

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.01.015

秦淮河南京段水质变化过程及污染控制

毛晓文¹,常虹²

(1. 江苏省水文水资源勘测局,江苏 南京 210029;2. 江苏省水利规划办公室,江苏 南京 210029)

摘要:从秦淮河南京段的水功能区划目标着手,运用污染指数法对秦淮河南京段2001—2010年的水质变化过程进行分析评价,指出秦淮河南京段污染源贡献大小依次为NH₃-N、BOD、COD_{Mn}和石油类,主要超标污染物为NH₃-N;秦淮新河的水质明显优于其他河段,内秦淮河的水质污染情况依旧严重。总结10年治污对秦淮河水质的影响,指出城市污水接管率、污染源、水动力条件等仍是影响秦淮河水环境的主要因素。在污染源综合整治、河道疏浚、生态修复、政策保障等方面提出了控制污染的措施及建议。

关键词:秦淮河南京段;水质评价;综合污染指数法;污染控制

中图分类号:X832 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2014)01-0074-05

Water quality variation process in Nanjing reach of Qinhuai River and pollution control measures

MAO Xiaowen¹, CHANG Hong²

(1. Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China;
2. Jiangsu Water Conservancy Planning Bureau, Nanjing 210029, China)

Abstract: Based on water function zoning of the Nanjing reach of the Qinhuai River, we used the pollution index method to analyze and evaluate the water quality variation process in the reach from 2001 to 2010. We found that the pollution sources of the Nanjing reach of the Qinhuai River were in the following order of descending significance: NH₃-N, BOD, COD_{Mn}, and oil, of which the main contaminant was NH₃-N. The water quality of the new Qinhuai River was much better than that of other river reaches, and the inner Qinhuai River was still seriously polluted. In this paper, we summarize the influences of ten-year pollution control on the water quality of the Qinhuai River and point out that the urban sewage connection rate, pollution sources, and hydrodynamic conditions are the main factors affecting the water environment of the Qinhuai River. To control the pollution, we propose several measures and engineering solutions, including integrated pollution remediation, river dredging, ecological restoration, policy support.

Key words: Nanjing reach of Qinhuai River; water quality evaluation; integrated pollution index method pollution control

随着经济建设的高速发展和人口的急剧增加,秦淮河南京段污染物排放量大幅增加,为了实现“污水不下河,死水变活水”的目标,南京市政府从1985年起实施内秦淮河整治工程,至2001年三期工程结束,先后经历了16年,累计投资约10亿元,先后完成了内秦淮河清淤、河道整治、污水截流、长江引水、两岸景观建设等工程。建成了二级处理能

力40万t/d的江心洲污水处理厂、40多千米的截污输污管道,大中桥、凤台路、江边等3座污水提升泵站,夹江江底污水输送隧道,8万t/d的大桥水厂引水工程和10万t/d的上元门水厂引水工程等项目,使秦淮河水质有了根本的改善。为全面总结治污成效,并对未来秦淮河南京段水质改善提出更有针对性的措施,笔者对南京地区内秦淮河、外秦淮河、秦

作者简介:毛晓文(1968—),女,高级工程师,硕士,主要从事水质分析和评价、水资源保护与水污染控制技术的研究工作。E-mail: 410030279@qq.com

淮新河大规模治理后的水质变化进行分析评价,总结问题,进一步探求控污方法。

1 流域概况及功能分区

1.1 流域概况

秦淮河是长江下游南岸的一条重要支流,流经江苏省溧水、句容、江宁 3 县(区)和南京城区,全长约 110 km(其中南京段 105 km,镇江段约 5 km),流域面积约 2 631 km²。上游由南源溧水河、北源句容河组成,两源于江宁区西北村汇合成秦淮河干流,绕江宁区方山西侧北流,在江宁东山镇分为两支,一支为秦淮新河,从东山镇河定桥起经铁心桥、西善桥在雨花区的金胜圩入长江,全长 18 km;另一支从东山镇往北,由七桥瓮入南京城区。进入城区的秦淮河干流在东山镇以下有运粮河、友谊河、响水河、南河等支流汇入,在象房村附近又分为两支:一支经武定门节制闸环古城墙绕行,称为外秦淮河;另一支称为内秦淮河,由东水关穿越古城墙,进入南京老城区,经城南夫子庙出西水关,再次汇入外秦淮河,全长 5 km。内、外秦淮合流后,过草场门、定淮门,循石头城北流,在三汊河口汇入长江。

1.2 功能分区

水功能区划是根据研究区域的现有水资源状况,考虑经济发展需求,在相应水域按各类水功能区的指

标,把某一水域划分为不同类型的水功能区单元的一项水资源开发利用和保护的基础性工作。在某一水域多种功能并存的情况下,按水资源的自然属性、开发利用现状及社会经济需求,结合各功能对水量要求的大小,兼顾各功能对水质要求的高低,经功能重要性排序而拟定的首位功能即为该区的主导功能。

水功能区划采用二级体系,即一级区划和二级区划。一级区划主要协调地区间用水关系,从宏观上解决水资源开发利用与保护的问题,包括保护区、保留区、开发利用区和缓冲区 4 类。二级区划主要协调局部区域和相关各用水部门之间的关系,包括饮用水源区、工业用水区、农业用水区、渔业用水区、景观娱乐用水区、过渡区和排污控制区 7 类。

内秦淮河段主要是景观用水,执行 GB3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅳ类标准;秦淮新河是秦淮河的分洪道,集行洪、灌溉和航运功能于一体,执行地表水Ⅳ类标准;外秦淮河经过溧水、江宁和南京市,在水功能区划中共分为 10 段,作为城市河道,除汛期的排涝行洪外,景观、工业、农业为其主要功能,执行地表水Ⅳ类标准,个别河段如溧水东芦段、江宁禄口段、江宁殷巷段具有饮用水水源地功能,执行地表水Ⅲ类标准。

2003 年 3 月,江苏省人民政府批复了《江苏省地表水(环境)功能区划》,秦淮河南京段水功能区划分情况见表 1。

表 1 秦淮河南京段水功能区划分情况

水功能区划	河名	河段	控制重点 城镇	起止位置	长度/ km	功能区 排序	控制断面 名称	2010 年 水质 目标	2020 年 水质 目标
秦淮河溧水东庐饮用、渔业用水区	秦淮河	溧水	溧水永阳	东庐—花园	8.0	饮用水源,渔业用水		Ⅲ	Ⅲ
秦淮河溧水工业用水区	秦淮河	溧水	溧水在城	花园—沙河村	4.5	工业用水	珍珠桥	Ⅳ	Ⅳ
秦淮河溧水农业、渔业用水区	秦淮河	溧水	溧水县果场院柘塘	沙河村—乌刹桥	15.6	农业用水	乌刹桥	Ⅳ	Ⅳ
秦淮河江宁铺头过渡区	秦淮河	江宁	江宁根口	乌刹桥—禄口镇	2.0	农业用水	乌刹桥、洋桥	Ⅲ	Ⅲ
秦淮河江宁禄口饮用水源区	秦淮河	江宁	江宁根口	禄口镇—陆纲	2.0	饮用水源	洋桥	Ⅲ	Ⅲ
秦淮河江宁秣陵农业、渔业用水区	秦淮河	江宁	江宁秣陵	陆纲云—台山河口	12.0	农业用水		Ⅳ	Ⅳ
秦淮河江宁东头村过渡区	秦淮河	江宁	江宁殷巷方山	云台山河口—殷巷	3.0	渔业用水,农业用水	殷巷	Ⅲ	Ⅲ
秦淮河江宁殷巷饮用、渔业用水区	秦淮河	江宁	江宁殷巷	殷巷—牛首山河口	2.0	饮用水源,渔业用水	殷巷	Ⅲ	Ⅲ
秦淮河江宁工业、景观娱乐用水区	秦淮河	江宁	江宁东山	牛首山河口—江宁上坊门桥	8.5	工业用水,景观娱乐	东山大桥	Ⅳ	Ⅳ
秦淮河南京景观娱乐用水区	秦淮河	南京	南京	江宁上坊门桥—三汊河口	24.0	景观娱乐	三汊河口、上坊门桥、武定门闸、凤台桥	Ⅳ	Ⅳ
秦淮新河南京工业、农业用水区	秦淮新河	市区	西善桥镇、铁心桥镇	河定桥—金胜	18.0	工业用水,景观娱乐,农业用水	河定桥、节制闸秦淮新河闸	Ⅳ	Ⅳ
内秦淮河南京景观娱乐用水区	内秦淮河	市区	市区	九龙桥—西水关	5.0	景观娱乐	东关闸、浮桥、铁窗棂、文德桥、西水关	Ⅳ	Ⅳ

2 评价方法

水质变化过程评价采用综合污染指数法进行。该法是依据环境质量标准将有关的污染物浓度等标化,计算得到简单的无量纲指数,可以直观、简明、定量地描述和比较环境污染的程度。

综合污染指数法是以监测值除以 GB3838—2002《地表水环境质量标准》的标准限值,得出各项污染物的分指数,再计算出污染综合指数,根据水质污染程度分级标准(表 2)判断水质级别。

综合污染指数 P 的计算公式为

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$$

其中

$$p_i = \frac{\rho_i}{\rho_{i0}}$$

式中: P 为某河流综合污染指数; n 为参与评价的污染物项目数; p_i 为第 i 项污染物的污染指数; ρ_i 为第 i 项污染物监测值; ρ_{i0} 为第 i 项污染物标准限值。

表 2 污染物污染程度分类标准

P		污染分级	P		污染分级
≤ 0.2		清洁	(0.7 1.0]		中污染
(0.2 0.4]		尚清洁	(1.0 2.0]		重污染
(0.4 0.7]		轻度污染	>2		严重污染

对于秦淮河底质的污染评价采用瑞典科学家 Hakanson 提出的潜在生态危害指数法进行重金属污染危害评价。

3 水质变化过程

3.1 水质监测成果

江苏省水环境监测中心在内外秦淮河共布设了 18 个监测断面,本次评价考虑断面的周边环境、分布、设站历时、水量调度等情况,选择内秦淮河上的文德桥、西水关闸 2 个断面,秦淮新河上的曹村河、西善桥 2 个断面,秦淮河上的东山大桥、武定门闸和洋桥 3 个断面 2001—2010 年代表断面的 COD_{Mn}、BOD、NH₃-N、石油类 4 项指标的历年年均值(表 3)进行污染指数评价。

表 3 2001—2010 年秦淮河南京段主要污染物污染指数

河流名称	年份	COD _{Mn}		BOD		NH ₃ -N		石油类		P	评价结论
		$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	p_i	$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	p_i	$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	p_i	$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	p_i		
内秦淮河	2001	6.93	0.69	12.04	2.01	7.62	5.08	0.46	0.92	2.17	严重污染
	2002	6.55	0.66	12.14	2.02	5.39	3.59	0.55	1.10	1.84	重度污染
	2003	4.08	0.41	4.72	0.79	2.56	1.71	0.15	0.30	0.80	中度污染
	2004	5.58	0.56	17.54	2.92	5.51	3.67	0.47	0.94	2.02	严重污染
	2005	6.72	0.67	7.19	1.20	5.29	3.53	0.69	1.38	1.69	重度污染
	2006	3.41	0.34	3.37	0.56	3.01	2.01	0.28	0.56	0.87	中度污染
	2007	3.84	0.38	4.66	0.78	2.69	1.79	0.14	0.28	0.81	中度污染
	2008	5.18	0.52	6.85	1.14	4.55	3.03	0.16	0.32	1.25	重度污染
	2009	5.69	0.57	4.84	0.81	5.92	3.95	0.22	0.44	1.44	重度污染
	2010	4.97	0.50	5.87	0.98	6.42	4.28	0.71	1.42	1.79	重度污染
外秦淮河	2001	7.01	0.70	7.35	1.23	6.36	4.24	0.20	0.40	1.64	重度污染
	2002	6.19	0.62	9.60	1.60	3.12	2.08	0.53	1.06	1.34	重度污染
	2003	5.38	0.54	4.87	0.81	1.59	1.06	0.14	0.28	0.67	轻度污染
	2004	6.36	0.64	7.45	1.24	2.21	1.47	0.37	0.74	1.02	重度污染
	2005	7.66	0.77	9.87	1.65	6.90	4.60	0.23	0.46	1.87	重度污染
	2006	5.63	0.56	3.44	0.57	4.31	2.87	0.11	0.22	1.06	重度污染
	2007	5.58	0.56	3.37	0.56	3.49	2.33	0.05	0.10	0.89	中度污染
	2008	4.11	0.41	4.67	0.78	3.17	2.11	0.08	0.16	0.87	中度污染
	2009	5.42	0.54	4.46	0.74	4.01	2.67	0.13	0.26	1.05	重度污染
	2010	4.69	0.47	5.06	0.84	2.29	1.53	0.34	0.68	0.88	中度污染
秦淮新河	2001	4.46	0.45	3.25	0.54	1.12	0.75	0.28	0.56	0.57	轻度污染
	2002	14.00	1.40	14.00	2.33	0.94	0.63	0.38	0.76	1.28	重度污染
	2003	3.85	0.39	2.78	0.46	0.68	0.45	0.16	0.32	0.41	轻度污染
	2004	8.50	0.85	9.04	1.51	1.52	1.01	0.34	0.68	1.01	重度污染
	2005	4.21	0.42	8.69	1.45	1.93	1.29	0.58	1.16	1.08	重度污染
	2006	3.74	0.37	4.76	0.79	2.74	1.83	0.20	0.40	0.85	中度污染
	2007	3.06	0.31	4.46	0.74	1.13	0.75	0.14	0.28	0.52	轻度污染
	2008	4.09	0.41	4.42	0.74	1.57	1.05	0.16	0.32	0.63	轻度污染
	2009	4.01	0.40	5.94	0.99	2.11	1.41	0.15	0.30	0.77	中度污染
	2010	3.62	0.36	4.82	0.80	1.72	1.15	0.12	0.24	0.64	轻度污染

注:表中水质指标标准限值按 GB3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅳ类标准执行。

结果表明,2001—2010 年秦淮河南京段按污染源贡献大小依次为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、BOD、 COD_{Mn} 和石油类,主要超标污染物为 $\text{NH}_3\text{-N}$,其余指标多是个别年份超标。秦淮新河的水质明显优于其他河段,内秦淮河的水质污染情况依旧非常严重。可见,控制氮的摄入量是秦淮河水污染控制的关键。

3.2 过程分析

2001—2010 年间内秦淮河综合污染指数变化情况见图 1。由图 1 可见,内秦淮河 10 年综合污染指数平均值为 1.47,水质总体处于重度污染水平。10 年中,2001、2004 年为严重污染,2003 年、2006 年、2007 年 3 个年份为中度污染,其余 5 个年份为重度污染,2004—2007 年水质有显著改善趋势,2007 年后水质持续恶化。

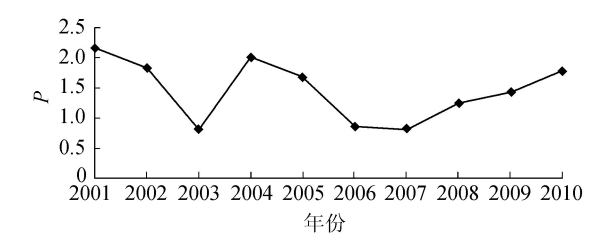


图 1 2001—2010 年内秦淮河综合污染指数变化情况

2001—2010 年间外秦淮河综合污染指数变化情况见图 2。由图 2 可见,监测年份外秦淮河 10 年综合污染指数平均值为 1.13,水质总体处于重度污染水平,但污染程度低于内秦淮河。10 年中,2003 年为轻度污染,2007 年、2008 年、2010 年 3 个年份为中污染,其余 6 个年份为重度污染,2005 年水质恶化达到最高峰,2006 年后水质改善趋于稳定。

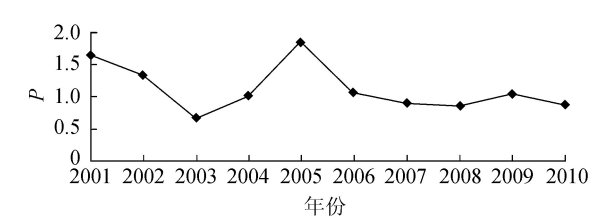


图 2 2001—2010 年外秦淮河综合污染指数变化情况

2001—2010 年间秦淮新河综合污染指数变化情况见图 3。由图 3 可见,监测年份秦淮新河 10 年

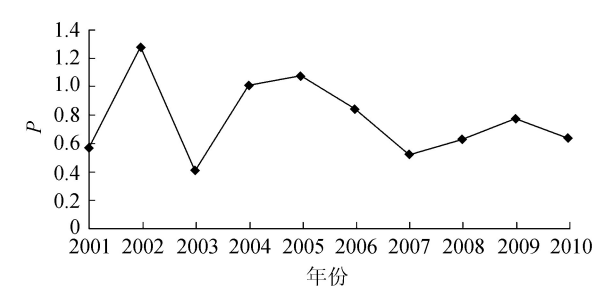


图 3 2001—2010 年秦淮新河综合污染指数变化情况

综合污染指数平均值为 0.78,水质总体处于中度污染水平,水质污染程度明显低于内秦淮河和外秦淮河。10 年中,除 2002 年、2004 年、2005 年 3 个年份为重度污染外,其余 7 个年份基本为轻—中度污染,2005 年后水质改善趋于稳定。

3.3 底泥沉积物

除上述 4 类水质常规监测项目外,根据中科院南京土壤研究所发布的相关资料,2008—2010 年内秦淮河底泥沉积物中 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr 等 5 种重金属质量比检测结果见表 4。

表 4 2008—2010 年内秦淮河底泥重金属质量比检测结果

年份	mg/kg				
	$w(\text{Cu})$	$w(\text{Zn})$	$w(\text{Pb})$	$w(\text{Cd})$	$w(\text{Cr})$
2008	62.71	335.19	93.46	0.91	84.38
2009	105.13	308.21	140.54	1.14	347.21
2010	87.41	124.86	48.32	1.03	53.35
背景值	24.00	61.50	26.20	0.10	93.80

由表 4 可见,内秦淮河底泥沉积物中 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr 等 5 种重金属离子均超出土壤背景值,且不同重金属元素的质量比差异较大。

采用瑞典科学家 Hakanson 提出的潜在生态危害指数法对内秦淮河的重金属污染进行生态危害评价,结果如表 5 所示。

表 5 内秦淮河底泥沉积物重金属生态危害评价结果

年份	E_r^i					RI
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	
2008	13.06	5.45	17.84	273.00	1.80	311.15
2009	21.90	5.01	26.82	342.00	7.40	403.14
2010	18.21	2.03	9.22	309.00	1.14	339.60

注: E_r^i 为第 i 种重金属的潜在生态危害系数; RI 为某一沉积点

多种重金属沉积物综合潜在生态危害指标, $RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$ 。

由表 5 可见,内秦淮河底泥沉积物重金属历年均具有很高的潜在生态风险,且主要来自重金属 Cd。从 3 年的重金属平均生态危害来看,5 种重金属的生态危害从大到小依次为 Cd、Pb、Cu、Zn、Cr。

3.4 分析

a. 从监测数据可见,秦淮河南京段水质污染指标 COD_{Mn} 、BOD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、石油类 4 项指标中,主要超标污染物是 $\text{NH}_3\text{-N}$,测次超标率高达 86.6%,其中,内、外秦淮河 $\text{NH}_3\text{-N}$ 超标率都为 100%,其余 3 项指标测次超标率依次为 BOD 40%,石油类 16.7%, COD_{Mn} 3%,基本能够达到相应功能区的水质要求。从污染时段分析,外秦淮河和秦淮新河自 2005 年后水质都有所改善,内秦淮河在 2007 年后水质持续恶化。南京地区内秦淮河、外秦淮河和秦淮新河污染程度由轻到重依次为:秦淮新河、外秦淮河和内秦淮河。

b. 内秦淮河水质不稳定,持续超标的原因主要

有:①内秦淮河地处南京市繁华地段,商业和旅游业较为发达,现有城镇集中污水接管率约为 70% ~ 80%,虽高于全省 50% 左右的水平,但生活污水的集中接管率尚不充分,仍有余地;②每年 3—10 月的汛期,为防止外秦淮河水倒灌入城,会关闭内秦淮河通外秦淮河的西水关闸和铁窗棂闸,使河流流速较小,污水长时间滞留在河道中,不利的水动力条件加剧了水质污染;③沿线仍分布着少量的排污口,包括污水处理厂的尾水口和泵站、涵闸的出水口,尾水的水质和泄洪水质在很大程度上影响了秦淮河水质。

c. 外秦淮河水质近年稳定改善,秦淮新河虽为人工开挖河道,沿线也多处于城郊接合部,但秦淮新河除 2002 年、2004 年、2005 年呈现重污染外,其余年份均为轻度污染或中度污染。这种水质的改善一方面归功于 2005—2006 年的大规模治理已初见成效,内秦淮河的截流减排措施更加严厉,使输入外秦淮河的污染负荷有所降低;另一方面与南京市 2007 年后实施的一系列河滨水环境改造工程有很大关系,特别是在秦淮新河和外秦淮河上实施的利用长江水源进行的补水工程,即从秦淮新河闸翻水入秦淮新河,流经西善桥、河定桥进入外秦淮河,流经七桥瓮、武定门闸、三山桥、草场门桥、三汊河口闸后入长江,形成“长江—秦淮新河—外秦淮河—长江”的引水线路,这在很大程度上增加了整个秦淮河的环境容量,也改善了水动力条件,长江水的稀释作用也直接地改善了秦淮河水质。

d. 秦淮河中沉积着大量的底泥,内秦淮河底泥沉积物中常见重金属污染物的生态危害由大到小依次为 Cd、Pb、Cu、Zn、Cr,且重金属 Cd 的生态危害要远高于其他 4 种重金属。据中科院土壤研究所最新监测资料,内外秦淮河和秦淮新河污染底泥总面积约为 6.28 km²,其中,内、外秦淮河合计为 4.98 km²,占 79.3%,COD 年释放量为 187.97 t, NH₃-N 年释放量为 18.48 t, TP 年释放量为 17.31 t, TN 年释放量为 92.39 t;秦淮新河为 1.30 km²,占 20.7%,COD 年释放量为 51.17 t, NH₃-N 年释放量为 5.03 t, TP 年释放量为 4.71 t, TN 年释放量为 25.15 t;可见,底泥污染物的不断释放和消解是秦淮河不可忽视的内源。

4 建 议

秦淮河流域为典型的城市河流生态系统,治理过程中,应将秦淮河作为一个全流域系统进行整体规划,实现全流域联动治理。建议控制措施有:

a. 明确污染控制重点和难点。根据以上分析,秦淮河南京段的治污重点仍为污染最为严重的内秦淮河段,污染控制指标为 NH₃-N。在污染源控制方

面,应强化城市生活污水截流,加大污水处理力度和水平,全面实施城市雨污分流,减少面源污染物入河量;对于沿线分布的污水处理尾水排放口,应严格管理,严禁超标排放;强化秦淮河水上娱乐设施管理,控制船运交通污染源。在当前秦淮河的污染综合整治中,应将重点转为对内秦淮河的支流口和农业灌溉引发的面污染控制,加强纳污总量研究,设置支流口入秦淮河排污控制红线,建议在秦淮河、溧水河、句容南河、汤水河及其支流和前进河、新林河、三干河两岸建设缓冲带,工程规模约为 80 hm²,实施农业灌溉和面源生态拦截工程。

b. 清淤疏浚,减少底质污染。在枯水季节开展清淤疏浚,提高河道蓄水量,防止底泥污染物释放。可实施的疏浚清淤工程有:秦淮河干河(上坊门桥—西北村段)、句容河河道的拓浚工程,土方量约为 1000 万 m³;对内秦淮河的 22 条县级河道、165 条乡级河道,有计划地开展清淤修复,清淤土方量预测有 1500 万 m³,可减少内源污染。

c. 规划促进水体流动的水利工程,改善河道水动力条件,研究调引上游石臼湖水、长江水等较清洁水源入河,加大河道水体流动,增加环境容量,改善水质。

d. 推进生态修复,实施生态工程。利用生物的吸收和自净作用,选择适宜生物种类进行植草、栽藕或养鱼等,吸收水体中的高氮、高有机物;实施滨水环境的生态改造工程,建设秦淮新河全河段 16.8 km 的生态景观带工程,提高河道护坡污染物吸收量。

e. 加强法律监管和公益宣传力度,提高公众的环保意识,营造保护秦淮河人人有责、人人受益的良好社会氛围。

参考文献:

[1] GB3838—2002 地表水环境质量标准[S].
[2] 樊婧妍. 河流健康评价研究:以南京市秦淮河为例[D]. 南京:河海大学,2010.
[3] 李东林. 秦淮河河岸带土壤主要生物学与生态学特性研究[D]. 南京:南京林业大学,2008.
[4] 刘久根. 南京外秦淮河水污染控制对策[J]. 现代城市研究,2003,18(5):51-53. (LIU Jiugen. Countermeasures for pollution control of Qinhuai River, Nanjing [J]. Modern Urban Research,2003,18(5): 51-53. (in Chinese))
[5] 陈雁,冯效毅,田炯. 内秦淮河水环境整治方案探讨[J]. 江苏环境科技,2000,13(3):34-36. (CHEN Yan, FENG Xiaoyi, TIAN Jiong. Project discussion of water environment control of the internal Qinhuai River [J]. Jiangsu Environment Science and Technology, 2000, 13(3): 34-36. (in Chinese))

(下转第 83 页)

根据各年的综合评价指数,设计水资源可持续利用能力的度量标准为: $I_{su} \geq 0.4$ 为可持续发展模式、 $-0.2 \leq I_{su} < 0.4$ 为中层发展模式、 $I_{su} < -0.2$ 为低层次发展模式。当欧氏距离取值为 10 时,基于欧式距离相近度,将南京市水资源可持续利用程度划分为 3 种类型:第 1 类:2003—2004 年,水资源可持续利用程度相对较低,综合得分为-0.31,属于低层次发展模式;第 2 类:2005—2009 年,在 8 年间的对比中,其水资源可持续利用程度属中等,综合得分均值为 0.03,属于中层发展模式,与 2003 年相比,水资源可持续利用状况有所改善;第 3 类:与前 8 年间相比,2010 年水资源可持续利用程度相对较高,综合得分值为 0.45,有较大的改善,属于可持续发展模式。但对比 3 种类型的平均综合得分值,其改善幅度并不大,这说明南京市水资源可持续利用问题依然严峻。

4 结 语

笔者以南京市为研究区域,采用熵权法确定各子系统的权重,结合主成分分析法对水资源可持续利用进行了综合评价。评价结果表明:2003—2010 年,南京市水资源可持续利用水平呈总体上升趋势,虽然在 2005 年综合得分值有小幅的下降,但 2009 年后开始回升;社会经济子系统和生态环境子系统得分的变化趋势与综合得分的趋势基本一致,总体呈上升趋势,而水资源子系统得分呈下降趋势。对评价结果进行聚类分析可以看到,8 年间的改善幅度并不大,说明目前南京市水资源可持续利用问题依然严峻。

参考文献:

[1] 程乖梅,何士华. 水资源可持续利用评价方法研究进展 [J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17 (1) : 52-56. (CHENG Guaimei, HE Shihua. Progress on evaluating methods for sustainable utilization of water resources [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2006, 17 (1) : 52-56. (in Chinese))

[2] 姚章民,张建云. 水资源评价研究进展 [J]. 水文, 2009, 30 (增刊 1) : 16-18. (YAO Zhangmin, ZHANG Jianyun. Advance in research on water resources assessment [J]. Journal of China Hydrology, 2009, 30 (S1) : 16-18. (in Chinese))

[3] 南京市水利局. 2003-2010 年水资源公报 [EB/OL]. [2012-12-10]. <http://www.njsl.gov.cn/www/njsl/szygb.html>.

[4] 徐建华. 现代地理学中的数学方法 [M]. 北京:高等教育出版社, 2002 : 31-36.

[5] 任玉忠,叶芳,高树东,等. 基于主成分分析的潍坊市水

资源承载力评价研究 [J]. 中国农学通报, 2012, 28 (5) : 312-316. (REN Yuzhong, YE Fang, GAO Shudong, et al. Study on water resources carrying capacity in weifang city based on principal component analysis [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28 (5) : 312-316. (in Chinese))

[6] 罗刚军,解建仓,阮本清. 基于熵权的水资源短缺风险模糊综合评价模型及应用 [J]. 水利学报, 2008, 39 (9) : 1092-1097. (LUO Gangjun, XIE Jiancang, RUAN Benqing. Fuzzy comprehensive assessment model for water shortage risk based on entropy weight [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39 (9) : 1092-1097. (in Chinese))

[7] 来海亮,汪党献,吴涤非. 水资源及其开发利用综合评价指标体系 [J]. 水科学进展, 2006, 17 (1) : 95-101. (LAI Hailiang, WANG Dangxian, WU Difei. Comprehensive assessment indicator system for water resources and its development and use [J]. Advances in Water Science, 2006, 17 (1) : 95-101. (in Chinese))

[8] 姜登岭. 区域水资源可持续利用的评价指标体系研究 [J]. 水科学与工程学报, 2006 (2) : 14-16. (JIANG Dengling. Assessment index system of regional water resources sustainable utilization [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2006 (2) : 14-16. (in Chinese))

[9] HELLSTROM D, JEPSSON U, RRMAN E. A framework for systems analysis of sustainable urban water management [J]. Environment Impact Assessment Review, 2000, 20 : 311-321.

[10] 王伏虎. SPSS 在社会经济分析中的应用 [M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2009 : 231-238.

(收稿日期: 2013 - 03 - 12 编辑: 彭桃英)

(上接第 78 页)

[6] 张军,耿雅妮. 宝鸡市主要河流水质现状综合评价 [J]. 科学技术与工程, 2010, 10 (27) : 6825-6827. (ZHANG Jun, GENG Yani. Assessment on water quality of the main rivers in Baoji City [J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10 (27) : 6825-6827. (in Chinese))

[7] 刘月丽,赵振华,夏丽玲,等. 秦淮河沉积物中重金属赋存特征及风险分析 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (25) : 13910-13912. (LIU Yueli, ZHAO Zhenhua, XIA Liling, et al. Occurrence characters of heavy metals in sediment in Qinhuai River and its risk analysis [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2010, 38 (25) : 13910-13912. (in Chinese))

[8] 陈建平. 南京市主要水系表层沉积物重金属污染潜在的生态风险评价 [J]. 污染防治技术, 2008, 4 (21) : 33-35. (CHEN Jianping. Potential ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of the water systems in Nanjing [J]. Pollution Control Technology, 2008, 4 (21) : 33-35. (in Chinese))

(收稿日期: 2013 - 07 - 25 编辑: 徐 娟)