

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.013

危废处置中心污水分质处理工艺设计及运行经验

王凯¹, 高波², 张磊², 郭修智²

(1. 青岛海湾新材料科技有限公司, 山东 青岛 266700; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘要: 山东省某危险废物处置中心的污水处理系统建设规模为 235 m³/d。根据污水的不同来源和水质特性,分为 4 类分别收集处理。生产污水和初期雨水采用“还原 + 中和 + 絮凝沉淀 + 活性炭过滤”处理工艺;焚烧污水和渗滤液采用蒸发处理工艺;物化系统污水采用“蒸发 + 生化”处理工艺;生活污水与物化污水蒸发系统出水采用“O/A + MBR”工艺处理。详细介绍了 4 条处理线的工艺流程和设计参数。近半年实际运行效果显示,系统运行稳定,水质波动较小。各项出水水质能够达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的要求,COD、BOD₅、NH₃-N、TDS 平均去除率分别为 95.52%、95.48%、95.13%、99.85%,处理成本约为 3.7 元/m³。

关键词: 危险废物; 污水处理; 蒸发系统

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0069-05

Experience in Design and Operation of Wastewater Separate Treatment in the Hazardous Waste Disposal Center

WANG Kai¹, GAO Bo², ZHANG Lei², GUO Xiu-zhi²

(1. Qingdao Haiwan New Material Technology Co. Ltd., Qingdao 266700, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The treatment capacity of a wastewater treatment system of a hazardous waste disposal center in Shandong Province is 235 m³/d. The wastewater was divided into four categories and collected and treated separately according to its different sources and quality characteristics. The production wastewater and initial rainwater were treated by “reduction + neutralization + flocculation and precipitation + activated carbon filtration” process; Incineration wastewater and leachate were treated by evaporation process; Physicochemical wastewater was treated by “evaporation + biochemical treatment” process; Domestic sewage and physicochemical evaporation effluent were treated by “O/A + MBR” process. The process flow and design parameters of the four treatment processes were introduced in detail. The actual operation results in the last half year showed that the system operated stably and the water quality fluctuated little. The effluent quality could meet the standard of *Wastewater Quality Standards for Discharge to Municipal Sewers* (GB/T 31962 - 2015), the average removal rate of COD, BOD₅, NH₃-N, TDS was 95.52%, 95.48%, 95.13%, 99.85% respectively, and the treatment cost was 3.7 yuan/m³.

Key words: hazardous waste; wastewater treatment; evaporation system

目前国内典型的危废处置场污水处理工艺是“物化+生化+过滤”组合工艺:物化工艺主要是气浮、氧化还原、混凝沉淀等,生化工艺主要是曝气生物滤池、膜生物反应器等,过滤工艺主要是砂滤、活性炭过滤器等。上述典型工艺组合在国内均有运行案例,例如浙江省台州市危废处置中心废水处理采用“气浮+氧化还原+A/O”工艺,北京市危废处置中心废水处理工艺采用“气浮+氧化还原+曝气生物滤池”,山西省太原危废处理中心废水处理采用“气浮+氧化还原+膜生物反应器”,处理出水均能达到相应的排放标准^[1]。

此外,由于焚烧工艺产生的排水 TDS 高达 10 000~50 000 mg/L,后端往往还需要增加膜过滤或蒸发等深度处理工艺。例如,广东某危废处置场通过 RO 对 MBR 出水进行深度去离子软化处理^[2]。国内某危废处置场对焚烧工艺产生的 TDS 高达 18 000 mg/L 的排水采用 NF/RO 深度处理工艺^[3]。山东、浙江、江苏等地的危废处理场对高盐度废水均采用了蒸发处理工艺^[4]。

1 工程背景

1.1 污水来源

山东某危险废物处置中心共有 3 套废物处理流程:医药废物、废药物药品、农药废物、废矿物油、废有机溶剂、精蒸馏残渣、染料/涂料废物、有机树脂类废物、废卤化有机溶剂废物等采用焚烧处理;废酸碱、废乳化液等进行物化处理;所有预处理和处理后的废物进行固化填埋处理。相应产生的废水主要有焚烧车间排水、物化车间排水、填埋场渗滤液。此外,还有生活污水、生产污水、初期雨水等。

① 焚烧车间排水:排水点主要是烟气净化系统,污水中 COD、BOD₅ 含量较少,但含有大量的盐分,并且 pH 值呈酸性。

② 物化车间排水:排水点主要来自氧化、还原、中和等物化反应后的废水,污水中含高浓度的 COD、BOD₅ 和盐分,以及部分废油类污染物。

③ 填埋场渗滤液:污染物浓度较高,主要为 COD、重金属、石油类、病毒性物质等。

④ 生活污水:包括办公、淋浴、厕所排水等厂内与生产无关的排水,主要污染物为有机污染物。

⑤ 生产污水:生产用水包括地面冲洗水、化验室排水、运输车辆及容器冲洗水等;厂内道路地面冲洗水主要含有大量悬浮物和少量重金属;化验室排

水成分复杂多变,主要含有悬浮物、COD、重金属、石油类、病毒性物质等,且污染物浓度较高。此外,由于危废运输均采用桶装容器运输,运输车辆比较干净,洗车废水含少量悬浮物,而容器冲洗水中主要含有石油类、悬浮物、重金属、有机物等。

⑥ 初期雨水:危废处置厂初期雨水必须经过处理才能外排,故设置初期雨水收集池,收集后处理,该部分污水中含有大量悬浮物和少量重金属。

各类废水排水量见表 1。

表 1 各类废水排水量

Tab. 1 Discharge of various types of wastewater

项 目	排水量 m ³ · d ⁻¹
焚烧车间排水	63.12
物化车间排水	55.5
渗滤液	30.0
生活污水	9.60
地面冲洗水	20.4
化验室排水	3.40
洗车洗桶排水	2.04
初期雨水	30.0

1.2 污水进、出水水质

由于厂区初期雨水的水质与地面冲洗水相似,故将初期雨水与生产污水合并处理;因填埋场渗滤液与焚烧车间排水性质相似,也将二者合并处理,故根据不同来源和水质特性将污水分为 4 类。根据国内项目实际经验对水质进行预测,预测值见表 2。处理后出水达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)B 级标准后外排市政管网。

表 2 不同类别污水水质预测

Tab. 2 Water quality prediction of various types of wastewater

项 目	生活 污水	生产污水 和初期雨水	焚烧系统污 水和渗滤液	物化系 统污水	排放 标准
COD	400	300	<500	5 000	500
BOD ₅	220	<200	<200	2 200	350
NH ₃ -N	150	<50	100	300	45
SS	200	500~800	400~500	900	400
石油类	<15	100	<15	250	15
Cr ⁶⁺	<0.2	<0.1	<5	<0.2	0.5
Cu ²⁺	<1.0	<1.0	<75	<1.0	2
Pb ²⁺	<1.0	<1.0	<5	<1.0	0.5
Zn ²⁺	2~5	2~5	<20	2~5	5
TDS	<1 000	<1 000	<50 000	50 000	2 000

1.3 污水水量

根据表1统计数据,并考虑一定的余量,确定各工艺线处理规模如下:

焚烧系统污水量为 $63.12 \text{ m}^3/\text{d}$ 、渗滤液量为 $30 \text{ m}^3/\text{d}$,合并后总量为 $93.12 \text{ m}^3/\text{d}$,故蒸发系统处理规模按照 $95 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计。

物化污水量为 $55.5 \text{ m}^3/\text{d}$,蒸发系统处理规模按 $60 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计;生活污水 $9.6 \text{ m}^3/\text{d}$,按 $10 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,与物化蒸发排水合并后,生化处理规模按照 $70 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计。

生产污水(地面冲洗水、化验室排水、洗车洗桶排水)为 $25.84 \text{ m}^3/\text{d}$,再考虑一定量的初期雨水及事故水量,合并处理规模为 $70 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2 污水处理工艺

由于焚烧处理系统和物化处理系统的排水中含盐量高达 $50\,000 \text{ mg/L}$,高于常规反渗透系统的进水要求,不适于用RO技术进行深度处理,而同时焚烧系统又产生出大量余热,因此设计采用蒸发处理系统不仅能充分利用余热,还能最大化地减少浓缩液的排放,是最佳的工艺选择。

此外,由于焚烧污水和物化污水水质差异较大,焚烧污水COD较低,经蒸发去除盐分后即可达到排放标准,而物化污水COD较高,蒸发出水还需经过生化处理才能达标排放。鉴于两股污水对蒸发系统设计运行参数要求不同,故设计2套蒸发系统,将二者分开处理。

对4类污水设计了4套处理工艺线,具体工艺流程见图1。

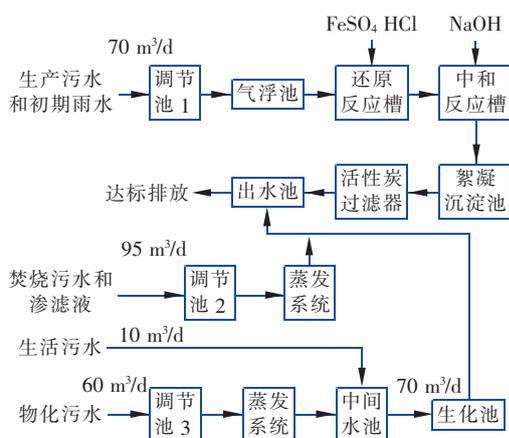


图1 工艺流程

Fig. 1 Process flow chart

① 生产废水和初期雨水处理:污水首先进入

调节池1均衡水质和水量,然后进入气浮池去除油类和悬浮物。气浮池出水泵入还原反应槽,在其中投加硫酸亚铁和盐酸发生 Fe^{2+} 与 Cr^{6+} 的氧化还原反应,反应完毕后pH值 ≤ 3 , $\text{Cr}^{6+} < 0.5 \text{ mg/L}$;随后进入中和反应槽,投加NaOH将污水pH值调节至 $8 \sim 9$,使重金属生成不溶于水的氢氧化物沉淀。中和反应槽出水进入絮凝池,絮凝池中投加PAC(聚合氯化铝)与PAM(阴离子聚丙烯酰胺)进行絮凝,之后进入斜板沉淀池沉降。沉淀池出水再送入活性炭过滤器,进一步去除污染物,出水排入出水池达标外排。系统按照每天运行8h设计。

② 焚烧系统污水和渗滤液处理:污水排入调节池2均匀水质和水量,然后进入蒸发系统去除溶解性固体,出水排入出水池达标排放。系统按照每天运行24h设计。

③ 物化系统污水处理:污水排入调节池3均匀水质和水量,然后进入蒸发系统去除溶解性固体,出水进入中间水池,再由泵提升至生化池,去除有机污染物、氨氮等。生化池由好氧池、缺氧池、MBR膜池、产水池和污泥池组成,在好氧池中通过高活性的好氧微生物作用,去除可生化降解的有机物,MBR膜池通过浸没式超滤膜对有机物、氨氮、总氮、重金属等进一步去除,出水排入出水池达标外排。系统按照每天运行8h设计。

④ 生活污水处理:污水直接排入中间水池,与物化蒸发系统产生的污水混合,一起进入生化池处理。生化系统按每天运行24h设计。

3 主要建(构)筑物设计参数

① 水池

调节池1:1座,有效容积 54 m^3 ,有效水深 3.6 m ,总停留时间 42 h 。

调节池2:1座,有效容积 183 m^3 ,有效水深 3.4 m ,总停留时间 47 h 。

调节池3:1座,有效容积 72 m^3 ,有效水深 3.6 m ,总停留时间 31 h 。

中间水池:1座,有效容积 89 m^3 ,有效水深 3.5 m ,停留时间 32 h 。

出水池:1座,有效容积 118 m^3 ,有效水深 3.6 m ,停留时间约 15 h 。

水池材质均为钢筋混凝土,内衬玻璃钢。

② 气浮池

处理规模为 $10 \text{ m}^3/\text{h}$,设计表面负荷为 $3.5 \text{ m}^3/$

($\text{m}^2 \cdot \text{h}$),采用1台钢制CAF涡凹气浮设备(无溶气罐和溶气泵),尺寸为 $3.5 \text{ m} \times 1.2 \text{ m} \times 1.3 \text{ m}$,材质为钢制内衬PE。配置曝气机1台,功率为2.2 kW;搅拌机2台,功率为0.75 kW;刮渣机1台,功率为0.37 kW。

③ 还原反应槽和中和反应槽

还原槽和中和槽各2座,分为2套并联运行。单座处理规模为 $5 \text{ m}^3/\text{h}$,单池水力停留时间为30 min,有效容积为 2.6 m^3 ,设计尺寸为 $\text{Ø}1\ 300 \text{ mm} \times 3\ 900 \text{ mm}$,材质为钢制内衬玻璃钢防腐。池内各设搅拌机1台,功率为1.5 kW,便于均匀混合。

④ 絮凝沉淀池

絮凝池和斜板沉淀池合建,材质为钢制内衬玻璃钢防腐。絮凝池水力停留时间为30 min,有效容积为 7 m^3 ,有效水深为2.50 m。斜板沉淀池表面负荷为 $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,有效容积为 10.5 m^3 ,有效水深为2.50 m,泥斗深度为1.3 m,斜板净距为80 mm,斜板长度为1.0 m,水平倾角为 60° 。沉淀池后设置集水区用于收集2个沉淀池的出水。

⑤ 活性炭过滤器

设置2台,设计尺寸为 $\text{Ø}1\ 200 \text{ mm} \times 3\ 500 \text{ mm}$,采用活性炭滤料,过滤流速为 $8 \text{ m}/\text{h}$ 。配套2台进水泵和2台反洗水泵,均为1用1备,进水泵单台流量为 $10 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为250 kPa,功率为2.2 kW;反洗泵单台流量为 $40 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为250 kPa,功率为5.5 kW。

⑥ 焚烧污水蒸发系统

采用三效蒸发系统:蒸汽来源于危废焚烧系统余热,设计蒸汽量为 $2.5 \text{ t}/\text{h}$,温度为 130°C ,压力为0.3 MPa;一效加热器换热面积为 120 m^2 ,二效加热器换热面积为 120 m^2 ,三效加热器换热面积为 100 m^2 ;一效循环泵流量为 $1\ 200 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为40 kPa,功率为45 kW;二效循环泵流量为 $1\ 200 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为40 kPa,功率为45 kW;三效循环泵流量为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为40 kPa,功率为37 kW;蒸发冷凝水泵流量为 $10 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为360 kPa,功率为3 kW。

⑦ 物化污水蒸发系统

采用三效蒸发系统:蒸汽来源于危废焚烧系统余热,设计蒸汽量为 $2.5 \text{ t}/\text{h}$,温度为 130°C ,压力为0.3 MPa;一效加热器换热面积为 75 m^2 ,二效加热器换热面积为 75 m^2 ,三效加热器换热面积为 60 m^2 ;一效循环泵流量为 $800 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为30 kPa,功

率为30 kW;二效循环泵流量为 $800 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为30 kPa,功率为30 kW;三效循环泵流量为 $650 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为30 kPa,功率为22 kW;蒸发冷凝水泵流量为 $5 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为300 kPa,功率为3 kW。

⑧ 生化池

生化池由好氧池、缺氧池、MBR膜池、产水池和污泥池组成。好氧池有效容积为 260 m^3 ,有效水深为5.0 m;缺氧池有效容积为 87.5 m^3 ,有效水深为5.0 m;MBR膜池有效容积为 35 m^3 ,有效水深为5.0 m;产水池有效容积为 32.4 m^3 ,有效水深为5.0 m;污泥池(2座)有效容积为 32.4 m^3 ,有效水深为5.0 m;均为钢筋混凝土结构。

生化池污泥浓度为 $4 \sim 5 \text{ g}/\text{L}$,回流比为500%,反硝化速率为 $0.04 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,污泥龄为20 d(按好氧段计算),污泥增长常数为 $0.54 \text{ mgVSS}/\text{mgCOD}$,日排泥量为 $0.37 \text{ m}^3/\text{d}$ (含水率98%),氧转移率为0.2。

MBR膜池采用浸没式超滤膜,膜材质为PVDF,孔径为 $0.02 \mu\text{m}$,膜面积为 240 m^2 ,膜通量为 $12 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,一个周期产水9 min,停产1 min;产水自吸泵流量为 $4.30 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为100 kPa,功率为0.75 kW,自吸高度为4.5 m。

⑨ 污泥脱水系统

污泥脱水机选用板框式全自动压滤机,处理量为 $0.2 \text{ m}^3/\text{d}$,过滤面积为 40 m^2 ,功率为4 kW,干污泥含水率 $< 80\%$,每日工作时间为8 h。

4 运行效果

该项目于2019年11月完成调试,并于12月投入运行,出水各项水质指标达到设计标准。主要出水水质指标的实际监测数据见表3。

运行期间,对调节池1、调节池2、调节池3和中间水池水质进行了定期取样监测。其中,调节池3中COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度最高,平均值分别为 $4\ 552$ 、 $2\ 215$ 、 $267 \text{ mg}/\text{L}$,调节池2和调节池3中TDS浓度最高,平均值分别为 $38\ 920$ 和 $42\ 390 \text{ mg}/\text{L}$ 。取各月出水水质平均值进行计算,COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TDS平均去除率分别为95.52%、95.48%、95.13%、99.85%。近半年的实际运行情况表明,系统运行稳定,出水水质变化不大。根据实际运行情况核算,污水处理系统吨水电费为1.75元、药剂费为0.8元、水费为0.45元、人工费为0.7元,合计 $3.7 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

表3 实际出水水质

Tab.3 Actual effluent quality

mg · L⁻¹

项 目		2019年12月	2020年1月	2020年2月	2020年3月	2020年4月	2020年5月
COD	平均值	210	205	202	195	205	208
	最大值	250	232	235	220	230	240
	最小值	185	175	172	170	175	172
BOD ₅	平均值	105	101	95	100	105	98
	最大值	126	116	122	120	122	116
	最小值	87	85	85	85	82	80
NH ₃ - N	平均值	15	13	13	12	14	15
	最大值	25	23	25	23	20	25
	最小值	10	8	6	8	10	12
TDS	平均值	64	55	57	60	62	60
	最大值	83	80	80	75	78	80
	最小值	52	50	52	50	55	51

5 结论及建议

① 根据危废处置场污水的不同来源和水质特点,设计了4条工艺处理线,出水各项水质指标达到设计要求,吨水处理成本为3.7元/m³。

② 在工程设计阶段,对所产废水的水质往往具有很大的不可预见性。本项目在设计时将废酸碱、废乳化液合并作为物化废水进行处理,但在调试过程中发现,废乳化液的COD实际值高达100 000 mg/L,远高于设计值50 000 mg/L。这部分废水进入物化污水蒸发系统中会导致有机物在蒸发器内部粘壁,影响蒸发器的运行效果。因此,在后期改造中,将废乳化液超越蒸发系统直接进入中间水池进行生化处理。

参考文献:

- [1] 叶雅丽,尹爱琼,陈举烽,等. 氧化还原+生化处理工艺处理危险废物处置场废水[J]. 环境工程,2014,32(增刊):141-143.
Ye Yali, Yin Aiqiong, Chen Jufeng, et al. Wastewater treatment in hazardous waste disposal plants by REDOX and MBR process[J]. Environmental Engineering,2014,32(S):141-143(in Chinese).
- [2] 周健聪. MBR+RO双膜法在危废处置场废水处理中的应用[J]. 水处理技术,2016,42(7):130-132.
Zhou Jiancong. Application of MBR+RO double membrane method in hazardous waste disposal site wastewater treatment [J]. Technology of Water Treatment,2016,42(7):130-132(in Chinese).
- [3] 王红丽,丁西明. 危险废物综合处置场污水处理工艺

设计[J]. 环境卫生工程,2017,25(2):33-36.

Wang Hongli, Ding Ximing. Process design of wastewater treatment in the hazardous waste comprehensive disposal site[J]. Environmental Sanitation Engineering,2017,25(2):33-36(in Chinese).

- [4] 张林. 危险废物焚烧处置中废水零排放案例分析[J]. 上海环境科学,2019,38(6):247-251.
Zhang Lin. A case analysis on zero discharge of wastewater from hazardous waste incineration [J]. Shanghai Environmental Sciences,2019,38(6):247-251(in Chinese).



作者简介:王凯(1976-),男,湖南株洲人,本科,高级工程师,化工行业环境治理专业委员会副主任委员,青岛市固废与土壤专家,主要从事危险废物和医疗废物的收集、运输、贮存和无害化处置工作。

E-mail:hwxckj@126.com

收稿日期:2020-05-19