

再生水补给城市河湖问题探讨

马文林,马明明

(北京建筑工程学院环境工程系,北京 100044)

摘要 再生水回用河湖水体,带来的主要环境问题有水体富营养化、泡沫现象和细菌繁殖等,主要针对再生水回用城市河湖水体问题,讨论再生水与河湖富营养化的关联性。综述了再生水深度处理技术的优缺点,最后提出建议 考虑到处理成本的可承受性,对再生水水质的进一步提高可分步实施。

关键词 再生水 城市河湖 富营养化 深度处理

中图分类号 X522 文献标识码 A 文章编号 1004-6933(2007)S2-0102-03

随着我国社会经济的发展和人民生活水平的提高,城市人口对于城市环境质量的要求也越来越高。城市河湖水体不但要具有防洪排涝功能,还应具有健康的景观效果,以满足人们对文化娱乐生活日益增长的需求,但目前,我国许多城市河湖水体普遍存在水量不足和水质差的问题。由于水资源日趋紧张,采用清洁水源水补给城市河湖,水量受限,而以城市再生水补给城市河湖则是一个可行办法。

日本曾在 1985~1996 年间用再生水复活了 150 条河道的景观功能^[1]。近年来,在我国,尤其是北方地区,也有越来越多的城市河湖,如北京的南护城河、昆玉河、高碑店湖、龙潭湖,天津的海河、卫津河,石家庄市区的‘民心河’等开始采用再生水作为补水水源^[2]。再生水的回用解决了城市河湖补水的水量问题,但现今城市再生水中一般都残留了相当数量的氮、磷营养物,加之多数城市河湖水体流动性差,使得这些水体具有潜在的富营养化发展趋势^[3-4]。本文主要针对再生水回用城市河湖水体问题展开研究。

1 再生水水质标准

2002 年,我国先后颁布了 3 项与再生水回用城市河湖水体相关的标准:GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》、GB 3838—2002《地表水环境质量标准》和 GB/T18921—2002《城市污水再生利用景观环境用水水质标准》。在《城镇污水处理厂污染物排放标准》中明确提出,“一级标准的 A 标准是城镇污水处理厂出水作为回用水的基本要求”。在

《地表水环境质量标准》中,将水域功能划分为 V 类,分别规定了相应的水质标准,其中一般景观水体适用 V 类水质标准。

表 1 列出了这 3 个标准中所规定的相应水质指标。从表中数据看,《城镇污水处理厂污染物排放标准》中的一级 A 标准与《城市污水再生利用景观环境用水水质标准》基本吻合,由此可以认为城市污水处理厂出水达到一级 A 标准,就完全满足了城市景观环境水体的用水要求。但对照国家《地表水环境质量标准》中适用于一般景观水体的 V 类水质标准,《地表水环境质量标准》在氮、磷两项指标上要严格得多。这样,仅满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》中的一级 A 标准的再生水水质,能否放心地作为城市河湖的补给水源,仍成为问题。从技术层面出发,针对某个具体的水体,应从水体自身的环境容量、所需补给水量和水体其他污染源情况等全面核算,最终确定补给水源的安全水质指标。

表 1 再生水水质标准				mg/L
水质项目	一级 A 标准 (GB 18918—2002)	V 类水质标准 (GB 3838—2002)	GB/T 18921—2002	
$\rho(\text{COD})$	50	40	—	
$\rho(\text{BOD}_5)$	10	10	10(6) ^①	
$\rho(\text{SS})$	10	—	20(10) ^①	
$\rho(\text{TN-N})$	15	2.0	15	
$\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$	5(8) ^①	2.0	5	
$\rho(\text{TP-P})$	1(0.5) ^②	0.4(0.2) ^③	1(0.5) ^④	

注 ① 当水温高于 12℃ 时,执行 5 mg/L 的标准 当水温低于 12℃ 时,执行 8 mg/L 的标准 ② 对于 2005 年 12 月 31 日前建设的污水处理厂,执行 1 mg/L 的标准 对于 2006 年 1 月 1 日后建设的污水处理厂,执行 0.5 mg/L 的标准 ③ 括号外数值适用于河流,括号内数值适用于湖、库 ④ 括号外数值适用于河流,括号内数值适用于湖泊和水库。

2 再生水回用与河湖水体富营养化

2.1 再生水回用带来的环境问题

再生水回用河湖水体,带来的主要环境问题有水体富营养化、泡沫现象和细菌繁殖等,本文主要讨论再生水与河湖富营养化的关联问题。有研究表明,当水环境中总磷质量浓度超过 0.01 mg/L、总氮质量浓度超过 0.3 mg/L 时,藻类就会出现快速增殖,引起富营养化^[4],水体中磷浓度的超标尤其易于引发富营养化。从表 1 中所列数据看,再生水中的氮的浓度远高于《地表水环境质量标准》中Ⅴ类水体的水质指标,磷的浓度是其 2.5 倍之高。以这样水质的再生水直接大量作为城市河湖补给水回用,增加了水体爆发富营养化现象的可能性。

有观点认为,目前我国大部分城市及其周边的天然水体都已经处于富营养化状态,要求以再生水为主体或补充水源的景观水体达到完全控制富营养化及藻类繁殖的目标是不太可能实现的,也是不必要的。这种看法显得有些绝对化。从经济性角度看,有些水体没有必要完全消除其富营养化现象,如养殖水体;“水至清则无鱼”,或者对于那些非全身性接触的城市景观水体,允许存在轻度的富营养化及藻类繁殖。但从改善城市总体水环境质量、减缓地表水富营养化发展态势来看,严格控制再生水补给水源中的氮、磷营养物质浓度,还是十分必要的。

2.2 再生水深度处理的主要任务

达标再生水中的水质问题,主要是氮、磷物质含量仍然偏高。由于城市河湖水体流动缓慢,有些甚至接近于静止水体,自身稀释自净能力差,来自于再生水补给水源中的氮、磷营养物质极易在水体中逐渐积累,进而导致河道水质恶化甚至会爆发水华。北京市要求城中心区 150 km 河道水质达到《地表水环境质量标准》Ⅲ类水体标准^[5],更要求对作为城市河湖补给水源的污水处理厂出水进行进一步深度处理,去除氮、磷物质。

从长远的环境效益看,作为河湖补给水的再生水,其水质应满足《地表水环境质量标准》中Ⅴ类水体的水质指标。但顾及眼前的经济效益和现实的水体用途,可适当降低那些对水质要求较宽松的水体补给水源的水质标准。与此同时,通过不断革新处理工艺与技术,降低水处理成本,改善处理水水质,在未来某一时期再生水补给水源的水质最终实现全面达标。只有这样,才能最大限度地改善区域水环境质量,实现其水资源的可持续利用。

3 再生水深度处理技术

再生水的有机物浓度低,可生化性差,而营养盐

浓度相对偏高。因此,再生水回用城市河湖水体,水质深度净化应偏重于氮、磷等营养盐的去除。由于再生水补给城市河湖水体不产生直接经济效益,为保证再生水深度处理工艺的可持续,应开发成本低廉的处理技术,且其运行条件不宜过于苛刻。此外,城市河湖补水存在季节性,使得工艺有较长时间的间歇期,这就要求处理工艺适合于间歇运行、不应有太长时间的调试期。

目前,工程上应用较多的再生水深度处理技术有物化处理方法(如絮凝气浮^[6]、膜处理技术^[7]等)、生物方法(如生物接触氧化技术等)、生态处理方法(如人工湿地技术等)和上述方法的组合工艺(如曝气生物滤池-微絮凝砂滤^[8])。在实践中,采用再生水深度处理组合工艺,能够集合多种工艺的的优点,取得更好的出水效果。

3.1 絮凝处理

絮凝处理净水技术是污水深度处理中常用的成熟工艺,具有去除水中难以自然沉淀的悬浮物和可溶性磷等营养盐的处理性能,常用的絮凝药剂有 CaCO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、聚合铝、 FeCl_3 和明矾等,其中聚氯化铝 PAC 去除磷的效果最佳^[9]。这类技术也能用于再生水的深度处理中,但有研究表明,对于二级污水处理厂的再生水采用混凝工艺再处理时,从污染物的去除效果看,对由投加絮凝药剂所生成的絮凝体的分离效果,采用气浮工艺要好于沉淀工艺。

3.2 膜处理技术

膜处理技术的特点是出水水质好,浊度低,运行稳定,操作简便,易于维护,而且占地小。另外,膜处理装置在使用中只需加少量化学药剂,基本上无二次污染。因此,膜处理技术的应用范围扩展迅速。可以预见,随着膜质量的提高和生产成本的降低,膜处理技术将在水处理领域得到更加广泛的应用。

目前,用于再生水回用方面的膜技术包括了微滤膜、超滤膜和反渗透膜工艺。微滤一般作为后续工艺的预处理手段,而超滤尤其是反渗透工艺出水可满足地表水Ⅱ类水质标准,但此工艺运行费用目前较高,吨水运行成本约 1.9 元^[7],只适用于对补水要求较高的城市河湖。

3.3 生物接触氧化法

生物接触氧化法对水中的有机物、氨氮和浊度有很好的去除效果,但对总氮和总磷去除率偏低,目前生物接触氧化多与混凝技术结合用于再生水的深度处理^[10]。按所适用填料的不同,生物接触氧化可分为弹性填料生物接触氧化和颗粒填料生物接触氧化,即曝气生物滤池。这类工艺具有占地面积小,抗

冲击负荷能力强,可实现自动化管理的特点。

3.4 人工湿地

人工湿地是人工建造的、可控制和工程化的湿地系统。人工湿地技术是一种生态的处理方法,根据湿地中水流方向的不同,可分为平流式和潜流式和垂直流人工湿地。它是通过基质的过滤、吸附,化学反应和沉淀,微生物的生物作用和植物的吸收去除水中的污染物。其出水水质较好,对有机物和氮磷等营养盐有较好的去除效果,不少工程,如奥运公园和天津泰达景观河道再生水补水系统中就应用了人工湿地技术对再生水进行净化。

该方法处理成本低廉,还可以营造良好的景观,在污水回用和雨水利用中得到了广泛的应用,主要缺点是占地面积较大。

4 结论与建议

在我国现行的再生水标准中,对氮、磷营养盐的限量显著高于控制河湖水体富营养化所要求的氮、磷阈值,因此再生水在大量回用到城市河湖水体前需要进行除磷脱氮处理。另一方面,在我国现阶段污水处理技术与经济条件下,由于城市中不同河湖具有不同的水力学条件、功能特性和景观要求,考虑到处理成本的可承受性,建议对再生水水质的进一步提高可分步实施。

对于切实没有能力或场地对再生水进行深度处理的场合,可以对城市河湖进行生态化建设,构建水生动植物系统以对补给的再生水进一步净化,保持水体水质稳定,缓解富营养化趋势。对于城市河湖水质要求较高的地区,如北京的城区内河湖、奥运景观水体等,建议综合应用两种手段改善城市河湖水质,防止富营养化的发生。

鉴于氮磷处理工艺复杂,从经济和合理性角度来说,再生水中氮磷营养物的去除,应尽量在污水处理厂的生物处理工段解决,再生水出厂后的再处理应是暂时和不得已的措施。

参考文献：

[1] 陈立,王启山.缺水地区实现水资源良性循环的技术途径[J].中国给水排水,2002,28(5):56-58.
[2] 樊开青,吕伟娅.再生水回用于景观水体的初步探讨[J].环境保护科学,2005(8):28-30.
[3] 杜桂森.北京城区河湖水质分析[J].湖泊科学,2005,17(4):373-377.
[4] 倪福勋,曾思育.奥运湖不同补水方案富营养状态趋势分析[J].四川环境,2006,25(4):82-86.
[5] 张世情.对城市河湖水质改善的探讨[J].北京水利,2005(6):13-15.

[6] 胡秀琳,井艳文,刘虎城,等.移动式絮凝-气浮集成系统研制及其在城市污染河湖治理中的应用[J].环境污染治理技术与设备,2006,7(4):132-135.
[7] 杜建国.奥运公园再生水补水研究[J].中国水利,2006(3):54-58.
[8] 王鹤立,陈雷.再生水回用于景观水体的水质目标-策略与技术[J].环境科学,2002,23(S1):93-98.
[9] 李发站,吕锡武,王华成,等.UF膜与砂滤生物接触氧化联用处理富营养化湖泊水[J].水处理技术,2006,32(6):41-44.
[10] 王利.再生水水源水质问题及对策[J].给水排水,2006,32(10):9-11.

(收稿日期 2007-05-30 编辑 高渭文)

(上接第 101 页)

得糖厂在排污期间河流水体达到Ⅲ类水质,必须对糖厂排污口污染物排放量进行削减,削减率达56%以上。也要向污染企业进行宣传教育,通过改变生产工艺或者加大污水处理等方法,使得这一水功能区的水质得到长久保护,促进水功能区域的工农业生产健康发展。

参考文献：

[1] 丁桑岚.环境评价概论[M].北京:化学工业出版社,2001.
[2] 李青山,李怡庭.水环境监测实用手册[M].北京:中国水利水电出版社,2003.

(收稿日期 2007-11-08 编辑 舒建)

·简讯·

2007 年大坝安全监测与信息分析研讨会成功举行

由中国水力发电工程学会大坝安全监测专业委员会主办,河海大学、安徽省长江河道管理局和中国水力发电工程学会大坝安全监测专业委员会资料分析与信息处理学组承办,武汉大学和中国水利科学研究院协办的“2007 年大坝安全监测与信息分析研讨会”,于2007 年 11 月 23~25 日在安徽芜湖市召开。来自全国研究设计、建设施工、运行管理、仪器制造等 32 个单位的 68 名代表参加了会议。

会议就大坝安全综合分析理论和方法、大坝安全信息管理、分析评价系统研制与开发技术、大坝安全监测系统设计方法、大坝健康诊断技术和方法以及新型监测、检测技术及应用、大坝安全监测施工工艺等主题从多角度、多层面研讨了一些新技术、新方法、新理论、新观念和新进展。

(本刊编辑部供稿)