

极低温度下两级曝气生物滤池的运行特性

谢曙光, 张晓健, 王占生

(清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 两级曝气生物滤池在极低温度下(1℃以下)处理官厅水库入库水的探索性研究试验结果表明, 有机物和氨氮的去除受到了低温的严重抑制, 亚硝酸盐转化成硝酸盐不再是完全硝化反应的限制步骤, 这可能是在极低温度条件下硝酸菌的活性高于亚硝酸菌活性的缘故。此外, 在低温条件下提高水力负荷会导致对有机物和氨氮去除率的下降。

关键词: 两级曝气生物滤池; 低温; 硝化; 水库水

Operating Characteristics of Two-stage BAF Process at Extreme Low Temperature

XIE Shu-guang, ZHANG Xiao-jian, WANG Zhan-sheng

(Dept of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Exploratory study was made on the Guanting reservoir influent treatment by using two-stage BAF at extreme low temperature. The results show that the removal of organics and ammonia nitrogen is seriously inhibited due to low temperature, and the conversion of nitrite into nitrate is no longer a limiting factor of complete nitrification. One possible hypothesis is that the activity of nitrobacter is higher than that of nitrosomonas at extreme low temperature. Moreover, the increase of hydraulic loading will lead to the decline of the removal rate of organics and ammonia nitrogen.

Keywords: two-stage BAF process; low temperature; nitrification; reservoir influent

1 试验工艺

由于大量工业废水和生活污水的排入, 官厅水库入库水的有机物和氨氮浓度接近于一般城市污水。若采用单级 BAF 同时去除有机物和氮化合物则存在自养菌和异养菌对空间和氧气的竞争, 当进水有机物负荷和氮化合物浓度高时难以实现对氮化合物的有效去除, 所以采用两级 BAF 对官厅水库入库水进行了现场试验。

滤池(柱)高均为 3m, 直径为 20cm。BAF I 和 BAF II 的滤料层净高分别为 1.2、1.3m, 陶粒滤料粒径为 2~5mm, BAF I、BAF II 中的 DO 浓度分别维持在 2、4.5mg/L 左右, 水温都为 1℃以下, 整个试验装置安装于一农房内, 因受试验条件限制, 只能用泵把适量原水(入库水)注入储备水箱后连续运行, 储备水箱的水每天更换一次。

两级 BAF 工艺流程见图 1。

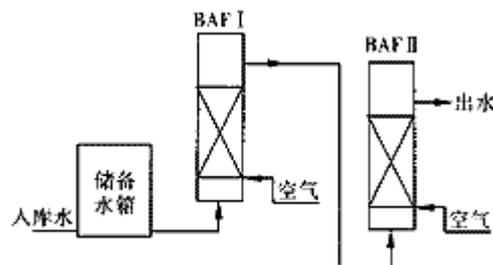


图 1 两级 BAF 工艺流程

2 结果与讨论

2.1 不同水力负荷下的去除效果

试验开始时在较低水力负荷 [$2\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$] 下运行, 结果见表 1。

表 1 低水力负荷时的去除效果 mg/L

| 项 目 | 原水 | BAF I 出水 | BAF II 出水 |
|--------------------|------|----------|-----------|
| 高锰酸盐指数 | 37.2 | 27.0 | 24.0 |
| 氨氮 | 18.7 | 12.4 | 3.1 |
| NO ₂ -N | 0.61 | 0.14 | 0.00 |

BAF I 主要去除有机物, 对氨氮的去除较少, 而BAF II 主要去除氨氮, 对有机物的去除作用很弱, 这是因为原水经过BAF I 处理后剩下的有机物较难进行生物降解。另外, 水温很低且水力负荷也较低时两级BAF仍能较有效地去除有机物和氨氮。

考虑到实际工程的需要, 低水力负荷运行一段时间后提高负荷至 $4\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 运行结果见表 2。

表 2 提高水力负荷后的运行效果 mg/L

| 项 目 | 原水 | BAF I 出水 | BAF II 出水 |
|--------------------|------|----------|-----------|
| 高锰酸盐指数 | 34.0 | 29.0 | 27.2 |
| 氨氮 | 21.0 | 18.3 | 13.3 |
| NO ₂ -N | 0.46 | 0.27 | 0.00 |

从表 2 可以看出, 水力负荷提高后对有机物和氨氮的去除率降低, 由于两级BAF中DO浓度很高(不是限制性因子), 故去除率降低的原因可能是低温条件下BAF中的生物膜活性很低而难以有效地去除污染物所致。有资料表明, 温度 $>10^\circ\text{C}$ 、进水氨氮为 24mg/L 、水力负荷在 $4\sim 10\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 变化时, 水力负荷不是硝化效率的限制因子, 水力负荷的提高反而促进了硝化效率的提高, 整个过程中氨氮去除率为 $80\%\sim 100\%$ 且较稳定, 这是因为高水力负荷促进了基质和生物量的均匀分布, 使液体和生物量之间的物料传递得到强化, 同时滤料也发生一定程度的膨胀, 进一步强化了物料传递, 因而提高了硝化效率^[1], 但此试验表明, 当水温很低时水力负荷的提高会大大降低氨氮和有机物的去除效率。

2.2 模拟冲击负荷试验

① 亚硝酸盐冲击

为了考察两级BAF在水力负荷为 $4\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 时对亚硝酸盐的去除能力, 向储备水箱的原水中加入大量亚硝酸钠, 充分混匀后连续运行 3h 取样分析, 结果见表 3。

表 3 亚硝酸盐冲击时的去除效果 mg/L

| 项 目 | 原水 | BAF I 出水 | BAF II 出水 |
|--------------------|------|----------|-----------|
| 氨氮 | 26.0 | 23.7 | 15.9 |
| NO ₂ -N | 4.79 | 3.52 | 0.51 |

各级BAF对亚硝酸盐的实际去除量大于亚硝酸菌(Nitrosomonas)氧化氨氮而生成的亚硝酸盐量, 即各级BAF中生物膜内的硝酸菌(Nitrobacter)对亚硝酸盐的总去除能力高于亚硝酸菌(Nitrosomonas)转化氨氮的总能力, 这可能是在极低温度(低于 1°C)条件下硝酸菌的活性高于亚硝酸菌活性的缘故。

② 有机物冲击

低温不可避免地将严重影响异养菌的活性,因而各级BAF(特别是BAF I)对有机物的去除能力也受到严重抑制。为考察在水力负荷为 $4\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、BAF I 和BAF II 中的DO分别维持在 2 和 4mg/L 左右时各级BAF 对有机物的最大去除能力,用葡萄糖进行了对有机物的冲击试验,因为通常认为葡萄糖有很好的生化性而极易被生物降解。具体操作过程是:先分别测定原水、BAF I 出水和BAF II 出水中有机物浓度,然后再向储备水箱原水内加入大量葡萄糖,充分混匀连续运行 3h后取样分析,结果见表 4。

表 4 对高锰酸盐指数的去除效果 mg/L

| 项 目 | 原水 | BAF I 出水 | BAF II 出水 |
|---------|----|----------|-----------|
| 未受有机物冲击 | 40 | 36 | 34.5 |
| 受有机物冲击 | 86 | 77 | 75 |

由表 4 可知,未受有机物冲击时BAF I 和BAF II 分别去除了 4、 1.5mg/L 有机物(以高锰酸盐指数表示);受有机物冲击时BAF I 和BAF II 分别去除了 9、 2mg/L 有机物。由于葡萄糖溶液具有易生物降解的特性,可以认为受葡萄糖冲击时去除的有机物基本为葡萄糖,则BAF I 和BAF II 对有机物的最大去除能力分别为 9、 2mg/L ,即在同样运行条件下两级BAF最多只能去除原水中 11mg/L 有机物。通常情况下,由于原水中有机物的可生物降解性比葡萄糖溶液的可生物降解性差,在一定水力停留时间内不易很快被生物降解,因而两级BAF的最终出水中仍含有许多可生物降解成分,这主要是由于低温限制了一系列与有机物生物降解有关的酶的活性,特别是胞外水解酶的活性。

2.3 BAF内污染物沿柱高的变化规律

考察了水力负荷为 $4\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 时BAF内污染物沿柱高的变化规律(分别见表 5、6)。

表 5 BAF I 内污染物沿柱高的变化规律 mg/L

| 项目 | BAF I 进水 | 距进水端 0.1m 处 | 距进水端 0.6m 处 | 距进水端 1.1m 处 | 距进水端 1.2m 处(出水端) |
|--------------------|----------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| 高锰酸盐指数 | 35.2 | 34 | 29.6 | 28.4 | 28 |
| 氨氮 | 21.7 | 21.7 | 21.3 | 20.3 | 19.0 |
| NO ₂ -N | 1.90 | 1.90 | 1.85 | 0.88 | 0.71 |

表 6 BAF II 内污染物沿柱高的变化规律 mg/L

| 项目 | BAF II 进水 | 距进水端 0.1m 处 | 距进水端 0.6m 处 | 距进水端 1.1m 处 | 距进水端 1.3m 处(出水端) |
|--------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| 高锰酸盐指数 | 28.0 | 27.2 | 26.0 | 26.0 | 26.0 |
| 氨氮 | 19.0 | 19.0 | 14.8 | 13.3 | 13.0 |
| NO ₂ -N | 0.71 | 0.71 | 0.28 | 0.10 | 0.01 |

BAF I 中进水端和距进水端 0.6m 处滤料层对有机物去除较多,后面剩余 0.6m 高滤料层去除的有机物较少,这主要是因为原水中易生物降解的小分子成分已被前面 0.6m 高的滤料层利用,剩下的大分子有机物需经一系列复杂的水解反应才能被微生物利用和去除,而水解酶的活性却受到低温的严重抑制,因而在有限的水力停留时间内后面剩余 0.6m 高滤料层去除的有机物较少。此外,由于长期的驯化作用导致距进水端较近的滤料层生物膜较厚,使异养菌成为优势微生物,其水解酶含量也较高,因而能较有效地去除有机物;而距进水端较远的滤料层生物膜中优势菌除异养微生物外,自养菌也逐渐成为优势菌,该处的生物膜中异养菌数量比距进水端较近的滤料层生物膜中异养菌数量少得多,水解酶含量也少,因而去除有机物的能力

较差。

在 BAF I 进水端有机物浓度高,原水中易生物降解的成分也较多,异养菌生长快而自养菌得不到充分生长,故异养微生物成为优势菌,有机物浓度沿柱高逐渐降低(特别是易生物降解的小分子有机物已被利用);在出水端异养菌生长受到限制,通过附着生长的自养菌(如硝化细菌)占优势,氨氮被硝化。

从表 6 可以看出,在 BAF II 中只有距进水端较近的一部分滤料层(约 0.6m)对有机物有去除作用,而氨氮主要是被距进水端 0.6 m 内滤料层中的自养微生物降解,而后面 0.7m 滤料层对氨氮的去除有限,这主要是由于入库水氨氮浓度在夏、秋两季较低(一般低于 10mg/L),因而经过长期驯化作用形成的自养微生物量也有限,特别是 BAF II 中自养微生物形成的生物膜基本只在距进水端 0.6m 内滤料层形成,进入冬季后由于排污量突增,而入库水量变小,氨氮浓度突然上升,虽然经过近两个月的低温驯化,但增加的自养微生物量有限,故后面的 0.7m 滤料层对氨氮的去除作用也较弱。

虽然进水亚硝酸盐浓度较高,但亚硝酸盐浓度在各级柱内沿高程逐渐降低且未发现有亚硝酸盐的积累,这也同样反映了各级 BAF 中生物膜内的硝酸菌对亚硝酸盐的总去除能力高于亚硝酸菌转化氨氮的总能力,即在低温条件下亚硝酸盐转化成硝酸盐不再是完全硝化反应的限制步骤。

3 结论和建议

采用曝气生物滤池在低温下处理官厅水库入库水的探索性试验表明,有机物和氨氮的去除受到了低温的严重抑制,亚硝酸盐转化成硝酸盐不再是完全硝化反应的限制步骤。在低温条件下水力负荷的提高会导致有机物和氨氮去除率的下降,这与国外学者在较高水温条件下得出的结论相反。

由于官厅水库入库水在冬季时的水质与一般城市污水相似,故该试验也填补了两级曝气生物滤池在低温下处理城市污水的空白,并为其用于寒冷地区(特别是我国北方)的城市污水处理提供了第一手资料。

参考文献:

- [1] Pujol R.A keypoint of nitrification in an upflow biofiltration react or [J].Wat Sci Tech, 1998, 38(3): 43-49.