

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.16.018

# 深圳清泉CBM工艺处理低浓度城市生活污水

叶昌明, 彭金城, 伍波

(深圳市清水业股份有限公司, 广东 深圳 518116)

**摘要:** 广东汕尾某污水处理厂扩建规模为 $1\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,原水有机物浓度较低,采用深圳市清水业股份有限公司开发的“CBM工艺”——侧向流高效沉淀池(CBC模块)+曝气生物滤池(BAF模块)+多功能深床滤池(MDF模块),处理后出水水质优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,实际达到地表水Ⅳ类水质标准。该工艺充分发挥了高效沉淀和生物膜法碳化、硝化、反硝化效率高的优势,总停留时间为3.5 h,并能分步精准脱氮除磷,同时采用模块化标准件装备的实施模式,具有占地面积小(总占地 $800\text{ m}^2$ )、建设周期短(总工期90 d)、运行成本低(约 $0.216\text{ 元}/\text{m}^3$ )等优势。

**关键词:** 低浓度生活污水; CBM工艺; 模块化标准件

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)16-0106-04

## Low Concentration Municipal Sewage Treatment by CBM Process

YE Chang-ming, PENG Jin-cheng, WU Bo

(Shenzhen Qingquan Water Industry Co. Ltd., Shenzhen 518116, China)

**Abstract:** The expanding capacity of a sewage treatment plant in Shanwei, Guangdong Province is  $10\ 000\text{ m}^3/\text{d}$ , and the influent organic matter concentration is low. CBM process including lateral flow high-efficiency coagulation, flocculation and clarification tank (CBC module), biological aerated filter (BAF module), as well as multi-functional deep-bed filter (MDF module) developed by Shenzhen Qingquan Water Industry Co. Ltd. is used. The effluent quality is superior to the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002), actually meets level quasi-IV in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002). The process takes full advantage of high efficiency of precipitation and biofilm treatment with carbonization, nitrification and denitrification. The total retention time is 3.5 h, and it could precisely remove nitrogen and phosphorus step by step. At the same time, the project was implemented with standard modular equipment, which has the advantages of small land occupation (total area of  $800\text{ m}^2$ ), short construction period (total construction period of 90 days) and low operating cost (about  $0.216\text{ yuan}/\text{m}^3$ ).

**Key words:** low concentration domestic sewage; CBM process; standard modular equipment

### 1 工程概况

广东汕尾某污水处理厂处理规模为 $4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,原处理工艺为氧化沟,于2012年11月投产运行。随着城市的快速发展,污水处理厂进水量剧增,该项目现

有污水处理系统已满负荷运行,新增的污水已不能进入现有系统进行处理。现有预处理设施(旋流沉砂池)已超负荷,为了解决沉砂池溢流水问题,按业主要求,分别扩建了两套处理规模为 $1\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的

污水处理系统,其中一套采用A<sup>2</sup>O+MBR工艺,另一套采用深圳市清水业股份有限公司的CBM组合工艺,根据实际情况,该项目需短时间内在占地受限的厂内空地上建设完成,属于该污水处理厂的应急处理工程。

## 2 处理工艺

由于南方人均用水量及降雨量都较北方大,且排水系统多为合流制,导致南方和北方的生活污水水质也存在差异<sup>[1]</sup>。该项目污水属于典型南方城市特有的低浓度生活污水,有机物浓度低,碳氮比相对较低。设计进水水质:COD≤150 mg/L, BOD<sub>5</sub>≤75 mg/L, SS≤100 mg/L, NH<sub>3</sub>-N≤15 mg/L, TN≤25 mg/L, TP≤3 mg/L;处理后出水水质需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。若采用传统的活性污泥工艺,处理效率较低,且易发生污泥膨胀。

针对原水浓度低、可生化性较好的特点,且考虑到厂内用地非常紧张,确定采用深圳市清水业股份有限公司开发的“CBM工艺”——侧向流高效沉淀池(CBC模块)+曝气生物滤池(BAF模块)+多功能深床滤池(MDF模块),主要工艺流程见图1。

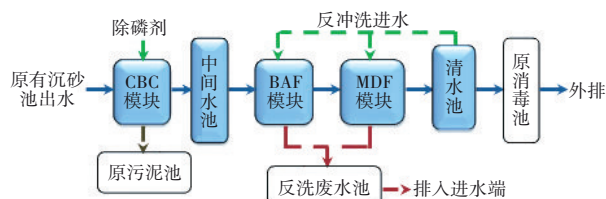


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

原有沉砂池出水自流进入CBC模块,通过微絮凝加药混凝并高效沉淀后,大部分TP、SS被去除,CBC模块出水到中间水池,经水量调节后提升至BAF模块,通过鼓风曝气保持充分好氧状态,使滤层表面附着高浓度的生物膜,有效去除污水中的COD与NH<sub>3</sub>-N,BAF模块出水自流到MDF模块,通过补充碳源进行反硝化脱氮及过滤澄清进一步去除SS,出水经消毒后达标排放。

该工艺利用CBC除磷并去除部分COD和SS、利用BAF去除COD和氨氮、利用MDF去除总氮和SS,充分发挥高效沉淀池和生物膜法碳化、硝化、反硝化效率高的优势,停留时间短,并能分步精准脱氮除磷,从而保证出水达标。另一个特色之处在于各

工艺单元均采用钢制模块化标准件装备,具有工厂预制、现场装配、占地面积小、布置紧凑、安装工期短等优点。采用Sa2.5级除锈和远洋船舶级的涂装防腐,设备使用寿命长。

## 3 主要工艺单元设计参数

### 3.1 侧向流高效沉淀池(CBC模块)

侧向流高效沉淀池是基于“浅池理论”开发的具有高效沉淀功能的沉淀池,其模块主要包含混合、絮凝及沉淀区,通过投加除磷剂进行化学除磷,沉砂池出水经絮凝反应后以侧向流的方式进入“人”字型斜板沉淀区,泥水混合物与斜板接触后迅速完成泥水分离,污泥快速沉降到泥斗,出水水平进入出水区。

CBC钢制模块化装备共4组,单组设计处理水量为104.2 m<sup>3</sup>/h,规格为12 m×3 m×3 m(有效水深为2.7 m),有效停留时间为35 min。“人”字形斜板间距为60 mm,有效过水面积为30 m<sup>2</sup>,沉淀表面负荷为4.1 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。主要设备:搅拌机2台,N=4 kW,直径Ø800 mm,轴长2.3 m;斜板60 m<sup>3</sup>。

### 3.2 中间提升泵房

中间提升泵房用于调节水量并提升工艺高程,采用模块化钢制结构,规格为7 m×3 m×3 m,1组,主要设备为潜污泵3台,2用1备,Q=400 m<sup>3</sup>/h,H=100 kPa,N=22 kW。

### 3.3 曝气生物滤池(BAF模块)

采用上向流曝气生物滤池,滤池内填装的火山岩滤料具有巨大的比表面积,其表面可生长高浓度、高活性的微生物膜,能够承受较高的有机污染负荷,具有氧化降解和吸附过滤水中污染物的功能,同时起碳化和硝化的作用,能去除大部分COD和氨氮。BAF采用专门设计的中阻力配水、大阻力配气,且兼有曝气空气扩散作用的多功能滤管替代传统的小阻力滤头滤板配水配气结构,可避免滤池堵塞而影响出水水质。

选用钢制BAF模块化标准件装备共8组,单组尺寸8 m×3.0 m×4.5 m,设计流量52 m<sup>3</sup>/h,停留时间83 min,火山岩滤料粒径2~4 mm,填装高度3 m,硝化负荷0.2 kgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/(m<sup>3</sup>·d),过滤周期≥36 h,冲洗水耗≤1.5%(产水量),水洗强度为9 L/(m<sup>2</sup>·s),气洗强度为14 L/(m<sup>2</sup>·s)。主要设备:曝气风机5台,4用1备,Q=8.33 m<sup>3</sup>/min,P=0.06 MPa,N=15 kW;反洗风

机3台,2用1备, $Q=18.5\text{ m}^3/\text{min}$ , $P=0.05\text{ MPa}$ , $N=22\text{ kW}$ ;火山岩滤料 $580\text{ m}^3$ ,承托层 $60\text{ m}^3$ 。

### 3.4 多功能深床滤池(MDF模块)

采用上向流反硝化深床滤池,滤料级配是大颗粒滤料在底层,小颗粒滤料在上层,含有一定浊度的污水由纳污量大的滤层下部流入滤料层而由空隙较小的上部滤层流出,提高了滤料层的截污能力,延长了反洗周期,可去除SS且出水水质较好。采用下进水、上出水的反向过滤形式,更有利于营造反硝化微生物缺氧的生长环境,有利于脱氮,并无需驱氮装置。上向流过滤可有效降低碳源的消耗量,且反硝化系统的碳源投加量通过在线仪表监测进水量及进水硝酸盐的浓度进行调整,控制方式以前反馈复合环路控制为主,实现反硝化的高效及稳定运行<sup>[2]</sup>。

选用钢制MDF模块化标准件装备共4组,单组尺寸 $8\text{ m}\times 3.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ ,设计流量 $104.2\text{ m}^3/\text{h}$ ,停留时间 $24\text{ min}$ 。采用石英砂滤料,粒径 $0.8\sim 2\text{ mm}$ ,填装高度 $1.8\text{ m}$ ,容积 $175\text{ m}^3$ ,承托层 $30\text{ m}^3$ ,过滤周期 $36\sim 72\text{ h}$ ,冲洗水耗 $\leq 1.5\%$ (产水量),与BAF滤池共用反洗系统。

### 3.5 清水池

采用模块化钢制结构,规格为 $8\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3\text{ m}$ ,主要设备为潜污泵3台,2用1备, $Q=500\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=100\text{ kPa}$ , $N=18.5\text{ kW}$ ,提供BAF及MDF的反冲洗用水。

### 3.6 动力设备间

采用模块化钢制结构,规格为 $6.5\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3\text{ m}$ ,放置动力系统及加药系统。主要设备:空压机2台, $Q=1\text{ m}^3/\text{min}$ , $P=0.8\text{ MPa}$ , $N=7.5\text{ kW}$ ;冷干机、储气罐、空气过滤器各1台;碳源加药系统及除磷剂加药系统各1套。

## 4 运行效果

该污水处理厂扩建工程于2018年7月开工,建设工期3个月,调试<sup>[3]</sup>1个月出水达标。2020年10月16日—12月20日对进、出水水质进行连续监测,其平均值见表1。由表1可以看出,扩建工程采用CBM组合处理工艺,全部出水水质优于一级A标准,平均值达到了地表准Ⅳ类水质标准。此外,该工程无需外加碳源,出水TN达标排放,主要是因为BAF装置存在同步硝化反硝化功能,TN去除率能够达到 $10\%\sim 20\%$ ,MDF标准件TN去除率为 $10\%\sim$

20%。

表1 污水处理实际运行效果

Tab.1 Actual operation effect of sewage treatment

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

项目	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP	SS
进水	121.4	14.4	17.4	2.5	115
出水	18.6	0.35	11.2	0.28	6
一级A标准	$\leq 50$	$\leq 5(8)$	$\leq 15$	$\leq 0.5$	$\leq 10$

注:对COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP、SS的去除率分别为84.7%、97.6%、35.6%、88.8%、94.8%。

## 5 经济分析

该项目总投资约1500万元,吨水投资约1500元/ $\text{m}^3$ 。厂内设备装机功率 $264.5\text{ kW}$ ,运行功率 $92.8\text{ kW}$ ,电耗成本为 $0.122\text{ 元}/\text{m}^3$ ;除磷剂采用液态聚合硫酸铝铁,全年投加除磷剂平均值 $90\text{ mg/L}$ ,除磷剂费用约 $0.07\text{ 元}/\text{m}^3$ ;采用10%次氯酸钠消毒,费用约 $0.024\text{ 元}/\text{m}^3$ ,总运行成本约 $0.216\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

## 6 工艺比较

该污水处理厂共有3种处理工艺,进水水质相同,原有工艺为氧化沟,扩建工程分别采用 $\text{A}^2\text{O}+\text{MBR}$ 工艺和CBM组合工艺,这3种工艺实际运用中存在较大差异,具体如表2所示。

表2 汕尾某污水处理厂3种应用工艺的比较

Tab.2 Comparison of three applied processes in a sewage treatment plant in Shanwei

工艺	出水标准	停留时间/h	占地面积/ ( $\text{m}^2\cdot 10^4\text{ m}^{-3}$ )	运维成本	投资造价
氧化沟	一级B	16	1 600	低	低
$\text{A}^2\text{O}+\text{MBR}$	一级A	12	1 300	高	高
CBM	一级A	3.5	800	最低	最低

由表2不难发现,CBM工艺停留时间最短,占地面积最小,运维成本最低,投资造价最低。由于CBM以生物膜技术为主体工艺,其中曝气生物滤池(BAF)和多功能深床滤池(MDF)均属于生物膜技术<sup>[4-5]</sup>,脱氮效率高,占地面积仅为普通活性污泥法的 $1/10\sim 1/5$ ;同时CBM工艺为全自动控制,管理简便,因采用钢制模块化装备,土建费用少,总投资较低。相比于氧化沟工艺,CBM工艺占地面积节约50%以上,对占地紧张的项目优势明显,这为低浓度城市生活污水处理厂新建或扩建工程积累了实践经验。

## 7 结论

① CBM工艺适用于处理低浓度生活污水(COD不超过200 mg/L),采用该技术可有效去除COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP、SS等污染物,出水水质优于一级A标准,实际达到了地表水准Ⅳ类标准。

② 相较于氧化沟、A<sup>2</sup>O+MBR工艺,该污水处理厂扩建工程CBM工艺总停留时间为3.5 h,占地约800 m<sup>2</sup>,对占地紧张的项目具有显著优势。

③ 该污水处理厂扩建工程采用CBM模块化标准件装备的实施模式,工期90 d,在节省占地的同时,建设工期短,可满足移动式、见效快的需求,对于应急处理工程优势明显。

④ 该污水处理厂扩建工程总投资约1 500万元,吨水投资约1 500元/m<sup>3</sup>,与MBR、氧化沟等工艺相比,投资成本大幅降低。

⑤ 该污水处理厂扩建工程采用先进的自动化控制技术,配置监测仪表及自适应投药系统,降低了人工劳动强度及原材料药耗,总运行成本约0.216元/m<sup>3</sup>。

综上,对于低浓度的城市生活污水,CBM处理工艺具有出水水质优、占地省、工期短、投资及运行成本低等优点,值得推广,对占地紧张的应急处理项目表现尤为突出。

## 参考文献:

- [1] 马鲁铭,王云龙,刘志刚,等. 南方农村生活污水处理目标及工艺模式探讨[J]. 中国环境科学, 2013, 33(1):118-122.
- MA Luming, WANG Yunlong, LIU Zhigang, *et al.* Discussion on objective of rural domestic wastewater treatment and technology system in southern China [J]. China Environmental Science, 2013, 33(1):118-122(in

Chinese).

- [2] 王子杰,王郑,林子增,等. 反硝化生物滤池在污水处理中的应用研究进展[J]. 应用化工, 2018, 47(8):1727-1731.
- WANG Zijie, WANG Zheng, LIN Zizeng, *et al.* Research progress on application of denitrification biological filter in sewage treatment [J]. Applied Chemical Industry, 2018, 47(8):1727-1731 (in Chinese).
- [3] 罗国强,侯巧玲,尉国红,等. 低浓度生活污水处理工艺调试运行[J]. 环境工程, 2010, 28(4):4-5.
- LUO Guoqiang, HOU Qiaoling, WEI Guohong, *et al.* Debugging and operation of low concentration domestic sewage [J]. Environmental Engineering, 2010, 28(4):4-5(in Chinese).
- [4] 葛玫,许新灵. 污水处理厂反硝化深床滤池的比较与应用[J]. 浙江化工, 2017, 48(6):36-38.
- GE Mei, XU Xinling. Comparison and application of denitrification deep-bed filter in sewage treatment plant [J]. Zhejiang Chemical Industry, 2017, 48(6):36-38 (in Chinese).
- [5] 王立立,刘焕彬,胡勇有,等. 曝气生物滤池处理低浓度生活污水的研究[J]. 工业水处理, 2003, 23(3):29-32.
- WANG Lili, LIU Huanbin, HU Yongyou, *et al.* Study of the application of biological aeration filter to the low concentration domestic sewage treatment [J]. Industrial Water Treatment, 2003, 23(3):29-32(in Chinese).

作者简介:叶昌明(1964- ),男,浙江温岭人,硕士,高级工程师,主要从事水处理研究与应用工作。

E-mail:390928402@qq.com

收稿日期:2020-07-14

修回日期:2020-12-30

(编辑:衣春敏)