



生态循环产业园混合工业污水处理工程实例

张 洁, 郭琳琳, 张 鹏

(中节能(临沂)环保能源有限公司, 山东临沂 276000)

[摘要] 针对生态循环产业园区产生的垃圾渗滤液、污泥压滤液、动物无害化污水、餐厨沼液等污水水质成分复杂且不稳定的特点, 结合类似废水实际工程经验, 设计采用“预处理系统(格栅+调节池)+厌氧系统(UASB+中沉池)+MBR系统(两级A/O+外置管式超滤)+纳滤系统”工艺对混合工业废水进行协同处置。运行结果表明: 该工艺充分利用各水质特点, 优势互补, 处理效果稳定, 处理后的出水达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表2标准要求。

[关键词] 生态循环产业园; 混合工业废水; 协同处置

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)02-0177-06

Project case of mixed industrial wastewater treatment in ecological recycling industrial park

ZHANG Jie, GUO Linlin, ZHANG Peng

(China Energy Conservation(Linyi) Environmental Protection Energy Co., Ltd., Linyi 276000, China)

Abstract: According to the characteristics of complex and unstable organic pollutants of landfill leachate, sludge dewatering effluent, animal harmless sewage, food waste biogas slurry produced from ecological recycling industrial park, combined with the actual engineering experience of similar wastewater treatment, a process combined with pre-treatment system(grille+regulating tank), anaerobic system(UASB+middle sedimentation tank), MBR system(two-stage A/O+external tube ultrafiltration), and nanofiltration system was carried out for collaborative treatment of mixed industrial wastewater. The operation results showed that the process made full use of the characteristics of water quality, mutual benefited, and had strong stability and good treatment effect. After treatment, the effluent indexes met the requirements of Table 2 of Standard for Pollution Control on the Landfill Site of Municipal Solid Waste (GB 16889—2008).

Key words: ecological recycling industrial park; mixed industrial wastewater; collaborative treatment

中国环保(临沂)生态循环产业园以“环保优先、资源共享、设施共建、物质循环、能量梯次利用”为建设理念, 以生活垃圾处理为依托, 实现其他固体废弃物的无害化、减量化、资源化协同处置, 规划建设固废处理、园区配套、利邻项目3大类入园项目, 包括生活垃圾、餐厨垃圾、动物尸体、污泥等固废处理项目, 集中供热、污水处理中心、科技研发中心、数字化管控平台等园区配套项目, 宣传教育中心、区域居民供暖、村居仓储扶贫等利邻项目。产业园处置范围覆盖临沂市5区6县, 服务730余万老区群众, 解决了城市生活垃圾、餐厨垃圾、污泥、动物尸体等城市

固体废物的无害化处理和资源化利用问题, 充分利用各项目之间的协同效应, 实现各项目资源的二次开发和循环利用, 达到节能减排的目的。当生态循环产业园建成, 垃圾渗滤液、餐厨沼液、污泥压滤液、动物无害化废水伴随产生。近年来国内外针对单独垃圾渗滤液、餐厨沼液等处理方面研究较多, 但对混合污水处理技术研究一直较少。随着城市规模越来越大, 人口聚集更多, 产生的城市废水将会更多, 混合污水的处理技术研究显得尤为重要, 这就需要设计建成一个优良的工艺系统满足园内混合工业污水达标处理、处置的需求^[1]。

1 设计水质水量

垃圾渗滤液主要产生于垃圾贮坑,其特点是污染物浓度高、成分复杂,属高浓度有机废水,C/N高,可生化性好,主要污染物表征参数为COD、NH₃-N、SS等^[2]。餐厨沼液C/N低,碳源不足,生化处理效果差。运行时为使TN得到有效去除,往往需要额外投加大量碳源和纯碱,大大增加了运行成本。污泥压滤液为污泥压滤脱水产生的液体,脱水过程中会添加CaO类物质,污泥压滤液具有COD高、可生化性差、NH₃-N浓度高、TP浓度高、C/N较低、硬度高、pH

高等特点。动物无害化污水成分复杂,含有大量的有机物质和动物油脂。

为保证系统适应来水复杂多变的水质,且能最大程度承受水质波动带来的冲击,稳定运行,对设计进水水质进行一定程度放大,使系统余量充足^[3]。生态循环产业园混合工业污水处理站处理设计规模为900 m³/d,其中垃圾渗滤液、污泥压滤液、餐厨沼液、动物无害化污水处理设计规模分别为700、50、100、50 m³/d。处理后的出水要求达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表2要求后排入市政污水管网。设计进出水水质见表1。

表1 设计进出水水质

Table 1 Designed characteristics of influent and effluent

项目	水质名称	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	pH
进水水质	渗滤液	60 000	30 000	3 000	2 500	10 000	5~8
	污泥压滤液	7 000	2 000	900	800	60	11~12
	动物无害化污水	6 000	5 200	1 100	500	1 000	8~9
	餐厨沼液	12 000	4 000	2 500	1 500	2 000	6~9
出水水质	混合出水	100	30	40	25	30	6~9

2 工艺设计及流程

2.1 工艺设计

餐厨沼液和垃圾渗滤液协同处理,调节池的垃圾渗滤液一部分进入厌氧系统进行厌氧发酵,一部分超越至生化系统,可以补充餐厨沼液生化处理所需要的碳源,无需额外投加碳源,大大节省了运行成本;脱氮菌利用渗滤液补充的碳源,使系统的TN去除效果大大提高,同时渗滤液中的有机物在生化系统的去除率也得到相应提高。污泥压滤液进入MBR系统与垃圾渗滤液混合,因垃圾渗滤液处理量大,两者协同处理对污泥压滤液起到稀释作用,无需另外投加酸液调节污泥压滤液pH,节省大量药剂成本。此外,4种污水协同处理,餐厨沼液、动物无害化污水含油量被大大稀释,减弱了油含量对生化系统微生物及后期膜系统处理产生的影响。

2.2 工艺论证

厌氧生物处理技术由于具有运行成本低、能耗低、剩余污泥量少、可以处理高浓度和好氧条件下生物难降解有机物的特点,近年来已被广泛用于高浓度有机废水处理。常见的厌氧反应器有上流式厌氧

污泥床反应器(UASB)、升流式厌氧污泥床-滤层反应器(UBF)、厌氧生物滤池(AF)。UASB系统抗冲击能力强,负荷率高,工艺设计参数有较多的渗滤液试验数据和运行效果分析数据支持,有机物去除效果优于AF^[4],单位建设投资较UBF低^[5]。并且UBF、AF在国内比较有影响力的垃圾渗滤液处理工程中成功应用实例较少,难以确认较为可靠的设计参数。所以,本工程设计采用UASB作为厌氧处理单元的构筑物选型。

好氧生物处理在废水处理中技术比较成熟,能使有机物最大程度地降解并接近排放标准,降低深度处理的难度和成本,主要有膜生物法(MBR)、氧化沟、序批式活性污泥法(SBR)等工艺^[6]。MBR工艺在高浓度有机废水处理中的应用日益广泛成熟,MBR系统的污泥浓度高,系统占地小,能够方便地安排生物脱氮,特别适合氨氮较高的污水处理;由于采用超滤膜进行泥水分离,MBR工艺出水SS低,有利于后续深度处理。本工程的好氧单元选择MBR系统,其中生化段设置两级AO,一级AO段去除不掉的氮在后加的缺氧段通过超越一部分垃圾渗滤液补充碳源进行反硝化脱去,最后的好氧段控制较高

溶解氧,氧化剩余的碳源和有机物。

由表1看出,垃圾渗滤液COD为60 000 mg/L,远高于其他废水,仅设计垃圾渗滤液进入UASB进行厌氧发酵产沼气,保证产气效率及其稳定性。垃圾渗滤液处理规模远大于其他污水处理量之和,需将垃圾渗滤液调节池设计余量,并实时监测UASB厌氧罐出水水质指标。保证垃圾渗滤液水质水量可调控即可确保4类废水直接在MBR混合后处理效果稳定且良好,无需在MBR前设置匀质池,节省了池体建设费用。

经过MBR处理后难生化降解的有机物形成的COD和色度仍然超标,一般混凝处理对于该类废水的去除率低且污泥量较大,处理麻烦。其他物化处理技术在高浓度有机废水处理实际工程应用上还缺乏生产性相关的应用技术参数确认。目前可靠的深度处理工艺只有膜处理技术。根据膜的孔径,膜处理可以分为反渗透、纳滤、超滤以及微滤等^[7]。与反渗透相比,纳滤的最大优点是能使小分子盐随出水排出,避免盐分富集带来的不利影响。纳滤膜和反渗透膜在设备投资方面相差不大,但纳滤系统动力消耗远小于反渗透系统。本工程深度处理采用纳滤工艺。

综上工艺论证,本工程厌氧系统采用UASB工艺,好氧处理采用MBR系统(两级A/O+外置管式超滤),深度处理采用纳滤工艺。

2.3 工艺流程

混合工业污水处理工艺流程如图1所示。

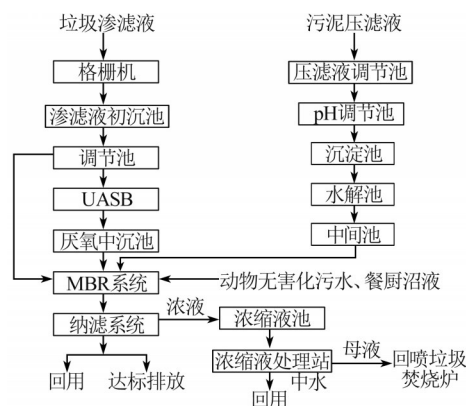


图1 混合工业污水处理工艺流程

Fig. 1 Mixed industrial wastewater treatment process

垃圾焚烧发电厂产生的渗滤液自流进入预处理工段,格栅机对水中大的悬浮物进行截留,以防止后

段污堵设备。格栅过滤后的污水自流进入渗滤液调节池。

调节池渗滤液一部分通过提升泵定量提升至UASB厌氧罐,一部分超越至MBR系统。厌氧系统产生的沼气经过收集后进入到沼气处理系统进行处理或利用;厌氧处理出水自流进入到中间沉淀池,去除随水流出的老化厌氧污泥以避免其对后端生化系统的不利影响。

厌氧工段中沉池出水自流进入MBR系统。MBR系统采用外置式,膜系统部分采用管式超滤膜形式,生化部分采用两级A/O生化工艺。MBR系统包括一级反硝化池、一级硝化池、二级反硝化池、二级硝化池、管式超滤系统等5部分。硝化液在管式超滤系统循环压力作用下形成一部分超滤产水,压力作用下自流进入超滤清液箱。

污泥无害化处置中心产生的污泥压滤液进入压滤液调节池,经过pH调节池、沉淀池、水解池后进入中间池,后经提升泵泵入MBR系统。

餐厨无害化项目厌氧罐产出的沼液以及动物无害化项目产生的动物无害化污水分别经除渣预处理后存入各自项目预存池,后续分别经过自动过滤清洗器除渣后经提升泵泵入MBR系统。

MBR工艺处理后的污水进入纳滤处理系统。在一定压力作用下,部分清水和小分子物质透过膜形成清液,剩余的物质和水形成浓缩液,清液回用或者达标排放,浓缩液则排入浓缩液收集池,经浓缩液处理站的碟管式反渗透(DTRO)系统进一步浓缩后,进入机械式蒸汽压缩(MVR)系统进行蒸发,中水作为循环冷却塔补水,母液回喷至垃圾焚烧炉。

3 主要构筑物及设计参数

(1)调节池。2座,调节池有效容积4 800 m³。其中渗滤液调节池设计有效容积4 200 m³,设计水力停留时间6 d,分为2格,设计尺寸分别为19 m×15 m×8.5 m、19.6 m×12.5 m×8.5 m,其中一格兼作事故池;污泥压滤液调节池有效容积600 m³,设计尺寸为19 m×4 m×8.5 m,设计水力停留时间3 d。调节池前设置格栅机,去除大颗粒悬浮物,调节池内设置潜水搅拌机,减少污泥沉降,同时在调节池内底板设置一定坡度,并在最低点设计排泥井,可定期对调节池进

行排泥。

(2)UASB厌氧罐。2座,每座有效容积 $2\,700\text{ m}^3$,规格为 $D\,15\text{ m}\times 17\text{ m}$ 。系统处理水量 Q 为 $700\text{ m}^3/\text{d}$,UASB液位高度 15.8 m ,沉淀区高度 1 m ,三相分离器沼气层高度 0.8 m ,单体分配流量 $14.6\text{ m}^3/\text{h}$,单体内循环流量 $162\sim 250\text{ m}^3/\text{h}$,单位COD产气率 $0.45\text{ m}^3/\text{kg}$,产气量 $14\,742\text{ Nm}^3/\text{d}$,单位COD容积负荷 $\leq 6.63\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,污泥MLSS产率 $0.05\text{ kg}/\text{kg}$ (以COD计),总泥SS产量 $2\,047.5\text{ kg}/\text{d}$,水力停留时间 7.7 d 。

(3)中沉池。1个,实际沉淀区设计规格 $6.5\text{ m}\times 5.5\text{ m}\times 9.5\text{ m}$,设计有效液位 8.8 m ,设计泥斗高度 2.0 m ,有效容积 243 m^3 ,沉淀时间 8.3 h ,表面积负荷 $1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,沉淀区表面积 30 m^2 。

(4)MBR系统。包含一级A/O系统、二级A/O系统、超滤系统。

一级A/O系统。反硝化段(缺氧段)包括2座小池体,尺寸分别为 $12\text{ m}\times 11\text{ m}\times 9.5\text{ m}$ 、 $6\text{ m}\times 3.5\text{ m}\times 9.5\text{ m}$,有效液位 8.0 m ,有效容积 $1\,776\text{ m}^3$,设计水力停留时间 47.3 h 。硝化段(好氧段)容积尺寸 $12\text{ m}\times 11\text{ m}\times 9.5\text{ m}$,4座,有效液位 8.0 m ,有效容积 $4\,224\text{ m}^3$,设计水力停留时间 112.6 h 。一级A/O实际污染物的 BOD_5 去除负荷 $0.057\text{ kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ (以MLVSS计)。

二级A/O系统。反硝化段(缺氧段)容积尺寸 $12\text{ m}\times 5.5\text{ m}\times 9.5\text{ m}$,2座,有效液位 8.0 m ,有效容积 $1\,056\text{ m}^3$ 。设计水力停留时间 28.1 h 。硝化段(好氧段)容积尺寸 $12\text{ m}\times 12\text{ m}\times 9.5\text{ m}$,2座,有效液位 8.0 m ,有效容积 $2\,304\text{ m}^3$,设计水力停留时间 61.4 h 。二级A/O实际污染物的 BOD_5 去除负荷 $0.031\text{ kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ (以MLVSS计)。

MBR生化系统污泥龄设计为 26 d 。射流曝气形式,清水氧利用率为 40% 以上,总曝气量 $168.7\text{ m}^3/\text{min}$ 。回流主要分为一级A/O系统内回流:包括连续的硝化液与厌氧进水换热后的回流(回流比 6.4)、间歇的冷却污泥回流(回流比 >20);二级A/O系统内回流:超滤系统浓液回流(回流比 8)。好氧工艺温度的控制方法:先与厌氧系统进水进行换热冷却,不足条件下与冷却塔运行产生的冷媒进行换热冷却,通过在线温度监测控制换热冷却量。

超滤系统。采用外置管式超滤膜,设计处理水量 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$,设计套数 6 套,单套环路设计 $D\,26.66\text{ cm}\times 3\text{ m}$ 的管式UF膜 5 支,实际膜通量

$55.8\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,实际膜面积 816 m^2 ,超滤最大操作压力为 0.8 MPa 。超滤进水前配置 2 套多袋式过滤器,流量范围 $0\sim 200\text{ m}^3/\text{h}$,过滤孔径为 $600\text{ }\mu\text{m}$,材质SUS304。

(5)纳滤系统。采用卷式纳滤膜,设计处理水量 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$,设计套数 3 套,采用膜支数 30 支,单段设置 2 支耐压膜壳,每支膜壳内设有 5 支卷式纳滤膜元件,单套系统总膜面积为 $1\,020\text{ m}^2$,设计清液产率 80% 。实际膜通量 $13.8\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,实际膜面积 $1\,020\text{ m}^2$ 。设计运行压力 $1\sim 2\text{ MPa}$,回收率 80% 。

4 运行效果

本工程于2018年10月调试完毕至正式运行以来,混合污水处理站处理效果稳定,处理后的出水达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表2要求后排入市政污水管网或回用。目前混合污水处理站高峰时期超负荷运行,实际平均进水量为 $698\text{ m}^3/\text{d}$,其中渗滤液、沼液、污泥压滤液、动物无害化污水平均进水量分别为 462 、 145 、 20 、 $42\text{ m}^3/\text{d}$ 。通过公司例行监测和第三方监测,出水水质稳定达到设计标准,监测结果见表2。

5 社会环境及经济效益分析

5.1 社会环境效益分析

本工程中混合工业污水的处理处置是以保护生态环境、治理环境污染为目的,项目运行后降低了产业园污染物总体排放量,为节能减排贡献巨大力量。产生的中水回用,有效降低了水资源的消耗,减少了渗滤液给环境带来的污染问题,实现了渗滤液、餐厨沼液、动物无害化污水、污泥压滤液无害化、减量化处理,具有巨大的环境效益。自2018年10月正式运行以来,截止到2021年4月,共处理污水 61.52 万 t ,其中渗滤液处理量 39.76 万 t ,餐厨沼液处理量 15.52 万 t ,动物无害化污水处理量 3.98 万 t ,污泥压滤液处理量 2.25 万 t 。COD、氨氮、总氮排放量分别减少 $16\,719$ 、 $1\,015$ 、 $1\,288\text{ t}$ 。

5.2 经济效益分析

生态循环产业园混合废水协同处置模式与各类污水单独建厂处置相比,降低了土建和设备投资,吨水处理成本降低,节省了碳源、酸碱成本,具有明显的经济效益。

表2 各系统水质监测结果

Table 2 Monitoring results of water quality of each system

指标		COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	SS	pH
渗滤液原液	出水	60 000 mg/L	30 000 mg/L	2 500 mg/L	3 000 mg/L	10 000 mg/L	5~8
	出水	60 000 mg/L	30 000 mg/L	2 500 mg/L	3 000 mg/L	7 000 mg/L	5~8
格栅/调节池	去除率	—	—	—	—	30%	—
厌氧系统 (UASB+中沉池)	出水	13 200 mg/L	5 400 mg/L	2 500 mg/L	3 000 mg/L	2 100 mg/L	5.5~8
	去除率	78%	82%	—	—	70%	—
MBR系统 (一级A/O)	进水(混合工业污水)	11 800 mg/L	4 650 mg/L	2 130 mg/L	2 540 mg/L	1 650 mg/L	8~9
	产水	710 mg/L	93 mg/L	11 mg/L	510 mg/L	165 mg/L	7~8
	去除率	94%	98%	99.5%	80%	90%	—
MBR系统 (二级A/O+UF)	混合超越原液(40 t)后	3 350 mg/L	1 450 mg/L	125 mg/L	620 mg/L	470 mg/L	7~8
	产水	500 mg/L	50 mg/L	10 mg/L	50 mg/L	0	7~8
	去除率	85%	96.5%	92%	92%	100%	—
纳滤系统	产水	90 mg/L	12.5 mg/L	10 mg/L	37.5 mg/L	0	6.5
	浓缩液	2 940 mg/L	930 mg/L	163 mg/L	—	—	5.6
	去除率	82%	75%	—	25%	100%	—

5.2.1 单独建厂与协同处置投资比较

若餐厨垃圾、生活垃圾、脱水污泥、动物尸体4类固废单独建设处理厂,产生的污水需建立独立处理设施4套。建立生态循环产业园共同处置4种固废,产生的4类污水协同处置,共用1套处理系统。与单独建厂相比,协同处置模式4种污水共用MBR处理系统与纳滤处理系统,生化系统土建基础费用及MBR系统和纳滤系统的设备投资费用大大降低。与单独建厂相比,协同处置土建投资节省690万元,设备投资节省4 203万元,吨水处理成本节省43元。具体内容见表3。

表3 投资比较

Table 3 Investment comparison

项目内容	单独建厂	协同处置
土建基础/万元	4 200	3 510
设备投资/万元	8 500	4 297
处理成本/(元·t ⁻¹)	78	35

注:协同处置的土建基础、设备投资、处理成本为本工程实际费用,单独建厂的土建投资、设备投资、处理成本是根据本工程建设之前污水一期单独处理餐厨沼液时的各类费用理论计算得出。

5.2.2 单独建厂与协同处置耗材药剂成本比较

垃圾渗滤液与餐厨沼液协同处理,垃圾渗滤液提供餐厨沼液碳源补给,两者pH相互调配,无需投加碳源和纯碱。根据本工程建设前污水一期实践数据可知,与单独建厂相比,协同处置可节省碳源成本258万元/a,纯碱成本23万元/a。垃圾渗滤液与污泥压滤液协同处理,剩余污泥通过管道直接输送到污泥无害化处理中心,节省污泥运输费用46万元/a。

若压滤液单独处理,不与渗滤液等协同处置,因压滤液pH在11~12之间,必须在压滤液pH调节池中投加酸,才能使压滤液的pH适合MBR系统中的微生物生长。污水协同处置后,压滤液进入MBR系统与处理量较大的渗滤液混合后,混合液pH在8~9之间,无需在pH调节池额外投加药剂,降低酸成本130万元/a。具体内容见表4。

表4 耗材药剂成本比较

Table 4 Cost comparison of consumables and medicaments

项目内容	单独建厂	协同处置	备注
碳源成本(万元·a ⁻¹)	258	0	餐厨沼液碳源成本
纯碱成本(万元·a ⁻¹)	23	0	餐厨沼液处理纯碱成本
酸成本(万元·a ⁻¹)	130	0	污泥压滤液pH调节成本
污泥运输费(万元·a ⁻¹)	46	0	污泥运输费

6 结语

(1)本工程采用“预处理系统(格栅+调节池)+厌氧系统(UASB+中沉池)+MBR系统(两级A/O+外置管式超滤)+纳滤系统”工艺处理生态循环产业园混合工业污水,处理效果好且稳定,出水各项指标达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表2要求,此工艺可应用于类似生态循环产业园混合污水处理实践中。

(2)本工程实现渗滤液、餐厨沼液、动物无害化污水、污泥压滤液无害化、减量化处理,具有巨大的环境效益。

(3)生态循环产业园混合废水协同处置模式与

各类型污水单独建厂处置相比,降低了土建和设备投资,吨水处理成本降低,具有明显的经济效益。

参考文献

- [1] 陈新拓,王照丽,余佳,等.城市工业园区污水处理厂优化运维的思考[J].环境研究与监测,2019,32(3):28-31.
CHEN Xintuo, WANG Zhaoli, SHE Jia, et al. Reflections on optimizing operation and maintenance of sewage treatment plant in urban industrial park[J]. Environmental Study and Monitoring, 2019, 32(3):28-31.
- [2] 吴莉娜,涂楠楠,程继坤,等.垃圾渗滤液水质特性和处理技术研究[J].科学技术与工程,2014,14(31):136-143.
WU Lina, TU Nannan, CHENG Jikun, et al. Research of the characteristics and treatment technology of land fill leachate[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(31):136-143.
- [3] 曾怀宇.垃圾渗滤液处理设施升级改造工程实例[J].工业水处理,2021,41(3):120-124.
ZENG Huaiyu. An upgrading and reconstructing project case of treatment facilities for land fill leachate[J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(3):120-124.
- [4] 史学峰,向怡,刘辉.生活垃圾焚烧电厂渗滤液处理工艺选择研究[J].环境科学与管理,2020,45(12):76-79.
SHI Xuefeng, XIANG Yi, LIU Hui. Selection of leachate treatment process of domestic waste incineration power plant[J]. Environmental Science and Management, 2020, 45(12):76-79.
- [5] 周建华,吕宏德.垃圾渗滤液处理工艺的现状与分析[J].电站系统工程,2005,21(3):38-40.
ZHOU Jianhua, LÜ Hongde. Status and analysis of the garbage leachate treatment process[J]. Power System Engineering, 2005, 21(3):38-40.
- [6] 王正义,蔡曙光,胡延国.生活垃圾焚烧厂渗滤液处理技术与工程实践[M].北京:化学工业出版社,2018:66.
WANG Zhengyi, CAI Shuguang, HU Yanguo. Leachate treatment technology and engineering practice of domestic waste incineration plant[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2018:66.
- [7] 王薇,杜启云.纳滤技术用于垃圾渗滤液深度处理[J].水处理技术,2009,35(11):72-74.
WANG Wei, DU Qiyun. Applicability of nanofiltration for the advanced treatment of landfill leachate[J]. Technology of Water Treatment, 2009, 35(11):72-74.
- [作者简介] 张洁(1989—),硕士,工程师。电话:18396793626, E-mail:923939991@qq.com。
[收稿日期] 2021-12-06(修改稿)
-
- (上接第162页)
- [20] SILVA T F C V, FERREIRA R, SOARES P A, et al. Insights into solar photo-Fenton reaction parameters in the oxidation of a sanitary landfill leachate at lab-scale[J]. Journal of Environmental Management, 2015, 164:32-40.
- [21] VAN H T, NGUYEN L H, HOANG T K, et al. Using FeO-constituted iron slag wastes as heterogeneous catalyst for Fenton and ozonation processes to degrade reactive red 24 from aqueous solution[J]. Separation and Purification Technology, 2019, 224:431-442.
- [22] 左泽浩,杨维本,杨朕,等.臭氧高级氧化法处理化工废水的进展研究[J].环境科学与管理,2017,42(6):113-117.
ZUO Zehao, YANG Weiben, YANG Zhen, et al. Research on chemical wastewater treatment with advanced oxidation processes[J]. Environmental Science and Management, 2017, 42(6):113-117.
- [作者简介] 陈晓飞(1986—),工程师,硕士研究生。电话:18932943179, E-mail:chenxiaofei@tianjushi.com。通讯作者:陈平。电话:85830876-90389, E-mail:chenping@tianjushi.com。
[收稿日期] 2021-09-18(修改稿)