

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.24.014

## Fenton + BAF 工艺用于生活垃圾渗滤液深度处理改造

党康飞, 张佳欢, 代鑫, 王洪磊, 徐晓静, 韩璐, 周永刚  
(中国电子工程设计院有限公司 河南分公司, 河南 郑州 450006)

**摘要:** “生化+膜处理”工艺是常用的垃圾渗滤液处理工艺,能够稳定降解渗滤液中的污染物,但存在着膜的使用寿命短、产生的浓缩液较难处理等问题。某老龄化垃圾填埋场现状采用“纳滤+反渗透”渗滤液深度处理工艺,出水 COD 为 124 mg/L,未达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)的排放限值,为此设计采用“高级氧化(Fenton)+曝气生物滤池(BAF)”深度处理工艺,与现状深度处理工艺相比,反应迅速,不产生浓缩液,无二次污染,出水水质达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)的排放限值。

**关键词:** 垃圾渗滤液; 深度处理; 膜处理; 高级氧化技术

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)24-0078-04

## Application of Fenton/BAF Process in Reconstruction of Advanced Treatment of Landfill Leachate

DANG Kang-fei, ZHANG Jia-huan, DAI Xin, WANG Hong-lei, XU Xiao-jing,  
HAN Lu, ZHOU Yong-gang

(Henan Branch, China Electronic Engineering Design Institute Co. Ltd., Zhengzhou 450006, China)

**Abstract:** The combined process of biochemical technology and membrane treatment is a common landfill leachate treatment process, which can stably degrade the pollutants in the leachate. However, the process has the problems such as short service life of the membrane and difficulty in the treatment of the concentrated solution. The existing advanced treatment process of an aging landfill is nanofiltration-reverse osmosis. The COD in the effluent was 124 mg/L and did not meet the limitation of *Standard for Pollution Control on the Landfill Site of Municipal Solid Waste* (GB 16889 - 2008). Therefore, the advanced treatment process of Fenton + aerated biological filter (BAF) was adopted. Compared with the current advanced treatment process, the new process has the advantages of rapid reaction, no production of concentrated solution and no secondary pollution. The effluent quality meets the limitation of *Standard for Pollution Control on the Landfill Site of Municipal Solid Waste* (GB 16889 - 2008).

**Key words:** landfill leachate; advanced treatment; membrane treatment; advanced oxidation technology

垃圾渗滤液的处理方法主要有“生化+膜处理”“生化+高级氧化”等。“生化+膜处理”工艺可

以很好地解决出水水质不达标的问题<sup>[1]</sup>,但存在着膜设备投资成本高、膜易污染、产生大量浓缩液、浓

缩液需二次处理<sup>[2]</sup>等问题。“生化 + 高级氧化”工艺因具有不产生浓缩液、无二次污染、投资及运行成本低等优点而逐渐被工业化应用。常用高级氧化技术有光化学氧化、Fenton 氧化、电化学氧化等<sup>[3]</sup>。其中,Fenton 氧化法具有操作简单、试剂来源广泛、处理效果较好等特点,在渗滤液处理中被广泛应用。

某老龄化填埋场垃圾渗滤液处理工程已运行 9 年,现状采用“生化 + 膜处理”工艺,深度处理采用纳滤 + 反渗透工艺,出水水质达不到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)的排放限值,为此,改造工程深度处理采用高级氧化 + BAF 工艺。

1 工程概况及存在问题

1.1 现状工艺流程

现状垃圾填埋场配套的渗滤液处理系统规模为 120 m<sup>3</sup>/d,采用“生化 + 膜处理”工艺,膜处理工艺为“纳滤系统 + 反渗透系统”,工艺流程见图 1。

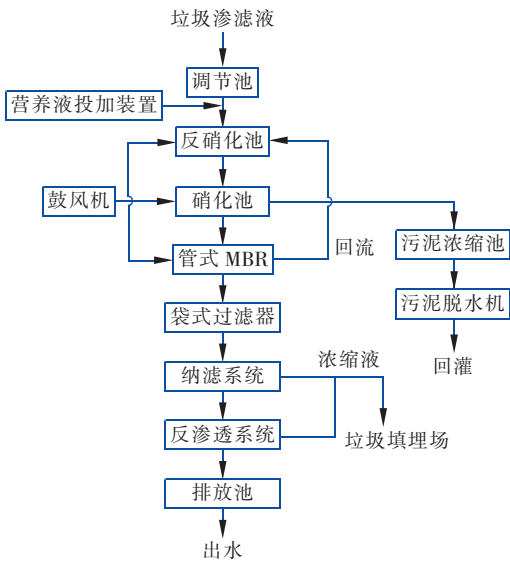


图 1 现状工艺流程

Fig.1 Current process flow chart

“纳滤 + 反渗透”工艺为物理分离过程,对污染物的截留效果较好,但需定期进行膜清洗,运行成本较高;处理过程中产生约 20% 的浓缩液,需进行后续处理,浓缩液的出路问题已成为难点。

1.2 现状进、出水水质

现状实际进、出水水质见表 1。可见,污染物去除率均达到 90% 以上,出水 COD 值为 124 mg/L,未达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)的排放限值(COD ≤ 100 mg/L, BOD<sub>5</sub> ≤ 30

mg/L, NH<sub>3</sub> - N ≤ 25 mg/L, SS ≤ 30 mg/L)。

表 1 现状实际进、出水水质

Tab.1 Current actual influent and effluent quality

项目	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> / (mg · L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> - N/ (mg · L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg · L <sup>-1</sup> )	SS/ (mg · L <sup>-1</sup> )	pH 值
进水	24 219	13 655	1 577	2 090	125	7.83
出水	124	28.5	0.489	37	10	6.84

1.3 现状评价

根据现场调查,现有系统问题如下:处理能力不足;现有生化处理设施的腐蚀、老化问题严重,基本无再改造利用价值;污水、加药等管线老化,设备、元器件老旧,需进行更换。为满足日益严峻的环保要求,现有渗滤液处理站的改造是紧迫且必要的。其中综合车间可利旧使用,其余构筑物均需新建。

1.4 问题分析

渗滤液出水不达标有很多原因,现状膜处理产生的浓缩液采用回灌的处理方法,过度的回灌影响膜系统的稳定性,严重时将导致系统失稳<sup>[4]</sup>;如需将浓缩液妥善处理至达标排放,则需要增加用地、运行管理难度、总投资和运行成本;随着垃圾填埋量的增加,产生的渗滤液总量不断增多,膜处理工艺负荷量增大,将对其出水水质产生不利影响;随着垃圾填埋量的增加,渗滤液中难降解有机污染物的种类越来越复杂,易造成膜污染或在膜表面结垢,对渗滤液出水水质也有较大影响。

2 改造工程设计

2.1 设计规模及水质

现状垃圾填埋场渗滤液处理系统的处理量满足不了渗滤液的处理要求,影响填埋场运行。为此,改造工程设计渗滤液处理规模为 400 m<sup>3</sup>/d。

改造工程设计出水水质为《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008),具体设计进、出水水质见表 2。

表 2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality

项目	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> / (mg · L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> - N/ (mg · L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg · L <sup>-1</sup> )	SS/ (mg · L <sup>-1</sup> )	pH 值
进水	25 000	15 000	2 000	2 800	200	6 ~ 9
出水	100	30	25	40	30	6 ~ 9

2.2 工艺流程

改造工程采用“生化 + 高级氧化”工艺,其中生

化系统采用两级 A/O + MBR 工艺,深度处理采用两级“Fenton 氧化 + 曝气生物滤池 (BAF)”工艺。具体工艺流程见图 2。

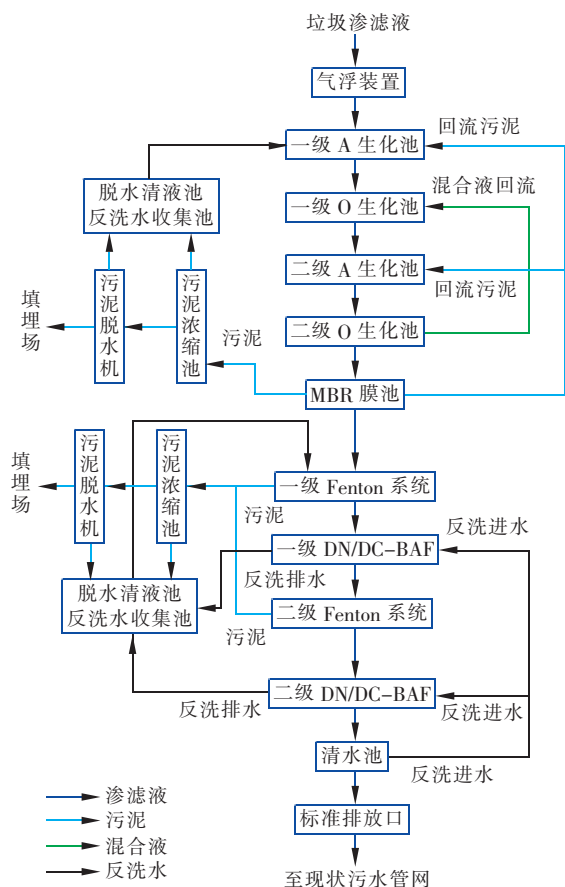


图2 改造工程工艺流程

Fig. 2 Process flow chart of reconstruction project

### ① 预处理工艺

渗滤液废水含有油类物质,油脂会黏附于污泥表面,阻断废水与污泥的接触,使生化去除效率下降。因此,废水经提升后首先进入气浮装置,隔离出水中的浮油、浮渣、油脂,同时去除可沉淀物。

## ② 生化处理工艺

经预处理后的渗滤液泵送至两级 A/O 池中进行生物处理,生化池出水进入 MBR 膜系统。

### ③ 深度处理工艺

深度处理工艺采用两级“Fenton + BAF”工艺。MBR 出水进入一级 Fenton 系统后,首先投加少量硫酸调节污水 pH 值至 3~5,然后投加硫酸亚铁和双氧水,同时开启循环泵与 Fenton 催化塔进行循环催化。在酸性条件下,亚铁离子催化双氧水产生羟基自由基,去除难降解有机物。待反应完全后,投加液

碱,将污水的 pH 值调节至 7~8,然后投加 PAM 助凝剂,污水中形成氢氧化铁沉淀物,起到氧化与絮凝的双重作用。然后污水进入沉淀池中进行泥水分离。渗滤液经一级 Fenton 氧化后,COD 浓度和色度显著降低,同时提高了污水的可生化性。

随后污水先后进入一级厌氧 BAF(DN)池和一级好氧 BAF(DC)池中,有效去除污水中残余的 COD、氨氮和总氮。为了保证出水达标,污水再经二级 Fenton 及二级 BAF 处理。Fenton + BAF 技术的主要特点为出水水质达标、处理成本较低、不产生浓缩液,与膜处理技术相比,投资较低。

### 2.3 主要构筑物、设备及参数

渗滤液首先经气浮装置处理,隔离出水中的浮油、浮渣、油脂,去除可沉淀物,然后出水依次进入一级 A 池、一级 O 池、二级 A 池、二级 O 池、MBR 膜池。其中 A 池的污泥回流比控制在 50% ~ 150% ,溶解氧控制在 0.2 ~ 0.5 mg/L, O 池溶解氧控制在 2 ~ 3 mg/L,污泥回流比控制在 50% ~ 150% , pH 值控制在 7.5 ~ 9,硝化液回流比控制在 400% ;采用超滤膜对污泥进行截留,实现泥水分离,污泥质量浓度可以达到 10 ~ 30 g/L;一级 A/O 池的氨氮负荷为 0.04 kg/(kgMLSS · d),总氮负荷为 0.085 kg/(kgMLSS · d),硝化速率为 0.042 kg/(kgMLSS · d);二级 A/O 池的硝化速率为 0.02 kg/(kgMLSS · d)。污水经生化处理后进入深度处理系统,Fenton 反应池水力停留时间 12 ~ 14 h,沉淀池表面水力负荷 0.52 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · h),BAF 系统的表面水力负荷 0.55 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · h),水力停留时间 10 ~ 15 h,硝化容积负荷、COD 容积负荷分别为 0.081 kgNO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N/(m<sup>3</sup> · d)、0.644 kgCOD/(m<sup>3</sup> · d)。深度处理后,COD 去除率 ≥ 99%,氨氮去除率达 99%,出水中悬浮物和浊度近乎为 0,水质良好,可满足 GB 16889—2008。设备参数及构筑物分别见表 3、4。

表 3 主要设备参数

Tab.3 Parameters of main equipment

项 目	参 数	备注
气浮装置	处理量 400 m <sup>3</sup> /d, 功率 0.8 kW	防腐
外置式 MBR	200 m <sup>3</sup> /d	组合件
Fenton 反应装置	处理量 400 m <sup>3</sup> /d	
板框压滤机	250 m <sup>2</sup>	组合件
加药系统	含双氧水、硫酸亚铁、PAM、硫酸、碳源等加药系统, 配套药剂储罐、加药泵等	

表 4 主要构筑物参数

Tab. 4 Parameters of main structures

项 目	规格/(m × m × m)	有效容积/ m <sup>3</sup>	数量/座
一级 A 池	14 × 8 × 8	1 568	2
一级 O 池	14 × 12 × 8	2 352	2
二级 A 池	6.8 × 5 × 8	448	2
二级 O 池	6.8 × 5 × 8	448	2
反应池	12 × 3.4 × 6	400	2
沉淀池	16 × 3.4 × 6	540	2
缓冲池	3.4 × 3 × 6	100	2
DN 池	4 × 4 × 8	480	4
DC 池	4 × 4 × 6	352	4
反洗水收集池	4 × 11 × 8	200	1
污泥浓缩池	6.7 × 6 × 6	170	1

### 3 中试结果及运行效果预测

#### 3.1 中试结果

从 2020 年 7 月 1 日开始,采用设计工艺在填埋场内进行了 4 个月的中试,规模为 4 t/d,结果见表 5。可见,经该工艺处理,出水能够达到设计标准。

表 5 中试结果

Tab. 5 Pilot experiment results mg · L<sup>-1</sup>

项 目	COD	NH <sub>3</sub> - N	TN
原水	23 521	1 852	2 671
气浮出水	17 536	1 840	2 324
MBR 出水	895	23	175
一级 Fenton 出水	305	23	162
一级 BAF 出水	198	12	41
二级 Fenton 出水	118	12	41
二级 BAF 出水	68	8	18
排放标准	100	25	40

#### 3.2 运行效果预测

该工程目前处于施工阶段。根据实际工程案例运行情况及中试结果分析,深度处理各阶段去除效果预测见表 6。

表 6 各处理单元去除效果预测

Tab. 6 Prediction of removal effect of each treatment unit

mg · L<sup>-1</sup>

项 目	COD	NH <sub>3</sub> - N	TN
MBR 出水	1 000	25	200
一级 Fenton 出水	350	25	200
一级 BAF 出水	240	15	50
二级 Fenton 出水	120	15	50
二级 BAF 出水	85	10	30
排放标准	100	25	40

MBR 系统出水中含有较多难生物降解污染物,一级 Fenton 系统可将其降解或转化为小分子有机物,BAF 系统对污水中的 COD、NH<sub>3</sub> - N 和 TN 都具有良好的去除效果;为保证出水达标排放,污水再经过二级 Fenton 及二级 BAF 处理,出水水质可满足 GB 16889—2008。

### 4 结论

针对渗滤液处理工程的实际问题,改造工程生物处理采用两级 A/O + MBR 工艺,深度处理采用两级“Fenton + BAF”工艺,中试结果表明,出水水质完全达标。Fenton 高级氧化技术在处理生化后的垃圾渗滤液时,具有降解完全、反应迅速、不产生二次污染等特点,应用前景较好。

### 参考文献:

- [1] 刘宇,刘晓静,姜安平,等. A/O - MBR + NF 组合工艺用于垃圾渗滤液处理工程[J]. 中国给水排水,2017,33(14):77 - 81.  
LIU Yu, LIU Xiaojing, JIANG Anping, et al. Application of combined processes of A/O - MBR + NF in landfill leachate treatment project [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14): 77 - 81 (in Chinese).
- [2] 孙雨清,赵俊. 垃圾渗滤液反渗透浓缩液处理技术综述[J]. 山西建筑,2013,39(11):194 - 196.  
SUN Yuqing, ZHAO Jun. Study on processing technology in concentrating of landfill leachate reverse osmosis [J]. Shanxi Architecture, 2013, 39(11): 194 - 196 (in Chinese).
- [3] PANIZZA M, BOCCA C, CERISOLA G. Electrochemical treatment of wastewater containing polyaromatic organic pollutants[J]. Water Research, 2000, 34(9): 2601 - 2605.
- [4] TALALAJ L A, BIEDKA P. Impact of concentrated leachate recirculation on effectiveness of leachate treatment by reverse osmosis [J]. Ecological Engineering, 2015, 85: 185 - 192.

作者简介:党康飞(1994 - ),男,河南周口人,硕士,助理工程师,主要从事固体废物处理工程设计工作。

E-mail: dangkangfei@ceedi.cn

收稿日期:2020 - 11 - 05

修回日期:2021 - 08 - 10

(编辑:孔红春)