

# MBBR-离子交换除磷工艺处理农村生活污水的应用分析

沈烁<sup>1</sup>, 李海峰<sup>1</sup>, 路卫卫<sup>2</sup> (1.上海船研环保技术有限公司, 上海 200129; 2.同济大学长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092)

**摘要** 移动床生物膜反应器(MBBR)-离子交换除磷工艺属于一种新型的农村生活污水处理组合工艺。介绍了该工艺在处理农村生活污水中的特点及优势,并结合实际工程案例加以说明。同时明确了工程应用中存在的问题及目前的解决办法,进一步阐述 MBBR-离子交换除磷工艺在农村生活污水处理中具有良好的发展和应用前景。

**关键词** 移动床生物膜反应器;离子交换除磷;农村生活污水;应用分析

**中图分类号** X 703 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)22-0179-03

## Application Analysis of Rural Domestic Sewage Treatment Using MBBR-ion Exchange Phosphorus Removal Process

SHEN Shuo<sup>1</sup>, LI Hai-feng<sup>1</sup>, LU Wei-wei<sup>2</sup> (1. Shanghai Cyeco Environmental Technology Co., Ltd., Shanghai 200129; 2. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract** As a new type rural domestic sewage treatment combined process, MBBR-ion exchange phosphorus removal process was introduced in this paper. The characteristics and advantages of the process in treating rural domestic sewage were described and illustrated with actual engineering cases. Meanwhile, the existing problems in engineering applications and potential solutions were identified. Furthermore, it revealed that the MBBR-ion exchange phosphorus removal process has a good development and application prospect in domestic sewage treatment.

**Key words** MBBR; Ion exchange phosphorus removal; Rural domestic sewage; Application analysis

随着我国农民经济收入不断提高和生活方式的变化,卫生洁具、洗衣机、沐浴等设施已经走进平常百姓家,这使得农村人均生活用水量和污水排放量不断增加。但是,这些污水大部分未经处理或经过简单处理就直接排放到环境中,不仅给周边流域水环境质量带来负面影响,而且逐步对人类健康形成威胁。因此,为加强农村生活污水的治理,改善农村人居环境,国家先后出台了一系列的政策作为引导和驱动。

## 1 农村生活污水概述

**1.1 农村生活污水来源及主要污染物** 农村生活污水是指在农村居民的生活过程中产生的污水,主要包括冲厕污水、厨房污水以及洗涤、洗浴污水,此外,还包括一些农村分散养殖过程中所产生的污水。研究表明<sup>[1-3]</sup>,生活污水的污染物主要是有机物、氮和磷。其中,厨房污水和冲厕污水是有机物的主要来源,冲厕污水是氮的主要来源,洗涤、洗浴污水是磷的主要来源。

## 1.2 农村生活污水的特征

**1.2.1 水量特征。**农村生活污水的排放水量变化大,排放不均匀。一般来讲,农村一天之中生活污水排放量有早上、中午、晚上3个高峰期,而午夜到凌晨污水产生量很少甚至出现断流现象<sup>[4-5]</sup>。

**1.2.2 水质特征。**农村生活污水的水质与居民的生活习惯和当地风俗息息相关,生化需氧量(BOD)、氮和磷的含量变化范围比较广,但农村生活污水水质不是很差,可生化性好,几乎不含有毒有害的有机污染物和重金属离子<sup>[5-8]</sup>。

## 2 移动床生物膜反应器(MBBR)-离子交换除磷工艺选择分析

**2.1 工艺选择原则** 由于我国农村经济相比城市欠发达,很难配备专业的污水处理、运行管理人员,因此不能将过于复杂的城镇生活污水处理工艺照搬至农村。同时,考虑到农村

人口居住特点以及生活污水的特征,选择农村污水处理工艺技术时,应考虑以下基本原则:①自动化程度高,运行和后期维护管理简单。②抗冲击负荷能力强,处理后的污水能达标排放。③尽量减少污泥产量或者基本无污泥产生。④优先考虑“适度集中处理”的模式,降低建设和运行费用。

## 2.2 MBBR 处理农村生活污水的优势及缺点分析

**2.2.1 工艺优势分析。**相对于 A<sup>2</sup>/O 和膜生物反应器(MBR)工艺,MBBR 操作运行简单,无需调试复杂的工艺参数,后期的运行维护方便。

MBBR 高性能填料上富集了大量的活性微生物,增加了活性污泥的量,抗负荷能力提升,污水处理能力增强<sup>[9]</sup>,即使短时间内无进水,其内部的生态环境也能使活性微生物保持在休眠状态,并且一旦重新进水,活性的恢复速度远快于普通悬浮状态的微生物,适合农村生活污水水量变化大、排放不均匀的特征<sup>[10-12]</sup>。

在农村生活污水处理工艺中,MBBR 是一种微动力、低能耗工艺<sup>[11]</sup>。在曝气的过程中,高性能填料之间的相互摩擦及剪切作用,可使气泡变得更小,增加氧气的利用率,提高曝气效率,降低曝气能耗<sup>[13]</sup>。另一方面,在日处理量不大的农村生活污水处理过程中,MBBR 工艺的曝气风机完全可以采用风量、低耗能、噪音小的电磁鼓风机,最大程度地降低能耗及对周边环境的干扰。

MBBR 工艺的特点可以使其在高容积负荷、低污泥负荷下运行,工艺过程中剩余污泥产量低或长时间内可做到基本无剩余污泥的外排。因此,大大减少了污泥的产量,适合农村的基本情况,并且降低了污泥处理费用。

**2.2.2 工艺劣势分析。**MBBR 工艺用于农村生活污水的处理,与 A<sup>2</sup>/O 和 MBR 相比,目前唯一的劣势在于无法有效地保证磷元素的去除,尤其是在进水磷含量高,出水磷含量低的情况下。由于生物法中磷元素的去除依托于剩余污泥的外排,而为了实现污泥减量化来适应农村的基本情况,MBBR

**作者简介** 沈烁(1989—),男,山东淄博人,工程师,硕士,从事水体污染控制工程研究。

**收稿日期** 2018-03-21

工艺基本不排泥或者很长时间才排放一次从高性能填料中脱落的失活污泥,这就使得磷元素的去除成为 MBBR 工艺的一个劣势所在。

**2.3 离子交换除磷工艺的优势** 目前,水体除磷的主流工艺包括生物除磷、加药除磷、人工湿地除磷、离子交换除磷和电化学除磷等<sup>[14-16]</sup>。不同除磷技术的优缺点见表 1。

表 1 不同除磷技术的优缺点

Table 1 Advantages and disadvantages of different phosphorus removal technologies

技术名称 Technology name	出水水质 Effluent water quality	污泥量 Sludge volume	管理维护 Management and maintenance mode	二次污染 Secondary pollution	投资成本 Investment costs	运行成本 Operating costs
加药除磷 Medicine and phosphorus removal	稳定	多	简单	金属离子污染	低	中
电化学除磷 Electrochemical phosphorus removal	稳定	多	复杂	金属离子污染	中	高
离子交换除磷 Ion exchange phosphorus removal	稳定	无	简单	无	低	中
生物除磷 Biological phosphorus removal	不稳定	多	复杂	无	低	低
人工湿地除磷 Phosphorus removal in artificial wetland	不稳定	无	简单	无	低	低

通过对比不同除磷技术的优缺点,选择离子交换除磷技术作为 MBBR 的补充除磷工艺形成农村生活污水的强化除磷工艺,主要理由如下:离子交换除磷技术出水稳定;运行简单,操作方便;无污泥产生;离子交换树脂可以循环再生,重复利用,长期运行可以降低成本。以上特点符合农村的实际情况。

**2.4 MBBR-离子交换除磷工艺流程** MBBR-离子交换除磷工艺流程图见图 1。第一步,生活污水首先经调节池均量均质后由提升泵进入厌氧区,在其中通过厌氧环境完成对污染物的高效降解,同时厌氧区的另一个作用是进行回流污泥的厌氧自消化过程,以实现污泥的减量化。

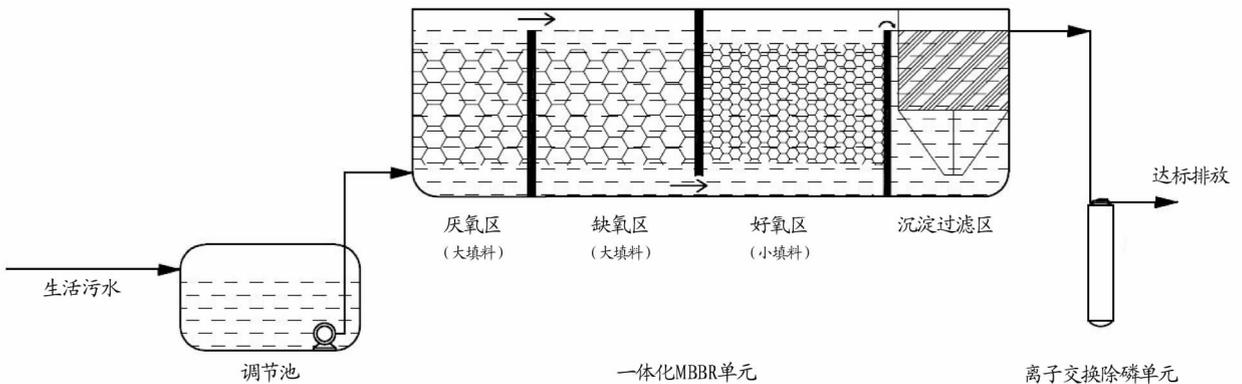


图 1 MBBR-离子交换除磷工艺流程

Fig.1 Flow chart of MBBR-ion exchange phosphorus removal process

第二步,厌氧区出水进入缺氧区和好氧区,完成对污染物有机物的进一步降解以及硝化和反硝化过程。

第三步,好氧区出水进入沉淀过滤区,进一步对污染物进行降解,并降低出水的 SS,以保证后续吸附除磷单元稳定运行。

第四步,沉淀过滤区出水进入吸附除磷单元,进行深度除磷。

### 3 工程应用分析

#### 3.1 工程 1

**3.1.1 工程概况。**上海某农村生活污水处理示范工程,服务周边 96 户,每户人口按照 3 人,排水量按照每人每天 94.5 L 计算,要求为配合当地生态文明建设,出水指标达到 GB 18918—2002 中一级 A 标准,同时做到节省投资,运行费用也要比较低,维护管理要方便。

工程设计处理水量 30 m<sup>3</sup>/d,进水水质化学需氧量 COD ≤ 400 mg/L, BOD ≤ 200 mg/L, 总氮(TN) ≤ 45 mg/L, 氨氮(NH<sub>3</sub>-N) ≤ 30 mg/L, 总磷(TP) ≤ 7 mg/L, SS ≤ 120 mg/L。

为保证出水达到 GB 18918—2002 中一级 A 标准,MBBR-离子交换除磷工艺中的沉淀过滤区采用了高效斜管沉淀和简单的生物滤池(BAF)过滤工艺,所有工艺集中于分布式一体化装置中。

**3.1.2 MBBR-离子交换除磷工艺处理效果。**工程 1 出水水质污染物的浓度情况见图 2。出水 S<sub>1</sub> 是工程正式调试结束后的取样,时间为 6 月份;出水 S<sub>2</sub>~S<sub>4</sub> 是工程正常运行后的取样,时间分别为 8 月份、12 月份和第 2 年的 4 月份。

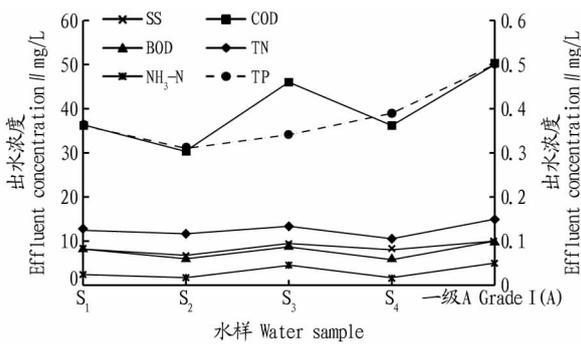
从图 2 中可以看出,该工程的出水 COD、BOD、TN、NH<sub>3</sub>-N、TP 和 SS 指标均达到了 GB 18918—2002 中一级 A 标准。

#### 3.2 工程 2

**3.2.1 工程概况。**四川某农村生活污水处理工程,服务人数 600 人,日人均排水按照 80 L 计算,出水指标达到 GB 18918—2002 中一级 B 标准,要求工艺运行稳定,操作简便,成本合理。

工程设计处理水量 50 m<sup>3</sup>/d,进水水质 COD ≤ 300 mg/L, BOD ≤ 150 mg/L, TN ≤ 40 mg/L, NH<sub>3</sub>-N ≤ 30 mg/L, TP ≤

5 mg/L, SS ≤ 100 mg/L。



注:次要纵坐标浓度对应 TP 的浓度,主要纵坐标对应其他污染物浓度

Note: The concentration of secondary ordinate corresponds to the concentration of TP, and the main ordinate corresponds to the concentration of other pollutants

图 2 工程 1 出水水质与一级 A 对比

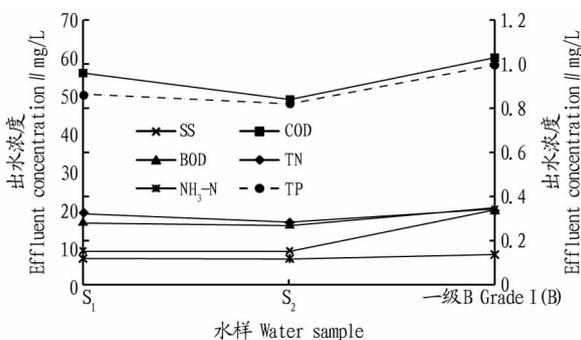
Fig.2 Comparison of effluent water quality of project 1 with Grade I (A) of discharge standard

由于出水达到 GB 18918—2002 中一级 B 标准,MBBR-离子交换除磷工艺中的沉淀过滤区采用了高效斜管沉淀,所有工艺集中于分布式一体化装置中。

3.2.2 MBBR-离子交换除磷工艺处理效果。工程 2 出水水质污染物的浓度情况见图 3。

出水 S<sub>1</sub> 和出水 S<sub>2</sub> 均是工程正常运行后的取样,时间分别为为 5 月份和 7 月份。

从图 3 中可以看出,该工程的出水 COD、BOD、TN、NH<sub>3</sub>-N、TP 和 SS 指标均达到了 GB 18918—2002 中一级 B 标准。



注:次要纵坐标浓度对应 TP 的浓度,主要纵坐标对应其他污染物浓度

Note: The concentration of secondary ordinate corresponds to the concentration of TP, and the main ordinate corresponds to the concentration of other pollutants

图 3 工程 2 出水水质与一级 B 对比

Fig.3 Comparison of effluent water quality of project 2 with Grade I (B) of discharge standard

#### 4 处理农村生活污水存在的工程问题及解决方法

我国农村生活污水市场非常广,污水技术也非常繁多,MBBR-离子交换除磷工艺作为一种新的组合工艺在处理农村生活污水方面是一种新的开拓。由于该工艺运行稳定、管理方便、无大量污泥产生的特点与农村的基本情况比较匹

配,因此,MBBR-离子交换除磷组合工艺在农村污水处理技术中逐步得到发展和推广。

目前,MBBR-离子交换除磷工艺尚有以下 2 个问题需要进一步讨论。第一,虽然理论上该工艺不会有剩余污泥产生,但是实际应用中随着时间的延长,工艺会有少量的污泥产生,一部分是从高性能填料脱落的失活微生物,一部分是难生物降解的 SS。这 2 部分组成的污泥量极少,根据工程经验,大概半年至 1 年的时间可以对一体化装置进行排泥一次,将污泥直接排至集水提升井,然后 1 年对集水提升井清理 1 次即可。由于是处理农村生活污水,该工艺产生的污泥不属于危废,且污泥产生量少,在就地初步脱水处理后,可以送至就近城镇污水处理厂进行处理,也可以根据当地政策与生活垃圾进行填埋等处理。

第二,离子交换树脂的再生与更换问题。在正常的运行中,离子交换除磷单元不需要专业的操作及维护,非常方便,但是离子交换树脂达到饱和的临界交换阈值时需要进行再生,以实现循环利用,降低成本。目前,在工程上,离子交换树脂的再生是委托具有专业资质的树脂厂家进行离线再生,并实现再生液的资源化(可做磷肥)。因此,离子交换树脂的工程量再生问题可以作为下一步研究讨论的重点。

#### 5 结语

MBBR-离子交换除磷工艺处理效率高,且微动力、能耗低,具有很强的耐冲击负荷能力,出水水质稳定,不会产生大量污泥,也不会进行反冲洗处理,维护管理比较简单,非常合适应用于农村生活污水的处理,具有良好的发展和应用前景。

#### 参考文献

- [1] 刘雪美.我国农村生活污水处理现状及展望[J].安徽农业科学,2017,45(12):58-60.
- [2] 刘晓慧.我国农村生活污水排放现状初析[J].安徽农业科学,2015,43(23):234-235,238.
- [3] 王西琴,高伟,张远.基于控制单元的农村生活污水处理优化模型[J].中国环境科学,2015,35(9):2835-2842.
- [4] 孙兴旺.巢湖流域农村生活污水污染源排污特征与规律研究[D].合肥:安徽农业大学,2010.
- [5] 张鑫,付永胜,范兴建,等.农村生活污水排放规律及处理方法分析[J].广东农业科学,2008(8):139-142.
- [6] 何安吉,黄勇.农村生活污水治理技术进展及改进设想[J].环境科技,2010,23(3):68-71.
- [7] 梁祝,倪晋仁.农村生活污水治理技术与政策选择[J].中国地质大学学报(社会科学版),2007,7(3):18-22.
- [8] 赵丽.农村污水处理技术现状及发展前景[J].资源节约与环保,2016(9):292.
- [9] 王欲晓,李坚.MBBR 工艺提升化工废水生化处理能力的应用研究[J].徐州工程学院学报(自然科学版),2013,28(4):76-79.
- [10] ZHANG X B, CHEN X, ZHANG C Q, et al. Effect of filling fraction on the performance of sponge-based moving bed biofilm reactor[J]. Bioresource technology, 2016, 219: 762-767.
- [11] 唐文锋,胡友彪,孙丰英.改性悬浮填料生物接触氧化预处理微污染水源水[J].水处理技术,2016(5):109-112.
- [12] TANG B, YU C F, BIN L Y, et al. Essential factors of an integrated moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor: Adhesion characteristics and microbial community of the biofilm[J]. Bioresource technology, 2016, 211: 574-583.
- [13] 王云权,邱学尧.MBBR 工艺在农村水污染治理中的运用[J].中国资源综合利用,2017,35(7):24-27.
- [14] 陈甜,王雨飞.关于中小城镇污水处理厂脱氮除磷工艺选择分析[J].科技创新与应用,2017(15):177.
- [15] 魏淑珍,张慧,陈云臻.城市污水处理厂强化除磷工艺研究[J].河南科技,2017(6):157-158.
- [16] 陈进军,王长伟,韩蕙,等.城市污水二级硝化出水的离子交换脱氮除磷[J].环境化学,2009,28(6):799-803.