

以二级出水作为景观补水和冷却水水源效益分析

周 律¹ 霍振远² 甘一萍³ 周 军³ 郝二成³ 姚 远¹

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 北京科技大学土木与环境学院, 北京 100083;
3. 北京市城市排水集团, 北京 100022)

摘要 高碑店湖是以北京高碑店污水处理厂二级出水为主要补水水源的城市景观河道, 同时该湖用作电厂冷却水水源。通过对高碑店湖长期的水质监测分析、高碑店湖的优势藻类研究, 结果表明, 高碑店湖满足观赏性景观水体使用要求, 水华得到有效控制, 产生了良好的水体景观效益; 二级出水满足电厂冷却水水质, 通过经济效益估算, 提出了再生水回用于电厂改进建议。

关键词 污水处理厂 二级出水 回用 景观水体 冷却水

1 研究背景

高碑店湖位于北京东郊, 是通惠河从高碑店闸到四惠铁路桥之间的部分, 长约 1 km, 湖面积约 1.5 hm²。高碑店湖水深 1~5 m, 湖宽 50~200 m, 容量约 27 万 m³。

高碑店污水处理厂将二级出水输送到高碑店湖的水量约 20 多万 t/d, 承担着北京市景观河道的补水任务, 同时高碑店湖湖水还作为中电国华电力北京热电分公司的直流冷却用水。与高碑店湖上游补水相比, 高碑店污水处理厂的二级出水是高碑店湖补水的主要来源。

高碑店污水处理厂设计处理能力 100 万 t/d, 是我国最大的二级城市污水处理厂。设计出水水质为 COD_{Cr} < 120 mg/L; BOD₅ < 30 mg/L; SS < 30 mg/L, 经过工艺完善, 污水厂脱氮能力大为改善。

本研究通过对高碑店湖历时 1 a 的水质连续分析, 从景观回用和冷却水回用两方面, 分析和总结了城市污水处理厂二级出水的应用效果, 并就再生水回用还存在的问题进行了探讨。

2 高碑店湖的水质监测

2.1 监测指标

参照《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91-2002) 等标准, 监测时间从 2004 年 8 月到 2005 年 9 月。取样点分别为: 取样点 1——高碑店桥、取样点 2——游船码头、取样点 3——铁路桥、取样点 4——电厂循环水入湖处和上游对照断面、取样点 5——高西店桥。

监测项目与频率: 氨氮、温度、叶绿素 a、DO(溶解氧)、pH、SD(透明度)、TN、TP、SP、COD_{Cr} 等项目为每周

1 次; 另外 LAS(阴离子表面活性剂)、余氯、色度、浊度、总大肠菌、粪大肠菌等为 2 周 1 次; BOD₅ 每月 1 次; 石油类、总硬度、永久硬度、Pb、Cd、Ni、Zn、NO₂⁻-N、TKN(凯氏氮)、NO₃⁻-N、TON(总有机氮)、HCO₃⁻、CO₃²⁻、OH⁻、Ca、Mg、Fe、K、Cu 等半年 1 次。取样深度按垂向分 3 层: 表层 0.5 m, 底层为湖底以上 0.5 m。底泥春夏季各 1 次, 项目为: pH、Zn、Pb、Ni、Cd、Cr、Cu、Mn 等。监测方法均采用国家相关标准方法及《水和废水监测分析方法》(第四版) 中的分析方法^[1]。

2.2 水质监测结果

高碑店湖实测水质数据与高碑店污水处理厂二沉池出水对比见表 1。可以看出, 高碑店二沉池出水 SS、COD_{Cr}、BOD₅ 值远好于《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 二级排放标准。其中 TP、TN 在湖中削减 15% 左右, 氨氮在湖中削减 52.7%; 而 BOD₅、COD_{Cr}、SS 值有所增加, 原因初步认为是通惠河上游有排污口、浮游藻类的生长及夏季降雨引起的面源污染。电厂冷却用水使得湖水流速快, 混合效果好, 各取样点不同指标的变化不显著。

表 1 高碑店湖部分水质指标与高碑店污水处理厂出水比较

项目	mg/L (pH 除外)						
	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TP	TN	氨氮	pH
高碑店湖 2004 ~ 2005 年均值	46.06	16.9	15.74	2.27	27.90	7.21	7.65
高碑店污水厂二级出水年平均值	39.2	9.84	11.9	2.75	32.5	15.20	7.65

高碑店湖优势藻种均为蓝藻门, 颤藻和水华微囊藻是优势种群。绿藻门中以盘星藻为优势种群, 硅藻门的优势种是小环藻。蓝藻一般生活在营养盐和有机

机质较为丰富的水体中,适于在较高温度下生存,是藻类中最简单最低级的一门。颤藻(*Oscillatoria*)属于颤藻科。藻体呈蓝绿色,为一系列细胞组成的丝状体。水温在35℃以上,颤藻会在浮游植物中占优势。藻类的大量增殖会影响水体的感官性状,溶解氧下降,水体色度增加,透明度下降,并散发出腥臭味,产生硫化氢、甲烷等有毒气体污染居住环境,丧失水体美学价值。颤藻及一些蓝藻产生微囊藻毒素,藻毒素释放到水体中,会毒害水生生物。

叶绿素a是反映水体中浮游藻类生物量的综合指标。从图1可以看出叶绿素a的峰值出现在2005年5月和9月,叶绿素a的增加使水体的透明度下降,由图2可知藻类的个体数与叶绿素a值呈对应关系。浮游植物藻类的生长导致了水体透明度的下降,影响了水体的感观效果,使水体丧失了美学价值。

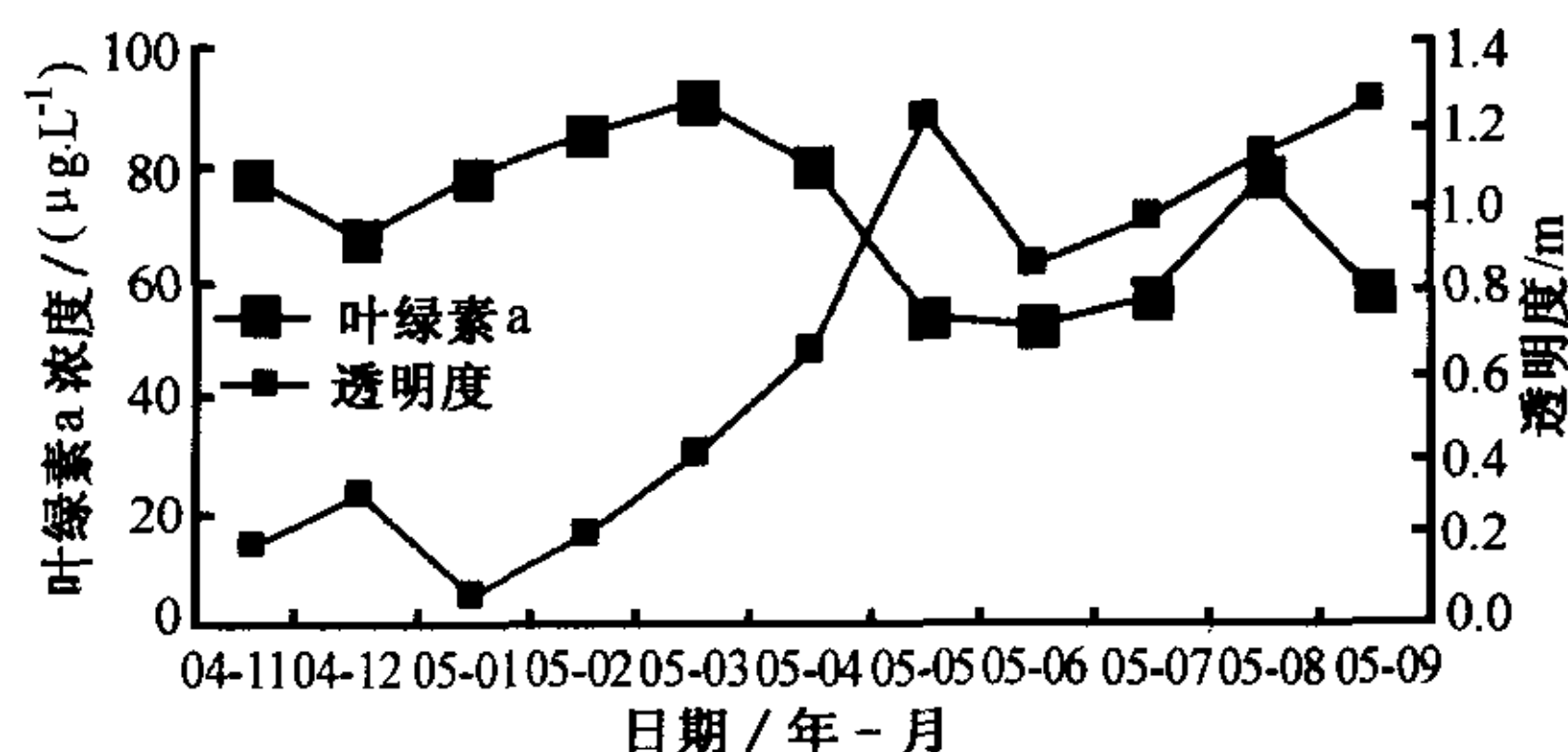


图1 高碑店湖月平均叶绿素a与透明度关系

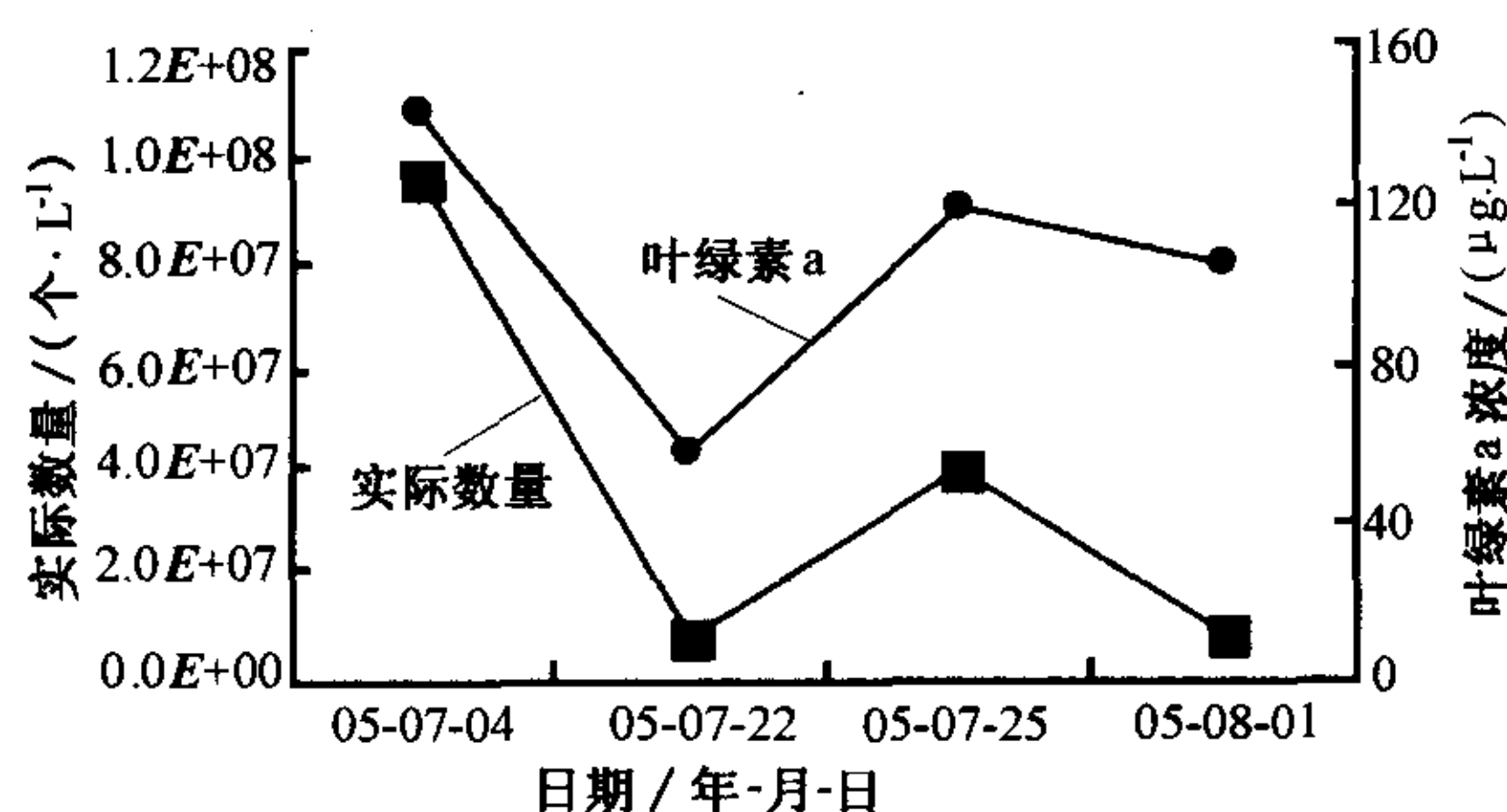


图2 高碑店湖叶绿素a与藻个体数关系

一般富营养化湖泊的水华都发生在夏季,叶绿素a值出现高峰,由于浮游植物藻类在夏季有适宜的温度和充足的光照条件,又有足够的营养盐,导致了藻类的快速繁殖。但是高碑店湖的叶绿素a值比同期其它湖泊要低得多,没有大面积的暴发水华。主要原因不是氮磷营养盐不充足,而是由于高碑店湖受国华北京热电厂冷却用水的影响,水的流动性较强,水的快速流动破坏了藻类生长的环境,只有在水流状况差的死角偶尔会有少量藻类漂浮物的存在。

3 高碑店湖景观效果分析

高碑店湖的补水是由高碑店污水厂二级出水及

上游排水组成,上游补水量少。

与《城市污水再生利用景观环境用水水质(GB/T 18921-2002)》中观赏性景观环境用水河道模拟比较,高碑店湖水质满足(GB/T18921-2002)的指标有:DO、pH、SS、LAS、石油类、色度、浊度。而BOD₅、氨氮、TP、TN、粪大肠菌群值(均值为 3.6×10^5 个/L)高于观赏性景观环境用水河道类水体标准(GB/T18921-2002)。

根据国内外有关文献^[2,3]和本研究,景观水体美学指标应达到:无飘浮物;无令人不愉快的嗅和味;透明度 ≥ 0.5 m;溶解氧 ≥ 2 mg/L;浊度 ≤ 10 NTU;色度 ≤ 30 度等。高碑店湖满足以上的指标要求。

GB/T18921-2002中规定:观赏性景观环境用水是指人体非直接接触景观环境用水,当完全使用再生水时,景观河道类水体的水力停留时间宜在5 d以内。高碑店湖湖水的水力停留时间约为1 d,而热电厂的使用使得高碑店湖水每天可以循环约4次,这也是高碑店湖水体的感官美学效果好的原因之一。

4 高碑店湖水回用于电厂冷却水

中电国华北京热电厂位于通惠河北岸,高碑店湖以西,距高碑店污水处理厂约5.5 km。该电厂从通惠河上游距高碑店闸3.8 km处取水,经处理使用后经由二道沟闸排入高碑店湖下游(高碑店闸上),靠水面散热后再循环使用。电厂用水量夏季约5~6万t/h。一般冬季,进水温度10℃,出水温度为15~16℃;夏季,经过对蒸汽进行冷却后出水水温大概达47℃,进入高碑店湖时水温平均约为43℃。电厂装机容量为400 MW。

4.1 电厂冷却用水水质要求

高碑店湖水质与《污水再生利用工程设计规范》(GB50335-2002)中对再生水用于工业直流冷却水标准比较,其中pH、SS、COD_{Cr}、BOD₅、浊度、铁、锰、Cl⁻、总硬度、总碱度、氨氮、总磷、溶解性总固体、游离余氯都可以达标,只有粪大肠菌指标超标。

4.2 电厂冷却用水效益分析

城市污水处理技术比较成熟,基建投资比远距离引水少。以再生水代替自来水作为电厂冷却水,既可以大大节约新鲜水,有效地缓解了水资源的供需矛盾,还可以减轻污水排放引起的环境污染问题^[4]。

据文献^[5-7],采用直流冷却方式,100 MW热电厂用水量约3.5~4 m³/s,采用敞开式循环冷却方式,并浓缩2~3倍,排污量下降至原来的0.5%~1.0%,补充的新鲜水一般只是直流用水量的1/40左右。

国华北京热电厂装机 400 MW, 用水量约为 $14 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右, 由于冬季用水较夏季少, 一年按照 300 d 的用水量计算, 年用水量为 $3.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中循环冷却水补充水约占 50% 左右^[8], 目前由于全部采用高碑店湖作为冷却水源, 大大节约了地表水或地下水资源。如果国华热电厂改用循环冷却方式, 估算循环冷却水补充水年用量约为 $4.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

5 结论与建议

(1) 以高碑店污水处理厂二级出水为主要补水水源的高碑店湖, 对于严重缺水的北京发展非常重要。二级出水排入河道, 可以减轻河湖干涸、生态恶化; 也可以提高水质, 净化水体, 美化环境。

(2) 虽然春、夏季高碑店湖中有时出现蓝藻门的颤藻及微囊藻等浮游植物, 但是水力停留时间短, 加上电厂的冷却循环使其有良好的流动性, 使得藻类浮游植物没有大规模繁殖, 水体无不良景观效果, 无大量漂浮物, 透明度高, 夏季未发生水华, 没有严重的嗅和味。高碑店湖可满足观赏性景观水体要求, 具有良好的水体景观效益。

(3) 高碑店湖水质可以满足电厂直流冷却用水要求。目前国华电厂采用高碑店湖水作为冷却水, 每年可节约新鲜水约 $3.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 产生巨大的经济效益、社会效益和环境效益。若改敞开式循环冷却方式可节约新鲜水还可以更进一步节约再生水资源。

(4) 高碑店湖的粪大肠菌群指标偏高, 为尽量降低对人体健康的影响风险, 应该强化二级出水卫生学指标控制。

(5) 电厂热循环水排水引起的水温升高, 会影响

水中的含氧量, 改变水生生物的生长环境。目前在火电厂中运用最广泛的是敞开式冷却水循环系统, 可以节约用水量及排放量。故建议改造直流冷却方式为敞开式循环冷却水系统, 并适当提高浓缩倍率。

(6) 由于降雨、周边少量的排污引起的污染也会影响水体的水质及景观效果。因此要进一步加强高碑店湖管理, 采取有效措施减少上游和周边排污。

参考文献

- [1] 国家环境保护总局编.《水和废水监测分析方法(第四版)》.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [2] World health organization. Guidelines for safe recreational water environments volume 1: coastal and fresh waters Geneva 2003.
- [3] 薛惠锋.水域景观美学价值评价理论研究.人文地理,1994,9(2):1-6.
- [4] 杨向平,张瑞珠,翟家骥,许木启,邵永怡.北京市高碑店污水处理厂(一期工程)水环境效益调查分析.高碑店污水处理厂,1996,12:12-13.
- [5] 刘一平,郭绍辉,王嘉麟.城市污水回用于工业的现状分析.环境工程,2005,23(6):3-4.
- [6] 孙璐.火电厂工业废水回用的研究——以渭河电厂为例.西安理工大学硕士学位论文,2001,3:2-3.
- [7] 曾建平.循环冷却水系统的平衡碱度预测.南京理工大学硕士学位论文,2004,7:1-2.
- [8] 尹连庆,刘勇,潘晓丽.城市污水回用电厂技术分析.河北电力技术,2003,增刊,22:46-48.

作者通讯处 周律 100084 北京市海淀区 清华大学环境科学与工程系
电话 (010)62773079

2006-02-09 收稿

(上接第 15 页)

参考文献

- [1] F.Séguret, et al. Hydrodynamic behaviour of a full-scale submerged biofilter and its possible influence on performances. Wat. Sci. Tech., 1998, 28(8-9):249-256.
- [2] P.Chudoba, et al. A three-stage bioformances of a pilot plant. Wat. Sci. Tech., 1998, 38(8-9):257-265.
- [3] 郑俊,吴浩汀,程寒飞.曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例.北京:化学工业出版社,2002.
- [4] 国家环保总局.水和废水监测分析方法(第三版).北京:中国环境科学出版社,1998.
- [5] 朱乐辉.污水处理新工艺——曝气生物滤池.世界环境,2000,(1):34-37.
- [6] 齐兵强,王占生.曝气生物滤池在污水处理中的应用.给水排水,2000,26(10):4-8.

- [7] 刘长荣.曝气生物滤池技术应用与设计计算.给水排水,2000,28(7):15-18.
- [8] 徐亚明,蒋彬.曝气生物滤池的原理及工艺.工业水处理,2002,22(5):1-5.
- [9] 李亚新,华玉妹.生物曝气滤池处理生活污水工艺特性研究.给水排水,2001,27(9):31-33.
- [10] 牛学义.生物滤床污水处理工艺的应用范围和效率.给水排水,1999,25(7):26-29.

作者通讯处 朱乐辉 330029 江西南昌北京东路 339 号 南昌大学南区环境科学与工程学院
电话 (0791)8750343
E-mail estd_ray@sina.com

2005-10-17 收稿