

# 磁絮凝沉淀用于漳浦污水处理厂一级 A 升级改造

孙少群

(漳州发展水务集团有限公司, 福建 漳州 363000)

**摘要:** 2018 年漳浦污水处理厂进行了一级 A 标准升级改造, 经过综合对比, 最终采用 SediMag<sup>®</sup> 磁絮凝沉淀作为深度除磷工艺。该项目在实施过程中从设计、设备选型、材质、运营方面进行了优化和改善, 系统运行稳定, 出水效果好, TP 和 SS 指标均达到一级 A 标准, 并且其占地面积极小, 运行费用低。

**关键词:** 磁絮凝沉淀; 设备选型; 设计优化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)14-0095-06

## Application of Magnetic Sedimentation in First Level A Upgrading Project of Zhangpu WWTP

SUN Shao-qun

(Zhangzhou Development Water Group Co. Ltd., Zhangzhou 363000, China)

**Abstract:** When Zhangpu Wastewater Treatment Plant was upgraded to meet first level A discharge standard in 2018, SediMag<sup>®</sup> magnetic sedimentation technology was adopted for advanced phosphorus removal, according to the comprehensive comparison of various technologies. The project had been greatly optimized and improved in terms of design, equipment selection, material and operation. The optimized system was stable with good effluent effect. It could effectively achieve *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) in terms of phosphorus and suspended solids. Moreover, it had small footprint and low operating cost.

**Key words:** SediMag<sup>®</sup> magnetic sedimentation technology; equipment selection; design optimization

SediMag<sup>®</sup> 磁絮凝沉淀是具有超高沉降速度、优良出水效果的物化处理工艺, 其通过向废水中投加絮凝剂以及磁粉, 使得形成的絮凝体和磁粉结合形成磁絮体, 从而达到高效的固液分离, 使污染物得以快速去除。沉淀后含有磁粉的污泥一部分回流, 一部分通过磁分离系统回收磁粉循环使用, 节省了大量的运行成本。SediMag<sup>®</sup> 磁絮凝沉淀对 TP、SS 有非常好的处理效果, 适用于污水处理厂的提标改造工程。

由于投加了大量的磁粉, 使得整个系统与传统技术有很大区别, 若采用常规设计与施工方法会严

重影响系统的正常运行。以漳浦污水处理厂为例, 介绍 SediMag<sup>®</sup> 磁絮凝沉淀技术的优化实施方案和效果。

### 1 漳浦污水处理厂简介

漳浦污水处理厂前期工程分二段建设, 一、二期采用氧化沟工艺, 处理水量为  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据漳浦县开发和建设的实际情况, 并考虑到近期(5~10年)的规范要求, 需对原有污水厂进行扩容提标, 改造后污水处理量将达到  $5.80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 建设总规模为  $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 出水水质执行一级 A 排放标准。三期扩容生化处理单元采用 AAO 工艺, 设计处

理规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。上述三期工程污水经处理后再进行深度处理。

根据深度处理单元的进、出水水质可知,二级处理的  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{TN}$  的去除要求已经达到,深度处理的去除重点是形成  $\text{SS}$  和  $\text{TP}$  的颗粒状和胶体状的杂质。

依据近年来国内外再生水处理技术的发展和应用情况,城市再生水常规处理工艺主要有:

- ① 二级出水→絮凝沉淀或澄清→消毒;
- ② 二级出水→直接过滤→消毒;
- ③ 二级出水→微絮凝过滤→消毒;

表1 深度处理絮凝沉淀工艺的对比

Tab.1 Comparison of coagulation sedimentation technologies for advanced wastewater treatment

项目	高密度沉淀池	加砂沉淀池	磁絮凝沉淀池
基本原理	大量污泥回流,与进水 $\text{SS}$ 及絮凝剂形成絮体,加快沉淀速度	投加微砂,与 $\text{SS}$ 、絮凝剂形成絮体,微砂密度为 $2.6 \text{ g/cm}^3$ ,沉淀速度快,微砂回收可循环使用	投加磁粉,与 $\text{SS}$ 、絮凝剂形成絮体,磁粉密度为 $5.1 \text{ g/cm}^3$ ,沉淀速度超快,磁粉可回收循环使用
适用进水 $\text{SS}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	<500	<1 000	<2 000
表面负荷/ $(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	8~15	20~40	20~40
主要功能	去除 $\text{SS}$ 、无机 $\text{TP}$	去除 $\text{SS}$ 、无机 $\text{TP}$	去除 $\text{SS}$ 、 $\text{TP}$ 、 $\text{COD}$
出水 $\text{SS}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	10(不能保证 $\text{SS} < 10$ )	<10	<5.0(浊度 <1.0 NTU)
$\text{TP}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	无机 $\text{TP} < 0.8$	无机 $\text{TP} < 0.5$	$\text{TP} < 0.3$ (含有机磷)
用于一级 A 提标	建议后续过滤	建议后续过滤	无需过滤
综合评价	高密度澄清池+各种滤池作为一级 A 提标工艺(主要去除 $\text{TP}$ 、 $\text{SS}$ ),采用滤布时有堵塞,功能较单一	Actiflo+各种滤池作为一级 A 提标工艺(主要去除 $\text{TP}$ 、 $\text{SS}$ ),效果有保障,造价稍高	磁絮凝澄清池作为一级 A 提标工艺(主要去除 $\text{TP}$ 、 $\text{SS}$ ),效果有保障,同时 $\text{COD}$ 去除效果显著,综合投资最省,功能多,性价比高

## 2 工艺设计及优化

SediMag<sup>®</sup>磁絮凝沉淀池设计规模为  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,水量总变化系数为 1.36,分 2 组,每组设计流量为  $1\ 700 \text{ m}^3/\text{h}$ 。实际进水  $\text{TP}$  为  $0.25 \sim 1.49 \text{ mg/L}$ , $\text{SS}$  为  $8 \sim 14 \text{ mg/L}$ ;设计出水  $\text{TP}$  为  $0.04 \sim 0.17 \text{ mg/L}$ , $\text{SS}$  为  $2 \sim 7 \text{ mg/L}$ 。

### 2.1 设计参数优化

现有磁絮凝反应池可分为 3 池或 4 池,停留时间也不同。一般采用 3 池设计,有两种设计停留时间:一种为混凝反应池 3 min,加载反应池 2 min,絮凝反应池 2 min;另一种为混凝反应池 2 min,加载反应池 2 min,絮凝反应池 3 min。若从水池土建形式考虑,采用 4 池设计,混凝反应池为 2 池,每池停留

④ 二级出水→絮凝→沉淀或澄清→过滤→消毒。

为保证出水稳定达标,一般推荐采用目前应用较为广泛的絮凝沉淀过滤工艺。但是该工程可用地面积小,采用絮凝沉淀过滤工艺会对总平面布置造成较大影响,因此,应优先考虑采用占地面积小、出水效果好的絮凝沉淀工艺。

对提标改造常用的 3 种絮凝沉淀工艺进行了综合比选和考察(见表 1),最终选用投资省、占地小、运行成熟稳定的 SediMag<sup>®</sup>磁絮凝沉淀作为深度处理工艺。

时间为 2.5 min,共计 5 min,加载反应池 2.5 min,絮凝反应池 2.5 min。

由于混凝反应主要将  $\text{PAC}$  快速混合到水体中,反应时间在 30 s 以内即可实现。根据流体混合情况,采用专用搅拌形式,下推混合快速推进,上推慢速上升,在同一个池体实现  $\text{PAC}$  的快速混合和慢速絮凝,1.5 min 的设计时间足够。加载池主要进行磁粉的均匀混合以及回流污泥的二次混匀与反应,1.5 min 的混合时间也足以实现。絮凝反应池主要通过  $\text{PAM}$  的架桥作用实现絮体的增大,还需要一个熟化时间,部分传统设计采用 10 min 的反应时间甚至更长,而通过中试来看,2.6 min 就足以实现反应的絮凝效果。

漳浦污水处理厂通过前期的中试,对各段反应时间进行优化调整,最终实现了在最有效的时间内达到最佳的效果,从后期整个运行情况来看也非常有效。

另外,漳浦污水处理厂沉淀池的表面负荷采用磁絮凝沉淀的常规设计[ $<20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ],实际采用 $16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,在后期运行中沉淀池出水稳定达到一级A标准。

表2 漳浦污水处理厂设计参数

Tab. 2 Design parameters of Zhangpu WWTP

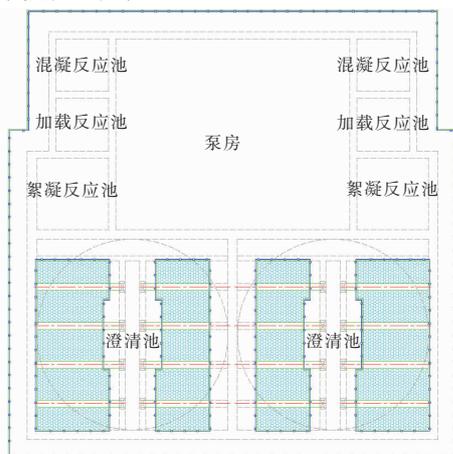
项目	混凝反应池	加载反应池	絮凝反应池	沉淀池
长/m	3.2	3.2	4.2	11.5
宽/m	3.2	3.2	4.2	11.5
有效高度/m	4.2	4.2	4.2	4.0
总高度/m	4.5	4.5	4.5	6.5
平均有效停留时间/min	2.0	2.0	3.5	25.0
最小有效停留时间/min	1.5	1.5	2.6	18.6

注: 沉淀池斜管区面积为 $103.5 \text{ m}^2$ ,最大有效表面负荷和平均有效表面负荷分别为 $16.4$ 、 $12.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

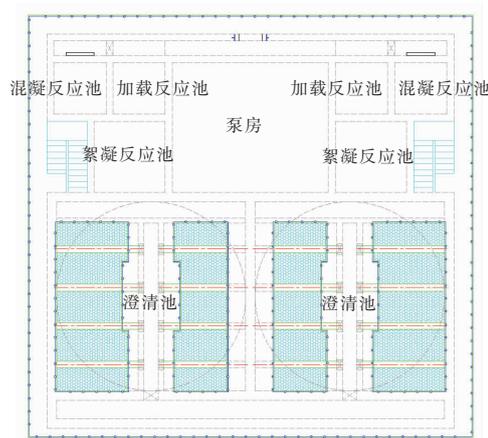
## 2.2 池体布局优化

磁絮凝沉淀絮凝反应池出水至沉淀池最佳位置在沉淀池的中部,部分设计采用从边侧进入沉淀池会导致布水不均匀,各部分固体负荷不一致将导致局部翻泥现象。

常规传统磁絮凝布置占地面积大,反应池进沉淀池布水不均匀。通过优化布置,将3组反应池从1字排列改为7字排列,减小了泵房和系统整体占地空间,还使得絮凝反应池基本上从沉淀池中部进水,布水更加均匀。



a. 常规布置



b. 优化布置

图1 SediMag<sup>®</sup>磁絮凝沉淀系统布置

Fig. 1 Layout of SediMag<sup>®</sup> system

## 3 设备选型与材质优化

### 3.1 搅拌机

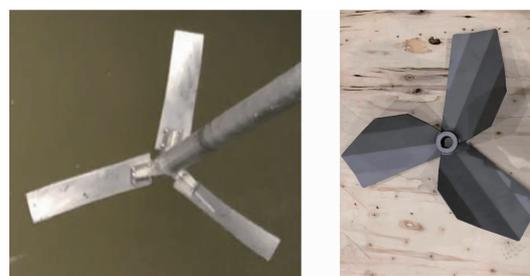
磁絮凝沉淀池由于投加了密度为 $4.8 \sim 5.1 \text{ g/cm}^3$ 的磁粉,所以对搅拌的设计也有特殊的要求:

① 若搅拌强度不足,则可能导致磁粉沉积在反应池底部。

② 搅拌剪切力过高,导致磁絮凝体破坏,影响絮凝效果。

该工程通过详细的流体设计,采用洛克环保生产的磁絮凝专用桨叶,剪切力小,推进强度高,将转速调整至 $60 \text{ r/min}$ 以内仍可使磁粉有效悬浮,并保证絮凝良好。

传统桨叶和磁絮凝专用桨叶对比见图2。



a. 传统桨叶

b. 磁絮凝专用桨叶

图2 搅拌桨叶形式

Fig. 2 Comparison of mixing blade between traditional blade and SediMag<sup>®</sup> system special blade

传统搅拌采用了三叶斜桨,桨叶前后宽度一致,通过倾斜来达到对水体的搅拌,转速取值较高,能耗高,且该桨叶剪切力较强,容易破坏絮体。磁絮凝专用桨叶采用变截面水翼式的改良形式,通过截

面宽度的变动以及曲面的角度来产生推进力,同时减少了剪切力,更适合磁絮凝反应的搅拌要求。

### 3.2 刮泥机

澄清池底部污泥由于受加载磁粉重力影响,得到有效浓缩,污泥浓度可达到1%<sup>[1]</sup>,并且由于污泥中含有大量的磁粉,使得磁粉沉淀到沉淀池底部后会比传统的化学污泥密实得多。采用传统刮泥机,力矩无法保证稳定运行,尤其在系统停机二次运行时,启动瞬间扭矩非常大而易使刮泥机损坏。本工程采用重载四臂刮泥机,减小力矩分布;另外增大扭矩,设置为传统的4倍以上,以保证刮泥机的稳定运行。刮泥机刮臂见图3。



图3 刮泥机刮臂

Fig. 3 Sludge scraper

### 3.3 污泥泵

磁絮凝沉淀污泥分别通过污泥回流泵输送至加载池,通过磁粉回收泵输送至磁粉回收系统。污泥中有磁粉的存在会严重磨损污泥泵,导致污泥泵损坏。根据最初磁絮凝沉淀的实施情况,采用普通离心泵和螺杆泵运行不足半年即磨损。该工程通过优化选型,采用渣浆泵设计,双层径向中开式泵壳,方便维修、维护,外层为合金钢,内层为专利硫化天然橡胶,以保证污泥泵的使用寿命。水泵结构示意图见图4。

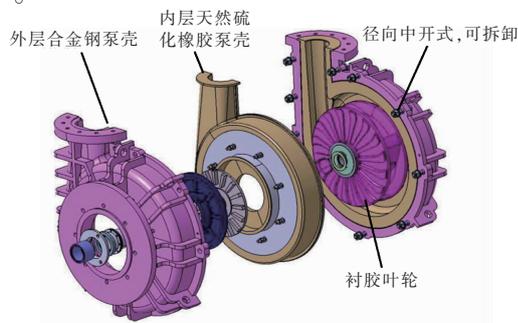


图4 渣浆泵结构

Fig. 4 Structural diagram of slurry pump

### 3.4 磁分离器的优化设计

磁分离器是磁法净水过程中最高效甚至可能是唯一的后续分离手段<sup>[2]</sup>,它是整个系统至关重要的设备,该设备的好坏直接影响到磁粉回收的效率,进而影响系统的稳定性以及运行费用的高低。磁分离效率的高低直接取决于磁分离设备的性能<sup>[3]</sup>。

#### ① 磁材与磁场的选择

磁粉回收率最直接的影响因素是磁场,现市场上常用的磁材采用稀土永磁材质、锶铁氧体与稀土永磁复合材质、锶铁氧体材质,这三种材质的磁场大小依次递减,价格也相差很大。锶铁氧体与稀土永磁复合材质大规模使用在磁分离器的选材上,也常被用来冒充稀土永磁,但无法达到稀土永磁的磁场强度与退磁率。漳浦污水处理厂采用稀土永磁材质,保证磁分离器表磁在5 000 Gs以上,可有效保证磁粉回收率。

#### ② 磁流通道的设计优化

磁粉回收率除受磁材与磁场影响外,还与磁流通道、过流速度、磁流断面有关。磁分离器多采用固定磁流通道设计,无法通过调整磁流通道内磁场的布置来调整磁场分布,系统若出现磁分离器未开启而磁粉回收泵开启的特殊情况,会导致磁分离器抱死。漳浦污水处理厂采用的磁分离器增设了磁流通道调整装置,通过改进磁场的发生装置可以提高磁感应强度<sup>[4]</sup>,同时可以改变磁场布置,完美解决以上两种问题。

磁流通道调整装置见图5。



图5 磁流通道调整装置

Fig. 5 Installation diagram of magnetic flow regulation

### 3.5 污泥管道材质的优化设计

由于磁絮凝技术加载磁粉,对于设备材质的选用更为严格,以避免机具不必要的磨损与损坏<sup>[1]</sup>。污泥管道用于输送含有磁粉的污泥,为保证磁絮凝沉淀系统的稳定性,污泥管道宜采用HDPE、PP或钢衬塑等材质。

漳浦污水厂采用HDPE管。

## 4 安装运营的优化

### 4.1 污泥泵滴漏的优化

污泥泵由于长期输送污泥,为保证系统后续维护维修方便,渣浆泵多采用填料密封形式,而填料密封存在滴漏问题,长期滴漏会导致泵房脏乱差,影响整体美观。

漳浦污水厂在泵房周边设置排水沟的同时,增设了泵基础旁的就近排水沟,以免滴漏的磁粉和污泥流到泵基础外的地面上。同时在后期运行中,在渣浆泵填料密封下增加排水槽进行导流,减少滴漏污泥的影响。

### 4.2 磁粉投加口的优化

磁分离器回收的磁粉直接落入加载反应池,由于磁分离器常规设计在落入口处,导致大量的磁粉吹落在池顶,影响整体美观。漳浦污水处理厂在后期运行中增设了磁分离器溜槽封闭式,保证磁粉准确落入加载反应池。

## 5 实际运行情况

漳浦污水处理厂采用磁絮凝沉淀作为提标改造工艺,运行水量为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设备工艺包投资为600万元,于2018年7月20日进入试运行,8月份运行稳定,满足提标改造工程的各项需求<sup>[5]</sup>。稳定运行期投加磁粉约5包,25 kg/包,折合补充磁粉为 $2.1 \text{ g}/\text{m}^3$ 。

8月份的进、出水TP、SS见图6。

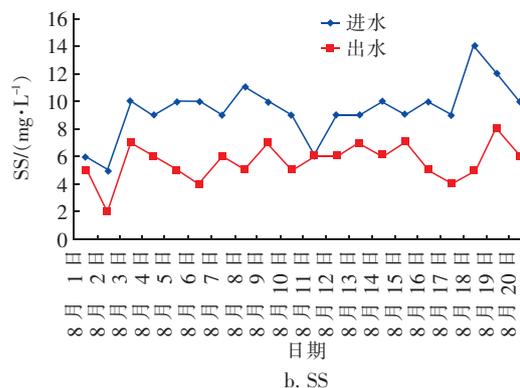


图6 2018年8月的进、出水TP和SS

Fig.6 TP,SS of influent and effluent in August 2018

## 6 其他待优化情况

### ① 污泥管道堵塞

污泥泵采用渣浆泵,但仍然出现堵塞问题,经分析所有泵的堵塞不是磁粉堵塞,而是由于塑料制品等垃圾物质所致。究其原因是建设期间未进行彻底的卫生打扫以及运行过程中有塑料制品或其他制品进入。但整体来说污泥泵的泵口较小,容易引起堵塞,建议采用大口径的污泥泵,另外单向阀也同样容易堵塞,需要考虑优化方案。

### ② 磁粉补充时间与频率

因为磁粉的补充需要有运行经验的员工不定期投加,随时观察絮凝反应池的絮凝体颜色、沉淀池的出水情况、回流污泥的颜色、磁分离器回收磁粉的量,所以无法完全实现全自动控制。建议通过检测系统进行实时监测以及增加磁粉定量投加系统。检测系统包括出水浊度仪、污泥界面仪以及监控系统等。

### ③ 超越系统缺失

磁絮凝沉淀系统一旦通水运行,系统设备和加药装置必须一直运行,任一设备的停运将直接影响絮凝沉淀的效果,进而导致磁粉的流失。调试初期曾发生絮凝剂投加系统故障,加药中断而导致磁粉流失的情况。因此,磁絮凝沉淀系统的进水管需设置一条超越管,在系统调试和设备检修期间通过阀门切换,直接将来水超越至后续处理单元,以避免磁粉的流失。另外,如超越系统切换阀门采用电动阀门并与水质监测仪表联动(如磁絮凝沉淀系统进水设置浊度测量仪),在出水水质优良时自动超越并停止磁絮凝沉淀系统的运行,大大节省运行费用。

### ④ 斜管冲洗系统运行效果不佳

磁絮凝沉淀系统运行时间过长后,斜管填料表面会堆积悬浮物,如不及时清理将影响出水水质。现场采用2台泵从接触消毒池取水对斜管进行定期冲洗,由于斜管沉淀区上层的清水层深约1 m,冲洗效果很不理想;另外,因冲洗过程中无法停止进水,冲洗后的泥水随水流进入后续处理设施,对出水水质影响较大。建议在沉淀区各增加一路排空管,并在沉淀区出水渠处增加一道出水闸门。在进行斜管冲洗作业时,先关闭该路系统的进水和出水闸门,再打开沉淀区的排空管,将沉淀区的水位降到斜管填料层以下,再用水枪对斜管进行冲洗,冲洗后的泥水全部收集在沉淀区底部,静置30 min待污泥全部沉降后,再打开该路系统的进水和出水闸门。此种方法既能保证斜管清洗的效果,又不影响磁絮凝沉淀系统的正常运行和出水水质。

#### ⑤ 藻类滋生的影响

进入磁絮凝沉淀系统的污水含大量藻类,经加药絮凝后在沉淀区上部形成一层漂浮物并随水流走,对出水SS指标有一定的影响。在磁絮凝沉淀系统出水堰槽上设置浮渣挡板,将漂浮物拦截在沉淀区内,再通过人工定期清捞。另外,也可考虑在磁絮凝沉淀系统进水投加一定量的含氯消毒剂来消除藻类滋生的影响。

## 7 结论

漳浦污水处理厂采用SediMag<sup>®</sup>磁絮凝沉淀作为深度除磷工艺,通过设计布局的优化,搅拌机、刮泥机的优化,污泥泵、磁分离器的优化,以及在材质、参数、各种运行期间的优化改进,使得出水水质稳定达到一级A标准。

SediMag<sup>®</sup>磁絮凝沉淀技术现已大量应用在污水处理厂提标改造、废水深度除磷、重金属废水治理、黑臭河道治理以及油田回注水处理等方面。尤其是在污水处理厂提标改造以及废水深度除磷方面的工程实践效果极佳,运行稳定,出水效果优良,可以满足提标改造的各项需求。

## 参考文献:

[1] 黄启荣,霍槐槐. 磁絮凝与磁分离技术的应用现状与

前景[J]. 给水排水,2010,36(7):150-152.

Huang Qirong, Huo Huaihui. Application and prospect of magnetic flocculation and magnetic separation technology[J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(7):150-152(in Chinese).

[2] Shannon Mark A, Bohn Paul W, Elimelech Menachem, et al. Science and technology for water purification in the coming decades[J]. Nature, 2008, 452(20):301-310(in Chinese).

[3] Ambashta R D, Sillanpaa M. Water purification using magnetic assistance: A review[J]. J Hazard Mater, 2010, 180(1/3):38-49.

[4] 王东升,张明,肖锋. 磁混凝在水与废水处理领域的应用[J]. 环境工程学报,2012,6(3):705-713.

Wang Dongsheng, Zhang Ming, Xiao Feng. Application of magnetic coagulation in water and wastewater treatment[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(3):705-713(in Chinese).

[5] 霍槐槐. SediMag<sup>TM</sup>磁絮凝沉淀用于污水处理提标改造和深度除磷[J]. 中国给水排水,2017,33(8):53-56.

Huo Huaihui. Applications of SediMag<sup>TM</sup> magnetic sedimentation technology in upgrading reconstruction and phosphorus removal of wastewater treatment[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(8):53-56(in Chinese).



作者简介:孙少群(1965-),男,山东招远人,大学本科,工程师,主要从事水务建设、生产和经营工作。

E-mail:18905965959@189.cn

收稿日期:2019-02-25