



推荐阅读:

[广西城市污水处理厂污泥产生及处置现状分析](#)

[平顶山市煤矿区土壤重金属污染程度评价](#)

[基于灰色关联分析法的宜昌市空气质量影响因素分析](#)

[废旧锂离子电池流向及管理现状调研](#)

[生物法处理气态污染物的研究现状与应用前景](#)

[环境敏感区农村生活污水处理工艺设计案例分析](#)

[氨法脱硫+低温 SCR 脱硝工艺在焦炉烟气净化中的应用](#)

[反渗透双膜工艺处理印染废水研究进展](#)

[重金属污染土壤修复技术研究进展](#)

[基于 SARIMA 模型的二氧化氮时间序列预测研究](#)

[碳基功能材料在土壤修复中的应用](#)

[虾蟹壳对水中刚果红吸附性能的研究](#)

[农村生活垃圾生物质热解和燃烧气相数值模拟](#)

[基于灰色 GM\(1, 1\)模型的成都市大气污染物浓度预测](#)

[江苏省非道路移动源大气污染排放清单研究](#)

[欧盟 15 国污水污泥产生量与处理处置方法对比](#)

[基于 Hydrus-1D 的粉煤灰堆场 Cr\(VI\) 在包气带中迁移规律的研究](#)

[工业废水活性炭深度处理的研究](#)



移动扫码阅读

王坤,王忠泉,秦树林,等.微电解—EGSB—生物增浓工艺处理聚酯废水试验研究[J].能源环境保护,2020,34(3):38-42.

WANG Kun, WANG Zhongquan, QIN Shulin, et al. Study on the treatment of polyester wastewater by microelectrolysis-EGSB-bioconcentration process[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(3): 38-42.

# 微电解—EGSB—生物增浓工艺处理聚酯废水试验研究

王坤,王忠泉,秦树林,刘臣亮,管敏琳

(煤科集团杭州环保研究院有限公司,浙江杭州311201)

**摘要:**为了有效去除难降解有机物,采用由微电解、EGSB、生物增浓等单元组成的复合工艺处理聚酯废水,分析了处理效果与主要工艺参数。结果表明:在填料填充率为80%、气水比为3、反应时间大于1 h条件下,微电解预处理工艺对COD去除率大于40%,B/C可提升至0.34;在水力停留时间(HRT)为12 h,上升流速为3.2 m/h的条件下,EGSB对COD平均去除率为62.9%;在填料填充率为40%、HRT=9.5 h的条件下,好氧生物增浓反应器的微生物浓度大于9 g/L,出水COD平均值为229 mg/L。

**关键词:**聚酯废水;微电解;厌氧颗粒污泥;COD去除

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)03-0038-05

## Study on the treatment of polyester wastewater by microelectrolysis-EGSB-bioconcentration process

WANG Kun, WANG Zhongquan, QIN Shulin, LIU Chenliang, GUAN Minlin

(Hangzhou Environmental Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

**Abstract:** In order to remove refractory organic matter effectively, a combined process consisting of micro-electrolysis, EGSB, bioconcentration and other units was used to treat polyester wastewater. The treatment effect and main process parameters were analyzed. The results show that under the conditions that the filling rate of the filler is 80%, the gas-water ratio is 3, and the reaction time is greater than 1 h, the removal rate of COD by the micro-electrolysis pretreatment process is greater than 40%, and the B/C is increased to 0.34. The removal rate of COD by EGSB is 62.9% when the hydraulic retention time (HRT) is 12 h and rising velocity is 3.2 m/h. The microorganism concentration in the aerobic bioconcentration reactor is greater than 9 g/L, and the average concentration of effluent COD is 229 mg/L, when filling rate is 40% and HRT is 9.5 h.

**Key Words:** Polyester wastewater; Microelectrolysis; Anaerobic granular sludge; COD removal

## 0 引言

聚酯 Polyethylene terephthalate (PET)是由多元醇和多元酸缩聚反应产生的聚合物,性能优异、用途广泛,可用于加工合成纤维、薄膜、塑料制品

等<sup>[1]</sup>。我国年产聚酯量超过4 000万t,聚酯生产过程中伴随着大量的废水排放,此废水中的污染物包含多元醇、乙醛、甘醇、酯类、苯系物及其降解中间产物和低聚物,具有COD浓度高、成分复杂、波动大、呈酸性、生物可降解性差等特点<sup>[2]</sup>。目

收稿日期:2020-03-30

基金项目:中国煤炭科工集团有限公司科技创新创业资金专项项目(2018-2-QN-004)

第一作者简介:王坤(1990-),男,四川绵阳人,硕士研究生,助理研究员,研究方向为工业废水处理技术。TEL:0571-82728709。E-mail:wangkun6rrtoy@126.com

前,许多学者研究了不同技术处理聚酯废水,包括好氧处理、厌氧处理、芬顿氧化等等<sup>[3-5]</sup>。通常,聚酯废水采用直接生化处理效果并不理想,对微生物冲击较大,经氧化预处理降低污染物浓度和毒性后进入生化系统更为可行;而常用的芬顿氧化技术需要在较低的 pH 条件下进行,额外增加了药剂成本。相比之下,微电解氧化反应更适用于聚酯废水偏酸条件下通过 Fe 与 C 的电位差在废水中产生电化学氧化反应,利用 Fe 的酸性腐蚀和氧化作用能同时提升聚酯废水的 pH 和同步去有机污染物,更适合作为预处理工艺。目前针对聚酯废水的生化工艺多采用常规厌氧好氧生物组合工艺,与常规生化工艺相比,厌氧颗粒污泥具有粒径

大、沉降快、生物菌落丰富、降解效率高、产气效率高,同时能耐受较高浓度和较大负荷废水的优势,是聚酯废水生化处理的更佳选择。本研究将采用微电解联合厌氧颗粒污泥处理高浓度聚酯废水,考察其处理效果,为高浓度聚酯废水提供更稳定高效的处理工艺。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验水样与活性污泥

实验水样取自浙江某聚酯材料生产厂污水站调节池(混合水样),聚酯废水 COD=5 000~8 000 mg/L, BOD=600~1 100 mg/L, pH=4.0~5.6,水质情况如表 1 所示。

表 1 聚酯废水微电解预处理不同条件下对 COD 的去除效果

填充率 <sup>a</sup>	进水 COD/ mg · L <sup>-1</sup>	出水 COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	反应时间 <sup>b</sup> /min	进水 COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	出水 COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	气水比 <sup>c</sup>	进水 COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	出水 COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )
50%	5 824	4 637	15	5 903	4 883	1:1	5 252	3 231
60%	5 613	4 022	30	5 903	4 205	3:1	5 356	3 063
70%	5 676	3 751	60	5 903	3 731	5:1	5 489	3 304
80%	6 020	3 496	90	5 903	3 638	7:1	5 553	3 412

注:a 反应停留时间 1 h,气水比 5:1;b 填料填充率 70%,气水比 5:1;c 填充率 70%,反应时间 1h。

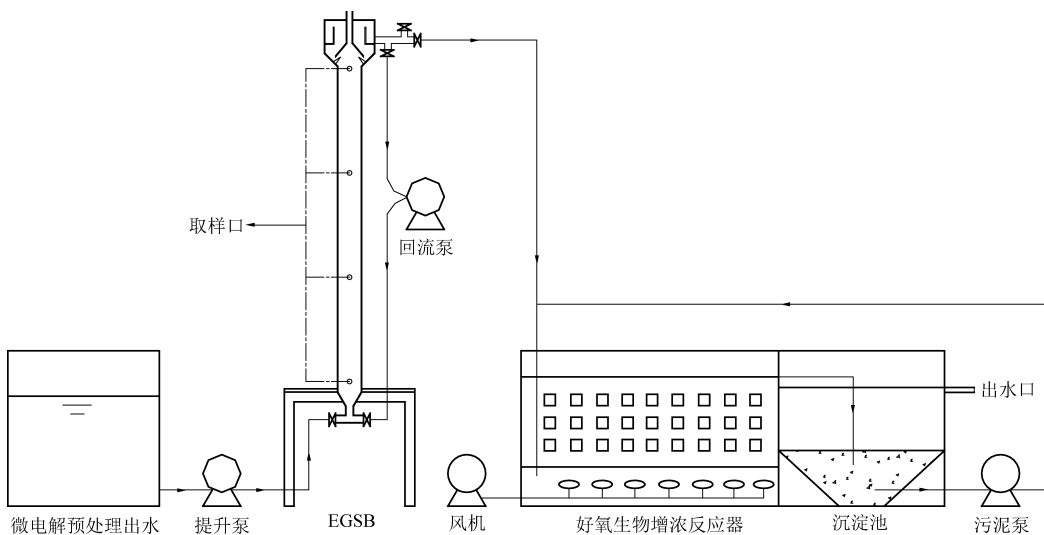


图 1 生化处理实验装置图

厌氧颗粒污泥取自杭州某啤酒厂 UASB 反应器底部, VS/TS = 70.4%;好氧活性污泥取自二沉池回流污泥, VS/TS = 84.3%。

### 1.2 实验装置及方法

#### 1.2.1 微电解氧化预处理

微电解反应为序批式,微电解填料为椭球颗粒状(粒径=2~5 cm),由碳粉、铁粉、粘结剂和催化剂在隔绝氧气条件下高温烧结而成,烧结温度

1 000~1 100 ℃。填料使用前用 pH 为 4 的硫酸溶液清洗,再用聚酯废水浸泡过夜,实验主要考察填料填充率、反应时间、曝气强度对聚酯废水处理效果的影响,由于聚酯废水本身呈酸性,因此反应过程不调节 pH。微电解后废水用 NaOH 调节 pH 至 8.0 左右,经絮凝沉淀后取上清液为出水。

#### 1.2.2 生化处理实验

经微电解处理后的难降解工业废水进入厌氧

处理系统(如图 1 所示),厌氧处理采用膨胀颗粒污泥床(EGSB)反应器,反应器总有效容积 10 L,初始污泥浓度为 20 g/L, HRT 为 12 h,内回流比为 15:1,水力上升流速为 3.2 m/h,厌氧颗粒污泥接种前活化一周,进水时投加 0.1% (v/v) 的生活污水作为颗粒污泥生长的微量元素。EGSB 出水流入好氧生物增浓反应器,好氧反应器有效容积 8 L,内部填充 40% 颗粒载体填料 NC-5ppi,初始接种污泥浓度 5 g/L,控制 DO>4.0 mg/L,好氧出水经沉淀池泥水分离后排出,沉淀池污泥回流至好氧池,回流比 2:1。

### 1.3 分析方法

COD 采用国标重铬酸钾滴定法测定(COD<sub>Cr</sub>), BOD 采用接种稀释法(HJ 505—2009)测定(BOD<sub>5</sub>),污泥粒径采用激光粒度分析仪测定,实验数据均为两次测定平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微电解氧化处理影响因素

微电解对污染物的氧化主要依靠铁与碳的电位差,在电解质溶液中发生原电池反应,产生电子的转移,在有氧条件下形成羟基自由基·OH。羟基自由基具有极强的氧化性,与大多数有机污染物发生氧化反应,从而降低废水的 COD。

根据表 1 中数据可以发现,微电解填料的填充比对 COD 的去除效果影响较大,填充比越高,COD 去除越明显,主要原因是填料越多,发生电化学反应越充分,产生的·OH 量也就越多,在填料填充率达到 80% 时,微电解对聚酯废水 COD 去除率为 41.9%。同时,微电解反应时间越长,COD 去除率越高,从数据可以看出微电解对聚酯废水污染物的降解主要集中在反应前 30 min。此外,曝气量对微电解反应具有一定的影响<sup>[6]</sup>,曝气量过小,则产生的·OH 数量少,对污染物降解效率较低;曝气量过大,多余的氧气阻碍电子在水中的传递,限制自由基的产生,不利于污染物降解<sup>[7-8]</sup>。试验结果显示,聚酯废水的微电解预处理气水比为 3:1 较为合适。在最优条件下进行多次聚酯废水的微电解试验,结果显示在填充率 80%、气水比 3:1、反应时间 1 h 条件下,出水平均 pH 由 3.86 升高至 5.73,平均进水 COD=5 438 mg/L、B/C=0.18,出水平均 COD 达到 2 855 mg/L、B/C=0.34(表 2 所示)。聚酯废水 COD 得到大幅降解的同时可生化性显著提升,这主要是由于微电解

对酯类和苯环类的水解、氧化使得难降解污染物向可降解污染物转变。

表 2 优化条件下微电解处理聚酯废水效果

最优微电解反应条件	指标	进水平均值	出水平均值
填料填充比 80%	pH	3.86	5.73
反应时间 1 h	COD(mg·L <sup>-1</sup> )	5 438	2 855
气水比 3:1	B/C	0.18	0.34

### 2.2 EGSB 联合好氧生物增浓工艺处理聚酯废水

聚酯废水经过微电解预处理后(反应条件为:停留时间 1 h,气水比 3:1,填充率 70%)进入 EGSB 反应器,水中污染物在厌氧颗粒污泥作用下实现降解去除。从图 2 中数据可以看出,试验条件下,厌氧颗粒污泥对聚酯废水 COD 降解效果显著,1~8 d EGSB 的出水 COD 虽然较高,但在逐步降低,这主要是因为运行初期的厌氧微生物正处于适应阶段,活性尚未恢复。EGSB 反应器在运行 8 d 后稳定,生化稳定期出水 COD 平均去除率达到 62.9%。较高的 COD 去除率主要是由于前端的微电解预处理大幅提升了废水的可生化性,为厌氧颗粒污泥的生长和形成提供了有利条件。厌氧颗粒污泥对聚酯废水中有机污染物的去除主要包括以下途径:(1)厌氧颗粒污泥的吸附作用,水中的带电有机物被吸附在颗粒污泥表面;(2)厌氧颗粒污泥分泌的胞外酶对有机物的水解和分解作用,部分有机污染物渗入厌氧颗粒污泥内部被内部产酸菌和产甲烷菌利用分解;(3)小分子有机物通过厌氧微生物的主动运输进入细胞内,作为厌氧菌的碳源被利用。

从颗粒污泥平均粒径可以看出(图 3),EGSB 运行初始一周,平均粒径从 1.42 mm 降至 1.02 mm,造成该现象的原因可能由以下三个方面:(1)由于较高的水力剪切力破坏了原有颗粒污泥的结构导致其粒径减小<sup>[9]</sup>;(2)聚酯废水中的未被完全氧化处理部分难降解物质抑制了厌氧微生物的代谢<sup>[10]</sup>;(3)微生物生长的微量元素不足导致颗粒污泥应激反应释放较多的胞外聚合物破坏了原有的颗粒结构<sup>[11]</sup>。运行一周以后出水 COD 在逐步稳定在 800~1 000 mg/L 左右,到反应器运行结束,颗粒污泥的平均粒径增加到 1.14 mm,粒径并未进一步降低,这表明厌氧颗粒污泥逐渐适应了聚酯废水水质特点与较高的水力剪切力,正在逐渐恢复原有的颗粒形态。

好氧段对聚酯废水的 COD 去除效果也较为

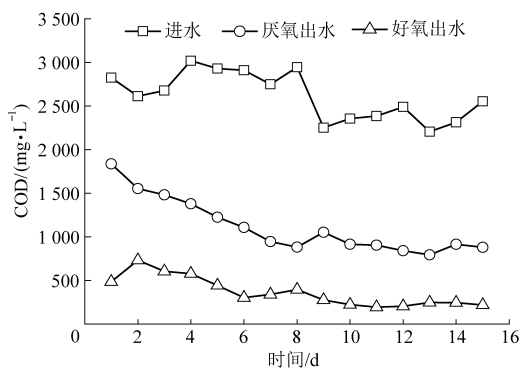


图2 聚酯废水各生化段出水 COD

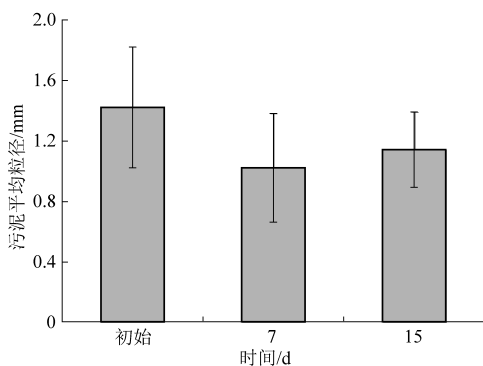


图3 厌氧颗粒污泥平均粒径变化

明显,平均去除率达到 89.8%,出水 COD 稳定小于 300 mg/L。同时测定好氧污泥浓度可以发现,系统运行稳定后填料内部生物膜较厚,总的污泥浓度达到 9.4 g/L(如图 4 所示),比初始接种泥量提升了近一倍。这主要是因为:(1)亲水性生物载体的存为好氧微生物提供了较好的附着生长环境,容易形成较厚的生物膜;(2)较高的填料比表面积有助于填料上微生物的分布和聚集;(3)微电解预处理后的聚酯废水 B/C 明显提升,为好氧微生物的生长提供了有利条件;(4)厌氧颗粒污泥降解了聚酯废水中的大部分 COD,降低了好氧段的负荷也是好氧段高 COD 去除的保证<sup>[12-15]</sup>。

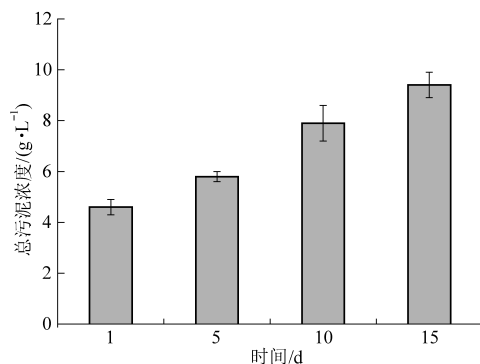


图4 好氧生物增浓工艺

### 3 结论

通过研究“微电解+厌氧颗粒污泥+好氧生物增浓”工艺处理高浓度聚酯废水,可以得出以下结论:

(1)微电解预处理工艺在填料填充比 80%、气水比 3:1、反应时间大于 1 h 条件下,对聚酯废水 COD 去除率可达 40%以上,同时能有效提升废水 B/C;

(2)厌氧颗粒污泥能较好的针对预处理后的聚酯废水,EGSB 反应器能较好的维持厌氧颗粒污泥的形态,在 EGSB 水力停留时间 12 h,水力上升流速 3.2 m/h 时,其平均 COD 去除率达 62.9%;

(3)填料填充 40%、HRT=9.5 h 时,好氧生物增浓反应器能有效的富集微生物达到 9 g/L 以上,经好氧段处理后的聚酯废水出水平均 COD 为 229 mg/L,明显优于纳管标准。

### 参考文献

- [1] Choi S. Y., Rhie M. N., Kim H. T., et al. Metabolic engineering for the synthesis of polyesters: A 100-year journey from polyhydroxyalkanoates to non-natural microbial polyesters [J/OL]. *Metabolic Engineering*, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2019.05.009>.
- [2] 杨赓,沈翔,朱国伟,等. 聚酯废水处理方法综述 [J]. *污染防治技术*, 2003 (2): 27-30.
- [3] Sun F., Hu J., Zhou Y., et al. High efficient alternating anaerobic/aerobic process for polyester resin wastewater treatment: Performance and microbial community structure [J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2018, 138 (15): 121-130.
- [4] 杜鹏. 臭氧/电催化氧化技术联用在高浓度树脂废水预处理中的应用研究 [D]. 绵阳: 西南科技大学, 2017: 3-7.
- [5] 邱贤华, 杨莉, 刘毅. 综合法处理聚酯废水工艺探讨 [J]. *环境污染与防治*, 2013, 35 (11): 112.
- [6] 喻清. 铁炭微电解—厌氧水解—微藻工艺处理高浓度制药废水 [D]. 南昌: 华东交通大学, 2018: 33-35.
- [7] 杨庆, 黄颖. 铁炭微电解+水解酸化+BAF 工艺处理苯胺废水 [J]. *工业水处理*, 2019, 39 (9): 105-107.
- [8] 舒海民, 肖晓笛, 姚咏歌, 等. 铁炭微电解-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 工艺预处理制药废水的研究 [J]. *环境与发展*, 2019, 31 (6): 121-123.
- [9] 方晓, 蒋柱武, 张亚雷, 等. 厌氧颗粒污泥性质与颗粒化研究新进展 [J]. *江苏环境科技*, 2005 (4): 44-46.
- [10] Nnaji C. C.. A review of the upflow anaerobic sludge blanket reactor [J]. *Desalination and Water Treatment*, 2014, 52 (22-24): 4122-4143.
- [11] Subramanyam, R. Physicochemical and morphological characteristics of granular sludge in upflow anaerobic sludge blanket reactors [J]. *Environmental Engineering Science*, 2013, 30

- (5): 201-212.
- [12] Rajitha K., Nancharaiah Y. V., Venugopalan V. P.. Role of bacterial biofilms and their EPS on settlement of barnacle (*Amphibalanus reticulatus*) larvae [J/OL]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2020, 150, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.104958>.
- [13] Zhao Y., Liu D., Huang W., et al. Insight into biofilm carriers for biological wastewater treatment processes: Current state-of-the-art, challenges, and opportunities [J]. *Biore-source Technology*, 2019, 288: 121619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121619>.
- [14] Wu X., Pan J., Li M., et al. Selective enrichment of bacterial pathogens by microplastic biofilm [J]. *Water Research*, 2019, 165 (15): 114979.
- [15] 江宇勤, 厉炯慧, 方治国. 多孔填料特性对生物膜形成影响 [J/OL]. *环境科学*: 1 - 9 [2020 - 04 - 22]. <https://doi.org/10.13227/j.hjcx.201912226>.