

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.24.021

混凝+两级A/O+MBR工艺处理粪便滤后液

黄珠慧, 朱艳臣, 王久龙, 陶炳池, 周刚, 陈军
(浙江省环境工程有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 针对粪便滤后液有机物浓度较高、可生化性较好等特性,杭州市某粪便无害化处理厂采用混凝+两级A/O+MBR工艺对粪便滤后液进行处理,处理规模为100 m³/d。运行结果表明,该工艺抗冲击负荷能力强,处理效率高,对COD、NH₃-N、TN、TP及SS的去除率分别在94%、90%、90%、91%以及92%以上,出水水质指标稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的二级标准及《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的C级限值。

关键词: 粪便滤后液; 一体化设备; 两级A/O; MBR

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)24-0115-05

Treatment of Fecal Filtrate by a Combined Process of Coagulation, Two-stage A/O and MBR

HUANG Zhu-hui, ZHU Yan-chen, WANG Jiu-long, TAO Bing-chi, ZHOU Gang, CHEN Jun

(Zhejiang Province Environmental Engineering Co. Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: According to the characteristics of fecal filtrate such as high organic matter concentration, good biodegradability and so on, a fecal harmless treatment plant in Hangzhou adopted the combined process of coagulation, two-stage A/O and MBR to treat the fecal filtrate with the treatment capacity of 100 m³/d. The operation results show that the combined process had strong shock loading resistibility and high treatment efficiency. The removal rates of COD, NH₃-N, TN, TP and SS were above 94%, 90%, 90%, 91% and 92% respectively. The effluent quality stably met the second level stipulated in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) and the level C limit stipulated in *Wastewater Quality Standards for Discharge to Municipal Sewers* (GB/T 31962-2015).

Key words: fecal filtrate; integrated equipment; two-stage A/O; MBR

粪便滤后液是粪便经过固液分离之后,经加药离心脱水产生的废水,其特性如下:①COD、TN、TP等浓度较高^[1];②可生化性较好。若该废水直接排入污水处理厂,会对污水处理系统造成冲击负荷,甚至直接影响后端纳管污水处理厂稳定达标^[2]。以杭州市某粪便无害化处理厂粪便滤后液处理工程为

例,介绍了工艺流程、设计参数及运行效果,以期为国内同类废水的处理提供经验参考。

1 工程概况

该粪便无害化处理厂设计粪便处理规模为100 m³/d,粪便无害化处理生产线主要设备包括卸粪系统、固液分离机系统、絮凝脱水系统、除臭系统、泵房

系统、监控系统、自控及中控系统。粪便无害化处理工艺流程为粪便经粗格栅和一体化固液分离机处理后,泥浆经加药混凝,随后进入离心脱水机,进行脱水处理。三道工序产生的粪渣输送到焚烧厂进行焚烧处理,粪便滤后液经废水处理系统处理后排至附近污水处理厂统一处理。

粪便滤后液的污染物成分简单,水质相对比较稳定。废水处理工艺以去除有机物、氨氮和总氮为主。该废水处理后排放水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的二级标准,总氮与总磷执行《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的C级限值要求。该厂粪便滤后液水量较小,且考虑到场地紧张,因此,采用一体化钢制设备进行处理。

2 设计水量、水质

2.1 设计水量

该粪便无害化处理厂设计粪便处理规模为100 m³/d,考虑变化系数和日后区域发展,污水处理站设计水量为100 m³/d。

2.2 设计水质

设计进水水质参照粪便处理厂现有基础监测数据,该滤后液处理后排放的水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的二级标准,总氮与总磷执行《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的C级限值要求。设计进、出水水质如表1所示。

表1 设计进、出水水质

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

项目	进水水质	出水水质
COD	1 000	≤100
NH ₃ -N	100	≤25
TN	150	≤45
TP	10	≤5
SS	300	≤30

3 处理工艺

该工程粪便滤后液的进水B/C=0.5,可生化性好^[3],主体工艺可采用缺氧-好氧生物处理工艺。考虑到粪便滤后液主要污染物为COD、TP、TN、NH₃-N且进水污染物浓度较高及用地紧张等因素,故主体工艺采用两级A/O+MBR生物脱氮法,这是一种传统活性污泥法与高效膜分离技术相结合的新型高效污水处理工艺。两级A/O工艺具有脱氮除磷效果

好、抗冲击负荷能力强等优点,MBR将生化降解作用和膜分离作用的优点有机结合^[4],同时,MBR采用有机平板膜,平板膜具有抗污染性高的优点,可减少清洗次数。

粪便滤后液处理工艺流程如图1所示。

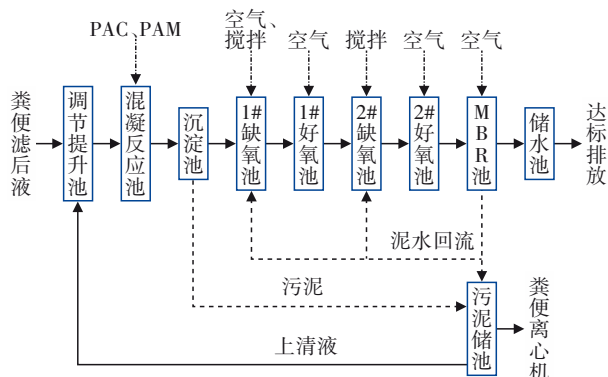


图1 粪便滤后液处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of fecal filtrate treatment process

厂区产生的粪便滤后液进入现有调节提升池,调节水质水量,随后经泵提升到混凝反应池。投加混凝剂(PAC)、助凝剂(PAM)并进行搅拌,与废水中的杂质、悬浮物反应形成胶体絮团。混凝反应池处理出水自流进入沉淀池进行泥水分离,沉淀池出水进入生化系统。

在两级A/O处理系统中,利用生化池内环境条件的串联变化,强化了脱氮除磷作用,并去除大量有机物^[4]。出水进入MBR池,由于MBR膜对活性污泥和大分子有机物质具有截留作用,使反应池内活性污泥浓度大大提高,水力停留时间和污泥停留时间可以得到控制,而难降解的物质在池中不断反应、降解,同时,MBR池的混合液分别回流至前端1#缺氧池与2#缺氧池,以保证反硝化系统稳定运行和前端生化处理系统有足够且稳定的生物群体。MBR膜池出水进入储水池,可达标排放。

沉淀池污泥与MBR膜池产生的剩余污泥进入污泥储池,随后污泥与粪便处理厂内经第二道一体化固液分离机处理后的粪便一并处理,经加药处理后输送到第三道脱水机进行脱水处理。污泥储池内的上清液回流到调节提升池。

4 主要构筑物设计参数

该工程处理系统主要由调节提升池、一体化设备、储水池以及风机房构成。调节提升池由厂区原有出水泵井改造而成,为全地下钢筋混凝土结构。

一体化设备采用全地上304不锈钢设备,包含混凝反应池、沉淀池、1#缺氧池、1#好氧池、2#缺氧池、2#好氧池、MBR膜池、膜清洗池、污泥储池、泵房及配

电间。储水池采用全地上不锈钢304,风机房采用全地上钢棚结构。

主要构筑物设计参数见表2。

表2 主要处理构筑物

Tab.2 Main treatment structures

项目	规格尺寸	结构或材质	数量/座	主要参数	备注
调节提升池	6.74 m×9.64 m	钢筋混凝土	1	HRT:1.9 d	改造
混凝反应池	0.55 m×2.00 m×4.50 m	304 不锈钢	1	HRT:1.1 h	一体化设备
沉淀池	2.00 m×2.00 m×4.50 m	304 不锈钢	1	表面水力负荷:1.04 m ³ /(m ² ·h)	
1#缺氧池	2.80 m×2.95 m×4.50 m	304 不锈钢	1	HRT:7.9 h,反硝化负荷:0.084 kgNO ₃ ⁻ -N/(kgMLSS·d)	
1#好氧池	5.50 m×2.95 m×4.50 m	304 不锈钢	1	HRT:15.6 h,硝化负荷:0.036 kgNH ₃ -N/(kgMLSS·d)	
2#缺氧池	2.00 m×2.95 m×4.50 m	304 不锈钢	1	HRT:5.7 h,反硝化负荷:0.052 kgNO ₃ ⁻ -N/(kgMLSS·d)	
2#好氧池	3.20 m×2.80 m×4.50 m	304 不锈钢	1	HRT:8.6 h,硝化负荷:0.014 kgNH ₃ -N/(kgMLSS·d)	
MBR膜池	5.00 m×2.80 m×4.50 m	304 不锈钢	1	HRT:13.4 h	
膜清洗池	1.15 m×2.50 m×4.50 m	304 不锈钢	1		
污泥储池	2.00 m×0.90 m×4.50 m	304 不锈钢	1		
储水池	1.00 m×1.00 m×2.00 m	304 不锈钢	1	HRT:0.4 h	

5 调试及运行效果

5.1 调试情况

该工程于2019年11月底开始系统调试,生化系统接种的污泥采用当地市政污水处理厂脱水污泥。污泥驯化后,系统开始调试,至2019年12月底,各项指标均达到设计出水水质,调试工作结束,系统投入运行。

① 物化系统

通过加药系统向混凝反应池内投加10%的PAC和0.1%的PAM,根据进水水量确定投加量及投加比,从而达到良好的絮凝效果。

② 生化系统

在调试阶段,整个生化系统pH控制在7.0左右,水温控制在20~30℃。1#缺氧池DO值控制在0~0.2 mg/L,1#好氧池DO值控制在2~4 mg/L,2#缺氧池DO值控制在0.2~0.5 mg/L,2#好氧池DO值控制在2~4 mg/L,MBR池DO值控制在2~4 mg/L。经过30 d调试后,菌胶团发育良好,污泥浓度(MLSS)保持在3 500 mg/L左右,标志着活性污泥驯化完成。

在调试期间,缺氧池的DO值会出现偏高的情况,因此,需调节MBR池曝气风量以控制池内DO值在规定范围内,以降低回流对缺氧池的影响,从而保证脱氮效果。

5.2 运行效果

调试完成后,该污水处理系统投入运行,在为

期3个月的性能考核期内,出水水质稳定达到出水标准。

该工程对COD的去除效果如图2所示。

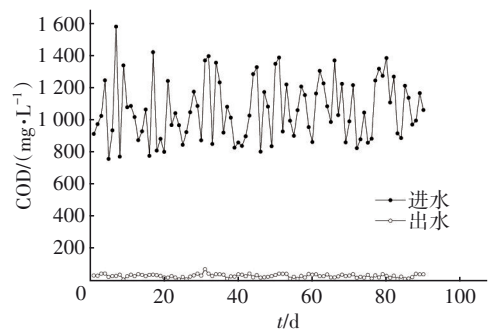


图2 对COD的去除效果

Fig.2 Removal efficiency of COD

对NH₃-N、TN、TP、SS的去除效果分别见图3~6。

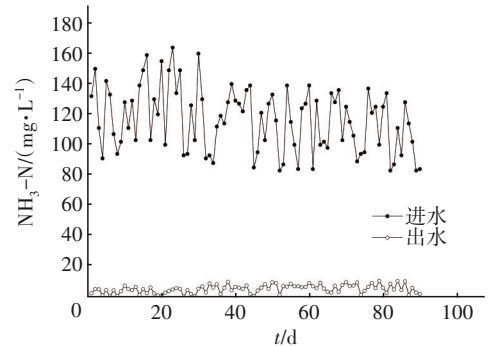


图3 对NH₃-N的去除效果

Fig.3 Removal efficiency of NH₃-N

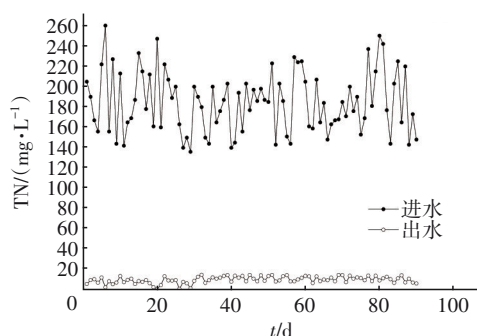


图4 对TN的去除效果

Fig.4 Removal efficiency of TN

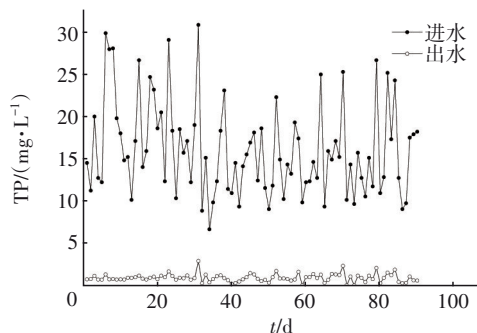


图5 对TP的去除效果

Fig.5 Removal efficiency of TP

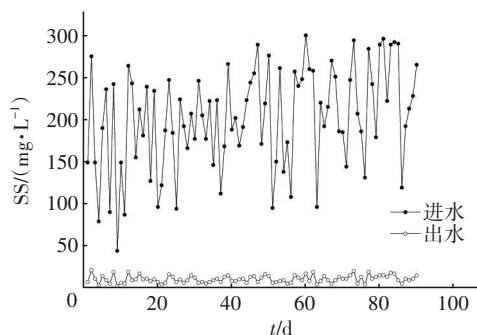


图6 对SS的去除效果

Fig.6 Removal efficiency of SS

进水 COD 为 780~1 580 mg/L,大部分在 1 000 mg/L 左右波动,经过混凝沉淀、两级 A/O 处理,并辅以 MBR 平板膜处理,借助 MBR 平板膜的高截留特性,使污泥浓度保持在较高水平,提高了对有机物的去除效率,从而使出水 COD 稳定在 100 mg/L 以下,COD 去除率可达 94% 以上。

进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 TN 偏高且波动较大,分别在 80~160 mg/L 以及 140~260 mg/L 范围内,但该系统的脱氮效果显著,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 基本稳定在 10 mg/L 以下,出水 TN 基本稳定在 15 mg/L 以下,去除率均可稳定达到 90% 以上。粪便滤后液进水 TP 浓度较设计水质偏高,但出水 TP 稳定在 3 mg/L 以下,去除率可达

91% 以上。系统进水 SS 稳定在设计水质范围内,经过混凝沉淀以及 MBR 平板膜的截留作用,出水 SS 基本稳定在 20 mg/L 以下,去除率可达 92% 以上。该系统主要产生物化污泥和生化污泥,含水率为 98% 的湿污泥量排放量约为 3.0 m³/d。

根据对运行水质的分析,该工程工艺流程设计合理,各处理单元均发挥了污染物处理效果,系统具有较强的抗冲击负荷能力,对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 以及 SS 均有较好的去除效果。

该系统中各处理单元对主要污染物的去除效果见表 3。

表3 各单元污染物去除效果

Tab.3 Removal effect of pollutants of each unit

项 目	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP	SS
实际进水平均值/(mg·L ⁻¹)	1 063	116	184	16	203
调节-混凝沉淀	出水/(mg·L ⁻¹)	904	116	3.2	62
	去除率/%	15	5	80	70
A_1/O_1	出水/(mg·L ⁻¹)	136	17	35	
	去除率/%	85	85	80	
$\text{A}_2/\text{O}_2\text{-MBR}$	出水/(mg·L ⁻¹)	35	5	10	11
	去除率/%	74	70	69	82
实际出水平均值/(mg·L ⁻¹)	35	5	10	1	11

两级 A/O 可去除大量有机物,并结合 MBR 平板膜,将生化降解和膜分离的优点有机结合,可使 COD 去除率得到保障。在该系统中,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 去除率可达 90% 以上,主要依赖两级 A/O 的强脱氮作用。在 1#好氧池的亚硝酸菌和硝酸菌的作用下,将氨氮转化为亚硝态氮及硝态氮,回流至 1#缺氧池内,反硝化菌将硝酸盐及亚硝酸盐还原成 N_2 ,从而达到脱氮的效果。随后又通过 2#缺氧池及 2#好氧池进一步保障脱氮效率。在一级 A/O 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 去除率达到 80% 以上的情况下,二级 A/O 进一步进行硝化、反硝化作用,同时 MBR 平板膜有利于增殖缓慢的硝化菌、反硝化菌的截留、生长和繁殖,从而达到高效的脱氮效果^[5]。该系统 TP 去除率也较高,通过加药混凝沉淀去除大量磷酸盐,去除率可达 80%,并辅以微生物的同化和生物除磷作用以达到除磷效果^[6]。通过加药混凝沉淀以及 MBR 平板膜的截留特性,出水 SS 稳定达标。MBR 的高效截留特性,将活性污泥截留在处理系统内,保持系统内较高污泥浓度,提高了对有机物的去除效果,进一步保证了出水水质。可见,经过该系统处理后,各出

水指标均可稳定达标。

6 投资及成本分析

该粪便滤后液新增污水处理系统占地面积为130 m²,处理量为100 m³/d,总投资为260万元,总装机功率为47 kW,使用功率为25.5 kW。根据运行期间的数据统计,电费约1.364元/m³,药剂费约0.255元/m³,人工费约2.667元/m³,直接运行成本为4.286元/m³(不含设备折旧费)。

7 结论

① 针对杭州市某粪便无害化处理厂产生的100 m³/d粪便滤后液,采用混凝+两级A/O+MBR工艺进行处理。该系统抗冲击负荷较强,对COD、NH₃-N、TN、TP及SS均有良好的去除效果。系统出水COD<100 mg/L, NH₃-N<25 mg/L, TN<45 mg/L, TP<5 mg/L, SS<30 mg/L,满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的二级标准以及《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的C级限值要求。

② 该工程采用MBR平板膜工艺,可将微生物截留在系统内,保持较高的污泥浓度,有利于菌种的生长与繁殖,提高系统对污染物的去除效果。同时,平板膜抗污染性高,可减少清洗次数,节约运行成本。

③ 该工艺具有占地小、操作简单、管理方便、运行成本较低、抗冲击负荷强、出水水质稳定等优点,在粪便滤后液处理中具有重要作用,可为国内同类废水的处理提供工程经验参考。

参考文献:

- [1] 何康生,余建恒,叶恒朋,等. 粪便水对大坦沙污水厂生产运行的影响及控制措施[J]. 中国给水排水, 2007, 23(24): 92-94.
- HE Kangsheng, YU Jianheng, YE Hengpeng, *et al.* Effect of fecal sewage on Guangzhou Datansha sewage treatment plant and related countermeasures[J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(24): 92-94 (in Chinese).

- [2] 李清,赵卫兵,张勇,等. 城镇粪便污水处理的设计与工程实践[J]. 环境卫生工程, 2020, 28(5): 16-20.
- LI Qing, ZHAO Weibing, ZHANG Yong, *et al.* Design and engineering practice of urban fecal sewage treatment [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2020, 28(5): 16-20(in Chinese).
- [3] 耿震,黄兴,许敏,等. 某粪便处理厂工艺设计[J]. 中国给水排水, 2016, 32(2): 49-51, 56.
- GENG Zhen, HUANG Xing, XU Min, *et al.* Process design of a urban nightsoil treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(2): 49-51, 56 (in Chinese).
- [4] 左燕君,龚嫻. 混凝-两级A/O-MBR工艺深度处理生活污水[J]. 环境与发展, 2018, 30(5): 79-81.
- ZUO Yanjun, GONG Xian. Coagulation-two-stage A/O-MBR combined process for depth treatment of domestic wastewater[J]. Environment & Development, 2018, 30(5): 79-81(in Chinese).
- [5] 邹高龙. 倒置A²O-MBR(平板膜)处理城市污水的中试研究[J]. 环境工程学报, 2014, 8(6): 2467-2472.
- ZOU Gaolong. Combined reversed A²O-MBR (flat-sheet membrane) process treating municipal wastewater [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(6): 2467-2472(in Chinese).
- [6] 胡军福,周树美,刘东方,等. 二级A/O生物接触氧化工艺处理农村生活污水[J]. 水处理技术, 2021, 47(12): 95-98.
- HU Junfu, ZHOU Shumei, LIU Dongfang, *et al.* Application of two-stage A/O biological contact oxidation process in rural domestic sewage treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(12): 95-98 (in Chinese).

作者简介:黄珠慧(1995-),女,浙江温州人,硕士,工程师,主要从事污水处理工程设计及管理工作。

E-mail: zhuhuihuang03@163.com

收稿日期: 2021-12-24

修回日期: 2022-02-01

(编辑:衣春敏)