

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.12.015

老龄化垃圾填埋场渗滤液全量化处理工程实例

丁西明¹, 马冬杰², 康建邨¹, 闵海华¹, 高波¹, 岳峥¹,
汤萌萌¹

(1. 中城院<北京>环境科技股份有限公司 天津分公司, 天津 300074; 2. 安徽浩悦再生资源利用有限责任公司, 安徽 合肥 231000)

摘要: 老龄化填埋场渗滤液氨氮浓度高、可生化性差、C/N比失调,以某老龄化垃圾填埋场渗滤液和垃圾焚烧厂渗滤液协同处理工程为例,详述两种渗滤液全量化处理系统。填埋场渗滤液设计规模1 500 m³/d,焚烧厂渗滤液设计规模500 m³/d,采用“厌氧系统+两级A/O+外置式超滤+纳滤+反渗透”处理工艺,纳滤浓缩液采用“物料膜减量化+臭氧氧化”处理工艺,反渗透浓缩液采用“DTRO减量化+浸没燃烧蒸发”处理工艺。工程投资一类费3.6亿元,运行成本101.20元/m³。项目建成运行至今,出水稳定达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表2标准。通过两种渗滤液的协同处理,可减少碳源投加量,节省运行成本,同时实现渗滤液全量化处理,浓缩液不外排。

关键词: 垃圾渗滤液; 全量化处理; 浓缩液; 臭氧氧化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)12-0090-05

Engineering Examples of Full Quantitative Treatment of Leachate from an Aging Landfill

DING Xi-ming¹, MA Dong-jie², KANG Jian-cun¹, MIN Hai-hua¹, GAO Bo¹,
YUE Zheng¹, TANG Meng-meng¹

(1. Tianjin Branch, CUCDE Environmental Technology Co. Ltd., Tianjin 300074, China;
2. Anhui Haoyue Renewable Resources Utilization Co. Ltd., Hefei 231000, China)

Abstract: The leachate from aging landfill is characterized by high ammonia nitrogen, poor biodegradability and imbalance of C/N ratio. This paper elaborated the full quantitative treatment process of two kinds of leachate in detail exemplified by a synergistic treatment project of leachate from an aging landfill and a waste incineration plant. The design scale of leachate from the landfill is 1 500 m³/d, and that of leachate from the incineration plant is 500 m³/d. The main process consists of anaerobic system, two-stage A/O, external ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis, the treatment process of nanofiltration concentrate is material film reduction and ozonation, and that of reverse osmosis concentrate is DTRO reduction and submerged combustion evaporation. The project investment is 360 million yuan, and the operating cost is 101.20 yuan/m³. Since the completion of the project, the effluent quality has stably reached the limit in table 2 specified in the *Standard for Pollution Control on the Landfill Site of Municipal Solid Waste* (GB 16889-2008). The synergistic treatment of the two kinds of leachate reduced the dosage of carbon source and saved the operating cost, and achieved full quantitative treatment of leachate without concentrate discharge.

Key words: landfill leachate; full quantitative treatment; concentrate; ozonation

垃圾填埋场渗滤液主要来源于垃圾自身含水 and 大气降雨降雪等,其污染物浓度高,污染成分复杂,处理难度大。随着填埋场场龄的增加,渗滤液有机物含量逐年下降,氨氮浓度逐年上升。10年以上的老龄化填埋场渗滤液水质特点是氨氮浓度高(很多地区高达3 000 mg/L以上)、可生化性差、C/N比失调。国内渗滤液处理主流脱氮工艺采用两级A/O+MBR,通过投加碳源等措施实现高效脱氮,确保出水达标,如成都市垃圾渗滤液处理厂处理规模为1 300 m³/d,碳源投加量最高达到9~10 t/d^[1]。碳源投加成为影响老龄化填埋场渗滤液处理运行成本的主要因素。为有效减少碳源投加量,可充分利用老龄化填埋场渗滤液和新鲜的垃圾焚烧厂渗滤液水质的共性和个性,通过两种渗滤液协同处理,减少渗滤液处理运行成本。

某老龄化填埋场渗滤液和垃圾焚烧厂即对两种渗滤液进行全量化协同处理,其经验可为同类项目的设计和建设提供借鉴。

1 设计进、出水水质

本项目渗滤液中一部分为1 500 m³/d垃圾卫生填埋场渗滤液,另一部分为500 m³/d垃圾焚烧发电厂渗滤液。设计出水水质执行《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表2标准,处理达标后外排市政污水管网。设计水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality mg·L⁻¹

项 目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	SS
垃圾卫生填埋场渗滤液	8 000	3 000	2 500	3 000	1 200
垃圾焚烧发电厂渗滤液	70 000	30 000	2 000	2 500	10 000
出水	100	30	25	40	30

2 渗滤液处理工艺的确定

2.1 工艺选择的重点和难点

结合项目进出水水质要求,工艺选择的重点和难点分析如下:①渗滤液水质水量波动比较大,要求选择的工艺必须具有很强的抗冲击负荷能力;②老龄化填埋场渗滤液氨氮浓度有逐年升高趋势,而出水执行《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表2标准,对出水氨氮和总氮的排放要求极为严格,要求选择的工艺必须具备高效脱氮能力,对氨氮的去除率须达到99%以上;③深度处

理采用膜法,产生的浓缩液必须妥善处理,随着各地环保政策越来越严,浓缩液不允许外运和回灌填埋场。

2.2 工艺流程

通过进出水水质分析,并借鉴国内其他类似项目成功运行案例,本项目渗滤液主体工艺采用“厌氧系统+两级A/O+超滤+纳滤+反渗透”工艺,纳滤浓缩液采用“物料膜减量化+臭氧氧化”工艺,反渗透浓缩液采用“DTRO减量化+浸没燃烧蒸发”工艺,工艺流程如图1所示。

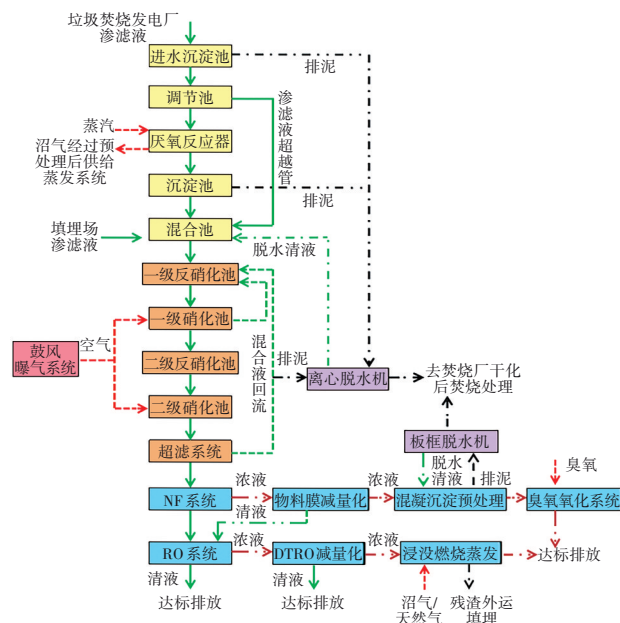


图1 渗滤液处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of leachate treatment process

垃圾焚烧发电厂渗滤液首先经过沉淀预处理,然后进入调节池均质均量,调节池出水一部分进入厌氧反应器系统,去除高浓度的有机物,一部分超越厌氧系统,进入混合池与填埋场渗滤液充分混合,调配渗滤液C/N比。厌氧反应器产生的沼气经过脱水脱硫预处理后供给后端浸没燃烧蒸发系统。混合池出水进入后续MBR生化处理系统。

MBR生化系统由一级反硝化、一级硝化、二级反硝化、二级硝化系统和外置式超滤组成,其主要功能是在硝化池内降解污水中的大部分有机污染物,并实现高效脱氮,超滤出水NH₃-N在10 mg/L以下,COD在600~800 mg/L之间。

超滤出水依次进入纳滤系统和反渗透系统,去除难降解有机物和总氮,确保处理出水稳定达标。

纳滤浓缩液经过物料膜减量化处理,产生的清液和纳滤产水一起进入反渗透系统,产生的浓液首先经过两级混凝沉淀预处理,去除钙镁等二价盐后进入臭氧氧化系统。臭氧氧化系统由一级臭氧氧化、一级生物活性炭、二级臭氧氧化、二级生物活性炭、三级臭氧氧化、三级生物活性炭组成,主要去除难降解有机物,处理出水与系统产水混合排放。反渗透浓缩液首先经过DTRO减量化,然后进入浸没燃烧蒸发系统,蒸发产生的盐泥经脱水后单独封装外运处置,产生的蒸汽冷凝液再经过反渗透处理后达标外排,产生的不凝气经过化学喷淋处理系统后达标排放。

前端生化系统的剩余污泥进入离心脱水机,纳滤浓缩液系统产生的化学污泥进入板框脱水机,脱水后的污泥含水率80%以下,然后外运至垃圾焚烧发电厂,干化后焚烧处理。

2.3 工艺优势分析

① 整个处理系统在确保出水稳定达标的同时,实现了渗滤液的全量化处理,浓缩液不外排。

② 通过老龄化填埋场渗滤液和垃圾焚烧厂渗滤液协同处理,可以减少MBR生化系统脱氮所需的碳源投加量,减少运行成本。

③ 两级A/O+超滤+纳滤+反渗透是国内渗滤液处理领域主流工艺,成功运行案例有上海老港、沈阳老虎冲、福州红庙岭等大型渗滤液处理工程,有很多成功运行管理经验可供借鉴。

④ 纳滤浓缩液和反渗透浓缩液水质差异比较大,分开收集,分开处理,确保各自的浓缩液处理系统稳定运行。

⑤ 反渗透浓缩液经DTRO减量化后采用浸没燃烧蒸发工艺处理,该工艺属于无固定传热界面的蒸发工艺,相比传统蒸发工艺,结垢率低^[2]。

3 主体工艺设计

3.1 调节均衡池

调节均衡池主要由调节池、沉淀池和混合池组成。调节池主要用于垃圾焚烧厂渗滤液均质均量,停留时间8.2 d,有效容积4 080 m³。调节池和混合池前端均设置沉淀池,分别用于焚烧厂渗滤液沉淀预处理和经过厌氧处理后焚烧厂渗滤液沉淀处理,沉淀池表面水力负荷0.42 m³/(m²·h)。混合池主要用于填埋场渗滤液、经厌氧处理后的垃圾焚烧厂渗

滤液以及部分焚烧厂渗滤液原液混合均质,调配C/N比,便于后续生化处理,停留时间2 d,有效容积4 000 m³。

主要设备:厌氧进水泵2台(1用1备), $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$, $H=250\text{ kPa}$, $N=7.5\text{ kW}$;生化进水泵2台(1用1备), $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$, $H=250\text{ kPa}$, $N=7.5\text{ kW}$;沉淀池排泥泵2台(1用1备), $Q=10\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=3\text{ kW}$ 。

3.2 厌氧系统

垃圾焚烧厂渗滤液COD高达60 000 mg/L,通过厌氧反应器去除高浓度有机物。厌氧反应器采用中温厌氧,温度控制在35℃左右,容积负荷6.0 kgCOD/(m³·d),COD设计去除率75%。设置2台厌氧罐,每台有效容积1 625 m³,采用钢制设备,厌氧系统产生的沼气经过脱水脱硫预处理后供给后续浸没燃烧蒸发系统。

主要设备:钢制厌氧罐2台,Ø14 m×15 m;厌氧循环泵4台(2用2备), $Q=150\text{ m}^3/\text{h}$, $H=180\text{ kPa}$, $N=11.0\text{ kW}$ 。

3.3 MBR生化系统

两级A/O生化池分为两组,每组两个系列,每个系列一级A池有效容积2 304 m³,一级O池有效容积4 096 m³,二级A池有效容积436 m³,二级O池有效容积436 m³。渗滤液中的大部分有机物在生化池内均能得到降解,同时一级硝化池至一级反硝化池设置混合液回流泵,将大部分硝酸盐氮回流至一级反硝化池,在缺氧环境中还原成氮气排出,生化系统对氨氮的去除率达到99%以上。生化系统设计参数^[3-4]:设计水温25℃,污泥浓度14.0 g/L,硝化池容积负荷1.91 kgCOD/(m³·d),好氧泥龄25 d,20℃时脱氮速率0.04 kgNO₃⁻-N/(kgMLSS·d),污泥总产率系数0.25 kgVSS/kgCOD,内回流比25,供气量720 m³/min,剩余污泥量640 m³/d。

本项目采用管式超滤膜,其过滤孔径为0.03 μm,膜材质为PVDF,设计膜通量为65 L/(h·m²),处理水量考虑1.2的系数,计算膜总面积1 538 m²。

主要设备:一级硝化射流曝气器32台,18路;一级硝化射流泵16台, $Q=630\text{ m}^3/\text{h}$, $H=130\text{ kPa}$, $N=37\text{ kW}$;硝酸盐回流泵8台, $Q=375\text{ m}^3/\text{h}$, $H=130\text{ kPa}$, $N=22\text{ kW}$;二级硝化射流曝气器4台,8路;二级硝化射流泵4台, $Q=180\text{ m}^3/\text{h}$, $H=130\text{ kPa}$, $N=11\text{ kW}$;冷却污泥输送泵4台, $Q=600\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=37\text{ kW}$;冷却水输送泵4台, $Q=600\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=37\text{ kW}$;

冷却塔4台, $Q=600\text{ m}^3/\text{h}$, $N=18.5\text{ kW}$, 配套板式换热器4台; 超滤进水泵6台(4用2备), $Q=300\text{ m}^3/\text{h}$, $H=250\text{ kPa}$, $N=30\text{ kW}$; 鼓风机6台(4用2备), $Q=10\ 800\text{ m}^3/\text{h}$, $H=80\text{ kPa}$, $N=300\text{ kW}$; 超滤双环路集成设备8套, 每套2个环路, 每个环路5支膜, $N=110\text{ kW}$; 超滤清洗设备2套。

3.4 NF+RO深度处理系统

本项目深度处理系统采用NF+RO组合工艺, 主要去除渗滤液中的难降解有机物和部分总氮, 确保系统出水稳定达标。为了减少膜通量衰减对产水量的影响, 处理水量考虑1.2的变化系数, 纳滤系统设计膜通量 $15\text{ L}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, 清液得率85%, 计算膜总面积 $56\ 67\text{ m}^2$; 反渗透系统设计膜通量 $12\text{ L}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, 清液得率75%, 计算膜总面积 $6\ 250\text{ m}^2$ 。

主要设备: 纳滤集成设备6套, $Q=400\text{ m}^3/\text{d}$, $N=32.5\text{ kW}$; 反渗透集成设备6套, $Q=400\text{ m}^3/\text{d}$, $N=60\text{ kW}$ 。

3.5 纳滤浓缩液处理系统

本项目纳滤浓缩液产量 $300\text{ m}^3/\text{d}$, 采用“物料膜减量+混凝沉淀预处理+臭氧氧化”组合处理工艺, 经过物料膜减量后浓缩液量为 $75\text{ m}^3/\text{d}$ 。臭氧氧化系统设计参数: 臭氧投加量 $40\text{ kg}/\text{h}$, AOP1: AOP2: AOP3 臭氧投加量按3:3:4比例投加, AOP反应塔水力停留时间6 h, BAC1反应塔水力停留时间30 h, BAC2和BAC3水力停留时间15 h。

主要设备: 物料膜减量系统2套, $Q=200\text{ m}^3/\text{d}$, $N=49.5\text{ kW}$; 臭氧AOP反应器3套, $\varnothing 2\ 400\text{ mm}\times 7\ 000\text{ mm}$, 一、二、三级臭氧AOP反应器各1套; 生物活性炭反应器4套, $\varnothing 3\ 000\text{ mm}\times 7\ 000\text{ mm}$, 其中一级生物活性炭反应器2套, 二、三级生物活性炭反应器各1套; 臭氧发生器2套, $Q=20\text{ kg}/\text{h}$, $N=200\text{ kW}$; 尾气分解系统1套, $N=18\text{ kW}$; 液氧贮槽1套, 双壁真空保温, 20 m^3 , 1.6 MPa 。

3.6 反渗透浓缩液处理系统

本项目反渗透浓缩液产量 $500\text{ m}^3/\text{d}$, 设计规模按照 $520\text{ m}^3/\text{d}$ 考虑, 浸没燃烧蒸发设计规模 $260\text{ m}^3/\text{d}$ 。采用“DTRO减量+浸没燃烧蒸发”组合处理工艺。浸没燃烧蒸发设计参数: 进水TDS为30~40 g/L, 残渣量 $13\text{ t}/\text{d}$, 含固率不低于40%, 蒸汽冷凝液量 $221\text{ m}^3/\text{d}$, 不凝气水汽量 $26\text{ m}^3/\text{d}$ 。

主要设备: DTRO系统2套, $Q=260\text{ m}^3/\text{d}$, $N=67\text{ kW}$; 浸没燃烧蒸发系统1套, $Q=260\text{ m}^3/\text{d}$; 反渗透集

成设备1套, $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$, $N=29\text{ kW}$ 。

3.7 污泥处理系统

本项目污泥一部分为来自厌氧和两级A/O系统的生化污泥, 另一部分为来自纳滤浓缩液处理系统的化学污泥, 由于两种污泥性质不同, 故分开收集, 分开处理。生化污泥采用离心脱水机脱水, 化学污泥采用板框压滤机脱水, 产生的上清液分别回流至前端混合池和浓缩液预处理系统, 脱水后污泥含水率达到80%以下, 然后外运至成都万兴环保发电厂(二期), 干化后焚烧处理。

主要设备: 离心脱水机3台(2用1备), $Q=40\sim 50\text{ m}^3/\text{h}$, $N=(110+22)\text{ kW}$; 板框脱水机1台, $Q=10\text{ m}^3/\text{h}$, $N=24\text{ kW}$; 高分子絮凝剂投配装置2套, $Q=10\text{ m}^3$, $N=6.8\text{ kW}$ 。

4 实际运行效果

本项目建成运行至今, 实际出水水质稳定达到设计要求。2021年2月—11月日均处理渗滤液量达到满负荷, 各工艺段污染物去除效果见表2。

表2 各工艺段的污染物去除效果

Tab.2 Pollutant removal effect of each process section

项 目		COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	SS
厌氧系统	进水平均值/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	70 793	41 114	1 601	1 810	8 769
	出水平均值/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	6 804	2 858	1 601	1 973	1 770
	去除率/%	90.4	93.0			79.8
MBR系统	进水平均值/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	5 612	2 313	2 378	2 762	859
	出水平均值/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	601	105	2.0	92	12
	去除率/%	89.3	95.5	99.9	96.7	98.6
NF系统	出水平均值/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	92	11	0.5	37	4
	去除率/%	84.7	89.5	75.0	59.8	66.7
RO系统	出水平均值/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	23	4	0.1	6	4
	去除率/%	75.0	63.6	80.0	83.8	

5 主要经济技术指标

本项目渗滤液设计规模 $2\ 000\text{ m}^3/\text{d}$, 其中垃圾填埋场渗滤液 $1\ 500\text{ m}^3/\text{d}$, 垃圾焚烧发电厂渗滤液 $500\text{ m}^3/\text{d}$ 。项目占地面积约 3.73 hm^2 , 工程概算总投资4.14亿元, 其中一类费3.6亿元。渗滤液处理运行成本 $101.20\text{ 元}/\text{m}^3$, 其中人工费 $4.63\text{ 元}/\text{m}^3$ 、水费

0.09元/m³、电费39.15元/m³、天然气费27.70元/m³、蒸汽费2.40元/m³、药剂费27.23元/m³。

6 运行管理要点

① 水量调配。填埋场渗滤液原水实际监测数据显示,水质波动比较大,无明显规律可循,这和填埋场日常填埋作业以及降水等因素有关。在日常运行管理中,应加强水质监测,通过水质监测结果,适时调配焚烧厂渗滤液超越厌氧系统直接进入MBR生化系统的水量,确保出水稳定达标。

② 碳源投加。本项目通过填埋场渗滤液和焚烧厂渗滤液协同处理,减少碳源投加量,降低运行成本,但是新鲜的焚烧厂渗滤液尽量投加在一级反硝化池前,不宜投加在二级反硝化池中,主要是由于焚烧厂渗滤液中除含有高浓度有机物外,还携带高浓度的氨氮,而二级硝化反硝化系统未设置内回流系统,容易造成出水总氮超标,因此建议日常运行中在二级反硝化池投加葡萄糖或乙酸钠等不含“氮”的碳源^[4]。

③ 膜系统运行。根据国内其他类似工程运行经验,纳滤系统出水能达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)表2标准要求,但是有时进水水质恶劣,波动比较大,导致MBR生化系统出水水质较差,纳滤系统出水可能会超标,因此,在实际运行时,要根据纳滤系统出水水质,适时调整反渗透系统开启套数,减少反渗透浓缩液产生量,从而节省运行成本。

④ 浓缩液处理。膜法产生的浓缩液是渗滤液处理领域的重点和难点。纳滤浓缩液主要含有大分子有机物和二价盐,处理难度相对较小,反渗透浓缩液主要含有一价盐,目前国内大都采用蒸发处理工艺。本项目采用浸没燃烧蒸发工艺,相比常规蒸发工艺,结垢率低,运行稳定,但是存在投资和运行成本高等问题。后期运行应重点关注如何减少项目运行成本。此外,蒸发系统产生的不凝气和残渣应严格按照项目环评要求妥善处理 and 处置。

7 结论

① 本项目渗滤液设计规模2 000 m³/d,其中垃圾填埋场渗滤液1 500 m³/d,垃圾焚烧发电厂渗滤液500 m³/d,采用“厌氧系统+两级A/O+外置式超滤+纳滤+反渗透”处理工艺,纳滤浓缩液采用“物料膜减

量化+臭氧氧化”处理工艺,反渗透浓缩液采用“DTRO减量化+浸没燃烧蒸发”处理工艺,浓缩液不外排,实现了渗滤液的全量化处理。

② 本项目概算总投资4.14亿元,其中一类费3.6亿元,运行成本101.20元/m³,项目建成运行至今,处理出水水质稳定达到设计要求。

参考文献:

- [1] 林立宁,文靖发,吴亚妍. 碳源投加在垃圾渗滤液处理中的具体应用[J]. 中国给水排水,2012,28(16): 75-77.
LIN Lining, WEN Jingfa, WU Yayan. Application of carbon source dosing in landfill leachate treatment [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(16): 75-77 (in Chinese).
- [2] 陈刚,国瑞峰,刘一夫,等. 沈阳市大辛垃圾场积存渗沥液应急处理项目设计[J]. 给水排水,2019,45(6): 32-34,39.
CHEN Gang, GUO Ruifeng, LIU Yifu, et al. Design of Daxin municipal solid waste accumulated landfill leachate emergent treat project in Shenyang City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(6): 32-34, 39 (in Chinese).
- [3] 丁西明,李洪君,李晓尚,等. MBR+NF/RO工艺处理垃圾渗滤液设计计算[J]. 中国给水排水,2015,31(4): 72-76.
DING Ximing, LI Hongjun, LI Xiaoshang, et al. Design and calculation of MBR+NF/RO process for treatment of landfill leachate [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(4): 72-76 (in Chinese).
- [4] 杜昱,孙月驰,李瑞华,等. 垃圾渗滤液MBR处理系统设计要点[J]. 中国给水排水,2018,34(2): 63-67.
DU Yu, SUN Yuechi, LI Ruihua, et al. Key points in designing MBR project for landfill leachate treatment [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(2): 63-67 (in Chinese).

作者简介:丁西明(1982—),男,安徽安庆人,硕士,正高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),注册环保工程师,主要从事市政给排水和垃圾渗滤液处理工程设计与研究工作。

E-mail:21757335@qq.com

收稿日期:2022-04-17

修回日期:2022-04-28

(编辑:孔红春)