

渗流式生物床处理污染河水的启动研究

林岩清, 何 苗, 胡洪营, 管运涛, 张 建
(清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

摘 要: 渗流式生物床的成功启动是稳定发挥其净化污染河水功能的重要前提。研究表明, 渗流式生物床的自然启动约需 40 d, 而减少进水负荷同时投加营养物则能够有效加快渗流式生物床的启动, 启动时间仅约 12 d。当启动完成并稳定运行时, 在 HRT 为 8 h 的条件下系统对 NH_4^+ -N 的平均去除率为 94.4%, 对 COD 的平均去除率为 51.3%; 当 HRT 为 24 h 时系统对 NH_4^+ -N 的平均去除率为 98.3%, 对 COD 的平均去除率为 53.5%。可见, 当水力停留时间达到 8 h 后, 增加水力停留时间对提高 NH_4^+ -N 和 COD 去除率的效果不明显。

关键词: 渗流式生物床; 污染河水; 自然启动; 快速启动; 处理性能

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2006)01-0050-04

Study on Start-up Performance of Seepage Biological Bed (SBB) for Purifying Polluted River Water

L N Yan-qing, HE Miao, HU Hong-ying, GUAN Yun-tao, ZHANG Jian
(Dept. of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Successful start-up is an important precondition for Seepage Biological Bed (SBB) to purify polluted river water steadily. The research shows that the natural start-up of SBB needs about 40 days and the rapid start-up only needs about 12 days. The rapid start-up method is to reduce the influent hydraulic load and at the same time to add nutrition which can effectively accelerate the start-up speed of SBB. When start-up is achieved, in the condition of 8-hour HRT, the average removal rate of NH_4^+ -N is 94.4%, COD is 51.3%, and in the condition of 24-hour HRT, the average removal rate of NH_4^+ -N is 98.3%, COD is 53.5%. The results of removal performance show that when HRT is more than 8 hours, increasing the HRT has little effect on increasing removal rate of NH_4^+ -N and COD.

Key words: seepage biological bed (SBB); polluted river water; natural start-up; rapid start-up; removal performance

河水严重污染是当前河流治理的主要问题之一, 采取高效的河水处理工艺对河水水质进行净化是污染河流整治的必要前提。渗流式生物床技术是一种净化污染河流的强化处理技术^[1~3], 特别适用

于严重污染的中小河流和支流的水质净化。它结合了生物膜的降解特性和填料的过滤作用, 具有处理效率较高且适用性较强的特点, 构筑物可充分利用河流两边的护岸或河道滩地, 沿着河岸和水流方向

基金项目: 国家“十五”重大科技专项 (2003AA601080)

进行布置,采用水平渗流的水流方式;在填料的选取上则可根据当地的特点就地取材,选择多种天然及废弃的材料(如各种矿石、废陶瓷、废砖等)组成复合填料。

要稳定发挥渗流式生物床的净化功能,必须在填料表面形成稳定成熟的生物膜系统,因而采用合适的启动方式进行有效迅速的启动,对渗流式生物床的稳定运行有着重要意义^[4]。笔者通过试验,进行了自然启动和减少进水负荷同时投加营养物快速启动两种方式的比较^[4,5],研究了渗流式生物床的启动性能。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验装置见图 1。

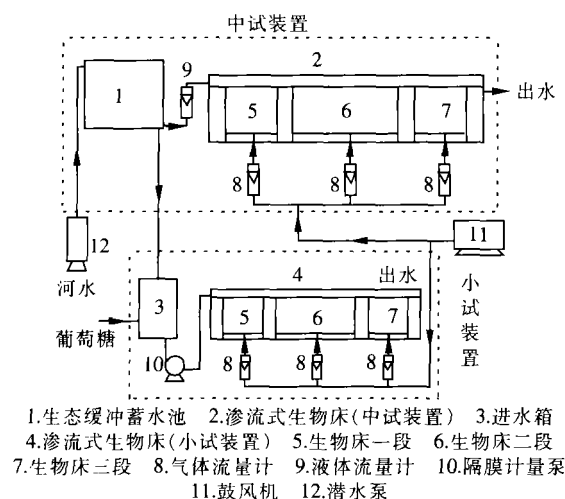


图 1 试验装置及流程

Fig 1 Experiment installation and layout

试验分两部分同时进行。第一部分为中试规模的试验,装置尺寸为 12.0 m(长)×2.4 m(宽)×2.05 m(高),其中填料部分尺寸为 7.5 m×1.5 m×1.0 m;第二部分为小试规模的试验,由中试装置按比例缩小搭建,填料部分尺寸为 1.25 m×0.25 m×0.25 m。渗流式生物床共分为 3 段,第一段装填卵石,第二段装填废砖块和废陶瓷(2:1)的混合填料,第三段装填沸石^[6]。在填料底部设置曝气管,用以调节生物床各段的供气量。

渗流式生物床的进水取自淄博市孝妇河黄土崖段的河水。中试采用直接通河水的自然启动方式,水力停留时间(HRT)为 8 h;小试采用投加营养物同时减少进水负荷的快速启动方式:投加葡萄糖,溶解后含 COD 约 40 mg/L,同时减小进水负荷,控制

HRT为 24 h。试验期间水温为 25~30℃,生物床各段的 DO 保持在 3~4 mg/L 左右。

1.2 测试项目及方法

沿渗流式生物床水流方向在 3 段的进、出口处分别设置取样口,定期取样测试 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 以及 DO、pH、水温(T)等指标,按标准方法进行测定^[7]。

1.3 启动成功的判断标志

采用 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率作为渗流式生物床处理系统启动成功的指标,当对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率达到稳定运行期间平均去除率的 80%时,即可认为处理系统启动成功。

2 试验结果与讨论

2.1 启动期间对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除性能

2.1.1 中试

自然启动过程中对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除情况如图 2 所示。

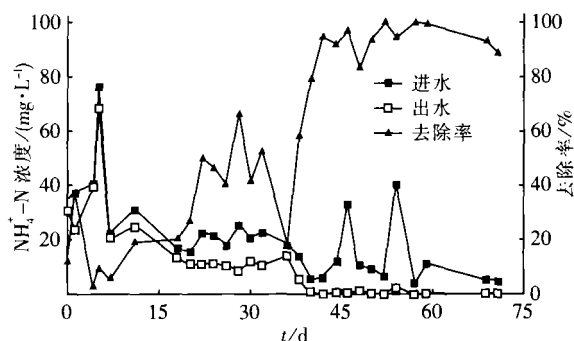


图 2 中试装置对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除性能

Fig 2 Removal performance of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ by pilot-scale experiment

从图 2 可以看出,启动初期生物床系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 就有一定的去除效果,但不稳定,由于填料本身对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 有吸附作用,可以认为这段时间的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除基本靠填料吸附,并且随着填料吸附饱和和对其去除率逐渐下降,在第 4 天时去除率降至最低点。其后随着填料上生物膜的发育成熟,去除率开始呈现逐渐上升的趋势,至第 40 天时系统的去除率达到了 80%,42 d 后去除率比较稳定,平均去除率为 94.4%。

以稳定运行期间平均去除率的 80%作为启动成功的标志,则中试系统大约 40 d 才能完成自然启动。

2.1.2 小试

快速启动过程表明, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率的变化和

中试系统类似,启动初期由于填料的吸附作用就有一定的去除率,在第 7 天达到最低点,随着生物膜的发育成熟则对其去除率不断上升,到第 12 天时去除率达到了 84.5%,17 d 后去除率比较稳定,平均去除率为 98.3%。

以稳定期间平均去除率的 80%作为启动成功的标志,即 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率达到 78%可认为启动成功,则小试系统大约 12 d 就能完成启动。

可以用系统内 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度的变化来表征生物膜的硝化作用对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除,试验结果见图 3。

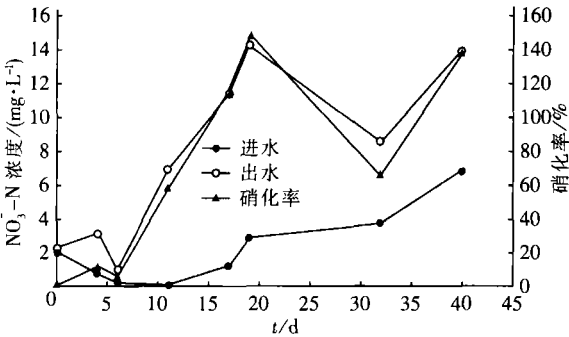


图 3 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的变化和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的硝化率

Fig 3 Variation of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and nitrification rate of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

系统进水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 基本在 0.5 mg/L 以下,出水则接近于零,如果不考虑 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度的变化,可以定义系统的硝化率为^[6]:

$$\text{硝化率} = (C_{\text{NO}_3^- \text{出水}} - C_{\text{NO}_3^- \text{进水}}) / C_{\text{NH}_4^+ \text{进水}} \times 100\%$$

从图 3 可以看出,第 6 天后硝化率逐渐上升,而硝化作用主要是通过生物膜来完成的,这就说明大约从第 6 天开始生物膜逐渐发育,并在 11 d 后发育成熟,于是系统有了较高的硝化率。从图 3 还可知部分硝化率 > 100%,这是由于进水和生物膜上的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 存在一个吸附和解吸的动态平衡,当水中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 因消耗而浓度降低后,生物膜处理系统可以利用填料上解吸下的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 进行硝化反应,当硝化去除的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 值大于进水的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 值时硝化率 > 100%。

2.2 启动期间对 COD 的去除性能

2.2.1 中试

中试装置在启动期间对 COD 的去除情况见图 4。

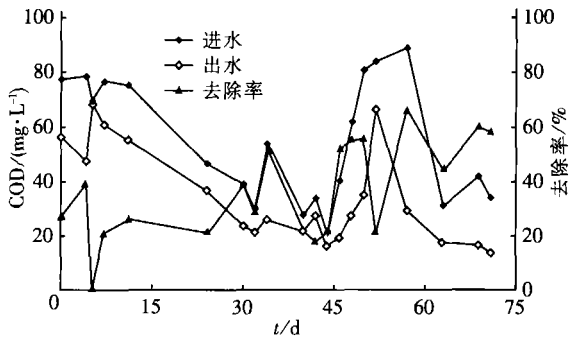


图 4 中试装置的 COD 去除性能

Fig 4 Removal performance of COD by pilot-scale experiment

从图 4 可以看出,运行初期系统对 COD 的去除率缓慢增加且不稳定,去除效果也不明显,这一方面是由于系统还没有完成启动,另一方面,进水中含有大量工矿企业的生产废水,污染物浓度波动大、可生化性差。启动完成后系统对 COD 有较高的去除率(平均为 51.3%)。不过和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除相比,COD 去除率受进水水质的影响较大。

2.2.2 小试

小试装置对 COD 的去除情况,类似于中试的 COD 去除率变化,小试系统在启动初期 COD 去除率缓慢增加,但受进水水质影响很不稳定,随着生物膜的发育成熟,对 COD 的去除率逐渐上升,启动完成后由于停止投加葡萄糖,去除率又略有下降,但总体来说对 COD 的去除率比较高(平均为 53.5%)。

2.3 启动性能分析

两种启动方式下的启动性能比较见表 1。

表 1 两种启动方式的比较

Tab 1 Comparison of two methods of start-up

启动方式	启动条件	启动时间 /d	启动后 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 平均去除率 /%	启动后 COD 平均去除率 /%
自然启动	HRT = 8 h	40	94.4	51.3
快速启动	HRT = 24 h 投加营养物	12	98.3	53.5

由表 1 可知,减少进水负荷同时投加营养物能够有效减少渗流式生物床的启动时间;当水力停留时间达到 8 h 后,再进一步增加水力停留时间对提高 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD 去除率的效果不明显。从图 4 可以看出,存在一个最低的出水 COD 浓度(10 ~ 20 mg/L),即使增加 HRT 到 24 h,这部分 COD 也难以降解,这也是 COD 去除率难以提高的原因。

(下转第 57 页)

季末的 10 月份,旱季末的 4 月份则贮量最小。在安排淡水透镜体的开采时,雨季中期至旱季初期(8 月至次年的 1 月)可多开采一些,其余时间少开采一些,如果某一年需求量大,在不严重影响透镜体原则下可加大开采量,而在次年压缩开采量,让萎缩了的透镜体恢复。具体开采量和抽水速率应结合水量平衡根据模拟计算结果制定,实现对淡水透镜体安全、科学、持续的开发利用。

3 结论

珊瑚岛礁淡水透镜体中央厚、边缘薄,厚度和淡水贮量随季节和年度降雨量变化而变化,在模拟计算期内,对平水年透镜体中央最厚点处而言,4 月的水头值最小(为 16 m)、10 月最大(为 17.2 m),两者相差 7.5%,相应的淡水贮量相差约 10.5%,枯水年和丰水年透镜体中央最厚点处水头模拟值分别为 18.7 m 和 15.5 m,与平水年相比,分别多 13.3%和少

6.0%,对应的淡水贮量分别多 16.8%和少 7.2%。

珊瑚岛礁淡水透镜体是不断自行损耗的可再生淡水资源,通过制定正确的开采战略可实现安全、科学、持续的开发利用。

参考文献:

- [1] Thomas R E Chidley, John W Lloyd A mathematical model study of fresh-water lens [J]. Ground Water, 1997, 15(2): 215 - 222
- [2] 张涤明. 计算流体力学 [M]. 广州:中山大学出版社, 1991.
- [3] 周从直,方振东,梁恒国,等. 珊瑚岛礁淡水透镜体的数值模拟 [J]. 海洋科学, 2004, 28(11): 77 - 80

电话: (023) 68571709

E - mail: zhi4012@163.com

收稿日期: 2005 - 09 - 16

(上接第 52 页)

3 结论

在水温为 25 ~ 30 的条件下,渗流式生物床的自然启动约需 40 d 才能完成,而采用减少进水负荷同时投加营养物的启动方式则能有效加快渗流式生物床的启动,只需约 12 d 就可以完成。

渗流式生物床对 NH_4^+ - N 去除率高且稳定。启动完成后,在 HRT 为 8 h 时对其平均去除率为 94.4%,在 HRT 为 24 h 时平均去除率为 98.3%。可见当水力停留时间达到 8 h 后,再提高水力停留时间对提高 NH_4^+ - N 去除率的效果不明显。

渗流生物床对 COD 有一定的去除能力,但去除率随进水水质的变化而变化。启动完成后,在 HRT 为 8 h 时对其平均去除率为 51.3%,在 HRT 为 24 h 时为 53.5%,增加水力停留时间对提高 COD 去除率基本没有效果,而且出水中存在一定比例的难降解 COD。

参考文献:

- [1] Shigeo F, Chiaki N. Pilot-plant experiments for improve-

ment of polluted canal/klong water by rock-bed filtration [J]. Wat Sci Tech, 1997, 35(8): 83 - 90

- [2] Saidan M Y, Ramadan S A, Butler D. Upgrading waste stabilization pond effluent by rock filters [J]. Wat Sci Tec, 1995, 31(12): 369 - 378
- [3] 董哲仁,刘蓓,曾向辉. 受污染水体的生物—生态修复技术 [J]. 水利水电技术, 2002, 33(2): 1 - 4
- [4] 张杰,曹相生,孟雪征,等. 好气滤池 3 种挂膜方法的实验研究 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(10): 1216 - 1219
- [5] Bacquet G, Joret J C, Rogalla F. Biofilm start-up and control in aerated filter [J]. Environ Tech, 1991, 12: 747 - 756
- [6] 田文华,文湘华,钱易. 沸石滤料曝气生物滤池启动性能研究 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 12(3): 38 - 42
- [7] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 (第 4 版) [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002

电话: (010) 62796952

E - mail: hemiao@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2005 - 09 - 20