

垃圾渗滤液反渗透浓水深度处理中试研究

赵爽¹, 汪晓军¹, 袁延磊¹, 郭训文², 简磊²

(1. 华南理工大学环境与能源学院 工业聚集区污染控制与生态修复教育部重点实验室, 广东 广州 510006; 2. 广州市华绿环保科技有限公司, 广东 广州 510655)

摘要: 采用混凝/Fenton/曝气生物滤池(BAF)组合工艺深度处理广东省某垃圾焚烧厂垃圾渗滤液反渗透(RO)浓水。连续两个多月的中试运行结果显示,在聚合硫酸铁投量为 1 kg/m^3 、双氧水(27.5%)投量为 7.8 L/m^3 、 $\text{H}_2\text{O}_2:\text{Fe}^{2+}=2:1$ (物质的量之比)、BAF的水力停留时间为12 h的条件下,出水COD $<300\text{ mg/L}$ 、色度 <64 倍,优于《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段的三级标准和《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010)的B级标准,可回用于垃圾焚烧炉渣冷却。

关键词: 垃圾渗滤液; 反渗透浓水; 混凝; Fenton; 曝气生物滤池

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)05-0065-04

Advance Treatment for Reverse Osmosis Brine from Landfill Leachate Treatment

ZHAO Shuang¹, WANG Xiao-jun¹, YUAN Yan-lei¹, GUO Xun-wen², JIAN Lei²

(1. Key Lab of Pollution Control and Ecosystem Restoration in Industry Clusters <Ministry of Education>, College of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. Hua Lu Environmental Technology Co. Ltd., Guangzhou 510655, China)

Abstract: A process combining coagulation/Fenton/biological aeration filter (BAF) was applied to treat reverse osmosis (RO) brine in a waste incineration plant in Guangdong Province. The combined process was tested for more than two months. When dosages of polyferric sulfate (PFS) and hydrogen peroxide (H_2O_2) (27.5%) were 1 kg/m^3 and 7.8 L/m^3 , respectively, the mole ratio between H_2O_2 and Fe^{2+} was 2:1, and HRT of BAF was 12 hours, the results showed that COD and chroma in the effluent was less than 300 mg/L and 64 times, respectively, which satisfied the second period level 3 discharge standards of *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB 44/26-2001), and level B standards of *Wastewater Quality Standards for Discharge to Municipal Sewers* (CJ 343-2010). The effluent was suitable for reuse in incineration slag cooling.

Key words: landfill leachate; RO brine; coagulation; Fenton; biological aeration filter

垃圾渗滤液由于具有成分复杂、污染物浓度高、水质变化大等特点,为其处理工艺的选择带来了难度^[1]。反渗透可以实现垃圾渗滤液的高回用率及高出水水质标准,不仅使处理后的废水达到回用标

准,还可有效降低处理设施的占地面积,已成为处理垃圾渗滤液的最有效技术^[2]。反渗透技术处理垃圾渗滤液必然会产生高 COD、高色度、高 TDS 的膜浓缩液,若直接将浓水回流到调节池,长期积累必然会导致废水处理系统,尤其是生物处理系统中微生物由于盐度高导致渗透压不平衡而造成的崩溃;如果直接外排,必定造成严重的环境污染。若 RO 浓水经处理后能满足《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段的三级标准和《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010)的 B 级标准,将出水作为垃圾焚烧炉渣冷却水是减少垃圾渗滤液污染及节约水资源的有效途径。为实现这一目标,笔者采用混凝/Fenton/曝气生物滤池组合工艺(专利号:200510035132.9)进行了深度处理中试研究。

1 材料与方法

1.1 中试进水水质

中试在广州市某垃圾焚烧厂垃圾渗滤液处理厂现场进行,进水为反渗透浓水,试验期间的水质如下:pH 值为 5.6~8(均值为 6.8),温度为 12~32℃(均值为 22℃),色度为 2 998~8 192 倍(均值为 5 595 倍),COD 为 1 293~2 575 mg/L(平均值为 1 934 mg/L), UV_{254} 为 22.5~25.35 cm^{-1} (平均值为 23.9 cm^{-1}),TDS 为 32.5~40.7 g/L(均值为 36.65 g/L),碱度为 92~108 mg/L(均值为 100 mg/L),氯离子为 8.23~9.15 g/L(均值为 8.69 g/L),硫酸根为 0.98~1.16 g/L(均值为 1.07 g/L)。

1.2 试验装置

中试规模为 10~12 m^3/d ,试验废水由浓缩液储池经潜水泵进入试验装置,工艺流程见图 1。

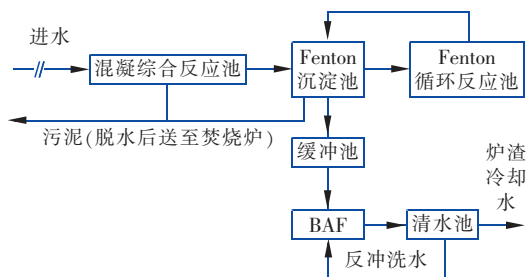


图1 中试工艺流程

Fig.1 Schematic diagram of pilot plant

混凝综合反应池采用碳钢防腐材质,尺寸为 $\varnothing 1.9 m \times 4.5 m$,有效容积为 12 m^3 ;Fenton 循环反应池采用 316L 不锈钢材质,尺寸为 $\varnothing 0.5 m \times 6 m$,

有效容积为 1 m^3 ;Fenton 沉淀池采用碳钢防腐材质,尺寸为 $\varnothing 1.9 m \times 4.5 m$,有效容积为 12 m^3 ;缓冲池采用碳钢防腐材质,尺寸为 $\varnothing 1.5 m \times 4.5 m$,有效容积为 7.5 m^3 ;BAF 为碳钢防腐材质,尺寸为 $\varnothing 1.5 m \times 4.5 m$,有效容积为 4 m^3 ;清水池采用 PE 材质,尺寸为 $\varnothing 1.32 m \times 1.76 m$,有效容积为 2 m^3 。污水及污泥管均采用 PVC 管,曝气管为镀锌管。

1.3 分析项目及方法

pH 值:pH 计;COD:COD 快速密闭消解仪;色度:稀释倍数法; UV_{254} :紫外分光光度法;TDS:电导率仪;总碱度:滴定法;氯离子:硝酸银滴定法;硫酸根:铬酸钡分光光度法。

2 结果与讨论

2.1 混凝预处理效果

该渗滤液浓水含有大量的难生物降解 COD 且色度高,对于这类渗滤液,工程上一般会选用经济便捷的混凝工艺进行预处理^[3],可有效降低后续 Fenton 试剂的投加量,节约运行费用。本研究经过前期大量的混凝药剂筛选,发现使用聚合硫酸铁(PFS)药剂对 RO 浓水中 COD 及色度有很好的去除效果,并对 PFS 投加量进行了优化,最终确定中试的 PFS 投加量为 1 kg/m^3 ,初始 pH 值控制在 5~7,混凝时间为 30 min,投加阳离子型聚丙烯酰胺(CPAM)助凝,沉淀时间为 2 h。混凝预处理的运行效果如下:进水 COD、 UV_{254} 、色度的平均值分别为 2 121 mg/L、23.9 cm^{-1} 、6 144 倍,出水平均值分别为 885 mg/L、9.3 cm^{-1} 、714 倍,去除率分别为 58.3%、61.1%、88.4%;进、出水 pH 值分别为 6.8、4.2。

2.2 Fenton 试剂高级氧化处理效果

经混凝预处理后试验废水的 pH 值降至 4~5 之间,恰好符合 Fenton 试剂的最佳反应 pH 值范围,因此 Fenton 反应无需调节 pH 值。通过前期小试得出最佳 Fenton 反应条件如下:双氧水投加量为 7.8 L/m^3 , $H_2O_2:Fe^{2+}=2:1$ (物质的量之比),氧化反应后出水 pH 值调整至 7~8,采用两级加药的方式,分级比为 4:1,每级反应时间约为 90 min。

中试装置的 Fenton 单元首先通过离心泵投加 27.5% 的 H_2O_2 和 10% 的硫酸亚铁,药剂投加比例按照小试的最优化结果。采用两级投药方式,首先在 Fenton 沉淀池中加入 4/5 的 Fenton 试剂,反应进行 90 min 后,投加另外 1/5 的 Fenton 试剂,然后进入 Fenton 反应池进行反应,Fenton 氧化出水加碱和

CPAM。在中试过程中发现,渗滤液在投加了 Fenton 试剂后会产生大量的泡沫,工程放大后需要考虑在 Fenton 反应池中增加消泡装置。经 Fenton 单元处理后,出水 COD、 UV_{254} 、色度的平均值分别为 418 mg/L、 2.37 cm^{-1} 、74 倍,平均去除率分别为 52.8%、74.5%、89.6%。

2.3 BAF 生物处理效果

BAF 采用上流式进水和穿孔管曝气,穿孔管设计成环形,管上交错间隔开直径为 3~4 mm 的小孔;反冲洗系统采用气冲+气水联冲+水冲方式进行,反冲洗水采用 BAF 处理后的清水;正常曝气时气水体积比为 4:1~6:1,反冲洗曝气时气水体积比为 20:1~30:1;采用直径为 3~5 mm 的陶粒滤料,陶粒表面有很多小孔,具有较大的比表面积,有利于微生物在滤料表面附着。BAF 的进水为 Fenton 高级氧化后的出水,进水流量控制在 $0.3\sim0.4\text{ m}^3/\text{h}$,水力停留时间约为 12 h。经 BAF 处理后,出水 COD、 UV_{254} 、色度的平均值分别为 287 mg/L、 1.98 cm^{-1} 、40 倍,平均去除率分别为 31.3%、16.5%、45.9%;进、出水 pH 值分别为 7.5 和 7.2。

2.4 组合工艺对 RO 浓水的总体处理效果

混凝/Fenton/BAF 深度处理系统稳定运行期间,对 RO 浓水中 COD 和色度的去除效果以及根据实际运行情况加药后计算的加药比如图 2 所示。

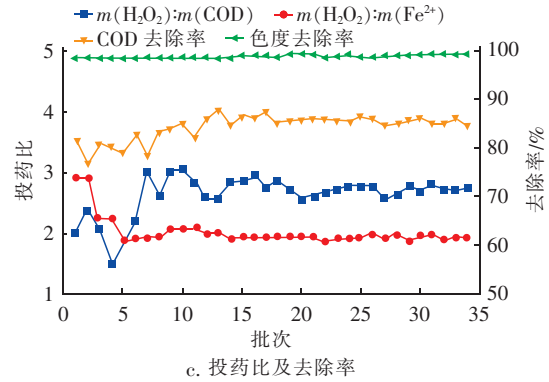
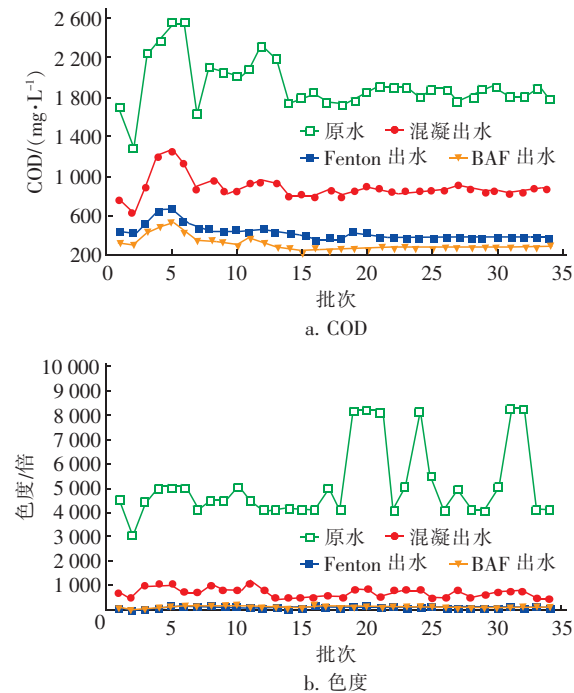


图 2 组合工艺对 RO 浓水的总体处理效果

Fig. 2 Treatment efficiency of RO brine by combined process

从两个多月连续运行效果可以看出,深度处理系统进水 COD 基本在 1 600~2 600 mg/L 之间波动,加药比基本控制在要求范围内。经组合工艺深度处理后,出水 COD 和色度分别稳定在 300 mg/L 和 64 倍以下,出水水质满足并优于《水污染物排放标准》(DB 44/26—2001)第二时段的三级标准和《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010)的 B 级标准,可回用于垃圾焚烧炉渣冷却。

3 工艺技术经济分析

中试的运行费用主要包括药剂费和电费。其中,药剂(均为工业纯)费用见表 1,总计为 27.44 元/ m^3 。

表 1 药剂费用

Tab. 1 Chemical cost for advanced treatment

项 目	PFS	硫酸亚铁	双氧水	NaOH	CPAM
用量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	1	10	8.6	3.5	0.002
价格/ $(\text{元} \cdot \text{t}^{-1})$	1 500	250	1 500	3 000	20 000
运行费用/ $(\text{元} \cdot \text{m}^{-3})$	1.5	2.5	12.9	10.5	0.04

中试的耗电设备包括罗茨风机 1 台、污水提升泵 3 台、Fenton 循环泵 1 台、BAF 进水泵 1 台、污泥泵 1 台、反冲洗水泵 1 台,功率分别为 2.2、0.55、0.55、0.55、0.55、1.5 kW,运行时间分别为 24、2、3、24、1、0.05 h,电价按 $0.8\text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计算,则电费分别为 3.52、0.22、0.11、0.88、0.037、0.005 元/ m^3 ,总计 4.772 元/ m^3 。

综上,RO 浓水深度处理系统的运行费用(不计人工费)合计为 32.212 元/ m^3 。

4 结论

采用“混凝/Fenton/BAF”组合工艺深度处理焚烧垃圾渗滤液 RO 浓水,在中试规模长期连续运行(下转第 71 页)