

AO生物膜-MBR-炭滤用于煤矿生活污水处理工程改造

李国东

(煤炭工业太原设计研究院, 山西 太原 030001)

摘要: 朔州市某煤矿生活污水具有有机污染物浓度低、水质水量变化较大、生化条件较差等特点,采用AO生物膜+MBR+活性炭过滤工艺对其进行处理,出水水质满足回用于冲厕、绿化、选煤厂生产用水及地面洒水水质要求,生活污水全部资源化利用,实现了零排放,满足环保要求。详细介绍了煤矿生活污水处理工程改造的工艺选择、工艺流程、主要构筑物设计参数等,可为类似小规模煤矿生活污水处理工程设计提供借鉴。

关键词: AO生物膜; 膜生物反应器; 活性炭过滤; 生活污水

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)16-0106-05

Application of AO Biofilm, MBR, and Activated Carbon Filtration Process in Coal Mine Domestic Sewage Reconstruction Project

LI Guo-dong

(Taiyuan Design Research Institute for Coal Industry, Taiyuan 030001, China)

Abstract: The domestic sewage from a coal mine in Shuozhou was characterized by low concentration of organic pollutants, large variation of water quality and quantity, and poor biochemical conditions, etc.. A combined treatment process including AO biofilm, MBR, activated carbon filtration was used to treat it. The quality of effluent could meet the requirements of flushing, greening, coal separating plant production water and ground sprinkling. Domestic sewage was fully recycled, which could achieve zero discharge and meet the requirements of environmental protection. The process selection, process flow and design parameters of main structures for coal mine domestic sewage reconstruction design were introduced, which could provide reference for similar small-scale coal mine domestic sewage treatment.

Key words: AO biofilm; membrane bioreactor (MBR); activated carbon filtration; domestic sewage

煤矿生活污水主要来自矿工生活区、职工食堂、浴室、单身宿舍及办公场所排水等,且职工洗浴污水占相当大比重(约70%~80%),其具有有机污染物浓度低、水质水量变化较大、可生化条件较差的水质特点。某煤矿位于山西省朔州市北部13 km处的陶村,生活污水产生量约400 m³/d,主要为办公楼、食堂和洗浴等产生的污水,具有煤矿生活污水水质的一般性特点。随着环保政策日趋严格,该矿生活污水需处理后全部回用(不得外排),原有生活污水处

理设施已不能满足回用对其出水水质要求,因此需对其升级改造并提高出水水质。

1 生活污水处理站现状

1.1 原有工艺流程

原有生活污水处理站设计处理能力为480 m³/d,采用10 mm机械格栅+调节池+初沉池+好氧池+二沉池+二氧化氯消毒的处理工艺,设计出水水质执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)二级排放标准。原有生活污水处理工艺流程见图1。

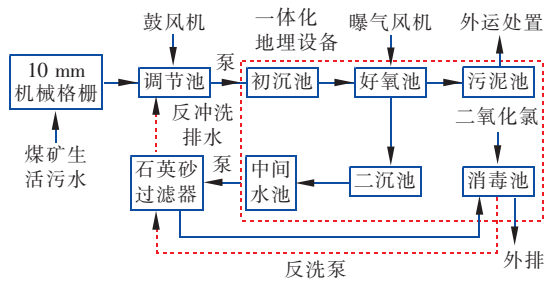


图 1 原有生活污水处理工艺流程

Fig. 1 Wastewater treatment process before renovation

1.2 存在的问题

原有生活污水站存在的主要问题:

- ① 初沉池、好氧池、二沉池、消毒池为地理式一体化污水处理设备,已使用近 10 年,设备主体结构破损,渗漏严重,接近报废;
- ② 利用盐酸和氯酸钠化学反应生成的二氧化氯进行消毒,由于盐酸属于严格管控物资,不易购买,原有消毒设施没有运行;
- ③ 调节池有效调节容积为 80 m³,偏小,不能

满足矿工集中洗浴排水时的水量调节需求;

④ 生活污水处理后大部分外排,不符合生活污水应全部回用不外排的环保要求;

⑤ 根据用水需求,矿方规划将生活污水处理后回用于冲厕、绿化、选煤厂生产用水及地面洒水,现有处理工艺的出水水质不能满足回用水质要求以及《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准,故需提标改造。

2 设计规模及进、出水水质

生活污水站升级改造规模为 480 m³/d。通过对现有生活污水站进水水质化验分析,并参照同类煤矿生活污水水质资料以确定设计进水水质(见表 1);生活污水经处理后回用于冲厕、绿化、选煤厂生产用水及地面洒水等,不外排。设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级 A 标准、《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)中道路清扫、绿化、冲厕、洗车用水水质要求的最高指标。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项目	pH 值	COD/(mg · L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg · L ⁻¹)	SS/(mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N/(mg · L ⁻¹)	TN/(mg · L ⁻¹)	TP/(mg · L ⁻¹)	阴离子表面活性剂/(mg · L ⁻¹)	溶解性总固体/(mg · L ⁻¹)	色度/倍	浊度/NTU	总大肠菌群/(个 · L ⁻¹)
实际原水水质	7.55	109	35.3	32	25	34	2.93	3.63	600	50	40	—
设计进水水质	7.55	150	100	100	30	45	3	4	600	50	40	—
设计出水水质	6~9	50	10	10	5	15	0.5	0.5	1 000	30	5	3

3 处理工艺选择

采用 AO 生物膜 + MBR + 活性炭过滤作为该生活污水升级改造项目的处理工艺,工艺流程见图 2。

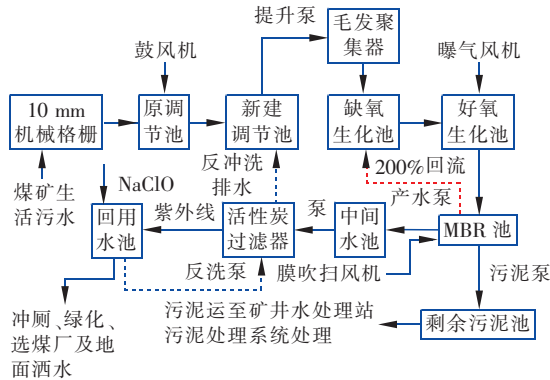


图 2 改造后的工艺流程

Fig. 2 Flow chart of wastewater treatment process after renovation

① 调节池

由于该煤矿生活污水 80% 左右为洗浴排水,洗浴排水具有集中性、间歇性、水量大的特点,为了调节水量水质和合理设计水处理设施规模,保证水处理构筑物运行的连续性、稳定性,需增加调节池的有效调节容积。

② 生化处理工艺选择

AO 生物膜兼有生物膜法和活性污泥法二者之长,其是在活性污泥工艺的反应池装设组合填料,反应池内的生物量由悬浮态污泥和附着态生物膜组成,大幅提高了反应池内生物量,有利于生长缓慢的硝化菌的生长聚集,增加了系统耐冲击负荷能力和除污效率,减少污泥产量,不产生污泥膨胀,较适用于现有污水厂的提标改造^[1]。AO 生物膜工艺同时具有缺氧段、好氧段微生物相互独立,各自始终处于最佳生态环境中,不受厌氧、好氧环境交替的抑制作用,缺氧段污水中的有机物可直接作为碳源被反硝化细菌利用,达到同步去除 COD 和脱氮目的。另

外,采用组合填料作为生化反应池内微生物生长载体,由于组合填料比表面积较大,反应池中大量生物体附着在填料上,而悬浮在池内的生物量并不很高,工艺脱碳、硝化效果好,硝化段的出水SS较低,可不设污泥回流^[2]。膜生物反应器(MBR)的过滤作用使微生物完全被截留在反应器中,实现了水力停留时间和污泥龄的彻底分离,系统污泥浓度是传统活性污泥法的2~3倍,使生物反应器保持较高硝化能力和污染物去除效率,对强化和稳定出水水质有重要作用,同时大大减小了生化池的池容;MBR膜池取代传统二沉淀,缩短了处理流程,减少了土建工程量和投资。因此AO生物膜-MBR工艺具有有机负荷率高、处理效率高、出水水质好、反应器容积小、占地面积少等优点。进一步研究表明,低温、低碳源是影响煤矿污水处理脱氮稳定达标的因素,对于AO生物膜-MBR工艺可以保证如硝化菌等生长缓慢的微生物在系统中截留、富集,强化系统脱氮效果,同时具有污泥产量少、污泥颗粒较大、易于泥水分离、污泥处理费用相对较低的优点^[3-5]。综上所述,结合该项目进、出水水质特点和改造用地面积紧张的实际情况,设计采用AO-MBR作为本项目生化处理工艺。

③ 深度处理工艺

活性炭作为一种多孔物质,比表面积大,能够迅速吸附前级水处理设施泄漏出来的小分子有机物等污染性物质,对水中异味、胶体及色素、重金属离子等有较明显的吸附去除作用,同时还可去除溶解性COD。另外,活性炭表面通常有各种高低不同的凸起,可为微生物提供适宜的附着点,长时间运行后活性炭表面会附着微生物,以生物活性炭的形式实现对污水的深度处理。研究表明,单纯活性炭吸附工艺可降低生化出水的COD,进一步提高出水水质^[6]。

④ 消毒

紫外线消毒属于纯物理消毒方法,具有简单便捷、广谱高效、无二次污染、便于管理和实现自动化等优点,常用于生活饮用水消毒,但其不具有持续消毒能力。次氯酸钠是一种高效、广谱、安全的强力灭菌消毒药剂,它与水亲和性好,能与水以任意比互溶,易购置储存,操作安全方便,可在各种环境及工作状况下投加,可替代二氧化氯作为小规模煤矿生活污水处理的消毒药剂。本项目出水回用于冲刷、

绿化、选煤厂生产用水及地面洒水等,采用紫外线和次氯酸钠两级消毒以保障消毒效果和持续消毒能力。

⑤ 污泥处置

剩余污泥排至剩余污泥池。由于本项目产生的剩余污泥较少,设计将剩余污泥运至矿井水处理站,依托矿井水污泥处理系统对其进行脱水处置。

4 主要建(构)筑物改造设计

4.1 调节池

利用原调节池及原有10 mm机械格栅,新建1座有效调节容积为220 m³的全地下式钢筋混凝土结构调节池,与原调节池串联使用,改造后调节池总有效调节时间为15 h。在新建调节池设1台4 kW潜水搅拌机以防止SS沉降;设2台潜污泵($Q=20$ m³/h, $H=100$ kPa, $N=2.2$ kW, 1用1备)提升污水后依次进入毛发聚集器和生化处理系统。毛发聚集器完成对粒径>1 mm颗粒物的去除,对MBR膜起到保护作用。

4.2 组合池

设组合池1座,钢筋混凝土结构,包括:缺氧池、好氧池、MBR膜池、中间水池、污泥池、离线化学清洗池、泵坑。

① 缺氧池。有效容积为80 m³, HRT=4 h,反硝化容积负荷为 $0.36 \text{ kgNO}_x^- - \text{N}/(\text{m}^3 \text{ 填料} \cdot \text{d})$,缺氧池悬挂纤维束组合填料,填充率为50%。纤维束组合填料具有比表面积较大、阻力小,布水、布气性能好,易挂膜和流化、不易阻塞、使用寿命长等特点^[7]。缺氧池内设1台2.2 kW潜水搅拌机用于污水混合。

② 好氧池。有效容积为144 m³, HRT=7.2 h,好氧池组合填料填充率为60%, BOD₅容积负荷 $0.50 \text{ kg}/(\text{m}^3 \text{ 填料} \cdot \text{d})$ 。在填料下方设DN65微孔曝气软管曝气,充氧能力为 $0.147 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h})$,氧利用率为15%,服务面积为 $0.5 \text{ m}^2/\text{m}$ 。运行过程中生物膜受上升气流搅动,一方面可为生物膜曝气供氧,另一方面可控制生物膜再生。根据微生物生长情况,可通过变频措施调节曝气量大小,控制生物膜更新速度,使其保持较高活性。曝气风机2台(1用1备), $Q=3.46 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=49 \text{ kPa}$, $N=7.5 \text{ kW}$,变频控制。

③ MBR池。尺寸为 $3.5 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$, HRT=3 h,设2组膜组器,每个膜组器选用40帘截

留孔径为 $0.03\ \mu\text{m}$ 中空纤维膜,单帘有效膜面积为 $20\ \text{m}^2$,设计产水通量为 $12.5\ \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。膜吹扫风机 2 台(1 用 1 备), $Q = 6.05\ \text{m}^3/\text{min}$, $P = 49.0\ \text{kPa}$, $N = 11\ \text{kW}$ (变频)。

④ MBR 膜离线清洗池。1 座,尺寸为 $1.8\ \text{m} \times 3.5\ \text{m} \times 3.0\ \text{m}$;中间水池 1 座,尺寸为 $2.05\ \text{m} \times 3.075\ \text{m} \times 3.6\ \text{m}$,主要收集 MBR 系统产水;污泥池 1 座,主要储存剩余污泥,尺寸为 $2.05\ \text{m} \times 3.075\ \text{m} \times 3.6\ \text{m}$;污泥池设排泥泵 1 台。设泵坑 1 座,尺寸为 $2.9\ \text{m} \times 4.2\ \text{m} \times 3.0\ \text{m}$,泵坑设 MBR 产水/反洗泵、硝化液回流泵、活性炭过滤提升泵。MBR 产水泵和反洗泵共用,MBR 出水进入中间水池,反洗自中间水池取水。MBR 产水/反洗泵 2 台(1 用 1 备), $Q = 38.5\ \text{m}^3/\text{h}$, $H = 200\ \text{kPa}$, $N = 3\ \text{kW}$,采用恒流量变频控制。MBR 系统采用自动化控制运行,程序设计抽 8 min、停 2 min 自动运行,120 个制水周期水反洗一次。过滤提升泵 2 台(1 用 1 备), $Q = 21.6\ \text{m}^3/\text{h}$, $H = 220\ \text{kPa}$, $N = 3\ \text{kW}$,其自中间水池取水经提升依次通过活性炭过滤和消毒后进入回用水池。硝化液回流比为 200%,设硝化液回流泵 2 台(1 用 1 备), $Q = 40\ \text{m}^3/\text{h}$, $H = 100\ \text{kPa}$, $N = 2.2\ \text{kW}$ 。硝化液回流泵兼作剩余污泥泵,当系统剩余污泥较多时,可将剩余污泥排至污泥池。

4.3 MBR 设备间

MBR 设备间 1 座,平面尺寸为 $9.92\ \text{m} \times 7.3\ \text{m}$,轻钢结构,设 MBR 化学清洗装置、化学加药装置、值班控制室、配电室。设计进水 $\text{BOD}_5/\text{TN} = 2.22$,进水 BOD_5 不能满足脱氮需求,设乙酸钠碳源投加装

置 1 套,可根据运行需要调节乙酸钠投加量。设化学除磷装置 1 套,PAC(Al_2O_3 含量为 27%)投加量为 $14\ \text{mg}/\text{L}$ 。

4.4 原有生活污水处理车间

在原生活污水处理车间设曝气风机、膜吹扫风机、机械格栅、紫外线消毒装置、活性炭过滤器、次氯酸钠消毒装置。将原直径为 $1.8\ \text{m}$ 的石英砂过滤器改造为活性炭过滤器,滤速为 $7.86\ \text{m}/\text{h}$,反冲洗水洗强度为 $10\ \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,颗粒活性炭粒径为 $0.6 \sim 1.2\ \text{mm}$,碘吸附值 $> 1\ 000\ \text{mg}/\text{g}$,滤料厚度为 $1.8\ \text{m}$ 。设 1 套管道式紫外线消毒器,处理水量为 $20\ \text{m}^3/\text{h}$;次氯酸钠消毒装置 1 套,次氯酸钠投加量为 $4\ \text{mg}/\text{L}$ (以有效氯计)。

4.5 回用水池

回用水池有效容积为 $300\ \text{m}^3$,设回用水泵 2 台(1 用 1 备), $Q = 50\ \text{m}^3/\text{h}$, $H = 460\ \text{kPa}$, $N = 11\ \text{kW}$ 。活性炭过滤反洗水泵 2 台(1 用 1 备), $Q = 90\ \text{m}^3/\text{h}$, $H = 200\ \text{kPa}$, $N = 15\ \text{kW}$ 。

5 运行效果和经济分析

该项目于 2017 年 8 月开工建设,2017 年 12 月竣工,调试期进水量为 $360\ \text{m}^3/\text{h}$,满足设计进水负荷要求,调试期正好处于北方寒冷冬季,但由于生活污水中洗浴水量较大,系统调试运行期间在室外温度为 $-30\ ^\circ\text{C}$ 的条件下生化池没有出现结冰情况;调试 1 个月后,组合填料上微生物挂膜良好,委托当地环境保护监测机构连续 5 天对该项目进、出水水质进行了监测,出水水质达到或优于设计值,具体如表 2 所示。

表 2 煤矿生活污水处理效果

Tab.2 Effect of domestic sewage treatment in coal mine

项目	pH 值	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD_5 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3 - \text{N}$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	阴离子表面 活性剂/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	溶解性总 固体/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	色度/ 倍	浊度/ NTU	总大肠菌群/ ($\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$)
监测平均进水水质	8.06	165	75	56	15.8	24.1	2.6	3.8	550	50	15	36
监测平均出水水质	7.69	25	6	3	1.1	1.6	0.4	0.4	550	18	1	2
设计出水水质	6~9	50	10	10	5	15	0.5	0.5	1 000	30	5	3

该工程总投资为 340.4 万元,其中土建工程投资为 143.7 万元,设备及其他投资为 196.7 万元。运行成本为 $1.19\ \text{元}/\text{m}^3$,其中燃料动力费为 $0.54\ \text{元}/\text{m}^3$,药剂费为 $0.11\ \text{元}/\text{m}^3$,工资福利费为 $0.41\ \text{元}/\text{m}^3$ (定员 3 人,每人工资及福利费为 24 000 元/月计),活性炭填料每年更换 1 次,更换费用为 $0.13\ \text{元}/\text{m}^3$ 。

6 结论

采用 AO 生物膜 + MBR + 活性炭过滤作为朔州某煤矿生活污水改造项目的主体处理工艺,该工艺具有流程短、处理效率高、反应器容积小、占地面积小的特点,出水水质满足或优于设计出水水质要求。该改造工程的成功实施,可为类似小规模煤矿生活污水处理设计和生活污水资源化利用积累经验 and 提

供借鉴。

参考文献:

- [1] Fouad M, Bhargava R. Mathematical model for the biofilm activated sludge reactor [J]. J Environ Eng, 2005, 131(4): 557-562.
- [2] 成志强. 生物接触氧化法处理煤矿生活污水的工艺探讨[J]. 煤矿环境保护, 2000, 14(1): 53-57.
Cheng Zhiqiang. Research on design of biology oxidation process to treat domestic sewage from colliery [J]. Coal Mine Environmental Protection, 2000, 14(1): 53-57 (in Chinese).
- [3] 申世峰, 陈立, 郭兴芳, 等. A/O-MBR 工艺处理低碳源污水中试研究[J]. 给水排水, 2011, 37(11): 128-131.
Shen Shifeng, Chen Li, Guo Xingfang, et al. Pilot study on A/O-MBR for low carbon source wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(11): 128-131 (in Chinese).
- [4] 申世峰, 郭兴芳, 陈立, 等. A/O-MBR 工艺效果及膜污染特性研究[J]. 给水排水, 2013, 39(6): 66-69.
Shen Shifeng, Guo Xingfang, Chen Li, et al. Research on A/O-MBR process effect and membrane fouling [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(6): 66-69 (in Chinese).
- [5] 潘懿, 吴志超, 田陆梅, 等. A/O-MBR 处理城市污水中试研究[J]. 水处理技术, 2009, 35(1): 100-103.
Pan Yi, Wu Zhichao, Tian Lumei, et al. Study on pilot-scale A/O-MBR for municipal wastewater treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2009, 35(1): 100-103 (in Chinese).
- [6] 李静, 李征, 张彦平, 等. A/O-MBR 臭氧活性炭工艺处理混合污水的试验研究[J]. 河北工业大学学报, 2014, 43(5): 85-88.
Li Jing, Li Zheng, Zhang Yanping, et al. Disposal of mixed wastewater using A/O-MBR ozonation-activated carbon process [J]. Journal of Hebei University of Technology, 2014, 43(5): 85-88 (in Chinese).
- [7] 王国威, 蒋进元, 周岳溪, 等. 组合填料 A/O 工艺处理有毒难降解腈纶废水的研究[J]. 水处理技术, 2011, 37(7): 116-119.
Wang Guowei, Jiang Jinyuan, Zhou Yuexi, et al. Study the effect on treatment of acrylic fibers wastewater by combined filler membrane A/O process [J]. Technology of Water Treatment, 2011, 37(7): 116-119 (in Chinese).



作者简介: 李国东(1984-), 男, 山西运城人, 硕士, 工程师, 主要从事煤矿排水及生活污水处理等方面的设计研究工作。

E-mail: lgd20031609@163.com

收稿日期: 2018-04-16

大力推进水利薄弱环节建设,
提高防灾减灾能力