

文章编号:1673-9468(2008)04-0045-04

## 生物砂滤池对城市二级出水中氨氮的去除效果研究

李思敏<sup>1</sup>,唐锋兵<sup>1</sup>,杨旭东<sup>2</sup>

(1. 河北工程大学 城建学院,河北 邯郸 056038;2. 邯郸市自来水公司,河北 邯郸 056001)

**摘要:**以城市二级出水为原水,对比了生物砂滤池与普通砂滤池两种过滤方式对其中 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的去除效果,并对水温、进水 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 浓度以及有机物浓度等影响因素进行了分析。结果表明:水温是影响生物砂滤池除 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 效果的主要因素,水温越高,对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的去除效果越好;原水 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 浓度愈高,去除率愈高,原水浓度变化对去除效果影响越小;在常温下,当原水 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 和 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 浓度均较大时, $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 大小对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 去除效果影响显著。普通砂滤池对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的去除率大小受原水 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 浓度的影响较大。在中水处理工艺中,生物砂滤池对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的去除效果优于普通砂滤池,滤池出水 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 含量低于 $5\text{mg/L}$ ,达到了回用标准要求。

**关键词:**生物砂滤池;普通砂滤池;温度; $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ; $\text{COD}_{\text{Cr}}$

中图分类号: X552

文献标识码: A

## The removal efficiency of $\text{NH}_4^+-\text{N}$ in effluent of wastewater treatment plant by biological sand filter

LI Si-min<sup>1</sup>, TANG Feng-bing<sup>1</sup>, YANG Xu-dong<sup>2</sup>

(1. College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. Handan Water Supply Co., Handan 056001, China)

**Abstract:** Effluent of wastewater treatment plant was used as primary water. The removal efficiency of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  and its affecting factors had been studied through biological sand filter and quartz sand filter system. The results showed that water temperature was the most important factor, the higher temperature of the raw water, the higher removal rate of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  by biological sand filter; the higher  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  density in primary water, the higher removal rate, and the change of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  density affected removal efficiency little by biological sand filter. Under the normal temperature, when the density of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  and  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  were both higher,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  density affected the removal efficiency of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  apparently by biological sand filter. The removal of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  by quartz sand filter was affected by the density of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  in the primary water. Biological sand filter is a better craft and its removal efficiency of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  is better than quartz sand filter in reclaimed water reuse engineering. The  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  density in effluent is lower than  $5\text{mg/L}$ , and the quality meets reuse water quality criteria.

**Key words:** biological sand filter; quartz sand filter; temperature;  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ;  $\text{COD}_{\text{Cr}}$

目前,全球近一半的河流水量大幅度减少或被污染,世界上80个国家严重缺水,如果这一趋势得不到遏制,今后三十年内全球55%以上的人口将面临水荒<sup>[1]</sup>。然而,实现城市污水资源的再

生利用,可以有效缓解我国大部分城市严重缺水的紧张局面。再者,再生水行业对与节约用水也具有积极的推动作用,行业发展前景广阔<sup>[2]</sup>。因而,开发以非传统水源的污水资源作为城市的第

收稿日期:2008-06-28

基金项目:河北省自然科学基金项目(503400);河北省重大科技攻关项目(07276713D) 特约专稿

作者简介:李思敏(1968-),男,陕西乾县人,教授,从事水及废水处理理论与技术方面的教学与研究工作。

二水源有着重要的意义。

当前,中水处理普遍采用“混凝沉淀+过滤+消毒”的常规给水处理工艺,国内外的试验研究和实际生产结果表明<sup>[3-5]</sup>,常规处理工艺对二级处理出水中的氨氮问题不能有效解决,对氨氮的去除率仅为15%左右。通过生物砂滤池对微污染原水的处理效果研究,结果表明其对氨氮有着良好的去除效果<sup>[6]</sup>。因此,以生物砂滤池替代常规处理工艺中的普通砂滤池,可以充分降低滤池出水中的氨氮含量,有效解决中水处理中的氨氮问题。

本文以城市二级污水处理厂出水为原水,比较了生物砂滤池与普通砂滤池两种过滤方式对原水中 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的去除效果,同时分析了不同原水温度、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 浓度、有机物浓度时滤池对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的去除效果。

### 1 工艺流程与原水水质

#### 1.1 工艺流程

本工艺采用“高密度沉淀池+石英砂滤池”处理系统处理城市二级出水,以期获得更好的中水水质。石英砂滤池滤料粒径分布为0.6mm~1.1mm,平均粒径0.8mm,不均匀系数 $K_{80} < 2.0$ ,空隙率41%。污水厂二级出水经提升、加药混凝后进入沉淀池,沉淀池出水分别进入生物砂滤池和普通砂滤池,底部沉淀污泥部分回流至絮凝池,部分排放。普通砂滤池的操作完全同于常规水厂快滤池的控制过程。生物砂滤池是在石英砂滤料表面培养超薄好氧生物膜,生产运行中由滤池的反冲洗供气管为微生物的生命活动提供氧气,以保证好氧微生物对水中溶解氧含量的需求,滤池的承托层同时起到了均匀布气的作用。通过传统滤池的截留过滤和微生物的吸附降解作用,从而进一步实现对原水中有机物、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、浊度等的有效去除,处理工艺流程如图1所示。

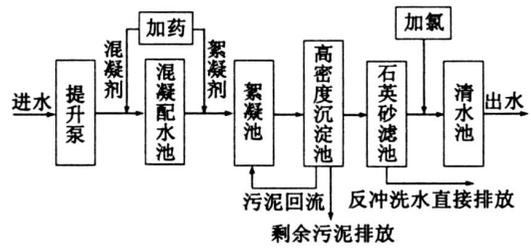


图1 中水处理工艺流程图

Fig.1 The process of reclaimed water treatment

#### 1.2 原水水质

原水加药经沉淀后进入滤池过滤,水样采集期内原水主要水质参数如表1所示。

### 2 结果与讨论

从原水温度、有机物含量(以 $\text{COD}_C$ 计)及 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 浓度三个方面分析了生物砂滤池和普通砂滤池对原水中 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 去除效果的影响。

#### 2.1 原水温度的影响

1)不同温度下生物砂滤池与普通砂滤池去除效果比较。在滤池稳定运行时,分析了不同水温条件下二者对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的去除效果,结果如图2所示。

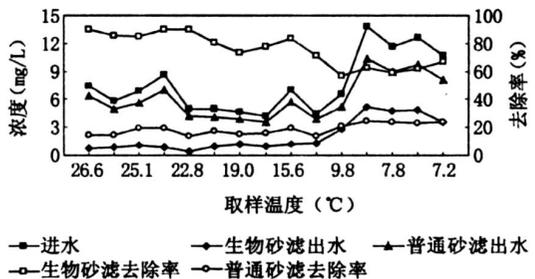


图2 水温的影响

Fig.2 The removal different temperatures

表1 原水水质

Tab.1 Quality of the raw water

项目	水温	$\text{COD}_C$	SS	TN	$\text{NH}_4^+-\text{N}$	$\text{BOD}_5$	TP
最小值	5.6	12.96	14	19.35	3.18	13	0.55
最大值	26.6	54.41	42	43.69	15.32	43	6.13
平均值	-	31.38	19	28.75	8.12	26	3.0

注:除水温单位为 °C 以外,其余指标单位均为 mg/L。

从图 2 可知,生物砂滤池对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除率在水温大于 20 时为 85.01 ~ 90.26%,在水温 10 ~ 20 时为 71.36 ~ 83.69%,在水温低于 10 时为 56.99 ~ 66.95%。可见,水温对生物砂滤池除  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  具有很大的影响,水温越高,越有利于对原水中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除。这主要因为生物砂滤池对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除效果除滤料的物理截留外,主要靠石英砂滤料表面所附着的硝化细菌的作用,而硝化细菌的活性受温度影响较大,而硝化菌生长温度范围为 5 ~ 35,最适生长温度为 25 ~ 30<sup>[7]</sup>,所以在水温较高时,生物砂滤池中硝化菌的活性较强,除  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  效果十分显著;而在低温条件下,硝化细菌的活性较弱,除  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  效果较差。普通砂滤池对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除效果受水温影响波动小,对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除效果主要以物理过滤截留、吸附为主,去除率基本在 13.42% ~ 24.71% 范围内,但与原水中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度有一定的关系,当原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度较高时去除率也高。

2) 低温下生物砂滤池的去除效果。分析了冬季水温较低时(5.6 ~ 9.4),生物砂滤池对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除效果,结果如图 3 所示。

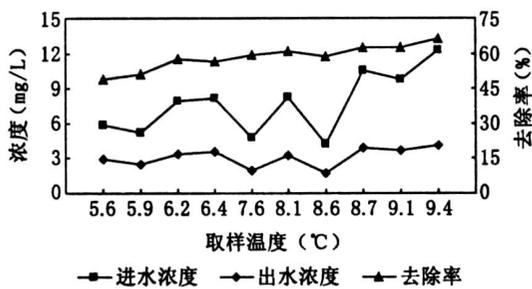


图3 低水温的影响

Fig.3 The removal different temperatures

由图 3 可知,当水温在 5.6 ~ 9.4 时生物砂滤池对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除率为 48.97% ~ 66.07%,因为生物砂滤池对水中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除主要依靠生物膜内的亚硝酸菌和硝酸菌的作用,由于温度较低使得亚硝酸菌和硝酸菌的生命活动受限,活性下降,从而导致去除率下降。可以看出,在该温度范围内随温度的升高  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除率有增大的趋势,仍不超过 67%,但与普通砂滤池相比,生物砂滤池仍具有较高的去除率(普通砂滤池对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除率不超过 24.71%),说明在低温条件下生物砂滤池对于原水中氨氮的去除也是十分有效的。

## 2.2 原水 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 浓度的影响

在常温条件下,分析了原水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度变化对普通砂滤池和生物砂滤池去除原水中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  作用效果的影响,如图 4 所示。

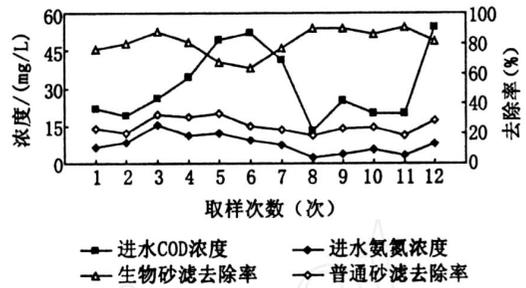


图4 低温下的去除效果

Fig.4 The removal low temperatures

由图 4 可知,随原水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度的增加,生物砂滤池对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除率呈下降趋势,高有机物浓度对去除效果有明显的抑制作用;当原水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度均较低时, $\text{COD}_{\text{Cr}}$  大小对去除效果的影响较小。这是因为  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  同时存在时,自养型好氧硝化菌和异养好氧菌同时争夺水中的溶解氧,使溶解氧和  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  传质受阻,限制了硝化菌的生长繁殖,因此对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  去除呈下降趋势;在原水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度较低时,由于水中溶解氧充分,能同时供给硝化菌和异养菌所需的氧量,这时两菌之间不会产生明显竞争,因此对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除基本保持稳定。普通砂滤池中,原水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  浓度的增加对去除效果影响不大,在原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度较高时表现出了较高的去除率。

## 2.3 原水 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 浓度的影响

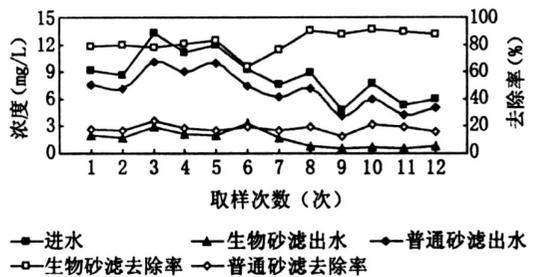


图5 常温下的去除效果

Fig.5 The influence normal temperatures

在滤池正常稳定运行时,原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度变化对砂滤池除  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  作用效果见图 5 所示。

由图 5 可以看出,在原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度相对较

高及水温在 14~18 时,生物砂滤池对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的平均去除率达 80% 以上,原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度的增加对去除率的影响较小;原水温度  $>20$  时,在原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度较低时,生物砂滤池表现出了较高的去除率,达 90% 左右。其原因是硝化菌在不同的水温下表现出了不同的生长和代谢特性,水温低时代谢缓慢,去除效果基本保持平稳;在水温较高时,硝化菌新陈代谢旺盛、生长快,表现为在原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度很低时仍有很高的去除率。普通砂滤池中,原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度较高时去除率为 24.71%,原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度较低时去除率不超过 20%。

### 3 结论

1) 水温对生物砂滤池去除  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  效果有着明显影响,水温越高去除率越高;在低水温条件下,去除效果较常温条件差,但仍较普通砂滤池高。普通砂滤池主要靠物理过滤截留和吸附,因此去除效果几乎不受温度影响。

2) 在水温变化不大时,随原水  $\text{COD}_\text{Cr}$  浓度的升高,生物砂滤池对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除率呈下降趋势;在原水  $\text{COD}_\text{Cr}$  浓度和  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度均较低时, $\text{COD}_\text{Cr}$  浓度变化对生物砂滤池除  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  效果的影响较小。

3) 在生物砂滤池正常稳定运行,原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度相对较高以及水温为 14~18 时,原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  去除率的影响作用相对

较小;原水温度  $>20$  时,在原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度较低时也表现出了较高的去除率,可达 90%。普通砂滤池在原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度较高时表现出了较高的去除率,最高为 24.71% 左右,在原水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度较低时去除率不超过 20%。

4) 由于城市二级出水有机物浓度较低,贫营养环境使得生物砂滤池滤料上附着的超薄好氧生物膜对二级出水中的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  有着很好去除效果,出水  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量大大低于普通砂滤池,滤池稳定运行时出水中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量均  $<5\text{mg/L}$ ,达到了回用标准要求。以生物砂滤池替代常规处理工艺中的普通砂滤池对中水处理有着重要意义。

### 参考文献:

- [1] 张杰,李冬.人类社会用水的健康循环是解决水危机的必由之路[J].给水排水,2007,33(6):1.
- [2] 兰峰,刘晓君,王晓昌.再生水行业最优资本结构的实证研究[J].河北工程大学学报(自然科学版),2007,24(4):8-9.
- [3] RSCOOT SUMMERS. Bench scale evaluation of GAC for NOM control[J]. Journal of American Water Works Association, 1995,88:69-80.
- [4] 王占生,刘文君.微污染源饮用水处理[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [5] 周云,何义亮.微污染源净水技术及工程实例[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [6] 李思敏,张胜,孙广垠,等.生物砂滤池除氨氮效果及影响因素分析[J].中国给水排水,2006,22(1):74-76.
- [7] 郑平,徐向阳,胡宝兰.新型生物脱氮理论与技术[M].北京:科学出版社,2004.

(责任编辑 闫纯有)