

城市污水厂再生水用于景观水体的富营养化防治

李春丽 周 律 贾海峰 张晓健

提要 富营养化是再生水作为娱乐性、观赏性人工水体的最大障碍之一。再生水回用的景观水体易发生富营养化是因为再生水自身污染物本底值较高、景观水体是缓流水体及水体较浅等特点。富营养化的治理要结合再生水和景观水体上述的特点进行考虑,当再生水回用于景观水体后,可以采取多种方法来控制富营养化发生。由于景观水体属于缓流水体,可以考虑增加景观水体流动的水力循环系统;以及为了随时去除水体中的污染物,采取循环过滤净化系统;从生态学的角度考虑,生物防治法和湿地生态系统具有较好的治理作用;对已经出现富营养化的水体,需要采用一些应急措施,如物化法去磷和除藻等。

关键词 再生水 景观水体 富营养化 防治措施

1 概述

水体富营养化是指大量溶解性营养盐类进入水体,引起藻类和其他浮游生物迅速繁殖,大量消耗水体中的溶解氧,水质变差,鱼类及其他生物大量死亡的现象,严重时会发生水华。富营养化发生所需的必要条件有三个方面^[1]:①充足的氮、磷等营养盐;②缓慢的水流流态;③适宜的温度条件。一般认为,水体形成富营养化的指标是^[2]:①水体中含氮量大于0.2~0.3 mg/L,含磷量大于0.01 mg/L;②生化需氧量大于10 mg/L;③在淡水中细菌总量达到 10^4 个/mL;④标志藻类生长的叶绿素a浓度大于10 μg/L。

2 再生水回用于景观水体易发生富营养化的原因

富营养化是再生水作为娱乐性、观赏性人工水体的最大障碍之一。主要基于以下原因。

由于城市污水处理厂再生水是来自己经过一定处理的生活污水或不包含重污染工业废水在内的城市污水,使得再生水的污染物本底值相对较高,这是发生富营养化的根本原因,而且水体的稀释自净能力较天然景观水体差。

缓慢的水流是富营养化发生的必要条件,富营养化多发生在缓流水体中,景观水体,如公园以及住宅区内的水景,属于非连续流动水体,流速缓慢,有的甚至是静止水体,为藻类的生长提供了稳定的水环境,因此,易发生富营养化现象。

人工景观水体属于浅水水体,水深一般在1~2

m。就湖泊深度而言,有浅水和深水湖泊之分。所谓深水与浅水之分,并无明确的界限,长江中下游平原的浅水湖泊水深小于10 m,平均水深仅2 m左右。国际上对于浅水湖泊的研究经验表明,浅水湖泊比深水湖泊更易发生富营养化问题^[3]。景观水体与浅水湖泊类似,也具有水浅这一特点。因此,和浅水湖泊一样易发生富营养化。

综合以上几点原因,再生水回用的景观水体比天然河流、湖泊更易发生富营养化问题。《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T18921-2002)^[4]中氮、磷指标要求高于天然水体富营养化水平的临界指标,因此富营养化问题是再生水回用于景观水体首先要考虑的主要问题,必须采取措施预防和控制景观水体富营养化的发生。

富营养化的防治过程,实际上就是通过调节诱发富营养化发生的主要控制性条件,抑止富营养化发生。治理再生水回用的景观水体的富营养化问题,应该从富营养化发生的机理并结合再生水回用于景观水体的特点出发进行考虑。为了预防景观水体出现富营养化现象,首先要求在再生水的处理过程中加强对氮、磷等营养物质的去除,使景观水体中营养盐浓度不超过优势藻类大量繁衍的临界浓度,维持生态系统的良性循环。当再生水回用到景观水体后,可以采取多种方法来控制富营养化发生。由于景观水体多属于缓流水体,可以考虑增加景观水体流动的水力循环系统;此外为了随时去除

水体中的污染物,可以采取循环过滤净化系统。从生态学的角度考虑,生物防治法和湿地生态系统具有最根本的治理作用;对已经出现富营养化现象的水体,需要采用一些应急措施,如化学方法去磷和除藻等。

3 再生水用于景观水体的富营养化防治技术措施

3.1 增加景观水体流动的水力循环系统

水体的流动形态与富营养化有着密切的关系,水流流态主要指流速、水深为要素的水流结构。如上所述,景观水体属于缓流水体,而且具有水浅的特点,易发生富营养化。因此,为了防治景观水体富营养化的发生,可以通过增加景观水体水力循环系统,加快水体的流动,提高水体自净能力。

水流流速与换水周期密切相关。就湖泊来说,各个湖泊的换水周期各不相同,换水周期一般都较长,一般都在几年甚至上百。个别湖泊的换水周期很短,例如洞庭湖的换水周期是 20 d,洪泽湖的换水周期是 27 d^[5],通过对洞庭湖进行的营养状态评价研究表明^[6],目前洞庭湖的水质状况较好,尚未达到富营养状态,这与洞庭湖的换水周期短有着密切关系。现在许多换水周期长的湖泊通过引清洁水入湖,使得湖泊减少了污染负荷的同时,使湖水的换水周期缩短,大大缓解了湖水水质富营养化的进程,改善了湖泊的生态结构,提高了水体的自净能力。景观水体使用中,流态的作用也非常关键。《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T18921-2002)中对再生水回用景观水体的水力停留时间作了规定:完全使用再生水作为景观湖泊类水体,在水温超过 25℃ 时,其水体静止停留时间不宜超过 3 d;而在水温不超过 25℃ 时,则可适当延长水体静止停留时间,冬季可延长水体静止停留时间至一个月左右。在实际工作中,考虑到再生水资源的短缺,再生水景观水体的换水周期不宜太短。通过增加景观水体的水力循环系统,增加水体的流动,则水力停留时间可以适当延长,不仅节省了再生水资源,同时可以防治富营养化发生。

陈立研究了不同流动方式的影响效果,对人工湖泊进行了“高进高出”(即再生水由池塘一边的上部进入,由另一边的上部流出)和“低进高出”(即再生水由池塘一边的底部进入,由另一边的上部流出)

两种流动方式的对比试验^[7]。结果表明,“高进高出”的流动方式易造成悬浮性物质的沉淀,形成水体底部的厌氧,从而加速了底泥中氮和磷的释放。而“低进高出”则能更好的增加水体的流动。同时也表明,流动对于富营养化的控制至关重要,它对藻类生存所要求的相对稳定的水环境起了扰动的作用。

目前对于流态的研究报道并不多,富营养化发生的临界流态的确定应该综合水体的营养盐以及其他因素进行考虑。对于不同的景观水体来说,由于水体的水质情况的差异,水体发生富营养化的临界流态值是不同的。因此,在一些相关水质标准中,对水体的流态问题只是谈到增加水体的流动,而没有具体的临界流态值。

3.2 循环过滤净化系统

防止富营养化最根本的措施是控制污染物,即营养物质的负荷量。在对再生水的处理过程中即使再生水的水质指标已满足要求,仍然要考虑浮尘和雨水对人工景观水体的影响。雨滴在降落过程中携带空气污染物,而且在地表径流过程中携带地面的各种废弃有机污染物。尤其降雨历时前十分钟地表径流水中污染物含量更高,这些含有较多有机物和无机尘土的污染物进入景观水体后,增加水体中营养物质的负荷量,而再生水本身的稀释和自净能力较差。因此,在景观水体中建立循环过滤净化系统,可以及时去除进入水体的污染物,也可去除水中的藻类,从而也相应去除了藻类摄取的氮、磷等营养物质,使水体透明度增加,水质得到改善和净化。循环过滤系统的循环周期要视具体情况而定。

3.3 化学药剂除藻

化学药剂(杀藻剂)除藻是一种最直接的除藻方法。一般作为控制富营养化水体的应急措施。目前已合成和筛选出的杀藻剂有:铜盐(硫酸铜、氧化铜)、高锰酸钾等无机物以及松香胺类、三连氮衍生物、有机酸、醛、酮季胺化合物等有机物,其中应用最广泛的是硫酸铜,硫酸铜对蓝藻尤为有效。化学药剂可快速杀死藻类,但藻类死亡所产生二次污染及化学药剂的生物富集和生物放大对整个生态系统的负面影响较大,而且长期使用低浓度的化学药物会使藻类产生抗药性^[8],因此,杀藻剂杀藻只能作为应急手段,不宜经常性采用。采用化学药剂除藻对于

水体面积小的水域是很有用的。目前,无毒、高效、经济的杀藻剂的开发仍处于探索发展之中。

3.4 生物调控法

随着对富营养化生态系统研究的深入,人们逐步认识到富营养化控制是一个典型的生态问题。尤其对浅水水体的富营养化治理,有研究表明^[3],单纯对外源营养盐控制采取措施是无法解决浅水湖泊富营养化问题,必须重视对于水体内部的营养盐控制。治理内源营养盐的有效途径是恢复水生植被,控制底泥动力悬浮与营养盐释放。

生物调控法是运用生态学原理,利用水生生物吸收利用 N、P 元素进行代谢活动从而去除水体中营养物质的过程。它是通过管理水体中较高层次的消费者生物而控制藻类,实现水质管理目标。目前主要有两方面的研究:一是种植高等水生植物;另一种是放养以浮游藻类为食的鱼种。

水生高等植物在水体生态系统中起着不容忽视的重要作用。水生高等植物不仅能够快速吸收水体和沉积物中的营养盐,对水体有很强的自净能力,而且分泌产生的他感物质对浮游植物有一定的抑制作用^[9]。目前,有些国家已开始试行用大型水生高等植物污水处理系统净化富营养化的水体^[10]。试验证明:多种水生维管束植物对 N、P 和各种重金属以及酚、氰、农药等有机物都有吸收、积累、分解和转化的能力,从而具有相当好而程度不等的净化作用。研究较多的植物有凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)、水花生(*Alternanthera philoxeroides*)、水葱(*Scirpus lacustris*, *S. validus*)、浮萍属数种、紫背萍(*Spirodela polyrrhiza*)等,而且水生植物一般生长快,收割后经处理可作为燃料、饲料、或经发酵产生沼气,有一定的商业价值。

生物调控法的另一种是以浮游动物、鱼类控制藻类。主要是根据鱼类种群的“下行效应”原理^[8],即在水体中放养食鱼性鱼类以控制食浮游生物鱼类,以此壮大浮游动物种群,从而遏制藻类。一些研究表明,食鱼性鱼类的放养通过营养串联效应有改善湖泊水质的作用,实际上,浮游动物只能控制细菌和小型藻类等,可以起到提高水体透明度的作用,而对于丝状藻和大型藻类如微囊藻的水华,则是无能为力的。同时,在富营养化藻型湖泊中,不存在食鱼

动物产卵和栖息场所,食鱼性鱼类种群难于形成和稳定;也有直接用滤食性鱼类摄食浮游植物,对武汉东湖区域水进行了三次原地围隔试验,所得的试验结果说明以滤食浮游生物的鲢和鳙,能有效地遏制微囊藻水华^[11]。

生物调控较典型的是用于小而浅的、相对封闭的水体系统,在浅水水体中由于生物分布垂直空间差异较小,因而生物调控在一定时间内对某些浮游植物控制效果较好。因此,对于景观水体这样的浅水水体来说,生物调控法是可行的。在景观水体中种植有欣赏价值的水生植物以及放养一些有观赏价值的食鱼性鱼类不仅可以增加水景的欣赏价值,同时可以控制富营养化发生。

3.5 人工湿地生态系统

人工湿地生态系统主要是利用湿地中基质、土壤、水生植物和微生物之间的相互作用,通过一系列的物理的、化学的以及生物的途径净化污水。它具有过滤功能、缓冲器功能,它不仅可吸附和转移来自面源的污染物、营养物,对 N 和 P 去除能力强,而且可截留固定颗粒物,减少水体中的颗粒物和沉积率。对提高局部地区景观的美学价值也有很大的益处。因此,对于再生水回用的景观水体来说,在再生水进入景观水域之前先进入人工湿地,不仅进一步净化水体,同时也增加了水体周围的美学价值。

目前,人工湿地废水处理工艺主要有两种形式,表面流工艺和地下潜流工艺。地表流工艺中废水在湿地的土壤表层流动,水位较浅,一般为 0.1~0.6 m。与地下潜流工艺相比其优点是投资少,其缺点是负荷小,冬季表面会结冰,夏季会繁殖蚊子,还会有臭味。地下潜流工艺中废水在人工湿地的地表下流动,保温效果好,负荷高,处理效果受气候的影响小,但投资要比地表流工艺大一些。目前国际上采用较多的是这种工艺^[12]。在北方地区,受冬季气候的影响,建议采用地下潜流工艺。

湿地的净化性能主要依赖于当地的气候、湿地中水流动力学特性、植物种类、微生物类群、及基质组成等。湿地植物种类、微生物活性和土壤中营养物质的生化循环都与当地气候有关^[13],需要根据当地的气候来决定湿地的植物种类、微生物种类以及水流动力学。因此,在考虑用人工湿地净化水体时,

需要根据当地气候的实际情况,对人工湿地生态系统中设计合理的水流动力学结构、最适合植物微生物组合等方面的优化及其对净化效果的影响作进一步研究。

4 结论

城市污水处理厂再生水回用于人工景观水体在我国的应用刚刚起步,只有制定更加严格的水质标准,才能保证再生水回用于景观水体的娱乐价值和安全性。当再生水回用的景观水体投入使用时,一定要注意对景观水体的维护,要防治再生水回用景观水体的富营养化问题。富营养化问题的治理要针对再生水的特点以及回用于景观水体的特点进行考虑,虽然目前对水体富营养化的治理已经取得了一些进展,这方面的相关报道也很多,但是仍然存在一些问题需要做进一步的研究工作,例如在考虑增加水体流动的水力循环系统时,需要对景观水体的流态问题作进一步的研究;以及在选择生物调控法以及人工湿地生态系统时,如何根据当地的气候对选择水生植物等问题。

参考文献

1 李锦秀,廖文根.富营养化综合防治调控指标探讨.水资源保护,2002,(2):4~5

- 2 任南琪,马放等.污染控制微生物学.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002
- 3 秦伯强.长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探.湖泊科学,2002,14(3):193~202
- 4 《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T18921-2002),中华人民共和国建设部
- 5 王洪道主编.中国湖泊水资源.北京:农业出版社,1987
- 6 杨汉,黄艳芳等.洞庭湖的富营养化研究.甘肃环境研究与监测,1999,12(3):120~122
- 7 陈立.城市污水回用于人工水体的探讨.中国给水排水,1999,15(9):23~25
- 8 王国祥,成小英,濮培民.湖泊藻型富营养化控制-技术、理论及应用.湖泊科学,2002,14(3):273~281
- 9 庄源益,赵凡,等.高等水生植物对藻类的克制效应.环境科学进展,1995,3(6):44~49
- 10 李典友.水体富营养化污染的生物防治对策及效益分析.生物学杂志,2000,17(6):35~36
- 11 刘建康,谢平.揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜.长江流域资源与环境,1999,8(3):312~319
- 12 梁威,吴振斌.人工湿地对污水中氮磷的去除机制研究进展.环境科学动态,2000,(3):32~37
- 13 梁继东,周启星,孙铁珩.人工湿地污水处理系统研究及性能改进分析.生态学杂志,2003,22(2):49~55

作者通讯处:100084 清华大学环境科学与工程系
电话:(010)62773079
E-mail:licl02@mails.tsinghua.edu.cn