

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.10.017

# 农药污染场地修复过程中的废水处理工程设计

张磊<sup>1,2</sup>, 李新天<sup>3</sup>, 于季红<sup>4</sup>, 许丹宇<sup>2</sup>, 单连斌<sup>1</sup>, 魏春飞<sup>1</sup>, 蒋帅<sup>1</sup>

(1. 沈阳环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110167; 2. 天津市生态环境科学研究院, 天津 300191;

3. 齐鲁工业大学 基建处, 山东 济南 250353; 4. 沈阳市水务事务服务与行政执法中心, 辽宁 沈阳 110000)

**摘要:** 场地修复在我国处于高速发展阶段,然而目前对修复过程中的废水处理工艺研究较少。某农药污染场地修复采用异位修复技术,施工过程产生的废水成分复杂,水质差异大。根据不同污染地块的水质特点,对废水进行分质收集处理。高浓度废水采用混凝沉淀+Fenton氧化工艺预处理后,与低浓度废水混合。混合后的废水利用水解酸化+接触氧化工艺进行处理。工程设计处理规模为600 m<sup>3</sup>/d。运行结果表明,工艺能够有效去除废水中的有机物、氨氮、总磷、苯系物等污染物,出水水质可稳定达到纳管要求,直接运行费用为8.52元/m<sup>3</sup>。

**关键词:** 污染场地; 二次污染防治; Fenton氧化

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)10-0095-04

## Design of Wastewater Treatment Project in Remediation Process of Pesticide Contaminated Site

ZHANG Lei<sup>1,2</sup>, LI Xin-tian<sup>3</sup>, YU Ji-hong<sup>4</sup>, XU Dan-yu<sup>2</sup>, SHAN Lian-bin<sup>1</sup>,  
WEI Chun-fei<sup>1</sup>, JIANG Shuai<sup>1</sup>

(1. Shenyang Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110167, China; 2. Tianjin Academy of Eco-Environmental Sciences, Tianjin 300191, China; 3. Office of Infrastructure Construction, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China; 4. Shenyang Water Affairs and Administrative Law Enforcement Center, Shenyang 110000, China)

**Abstract:** Remediation of contaminated site is in rapidly developing stage in China. However, available wastewater treatment technology in the remediation process was rarely reported. Ex-site remediation technologies were applied in the remediation of a pesticide contaminated site, and the wastewater produced during the construction process was complicated and the water quality varied greatly. According to the characteristics of wastewater from different polluted sites, the wastewater was collected and treated separately. The high-concentration wastewater was pretreated by a combined process of coagulation precipitation and Fenton oxidation, and then mixed with low-concentration wastewater. The mixed wastewater was eventually treated by hydrolytic acidification and contact oxidation. The designed treatment capacity of the project was 600 m<sup>3</sup>/d. The operational results showed that the combined process

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07601-001); 天津市“131”创新型人才团队项目(201928); 环境微生物四川省重点实验室开放研究基金资助项目(KLCAS-2020-2)

通信作者: 许丹宇 E-mail: danyu079@126.com

could effectively remove pollutants such as organic pollutants, ammonia nitrogen, total phosphorus and benzene series in the wastewater. The effluent water quality could always meet the requirements for wastewater discharge into sewers, and the direct cost was 8.52 yuan/m<sup>3</sup>.

**Key words:** contaminated site; secondary pollution prevention; Fenton oxidation

2017 年 1 月,国务院办公厅印发的《安全生产“十三五”规划》中要求“加快实施人口密集区域危险化学品和化工企业生产、仓储场所安全搬迁工程”。初步估计,企业搬迁后遗留的各类工业污染场地至少以数十万计,多分布在经济发达地区和老工业基地<sup>[1]</sup>,工业污染场地修复工作已广泛开展<sup>[2]</sup>,但其耗时长、处置过程复杂,易产生二次污染。施工期间的基坑积水、地表径流和使用的修复药剂都可能影响场地内的地表水和地下水<sup>[3]</sup>。《土壤污染防治法》《污染地块土壤环境管理办法(试行)》等均对修复中的二次污染防治作出明确规定。

## 1 工程概况

### 1.1 废水水量

某农药股份有限公司主要产品为乙草胺、氟磺胺草醚、甲氰菊酯和丁烯氟虫腈,其生产、存贮过程导致场区土壤及地下水污染。该公司搬迁至化工园区后,需对污染场地进行异位修复。废水主要来自基坑降水、地下水抽提和自然降雨。

据测算,修复工程进行期间最大废水产生量为 2 000 m<sup>3</sup>/d。其中部分废水符合纳管要求,可经排

水沟直接排入市政污水管道,其余约 540 m<sup>3</sup>/d 需经处理后方能外排。配套设计处理能力为 600 m<sup>3</sup>/d 的污水处理设施,运行时间按 24 h/d 计算。

### 1.2 设计进、出水水质

场地土壤中共计 21 种污染物超标,其中二甲苯、氯苯、1,2-二氯乙烷为主要关注污染物。VOCs 含量在 0~4.0 m 范围内随土壤深度增加而降低,而后有所反弹。地下水稳定水位埋深为 0.58~2.60 m,水位标高 1.71~2.13 m。由于地下水埋深较浅,污染物易于扩散。地下水中超标污染物共 16 种,其中氨氮、二甲苯、氯苯超标严重。修复工程根据场地受污染程度不同选取合理支护形式并进行分区降水、分区开挖,各分区废水水质也存在较大差异。

废水分为高浓度废水和低浓度废水,其中高浓度废水量约 240 m<sup>3</sup>/d,低浓度废水量约 300 m<sup>3</sup>/d。废水处理后排放至当地城镇污水处理厂。建设单位与城镇污水厂依据《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)、《杂环类农药工业水污染物排放标准》(GB 21523—2008)商定排放控制要求,并报环境保护主管部门批准。具体进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

mg · L<sup>-1</sup>

项目	COD	NH <sub>3</sub> -N	TP	甲苯	氯苯	邻二甲苯	对(间)二甲苯
高浓度废水	2 200	65	20	1.0	1.5	2.0	2.5
低浓度废水	450	35	5.0	0.5	1.0	1.5	2.0
设计出水	300	30	5.0	0.1	0.2	1.0	1.0

## 2 工艺流程及设计参数

### 2.1 工艺流程

废水分质收集处理。高浓度废水 COD、氨氮、总磷严重超标,水质复杂,呈浅褐色,可生化性差,采用混凝沉淀+高级氧化预处理工艺去除废水中的色度、总磷,并提高其可生化性。低浓度废水和经过预处理的高浓度废水混合后采用水解酸化+生物接触氧化工艺进行二级处理。化学污泥和剩余污泥经脱水后,进行危险废物鉴定。经鉴定属于危险废物的批次委托具有危险废物经营许可证的单位进行处置,其余批次卫生填埋。

具体工艺流程见图 1。

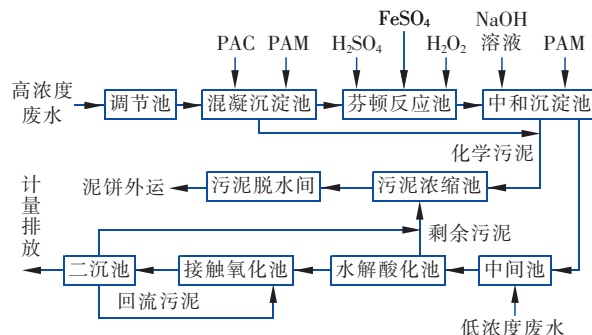


图 1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

## 2.2 主要设备及构筑物

① 调节池 1 座。池体采用钢板焊接,环氧沥青防腐。调节池尺寸为  $5.0\text{ m} \times 5.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$ ,有效容积为  $60\text{ m}^3$ ,水力停留时间  $6.0\text{ h}$ 。池内安装液位控制器 1 套;提升泵 2 台(1 用 1 备)。

② 混凝沉淀池 1 座。用于去除废水中悬浮颗粒、胶体颗粒,并降低废水色度。碳钢防腐。尺寸为  $4.3\text{ m} \times 2.2\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ ,设计表面负荷为  $1.5\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。配套斜板填料  $5.2\text{ m}^3$ 、垂直轴式搅拌机 1 台和一体化加药装置 2 套。聚合氯化铝(PAC)设计投加量为  $3.0\text{ mg/L}$ ,聚丙烯酰胺(PAM)设计投加量为  $0.2\text{ mg/L}$ 。

③ 芬顿反应池 1 座。分为调酸池和反应池,PP 材质。芬顿反应池尺寸为  $6.0\text{ m} \times 2.2\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ 。其中调酸池有效容积为  $6.6\text{ m}^3$ ,水力停留时间  $0.66\text{ h}$ ,池内安装工业在线 pH 计 1 套,垂直轴式搅拌机 2 台。反应池分为串联的 2 格,有效容积为  $20.7\text{ m}^3$ ,水力停留时间约为  $2.0\text{ h}$ ,每格内各安装框式搅拌机 1 台。 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  设计投加量为  $5\ 500\text{ mg/L}$ , $\text{H}_2\text{O}_2$ (含量 27.5%)设计投加量为  $6.8\text{ mL/L}$ 。

④ 中和沉淀池 1 座。用于调节废水 pH 值至中性,并将废水中的  $\text{Fe}^{2+}$  以沉淀的形式析出。池体碳钢防腐。尺寸结构与混凝沉淀池相同。

⑤ 中间池 1 座。用于均化水质、水量。利用场地修复过程中的基坑改造而成,池内铺设防渗土工膜,有效容积为  $220\text{ m}^3$ ,水力停留时间为  $8.8\text{ h}$ 。池内安装提升泵 2 台(1 用 1 备)。

⑥ 水解酸化池 1 座。池体为玻璃钢材质。水解酸化池为升流式,尺寸为  $\varnothing 5.0\text{ m} \times 8.2\text{ m}$ ,有效容积为  $121\text{ m}^3$ ,水力停留时间为  $4.8\text{ h}$ 。

⑦ 生物接触氧化池 2 座。并联布置,玻璃钢材质。单座尺寸  $\varnothing 3.0\text{ m} \times 9.6\text{ m}$ ,有效容积  $52\text{ m}^3$ ,水力停留时间  $4.2\text{ h}$ 。池内安装弹性悬挂填料  $57\text{ m}^3$ ,规格为  $\varnothing 200\text{ mm} \times 180\text{ mm}$ ,气水比为  $12:1$ 。

⑧ 二沉池 1 座。池体碳钢防腐,尺寸为  $7.3\text{ m} \times 3.0\text{ m} \times 3.8\text{ m}$ ,设计表面负荷  $1.3\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。配套斜板填料  $15\text{ m}^3$ 、剩余污泥泵 1 台、回流污泥泵 1 台。

⑨ 污泥浓缩池 1 座。池体采用钢板焊接,环氧沥青防腐。尺寸为  $6.0\text{ m} \times 6.0\text{ m} \times 4.5\text{ m}$ ,有效容积为  $136\text{ m}^3$ 。

⑩ 污泥脱水间 1 座。彩钢板房,平面尺寸为

$9.2\text{ m} \times 4.7\text{ m}$ 。配套板框压滤机 2 台,单台过滤面积  $120\text{ m}^2$ 。

## 3 运行中的问题及对策

### 3.1 问题及原因分析

系统经调试启动后,运行效果良好。在系统稳定运行两个半月后,生物接触氧化池内的活性污泥絮凝沉降性能下降,二沉池出水浑浊,出现细碎污泥絮体;对  $\text{COD}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  等污染物的去除效果随之显著下降,出水存在超标风险。

由于进水的水温、有机负荷未出现剧烈波动,显微镜下观察菌胶团的形状、透明度等也未见异常,故排除污泥膨胀的可能性。但是菌胶团中的原生动物、后生动物的数量明显减少,故判断造成该现象的原因是:场地不同位点产生的废水成分存在差异,部分位点产生的废水中所含的有毒有害污染物对活性污泥具有抑制作用,进而造成污泥解体。

### 3.2 恢复措施

将粉末活性炭配成炭浆后,连续泵入生物接触氧化池,即采用 PACT(粉末活性炭强化活性污泥工艺)应对进水冲击<sup>[4]</sup>。每两天投加一次,每次投加  $240\text{ kg}$ 。粉末活性炭具有优良的吸附性能,既能促进污泥絮体的形成,又能增强活性污泥的抗负荷冲击能力,促进难降解有机物的分解<sup>[5]</sup>。

同时,向生物接触氧化池中一次性投加  $500\text{ kg}$  液态微生物制剂。微生物制剂主要含假单胞菌属、不动杆菌属、芽孢杆菌属及产碱杆菌属等,菌株筛选自某农药生产企业污水处理站,对有机硫、氨基甲酸酯类化合物均具有良好的耐受性和降解能力。微生物制剂附着于粉末活性炭和填料表面,用于促进废水中有毒有害污染物的降解。

投加粉末活性炭和微生物制剂后第 2 天,出水浑浊现象即明显改善;第 7 天时出水  $\text{COD}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  等开始下降;第 10 天时停止投加活性炭,二沉池出水未见浑浊;第 16 天时镜检发现活性污泥中后生动物数量开始增加,显示活性污泥性能已恢复正常。采取恢复措施前、后的检测结果见表 2。

表 2 恢复措施对出水水质的影响

Tab. 2 Effect of restoration techniques on effluent quality

项 目	$\text{COD}/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_3 - \text{N}/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{SS}/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{SV}_{30}/$ %
采取恢复措施前	283	27.2	52	48
采取恢复措施后	227	17.6	11	19

#### 4 运行效果及经济分析

工程建设完成后,经一个月的调试,各处理单元

均正常运行,出水水质良好,能够连续稳定达到设计要求。系统出水水质监测结果见表3。

表3 各处理单元处理效果

Tab.3 Treatment effect of each unit

mg · L<sup>-1</sup>

项 目	COD	NH <sub>3</sub> - N	TP	甲苯	氯苯	邻二甲苯	对(间)二甲苯
调节池	2 120	59.3	16.6	0.82	1.29	1.87	2.26
混凝沉淀池	1 870	54.6	15.3	—	—	—	—
芬顿反应池	867	48.5	2.32	0.062	0.098	0.27	0.32
中间池	598	31.6	3.08	0.28	0.48	0.92	1.23
水解酸化池	359	38.3	2.58	0.012	0.091	0.093	0.077
生物接触氧化池	216	19.2	1.95	—	—	—	—
二沉池	195	19.2	1.88	0.007 3	0.005 7	0.061	0.066

直接处理费用包括电费、药剂费及人工费。实际用电量平均值为 516 kW · h/d,电价为 0.75 元/(kW · h),平均处理水量 528 m<sup>3</sup>/d,则电费为 0.74 元/m<sup>3</sup>,药剂费 6.89 元/m<sup>3</sup>。劳动定员 4 人,平均工资为 3 500 元/(人 · 月),人工费 0.89 元/m<sup>3</sup>。则直接处理成本合计 8.52 元/m<sup>3</sup>。

#### 5 结论

采用分质处理措施对农药污染场地修复工程废水进行处理,运行结果表明,混凝沉淀 + Fenton 预处理能够有效去除废水中的 COD、TP 和苯系污染物,降低生化处理单元的负荷;经过预处理的高浓度废水与低浓度废水混合,然后采用水解酸化 + 接触氧化工艺处理,出水各项指标均能达到纳管要求。

#### 参考文献:

- [1] 张长波. 污染场地土壤和地下水修复工程施工监理的个案研究[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(10): 152 - 156.  
ZHANG Changbo. Construction supervision for soil and groundwater remediation project at contaminated site: a case study [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(10): 152 - 156 (in Chinese).
- [2] 苏燕,陈辉,王坚,等. 对工业污染场地治理修复创新机制的思考[J]. 环境保护科学, 2016, 42(4): 43 - 46.  
SU Yan, CHEN Hui, WANG Jian, et al. Thoughts of innovation mechanism for remediation of industrial polluted sites [J]. Environmental Protection Science, 2016, 42(4): 43 - 46 (in Chinese).

- [3] 丁亮,王水,曲常胜,等. 污染场地修复工程二次污染防治研究[J]. 生态经济, 2016, 32(10): 189 - 192.  
DING Liang, WANG Shui, QU Changsheng, et al. Research on secondary pollution prevention and control in contaminated site remediation project [J]. Ecological Economy, 2016, 32(10): 189 - 192 (in Chinese).
- [4] 张龙,涂勇,郭方峥,等. 化工产业为主的工业园区污水处理厂提标改造工程设计[J]. 中国给水排水, 2014, 30(18): 76 - 80.  
ZHANG Long, TU Yong, GUO Fangzheng, et al. Design of upgrading and reconstruction project of wastewater treatment plant in chemical industrial park [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(18): 76 - 80 (in Chinese).
- [5] 郭新双,苏本生,宋英豪,等. UASB - PACT 工艺处理有机颜料废水中试研究[J]. 环境工程学报, 2016, 10(8): 4337 - 4342.  
GUO Xinsuang, SU Bensheng, SONG Yinghao, et al. Pilot-scale study on treatment of organic pigment wastewater by UASB-PACT process [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10(8): 4337 - 4342 (in Chinese).

作者简介:张磊(1986 - ),男,山东临沂人,博士,工程师,主要从事水污染控制技术的研究及工程设计工作。

E-mail: zhanglei86@syhky.com

收稿日期: 2020 - 04 - 11

修回日期: 2020 - 04 - 30

(编辑:孔红春)