

曝气生物滤池/接触氧化内循环处理受污染湖水

萧志豪, 汪晓军, 黄小琴, 王蓓蓓

(华南理工大学 环境与能源学院, 广东 广州 510006)

摘要: 针对南方地区某校园内受污染的湖泊水,采用曝气生物滤池(BAF)和接触氧化池进行强化处理,在上升流速为4 m/h、气水比为1:1的条件下,稳定运行期间装填陶粒的曝气生物滤池及装填碳素纤维填料的接触氧化池对COD平均去除率分别为50.0%和21.0%。处理前原水COD为41.0~46.0 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 为0.34~1.04 mg/L,为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的V类水质,且蓝藻大暴发,影响景观;经4个月的内循环处理,湖水COD降至20.0 mg/L左右, $\text{NH}_3\text{-N}$ 稳定低于0.50 mg/L, COD指标符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的IV类水标准, $\text{NH}_3\text{-N}$ 达到II类水标准,未见蓝藻暴发,水体景观得以良好恢复。

关键词: 湖泊水; 曝气生物滤池; 接触氧化池; 内循环

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)04-0083-04

Biological Aerated Filter/Contact Oxidation Tank for Treatment of Polluted Lake Water

XIAO Zhi-hao, WANG Xiao-jun, HUANG Xiao-qin, WANG Bei-bei

(School of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The biological aerated filter (BAF) and contact oxidation tank were used for enhanced treatment of the polluted lake water at a university in southern China. When the up-flow velocity was 4 m/h, and the air-water ratio was 1:1, the average removal rates of COD by BAF with ceramsite and contact oxidation tank with carbon fiber during the stable stage were 50.0% and 21.0%, respectively. Before treatment, the raw water with COD of 41.0 to 46.0 mg/L and ammonia nitrogen of 0.34 to 1.04 mg/L was the class V criteria specified in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002), with algae outbreak and landscape being influenced. After internal circulation treatment for four months, the concentration of COD was reduced to around 20 mg/L, meeting the IV criteria, and the concentration of ammonia nitrogen was below 0.50 mg/L, meeting the II criteria. Blue-green algae was effectively controlled, and the landscape of the lake was recovered well.

Key words: lake water; biological aerated filter; contact oxidation tank; internal circulation

广州某校园内湖泊由于生活污水的排入,且无外源较清洁活水补充,长期以来使得湖水水质变差(V类水);湖体生态系统脆弱,自净能力差,降雨时周边道路雨水收集进入湖区,面源污染超出湖体承

受能力,水质持续恶化。通过采取截污、改良底质、实施驳岸生态化改造等一系列措施后,湖水中COD和氨氮含量得以控制,但COD污染仍较突出,为V类水质。针对该情况,进一步设置曝气生物滤池系

统削减水体本底污染物,通过湖水内循环处理,维持湖内水质良好。

1 工艺设计

1.1 湖泊基本情况及水质

该受污染湖泊无外源稳定活水补充,水流基本视为静态,湖面面积约 17 000 m²,水深为 1.5 ~ 2 m,总水量约为 30 000 m³。经过截污及生态改造后,污染负荷仍然超出了湖水自净能力,其水质见表 1。

表 1 湖水水质

Tab. 1 Influent quality

项目	pH 值	COD/ (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/ (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	透明度/m
数值	6.9 ~ 7.3	41.0 ~ 46.0	0.34 ~ 1.04	0.70 ~ 1.50	0.06 ~ 0.15	0.30 ~ 0.40

1.2 工艺流程及主要构筑物

工艺流程见图 1。

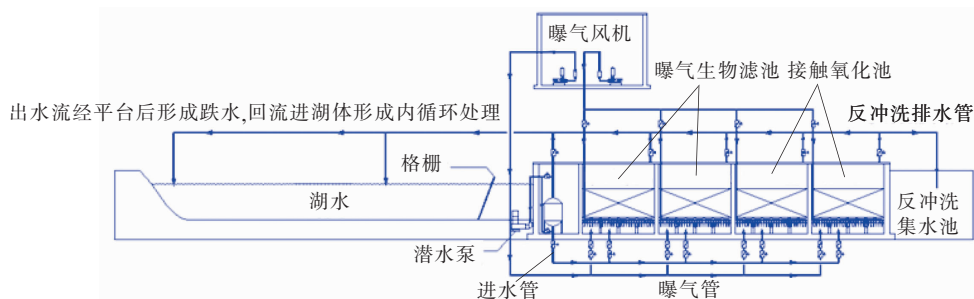


图 1 受污染湖泊水处理工艺流程

Fig. 1 Polluted lake water treatment process

针对该湖的水质,进一步设计采用装填陶粒填料曝气生物滤池以及装填碳素纤维填料接触氧化池进行强化处理。本工程设置“T 字型”取水台(尺寸为 11 m × 11 m × 0.5 m),并在取水台后加装栅距为 5 mm 的格栅,湖水从取水台流经格栅后,由潜水泵将接近湖中心的水抽入湖面一端靠岸处的处理系统。设潜水泵 2 台, $Q = 250 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 60 \text{ kPa}$, $N = 7.5 \text{ kW}$,1 用 1 备。处理出水一方面经过出水平平台形成跌水,回流至湖中;另一方面通过沿湖管道回流至湖体的最远端,充分形成湖水内部循环流动。

池体构筑物共 4 座,其中 2 座为装填陶粒的曝气生物滤池,陶粒粒径为 4 ~ 6 mm;另外 2 座为挂填日本碳素纤维填料的接触氧化池。4 座滤池填料层高度均为 1.5 m,整个系统设计处理量为 5 760 m³/d。

在主体 4 座滤池旁边设有反冲洗水收集池,尺寸为 4 m × 2 m × 4 m,用于收集滤池的反冲洗排水,并用水泵输送至生活污水管道中排走,避免脱落的微生物膜等物质重新进入湖泊,导致有机污染物、氮、磷等再次进入湖水,影响处理效果。

此外,整个系统为全地埋式,生物滤池系统与地面持平,与湖面形成一定落差,最大限度保证了构筑物不影响湖体景观,且处理出水平平台设计形成瀑布,可以调节周围湿度,并一定程度上给湖水充氧。整

套工艺美观简洁,与周围景色完美融合。

2 工程调试与运行参数优化

2.1 挂膜启动调试

调试主要是使微生物挂膜,并针对该受污染湖水进行驯化。调试初期,采用白天小流量连续进水,晚间向滤池中投加适量面粉及营养物质,并投放活性污泥进行闷曝的形式。系统于 2015 年 5 月开始通水试验,5 月 2 日—5 月 22 日白天连续进水期间的试验数据见图 2。

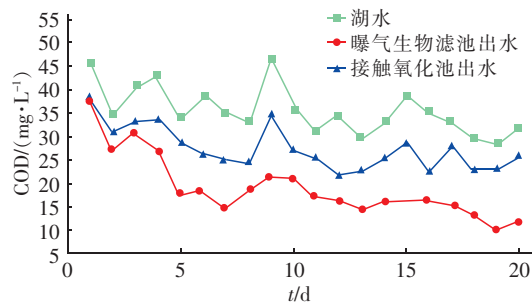


图 2 挂膜期间 COD 去除效果

Fig. 2 Removal effect of COD during biofilm formation

挂膜一周后,曝气生物滤池出水 COD 较稳定地低于 20.0 mg/L,装填碳素纤维填料的接触氧化曝气池出水 COD 波动较大,在 20.0 ~ 34.0 mg/L 左右。此后连续 24 h 以上流速 2 m/h 连续进水培养,经过 20 d 的驯化,最终曝气生物滤池的 COD 去

除率稳定在 50.0% ~ 62.3%;而接触氧化池的 COD 去除率为 20.0% ~ 30.1%,仅为曝气生物滤池的 50%,故后续研究主要针对曝气生物滤池。

2.2 曝气生物滤池运行优化

2.2.1 上升流速

控制曝气生物滤池在气水比为 1:1,上升流速分别为 2、4、5 m/h 下分别运行 10 d,各选取其中 4 d 考察 COD 的去除效果(见图 3)。

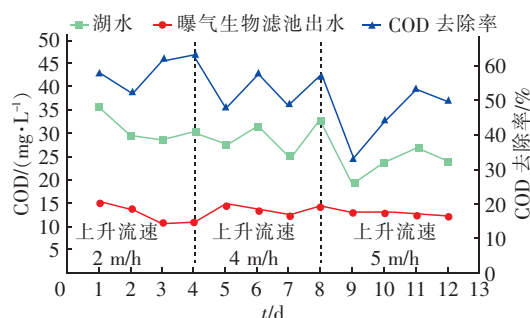


图 3 上升流速对 COD 去除效果影响

Fig. 3 Effect of filtration rate on removal of COD

由图 3 可见,上升流速为 2 m/h 时去除效果最好,平均去除率为 58.8%;上升流速为 4、5 m/h 时,COD 平均去除率分别为 53.0%、45.5%。这是由于随着上升流速增大,HRT 进一步缩短,易导致有机污染物来不及分解便穿透滤层,使出水 COD 浓度上升,去除率下降。此外,上升流速过大会使生物膜脱落过快,影响处理效果^[1]。

当上升流速为 2、4 m/h 时,系统对 COD 的去除率相近,由于在工程实际应用中,上升流速大意味着湖水置换净化周期的缩短,对湖水净化更加有利,故最终确定稳定运行的上升流速为 4 m/h。

2.2.2 气水比

控制上升流速为 4 m/h,通过改变罗茨风机频率控制气量,分别考察气水比为 0.5:1、1:1、2:1 时曝气生物滤池对 COD 的去除效果(见图 4)。由图 4 可见,当气水比为 0.5:1 时,COD 平均去除率为 50.0%,这是由于气水比值较低时,好氧分解污染物所需的气量不足,且气流扰动弱,传质减慢,从而表现出 COD 去除率相对不高。当气水比增大到 1:1、2:1 时,COD 去除率分别是 53.4% 和 54.1%,说明增大气水比后水流扰动加强,水中溶解氧更加充足,气液传质阻力更小,传质效率更高,从而提高了好氧异养菌活性^[2]。此外,在气水比为 2:1 与 1:1 的条件下,COD 去除率相近,说明进一步提高

气水比虽然提高了溶解氧含量,但已达到微生物可利用的饱和态,故选定运行气水比为 1:1。

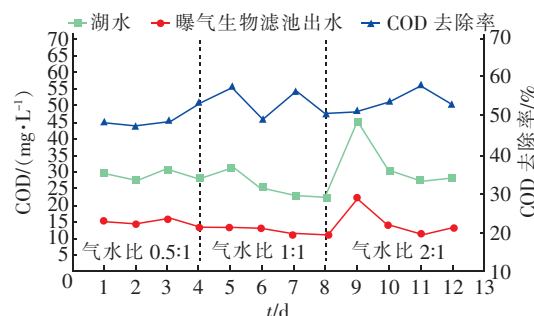


图 4 气水比对 COD 去除效果影响

Fig. 4 Effect of air-water ratio on removal of COD

3 工程运行效果

3.1 COD 去除效果

选取 2015 年 5 月—9 月的运行数据进行分析(见图 5)。其间上升流速从 5 月的 2 m/h 提高到 6 月下旬的 4 m/h,并最终 4 m/h 连续稳定运行。

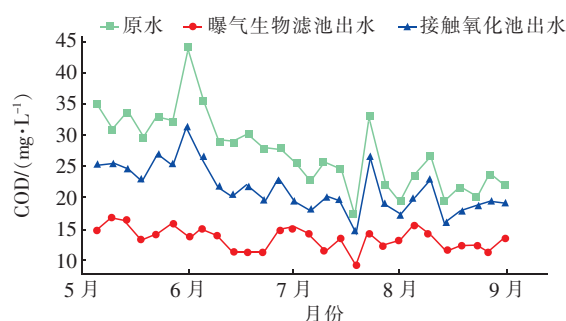


图 5 系统对 COD 的处理效果

Fig. 5 Removal effect of COD

系统经过近 4 个月的连续 24 h 运行后,湖水的 COD 值呈现下降趋势,说明曝气生物滤池及接触氧化池对受污染的湖水起到了一定的净化作用。4 个月,在湖泊本身的自净作用以及本系统的处理下,湖水有机物污染得到较有效的控制,原水 COD 从最初约 40 mg/L 下降到约 20 mg/L,部分低于 20 mg/L。曝气生物滤池系统及接触氧化池对 COD 的平均去除率分别为 50.0% 和 21.0%,可见对于该湖水,曝气生物滤池处理效果比接触氧化池更佳。

此外,由于已采取截污措施,外源污染在一定程度上得以控制,随着处理时间的延长,湖中可生化有机污染物越来越少,表现为系统 COD 的去除率有所下降(32.2% ~ 53.3%),微生物增殖速度减慢,但仍能保持一定的污染物去除效果。

3.2 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除效果

实施截污及湖体改造后,湖水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 本底值从往年的 3.34 ~ 4.18 mg/L 下降到 1.00 mg/L 以下,由于氨氮浓度一直较低,使得系统中硝化和反硝化细菌的增殖缓慢,系统氨氮去除率一直不高。2015 年 5 月—9 月期间氨氮的变化见图 6。

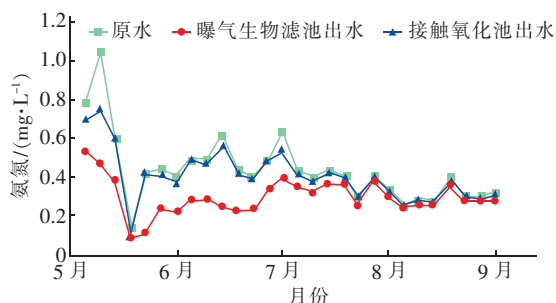


图6 系统对氨氮的处理效果

Fig. 6 Removal effect of ammonia nitrogen

如图 6 所示,湖水氨氮值除了个别较高外,其他均在 0.50 mg/L 左右。开始阶段(2015 年 5 月—6 月),曝气生物滤池对氨氮有一定的去除作用,平均去除率为 44.0%,原因可能是最初池中投加的活性污泥中含有一定的硝化细菌,且形成一定厚度的生物膜。但由于湖水氨氮浓度进一步降低,到后期硝化菌种逐渐由于营养不足而死亡,并在与去除 COD 的异养细菌竞争中占劣势,运行 4 个月后,曝气生物滤池几乎对氨氮无进一步去除效果,此时湖水中氨氮平均为 0.34 mg/L。

此外,与 COD 去除数据相似,接触氧化池比曝气生物滤池的氨氮去除率低很多,平均只有 10%,可能是因为接触氧化池硝化细菌在该种填料的纤毛上附着并形成生物膜的难度较大。

4 运行费用

该系统日常运行费用主要为电费(不计人工维护费和设备折旧费),包括潜水泵、曝气风机等设备。系统总耗电量约为 276 kW · h/d,电价按 0.8 元/(kW · h)计,则总电费为 221 元/d。系统处理水量为 5 760 m³/d,则处理成本为 0.04 元/m³,日常运行费用低。

5 结论

① 采用曝气生物滤池—接触氧化池系统内循环处理受污染的湖水,系统运行稳定,有效地提升了水质。在系统运行4个月期间,曝气生物滤池与接

触氧化池对 COD 的平均去除率分别为 50.0% 和 21.0%,对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率平均仅为 28.0% 和 10.0%,可见装填碳素纤维填料接触氧化池处理该湖水的效果远不及装填陶粒的曝气生物滤池。原因可能是碳素纤维纤毛上附着形成生物膜难度较大,且湖水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 本底值低,导致处理效果偏低。

② 通过调试确定了陶粒曝气生物滤池的最优运行参数:上升流速为 4 m/h,气水比为 1 : 1。该参数下滤池对 COD 的平均去除率为 53.4%,内循环处理 4 个月后,湖水 COD 从原来 41.0 ~ 46.0 mg/L 下降至 20.0 mg/L 左右,达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中 IV 类水标准。湖水有机污染得以有效控制,湖体景观性得以恢复,水质有较明显提升,并通过监测发现湖水透明度从原来的 0.30 ~ 0.40 m 提升到 0.40 ~ 0.58 m。此外,该工程处理水量大(约 5 760 m³/d),运行成本较低,对循环处理较大景观受污染湖水具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 徐竟成,曹博,何文源,等. 曝气生物滤池净化城市景观水体工艺研究[J]. 水处理技术,2014,40(5):83-86.
- [2] Lee K M, Stensel H D. Aeration and substrate utilization in a sparged packed-bed biofilm reactor[J]. Journal Water Pollution Control Federation, 1986, 58(11):1066-1072.



作者简介:萧志豪(1991—),男,广东广州人,硕士研究生,主要研究方向为水污染控制技术。

E-mail:315031278@qq.com

收稿日期:2016-06-14