

设计经验

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.02.007

太原循环经济环卫产业园固体废物污水处理厂工艺设计

王 罕, 许 敏, 耿 震

(无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214005)

摘 要: 为解决太原循环经济环卫产业园内生活垃圾焚烧处理处置、餐厨垃圾处理处置及其他固废处理处置过程中产生的高浓度废水处理问题,拟新建一座污水处理厂。设计处理规模为1 200 t/d,主要包括750 t/d的焚烧厂垃圾渗滤液和450 t/d的餐厨沼液。渗滤液处理采用“气浮+调节池+内循环厌氧反应器+两级A/O-MBR”的核心工艺,餐厨沼液处理采用“气浮+调节池+两级A/O-MBR”的核心工艺。污泥处理采用“离心脱水+热干化”工艺,处理后污泥含水率 $\leq 30\%$,干化污泥采用密封车辆送至焚烧厂焚烧处理。试运行结果表明,出水水质稳定达到设计标准。污水处理厂总投资为1.3亿元,污水处理直接成本为23.5元/t。

关键词: 焚烧厂渗滤液; 餐厨厌氧消化液; 涡凹气浮; 内循环厌氧反应器; MBR

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)02-0037-05

Process Design of Solid Waste Wastewater Treatment Plant of Taiyuan Circular Economy and Environmental Sanitation Industrial Park

WANG Han, XU Min, GENG Zhen

(Wuxi Municipal Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214005, China)

Abstract: To solve the problem of the treatment of high concentration wastewater in the process of domestic waste incineration, kitchen waste treatment and other solid waste treatment and disposal in Taiyuan Circular Economy and Environmental Sanitation Industrial Park, a new sewage treatment plant was built. The design capacity was 1 200 t/d, which mainly included 750 t/d landfill leachate of incineration plant and 450 t/d anaerobic digestion liquid of kitchen waste. The core treatment process of leachate was “air flotation + regulating tank + internal circulation anaerobic reactor + two-stage A/O-MBR”. The core treatment process of kitchen waste anaerobic biogas liquid was “air flotation + regulating tank + two-stage A/O-MBR”. And “centrifugal dehydration + thermal drying” was used as the core treatment process of sludge while the water content reached less than 30% after dewatering. Then the dewatered sludge was sent to the incineration plant for incineration by sealed vehicles. The trial operation results showed that the effluent quality was stable and corresponded to the design standard. The total investment of sewage treatment plant was 130 million yuan. The direct cost of wastewater treatment was 23.5 yuan/t.

Key words: leachate of incineration plant; anaerobic digestion liquid of kitchen waste; cavitation air flotation; internal circulation anaerobic reactor; MBR

近年来,太原市规划建设了一些固体废物处置设施,提高了固体废物无害化处理水平,但建设的速

度难以满足垃圾量不断增长的需求,现有侯村城市生活垃圾卫生填埋场和东山郝庄垃圾焚烧发电厂均

处于超负荷运转状态,使用年限大大缩短。同时大量可再生的废弃物被填埋、焚烧或者遗弃,未能得到资源化回收利用。

随着垃圾处理政策、方向的改变,分类回收、循环利用等更合理的处理方法将用于替代原生垃圾直接填埋的方式。为此,太原市政府决定建设一座循环经济环卫产业示范园。为解决产业示范园内的生活垃圾焚烧处理处置、餐厨垃圾处理处置及其他固废处理处置过程中产生的高浓度废水处理问题,示范园区拟新建一座污水处理厂。

1 设计水量和水质

1.1 设计水量

该污水厂定位为一座高浓度综合废水预处理厂站,主要用于处理园区内生活垃圾焚烧发电厂、餐厨垃圾处理厂和污泥处理厂产生的高浓度综合废水,其中生活垃圾焚烧发电厂废水主要来源于垃圾渗滤液和垃圾卸料厅地面及栈桥冲洗水、化验室排水等,餐厨处理厂主要为厌氧消化后的沼液,污泥厂排水主要包括污泥处理工艺排水、锅炉排污废水及除臭排污废水等。污水厂出水通过厂内外排泵站提升排入厂区外市政污水管网,最终排入下游 15 km 处的晋阳污水处理厂进一步处理。

根据可研文件和焚烧厂、污泥厂、餐厨厂排水水质及晋阳污水处理厂进水水质要求,对低于晋阳污水处理厂设计进水水质的污水(水量约 605.06 m³/d)经机械粉碎格栅处理后直接送入污水处理厂外排泵站提升排出。对高于晋阳污水厂设计水质的污水(即焚烧厂渗滤液等约 600 t/d,其他废水约 86.7 t/d,餐厨厂污水 401.2 t/d,污泥处理厂 26.5 t/d,合计 1 114.4 t/d)进行预处理。本项目最大进水量约为 1 805.06 t/d,其中需要进行生物处理的污水约 1 114.4 t/d。

因此该项目总规模确定为 2 000 t/d,处理规模为 1 200 t/d,其中焚烧厂渗滤液(含冲洗废水)处理规模为 750 t/d,餐厨沼液(含少量污泥厂高浓度废水)处理规模为 450 t/d。剩下 800 m³/d 园区低浓度废水进外排泵房(泵房集水池进口处设机械粉碎格栅处理)后提升排出。

1.2 设计进水水质

设计进水水质参考国内同类渗滤液和餐厨沼液水质及太原地区生活垃圾的特性指标,具体如表 1 所示。

表1 设计进水水质

Tab.1 Design influent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD	BOD ₅	NH ₃ - N	TN	SS
焚烧厂渗滤液	75 000	30 000	2 500	3 000	12 000
焚烧厂其他高浓度废水	15 000	6 000	500	800	3 000
污泥厂高浓度废水	2 500	1 000	400	600	1 000
餐厨厂高浓度废水	12 000	6 000	2 300	3 000	2 500

1.3 设计出水水质

污水厂设计出水指标见表2。

表2 设计出水水质

Tab.2 Design effluent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD	BOD ₅	NH ₃ - N	TN	SS
排放限值	1 000	400	100	280	400

2 工艺流程设计

针对我国焚烧厂垃圾渗滤液污染物成分复杂多变、水量水质变化大、有机污染物及悬浮物浓度高、氨氮浓度高等特点^[1], 渗滤液设计采用“螺旋格栅 + 溶气气浮 + 调节池 + 内循环厌氧反应器 + 两级硝化反硝化 + 内置式 MBR”全流程处理工艺。针对餐厨厌氧消化沼液中有有机污染物及悬浮物浓度高、氨氮浓度高、油脂含量高、盐分高等特点^[2], 餐厨沼液处理采用“溶气气浮 + 调节池 + 两级硝化反硝化 + 内置式 MBR”工艺。具体工艺流程见图 1。

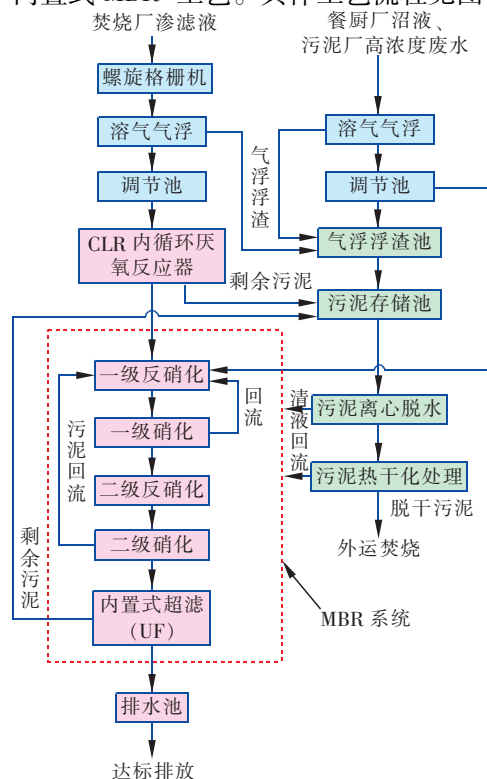


图1 工艺流程

Fig. 1 Process flow chart

气浮浮渣及剩余污泥由污泥储池储存,污泥经过“离心脱水+热干化”处理至含水率 $\leq 30\%$ 后,采用密封车辆送至附近的焚烧厂焚烧处理。

3 各单元设计污染物去除效果

各单元的设计污染物去除效果具体如表 3 所示。

表 3 各单元设计去除效果

Tab. 3 Design removal effect of each unit

项 目	规模/ ($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
焚烧厂渗滤液	750.0	70 000	27 000	2 300	2 800	11 000
渗滤液气浮出水	750.0	63 000	24 300	2 300	2 800	3 300
厌氧反应器出水	750.0	12 600	3 645	2 400	2 800	1 000
MBR 进水 (加入餐厨沼液)	1 200.0	12 000	4 000	2 300	3 000	1 000
MBR 出水	$\leq 1\ 200.0$	≤ 800	≤ 400	≤ 40	≤ 150	≤ 30

4 构筑物设计参数

4.1 预处理系统

工程设计一座合建式预处理间,地上建筑用房内设有格栅机、气浮设备、PAC 和 PAM 加药设备及配电柜,地下为渗滤液调节池、餐厨沼液调节池、气浮浮渣池及提升泵房。建(构)筑物尺寸:预处理间,38.3 m \times 25.6 m;提升泵房,地下式,9.0 m \times 5.7 m;渗滤液调节池 1,30.7 m \times 25.0 m \times 6.0 m;渗滤液调节池 2,10.2 m \times 7.5 m \times 6.0 m;餐厨沼液调节池,10.2 m \times 7.5 m \times 6.0 m;气浮浮渣池,7.5 m \times 3.5 m \times 6.0 m。主要设备:渠箱螺旋格栅机 1 套,处理量 $\geq 50\text{ m}^3/\text{h}$,栅隙 1.0 mm, $N=2.2\text{ kW}$,配套冲洗系统,自带压榨功能。气浮机 4 套,单套 $Q=20\sim 30.0\text{ m}^3/\text{h}$, $N=4.07\text{ kW}$,配套溶气罐、回流泵、刮渣机等。另设 PAC 和 PAM 制备及投加装置、调节池潜水搅拌机、渗滤液提升泵、餐厨液提升泵和浮渣提升泵。

4.2 厌氧处理系统

4.2.1 工艺设计参数

① 设计 4 座厌氧反应器,并联运行,单座 $Q_d=200.0\text{ m}^3/\text{d}$,进水 COD=63 000 mg/L,设计厌氧 COD 去除率 $\geq 80.0\%$,容积负荷为 $10.0\text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,单座有效容积为 $1\ 326.0\text{ m}^3$,设计单座 $\varnothing 9.0\text{ m} \times 22.5\text{ m}$,有效液位 21 m。最大循环比为 6:1,上升流速为 2.5 m/h 。

② 沼气产率为 $0.35\sim 0.40\text{ m}^3/\text{kgCOD}$,沼气产量为 $11\ 340\sim 12\ 960\text{ m}^3/\text{d}$ ($472.5\sim 540.0\text{ m}^3/\text{h}$)。

4.2.2 主要配套设备

厌氧反应区:CLR 内循环厌氧反应器 4 座,碳钢

防腐保温结构,主要构件包括三相分离器(每座 2 套)、旋流进水布水系统、气液分离水封罐(每座 2 套, $\varnothing 0.8\text{ m} \times 1.3\text{ m}$)和脱水罐。厌氧循环泵 8 台, $Q=120\text{ m}^3/\text{h}$, $H=350\text{ kPa}$, $N=22\text{ kW}$ 。厌氧剩余污泥泵 4 台, $Q=10\text{ m}^3/\text{h}$, $H=600\text{ kPa}$, $N=7.0\text{ kW}$ 。篮式过滤器 4 套, $Q=50.0\text{ m}^3/\text{h}$ 。管式换热器 4 套,换热面积 10 m^2 ,材质 SS304。

沼气存储及处理区:干式双膜沼气气柜 1 套, $\varnothing 13.0\text{ m}$, $V=1\ 000.0\text{ m}^3$,膜材质 PVDF,气体运行压力 $0.8\sim 1.2\text{ MPa}$ 。沼气膜调压风机 1 台, $1\ 000\text{ m}^3/\text{h}$, 2 kPa , 2.2 kW 。沼气引风机 3 台, $13.3\text{ m}^3/\text{min}$, 35 kPa , 15 kW 。沼气干式脱硫塔 2 座,非标设备。沼气燃烧火炬 1 套, $Q=600\text{ m}^3/\text{h}$,功率 11.0 kW ,PLC 控制,自动点火方式。

4.3 MBR 膜生物反应池及综合车间

4.3.1 MBR 膜生物反应池

组合型结构,主要包括 3 组并联运行的二级 A/O 池、膜池、酸洗碱洗池和综合车间。

工艺参数:设计水温 $25\text{ }^\circ\text{C}$,设计 MLSS $10\text{ kg}/\text{m}^3$,反硝化速率 $0.065\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,设计反硝化率 99% ,设计反硝化池总有效容积为 $4\ 200\text{ m}^3$,一级反硝化池取 $3\ 000\text{ m}^3$,二级反硝化池取 $1\ 200\text{ m}^3$ 。设计污泥龄 17.35 d ,硝化细菌比生长速率为 $0.022\ 3\text{ d}^{-1}$,COD 日处理量为 $10\ 713.6\text{ kgCOD}/\text{d}$,设计一级硝化池有效容积为 $6\ 134.0\text{ m}^3$ 。设计二级反硝化进水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 $160\text{ mg}/\text{L}$,设计二级硝化池水力停留时间(含回流量)为 1.5 h 。一级硝化混合液回流比取 20。8 m 深池中清水氧利用率为 40% ,生化系统总需氧量为 $10\ 433.4\text{ m}^3/\text{h}$ 。日平均剩余污泥量为 $170\text{ t}/\text{d}$ 。内置式超滤膜 6 套,膜材

质 PTFE, 平均过滤通量为 $8.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 最大过滤通量为 $10.0 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 膜总面积 $5\,868.0 \text{ m}^2$ 。单支膜面积 12.0 m^2 。理论膜数量 490 支, 膜擦洗强度 $50 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{支})$ 。

建(构)筑物: 一体式 MBR 组合水池 1 座, 半地下式, 两级 A/O 池并联 3 组运行(两组处理渗滤液厌氧出水, 1 组处理餐厨沼液); 膜池和酸碱清洗池共 2 座。具体参数见表 4。

表 4 MBR 组合水池各构筑物参数

Tab. 4 Parameters of each structure in MBR combination tank

项 目	数量/座	单座尺寸/ (m × m × m)	单座有效 容积/ m^3	HRT/ d
一级反硝化池	3	13.6 × 9.65 × 9.5	1 050	2.62
一级硝化池	3	18.15 × 14.85 × 9.5	2 156	5.39
二级反硝化池	3	9.0 × 6.5 × 9.5	468	1.17
二级硝化池	3	9.0 × 6.5 × 9.5	468	1.17
膜池	2	3.1 × 3.1 × 6.5		

4.3.2 综合车间

合建式, 总尺寸为 $96.9 \text{ m} \times 13.7 \text{ m}$, 包括设备间、鼓风机房、空压机房、值班室、加药间、高压配电间、低压配电间。

主要设备: A1 池潜水搅拌机 6 套, $N = 3.0 \text{ kW}$; A2 池潜水搅拌机 3 套, $N = 3.0 \text{ kW}$; 冷却塔 3 套, $Q = 600 \text{ m}^3/\text{h}$, $P = 18.5 \text{ kW}$; 扁口喷嘴射流曝气器 128 套, 材质 PP, 单个喷嘴气量 $30 \sim 120 \text{ m}^3/\text{h}$, 单个喷嘴水量 $15 \sim 25 \text{ m}^3/\text{h}$, 服务面积: $6 \sim 20 \text{ m}^2$ 。一级硝化回流泵 6 台, $400.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 230 kPa , 37 kW 。一级硝化射流循环泵 7 台, 3 台变频, $400.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 230 kPa , 37 kW 。二级硝化池射流循环泵 6 台, 3 台变频, $200.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 160 kPa , 15 kW 。污泥回流泵 6 台, $100.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 115 kPa , 5.5 kW 。剩余污泥泵 2 台, $25.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 370 kPa , 7.5 kW 。MBR 抽吸泵 5 台, $30.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 100 kPa , 2.2 kW 。渗滤液 MBR 膜组件 7 组, 单组膜总面积 550 m^2 。餐厨液 MBR 膜组件 5 组, 单组膜总面积 432 m^2 。生化池罗茨鼓风机 4 台, 2 台变频, $90.0 \text{ m}^3/\text{min}$, 80 kPa , 160 kW 。餐厨膜擦洗风机 2 台, $12.6 \text{ m}^3/\text{min}$, 55 kPa , 30 kW 。渗滤液膜擦洗风机 2 台, $22.4 \text{ m}^3/\text{min}$, 55 kPa , 50 kW 。

4.4 污泥脱水及干化系统

工艺设计参数: 气浮污泥计算量为 120.0 t/d 。厌氧剩余污泥产量为 21.5 t/d , MBR 剩余污泥量为 170.7 t/d 。污泥量最大总计为 312.2 t/d 。

建(构)筑物: 污泥存储池, $4.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times$

3.35 m ; 污泥处理综合用房, 合建式, 包括污泥脱水车间($20.0 \text{ m} \times 10.0 \text{ m}$)、湿污泥料仓间($9.0 \text{ m} \times 10.0 \text{ m}$)、污泥干化间($29.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$)。

主要配套设备: 污泥池框式搅拌器 1 台, $\phi 1.5 \text{ m}$, $25 \sim 30 \text{ r/min}$, $N = 1.5 \text{ kW}$ 。污泥切割机 1 台, $Q = 20.0 \text{ m}^3/\text{h}$, $N = 4.0 \text{ kW}$ 。污泥进料螺杆泵 3 台, $20.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 200 kPa , 5.5 kW 。卧式离心脱水机 3 台, $Q \geq 20.0 \text{ m}^3/\text{h}$, $N = 45 + 15 \text{ kW}$ 。水平无轴螺旋输送机 1 套, $N = 7.5 \text{ kW}$ 。倾斜无轴螺旋输送机 1 套, $N = 11.5 \text{ kW}$ 。湿污泥料仓 1 套, $B \times H = 4\,000 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$, $V = 40 \text{ m}^3$, $N = 7.5 \text{ kW}$ 。正压给料机 1 台, 出力 $5.0 \text{ m}^3/\text{h}$, $N = 5.5 \text{ kW}$ 。污泥干化进料螺杆泵 2 台, $3.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 2.4 MPa , 11.0 kW 。低温污泥干化机 1 台, 非标专利设备, $Q = 20.0 \text{ m}^3/\text{h}$, $N = 110.0 \text{ kW}$ 。冷却塔 1 座, $Q = 250 \text{ m}^3/\text{h}$, $N = 15 \text{ kW}$ 。冷却循环泵 2 台, $250.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 280 kPa , 22 kW 。热水循环泵 2 台, $100.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 320 kPa , 15 kW 。板式换热器 1 套, $F = 100 \text{ m}^2$ 。污泥刮板机 3 套, 每套有效宽度均为 300 mm , $L_1 = 4.0 \text{ m}$, $N_1 = 4.0 \text{ kW}$; $L_2 = 6.5 \text{ m}$, $N_2 = 7.5 \text{ kW}$; $L_3 = 6.5 \text{ m}$, $N_3 = 7.5 \text{ kW}$ 。干污泥料仓 1 座, $V = 25 \text{ m}^3$, $N = 2.2 \text{ kW}$ 。

4.5 外排水系统

合建式外排泵站 1 座, $3.9 \text{ m} \times 4.2 \text{ m}$; 排水池 1 座, $4.1 \text{ m} \times 4.2 \text{ m} \times 5.8 \text{ m}$ 。

配置机械粉碎性格栅 1 台, $Q \geq 120 \text{ m}^3/\text{h}$, $N = 1.5 \text{ kW}$ 。外排泵 3 台, 1 台变频, $60 \text{ m}^3/\text{h}$, 500 kPa , 30 kW 。

4.6 除臭系统

主要设备: 离心风机 2 台, $Q = 32\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, 风压 $3\,200 \text{ Pa}$, $N = 45 \text{ kW}$ 。组合式除臭生物滤池 1 套, 分两组并列运行, 处理气量 $32\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, 材质为玻璃钢板, 箱体尺寸 $25.8 \text{ m} \times 8.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$, 内含填料, 填料停留时间 $> 25 \text{ s}$, 除臭形式为酸洗池 + 碱洗池 + 生物滤池。酸洗/碱洗循环水泵各 2 台, $60 \text{ m}^3/\text{h}$, 35.0 m , 11 kW 。生物段循环水泵 1 台, $60 \text{ m}^3/\text{h}$, 250 kPa , 7.5 kW 。酸溶液/碱溶液加药装置 2 套, $V = 1.0 \text{ m}^3$, 配套隔离计量泵 2 台, 500 L/h , 0.8 MPa , 0.24 kW 。

5 运行效果

该污水处理厂经过 5 个月的调试后进入试运行阶段, 目前渗滤液进水量达到约 650 t/d , 餐厨沼液进水量达到约 250 t/d 。试运行阶段的具体进、出水

指标平均值如表 5 所示。可见,出水水质完全达到设计标准。

表 5 试运行阶段进、出水水质

Tab. 5 Influent and effluent quality during trial operation
mg · L⁻¹

项 目		COD	BOD ₅	NH ₄ ⁺ - N	TN	SS
餐厨沼液	进水	13 000 ~ 15 000	4 820 ~ 6 200	2 520 ~ 3 000	2 800 ~ 3 200	6 000 ~ 14 000
	出水	450 ~ 870	100 ~ 200	2 ~ 15	180 ~ 240	5
焚烧厂渗滤液	进水	65 000 ~ 75 000	40 000 ~ 48 000	2 200 ~ 3 000	3 000 ~ 4 000	3 400 ~ 4 800
	出水	600 ~ 980	200	8	200 ~ 270	6
排放标准		≤1 000	≤400	≤100	≤280	≤400

6 投资与运行成本分析

该污水处理厂总投资为 1.3 亿元,其中土建工程投资 6 400 万元,设备安装及调试投资 6 600 万元。

根据相关 BOT 协议,污水厂直接运行成本(收费标准)为 23.5 元/t(不含折旧费和大修理费),其中药剂费为 2.0 元/t、蒸汽费为 1.0 元/t、电费为 18.0 元/t、人工费为 2.0 元/t、维修费为 0.5 元/t。

7 结语

① 太原循环经济环卫产业园污水处理厂设计总规模 2 000 t/d,设计处理规模为 1 200 t/d,主要包括焚烧厂垃圾渗滤液 750 t/d 和餐厨沼液(含少量污泥厂高浓度废水)450 t/d。剩下 800 m³/d 园区低浓度废水进外排泵房提升排出。

② 污水厂渗滤液处理采用“气浮 + 调节池 + 内循环厌氧反应器 + 两级 A/O - MBR”工艺。餐厨沼液处理采用“气浮 + 调节池 + 两级 A/O - MBR”工艺。在 MBR 系统的 3 组生化池进水管上,设计电

动阀门切换运行的方式,既方便了渗滤液系统补充碳源(餐厨沼液),又方便维修时餐厨沼液或渗滤液可以打入另一组生化池的一级反硝化池中继续处理。

③ 污泥采用离心脱水 + 热干化处理工艺,处理后污泥含水率 ≤ 30%,采用密封车辆送至附近的垃圾焚烧厂焚烧处理。

④ 本污水处理厂总投资为 1.3 亿元,污水处理直接运行成本为 23.5 元/t。

参考文献:

[1] 王罕,蒋文化,马三剑. UASB + MBR + NF 处理焚烧垃圾渗滤液的设计及运行[J]. 工业水处理,2014,34(11):87 - 89.
WANG Han, JIANG Wenhua, MA Sanjian. Design and operation of the treatment of refuse leachate by UASB + MBR + NF [J]. Industrial Water Treatment, 2014, 34(11):87 - 89 (in Chinese).
[2] 王罕,戴庆武,顾礼炜,等. 餐厨垃圾废水综合处理技术进展[J]. 广东化工,2013,40(17):155 - 156.
WANG Han, DAI Qingwu, GU Liwei, et al. Advances on treatment technology for food waste wastewater [J]. Guangdong Chemical Industry, 2013, 40(17):155 - 156 (in Chinese).

作者简介:王罕(1988 -),男,江苏泰州人,硕士,工程师,工艺设计师,主要从事渗滤液、工业废水和餐厨处理设计和研究工作。

E - mail:550950110@qq.com

收稿日期:2020 - 02 - 17

修回日期:2020 - 03 - 18

(编辑:孔红春)

实施国家节水行动,建设节水型社会