

# 城市污水再生回用于景观水体水质安全保障技术<sup>\*</sup>

何安琪 何 苗 施汉昌

(清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

**摘要** 研究了再生水回用于景观水体时可能存在的水质安全性问题,并提出了保障再生水安全回用的处理工艺。研究表明,城市污水再生水回用于景观水体时,存在着卫生学安全、毒理学安全、富营养化以及底质二次污染等危害。为了满足景观水体的水质标准,需要重点控制的水质指标有病原性微生物、有毒有害有机物、重金属、氮磷植物性营养物质、悬浮固体。以城市污水厂二级出水作为再生水原水时,推荐采用的工艺有:二级处理/混凝沉淀/过滤/消毒、二级处理/过滤/活性炭吸附/消毒以及二级处理/膜处理/消毒工艺。

**关键词** 城市污水 再生回用 景观用水 水质安全

城市污水采用适当的深度处理,达到景观用水标准后,作为景观水体的水源补充,避免或减少调用清洁水源补充景观水体而造成的水资源浪费,缓解我国北方地区的水资源匮乏的状况,同时还可实现污水资源的有效利用。

## 1 城市污水再生回用于景观水体可能存在的水质安全性问题

对于城市景观用水,需要满足的水质标准,一是要满足卫生学要求,防止病原微生物对人体健康的危害;二是  $\text{COD}_\text{Cr}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、SS、色度、浊度等有机污染和景观指标,防止水体发生黑臭及影响美学效果;三是要控制氮、磷等可导致水体富营养化指标;四是要控制底质对水质的影响。

### 1.1 卫生学安全的影响

就病原体微生物而言,在城市污水中经常检验到肠道疾病的病菌有杆状细菌和阿米巴痢疾、霍乱、伤寒和副伤寒菌等。研究表明,使人类致病的微生物病原体中,肠道病毒和原生动物类寄生虫(如贾第虫和隐孢子虫)比肠道细菌更为重要。虽然观赏性景观水体与人体非直接接触,但是仍然不可避免地会与人体有一些接触,如果以再生水作为观赏性喷泉,喷泉产生的气溶胶会对吸入者造成细菌、病毒感染的直接危害。所以,再生水作为景观水体时不宜用作观赏性喷泉。因此,采用再生水作为景观水体的补充水源时,必须采取有效的消毒工艺,严格控制再生水中的各类致病微生物。

### 1.2 毒理学安全的影响

城市污水经再生处理后,水中可能含有的重金属、有毒有害化学物质等对人体和生态环境有致癌、

致畸等毒性效应的物质,从而构成景观水体的毒理学危害。

污水再生处理采用加氯消毒,由于再生水中可能存在一定的有机物,从而在再生水中存在一定的消毒副产物,这些消毒副产物也是导致水体毒理学效应的物质。我国对于不需要通过管道输送再生水的现场回用情况,不限制采用加氯以外的其他消毒方式。采用加氯消毒时,管网末端的余氯需  $0.05 \text{ mg/L}$ 。

### 1.3 富营养化影响

再生水引起景观水体的营养化是景观回用的重要障碍之一。与天然景观水体相比较,再生水利用于城市景观水体时,由于城市污水再生水是来经过一定处理的生活、生产污水,因此其污染物本底值较高,如果再生水中的氮磷等植物性营养物质没能得到有效的控制,极易导致景观水体的富营养化的发生;人工景观水体属于浅水水体。研究表明,浅水湖泊比深水湖泊更易发生富营养化,景观水体与浅水湖泊类似,也具有浅水这一特点,因此,易发生富营养化。如果水体出现了富营养化现象,不但影响景观水体的美学价值,同时许多富营养化优势藻类如蓝藻中的微囊藻属、鱼腥藻属和束丝藻属等都能产生藻毒素,他们都是由蓝藻产生的二次代谢产物,不仅危害水生动物,而且对人体健康也有潜在的危害作用。

### 1.4 水体底质的影响

再生水回用于景观水体时,再生水中含有的有机物、重金属、微量有毒物质通过直接沉淀或与沉淀颗粒相结合,在底质中可积累到相当水平,当在自然或人为作用下环境条件发生改变时,底质中的污染物会释放出来,再次污染水体。同时,底质还是许多水底生物及浮游微生物幼体的栖息地,底质中的有毒物质

<sup>\*</sup>国家“十五”科技攻关项目(2003BA809B04-02)

如果在食物链中累积,还会对动物和人类的健康产生负面影响。此外,底质中的有毒有害物质会在周围的土壤和地下水含水层中迁移,引起土壤和地下水的污染问题。因此,景观水体底质的二次污染不可忽视,有必要对其进行跟踪监测。

## 2 水质安全保障处理工艺

当以城市污水厂二级出水作为再生水原水时,为了满足景观水体水质标准,常采用的深度处理单元技术有混凝沉淀(气浮)、过滤、膜分离、活性炭吸附、氧化技术、消毒技术等。

### 2.1 二级处理/混凝沉淀/过滤/消毒

其工艺特点在于基建费用低,运行费用低,其出水水质能基本达到再生水用于景观水体的要求,因此在许多工艺中得到了应用。以下为该类工艺的应用实例:

(1) 二级处理 絮凝 砂滤 加氯消毒 脱氯工艺 出水;应用实例:美国加州 Donald C. Tillman 污水再生厂,处理规模为 $28 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ,再生水用于娱乐区和公园中的瀑布、景观灌溉和养鱼用水。

(2) 二级处理 化学絮凝 砂滤 臭氧氧化 出水;应用实例:东京 Tamajyo 污水再生厂,再生水用于补充 Nobidome 河流水体。

### 2.2 二级处理/过滤/活性炭吸附/消毒

其工艺较前一种工艺而言,投资较高,但出水水质稳定,水质能达到景观环境用水标准。应用实例:德克萨斯州原水供水工程,工艺基本流程为:二级出水 过滤 活性炭吸附 加氯消毒 出水;其工程规模为 $6.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ,再生水注入 Remle 湖,补充 Las Colinas 地区景观湖泊水体。

### 2.3 二级处理/膜处理/消毒

膜处理工艺是近年来在污水再生利用中采用的新工艺,相对来讲,膜处理工艺基建费用、运行费用较高,但其出水水质好,水质稳定,可满足城市景观用水、工业用水、农业用水、城市杂用水等多种要求,因此特别适合一些综合型污水再生工程。以下是该类工艺的应用实例:

(1) 二级出水 CMF 微滤 反渗透 紫外消毒 出水;这是目前在欧洲如法国、意大利、荷兰等普遍采用的处理工艺,即双膜工艺。其中 MF 可以很大范围去除颗粒物质,因此 MF 放在 RO 处理工艺的前面是十分必要的,可以有效保护 RO 工艺和提高 RO 工艺的工作效率,RO 可最大限度地去除有机物和无机物,

这两级顺序的膜处理工艺已起到了广泛的消毒作用,可去除绝大部分的大肠杆菌、细菌、病原体、寄生虫卵等。UV 消毒则可杀灭包括病毒在内的剩余病原微生物,是公众免受致病菌侵袭的又一道保护屏障。应用实例:新加坡 NewWater 污水处理厂,其出水水质达到间接饮用水标准,主要用途为非饮用水类,如工业工艺用水、电路板加工厂超纯水、工艺用水、景观及杂用、补充水源水等;天津开发区污水处理厂也采用了双膜工艺,其出水水质较好,可用于工业、市政杂用、景观水体等多种用途。

(2) 二级出水 微滤 反渗透 出水;应用实例:澳大利亚 Eraring 电站,原水采用 Dora Creek 污水处理厂的二级出水,处理后再生水用作电厂高压锅炉的纯水供给,其水质不但好于淡水水质,大幅度降低淡水需求量,同时还降低了发电厂的运营成本。

(3) 二级出水 化学澄清 过滤 活性炭吸附 反渗透/消毒 出水;应用实例:美国 21 世纪水厂再生水回灌工程,其主要目标是为了防止地下水位下降造成海水入侵至饮用水蓄水层,该厂设计处理能力为 $56\,775 \text{ m}^3/\text{d}$ ,处理后出水水质达到饮用水标准。

## 3 结论

(1) 城市污水再生水回用于景观水体,存在着卫生学安全、毒理学安全、富营养化以及底质二次污染等危害。为了满足景观水体的水质标准,需要重点控制的水质指标有病原性微生物、有毒有害有机物、重金属、氮磷植物性营养物质、悬浮固体等污染物质。

(2) 以城市污水厂二级出水作为再生水原水时,为保障再生水的景观回用,推荐采用的工艺有: 二级处理/混凝沉淀/过滤/消毒,其投资运行成本较低,水质可满足城市景观水体回用,适用于污水回用于景观水体的再生利用工程。 二级处理/过滤/活性炭吸附/消毒,其投资运行费用高于第一类,出水水质相对较好,适用于污水回用于景观水体的再生利用工程。

二级处理/膜处理/消毒,其投资运行费用相对较高,但出水水质好,水质稳定,适用于综合型污水再生利用工程。

## 参考文献

- [1] Takashi Asano. Wastewater Reclamation And Reuse. Water Quality Management Library 2001, 10: 48-50.
- [2] D. Abdessemed, G. Nezzal, R. Ben. Aim. Coagulation-adsorption

(下转第 32 页)

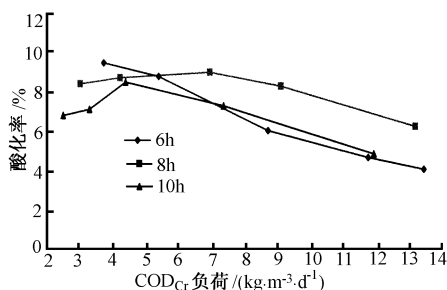


图4 不同 HRT 酸化率与 COD<sub>Cr</sub> 进水负荷关系

分析测试的结果,当 HRT 为 6 h 时,随着有机物进水负荷的增大,总有机酸酸化率逐渐降低,但在有机物进水负荷为 8 kg/m<sup>3</sup>·d 时,总有机酸酸化率还可以达到 8 % 左右。当 HRT 为 8 h 时,随着有机物进水负荷的增大,总有机酸酸化率在有机物进水负荷 < 9 kg/m<sup>3</sup>·d 时保持相对平稳,当有机物进水负荷 > 9 kg/m<sup>3</sup>·d 后总有机酸酸化率逐渐降低。当 HRT 为 10 h 时,起初在低有机物负荷 (< 5 kg/m<sup>3</sup>·d) 情况下,随着有机物进水负荷的增大,总有机酸酸化率逐步增大,但在有机物进水负荷达到 5 kg/m<sup>3</sup>·d 后,总有机酸酸化率随着有机物进水负荷的增大而逐步减小。综上所述水解酸化反应器可以承受较高的有机物容积负荷。

从有机物负荷和 HRT 两个因素综合考虑, COD<sub>Cr</sub> 的进水容积负荷取 6 ~ 8 kg/m<sup>3</sup>·d, HRT 取 8 ~ 10 h 较为合适,此时 COD<sub>Cr</sub> 去除率为 20 % 左右。

### 3 结论

(1) 针对青霉素废水浓度高毒性大的特点,采用水解酸化工艺作为生物处理的预处理手段是有效的,可以起到降低毒性提高废水可生化性的作用。

(2) 从有机物负荷和 HRT 两个因素综合考虑,水解酸化工艺处理青霉素废水时, COD<sub>Cr</sub> 的进水容积负荷取 6 ~ 8 kg/m<sup>3</sup>·d, HRT 取 8 ~ 10 h 较为合适, COD<sub>Cr</sub> 去除率为 20 % 左右。

### 参考文献

- [1] 王凯军,秦人伟. 发酵工业废水处理. 北京:化学工业出版社, 2001.
- [2] 买文宁. 生物化工废水处理技术及工程实例. 北京:化学工业出版社, 2002. 254-280.
- [3] 任立人,张琳,全胜利,周崇辉. 高含硫抗生素有机废水处理. 水处理技术, 2001, 27(4): 225-228.
- [4] 任立人,赵秀梅,张天兵,郝京京. 膨胀颗粒污泥床 (EGSB) 反应器高效处理链霉素有机废水试验研究. 工业给排水, 2003, 29(7): 38-41.
- [5] 王宝泉,方正. 厌氧酸化法的启动及控制因素的探讨. 西安建筑科技大学学报, 1997, 29(2): 142-146.

作者通讯处 孙京敏 050051 河北省石家庄市裕华西路 448 号 河北省环境保护局污控处  
电话 (0311) 87908917  
E-mail sjmustb@163.com

2005 - 05 - 12 收稿

### (上接第 23 页)

- ultrafiltration for wastewater treatment and reuse. Desalination 2000, 131:307-314.
- [3] A. N. Angelakis, L. Bontous. Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. Water Policy 2001, 3:47-59.
  - [4] Juan J. Rodriguez, Victoria Jimenez, Olga Trujillo, Jose M. Veza. Reuse of reverse osmosis membranes in advanced wastewater treatment. Desalination 2002, 150:219-225.
  - [5] John Anderson. 国际回用水的应用实例研究. 21 世纪国际城市污水处理及资源化发展战略研讨会与展览会, 2001.
  - [6] Gen T. Daigger. 回用水处理技术、水质标准和回用方式. 21 世纪

国际城市污水处理及资源化发展战略研讨会与展览会, 2001.

- [7] 金兆丰,徐竟成等. 城市污水回用技术手册. 北京:化学工业出版社, 2004.
- [8] 魏东斌,胡洪营. 城市污水再生回用水质安全指标体系研究. 全国城市污水再利用经验交流和技术研讨会, 天津:2003, 10.

作者通讯处 何安琪 100084 清华大学环境科学与工程系  
电话 (010) 65713452  
E-mail heanqi@tsinghua.org.cn

2005 - 04 - 04 收稿

### 声明

为适应我国信息化建设,扩大本刊及作者知识信息交流渠道,本刊已加入“中国期刊全文数据库”,其作品著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理,如不声明视为同意。

CATALYTIC OXIDATION OF NAPHTHALENE-1, 5-DISULFONIC ACID IN SUPERCRITICAL WATER ..... Lin Chunmian Tao Xuewen Xu Mingxian *et al* ( 7 )

**Abstract** Naphthalene-1, 5-disulfonic acid was oxidized in supercritical water using  $Mn_2O_3 / -Al_2O_3$  and  $V_2O_5 / -Al_2O_3$  as catalysts in a packed bed flow reactor. The results showed that  $Mn_2O_3 / -Al_2O_3$  and  $V_2O_5 / -Al_2O_3$  catalysts had the desired effects of accelerating the degradation of naphthalene-1, 5-disulfonic acid, the TOC removal rate could reach over 90 % at a pressure of 24 MPa and a temperature of 380~440 . The catalytic effects of  $Mn_2O_3 / -Al_2O_3$  and  $V_2O_5 / -Al_2O_3$  catalysts were enhanced with both raising temperature and reducing pH value , and first enhanced and then abated with the extension of residence time.

**Key words** catalyst , supercritical water oxidation , naphthalene-1, 5-disulfonic acid and degradation

PRINCIPLE AND DESIGN OF BIOLOGICAL AERATED FILTER (BAF) PROCESS FOR WASTEWATER TREATMENT ..... Zhang Wenyi Zhai Jianping Zheng Jun *et al* ( 9 )

**Abstract** It was expounded the principle of biological aerated filter(BAF) process and the structure of BAF basin ,and a method of using fly ash and clay for filter media was also introduced. The design & calculation of BAF include volume of filter media ,total area of filter basin ,height of the basin , water and air distributing system , back wash system and the touch time of water to the filter. As an example , a design of municipal wastewater treatment 2 500 m<sup>3</sup>/d using BAF(DC and DN) was introduced.

**Key words** biological aerated filter(BAF) , filter media , wastewater treatment and organic loading

TREATMENT OF EARLY AND LATE LANDFILL LEACHATES BY COMPOSITE PROCESS OF MAP-SBBR ..... Yang Zhaohui Li Chen Zeng Guangming *et al* (14)

**Abstract** Based on the urban landfill leachates characteristic of the daily variational water quality along with the landfill process , the composite process of MAP-SBBR was used to treat the early landfill leachate and the late landfill leachate. The test results showed that under the optimum running conditions of the MAP and SBBR ,the total removal rates of  $NH_4-N$  and  $COD_{Cr}$  were 99. 6 % and 94. 0 % respectively for the early landfill leachate ;and the total removal rates of  $NH_4-N$  and  $COD_{Cr}$  were 99. 3 % and 87. 1 % respectively for the late landfill leachate. MAP-SBBR process was suitable for the treatment of every period landfill leachate.

**Key words** landfill leachate , MAP , SBBR and nitrogen removal

## EXPERIMENT ON TREATMENT OF BEAN-PROCESSING WASTEWATER BY ASBR PROCESS ..... Wang Liang Li Fengting Liu Hua (18)

**Abstract** It was studied the bean-processing wastewater treatment using the anaerobic sequencing batch reactor(ASBR) . The results showed that :The optimal ratio of the time of influent and reaction was 2.5(hours)/4.5(hours) in this experiment which made the pH of influent decrease to 5.0. So the  $NaHCO_3$  dosage was reduced greatly ;the treatment efficiency decreased with the decreasing of the temperature. The  $COD_{Cr}$  removal efficiency was 83.45 % , 73 % and 57.26 % respectively when the temperature was 25 ,20 and 15 respectively. The optimal frequency of mixing was 10 min/h. The reactor had the capacity of adaptation to the impact of the pH. But the disinfectant was harmful to the treatment process and was difficult to resume.

**Key words** ASBR system , bean-processing wastewater and wastewater treatment

## TECHNIQUES FOR WATER QUALITY SECURITY ENSURING OF RECLAIMED WATER USED IN LANDSCAPE WATER ..... He Anqi He Miao Shi Hanchang (22)

**Abstract** The risks of reclaimed water used in landscape water were analyzed , and treatment techniques for water safely reclamation was proposed. The result shows that the main risk comes from the pathology pollutants ,the toxin pollutants ,the eutrophication pollutants and the secondary pollution from sullage when municipal wastewater is reclaimed for landscape water. The major water quality standard including pathogenic microorganism ,toxic organism ,the heavy metal , the plant nutrients , such as N and P , and SS. The recommended techniques include :secondary treatment-coagulation-filtration-disinfection , secondary treatment-activate carbon adsorption-disinfection , secondary treatment-membrane processes-disinfection.

**Key words** municipal wastewater ,reclaimed water , landscape water and water quality security

COMBINED MICRO-AEROBIC HYDROLYSIS AND ACIDIFICATION-AEROBIC PROCESS FOR ANTIBIOTIC WASTEWATER TREATMENT ..... Qi Peishi Ding Lei Liu Yunzhi *et al* (24)

**Abstract** The principle of combined micro-aerobic hydrolysis and acidification-aerobic technology was introduced while the characteristics of the technology for antibiotic wastewater treatment were analyzed. The effects of the project showed that the technology was capable of withstanding shock loadings , and it had good environment conditions and could be managed easily. Thus the difficultly biodegradable antibiotic wastewater was treated so well to reach the water quality standard for discharge. The technology would be used widely in project and for reference in wastewater treatment.