 23 water quality indexes of the main streams and tributaries of Bei Canal river system in 2011, a comprehensive water quality evaluation was made using water quality category method and average comprehensive pollution index method. Principal components of water quality indexes and pollution sources were determined with principal component analysis (PCA) and system clustering analysis method (SCAM). The results showed that the surface water in Bei Canal river system was heavily polluted due to high pollution discharge. Except that the water quality of urban central rivers was in class III ~ IV, the water quality in other areas such as urban drainage rivers and outsuburb rivers was below class V. According to the PCA results, the first principal component of water quality involved COD, COD_{Mn}, BOD₅, NH₃-N, TP, TN. The second principal component was Hg. The third principal component included petroleum contaminants. The rivers were classified into 4 categories based on their water pollution characteristics. Category 1 was composed of rivers that had clean water sources and were located mainly in urban central areas; the river water was polluted primarily by non-point source pollution. Category 2 was comprised of rivers with renewable water sources, chiefly located in the upstream of urban sewerage and drainages; the urban sewage treatment plant drainage was identified as the primary pollution source. Category 3 consisted of rivers with blended water sources including renewable and sewage water, which were located in the downstream of urban sewerage and drainages as well as in the outskirt areas; pollution level of these rivers were high due to domestic and agricultural pollution sources. Category 4 was rivers with polluted water as source, located in the outsuburb; the major pollution source of these rivers included sewage discharged from agricultural practices.

Key words: Bei Canal river system; surface water quality; water pollution characteristics; pollution source

北京地处海河流域, 从东到西分布有蓟运河、潮白河、北运河、永定河、大清河五大水系。其中只有北运河水系发源于本市, 其流域范围涉及 10 个区(40 个乡镇, 1600 多个行政村)。流域面

积占全市总面积的 25.9%, 人口却占全市总人口

收稿日期: 2012-08-03

基金项目: 国家“973”项目(2010CB951104)

* 责任作者, 高级工程师, jinghongwei@bjmemc.com.cn

的 70%以上,GDP 占全市的 80%以上^[1],是北京市人口最集中、产业最密集、城市化水平最高的流域.由于流域排污量大,水资源量匮乏,因此地表水污染十分严重,具有典型的城市河流污染特征和变化规律.近年来,虽然北京市河流污染治理力度逐年加大,市区污水处理能力不断提高,重污染企业搬迁和产业结构调整等,水质污染状况有了很大程度改善,但由于污染物排放量远超过其环境容量,仍有 80%以上河段水质为劣 V 类^[2].

国内外对地表水方面研究,一方面集中于对大江大河、湖泊的研究,对于人口集中、经济发达城市区域地表水研究不多^[3-5];另一方面,现有研究主要针对耗氧有机物和营养盐等几项主要指标,鲜见针对地表水标准中 20 余项指标的全面分析与评价^[6-8].本文选取了 23 项污染指标,对北运河水系水质污染特征以及污染来源进行了全面分析与评价,以期有针对性地提出治理措施.

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

北运河水系在北京境内干流总长约 90km,按照区域特征、水域功能等,又可分为城市中心区河流、城市排水河流以及远郊区河流.中心区河流主要有昆玉河、长河、北护城河、南护城河等,为重要景观河流.排水河流主要有清河、坝河、通惠河、凉水河四大排水系统,市区内的雨水、生活污水、工业废水都经过这四个水系最终汇入北运河.其中清水水系是市区西北部的排水河网,接纳肖家河、清河 2 座污水处理厂退水;坝河水系是市区东北部排水河网,接纳北小河、酒仙桥 2 座污水处理厂退水;通惠河是城区雨水管道的排水尾闾,接纳高碑店污水处理厂退水;凉水河水系是市区西南部排水河网,接纳方庄、吴家村、卢沟桥、小红门、亦庄开发区 5 座污水处理厂退水.远郊河流主要有温榆河、北运河、凤河、港沟河等,为一般景观用水和农业用水.

1.2 监测概况

本研究数据来源于北京市环境保护监测中心地表水监测网,主要选择了 23 条(段)干支流.每条河段设置有 1~3 个监测断面,见图 1.监测时间

为 2011 年 1~12 月,每月监测 1 次.监测项目为《地表水环境质量标准》^[9]中的 23 项,分别是水温、pH 值、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、五日生化需氧量(BOD₅)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、总氮(TN)、铜(Cu)、锌(Zn)、氟化物(F⁻)、硒(Se)、砷(As)、汞(Hg)、镉(Cd)、六价铬(Cr⁶⁺)、铅(Pb)、氰化物(CN⁻)、挥发酚(AR-OH)、石油类(OIL)、阴离子表面活性剂(LAS)、硫化物.监测项目分析方法依据《地表水环境质量标准》^[9]和《水和废水监测分析方法》^[10].

1.3 评价统计方法

1.3.1 水质评价方法 水质评价方法采用水质类别法和平均综合污染指数法.水质类别评价采用单因子评价法,其中断面水质类别评价根据评价时段内该断面参评指标中类别最高的一项来确定,河流水质类别评价先计算该河流所有断面各评价指标浓度算术平均值,然后按照“断面水质类别评价”方法进行评价.依据《地表水环境质量标准》^[9],将水质类别分为 I、II、III、IV、V 类,水质达不到 V 类标准的,定义为劣 V 类.

平均综合污染指数计算方法如下:

$$P_i = C_i / C_0 \quad (1)$$

(当污染指标为溶解氧时: $P_i = C_0 / C_i$)

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

式中: C_i 为某评价指标监测浓度值; C_0 为某评价指标标准值; i 为评价指标个数, $i=1,2,3,\dots,n$; P_i 为第 i 项指标的污染分指数; P 为平均综合污染指数;评价标准执行《地表水环境质量标准》^[9]中的 III 类标准值.

1.3.2 数据统计方法 本研究数据统计方法采用主成分分析和聚类分析法^[11-12].主成分分析是将多个指标化为少数几个不相关的综合指标(主成分)的统计分析方法,综合指标能反映出原指标所提供的绝大部分信息,达到降维和源识别的目的.本文取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量值为 0.748(>0.7),选取的主成分累计方差贡献率在 85%以上(一般要求大于 70%).

聚类分析基本原理是根据样本自身的属

性,用数学方法按照某种相似性或差异性指标,定量确定样本之间的亲疏关系,并按这种亲疏关系程度对样本进行聚类.本文选择组间连接

法、采用欧氏距离度量样本之间的距离,生成具有层次结构聚类树,根据各样点相似性进行归并和分类.

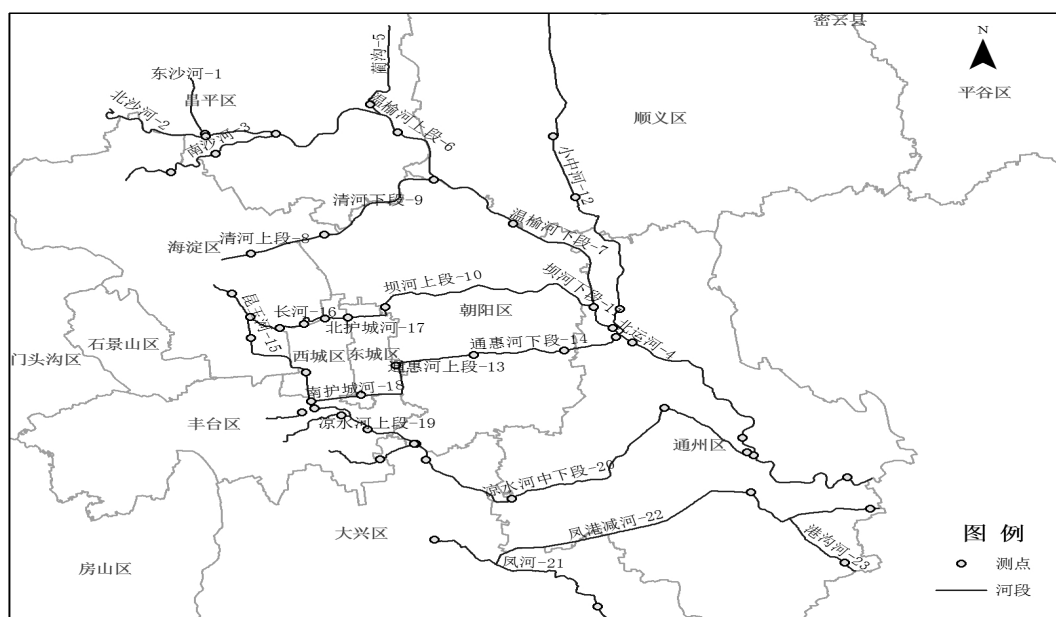


图1 北运河水系主要干支流及监测断面分布

Fig.1 Monitoring sections of Bei Canal river system

2 监测结果分析

2.1 主要干流水质评价

2.1.1 综合评价 根据2011年水质监测及评价结果,23条主要干支流中,位于城市中心区的昆玉河、长河水质类别为Ⅲ类,北护城河为Ⅳ类,南护城河为劣Ⅴ类;位于近郊区的城市排水河流及远郊区河流水质均为劣Ⅴ类.主要污染指标为耗氧有机物和营养盐,而重金属及毒性指标污染较轻.水质类别为劣Ⅴ类的水体中,南护城河综合污染指数为1.21,污染程度相对较轻;远郊区县河流综合污染指数为4.11,污染最严重;城市排水河流综合污染指数为2.86,污染介于二者之间.可见,从城市中心区河流到近郊区城市排水河流再到远郊区干支流,水质污染不断加重.

2.1.2 污染指标评价 监测结果表明,耗氧有机物、营养盐污染从城市中心区河流到城市排水河流再到远郊区河流逐渐加重.重金属Cd、Cr⁶⁺、

Pb、As、Cu和Zn在上述三类河流中无明显差别,为未检出或检出浓度较低,符合地表水Ⅰ~Ⅱ类标准.Hg在中心区河流中均未检出或小于检出限,在排水河流及远郊区河流中有检出,并且在远郊河流如东沙河、北沙河、南沙河等支流中的年均浓度值相对较高,水质类别为Ⅳ类.AR-OH、OIL和LAS在中心区河流中均未检出或检出浓度较低;在排水河流和远郊区河流中污染明显加重.氰化物在北运河水系所有河流中均为Ⅰ类.Se、硫化物为Ⅰ~Ⅲ类.氟化物除在温榆河、蔺沟河流中为Ⅴ~劣Ⅴ类外,其他河流水质均为Ⅰ类.主要污染指标监测统计结果详见表1.

2.2 水质主成分分析

根据对2011年53个监测断面年均值数据进行主成分分析.在监测的23项指标中:水温、pH值、Cu、Zn、Se、As、Cd、Cr⁶⁺、Pb、氰化物、氟化物、硫化物12项指标在北运河水系水平较低,不属于主要污染因子,因此,选择其余的DO、COD、COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、AR-OH、OIL、

TP、TN、LAS、Hg 等 11 项指标进行主成分分析.表 2 给出了主成分分析中各指标的相关关系矩阵,表 3 和表 4 分别给出了主成分特征值、贡献率、累计贡献率,以及主成分载荷矩阵.由表 3 和表 4 可知,前 3 个主成分累计贡献率已达 85.1%.其中 COD、COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TP、TN、LAS 在第一主成分上载荷较大,其相关系数分别为 0.921,0.967,0.935,0.948,0.771, 0.853,0.799,方差贡献率为 63.9%,主要反映由生活污染以及农业污染引起的耗氧有机物、营养盐等污染;汞在第二主成分上载荷较大,相关系数为 0.922,方差贡献率为 12.7%,反映生活垃圾渗滤液、生活污水、医院污水等排放的重金属汞污染;石油类在第三主成分上载荷较大,相关系数为 0.689,方差贡献率为 8.51%,反映石油化工和生活污水引起的石油类污染.

表 1 2011 年北运河水系水质监测数据统计及评价结果
Table 1 Water quality monitoring results of Bei Canal river system in 2011

指标	城市中心区河流	城市排水河流	远郊河流	III类标准	IV类标准	V类标准
化学需氧量(mg/L)	17.2~38.2	33.6~87.3	43.4~98.9	20	30	40
高锰酸盐指数(mg/L)	3.0~6.1	6.6~14.5	10.5~22.3	6	10	15
生化需氧量(mg/L)	2.0~6.4	6.6~23.3	13.3~43.6	4	6	10
氨氮(mg/L)	0.59~2.18	2.05~16.1	12.84~26.67	1	1.5	2
挥发酚(mg/L)	<0.002~0.002	0.002~0.025	0.006~0.036	0.005	0.01	0.1
氰化物(mg/L)	<0.004	<0.004~0.009	0.004~0.010	0.2	0.2	0.2
汞(μg/L)	<0.05	<0.05~0.127	<0.05~0.379	0.1	1	1
氟化物(mg/L)	0.33~0.44	0.48~0.63	0.54~1.61	1	1.5	1.5
石油类(mg/L)	<0.05	0.11~2.03	0.15~4.91	0.05	0.5	1
总磷(mg/L)	0.09~0.26	0.50~1.77	1.19~4.69	0.2	0.3	0.4
总氮(mg/L)	3.1~14.3	15.5~27.4	16.1~33.5	1	1.5	2
阴离子表面活性剂(mg/L)	0.041~0.173	0.130~0.844	0.241~1.157	0.2	0.3	0.3
水质类别	III~劣V	劣V	劣V			
综合污染指数	0.43~1.21	1.71~5.33	2.95~9.76			

表 2 相关系数矩阵
Table 2 Correlation coefficient matrix

指标	DO	COD	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	AR-OH	OIL	TP	TN	LAS	Hg
DO	1.000										
COD	-0.700	1.000									
COD _{Mn}	-0.748	0.856	1.000								
BOD ₅	-0.632	0.921	0.904	1.000							
NH ₃ -N	-0.764	0.867	0.909	0.866	1.000						
AR-OH	-0.672	0.522	0.644	0.515	0.616	1.000					
OIL	-0.224	0.454	0.640	0.614	0.488	0.358	1.000				
TP	-0.644	0.620	0.734	0.673	0.753	0.330	0.628	1.000			
TN	-0.621	0.790	0.834	0.814	0.813	0.483	0.463	0.549	1.000		
LAS	-0.520	0.814	0.748	0.744	0.709	0.623	0.485	0.409	0.636	1.000	
Hg	-0.272	0.233	0.183	0.284	0.300	-0.161	-0.140	0.462	0.194	-0.017	1.000

2.3 水质聚类分布特征

由图 2 可见, 23 条主要干支流根据水质间差异可分为 4 类.第 1 类为清洁水源类河流,主要集中在城市中心区,包括 15-昆玉河、16-长河、17-

北护城河 3 条河流,由于河道两岸污水口已全部截留,只有雨季排放的雨水入河,并且有清洁水源补充,因此水质较好,全年平均水质类别为Ⅲ类,综合污染指数为 0.47.

表 3 特征值及累计贡献率
Table 3 Eigen value and cumulative

污染因子	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	7.034	63.948	63.948
2	1.392	12.658	76.606
3	0.936	8.512	85.118
4	0.638	5.800	90.918
5	0.352	3.204	94.122
6	0.238	2.161	96.283
7	0.148	1.347	97.631
8	0.123	1.115	98.746
9	0.076	0.686	99.432
10	0.039	0.355	99.787
11	0.023	0.213	100

表 4 主成分载荷矩阵
Table 4 Principal component loading matrix

指标	因子 1	因子 2	因子 3
DO	-0.792	-0.133	0.410
COD	0.921	0.023	-0.077
COD _{Mn}	0.967	-0.045	0.049
BOD ₅	0.935	0.046	0.114
NH ₃ -N	0.948	0.097	-0.070
AR-OH	0.671	-0.437	-0.390
OIL	0.617	-0.304	0.689
TP	0.771	0.359	0.323
TN	0.853	0.013	-0.022
LAS	0.799	-0.313	-0.092
Hg	0.244	0.922	-0.049

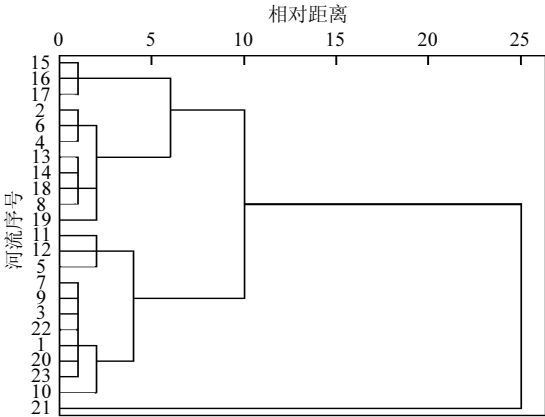


图 2 北运河主要干支流水质聚类树状图

Fig.2 Water quality clustering tree of trunk streams and tributaries of Bei Canal river system

第 2 类为再生水水源类河流,主要集中在城市排水上游河流,包括 18-南护城河、13-通惠河

上段、14-通惠河下段、8-清河上段、19-凉水河上段、2-北沙河、6-温榆河上段、4-北运河,水质类别均为劣 V 类,综合污染指数为 2.40,污染指标主要是耗氧有机物及营养盐,其次是石油类.其中南护城河虽然也是城市中心区河流,但由于河道补充水源为污水处理厂的再生水,因此其水质明显比昆玉河、长河差;通惠河上下段、清河上段、凉水河上段 90%以上排水为市区污水处理厂再生水和二级出水,因此河道水质相对较稳定,明显比下游水质好,但劣于城市中心区水质;位于远郊区的温榆河上段以及北运河等干流,由于近年来的综合治理,水质有了很大程度改善,也归为此类.

第 3 类为再生水与污水混合水源类河流,主要集中在城市排水下游及远郊区河流,包括 9-清河下段、10-坝河上段、11-坝河下段、20-凉水河中下段、12-小中河、5-蔺沟、7-温榆河下段、3-南沙河、1-东沙河、22-凤港减河、23-港沟河,水质类别均为劣 V 类,综合污染指数平均值为 3.67,污染指标主要是耗氧有机物及营养盐,其次是汞、石油类和挥发酚.排水河流清河下段、坝河上下段及凉水河中下段主要污染源是污水处理厂二级出水,由于其两岸截污不彻底,污水口雨水口混接现象较严重,以及清河、方庄污水厂等超负荷运转,仍有未经处理的污水排入,使得下游排水河流水质仍然较差;其他远郊河流小中河、南沙河、温榆河下段、凤港减河等由于污水处理率较低,主要接纳昌平、顺义、通州等的生活污水、工业废水和农田退水,且河道缺乏生态补水,水质整体较差.

第 4 类为污水水源类河流,即 21-凤河,水质类别为劣 V 类,综合污染指数为 9.76,污染指标主要是耗氧有机物及营养盐,其次是石油类和挥发酚.由于主要接纳了周边畜禽养殖废水和生活污水、乡镇工业污水和农田退水,同时河道缺乏生态补水,水质污染最严重.

2.4 水期水质变化特征

根据北京市降雨特点,全年可划分为枯、丰、平 3 个水期,其中 3~5 月为枯水期,6~9 月为丰水期.本文选择 4~5 月、7~8 月监测结果平均值分别代表典型枯水期、丰水期水质.由图 3 可见,不同干支流枯丰水期水质变化有明显差异.对于清

洁水源类河流,丰水期水质比枯水期严重恶化,其中NH₃-N浓度均值变化显著,丰水期比枯水期升高 478%,COD_{Mn} 升高 19%;对于再生水水源类河流,枯水期污染较重,丰水期水质明显好于枯水期,COD_{Mn}、NH₃-N 浓度均值在丰水期比枯水期降低 21%~24%;对于再生水与污水混合水源类

河流,也表现为枯水期污染较重,丰枯水期水质变化更加明显,COD_{Mn}、NH₃-N 浓度均值在丰水期比枯水期降低 20%~42%;对于污水水源类河流,也表现为丰水期水质好于枯水期,COD_{Mn}、NH₃-N 浓度均值丰水期比枯水期降低 27%,水质差异没有城市排水下游河流及远郊区河流明显.

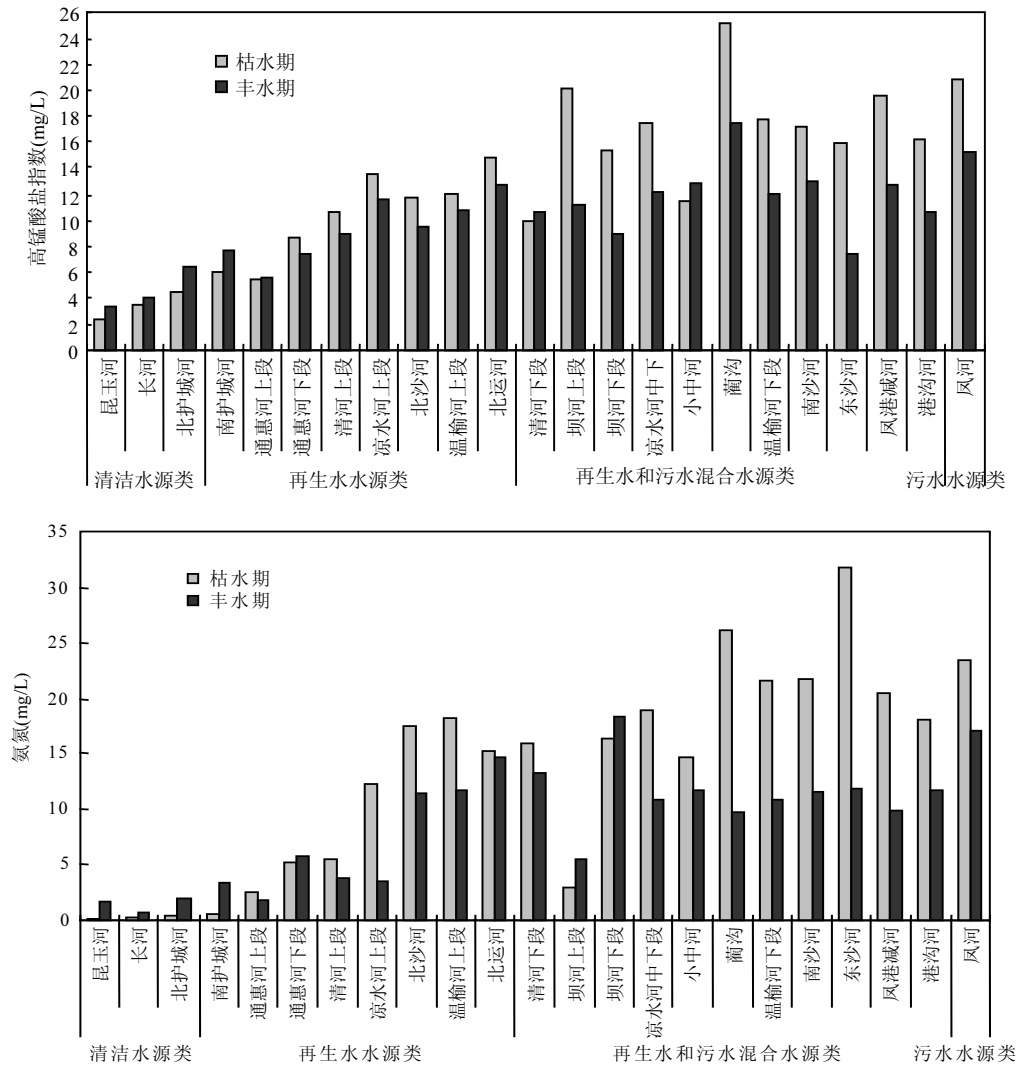


图 3 北运河系主要干支流枯丰水期 COD_{Mn}、NH₃-N 浓度

Fig.3 COD_{Mn}、NH₃-N concentration between wet season and dry season in Bei Canal river

3 北运河水系污染来源分析

3.1 清洁水源类河流污染来源分析

该类河流两岸的污水已全部截留入污水处

理厂,点源污染已得到全面控制,丰水期河流水质明显变差,表明由于降雨地表径流引起的非点源污染成为影响中心区地表水水质达标的重要因素.根据北京市水环境非点源污染调查^[13],一方

面,天然降水在降到地表之前部分指标已经受到污染,其中氨氮浓度较高,为 4.12mg/L,已超过地表水 V 类标准限值,COD、SS、TP 浓度相对较低,基本符合地表水 II~III 类水质标准;另一方面,降雨冲刷城市下垫面,如道路、屋面、停车场、绿地等,将地表累积的污染物冲刷到雨水管道,雨水径流 COD 平均浓度高达 310mg/L,氨氮、总磷、SS 等指标也较高,排入受纳水体后,河道水质污染明显加重;第三,中心区排水管网分合流制和分流制,合流制排水已改造为截留式排水,在晴天和初雨时,所有污水都入污水厂处理后排入下游水体,但当出现较大降雨时(一般降雨量超过 15mm),来水流量超过截留干管的输水能力,将出现溢流,雨水携带污水直接溢流入河,对下游受纳水体水质造成很大威胁,而且雨污合流排水系统的径流污染比分流制排水系统更加严重^[14-15].根据北京市环境保护监测中心对西城区南坛根合流管网的监测,COD 平均浓度高达 452mg/L,氨氮 51.4mg/L,总磷 6.56mg/L.目前合流管在城市中心区中占有很大的比重.第四,污染还来自河流底部沉积物作为水体污染物的汇,将通过二次释放使污染物重新进入上覆水体,成为影响水环境质量的关键因素,7~9 月水温较高,利于污染物的释放,也是丰水期该类河流污染加重的因素之一.所以,加强对城市非点源和内源污染的治理是进一步改善城市中心区水质的重要措施.

3.2 再生水水源类河流污染源分析

污水处理厂退水不仅是城市排水河道主要补给水源,同时又是最大的污染源.根据北京市环境保护局对北运河流域污染源调查结果^[16],清河、坝河、通惠河、凉水河共接纳上游 10 座污水厂排水,排放的 COD 总量占比依次为 93.6%、89.2%、93.0%和 67.8%,氨氮总量占比依次为 96.2%、97.1%、91.2%、68.2%,其余是直排入河的生活源、工业源以及农业源,占比较小.

目前的主要问题,一是现行污水处理厂出水排放标准与地表水环境质量标准之间差距较大.按照地表水标准衡量,污水厂处理排放达标的出水,实际上就是新的污染源.以高碑店污水厂及下游受纳水体通惠河为例(图 4),2011 年高碑店污

水厂出口 COD 浓度月均值介于 28.5~59.5mg/L,全部符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》^[17]中的一级 B 标准限值(60mg/L),但按照下游受纳水体通惠河 IV 类水体功能评价,12 个月中只有 2 个月浓度值符合地表水 IV 类标准(30mg/L),其余均不达标.二是污水处理厂对 COD、BOD₅、SS 的去除效率较高,基本在 90%以上;但是对总磷、总氮的去除效率较低,在 60%~70%,从而导致目前城市河流中总磷、氨氮、总氮浓度仍然偏高.加之河道有闸坝控制,缺乏流动性,水体自净能力差,下游受纳水体水质较污水厂出口水质差.所以,提高城镇污水处理厂水污染物排放标准,严格控制水污染物的排放,是改善城市排水河流地表水环境质量的重要措施.

3.3 再生水与污水混合水源类河流污染源分析

主要污染源仍然是污水处理厂排水;其次由于城市排水下游河流地处近郊区城乡结合地带,管网不健全,截留不彻底,如朝阳区孙河乡、海淀山后地区的居民生活污水尚不能进入污水管网;第三,部分区域存在雨污管线混接,污水接入雨水管线直排入河,城市排水下游河流汇水区污水集中处理率明显降低;第四,在污水处理能力方面,部分污水处理厂由于超负荷运转,在用水高峰和雨季进水量超过其处理能力时,出现跨越式排放,部分污水未经处理直排入河,也是城市排水下游河流水质比上游水质以及污水厂退水水质更差而且难以发生根本性好转的重要原因.以清河流域的肖家河、清河污水厂出口及其清河受纳水体断面的 COD、氨氮为例:肖家河污水厂出水排入清河上游水体,控制断面为树村闸;清河污水厂出水排入清河下游水体,控制断面为沙子营.由图 5 可见,(1)肖家河污水厂出水 COD 和氨氮浓度与其受纳水体控制断面树村闸较接近,表明污水厂出水对城市排水上游河流水质起着主导作用;(2)清河污水厂出水虽与肖家河污水厂出水 COD 和氨氮浓度较接近(清河污水厂出水浓度略高),但由于其他污水排入,其下游受纳水体沙子营控制断面 COD 和氨氮浓度高于污水厂出水浓度 76%和 208%.第五,根据北运河流域污染源调查结

果^[16],远郊区域关镇和新城污水处理率为 70.7%,农村污水处理率只有 30%,大量生活污水未经处理直排入河,生活点源污染贡献依然较大.位于下游的大兴、通州、顺义等区域,农业种植面积较大,畜禽养殖业发达,农业源贡献率也较大.工业

源贡献率总体占比虽然较低,但行业类型为石油化工、食品饮料、汽车制造业等,对于部分受纳水体影响依然较大.所以,进一步完善城市污水管网,提高乡镇和农村污水处理率是改善城市排水下游河流及远郊区河流水质的重要措施.

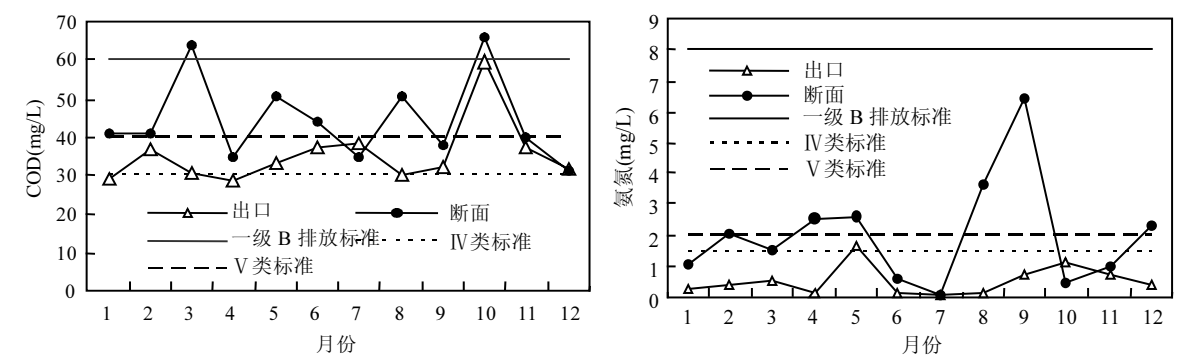


图 4 高碑店污水处理厂出水与下游通惠河断面水质变化
Fig.4 Water quality change trend of effluent in Gaobeidian sewage treatment plant, river section in Tonghuihe

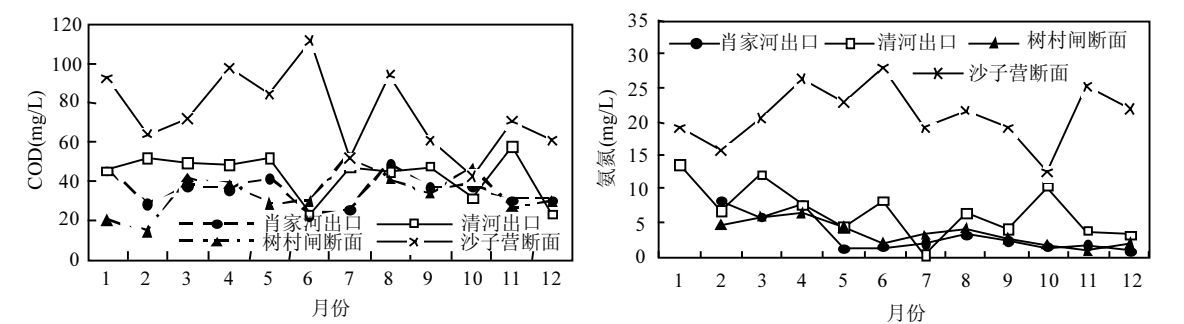


图 5 2011 年肖家河、清河污水厂出口以及清河受纳水体断面水质变化

Fig.5 Water quality change of effluent in Xiaojahe, Qinghe sewage treatment plants, river sections in Qinghe receiving water

3.4 污水水源类河流污染来源分析

根据北运河流域污染源调查结果^[16],凤河流域污染源贡献率最大的是农业源,其 COD 贡献率占 71%,氨氮占 79.8%,尤以畜禽养殖废水污染最为突出;其次是生活源,COD 贡献率占 26.5%,氨氮占 17.7%.调查显示,规模化畜禽养殖场主要为奶牛、肉牛、肉猪、肉鸡和蛋鸡,由于大部分养殖场污水处理设施不能正常运行,产生的养殖废水与畜禽粪尿,使环境难以消纳.根据北京市环境保护监测中心对北京市规模化畜禽养殖场畜禽废水的采样监测^[18],畜禽废水中污染物浓度与清粪方式有关,以猪场水冲粪废水浓度最

高,COD 最高达 21600mg/L,氨氮、总氮、总磷平均浓度分别高达 5900,8050,1270mg/L,水冲粪废水浓度比干检方式废水浓度高 7~28 倍,畜禽养殖废水污染物浓度为城市污水污染物浓度的几十倍至几百倍.另外还有种植土壤施用农药、化肥引起的面源污染.由于畜禽养殖、生活污染、农田退水等的共同影响,导致凤河在北运河水系中污染最严重.因此,建议进一步加大对畜禽养殖业、种植业的环境治理力度.

4 结论

4.1 北运河流域由于排污量大,地表水污染严

重,除城市中心区的昆玉河、长河、北护城河水质为Ⅲ~Ⅳ类外,城市排水河流、远郊河流水质均为劣Ⅴ类。 COD 、 COD_{Mn} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TP 等为第一主成分,主要反映由生活和农业污染引起的耗氧有机物、营养盐等的污染,贡献率占63.9%;汞为第二主成分,反映通过生活垃圾渗滤液、生活污水、医院污水等排放的重金属汞污染;石油类为第三主成分,反映石油化工污染企业排污和生活污水引起的石油类污染。

4.2 根据系统聚类分析,北运河水系主要干支流按照水质间差异可分为4类,第1类为清洁水源类河流,主要集中在城市中心区;第2类为再生水水源类河流,主要集中在城市排水上游河流;第3类为再生水与污水混合水源类河流,主要集中在城市排水下游河流及部分远郊区;第4类为污水水源类河流,即远郊区县的风河。

4.3 对于清洁水源类河流,降雨地表径流、雨污合流管网溢流引起的非点源污染是其重要污染源。因此,城市中心区需重视对非点源污染的治理;再生水水源类河流的主要污染源是城镇污水处理厂排水,应加强对城市污水厂出水提标改造,提高污染物去除效率;再生水与污水混合水源类河流,污水集中处理率低,应完善城市污水管网,提高乡镇和农村污水处理率;污水水源类河流,应加大对远郊区县农业源的治理力度。

参考文献:

- [1] 北京市统计局,国家统计局北京调查总队编,北京区域统计年鉴[M]. 北京:同心出版社,2011:27-35.
- [2] 北京市环境质量报告书编写组,北京市环境质量报告书(2011年)[R]. 北京:北京市环境保护局,2012:30.
- [3] 陈静生.陆地水质变化研究国内外进展[J]. 环境科学学报,2000,20(1):10-15.
- [4] 陈海容,朱利中,杨 坤,等.钱塘江水系中酚类化合物的浓度水平及污染特征[J]. 中国环境科学,2005,25(6):729-732.
- [5] Wu J Y. Assessing surface water quality of the Yangtze Estuary with genotoxicity data[J]. Marine Pollution Bulletin, 2005,50(12):1661-1667.
- [6] 张汪寿,李晓秀,王晓燕.北运河武清段水污染时空变异特征[J]. 环境科学学报,2012,32(4):836-846.
- [7] 陈利顶,李俊然,郭旭东.蓟运河流域地表水质时空变化特征分析[J]. 环境科学,2000,21(6):61-64.
- [8] 杨丽蓉,孙然好,陈利顶.流域地表水体污染过程的时空差异及其影响机制分析:以温榆河上游地区为例[J]. 环境科学,2011,32(1):73-79.
- [9] GB3838-2002 地表水环境质量标准[S].
- [10] 国家环境保护总局,水和废水监测分析方法[M]. 4版.北京:中国环境科学出版社,2002:200-395.
- [11] 章文波,陈红艳.实用数据统计分析及SPSS12.0应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2006:178-200.
- [12] 王学仁,王松桂.实用多元统计分析[M]. 上海:上海科技出版社,1990:270-272.
- [13] 华 蕾,荆红卫,金 蕾,等.北京市水环境非点源污染研究报告[R]. 北京:北京市环境保护局,2009:24,32,37,46.
- [14] 车 伍,欧 岚,汪慧贞,等.北京城区雨水径流水质及其主要影响因素[J]. 环境污染治理技术与设备,2002,3(1):33-37.
- [15] 刘翠云,车 伍,董朝阳.分流制雨水与合流制溢流水质的比较[J]. 给水排水,2007,33(4):51-55.
- [16] 北京市环保局北运河流域污染状况调研组.北京市北运河流域污染状况调研报告[R]. 北京市环境保护局,2008:53-56.
- [17] GB18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
- [18] 徐 谦,朱桂珍,向俐云.北京市规模化畜禽养殖场污染调查与防治对策研究[J]. 农村生态环境,2002,18(2):24-28.

作者简介: 荆红卫(1966-),女,内蒙古包头人,高级工程师,硕士研究生,主要研究方向为水环境监测与评价.发表论文10余篇。