

超滤膜技术在新农村污水处理中的应用

冯暨伟

(华电水务膜分离科技(天津)有限公司,天津 300000)

摘要:介绍了采用超滤(MBR)膜技术应用在新农村区域污水处理技术方面的最新研究成果,对农村生活污水采用超滤膜技术进行了处理,讨论并验证了“A/O+MBR+化学除磷”新工艺的处理效果。结果表明:一体化高集成的污水处理装置能有效处理农村生活污水,实现高标准排放。

关键词:新农村建设;污水处理;超滤膜;一体化装置

中图分类号:X703 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2017)S1-0099-04

我国是一个传统农业大国,农村人口占比重,农村生活污水排放主要呈现粗放型直排,主要依靠环境自净功能调节污染影响。由于经济条件差、缺乏成熟技术及当地群众环保意识不强等因素所限,农村污水处理设施建设严重不足,生活污水大多不经处理,直接排放,造成河流、水塘污染,恶化周边水环境,并进一步威胁群众的身体健康。随着农村过量化肥施用,农村环境日益恶化。

改善村民生活品质,加快提升农村基础设施水平,全面推进农村人居环境整治,让农村成为农民安居乐业的美丽家园,这是全面建成小康社会的组成部分。农村污水排放具有分散式分布特点,市场上多采用一级或者二级污水处理技术,其污染物排放指标高于国家一级A排放标准,而在一些水源保护地附近或经济基础优良的自然村落,需要将排放标准进一步提升时,传统的生化处理技术就显得力不从心,笔者在华电水务运营多年的市政污水处理厂的基础上,以超滤膜技术为核心,结合活性污泥处理技术,开发一体化超滤污水处理技术及装置,研究一体化超滤污水处理技术在农村污水处理上的应用,用以解决排放标准提升的问题。

1 项目方案及试验装置

1.1 技术方案

针对农村污水水量少、可生化性好、排放点分散分布的特点,考虑到传统生化处理对于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 N 的去除效果不明显,采用“A/O+MBR+化学除磷”工艺路线,将村落居民的污水收集处理。一体化超滤

污水处理工艺流程见图1。

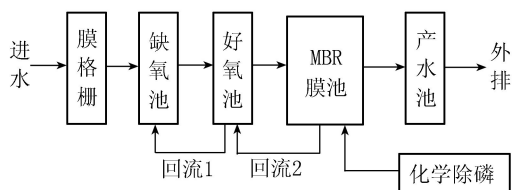


图1 一体化超滤污水处理工艺流程

1.2 技术指标

设计要求出水水质中COD、BOD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP达到GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅳ类水标准,SS、TN排放满足GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级标准A标准。同时,在调整加药系统以及控制污泥浓度、DO等运行参数的条件下,使出水水质中COD、BOD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP达到GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水标准,详见表1。

表1 设计出水水质指标 mg/L

标准	COD	BOD	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	TP	SS*	TN*
GB 3838—2002 《地表水环境质量标准》 Ⅳ类水标准	30	6	1.5	0.1	10	15
GB 3838—2002 《地表水环境质量标准》 Ⅲ类水标准	20	4	1	0.05	10	15

注:*表示GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级标准A标准。

1.3 试验装置

1.3.1 设计处理水量

试验处理规模为 $50\text{ m}^3/\text{d}$,按一体化装置考虑,按照每天24h运行。

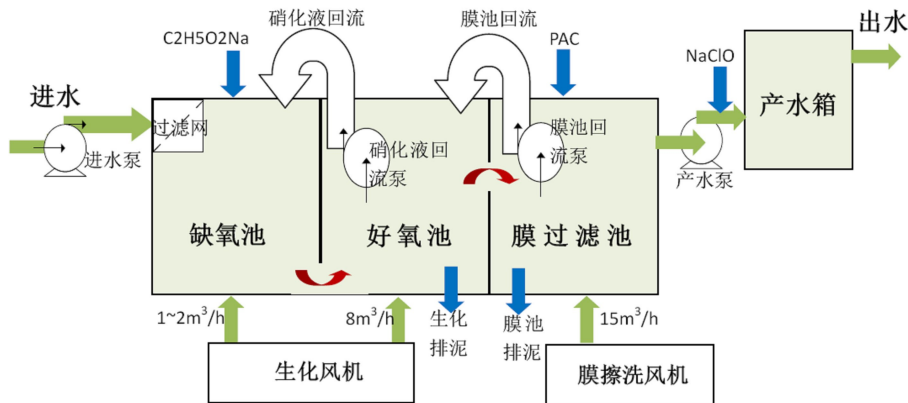


图2 一体化超滤污水处理试验装置工艺过程示意图

1.3.2 试验装置工艺过程描述

一体化超滤污水处理试验装置工艺过程见图2。来水通过进水泵输送到缺氧池过滤网。污水经过滤网过滤大颗粒杂质后进入缺氧池,在从生化风机来的空气不断搅拌下,与事先培养好的细菌接触开始发生生化反应,缺氧池中加入乙酸钠($C_2H_5O_2Na$)作为碳源。从缺氧池出来的污水从底部进入到好氧池,在好氧池中发生细菌的硝化反应及磷酸盐的吸收过程。好氧池的外侧中部设置一球阀,通过该球阀好氧池中的污水进入到膜过滤池。膜过滤池中安装PVDF超滤膜,用以过滤细菌及固体杂质。为进一步降低废水中的磷酸盐含量,膜池中加入聚铝(PAC)生成磷酸盐沉淀。从膜过滤池中出来的产水在产水泵的作用下进入到产水箱中,并进一步排出处理装置。产水泵后加入NaClO消毒剂用于反洗时杀死黏附在膜上的细菌。在好氧池及膜过滤池底部均设置回流泵,用于将好氧池中的污水返回至缺氧池、将膜过滤池中的污水返回至好氧池。好氧池及膜过滤池底部还设置有排泥阀,用于定期排泥。

a. 缺氧池。缺氧区的功能是脱氮,在此反应器中,反硝化菌利用污水中的有机物作碳源,将好氧池回流污泥中带入的大量 $NO_3^- - N$ 和 $NO_2^- - N$ 还原为 N_2 并释放到空气中,BOD浓度继续下降, $NO_3^- - N$ 浓度也大幅度下降。考虑到生活污水一般进水BOD与N的浓度比值小于4,需投加碳源,本方案投加碳源为乙酸钠。缺氧池设计停留时间为6h,主要设备包括用作去除大颗粒物的提篮式膜格栅、潜水搅拌机和碳源(乙酸钠)投加装置。

b. 好氧池。在曝气条件下利用池中大量繁殖的活性污泥微生物通过自身的降解或吸附作用除去水中的有机物质,以达到净化水质的目的。好氧池设计停留时间为6h,主要设备包括曝气器(2m水深时传氧效率10%),设计气水比(28:1),好-缺氧污

泥回流泵(5Q)。

c. 膜系统。MBR区利用膜对生化反应池内的含泥污水进行过滤,实现泥水分离。一方面,膜截留了反应池中的微生物,使池中的活性污泥浓度大大增加,使降解污水的生化反应进行得更迅速、彻底;另一方面,由于膜的高过滤精度,去除了大部分悬浮物质,得到高质量的产水。膜区设置MBR膜组件系统及配套的出水、清洗、吹扫等系统,膜池进水处投加PAC除磷。

d. 产水池。暂存MBR过膜产水,具有水量调节功能,兼有提供MBR反洗用水作用,以便进行超滤膜清洗。

1.3.3 试验装置主要设备

建成的试验装置见图3及图4。

一体化超滤污水处理试验装置设备见表2。



图3 一体化超滤污水处理试验装置



图4 一体化超滤污水处理试验装置加药罐

表2 一体化超滤污水处理试验装置设备

序号	设备名称	数量	单位	设备性能参数	备注
1	MBR 供水泵(移动式潜污泵)	2	套	$Q=2\sim 3\text{ m}^3/\text{h}, H=15\text{ m}$	①取水池;②生化池;③库备一台水泵;④配带取水点到一体化装置的管道(30 m)
2	MBR 膜池抽吸泵 (自吸式清水泵)	2	套	$Q=3\sim 5.5\text{ m}^3/\text{h}, H=15\text{ m}$, 配变频电机, 过流材质 SS304 不锈钢	①膜池液位;②产水管压差;③与出水流量 PID 控制频率;④库备一台水泵
3	5% 柠檬酸溶液加药泵 (机隔膜式计量泵)	1	套	$Q=50\text{ L/h}, P=3.5\sim 5.0\text{ bar}$, 氟塑料泵头	配 40 L 加药桶(配搅拌机)
4	1% ~2% NaClO 溶液加药泵 (机隔膜式计量泵)	1	套	$Q=5\text{ L/h}, P=3.5\sim 5.0\text{ bar}$, 氟塑料泵头	配 40 L 加药桶(一箱两泵)
5	1% ~2% NaClO 溶液加药泵 (机隔膜式计量泵)	1	套	$Q=50\text{ L/h}, P=3.5\sim 5.0\text{ bar}$, 氟塑料泵头	
6	生化用罗茨风机	1	套	$Q=0.66\text{ m}^3/\text{min}, P=29.4\text{ kPa}, N=0.75\text{ kW}$	
7	膜池用罗茨风机	1	套	$Q=1.35\text{ m}^3/\text{min}, P=29.4\text{ kPa}, N=2.20\text{ kW}$	
8	MBR 膜组器	1	套	材质: PVDF, 9 片膜, 单片膜面积 22 m^2 , 总膜面积: 198 m^2 平均运行通量 12.4 LMHL	华电水务膜分离科技(天津)有限公司供

2 试验结果及讨论

2.1 一体化装置各组成单元对出水指标的影响

一体化污水处理装置包括生化缺氧区、生化好氧区及膜池 3 个污水处理单元。操作条件:在缺氧池活性污泥质量浓度为 4.66 g/L , 平均停留时间 8.3 h , 乙酸钠投加量为 400 mg/L , DO 质量浓度为 0.1 mg/L ;好氧池停留时间 8.3 h , DO 质量浓度为 5 mg/L ;膜池停留时间 4.9 h , DO 质量浓度为 5.9 mg/L , 膜池/好氧回流比为 3.6, 好氧/缺氧回流比为 6。在此条件下测得的各个反应池中 COD、TP、TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 等水质指标的变化(表 3)。原水经过缺氧池后, COD、TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 有非常显著的降低, 他们的脱除率分别为 93%、93%、90%;原水通过好氧池后, TP 浓度的降低非常明显, 其脱除率达到 92%。原水通过膜池后, TP、TN、COD 均有较明显的下降, 这说明膜池中超滤膜的存在可以拦截一部分较大分子量的可溶性或不可溶性的有机物, 保证出水达到较高的水质指标, 出水指标详见表 3。

表3 一体化装置各组成单元对出水指标的影响

水质指标	TP	TN	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	COD
原水	2.61	27.85	21.45	204
缺氧池	1.88	2.86	1.57	15
好氧池	0.21	2.46	<0.20	15
膜池	0.21	3.00	<0.20	16
出水	0.14	2.17	<0.20	7

在缺氧条件下(本实验中缺氧池 DO 质量浓度为 0.1 mg/L), 污水在活性微生物的作用下, 主要发生有机物的厌氧消化, 反硝化菌的脱氮及聚磷菌的释磷反应, 可以观察到在缺氧池 TN 及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 相比原水均大幅下降。

磷的脱除主要发生在好氧段, 但脱除 TP 的聚

磷菌的繁殖生长发生在 DO 质量浓度小于 0.2 mg/L 的缺氧段(实际上是进入厌氧区)。在缺氧条件下, 污泥中的聚磷菌吸收污水中有机物储于细胞内作为营养源, 同时将细胞内已有的聚合磷酸盐以 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的形式释放于水中。在好氧段, 聚磷菌将细胞内存在的有机物质进行氧化分解产生能量, 这时能将污水中的 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 超量吸收, 以聚磷酸盐的形式储存在细胞内, 最终以污泥的形式排出。因此可以观察到在缺氧池中 TP 的浓度没有显著下降, 污水中绝大部分磷在好氧池中加以去除。

从表 3 可以看到, 相比于缺氧池, 好氧池中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度显著下降, 这是由于在好氧池中发生硝化反应, 硝化菌将 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 氧化成硝酸盐。

2.2 好氧/缺氧回流比对出水指标的影响

图 5 给出了好氧/缺氧回流比对产水 TP、TN 的影响。其他操作条件:活性污泥质量浓度为 5.2 g/L , 缺氧池平均停留时间 8.3 h , 乙酸钠投加量为 238 mg/L , DO 质量浓度为 0.26 mg/L ;好氧池停留时间 8.3 h , DO 质量浓度为 5.89 mg/L ;膜池停留时间 4.9 h , DO 质量浓度为 6.1 mg/L , 膜池/好氧池回流比为 3.6。

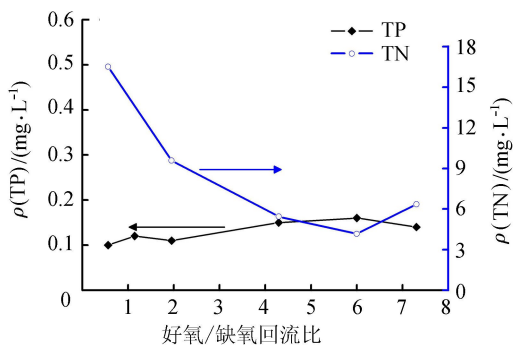


图5 好氧/缺氧回流比对出水水质指标的影响

由图 5 可见, 在所研究的条件下, 好氧/缺氧回流比对 TP 没有太大影响, 随着回流比的增加, TP 基本维持在 $0.1\sim 0.15\text{ mg/L}$ 之间, 略有增加; 而 TN 浓

度随着回流比的增加显著降低,但回流比高于6时, TN 浓度反而增加。回流比的增加,使得缺氧池中的硝酸盐浓度增加,这有利于反硝化脱氮的进行。

2.3 DO 对出水指标的影响

图6给出了DO质量浓度对出水TP及TN质量浓度的影响。其他操作条件:缺氧池平均停留时间8.3h,DO质量浓度为0.12mg/L;好氧池停留时间8.3h;膜池停留时间4.9h,DO质量浓度为5.87mg/L,膜池/好氧回流比为3.6,好氧/缺氧回流比为6。从图7可见,在不同的污泥浓度及缺氧池溶解氧浓度下,好氧池DO质量浓度对TN脱除没有影响。好氧池DO质量浓度越高,越有利于TN的脱除。

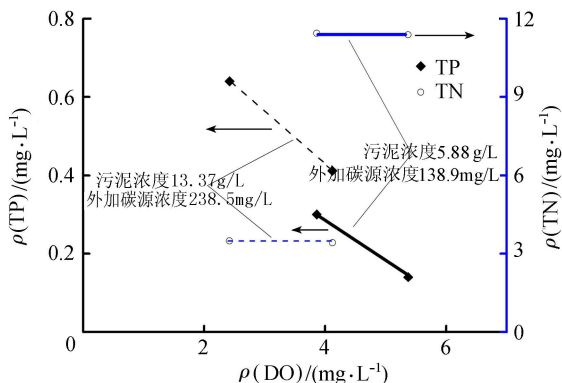


图6 DO质量浓度对出水TP、TN质量浓度的影响

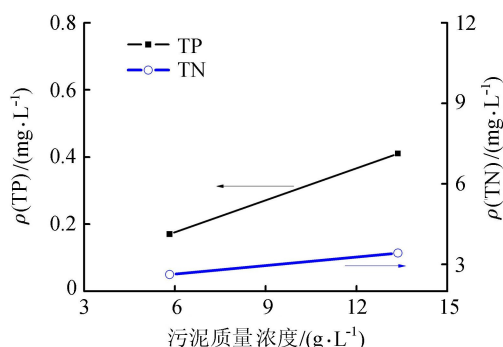


图7 污泥质量浓度对出水TP、TN质量浓度的影响

好氧池中主要发生硝化菌把 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 转化为硝酸盐的硝化过程及聚磷菌的吸磷过程。硝化过程不受DO的影响,说明与氧相关的基元反应过程并不是整个 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 氧化过程的速控步骤。在好氧区中DO浓度的提高有利于聚磷菌对其储存的PHB进行降解,释放足够的能量供其过量摄磷之需,进而有效地吸收废水中的磷。

2.4 MBR 污泥浓度对出水指标的影响

图7给出了污泥质量浓度对出水TP及TN质量浓度的影响。其他操作条件:缺氧池平均停留时间8.3h,DO质量浓度为0.13mg/L;好氧池停留时间8.3h,DO质量浓度为3.99mg/L;膜池停留时间4.9h,DO质量浓度为6.06mg/L,好氧/缺氧回流比为6,膜池/好氧池回流比为3.6。传统的活性污泥

法处理废水时,为抑制污泥膨胀,通常控制污泥质量浓度在5~8g/L。

MBR方法的一个最大优势是污泥膨胀不影响出水效果,可以在更高的污泥浓度下工作。但从图7可见,在考察的范围内,高浓度污泥不利于TP和TN的脱除,对TP的影响大于对TN的影响。在缺氧池中存在聚磷菌及反硝化菌的竞争。在高浓度污泥下,反硝化菌活性下降,有利于聚磷菌的繁殖生长。TN的脱除主要发生在缺氧池,反硝化菌活性下降会导致脱氮效果的降低。生化除磷中,TP的排出依赖于排泥,从系统中排出的泥越多,出水中TP的含量就越低,高浓度污泥下,排泥次数降低,泥龄较长,好氧池中部分聚磷菌的代谢作用导致吸收的磷返回到水中,从而导致出水中TP浓度上升。

2.5 PAC 的添加对 MBR 出水指标的影响

图8给出了好氧池PAC添加对出水TP及TN质量浓度的影响。其他操作条件:缺氧池平均停留时间8.3h,DO质量浓度为0.12mg/L;好氧池停留时间8.3h,DO质量浓度为4.12mg/L;膜池停留时间4.9h,DO质量浓度为6.25mg/L,好氧/缺氧回流比为6,膜池/好氧池回流比为3.6。由图8可见,好氧池中添加PAC可有效降低出水中TP的浓度,但对TN的脱除影响不大。化学除磷是生活污水处理中常用的工艺。通常用投加于二沉池。二沉池中的磷酸盐在聚铝的作用下混凝形成絮状物后通过排泥排出。PAC直接向好氧池中添加。从表3可见,MBR工艺中,膜的截留作用可以降低出水中TP的浓度。当好氧池中添加PAC进行化学除磷时,溶解性磷与聚铝作用形成的絮体可被膜截留。长时间运转过程中,没有发现超滤膜有明显的压力上升现象。这说明化学除磷产生的絮状物与膜表面的作用较小,当前采用的“气洗+化学水洗”的方法可有效抑制化学除磷对超滤膜的污染。

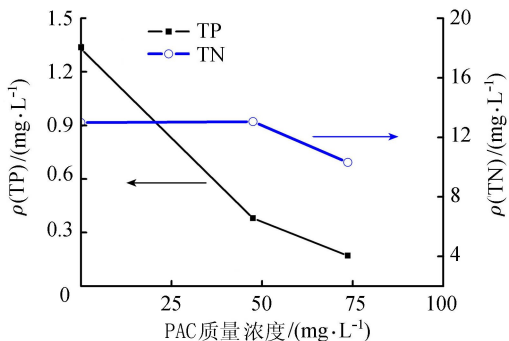


图8 好氧池PAC添加对出水TP及TN的影响

据文献[1]报道,投加硫酸铝后的膜污染速率远远小于未投加硫酸铝的MBR膜组件,而硫酸亚铁的投加明显加剧了膜污染。文献[1]认为铁离子可以增加胞外聚合物(EPS), (下转第105页)

顾防洪建设、水体生态系统构建工程建设、水体景观建设,使其充分配合,达到防洪安全、水体清澈、景观充分展现的目的^[8]。

3.3.4 物联网技术

城市黑臭水体单靠运动式整治并不能产生好的效果,若要彻底解决黑臭水体问题,长效管理更重要。以城市黑臭水体整治业务为核心,基于物联网理念,利用物联网、云计算和大数据技术,通过全面感知、无线通信、自主诊断、场景应用等方面的结合,构建全方位的城市黑臭水体生命周期管理系统;并把工程治理和后期维护管理统一起来,综合利用卫星遥感监测、自动在线监测、自动视频监控、人工巡视监控、网络信息传媒等手段,构建水体监控预警系统。

4 结 语

城市黑臭水体已经成为制约社会经济持续发展和生态文明建设的“瓶颈”,全面推进水体治理对保护水资源、防治水污染、改善水环境、修复水生态具有重要意义。城市黑臭水体治理是一个复杂的系统

(上接第 102 页)

特别是疏水性蛋白质的含量,形成大量松散固着型 EPS,加重疏水性 PVDF 膜材料的膜污染。本项目采用的是氯化铝也没有观察到超滤膜的污染现象。对比文献[1],笔者认为对 PVDF 超滤膜生物反应器,化学除磷优先选用铝盐,尽可能降低铝盐中铁的含量。

3 结 论

a. 将超滤膜技术应用于农村生活污水的深度处理,采用“A/O+MBR+化学除磷”工艺能有效去除污水中的 COD、BOD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 等污染物,能很好地解决传统工艺无法进行深度处理的问题,满足新的污水处理排放标准。

b. 超滤膜技术与生化反应器技术结合的一体化 MBR 处理设备,通过物理截留活性污泥,可有效提高膜池污泥浓度达 8 000 ~ 15 000 mg/L(本试验稳定运行的膜池污泥浓度 13 370 mg/L),验证在农村生活污水处理上高污泥浓度稳定运行的工况。

c. 一体化 MBR 处理装置稳定运行也得益于超滤膜组件的优良表现,本试验选用 MBR 膜是一种浸入式具有内部支撑的加强型中空纤维膜,膜丝外层材质为聚偏氟乙烯,膜丝内层为高强度材料,外层和内层的直径分别为 2.1 mm 和 0.9 mm,超滤膜具有非常好的物理性能,抗拉强度大于 300 N,由华电水

工程,应坚持“技术集成、因地制宜、综合措施、统筹管理、长效运行”的原则,遵循“控源截污、驳岸改造、清淤活水、生态恢复”的技术路线,全面推行河长制,以流域为体系,结合海绵城市建设,采用生态修复、调水补水、湖底定期清淤、初雨污染控制等工程措施,恢复湖体水生生态系统,建立健全流域物联网系统,科学监测监控,保持长期持久的最佳治理效果。

参考文献:

- [1] 张列宇,王浩,李国文,等. 城市黑臭水体治理技术及其发展趋势[J]. 环境保护, 2017(5): 62-65.
- [2] 刘光瑞. 城市黑臭水体治理进展研究[J]. 江西建材, 2017(18): 128-129.
- [3] 宋陆阳. 城市黑臭水体治理技术及其发展探究[J]. 中小企业管理与科技, 2017(7): 140-141.
- [4] 孙斌. 景观湖泊水体整治与海绵城市建设相结合的途径探讨[J]. 低碳世界, 2017(8): 9-11.
- [5] 黄洁慧,周宝昌,吴俊,等. 城市黑臭水体的整治:以牛首山河为例[J]. 污染防治技术, 2017(2): 16-19.

(收稿日期:2017-12-15 编辑:彭桃英)

务膜分离科技(天津)有限公司提供。

d. 一体化装置设计采用撬块式结构,便于推广应用。通过精巧的强化控制技术,本试验装置将缺氧池、好氧池、膜池、药剂箱等各处理单元集成在一个大集装箱内,系统的污泥量远远低于传统的曝气工艺,且把传统的曝气、二沉和过滤单元操作工艺简化成一个单元工艺步骤,系统运行简单,占地面积只有传统工艺的 10% ~ 20%。采用撬块式设计的一体化污水处理装置组装,现场连接及更换较为方便,布置灵活、多变,且方便运输。

参考文献:

- [1] 王曼;冯绮澜;赵庆良,等. BAF-MBR 用于污水深度处理与同步化学除磷[J]. 环境工程学报,2016,10(9):4945-4950.

(收稿日期:2017-12-08 编辑:徐 娟)

