

曝气生物滤池及活性砂过滤系统用于污水厂升级改造

卫佳¹, 李思倩², 王新宇¹, 边靖¹, 吴镒¹

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 天津天滨瑞成环境技术工程有限公司, 天津 300191)

摘要: 秦皇岛市某污水处理厂原采用 CAST 工艺, 为了将出水水质由一级 B 提高至一级 A 排放标准, 升级改造工程在已建工艺流程后增加了曝气生物滤池 (BAF 池) 及活性砂过滤系统以强化脱氮除磷以及去除 SS 等污染物。由于对进水缺乏管控, 导致污水厂总进水水质经常有超标的情况。实际运行数据表明, 污水在经过二级生物处理 (CAST) 后, 出水 COD 可稳定达到一级 A 排放标准; BAF 池的设置对 TP 的去除效果一般, 但对 SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 去除效果较好; 后续在活性砂过滤工艺进行加药强化处理, 可进一步保障 TP、SS 的去除, 从而最终保证出水水质稳定达到一级 A 排放标准。

关键词: 升级改造; 曝气生物滤池; 活性砂滤池; 一级 A 标准

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)16-0058-05

Application of Biological Aerated Filter and Activated Sand Filtration System in Upgrading and Reconstruction Project of Sewage Treatment Plant

WEI Jia¹, LI Si-qian², WANG Xin-yu¹, BIAN Jing¹, WU Di¹

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Tianjin Tianbinruicheng Environmental Technology Engineering Co. Ltd., Tianjin 300191, China)

Abstract: The effluent quality of a sewage treatment plant in Qinhuangdao City was required to be improved from the first level B to the first level A discharge standard after the plant was upgraded and renovated. After the process was built, biological aerated filter (BAF) and activated sand filtration system were added to enhance the removal of nitrogen, phosphorus and SS. Due to the lack of control of the influent, the total influent quality of sewage treatment plant used to exceed the design standard. The operation data showed that the effluent COD could reach the first level A discharge standard after the treatment of secondary biological (CAST) tank; the removal effect of TP by BAF tank was general, but the removal effect of SS, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and TN was better; the subsequent intensified treatment of adding chemicals in activated sand filtration process further guaranteed the removal of TP and SS, and ensured the stability of effluent to meet the first level A standard.

Key words: upgrading and reconstruction; biological aerated filter; activated sand filter; the first level A standard

北戴河作为享誉海内外的滨海度假胜地, 对促进秦皇岛经济发展起到至关重要的作用, 为实现北戴河近岸海域水质明显改观, 力争重点区域达到 I

类水质的目标要求, 秦皇岛市制定了整治措施, 形成了《北戴河及相邻地区近岸海域环境综合整治工作方案》。

在此背景下,对秦皇岛市的某重要污水厂进行升级改造,污水厂总出水水质由国家一级 B 提高至一级 A 排放标准,处理后的尾水补充至附近河道水体。

1 工程概况

秦皇岛市某污水处理厂包括两期工程,总设计规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。生物处理工段全部采用 CAST 工艺,其中一期工程($1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)于 2009 年完成建设并投入运营,工程设计出水水质为国家一级 B 标准。二期工程($1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)与升级改造工程($2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)同期设计,于 2011 年投入运行,总设计出水水质为一级 A 标准。

升级改造前,此污水厂主要面临以下问题:

① 两期工程主体采用 CAST 工艺,滗水器易出故障且经常出现虹吸现象,处理水量不稳定,峰值流量最高可达到平均流量的 1.6 倍以上,对出水效果影响很大,导致出水 SS 等经常超标。

② 厂区内部分设备老化,经常出现问题,亟待解决。

③ 进水水质出现波动时,会导致 CAST 工艺出水水质不稳定,脱氮效果变差,TN、SS 不能稳定达到一级 B 排放标准。

一期工程运行以来,经常出现实际总进水水质超过设计水质的现象,且进水指标历史最高值均远远超过了设计水质。

污水在经过 CAST 生物池处理后,出水中 COD 等已基本满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准。因此,此次升级改造主要考虑去除 BOD_5 、SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 及 TP 等。

BAF 池及活性砂过滤工艺具有硝化反硝化脱氮、过滤消除 SS 及 TP 的作用,可进一步增强脱氮除磷的效果。该工艺在一级 A 升级改造项目中的应用较多,在已有流程的基础上新建 BAF 池以及活性砂滤池,不但可以快速地完成既定目标任务,而且对于现状污水厂的正常运行不会产生影响。

因此,最终确定采用 BAF + 活性砂过滤深度处理工艺。

2 设计进水水质

根据 2011 年 12 月—2013 年 2 月污水厂实际进水水质,确定了升级改造工程设计进水水质,具体见表 1。

表 1 进水水质

Tab. 1 Influent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	污水厂实际总进水水质		升级改造设计进水
	历史最高值	平均值	
COD	1 995	502	500
BOD_5	904	282	300
SS	2 022	231	300
TN	196	61	60
$\text{NH}_3 - \text{N}$	90	38	50
TP	12.3	3.9	4

3 工艺参数及设计流程

升级改造工程选用 BAF 池(含硝化及反硝化段)并配以带有微絮凝功能的连续流活性砂滤池工艺。在活性砂过滤系统进水前设置机械混合池,池中投加絮凝剂(PAC),以去除 SS、TP 等。

升级改造工程整体工艺流程见图 1。一、二期工程的出水规模均为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分别进入深度处理调节池后经提升泵房提升进入 BAF 池(含硝化及反硝化工艺段),适时添加成品乙酸钠(碳源),再通过滤料的过滤作用以及活性砂过滤工艺(投加 PAC)去除 TP、SS 等污染物,出水再经过消毒,最终规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的达标尾水补充至附近河道。

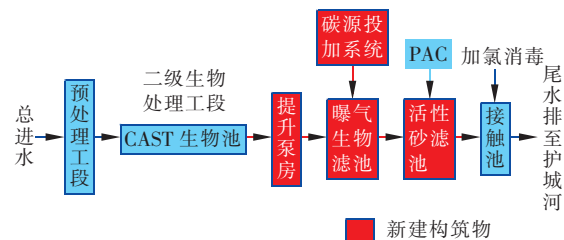


图 1 污水厂工艺流程

Fig. 1 Flow chart of WWTP process

3.1 N 型 BAF 池(硝化滤池)

BAF 池分为 N 型硝化及 DN 型反硝化滤池、清水池、反冲洗废水池等(见图 2)。

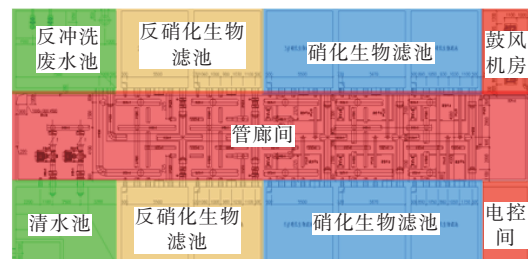


图 2 BAF 池区域功能

Fig. 2 BAF regional function

N型BAF池(以下称硝化滤池)中球形陶粒填料作为生物膜的载体附着生长着大量微生物。污水由下至上流经全部填料层,在这个过程中与微生物充分接触,进行絮凝、吸附、降解、硝化等反应过程,同时兼具过滤的作用,从而具有去除COD、BOD₅、NH₃-N、色度等作用。由于一期工程出水NH₃-N较高,而COD、BOD₅数值均较低,故设计硝化滤池,其可降低BOD₅和NH₃-N的含量,以硝化负荷及BOD₅负荷进行计算,计算结果取较大值作为设计填料的容积,并以一期工程的出水水质为基础确定BAF池的进水水质。

① 硝化滤池

共设6座6 m×7 m×7.5 m的硝化滤池,单池过滤面积为42 m²,滤池总面积为252 m²,滤料总体积为1 008 m³。硝化滤池负荷为0.75~0.90 kgNH₃-N/(m³滤料·d)。水力负荷为3.31~3.97 m/h。

滤池滤料采用球形轻质多孔均质陶粒生物滤料,经过筛分和多次水洗,有效粒径为4~6 mm。比表面积≥4×10⁴ cm²/g,堆积密度为0.7~1.0 g/cm³,填料层高度为4.0 m。承托层采用天然卵石两种级配(8~16、16~32 mm)进行排列组合,厚度为100 mm。

② 反冲洗水量及气量

滤池采用气水联合反冲洗。设计2台反冲洗鼓风机(1用1备)。6组硝化滤池采用单格按顺序反冲洗,水反冲洗强度约为5 L/(m²·s)。设置2台反冲洗水泵(1用1备),单泵设计流量为760 m³/h,扬程为0.1 MPa;气反洗强度为14 L/(m²·s),选用反洗风机2台(1用1备),单机风量为35 m³/min,风压为80 kPa。鼓风机房内设置1台电动葫芦。

③ 滤池曝气量

曝气风机单机气量为12 m³/min,风压为60 kPa,共8套(6用2备),设计气水比为5:1。

④ 滤板及滤头

采用混凝土结构,整体滤板设计。采用长柄滤头,设计数量为49个/m²。

3.2 DN型BAF池(反硝化滤池)

污水在硝化滤池处理后,还需再通过反硝化滤池处理以保证TN达标^[1-2]。由于硝化生物滤池对有机物的去除率较高,在其出水中需投加碳源(选用乙酸钠)。

反硝化滤池既具有生物脱氮功能又有过滤功能,可实现去除TN、截留SS和微絮凝化学除TP的功能。在无锡芦村污水四期工程(5×10⁴ m³/d)^[1]等许多升级改造项目中均设置了反硝化滤池,出水SS、TN以及TP均可达到一级A排放标准。

① 反硝化滤池

共设4座6 m×7 m×7.5 m反硝化滤池。反硝化滤池负荷为1.00~1.50 kgNO₃⁻-N/(m³滤料·d)。水力负荷为4.96~6.61 m/h。

滤池滤料采用球形轻质多孔均质陶粒生物滤料,经过筛分和多次水洗,有效粒径为3~5 mm,比表面积≥4×10⁴ cm²/g,堆积密度为0.7~1.0 g/cm³,填料层高度为4.0 m。承托层采用天然卵石两种级配(8~16、16~32 mm)进行组合排列,厚度为100 mm。

② 反冲洗废水池

负责收纳反冲洗及放空废水,有效容积为380 m³,尺寸为9 m×7 m×7.5 m,池体内设有2台(1用1备)潜污泵,单泵流量为750 m³/h,扬程为0.1 MPa。

③ 滤板及滤头

采用混凝土结构,整体滤板设计。采用长柄滤头,设计数量为56个/m²。

④ 管廊间

主要布设硝化及反硝化滤池进出水管道、反冲洗进气管道、反冲洗废水排放管道、滤池曝气管道、滤池放空管道、检修人孔等和全部控制阀门,平面尺寸为42.5 m×9 m。管廊内设置了BAF池的反冲洗水泵,为干式离心泵,数量2台(1用1备),单泵流量为750 m³/h。所有硝化滤池所用的曝气鼓风机也都设置在管廊间。

⑤ 清水池

主要储存BAF池出水,尺寸为9 m×7 m×7.5 m,有效容积为410 m³。

⑥ 反冲洗水洗及气洗强度

4格反硝化滤池采用单格顺序反冲洗,水反洗强度为5 L/(m²·s),与硝化滤池共用反洗水泵;气反洗强度为14 L/(m²·s),与硝化滤池共用反洗鼓风机。

3.3 活性砂过滤工艺

连续流活性砂滤池是一种集絮凝、澄清、过滤功能为一体的过滤设备。目前国内外已经有很多应用

实例,效果良好、稳定。

本次连续流活性砂滤池为 5 组(20 套)并联,共分为 5 个独立的过滤单体,每个单体由 4 套过滤器组成。砂滤池采用钢筋混凝土结构。在每个过滤单体中设置 1 套空气控制柜,负责控制过滤单体内 4 套过滤器的空气反冲洗气量及气压。在现场,共设置了 5 套空气控制柜,并连接到 1 套电气控制柜,由其进行控制和配电,而且可与进水电动阀及药物投加装置进行联动。

① 活性砂滤池进、出水设计参数

本次升级改造项目,设计进水 $SS \leq 20 \text{ mg/L}$ 、 $TP \leq 1.0 \text{ mg/L}$,出水 $SS \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $TP \leq 0.5 \text{ mg/L}$ 。

② 活性砂滤池设计参数

活性砂滤池共包括 20 套连续流活性砂过滤设备。在进水处,设置机械混合池,采用渠道及管道进行配水。砂滤池出水进入出水渠,并由管道输送至已建接触消毒池进行消毒作业。房间内配有电动葫芦,方便设备维修。

为了使絮凝剂与污水充分混合,在活性砂滤池前端设置混合池 1 座,并配有不锈钢竖轴搅拌机,池体规格为 $1.4 \text{ m} \times 1.4 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}$ 。

活性砂滤池本体设计尺寸为 $27 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 。设备选型:活性砂过滤器 20 个,单套过滤面积为 6 m^2 ,有效滤床高度为 2 m ,平均过滤速度为 6.94 m/h ,反洗水量 $\leq 5\%$ 的进水量;空压机系统 2 套(1 用 1 备), $N = 22 \text{ kW}$,压缩空气储气罐 1 台,均设置在与滤池合建的空压机房内。过滤介质采用天然、均质、表面饱满、含硅石量高的天然优质石英砂 500 t ,有效粒径范围为 $1.2 \sim 2.0 \text{ mm}$;不均匀系数 < 1.5 。

③ 加药设备设计参数

在活性砂过滤设备的进水端加入絮凝剂(PAC 等)。

设备选型:溶药罐 1 台,有效容积为 0.7 m^3 ,搅拌机 1 套,功率为 0.37 kW ;储药罐 1 台,有效容积为 2.0 m^3 ;机械隔膜计量泵 2 台(1 用 1 备),流量为 150 L/h ,功率为 0.18 kW 。

3.4 碳源投加系统

商品乙酸钠药液密度为 1.05 kg/L ,投加浓度为 15% ,设计投加量为 53 L/h ,总用量约 $2.2 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

设计 2 台(1 用 1 备)计量泵,单泵流量为 80

L/h 。设计两座总容积为 25 m^3 的药液池,每座均配套桨叶式竖轴搅拌器。

4 处理效果及主要经济指标

本次升级改造项目占地约 0.4 hm^2 ,于 2014 年建设完成并投入运行,通过将近一年的运行调试,各部分设备运行良好,构筑物运行稳定。系统出水各项指标均已达到一级 A 标准,并全部补充至附近天然水体,环境效益明显。实际进、出水水质见表 2。

表 2 实际运行进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	二级处理后实际出水均值	BAF 池前端设计进水水质	活性砂滤池后端实际出水均值	一级 A 标准
COD	45	51	15	≤ 50
BOD ₅	13	15	2	≤ 10
SS	16	17	4	≤ 10
TN	35	48	14	≤ 15
NH ₃ -N	36	43	0.4	$\leq 5(8)$
TP	0.5	0.7	0.3	≤ 0.5

本次升级改造项目总投资约 $4\,800$ 万元,其中 BAF 池及活性砂过滤两个单元的投资约 $2\,800$ 万元,年处理量达 $730 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。项目单位处理成本为 $1.37 \text{ 元}/\text{m}^3$,单位经营成本为 $1.05 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

5 结论与建议

① 秦皇岛某污水厂升级改造项目实践表明,BAF 池及活性砂过滤工艺的串联使用,与普通活性污泥法和常规生物膜法相比具有效果明显、适应性强、运行稳定、费用低、占地省和操作灵活简单的特点。北京市约有 50% 的污水厂深度处理采用 BAF 工艺,由此可见其在深度处理中的重要性。此项目的实施,改善了秦皇岛地区的地表水环境质量,同时也响应国家政策,实现节能减排,控制和削减了污水对当地环境的污染。

② 在本项目中,BAF 池不但具有脱氮除磷和去除 SS 的功能,对 COD 也有一定的去除能力(约 $5\% \sim 10\%$)。

③ 适当增大 PAC 投加量,可以进一步降低出水 TP 和 SS。

④ N 型滤池和 DN 型滤池的组合,可根据进水水质的变化调整运行方式,可只进行 N 或 DN 段运行,既降低运行成本,又满足运行要求。

(下转第 67 页)