

城市再生水景观利用水质维护方法研究^{*}

赵 珊 高晓利 张传光 周 军 甘一萍

(北京城市排水集团有限责任公司,北京 100124)

摘要:城市再生水景观回用的主要问题是水体富营养化导致水华的暴发。水体一旦爆发水华,将导致水体透明度下降,溶解氧降低,水生植物和鱼类大量死亡。常用的城市景观水体富营养化的防治技术有污染源控制、物理治理技术、化学治理技术和生物修复技术。在面积为 100 m² 的中试试验基地采用多种技术联用控制水华暴发,结果表明:人工湿地对 COD、TN、NH₃-N、STP 和叶绿素的去除率分别为 17%、19%、64%、21% 和 91%。某水力曝气溶氧过滤设备对这 5 项指标的去除率分别为 6%、1%、6%、0% 和 61%。结合两种技术的其他特点,人工湿地适合于景观水的日常维护。某循环过滤设备适合于水华爆发的应急处理。

关键词:水质维护;再生水;藻类

RESEARCH ON MAINTENANCE TECHNOLOGY OF URBAN RECLAIMED WATER FOR LANDSCAPE

Zhao Shan Gao Xiaoli Zhang Chuanguang Zhou Jun Gan Yiping

(Beijing Drainage Group Co., Ltd, Beijing 100124, China)

Abstract: Water-bloom is easy to occur in scenic water which utilizes reclaimed water as source water. It is the serious result of water-bloom that water transparency declines, dissolved oxygen falls and water body becomes dark green or blue green etc. Common maintenance technologies for scenic water include water source prevention, physical treatment, chemical treatment and biological remedil treatment. The pilot testis carried out in R&D center of Beijing Drainage Group with an area of 100m². Test result showed that removal rate of COD, TN, NH₃-N, STP and chlorophyll was 17%, 19%, 64%, 21% and 91% with constructed wetland, and that was 6%, 1%, 6%, 0% and 61% with a filtration equipment. Combined with other characteristics, constructed wetland is suitable for daily maintenance, and filtration equipment is suitable for emergency treatment.

Keywords: maintenance technology; reclaimed water; algae

0 引言

我国水资源严重短缺,根据 2002 年的统计数据,我国共有市级以上城市 668 个,其中缺水城市 400 多个,且人均水资源量逐年递减,2007 年的人均水资源量仅为 2000 年的 87%。为了解决我国日益缺水的严峻局面,再生水成为了城市的“第二水源”。再生水回用于景观环境是满足缺水城市对于娱乐性水环境需要而发展起来的一种再生水回用方式,也是完成水生态循环的自然修复与恢复的最佳途径^[1]。但是,城市再生水景观利用面临的主要问题是虽然再生水中污染物相对于污水有了本质上的降低,已满足

^{*} 城市综合节水技术开发及示范(国家十一五科技支撑计划项目)(2006BAB17B05)。

GB/T 18921—2002《城市污水再生利用景观环境用水水质》的要求($\rho(\text{TN}) = 15 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{TP}) = 0.5 \text{ mg/L}$,观赏性景观环境用水,湖泊类),但相对于天然水体 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅳ类水 $\rho(\text{TN}) = 1.5 \text{ mg/L}$, $\rho(\text{TP}) = 0.1 \text{ mg/L}$,再生水中污染物本底值仍然较高;城市景观水体流动缓慢甚至完全静止;城市景观水体水深较浅,阳光易于投射。这些不利条件极易导致藻类过度生长,甚至爆发水华。

水华通常是指淡水池塘、河流、湖泊、水库等水体受到污染,氮磷等营养物质大量增加,致使水体达到富营养化或者严重富营养化状态,在一定的温度、光照、水流流速等条件下,某些藻类发生爆发性的繁殖,引起明显的水色变化,并在水面形成或厚或薄的绿色

或其他颜色的藻类漂浮现象^[2]。

1 水质维护手段

补水水质: 控制补水水质属于污染源控制中的一项常用手段。为更加接近实际情况, 本试验补水选用北京城市排水集团有限责任公司高碑店污水处理厂出水, 水质如图 1 所示。从图 1 中可知: 该厂出水符合 GB/T 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》中一级 A 标准(总氮除外)。

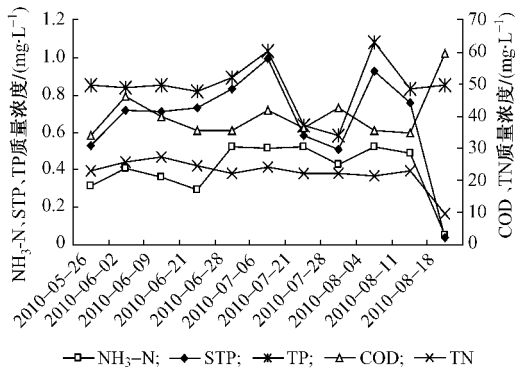


图 1 2010 年 5—10 月试验用补水水质

人工湿地: 人工湿地属于生物修复技术中的一项常用手段。该技术是 20 世纪 70 年代末发展起来的一种新型的污水生态处理新技术, 其特点是投资少、效率高、抗冲击、处理效果稳定、运行费用低、维护方便和景观相容性好, 并逐渐被应用于各类被污染水体的治理之中^[3-4]。人工湿地是通过植物—土壤—微生物的综合作用实现对污染物的去除, 其中微生物是对污染物进行吸收和降解的主要生物群体和承担者^[5]。本试验使用的人工湿地为潜流人工湿地, 根据清华大学相关人员的研究成果^[6], 黄花鸢尾是一种适应于北方景观水体的挺水植物, 因此, 本人工湿地栽种黄花鸢尾。人工湿地结构示意图如图 2 所示。试验过程中人工湿地的处理流量为 10 m³/d。

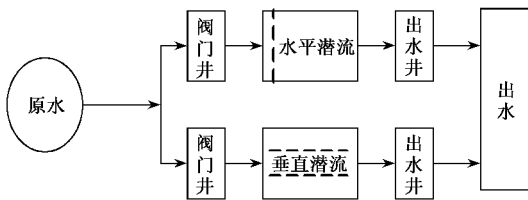


图 2 人工湿地结构示意图

水力曝气溶氧过滤设备: 水力曝气溶氧过滤设备属于物理治理技术中的一项常用手段, 它可以同时实现曝气和机械除藻, 并且配套上加药装置后, 还实现了化学药剂抑藻的功能。该设备由北京某水处理发展有限公司提供, 简称为人工心脏。该设备根据吐故

纳新、浮选、复合反滤层设计和水利全自动原理而设计。特点为: 节能降耗; 无腐蚀、无需更换填料; 水利全自动化设备、无阀门、无维护; 多层超精细过滤介质, 出水浊度 < 0.4 NTU; 设备紧凑、占地面积小, 节省土建 50%。试验过程中, 人工心脏的处理流量为 96 m³/d。

2 试验基地与分析项目

2.1 试验基地

试验基地为北京城市排水集团有限责任公司科技研发中心景观湖, 湖水面积为 100 m², 池底和四周壁面均为水泥, 水池的结构为长方形, 池长约 20 m, 宽约 5 m, 池深度约 1.5 m, 有效水深 1.0 m。水流形态为低进高出。进水为北京城市排水集团有限责任公司高碑店污水厂产生的二沉水。景观水体藻类生长中试试验工艺如图 3 所示。鸢尾人工湿地设计参数如表 1 所示。

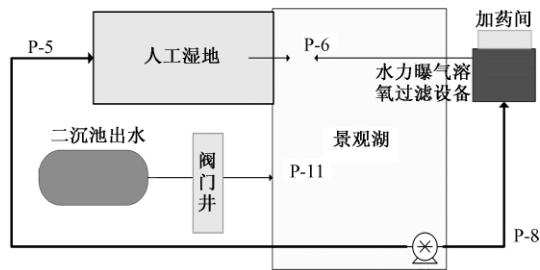


图 3 景观水体藻类生长中试试验工艺

表 1 鸢尾人工湿地设计参数

湿地类型	长/m	宽/m	下层填料深度/m	上层填料深度/m	超高/m	植物类型
垂直潜流	7.02	0.88	5~10 mm 石灰石/0.7	砂土/0.6	0.4	黄花鸢尾
水平潜流	8.28	4.64	5~10 mm 石灰石/0.7	砂土/0.6	0.4	黄花鸢尾

2.2 分析项目及方法

根据 GB/T 18921—2002 的规定调节景观湖水质和水力停留时间。试验时期: 2010 年 5—8 月。试验初期从实际湖水中引入部分原水(通过镜检, 优势藻种为绿藻中的水网藻、小球藻), 作为藻种来源。检测项目及方法如表 2 所示。在试验期间藻类经历适应、增长、衰亡等阶段。

3 试验数据分析

3.1 人工湿地对景观水体维护的效果

试验期间为 2010 年 5 月 26 日至 2010 年 6 月 21 日, 历时近一个月。人工湿地对 COD、TN、NH₃-N、STP 和叶绿素的去除率分别为 17%、19%、64%、21%

表 2 景观湖检测项目及方法列表

指标	测量方法
总氮	碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法(GB 11894—89)
氨氮	纳氏试剂光度法(GB 7479—87)
溶解性总磷	过硫酸钾氧化钼锑抗分光光度法(GB 11893—89)
叶绿素	研磨—分光光度法
COD	快速消解分光光度法 HJ/T 399—2007

和 91% ,如图 4 所示为人工湿地对 COD 的去除效果。这与其他学者的研究结果基本吻合,这说明人工湿地虽能去除水质中的营养盐,但是在再生水景观利用水质维护过程中,起到主要作用的是人工湿地的过滤截留作用,其能大量去除水中的叶绿素,也就是能大量削减水体中的藻数量,因此避免了藻类的大量繁殖。试验期间湖水清澈见底、没有发出异味,如图 5 所示。但随着试验的进行,水中出现底栖型绿藻,水中的叶绿素含量由 0.6 mg/m^3 逐渐上升到 9 mg/m^3 ,仅凭人工湿地这一种维护手段难以抑制藻类的大量繁殖,进行下一阶段的试验,开启人工心脏。

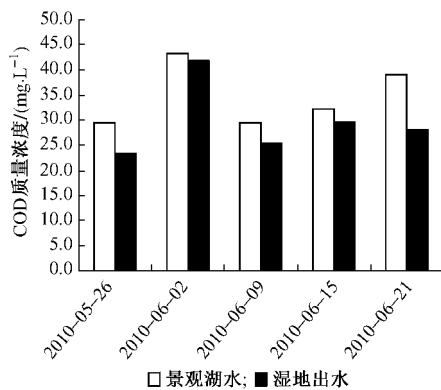


图 4 人工湿地对 COD 的处理效果



图 5 人工湿地运行期间景观湖水体

3.2 人工湿地 + 人工心脏对景观水体维护的效果

试验期间为 2010 年 6 月 28 日至 2010 年 8 月 4 日,历时 1 个多月。湖水中 COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、STP 和叶绿素的变化趋势如图 6 所示。与第一阶段试验相对比,虽然 COD 的浓度有较大幅度的提升(平均值由 35 mg/L 上升到 45 mg/L),但是人工湿地和人工心脏

能同时起到过滤水中藻类的作用,所以水体中叶绿素的含量由试验初期的 9 mg/m^3 降至 1 mg/m^3 左右,并在试验期间较稳定的维持。试验期间人工湿地对 COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、STP 和叶绿素去除率分别为 12%、10%、47%、17% 和 67%。

人工心脏对 COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、STP 和叶绿素去除率分别为 6%、1%、6%、0% 和 61%。从这两组数据的对比可以看出人工湿地具有一定的生物降低营养盐的作用,并且起运行简便、维护少,更加适合于景观水的日常维护。而人工心脏基本只起到了过滤的作用,但由于该设备具有方便添加化学药剂的特点,因此更适用于水华爆发的应急处理。试验期间湖水清澈但不见底,没有发出异味,如图 7 所示。

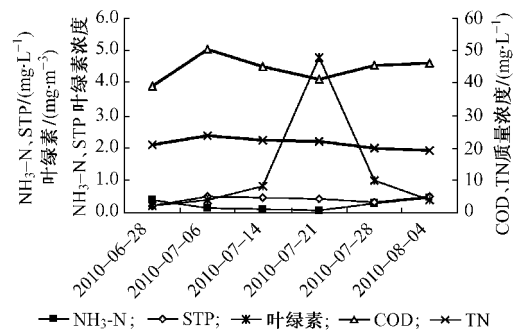


图 6 景观湖中 COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、STP 和叶绿素的变化趋势



图 7 人工湿地 + 人工心脏运行期间景观湖水体

4 结论与展望

本课题“再生水景观利用水质维护方法及效果研究”由北京城市排水集团有限责任公司承担,隶属于国家十一五科技支撑计划“城市综合节水技术开发及示范”(课题任务书编号:2006BAB17B05)重点项目。通过 2010 年对研发中心中试试验基地的研究,得出以下结论:

1) 现北京污水处理厂出水水质良好,试验期间水质达到 GB 18918—2002 中一级 B 标准,符合国家
(下转第 11 页)

量平均为0.50 mg/L,粒径中值平均为0.71 μm 、含铁量平均为0.27 mg/L,达SY/T 5329—94指标。

5 冲击试验

改变磁分离装置的加药浓度,降低出水水质进行冲击性试验,保持运行参数不变,检测进出水中的各项指标,具体结果见表7。

表7 过滤器水质变化情况

进水 $\rho(\text{SS})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出水 $\rho(\text{SS})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出水粒径中 值/ μm
5.00	1.20	1.10
5.30	1.10	0.95
4.50	0.95	1.00
4.70	0.90	1.00
4.80	0.98	0.97
5.20	1.10	1.20

当过滤器进水悬浮物含量平均为4.92 mg/L时,过滤后水质为:悬浮物含量平均为1.04 mg/L、粒径中值平均为1.03 μm ,接近SY/T 5329—94的注入水指标。

6 结论

金刚砂过滤器在滤速4.0 m/h、流量7.1 m^3/h 运

行时:当进水 $\rho(\text{SS})$ 约为5 mg/L时,出水 $\rho(\text{SS})$ 平均为1 mg/L左右;当进水 $\rho(\text{SS})$ 平均为3 mg/L时,出水 $\rho(\text{SS})$ 平均含量在0.5 mg/L左右;随进水 $\rho(\text{SS})$ 增高,出水 $\rho(\text{SS})$ 也随着增高。当进水水质 $\rho(\text{SS}) \leq 3 \text{ mg/L}$ 、粒径中值 $\leq 2 \mu\text{m}$ 时过滤效率为83%;当进水水质 $\rho(\text{SS}) \leq 5 \text{ mg/L}$ 时,过滤效率为79%。总之,金刚砂过滤器结构相对简单,易于管理维护,适合在外围油田小区块高精度水质处理中应用。

参考文献

- [1] 张文.油田污水处理技术现状及发展趋势[J].油气地质与采收率,2010,17(2):108-110.
- [2] 孙天淦.聚四氟乙烯膜过滤装置处理油田污水现场试验[J].中国石油大学胜利学院学报,2006,20(4):7-8.
- [3] 镇祥华,于水利,庞焕岩,等.超滤膜处理油田采出水用于回注的试验研究[J].环境污染与防治,2006,28(5):329-333.

作者通信处 聂春红 152061 黑龙江省绥化学院食品与制药工程学院

电话 (0455)8301261

E-mail chunhongnie@126.com

2011-04-21 收稿

(上接第7页)

规定。且除总氮外的其他指标均达到一级A标准。虽然出水中的营养盐氮磷含量相对于进水已经有了本质上的削减,但是难以成为藻类生长的限制因素。因此,再生水景观利用需要水质维护措施。

2) 本试验选用常用水质净化、维护措施中有代表性的两种设施,分别为人工湿地、水力曝气溶氧过滤设备(人工心脏)。试验结果表明人工湿地对COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、STP、叶绿素的去除率分别为17%、19%、64%、21%和91%。人工湿地既可以去除水质中的营养盐,又通过过滤截留作用,去除水中的叶绿素,也就是能大量削减水体中的藻数量,因此抑制藻类大量繁殖,并且运行简便、维护少,适合于景观水的日常维护。人工心脏对COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、STP和叶绿素去除率分别为6%、1%、6%、0%和61%,基本只起到了过滤的作用,但由于该设备具有方便添加化学药剂的特点,适合于水华爆发的应急处理。

3) 建议再生水景观利用的过程中多利用人工湿地这类的模拟自然生态的处理系统,这样既可以充分利用湿地维护少、效果好的特点维护景观水体水质,又能为动植物提供生长栖息的环境。在藻类生长难

以控制的情况下,再使用化学药剂除藻。

参考文献

- [1] Reed, Sherwood C, Ronald W Crites, et al. Natural systems for waste management and treatment [M]. New York: Lewis Publishers, 1995.
- [2] Gamini H. Freshwater algal blooms and their Control; Comparison of the european and australian experience [J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51: 217-227.
- [3] 汤显强,黄岁樑.人工湿地去污机理及其国内外应用现状[J].水处理技术,2007,33(2):9-13.
- [4] 卢少勇,金相灿,余刚.人工湿地的氮去除机理[J].生态学报,2006,26(8):2670-2677.
- [5] 张巍,赵军,郎咸明,等.人工湿地系统微生物去除污染物的研究进展[J].环境工程学报,2010(4):721-728.
- [6] 李涛,周律.湿地植物对污水中氮、磷去除效果的试验研究[J].环境工程,2009,27(4):25-28.

作者通信处 赵珊 100124 北京市朝阳区高碑店村甲1号 北京城市排水集团有限责任公司研发中心

电话 (010)51352882

E-mail zhaoshan@bdc.cn

2011-04-21 收稿