

混凝沉淀+电氧化反应器联合处理垃圾渗滤液的试验研究

宋克超¹ 华怀峰² 徐立明²

1 京思农生物有机肥研究院 2 苏思威博生物科技有限公司

DOI:10.12238/eep.v4i4.1428

[摘要] 研究了采用混凝沉淀+电氧化反应器联合处理垃圾渗滤液工艺。首先对垃圾渗滤液进行混凝沉淀,投加 $\text{FeCl}_3 0.4\text{g/L}$,对渗滤液的 COD_{Cr} 的去除率可以达到35%,但对氨氮基本没有处理效果。出水再利用电氧化反应器处理,电氧化反应器反应级数为一级,当电流密度为 $20\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$,反应时间140min,对废水的 COD_{Cr} 的再次去除率可达90%以上,对废水中氨氮的去除率在98%左右。采用混凝沉淀与电氧化反应器联合处理垃圾渗滤液,处理效果好,出水稳定,对废水中 COD_{Cr} 、氨氮均有很高的去除效率,是垃圾渗滤液适宜的处理技术。

[关键词] 垃圾渗滤液; 混凝; 电氧化反应器; 有机物

中图分类号: X703.1 文献标识码: A

The Experimental Study on Landfill Leachate Treatment by Coagulation-sedimentation + Electro-oxidation Joint Reactor

Kechao Song¹, Huaifeng Hua², Liming Xu²

1 Nanjing Sinong Bio-organic Fertilizer Research Institute 2 Jiangsu SVB Biotechnology Co., LTD

[Abstract] The combined treatment of landfill leachate by coagulation and electrooxidation reactor was studied. Firstly, the landfill leachate was coagulated and precipitated by $\text{FeCl}_3 0.4\text{g/L}$, and the removal rate of COD_{Cr} in leachate could reach 35%, but the treatment effect of ammonia nitrogen was basically no. The effluent is then treated by the electrooxidation reactor. The reaction sequence of the electrooxidation reactor is one level. When the current density is $20\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ and the reaction time is 140min, the re-removal rate of COD_{Cr} and ammonia nitrogen in the wastewater can reach above 90% and about 98%. The combined treatment of landfill leachate by coagulation precipitation and electrooxidation reactor has good treatment effect and stable effluent. It has high removal efficiency for COD_{Cr} and ammonia nitrogen in wastewater, which is a suitable treatment technology for landfill leachate.

[Key words] landfill leachate; coagulation; electrooxidation reactor; organic matter

引言

随着世界经济和人口的发展,产生的城市垃圾持续增加^[1]。垃圾填埋是处理产生的垃圾的通常做法,而垃圾填埋会产生大量的渗滤液。垃圾渗滤液中含有大量的有毒物质,这些有毒物质如果不加以处理排入自然水体,将对自然水体产生严重影响^[2,3]。

从上世纪70年代开始,就开始针对垃圾渗滤液处理的研究^[4]。随着垃圾填埋时间的增加,其可生化性将逐渐降低。对早期的垃圾渗滤液采用生化方法处理是一种比较可行的方法^[5]。而对晚期的可生化性较低的垃圾渗滤液采用物

理化学方法处理,为一种有效的处理手段^[6,7,8]。针对可生化性较低的垃圾渗滤液,本文采用混凝沉淀+电氧化反应器相结合的垃圾渗滤液处理工艺,对垃圾渗滤液中的 COD 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均取得了满意的处理效果。

1 实验内容及方法

1.1 原水水质

废水取自某垃圾填埋时间为8年的填埋场垃圾渗滤液,废水取来后经初步过滤滤去的悬浮物和大颗粒,并储于塑料桶中,置于 4°C 恒温条件下,使用时从塑料桶取出。具体水质情况见表1。

表1 试验用水水质情况

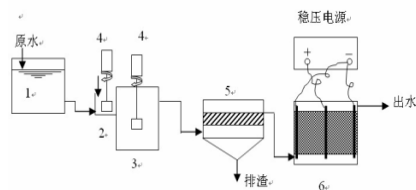
主要水质指标	测定值
$\text{COD}_{\text{Cr}} / \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1220
$\text{BOD}_5 / \text{COD}_{\text{Cr}}$	<0.08
电导率 / $\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$	8.9
$\text{NH}_3\text{-N} / \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	295
pH	8.5

1.2 试验工艺流程

试验工艺流程见图1。

在水箱1中的废水中加入硫酸调节pH,然后重力自流入混合池2中,投加无机絮凝剂,调节搅拌机转速为150转/分进行搅拌,停留时间40s,然后废水流入混合池3中,调节搅拌机转速为60转/分进行搅拌。沉淀后进入电氧化反应器处理,电氧

化反应器中有阳极板1块, 阴极板2块, 均为自制多元极板, 内填自制复合催化填料。



1水箱 2 混合池 3 混凝池 4 搅拌机 5 沉淀池 6电氧化反应器

图1 试验工艺流程图

1.3 测试项目与方法

COD: 重铬酸钾法; BOD₅: 五日培养法; NH₃-N: 纳氏分光光度法; 电导率: 电导率测定仪; pH: 酸度计测量。

2 试验结果与讨论

2.1 混凝沉淀对垃圾渗滤液的处理效果

混凝沉淀用于处理可生化性较低的垃圾渗滤液是一种非常有效的手段, 对废水中的COD、浊度均有较好的处理效果, 但对渗滤液中的氨氮影响不大^[9, 10]。常用的混凝剂为铁系和铝系混凝剂, 但是铁系比铝系混凝剂具有更好的处理效果^[11, 12]。选用FeCl₃作为混凝剂, 影响处理效果的主要是药剂投加量及pH。当FeCl₃投加量为300mg/L时, pH变化对处理效果的影响见图2。

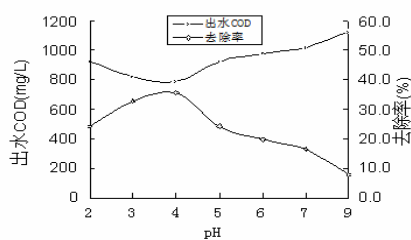


图2 pH变化对处理效果的影响
(FeCl₃=300mg/L)

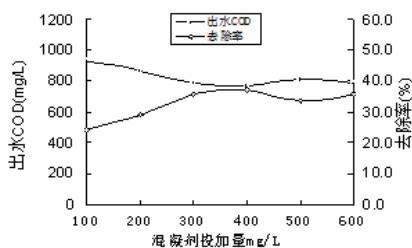


图3 FeCl₃投加量对处理效果的影响
(pH=4)

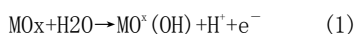
图2表明, 在pH=4左右时取得了最佳的处理效果。此时对渗滤液中COD的去除率在35%左右。调节原水pH=4, 当FeCl₃投加量变化时, 对处理效果的影响见图3。

图3表明, FeCl₃投加量在0.3~0.4g/L已经基本达到最佳处理效果。试验选择FeCl₃投加量为0.4g/L, 对渗滤液的COD_{cr}的去除率可以达到35%, 但对氨氮基本没有处理效果。

2.2 电氧化反应器对混凝沉淀出水的处理效果

垃圾渗滤液经过混凝沉淀后, COD_{cr}仍在800mg/L左右, 实验采用电氧化反应器进行进一步处理。

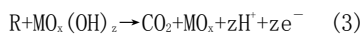
电氧化反应器中, 氧化反应的电位区金属氧化物表面可能形成高价态氧化物, 因此在阳极上存在两种状态的活性氧, 即吸附的氢氧自由基和晶格中高价态氧化物的氧^[13]。阳极表面氧化过程分两阶段进行。首先溶液中的H₂O或OH⁻在阳极上放电并形成吸附的氢氧自由基:



然后吸附的氢氧自由基和阳极上现存的氧反应, 并使氢氧自由基中的氧转移给金属氧化物晶格而形成高价氧化物MO_{x+1}:



当进行有机物R的矿化时, 反应如下:



在有机物降解过程中, 反应式(3)、(4)同时反应, 所以电氧化反应器不但可以有机物直接矿化为CO₂, 还可以将大分子有机物转变为可生物降解的小分子有机物^[14], 提高废水的可生化性。同理。电氧化反应器对垃圾渗滤液中的氨氮也具有非常高的效率^[15, 16]。实验中采用的电氧化反应器通过填加具有催化性质的填料, 提高了处理效果。

采用电氧化反应器处理混凝沉淀后的垃圾渗滤液, 废水COD_{cr}=780mg/L, NH₃-N=280mg/L。Chiang等人^[15]认为采用电氧化处理的COD_{cr}、NH₃-N去除近似于一级反应, 而NH₃-N去除的速率更快。采用电氧化反应器的处理效果见图4。

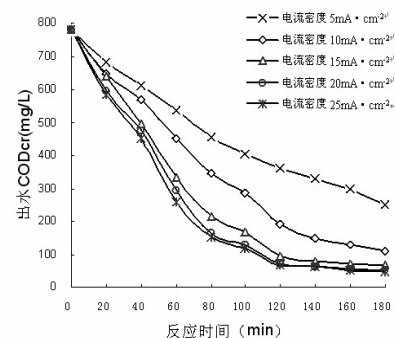


图4 电氧化反应器处理效果

从图4可以看出, 电氧化反应器的反应级数近似于一级, 按以下公式进行数学模拟:

$$C_t = C_0 e^{-kt} \quad (5)$$

t —— 反应时间, min。

C_t —— t 时刻的废水 COD_{cr}, mg · L⁻¹;

C_0 —— 起始废水 COD_{cr}, mg · L⁻¹;

k —— 反应速率常数。

模拟结果见表2。从表2可以看出, 当电流密度大于20mA · cm⁻²时, 没有大幅度的增加, 故选择电流密度20mA · cm⁻²为电氧化反应器的电流密度。由(5)式, 当电流密度为20mA · cm⁻²时, 出水COD_{cr}达到所需要的时间 t 为:

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C_t} = 59.52 \ln \frac{C_0}{C_t} \quad (6)$$

由(6)式, 当原水COD_{cr}=780mg · L⁻¹, 出水COD_{cr}要达到100mg · L⁻¹时, 需要的时间为122min, 与实验吻合性较好。

由(5)式, 当反应时间由140min增加到160min, 去除率仅增加:

$$\left(1 - \frac{C_{160}}{C_0}\right) - \left(1 - \frac{C_{140}}{C_0}\right) =$$

$$e^{140 \times (-0.0168)} - e^{160 \times (-0.0168)} = 2.7\% \quad (7)$$

从(7)式可以看出, 反应时间由140min增加到160min去除率没有大的增加, 故电氧化反应器的反应时间采用140min, 此时对原水COD_{cr}的去除率为90%, 而对废水中氨氮的去除率接在98%左右。

表2 电氧化反应器数学模拟结果

参数 电流密度	C_0	k	相关系数 R^2
$5\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$	770	0.0062	0.996
$10\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$	840	0.0116	0.990
$15\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$	800	0.0154	0.970
$20\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$	762	0.0168	0.960
$25\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$	734	0.017	0.962

2.3 混凝沉淀+电氧化反应器对垃圾渗滤液的处理效果

采用以上实验参数, 利用混凝沉淀与电氧化反应器联合处理垃圾渗滤液, 连续出水水质, 结果见图5。

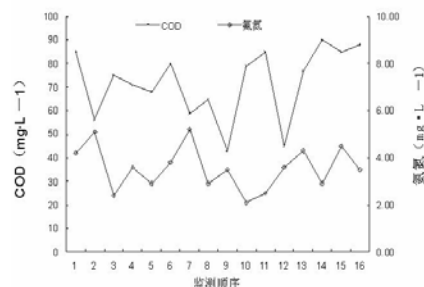


图5 混凝沉淀与电氧化反应器联合处理垃圾渗滤液运行情况

从图5可以看出, 采用混凝沉淀与电氧化反应器联合处理垃圾渗滤液, 处理效果好, 出水稳定, 对废水中 COD_{Cr} 可达96%以上, 同时对氨氮的去除率可以达到98%以上。

3 结论

(1) 对垃圾渗滤液进行混凝沉淀, 先投加 FeCl_3 0.4g/L, 对渗滤液的 COD_{Cr} 的去除率可以达到35%, 但对氨氮基本没有处理效果。(2) 利用电氧化反应器处理混凝沉淀后的垃圾渗滤液, 反应级数为一级。当电流密度 $20\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$, 反应时间140min, 对废水的 COD_{Cr} 的再次去除率可达90%以上, 对废水中氨氮的去除率接在98%左右。(3) 采用混凝沉淀与电氧化反应器联合处理垃圾渗滤液, 处理效果好, 出水稳定, 对废水中 COD_{Cr} 、氨氮均有很高的去除效率, 取得了良好的处理效果。

[参考文献]

- [1] S. Renou, J. G. Givaudan, S. Poulain, Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials* 150(2008) 468 - 493.
- [2] Cecilia B. Öman, Christian Junstedt. Chemical characterization of landfill leachates - 400 parameters and compounds *Waste Management* (2007).
- [3] Baun, A., Jensen, S.D., Bjerg, P., Christensen, T.H., Nyholm, N., 2000. Toxicity of organic chemical pollution in groundwater downgradient of a landfill (Grindsted, Denmark). *Environ. Sci. Technol.* 34, 1647-1652.
- [4] Yang Deng, James D. Englehardt. Electrochemical oxidation for landfill leachate treatment. *Waste Management* 27(2007) 380-388.
- [5] Ehrig, H., Stegmann, R., 1992. Biological process. In: Christensen, T.H., Cossu, R., Stegmann, R. (Eds.), *Landfilling of Waste: Leachate*. Elsevier Applied Science, London and New York.
- [6] Amokrane, A., Comel, C., Veron, J., 1997. Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Research* 31(11), 297-336.
- [7] Copa, W.M., Meidl, J.A., 1986. Powdered carbon effectively treats toxic leachate. *Pollution Engineering* 18(7), 32-34.
- [8] Ince, N.H., 1998. Light-enhanced chemical oxidation for tertiary treatment of municipal landfill leachate. *Water Environment Research* 70(6), 1161-1169.
- [9] I. Monje Ramirez, M.T. Orta de Velasquez, Removal and transformation of recalcitrant organic matter from stabilized saline landfill leachates by coagulation - ozonation coupling process, *Water Res.* 38(2004) 2605 - 2613.

[10] R. Zamora, A. Moreno, M. Orta de Velasquez, I. Ramirez, Treatment of landfill leachates by comparing advanced oxidation and coagulation-flocculation processes coupled with activated carbon adsorption, *Water Sci. Technol.* 41(2000) 231-235.

[11] A. Amokrane, C. Comel, J. Veron, Landfill leachates pretreatment by coagulation - flocculation, *Water Res.* 31(1997) 2775-2782.

[12] F. J. Rivas, F. Beltran, F. Carvalho, B. Acedo, O. Gimeno, Stabilized leachates: sequential coagulation - flocculation + chemical oxidation process, *J. Hazard. Mater.* (2004).

[13] Marco A.Q., Silvila R. Anodic Oxidation of pentachlorophenol at Ti/SnO₂ electrodes. *Journal of Solid State Electrochemistry* [J], 2003, 7(5): 277-282.

[14] Grimm, J., Bessarabov, D., Sanderson, R., 1998. Review of electroassisted methods for water purification. *Desalination* 115(3), 285 - 294.

[15] Chiang, L.C., Chang, J.E., Chung, C.T., 2001. Electrochemical oxidation combined with physical-chemical pretreatment processes for the treatment of refractory landfill leachate. *Environmental Engineering Science* 18(6), 369-379.

[16] Ihara, I., Kanamura, K., Shimada, E., Watanabe, T., 2004. High gradient magnetic separation combined with electrocoagulation and electrochemical oxidation for the treatment of landfill leachate. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 14(2), 1558-1560.

作者简介:

宋克超(1989—),男,汉族,甘肃张掖人,本科,环保工程师,从事有机固废资源化利用和处理研究。