

技术改造

# 深圳布吉河水质净化厂混凝沉淀系统的改造

王淑梅<sup>1</sup>, 王宝贞<sup>1</sup>, 曹向东<sup>2</sup>, 金文标<sup>1</sup>, 孟宪奎<sup>1</sup>, 马英俊<sup>1</sup>, 章 翼<sup>1</sup>

(1 哈尔滨工业大学 深圳研究生院, 广东 深圳 518055; 2 深圳市水务局, 广东 深圳 518055)

**摘 要:** 介绍了布吉河水质净化厂老混凝沉淀系统改造工程的工艺特点、建设情况、运行调试效果、技术经济指标及设计经验等, 为以强化淹没生物膜—活性污泥复合工艺 (EHYBFAS) 改造老污水处理厂提供了一套可靠的方案。该改造工程处理规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 占地  $1 \text{ hm}^2$ , 处理单位水量投资为  $700 \sim 800 \text{ 元}/\text{m}^3$ , 运行费用约为  $0.4 \sim 0.5 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

**关键词:** 城市污水处理; 混凝沉淀; 强化淹没生物膜—活性污泥复合工艺; 技术改造

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)06-0023-05

## Reconstruction of Coagulation and Sedimentation System of Bujie Wastewater Treatment Plant in Shenzhen City

WANG Shu-mei<sup>1</sup>, WANG Bao-zhen<sup>1</sup>, CAO Xiang-dong<sup>2</sup>, JIN Wen-biao<sup>1</sup>,  
MENG Xian-kuai<sup>1</sup>, MA Ying-jun<sup>1</sup>, ZHANG Yi<sup>1</sup>

(1. Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China; 2. Shenzhen Water Bureau, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** The technological characteristics, construction situation, operation and commissioning effect, techno-economic indexes, design experience etc. of reconstruction project of old coagulation and sedimentation system in Bujie Wastewater Treatment Plant were introduced to provide a set of reliable schemes for reconstructing old wastewater treatment plants with the enhanced hybrid submerged biofilm/activated sludge (EHYBFAS) process. The reconstruction project has a treatment scale of  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , land area of  $1 \text{ hm}^2$ , wastewater treatment investment of  $700 - 800 \text{ Yuan}/(\text{m}^3/\text{d})$  and operation cost of  $0.5 \text{ Yuan}/\text{m}^3$ .

**Key words:** municipal wastewater treatment; coagulation and sedimentation; enhanced hybrid submerged biofilm/activated sludge process; technical reconstruction

### 1 改造工艺的确定

布吉河水质净化厂位于深圳市布吉镇布吉河草埔河段河湾以西、草埔钱排新村东侧的一低洼地段内, 占地  $6.8 \text{ hm}^2$ , 现状平面图如图 1 所示。

该厂原采用混凝沉淀工艺, 共有 2 套处理设施 (见图 2), 处理能力均为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 综合出水水质需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB

18918—2002) 的一级 B 标准。改造后的新系统采用混凝沉淀—人工快渗工艺, 于 2006 年 3 月完工, 目前正在调试期间, 其设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。

老系统采用传统混凝沉淀工艺, 在孔室反应池 (混凝反应池) 内投加聚合氯化铝和聚丙烯酰胺, 混

凝反应出水直接进入平流沉淀池,但出水水质远达不到一级 B 标准,改造前进、出水水质如表 1 所示。

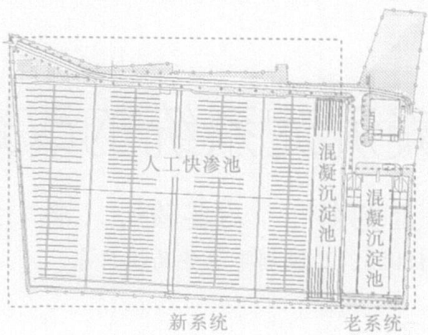


图 1 布吉河水质净化厂现状平面图  
Fig 1 Plan of Bujihe Wastewater Treatment Plant

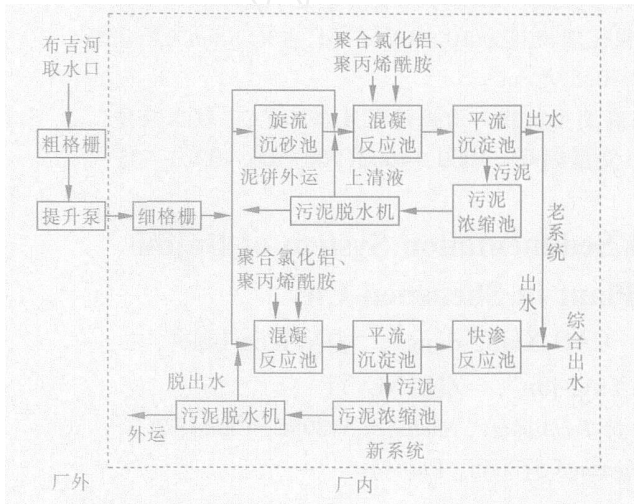


图 2 布吉河水质净化厂现状流程图  
Fig 2 Flow chart of treatment processes in Bujihe Wastewater Treatment Plant

表 1 2006 年 3 月老混凝沉淀系统进、出水水质

Tab 1 Influent and effluent quality of old coagulation and sedimentation system in March, 2006  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

| 指标 | COD     | $\text{NH}_3 - \text{N}$ | SS        |
|----|---------|--------------------------|-----------|
| 进水 | 150~670 | 30~44                    | 100~1 080 |
| 出水 | 72~170  | 31~39                    | 40~102    |

即使新系统出水水质达标,与老系统出水混合后的综合出水水质仍不能达标。因此,必须对老混凝沉淀系统进行改造。由于厂内已无扩建用地,厂外为已建城区,也无扩建可能,改造只能在原有处理构筑物的基础上进行,力求以最小的改动和投资达到要求的处理效果。

以前设计的采用淹没生物膜或淹没生物膜—活性污泥复合工艺的生活污水处理厂在停留时间为 6

~8 h 的条件下均取得良好的运行效果<sup>[1~4]</sup>,但是没有淹没生物膜—活性污泥复合工艺在 3~4 h 停留时间下的设计及运行经验,为此开发了强化淹没生物膜—活性污泥复合工艺 (EHYBFAS),并在布吉河水质净化厂进行了现场中试,取得了稳定的运行效果<sup>[5]</sup>。因此,决定采用 EHYBFAS 工艺对老系统进行改造。

老混凝沉淀系统包括 2 个系列,每个系列包括 1 座旋流沉砂池、8 座孔室混凝反应池 (总水力停留时间为 30 min)、2 座平流沉淀池 (总水力停留时间为 4.3 h)。在改造工程中保留旋流沉砂池,将 16 个孔室混凝反应池改造为 EHYBFAS 工艺的缺氧区,将平流沉淀池的前部改造为 EHYBFAS 工艺的好氧区,这样整个复合反应池的总水力停留时间为 3.5 h,平流沉淀池的剩余部分仍然作为沉淀池使用,总水力停留时间为 1.3 h。

在复合生物反应池中同时存在活性污泥和生物膜,从而可以大大提高反应池中的微生物浓度,提高对污染物的去除能力<sup>[6]</sup>。在曝气池中加入生物膜载体,为世代时间长的硝化菌提供了良好的附着场所和生存条件,因而能在较短的时间内实现硝化;同时,生物膜由外到内依次形成了好氧—缺氧—厌氧环境,为同时硝化反硝化提供了条件,在去除有机物的同时能够脱氮除磷<sup>[7]</sup>。微生物附着在纤维载体填料上并在曝气池内一定空间内摆动,曝气气泡的冲刷剪切作用促进生物膜的更新,并使其保持一定的活性。随着固着生物膜微生物量的增加,能够减少系统对二沉池的依赖,进而提高生物反应器的运行稳定性。

2 设计参数

设计处理规模:  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据目前实测进水数据并考虑留有余地,确定设计进水 COD 为 300  $\text{mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5$  为 150  $\text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  为 30  $\text{mg/L}$ 、SS 为 150  $\text{mg/L}$ 、TN 为 40~50  $\text{mg/L}$ 、TP 为 4.5  $\text{mg/L}$ 。

根据布吉河的现状水质以及排入深圳河的要求,综合治理后布吉河水质达到《城镇污水处理厂污染物综合排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准,结合本工程的性质和实际情况,确定设计出水 COD 为 60  $\text{mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5$  为 20  $\text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  为 8  $\text{mg/L}$  (水温  $\leq 12^\circ\text{C}$  时为 15  $\text{mg/L}$ )、SS 为 20  $\text{mg/L}$ 、TN 为 25  $\text{mg/L}$ 、TP 为 1.0  $\text{mg/L}$ 。

### 3 工艺流程

改造后工艺流程如图 3 所示。

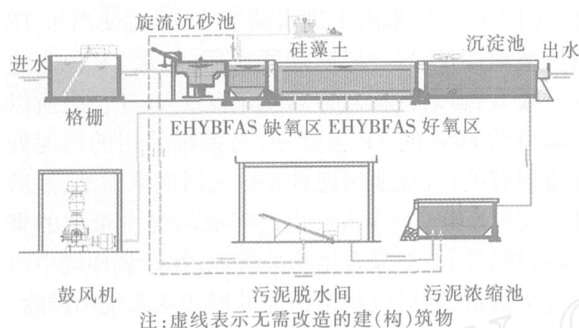


图 3 老系统改造后工艺流程

Fig 3 Flow chart of wastewater treatment process after reconstruction

### 4 工程设计

#### 4.1 主要建(构)筑物

老混凝沉淀系统原有孔室反应池分 16 格,每格长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $=6\text{ m}\times6\text{ m}\times3.9\text{ m}$ ,总水力停留时间为 30 min;平流沉淀池为 4 座,每座长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $=75\text{ m}\times12.5\text{ m}\times5.9\text{ m}$ ,总 HRT $=4.3\text{ h}$ 。混凝沉淀池改造平面示意图如图 4 所示。将原孔室反应池改造为复合生物反应池的缺氧区,池体结构尺寸不变,在其中布设填料和少量曝气器;将平流沉淀池的前端(长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $=47\text{ m}\times12.5\text{ m}\times5.9\text{ m}$ ,共 4 座)改造为复合式生物反应池的好氧区,并在其内部中间 8 m 宽的区域布设帘带式生物膜载体填料,在填料下部密集布设曝气棒,以便在曝气时形成横向水力旋流和纵向水力推流的复合水力流态(如图 5 所示)。这样既可增加氧的利用率,又能防止水流短路,提高复合生物反应池容积的有效利用率。改造后,复合生物反应池的总 HRT 为 3.5 h(容积为  $14\,584\text{ m}^3$ ),其中缺氧区 HRT 为 30 min,好氧区 HRT 为 3 h;其后为平流沉淀池,长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $=28\text{ m}\times12.5\text{ m}\times5.9\text{ m}$ ,共 4 座, HRT $=1.3\text{ h}$ 。由于受现状池体条件的限制,改造后沉淀池停留时间短,而且长宽比 $<4$ 。为了克服这些缺点,改善沉淀池出水水质,改造设计中增加了溢流堰长度,延长两侧壁溢流堰的总长度至沉淀池总长度的  $2/3$  处。

在复合生物反应池约  $2/3$  体积中布设填料,即在池中间对称地用槽钢焊接长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $=6\text{ m}\times8\text{ m}\times4.7\text{ m}$ 的框架,不锈钢丝将一排排平行的帘带式填料的上端和下端分别固定在钢架上、下横梁的孔

眼中,各排填料间距均为 10 cm,其生物膜附着的有效比表面积 $>1\times10^4\text{ m}^2/\text{m}^3$ 。复合生物反应池底部中间布设导流坎,以保证横向旋流的形成。在导流坎两侧各占 4 m 宽的填料区,以及其外侧的无填料区构成生物膜区(约占总容积的  $2/3$ )和活性污泥区(约占总容积的  $1/3$ )的复合生物处理系统,大大提高了系统的生物量,从而比单纯的活性污泥工艺或生物膜工艺能更高效地去除各种污染物。

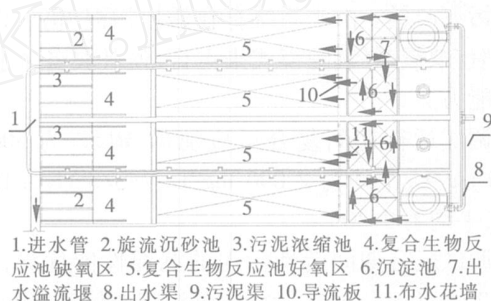


图 4 混凝沉淀池改造平面示意图

Fig 4 Reconstruction plan of coagulation and sedimentation tank

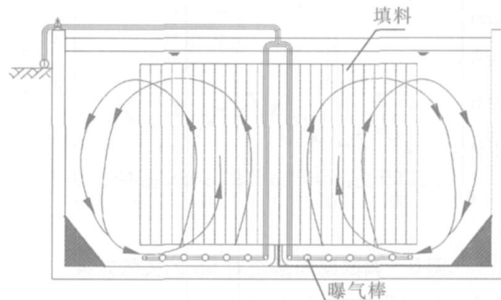


图 5 复合生物反应池好氧区填料及曝气系统布置示意图

Fig 5 Schematic diagram of layout of carrier in aerobic area and aeration system

#### 4.2 工艺特点

① 改造工艺最大限度地利用了已有构筑物,主要是增加了复合生物反应池到沉淀池的导流墙及配水板,土建工程量少。

② 增设填料支架固定填料,并将填料支架延伸至与池壁相抵,起到支撑池壁的作用,同时压缩空气管道的安装支架也可以固定在填料框架上,既不增加池体负担又方便了施工。

③ 生物膜法与活性污泥法联用,且在池底局部密集布设曝气设施,运行时能够形成横向旋流和纵向推流的复合水力流态,有效提高了氧的利用率,减少了短流现象,强化了处理效果。

4.3 调试运行效果

目前该工程已经完工。经过两个月的调试,生物膜及活性污泥已成熟并稳定,在设计负荷下主要污染物得到有效去除,出水指标除 TN 和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  外均达到一级 B 标准。在复合反应池中附着生物膜为各种微生物提供了适宜的好氧、缺氧及厌氧生活条件,使系统中微生物种类更趋多样化,延长了生物链,增强了对难降解污染物质的去除能力,同时降低了污泥产量。由于系统存在活性污泥,仍可以按照厌氧 缺氧 好氧的模式来运行,使其具备了脱氮除磷能力。

调试运行期间复合反应池的 MLSS 为 500 ~ 3 500 mg/L,平均为 2 000 mg/L, VSS/SS = 0. 12 ~ 0. 57,平均为 0. 30。

调试运行期间活性污泥的沉淀性能优异, SVI 仅为 20~40 mL/g,在量筒中沉淀完全仅需 10 min。调试期间系统对 SS 的去除效果见图 6。

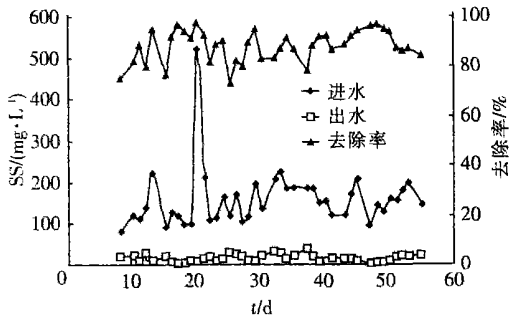


图 6 调试期间系统对 SS 的去除效果

Fig 6 SS removal effect during commissioning

由图 6 可见,尽管进水 SS 有时很高,甚至超过 500 mg/L,但出水 SS 一直很低,大都低于 10 mg/L,优于一级 B 排放标准。

图 7 和图 8 说明了该复合生物处理系统具有很强的去除 COD 和  $\text{BOD}_5$  的能力。调试初期,在设计负荷下进水 COD 为 100~300 mg/L,  $\text{BOD}_5$  为 60~150 mg/L,2 周后出水 COD 稳定在 60 mg/L 以下,达到了一级 B 排放标准,对 COD 的平均去除率为 84. 4%。同时出水  $\text{BOD}_5$  为 20 mg/L 左右,也达到一级 B 排放标准。运行 25 d 后,进水中污染物浓度急剧增加(进水 COD 为 300~400 mg/L,  $\text{BOD}_5$  为 150~200 mg/L),出水水质恶化,但经过十几天的运行后,出水 COD 明显降低,并已接近一级 B 排放标准,同时出水  $\text{BOD}_5$  已达到了一级 B 标准,这说明在生物膜和活性污泥中有大量活性异养菌群,能够

高效降解和去除有机污染物。

调试初期,系统出水 TP 便达到一级 B 排放标准(见图 9)。后来由于进水磷浓度增加,使出水 TP 有所波动,但经过一段时间适应后,出水 TP 稳定达到一级 B 排放标准,且经常低于 0. 5 mg/L。之所以能取得约 80% 的 TP 去除率,与系统采用的污泥处理流程有关:沉淀池污泥首先排入污泥浓缩池,然后进行厌氧反应(2~4 h),由此释放污泥中摄取的聚合磷,然后回流至复合生物处理池,在好氧环境中污泥过量摄磷,随后以剩余污泥的形式从系统中排除。

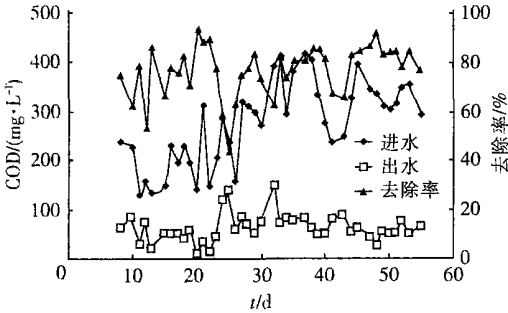


图 7 调试期间系统对 COD 的去除效果

Fig 7 COD removal effect during commissioning

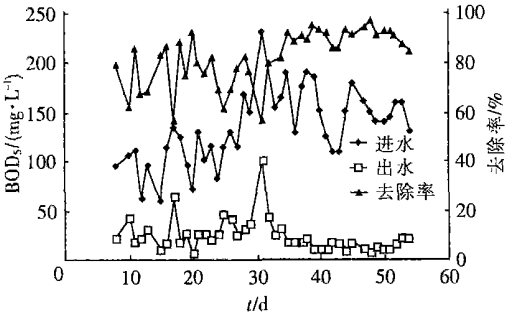


图 8 调试期间系统对  $\text{BOD}_5$  的去除效果

Fig 8  $\text{BOD}_5$  removal effect during commissioning

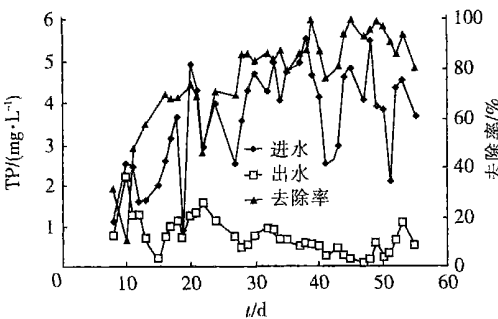


图 9 调试期间系统对 TP 的去除效果

Fig 9 TP removal effect during commissioning

调试运行期间系统对氨氮去除效果最差(见图 10、11)。运行两周后出水 SS、 $\text{BOD}_5$ 、COD、TP 等均

达到一级 B 排放标准,甚至达到一级 A 标准,只有氨氮和总氮去除效果一直不明显,这是因为硝化菌世代时间较长,需要较长时间才能使其生长繁殖并达到足够的数量;另外,由于调试期间鼓风机出现故障,很长一段时间只能提供设计风量的 1/3,硝化菌得不到足够的 DO 而无法生长成为优势菌。

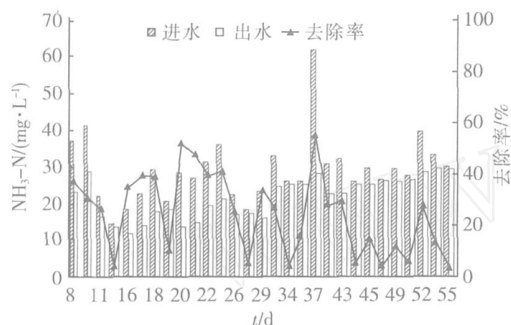


图 10 调试期间系统对  $\text{NH}_3 - \text{N}$  的去除效果

Fig 10 Ammonia nitrogen removal effect during commissioning

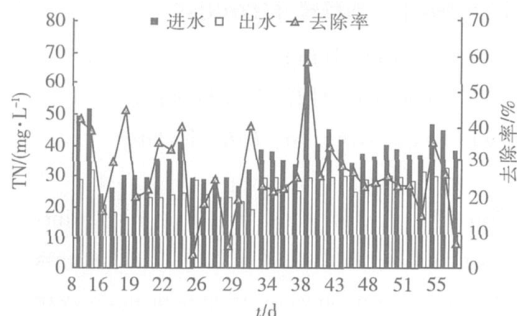


图 11 调试期间系统对 TN 的去除效果

Fig 11 Total nitrogen removal effect during commissioning

#### 4.4 经济效益分析

该工程建设总投资为 3 000 万元,运行费用为 0.4~0.5 元/ $\text{m}^3$ ,与改造前的运行费用(0.25 元/ $\text{m}^3$ )相比,改造后运行费用有所增加,但出水水质可以达到《城镇污水处理厂污染物综合排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。调试期间除  $\text{NH}_3 - \text{N}$  和 TN 指标外,其他指标均达到设计要求。该工程由于采用了曝气器局部密集布设,形成独特横向旋流和纵向推流水力流态,提高了 DO 的利用率,降低了鼓风机曝气系统功率,单位能耗仅为 0.2 ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ )/ $\text{m}^3$ 。

#### 5 结语

采用强化淹没生物膜与活性污泥复合工艺(EHYBFAS)对污水处理厂(采用活性污泥法)进行技术改造的实践证明,只需在曝气池增设填料,分设厌氧区、缺氧区和好氧区,而无需对沉淀池及回流系统改造,就可达到脱氮、除磷和提高去除有机物效果的目的。由于该工程厂内无扩建用地,沉淀池的设计停留时间偏小,对出水水质会有一定的影响,在工程条件允许时,沉淀池停留时间应按相关规范设计。

#### 参考文献:

- [1] Liu S, Wang B Z, Wang L, et al Full scale application of combined SBF-AS process for municipal wastewater treatment in small towns and cities in China - A case study [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, (3): 51 - 55
- [2] Wang B Z, Wang D, Li G Q, et al Water and Environment Series[M]. USA: WA Publishing, 2003
- [3] Wang B Z, Wang L. Novel Technologies on Water Pollution Control - New Concept, New Processes and New Theories[M]. Beijing: Science Publishing House, 2004
- [4] Wang C R, Wang B Z, Wang L. Nitrogen loss in BAF under the conditions of no carbon source and limited oxygen [A]. Proceedings of the 4<sup>th</sup> WA world Water Congress [C]. Morocco: Marrakech Publishing, 2004
- [5] Wang S M, Wang B Z, Jin W B, et al Enhanced hybrid biofilm-activated sludge biological process (EHYBFAS) with short HRT for wastewater treatment [A]. Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference on Water Conservation and Management in Coastal Areas(WCMCA) [C]. South Korea: WA Publishing, 2006
- [6] 丁永伟,王琳,王宝贞,等. 活性污泥和生物膜复合工艺的应用 [J]. 中国给水排水, 2005, 21(8): 30 - 33
- [7] 丁永伟,王琳,王宝贞,等. 活性污泥和生物膜复合联合工艺在污水处理厂技术改造中的应用 [J]. 给水排水, 2006, 31(12): 41 - 45

电话: (0755) 26033512 13267151170

E - mail: shumewang@163. com

通讯作者:王宝贞

收稿日期: 2006 - 12 - 11

节约用水 造福人类 利在当代 功在千秋