

低温条件下生物滤池外加磷源恢复运行研究

谢曙光¹ 张晓健² 王占生²

(1 北京大学环境学院环境科学系, 北京 100871; 2 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要 低温条件下(低于 1 ℃)外加磷源恢复生物滤池运行的研究表明, 对于磷浓度偏低的原水(官厅水库入库水), 生物滤池可以通过短时间内持续外加磷源的方法来迅速恢复和提高对有机物的去除能力, 但生物滤池对氨氮去除能力需 5~7 d 才能完全恢复。间歇试验结果表明, 原水中磷浓度偏低时适当外加磷可以提高异养和自养生物膜活性, 但溶液中磷浓度增加到一定值后生物膜活性不再增加。

关键词 低温 生物滤池 生物膜活性 加磷 恢复

Recovery of biofilter at low temperature by addition of phosphates

Xie Shu-guang¹, Zhang Xiao-jian², Wang Zhan-sheng²

(1. Department of Environmental Sciences, College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Recovery of biofilter with external addition of phosphates at low temperature (below 1 ℃) was conducted in this study. For raw water (inflow of Guanting Reservoir) with low phosphate concentration, the recovery of heterotrophic biofilm activity at low temperature could be sped up by continuously short-term addition of phosphates, however, 5~7 days was necessary for the full recovery of autotrophic biofilm activity. The batch test also indicated the addition of phosphate could enhance the heterotrophic and autotrophic biofilm activity when the concentration of solvable phosphate in influent was below a certain limit, but the enhancement would cease when the phosphate concentration exceeding the limit.

Keywords: Low temperature; Biofilter; Biofilm activity; Phosphate addition; Recovery

磷是微生物正常生长和繁殖不可缺少的元素, 地表水中大多数总磷是以颗粒状形式存在, 只有一小部分是溶解态存在, 但只有溶解态的磷才能直接被微生物吸收和利用。在地表水生态系统中氮或磷的浓度过低会影响微生物生长和繁殖^[1,2]。饮用水管网中可溶性磷酸盐浓度低于 10 μg/L 时异养微生物生长就会受到限制。缺磷条件下, 外加微量(如 1 μg/L)正磷酸盐就能大大促进饮用水管网中异养微生物生长^[3,4]。在低温条件下(特别是低于 1 ℃)

生物处理工艺中微生物活性和生长进一步受到严重限制, 是否能够通过外加正磷酸盐来提高有机物和氨氮污染十分严重但总磷浓度很低的地表水生物处理效果, 国内外尚未见详细报道。本文主要进行低温条件下外加磷源快速恢复生物滤池正常运行和提高生物处理效果的探索性研究。

1 试验概况

虽然冬季官厅水库入库水有机物和氨氮浓度很高, 接近于城市污水中污染物浓度水平, 但可溶性磷浓度很低, 经常低于 10 μg/L, 有时甚至检测不出。试验采用两级曝气生物滤池系统在官厅水库上游现

北京市重大科技攻关项目(9550610400-05-03)。

场进行外加磷源恢复运行研究(该工艺发生运行故障而停止运行约 10 d),工艺流程见图 1,试验直接采用官厅水库入库水。滤池柱高均为 3 m,直径为 20 cm,BAF I 和 BAF II 滤料层净高分别为 1.2 m 和 1.3 m,填料都为陶粒,粒径为 2~5 mm。BAF I 中的溶解氧浓度维持在 3~4 mg/L,BAF II 中的溶解氧浓度维持在 4 mg/L 左右,生物滤池进水水力负荷为 $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水温都在 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下。整个试验装置安装于一农房内,由于现场试验条件的限制,只能用泵把适量原水(入库水)注入储备水箱,再用储备水箱的水进行连续运行。储备水箱的水每天更换一次。开始恢复运行时,每天在更换水时向水箱中添加适量的正磷酸盐,使其在水箱内混合均匀后浓度约为 $50 \text{ } \mu\text{g/L}$ (以 $\text{PO}_4^- - \text{P}$ 计)。持续投加 3 d 可溶性磷酸盐后停止外加磷源。

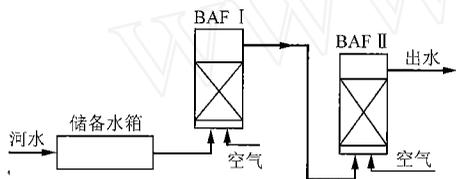


图 1 两级 BAF 工艺流程

2 试验结果与讨论

2.1 外加磷源对生物滤池系统恢复运行研究

以前的研究表明,由于低温对生物滤池系统内微生物生长和活性的严重影响,该生物滤池系统对入库水中的有机物和氨氮的去除能力很差。其中 BAF I 对有机物(以 COD_{Mn} 表示,下同)和氨氮的去除能力分别低于 6 mg/L 和 3 mg/L ,BAF II 对有机物和氨氮的去除能力分别低于 2 mg/L 和 6 mg/L 。即使进水中含有大量易降解有机物(外加葡萄糖)时,BAF I 和 BAF II 对有机物的去除能力也只分别为 9 mg/L 和 2 mg/L ^[5]。

图 2 是外加磷源时期(前 3 天)和随后几天生物滤池系统恢复运行时对有机物的去除结果。从图 2 可以看出,虽然生物滤池系统停止运行约 10 d,但刚恢复运行时生物滤池系统内就能去除大量有机物,说明异养微生物活性迅速得到恢复。同时还可以看出,在外加磷源时期(前 3 天)和随后停止外加磷源的一段时间内,两级曝气生物滤池对有机物的去除能力都得到了大大提高,其中 BAF I 和 BAF II 对有

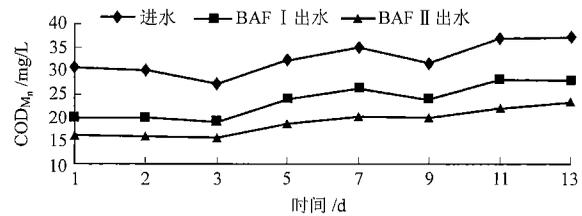


图 2 外加磷源对生物滤池系统恢复去除有机物能力影响。有机物的去除分别为 $8 \sim 11 \text{ mg/L}$ 和 $4 \sim 6 \text{ mg/L}$ 。说明低温条件下生物滤池可以通过短时间内持续外加磷源的方法来快速恢复和提高其对有机物的去除能力。另外,BAF II 出水中也检测不出可溶性磷酸盐,从而避免了出水中可溶性磷酸盐过高而产生额外的污染。

图 3 是外加磷源时期和随后几天生物滤池系统恢复运行时对氨氮的去除结果。从图 3 可知,生物滤池系统对氨氮去除能力的恢复存在一个滞留期,即需 5~7 d 才能完全恢复。而由图 2 可知生物滤池系统对有机物的去除能力的恢复不存在滞留期。这也说明经过一段时间饥饿(缺少营养)后异养微生物活性和生长恢复得比自养微生物快。与以往的结果相比,也可以看出外加磷源后生物滤池系统对氨氮的去除能力没有得到提高。

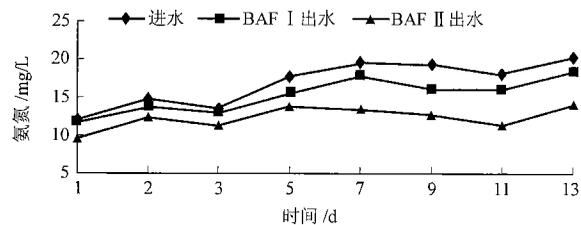


图 3 外加磷源对生物滤池系统恢复去除氨氮能力影响

2.2 运行事故前外加磷源对生物滤池内异养和自养微生物活性影响间隙试验研究

常用的表征生物膜活性的方法有 ATP 法、脱氢酶法和 OUR 法(在相同的环境条件下,单位重量微生物在单位时间内对氧气的消耗量)。摄氧率是水处理技术中的常用参数,可以表征生物膜活性的大小及反应器对有机物的降解能力。在运行事故前笔者曾采用 OUR 法测定溶液中不同可溶性磷酸盐浓度时生物膜活性。其具体方法是:①先测定原水中的可溶性磷酸盐浓度(本试验测得为 $5 \text{ } \mu\text{g PO}_4^- - \text{P/L}$),然后对原水进行预曝气充氧,充氧饱和后各取 100 mL 放入几个预先洗净的锥形瓶中(残存的磷酸盐

可以忽略不计),除空白对照瓶外,向各个锥形瓶中加入适量预先配置好的正磷酸盐溶液(浓度为 $1 \text{ mg PO}_4^- - \text{P/L}$),再添加约 100 mL 充氧原水。②称取一定质量的陶粒(本试验取 20 g ,湿重)放入各个锥形瓶中,再往各瓶中添加少量充氧原水,使瓶中固液体最终总体积为 250 mL ,而各瓶中可溶性磷酸盐浓度依次为 $5, 10, 20, 40, 60 \mu\text{g PO}_4^- - \text{P/L}$ 。③密封锥形瓶,然后把锥形瓶放在磁力搅拌器上缓慢搅拌,混合均匀后记录 DO 随时间的变化情况(持续时间为 30 min),最终结果以每 g 陶粒(湿重)每 min 消耗的溶解氧 mg 数表示。试验陶粒取自 BAF I 中距滤料底部 0.1 m 和 BAF II 中距滤料底部 0.6 m 处,以前的研究表明,这两处陶粒的生物膜中优势菌分别为异养菌和自养菌。

图 4 是异养生物膜在不同可溶性磷酸盐浓度时的活性(以 OUR 表示)。从图 4 可知,溶液中可溶性磷酸盐浓度较低时异养生物膜活性随着可溶性磷酸盐浓度增大而增加,但可溶性磷酸盐浓度增大至一定程度时异养生物膜活性增加缓慢,最终不再随可溶性磷酸盐浓度增大而增加。由此可知,低温条件下对于磷浓度偏低(特别是可溶性磷酸盐浓度偏低)的污水,可以适量外加磷源以提高异养生物膜活性,从而提高对有机污染物的去除;但外加磷源过量也不能进一步提高对有机污染物的去除效果,反而会造成磷酸盐污染。

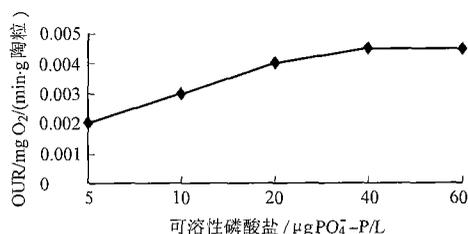


图 4 异养生物膜在不同可溶性磷酸盐浓度时的活性

图 5 是自养生物膜在不同可溶性磷酸盐浓度时的生物膜活性(以 OUR 表示)。从图 5 可知,适量增加溶液中可溶性磷酸盐浓度也能促进自养生物膜活性的增加,但可溶性磷酸盐浓度达到 $10 \mu\text{g PO}_4^- - \text{P/L}$ 时,自养生物膜活性不再随可溶性磷酸盐浓度增大而增加。Kors 等发现,当作为饮用水水源的水库中磷浓度偏低时,在低温条件下(约 $1 \text{ }^\circ\text{C}$)持续投加少量的磷(约 10 d)也能大大提高快滤池

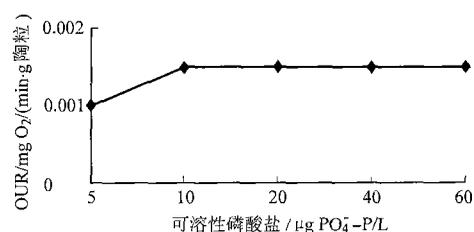


图 5 自养生物膜在不同可溶性磷酸盐浓度时的活性中的硝化率^[6]。但前面的结果表明,外加磷源后生物滤池系统对氨氮的去除能力没有得到提高。分析原因可能如下:进水中外加磷源基本已被异养生物膜吸收利用,自养生物膜并没有得到额外的磷源。

3 结论

本文作了外加磷源对生物滤池低温下恢复运行的探索性研究。对于磷浓度偏低的原水,低温条件下生物滤池可以通过短时间内持续外加磷源的方法来迅速恢复和提高对有机物的去除能力,并且在停止投加后效果仍可维持数日。生物滤池系统对氨氮去除能力的恢复存在一个滞留期,即需 $5 \sim 7 \text{ d}$ 才能完全恢复。间歇试验表明,原水中磷浓度偏低时适当外加磷可以提高生物膜活性,但溶液中磷浓度增加到一定值时生物膜活性不再增加。

参考文献

- 1 Coveney M F, Wetzel R G. Effects of nutrients on specific growth rate of bacterioplankton in oligotrophic lake water cultures. *Appl Environ Microbiol*, 1992, 58: 150~156
- 2 Currie D J. Phosphorous deficiency and its variation among lakes. *Can J Fish Aquat Sci*, 1990, 47, 1077~1083
- 3 Miettinen L T, Vartiainen T, Martikainen P J. Phosphorous and bacterial growth in drinking water. *Appl Environ Microbiol*, 1997, 63(8): 3242~3245
- 4 Miettinen L T, Vartiainen T, Martikainen P J. Contamination of crinking water. *Nature*, 1996, 381: 654~655
- 5 谢曙光, 张晓健, 王占生. 极低温下两级曝气生物滤池的运行特性. *中国给水排水*, 2002, 18(7): 17~19
- 6 Kors L J, Moorman J H N, Wind A P M, Van der Hoek J P. Nitrification and low temperature in a raw water reservoir and rapid sand filters. *Wat Sci Tech*, 1998, 37(2): 169~176

○电话:(010) 62762534

E-mail: xiesg@pku.edu.cn

修回日期:2004-6-20