

# 曝气生物滤池在微污染原水处理中的研究进展

梁娟 普红平 邹成鸿 洪翩翩

**摘要** 介绍了曝气生物滤池的工艺原理及特点,分析了曝气生物滤池处理效果的影响因素,探讨了单一填料、双层填料及组合工艺的曝气生物滤池在微污染水源水处理中的应用,提出了曝气生物滤池的发展前景。

**关键词** 曝气生物滤池 微污染水源 生物膜 填料

随着工业化的发展和人民物质生活水平的提高,大量工业废水和生活污水等的排入对给水水源造成了不同程度的污染。微量有机物和有毒有害物质的存在,加剧了水质的恶化,污染的程度日趋严重。传统的饮用水净化工艺已不能有效地去除污染物,相反还会使出水氯化后的致突变活性有所增加,水质毒理学安全性下降,无法保证人类饮用水的安全<sup>[1]</sup>。针对微污染水源的水质特征以及处理工艺的效用和经经济等特点,微污染源水的生物处理技术成为研究热点。

## 1 曝气生物滤池工艺原理及特点

生物膜法是利用附着固体介质表面上的微生物生长繁殖形成的生物膜,通过微生物的生物吸附、氧化、硝化和生物降解等作用使水中有机物等有效地去除。生物膜法的工艺形式主要有生物滤池、生物转盘、生物接触氧化池、生物流化床以及曝气生物滤池等。其中,曝气生物滤池是一种发展很快的新型生物膜法污水处理工艺。

曝气生物滤池是一种高负荷淹没式固定膜三相反应器,是将过滤技术和接触氧化法有机结合的统一体。曝气生物滤池采用粒径较小的粒状填料,具有较大的比表面积,填料表面生长有生物膜,填料层下部鼓风曝气供氧。当污水流经时,曝气生物滤池利用生物膜的强氧化降解能力对污染物质进行氧化分解;同时,利用填料截留污水中悬浮物并新形成的生物膜,从而保证优质的出水。随着运行时间的延长,填料层的水头损失不断增加,需对滤池进行反冲洗,清除滤层中截留的悬浮物并更新生物膜,保证滤池的正常运行。

曝气生物滤池具有有机物容积负荷高、水力负荷大、占地面积小、所需基建投资少、能耗及运行成本低、抗冲击能力强及保证高效出水水质等特点。研究表明<sup>[2-3]</sup>,曝气生物滤池对污水中的有机物、氨氮、悬浮颗粒等物质均有较好的去除效果。此外,曝气生物滤池还可以应用于纺织废水、石油废水等成分复杂废水的处理<sup>[23]</sup>。

## 2 曝气生物滤池对微污染水处理效果的影响因素

### 2.1 填料的选择

填料作为生物膜的载体是BAF工艺的关键和核心组成部分,曝气生物滤池生物降解性能的优劣很大程度上取决于填料的特性,因此填料的选择在曝气生物滤池的设计和运行效果中至关重要<sup>[4]</sup>。目前根据采用原料的不同填料可分为无机填料和有机高分子填料,无机填料主要有火山岩、陶粒、沸石、焦炭、石英砂、活性炭和膨胀硅铝酸盐等;有机高分子填料有聚氯乙烯、聚苯乙烯小球、聚丙烯、聚合成纤维等。近年来,国内外研究较多的曝气生物滤池滤料大多是矿物颗粒或人工烧结的材料,如沸石、陶粒、颗粒活性炭、无烟煤、石英砂等。

### 2.2 负荷

水力负荷对氨氮和COD等的去除率有较大的影响。当水力负荷很小时,反应器内传递阻力大易造成气、水分布不均,溶解氧降低,有机负荷也很低,微生物营养不足,因此COD、氨氮的去除率较低。随着水力负荷的提高,水流剪切力变大,有机负荷随之增加,微生物可利用的营养物质增多,生物膜更新速度快,COD、氨氮的去除率有所提高。

但当水力负荷提高超过一定限度时,加大了对滤料表面生物膜的冲刷,滤料间截留的脱落的生物膜和悬浮物进入出水,造成出水浑浊,而COD、氨氮的去除率也下降。Liu Fang<sup>[5]</sup>等研究表明,当水力负荷从 $0.13\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 增加到 $0.78\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 时,COD、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和TN的去除率呈下降趋势,分别从52%降到38%、90%降到60%、45%降到33%。

### 2.3 气水比

水力负荷不变的情况下,曝气量是BAF处理效果的一个主要影响因素。气水比过小,水中溶解氧的浓度较低,不利于微生物的繁殖生长,其降解有机物的活性也随之降低,导致出水水质恶化。随着气水比的增加,水中溶解氧上升,氧在生物膜内的传递和渗透速率增大,生物氧化的进程加快,同时混合液的湍动程度增大,生物膜表面的基质更新加快,促进了基质的传递,提高了基质的降解速率<sup>[6]</sup>。当气水比进一步增加,强湍流滤料生物膜冲刷作用加大,使生物膜脱落,不利于污染物的截留和微生物的增殖;另外,气水比过大,动力消耗增加。因此,气水比不宜过大,应选择在1:1~3:1之间。

### 2.4 原水水质

进水中SS的浓度会影响生物曝气滤池的运行周期,过高的进水悬浮物浓度会使其很快积累于填料表面,影响生物膜的活性,因此应控制进水中SS的浓度,以保证曝气生物滤池足够长的运行周期,防止频繁的反冲洗而降低其处理能力。根据国外的运行经验,进水的SS一般不超过 $100\text{mg/L}$ ,最好控制在 $60\text{mg/L}$ <sup>[7]</sup>。而进水中氨氮含量太低时,硝化菌反应速率也低,硝化细菌、亚硝化细菌由于缺乏足够的营养物,生长繁殖速度缓慢,从而影响处理效果。

### 2.5 反冲洗

曝气生物滤池运行一段时间后,滤料表面生物膜的增量、截留的悬浮物增多,使得水头损失增加更快,因此要进行反冲洗。反冲洗方式、反冲洗频率和反冲洗强度是曝气生物滤池有效运行的关键,应控制反冲洗的强度和频率,使其达到释放截留的悬浮物、更新生物膜并保持生物膜活性的目的。一般来说采用气水联合反冲洗,反冲洗的周期为7~10d,反冲洗时间为5~10min,反冲洗气、水强度均

为 $10\sim 15\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ <sup>[8]</sup>。

### 2.6 其它影响因素

除以上因素外,水温、pH值、填料层高度、挂膜启动方式以及运行方式等因素对曝气生物滤池也有一定的影响。Hu YY<sup>[9]</sup>等研究了填料层的高度对曝气生物滤池性能的影响,结果表明:去除SS、 $\text{COD}_G$ 、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 最佳填料层高度分别为40cm、60cm、80cm。傅金祥等<sup>[10]</sup>分析比较了两种挂膜方式:新型接种挂膜和逐渐增加流量的自然挂膜,结果表明,挂膜后期用前者挂膜的COD去除率可达90.36%, $\text{NH}_3-\text{N}$ 去除率可达70.14%,高于后者,同时新型接种挂膜方式生物膜生长情况较好、成熟期短。

## 3 不同滤料的曝气生物滤池处理微污染原水的应用

### 3.1 陶粒生物滤池

我国对曝气生物滤池填料的研究以陶粒为最多<sup>[11]</sup>,陶粒滤料具有表面粗糙、密度适中、强度高、化学和物理稳定性好、耐摩擦等一系列优点,对微污染原水的处理取得了很好的效果。季民等<sup>[12]</sup>采用生物陶粒滤池对天津引滦水预处理小试,经色-质联机分析发现原水中有毒有机物的种类和含量明显降低, $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、浊度和叶绿素的平均去除率分别为15.6%、42.35%和40%;氨氮由于进水氨氮浓度低和原水氯投加的原因,去除率未达到较高水平,平均去除率仅38%;亚硝酸盐氮随着运行时间去除率最高可达85.7%。宋学峰<sup>[13]</sup>等采用6种不同结构特性的生物陶粒滤料对微污染原水进行了研究,结果表明,不同种类的陶粒滤料对有机物均有良好的去除效果, $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的去除率为25%~38%,氨氮的去除率为60%~70%,亚硝酸盐氮、藻类的去除可达95%以上,出水的浊度 $<1\text{NTU}$ ,保证了出水水质和生物稳定性;但是对 $\text{UV}_{254}$ 去除效果不明显。李凯<sup>[14]</sup>等采用的是轻质陶粒作滤料的两段曝气生物滤池,运行18天生物镜检显示挂膜成功,并对赣江原水进行了预处理研究,发现BAF对 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、氨氮和浊度等均有良好的去除效果,适合于微污染水源水预处理。

### 3.2 沸石生物滤池

沸石价格低廉、贮量大,在水处理中做填料,可以利用其表面粗糙、比表面积大、孔隙率高、吸

附能力强以及耐酸、耐碱、热稳定等性能特点来去除水中的有机物、悬浮物、藻类等,优化出水水质。以沸石作为曝气生物滤池填料的研究也有报道。陈庆伟等<sup>[15]</sup>采用生物沸石滤池处理微污染源水,运行两周后发现氨氮去除率稳定在75%左右,COD<sub>Mn</sub>去除率升至30%并趋于稳定;同时研究表明水力负荷对氨氮和COD<sub>Mn</sub>的去除率有较大的影响,但对浊度的去除影响不大。

沸石是一种理想的生物载体,其表面不仅适宜于微生物的固定生长,而且作为固定填料,沸石利用截留的游离生物体形成有一定活性的生物絮体。沸石生长的硝化细菌将氨氮转化为硝态氮实现动态生物再生,从而进一步加强反应器对有机物及悬浮物的去除效果<sup>[16]</sup>。刘金香等<sup>[17]</sup>考察了沸石曝气生物滤池(ZBAF)对微污染源水的处理效果及影响因素,由于生物硝化、吸附、离子交换等作用ZBAF对氨氮的平均去除率为94.8%,对有机物、浊度、色度、锰等有较好的去除效果,但对UV<sub>254</sub>的去除能力有限;同时结果也表明了ZBAF抗冲击负荷能力强、所需气水比小。

### 3.3 其它滤料生物滤池

近几年还发展了许多组合填料的BAF工艺,尤以双层滤料生物滤池工艺为主,研究其对微污染源水的处理特性。双层滤料曝气生物滤池主要是利用两种物料的互补性,以解决单层滤料处理效果不稳定以及氨氮处理效率低的问题,从而得到最佳处理效果。王瑛等<sup>[18]</sup>利用沸石-活性炭组合填料生物滤池对黄河兰州段微污染源水作研究,效果较明显,在气水比为1:1,水力停留时间为40min,水温在25~30℃的试验条件下,对NH<sub>3</sub>-N、COD<sub>Cr</sub>、UV<sub>254</sub>、浊度和锰的平均去除率分别为94.77%,39.32%,10.17%,70.10%,91.30%。张亮等<sup>[19]</sup>分别采用颗粒活性炭-石英砂滤料滤池和颗粒活性炭-沸石滤料滤池对姚江微污染水进行了研究,结果表明双层滤料滤池对有机物的去除率提高,颗粒活性炭-石英砂滤料滤池的综合处理效果较好,同时通过加入少量臭氧可以提高生物滤池的去除效果。

目前还出现了一些组合填料生物滤池与其它工艺相结合的工艺方法处理微污染原水的研究。范平等<sup>[20]</sup>研究了“曝气生物滤池+常规处理”组合工艺对珠江微污染原水的处理。结果表明,在经过曝

气生物滤池的预处理后,GAC-石英砂生物滤池对NH<sub>3</sub>-N、COD<sub>Mn</sub>、浊度的平均去除率分别为79.2%、35.5%、82.6%,明显高于普通生物滤池。杨亚红等<sup>[21]</sup>利用超滤-沸石-活性炭组合填料生物滤池工艺对微污染源水进行预处理实验研究,该工艺对NH<sub>3</sub>-N、高锰酸盐指数、浊度、色度的平均去除率分别达到97.34%、41.26%、94.40%和89.62%,处理后水质可达到优质地表水源的水质标准要求。

### 4 结语

诸多研究表明,曝气生物滤池在微污染水处理中取得了良好的效果,出水水质已有明显的提高,曝气生物滤池的广泛应用使其成为一种很有发展前途的微污染水处理工艺。但生物膜处理机理、反应动力学以及影响因素等的研究仍需进一步深入,同时曝气生物滤池的新型填料、组合填料以及组合工艺也将成为今后需要研究的重点问题。

#### 参考文献

- 1 张燕,王志奇,陈英旭.微污染源水的控制技术[J].环境污染与防治,2001,23(2):69-71.
- 2 Chang W, Hong S, Park J. Effect of zeolite media for the treatment of textile wastewater in a biological aerated filter [J]. Process Biochemistry, 2002, 37 (7): 693-698.
- 3 Zhao X, Wang Y M, Ye Z F. Oil field wastewater treatment in Biological Aerated Filter by immobilized microorganisms [J]. Process Biochemistry, 2006, 41 (7): 1475-1483.
- 4 Moore R E, Quarmby J, Stephenson T. The effect of media size on the performance of biological aerated filter [J]. Water Research, 2001, 35 (10): 2514-2522.
- 5 Liu F, Zhao C C, Zhao D F, et al. Tertiary treatment of textile wastewater with combined media biological aerated filter (CMBAF) at different hydraulic loadings and dissolved oxygen concentrations [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 160 (1): 161-167.
- 6 马晓春,刘世桐.曝气生物滤池处理生活污水的试验研究[J].环境保护科学,2009,35(2):34-36.
- 7 谢旭东,何旭,曾静.曝气生物滤池的研究现状和发展趋势[J].低温建筑技术,2007(3):112-113.
- 8 桑军强,王占生.BAF在微污染源水生物预处理中的应用[J].中国给水排水,2009,19(2):21-23.
- 9 Hu Y Y, Wang L L. Effect of media heights on the performance of biological aerated filter [J]. Journal of environmental sciences China, 2005, 17 (2): 281-284.
- 10 傅金祥,陈正清,赵玉华等.挂膜方式对曝气生物滤池的影响[J].水处理技术,2006,32(8):42-45.
- 11 杨冠,付东,向敏.曝气生物滤池及生物滤料技术[J].河南农业,2008(13).
- 12 季民,刘卫华,周菁,孙丽卿.微污染源水生物陶粒滤池预处理研

# 一种新型平流式沉淀池沉淀效果的试验研究

华根福 刘焕芳 汤 骅 宗全利 高先刚

**摘 要** 在进水口加设调流板、在溢流堰上沿水流方向设置溢流槽两个方面对传统平流式沉淀池进行了改进,设计提出了一种新型平流式沉淀池。通过试验研究分析了调流板和溢流槽对泥砂沉淀效果的影响,得出新型平流式沉淀池可以大大提高泥砂的沉淀效率,出池水流平均含砂量最大降幅可达 94.8%,特别是对细颗粒泥砂的沉淀具有很好的效果。

**关键词** 平流式沉淀池 调流板 溢流槽

## 0 前言

污水处理的主要目标是去除水中悬浮固体或溶解态污染物,如胶体粒子、颗粒物、BOD、COD 等。从水中去除污染物的途径有物理、化学、物化、生物方法。无论哪种方法,都需要由一定的污水处理单元设备来完成,而在污水处理系统的各个处理单元设备中,沉淀池作为污水处理设施构筑物的重要一环,担负着去除原水中大量悬浮物(约 80~90%)的任务,是必不可少的主体工艺。它的型式很多,按池内水流方向可分为平流式、竖流式和辐流式三种<sup>[1]</sup>。

平流式沉淀池是历史悠久的沉淀池型,它有着其它沉淀池型不可比拟的优势,它构造简单,池深较浅,造价较低,沉淀效果稳定,操作管理方便,对原水水质和水量变化的适应性较强,能耗较低,排泥设备如虹吸、泵吸或同时具备两种方式的国产刮泥机技术已非常成熟。

平流式沉淀池已成为我国现有的城市污水厂沉

淀池的主要池型,而且在今后城市污水厂的建设中仍会占有一席之地。因此,应充分重视平流式沉淀池的设计研究。

平流式沉淀池的沉淀效果除受原水水质的影响外,还与池中水平流速、沉淀时间、颗粒的沉降速度、进出口布置形式及排泥效果等因素有关。本文对传统的平流式沉淀池进行了改进,设计提出了一种新型平流式沉淀池,即在传统的平流式沉淀池的进水口设置开孔率适当的进水调流板,在出水溢流堰上沿水流方向增设溢流槽;分析了调流板和溢流槽对新型平流式沉淀池沉淀效果的影响。

## 1 新型平流式沉淀池的设计

### 1.1 增设调流板

传统平流式沉淀池中,经过渡段调节后进入工作段的水流紊动仍比较剧烈,流场分布不均匀,为改善入池水流条件,对传统平流式沉淀池进行了改进,在进水口加设调流板来对入池水流进行调节,调流板对水流调节平面示意图如图 1 所示。

瓦 [J]. 工业用水与废水, 2003, 34 (6): 22~25.

13 宋学峰, 付红丽, 许成君等. 生物陶粒过滤工艺处理微污染原水研究 [J]. 中国给水排水, 2008, 24 (23): 92~94.

14 李凯, 张华伟, 曹文平等. BAF 工艺预处理微污染水源水的研究 [J]. 中国资源综合利用, 2008, 26 (7): 17~18.

15 陈庆伟. 生物沸石滤池处理微污染水源水的中试研究 [J]. 中国科技信息, 2006 (7): 114~115.

16 Ori Lahav, Michal Green. Ammonium re-moval using ion exchange and biological regeneration [J]. Water Research, 1998, 32 (7): 2019~2023.

17 刘金香, 姜金生, 陈泰宁. 沸石曝气生物滤池预处理微污染源水

[J]. 中国给水排水, 2005, 21 (6): 38~40.

18 王瑛, 魏丽, 杨亚红, 谢刚. 生物滤池预处理黄河微污染原水的试验 [J]. 排灌机械, 2007, 25 (4): 61~63.

19 张亮, 张玉先, 包卫彬等. 生物滤料滤池处理姚江微污染水源水 [J]. 水处理技术, 2007, 33 (1): 58~62.

20 范平, 吴纯德, 陆少鸣等. GAC-石英砂生物滤池处理微污染原水 [J]. 水处理技术, 2008, 34 (8): 59~62.

21 杨亚红, 王瑛, 谢刚. 超滤和组合填料滤池预处理微污染原水研究 [J]. 环境科学与技术, 2009, 32 (2): 138~140.

△作者通讯处: 650093 昆明理工大学环境科学与工程学院