

再生水回用在我国的应用前景

李 玲 莉, 刘 华 敏

(重庆市园林绿化科学研究所, 重庆 401329)

摘 要:再生水回用作为一种新型的水资源利用技术,实现了水资源的全方位可持续利用,为缓解水资源不足提供了新方法。现对再生水回用的净水技术、再生水回用在我国的应用现状和前景进行总结,提出了我国已经具备再生水回用所需的技术,再生水已经成功回用于工业用水、农业灌溉、景观补水、地下水补给等领域,从而为该技术在我国的进一步推广提供参考。

关键词:再生水;回用;净化技术;应用前景

中图分类号:S 273.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)22-0177-03

随着城市的扩张,水资源危机日益突出。预计2025年,世界2/3人口将受到中度或强度的水资源危机,其中1/2人口面临生活供水不足。为了应对水资源短缺,世界各国对水资源总体战略进行了调整,由单纯的水污染控制转变为全方位的水资源可持续利用^[1-2]。解决水资源问题采用的方法中,除了替换旧水管、提高水价、减少农业配水量、建设中小型水坝、节约用水等传统方法外,还采用了再生水回用这一新技术,通过安装再生水系统,分质供水,实现水资源的全方位利用^[3]。

再生水是指污水经适当处理后,达到一定水质指标,满足某种使用要求,可以进行有益使用的水^[4]。再生水回用作为第二水源,不仅可以分质供水,降低用水成本,还可用于工业用水、农业灌溉、景观补水、地下水补给等方面,实现了城市水资源的可持续利用^[1,5]。目前,再生水回用技术在美国、韩国、日本、以色列等国家及欧洲已有广泛应用。在我国,再生水的使用仍处于起步阶段,北京主要将再生水用于景观补水,并于2010年1月1日,施行了国内首部再生水管理办法,即《北

京市排水和再生水管理办法》;江苏实施了再生水免征水资源费;昆明的分散式再生水利用率为94%,为全国最高;深圳市正在逐步开展再生水利用^[6]。因此,现就再生水回用过程中所需的净化技术进行总结,并对其在我国的发展前景进行展望,以期对再生水回用在我国的进一步推广提供参考。

1 再生水回用的净化技术

污水是微生物、有机物和大量盐离子等的混合物。在污水处理过程中常采用的处理方法包括混凝澄清、深层过滤、石灰处理、曝气生物滤池(BAF)、超滤(UF)、膜生物反应器(MBR)等。其中,混凝澄清、深层过滤、UF和MBR主要除去水中的非溶解性物质,石灰处理主要去除水中的暂时硬度,以上方法却对水中的微生物、可溶性有机物和盐离子无明显去除作用^[7]。加之,污水来源和处理工序不同,导致再生水的水质有较大差异。因此,再生水回用时,需根据用水水质的要求,采用不同的处理技术对再生水中的物质进行有效去除。

1.1 器械处理技术

器械处理技术是借助各种设备对再生水中的某些物质进行有针对性的去除,包括了对再生水中微生物、可溶性有机物和盐离子的去除。适用于各种用途的再生水处理。

第一作者简介:李玲莉(1982-),女,博士,研究方向为植物栽培生理生态和组织培养。

收稿日期:2011-07-18

Research Progress on the Friut Quality of Protected Peach in China

ZHANG Li-sha, WANG Zhao-yuan, CHEN Hu

(Changli Institute of Pomology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Changli, Hebei 066600)

Abstract: Research progress on the friut quality of protected peach in recent years were reviewed. The composition of friut quality, developments of quality physiology about protected peach, influential factors of protected peach quality and measures to improve it were mainly introduced, it was to supply some reference for increase friut quality of protected peach.

Key words: protected; peach; quality

臭氧和砂滤消除再生水中的微生物和可溶性有机物。其中,臭氧具有灭菌和氧化作用,砂滤为可溶性有机物的降解提供了厌氧环境。臭氧又称为“绿色消毒剂”,可在水中直接破坏细菌的细胞壁,杀死细胞;亦可在水中分解、释放出氧自由基直接进入细胞内部,分解DNA、RNA、蛋白质、脂质类和多糖等大分子聚合物,破坏细菌的代谢和繁殖过程;还可以侵入细胞膜内,改变细胞膜的渗透性使细胞组分泄露到中间介质中,或作用于外膜脂蛋白和内部的脂多糖,促使细胞的溶解性死亡。从而实现微生物的消毒和部分可溶性有机物的氧化^[8]。然后经砂滤,促使厌氧微生物将大分子可溶性有机物降解为小分子可溶性有机物,最终实现再生水中微生物和可溶性有机物的去除^[9]。

反渗透(RO)和电吸附除盐技术去除再生水中的盐离子^[7]。RO是一种以高于渗透压的压力作为推动力,利用膜的选择透过性提取淡水的膜分离过程。电吸附除盐是向电极施加电压形成静电场,强制离子向带有相反电荷的电极处移动,对双电层的充、放电进行控制,改变双电层处的离子浓度,并使之不同于本体浓度,从而实现对水溶液中盐离子的去除^[10]。

1.2 土地处理技术

土地处理技术利用土壤的过滤、吸附、化学分解和微生物的降解作用,实现再生水的自然净化。主要用于地下水补给。

再生水进入土壤后,盐离子与土壤胶体进行阴阳离子交换,或与土壤胶体颗粒螯合形成复合物而被吸附。其中,重金属离子易与土壤中的某些元素发生化学反应形成难溶性物质,从而沉积在土壤中。同时,土壤空隙过滤掉颗粒较大的悬浮物,由土壤表层中的微生物氧化、分解。随着水分下渗,包水层中的可溶性大分子有机物由厌氧微生物进行降解。从而最终实现再生水质的净化^[4]。

美国洛杉矶的研究人员运用内含示踪法连续 10 a 监测再生水补给地下水对地下水质的影响,发现有机物在地下滞留 1 a,浓度均降至安全范围;病毒在地下水环境中滞留 6 个月以上时,才不会出现在净化水中;脱氮的实现途径很多,但是由于氨和硝酸盐同时存在于地下环境中,因此厌氧氨氧化是再生水脱氮最可行的方法之一。而且地下水环境很容易去除大于 10 mg/L 的氮和硝酸盐,将其浓度控制在安全饮用范围之内^[11]。

1.3 植物处理技术

植物处理技术利用水生植物对再生水中营养元素的吸收作用,及对藻类的化感作用,实现再生水的净化。主要应用于景观补水。

尽管再生水达到出厂水质标准后用于景观补水,但是由于再生水中氮、磷和有机物的含量较高,加上水体的自净能力较差,易引起藻类的大量繁殖,特别是铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*),从而对水体和景观造成负面影响^[12-15]。植物处理技术通过增加水体内水

生植物的覆盖面积,调整种群分布,不仅能够增强水生植物对氮、磷等有机物质的吸收,降低水体中营养成分的含量,还能够形成较稳定的生态系统,增加各种植物之间的相互作用,有效抑制藻类的繁殖,从而减少水体富营养化的可能^[16-17]。宋彦青等^[18]研究发现,多级复合植物床生态系统能够有效去除再生水中的氮和磷,芦苇和香蒲对营养型污染物的去除效果比扁杆藨草好,沉水植物床则主要起稳定出水水质的作用。

1.4 吸附剂和混凝剂的使用

除了以上 3 种方法之外,根据使用水质需要,适当条件下添加适量的吸附剂和混凝剂,能有效降低再生水中某些物质的含量。如以改性沸石和银离子为原材料制备抗菌吸附材料,具有良好的脱氮效果^[19]。再生水中添加 GFH 对 P、DOM、色度、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 均有较好的吸附去除效果^[1]。缓冲带系统赤泥投加量比例小于 7.5% 时,能有效减少再生水中的磷含量^[12]。PPC 对浊度、叶绿素有强化去除作用,叶绿素的去除率为 89.4%^[20]。PAC、 FeCl_3 及 PFS 在适当条件下,可有效除去再生水中的磷^[21]。

2 再生水回用在我国的应用前景

虽然再生水回用在我国处于起步阶段,但是再生水已经回用于各种用途。然而,由于污水来源不同,再生水水质亦有较大差异。除了直接回用于农业灌溉和地下水补给外,再生水用作其它用途之前,需按不同水质要求,进行不同的深度处理^[22]。

2.1 再生水回补工业用水

再生水经深度处理后可用于循环冷却水补充水、锅炉补给水和其它工业用水,从而有效减少了工业污水的产生和工业设备的腐蚀^[7,23]。如北京京能热电股份有限公司利用城市再生水作为循环冷却水补充水及其排污水回用处理工程,得出城市再生水回用到电厂循环冷却水系统中是可行的,其排污水可利用“双膜法”进行处理后回用^[24]。大连热电股份有限公司北海热电厂引入一套再生水回用工艺,该工艺产水的各项指标均满足该热电厂对回用水的要求^[25]。

2.2 再生水回补景观、生活杂用用水

再生水经深度处理后,可直接回用于景观、生活杂用和娱乐用水。2002~2008 年间,北京市新建的较大建筑如旅店、饭店、机关、科研机构等均有配套的中水设施^[5]。北京北小河污水处理厂生产的再生水经反渗透(RO)处理后,用作奥运公园水体补给水及场馆杂用水^[26]。

3 结论

综上所述,我国已经具备再生水回用所需的净化处理技术,并有成功例子表明再生水回用在我国全面推广的可行性。目前,北京、深圳、天津、太原和无锡等城市及云南省的下属城市均已开始利用再生水回用技术,邯郸、辽宁等城市陆续探索再生水的回用。此外,高校排水具有水质好、数量大的特点,将成为再生水回

用技术推广的重点^[27]。虽然再生水在各大城市中的应用出现了各种各样的问题,如再生水价格、水管网建设及配套政策、法律法规、管理体制等方面建设落后,但是随着水夹点技术、再生水灌区水资源联合调度数学模型、Infra 技术和博弈理论等新技术、新理论在再生水回用体系中的应用,加上政府的重视和政策法规的完善,再生水回用技术将在我国获得长足的发展^[3,28-32]。

参考文献

- [1] 李娜,杨建,赵璇,等. GFH 用于提高再生水回用景观水水质研究[J]. 环境科学, 2010, 31(10): 2354-2359.
- [2] 宋健峰,吴艳,郑垂勇. 再生水资源供需循环系统模型分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(2): 112-117.
- [3] Jang T, Lee S B, Sung C H, et al. Safe application of reclaimed water reuse for agriculture in Korea [J]. Paddy Water Environ, 2010, 8(3): 227-233.
- [4] 杨庆,郭萌,刘予,等. 北京利用土地处理技术将再生水回补地下水可行性探讨[J]. 城市地质, 2010, 5(1): 7-10.
- [5] 朱竟男,王晓丹,翟振华,等. 稻香湖景酒店景观再生水生产中的细菌群落结构变化[J]. 环境科学, 2010, 31(5): 1299-1306.
- [6] 李威,孔德骞. 深圳市再生水利用专题调研分析[J]. 中国给水排水, 2009, 25(16): 23-25.
- [7] 张宇龙,马骏彪,王凯军,等. 城市再生水回用技术在燃煤电厂中的应用[J]. 工业给排水, 2010, 36(6): 55-57.
- [8] 王祥勇,陈洪斌,阮久丽. 污水和再生水抽样消毒的研究和应用[J]. 水处理技术, 2010, 36(4): 19-23.
- [9] 杨建,成徐州,常江,等. 再生水地下回灌去除溶解性有机物的三维荧光光谱分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2010, 50(9): 1421-1424.
- [10] 颜怀龙,周雪莲,孙笑,等. 电吸附除盐工艺处理城市再生水的中试研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(9): 112-114.
- [11] Fox P. Monitoring requirements for groundwaters under the influence of reclaimed water [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2001, 70(1-2): 117-133.
- [12] 刘平,秦磊,王超. 赤泥强化型岸边缓冲带模拟系统对再生水中磷净化机理初探[J]. 环境科学学报, 2011, 31(1): 94-101.
- [13] 冯萃敏,李莹,张雅君,等. 以再生水为水源的封闭景观水体营养状态分析[J]. 天津大学学报, 2010, 43(8): 727-732.
- [14] 杨佳,胡洪营,李鑫. 余氯对再生水中铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 的生长抑制作用[J]. 环境化学, 2009, 28(6): 850-853.
- [15] 杨佳,胡洪营,李鑫. 再生水水质环境中典型水华藻的生长特性[J]. 环境科学, 2010, 31(1): 76-81.
- [16] 邵辉煌,方先金,黄鸥. 以再生水为补充水源的景观水体富营养化及其控制技术研究[J]. 给水排水, 2010, 36(增刊): 158-161.
- [17] 彭剑锋,宋永会,郭义川,等. 植物对再生水回用于景观湖泊的水质调控能力研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2009, 45(5-6): 520-523.
- [18] 宋彦青,王芬,季民,等. 复合植物床生态系统对再生水的深度处理研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(13): 46-49.
- [19] 林海,郭丽丽,江乐勇. 抗菌吸附材料的制备及其在再生水处理中的应用[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(5): 644-649.
- [20] 于德森,马军,白宇,等. 高锰酸盐复合药剂强化混凝改善再生水景观湖水质研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(8): 1837-1840.
- [21] 段金明,刘启明,张金丽,等. 再生水处理工艺中混凝深度除磷研究[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2020, 15(1): 31-35.
- [22] 张卫平,董学林,刘洪禄,等. 再生水水质变化规律及灌溉安全性评价研究[J]. 现代商贸工业, 2009, 21: 273-275.
- [23] 王绍华,赵庆良,祝琳. 再生水水质对冷却水系统腐蚀的影响研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(13): 98-101.
- [24] 谢光血,徐光平,樊少斌,等. 城市再生水在电厂循环冷却水系统中的应用[J]. 电力建设, 2010, 31(6): 98-102.
- [25] 李长东,张兴文,王栋,等. 热电厂再生水回用工艺分析[J]. 环境工程, 2009, 27(5): 68-70.
- [26] 李艺,李振川. 北京北小河污水处理厂改扩建及再生水利用工程介绍[J]. 给水排水, 2010, 36(1): 27-31.
- [27] 唐文锋,孙丰英,经来胜,等. 基于层次分析法的高校再生水工艺优选及经济分析[J]. 供水技术, 2010, 4(2): 47-50.
- [28] 刘彩洪,贾小平,李会泉,等. 基于固定再生水浓度的水网络设计[J]. 计算机与应用化学, 2009, 26(9): 1097-1100.
- [29] 吕荣胜,李臻. 基于环境先导的再生水资源定价研究[J]. 内蒙古农业大学学报(社会科学版), 2010, 12(1): 66-68.
- [30] 陈桂琴,吴斌. 天津市再生水会用现状与发展[J]. 供水技术, 2010, 4(2): 61-64.
- [31] 徐小元,方卫民,黄强,等. 再生水灌区水资源联合调度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 228-232.
- [32] 孙博,汪妮,解建仓,等. 再生水利用交易收益的博弈分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(2): 195-198.

The Application Prospect of the Reuse of Reclaimed Wastewater in China

LI Ling-li, LIU Hua-min

(Chongqing Institute of Landscape Gardening, Chongqing 401329)

Abstract: As a new technology of water resource utilization, the reuse of reclaimed wastewater achieved the multidirectional and sustainable utilization of water resources, and provided a new method for relieving the shortage of water resources. The purification technologies, the application states and prospects of the reclaimed wastewater reuse were summerized. It was found that the technologies of the reclaimed wastewater reuse were processed, and reclaimed wastewater has been reused sucessfully in industrial water, agricultural irrigation, landscape water recharge and groundwater recharge field, which made a reference for the furthur extending utilization of reclaimed wastewater reuse in China.

Key words: reclaimed wastewater; reuse; puricication technology; application prospect