

膨胀蛭石用于人工湿地去除氮磷的研究

朱 亮^{1 2},刘 钢^{1 2},苗伟红^{1 2},韩增民^{1 2}

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098 ;
2.河海大学环境科学与工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 :采用实验室模拟上向流人工湿地的方法研究了系统运行参数对膨胀蛭石去除氮、磷效果的影响 .结果表明 膨胀蛭石的吸附作用在运行前期对氮、磷的去除起主要作用 ,在运行后期 ,氮、磷去除主要依靠微生物的作用 ;挂膜膨胀蛭石较未挂膜膨胀蛭石对氮、磷的去除率分别提高了 9.8% , 9.5% .膨胀蛭石人工湿地中 TN ,TP 的进水质量浓度在 0 ~ 100 mg/L ,0 ~ 8 mg/L 范围内时 ,其去除率随进水质量浓度的增大而增大 ,当进水质量浓度超过这个范围时 ,填料的吸附作用降低 ,生物膜的降解作用增强 .膨胀蛭石是一种性能优异的人工湿地填料 ,对其进行人工挂膜可有效增强其去除氮、磷的能力 .

关键词 膨胀蛭石 ;人工湿地 ;挂膜 ;氮磷去除

中图分类号 :X703 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2008)02-0147-05

人工湿地污水处理系统是 20 世纪 70 年代发展起来的一种污水处理技术 ,与传统的污水二级生化处理工艺相比 ,具有净化效果好、能耗低、耐冲击负荷能力强、工程基建及运行费用低、生态环境效益显著等特点 ,因此越来越受到人们的关注^[1].填料是人工湿地的重要组成部分 ,对于净化污水中的污染物质 ,特别是氮、磷等污染物有重要的作用^[2].目前 ,一些应用广泛的填料对氮、磷的去除率较低 ,严重限制了人工湿地的推广应用^[3-5].

文献[6-7]在静态条件下用膨胀蛭石对去除污水中的 NH₃-N 和磷酸盐进行了研究 ,取得了较好的效果 .但膨胀蛭石去除氮、磷主要依靠吸附作用、离子交换作用及化学反应 ,无法将水相中的氮、磷从根本上去除 ,所以单纯的膨胀蛭石只能起到浓缩的作用 .针对这一问题 ,文献[8-9]采用人工强化挂膜 ,将膨胀蛭石的吸附作用与微生物膜的降解作用结合起来 ,利用进水的输氧、传递特性和系统内部不同区域对氧消耗量的差异 ,使系统中连续呈现好氧、缺氧及厌氧状态 ,即相当于许多串联或并联的处理单元 ,从而使系统具有脱氮除磷的能力 .

膨胀蛭石具有较强的氮、磷吸附能力 ,且其微孔结构适合微生物生长 ,因而可成为一种优良的微生物载体 .如果将其应用到人工湿地系统 ,不仅可发挥其优良的吸附性能 ,而且能利用微生物降解作用有效地去除氮、磷 .本文针对膨胀蛭石的挂膜特性 ,研究了不同水力负荷 ,不同进水氮、磷质量浓度条件下膨胀蛭石填料人工湿地对污水中氮、磷的去除效果 .

1 材料与方法

1.1 膨胀蛭石

试验所需膨胀蛭石产自河北灵寿县 .膨胀蛭石密度 64 ~ 160 kg/m³ ,含水量 4% ~ 10% ,pH 值(水中)8 ~ 9 ,阳离子交换容量 0.5 ~ 1 mEq/g .膨胀蛭石的主要化学成分见表 1 .

表 1 膨胀蛭石主要化学成分^[10]

Table 1 Main chemical constituents of bulgy vermiculites

化学成分	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	H ₂ O	其他
质量分数/%	38 ~ 46	16 ~ 35	10 ~ 16	6 ~ 13	1 ~ 6	1 ~ 5	1 ~ 3	8 ~ 16	0.2 ~ 1.2

1.2 试验水质

1.2.1 挂膜试验水质

挂膜试验污水取自化粪池上清液,添加葡萄糖和磷酸二氢钾,配成污水的水质见表2.

1.2.2 污水处理试验水质

本阶段采用人工自配污水进行试验,试验水质见表2.

1.3 试验装置

采用2个规格为30 cm×20 cm×25 cm(长×宽×高)的PVC容器,在容器底部铺一层粒径为2 cm左右的鹅卵石,再放入高20 cm的膨胀蛭石填料滤料层,在膨胀蛭石上面铺一层薄砂.污水自下而上流经填料,模拟上向流人工湿地,如图1所示.

1.4 测定方法

TN,TP,NH₃-N,COD的测试方法按照国家环境保护总局颁布的《水和废水监测分析方法》^[11].

1.5 试验方法

通常经过一段时间的运行,填料表面能够自然挂膜,但其微生物组成及性能与人工挂膜相差较大,故本文采用活性污泥接种法对膨胀蛭石进行人工挂膜.取3 L活性污泥均匀投入模拟人工湿地容器中,配10 L营养液 V(COD):V(N):V(P)为100:5:1,以水力停留时间(HRT)12 h为运行条件,用泵循环24 h,使活性污泥均匀分布于膨胀蛭石表面.此后每天连续进出水(水质见表2),并定时取样,检测COD,NH₃-N及镜检观察微生物相,以确定生物膜是否成熟.

挂膜结束后,将挂膜膨胀蛭石填料和未挂膜膨胀蛭石填料分别放置在2个相同型号的容器中,考察其在水力负荷分别为0.18,0.36,0.72,1.08,1.44,2.88 m/d时的去除效果及不同进水质量浓度时对污水中氮、磷的去除效果.

2 试验结果与分析

2.1 膨胀蛭石的挂膜过程及对污水中NH₃-N和COD的处理效果

挂膜阶段的COD去除率及NH₃-N去除率见图2.

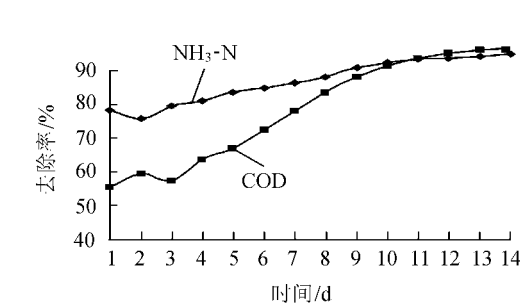


图2 挂膜阶段的COD及NH₃-N的去除率

Fig.2 Removal rates of COD and NH₃-N during membrane forming period

N的降解作用,另一方面是依靠膨胀蛭石对NH₃-N的吸附作用.膨胀蛭石对NH₃-N的吸附主要是依靠其晶体内部大小均一的孔穴和通道,且膨胀蛭石表面具有强大的色散力,孔穴中分布的阳离子与部分硅氧骨架具有的负电荷相互平衡,在离子周围形成强大的电场,使得膨胀蛭石同时具有色散力与静电力作用,因而具有很强的物理吸附性.

表2 挂膜污水及试验水质

Table 2 Sewage quality of experiments with or without membrane-forming

类别	$u(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$u(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$u(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$u(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
挂膜污水	800.0	8.0	40.0	25.0
试验水	500.0	5.0	25.0	15.0

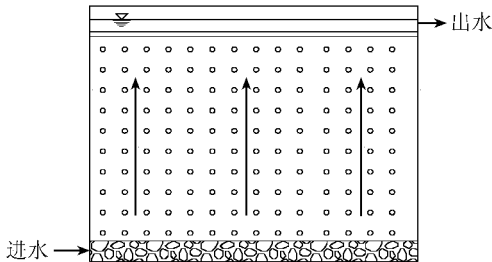


图1 试验装置

Fig.1 The experimental equipment

由图2可知,挂膜前几天,污染物去除率忽高忽低,这是由于活性污泥还未适应污水水质,污染物的去除主要依靠膨胀蛭石的吸附作用,而膨胀蛭石在吸附饱和后,会发生污染物脱附现象^[12].第7 d,COD去除率达67.1%,NH₃-N去除率达83.7%,说明活性污泥逐渐适应了污水水质.随后COD和NH₃-N的去除率不断增大.从第12 d起,污染物的去除率上升趋势减缓,但维持在较高水平.第14 d,COD去除率为96.8%,NH₃-N去除率为95.2%.取少量生物膜镜检发现有钟虫、草履虫等原生动物及轮虫、线虫等后生动物,此时可认为填料挂膜成功.

从图2可以看出,挂膜阶段膨胀蛭石对NH₃-N的去除率始终保持在较高水平,这一方面是依靠活性污泥中微生物对NH₃-

2.2 水力负荷对膨胀蛭石填料处理效果的影响

2.2.1 水力负荷对污水中 TN 处理效果的影响

通过蠕动泵控制进水流量,试验 24 h 连续运行,每种工况运行 5 d,每天取 2 次样,将每种水力负荷条件下 TN 的去除率取平均值,见图 3(a)。

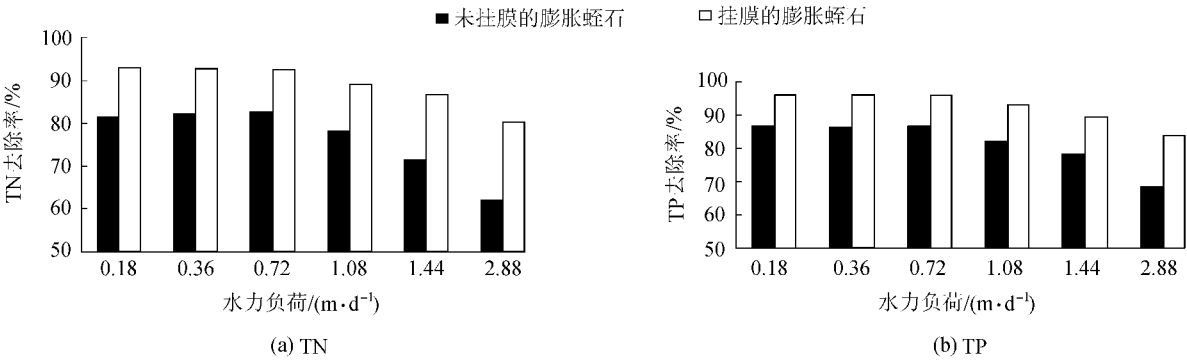


图 3 不同水力负荷条件下膨胀蛭石对 TN、TP 的去除率

Fig.3 Removal rates of TN、TP by bulgy vermiculites under different hydraulic loading

由图 3(a)可知,各种水力负荷下,挂膜膨胀蛭石 TN 的去除率均比未挂膜膨胀蛭石高 10% 左右,水力负荷为 0.72 m³/d 时,膨胀蛭石 TN 的去除效果最好,其中,挂膜膨胀蛭石的去除率为 92.5%,未挂膜膨胀蛭石为 82.7%。当水力负荷大于 0.72 m³/d 时,挂膜膨胀蛭石 TN 的去除率降幅较小,未挂膜膨胀蛭石的去除率下降迅速。这是由于膨胀蛭石的吸附能力有限,当吸附能力接近饱和时,再吸附 TN 的能力迅速降低,而依靠生物降解作用挂膜膨胀蛭石对 TN 的去除率降幅较小。当水力负荷小于 0.72 m³/d 时,TN 的去除率随水力负荷的增大而增加,其中未挂膜膨胀蛭石 TN 的去除率上升较快,而挂膜膨胀蛭石 TN 的去除率上升较为缓慢,但始终维持在较高的水平。可见,挂膜膨胀蛭石对 TN 的抗负荷能力较强。

2.2.2 水力负荷对污水中 TP 处理效果的影响

将每种水力负荷条件下 TP 的去除率取平均值,见图 3(b)。

由图 3(b)可知,各种水力负荷下,挂膜膨胀蛭石 TP 的去除率均比未挂膜膨胀蛭石高 10% 左右,水力负荷为 0.72 m³/d 时,膨胀蛭石 TP 的去除效果最好,其中,挂膜膨胀蛭石的去除率为 96.2%,未挂膜膨胀蛭石为 86.7%。当水力负荷大于 0.72 m³/d 时,挂膜膨胀蛭石的 TP 去除率降低缓慢,未挂膜膨胀蛭石的 TP 去除率降低较快;当水力负荷小于 0.72 m³/d 时,TP 的去除率随水力负荷的增大而增加,其中挂膜膨胀蛭石 TP 的去除率变化较未挂膜的相对缓慢。

由此可见,从运行高效和节能的角度考虑,确定最佳水力负荷为 0.72 m³/d。分析其原因,膨胀蛭石去除 TP 主要是通过离子交换作用和化学反应。膨胀蛭石中含有的大量 Ca²⁺、Al³⁺、Mg²⁺ 等离子,可以与污水中的磷酸根离子发生化学反应生成沉淀。因而,在运行初期,依靠吸附作用,未挂膜膨胀蛭石 TP 的去除率一直保持在较高的水平;但随着水力负荷的提高,TP 的质量浓度不断加大,膨胀蛭石的吸附能力达到饱和,于是再吸附磷的能力迅速降低。而挂膜膨胀蛭石由于微生物对磷的正常同化吸收作用,TP 的去除率始终较高。

2.3 不同进水质量浓度对膨胀蛭石填料处理效果的影响

该阶段试验水力负荷为 0.72 m³/d,试验 24 h 连续运行,每种工况运行 5 d,每天取 2 次样。

为了有效地控制进水浓度,该阶段采用人工自配污水进行试验,即向自来水中投加硫酸铵、磷酸二氢钾配制成污水,TN 的进水质量浓度为 5~200 mg/L,TP 的进水质量浓度为 1~40 mg/L。

2.3.1 不同进水质量浓度对污水中 TN 处理效果的影响

将每种进水质量浓度条件下 TN 的去除率取平均值,见图 4(a)。

由图 4(a)可知,在不同的进水质量浓度下,挂膜膨胀蛭石 TN 的去除率均比未挂膜膨胀蛭石高 10% 左右。进水质量浓度在 100 mg/L 时,TN 的去除率达到最大,其中挂膜膨胀蛭石 TN 的去除率为 93.9%,未挂膜膨胀蛭石为 86.2%。进水质量浓度小于 100 mg/L 时,膨胀蛭石 TN 的去除率随进水质量浓度的增加而增大,当进水质量浓度大于 100 mg/L 时,挂膜膨胀蛭石 TN 的去除率基本不变,未挂膜膨胀蛭石 TN 的去除率随进

水质量浓度的增大而降低.

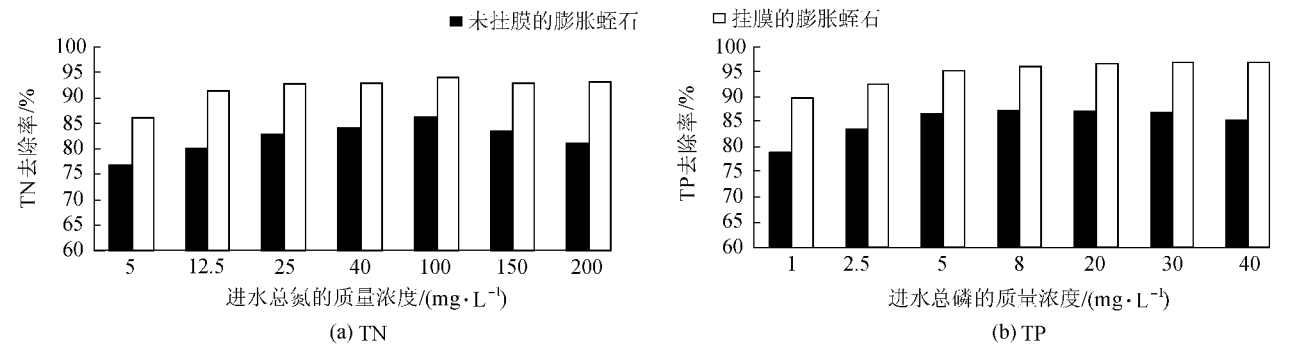


图4 不同进水质量浓度时膨胀蛭石对 TN ,TP 的去除率

Fig.4 Removal rates of TN ,TP by bulgy vermiculites at different influent concentration

2.3.2 不同进水质量浓度对污水中 TP 处理效果的影响

将每种进水质量浓度条件下 TP 的去除率取平均值 ,见图 4(b).

由图 4(b)可知 ,在不同进水质量浓度下 ,挂膜膨胀蛭石 TP 的去除率均比未挂膜时高 10% 左右 .挂膜膨胀蛭石 TP 的去除率随进水质量浓度的增大而增大 ,当进水质量浓度大于 8 mg/L 时 ,TP 去除率增幅不明显 ;未挂膜膨胀蛭石在进水质量浓度为 8 mg/L 时 ,去除率达到最大值 87.2% ,进水质量浓度小于 8 mg/L 时 ,膨胀蛭石对 TP 的去除率随进水质量浓度的增加而增大 ,当进水质量浓度大于 8 mg/L 时 ,TP 的去除率逐渐下降 .

挂膜后的膨胀蛭石填料抗污染物负荷的能力较强 ,但人工湿地系统的污染物去除效率仍受到污染物负荷的限制 ,因此在设计运行过程中应注意控制污染物负荷量 ,以达到最佳的处理效果 .

3 结 论

- a. 膨胀蛭石内部晶体为多孔结构 ,且对氮、磷有较强的吸附能力 ,从而使得膨胀蛭石非常适合作为生物膜的载体 .在 32 ℃ 的气温下经过 2 周左右的时间挂膜成功 .
- b. 在运行初期 ,污染物的去除主要是依靠膨胀蛭石的吸附作用 ,随着时间的推移 ,吸附能力逐渐达到饱和 ,甚至出现脱附现象 ,随后污染物的去除则是依靠膨胀蛭石的吸附与生物膜中微生物的共同作用 ,在运行后期 ,填料的吸附能力达到饱和 ,则主要依靠微生物作用去除污染物 .
- c. 挂膜膨胀蛭石与未挂膜膨胀蛭石处理污水的对比试验表明 ,挂膜膨胀蛭石 TN ,TP 的去除率比未挂膜时提高 10% 左右 ,且抗负荷的能力增强 .
- d. 膨胀蛭石人工湿地中 TN ,TP 的进水质量浓度分别不超过 100 mg/L ,8 mg/L 时 ,其去除率随着进水质量浓度的增大而增大 ,当质量浓度超过这个范围时 ,挂膜膨胀蛭石的去除率基本稳定 ,而未挂膜膨胀蛭石的去除率有所下降 ,这是由于生物膜对氮、磷的生物作用使去除率保持了稳定 .
- e. 目前 ,膨胀蛭石售价约为 350 元/t ,与卵石等价格相近 ,但由于其易于微生物生长的微孔结构及对氮磷较强的吸附能力 ,使其成为一种性价比较高的人工湿地填料 .
- f. 该试验装置较小 ,得出结论仅为一般规律 ,仍需进一步进行工程验证 .

参考文献 :

[1] 宋志文 ,毕学军 ,曹军 .人工湿地及其在我国小城市污水处理中的应用[J]. 生态学杂志 ,2003 ,22(2) :74-78 .

[2] KIVAISI K A . The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing country :a review[J]. Ecological Engineering ,2001 ,16 :545-560 .

[3] 吴志超 ,麦穗海 ,杨彩凤 ,等 .沸石吸附去除城市污水厂初沉池出水中氨氮的研究[J]. 环境污染治理技术与设备 ,2002 ,3 (11) :47-49 .

[4] 徐丽花 ,周琪 .沸石去除废水中氨氮及其再生[J]. 中国给水排水 ,2003 ,19(3) :24-26 .

[5] 张曦 ,吴为中 ,温东辉 ,等 .氨氮在天然沸石上的吸附及解吸[J]. 环境化学 ,2003 ,22(2) :166-171 .

[6] 胡曰利 ,吴晓芙 ,聂发辉 .天然膨胀蛭石对污水中氨氮吸附去除率的影响[J]. 中南林学院学报 ,2004 ,24(1) :30-33 .

[7] 聂发辉 , 吴晓芙 , 胡曰利 . 人工湿地中膨胀蛭石填料净化污水中氨氮能力[J]. 城市环境与生态 , 2003 , 16 (6) : 280-282 .
[8] 许保玖 , 龙腾锐 . 当代给水与废水处理原理[M]. 2 版 . 北京 : 高等教育出版社 , 2000 : 530-546 .
[9] 沈耀良 , 黄勇 , 赵丹 , 等 . 固定化微生物污水处理技术[M]. 北京 : 化学工业出版社 , 2002 : 266-268 .
[10] 王秀飞 , 李东生 . 航空用铁基金属陶瓷摩擦材料[J]. 材料工程 , 1998 (8) : 27-29 .
[11] 国家环境保护总局 . 水和废水监测分析方法[M]. 4 版 . 北京 : 中国环境科学出版社 , 2002 : 200-284 .
[12] 邓雁希 , 许虹 , 黄玲 . 蛭石去除废水中磷酸盐的研究[J]. 中国非金属矿工业导刊 , 2003 (6) : 42-44 .

Removal of nitrogen and phosphorus by bulgy vermiculites
in constructed wetlands

ZHU Liang^{1 , 2} , LIU Gang^{1 , 2} , MIAO Wei-hong^{1 , 2} , HAN Zeng-min^{1 , 2}

(1 . State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering ,
Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2 . College of Environmental Science and Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The influence of operating parameters on the removal rates of nitrogen and phosphorus by bulgy vermiculites in the upflow constructed wetlands was studied in laboratory . Results indicate that the removal of nitrogen and phosphorus depends on the absorption capacity of bulgy vermiculites in the early period and the degradability of microorganisms in the later period . The removal rates of nitrogen and phosphorus by bulgy vermiculites with membrane were 9.8% and 9.5% higher than by those without membrane . When the influent concentrations of nitrogen and phosphorous were , respectively , 0 – 100 mg/L and 0 – 8 mg/L , the removal rates increased along with the increase of the concentration . When the concentrations exceeded the range , the adsorption capacity of the fillings declined and the degradability of bio-membrane increased . The bulgy vermiculites are excellent fillings for constructed wetlands . The formation of membrane on bulgy vermiculites can effectively improve the removal rates of nitrogen and phosphorus .

Key words : bulgy vermiculites ; constructed wetlands ; membrane forming ; removal of nitrogen and phosphorus