

两种填料气浮生物滤池中试研究

徐力克¹ 张玉先¹ 邓慧萍¹ 陈宏景² 肖友淦² 黄功洛²

(1 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2 福州城建设计研究院, 福州 350014)

摘要 针对南方某水厂微污染源水设计新型气浮生物过滤一体化单元进行颗粒活性炭、陶粒填料对比中试研究, 发现两种填料对浊度的处理效果均十分稳定; 当进水氨氮 < 2.5 mg/L 时, 活性炭填料具有更好的处理能力; 活性炭填料具有 70% 左右的 COD_{Mn} 去除率, 陶粒填料对 COD_{Mn} 的处理能力波动较大; 气浮对混凝后水中氨氮可有约 10% 的去除率。

关键词 气浮 生物滤池 颗粒活性炭 陶粒

微污染源水是指受到有机物污染, 部分水质指标超过《地表水环境质量标准》(GB 3838~2002) III 类水体标准的水体^[1]。由于污染源和地理位置的不同, 各地微污染源水质问题差异较大, 南方 A 水厂采用新型气浮生物滤池工艺预处理氨氮、臭味物质等超标的微污染源水, 同时结合不同填料试验就工艺可行性进行验证和分析。

1 试验装置及方法

1.1 试验装置

基于气浮技术原理以及生物滤池的一般构型, 将两单元工艺通过技术改造合并成新型气浮生物滤池。通过气浮可以为后续生物工艺补充溶解氧并降低水体浊度改善滤池进水负荷及出水水质, 而生物滤池可以发挥生物处理和滤池截留的双重作用^[2]。装置示意如图 1 所示。

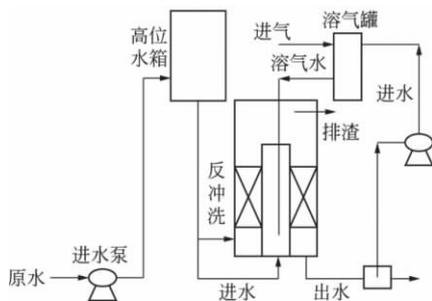


图 1 气浮生物滤池结构示意图

气浮系统采用加压溶气气浮, 操作方式选用部分回流, 控制回流比为 10%~20%, 溶气经释放后形成微米级气泡, 在上升过程中通过碰撞黏附、网捕架桥、共聚浮选等作用降低水体浊度、藻类以及同时

去除部分有机物、氨氮^[3]。生物滤池拟采用颗粒活性炭及陶粒填料进行对比试验。颗粒活性炭填料高度选用 1 m, 陶粒填料高度取 0.8 m, 底部均铺有 300 mm 粗砂保护滤头及 500 mm 细砂承托滤层。反冲洗采用气水冲+气冲方式, 共历时 4 min。通过工艺调试运行, 初始选取滤速 5 m/h、反冲洗周期 8 h, 以控制出水浊度 < 0.5 NTU, 出水 $DO > 2.0$ mg/L。

1.2 进水水质及试验背景

A 厂原水取自水库, 以夏秋两季为参照的基本水质为浊度 4~50 NTU, COD_{Mn} 1.5~3 mg/L, DO 5.5~7.0 mg/L, NH_3-N 0~1.0 mg/L, pH 6.84~7.11。

试验期间活性炭填料试验环境温度为 28~35 °C, 水温为 24~27 °C。陶粒填料试验环境温度为 20~28 °C, 水温为 17~22 °C。活性炭选用破碎炭, 规格 $\varnothing 1\sim 1.5$ mm; 陶粒选用江西飞云陶粒, 规格 $\varnothing 4\sim 6$ mm, 两种填料均采用新购置填料装填。

1.3 试验指标及测定方法

浊度采用 HACH 2100N 型浊度仪测定, COD_{Mn} 采用《生活饮用水标准检测方法》(GB/T 5750—2006) 测定, 氨氮采用纳氏试剂分光光度法, 岛津 2401PC 测定。进水氨氮部分采用投加氯氨以提高处理负荷。所用化学试剂均为分析纯, 试验测定用水采用双重蒸馏水, 试验进水采用混凝后水。

2 试验结果分析与讨论

2.1 挂膜启动

挂膜以氨氮去除率 $> 50\%$ 为判断标准。试验结

果如下。

活性炭挂膜启动较为顺利,在进水氨氮 1~1.5 mg/L 情况下,维持进水量 5 m³/h,溶气水量 0.5 m³/h(即回流比 10%),反冲洗周期 8 h。从图 2 可以分析出,气浮对氨氮有一定的去除作用,可能是降低浊度同时降低了部分附着氨氮;挂膜初期生物膜未形成,氨氮去除率稳定在 20% 左右,可能由于活性炭迅速吸附氨氮使去除量较为稳定;进入第 6 天之后,氨氮去除率迅速上升,COD_{Mn} 数据也显示该阶段有机物去除率有明显上升但幅度不超过 10%。进入第 9 天后氨氮去除率稳定在 90% 以上,此时反应器无明显堵塞问题,运行状况良好。

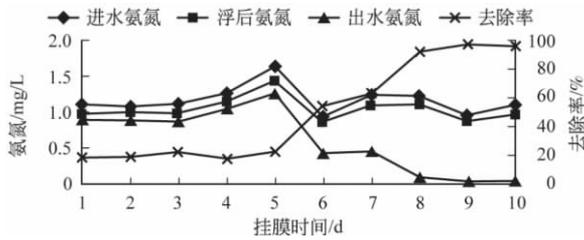


图 2 活性炭填料挂膜试验

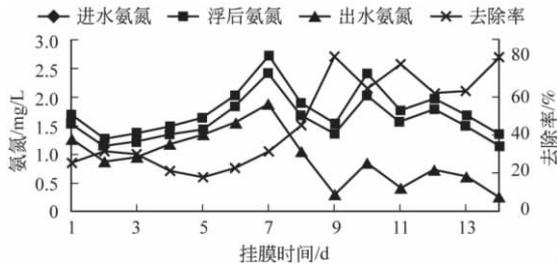


图 3 陶粒填料挂膜试验

陶粒挂膜时间长于活性炭,可能是因为活性炭挂膜时的平均水温高出陶粒挂膜期间平均水温 5℃ 左右。从图 3 看出,在第 4 天左右可认为达到填料吸附饱和,逐步提高氨氮负荷至第 7 天时氨氮去除率 > 50%,可认为挂膜已经基本成形并趋于稳定,在进水氨氮 1.5~2 mg/L 时,其去除率基本稳定在 70% 左右。陶粒填料稳定性差于活性炭填料或许与其理化性质有直接关系,陶粒比表面积远小于活性炭。

综合两者挂膜结果,活性炭填料挂膜启动较陶粒填料挂膜启动更为顺利,当进水氨氮 ≤ 2 mg/L,活性炭填料具有更稳定的处理能力。

2.2 稳定运行处理效果对比

2.2.1 浊度

从图 4 可看出,活性炭填料耐浊度冲击,A 厂夏季短时进水浊度可达 40 NTU 以上,但出水浊度依然稳定在 0.1 左右,波动不明显。陶粒填料试验期处于秋季,该厂原水浊度基本在 4~7 NTU(见图 5),对于低浊度水,陶粒填料出水浊度能够稳定在 0.2 NTU 左右,耐一定浊度波动,但进水浊度上升时出水浊度也上升。两种填料整体对于浊度都有稳定的去除率,且耐一定冲击负荷。

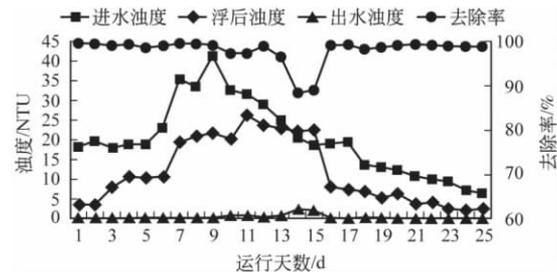


图 4 活性炭填料浊度试验

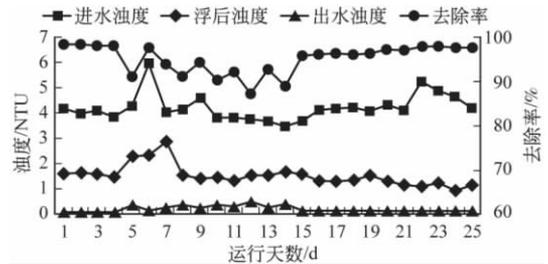


图 5 陶粒填料浊度试验

2.2.2 氨氮

维持 10% 回流比,增加进水氨氮负荷,其处理效果如图 6。

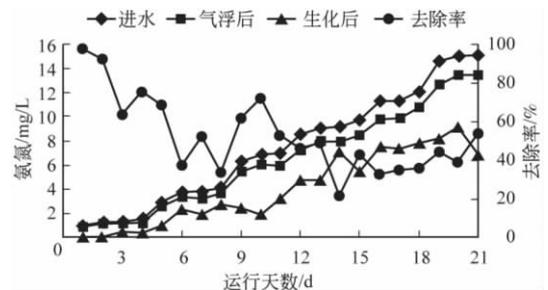


图 6 活性炭填料氨氮负荷试验

从图 6 可见,当氨氮负荷超过 4 mg/L 时,活性炭填料的处理效果迅速大幅下降,且波动较大,氨氮去除率不足 50%,这与高流量情况下水力停留时间不足、充氧有限有直接关系,在 5 m³/h 条件下理论停留时间仅 30 min,这可能由于不满足反硝化要求

所以去除率显著降低。再度提高氨氮负荷至 10 mg/L 时,处理效果降至 40% 以下。比较发现,不同浓度情况下氨氮绝对处理量十分接近(为 2~2.5 mg),可以认为其他条件不变,在一定水力停留时间下生物处理有其最高处理负载。观察气浮效果可以认为其去除量与氨氮负荷没有明显关系,贡献去除率约 10%。

同期陶粒填料整体氨氮处理能力也低于活性炭填料,从图 7 可知在进水氨氮负荷超过 4 mg/L 时其处理能力也显著下降,但降幅不如活性炭填料大。随着进水氨氮负荷的进一步升高,陶粒填料的总体去除率稳定在 35%~45%。

将两种填料氨氮负荷处理能力进行对照,见图 8。

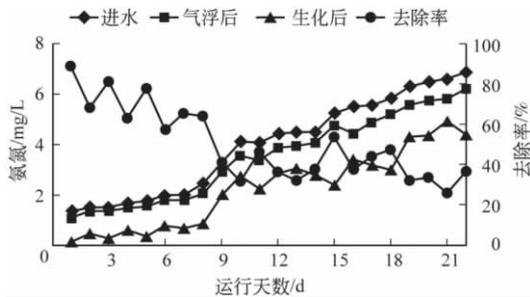


图 7 陶粒填料氨氮负荷试验

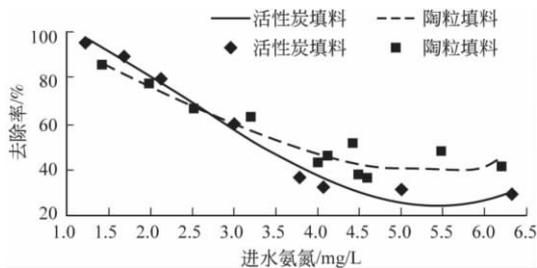


图 8 两种填料氨氮去除率对比

在进水氨氮 < 2.5 mg/L 时,活性炭填料去除率高于陶粒填料去除率约 10 个百分点。而在进水氨氮 > 4 mg/L 时两种填料去除率均在 50% 以下,且活性炭填料差于陶粒填料,但去除率均较为稳定。进水氨氮浓度在这两者之间时,两种填料表现相近。表明,在同等充氧及水力停留时间条件下,高浓度氨氮负荷时的活性炭填料生物作用弱于陶粒填料的性质。

为进一步解释两种填料不同因素下对氨氮的去除特性,将回流比、水力负荷、氨氮、反冲洗周期作为主要影响因素,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验,结果分别见

表 1 活性炭填料 $L_9(3^4)$ 正交试验

项目	回流比 /%	水力负荷 /m ³ /h	氨氮 /mg/L	反冲洗周期/h	去除率 /%
1	30	5	6	6	38.2
2	30	4	1	12	84.5
3	30	3	3	8	68.5
4	15	5	1	8	82.5
5	15	4	3	6	58.5
6	15	3	6	12	43.9
7	20	5	3	12	54.6
8	20	4	6	8	40.4
9	20	3	1	6	85.7
均值 1	0.637	0.584	0.408	0.608	
均值 2	0.616	0.611	0.842	0.610	
均值 3	0.602	0.660	0.605	0.638	
极差	0.035	0.076	0.434	0.030	

表 2 陶粒填料 $L_9(3^4)$ 正交试验

项目	回流比 /%	水力负荷 /m ³ /h	氨氮 /mg/L	反冲洗周期/h	去除率 /%
1	30	5	6	6	36.1
2	30	4	1	12	83.1
3	30	3	3	8	69.7
4	15	5	1	8	68.2
5	15	4	3	6	29.4
6	15	3	6	12	53.1
7	20	5	3	12	68.7
8	20	4	6	8	25.8
9	20	3	1	6	51.8
均值 1	0.630	0.577	0.383	0.394	
均值 2	0.502	0.461	0.680	0.683	
均值 3	0.492	0.585	0.559	0.546	
极差	0.134	0.161	0.207	0.252	

表 1 与表 2。

活性炭填料试验最优条件为:回流比 30%、流量 3 m³/h、氨氮 1 mg/L、反冲洗周期 6 h,理论条件下测试最优去除率可以达到 90.7%。由试验分析可知,4 因素重要程度依次为氨氮 > 水力负荷 > 反冲洗周期 > 回流比。活性炭填料受进水氨氮影响较大,与图 8 得出结论一致,说明活性炭生物膜稳定性不如陶粒填料。

陶粒填料试验最优条件为:回流比 30%、流量 $3 \text{ m}^3/\text{h}$ 、氨氮 1 mg/L 、反冲洗周期 12 h,理论条件下测试最优去除率可以达到 85.7%。由试验分析可知,4 因素重要程度依次为反冲洗周期>氨氮>水力负荷>回流比。反冲洗周期对陶粒填料生物作用明显。

综合来看,生物处理对于高浓度氨氮情况虽然绝对氨氮处理量有所增加但不足以弥补去除率的下降,且其程度甚于停留时间增加所能弥补的处理负荷。回流比对生物处理的增益效果最低,可能与 A 水厂原水溶解氧一般在 $5\sim 7 \text{ mg/L}$,溶解氧较高且已经处于充分利用状况有关。

2.2.3 COD_{Mn}

由图 9 可见,活性炭第 3~5 天出水 COD_{Mn} 降低,与氨氮吸附饱和的时期基本一致,认为进水第 4 天开始,有生物逐渐开始生长发挥作用,COD_{Mn} 部分消耗,而后出水 COD_{Mn} 一直稳定在 $0.5\sim 1 \text{ mg/L}$ 。前期(6 天)进水氨氮为 $1\sim 4 \text{ mg/L}$,后期(至 20 天)为 $4\sim 12 \text{ mg/L}$,出水 COD_{Mn} 出现一定程度的小幅下降但不明显,氨氮处理效果也表明,该阶段生物生长趋势不明显,处理负荷未有显著提高。

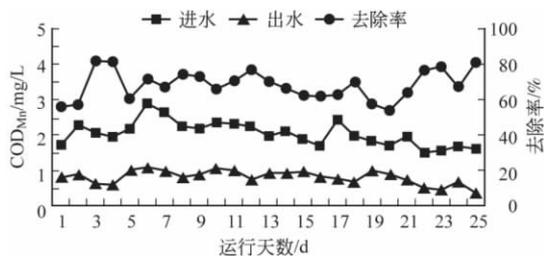


图 9 活性炭填料 COD_{Mn} 试验

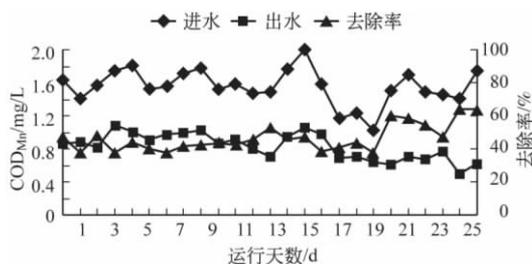


图 10 陶粒填料 COD_{Mn} 试验

图 10 表明陶粒填料整体 COD_{Mn} 去除率低于活性炭填料,去除率在 35%~60%,且出水不稳定,受进水 COD_{Mn} 影响十分明显。对比同期氨氮处理可以认为,陶粒填料不能同时处理高浓度氨氮及 COD_{Mn},两者存

在竞争抑制,陶粒在低浓度氨氮负荷下对 COD_{Mn} 去除率约 55%,高浓度氨氮负荷下约 35%。

3 结论

(1) 两种填料对浊度处理效果均十分稳定,活性炭填料较陶粒填料更具耐冲击性,出水浊度稳定在 0.1 NTU 左右,优于陶粒填料出水(0.2~0.4 NTU)。

(2) 活性炭填料挂膜启动较陶粒填料挂膜启动更为顺利,当进水氨氮 $< 2.5 \text{ mg/L}$,活性炭填料具有更好的处理能力,但两者均能达到出水水质标准。当进水氨氮 $\geq 2.5 \text{ mg/L}$ 时两种填料处理能力均受到限制,陶粒填料处理率稳定在 40%左右,活性炭填料波动较大;两者对氨氮的去除率均随进水氨氮负荷升高而具有一定的下降趋势;对于氨氮处理率陶粒填料受反冲洗周期影响较大,活性炭填料对氨氮的去除率随氨氮负荷升高而明显降低。

(3) 气浮对水中氨氮可有 10%左右去除率,与进水水质、温度等因素没有显著的相关关系。气浮对低浊度有较好的去除能力,可以保证生物滤池进水浊度低于 2 NTU。

(4) 活性炭填料对 COD_{Mn} 具有 70%左右的去除率,显著优于陶粒填料,陶粒填料对有机物的去除能力受进水氨氮浓度、反冲洗周期等因素影响较大,对 COD_{Mn} 可有 40%左右去除率,且与氨氮去除存在竞争抑制,不能同时去除。

参考文献

- 1 贺瑞敏,朱亮,谢曙光.微污染源水水处理技术现状及发展.陕西环境,2003,10(1):2~3
- 2 Valade M T, Edzwald J K, Tobiasson J E, et al. Particle removal by flotation and filtration: pretreatment effects. J AWWA, 1996, 88(11):35~47
- 3 Chen Y S, Hu B. Flotation Technique used in water and wastewater Purification; Beijing, China Environmental Science and Technology Press(in Chinese), 1991

○ 通讯处:200092 同济大学环境科学与工程学院明净楼 215 室 张玉先

E-mail: zhangyxtj@sina.com.cn

收稿日期:2011-05-05

修回日期:2011-07-23