

北京城市副中心水系景观工程对水质的影响分析

王彤, 任雪珺, 关得天, 程子龙

北京市北运河管理处, 北京

收稿日期: 2024年9月17日; 录用日期: 2024年10月8日; 发布日期: 2024年10月21日

摘要

本文通过对测量镜河化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH₃-N)及总磷(TP)三个指标, 分析影响镜河水质的因素, 提出改善水环境的建议, 为北京城市副中心的水系景观工程提供参考。自2018年10月15日开始蓄水至今, 北京城市副中心行政办公区水系景观工程-镜河泵站已稳定运行数年, 镜河水位及库容基本稳定。随着再生水、砂滤水补水及镜河向北运河退水的进行, 河道水质发生变化, 其中化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH₃-N)及总磷(TP)浓度基本达到地表IV类水质标准, 后续可以通过进一步增加水体流动性、改善补水水质、加强长期监管等措施提高镜河水质。

关键词

北京城市副中心行政办公区, 水系景观工程, 镜河泵站, 水质

Analysis of Water Quality of Water System for Landscape Engineering in Beijing Sub-Center Administrative Office Area

Tong Wang, Xuejun Ren, Detian Guan, Zilong Cheng

Beijing North Canal Management Office, Beijing

Received: Sep. 17th, 2024; accepted: Oct. 8th, 2024; published: Oct. 21st, 2024

Abstract

This paper aims to analyze the factors of affecting the water quality of Jing River by measuring the contents of chemical oxygen demand (COD_{Cr}), ammonia nitrogen (NH₃-N) and total phosphorus (TP).

文章引用: 王彤, 任雪珺, 关得天, 程子龙. 北京城市副中心水系景观工程对水质的影响分析[J]. 水污染及处理, 2024, 12(4): 77-86. DOI: 10.12677/wpt.2024.124011

Suggestions of improving the water environment provide a reference for the water system landscape engineering in Beijing sub-center. Since the impounding began on October 15, 2018, the Jing River pumping station, a water system landscape project in the administrative office area of Beijing sub-center, has been running steadily for several years and the water level, and storage capacity of Jing River have been basically stable. As the replenishing of reclaimed water and filtered water and the drainage from Jing River to North Canal, the water quality of river changes. The COD_{Cr}, NH₃-N and TP contents basically reach the surface water quality standard of Class IV. In the future, the water quality of Jing River can be improved by increasing the fluidity of water, improving the quality of the water replenishment, and strengthening long-term supervision.

Keywords

The Administrative Office Area of Beijing Sub-Center, Water System Landscape Engineering, The Jing River Pumping Station, Water Quality

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

现有研究表明,城市水系景观规划中往往需要加固河堤,会使用混凝土等硬化地面,随着城市化水平提高,城市内水体还存在面积缩小,污染严重,在设计中居民参与度较低等问题[1]。对城市水系景观的研究需要进行整体布局,从宏观角度找到水系之间功能上的关联,从微观上来分析某片水域在其所处空间上的独特功能和对整个水系的整体功能有着独特的贡献[2]。有分析表明,城市生态水系景观工程对人们生活及环境保护都有积极的影响,生态水系可以为人们提供绿色环境及优质水资源,同时人们也会更加珍惜及保护水资源,对政府来说,建设城市水系景观可以平衡社会发展和城市环境保护之间的矛盾[3]。城市水系在一个城市中有着不可替代的作用,但往往在城市建设中不会保持水域的自然形态,造成一系列生态环境被破坏的后果。城市河流往往承担着防洪、供水、景观、排污等多项功能,在城市水系景观建设过程中,要避免开发对环境的二次毁坏,保护水系不受到生产生活的污染,是当前需要研究的问题[4]。此前,也有对建立调水泵站规划整治水系,从而模拟水质状况,预期改善水质的研究[5]。西方国家城市化进程开始较早,对景观生态的认识也比较充分,一些西方国家对水系生态景观的研究处于领先地位。利用再生水构建水系景观已成为一种趋势,在这一过程中要注意再生水的水质,保证水资源质量。另外,还有研究针对城市水系景观的效果建立一种与水质有关的指数,综合考虑水中无机物、有机碎屑及需氧量、氨氮等指标,利用这一指数可以对水质在景观方面进行评价[6]。

通州区历来有“九河末梢”之称,属北运河流域和潮白河流域。作为北京城市副中心,通州区起到了调整北京空间格局的作用,从京津冀协同发展的角度看,通州区不仅要承接北京中心区的疏解产业,更要引导中心城区人口的转移,完善交通路网建设、建立配套的基础设施,势必会使通州区环境压力增加。同时,在建立副中心时要求对景观环境进行综合整治,通州区从古至今的发展都与运河的发展息息相关,所以在进行景观设计规划时水系的景观工程是十分重要的一方面。根据《通州区水务发展规划(2016-2020年)》,通州区要以改善水质为核心,通过综合整治河道、连通水系等工程措施构建“三网、四带、多水面、多湿地”的水环境格局,打造优美水环境[7]。对于副中心水系景观工程发挥的作用,从目前的研究来看主要有提升水质、收集雨水、浇灌绿地、保证洪水时水质安全、构建人文景观及水生态环境的

功能[8]。但对于这些功能, 现有的研究基本上停留在理论层面, 有其在提升水质方面, 尚无专门分析, 这就需要开展水质分析并提出改善或改进措施, 为城市副中心水系景观工程建设提供参考。镜河原为连通运潮减河与大运河之间的排水渠道, 为落实副中心行政办公区“营造宜人环境、传承北京气质、引领智慧生活”的景观规划目标, 将原水渠改造为有排蓄功能的景观河道, 目前已经取得了可观的改造成果, 镜河成为北京副中心行政办公区整体景观的一部分, 更是一处水系景观的样本[9]。结合上述原因, 本文选择镜河水质作为研究对象, 对镜河泵站建立前后的水质变化情况进行分析。

2. 项目概况

2.1. 研究区概况

北京城市副中心行政办公区镜河河道位于行政办公区中部偏西位置, 蜿蜒于行政办公区, 构建出“蓝绿交织、清新明亮、水城共融”的生态城市格局[10]。河道规划全长 3.5 km, 设计常水位为 18 m (高程), 最高水位 20 m (高程), 水深 1.5 m~2.0 m, 蓄水量约 $3.5 \times 10^5 \text{ m}^3$, 已完成施工并蓄水 2.4 km, 河道面积 $1.6 \times 10^5 \text{ m}^2$, 年蒸发量 1200 mm, 平均降雨量 573 mm, 见图 1。



Figure 1. Location map of Jinghe River (formerly known as Fengzigou) water system
图 1. 镜河(原名丰字沟)水系位置图

镜河水源由再生水和砂滤水组成, 检测水样的水质标准为《再生水水质标准》(SL368-2006) (见表 1) 及《城市污水再生利用景观环境用水水质》(GB/T 18921-2002) (见表 2), 地表水的水质标准为《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) (见表 3)。

Table 1. Renewable water conservancy for landscape water control projects and index limits
表 1. 再生水利用于景观用水控制项目和指标限值

序号	控制项目	观赏性景观环境用水控制指标		娱乐性景观环境用水控制指标		湿地环境用水控制指标
		河道类	湖泊类	河道类	湖泊类	
1	色度(度)	30	30	30	30	30
2	浊度(NTU)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
3	嗅	无漂浮物, 无令人不快感	无漂浮物, 无令人不快感	无漂浮物, 无令人不快感	无漂浮物, 无令人不快感	无漂浮物, 无令人不快感
4	pH 值	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0

续表

5	溶解氧(mg/L)	≥1.5	≥1.5	≥2.0	≥2.0	≥2.0
6	悬浮物(SS)(mg/L)	≤20	≤10	≤20	≤10	≤10
7	五日生化需氧量(BOD ₅)(mg/L)	≤10	≤6	≤6	≤6	≤6
8	化学需氧量(COD _{Cr})(mg/L)	≤40	≤30	≤30	≤30	≤30
9	阴离子表面活性剂(LAS)(mg/L)	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5
10	氨氮(mg/L)	≤5.0	≤5.0	≤5.0	≤5.0	≤5.0
11	总磷(mg/L)	≤1.0	≤0.5	≤1.0	≤0.5	≤0.5
12	石油类(mg/L)	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0
13	粪大肠菌群(个/L)	≤10,000	≤2000	<500	≤500	≤2000

Table 2. Water quality indicators of reclaimed water for landscape environmental water (Unit: mg/L)**表 2.** 景观环境用水的再生水水质指标(单位: mg/L)

序号	项目	观赏性景观环境用水			娱乐性景观环境用水		
		河道类	湖泊类	水景类	河道类	湖泊类	水景类
1	基本要求	无飘浮物, 无令人不愉快的嗅和味					
2	pH 值(无量纲)	6-9					
3	五日生化需氧量(BOD ₅)	≤ 10	6			6	
4	悬浮物(SS)	≤ 20	10			— ^a	
5	浊度(NTU)	≤	— ^a			5.0	
6	溶解氧	≥	1.5			2.0	
7	总磷(以 P 计)	≤ 1.0	0.5		1.0		0.5
8	总氮	≤			15		
9	氨氮(以 N 计)	≤			5		
10	粪大肠菌群(个/L)	≤ 10,000	2000		500		不得检出
11	余氯 ^b	≥			0.05		
12	色度(度)	≤			30		
13	石油类	≤			1.0		
14	阴离子表面活性剂	≤			0.5		

注 1: 对于需要通过管道输送再生水的非现场回用情况采用加氯消毒方式; 而对于现场回用情况不限制消毒方式。注 2: 若使用未经过除磷脱氮的再生水作为景观环境用水, 鼓励使用本标准的各方在回用地点积极探索通过人工培养具有观赏价值水生植物的方法, 使景观水体的氨磷满足表 1 的要求, 使再生水中的水生植物有经济合理的出路。a “—”表示对此项无要求。b 氟接触时间不应低于 30 min 的余氯。对于非加氯消毒方式无此项要求。

Table 3. Standard limits of basic items of surface water environmental quality standards (Unit: mg/L)**表 3.** 地表水环境质量标准基本项目标准限值(单位: mg/L)

序号	项目	标准值	分类				
			I类	II类	III类	IV类	V类
1	水温(°C)		人为造成的环境水温变化应限制在: 周平均最大温升 ≤ 1 周平均最大温降 ≤ 2				
2	pH 值(无量纲)		6~9				
3	溶解氧	\geq	饱和率 90% (或 7.5)	6	5	3	2
4	高锰酸盐指数	\leq	2	4	6	10	15
5	化学需氧量(COD)	\leq	15	15	20	30	40
6	五日生化需氧量(BOD ₅)	\leq	3	3	4	6	10
7	氨氮(NH ₃ -N)	\leq	0.15	0.5	1	1.5	2.0
8	总磷(以 P 计)	\leq	0.02 (湖、库 0.01)	0.1 (湖、库 0.025)	0.2 (湖、库 0.05)	0.3 (湖、库 0.1)	0.4 (湖、库 0.2)
9	总氮(湖、库, 以 N 计)	\leq	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0
10	铜	\leq	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0
11	锌	\leq	0.05	1.0	1.0	2.0	2.0
12	氟化物(以 F 计)	\leq	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
13	硒	\leq	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
14	砷	\leq	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
15	汞	\leq	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
16	镉	\leq	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
17	铬(六价)	\leq	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
18	铅	\leq	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1
19	氰化物	\leq	0.005	0.05	0.2	0.2	0.2
20	挥发酚	\leq	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
21	石油类	\leq	0.05	0.05	0.05	0.5	0.1
22	阴离子表面活性剂	\leq	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
23	硫化物	\leq	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0
24	粪大肠菌群(个/L)	\leq	200	2000	10,000	20,000	40,000

2.2. 运行现状

河道水源由再生水厂和河岸土壤渗滤净化水组成。如图 2 所示,再生水和砂滤水通过循环管线向河道补水。同时通过河道南侧退水口退水。根据规划,20 年一遇以内河道周边降雨,其雨水全部收集,由暗涵自排入北运河,不会对水体造成污染,超 20 年一遇降雨雨水,由暗涵分流进入河道调蓄,最终强排出河道。河道平均每月补充再生水 213882.60 m³,补充砂滤水 55913.92 m³,退水 321575.83 m³。



Figure 2. Schematic diagram of the location of the circulation pipeline, distribution outlet, and water source well
图 2. 循环管线、分水口及水源井位置示意图

2.3. 水生态系统构建情况

自 2019 年 3 月 15 日开始, 河道水体前后投加水生动物, 种植沉水、挺水植物。其中 0.25 kg 花鲢鱼、白鲢鱼鱼苗累计投放密度 2 条/m²; 螺蛳投放密度 20 只/m²。苦草及矮化苦草种植面积 17,000 m²; 多分布在河道两侧浅层。

3. 研究方法

本研究针对镜河湖心岛表层及底层水按月采样, 对其化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH₃-N)及总磷(TP, 以 P 计)等标准进行检测, 具体检测方法如表 4。

Table 4. Test items and test basis
表 4. 检测项目与检测依据

检测项目	检测依据
化学需氧量(COD _{Cr})	水质化学需氧量的测定重铬酸钾法 HJ828-2017
氨氮(NH ₃ -N)	水质氨氮的测定纳氏试剂分光光度法 HJ535-2009
总磷(TP, 以 P 计)	水质总磷的测定钼酸铵分光光度法 GB11893-1989

检测用主要仪器设备: UV1800 型紫外-可见分光光度计 AE-169、AL204 型分析天平 AE-015、DGH-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱 AE-006、UV9100B 型紫外可见分光光度计 AE-690。

由于采样及检测周期较长,本研究实施过程中,定期维护和校准有关设备,以确保其准确性和可靠性。涉及水质检测的有关人员操作前均需进行有关培训和考核,并按照统一标准和作业流程进行实验操作,避免人为因素对采样结果的影响,保证样品的代表性、准确性、精密性、可比性和完整性。同时,在测定中设置平行样品和空白样品,以减少随机误差的影响,防止实验过程中添加的试剂对测定结果造成影响。对检测记录进行实时整理归纳和有效性分析、统计检验和回归分析,确保数据的准确性和代表性。

4. 结果与讨论

本研究对2023年1月~12月河道水样进行检测。得到数据显示,如图3,1~12月水样 COD_{Cr} 基本维持在 $5\text{ mg/L}\sim 30\text{ mg/L}$ 之间,全部满足地表IV类水标准,且从2月至8月有显著下降趋势,自8月起呈现上升趋势。由于河道内每日均有再生水、砂滤水补水,同时进行退水,故水体流动性较好,且自2023年4月开始,水体内开始种植大量水生植物,投放水生动物,初步构建了水下生态系统,水体内有机物逐渐被分解消耗。因此,3~11月水生植物生长茂盛、水生动物活动频繁时, COD_{Cr} 浓度较低。

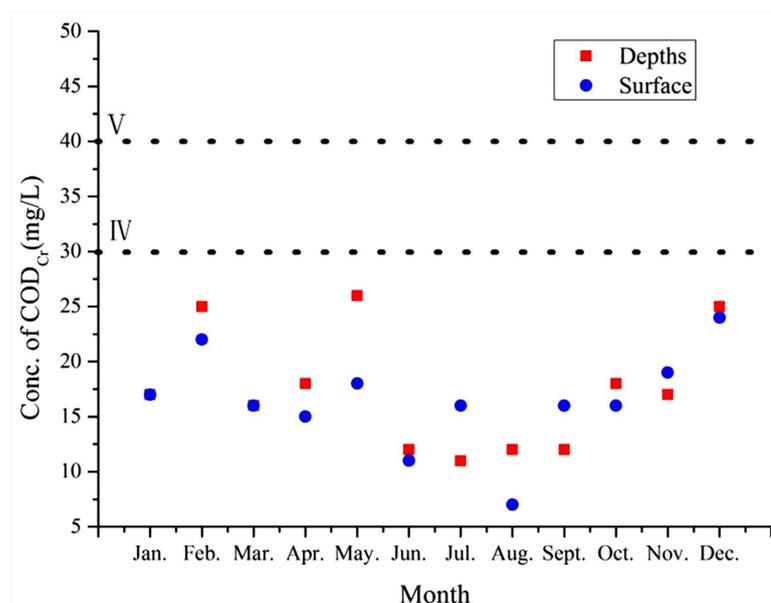


Figure 3. Changes in COD_{Cr} concentration in river channels from January to December 2023

图3. 河道2023年1~12月 COD_{Cr} 浓度变化

2023年1~12月水样 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度如图4所示,水样中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化幅度较大,维持在 $0.1\text{ mg/L}\sim 1.2\text{ mg/L}$ 之间。由上述项目基本情况可知,该水体周边并无污水排放口,推测 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度过高并非来自外部污染。根据《再生水水质标准》(SL368-2006)及《城市污水杂用水标准》(GB/T 18920-2002),补充进入水体内部的再生水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度应 $\leq 5.0\text{ mg/L}$,因此河东再生水厂补充进入的再生水对河道水质产生影响。同时,由于砂滤水来自浅层地下水,水井位置原为农业用地,大量农药和化肥除被作物吸收外,有部分漂浮在空气或残留在土中,随着降雨和灌溉在地表流动,或随下渗水进入含水层,污染地下水[11]。此外,河道两侧暗涵只能保证小于20年一遇的雨水不会流入。当雨量过大时,雨水中夹带的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等污染物亦会通过暗涵分流雨水进入河道的过程在水体中累积,雨水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度最高可达 4.9 mg/L [12]。由于1月、2月、11月、12月水生植物未种植,水生动物未投放,水生态系统未形成,故水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在短时间内难以被快速分解,造成上述月份水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度较高。

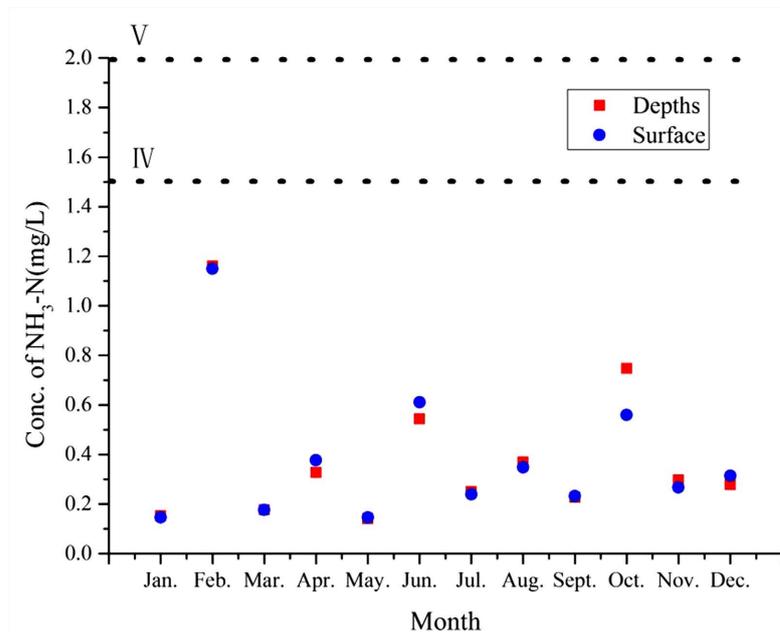


Figure 4. Changes in NH₃-N concentration in river channels from January to December 2023

图 4. 河道 2023 年 1~12 月 NH₃-N 浓度变化

河道水样 2023 年 1~12 月 TP 浓度如图 5 所示，水样 1~12 月 TP 浓度维持在 0.2 mg/L 以下，满足地表 IV 类水要求，从 3~12 月呈现总体逐渐上升趋势。随着水体中不断种植水生植物，投放水生动物，水体内部水生态系统逐渐形成，水中及河道底泥释放的总磷可以被众多水生植物吸收利用，植物的吸附和微生物降解使河道内水质 TP 浓度维持在较低水平。并随着水生植物的生长趋于稳定。

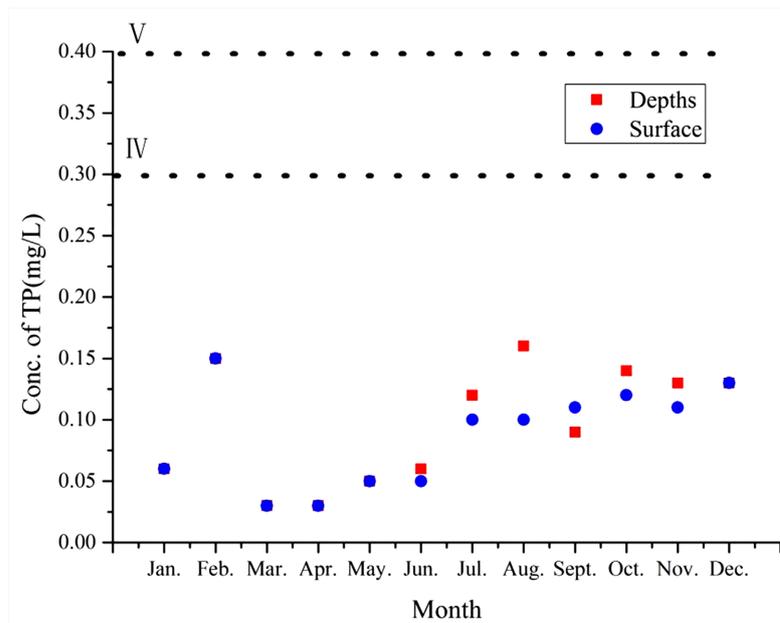


Figure 5. Total phosphorus (TP) concentration in the river channel from January to December 2023

图 5. 河道 2023 年 1~12 月总磷(TP)浓度

5. 结论与建议

综合上述分析,自2018年10月蓄水以来,镜河水位逐渐上升至正常水位(18 m),通过再生水补水、砂滤水补水及镜河向北运河退水。镜河水流保持稳定流速,通过水生植物种植及水生动物投放,镜河水体水生态系统逐渐形成,植物及微生物对水中污染物具有一定的吸附及降解作用。 COD_{Cr} 浓度维持在较低水平。搭配荷花等浮叶植物、芦苇等挺水植物,藻类生长受到抑制,水体透明度得到长期维持,水中TP浓度稳定在较低水平。

现有补充进入河道的再生水仅能满足《再生水水质标准》(SL368-2006)及《城市污水杂用水标准》(GB/T 18920-2002)等水质标准,相对于《地表水环境质量标准》(GB3838-2002), $\text{NH}_3\text{-N}$ 及TN浓度较高。加之水生态系统不稳定,植物吸附、微生物降解能力有限及底泥释放等因素,水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及TN浓度较高。

分析这一周期的检测结果及可能的影响因素,对镜河后期水质优化提出如下建议:

(1) 后期可逐步增加水体内循环频率,通过调节池进一步优化退水及循环水量,调整退水中循环水量的比例,进一步增强水体流动性,平衡日退水至北运河的退水量及补水量。

(2) 在水质严重超标条件下,考虑对镜河水体进行深度处理工艺,镜河补水水源中,浅层地下水被过量农药化肥污染,土壤渗滤水质及再生水质均不达标,要开发新的处理污染方案,或寻找新的再生水补水水源,替代现有补水方案,进一步降低水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度。

(3) 针对水藻大面积爆发的问题,综合采取人工打捞、投放治理水藻药剂、加大水生动植物的种植及投放力度等方式,同时要寻找新工艺抑制补水水源藻类生长风险,找到既能抑制水藻生长,又不会对生态环境造成破坏的最优方法。

(4) 结合镜河蓄水防汛的功能,对排入镜河的雨水进行集中处理,避免雨水中的污染物进入河道,影响镜河水质,在防洪同时保障水质稳定。

(5) 调整投放的水生生物的品种与数量,构建一个较为稳定的、适宜在镜河的水生生态系统,最大限度发挥水生动植物调节水质、构建生态景观的功能。

(6) 对镜河水体展开长期水质监测,联合科研机构及管理单位,加强监督,对出现的影响水质的因素及时调整,综合治理。

参考文献

- [1] 张国旺. 城市生态水系景观工程对环境保护的积极影响[J]. 科技与企业, 2014(4): 128.
- [2] 南昊. 城市水系景观生态设计方案分析与研究[J]. 智能城市, 2017, 3(2): 224.
- [3] 谢晓英, 张琦, 周欣萌, 王欣. 城市景观水系及滨水空间一体化——以北京城市副中心行政办公区丰字沟河道景观设计为例[J]. 城乡建设, 2018(1): 40-43.
- [4] 邓波, 雷翠翠, 果利娟. 调水泵站对改善水系水环境重要性的分析研究[J]. 中国市政工程, 2018(1): 62-66.
- [5] 郑威. 水生态文明建设中的城市内河综合治理[J]. 区域治理, 2020(4): 100-102.
- [6] Chang, N., Luo, L., Wang, X.C., Song, J., Han, J. and Ao, D. (2020) A Novel Index for Assessing the Water Quality of Urban Landscape Lakes Based on Water Transparency. *Science of The Total Environment*, **735**, Article 139351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139351>
- [7] 廖倩昀. 城市水系建设结合景观生态学的策略研究[J]. 现代园艺, 2018, 41(7): 139-140.
- [8] 北京市通州区水务局. 聚焦攻坚 打造优美水环境——北京市通州区水务局[J]. 北京水务, 2019(3): 8-9.
- [9] 杨舒媛, 王军, 张晓昕, 等. 高标准规划“水城共融”的城市副中心的探索[J]. 城市规划, 2020, 44(1): 85-91.
- [10] 丁洪兴, 段佳佳. 让风景融入日常生活——北京城市副中心镜河(丰字沟)水系景观建设分析[J]. 城乡建设, 2018(24): 32-35.

- [11] 宋秀杰, 丁庭华. 北京市地下水污染的现状对策[J]. 环境保护, 1999, 27(11): 44-47.
- [12] 徐海波, 尤爱菊, 韩曾萃, 吴淑琰, 程南宁. 雨水中污染物浓度分布规律研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12304-12306.