

# 淹没式贝壳填料生物滤池的除磷效应

熊小京<sup>1</sup>, 黄智贤<sup>1</sup>, 洪华生<sup>1</sup>, 丁原红<sup>1</sup>, 景有海<sup>1</sup>, 羽野忠<sup>2</sup>

(1. 厦门大学 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005; 2. 大分大学 工学部应用化学科, 日本国)

**摘要:** 探讨了以贝壳为填料的生物滤池的除磷机理, 研究了影响除磷效果的主要因素。静态试验结果表明: 在酸性条件下贝壳能够通过化学作用去除水中的磷。连续试验结果显示: 当控制水力停留时间在 5 h 以上时贝壳显示出较高的除磷效率; 当贝壳与陶粒的填充高度之比为 2:1 时除磷效果最佳, 除磷率可达 75%~85%。

**关键词:** 贝壳; 除磷; 生物诱导; 生物滤池

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2003)08-0044-02

## 1 试验部分

### 1.1 原水水质

原水模拟污水厂二级处理出水进行人工配制, 其  $COD$  为 25 mg/L,  $NH_4^+-N$  为 15 mg/L,  $PO_4^{3-}-P$  为 8 mg/L。

### 1.2 分析方法

$COD_{Mn}$  采用高锰酸钾指数法测定,  $NH_4^+-N$  采用靛酚蓝分光光度法分析,  $PO_4^{3-}-P$  通过钼锑抗分光光度法分析,  $DO$  和  $pH$  分别采用 ORION model 810 和 PHB-1 便携式  $pH$  计进行检测。

### 1.3 静态除磷试验

向五个装有 20 g 贝壳碎片[(2~4) mm×(5~6) mm] 的烧瓶中分别加入  $pH$  值为 3.5、4.0、5.0、6.0、7.0 的  $NaH_2PO_4$  溶液(24 mg/L) 100 mL, 然后放在摇床里振荡 12 h, 最后测定水中的磷浓度。

### 1.4 连续试验及其装置

滤池为内径 7.5 cm、高 200 cm 的 PVC 柱, 所用填料为贝壳和(或)陶粒(直径为 2 mm), 填充在下半部分(填充高度为 100 cm), 填料及其填充比根据试验阶段来定。在填充段每隔 20 cm 设一个取样口。原水自反应柱的上端进入(通过溢流维持液面在恒定高度), 并对填料层以上的集水段进行曝气, 气水比约为 1:1, 通过调节出水流量来改变  $HRT$ 。

试验所用的装置与流程见图 1。

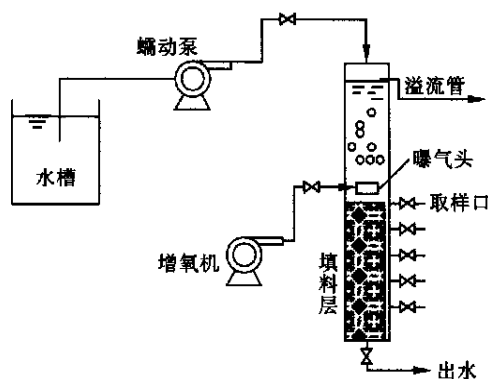


图 1 试验装置

滤池采用自然挂膜启动(约 3 周), 通过改变进水磷浓度和不同填料的填充高度(见表 1)来考察装置的处理效能。

表 1 各阶段的填料填充高度 cm

试验安排	陶粒层	贝壳层
1 <sup>#</sup>	100	0
2 <sup>#</sup>	0	100
3 <sup>#</sup>	33	67
4 <sup>#</sup>	67	33

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同 $pH$ 值下的静态除磷效果

试验结果表明, 在  $pH$  值为 7 的缓冲液中 1 g 贝壳通过吸附作用能够去除 0.006 3 mg 的磷, 随着  $pH$  值的降低则其对磷的去除效果逐渐增强。这是因为贝壳在酸性条件下逐渐被溶解而释放出  $Ca^{2+}$ , 其与

$H_2PO_4^-$  反应形成了沉淀。

## 2.2 陶粒和贝壳的除磷效果比较

试验发现, 1<sup>#</sup> 对磷基本上没有去除能力。这是因为在污水流程上所形成的环境为好氧—缺氧环境(生物膜中还会形成厌氧环境), 与生物除磷所要求的条件正好相反, 决定了这种利用陶粒为填料的生物滤池的除磷效果很差。此外, 1<sup>#</sup> 的出水含磷量有时比原水还高, 这可能是缺氧条件下的磷释放所致。

与 1<sup>#</sup> 形成鲜明对比的是 2<sup>#</sup> 具有很好的除磷效果, 尽管出水磷浓度随原水水质的波动而变化, 但对它的去除率基本上稳定在 69% 左右, 最高可达 84%。由此可以推断 2<sup>#</sup> 利用聚磷菌的聚磷作用除磷的可能性很小, 而通过生物诱导的化学沉淀来实现磷的去除的可能性较大。

关于生物诱导的化学沉淀除磷机理可以表述为: 微生物在有氧条件下, 通过好氧呼吸以及对有机物的降解作用使水相呈微酸性, 牡蛎壳体的  $CaCO_3$  成分在酸性环境中逐渐被溶解并释放出钙离子, 同时 pH 值回升。在微碱性条件下, 这些钙离子能够与磷酸根离子结合而形成沉淀。

M. Maurer 等人的研究表明, 上述反应可以在 pH = 7 ~ 8 之间进行, 生成的  $Ca_2HPO_4(OH)_2$  与  $Ca_5(PO_4)_3OH$  是较稳定的沉淀物。而此次试验出水的 pH = 7.5 ~ 8, 正好在反应所需的 pH 值范围之内, 从而进一步证实了牡蛎壳良好的除磷性能主要是通过生物诱导的化学沉淀来实现的。

## 2.3 HRT 对除磷效果的影响

试验发现, 刚开始时贝壳的除磷效果不是很好, 但随着生物膜的逐渐形成则对磷的去除率不断提高。如当 HRT 为 12 h 时对磷的去除率高达 92%。这可能是因为停留时间长使生物降解作用加强, 体系的酸度增大, 有利于贝壳中  $Ca^{2+}$  的释放, 而且较长的停留时间可保证生物诱导的化学反应进行得更完全。当 HRT 缩短为 5 h 时, 对磷的去除率没有出现明显的减小趋势。可见, 将 HRT 控制在 5 h 以上时, 生物降解作用及体系的酸度水平足以保证生物诱导作用下的化学沉淀除磷反应的正常进行。

## 2.4 填充比对除磷效果的影响

不同贝壳填充率时的除磷效果见图 2。

从图 2 可以看出, 贝壳填料层的高度影响磷的去除率。在贝壳填充率为 67% 时, 对磷的去除率基

本稳定在 75% ~ 85%, 去除效果比全部填充贝壳时好(去除率在 69% 左右)。这可能是因为与贝壳相比陶粒的比表面积大(生物量也大), 此时充足的溶解氧 ( $> 2 \text{ mg/L}$ ) 有利于微生物进行硝化反应(要消耗碱度)和有机物的好氧酸解, 使得系统的 pH 值下降幅度增大(可从 pH 值的纵向分布图得到验证)。pH 值的下降有利于贝壳的分解, 使形成  $Ca_5(PO_4)_3OH$  的反应更易进行。而在 4<sup>#</sup> 中, 污水在贝壳填料层的停留时间比较短, 化学反应的时间不够, 表现出对磷的去除率比 2<sup>#</sup> 差。另外, 底部的缺氧状态还会导致磷的释放, 从而使 4<sup>#</sup> 的出水磷浓度波动比较大。

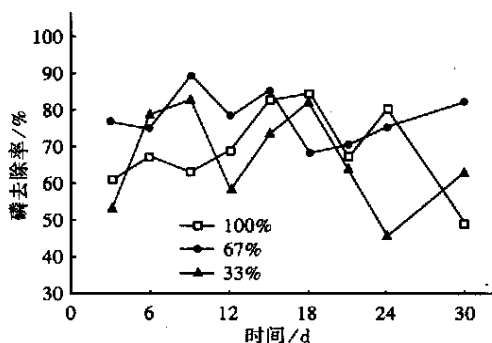


图 2 贝壳层高度对磷去除率的影响

## 3 结论

- ① 以贝壳为填料的淹没式生物滤池主要靠生物诱导的化学沉淀来除磷。
- ② 当控制水力停留时间在 5 h 以上时贝壳显示出较好的除磷效果。
- ③ 贝壳填料层的填充高度影响除磷效果, 当贝壳与陶粒的填充高度之比为 2 : 1 时除磷效果最佳, 除磷率可达 75% ~ 85%。

## 参考文献:

- [1] Maurer M, Boller M. Modelling of phosphorus precipitation in wastewater treatment plants with enhanced biological phosphorus removal[J]. Wat Sci Tech, 1999, 39(1): 147-163.
- [2] Maurer M, Abmovich D, Siegnist H et al. Kinetics of biologically induced phosphorus precipitation in water treatment[J]. Wat Res 1993, 33(2): 484-493.

E-mail: fjhzx8016@sina.com

收稿日期: 2003-03-05