

城市给排水

臭氧 - 生物活性炭污水回用技术研究*

袁志容 王晓昌 马正国

摘要 以西安市北石桥污水处理厂二级处理水为研究对象,通过臭氧 - 生物活性炭(O₃ - BAC)工艺进行了以污水再生回用为目的的城市污水深度处理中试试验。试验考察了该工艺的处理效果,并分析研究了水中污染物的臭氧化特性以及生物活性炭滤床的处理特性。

关键词 污水回用 臭氧 生物活性炭 深度处理

我国水资源分布很不均衡,尤其是处于黄河上游流域的西北地区水资源极其贫乏。解决水资源问题的途径一般说来有三条:一是水资源开发;二是水资源合理调配;三是水资源再生。相比之下,城市污水再生回用更为经济。研究开发经济、高效的污水再生技术是本研究的目的,它对于经济相对落后,而水资源又十分匮乏的西部来说不仅具有理论意义,更具有迫切的现实意义。

西安市北石桥污水净化中心位于西安市西南郊北石桥地区,主要接纳和处理西安市东南郊、南郊和西南郊地区工业企业生产废水和居住区生活污水,其比例为3:7左右。西安市北石桥污水净化中心日处理水量15万m³/d,采用的是活性污泥法中的DE型氧化沟技术。本试验以上述工艺出水为处理对象,以满足回用水水质标准为目的,对臭氧 - 生物活性炭(O₃ - BAC)污水回用工艺特点及其运行条件进行研究,分析该工艺的处理特性,为今后污水回用工程提供参考。

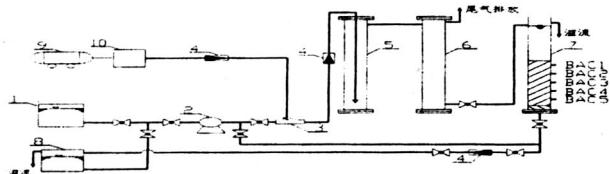


图1 臭氧生物活性炭(O₃-BAC)工艺流程图

1、原水水箱;2、水泵;3、水射器;4、流量计;5、臭氧接触反应柱;
6、臭氧中间反应柱;7、BAC滤柱;8、滤后水水箱;9、空压机;10、臭氧发生器

1 臭氧生物活性炭(O₃ - BAC)工艺流程与参数

1.1 工艺流程

该试验工艺流程见图1。主要试验设备有:臭氧 - 生物活性炭装置,主要包括臭氧接触反应柱、臭氧中间反应柱和生物活性炭滤柱,臭氧投加系统,包括臭氧发生器及空气气源(由无油空压机提供),水器投加装置,加压泵等。

1.2 试验工艺参数

试验工艺的运行参数如表1所示。

表1 试验工艺的运行参数

| 臭氧接触器 | 活性炭生物滤池 |
|------------------|--------------------------------|
| 接触时间:6.4min | 滤层高:1.6m |
| 水流流量:500L/h | 滤料当量直径:1mm |
| 接触方式:同向流 | 活性炭滤料密度:1.494g/cm ³ |
| 反应器形式:喷射气型 | K ₈₀ :1.414 |
| 气体流量:200~300L/h | 滤层孔隙率:0.448 |
| 臭氧投量:1.5~2.5mg/L | 流速:4.5~11.3m/h |
| 臭氧利用率:80% | 反冲周期:24~48h |
| | 反冲方式:气、水反冲 |

2 臭氧 - 生物活性炭工艺处理效果分析

臭氧 - 生物活性炭工艺用于城市污水回用,其处理效果是人们关心的主要问题。试验针对原水(即二级处理出水)、臭氧化后水及活性炭滤后水的色度、UV₂₅₄、TOC、BDOC等水质指标作了测试,对该工艺的处理效果进行了分析。

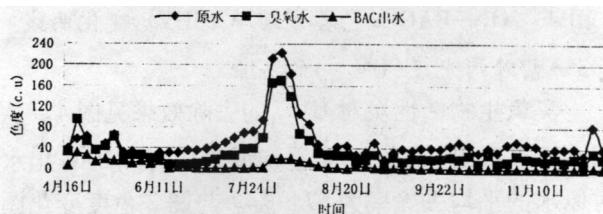


图2 O₃-BAC工艺各处理单元色度变化曲线

*国家自然科学基金重点资助项目,陕西省自然科学基金资助项目

2.1 色度的去除

臭氧生物活性炭对色度的去除效果见图2。从图2可以看出O₃-BAC工艺对滤后水色度的平均去除率达到90%以上,平均色度从53度降到5度以下,说明臭氧生物活性炭工艺有很好的除色效果。北石桥净化中心7月下旬运行不稳定,二沉池出水水质恶化,出水色度偏高(最高达到223度),但从图2看出滤后水色度仍然较低,这从另一侧面说明O₃-BAC对色度的去除抗冲击能力强。

2.2 总有机碳(TOC)的去除

TOC是以水中有机碳元素表示有机物总量的参数,在臭氧化处理中用TOC的去除率能表示臭氧对有机物能否彻底氧化和氧化的程度。臭氧生物活性炭对TOC的去除效果见图3。

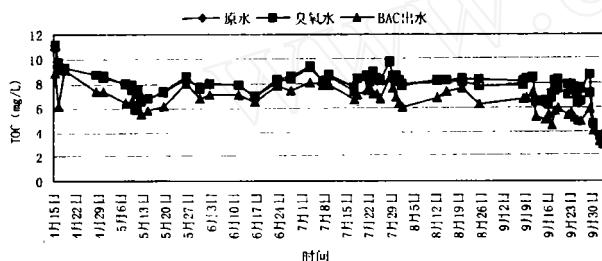


图3 O₃-BAC工艺各处理单元TOC变化曲线

从图3可见,原水的平均TOC值为8.106mg/L, BAC出水相对原水的TOC平均去除率为25.8%。但臭氧化后对TOC的平均去除率仅为3%左右,臭氧化后TOC浓度相对原水而言基本上保持不变或降低很少。

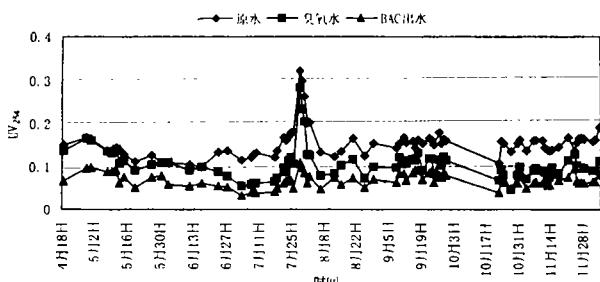


图4 O₃-BAC工艺各处理单元UV₂₅₄变化曲线

2.3 紫外消光度(UV₂₅₄)的去除

臭氧生物活性炭对UV₂₅₄的去除效果见图4。从图4可以看出,原水UV₂₅₄平均值为0.154, BAC出水对原水的平均去除率为57.9%。与图2色度变化图比较,二者具有一定的相似性,这是因为UV₂₅₄代表不饱和双键和苯环的有机物,它们对紫外光有较强的吸收,但由于臭氧的强氧化作用可使不饱和

键断开,苯环开环,使UV₂₅₄降低。而致色有机物(如腐殖酸和富里酸)的特征结构是带双键和芳香环,臭氧通过与不饱和官能团反应、破坏碳碳双键而去除真色。在去除机理上这两者是一致的,因此色度的去除和UV₂₅₄的去除表现出较好的相似性。

3 臭氧对水中污染物的臭氧化特性分析

3.1 臭氧化对有机物生化性能的改善

BDOC(可生物降解溶解性有机碳)是水中有机物中能被异养菌无机化的部分。它是水中细菌和其他微生物新陈代谢的物质和能量来源,包括其同化作用和异化作用的消耗。BDOC含量越低,细菌越不易生长繁殖,反之,BDOC越高,细菌越易生长繁殖,水中有机物越易被微生物利用降解,越易用生物处理技术去除。本试验对臭氧生物活性炭各处理单元的BDOC进行了测定,以便考察臭氧化的效果。测定结果见图5和图6。从图5和6中可以看出臭氧化后水中可生物降解溶解性有机碳(BDOC)明显升高, BAC出水和原水的BDOC值大致相当。图5中臭氧化后BDOC的最大值为3.324mg/L。图6中原水的BDOC平均值为0.725mg/L,臭氧水为1.917mg/L,出水为0.711mg/L,臭氧化后水中BDOC与原水相比提高了160%。经过生物活性炭处理后,可生化部分有机物得到有效去除,同时水中的不可生物降解的溶解性有机碳(NBDOC)含量也进一步减少。

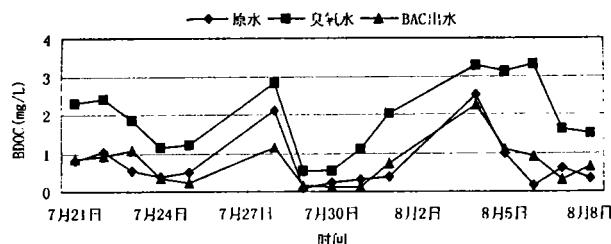


图5 臭氧化前后水中BDOC的变化

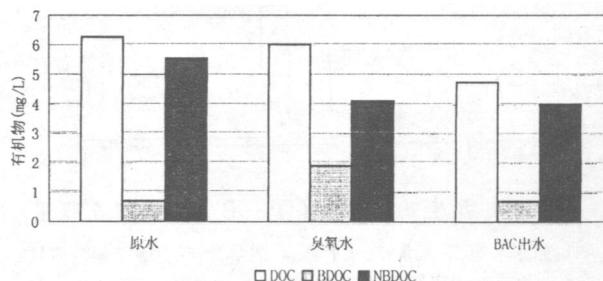


图6 O₃-BAC各处理单元BDOC的去除情况

3.2 臭氧化后水中有机物分子量变化

试验采用高效液相色谱HPLC研究了臭氧化前后分子量的变化情况,见图7。从图7中HPLC谱

图分析结果表明,原水中大分子所占比例较高,经臭氧氧化后,水中大分子量的有机物比例相对降低,小分子量的有机物相对增加。说明臭氧使有机物的分子量分布发生改变,将大分子有机物氧化分解为小分子有机物,增加了水中小分子有机物的比例。

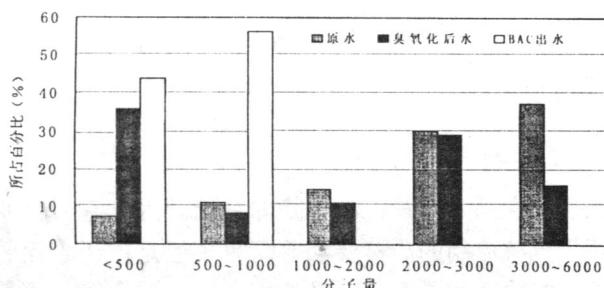


图7 HPLC谱图分析结果

3.3 臭氧氧化后水中有机物结构分析

试验采用色质联机 GC-MS 对原水、臭氧氧化后水、BAC 出水有机物的结构进行了分析。通过分析知,北石桥二级处理水中的有机物主要是一些芳香族、链烃类和脂肪族有机物;经过臭氧氧化后处理水中脂肪族有机物含量明显增加,羧酸类、酯类有机物呈增加趋势,说明臭氧将一部分芳香族有机物氧化为一些含氧基团的有机物,如脂肪酸、羧酸和酯类有机物。从 BAC 进出水有机物种类的改变情况可以看出,BAC 出水中有机物主要以一些难降解的有机物为主,如芳香族和一些多环状有机物,同时水中还存在一些链烃类有机物,而 BAC 进水中,即臭氧氧化后水中的脂肪酸、羧酸类等有机物在出水中没有检测到,说明了臭氧生物活性炭对生物可降解性有机物的去除效率极高。

4 生物活性炭滤床的生物处理特性

在臭氧生物活性炭工艺中,生物活性炭(BAC)柱中生物膜的形成及性能至关重要,它决定着臭氧氧化后水中有机物能否被生物膜中的微生物利用降解,对生物活性炭柱的出水水质起着关键作用。本试验采用自然挂膜的方式直接运行设备。从三月下旬到四月下旬,大致 30 天基本完成挂膜过程,挂膜期间水温为 14 ~ 20。

4.1 BAC 柱中生物量的分析

生物量是水处理微生物学和生物处理工艺设计与运行的一个重要参数,它对生物滤柱的运行情况起着重要作用。试验对 BAC 滤柱中生物量的分布进行了测定。由于原水中有机物较少,属于寡营养系统,因此它的生物量的测定应该选取不同于活性污泥的

其它指标,试验中采用了清华大学于鑫、张晓健、王占生等^[27]提出的生物量脂磷法测定技术。该方法能够较为准确的反映出活着的细胞数量的多少,测定结果以 nmolP/g 炭表示,1nmolP 相当于大肠杆菌(E. coli)大小的细胞 10^8 个。测定结果见图 8 和图 9。

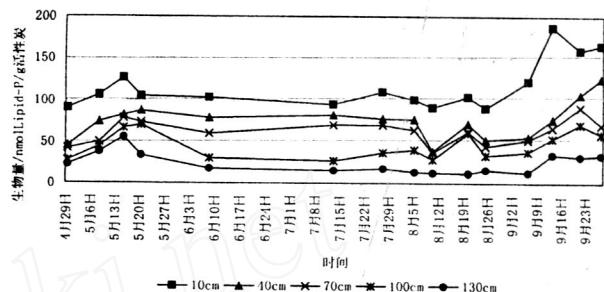


图8 生物量在 BAC 滤柱中的分布

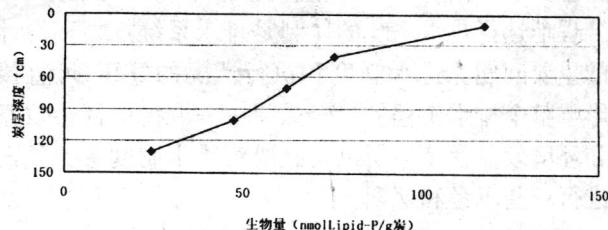


图9 生物量(Lipid-P)沿炭层深度变化曲线

从图 8 可以看出碳层 10 cm 到 130cm 中生物量分布明显,生物量从上到下呈递减趋势。图 9 为各炭层生物量平均值,其中 10cm 处生物量为 117.161nmolP/g 活性炭,相当于 1.17×10^{10} 个大肠杆菌(E. coli)大小的细胞;40cm 处生物量为 75.393nmolP/g 活性炭,相当于 7.64×10^9 个大肠杆菌(E. coli)大小的细胞;130cm 处生物量为 24.599nmolP/g 活性炭,相当于 2.46×10^9 个大肠杆菌(E. coli)大小的细胞。生物量在炭层中上下(10cm 处和 130cm 处)相差 4.76 倍。生物量主要集中在炭层 40cm 以上部分,这主要是 BAC 柱采用下向流,基质由上而下不断被生物膜氧化降解,浓度逐渐降低的原因。

4.2 BAC 滤柱对有机物去除的分析

结合前面讨论的原水、臭氧氧化后水和 BAC 出水总有机碳浓度(TOC)和生物可降解性有机物(BDOC)的变化情况,见图 10。分析可知,TOC 在 BAC 柱中去除的绝对值为 1.206mg/L,BDOC 在 BAC 柱中去除的绝对值为 1.142mg/L,这与 TOC 的去除量基本一致,说明 BAC 柱中主要是通过微生物的新陈代谢作用对生物可降解性的有机物进行去除,而难降解性有机物仍以 TOC 的形式存在,这与 GC-MS 的检测结果相一致。

对城市排水制度的思考

王振跃

摘要 城市排水制度是指在一个地区内收集和输送废水的方式,有分流制和合流制两种基本方式。介绍了两种排水方式的特点,找出现实工程中存在的问题,提出解决对策和建议。

关键词 分流制 合流制 污水处理设施 改造

城市排水制度是指在一个地区内收集和输送废水的方式,有合流制和分流制两种基本方式。排水制度的选定必须与排水系统终端的处理方式和环境质量要求相结合,同时受现实排水系统状况的限制。合理地选择排水系统的体制是排水系统规划和设计的重要问题。排水制度和执行情况的好坏,可直接影响整个排水工程的投资效果——取得的社会效益和环境效益程度。所以有必要对排水制度有关方面进行一些思考和探索。

1 合流制排水系统的关键是污水的输送

合流制排水系统是将生活污水、工业废水和雨水混合在同一个管渠内排除的系统。因此它对污水

收集比分流制的严格要求要简单。但是由于合流管渠平时输送的旱季污水量和雨季输送的合流污水量相差悬殊,因此合流管渠内容易发生沉积物,合流管渠设计必须注意解决污水输送过程出现的问题。根据有关资料介绍,管道中流速 0.22m/s 时,已不致造成中等粒度悬浮物沉淀;流速达到 0.5m/s 时, 10cm^3 的片砾即可冲走。因此合流管渠设计应保证在设计旱季污水量时,最小设计流速为 $0.3\text{m/s} \sim 0.4\text{m/s}$;在设计合流污水量时,最小设计流速为 0.75m/s 。以利小流量时可能发生的沉积物在高峰流量时可冲走。

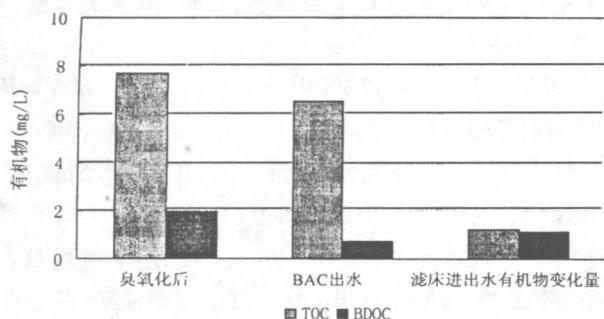


图 10 生物滤床中有机物变化分析

5 结论

(1) O_3 - BAC 工艺能有效去除水中色、臭、味。色度去除率为 92%,出水无异臭味,表现出良好的感官效果。工艺对反映水中有机物总量的 UV_{254} 、TOC 的去除率分别为 57.9% 和 25.8%。

(2) TOC 在 BAC 柱中去除的绝对值为 1.206mg/L, BDOC 在 BAC 柱中去除的绝对值为 1.142mg/L,二者基本相当,说明 BAC 柱中主要是通过微生物的新陈代谢作用对生物可降解性的有机物进行去除,而难降解性有机物仍以 TOC 的形式存

在,这与 GC - MS 的检测结果相一致。

(3) HPLC 分析结果表明,BAC 滤床对水中小分子有机物去除有效。GC - MS 的分析结果进一步证实了活性炭滤床中的生物降解作用。

(4) 通过脂磷法对生物活性炭床中生物量的分布进行了分析,结果表明 BAC 滤床中生物量主要集中在滤床中上部,生物量沿炭层深度呈递减关系。

参考文献

- 1 王琳,王宝贞. 饮用水深度处理技术. 北京:化学工业出版社,2002.
- 2 王晓昌. 臭氧用于给水处理几个理论和技术问题. 西安建筑科技大学,1998,30(4).
- 3 Parkhurst J. Petal Pomona activated carbon pilot plant J WPCF, 1976,37(1).
- 4 王占生,刘文君. 微污染源饮用水处理,中国建筑工业出版社,1999.
- 5 于鑫,张晓健,王占生. 饮用水生物处理中生物量的脂磷法测定. 给水排水,2002,28(5).

作者通讯处:袁志容 610017 成都市东马道街 20 号 四川省建筑设计院

王晓昌 710055 西安市碑林区雁塔路中段 13 号 西安建筑科技大学